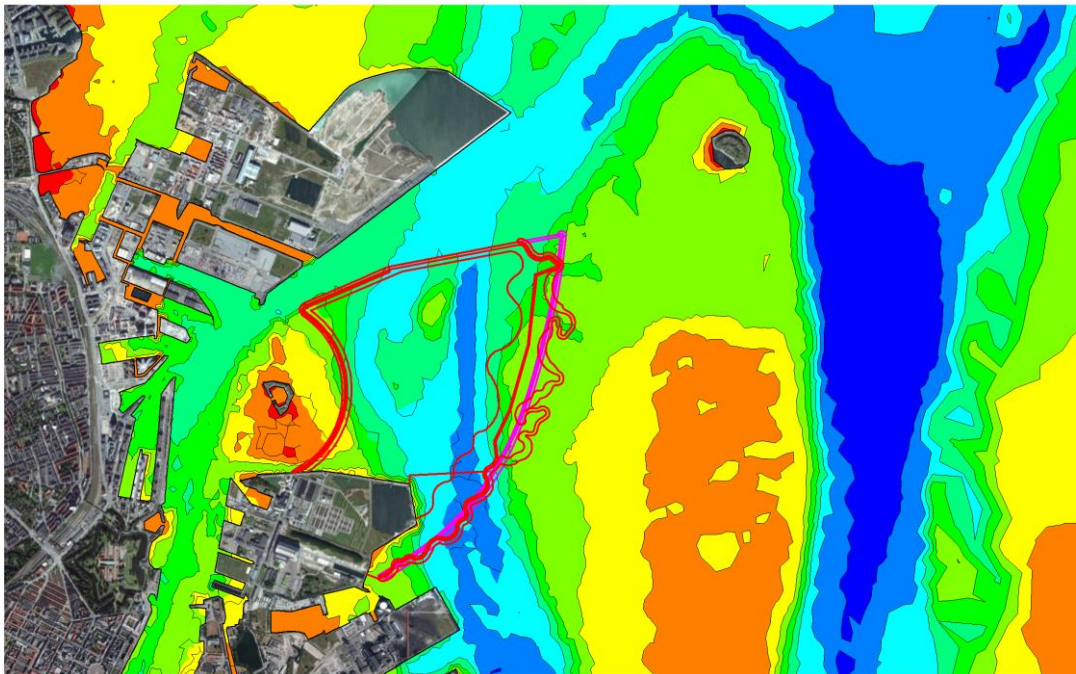


Anlæg af Lynetteholm

VVM – Teknisk Baggrundsrapport nr. 1

Hydrauliske undersøgelser



Udviklingsselskabet By & Havn I/S

Rapport

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



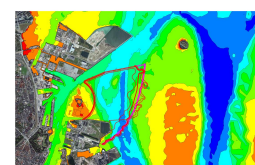
Anlæg af Lynetteholm

VVM – Teknisk Baggrundsrapport nr. 1

Hydrauliske undersøgelser

Udarbejdet for
Repræsenteret ved

Udviklingsselskabet By & Havn I/S
Hans Vasehus, Havnebygmester &
Anlægsschef



Hovedforslag 1 og 2 udformning

Projektleder	Bo Brahtz Christensen
Kvalitetsansvarlig	Jacob H Jensen
Projektnummer	11823523-09
Godkendelsesdato	2. november 2020
Revision	Endelig: 1.6
Klassifikation	Begrænset: Dette dokument er tilgængeligt for personer ansat i DHI-koncernen men må ikke deles med andre udenfor DHI-koncernen uden kundens forhåndsgodkendelse.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning	1
2	Sammenfatning	2
2.1	Påvirkninger i anlægsfasen.....	2
2.2	Påvirkninger i driftsfasen.....	7
3	Baggrund	12
4	Basisundersøgelser	16
4.1	Hydrauliske basisundersøgelser	16
4.2	Basisbeskrivelse af de hydrauliske forhold i området.....	16
4.2.1	Generel beskrivelse af Øresunds hydrografiske forhold	16
4.2.2	Generel beskrivelse af strøm- og vandstandsforhold	18
4.2.3	Numerisk model	20
4.2.4	Valg af modelleringsperiode	21
4.3	Kølevandsudledninger	22
5	Vurderinger af virkninger på miljøet i anlægsfasen.....	24
5.1	Sedimentspredning fra etablering af Lynetteholm	24
5.1.1	Graveplaner og mængder	24
5.1.1.1	Graveplan og mængder for Hovedforslag 1	24
5.1.1.2	Graveplan og mængder for Hovedforslag 2	27
5.1.1.3	Graveplan og mængder for Hovedforslag 2 med afskærmning	29
5.1.2	Den finkornede del af sedimentets sammensætning.....	29
5.1.3	Faldhastigheder	31
5.1.4	Tørdensitet	33
5.1.5	Gravespild og arbejdsproces	33
5.1.6	Gravespildsmængder for de 3 scenarier	34
5.1.6.1	Gravespildsmængder for Hovedforslag 1	35
5.1.6.2	Gravespildsmængder for Hovedforslag 2	36
5.1.6.3	Gravespildsmængder for Hovedforslag 2 med afskærmet afgravning	37
5.1.6.4	Relativ sammenligning af gravespild	37
5.1.7	Varighed af gravearbejde.....	39
5.1.8	Sedimentspredning med Hovedforslag 1 graveplan	39
5.1.9	Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan.....	45
5.1.10	Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan og delvist afskærmet afgravning	51
5.1.11	Sedimentspredning med Hovedforslag 1 graveplan forurennet jord	56
5.1.12	Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan forurennet jord	61
5.1.13	Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan forurennet jord delvist afskærmet afgravning	66
5.2	Spredning af tungmetaller i forbindelse med gravespild.....	71
5.2.1	Baggrundsdata og metode.....	71
5.2.2	Modelteknik	74
5.2.3	Andre forudsætninger	75
5.2.4	Resultater	76
5.2.5	Hovedforslag 1	76
5.2.6	HF1: Kobber	79
5.2.7	HF1: Kviksølv	82
5.2.8	HF1: Zink.....	85

5.2.9	HF1: Bly	88
5.2.10	HF1: Cadmium	89
5.2.11	Hovedforslag 2	91
5.2.12	HF2: Kobber	91
5.2.13	HF2: Kviksølv	94
5.2.14	HF2: Zink	97
5.2.15	HF2: Bly	100
5.2.16	HF2: Cadmium	101
5.2.17	Hovedforslag 2 med afskærmning	103
5.2.18	HF2A: Kobber	103
5.2.19	HF2A: Kviksølv	106
5.2.20	HF2A: Zink	109
5.2.21	HF2A: Bly	112
5.2.22	HF2A: Cadmium	113
5.2.23	Diskussion	115
5.2.24	Kobber	118
5.2.25	Kviksølv	119
5.2.26	Zink	119
5.2.27	Bly	120
5.2.28	Cadmium	120
5.2.29	Sammenfatning	121
5.3	Frigivelse af N og P i forbindelse med gravespild	122
5.3.1	Mængden af total N, total P og TOC i det opgravede materiale	123
5.3.2	Mængden af biotilgængeligt N og P i det opgravede materiale	128
5.3.3	Frigivelse af N og P i forbindelse med gravespild	135
5.3.4	Mængden af iltforbrug i det opgravede materiale	136
5.3.5	Frigivelse af iltforbrug i forbindelse med sedimentspild	141
5.3.6	Sammenfatning af frigivelse af næringssalte og iltforbrugende stoffer	142
5.3.7	Potentiel spredning af total kvælstof til Natura2000 områder	144
6	Vurdering af påvirkninger i driftsfasen	147
6.1	Hydrauliske og kystmorfologiske forhold	147
6.1.1	Vurdering af ændrede vandstandsforhold	147
6.1.1.1	Middelvandstand	147
6.1.1.2	Maksimumvandstand	148
6.1.1.3	Minimumvandstand	151
6.1.2	Vurdering af ændrede strømforhold	154
6.1.2.1	Forhold med stærk sydgående strøm	154
6.1.2.2	Forhold med stærk nordgående strøm	167
6.1.2.3	Dybde midlet strømroser	181
6.1.2.4	Påvirkning af strømforhold i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn	186
6.1.2.5	Påvirkning af bruttostrøm	189
6.1.3	Vurdering af ændringer i vandtemperatur	197
6.1.3.1	Årsmidlet vandtemperatur	197
6.1.3.2	Vurdering af ændringer i årsmiddel af vandtemperatur	199
6.1.3.3	Maksimum vandtemperaturer	200
6.1.3.4	Vurdering af ændringer i maksimum af vandtemperatur	203
6.1.3.5	Minimum vandtemperaturer	204
6.1.3.6	Vurdering af ændringer i minimum af vandtemperatur	207
6.1.4	Vurdering af ændringer i saltholdighed	209
6.1.4.1	Årsmidlet saltholdighed	209
6.1.4.2	Vurdering af ændringer i årsmiddel af saltholdighed	212
6.1.4.3	Maksimum saltholdighed	213
6.1.4.4	Vurdering af ændringer i maksimum af saltholdighed	215
6.1.4.5	Minimum saltholdighed	216
6.1.4.6	Vurdering af ændringer i minimum af saltholdighed	219

6.1.5	Vurdering af ændrede bølgeforhold	220
6.1.5.1	Hovedforslag 1 – Layout uden kystlandskab	221
6.1.5.2	Hovedforslag 2 – Layout med kystlandskab	230
6.1.6	Projektets virkning på gennemstrømningsforholdene i Øresund og havneløbet ..	239
6.1.6.1	Vandføringer	240
6.1.6.2	Akkumulerede vandføringer	243
6.1.6.3	Blokeringsfaktorer for vandføring	246
6.1.6.4	Omsætning af blokeringsmål for transport af vand til målbar fysisk størrelse	249
6.1.6.5	Salttransport	253
6.1.6.6	Akkumuleret transport af salt	255
6.1.6.7	Blokeringsfaktorer for salttransport	259
6.1.6.8	Omsætning af blokeringsmål for transport af salt til målbar fysisk størrelse	262
6.2	Projektets påvirkning af Amagerværkets brug af kølevand	266
6.2.1	Analyse af Lynetteholms betydning for overtemperaturer omkring Amagerværket	268
6.2.2	Diskussion af projektets påvirkning på Amagerværkets kølevandseffekt	275
6.3	Projektets påvirkning af de kystmorfologiske forhold	275
6.3.1	Generel morfologisk påvirkning	277
7	Vurdering af udledning af overskudsvand	279
7.1	Udledning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområde under opfyldning	279
7.1.1	Feltdata og udledningsdata	283
7.1.2	Screening for optimalt udledningspunkt (punktudledning)	287
7.1.3	Nyttiggørelsesområdets opbygning	288
7.1.4	Fortyndingsberegninger	289
7.1.4.1	Fortynding Hovedforslag 1	289
7.1.4.2	Fortynding hovedforslag 2	296
7.1.5	Udledning fra Lynetteholm	303
7.1.6	Vurdering af udvalgte stoffers kvalitetskriterier for vand	311
7.1.7	Påvirkning af sediment	333
7.1.8	Påvirkning på biota	335
7.1.9	Potentiel påvirkning fra udledt Total-N på Natura2000 områder	338
7.1.10	Fortynding ved diffus udledning	340
7.2	Udsivning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområde efter opfyldning	345
8	Referencer	347

FIGURER

Figur 3-1	Plantegning af undersøgte Hovedforslag 1.	13
Figur 3-2	Plantegning af undersøgte Hovedforslag 2.	14
Figur 3-3	Øverst: Indikation af undersøgte layouts for Hovedforslag 1 (pink kurve) og Hovedforslag 2 (rød kurve). Nederst: Indikation af endelig layouts for Hovedforslag 1 (pink kurve) og Hovedforslag 2 (rød kurve). De røde kurve viser topkoten af profilet, vandspejlslinjen og foden af profilet, hvor det glider over i den naturlige havbund.	15
Figur 4-1	Øresunds batymetriske forhold og baselinemodellens udstrækning.	17
Figur 4-2	Dyb og grunde i den sydlige del af Øresund.	18
Figur 4-3	Målt vandstandsvariation i Hornbæk og København i perioden 1999-2019.	19
Figur 4-4	Korrelationen mellem trendfri stormflodsvandstand i København og Hornbæk (1881-2019).	20
Figur 4-5	Baselinemodellens batymetri og beregningsnet.	21
Figur 4-6	Amagerværkets kølevandssystem.	22
Figur 4-7	Oversigtskort.	23

Figur 5-1	Estimerede afgravningsmængder for Hovedforslag 1 i forbindelse med bundudskiftning (Kilde: Cowi 2020).	25
Figur 5-2	Estimerede afgravningsmængder for Hovedforslag 2 i forbindelse med bundudskiftning (Kilde: Cowi 2020).	27
Figur 5-3	Kort visende boreprøver anvendt til bestemmelse af sedimentsammensætning af de finkornede fraktioner ved hjælp af faldhastighedsforsøg.	30
Figur 5-4	Kornstørrelser fundet ved faldhastighedsforsøg for prøve taget i P33 i en dybde 2 meter under havbund.	30
Figur 5-5	Kornstørrelser fundet ved faldhastighedsforsøg og sigteanalyse for prøve taget i P85 i en dybde 3 meter under havbund.	31
Figur 5-6	Sedimentets faldhastighed som funktion af vandtemperatur og kornstørrelse.	32
Figur 5-7	Sammenhæng mellem vandprocent og tørdensitet.	33
Figur 5-8	Sammenligning af gravespildsmængder af forurenede sediment for de tre gravescenarier.	38
Figur 5-9	Sammenligning af gravespildsmængder af rent sediment for de tre gravescenarier.	38
Figur 5-10	Sammenligning af gravespildsmængder for de tre gravescenarier.	39
Figur 5-11	Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild. .	40
Figur 5-12	Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.	41
Figur 5-13	Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	41
Figur 5-14	Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	42
Figur 5-15	Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	43
Figur 5-16	Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	43
Figur 5-17	Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m ³ . .	44
Figur 5-18	Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild. .	46
Figur 5-19	Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.	46
Figur 5-20	Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	47
Figur 5-21	Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	48
Figur 5-22	Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	48
Figur 5-23	Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	49
Figur 5-24	Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m ³ . .	50
Figur 5-25	Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild. .	51
Figur 5-26	Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.	52
Figur 5-27	Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	52
Figur 5-28	Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	53
Figur 5-29	Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	54
Figur 5-30	Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	54
Figur 5-31	Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m ³ . .	55
Figur 5-32	Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild. .	57
Figur 5-33	Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.	57
Figur 5-34	Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	58
Figur 5-35	Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	59
Figur 5-36	Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	59
Figur 5-37	Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	60
Figur 5-38	Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m ³ . .	61
Figur 5-39	Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild. .	62
Figur 5-40	Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.	62
Figur 5-41	Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	63
Figur 5-42	Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	64
Figur 5-43	Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	64
Figur 5-44	Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	65
Figur 5-45	Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m ³ . .	66

Figur 5-46	Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild. .	67
Figur 5-47	Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.	67
Figur 5-48	Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	68
Figur 5-49	Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	69
Figur 5-50	Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	69
Figur 5-51	Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.	70
Figur 5-52	Aflejringsstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m ³	71
Figur 5-53	Position af 6 punkter til udtræk af tidsserier. I den viste figur er Hovedforslag 1 vist med en lyserød linje.	77
Figur 5-54	Afgrænsningsområder brugt til massebalancer: I figuren ses Havneområdet, som svarer til den sorte polygon, samt Hovedforslagsområdet, som svarer til den grønne polygon (Hovedforslag 1). Hele modelområdet er ikke vist.	78
Figur 5-55	HF1: Kobber sediment deposition i mg Cu/m ² (venstre) og mg/kg tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	80
Figur 5-56	HF1: Kobber i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 2 µg/l. Nederst venstre: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	81
Figur 5-57	HF1: Kobber i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning af gravearbejdet, rød vandret linje angiver grænseværdien 2 µg/l.	82
Figur 5-58	HF1: Kviksølv sediment deposition i mg Hg/m ² (venstre) og mg/kg tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	83
Figur 5-59	HF1: Kviksølv i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 0,07 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	84
Figur 5-60	HF1: Kviksølv i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning af gravearbejdet. Rød vandret linje angiver grænseværdien 0,07 µg/l.	85
Figur 5-61	HF1: Zink sediment deposition mg Zn/m ² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	86
Figur 5-62	HF1: Zink i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af 8,4 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	87
Figur 5-63	HF1: Zink i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 8,4 µg/l.	88
Figur 5-64	HF1: Bly sediment deposition mg Pb/m ² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	89
Figur 5-65	HF1: Cadmium sediment deposition mg Cd/m ² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	90
Figur 5-66	HF2: Kobber sediment deposition mg Cu/m ² (venstre) og mg/kg tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	92
Figur 5-67	HF2: Kobber i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 2 µg/l. Nederst venstre: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	93
Figur 5-68	HF2: Kobber i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet, rød vandret linje angiver 2 µg/l.	94
Figur 5-69	HF2: Kviksølv sediment deposition mg Hg/m ² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	95
Figur 5-70	HF2: Kviksølv i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 0,07 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	96
Figur 5-71	HF2: Kviksølv i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 0,07 µg/l. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet.	97
Figur 5-72	HF2: Zink sediment deposition mg Zn/m ² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	98
Figur 5-73	HF2: Zink i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 8,4 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	99

Figur 5-74	HF2: Zink i vandfasen, $\mu\text{g/l}$. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 8,4 $\mu\text{g/l}$. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet.....	100
Figur 5-75	HF2: Bly sediment deposition mg Pb/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	101
Figur 5-76	HF2: Cadmium sediment deposition mg Cd/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	102
Figur 5-77	HF2A: Kobber sediment deposition mg Cu/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	104
Figur 5-78	HF2A: Kobber i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 2 $\mu\text{g/l}$. Nederst venstre: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	105
Figur 5-79	HF2A: Kobber i vandfasen, $\mu\text{g/l}$. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet, rød vandret linje angiver 2 $\mu\text{g/l}$	106
Figur 5-80	HF2A: Kviksølv sediment deposition mg Hg/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.....	107
Figur 5-81	HF2A: Kviksølv i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 0,07 $\mu\text{g/l}$. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	108
Figur 5-82	H2A: Kviksølv i vandfasen, $\mu\text{g/l}$. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 0,07 $\mu\text{g/l}$. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet.	109
Figur 5-83	HF2A: Zink sediment deposition mg Zn/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	110
Figur 5-84	HF2A: Zink i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 8,4 $\mu\text{g/l}$. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.	111
Figur 5-85	HF2A: Zink i vandfasen, $\mu\text{g/l}$. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 8,4 $\mu\text{g/l}$. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet.....	112
Figur 5-86	HF2A: Bly sediment deposition mg Pb/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.	113
Figur 5-87	HF2A: Cadmium sediment deposition mg Cd/m^2 (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.....	114
Figur 5-88	Placering af borer i forhold til de to Hovedforslag, fra /39/.....	124
Figur 5-89	Øverst: model (regression) mellem model beregnede og målte TN. Nederst: model (regression) mellem model beregnede og målte TP.....	125
Figur 5-90	Dybder af forurennet jord samt placering af borekerner, fra /39/.....	128
Figur 5-91	Hovedforslag 1: Ekstra Total-N i vandfasen midlet over anlægsperioden (venstre) og deposition af Total-N i sedimentet (højre) ved anlægsperiodens slutning. Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder	145
Figur 5-92	Hovedforslag 2: Tilførsel af Total-N i vandfasen (venstre) og deposition af Total-N i sedimentet (højre). Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder. ..	145
Figur 5-93	Hovedforslag 2A: Tilførsel af Total-N i vandfasen (venstre) og deposition af Total-N i sedimentet (højre). Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder.	146
Figur 6-1	Ændring af middelvandstand år 2018 med en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab.	147
Figur 6-2	Ændring af middelvandstand år 2018 med en Lynetteholm udbygning med et kystlandskab.	148
Figur 6-3	Modelleret maksimalvandstand år 2018 for baselineforhold (øverst), med Lynetteholm-udbygning uden et kystlandskab (midt) og Lynetteholm udbygning med et kystlandskab (nederst).....	149
Figur 6-4	Ændring af nutidig maksimalvandstand som følge af Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab.	150
Figur 6-5	Ændring af nutidig maksimalvandstand som følge af Lynetteholm udbygning med et kystlandskab.	150

Figur 6-6	Modelleret minimumvandstand år 2018 for baselineforhold (øverst), med Lynetteholm-udbygning uden et kystlandskab (midt) og Lynetteholm udbygning med et kystlandskab (nederst).....	152
Figur 6-7	Ændring af minimalvandstand med en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab.	153
Figur 6-8	Ændring af minimalvandstand med en Lynetteholm udbygning med et kystlandskab.	153
Figur 6-9	Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med strømvektorer.	155
Figur 6-10	Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med strømvektorer.	156
Figur 6-11	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig sydgående strømning og opfyldning uden kystlandskab.	157
Figur 6-12	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig sydgående strømning og opfyldning med kystlandskab.	158
Figur 6-13	Overfladehastighed under forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.	159
Figur 6-14	Overfladehastighed under forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.	160
Figur 6-15	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.	161
Figur 6-16	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.	162
Figur 6-17	Skalar beregnet strømændring i området syd for opfyldningen.....	163
Figur 6-18	Bundhastighed under forhold med stærk sydgående strøm. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer for forhold med stærk sydgående strøm og vanddybde.	164
Figur 6-19	Bundhastighed under forhold med stærk sydgående strøm. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer for forhold med stærk sydgående strøm og vanddybde.	165
Figur 6-20	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.	166
Figur 6-21	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.	167
Figur 6-22	Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med strømvektorer.	168
Figur 6-23	Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med strømvektorer.	169
Figur 6-24	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig nordgående strømning og opfyldning uden kystlandskab.	170
Figur 6-25	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig nordgående strømning og opfyldning med kystlandskab.	171
Figur 6-26	Overfladehastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.	172

Figur 6-27	Overfladehastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.	173
Figur 6-28	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.	175
Figur 6-29	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.	176
Figur 6-30	Bundhastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.	177
Figur 6-31	Bundhastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.	178
Figur 6-32	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.	179
Figur 6-33	Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.	180
Figur 6-34	Udtrækspunkter for strømroser. Pink omrids: Hovedforslag 1 - Lynetteholm afgrænset med spuns og stenkastning. Rødt omrids: Hovedforslag 2 - Lynetteholm med kystlandskab.	181
Figur 6-35	Strømroser visende dybdemidlet strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P1-P4. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.	182
Figur 6-36	Strømroser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P5, P6 og P9. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.	183
Figur 6-37	Strømroser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P7, P8 og P11. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.	184
Figur 6-38	Strømroser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P10 og P13. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.	185
Figur 6-39	Strømroser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P12 og P14. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.	186
Figur 6-40	Strø mudtrækspunkter P1-P3.	187
Figur 6-41	Strømroser i P1 for baseline og de to hovedforslag. Øverst: overfladestrøm, midt: dybdemidlet strøm og nederst: bundstrøm.	187
Figur 6-42	Strømroser i P2 for baseline og de to hovedforslag. Øverst: overfladestrøm, midt: dybdemidlet strøm og nederst: bundstrøm.	188
Figur 6-43	Strømroser i P3 for baseline og de to hovedforslag. Øverst: overfladestrøm, midt: dybdemidlet strøm og nederst: bundstrøm.	189
Figur 6-44	Årsmiddel af dybdemidlet bruttostrøm med baseline forhold.	190
Figur 6-45	Årsmiddel af dybdemidlet bruttostrøm med Hovedforslag 1 udbygning.	191
Figur 6-46	Årsmiddel af dybdemidlet bruttostrøm med Hovedforslag 2 udbygning.	191
Figur 6-47	Hovedforslag 1. Ændring af årsmiddel af bruttostrøm (dybdemidlet).	192
Figur 6-48	Hovedforslag 2. Ændring af årsmiddel af bruttostrøm (dybdemidlet).	193
Figur 6-49	Maksimal dybdemidlet strøm år 2018 med baseline forhold.	194
Figur 6-50	Maksimal dybdemidlet strøm år 2018 med Hovedforslag 1 udbygning.	194
Figur 6-51	Maksimal dybdemidlet strøm år 2018 med Hovedforslag 2 udbygning.	195
Figur 6-52	Hovedforslag 1. Ændring af maksimal dybdemidlet strøm.	196
Figur 6-53	Hovedforslag 2. Ændring af maksimal dybdemidlet strøm.	196
Figur 6-54	Årsmiddel af dybdemidlet vandtemperatur for baseline forhold.	197

Figur 6-55	Årsmiddel af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.	198
Figur 6-56	Årsmiddel af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.	198
Figur 6-57	Beregnet ændring af årsmidlet vandtemperatur for Hovedforslag 1.	199
Figur 6-58	Beregnet ændring af årsmidlet vandtemperatur for Hovedforslag 2.	200
Figur 6-59	Middeltemperaturen i Danmark sommeren 2018, ref./2/.	201
Figur 6-60	Årsmaksimum af dybdemidlet vandtemperatur for baseline forhold.	201
Figur 6-61	Årsmaksimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.	202
Figur 6-62	Årsmaksimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 2 - med kystlandskab.	202
Figur 6-63	Beregnet ændring af maksimale vandtemperaturer for Hovedforslag 1.	203
Figur 6-64	Beregnet ændring af maksimale vandtemperaturer for Hovedforslag 2.	204
Figur 6-65	Sammenhæng mellem frysepunkt, maksimal densitet og saltholdighed, ref. /5/.	205
Figur 6-66	Årsminimum af dybdemidlet vandtemperatur for baseline forhold.	206
Figur 6-67	Årsminimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.	206
Figur 6-68	Årsminimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 2 - med kystlandskab.	207
Figur 6-69	Beregnet ændring af laveste vandtemperatur for Hovedforslag 1.	208
Figur 6-70	Beregnet ændring af laveste vandtemperatur for Hovedforslag 2.	209
Figur 6-71	Årsmiddel af dybdemidlet saltholdighed for baseline forhold.	210
Figur 6-72	Årsmiddel af dybdemidlet saltholdighed. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.	211
Figur 6-73	Årsmiddel af dybdemidlet saltholdighed. Hovedforslag 2 - med kystlandskab.	211
Figur 6-74	Beregnet ændring af årsmidlet saltholdighed for Hovedforslag 1.	212
Figur 6-75	Beregnet ændring af årsmidlet saltholdighed for Hovedforslag 2.	213
Figur 6-76	Årsmaksimum af dybdemidlet saltholdighed for baseline forhold.	214
Figur 6-77	Årsmaksimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 1 – uden kystlandskab.	214
Figur 6-78	Årsmaksimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 2 – med kystlandskab.	215
Figur 6-79	Beregnet ændring af maksimum saltholdighed for Hovedforslag 1.	216
Figur 6-80	Beregnet ændring af maksimum saltholdighed for Hovedforslag 2.	216
Figur 6-81	Årsminimum af dybdemidlet saltholdighed for baseline.	217
Figur 6-82	Årsminimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 1 – uden kystlandskab.	218
Figur 6-83	Årsminimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 2 – med kystlandskab.	218
Figur 6-84	Beregnet ændring af minimum saltholdighed for Hovedforslag 1.	219
Figur 6-85	Beregnet ændring af minimum saltholdighed for Hovedforslag 2.	220
Figur 6-86	Analyserede punkter i bølgeanalysen af Hovedforslag 1.	221
Figur 6-87	Ydre tragt, bølgeroser for de nuværende forhold og Hovedforslag 1.	222
Figur 6-88	Indre tragt, bølgeroser for de nuværende forhold og Hovedforslag 1.	222
Figur 6-89	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 1, Charlottenlund.	222
Figur 6-90	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 2, Hellerup.	223
Figur 6-91	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 3, Nordhavn.	223
Figur 6-92	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 4, Lynetteholm Nord.	224
Figur 6-93	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 5, Lynetteholm Centralt.	224
Figur 6-94	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 6, Lynetteholm Syd.	225

Figur 6-95	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 7, Prøvestenen Nord.	225
Figur 6-96	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag (højre) for punkt 8, Prøvestenen Syd.	225
Figur 6-97	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 9, Amager Strand Nord.	226
Figur 6-98	Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 10, Amager Strand Syd.	226
Figur 6-99	De af Hovedforslag 1 fremkaldte ændringer af årsmidlet bølgehøjde.	227
Figur 6-100	Største reduktion i signifikant bølgehøjde.	227
Figur 6-101	Største forøgelse af signifikant bølgehøjde.	228
Figur 6-102	Hovedretninger for indkommende bølger i analysepunkter med nuværende forhold og en Hovedforslag 1 udbygning.	229
Figur 6-103	Analyserede punkter i bølgeanalysen udført for Hovedforslag 2.	231
Figur 6-104	Ydre tragt, bølgeroser for baseline og Hovedforslag 2.	231
Figur 6-105	Indre tragt, bølgeroser for baseline og Hovedforslag 2.	232
Figur 6-106	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 1, Charlottenlund.	232
Figur 6-107	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 2, Hellerup.	232
Figur 6-108	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 3, Nordhavn.	233
Figur 6-109	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 4, Lynetteholm Nord.	233
Figur 6-110	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 5, Lynetteholm Centralt.	233
Figur 6-111	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 6, Lynetteholm Syd.	234
Figur 6-112	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 7, Prøvestenen Nord.	234
Figur 6-113	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 8, Prøvestenen Syd.	235
Figur 6-114	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 9, Amager Strand Nord.	235
Figur 6-115	Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 10, Amager Strand Syd.	235
Figur 6-116	De af Hovedforslag 2 fremkaldte ændringer af årsmidlet bølgehøjde.	236
Figur 6-117	Største reduktion i signifikant bølgehøjde.	236
Figur 6-118	Største forøgelse af signifikant bølgehøjde.	237
Figur 6-119	Hovedretninger for indkommende bølger i analysepunkter med nuværende forhold og en Hovedforslag 2 udbygning.	238
Figur 6-120	Tværsnit hvorigennem vandføringen og salttransporten er beregnet for nuværende og fremtidige forhold.	240
Figur 6-121	Vandføring i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	241
Figur 6-122	Vandføring i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	241
Figur 6-123	Vandføring i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	241
Figur 6-124	Vandføring i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	242

Figur 6-125	Vandføring i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundsførtet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	242
Figur 6-126	Gennemstrømning i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	244
Figur 6-127	Gennemstrømning i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	244
Figur 6-128	Gennemstrømning i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	244
Figur 6-129	Gennemstrømning i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	245
Figur 6-130	Gennemstrømning i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundsførtet med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	245
Figur 6-131	Blokeringsfaktorer for vandføringen i tværsnittet vest for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	246
Figur 6-132	Blokeringsfaktorer for vandføringen i tværsnittet øst for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	247
Figur 6-133	Blokeringsfaktorer for vandføringen i Øresundstværsnittet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	247
Figur 6-134	Blokeringsfaktorer for vandføringen i Havneløbet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	248
Figur 6-135	Blokeringsfaktorer for vandføringen i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundsførtet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	248
Figur 6-136	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet vest for Peberholm. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	250
Figur 6-137	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet øst for Peberholm. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	251
Figur 6-138	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i Øresundstværsnittet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	251
Figur 6-139	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i Havneløbet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	252
Figur 6-140	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundsførtet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	252
Figur 6-141	Transport af salt i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	253
Figur 6-142	Transport af salt i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	253
Figur 6-143	Transport af salt i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	254
Figur 6-144	Transport af salt i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	254
Figur 6-145	Transport af salt i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundsførtet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).	254

Figur 6-146	Akkumuleret transport af salt i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).....	255
Figur 6-147	Akkumuleret transport af salt i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).....	255
Figur 6-148	Akkumuleret transport af salt i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).....	256
Figur 6-149	Akkumuleret transport af salt i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).....	256
Figur 6-150	Akkumuleret transport af salt i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavns spidsen og Middelgrundsfortet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).....	256
Figur 6-151	Profilets forløb fra starten af Drogden sejrenden og videre op nord forbi projektområdet.	257
Figur 6-152	Vertikalt profil af saltholdighed i en periode med balance. Øverst: baseline, midt: Hovedforslag 1 og nederst: Hovedforslag 2.	257
Figur 6-153	Vertikalt profil af saltholdighed i en periode med saltvandsindbrud. Øverst: baseline, midt: Hovedforslag 1 og nederst: Hovedforslag 2.	258
Figur 6-154	Vertikalt profil af saltholdighed i en periode med tab af salt. Øverst: baseline, midt: Hovedforslag 1 og nederst: Hovedforslag 2.	258
Figur 6-155	Blokeringsfaktorer for salttransporten i tværsnittet vest for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	260
Figur 6-156	Blokeringsfaktorer for salttransporten i tværsnittet øst for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	260
Figur 6-157	Blokeringsfaktorer for salttransporten i Øresundstværsnittet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	260
Figur 6-158	Blokeringsfaktorer for salttransporten i Havneløbet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.....	261
Figur 6-159	Blokeringsfaktorer for salttransporten i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavns spidsen og Middelgrundsfortet). Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.	261
Figur 6-160	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet vest for Peberholm. Øverst: hovedforslag 1, nederst: hovedforslag 2.	263
Figur 6-161	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet øst for Peberholm. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	263
Figur 6-162	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i Øresundstværsnittet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	264
Figur 6-163	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i Havneløbet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	265
Figur 6-164	Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet mellem Nordhavns spidsen og Middelgrundsfortet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.	266
Figur 6-165	Kølevandsindtaget og udfaldet markeret på satellitbillede, med udformningen af Lynetteholm (Hovedforslag 1) inkluderet.	267
Figur 6-166	Hovedforslag 1. Maksimal overtemperatur over dybden i vinterperioden set i forhold til baseline, vinter (31 dages simulering).	268
Figur 6-167	Hovedforslag 2. Maksimal overtemperatur over dybden i vinterperioden set i forhold til baseline, vinter (31 dages simulering).	269
Figur 6-168	Hovedforslag 1. Maksimal overtemperatur over dybden i sommerperioden set i forhold til baseline, sommer (31 dages simulering).	269
Figur 6-169	Hovedforslag 2. Maksimal overtemperatur over dybden i sommerperioden set i forhold til baseline, sommer (31 dages simulering).	269
Figur 6-170	Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Vinterperiode, 31 dages simulering.	270

Figur 6-171	Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Vinterperiode, 31 dages simulering.	270
Figur 6-172	Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Sommerperiode, 31 dages simulering.	271
Figur 6-173	Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Sommerperiode, 31 dages simulering.	271
Figur 6-174	Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Vinterperiode, 31 dages simulering.	272
Figur 6-175	Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Vinterperiode, 31 dages simulering.	272
Figur 6-176	Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Sommerperiode, 31 dages simulering.	273
Figur 6-177	Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Sommerperiode, 31 dages simulering.	273
Figur 6-178	Tidsserier af overtemperaturforskelle omkring afkast og indtag i vinterperioden set i forhold til baseline.	274
Figur 6-179	Tidsserier af overtemperaturforskelle omkring afkast og indtag i sommerperioden set i forhold til baseline.	274
Figur 6-180	Lynetteholms udstrækning og placering med Hovedforslag 1.	276
Figur 6-181	Lynetteholms udstrækning og placering med Hovedforslag 2.	276
Figur 6-182	Luftfotografi af området nord og syd for Lynetteholmen.	277
Figur 7-1	Endeligt Hovedforslag 1 (venstre side) og Hovedforslag 2 (højre side).	280
Figur 7-2	Nettonedbørs fordelingen i Danmark, ref. /11/.	281
Figur 7-3	Beregnet bruttostrøm for Hovedforslag 1 og identifikation af optimalt udledningspunkt.	287
Figur 7-4	Beregnet bruttostrøm for Hovedforslag 2 og identifikation af optimalt udledningspunkt.	288
Figur 7-5	Diffuser udledningspunkt og Hovedforslag 1 perimeteromrids.	290
Figur 7-6	Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	291
Figur 7-7	Nærbillede visende fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	292
Figur 7-8	Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med maksimumkriterie.	293
Figur 7-9	Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middeldkoncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	294
Figur 7-10	Nærbillede visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middeldkoncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	295
Figur 7-11	Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med det generelle miljøkriterie.	296
Figur 7-12	Diffuser udledningspunkt og Hovedforslag 2 perimeteromrids.	297
Figur 7-13	Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	298
Figur 7-14	Nærbillede af iso-linjer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	299

Figur 7-15	Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med maksimumkriterie.	300
Figur 7-16	Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middelmiddelt koncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	301
Figur 7-17	Nærbillede visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middelmiddelt koncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.	302
Figur 7-18	Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med det generelle miljøkriterie.	303
Figur 7-19	Tilført Total-N fra udledningen fra Lynetteholm, Hovedforslag 2, driftsfasen. Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder	339
Figur 7-20	Deposition af Total-N som funktion af udledning fra Lynetteholm. Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder.	340
Figur 7-21	Kildeplacering for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 ved diffus udledning langs hele den vandomkransede perimeter.	341
Figur 7-22	Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95 % fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 1 langs hele den vandomkransede perimeter.	342
Figur 7-23	Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95% fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 2 langs hele den vandomkransede perimeter.	342
Figur 7-24	Kildeplacering for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 ved diffus udledning langs hele den østlige perimeter.	343
Figur 7-25	Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95 % fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 1 langs den østlige perimeter.	344
Figur 7-26	Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95 % fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 2 langs den østlige perimeter.	344
Figur 7-27	Iso-linjer for fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning af nettonedbør fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 1 langs hele den vandomkransede perimeter.	345
Figur 7-28	Iso-linjer for fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning af nettonedbør fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 2 langs hele den vandomkransede perimeter.	346

TABELLER

Tabel 2-1	Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner for de tre undersøgte graveplaner.	2
Tabel 2-2	Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner for de tre undersøgte graveplaner.	2
Tabel 2-3	Påvirket vandareal angivet som hektar med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf for hver af de tre gravescenarier.	3
Tabel 2-4	Påvirket areal med forurenede aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen for hver af de tre gravescenarier.	4
Tabel 2-5	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen for hver af de tre gravescenarier.	4

Tabel 2-6	Puljer af total N og P samt puljer af biotilgængeligt N og P i opgravet sediment. Mængder er angivet i tons. Sort: Hovedforslag 1. Rød og angivet i parentes: Hovedforslag 2.	5
Tabel 2-7	Puljer af biotilgængeligt N og P frigivet til omgivelserne ved spild på 9% under opgravning af sedimenterne. Mængder er angivet i tons Sort: Hovedforslag 1. Rød og i parentes: Hovedforslag 2.	6
Tabel 2-8	Puljerne af sedimenters akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i hovedforslag 1 og 2.	7
Tabel 2-9	Mængden ved 9% sedimentspild af akkumuleret SOD efter 1, 6,12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i hovedforslag 1 og 2.	7
Tabel 4-1	Årlig udledte kølevandsmængde og tilhørende termiske udledning fra Amagerværket i perioden 2010-16.	23
Tabel 5-1	Estimerede gravevolumener for Hovedforslag 1 opdelt på sektioner og forureningsgrad.	26
Tabel 5-2	Gravemængder for Hovedforslag 1 omregnet til tørstofs masse.	26
Tabel 5-3	Estimerede gravevolumener for Hovedforslag 2 opdelt på sektioner og forureningsgrad.	27
Tabel 5-4	Gravemængder for Hovedforslag 2 omregnet til tørstofs masse.	28
Tabel 5-5	Estimerede gravevolumener for hovedforslag 2 med afskærmet afgravning af ØP3.1, ØP2.1 og ØP1.1.	29
Tabel 5-6	Gravevolumener for hovedforslag 2 med afskærmet afgravning af ØP3.1, ØP2.1 og ØP1.1 omregnet til tørstofmasse.	29
Tabel 5-7	Gravematerialets finkornede sammensætning langs de tre perimetersektioner. ...	31
Tabel 5-8	Anvendte faldhastigheder for de tre sedimentfraktioner anvendt i gravespildsscenerier.	33
Tabel 5-9	Antagelser omkring gravespild.	34
Tabel 5-10	Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.	35
Tabel 5-11	Gravespildsmængder for det ikke-forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.	35
Tabel 5-12	Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner.	35
Tabel 5-13	Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.	36
Tabel 5-14	Gravespildsmængder for det ikke-forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.	36
Tabel 5-15	Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner.	36
Tabel 5-16	Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.	37
Tabel 5-17	Gravespildsmængder for det ikke-forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.	37
Tabel 5-18	Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner.	37
Tabel 5-19	Varighed af gravearbejder i de udførte modelsimuleringer.	39
Tabel 5-20	Påvirket vandareal angivet som hektar med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.	44
Tabel 5-21	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.	45
Tabel 5-22	Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.	49
Tabel 5-23	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.	50
Tabel 5-24	Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.	55
Tabel 5-25	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.	56
Tabel 5-26	Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.	60
Tabel 5-27	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.	61
Tabel 5-28	Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.	65
Tabel 5-29	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.	66

Tabel 5-30	Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.	70
Tabel 5-31	Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.	71
Tabel 5-32	Tungmetalanalyser i sedimenterne ved Lynetteholm, som skal afgraves /21/.	72
Tabel 5-33	Tungmetalanalyser for sedimenter fra Middelgrunden, samt grænseværdier fra DK lovgivning, HELCOM og NOAA /19/.	73
Tabel 5-34	Miljøkvalitetskrav for tungmetaller fastlagt i Bek. 1625 gældende for overfladevand for bly, cadmium, kobber, kviksølv og zink og for HELCOM /22/, samt målinger i vandsøjlen fra Lynetteholmen /24/.	73
Tabel 5-35	Fordelingskoefficienter i sediment (K _p -sediment, l/kg) og vandfasen (K _p -susp, l/kg).	75
Tabel 5-36	Relative O/V forhold, der beskriver fordelingen af tungmetaller ud fra diameter.	75
Tabel 5-37	Spildevaternes gennemsnitlige fordeling mellem de tre størrelsesfraktioner.	75
Tabel 5-38	H1: Oversigt over frigjort kobber samt opgørelse over, hvor det frigjorte kobber ender efter gravearbejdet.	79
Tabel 5-39	H1: Oversigt over frigjort kviksølv , samt opgørelse over, hvor det frigjorte kviksølv ender efter gravearbejdet.	82
Tabel 5-40	Oversigt over frigjort zink, samt opgørelse over, hvor det frigjorte zink ender efter gravearbejdet.	85
Tabel 5-41	Oversigt over frigjort bly, samt opgørelse over, hvor det frigjorte bly ender efter gravearbejdet.	88
Tabel 5-42	Oversigt over frigjort cadmium, samt opgørelse over, hvor det frigjorte cadmium ender efter gravearbejdet.	90
Tabel 5-43	HF2: Oversigt over frigjort kobber samt opgørelse over, hvor det frigjorte kobber ender efter gravearbejdet.	91
Tabel 5-44	HF2: Oversigt over frigjort kviksølv , samt opgørelse over, hvor det frigjorte kviksølv ender efter gravearbejdet.	94
Tabel 5-45	Oversigt over frigjort zink, samt opgørelse over, hvor det frigjorte zink ender efter gravearbejdet.	97
Tabel 5-46	Oversigt over frigjort bly, samt opgørelse over, hvor det frigjorte bly ender efter gravearbejdet.	100
Tabel 5-47	Oversigt over frigjort cadmium, samt opgørelse over, hvor det frigjorte cadmium ender efter gravearbejdet.	102
Tabel 5-48	HF2A: Oversigt over frigjort kobber samt opgørelse over, hvor det frigjorte kobber ender efter gravearbejdet.	103
Tabel 5-49	HF2: Oversigt over frigjort kviksølv , samt opgørelse over, hvor det frigjorte kviksølv ender efter gravearbejdet.	106
Tabel 5-50	HF2A: Oversigt over frigjort zink , samt opgørelse over, hvor det frigjorte zink ender efter gravearbejdet.	109
Tabel 5-51	Oversigt over frigjort bly, samt opgørelse over, hvor det frigjorte bly ender efter gravearbejdet.	112
Tabel 5-52	Oversigt over frigjort cadmium, samt opgørelse over, hvor det frigjorte cadmium ender efter gravearbejdet.	113
Tabel 5-53	Samlet oversigt over spilmængder for kobber, kviksølv, zink, bly og cadmium, samt hvordan disse fordeler sig til sediment og til vandfasen. Desuden sammenligning mellem Hovedforslag 1 og 2 samt Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 med afskærmning.	115
Tabel 5-54	Oversigt over arealer, der modtager fra 1 mm til 10 mm sediment, antal kg/på arealet, arealbelastning i mg/m ² og sidst mg/kg tørstof, som er reduceret, svarende til 3,5 gange for overlejring af uforurenat sediment.	117
Tabel 5-55	25 % percentil af de målte koncentrationer i 2 m dybde fra COWI's undersøgelser af Lynetteområdet og brugt for de dybereliggende sedimenter.	118
Tabel 5-56	Målte sedimentkoncentrationer på NOVANA stationen KBHLYN.	118
Tabel 5-57	Opsummering af sediment- og vandsøjle ændringer.	122
Tabel 5-58	Mængder (ton) af TOC, TN og TP i forurenat (FJ) og uforurenat jord (RJ) fordelt på graveområder, se Figur 5-1, i Hovedforslag 1.	126

Tabel 5-59	Mængder (ton) af TOC, TN og TP i forurennet (FJ) og ren jord (RJ) fordelt på graveområder, se Figur 5-2 i Hovedforslag 2.	127
Tabel 5-60	Sedimentets biotilgængeligt N som % af sedimentets TN (bio-N) efter 6-24 timer og 12,5 til 28 døgn.	130
Tabel 5-61	Sedimentets biotilgængeligt P som % af sedimentets TP (bio-P) efter 6-24 timer og 12,5 til 28 døgn under iltede og iltfrie forhold.	130
Tabel 5-62	Puljer i opgravede sedimenter af biotilgængeligt N og P efter hhv. 6-24 timer og 12,5-28 døgn fordelt på hovedforslag, samt iltforhold.	130
Tabel 5-63	Puljer af biotilgængeligt opløst N i sedimenterne fordelt på graveområder, Hovedforslag 1. FJ: Forurennet jord, RJ: Ren jord.	131
Tabel 5-64	Puljer af biotilgængeligt opløst N i sedimenterne fordelt på graveområder, Hovedforslag 2. FJ: Forurennet jord, RJ: Ren jord.	132
Tabel 5-65	Puljer af biotilgængeligt opløst P i forurennet sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 1. FJ: Forurennet jord.	132
Tabel 5-66	Puljer af biotilgængeligt opløst P i rene sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 1. RJ: Ren jord.	133
Tabel 5-67	Puljer af biotilgængeligt opløst P i forurennet sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 2. FJ: Forurennet jord.	134
Tabel 5-68	Puljer af biotilgængeligt opløst P i rene sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 2. RJ: Ren jord.	134
Tabel 5-69	Frigivelse af biotilgængeligt N og P fra spildt sediment under gravearbejdet for hovedforslag 1 og 2.	136
Tabel 5-70	Mængden af de opgravede sedimenters akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.	137
Tabel 5-71	Mængden af opgravede sedimenternes akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i forurennet jord (FJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 1.	137
Tabel 5-72	Mængden af opgravede sedimenternes akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i ren jord (RJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 1.	138
Tabel 5-73	Opgravede sedimenternes basale respirationsrate efter 24 og 120 timer i forurennet (FJ) og ren jord (RJ) fordelt på graveområder, Hovedforslag 1.	138
Tabel 5-74	Mængden af opgravede sedimenters akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i forurennet jord (FJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 2.	139
Tabel 5-75	Mængden af opgravedes akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i ren jord (RJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 2.	140
Tabel 5-76	Opgravede sedimenternes basale respirationsrate efter 24 og 120 timer i forurennet (FJ) og ren jord (RJ) fordelt på graveområder, Hovedforslag 2.	140
Tabel 5-77	Mængden af "spildte" sedimenters akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.	141
Tabel 5-78	Puljer af total N og P samt puljer af biotilgængeligt N og P i opgravet sediment. Mængder er angivet i tons. Sort: Hovedforslag 1. Rød og angivet i parentes: Hovedforslag 2.	142
Tabel 5-79	Puljer af biotilgængeligt N og P frigivet til omgivelserne ved spild på 9% under opgravning af sedimenterne. Mængder er angivet i tons. Sort: Hovedforslag 1. Rød og i parentes: Hovedforslag 2.	143
Tabel 5-80	Puljerne af sedimenters akkumulerede SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer, samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.	143
Tabel 5-81	Mængden ved 9% sedimentspild af akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.	144
Tabel 6-1	Middelbølgeretninger og 12-timers signifikante bølgehøjder i de udvalgte punkter.	230
Tabel 6-2	Middelbølgeretninger og 12-timers signifikante bølgehøjder i de udvalgte punkter.	239
Tabel 6-3	Årsmidlet bruttovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning uden kystlandskab (Hovedforslag 1).	243

Tabel 6-4	Årsmidlet bruttovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning med kystlandskab (hovedforslag 2).	243
Tabel 6-5	Nettovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning uden et kystlandskab (Hovedforslag 1).	246
Tabel 6-6	Nettovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning med et kystlandskab (Hovedforslag 2).	246
Tabel 6-7	Hovedforslag 1: Estimerede blokeringsfaktorer for vandføring i udvalgte tværsnit. Positive værdier angiver en øget dynamik, mens negative værdier er udtryk for en svækket dynamik.	248
Tabel 6-8	Hovedforslag 2: Estimerede blokeringsfaktorer for vandføring i udvalgte tværsnit. Positive værdier angiver en øget dynamik, mens negative værdier er udtryk for en svækket dynamik.	249
Tabel 6-9	Nettotransport af salt og påvirkning heraf for eksisterende forhold og en Hovedforslag 1 udbygning.	259
Tabel 6-10	Nettotransport af salt og påvirkning heraf for eksisterende forhold og en Hovedforslag 2 udbygning.	259
Tabel 6-11	Hovedforslag 1: Estimerede blokeringsfaktorer for transport af salt i udvalgte tværsnit.	261
Tabel 6-12	Hovedforslag 2: Estimerede blokeringsfaktorer for transport af salt i udvalgte tværsnit.	262
Tabel 6-13	Benyttede antagelser for den modellerede kølevandskapacitet.	266
Tabel 6-14	Termisk udledning fra Amagerværket i årene 2010-samt 2016, ref. /8/ og ref. /9/.	267
Tabel 7-1	Forventede ifyldningsmængder fra 2024 og frem.	279
Tabel 7-2	Arealer og jordvolumener for endelige projektforslag.	281
Tabel 7-3	Hovedforslag 1: Udledningsbidrag via punktkilde år 2023.	282
Tabel 7-4	Hovedforslag 1: Udledningsbidrag via punktkilde år 2024 og frem.	282
Tabel 7-5	Hovedforslag 2: Udledningsbidrag via punktkilde år 2023.	282
Tabel 7-6	Hovedforslag 2: Udledningsbidrag via punktkilde år 2024 og frem.	282
Tabel 7-7	Hovedforslag 2: Udledningsbidrag til beregning af akkumulerede bidrag.	283
Tabel 7-8	Tabel over øvre detektionsgrænse, minimum, gennemsnits- og maksimum værdier fra udløbskontrollen af stofkoncentration i perioden 29/6-2012 – 18/3-2020.	284
Tabel 7-9	De beregnede forholdstal mellem total og opløst stofkoncentration, Ref. /43/.	286
Tabel 7-10	Mindste fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 1 for maksimumkriterie.	293
Tabel 7-11	Mindste fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 1 for det generelle miljøkriterie.	296
Tabel 7-12	Mindste fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 2 for maksimumkriterie.	300
Tabel 7-13	Fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 2 for det generelle miljøkriterie.	303
Tabel 7-14	Udledningstal fra Nordhavnsdeponi, generelt miljøkrav (GK) og krav til maksimum-koncentration (MK) for alle stoffer, hvor der er defineret et miljøkrav i BK. 1625. Grøn markering betyder at udløbskoncentrationerne er under krav-grænserne.	304
Tabel 7-15	Oversigt over alle stoffer, der potentielt har krav om en opblandingszone og som derfor er vurderet som udgørende en risiko ved udledning. Tabellen er delt i en med miljøfremmede stoffer og en med tungmetaller. Hvis der ikke er fundet oplysninger om IFF og baggrundskoncentrationer er der anvendt 50% eller 100 % af detektionsgrænsen. Tabellen er baseret på udledningsforholdene i Hovedforslag 2 og målte udledningskoncentrationer ved KMC Nordhavn.	307
Tabel 7-16	Oversigt over ansøgte udledningskoncentrationer . Tabellen er delt i en med miljøfremmede stoffer og en med tungmetaller.	309
Tabel 7-17	Fortyndingsfaktorer i forhold til afstand og udledningsmængder. GK: Generelt miljøkriterie, MK: Maksimum miljøkriterie.	312
Tabel 7-18	Miljøkvalitetskrav for biota, samt målte IFF-koncentrationer fra NOVANA station KBHLYN. Der er anvendt en fortyndingsgrad på 13,5 gange 1 m fra udledning og 448 gange i 50 m afstand fra udledningen.	335

Tabel 7-19	Udvikling i Total-N og Nitrit/nitrat koncentrationer i hhv. KMC-depotet og på NOVANA stationen Sydlige Øresund i 5-års intervaller.....	338
Tabel 7-20	Udledte mængder af Total-N og Nitrit/nitrat ved henholdsvis 101,0 l/s og 67,7 l/s.	339

BILAG

BILAG A – Hydrodynamisk model Modelkalibrering

BILAG B – Biotilgængeligt N og P

BILAG C – Suspenderede sedimenternes iltforbrug

1 Indledning

Som et led i VVM-processen for etablering af Lynetteholmen, en opfyldning som planlægges mellem Nordhavn og Refshaleøen, er der udarbejdet 4 tekniske baggrundsrapporter, som dokumenterer de undersøgelser og beregninger, der ligger til grund for vurderingerne af anlæggets virkninger på miljøet. Nærværende rapport udgør baggrundsrapport nummer 1, og har sit hovedfokus på de hydrauliske påvirkninger af projektet, samt forhold omkring udledning og opblanding af overskudsvand fra nyttiggørelsesområdet og de herved udledte miljøgifte i anlægsfasen og driftsfasen. Endvidere indeholder rapporten en beskrivelse af påvirkninger fra gravespild i forbindelse med bundudskiftningen af det gytjeholdigt sediment der forefindes langs hele den ydre perimeter. Bundudskiftningen er nødvendig for at sikre tilstrækkelig bæreevne.

Baggrundsrapport 2 beskriver emner relateret til vandkvalitet, med fokus på forekomster af tang, badevandskvalitet og generel vandkvalitet. Den tredje baggrundsrapport har sit fokus på designparametre for konstruktion af den ydre perimeter, samt effekter fremkaldt af forventede fremtidige havspejlsstigninger.

De første tre rapporter er alle baseret på en variant af de to endelige hovedforslag, men afvigelsen i forhold til de endelige designs er lille og har kun en helt lokal betydning for de hydrauliske forhold. Baggrundsrapport nummer 4 sammenligner de undersøgte og endelige designs, for at dokumentere at den mindre ændring af knækket i tragten mellem Nordhavnen og Lynetteholm kun har en helt lokal betydning for de hydrauliske forhold, og at de tre tekniske baggrundsrapporter derfor er dækkende for at vurdere de i VVM-sammenhæng afledte påvirkninger af projektet og dets endelige design.

2 Sammenfatning

I denne rapport er der set på de hydrauliske effekter, som de to hovedforslag for Lynetteholmpfyldningen afstedkommer i henholdsvis anlægsfasen og driftsfasen. Helt grundlæggende er der kun mindre forskelle på effekterne af de to hovedforslag, så en række af de oplistede påvirkninger er fælles for dem begge.

2.1 Påvirkninger i anlægsfasen

I forbindelse med anlæggelsen af Lynetteholm vil det være nødvendigt at foretage en bundudskiftning af gytjelag langs den ydre perimeter for at sikre tilstrækkelig geoteknisk stabilitet af de beskyttende konstruktioner. Bundudskiftningen indebærer at der vil komme et større gravespild og en sedimentspredning væk fra området. Det øvre sedimentlag er forurenet med en række tungmetaller og organiske stoffer, som vil spredes med sedimentet og i nogen grad også frigives til vandfasen. Ligeledes vil der frigives N (kvælstof) og P (fosfor) i forbindelse med gravearbejdet.

Spredning og påvirkning af gravespild

Der er undersøgt tre graveplaner for bundudskiftningen af de to definerede endelige hovedforslag. Den ene graveplan knytter sig til Hovedforslag 1, mens Hovedforslag 2 har en variant, hvor dele af bundudskiftningen er foretaget afskærmet og derfor ikke vil føre til et gravespild uden for perimeteren. Da graveplanerne både indeholder afgravning af en forurenede del og en ikke-forurenede del, er der ligeledes gennemført modelsimuleringer af gravescenarierne, hvor der kun ses på den forurenede del. Under de gjorte forudsætninger for gravearbejdet udgør det forventede finkornede gravespild af størrelsesorden 4% af den samlede gravemasse. I Tabel 2-1 er gravespildsmængderne af den forurenede del opgivet for de tre gravescenarier. Ydermere er mængderne opdelt på fraktionsniveau. Det ses, at mængderne er lidt større for Hovedforslag 2, men at der er muligt at nedbringe spildet til samme niveau som for Hovedforslag 1 ved at benytte en delvis afskærmet afgravning.

Tabel 2-1 Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner for de tre undersøgte graveplaner.

Gravescenarie	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
HF1 FJ	627	4.927	4.593	10.146
HF2 FJ	764	6.290	5.273	12.327
HF2a FJ	639	5.041	4.363	10.042

Det tilsvarende gør sig gældende når der ses på de samlede gravemængder af både forurenede og ikke-forurenede bundsediment, jf. Tabel 2-2. Her ender den samlede mængde med den afskærmede afgravning en anelse under mængden for Hovedforslag 1.

Tabel 2-2 Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner for de tre undersøgte graveplaner.

Gravescenarie	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
HF1	2.759	23.339	20.111	46.209
HF2	3.412	29.829	23.037	56.277
HF2a	2.787	23.580	18.485	44.851

Som følge af de store gravemængder vil der være en længerevarende periode med en omfattende sedimentfane. Sedimentfanens udstrækning og varighed defineret med udgangspunkt i en dybdemidlet sedimentkoncentration er angivet i Tabel 2-3 for hver af de tre gravescenarier. Da mængderne er størst for Hovedforslag 2 er påvirkningen umiddelbart størst for dette forslag, men som det fremgår af tabellen vil man med en afskærmet afgravning kunne opnå samme påvirkning som for Hovedforslag 1.

Tabel 2-3 Påvirket vandareal angivet som hektar med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf for hver af de tre gravescenarier.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	> 12 timer	> 24 timer	> 48 timer	> 1 uge	> 2 uger
HF1: > 2 mg/l	3.861	2.740	1.873	865	500
HF2: > 2 mg/l	3.392	2.364	1.693	964	642
HF2a: > 2 mg/l	3.720	2.580	1.719	866	488
HF1: > 5 mg/l	1.073	835	673	242	22
HF2: > 5 mg/l	1.091	881	726	347	92
HF2a: > 5 mg/l	1.030	828	673	208	32
HF1: > 10 mg/l	587	419	259	29	3
HF2: > 10 mg/l	650	510	333	68	5
HF2a: > 10 mg/l	560	424	254	25	4
HF1: > 15 mg/l	331	213	132	9,3	1,2
HF2: > 15 mg/l	410	288	183	15	0,7
HF2a: > 15 mg/l	340	220	117	7	1,2

Ovenstående tabelværdier er fundet ud fra en antagelse om at der arbejdes 24/7, hvilket ikke vil ske i praksis. Når der arbejdes med en graveplan, hvor der er længerevarende driftsstop, vil der ske en hurtigere fortynding, idet der ikke kontinuert spildes sediment. Ovenstående varigheder må derfor være at betragte som konservative i forhold til den praktiske udførelse, hvor der kan være sat begrænsninger på tidsrummet, hvor der må arbejdes.

Gravespildet vil spredes og aflejres i takt med at der opstår tilstrækkelige rolige strømforhold i området, i hvilke sedimentet ikke kan opretholdes i opslæmning og derved udfældes/sedimenteres. Estimerede aflejringstykkelser for spredningen af den forurenede del er angivet for de tre gravescenarier i Tabel 2-4. Tilsvarende tal er angivet i Tabel 2-5 for de samlede gravemængder. De estimerede aflejringstykkelser er fastlagt ud fra en antagelse om at det aflejrede sediment har en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er en repræsentativ værdi for tynde aflejringer af meget finkornet sediment med en alder af størrelsesordenen 1-6 måneder. En del af det finkornede gravespild vil aflejres indenfor Lynetteholms perimeter. Gravespildssimuleringerne har fundet at typisk 16-17 % af den finkornede del af gravespildet vil aflejres indenfor perimeteren. Tabellerne viser, at der vil være en større påvirkning med Hovedforslag 2, men at påvirkningen kan bringes på

niveau med Hovedforslag 1, såfremt der benyttes en afskærmet afgravning i tre delområder.

Tabel 2-4 Påvirket areal med forurenede aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen for hver af de tre gravescenarier.

Areal med aflejring [ha]	Aflejringstykkelser [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
HF1: Totalt påvirket areal	263	87	16	4,5	0,3	0,0
HF1: Udenfor perimeter	137	27	2,7	0,8	0,0	0,0
HF2: Totalt påvirket areal	332	130	25	3,3	0,1	0,0
HF2: Udenfor perimeter	183	46	5,5	1,2	0,0	0,0
HF2a: Totalt påvirket areal	259	85	19	4,2	0,8	0,0
HF2a: Udenfor perimeter	138	26	4	0,8	0,0	0,0

Tabel 2-5 Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen for hver af de tre gravescenarier.

Areal med aflejring [ha]	Aflejringstykkelser [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
HF1: Totalt påvirket areal	1.581	612	236	62	14,5	1,35
HF1: Udenfor perimeter	1.309	351	104	16,3	2,62	0,04
HF2: Totalt påvirket areal	2.070	798	409	113	25	2,8
HF2: Udenfor perimeter	1.789	521	166	31	5,1	0,23
HF2a: Totalt påvirket areal	1.559	585	232	65	14	2,1
HF2a: Udenfor perimeter	1.294	329	94	16	2,8	0,23

Spredning af tungmetaller og organiske miljøgifte

Gravearbejderne vil medføre frigivelse af en række tungmetaller. I denne rapport er der set på kobber, kviksølv, zink, bly og cadmium. Alle metaller findes i høje koncentrationer i havnens sedimenter, herunder også i de sedimenter, der skal bortgraves.

Koncentrationerne af de udledte metaller i hhv. sedimentet og i vandfasen er sammenlignet med målte baggrundsdata fra Lynetteområdet og andre undersøgelser. Koncentrationerne er også holdt op mod de krav og anbefalinger, som findes i litteraturen.

Når gravearbejderne for både fjernelse af det forurenede sediment (ca 0-2 m dybde) og det underliggende sediment er afsluttet, vil områder, der påvies af sedimentation fra anlægsarbejderne have modtaget ca 20-25% sediment fra den forurenede del og 75-80% fra det underliggende, svagt forurenede sediment. Samlet set vil kobber øges med ca 10%, kviksølv med ca 400% og cadmium med ca 170 %. For zink vil der ske en reduktion i arealbelastningen med ca 14 % og bly vil blive reduceret med ca 52 %. Disse ændringer

skyldes som nævnt koncentrationer i de to forskellige jordtyper, der graves i. For de tre første metaller er belastningen i de dybere liggende lag ikke meget forskellige fra de forurenede lag, mens belastningerne for de to andre metaller er langt mindre i de dybereliggende lag, hvorfor de "fortynder" den arealmæssige belastning. For alle 5 metaller gælder det dog, at ingen kommer over anbefalede grænseværdier.

For koncentrationerne i vandfasen tæt på ved graveområdet er der overskridelser af de forskellige lovgivningsmæssige krav i en periode på mellem 0-12 dage under selve gravearbejdet, mens alle koncentrationer i de samme områder er under kravene få timer efter afslutning af gravearbejderne. De fraktioner af metallerne, der frigives til selve vandsøjlen, og som ikke fra starten er knyttet til partikler, vil gradvist blive knyttet til partikler og derved sedimentere ud i Øresundsområdet eller længere væk, men i ganske små mængder pr arealenhed.

Det er vigtigt at tilføje, at undersøgelserne af tungmetaller i sediment og vandsøjle er gennemført for det scenarie, hvor alene de øverste forurenede lag afgraves. De efterfølgende afgravninger af lavt- eller ikke-forurenet jord er ikke medtaget direkte i vurderingerne, men vil medføre, at de områder, der vil blive påvirket af sedimentering af tungmetaller fra afgravning af de forurenede sedimenter, også vil blive påvirket af en aflejring fra de ikke forurenede sedimenter, som er 3-4 gange større. Der sker således en "fortynding" af koncentrationen af tungmetaller i de øverste ny-sedimenterede lag, når man ser på belastningen pr kg tørstof.

Frigivelse af N og P i forbindelse med gravespild

Gravearbejderne ved Lynetteholm vil frigive næringssalte og iltforbrugende stoffer. Puljerne af total N og P i de opgravede sedimenter er på 2.710 ton N og 938 ton P i Hovedforslag 1 og 3.188 ton N og 1.050 ton P i Hovedforslag 2. En væsentlig del af dette N og P vil dog ikke være biotilgængeligt. Biotilgængeligheden er bestemt ud fra frigivelse af N og P fra sediment i suspensionsforsøg foretaget over længere tid (12-30 døgn), fra andre undersøgelser viser datamaterialet, at der op til 24 timer efter frigives 2,4 % af TN og efter 28 døgn frigives 9,1 % af TN. Frigivelsen af N og P efter 12-30 døgn er lille hvorfor den biotilgængelige N og P pulje defineres som den mængde N og P der frigives i opløst form i sedimentsuspensionen efter 12-30 døgn.

Frigivelsen af fosfor er afhængig af iltforholdene, idet sedimentets jern binder PO_4 , når jernet er på oxideret form. Under opgravningen vil det spildte sediment blive udsat for ilt og jernet i sedimentet vil blive oxideret, hvorved PO_4 bindes til jernet. Det oxiderede jern- PO_4 vil typisk befinde sig på partikulær form og føres væk med strømmen og senere sedimentere. Når jern-ionen reduceres, vil PO_4 frigives til vandet. Den biotilgængelige P pulje efter 6-24 timer under iltede og iltfrie forhold er estimeret til hhv. 0,5% og 1,1%, efter 12,5 til 28 døgn frigives 5,1 % af sedimentets TP-pulje under iltfrie forhold. Tabel 2-6 viser resultaterne af total P og N samt de biotilgængelige puljer af N og P efter 6-24 timer og 12,5-28 døgn præsenteret.

Tabel 2-6 Puljer af total N og P samt puljer af biotilgængeligt N og P i opgravet sediment. Mængder er angivet i tons. Sort: Hovedforslag 1. Rød og angivet i parentes: Hovedforslag 2.

Puljer af N eller P	Mængde i forurenet jord	Mængde i ren jord	Mængde Total
Total N	597 (795)	2.113 (2.393)	2.710 (3.188)
Total P	246 (272)	692 (778)	938 (1.050)
Biotilgængelig N, efter 6-24 h	14 (19)	50 (56)	65 (76)

Biotilgængelig N, efter 12,5-28 døgn	55 (73)	193 (218)	248 (291)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltede forhold	1,3 (1,5)	3,8 (4,2)	5,1 (5,7)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltfrie forhold	2,7 (3,0)	7,5 (8,4)	10,2 (11,4)
Biotilgængelig P, efter 12,5-28 døgn iltfrie forhold	12,6 (13,9)	35,3 (39,7)	47,9 (53,6)

Antages det, at der under opgravningen af sedimenterne spildes 9% af de biotilgængelige N og P puljer til omgivelserne, vil der de første 24 timer hhv. spildes 5,85 ton N og 6,75 ton N i hovedforslag 1 og 2. I samme tidsperiode vil der hhv. spildes 0,92 ton og 1,02 ton biotilgængeligt P i Hovedforslag 1 og 2. Over 12,5-28 døgn spildes 22,35 ton og 26,25 ton biotilgængeligt N i hovedforslag 1 og 2, og over samme periode spildes 4,31 ton og 4,38 ton biotilgængeligt P, se Tabel 2-7.

Spildet af biotilgængeligt N og P under selve opgravningen er begrænset og vil næppe påvirke miljøet negativt, men det tages der stilling til i VVM-redegørelsen.

Tabel 2-7 Puljer af biotilgængeligt N og P frigivet til omgivelserne ved spild på 9% under **opgravning** af sedimenterne. Mængder er angivet i tons Sort: Hovedforslag 1. Rød og i parentes: Hovedforslag 2.

Tidshorisont for spild	Biotilgængeligt N eller P i forurenet jord	Biotilgængeligt N eller P i ren jord	Biotilgængeligt N eller P, total
Biotilgængelig N, efter 6-24 h	1,26 (1,71)	4,50 (5,04)	5,85 (6,75)
Biotilgængelig N, efter 12,5-28 døgn	4,95 (6,57)	17,37 (19,62)	22,35 (26,25)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltede forhold	0,12 (0,14)	0,35 (0,38)	0,47 (0,51)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltfrie forhold	0,26 (0,27)	0,68 (0,75)	0,92 (1,02)
Biotilgængelig P, efter 12,5-28 døgn iltfrie forhold	1,14 (1,25)	3,18 (3,57)	4,31 (4,83)

Frigivelse af iltforbrug i forbindelse med gravearbejdet

Lynetteholms gravearbejder vil frigive stoffer, der vil udløse et umiddelbart iltforbrug. Puljen af iltforbrug er bestemt ud fra forsøg med sediment i forbindelse med VVM-undersøgelser af Grådybets sejlrende, Storebæltsforbindelsen og Femern Bælt forbindelsen.

I Tabel 2-8 er sedimentets puljer af akkumuleret iltforbrug (SOD) efter hhv. 1, 6, 12 og 24 timer opgjort. SOD efter 24 timer forventes at være partikelbundet, hvorimod SOD efter 1 time skyldes oxidering af opløste forbindelser, typisk sulfider. Imellem 1-24 timer vil det være en blanding af opløst og partikelbundet SOD. Det spildte sediment vil stadig have et iltforbrug, som reduceres over tid kaldet basal respiration. I Tabel 2-8 er angivet den basale respiration efter 24 og 120 timer.

Tabel 2-8 Puljerne af sedimenters akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i hovedforslag 1 og 2.

Hovedforslag	Akkumuleret SOD 1 t (ton O ₂)	Akkumuleret SOD 6 t (ton O ₂)	Akkumuleret SOD 12 t (ton O ₂)	Akkumuleret SOD 24 t (ton O ₂)	Basal RESP efter 24 t (ton O ₂ / døgn)	Basal RESP efter 120 t (ton O ₂ / døgn)
1	193	512	774	1.196	630	315
2	264	697	1.051	1.620	857	429

Antages det, at der under opgravningen spildes 9%, vil SOD over 24 timer hhv. udgøre 107,7 og 145,8 ton ilt for hovedforslag 1 og 2. De basale respirationer vil efter 120 timer være reduceret til 28,4 og 28,6 ton ilt pr døgn i hovedforslag 1 og 2, se Tabel 2-9.

Tabel 2-9 Mængden ved 9% sedimentspild af akkumuleret SOD efter 1, 6,12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i hovedforslag 1 og 2.

Hovedforslag	Akkumuleret SOD 1 t (ton O ₂)	Akkumuleret SOD 6 t (ton O ₂)	Akkumuleret SOD 12 t (ton O ₂)	Akkumuleret SOD 24 t (ton O ₂)	Basal RESP efter 24 t (ton O ₂ / døgn)	Basal RESP efter 120 t (ton O ₂ / døgn)
1	17,7	46,1	69,6	107,7	56,7	28,4
2	23,7	62,7	94,7	145,8	77,1	38,6

Hvis disse mængder af SOD og basal respiration spredes tilstrækkeligt med strømmen, vurderes iltforbruget ikke at udgøre et problem for miljøet.

Dette skal dog tages med det forbehold, at der ikke er foretaget en egentlig spredningsberegning af iltforbruget samt, at dette ekstra iltforbrug ikke er koblet sammen med det eksisterende iltforbrug, som der er i systemet.

2.2 Påvirkninger i driftsfasen

Lokal påvirkning af vandstands niveauer (højvande, middel og lavvande)

Lynetteholmopfyldningen er tiltænkt at udgøre et væsentligt strukturelt element i den fremtidige stormflodsikring af København. Selve opfyldningen afstedkommer dog påvirkninger af vandstands niveauerne i havneløbet under stormflodshændelser, som må forventes at blive forøget med nogle få centimeter i forhold til i dag. Forøgelsen af niveauerne indebærer at behovet for en stormflodsport vil indtræde lidt tidligere end ved baseline forhold.

På middelvandstands niveauet kan der ikke identificeres nogen påvirkning.

I situationer med ekstremt lavvande er der en tendens til at vandstands niveauerne kan blive 3-5 cm lavere inde i Havneløbet og helt op til 7 cm i dele af tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm.

En effekt af Lynetteholm er derfor at der vil kunne opleves lidt større vandstandsvariationer inde i havneløbet. Effekterne aftager i retning mod sydvest, men kan mærkes helt frem til stigsbordene i Sydhavnen.

Lokal påvirkning af strømforhold

Lynetteholmpfyldningen har en væsentlig påvirkning på de lokale strømningsforhold. Opfyldningen lukker både Lynetteløbet og det meste af Kongedybet. Vandet fra/til Havneløbet skal derfor igennem Kronløbet og ligeledes skal strømmingen fra Kongedybet ledes øst om opfyldningen. Strømmingen i Kongedybet svækkes markant og ledes i stedet hen over Middelgrunden og via Hollænderdybet øst for. Strømforholdene nord for Nordhavns-opfyldningen påvirkes også. Hvor der i dag er kraftig strøm i området, ledes vandet som følge af Lynetteholm opfyldningen i stedet mere østpå. Der vil derfor være væsentlig mindre påvirkning fra tværstrøm ved indsejlingen til den planlagte containerkaj langs den nordlige kaj af Nordhavnsopfyldningen. Ligeledes afskærmes der et område mellem Trekroner og Lynetteholm, hvor strømforholdene svækkes.

Ved kraftig sydgående strøm er der påvirkninger af overfladestrømmen 5 km væk fra den østlige perimeter i retning mod øst, mens påvirkningen langs med kysten kan mærkes fra Nordhavns spidsen og ned til Peberholm, hvor Øresundstunnelen krydser, dvs. over en 17 km lang strækning.

Ved kraftig nordgående strøm er der påvirkninger af overfladestrømmen 7 km væk fra den østlige perimeter i retning mod øst, mens påvirkningen langs med kysten kan mærkes i farvandet ud for Amager Strandpark og helt op forbi Tårnbæk Havn, dvs. over en 13 km lang strækning.

I tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm bliver overfladestrømmen væsentlig forstærket i den inderste del, hvor strømningstværsnittet er smallest. En del af strømforstærkningen relaterer til densitetsdreven strømcirkulation, men også at der ikke længere er udveksling med både Kronløbet og Lynetteløbet.

Lokal påvirkning af vandtemperatur

Opfyldningen ændrer de lokale strømningsforhold. Disse ændringer indebærer at vandets opholdstid stiger i Kongedybet, i dele af tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn, i området øst for Trekroner og i idvandszonen (Svanemøllebugten) nord og vest for Nordhavn. Omvendt falder den henover Middelgrunden øst for opfyldningen, som følge af en strømforstærkning. I sommerhalvåret forøges effekten af solindstråling i områder med forøget opholdstid, hvorved vandet vil blive varmere end i dag. I disse områder er det fundet at de maksimale vandtemperaturer typisk vil være forøget med om mod 1 °C. I området øst for opfyldningen er der en tendens til at de maksimale vandtemperaturer kan blive op mod 1 °C køligere. I hovedforslag 2 er der en tendens til at de maksimale vandtemperaturer bliver lidt højere ved den nordligst strand, mens den maksimale vandtemperatur bliver lidt mindre ved de to sydlige strande.

I vinterhalvåret medfører den lokalt forøgede opholdstid, at der vil være en lidt forøget varmeafgivelse til verdensrummet. I tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm, samt på strækningen af Havneløbet ned til området ved Operaen og Kvæsthusbroen er der en tendens til at minimumtemperaturerne bliver op mod 1 °C køligere end i dag. Der vil derfor være en forøget risiko for isdannelse i dette område. Der ses også et mindre temperaturfald i Svanemøllebugten vest og nord for Nordhavnen. Ligeledes er der et mindre temperaturfald øst for opfyldningen. I området helt tæt på Nordhavnsopfyldningen (nord og vest herfor) er minimumtemperaturen forøget med op mod 1 °C. Risikoen for lokal isdannelse ved den kommende containerterminal vil derfor blive formindsket.

Påvirkningen af årsmidlet vandtemperatur er meget svag ($< 0,1$ °C), idet de to modsatte effekter i vinter og sommerhalvåret tilnærmelsesvis udjævner hinanden.

Lokal påvirkning af saltholdighed

Saltholdigheden ud for Lynetteholm kan variere meget, både i tid og over dybden. I perioder med rolige strømforhold vil der typisk være en stor variation over dybden (9-24 ‰). I perioder med kraftig sydgående strøm vil saltholdigheden være høj med en mindre

variation over vanddybden, lavest ved overfladen og højest ved bunden (19-24 ‰). I perioder med kraftig nordgående strøm vil saltholdigheden være lave og stort set fuldt opblandet (9-10 ‰).

Da opfyldningen påvirker de lokale strømningsforhold, vil der også være en lokal påvirkning af saltholdigheden. De her angivne effekter er baseret på ændringer i dybdemidlede værdier. Variationer i saltholdighed er ikke sæsonvarierende som vandtemperaturen, så effekterne på saltholdigheden er af mere permanent karakter. Modelberegningerne viser at årsmidlet saltholdighed vil forøges med cirka 1 ‰ i tragten og Havneløbet som følge af projektet. Ydermere er der en mindre stigning i en fane nordøst for tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm. I Kongedybet vil der være et mindre fald på 0,5 ‰ nærmest opfyldningen, som gradvist aftager til nul på strækningen forbi Prøvestenen og ned til Amager Strandpark.

Når der ses på den maksimale saltholdighed, er påvirkningen anderledes. Her er der et mindre fald i saltholdigheden i Havneløbet af størrelsesordenen 0,2-0,5 ‰. Øst for Trekroner er effekten lidt kraftigere, cirka 1 ‰, idet dette område er afskærmet fra direkte interaktion med vandet i Øresund. I tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm og langs den østlige perimeter er der en mindre stigning på 0,2-0,4 ‰. På Middelgrunden opleves ligeledes en mindre stigning. Påvirkningen af den minimale saltholdighed er størst i Havneløbet og tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn. Her er der en generel stigning på cirka 0,5 ‰. Ligeledes er der en stigning i Svanemøllehavnen, idet denne er forbundet til Havneløbet med kanaler. I området øst for opfyldningen er der et mindre fald (0,1-0,3 ‰) og ligeledes 8 km langstrakt kystnær fane nord for Nordhavnen.

Påvirkning af Amagerværkets brug af kølevand

Lynetteholm opfyldningen lukker Kongedybet og vil derfor påvirke vandskiftet ud for Amagerværket. Da Amagerværket benytter kølevand i deres anlæg, er der set på, hvordan projektet påvirker forholdene over en typisk sommer- og vintermåned. Den primære bekymring ved brug af kølevand er, om der kommer væsentlig recirkulation, altså om vandet ved indtaget er påvirket af det opvarmede kølevand udledt fra værket. For at forebygge effekter af recirkulation er indtaget placeret på sydsiden ved Prøvestenen, mens udløbet er placeret på den nordlige side ved Margretheløbet. I vinterperioden hvor kølevandsindtaget er størst, er der fundet en temperaturforskel på +/- 0,5 °C for begge forslag. I sommerperioden er der en temperaturforøgelse ved vandindtaget på mellem 0-1,5 °C. I sommerperioden vil der derfor være en mindre recirkulationseffekt.

Påvirkning af gennemstrømning i Havneløbet og Øresund

Lynetteholm påvirker gennemstrømning af Havneløbet, hvor den akkumulerede vandføring er nordgående som følge af at der er en nettoafstrømning fra Østersøen, hvor der tilføres ferskvand fra floderne med udmunding i Østersøen. Modelberegningerne har vist at gennemstrømningen af Havneløbet vil forøges med 5-6% som følge af Lynetteholm opfyldningen. Umiddelbart forventes den øgede gennemstrømning at være en fordel for vandkvaliteten i havnen, men effekter på vandkvaliteten er ikke en del af denne rapport. Gennemstrømningen af Havneløbet kan i øvrigt ændres ved at ændre på indstillingen af stigningene i Sydhavnen. Opfyldningen har ikke nogen betydende på gennemstrømningen af Øresund. Den primære effekt er en mindre omfordeling af vandføringen som går gennem Drogden og Flinterenden. I Drogden renden er der en mindre svækkelse, mens der er en mindre forstærkning i Flinterenden.

Blokerings effekter

Projektets blokerings effekt på strømningen og transport af vand og salt gennem Øresund er beregnet ved hjælp af et blokeringsmål tidligere anvendt i forbindelse med Øresundsforbindelsen. Målet angiver hvor meget dynamikken svækkes eller forstærkes, men kan umiddelbart være svært at forholde sig til. Der er derfor udført en parallelberegning med effekter af en svag havspejlsstigning (2 cm), som gør det muligt at

omsætte den fundne blokerende effekt på transporten i Øresund, til den havspejlsstigning som vil ophæve effekten af projektet, set over et fuldt Øresundstværsnit. De helt lokale effekter omkring opfyldningen vil selvfølgelig ikke kunne opvejes af en havspejlsstigning. For udvekslingen af vand mellem Østersøen og Kattegat er det fundet for begge hovedforslag, at den blokerende effekt vil være udlignet ved en generel havspejlsstigning på mindre end 2 cm. Tages der udgangspunkt med den nuværende stigningstakt korrigeret for effekter fra landhævning, vil effekten være udlignet inden for en 10-årig periode og formentlig også hurtigere, da der forventes en acceleration af vandstandsstigningstakten fremadrettet.

Når der ses på blokerings effekter af salttransporten, er påvirkningen lidt større. Her er det fundet at den blokerende effekt vil være udlignet ved en havspejlsstigning på 4 cm. Tages der igen udgangspunkt i den nuværende rate for den effektive havspejlsstigning, vil blokerings effekten genereret af Lynetteholm forventeligt være udlignet inden for en periode på 25 år. Såfremt raten for havspejlsstigninger accelererer, vil perioden blive kortere.

Lokal påvirkning af bølgeklima og kystmorfologi

Lynetteholms Hovedforslag 1 og 2 påvirker bølgeklimaet lokalt i området. Der forekommer en skyggeeffekt langs med opfyldningen. Middelbølgeretningen drejes derfor få grader i retning mod uret ved nordsiden af opfyldningen og få grader i retning med uret langs den sydlige del. Der er særligt fokuseret på ændringer i bølgeklimaet i områder med dynamisk kyst (sandstrand), da bølger i kombination af vandstand er styrende for de kystmorfologiske processer. I disse områder kan der ikke identificeres signifikante ændringer i bølgeklimaet. Projektet vil derfor ikke influere på de kystmorfologiske forhold ved Charlottenlund, Hellerup, Svanemøllen eller Amager Strand.

I den fremtidige indsejling til Københavns Havn vil der forekomme markante skyggeeffekter i forhold til den nuværende situation. Derudover vil bølgerne fra visse retninger blive intensiveret af de reflekterende moler langs Oeankajen på Nordhavnen og ligeledes langs nordsiden af Lynetteholm. I Hovedforslag 1 vil effekten være størst yderst i indsejlingen (ca. 20% højere maksimalbølgehøjde), da den nordøst rettede spids vil have stor reflekterende effekt. I Hovedforslag 2 vil der være størst ændring længere inde i indsejlingen (ca. 30% højere maksimalbølgehøjde), da spidsen er fjernet i dette layout. Bølgehøjdeændringen yderst i tragten forbliver den samme, hvorimod drejningen af middelbølgeretningen (set i forhold til baseline) stort set forsvinder.

Generel morfologisk påvirkning

Lynetteholm vil ikke forårsage nogle egentlige kystmorfologiske ændringer, men da opfyldningen indebærer en generel strømforstærkning på åbent vand, vil der være en generel bundmorfologisk påvirkning i form af potentiel erosion over et større område på Middelgrunden. Middelgrunden består fra kote -5 m til -10 m af Københavnerkalk, der er aflejret i kridttiden. Denne kalk er under den sidste istid blevet overlejret af moræneler, sand og kalkmoræne (om lejret kalk) i varierende tykkelse. Hvor bunden er uberørt, afsluttes den af et tyndt dække af sand på mellem 0-30 cm.

Lynetteholm lukker for en gennemstrømning af Kongedybet. Der finder derfor en omfordeling af strømmen sted, således at der opstår en væsentlig strømforstærkning langs med Lynetteholms østlige perimeter. Ydermere flyttes en del af flowet til Hollænderdybet. Det morfologiske påvirkningsområde på åbent vand er fundet ved at se på middelændringen af den årsmidlede bruttostrømning (middel af strøm uden retning). I områder, hvor bruttostrømmen forstærkes, vil der være en tendens til erosion, mens der i områder med en svækkelse vil være en tendens til aflejring. Det primære påvirkningsområde er for begge af de undersøgte hovedforslag på Middelgrunden, hvor Københavnerkalken stikker højt og der kun er tynde eroderbare sedimentlag. Det vurderes derfor at bygningen af Lynetteholm vil føre til en mindre erosion af

Middelgrunden, men omfanget vil hovedsagelig være begrænset til det øvre tynde sanddække som typisk udgør mellem 0-30 cm.

Udledning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområdet i opfyldningsperioden

I forbindelse med opfyldning af nyttiggørelsesområdet vil der skulle udledes overskudsvand fra ifyldning og nettonedbør. Der er blevet foretaget en screening med henblik på at identificere et velegnet udledningspunkt for hvert af de to hovedforslag, som sikrer en så god opblanding som muligt inden for en rimelig afstand af nyttiggørelsesområdet. Begge de identificerede udledningspunkter er placeret i en afstand på 150-300 m fra perimeterens vandlinje. Herved opnås en bedre opblanding end ved en placering tættere på perimeteren, men også at udledningen vil kunne benyttes i forbindelse med fase 1, idet placeringen er rykket fri af arbejdsområdet i fase 2.

De faktiske udledningskoncentrationer fra nyttiggørelsesområdet er ukendte, men der er anvendt målinger fra Nordhavndeponiet, KMC, i de her foretagne vurderinger, ud fra en forventning om det vil være den samme type jord, som vil blive modtaget til opfyld. En væsentlig forskel for Lynetteholm er dog, at der vil opfyldes med en blanding af ren og forurennet jord, hvor det i Nordhavnsdeponiet er sektionsopdelt, og de anvendte målinger udelukkende er baseret på forurennet jord.

Med udgangspunkt i de målte udledningskoncentrationer fra Nordhavnsdeponiet og gældende miljøkrav defineret i bl.a. BEK 1625 af 19/12/2017 er der beregnet, hvor lang en afstand fra udledningspunktet (opblandingszone) der vil være behov for til at miljøkriterier er opfyldt. Miljøkriteriet er sammensat af det generelle kvalitetskrav og et maksimumkrav. Fortyndingsmæssig er det vurderet, at samtlige stoffer er fortyndet ned til overholdelse af diverse krav inden for en zone af 10 m fra udledningspunktet. Kun udledning af kobber og Benz(bjk)flourathen kræver en større fortyndingszone end 10 m for at kunne opfylde kvalitetskravet for en max-udledning. Kviksølv er et stof, der kræver en særlig håndtering, da det er målt i vandet fra KMC, men ud af 8 års prøver er kviksølv kun påvist i 3 prøver, hvorfor den reelle koncentration i udløbet er svær at fastsætte med sikkerhed.

Der er desuden udført en række fortyndingsberegninger, hvor udledningen af overskudsvand foregår diffust langs den vandomkransede del af perimeteren. Disse beregninger viser, at gældende miljøkrav vil kunne opfyldes såfremt, at overskudsvandet forlader opfyldningsområdet diffust og jævnt langs perimeteren. Denne konklusion er opnået ved at mindste fortyndingsfaktor i en afstand 50 m væk fra perimeteren er noget større end den (mindste) fortyndingsfaktor, som opnås med en punktudledning (50 m væk). Beregninger med diffus udledning har primært til formål at dokumentere, at der ikke er behov for etablering af en tæt spuns, når overskudsvandet udledes via en kontrolleret punktudledning.

Udledning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområdet efter opfyldning

Efter nyttiggørelsesområdets opfyldning vil der kun være en naturlig udsivning af nettonedbør fra området, som inklusiv et klimabidrag skønnes at være 220 mm/m²/år. Da det i vurderingerne af behovet for et tæt opfyldningsområde blev fundet at en jævnt fordelt diffus udsivning af fortrængningsvand under ifyldning ikke vil føre til en overskridelse af gældende miljøkrav, kan det konkluderes, at gældende miljøkrav vil være opfyldt for begge hovedforslag allerede ved udsivningen langs med perimeteren (indenfor de første 2 m), når der alene er et bidrag fra nettonedbør, for alle stoffer på nær dem hvor IFF-koncentrationen (I Forvejen Forekommende) ikke opfylder miljøkriteriet.

3 Baggrund

Stormen Bodil, der forvoldte omfattende skader i bl.a. København og Roskilde i december 2013, var et første varsel på, hvad der kan være i vente, med mere hyppige mellemrum, i takt med klimaskabte havspejlsstigninger accelererer og risikoen for oversvømmelse stiger. Da dele af København er lavtliggende, eksempelvis Sluseholmen, er der behov for på sigt at gøre noget for at fremtidssikre København mod stormflod. I København er der store mængder af overskudsjord fra infrastrukturprojekter og heftig byggeaktivitet. Ydermere har København oplevet som en metropol at tiltrække mennesker, hvormed behovet for nye boligudviklingsområder er steget.

Lynetteholm er tænkt som et projekt, der samlet kan opfylde ovenstående tre udfordringer, nemlig: 1) Indgå som et vigtigt element i en stormflodssikring af København med forberedelse af stormflodsport/sluseport til sikring og lukning af Havneløbet, 2) Opfylde behovet for afsætning af overskudsjord, og 3) Indgå som en ny central bydel forbundet til metroen og Østlig Ringvej, og med adgang til natur og potentielt også badestrande.

Der er udarbejdet to ligestillede projektforslag for Lynetteholm. Hovedforslag 1 er en opfyldning uden et kystlandskab, hvor den ydre perimeter består af spunsvægge og stenkastningsdæmninger. Hovedforslag 2 er en opfyldning hvor der etableres et varieret halv-åbent kystlandskab langs den østlige perimeter. Projektforslagets kystlandskab indeholder både ralstrande og sandstrande afskærmet for påvirkning af kraftig strøm.

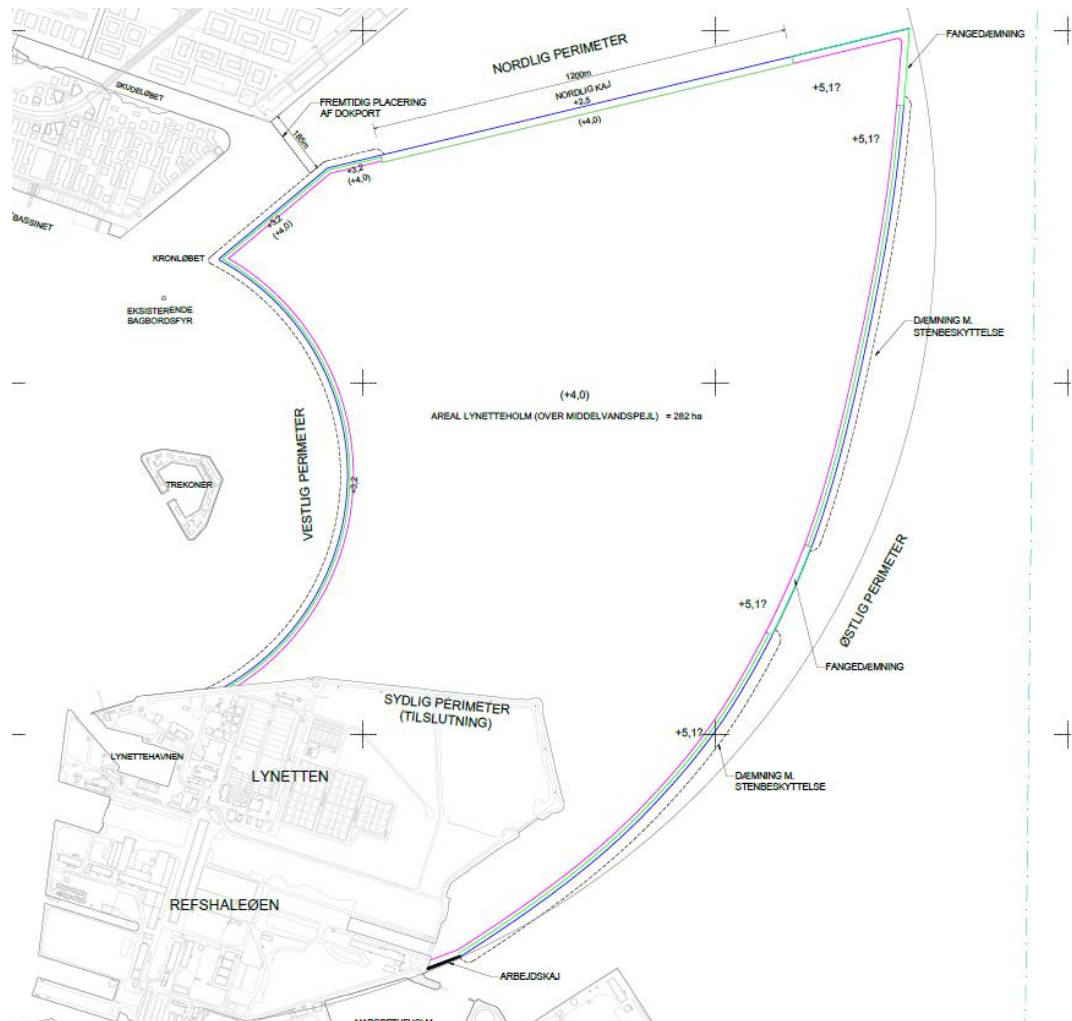
Lynetteholm bygges sammen med Refshaleøen, hvilket indebærer at Lynetteløbet som i dag anvendes af lystsejlere lukkes og fyldes op. Med etableringen af Lynetteholm bliver der kun adgang til havneløbet via Kronløbet, hvilket betyder at indsejlingen i fremtiden vil skulle deles mellem erhvervstrafik og lystsejlere. I dag er Kronløbet forbeholdt erhvervstrafik.

En plantegning af Hovedforslag 1 opfyldningen (uden et kystlandskab) er vist i Figur 3-1. Opfyldningens østlige perimeter er udformet konvekst, for at mindske strømningsmodstanden langs med opfyldningen. Det nordøstligste punkt er placeret, således at der er en glidende overgang til den nordlige spids af Nordhavnopfyldningen. Udformningen sikrer at opfyldningen ikke virker afskærmende på de indkommende bølger langs strandene ved Svanemøllen, Hellerup og Charlottenlund. Ligeledes sikrer udformningen at indkommende bølger ved Amager Strandpark heller ikke påvirkes.

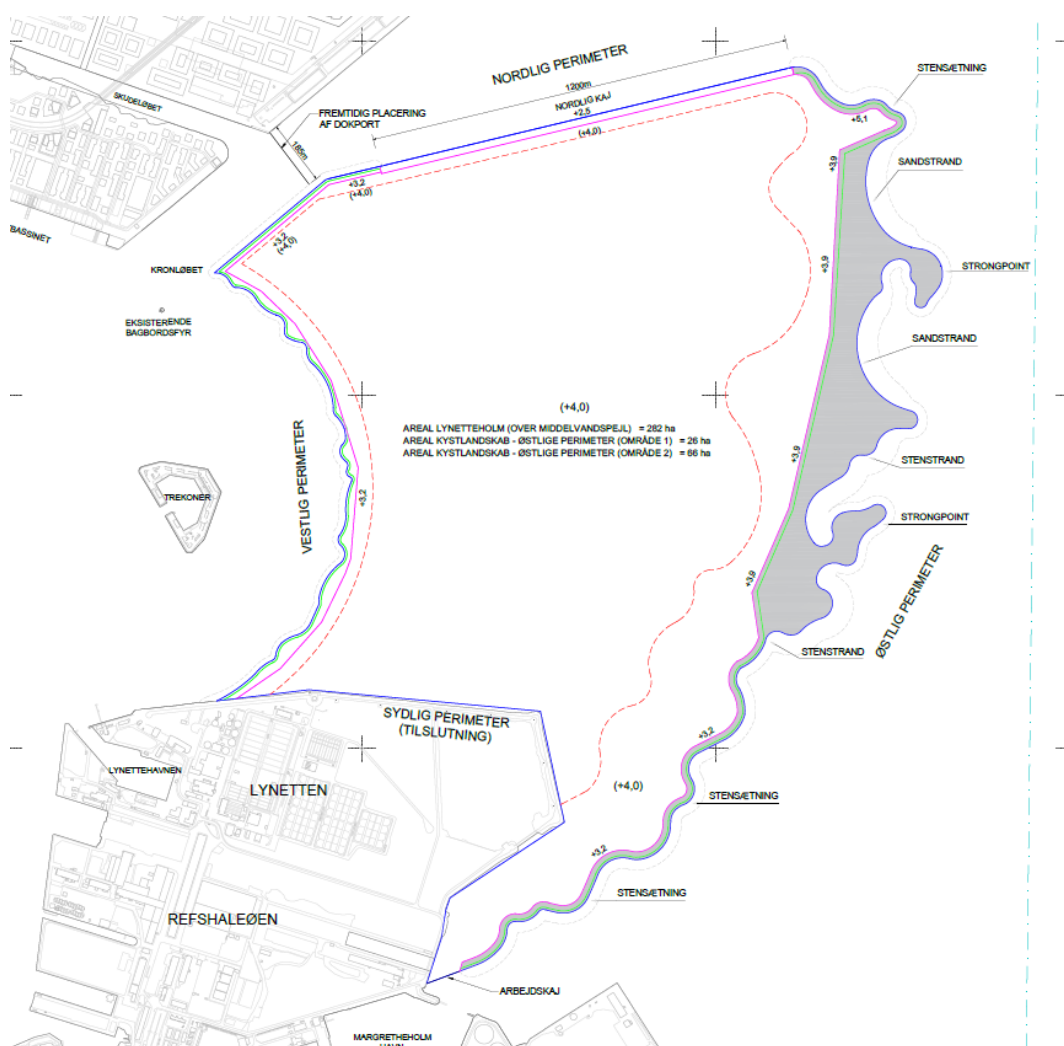
Figur 3-2 viser en plantegning af Hovedforslag 2 opfyldningen. Forslaget som indeholder et kystlandskab. Dette forslag afviger kun fra Hovedforslag 1 langs den østlige perimeter, hvor der i stedet for et konvekst cirkelslag er anlagt et bugtet forløb. Strandlinjen skal have et konkavt forløb for at sandstranden kan holde på sit materiale. Det er derfor nødvendigt at bryde det konvekse cirkelslag op i et bugtet forløb, således at der kan etableres en række konkavt udformede bugter, hvor fremskudte "hardpoints" hjælper til med at holde på strandene. Vanddybderne i området umiddelbart ud for er så store, at sand, der tabes fra strandene, ikke vil have nogen mulighed for at blive transporteret tilbage på strandene. Det er derfor vigtigt at hardpoints og strandenes orientering konstrueres, således at de er i stand til at fastholde sandfyldet der udgør de kunstigt anlagte strandområder.

I begge layouts er der blevet gjort plads til en fremtidig dokport. En dokport eller sluse bliver nødvendig, når effekter af havspejlsstigning er slået så meget igennem at risikoen af oversvømmelser i København ved stormflod, bliver for stor. På baggrund af den forventede udvikling i middelvandstanden (havspejlsstigning korrigeret for landhævning) kan det blive relevant med en dokportløsning omkring år 2050. Altså på samme tidspunkt som det forventes at området er opfyldt.

I forbindelse med at Lynetteholm bygges, så fjernes Trekroners "arme", dvs. de to stenkastningsmoler, som afskærmer havnen fra bølgepåvirkning i dag. Ligeledes rettes indsejlingen på det smalleste stykke til, hvilket indebærer at den nordlige mole med fyret ved åbningen til Orientbassinet fjernes. Disse ændringer er sammen med opfyldningsområderne indlagt i de undersøgte scenarier.



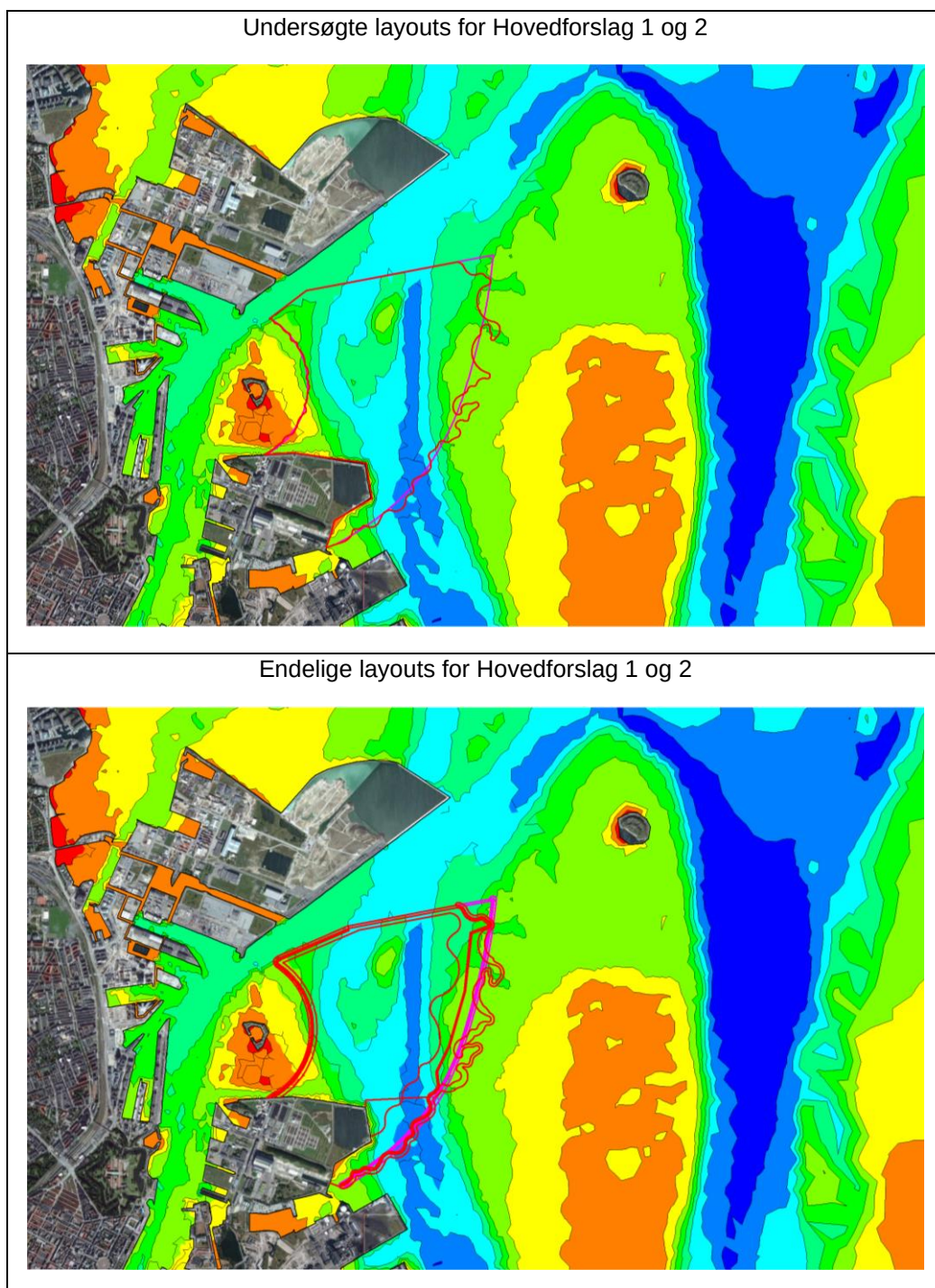
Figur 3-1 Plantegning af undersøgte Hovedforslag 1.



Figur 3-2 Plantegning af undersøgte Hovedforslag 2.

De ovenfor viste plantegninger er varianter af de endelige hovedforslag, da der i juni 2020 er lave en mindre modifikation af knækket i tragtten mellem Nordhavn og Lynetteholmen. Ændringen af layoutet har kun en helt lokal betydning de hydrauliske forhold, idet strømningstværsnittet øges svagt over en relativ kort strækning. Designændringen har kun har en helt lokal betydning for de hydrauliske forhold, og de heri beskrevne forhold er derfor dækkende og tilstrækkeligt til at kunne vurdere de i VVM-sammenhæng afledte påvirkninger af projektet og dets endelige design.

De to undersøgte hovedforslag er overlagt batymetrien (havbunds niveauet) i området omkring Lynetteholm og vist øverst i Figur 3-3. Tilsvarende er der vist en figur nederst med de endelige udformninger af de to hovedforslag. Det ses, at forskellen er relativt lille og ikke ændrer på blokeringen af Kongedybet og perimeterens forløb mod Øresund. Strømningen i Havneløbet er i høj grad reguleret af stigbordene i Sydhavnen og vil derfor ikke mærke en effekt af det ændrede design.



Figur 3-3 Øverst: Indikation af undersøgte layouts for Hovedforslag 1 (pink kurve) og Hovedforslag 2 (rød kurve). Nederst: Indikation af endelige layouts for Hovedforslag 1 (pink kurve) og Hovedforslag 2 (rød kurve). De røde kurve viser topkoten af profilet, vandspejlslinjen og foden af profilet, hvor det glider over i den naturlige havbund.

4 Basisundersøgelser

4.1 Hydrauliske basisundersøgelser

Følgende afsnit beskriver de eksisterende strøm-, bølge-, og vandstandsforhold i Øresund og området omkring den planlagte opfyldning også kaldet Lynetteholmen. Endvidere indeholder afsnittet en beskrivelse af den anvendte hydrodynamiske 3D-model, der beskriver vanddybder, vind- og tidevandsgenererede strømme, salt og temperatur i Øresund og Københavns Havn. Modellen er anvendt til at vurdere følgende:

- Opfyldningens indflydelse på vand- og saltbalancen gennem Øresund samt udvekslingen af vand mellem Kattegat og Østersøen
- Opfyldningens indvirkning på de lokale strømme og vandstandsforhold
- Opfyldningens lokale påvirkning af vandtemperatur og saltholdighed
- Opfyldningens indflydelse på Amagerværkets kølevand
- Opfyldningens betydning for kystmorfologien
- Opfyldningens generelle morfologiske påvirkning

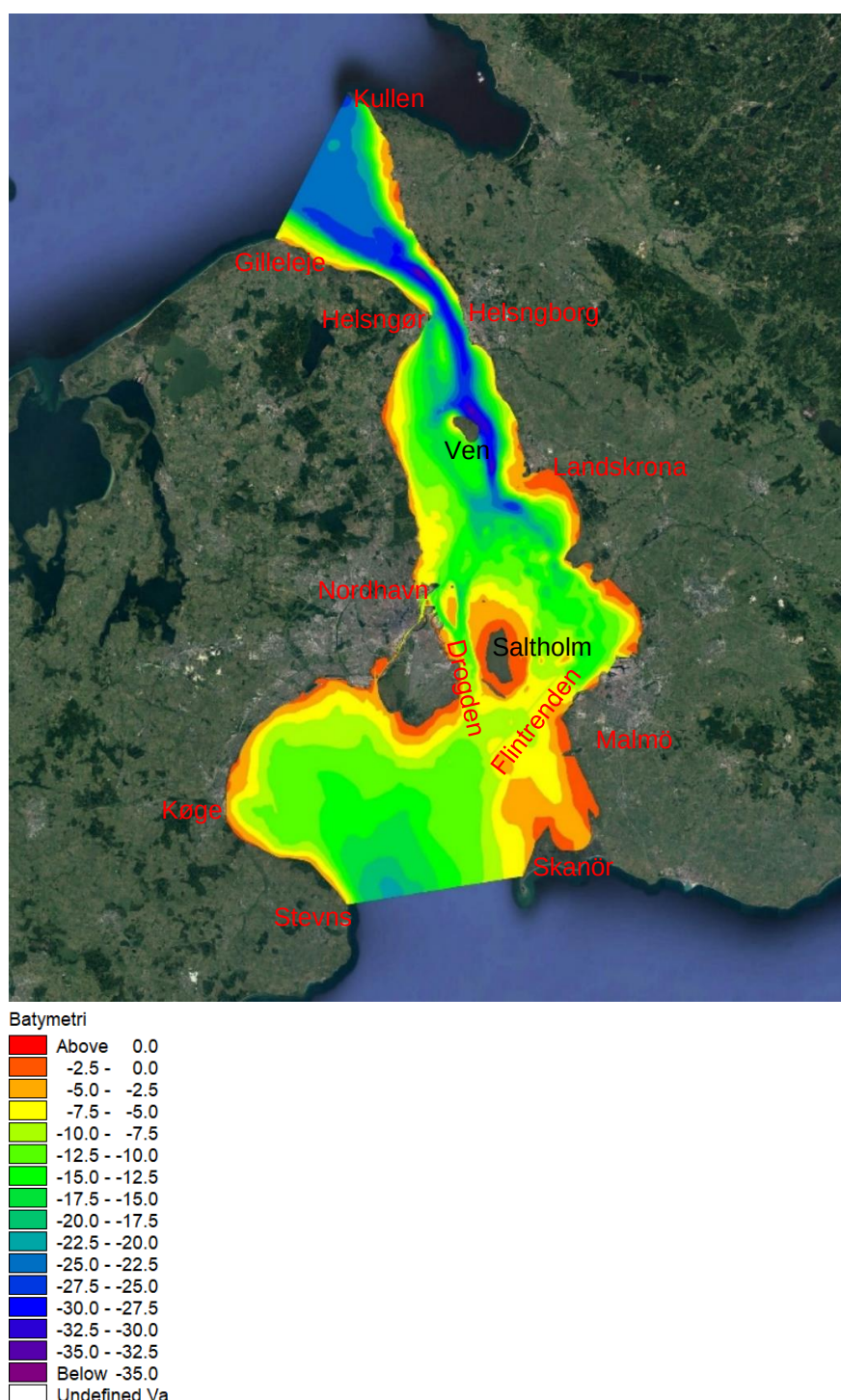
Desuden er modellen brugt til at beregne spredningen af:

- Miljøgifte udledt med overskudsvandet fra nyttiggørelsesområdet
- Sedimenter i forbindelse med gravearbejder
- Forurenede stoffer bundet til sedimentet og frigjort til vandfasen

4.2 Basisbeskrivelse af de hydrauliske forhold i området

4.2.1 Generel beskrivelse af Øresunds hydrografiske forhold

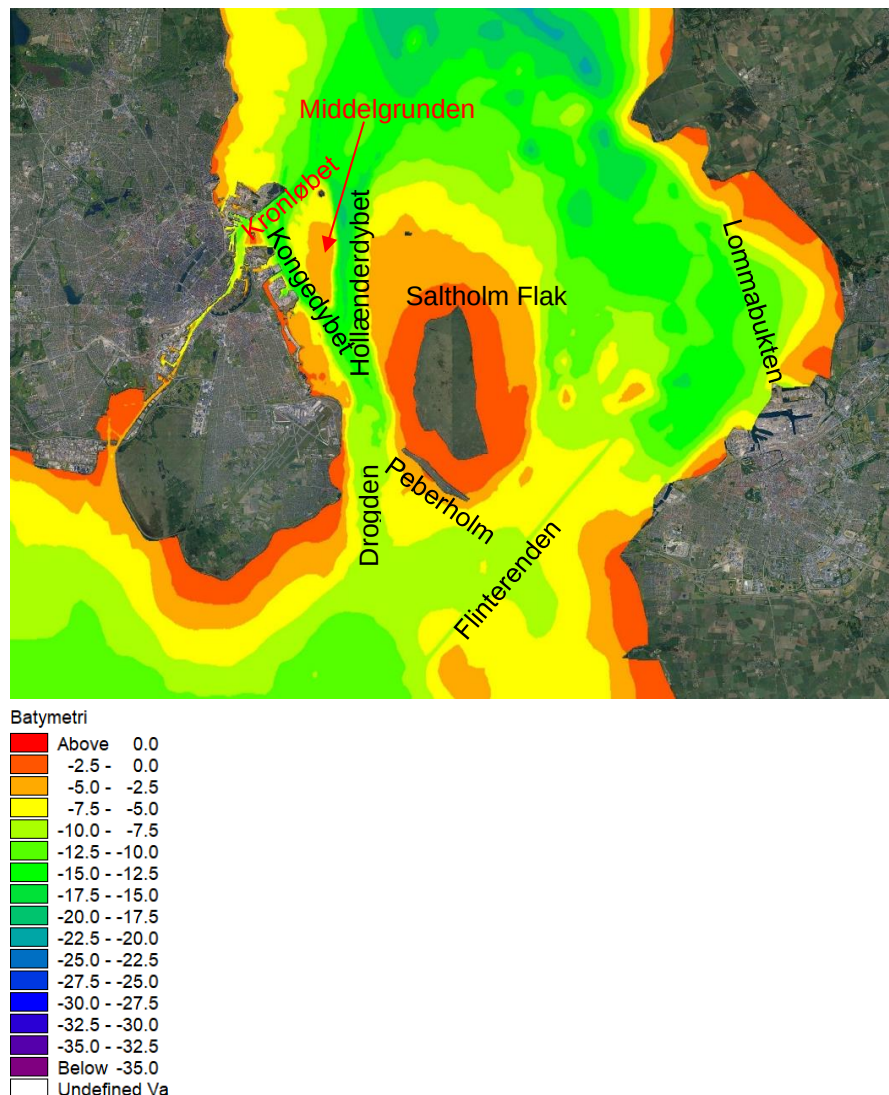
Øresund udgør det næststørste af de tre bæltter Lillebælt, Storebælt og Øresund, som forbinder Kattegat og Østersøen. Den nordligste del af Øresund er formet som en tragt, der fra snittet Gilleleje-Kullen gradvist indsnævres frem mod Helsingør-Helsingborg. Området indeholder en naturlig dyb rende (>30 m), hvor der optræder springlag grundet udvekslingen mellem brakvand fra Østersøen og salt havvand fra Nordsøen/Kattegat. I de dybeste dele af vandsøjlen er saltholdigheden næsten som i Nordsøen. Den dybe rende løber øst om Ven til lidt syd for Landskrona. Syd for Landskrona bliver Øresund gradvist bredere og rendernes dybder reduceres tilsvarende, jf. Figur 4-1. I den sydlige del deles strømmingen i to af Saltholm.



Figur 4-1 Øresunds batymetriske forhold og baselinemodellens udstrækning.

I den danske side af Øresund mod vest er strømmen fokuseret i de dybe render: Hollænderdybet øst for Middelgrunden, Kongedybet vest for Middelgrunden og Kronløbet nordvest for Middelgrunden. I forlængelse af Hollænderdybet og Kongedybet ligger Drogden sejlrunden, som er uddybet til at garantere en dybde på minimum 8 meter ved middelvandstand, se Figur 4-2. I den svenske side af Øresund udgør Lommabugten vest og nord for Malmö et bredere område med vanddybder mellem 10-15 meter. Syd herfor ligger Drogdgentærsklen, hvor vanddybden er mellem 5-8 meter. I den svenske del gennemskaeres Drogdgentærsklen af sejlrunden Flinterenden, hvor der er uddybet til et

sted mellem 8 og 10 meter. Drogdentsklen udgør, som følge af den relativt smalle strømningsbredde og de lave vanddybder, den del af Øresund, hvor strømningens tværsnitsareal er mindst. Drogdentsklen er derfor det område, der giver den største blokering og er dermed bestemmende for udvekslingen af vand og salt med Østersøen. Syd for Drogdentsklen udvides tværsnittet og går over i Køge Bugt for sluttelig at blive til en del af Østersøen.



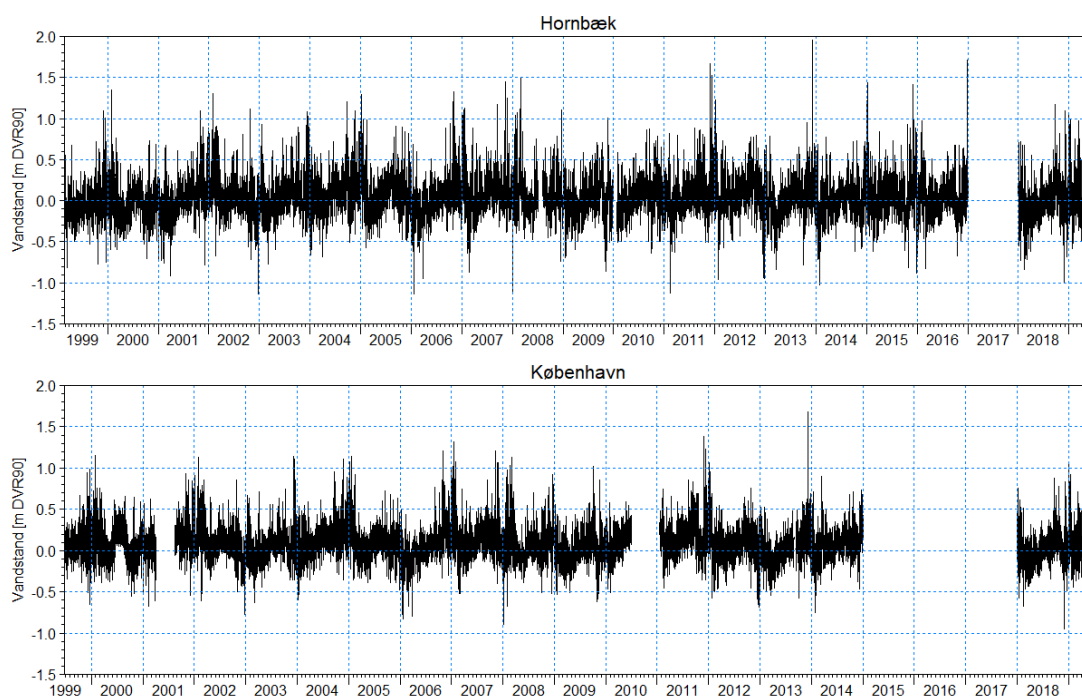
Figur 4-2 Dyb og grunde i den sydlige del af Øresund.
Dybder er angivet i forhold til DVR90.

4.2.2 Generel beskrivelse af strøm- og vandstandsforhold

Under stille vejrforhold bestemmes strømforholdene i Øresund af tidevandet og overskuds-tilførslen af ferskvand tilført fra floder og vandløb med udmunding i Østersøen. I stille perioder er der derfor skiftende rolige strømforhold, men dog med overvejende nordgående strøm. I perioder med urolige vejrforhold har de regionale vind og lufttrykforhold omkring Østersøen og Kattegat stor indvirkning på vandudvekslingen gennem Øresund. Vindens påvirkning bevirker, at der stuver vand op i enten den vestlige Østersø eller Kattegat afhængig af vindretningen. Målte vandstandstidsserier for Hornbæk og København er vist i Figur 4-3 for perioden 1999-2019. Det ses, at vandstandsvariationerne i København generelt er mindre end i Hornbæk, dels som følge

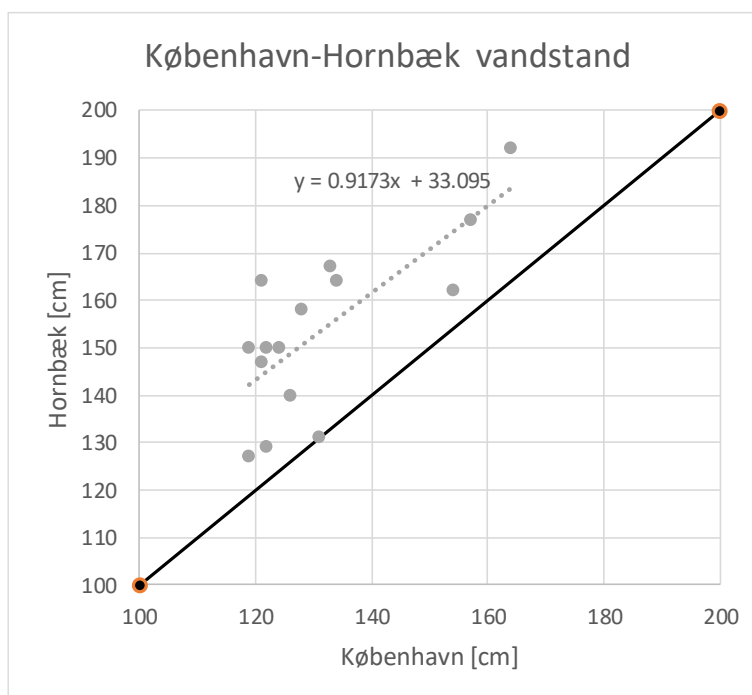
af et lidt svagere tidevand men også på grund af en mindre udtalt vindstuvningseffekt. Figur 4-4 viser en sammenligning af de trendfrie vandstande¹ i Hornbæk og København i forbindelse med de 15 værste stormflodshændelser registreret i København i perioden 1889-2019. Det ses, at niveauet for en stormflodshændelse typisk vil være af størrelsesordenen 30 cm højere ved Hornbæk end i København.

Kraftige vinde fra retninger mellem vest og nordøst giver således anledning til højvande i den sydlige del af Kattegat og i Øresund nord for Drogden tærsklen, mens kraftige vinde fra sydøst giver anledning til lavvande i Øresund. Forskellen i vandstanden nord og syd for Drogden-tærsklen bestemmer den dominerende strømreretning i Øresund. Regionale kraftige vinde med retninger mellem sydvest og nordnordvest giver anledning til, at der presses vand fra Nordsøen ind i Kattegat, som dermed skaber grundlaget for sydgående strøm i Øresund. Kraftige vinde med retninger mellem nordøst og syd giver anledning til, at der stuves vand op i den vestlige del af Østersøen eller presses vand ud af Kattegat med en nordgående strøm som resultat.



Figur 4-3 Målt vandstandsvariation i Hornbæk og København i perioden 1999-2019.

¹ En trendfri vandstand er renset for effekter af havspejlsstigning og landhævning.



Figur 4-4 Korrelationen mellem trendfri stormflodsvandstand i København og Hornbæk (1881-2019).

Herudover har den lokale vindpåvirkning også betydning for den lokale overfladestrøm i delområder af Øresund.

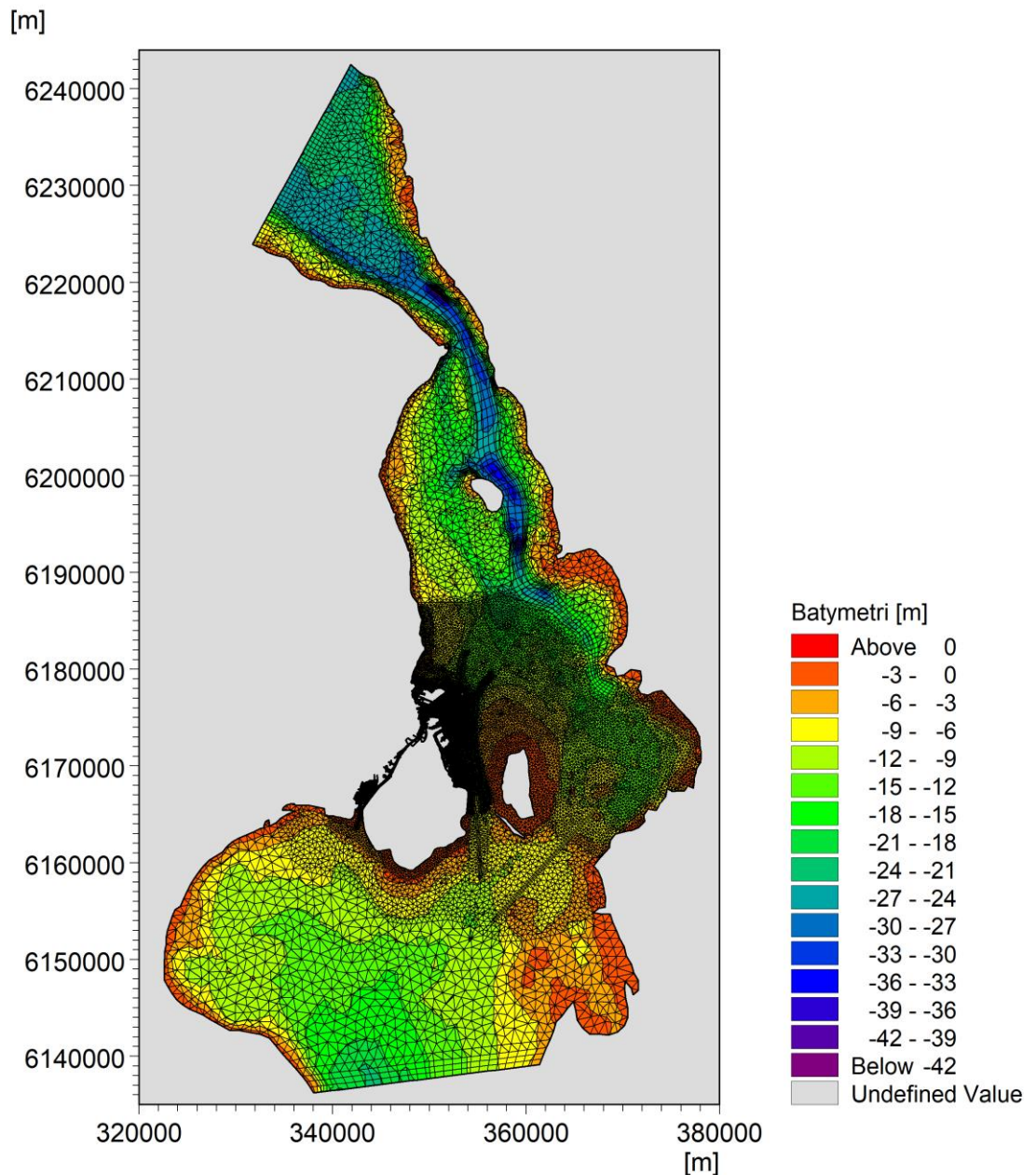
Der er hyppigt lagdeling i Øresunds dybere render (og i Kattegat), fordi vandet i Kattegats dybereliggende lag har et saltindhold, og dermed en densitet, næsten som i de store oceaner (30-35 ‰), mens vandet i Østersøen er lettere brakvand grundet den store tilførsel af ferskvand fra floder med udløb i Østersøen. Lagdelingen bevirker, at der ofte er en relativ fersk nordgående overfladestrøm og en saltholdig sydgående bundstrøm. Lagdelingen i Øresund fastholdes yderligere af Drogdentræsklen, som virker hæmmende på den tunge bundstrøm og transporten af salt til Østersøen. Nettostrømmen i Øresund er nordgående på grund af vandtilførslen fra floderne med udmunding i Østersøen, idet Øresund, Storebælt og Lillebælt er eneste udløb fra Østersøen. Transporten af salt til Østersøen finder primært sted ved saltvandsindbrud, dvs. hændelser hvor der gennem længere tid presses vand fra Kattegat igennem Øresund henover Drogdentræsklen og gennem bælteerne.

4.2.3 Numerisk model

For at kunne estimere den blokerende effekt af Lynetteholmen på transporten af vand og salt gennem Øresund og Københavns havneløb og på de regionale dynamikker beskrevet ovenover, er det valgt at opsætte den tredimensionelle (3D) hydrodynamiske model, således at den dækker hele Øresund fra tværsnittet Gilleleje-Kullen i nord til tværsnittet Stevns-Falsterbonæsset i syd.

En 3D-model inddeler vanddybden i en række lag vertikalt, således at man kan beregne vandets strømninger i alle retninger. Modellen er formuleret med en sigma-z opløsning, hvilket betyder at alle områder med en vanddybde under 15 meter er opløst i 10 lag over vertikalen, hver med en højde svarende til 1/10 af vanddybden. På vanddybder større end 15 meter, er der anvendt en fast vertikal netvidde, som gradvist strækkes fra 1,5 meter til 3 meter i de dybereliggende lag. Beregningsnettet er konstrueret, således at det gradvist forfines ind mod området med Lynetteholm, se Figur 4-5. Batymetrien er

interpoleret på baggrund af pejlinger modtaget fra By & Havn og som dækker Københavns vandarealer, samt svælget syd for Middelgrunden. I de øvrige områder er der anvendt søkortdata fra andre kilder.



Figur 4-5 Baselinemodellens batymetri og beregningsnet.

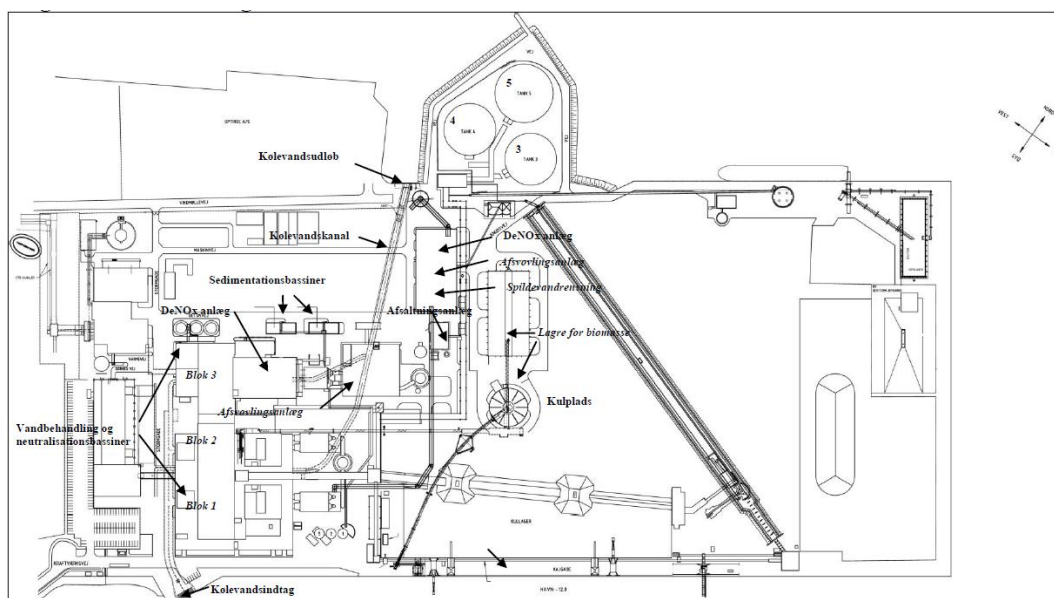
4.2.4 Valg af modelleringsperiode

Vandudvekslingen gennem Øresund er styret af mindre tidevandssvingninger med en periode på 12,5 timer. Tidevandssvingningerne er typisk overlejret af mere langperiodiske svingninger af flere dages varighed. De langperiodiske svingninger er hovedsageligt relateret til passage af vejrsystemer (stormlavtryk), som er styrende for den dynamiske vandudveksling mellem Østersøen og Nordsøen. Under de mere ekstreme hændelser af denne type, finder der saltvandsindbrud sted, dvs. hændelser hvor der føres vand med høj saltholdighed (20-22 ‰) henover Drogdentræsklen. Store saltvandsindbrud forekommer irregulært i tid og ofte med flere års mellemrum. Oven i denne dynamik er

der et bidrag fra den generelle afstrømning af overskudstilførslen af ferskvand tilført fra floder og vandløb med udmundning i Østersøen. Vandføringsbidraget fra floderne varierer gennem året og det samme gør vandtemperaturerne, så for at dække alle sæsonvariationer er det valgt at modellere et fuldt år. Som modelår er det valgt at tage udgangspunkt i det ved undersøgelsernes start seneste fulde kalenderår (2018). Resultater for modelkalibreringen mod målte vandstande og saltholdighedsprofiler er vist i Bilag A.

4.3 Kølevandsudledninger

Amagerværket udnytter havvand fra Kongedybet til køling i forbindelse med energiproduktion. For at undgå recirkulation er kølevandsindtag og kølevandsudløb placeret på hver sin side af Amagerværket, se Figur 4-6 og Figur 4-7. Cirkulationen af kølevand og udledningen af termisk energi påvirker den lokale opblanding og vandskiftet.



Figur 4-6 Amagerværkets kølevandssystem.



Figur 4-7 Oversigtskort.

Informationer om udledte kølevandsmængder og den tilhørende termiske udledning er opgivet i Amagerværkets Grønne Regnskab, ref. /8/ og ref. /9/, som indeholder informationer om de termiske kølevandsmængder i perioden 2010-2016. Informationer for de enkelte år er angivet i Tabel 4-1. Under normal drift udleder Amagerværket mellem 3-8,5 m³/s kølevand.

Tabel 4-1 Årlig udledte kølevandsmængde og tilhørende termiske udledning fra Amagerværket i perioden 2010-16.

Årstal	Kølevandsmængde [m ³ /år]	Energiindhold [GJ/år]	Udledning [m ³ /s]	Overtemperatur [°C]
2010	115.582.465	4.464.244	3,67	9,18
2011	151.781.797	4.347.029	4,81	6,81
2012	132.122.785	3.007.268	4,18	5,41
2013	136.447.072	3.627.898	4,33	6,32
2014	164.170.794	4.263.310	5,21	6,17
2015	137.774.549	1.879.064	4,37	3,24
2016	158.033.466	3.266.399	5,01	4,91
2010-16	142.273.275	3.550.745	4,51	5,93

De i Tabel 4-1 angivne udledninger og overtemperaturer er gennemsnitsværdier for hele året. I beregningen af overtemperaturerne er der antaget en densitet på 1005 kg/m³ for kølevandet.

5 Vurderinger af virkninger på miljøet i anlægsfasen

I anlægsfasen vil der blive foretaget en bundudskift langs den ydre perimeter for at forbedre de geotekniske forhold og sikre en stabil konstruktion. Bundudskiftningen vil resultere i større gravespild og en dertil tilknyttet sedimentspredning. Effekterne fra gravespildet er beskrevet og vurderet i dette afsnit. Den øvre del af sedimentet indeholder en række miljøfremmede stoffer, som ligeledes vil spredes i forbindelse med gravearbejdet. Spredningen af disse er ligeledes beskrevet og vurderet. Endelig vil gravespildet resultere i frigivelse af kvælstof og fosfor. Dette er ligeledes beskrevet og vurderet.

5.1 Sedimentspredning fra etablering af Lynetteholm

De geotekniske borer og udført i forbindelse med Lynetteholm projektet viser, at der er store mængder af gytjeholdigt sediment i området. For at sikre tilstrækkelig geoteknik stabilitet, er det derfor nødvendigt at lave en bundudskiftning langs de områder af den ydre perimeter, hvor der etableres dæmninger. Mængderne hvormed der skal bundudskiftes er forskellige i de to hovedforslag. Der er derfor foretaget spredningsberegninger for begge hovedforslag. Ydermere vil det med hovedforslag 2 være muligt at foretage en del af bundudskiftningen helt afskærmet (indre del af østlig perimeter), hvis dette først udføres når den ydre del af dæmningen er etableret. De her præsenterede sprednings-beregningerne er lavet under antagelse om at bundudskiftningen i hele området udføres før der etableres dæmninger, og således, at de lokale strømningsforhold ikke påvirkes heraf.

Cowi har på baggrund af de geotekniske målinger og en 3D model heraf beregnet hvor store mængder gytje det er nødvendigt at afgrave i forbindelse med en bundudskiftning. Mængderne er inddelt i en øvre forurenede del (FJ) som bliver deponeret i Lynettens sedimentdeponi og en nedre ikke-forurenede del (RJ), som klappes på en indtil videre ikke defineret lokalitet. En mulig klappads kan være sugespidskuller i Køge Bugt. Da klappadsen forventes at være placeret langt fra graveområdet kan effekterne af klappning vurderes uafhængigt af de her foretagne spredningsberegninger og vice versa.

5.1.1 Graveplaner og mængder

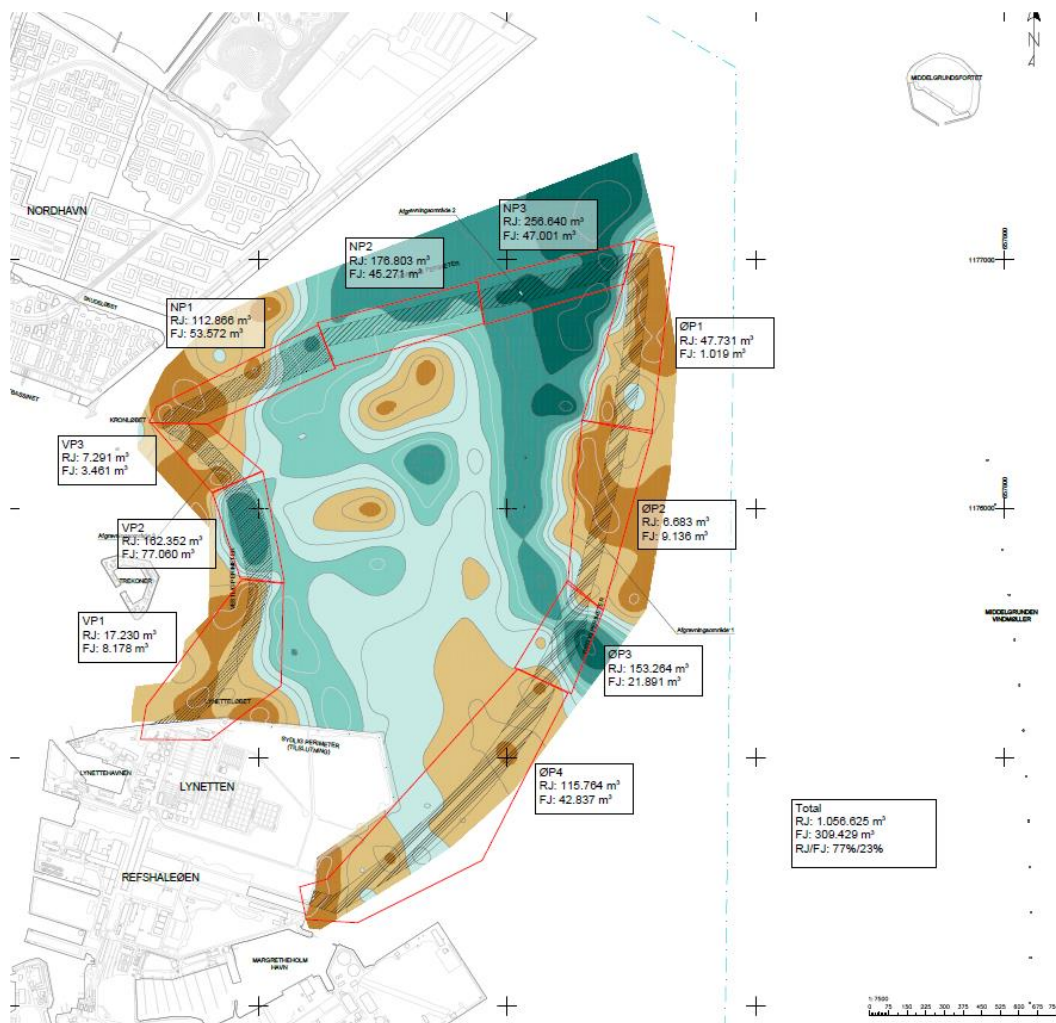
Graveområdet er blevet inddelt i en række sektioner, hvor der er opgivet et gravevolumen fordelt på en forurenede del og en ikke-forurenede del. Der er udarbejdet graveplaner for hver af de to hovedforslag. For Hovedforslag 2 (med kystlandskab) er der defineret yderligere en variant, hvor en del af den indre østlige perimeter udgraves afskærmet (efter etablering af ydre dæmninger) og derfor ikke bidrager til et sedimentspild uden for inddæmnings-området.

5.1.1.1 Graveplan og mængder for Hovedforslag 1

Figur 5-1 viser graveplanen for det endelige Hovedforslag 1. Gravemængderne er angivet som volumener fordelt på 10 sektioner, men skal omsættes til en tørstofmasse for at kunne indgå i en sedimentspredningsberegning. Den øvre del af sedimentet er forurenede og skal derfor håndteres anderledes end den underliggende ikke-forurenede del. Gravemængderne er derfor opdelt i to klasser: FJ: forurenede jord og RJ: ren jord. Gravemængderne opdelt på sektioner og klasser er angivet i Tabel 5-1.

For at kunne omregnes til et gravespild er det nødvendigt at omregne de angivne volumener til tørstofmasse. Omregningen til masse foretages med udgangspunkt i de via geotekniske borer fundne tørdensiteter og målt vandindhold. En lav tørdensitet er

udtryk for et højt vandindhold og at sedimentets geotekniske stabilitet ved en belastning vil være svækket. En lav tørdensitet er også udtryk for at sedimentets sammenhængskraft ved opgravning kan være lille. Lidt populært siger man, at gytje med lav tørdensitet er som havregrød, når det graves op, men bliver til varm sovs, når det dumpes på en pram. Gravemængderne omregnet til tons tørstof er angivet i Tabel 5-2. De anvendte tørdensiteter er fundet på baggrund af vandindholdet i laboratorieprøverne i eller nærmest de 10 definerede sektioner og den i afsnit 5.1.4 etablerede relation mellem vandindhold og tørdensitet.



Figur 5-1 Estimerede afgravningsmængder for Hovedforslag 1 i forbindelse med bundudskiftning (Kilde: Cowi 2020).

Tabel 5-1 Estimerede gravevolumener for Hovedforslag 1 opdelt på sektioner og forureningsgrad.

Område	Forurennet jord [m ³]	Ren jord [m ³]	Total [m ³]
ØP4	42.837	115.764	158.601
ØP3	21.891	153.264	175.155
ØP2	9.136	6.683	15.819
ØP1	1.019	47.731	48.750
NP3	47.001	256.640	303.641
NP2	45.271	176.803	222.074
NP1	53.572	112.866	166.438
VP3	3.461	7.291	10.752
VP2	77.060	162.352	239.412
VP1	8.178	17.230	25.408
Total	309.426	1.056.624	1.366.050

Tabel 5-2 Gravemængder for Hovedforslag 1 omregnet til tørstofs masse.

Område	Tørdensitet [kg/m ³]	FJ [tons]	RJ [tons]	Total [tons]
ØP4	790	33.841	91.454	125.295
ØP3	810	17.732	124.144	125.295
ØP2	750	6.852	5.012	11.864
ØP1	630	642	30.071	30.713
NP3	700	32.901	179.648	212.549
NP2	670	30.332	118.458	148.790
NP1	690	36.965	77.878	114.842
VP3	1.140	3.946	8.312	12.257
VP2	1.110	85.537	180.211	265.747
VP1	1.110	9.078	19.125	28.203
Total	-	257.824	834.311	1.092.135

5.1.1.2 Graveplan og mængder for Hovedforslag 2

Figur 5-2 viser graveplanen for det endelige Hovedforslag 2. Gravemængderne er angivet som volumener fordelt på 13 sektioner, men skal omsættes til en tørstofmasse for at kunne indgå i en sedimentspredningsberegning. Den øvre del af sedimentet er forurenet og skal derfor håndteres anderledes end den underliggende ikke-forurenede del. Gravemængderne er derfor opdelt i to klasser: FJ: forurenet jord og RJ: ren jord. Gravemængderne opdelt på sektioner og klasser er angivet i Tabel 5-3.

Omregning af gravemængderne til tons tørstofmasse i de enkelte sektioner er angivet i Tabel 5-4.



Figur 5-2 Estimerede afgravningsmængder for Hovedforslag 2 i forbindelse med bundudskiftning (Kilde: Cowi 2020).

Tabel 5-3 Estimerede gravevolumener for Hovedforslag 2 opdelt på sektioner og forureningsgrad.

Område	Forurenet jord [m³]	Ren jord [m³]	Total [m³]
ØP4	46.915	134.177	181.092
ØP3.2	19.655	78.621	98.276

Område	Forurenet jord [m ³]	Ren jord [m ³]	Total [m ³]
ØP3.1	18.304	73.217	91.521
ØP2.2	2.280	9.119	11.399
ØP2.1	17.268	69.073	86.341
ØP1.2	4.304	17.217	21.521
ØP1.1	27.272	109.088	136.360
NP3	59.809	374.695	434.504
NP2	45.271	176.803	222.074
NP1	53.572	112.866	166.438
VP3	3.461	7.291	10.752
VP2	77.060	162.353	239.413
VP1	8.178	17.230	25.408
Total	383.349	1.341.750	1.725.099

Tabel 5-4 Gravemængder for Hovedforslag 2 omregnet til tørstofs masse.

Område	Tørdensitet [kg/m ³]	FJ [tons]	RJ [tons]	Total [tons]
ØP4	790	37.063	106.000	143.063
ØP3.2	680	13.365	53.462	66.828
ØP3.1	810	14.826	59.306	74.132
ØP2.2	680	1.550	6.201	7.751
ØP2.1	750	12.951	51.805	64.756
ØP1.2	680	2.927	11.708	14.634
ØP1.1	630	17.181	68.725	85.907
NP3	690	41.268	258.540	299.808
NP2	670	30.332	118.458	148.790
NP1	690	36.965	77.878	114.842
VP3	1.140	3.946	8.312	12.257
VP2	1.110	85.537	180.212	265.748
VP1	1.110	9.078	19.125	28.203
Total	-	306.988	1.019.731	1.326.719

5.1.1.3 Graveplan og mængder for Hovedforslag 2 med afskærmning

Der vil være mulighed for at afgrave områderne ØP3.1, ØP2.1 og ØP1.1 afskærmet, hvis dette udføres efter at dæmningerne i de øvrige sektioner er opført. Dog med en lille åbning i den vestlige del, som tillader ind- og udsejling af et uddybningsfartøj og pramme. Åbningen vil kunne afskærmes med siltgardiner (eller de såkaldte luftboblegardiner der ikke forstyrrer trafikken gennem åbningen), således at der ikke vil forekomme et gravespild udenfor perimeteren. Der er derfor defineret et ekstra spildscenarie for Hovedforslag 2, hvor der i spildberegningerne ikke graves i de tre afskærmede områder. Det totale gravespild samt reduktionen i forhold til det ikke-afskærmede scenarie er angivet i Tabel 5-5.

Tabel 5-5 Estimerede gravevolumener for hovedforslag 2 med afskærmet afgravning af ØP3.1, ØP2.1 og ØP1.1.

Område	Forurennet jord [m ³]	Ren jord [m ³]	Total [m ³]
Total	320.505	1.090.372	1.410.877
Reduktion	62.844	251.378	314.222
Reduktion [%]	16,4	18,7	18,1

Den samlede tørstofmasse samt reduktionen heraf i forhold til det ikke-afskærmede scenarie er angivet i Tabel 5-6.

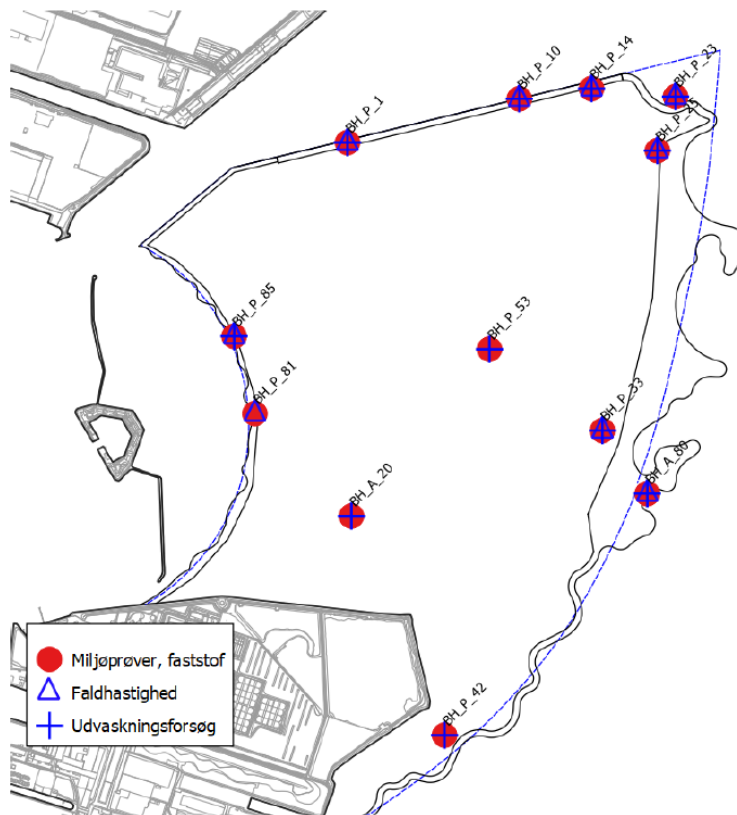
Tabel 5-6 Gravevolumener for hovedforslag 2 med afskærmet afgravning af ØP3.1, ØP2.1 og ØP1.1 omregnet til tørstofmasse.

Område	FJ [tons]	RJ [tons]	Total [tons]
Total	262.030	839.895	1.101.924
Reduktion	44.959	179.836	224.795
Reduktion [%]	14,6	17,6	16,9

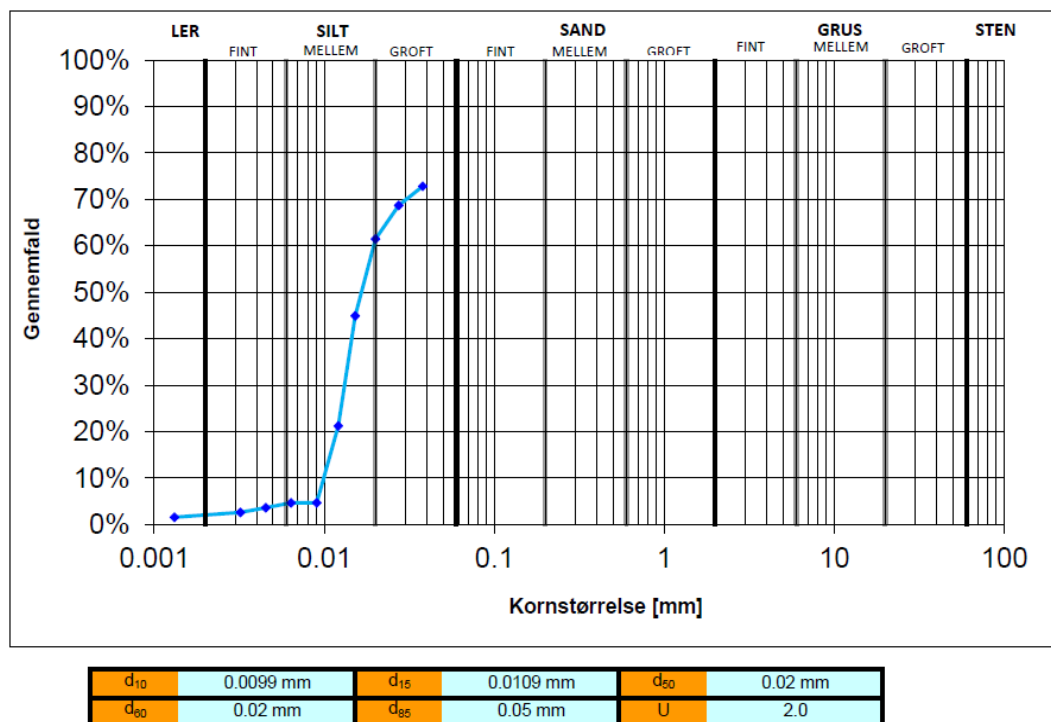
5.1.2 Den finkornede del af sedimentets sammensætning

Gravemængderne udgøres primært af gytje, som er karakteriseret ved et relativt højt vandindhold og dominerende forekomster af silt og fint sand. For at kunne beskrive gytjens karakteristika i forbindelse med en gravespildsberegning er der blevet udført en række sedimentationsforsøg, ref. /12/. Forsøgene er blevet udført på baggrund af prøver fra de geotekniske borer vist i Figur 5-3. Disse forsøg er brugt til at estimere sammensætningen af de finkornede fraktioner i gravematerialet. Enkelte resultater fra sedimentationsforsøgene er vist i Figur 5-4 og Figur 5-5.

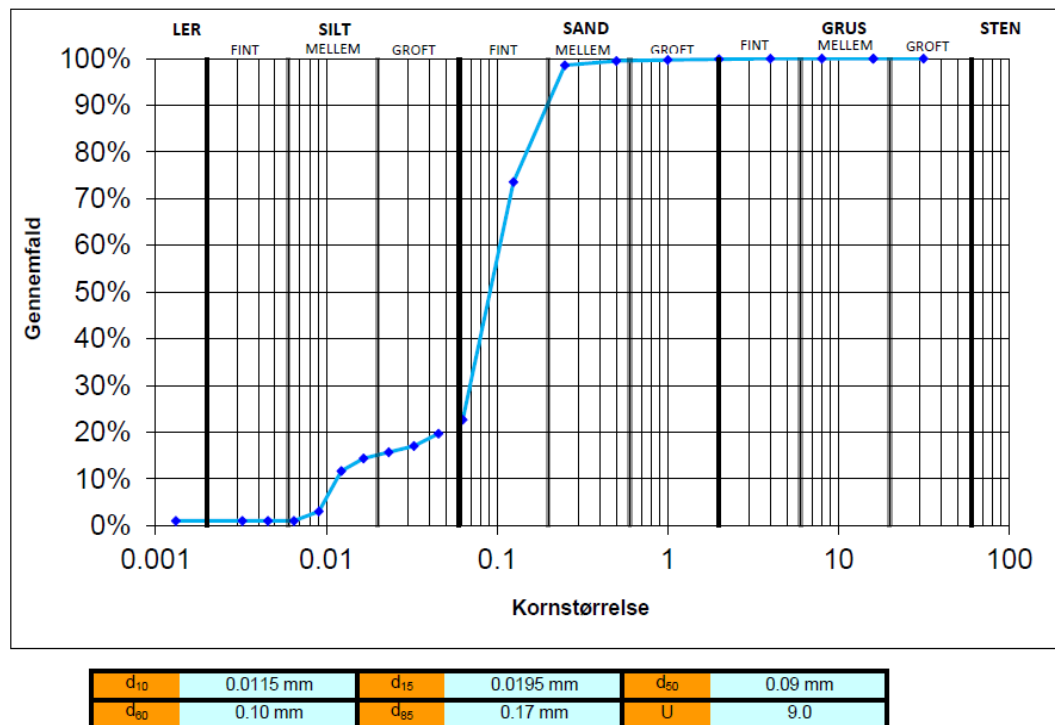
Med udgangspunkt i de fundne kurver er der fundet hvor stor en del af sedimentet, som udgøres af kornstørrelser mindre end 6 µm, 20 µm og 40 µm, hvilket er de kornstørrelser som vil kunne spredes fra graveområdet. På baggrund af prøveresultaterne og en middelværdi for disse er der fundet en repræsentativ sammensætning af gravematerialet langs henholdsvis den østlige, nordlige og vestlige perimeter. Sammensætningen er angivet i Tabel 5-7. Det ses, at den finkornede del af materialet er domineret af mellem og grov silt. Ler-fraktioner er ikke repræsenteret i nævneværdig grad, hvorfor effekter af flokkulering må vurderes at være af begrænset betydning. En spildberegning udføres derfor mest korrekt ved at tillægge de enkelte fraktioner en fast faldhastighed.



Figur 5-3 Kort visende boreprøver anvendt til bestemmelse af sedimentsammensætning af de finkornede fraktioner ved hjælp af faldhastighedsforsøg.



Figur 5-4 Kornstørrelser fundet ved faldhastighedsforsøg for prøve taget i P33 i en dybde 2 meter under havbund.



Figur 5-5 Kornstørrelser fundet ved faldhastighedsforsøg og sigteanalyse for prøve taget i P85 i en dybde 3 meter under havbund.

Tabel 5-7 Gravematerialets finkornede sammensætning langs de tre perimetersektioner.

Perimeter	< 6 μm	6 – 20 μm	20 – 40 μm	> 40 μm
Østlig	3,0 %	30,6 %	55,6 %	44,4 %
Nordlig	2,8 %	30,3 %	46,5 %	53,5 %
Vestlig	2,5 %	12,0 %	32,3 %	67,7 %

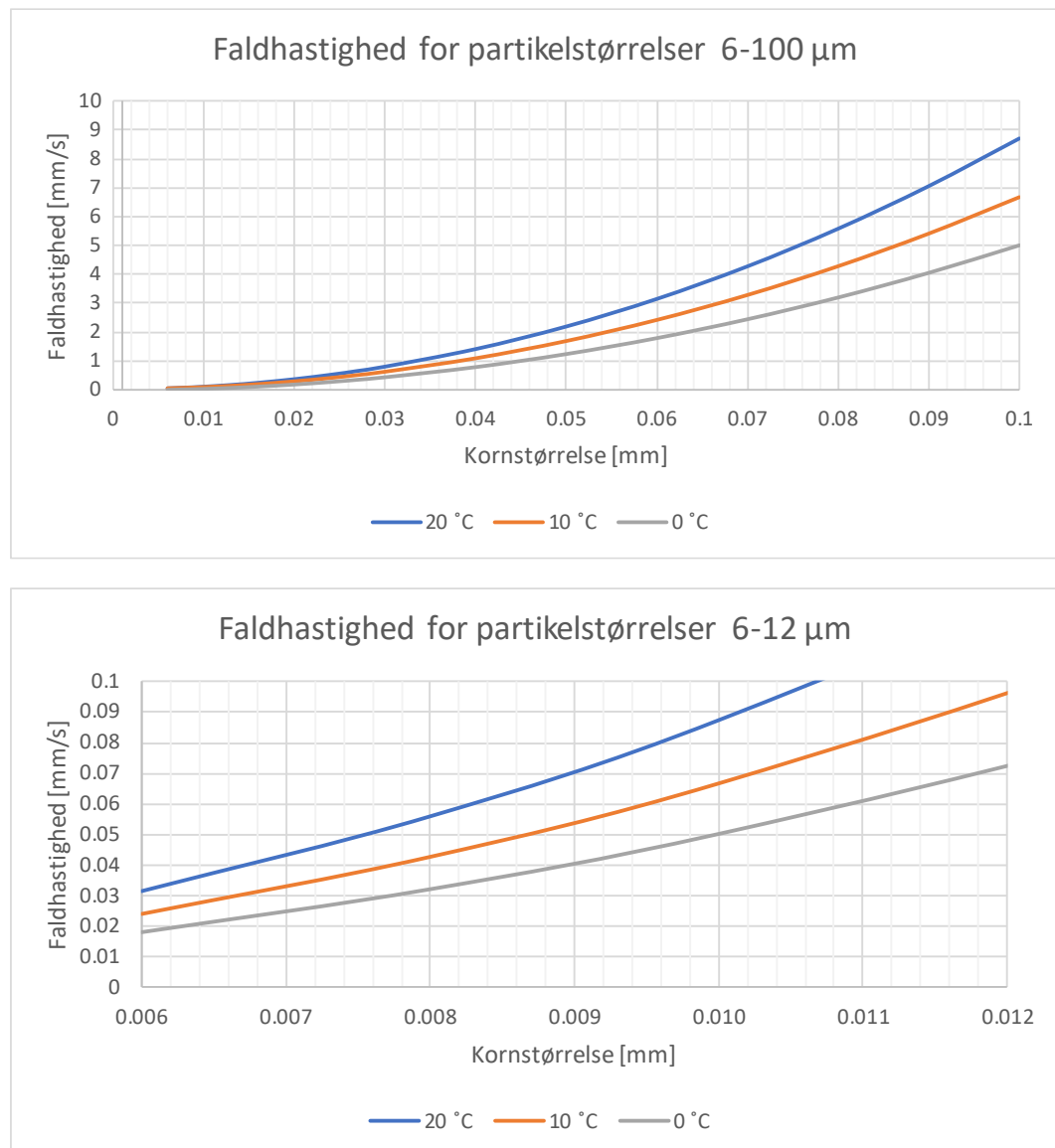
5.1.3 Faldhastigheder

Finkornet sediments faldhastighed w_s er afhængig af kornstørrelse d , havvandets kinematiske viskositet ν og sedimentets specifikke densitet s udtrykt ved Stokes lov:

$$w_s = \frac{(s - 1)gd^2}{18\nu}$$

Den kinematiske viskositet er en funktion af vandtemperaturen. Faldhastigheden vil derfor være større i 20 °C varmt vand end i 0 °C varmt vand. Mere præcist vil faldhastigheden være 1,74 gange højere ved 20 °C end ved 0 °C. Et gravespild vil derfor være længere tid om at sedimentere i en vinterperiode end i en sommerperiode. Graveperioden kan derfor have betydning for, hvor høje koncentrationer der vil optræde som følge af gravespildet. Havvandets densitet har også betydning for faldhastigheden. Jo større saltholdighed (densitet), desto lavere faldhastighed. Antages sedimentet at have en densitet på 2650 kg/m³ og det saltholdige vand en typisk densitet på omkring 1020 kg/m³, er den specifikke densitet $s = 2,6$. Tyngdeaccelerationen g som varierer med jordens breddegrad, er 9,82 m/s² i Danmark.

Påvirkningen af et gravespild på den omkringliggende natur vil typisk være mindst i et vinterhalvår, men omvendt vil koncentrationsniveauerne og varigheden med hvor lang tid de er overskredet være længere set i forhold til en sommerperiode. Når sedimentets kornstørrelse er mindre end $6\text{ }\mu\text{m}$, vil der ofte være en tendens til at det kan flokkulere. Det giver derfor ikke mening at bruge Stokes lov på de fineste kornstørrelser, da de enten vil udgøre en så lille andel, at de er uden betydning, eller udgøre så stor en andel at flokkulering finder sted og danner partikler med en større faldhastighed. Diagrammer for faldhastigheden baseret på ovenstående antagelser er vist i Figur 5-6.



Figur 5-6 Sedimentets faldhastighed som funktion af vandtemperatur og kornstørrelse.

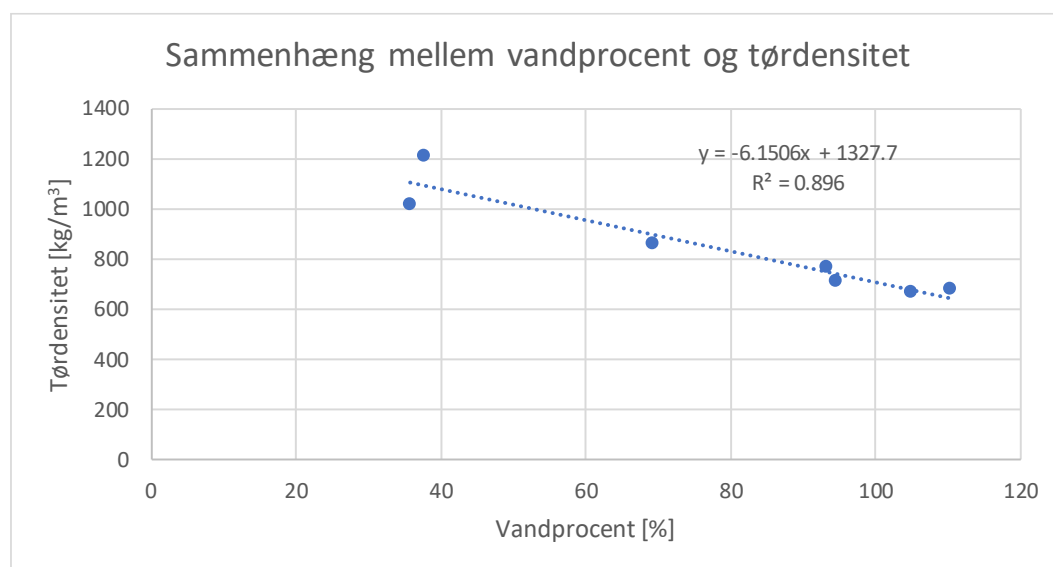
Gravearbejdet forventes udført i vinterhalvåret, hvor vandtemperaturen er lav. I modelberegningerne er de benyttede faldhastigheder derfor beregnet ud fra en antagelse om en vandtemperatur på omkring $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gravespildet er beskrevet ved hjælp af tre fine fraktioner, mens det er antaget at de grovere sedimentfraktioner (sand) aflejres helt lokalt i området, hvor der uddybes. De anvendte faldhastigheder er vist i Tabel 5-8. Det ses, af tabellen at den grove fraktion har en faldhastighed, som er 25 gange større end den fineste fraktion. Gravespildet indeholder også bidrag fra endnu grovere fraktioner, men disse sedimenterer hurtigt og helt lokalt ved graveområdet.

Tabel 5-8 Anvendte faldhastigheder for de tre sedimentfraktioner anvendt i gravespildsscenerier.

Fraktion [μm]	Faldhastighed [mm/s]
< 6	0,021
6-20	0,10
20-40	0,52

5.1.4 Tørdensitet

Der er kun bestemt tørdensitet på 7 af boreprøverne indikeret i Figur 5-3, hvorimod der er målt vandindhold på 20 prøver, ref. /12/. Da der vil være en korrelation mellem vandindholdet og tørdensiteten, jf. Figur 5-7, er denne sammenhæng anvendt til at estimere tørdensiteten i de områder, hvor der foretages en bundudskiftning. Det er disse estimerede tørdensiteter der er anvendt til at omregne gravemængder (volumener) til tørstofmasse i Tabel 5-2 og Tabel 5-4.



Figur 5-7 Sammenhæng mellem vandprocent og tørdensitet.

5.1.5 Gravespild og arbejds cyklus

Det vil være op til entreprenøren at vælge den mest egnede gravemetode til at foretage bundudskiftningen, samt at tilpasse sig de restriktioner der kan være med hensyn til tidsrum hvormed der må arbejdes. I de her udførte spildberegninger er der konservativt valgt at forudsætte at gravearbejdet udføres i en lang sammenhængende cyklus, hvor der arbejdes 24/7 med brug af et uddybningsfartøj. I praksis vil der ikke blive arbejdet 24/7, men det er muligt, at der i stedet vil anvendes mere end et uddybningsfartøj. Gravekapaciteten for uddybningsfartøjet er antaget at være 500 m³/time. Uddybningen forventes foretaget med skovl, hvorved der vil være et jævnt spild fordelt over vandsøjlen i forbindelse med at skovlen føres op og et lokalt spild ved overfladen, idet der vil være et ekstra spild når skovlen går igennem vandoverfladen og i luften, hvor en del af vandet dræner af. Materialet læsses på pram og da gytjen har et højt vandindhold, kan der også forventes et overløb fra prammen. Når der graves i områder, hvor bundsedimentet har et højt vandindhold og en lav tørdensitet, må der forventes et større spild end når sedimentet

er mere fast. I modelberegningerne er der valgt en konservativ tilgang og antaget et gravespild på 4% jævnt fordelt over vandsøjlen og et gravespild ved vandoverfladen på henholdsvis 4% eller 6%. Det høje spild er anvendt i de områder hvor gravematerialets tørdensitet er mindre end 1000 kg/m³. Mens det lave spild på 4% er anvendt i områder hvor tørdensiteten er større end 1000 kg/m³ og sedimentet er bedre sammenhængende. De anvendte forudsætninger er samlet i Tabel 5-9.

Tabel 5-9 Antagelser omkring gravespild.

Arbejdscyklus	24/7
Produktionsrate	500 m ³ /time
Gravespild vandsøjle	4%
Gravespild overflade (tørdensitet < 1000 kg/m³)	6%
Gravespild overflade (tørdensitet > 1000 kg/m³)	4%

Gravearbejdet startes ved den østlige perimeter og bevæger sig i retning mod nord, hvorefter den nordlige perimeter afgraves i retning mod vest og sluttelig afgraves den vestlige perimeter i retning mod syd. Gravecyklussen udføres, således at der i første ombæring kun afgraves den øverst liggende forurenede del af sedimentet. Hvorefter gravecyklus gentages for den underliggende ikke-forurenede del. Gravemængderne er forskellige i gravescenarierne og strømningsforholdene vil derfor ikke være ens, når der graves i de forskellige områder, hvorfor sedimentspredningen kan blive en smule anderledes, hvis graveoperationerne forskydes lidt i tid. Graveperioderne er dog lange i forhold til de dynamiske tidsskalaer, som styrer strømningsforholdene i Øresund (tidevand, lavtrykspassager og afstrømning af overskudsvand fra Østersøen), hvorfor den akkumulerede effekt af gravearbejderne ikke vil blive synderlig påvirket af en forskydning i tid.

Til erstatning for den afgravede gytje efterfyldes der med sand til det omkringliggende bundniveau. Da selv meget fint sand med en korndiameter på 0,1 mm vil have en faldhastighed næsten 280 gange højere end den finkornede fraktion, er der ikke regnet på spild i forbindelse med tilbagefyldning af sand.

5.1.6 Gravespildsmængder for de 3 scenarier

Med kendskab til mængder, sedimentsammensætning og spildprocenter er det muligt at opgøre, hvor store mængder finkornet sediment der vil blive frigjort i forbindelse med gravearbejdet og som potentielt vil blive spredt væk fra graveområdet med vandstrømningerne. I det følgende er gravespildet fra 3 gravescenarier angivet.

5.1.6.1 Gravespildsmængder for Hovedforslag 1

Gravespildsmængderne er opgjort for den finkornede del som vil kunne spredes væk fra graveområdet. Mængderne er opgjort for hver af de tre definerede fraktioner og hver af de tre overordnede perimetersektioner (østlig, nordlig og vestlig). Ydermere er de opgjort for henholdsvis den forurenede og ikke-forurenede del, samt totale mængder. Mængderne er angivet i Tabel 5-10, Tabel 5-11 og Tabel 5-12.

Tabel 5-10 Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	164	1.642	1.478	3.284
Nordlig	259	2.546	1.510	4.315
Vestlig	204	739	1.604	2.547
Total	627	4.927	4.593	10.146

Tabel 5-11 Gravespildsmængder for det ikke-forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	697	6.969	6.272	13.938
Nordlig	1.006	9.888	5.866	16.759
Vestlig	429	1.556	3.380	5.366
Total	2.132	18.413	15.518	36.062

Tabel 5-12 Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	861	8.611	7.750	17.222
Nordlig	1.264	12.434	7.376	21.074
Vestlig	633	2.295	4.985	7.912
Total	2.759	23.339	20.111	46.209

Ved at sammenholde det estimerede finkornede spild opgjort i Tabel 5-12 med den estimerede gravemængde i Tabel 5-2, ses det finkornede spild at udgøre cirka 4,23 % af den samlede gravemængde for Hovedforslag 1.

5.1.6.2 Gravespildsmængder for Hovedforslag 2

Gravespildsmængderne for Hovedforslag 2 er i dette afsnit opgjort helt analogt for Hovedforslag 1 beskrevne. Mængderne er angivet i Tabel 5-13, Tabel 5-14 og Tabel 5-15.

Tabel 5-13 Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	278	2.776	2.022	5.076
Nordlig	282	2.776	1.647	4.704
Vestlig	204	739	1.604	2.547
Total	764	6.290	5.273	12.327

Tabel 5-14 Gravespildsmængder for det ikke-forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	993	9.930	7.233	18.157
Nordlig	1.226	12.052	7.150	20.427
Vestlig	429	1.556	3.380	5.366
Total	2.648	23.539	17.763	43.950

Tabel 5-15 Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	1.271	12.707	9.256	23.233
Nordlig	1.508	14.828	8.796	25.132
Vestlig	633	2.295	4.985	7.912
Total	3.412	29.829	23.037	56.277

Ved at sammenholde det estimerede finkornede spild opgjort i Tabel 5-15 med den estimerede gravemængde i Tabel 5-4, ses det finkornede spild at udgøre cirka 4,24 % af den samlede gravemængde for Hovedforslag 2.

5.1.6.3 Gravespildsmængder for Hovedforslag 2 med afskærmet afgravning

Gravespildsmængderne er med den afskærmede afgravning kun ændret langs den østlige perimeter. De her angivne tabeller (Tabel 5-16 – Tabel 5-18) indeholder derfor kun tal for det østlige område samt totale mængder.

Tabel 5-16 Gravespildsmængder for det forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	153	1.526	1.112	2.791
Total	639	5.041	4.363	10.042

Tabel 5-17 Gravespildsmængder for det ikke-forurenede bundsediment opgjort som tons tørstof på fraktioner.

Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	493	4.931	3.592	9.016
Total	2.148	18.539	14.122	34.809

Tabel 5-18 Samlet gravespildsmængde opgjort som tons tørstof på fraktioner.

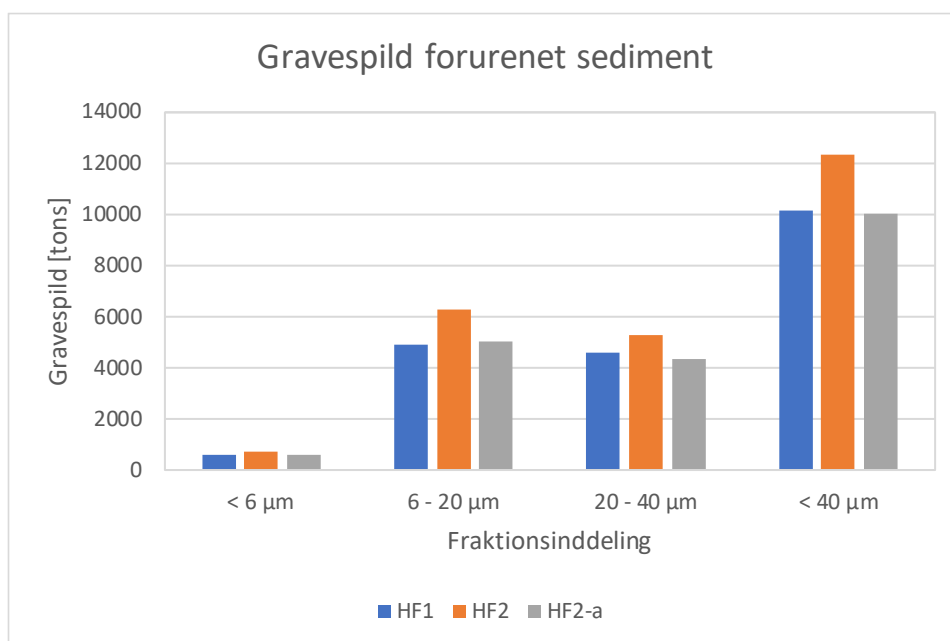
Perimeter	< 6 µm	6 – 20 µm	20 – 40 µm	< 40 µm
Østlig	646	6.457	4.704	11.807
Total	2.787	23.580	18.485	44.851

Ved at sammenholde det estimerede finkornede spild opgjort i Tabel 5-18 med den estimerede gravemængde i Tabel 5-6, ses det finkornede spild at udgøre cirka 4,07 % af den samlede gravemængde for Hovedforslag 2 med afskærmet udgravning.

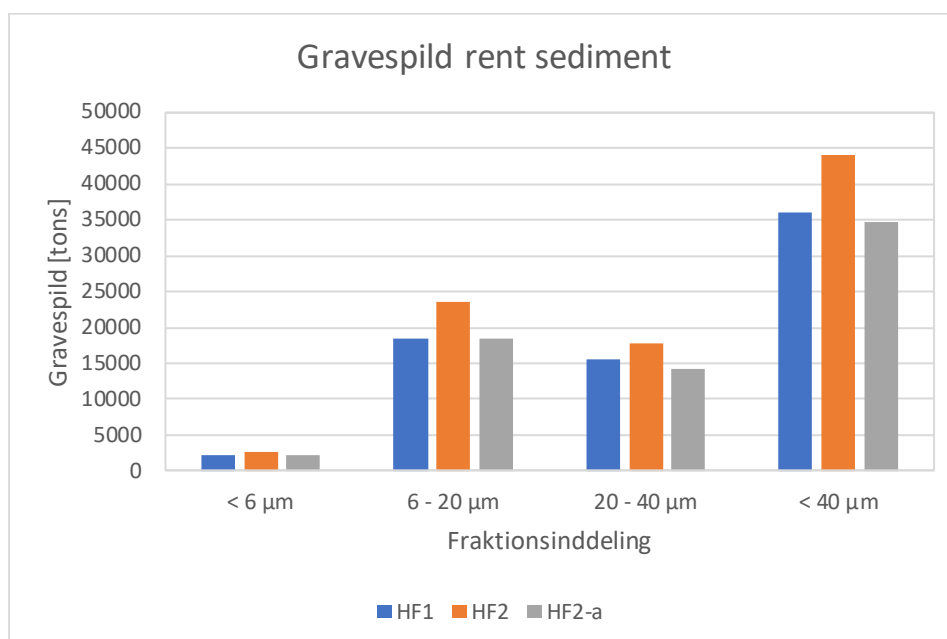
5.1.6.4 Relativ sammenligning af gravespild

De estimerede gravespildsmængder for de tre scenarier er optegnet i Figur 5-8 til Figur 5-10 i form af stavdiagrammer. Diagrammerne viser, at spildet er domineret af de to fraktioner 6-20 µm og 20-40 µm, men at sedimentfanen vil være domineret af partikler med størrelser mellem 6-20 µm, som følge af dette sediments lavere faldhastighed.

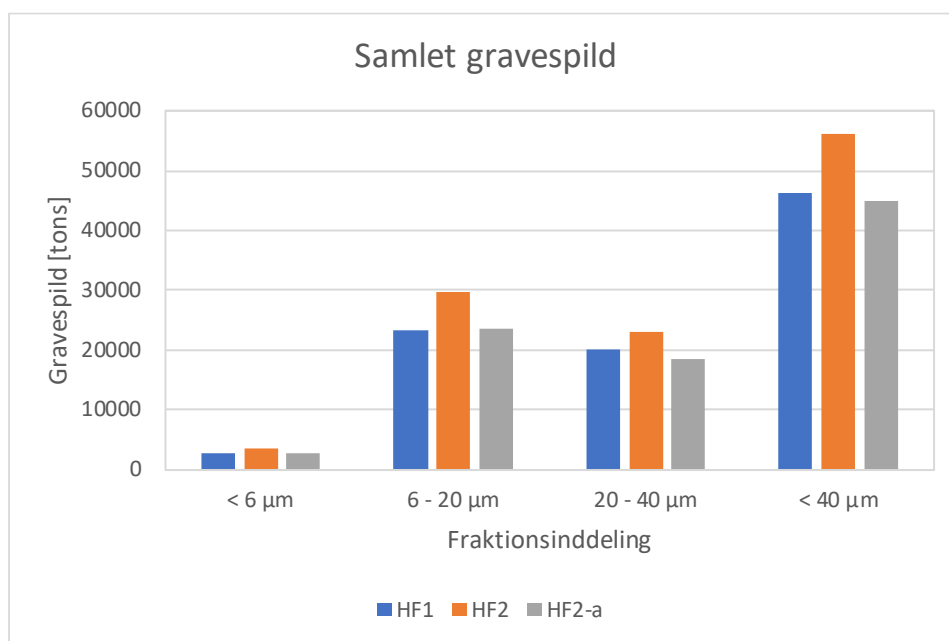
Gravespildet bliver noget større med Hovedforslag 2, men med en afskærmet afgravning af den indre østlige perimeter, er det muligt at reducere gravespildet til næsten samme størrelse som for Hovedforslag 1.



Figur 5-8 Sammenligning af gravespildsmængder af forurennet sediment for de tre gravescenarier.



Figur 5-9 Sammenligning af gravespildsmængder af rent sediment for de tre gravescenarier.



Figur 5-10 Sammenligning af gravespildsmængder for de tre gravescenarier.

5.1.7 Varighed af gravearbejde

I beregningerne er der antaget en produktionsrate på 500 m³/time og at gravearbejdet udføres ved brug af en 24/7 arbejdscyklus. Varigheden af de definerede gravescenarier er beregnet med udgangspunkt i produktionsraten, arbejdscyklus og gravemængderne. Varighederne er angivet i Tabel 5-19.

Tabel 5-19 Varighed af gravearbejder i de udførte modelsimuleringer.

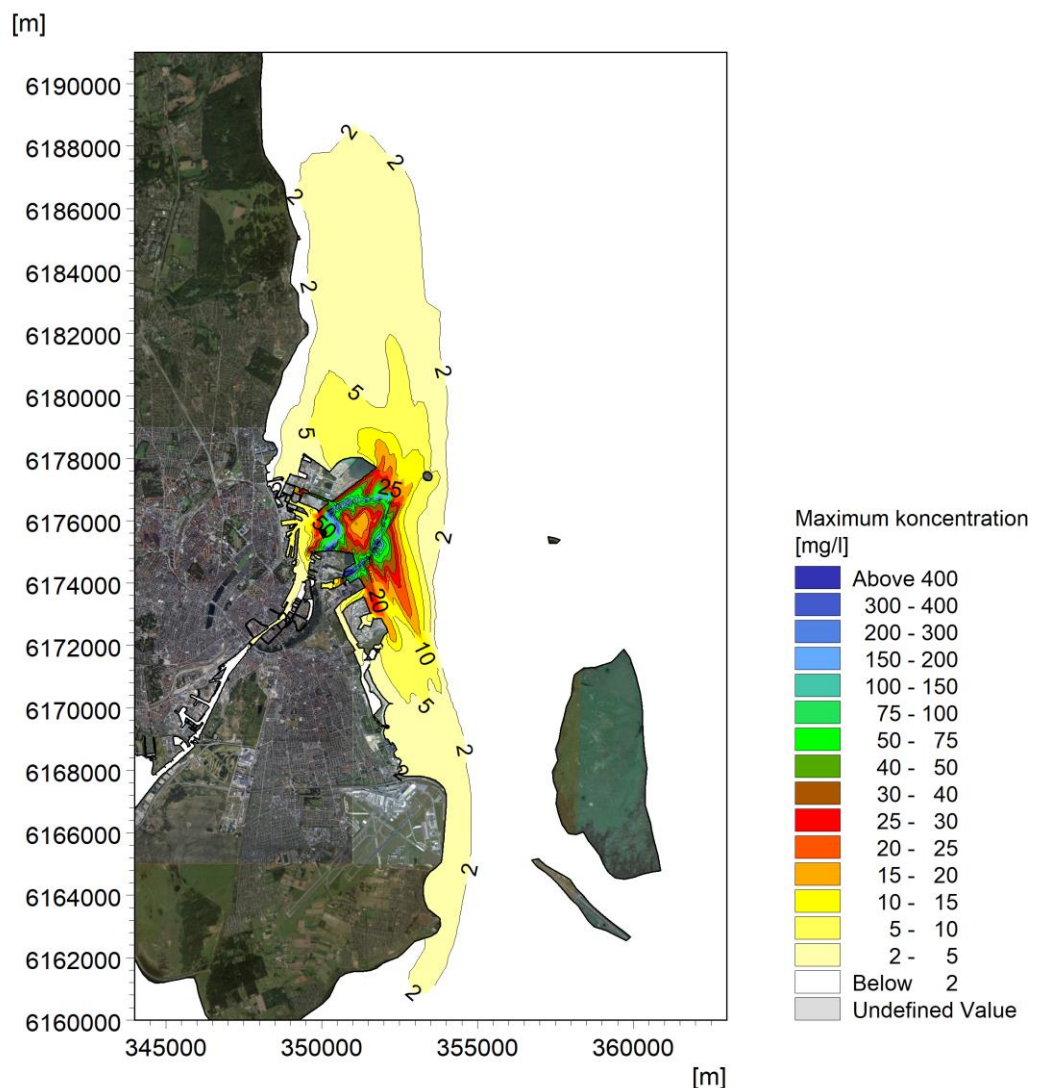
Gravescenarie	Varighed [timer]	Varighed [dage]
HF1	2.732	~114
HF2	3.450	~144
HF2 med afskærmet udgravning	2.822	~118
HF1 forurenet jord	619	~26
HF2 forurenet jord	767	~32
HF2 forurenet jord afskærmet	641	~27

5.1.8 Sedimentspredning med Hovedforslag 1 graveplan

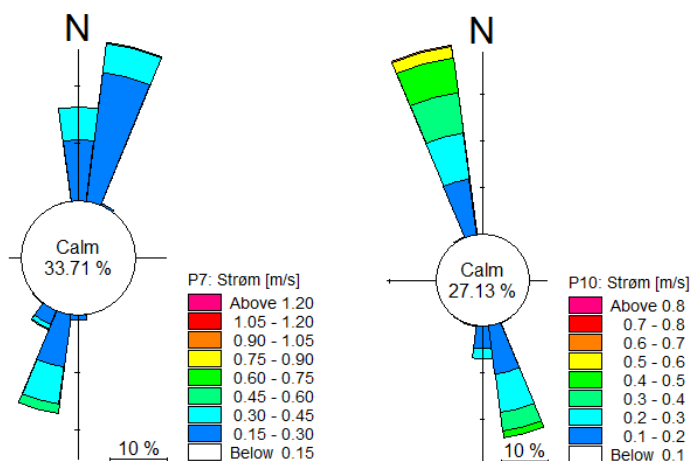
Sedimentspredningen i forbindelse med gravespild er styret af de to dominerende strømretninger, som enten er rettet mod syd eller nord. I perioder med nordgående strøm trækkes fanen nordpå, mens det modsatte gør sig gældende i perioder med sydgående strøm. I områder med kraftig strøm er fortyndingen stor, hvorved, at sedimentkoncentrationen falder relativt hurtigt, mod til gengæld at spredes over et stort område. Fortyndingen er størst, når der graves på tværs af hovedstrømningsretninger, dvs. i øst-vestgående retning. Et billede af sedimentfanens største udstrækning fås ved at udtrække den maksimale dybdemidlet sedimentkoncentration i løbet af hele

graveperioden. Et sådant plot er vist i Figur 5-11. En sedimentkoncentration på mellem 2-5 mg/l angiver typisk grænsen for en synlig sedimentfane. Af plottet ses derfor, at sedimentfanen kortvarigt vil kunne observeres fra luften op mod 10 km væk fra graveområdet. Det ses, at de høje sedimentkoncentrationer optræder lokalt omkring selve graveområdet og fortyndes relativt hurtigt, som følge af strømpåvirkningen. Strømf forholdene i graveperioden og en kortere efterfølgende periode (modelperioden) er vist i Figur 5-12 ved hjælp af to strømrøser P7 og P10 visende dybdemidlet strøm. Den præcise placering af de to strømrøser fremgår af Figur 6-34. P7 er placeret i området øst for ØP1.2, mens P10 er placeret i Kongedybet lige syd for graveområde ØP4. Graveperioden udgør 2.732 timer, mens modelperioden udgør 2.880 timer.

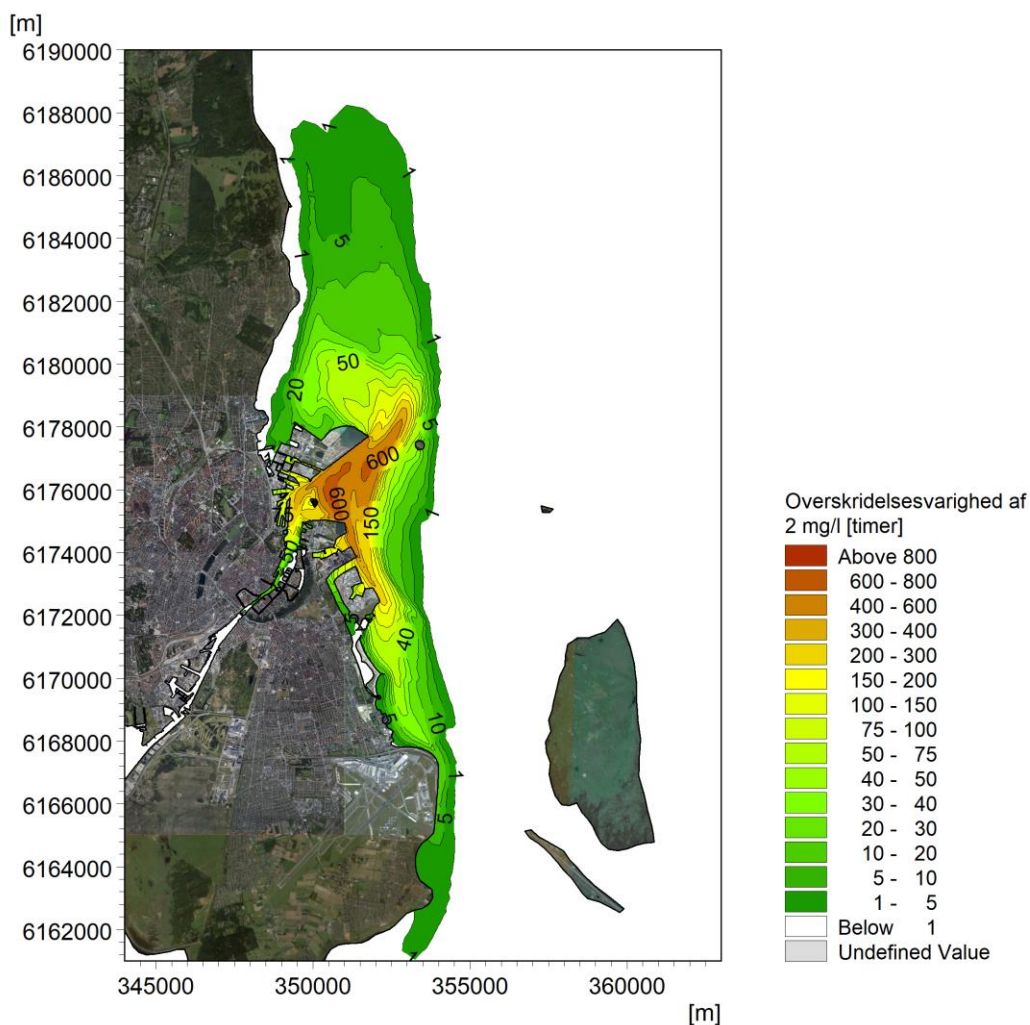
Alle figurer relateret til gravespildet er lavet, så de dækker samme udsnit som de to parallelsценарієrs tilsvarende figur og ydermere samme skalaer, således at det er let at sammenligne de undersøgte gravesценарієr.



Figur 5-11 Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild.



Figur 5-12 Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.

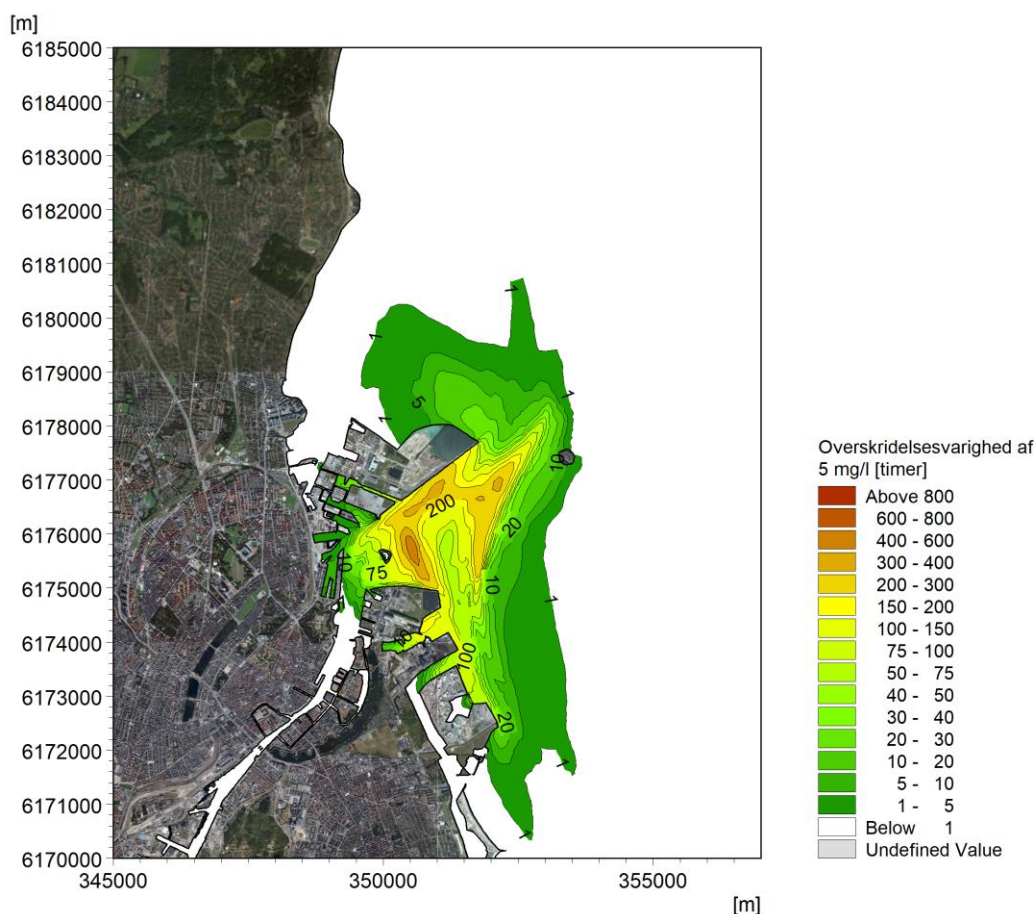


Figur 5-13 Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

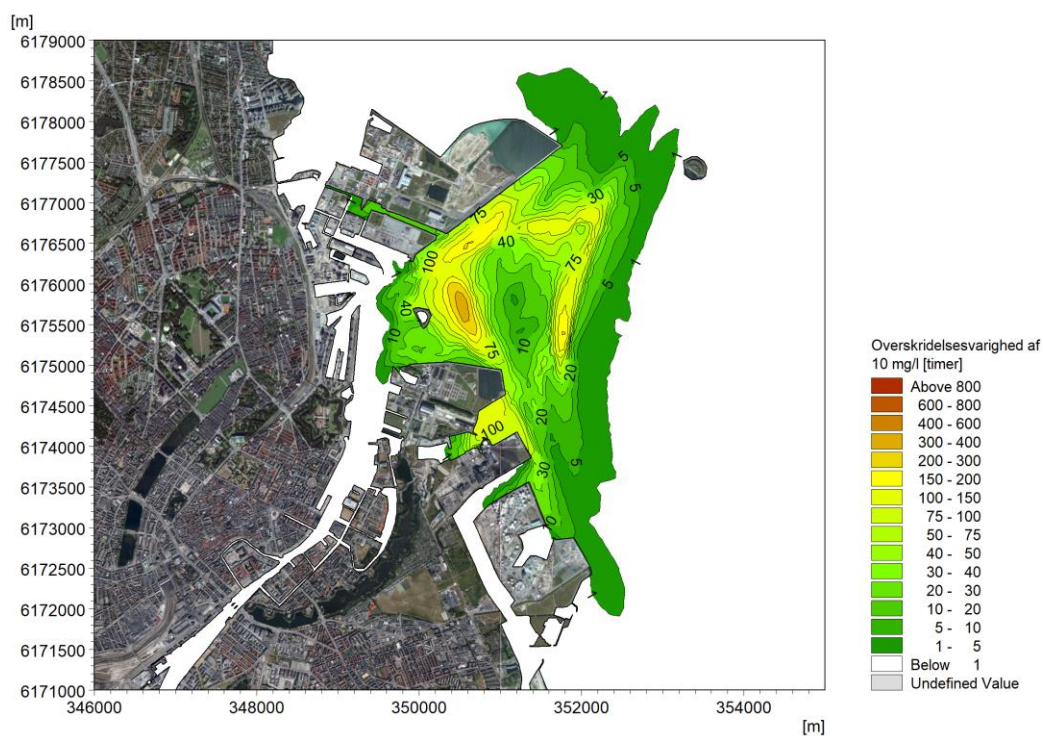
Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted mellem 2-5 mg/l. Figur 5-13 viser overskridelsesvarigheden af en sedimentkoncentration på 2 mg/l relateret til gravespild, dvs. en eventuel baggrundskoncentration er ikke medtaget. Det ses, at de største

overskridelsesvarigheder optræder i Kronløbet, øst for Trekroner og i Kongedybet. Der vil være perioder, hvor sedimentfanen vil være synlig i Havneløbet, særligt i Yderhavnen. De højeste varigheder med overskridelse af 2 mg/l udgør op mod 800 timer, hvilket skal ses i forhold til den samlede graveperiode på 2.732 timer.

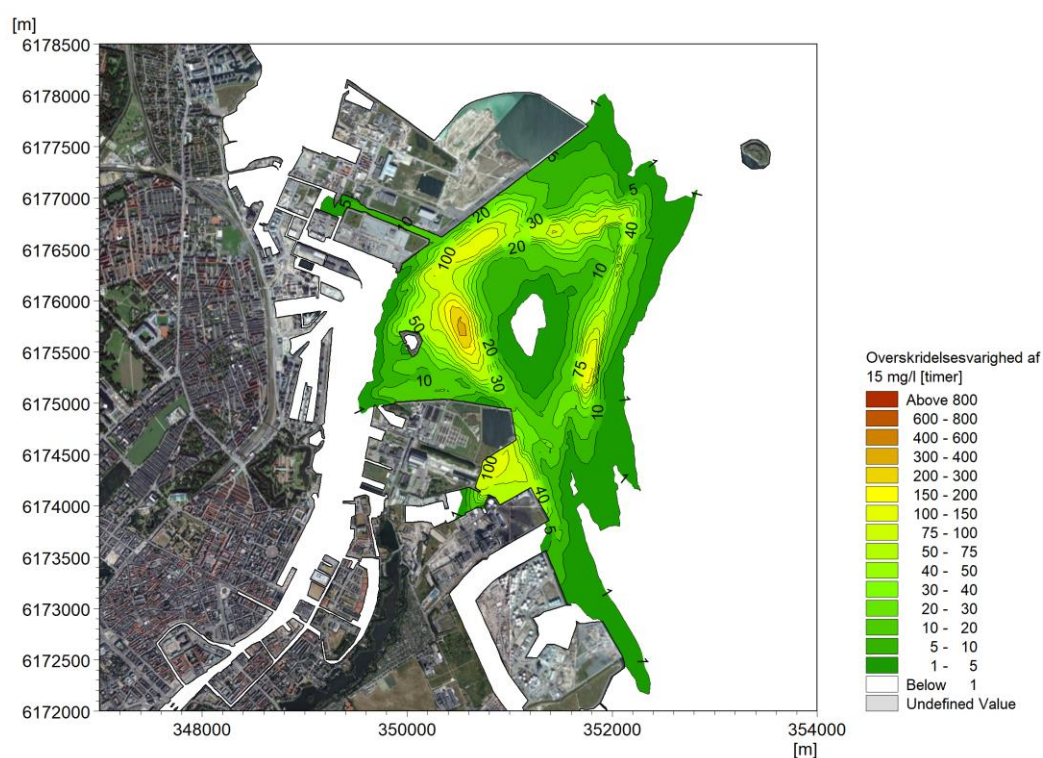
Tilsvarende plots for overskridelsesvarigheder er udarbejdet for dybdemidlet sedimentkoncentrationer på 5 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l og vist i Figur 5-14 til Figur 5-16. Det ses, at sedimentkoncentrationer på 10 mg/l og 15 mg/l kun overskrides i graveområdets nærhed. Sedimentudbredelsen ind i Havneløbet er i disse plot af yderst begrænset omfang.



Figur 5-14 Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-15 Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

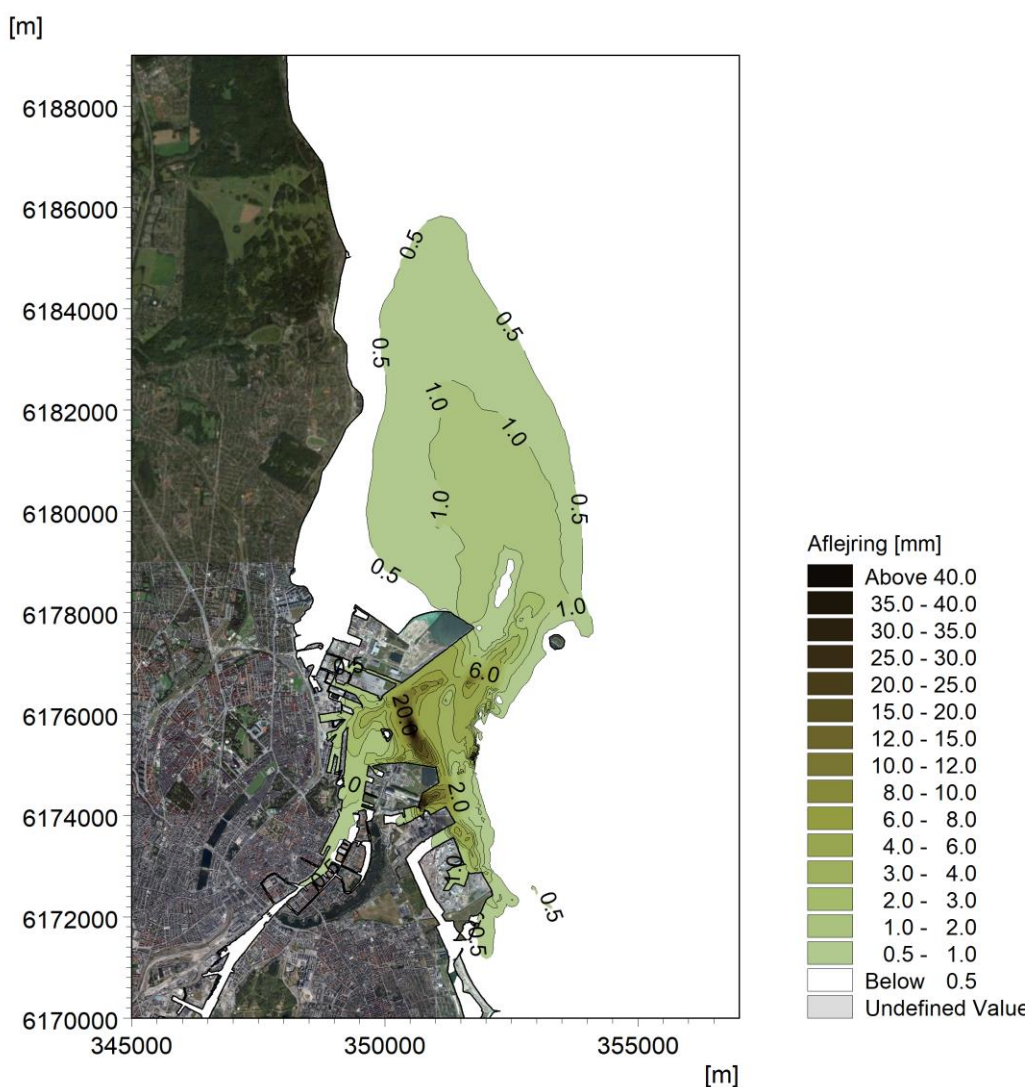


Figur 5-16 Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

I Tabel 5-20 er områderne med forhøjet turbiditet som følge af gravespild angivet som påvirket vandareal.

Tabel 5-20 Påvirket vandareal angivet som hektar med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	> 12 timer	> 24 timer	> 48 timer	> 1 uge	> 2 uger
➤ 2 mg/l	3.861	2.740	1.873	865	500
➤ 5 mg/l	1.073	835	673	242	22
➤ 10 mg/l	587	419	259	29	3
➤ 15 mg/l	331	213	132	9,3	1,2



Figur 5-17 Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m³.

Gravespildet vil falde ud af vandsøjlen og aflejres i takt med at der opstår tilstrækkelige rolige strømforhold til at sedimentet ikke kan opretholdes i opslæmning. Et aflejningskort for gravespildet er vist i Figur 5-17. De angivne tykkelser er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget

finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder. Er tørdensiteten højere bliver lagtykkelserne mindre og visa versa. Massen af aflejret sediment er uændret. Aflejringsskottet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning. Ligeledes er der tendens til svag aflejring i Kronløbet, Yderhavnen og Kongedybet. Desuden er der svag aflejring fra den nordgående sedimentfane i et område af større udstrækning nord for Nordhavnsopfyldningen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 5-21 for varierende aflejringstykkelse. Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.

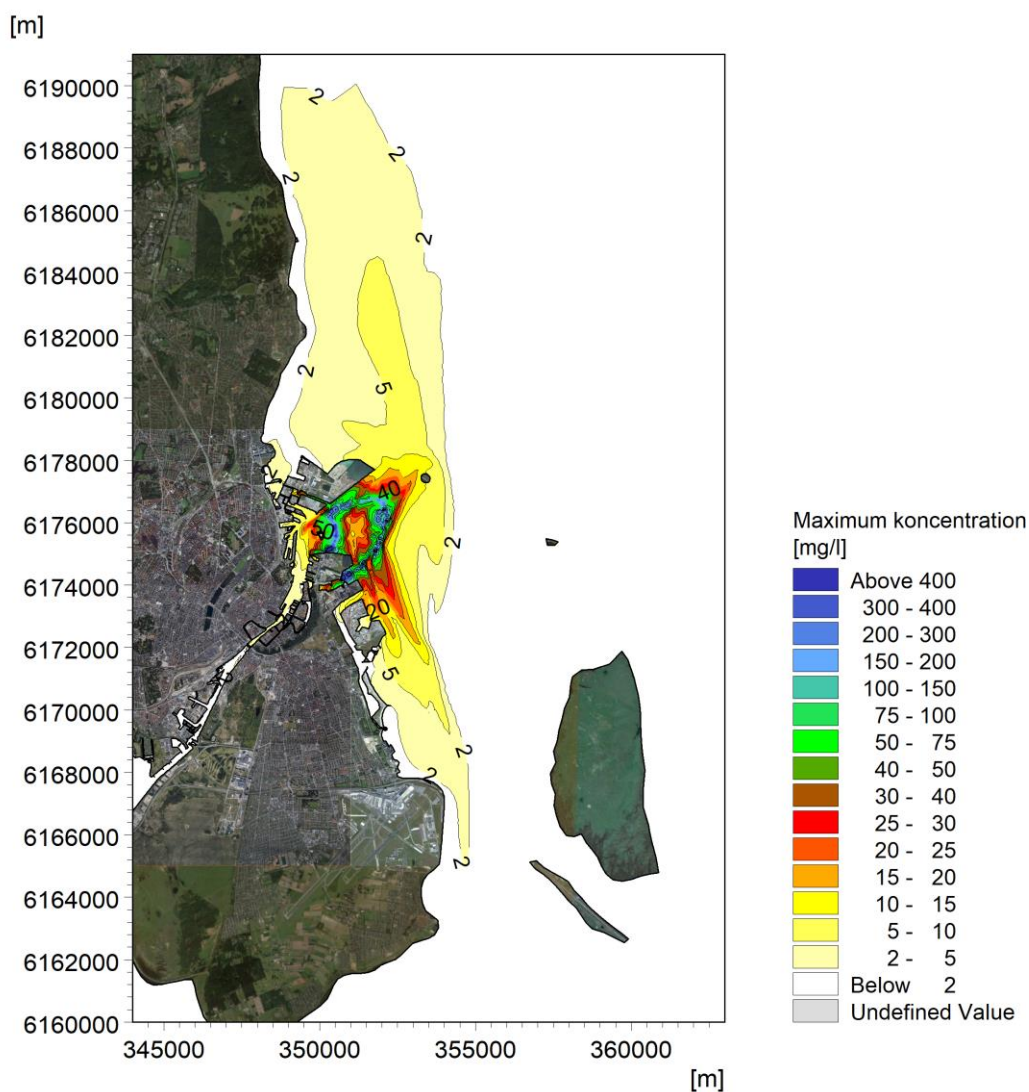
Tabel 5-21 Påvirket areal med aflejring fra afgravning af Lynetteholmen.

Areal med aflejring [ha]	Aflejringstykkelse [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
Totalt påvirket areal	1.581	612	236	62	14,5	1,35
Udenfor perimeter	1.309	351	104	16,3	2,62	0,04

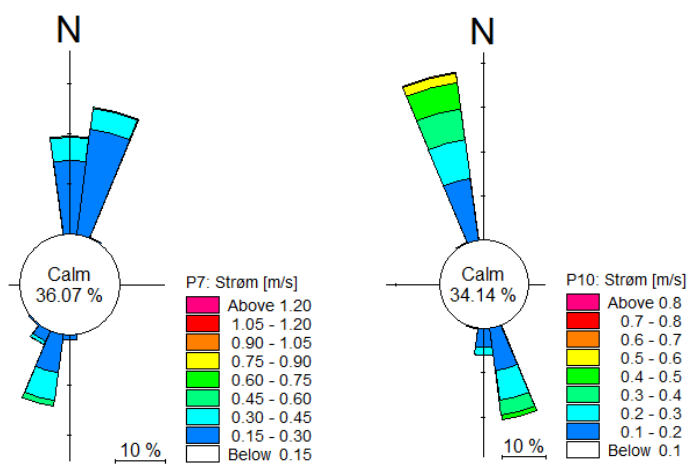
Det samlede finkornede sedimentspild udgør 46.209 tons. Heraf aflejres 7.710 tons, svarende til 16,7 %, indenfor projektforslagets perimeter.

5.1.9 Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan

Gravemængder og graveperiode er noget større og længere for Hovedforslag 2 end for Hovedforslag 1. Graveperioden udgør 3.450 timer, mens modelperioden udgør 3.600 timer. De større mængder og den længere graveperiode gør at strømforholdene vil være lidt anderledes end for Hovedforslag 1, når der graves i de enkelte områder, men det overordnede strømbillede vil forsat være domineret af skiftende perioder med enten nordgående eller sydgående strøm, jf. strømrøserne vist i Figur 5-12 og Figur 5-19. Graveperioderne er lange og den akkumulerede effekt af sedimentspredningen fra gravearbejderne er derfor kun i begrænset omfang påvirket af starttidspunktet for modelleringen. Et billede af sedimentfanens største udstrækning kan fås ved at udtrække den maksimale dybdemidlet sedimentkoncentration i løbet af hele graveperioden. Et sådant plot er vist i Figur 5-18. Strømforholdene har betydning for hvor langt og hvor længe gravespildet kan opretholdes i opslæmning. Strømforholdene i graveperioden og en kortere efterfølgende periode (modelperioden) er vist i Figur 5-19 ved hjælp af to strømrøser P7 og P10 visende dybdemidlet strøm. Den præcise placering af de to strømrøser fremgår af Figur 6-34. P7 er placeret i området øst for ØP1.2, mens P10 er placeret i Kongedybet lige syd for graveområde ØP4.

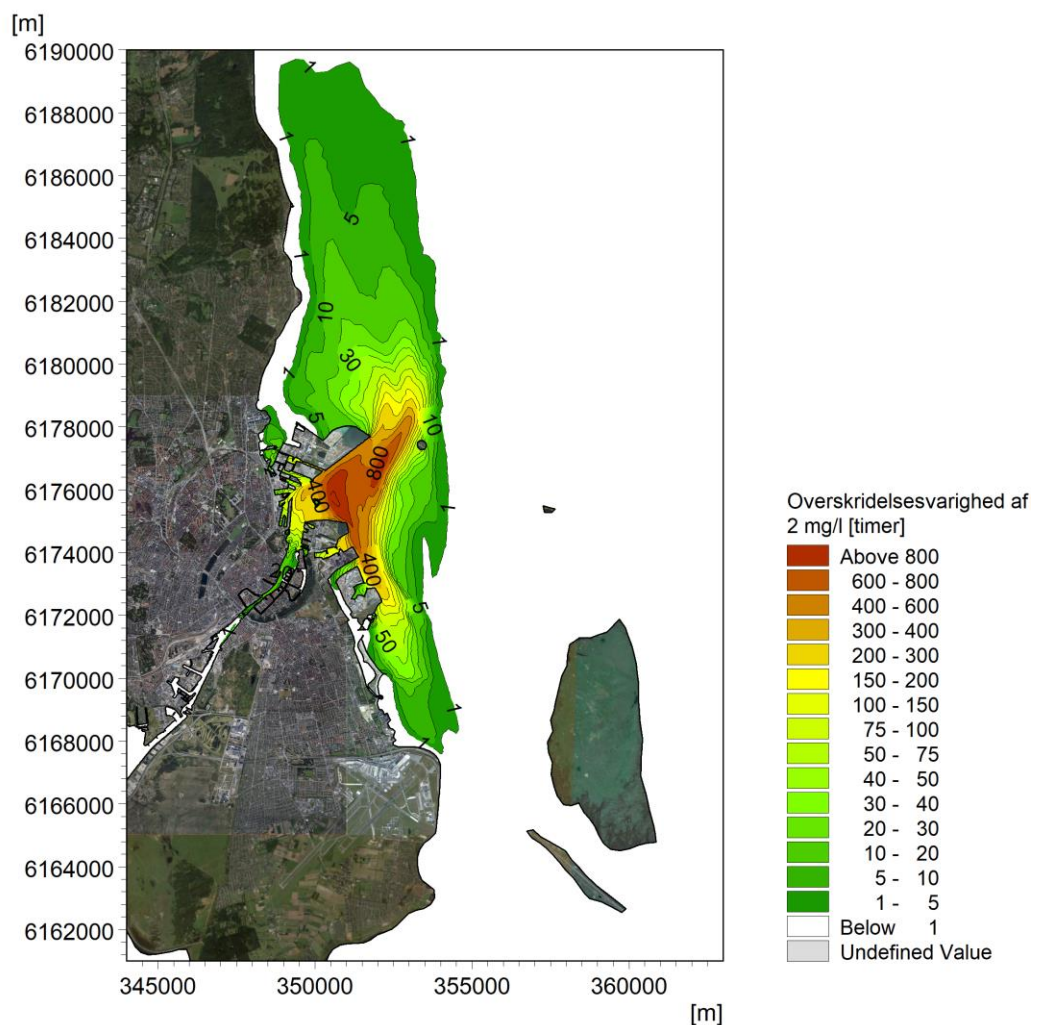


Figur 5-18 Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild.

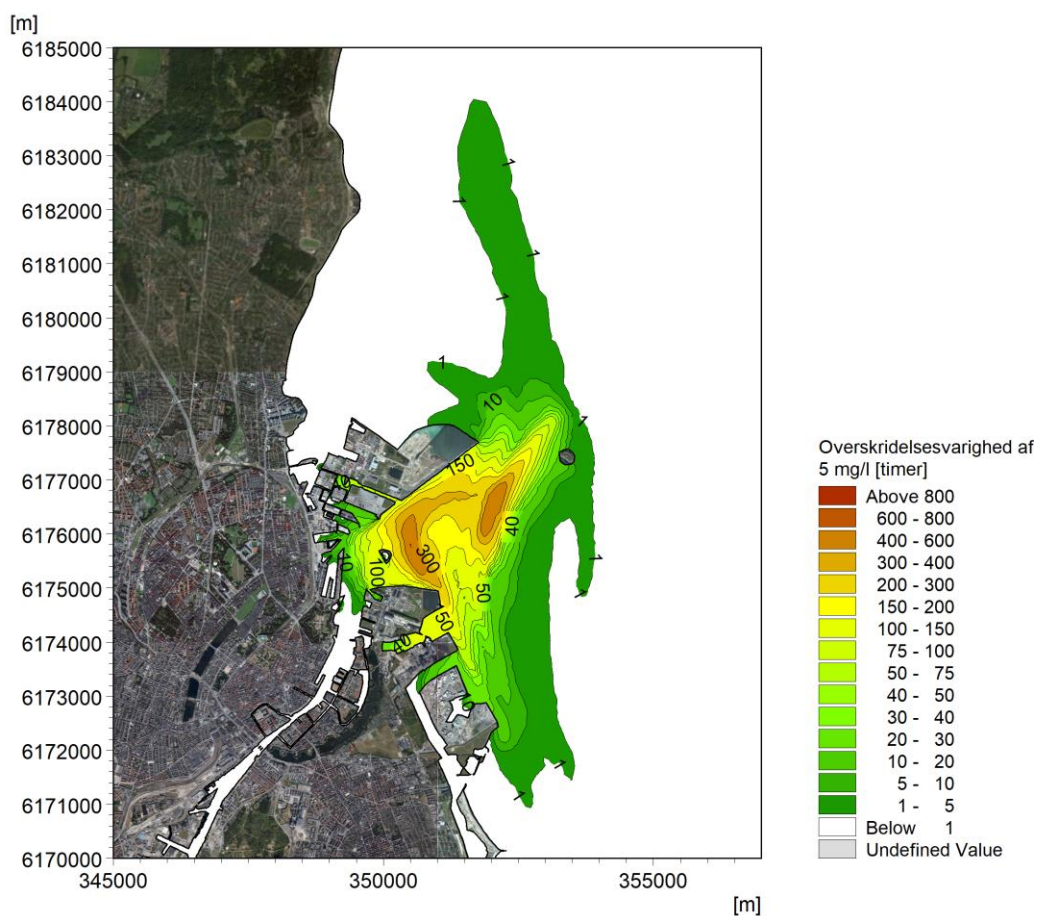


Figur 5-19 Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømrøser P7 og P10 langs det østlige graveområde.

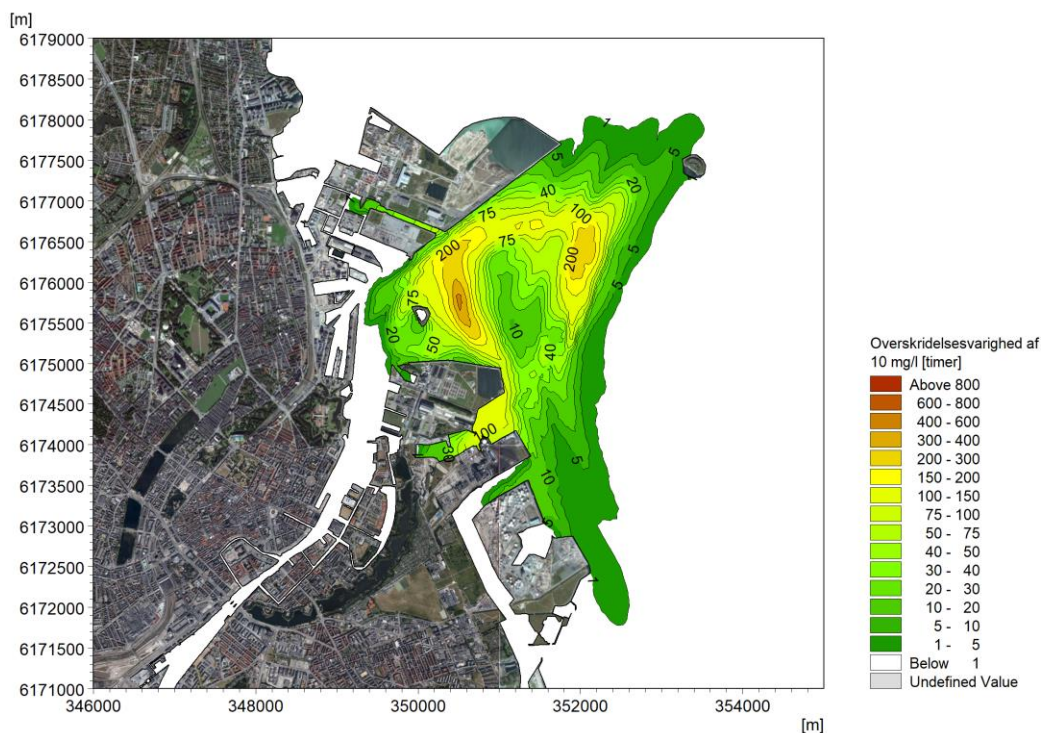
Sedimentfanens udbredelse og påvirkning kan illustreres ved hjælp af varighedsplot, hvori det angives i hvor lang tid en given dybdemidlet sedimentkoncentration udløst af gravearbejdet vil være overskredet. I Figur 5-20 til Figur 5-23 er der angivet varighedsplot for overskridelse af 2 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted mellem 2-5 mg/l. Det ses, at de største overskridelsesvarigheder optræder i området for den østlige perimeter, i Kronløbet, øst for Trekroner og i Kongedybet. Der vil være perioder, hvor sedimentfanen vil være synlig i Havneløbet, særligt i Yderhavnen. De højeste varigheder med overskridelse af 2 mg/l udgør et sted mellem 1000-1100 timer, hvilket skal ses i forhold til den samlede graveperiode på 3.450 timer. I beregningen har sedimentfanen undertiden en udstrækning mod nord helt op til Skodsborg og mod syd ned til Kastrup Lufthavn. Beregningerne for Hovedforslag 1 viser dog at sedimentfanens udbredelse mod syd i visse strømsituationer må kunne forventes at udbrede sig ned forbi Dragør. For de højere sedimentkoncentrationsniveauer (10 mg/l og 15 mg/l) finder overskridelserne primært sted i graveområdets nærhed. Sedimentudbredelsen ind i Havneløbet er i disse plot af yderst begrænset omfang.



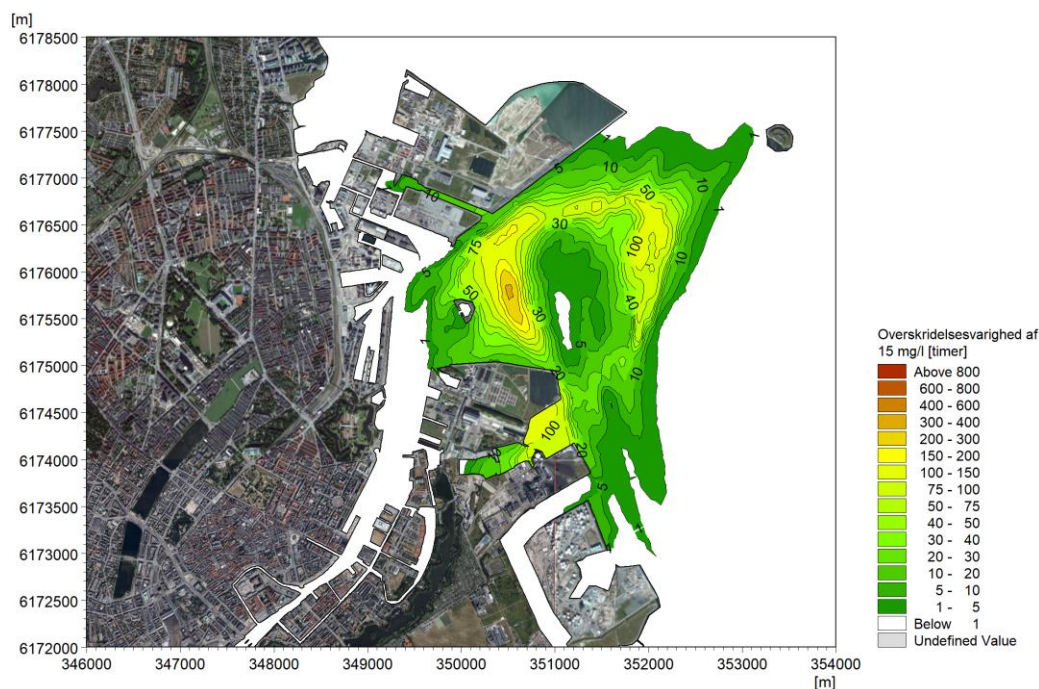
Figur 5-20 Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-21 Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-22 Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



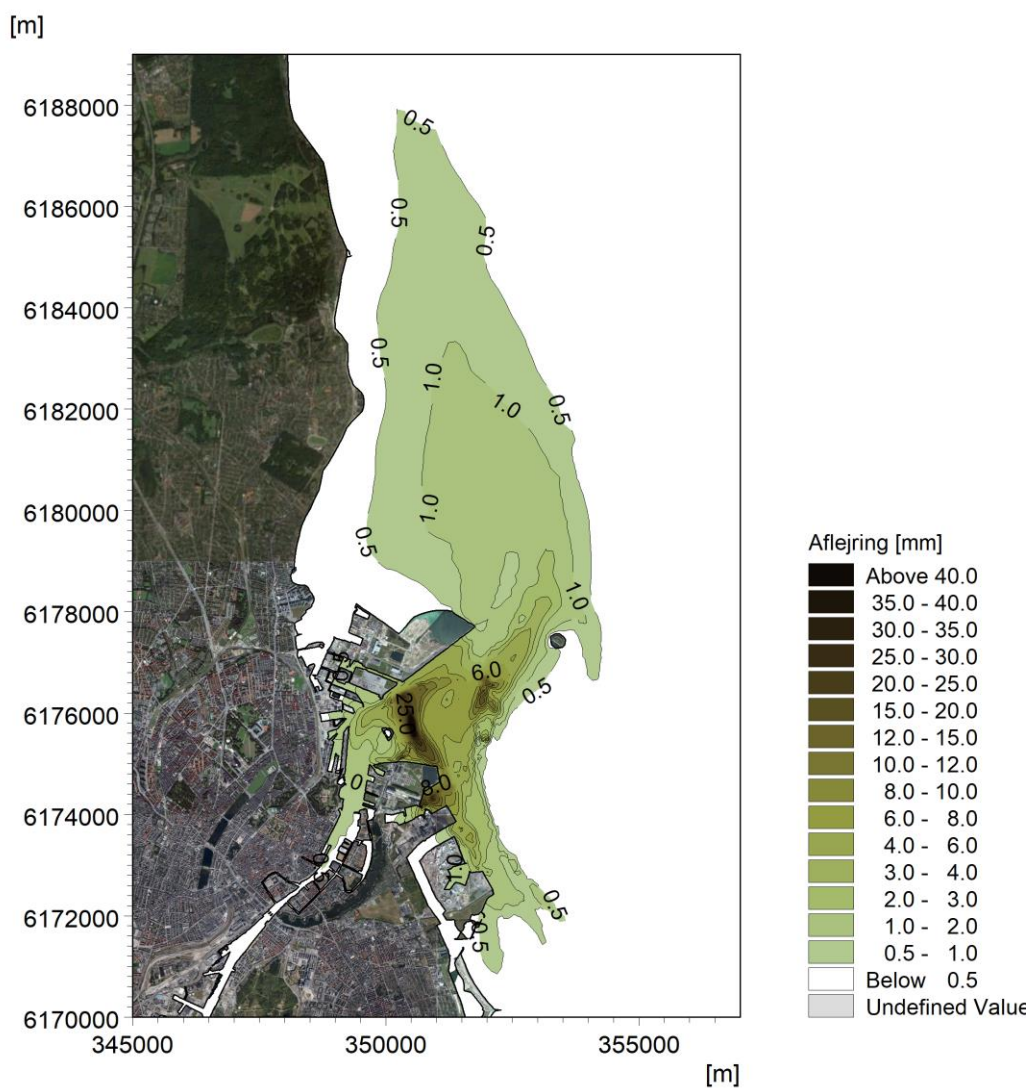
Figur 5-23 Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

I Tabel 5-22 er områderne med forhøjet turbiditet som følge af gravespild angivet som påvirket vandareal.

Tabel 5-22 Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	> 12 timer	> 24 timer	> 48 timer	> 1 uge	> 2 uger
➤ 2 mg/l	3.392	2.364	1.693	964	642
➤ 5 mg/l	1.091	881	726	347	92
➤ 10 mg/l	650	510	333	68	5
➤ 15 mg/l	410	288	183	15	0,7

Gravespildet vil falde ud af vandsøjlen og aflejres i takt med at der opstår tilstrækkelige rolige strømforhold til at sedimentet ikke kan opretholdes i opslæmning. Et aflejningskort for gravespildet er vist i Figur 5-24. De angivne tykkelser er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder. Er tørdensiteten højere bliver lagtykkelserne mindre og visa versa. Massen af aflejret sediment er uændret. Aflejningskortet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning og i området ved det nordøstlige hjørne, hvor afgravningsvolumenet er stort. Ligeledes er der tendens til svag aflejring i Kronløbet, Yderhavnen og Kongedybet. Desuden er der svag aflejring fra den nordgående sedimentfane i et område af større udstrækning nord for Nordhavnsopfyldningen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 5-23 for varierende aflejringstykkelser. Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.



Figur 5-24 Aflejringsstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m³.

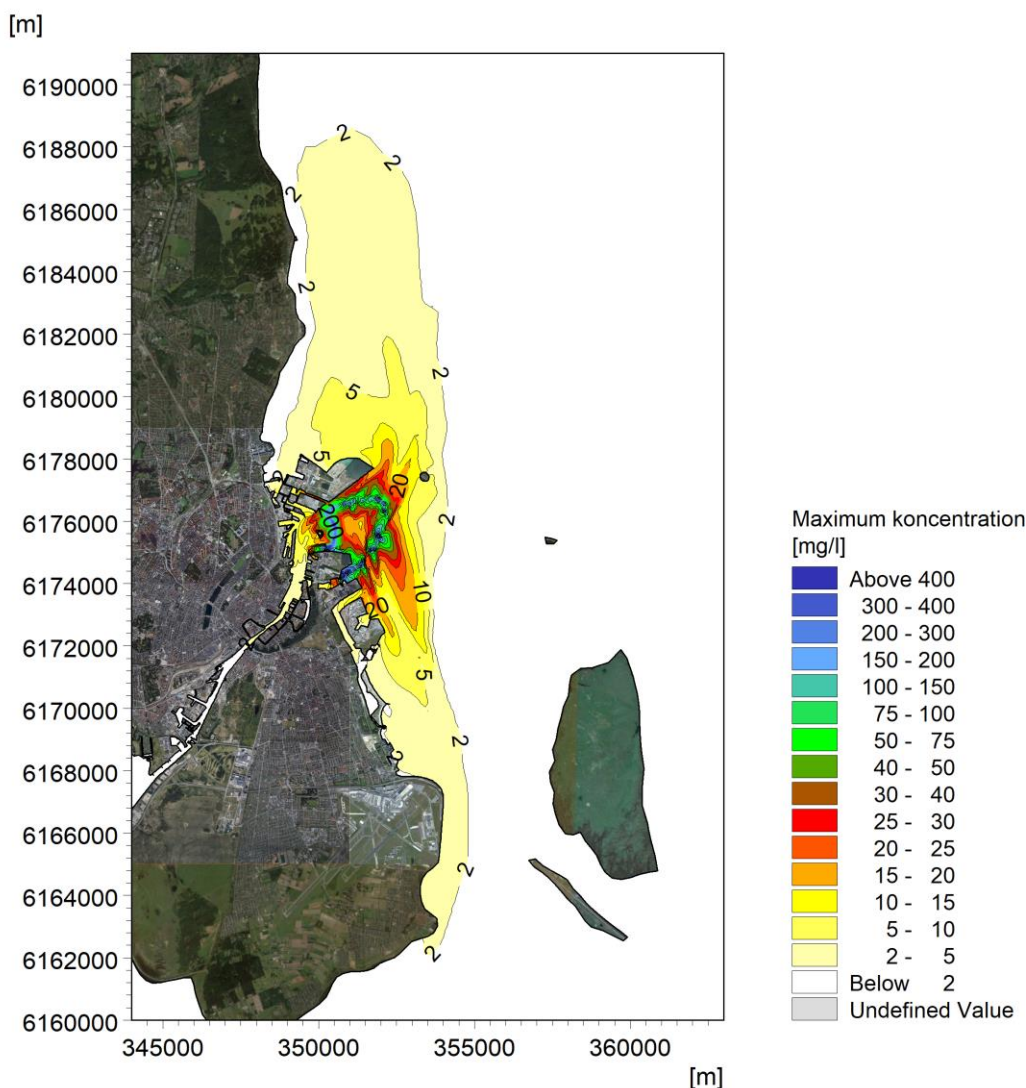
Tabel 5-23 Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.

Areal med aflejringer [ha]	Aflejringsstykkelse [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
Totalt påvirket areal	2.070	798	409	113	25	2,8
Udenfor perimeter	1.789	521	166	31	5,1	0,23

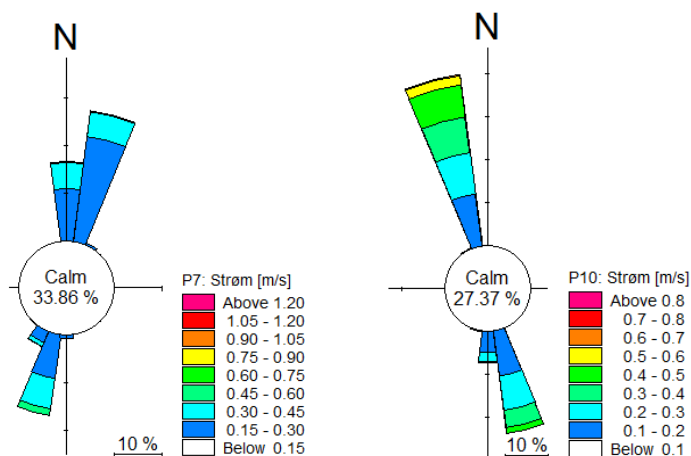
Det samlede finkornede sedimentspild udgør 56.277 tons. Heraf aflejres 10.982 tons, svarende til 16,3 %, indenfor projektforslagets perimeter.

5.1.10 Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan og delvist afskærmet afgravning

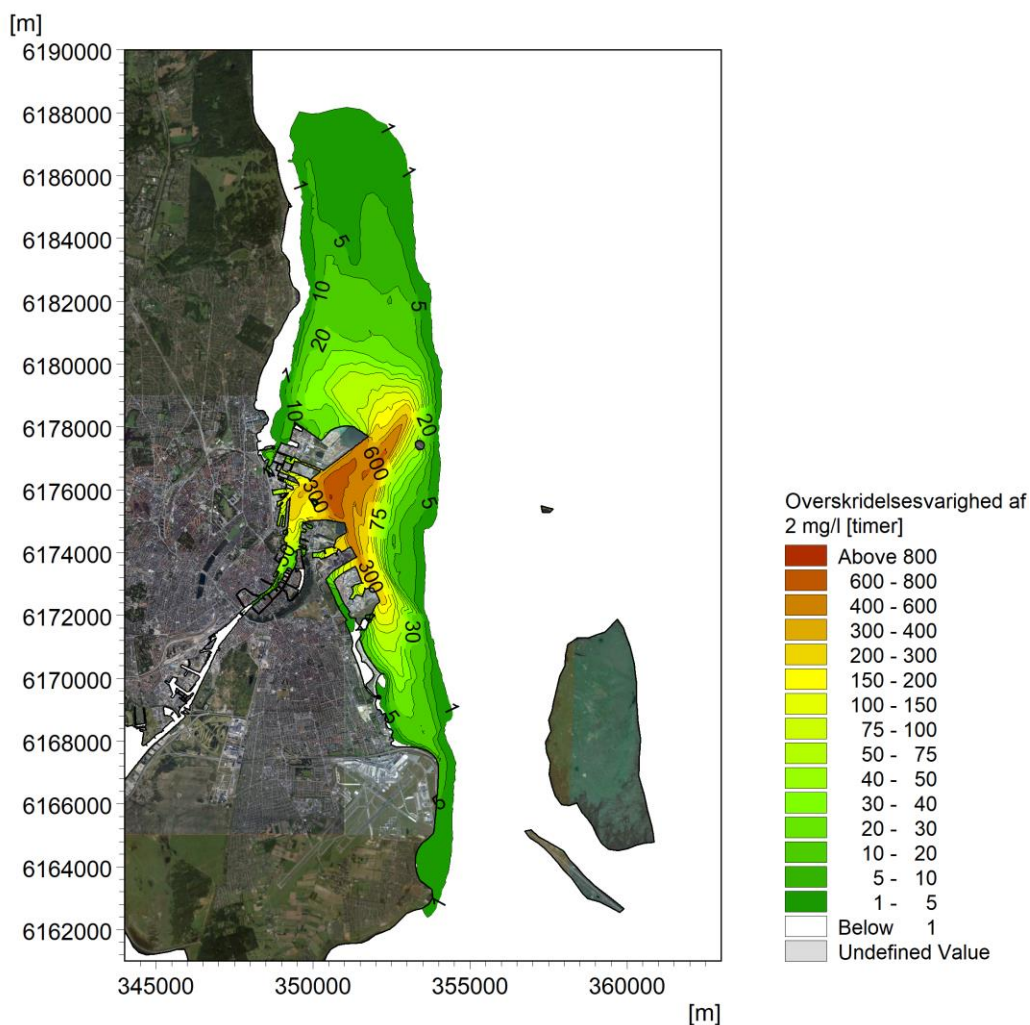
Gravespildet kan ved Hovedforslag 2 reduceres, hvis sektion ØP1.1, ØP2.1 og ØP3.1 først afgraves, når der er etableret en dæmning i område ØP1.2, ØP2.2 og ØP3.2 samt langs størstedelen af den øvrige perimeter. Herved kan det sikres, at gravespildet fra disse områder vil forblive indenfor opfyldningens perimeter. Graveperioden udgør 2.822 timer, mens modelperioden udgør 2.976 timer. Et billede af sedimentfanens største udstrækning kan fås ved at udtrække den maksimale dybdemidlet sedimentkoncentration i løbet af hele graveperioden. Et sådant plot er vist i Figur 5-25. Strømforholdene har betydning for hvor langt og hvor længe gravespildet kan opretholdes i opslæmning. Strømforholdene i graveperioden og en kortere efterfølgende periode (modelperioden) er vist i Figur 5-26 ved hjælp af to strømrøser P7 og P10 visende den dybdemidlet strøm. Den præcise placering af de to strømrøser fremgår af Figur 6-34. P7 er placeret i området øst for ØP1.2, mens P10 er placeret i Kongedybet lige syd for graveområde ØP4.



Figur 5-25 Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild.



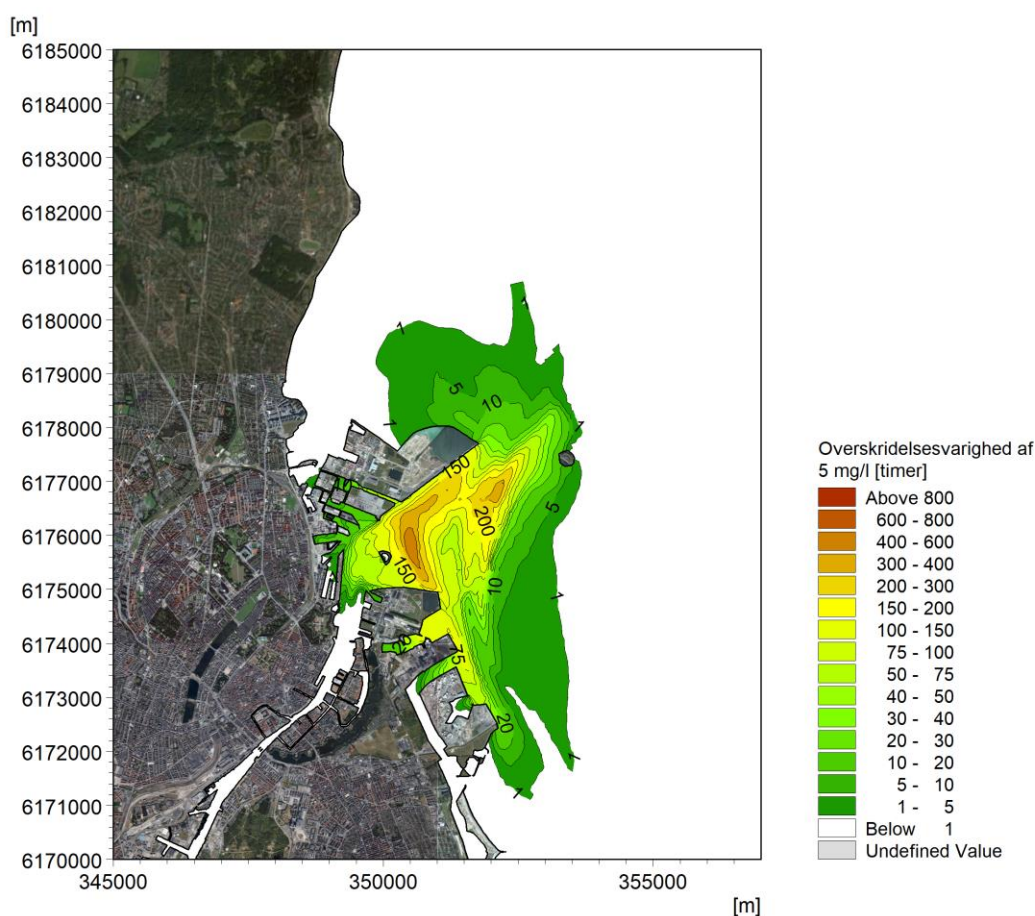
Figur 5-26 Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømrøser P7 og P10 langs det østlige graveområde.



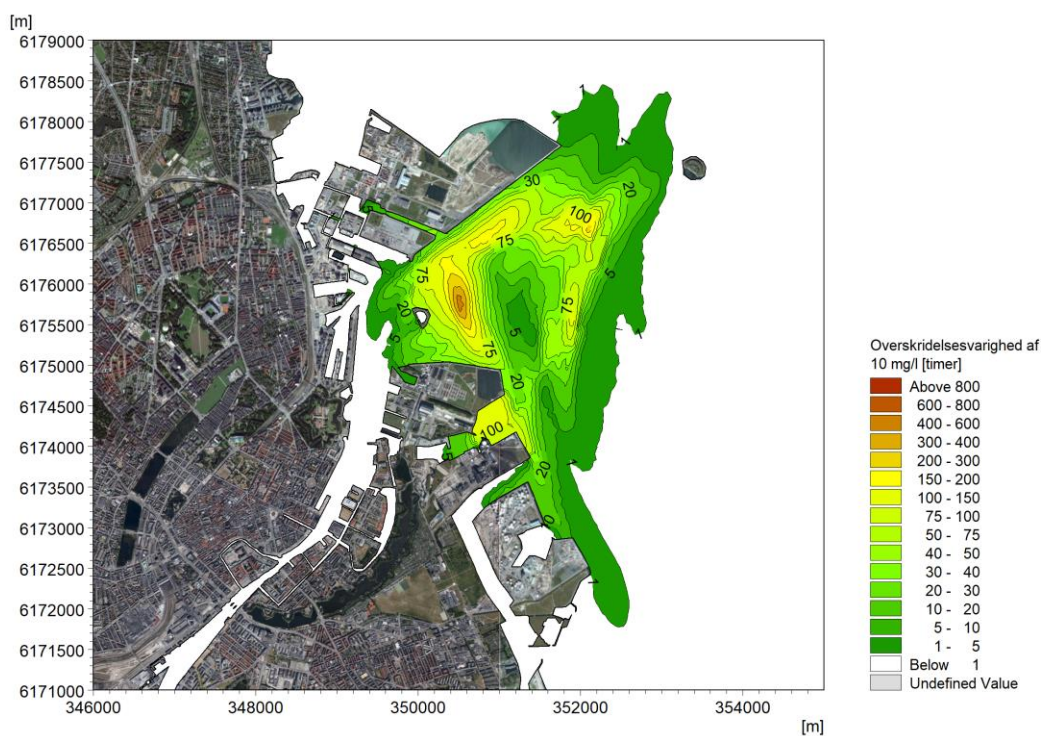
Figur 5-27 Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejds udførelse.

Sedimentfanens udbredelse og påvirkning er illustreret ved hjælp af varighedsplot, hvori det angives i hvor lang tid en given dybdemidlet sedimentkoncentration udløst af gravearbejdet vil være overskredet. I Figur 5-27 til Figur 5-30 er der angivet varighedsplot

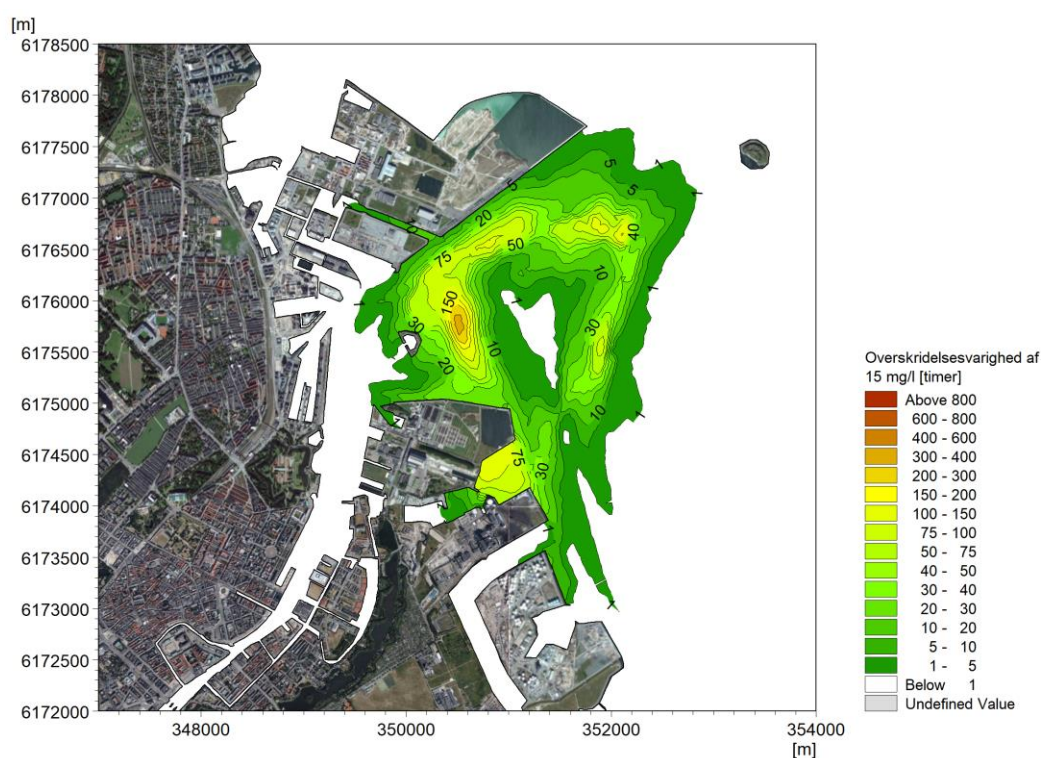
for overskridelse af 2 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted mellem 2-5 mg/l. Det ses, at de største overskridelsesvarigheder optræder i området for den østlige perimeter, i Kronløbet, øst for Trekroner og i Kongedybet. Der vil være perioder, hvor sedimentfanen vil være synlig i Havneløbet, særligt i Yderhavnen. De højeste varigheder med overskridelse af 2 mg/l udgør et sted mellem 700-800 timer, hvilket skal ses i forhold til den samlede graveperiode på 2.822 timer. Kortvarigt kan sedimentfanen have en udstrækning mod nord helt op til Skodsborg og mod syd ned til Dragør. For de højere sedimentkoncentrationsniveauer (10 mg/l og 15 mg/l) finder overskridelserne primært sted i graveområdets nærhed. Sedimentudbredelsen ind i Havneløbet er i disse plot af yderst begrænset omfang.



Figur 5-28 Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-29 Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

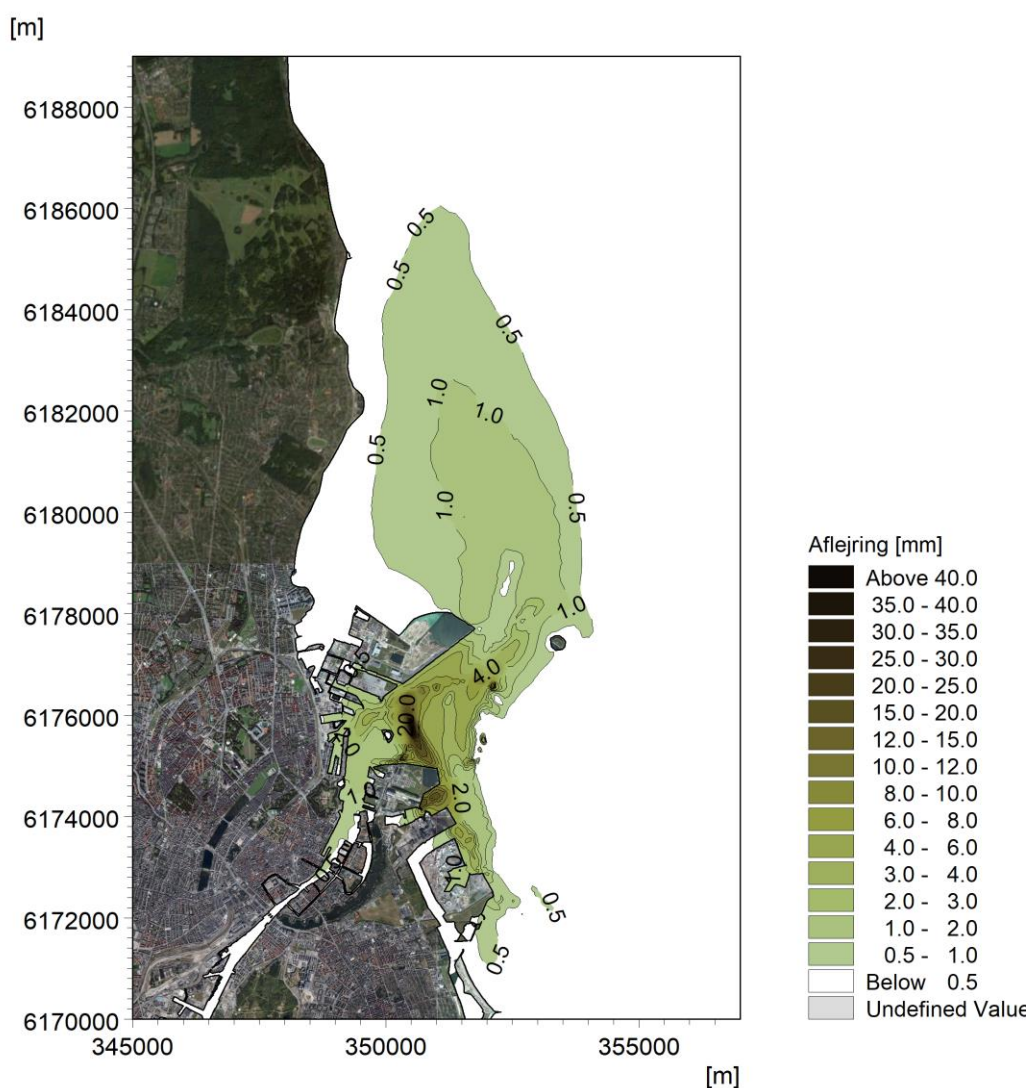


Figur 5-30 Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

I Tabel 5-24 er områderne med forhøjet turbiditet som følge af gravespild angivet som påvirket vandareal.

Tabel 5-24 Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	> 12 timer	> 24 timer	> 48 timer	> 1 uge	> 2 uger
➤ 2 mg/l	3.720	2.580	1.719	866	488
➤ 5 mg/l	1.030	828	673	208	32
➤ 10 mg/l	560	424	254	25	4
➤ 15 mg/l	340	220	117	7	1,2

Figur 5-31 Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m³.

Et aflejningskort for gravespildet er vist i Figur 5-31. De angivne tykkelser er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder. Er tørdensiteten højere bliver lagtykkelserne mindre og visa versa. Massen af aflejret sediment er uændret. Aflejningskortet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige

øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning og ved hjørnet af den østlige og nordlige perimeter. Ligeledes er der tendens til svag aflejring i Kronløbet, Yderhavnen og Kongedybet. Desuden er der svag aflejring fra den nordgående sedimentfane i et område af større udstrækning nord for Nordhavnsopfyldningen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 5-25 for varierende aflejringstykkelser. Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.

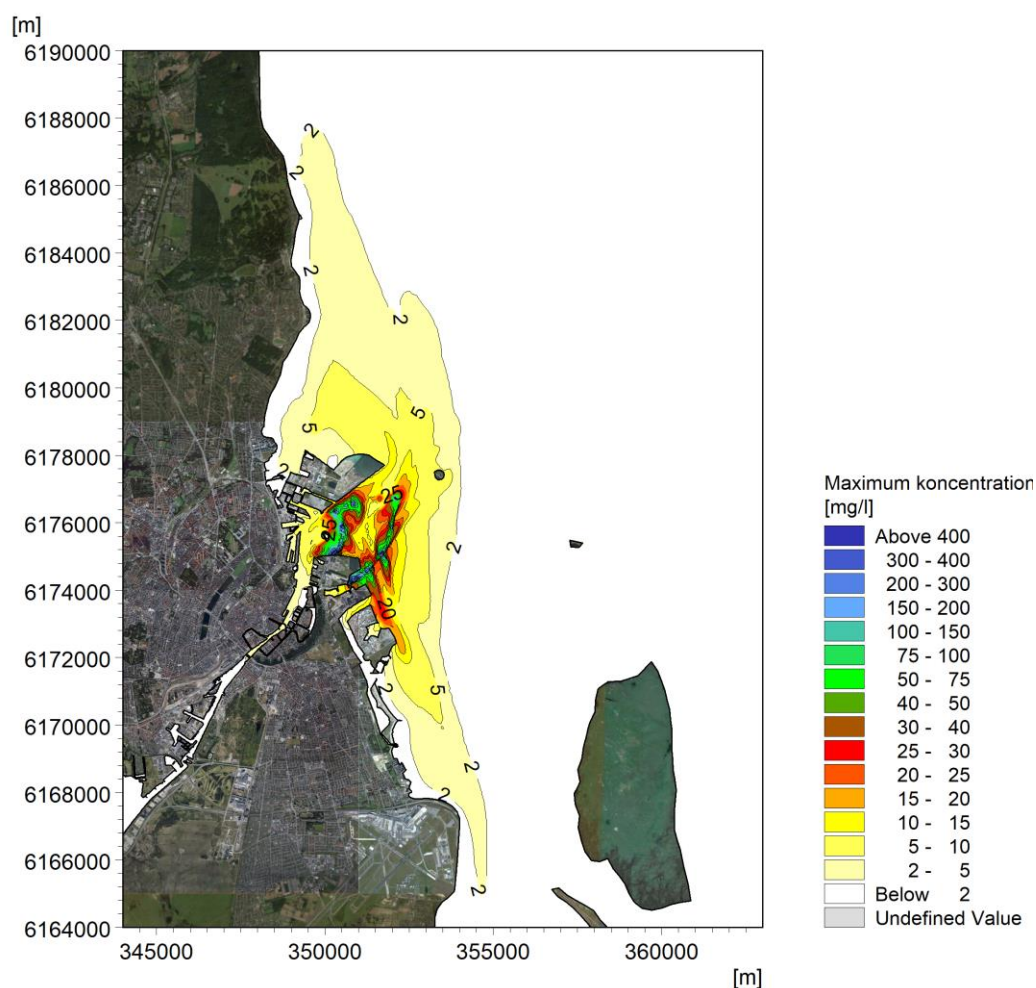
Tabel 5-25 Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.

Areal med aflejring [ha]	Aflejringstykkelse [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
Totalt påvirket areal	1.559	585	232	65	14	2,1
Udenfor perimeter	1.294	329	94	16	2,8	0,23

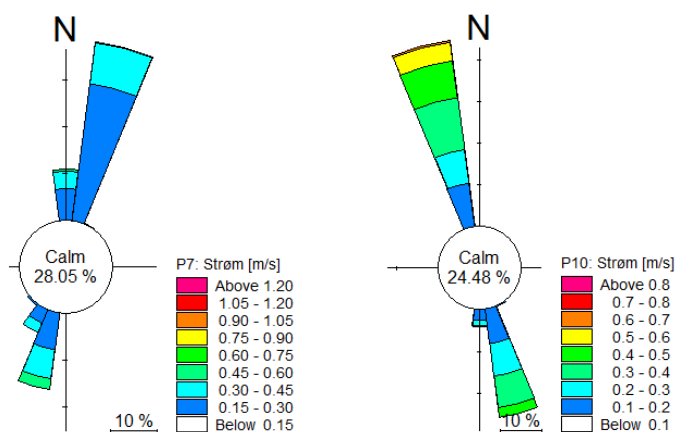
Det samlede finkornede sedimentspild udgør 44.851 tons. Heraf aflejres 7.759 tons svarende til 17,3 % indenfor projektforslagets perimeter.

5.1.11 Sedimentspredning med Hovedforslag 1 graveplan forurenede jord

Den forurenede del af sedimentet som bringes i deponi for havnesediment, udgør kun en mindre del af den samlede gravemængde og fjernes før den ikke-forurenede del, da forureningen er beliggende i de øvre sedimentlag. Graveperioden for den forurenede del udgør 619 timer, mens modelperioden udgør 840 timer. Et billede af sedimentfanens største udstrækning kan fås ved at udtrække den maksimale dybdemidlet sedimentkoncentration i løbet af hele graveperioden. Maksimumkoncentrationen ved gravearbejdet er vist i Figur 5-32. Det ses af figuren og ved sammenligning af plot fra de fulde gravescenarier, at maksimumkoncentrationens udbredelse ikke påvirkes synderligt af om der graves i 14 dage eller over måneder. Strømforholdene har betydning for hvor langt og hvor længe gravespildet kan opretholdes i opslæmning. Strømforholdene i graveperioden og en kortere efterfølgende periode (modelperioden) er vist i Figur 5-33 ved hjælp af to strømroser P7 og P10 visende dybde-midlet strøm. Den præcise placering af de to strømroser fremgår af Figur 6-34. P7 er placeret i området øst for ØP1.2, mens P10 er placeret i Kongedybet lige syd for graveområde ØP4.



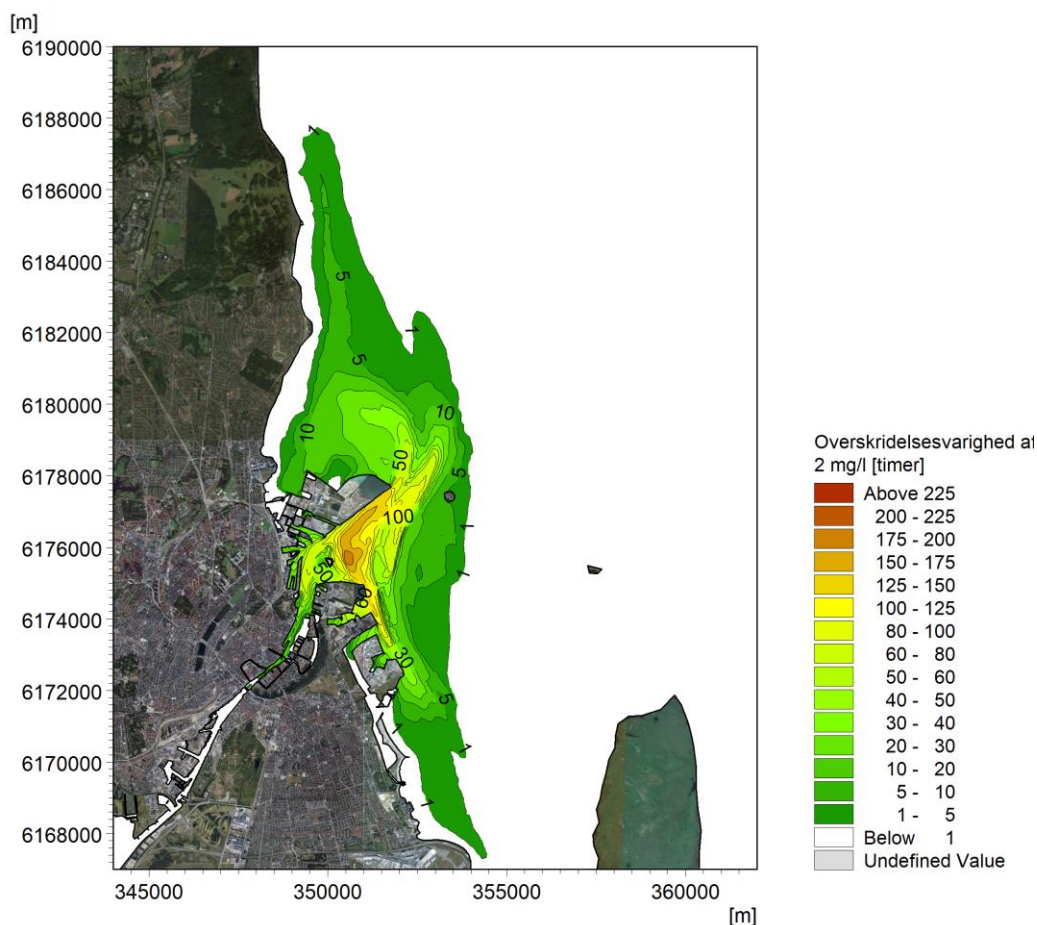
Figur 5-32 Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild.



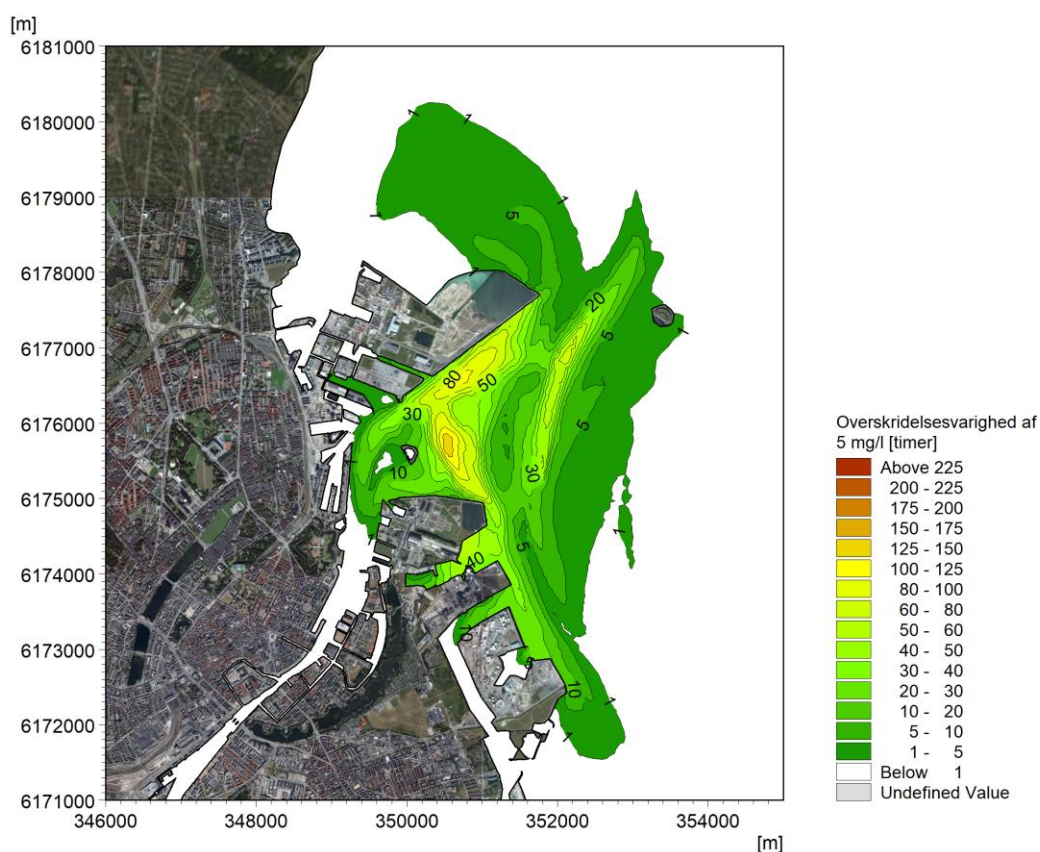
Figur 5-33 Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømrøser P7 og P10 langs det østlige graveområde.

Sedimentfanens udbredelse og påvirkning ved afgravning af det forurenede bundsediment er illustreret ved hjælp af varighedsplot, hvori det angives i hvor lang tid en given dybdemidlet sedimentkoncentration udløst af gravearbejdet vil være overskredet. I Figur 5-34 til Figur 5-37 er der angivet varighedsplot for overskridelse af 2 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted

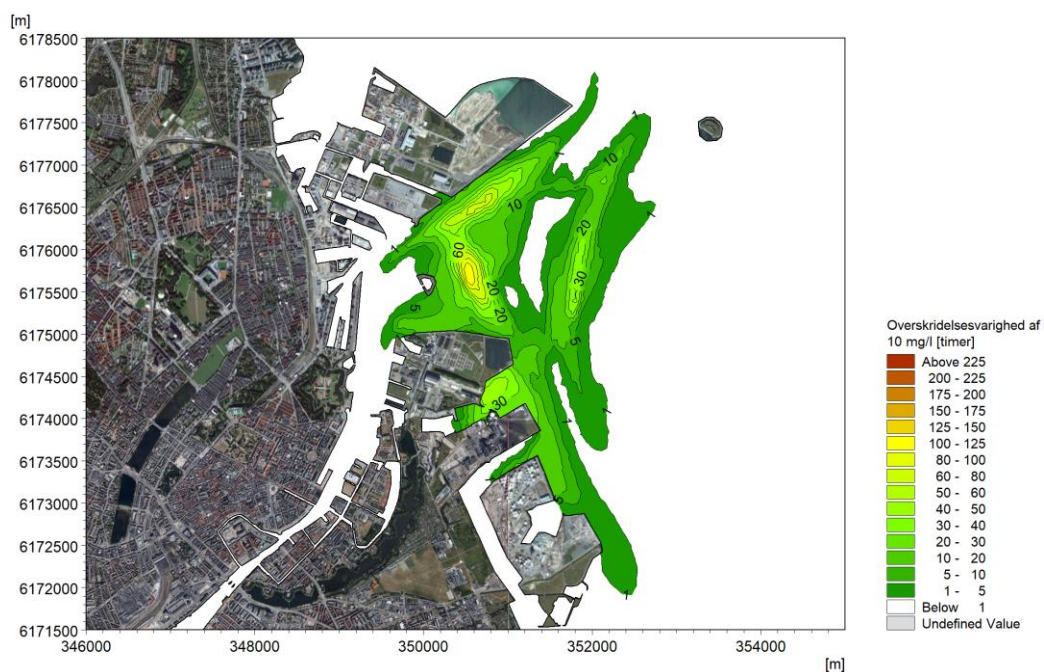
mellem 2-5 mg/l. Det ses, at de største overskridelsesvarigheder optræder i området øst for Trekroner og i Kronløbet. Der vil være perioder, hvor sedimentfanen vil være synlig i Yderhavnen. De højeste varigheder med overskridelse af 2 mg/l udgør et sted mellem 190-200 timer, hvilket skal ses i forhold til den samlede graveperiode på 619 timer. Kortvarigt kan sedimentfanen have en udstrækning mod nord helt op til Skodsborg og mod syd ned til Kastrup Lufthavn. For de højere sedimentkoncentrationsniveauer (10 mg/l og 15 mg/l) finder overskridelserne primært sted i graveområdets nærhed. Sedimentudbredelsen ind i Havneløbet er i disse plot af yderst begrænset omfang.



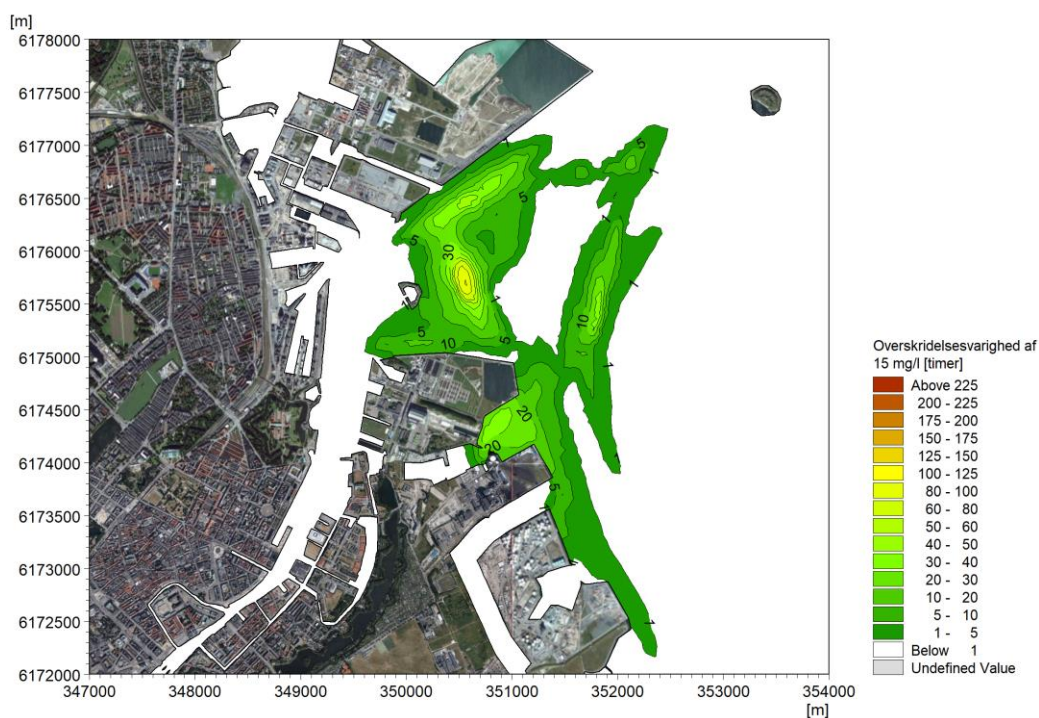
Figur 5-34 Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-35 Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-36 Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



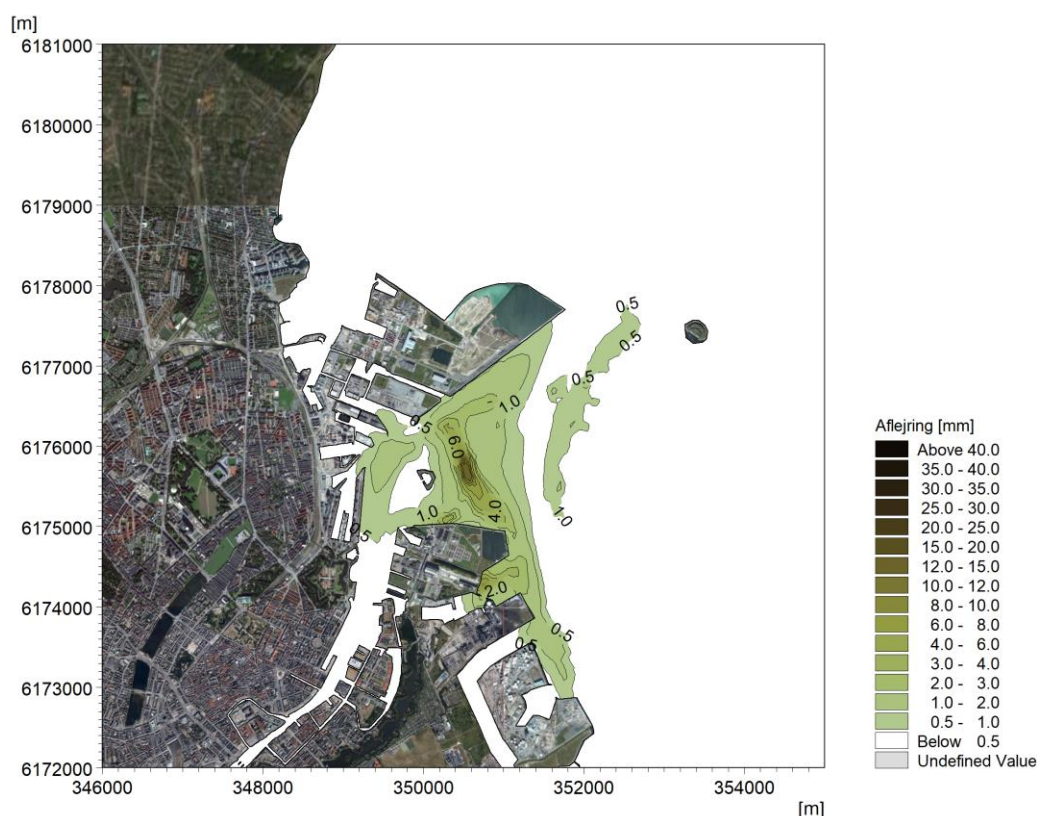
Figur 5-37 Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

I Tabel 5-26 er områderne med forhøjet turbiditet som følge af gravespild angivet som påvirket vandareal.

Tabel 5-26 Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	> 12 timer	> 24 timer	> 48 timer	> 1 uge	> 2 uger
➤ 2 mg/l	1.899	1.256	690	14	0
➤ 5 mg/l	569	375	166	0	0
➤ 10 mg/l	255	115	28	0	0
➤ 15 mg/l	111	53	11	0	0

Et aflejringskort for gravespildet hørende til den forurenede jord er vist i Figur 5-38. De angivne tykkelser er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder. Er tørdensiteten højere bliver lagtykkelserne mindre og visa versa. Massen af aflejret sediment er uændret. Aflejringskortet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning og i åbningen ind til Magrethehavnen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 5-27 for forskellige aflejringstykkelser. Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.



Figur 5-38 Aflejringsstykkelse beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m³.

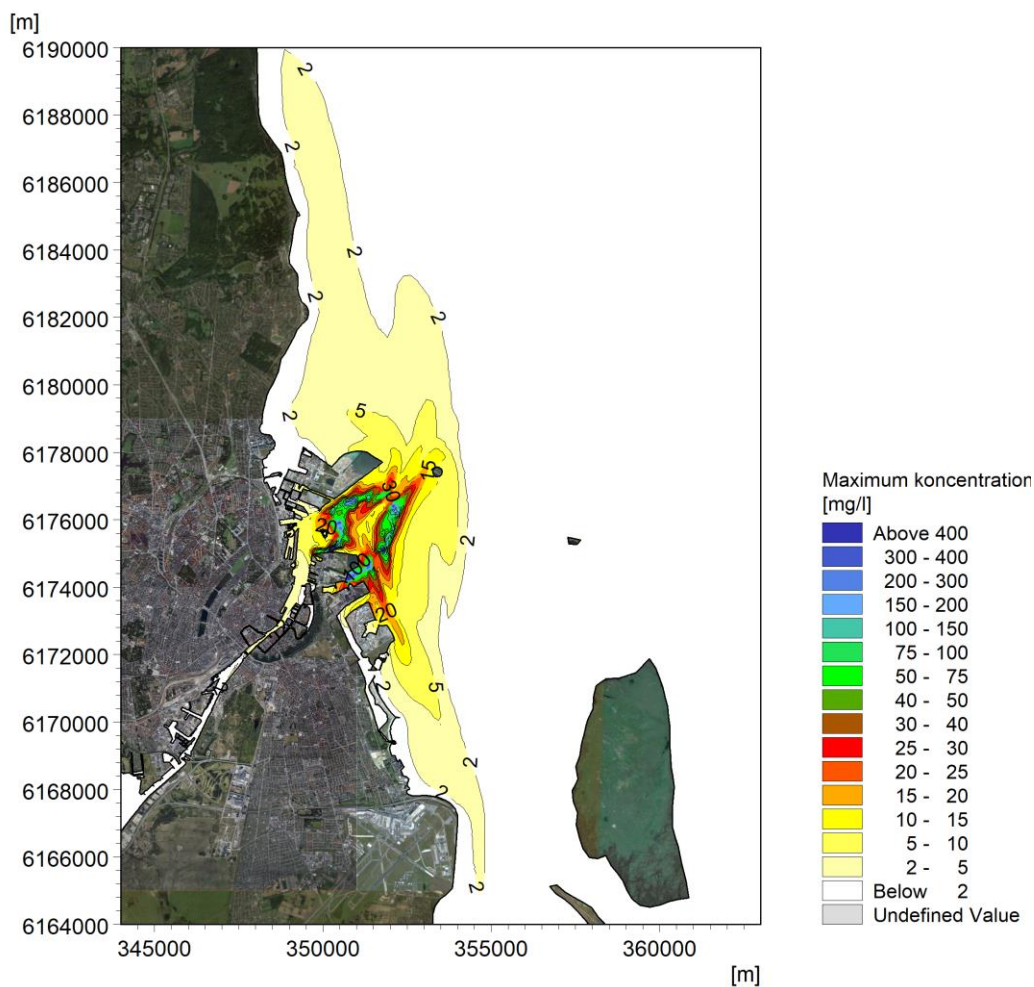
Tabel 5-27 Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.

Areal med aflejring [ha]	Aflejringsstykkelse [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
Totalt påvirket areal	263	87	16	4,5	0,3	0,0
Udenfor perimeter	137	27	2,7	0,8	0,0	0,0

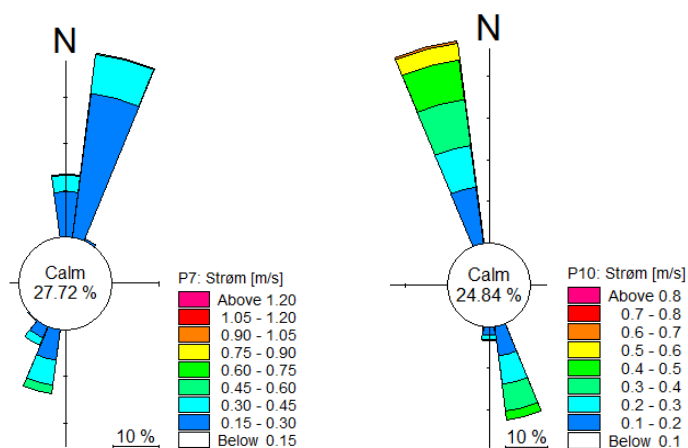
Det samlede finkornede sedimentspild hidrørende fra afgravning af det forurenede sediment udgør 10.146 tons. Heraf aflejreres 1.739 tons, svarende til 17,1 % indenfor projektforslagets perimeter.

5.1.12 Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan forurenede jord

Den forurenede del af sedimentet som bringes i deponi for havnesediment, udgør kun en mindre del af den samlede gravemængde og fjernes forud for den ikke-forurenede del, idet forureningen er beliggende i de øvre sedimentlag. Graveperioden for den forurenede del udgør 767 timer, mens modelperioden udgør 984 timer. Et billede af sedimentfanens største udstrækning kan fås ved at udtrække den maksimale dybdemidlet sedimentkoncentration i løbet af hele graveperioden. Maksimumkoncentrationen ved gravearbejdet er vist i Figur 5-39. Det ses af figuren og ved sammenligning af plot fra de fulde gravescenarier, at maksimumkoncentrationens udbredelse ikke påvirkes synderligt af om der graves i 14 dage eller over måneder. Strømforholdene har betydning for hvor langt og hvor længe gravespildet kan opretholdes i opslæmning. Strømforholdene i graveperioden og den efterfølgende periode (modelperioden) er vist i Figur 5-40.



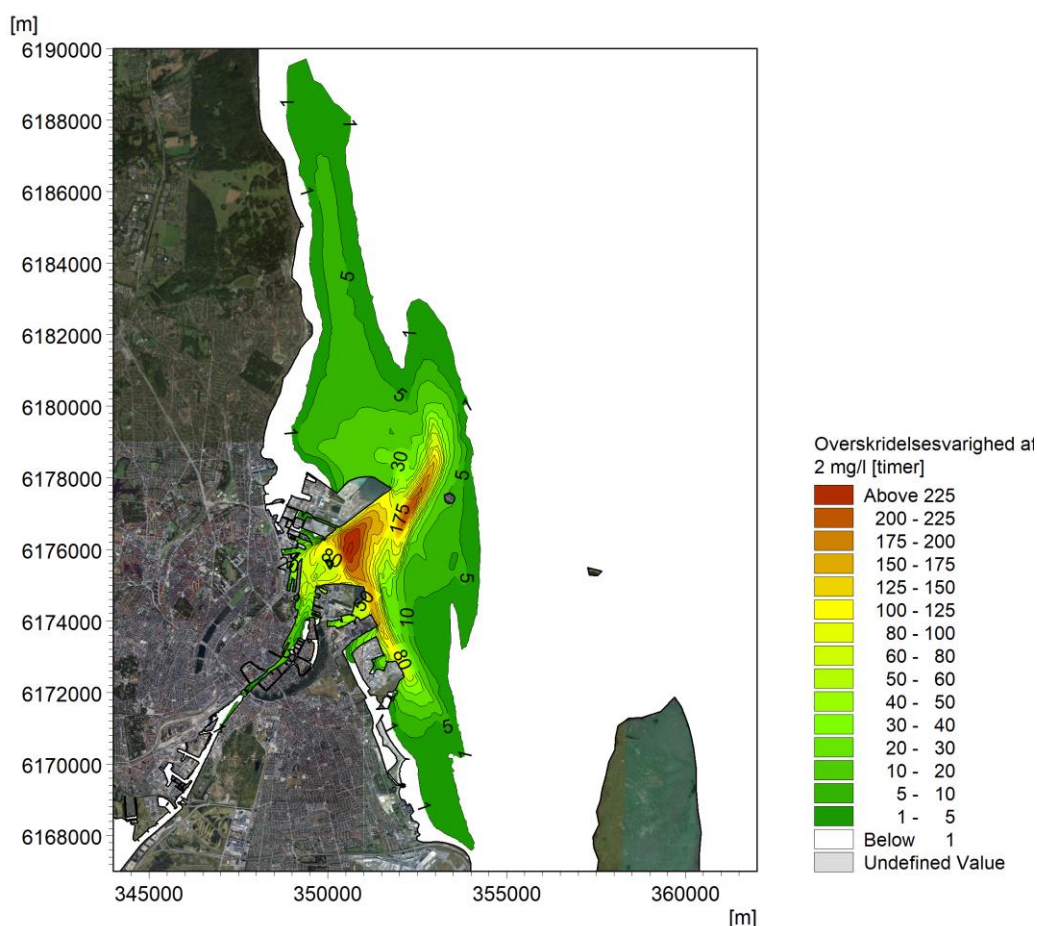
Figur 5-39 Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild.



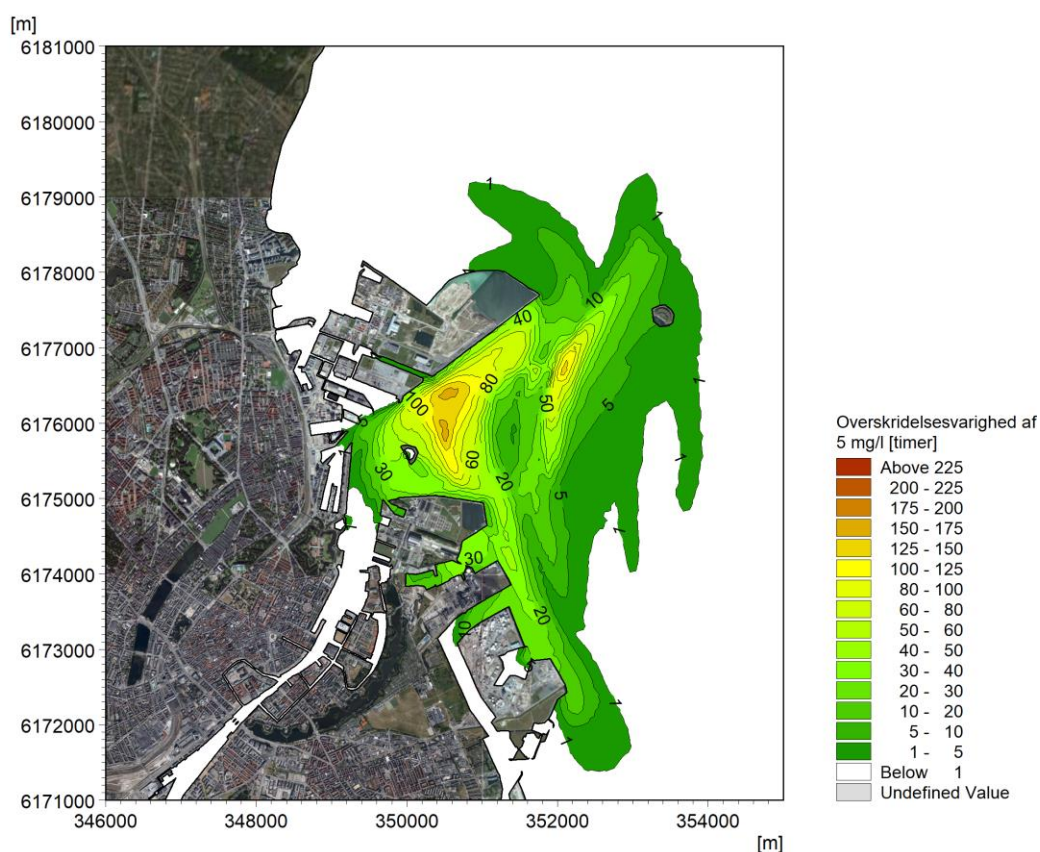
Figur 5-40 Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømrøser P7 og P10 langs det østlige graveområde.

Sedimentfanens udbredelse og påvirkning ved afgravning af det forurenede bundsediment er illustreret ved hjælp af varighedsplot, hvori det angives i hvor lang tid en given dybdemidlet sedimentkoncentration udløst af gravearbejdet vil være overskredet. I Figur 5-41 til Figur 5-44 er der angivet varighedsplot for overskridelse af 2

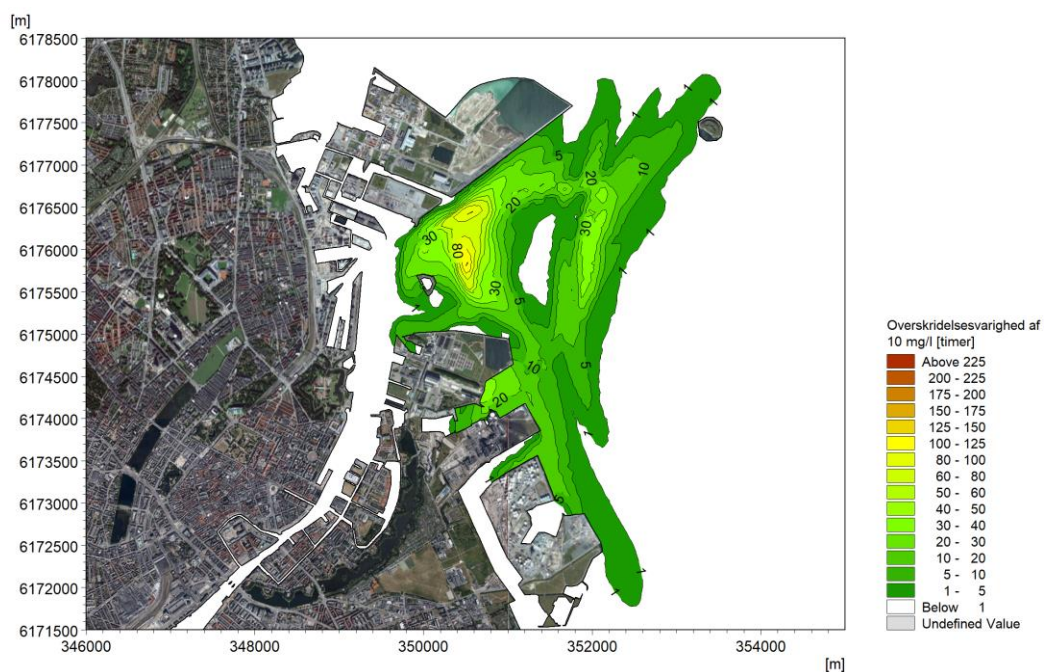
mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted mellem 2-5 mg/l. Det ses, at de største overskridelsesvarigheder optræder i området langs og i nordøstlig forlængelse af den østlige perimeter, øst for Trekroner og i Kongedybet. Der vil være kortere perioder, hvor sedimentfanen vil være synlig i Yderhavnen. De højeste varigheder med overskridelse af 2 mg/l udgør et sted mellem 250-260 timer, hvilket skal ses i forhold til den samlede graveperiode på 767 timer. Kortvarigt kan sedimentfanen have en udstrækning mod nord helt op til Skodsborg og mod syd ned til Kastrup Lufthavn. For de højere sedimentkoncentrationsniveauer (10 mg/l og 15 mg/l) finder overskridelserne primært sted i graveområdets nærhed. Sedimentudbredelsen ind i Havneløbet er i disse plot af yderst begrænset omfang.



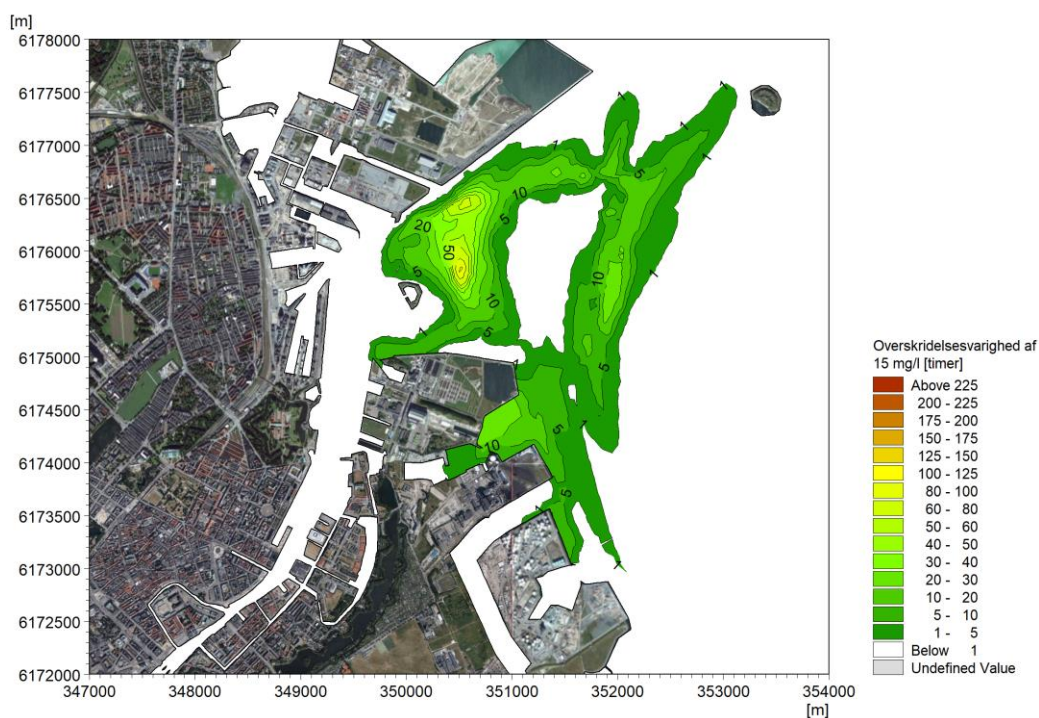
Figur 5-41 Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-42 Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-43 Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



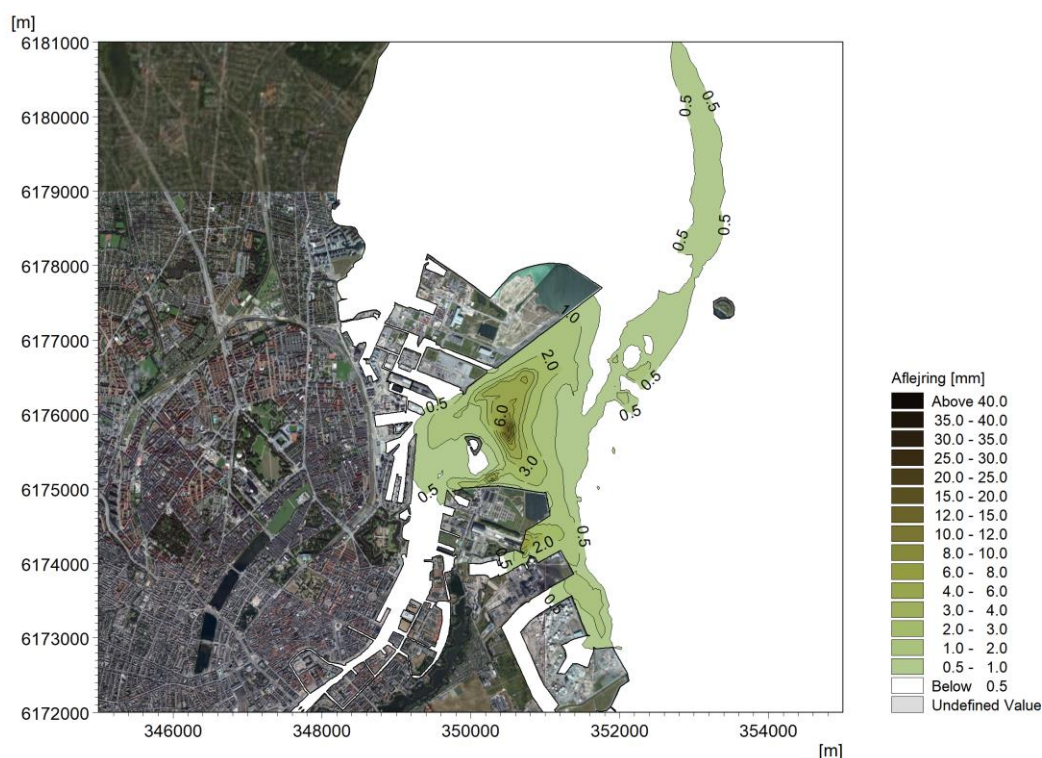
Figur 5-44 Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

I Tabel 5-28 er områderne med forhøjet turbiditet som følge af gravespild angivet som påvirket vandareal.

Tabel 5-28 Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	>12 timer	>24 timer	>48 timer	>1 uge	>2 uger
➤ 2 mg/l	1.789	1.178	809	1702	0,0
➤ 5 mg/l	739	503	228	0,2	0,0
➤ 10 mg/l	302	159	43	0,0	0,0
➤ 15 mg/l	136	54	14	0,0	0,0

Et aflejringskort for gravespildet hørende til den forurenede jord er vist i Figur 5-45. De angivne tykkelser er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder. Er tørdensiteten højere bliver lagtykkelserne mindre og visa versa. Massen af aflejret sediment er uændret. Aflejringskortet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning og i åbningen ind til Magrethehavnen og ud for Prøvestenen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 5-29 for varierende aflejringstykkelser. Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.



Figur 5-45 Aflejringsstykkelse beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m³.

Tabel 5-29 Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.

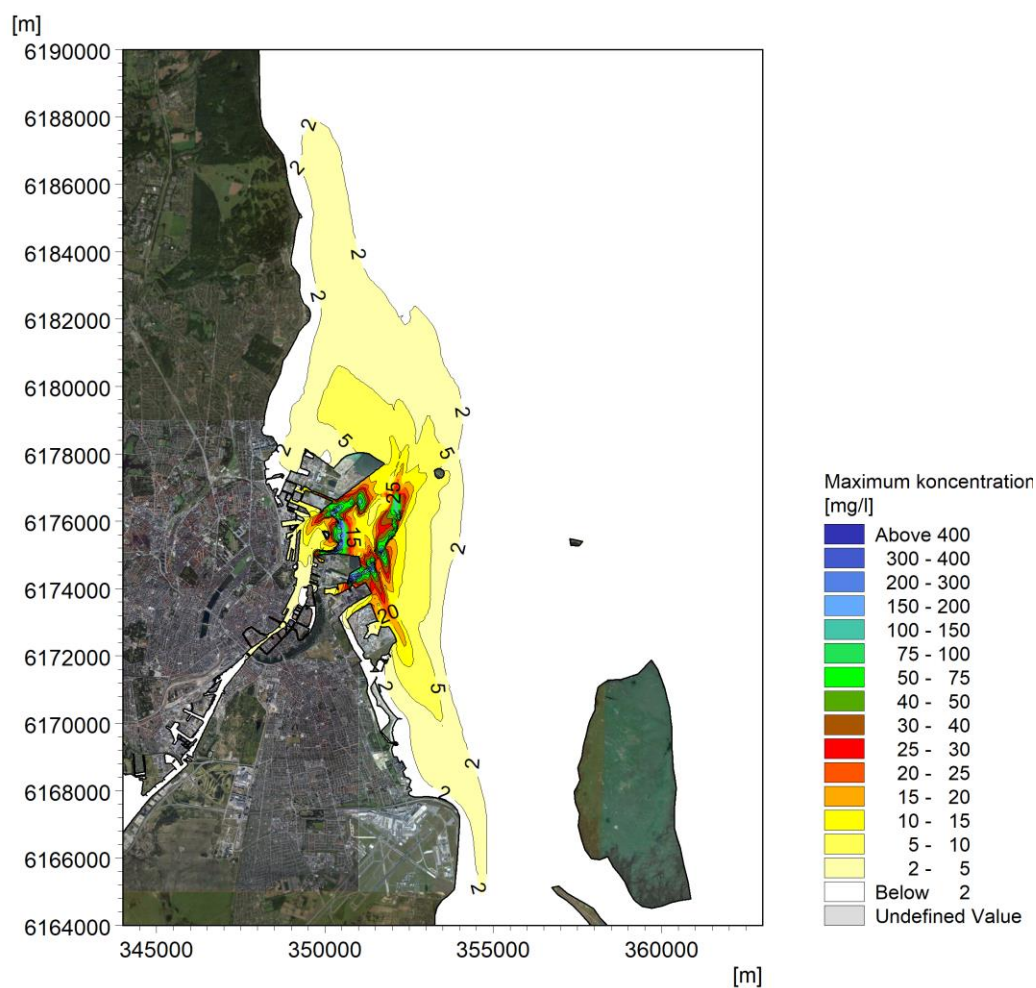
Areal med aflejring [ha]	Aflejringsstykkelse [mm]					
Område	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
Totalt påvirket areal	332	130	25	3,3	0,1	0,0
Udenfor perimeter	183	46	5,5	1,2	0,0	0,0

Det samlede finkornede sedimentspild hidrørende fra afgravning af det forurenede sediment udgør 12.327 tons. Heraf aflejreres 1.998 tons, svarende til 16,1 %, indenfor projektforslagets perimeter.

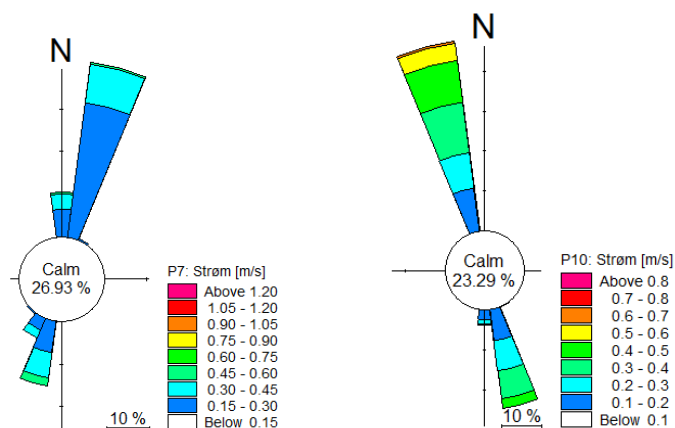
5.1.13 Sedimentspredning med Hovedforslag 2 graveplan forurenede jord delvist afskærmet afgravning

Den forurenede del af sedimentet som bringes i deponi for havnesediment, udgør kun en mindre del af den samlede gravemængde og fjernes forud for den ikke-forurenede del, idet forureningen er beliggende i de øvre sedimentlag. Sektion ØP1.1, ØP2.1 og ØP3.1 afgraves først, når der er etableret en dæmning i område ØP1.2, ØP2.2 og ØP3.2 samt langs størstedelen af den øvrige perimeter, således at der ikke frigives et gravespild udenfor Lynetteholms Hovedforslag 2 perimeter. Graveperioden for den forurenede del udgør 641 timer, mens modelperioden udgør 888 timer. Et billede af sedimentfanens største udstrækning kan fås ved at udtrække den maksimale dybdemidlet sedimentkoncentration i løbet af hele graveperioden. Maksimum-koncentrationen ved gravearbejdet er vist i Figur 5-46. Det ses af figuren og ved sammenligning af plot fra de fulde gravescenarier, at maksimumkoncentrationens udbredelse ikke påvirkes synderligt af om der graves i 14 dage eller over måneder. Strømforholdene har betydning for hvor

langt og hvor længe gravespildet kan opretholdes i opslæmning. Strømforholdene i graveperioden og den efterfølgende periode (modelperioden) er vist i Figur 5-47.

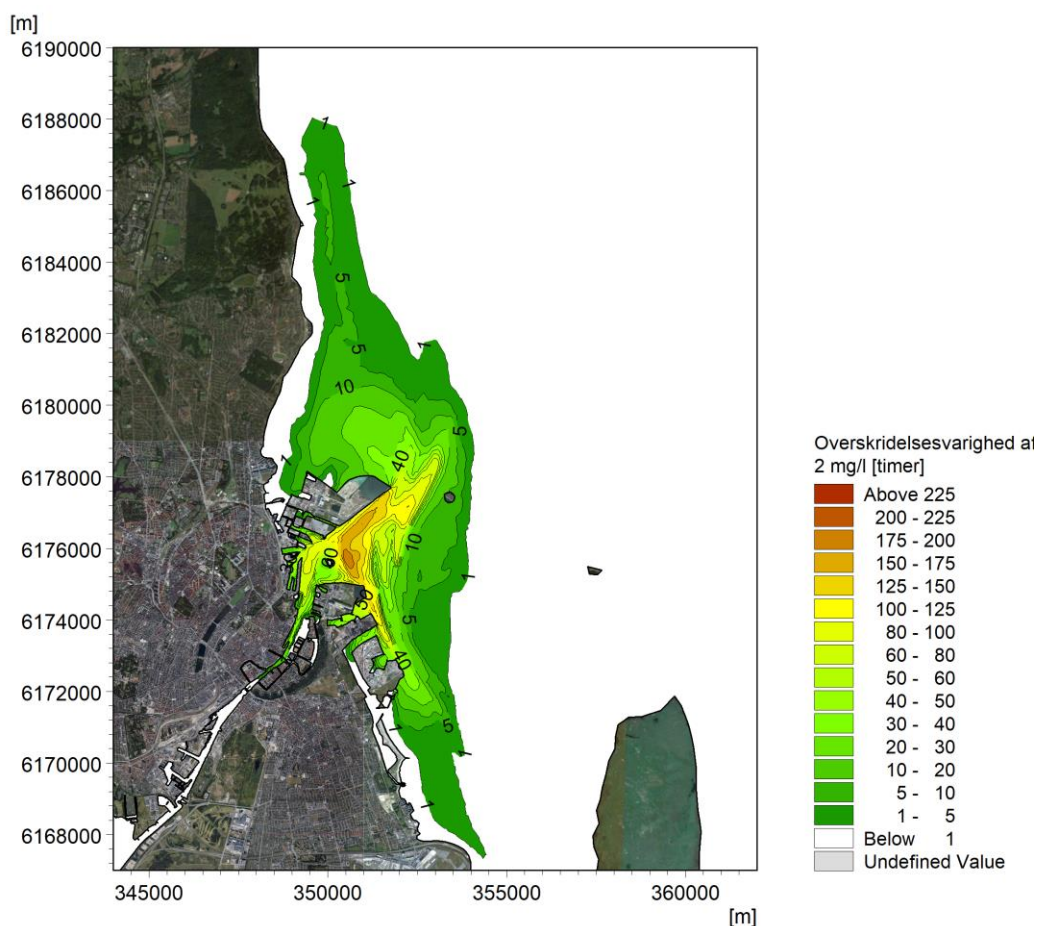


Figur 5-46 Modelleret dybdemidlet maksimum sedimentkoncentration udløst af gravespild.

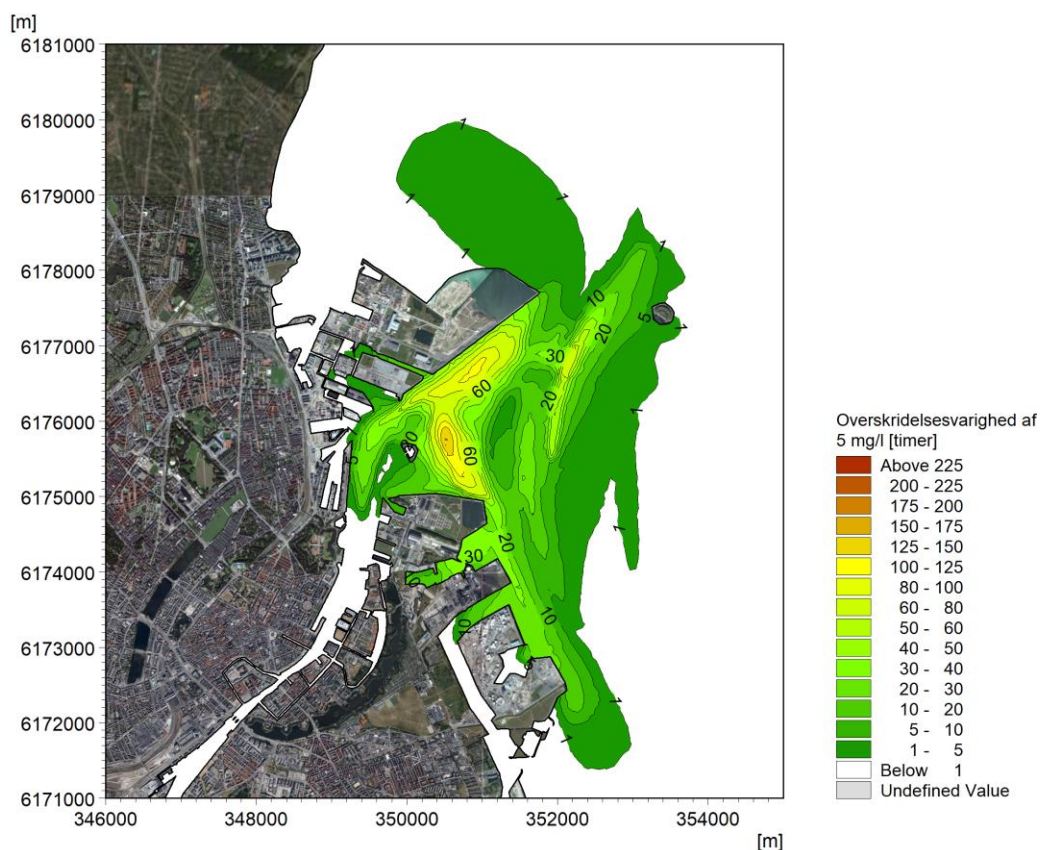


Figur 5-47 Strømforhold i graveperioden illustreret ved strømroser P7 og P10 langs det østlige graveområde.

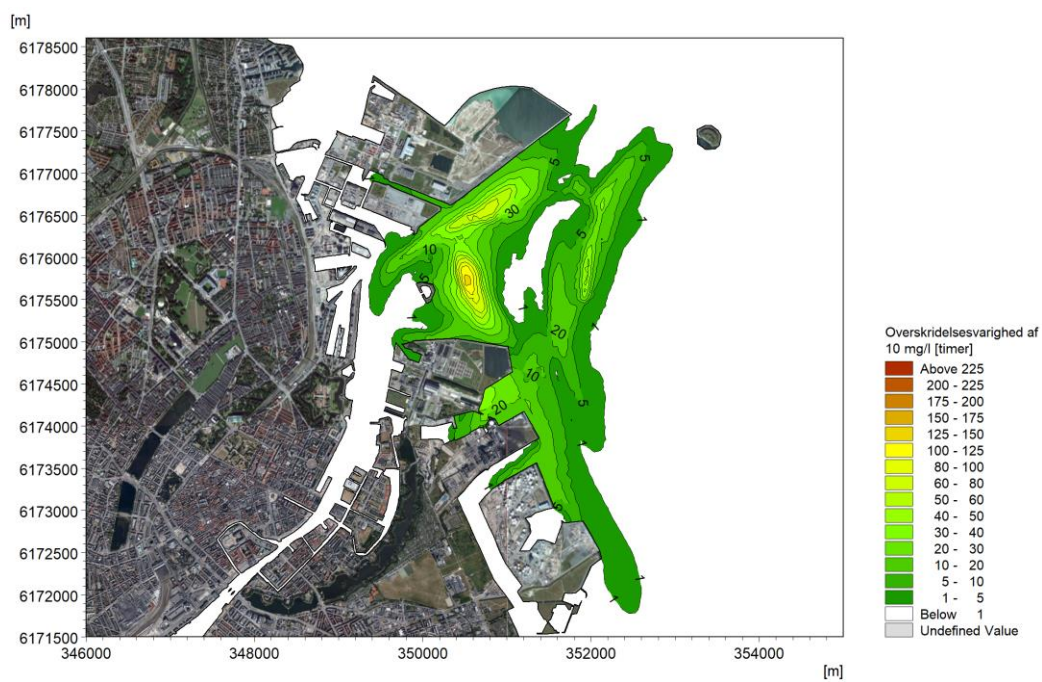
Sedimentfanens udbredelse og påvirkning ved afgravning af det forurenede bundsediment er illustreret ved hjælp af varighedsplot, hvori det angives i hvor lang tid en given dybdemidlet sedimentkoncentration udløst af gravearbejdet vil være overskredet. I Figur 5-48 til Figur 5-51 er der angivet varighedsplot for overskridelse af 2 mg/l, 5 mg/l, 10 mg/l og 15 mg/l. Grænsen for en synlig sedimentfane går typisk et sted mellem 2-5 mg/l. Det ses, at de største overskridelsesvarigheder optræder i området øst for Trekroner og i Kronløbet. Der vil være kortere perioder, hvor sedimentfanen vil være synlig i Yderhavnen. De højeste varigheder med overskridelse af 2 mg/l udgør et sted mellem 190-200 timer, hvilket skal ses i forhold til den samlede graveperiode på 641 timer. Kortvarigt kan sedimentfanen have en udstrækning mod nord helt op til Skodsborg og mod syd ned til Kastrup Lufthavn. For de højere sedimentkoncentrationsniveauer (10 mg/l og 15 mg/l) finder overskridelserne primært sted i graveområdets nærhed. Sedimentudbredelsen ind i Havneløbet er i disse plot af yderst begrænset omfang.



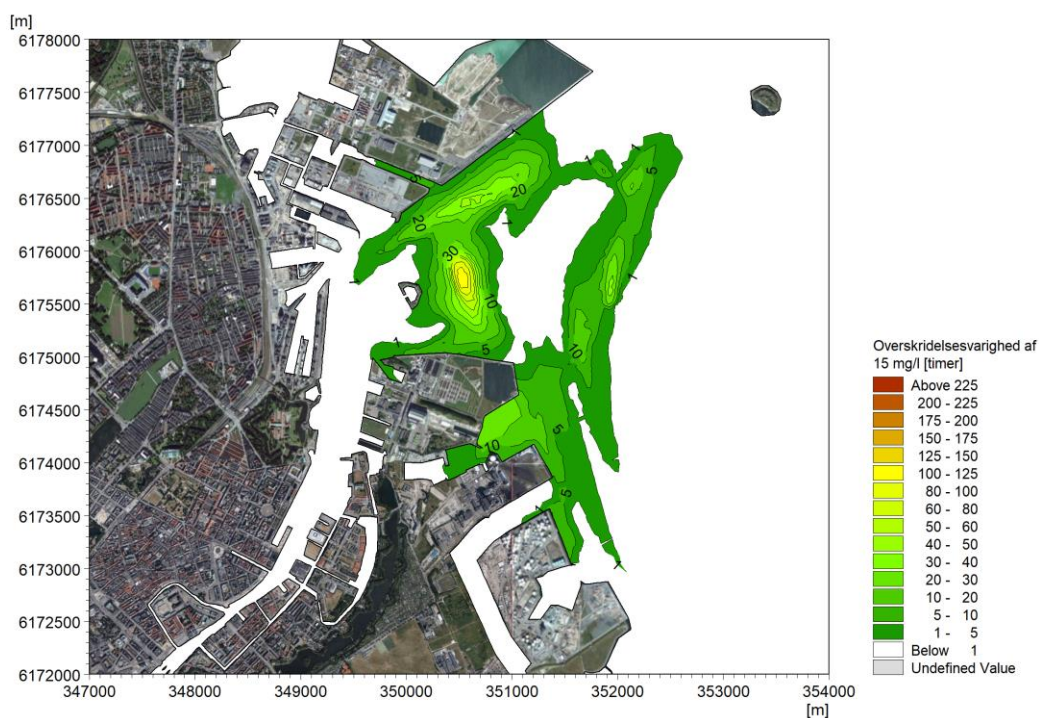
Figur 5-48 Overskridelsesvarighed af 2 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-49 Overskridelsesvarighed af 5 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



Figur 5-50 Overskridelsesvarighed af 10 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.



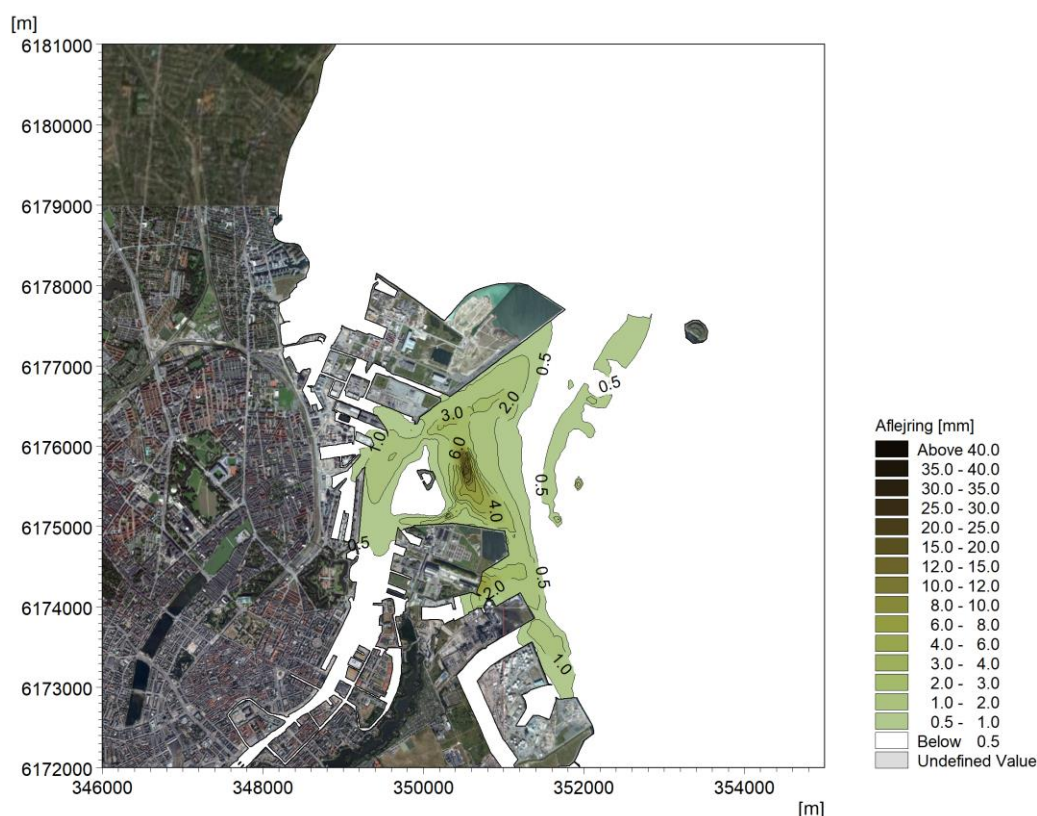
Figur 5-51 Overskridelsesvarighed af 15 mg/l i forbindelse med gravearbejdets udførelse.

I Tabel 5-30 er områderne med forhøjet turbiditet som følge af gravespild angivet som påvirket vandareal.

Tabel 5-30 Påvirket vandareal med forhøjet turbiditet og længerevarende overskridelse heraf.

Påvirket vandareal [ha]	Overskridelsesvarighed				
Sedimentkoncentration	> 12 timer	> 24 timer	> 48 timer	> 1 uge	> 2 uger
➤ 2 mg/l	1.914	1.270	678	24	0,0
➤ 5 mg/l	611	380	156	0,0	0,0
➤ 10 mg/l	240	113	31	0,0	0,0
➤ 15 mg/l	111	46	13	0,0	0,0

Et aflejringskort for gravespildet hørende til den forurenede jord er vist i Figur 5-52. De angivne tykkelser er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder. Er tørdensiteten højere bliver lagtykkelserne mindre og visa versa. Massen af aflejret sediment er uændret. Aflejringskortet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning og i åbningen ind til Magrethehavnen og ud for Prøvestenen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 5-40 for varierende aflejringstykkelser. Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.



Figur 5-52 Aflejringsstykkelser beregnet under forudsætning af en tørdensitet på 400 kg/m³.

Tabel 5-31 Påvirket areal med aflejringer fra afgravning af Lynetteholmen.

Areal med aflejring [ha]	Aflejringsstykkelse [mm]					
	> 1	> 2	> 5	> 10	> 20	> 50
Område						
Totalt påvirket areal	259	85	19	4,2	0,8	0,0
Udenfor perimeter	138	26	4	0,8	0,0	0,0

Det samlede finkornede sedimentspild hidrørende fra afgravning af det forurenede sediment udgør 10.042 tons. Heraf aflejreres 1.716 tons, svarende til 17,5 %, indenfor projektforslagets perimeter.

5.2 Spredning af tungmetaller i forbindelse med gravespild

5.2.1 Baggrundsdata og metode

En række undersøgelser af de sedimentmæssige forhold, der er gennemført i forbindelse med anlæggelse af Lynetteholm /21/, har vist, at de øverste 1-2 m sediment har større eller mindre belastninger af tungmetaller, og disse tungmetaller vil derfor blive spredt i forbindelse med gravearbejderne langs periferien af Lynetteholm. Der er i kapitel 5.1 redegjort for de forskellige graveplaner og afgravningsmængder og ikke mindst de forventede spilmængder ved gravearbejdet. I samme kapitel er der også redegjort for, hvordan sedimentspildet vil ske i tre finkornede partikelstørrelsesfraktioner.

Modelteknisk bruges selve spildmodelleringen efterfølgende til at beregne spredning af tungmetaller. Analyser af tungmetaller fra en række prøver udtaget i forskellige dybder og steder i de kommende graveområder har vist større eller mindre koncentrationer af tungmetaller. I beregningerne af spredning af tungmetaller ved gravearbejderne er der brugt en medianværdi for alle metaller for at tage højde for outliers og for analyser med resultater under detektionsgrænsen.

Det skal tilføjes, at det forventes, at de meget forurenede øverste lag fra afgravningerne skal deponeres på land (i Lynettens sedimentdeponi). Der er ikke taget stilling til eventuelle påvirkninger ved en egentlig klappning af de opgravede materialer, da der pt. ikke foreligger en plan for, hvor denne klappning af de mindre forurenede jordmængder vil ske.

Der er i alt taget 160 prøver, som bl.a. er blevet analyseret for bly, cadmium, kobber, kviksølv og zink. Valget af medianværdien er truffet for at arbejde med et estimat, som tager højde for, at der kan være enkelte outliers med meget høje værdier, som vil give et højt gennemsnit, mens en median værdi bedre udligner outliers. Eksempelvis er medianen for kobber på 30,5 mg/kg TS, mens gennemsnittet er på 73,4 mg/kg TS, kraftigt påvirket af ganske få meget høje koncentrationer, der ligger næsten 20 gange højere end 95% percentilen.

Tabel 5-32 Tungmetalanalyser i sedimenterne ved Lynetteholm, som skal afgraves /21/.

	Bly (mg/kg TS)	Cadmium (mg/kg TS)	Kobber (mg/kg TS)	Kviksølv (mg/kg TS)	Zink (mg/kg TS)
Minimum	1	0,05	1,6	0,01	7
Maximum	1.200	21	2.900	6,4	1.800
Gennemsnit	95	2	73,4	1,16	202
Median	30	0,73	31	0,22	95
95% percentil af alle analyser	323	6,4	171	2,9	582
Nedre aktionsniveau (klasse A)	40	0,4	20	0,25	130
Øvre aktionsniveau (klasse C)	200	2,5	90	1	500
	Antal	Antal	Antal	Antal	Antal
Antal prøver over øvre aktionsniveau	20	43	42	54	16
Antal prøver over nedre og under øvre aktionsniveau	54	55	47	21	49

Der er ganske få generelle data for tungmetalbelastningen af marine sedimenter i Øresund, men i forbindelse med undersøgelsen af Middelgrunden blev der udtaget prøver på 14 stationer, som blev undersøgt for de samme tungmetaller. Koncentrationerne fra overfladesedimenterne er angivet i Tabel 5-33. Endvidere viser tabellen få sedimentkoncentrationer fra Københavns Havn /18/.

Tabel 5-33 Tungmetalanalyser for sedimenter fra Middelgrunden, samt grænseværdier fra DK lovgivning, HELCOM og NOAA /19/.

	Bly (mg/kg TS)	Cadmium (mg/kg TS)	Kobber (mg/kg TS)	Kviksølv (mg/kg TS)	Zink (mg/kg TS)
75% percentil (alle prøver)	8,03	0,37	6,1	0,17	25,3
Minimum	2,3	0,21	3,3	0,02	13
Maximum	41	0,5	25	0,43	75
Median	7,1	0,23	5,3	0,04	22,5
Antal målinger under detektionsgrænsen (14 prøver)	0	8	3	2	0
Koncentrationer målt i Københavns Havn 2019 /18/ (median værdi)	27,2	0,51	22,3	0,22	87,5
Grænseværdier fra DK* lovgivning, HELCOM** og NOAA***	163* – 120** 46,7***	2,3** 1,2***	34***	0,15***	150***

Tabel 5-34 Miljøkvalitetskrav for tungmetaller fastlagt i Bek. 1625 gældende for overfladevand for bly, cadmium, kobber, kviksølv og zink og for HELCOM /22/, samt målinger i vandsøjlen fra Lynettenholmen /24/.

	Lovkrav (Bek. 1625)		Baggrunds koncentrationer /22/	COWI målinger 2020 /24/
	Generelt kvalitetskrav µg/l	Maksimal koncentration µg/l	µg/l	Ufilt. / Filtr. µg/l
Bly	1,3	14	-	2,14 / 2,23
Cadmium	0,2	0,45	-	0,093 / 0,090
Kobber	1,0 – 4,9		0,3 – 1,0 ⁴ 1,04 – 2,4 ³	13,65 / 9,35
Kviksølv	-	0,07	-	<0,002 / <0,001
Zink	7,8	8,4	0,6 – 1,0 ⁴	11,17 / 9,35

Desuden er der også udtaget et par vandprøver i Lynetteholm området i vandsøjlen, som også er vist i Tabel 5-34.

For at kunne vurdere effekterne af spredningen af tungmetaller i vandfasen er der foretaget sammenligninger med de krav, der gælder for udledning af tungmetaltholdigt spildevand², og de gældende koncentrationsforhold er vist i Tabel 5-34.

Resultaterne fra modelberegningerne af spredningen af tungmetallerne, lavet med Mike EcoLab, er vist i afsnittet for resultater.

² Bek. 1625 af 19.12.2017 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand.

Modellens resultater vises med en række figurer og tabeller:

- Sedimentkoncentrationen i sedimentet ved afslutning af gravearbejderne for forurenede sedimenter (mg/m^2)
- Sedimentkoncentrationen i sedimentet 1 uge efter afslutning af gravearbejdet for forurenede sedimenter (mg/m^2)
- Varighed af overskridelse af givne lovkrav (dage ud af den samlede graveperiode). Hvis der er flere krav, er der tilsvarende figurer, som f.eks. for kobber (Se Tabel 5-34).
- Max koncentration i vandsøjlen ($\mu\text{g}/\text{l}$)
- Gennemsnitskoncentration i vandsøjlen ($\mu\text{g}/\text{l}$)
- Overskridelsesvarighed af lovkrav ($\mu\text{g}/\text{l}$)
- Maksimumkoncentration i vandsøjlen 1 uge efter afslutning af gravearbejdet ($\mu\text{g}/\text{l}$)
- Figur med 6 tidsserier af koncentration i vandsøjlen under gravearbejdet på udvalgte positioner.

For kobber og zink gælder det, at koncentrationen i en udledning skal holdes op mod baggrundskoncentrationerne for stoffet. For kobber er der dog en øvre grænse for koncentrationen $4,9 \mu\text{g}/\text{l}$, uanset den naturlige baggrundskoncentration. For både kobber og zink gælder det, at baggrundskoncentrationerne i havnen, målt i sommeren 2020 er væsentligt højere end lovgivningens max grænser /21/, men tallene forventes ikke at være repræsentative for den åbne del af Øresund.

BEK 1625 fastlægger et miljømål for bly i marine sedimenter på $163 \text{ mg}/\text{kg}$ tørstof og HELCOMs EQS (Environmental Quality Standard)³ er $120 \text{ mg}/\text{kg}$ tørvægt. EQS for Cadmium er $2,3 \text{ mg}/\text{kg}$ tørvægt /24/. Alle sedimentprøverne fra Middelgrunden overholdt både miljømål og EQS for bly, cadmium, kobber og zink, men ikke alle sedimentprøver overholdt kravene for kviksølv.

5.2.2 Modelteknik

For at evaluere gravearbejdets spredning af tungmetaller fra de forurenede sedimenter, har vi anvendt en sub-model (HM⁴-model), der beskriver tungmetallets transport i vandfasen og sedimentation tilbage på bunden. HM-modellen er bygget op, således at den læser resultaterne af sedimentkoncentrationer og rater beskrevet i MT-modellen og er delt op i flg. tilstandsvariable:

Vandfasen:

- Opløst tungmetal (g/m^3)
- Tungmetal adsorberet til fine partikler $< 6 \mu\text{m}$ (g/m^3)
- Tungmetal adsorberet til medium partikler $6-20 \mu\text{m}$ (g/m^3)
- Tungmetal adsorberet til grove partikler $20-40 \mu\text{m}$ (g/m^3)

Sediment:

- Opløst tungmetal i sedimentporevand (g/m^2)
- Tungmetal adsorberet til fine partikler i sedimentet $< 6 \mu\text{m}$ (mg/m^2)
- Tungmetal adsorberet til medium partikler i sedimentet $6-20 \mu\text{m}$ (mg/m^2)
- Tungmetal adsorberet til grove partikler i sedimentet $20-40 \mu\text{m}$ (mg/m^2)

Ligevægten mellem opløst og adsorberet tungmetal beskrives med en fordelingskoefficient (K_p , l/kg), som er fastsat ud fra litteraturværdier (Tabel 5-35).

³ <https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/Metals-HELCOM-core-indicator-2018.pdf>

⁴ HM: Heavy metal

Tabel 5-35 Fordelingskoefficienter i sediment (Kp-sediment, l/kg) og vandfasen (Kp-susp, l/kg).

Tungmetal	Kp-sed (L/kg)	Kp-susp (L/kg)	Reference Kp
Cd (+2)	617	130.000	REACH registration (partly marine data) /13/
Cu (+2)	24.409	131.826	REACH registration (partly marine data) /14/
Hg (+2)	79.433	199.526	(Allison and Allison, 2005) /17/
Pb (+2)	457.088	1.518.099	REACH registration (marine data) /15/
Zn (+2)	6010	110.000	REACH registration (partly marine data) /16/

Da fine partikler har større overfladeareal i forhold til rumfang (O/V) i forhold til de grovere partikler, har de også forholdsvis større mulighed for at adsorbere mere tungmetal per vægtenhed (g DW/m³). I modellen er der taget højde for dette ved at tage udgangspunkt i O/V-forhold af en kugleformet partikel:

$$O/V = 6/d,$$

hvor "d" er den gennemsnitlige diameter af partikelfractionen. Herudover er det antaget, at de fine partikler har et relativt O/V-forhold på 1, og de større partikler er relateret til dette (Tabel 5-36).

Tabel 5-36 Relative O/V forhold, der beskriver fordelingen af tungmetaller ud fra diameter.

Partikelfraktion	Gennemsnitlig diameter (µm)	Relativ O/V-forhold
Fine partikler < 6 µm	6	1,00
Medium partikler 6-20 µm	13	0,46
Grove partikler 20-40 µm	30	0,20

Gravespildet af tungmetal er antaget at være adsorberet til de tre sedimentstørrelsesfraktioner og følger de samme rater som anvendt for sedimentspild. Da de fine partikler har en større overflade i forhold til de grovere partikler (Tabel 5-36), har de en større andel af tungmetaller adsorberet (Tabel 5-37).

Tabel 5-37 Spildraternes gennemsnitlige fordeling mellem de tre størrelsesfraktioner.

	Fine partikler < 6 µm	Medium partikler 6-20 µm	Grove partikler 20-40 µm
Sedimentspild (%)	6	47	47
Tungmetalspild (%)	16	58	25

5.2.3 Andre forudsætninger

Output fra tungmetallmodellen kommer som µg/l for den mængde tungmetal, der ender i vandsøjlen og som mg/m² for den mængde tungmetal, der ender i sedimentet. For at muliggøre en sammenligning mellem tungmetalkoncentrationer målt i overfladesedimenter på Middelgrunden og modellens output i form af et antal mg/m² er

der lavet en omregning baseret på følgende antagelser, idet der kun ses på den øverste 1 cm af sedimentlaget, da det er der, ny belastning vil aflejres:

- Tørdensitet for bundsediment af sand: 1.600 kg/m^3
- Toplaget (1 cm) har en tørvægt på 16 kg/m^2
- Omregningsfaktoren til mængde metal/kg tørstof bliver da $1/16$ af mængden pr m^2

Ved brug af ovenstående antagelse vil det være muligt at skønne en tilvækst i tungmetal-koncentrationen, baseret på baggrundsdata og modeldata. Det er vigtigt at huske, at der vil ske resuspension, som vil sprede de forurenede sedimenter yderligere. Desuden vil der ske en nedblanding i de øverste sedimentlag på grund af biologisk aktivitet (bioturbering). I flere af de efterfølgende tolkninger er der konservativt arbejdet på at vurdere påvirkningen i den øverste cm, men i områder, hvor der kun lander 1 mm sediment er der i princippet tale om en $1/10$ af den belastning, der er omregnet fra mg/m^2 til mg/kg TS , da denne beregning følger principperne beskrevet ovenfor med 16 kg TS/m^2 .

Det skal pointeres, at der kun er gennemført modellering på afgravning af de forurenede sedimenter (de øverste cirka 2 m), hvilket svarer til cirka 20-25 % af den samlede forventede afgravningsmængde. Der er derfor ikke vist plots med den kummulative sedimenttykkelse efter endt gravning af både forurenede og uforurenede sediment. Afgravningen af det ikke-forurenede sediment vil overlejlre det forurenede sediment, svarende til en yderligere sedimentation på 3-3,5 gange, og konsekvensen vil være en vertikal "fortynding" ned gennem det aflejlrede sediment, vurderet som mg/kg TS .

5.2.4 Resultater

Herunder præsenteres de tre forskellige optioner:

- Hovedforslag 1
- Hovedforslag 2
- Hovedforslag 2 med afskærmning

Beregningerne af deponering af de forskellige tungmetaller er alle lavet ud fra de målepositioner og arealer, som er specificeret i Figur 5-53 og Figur 5-54. For de tre hovedforslag og tre metaller er de frigivne koncentrationer til vandfasen taget som medianværdien af de målte koncentrationer, vurderet i forhold til de lovgivningsmæssige maksimale krav, da der er tale om pulsudledninger under gravefasen, mens sedimentdeponeringen er vurderet ud fra mediankoncentrationer i de undersøgte sedimentprøver /21/.

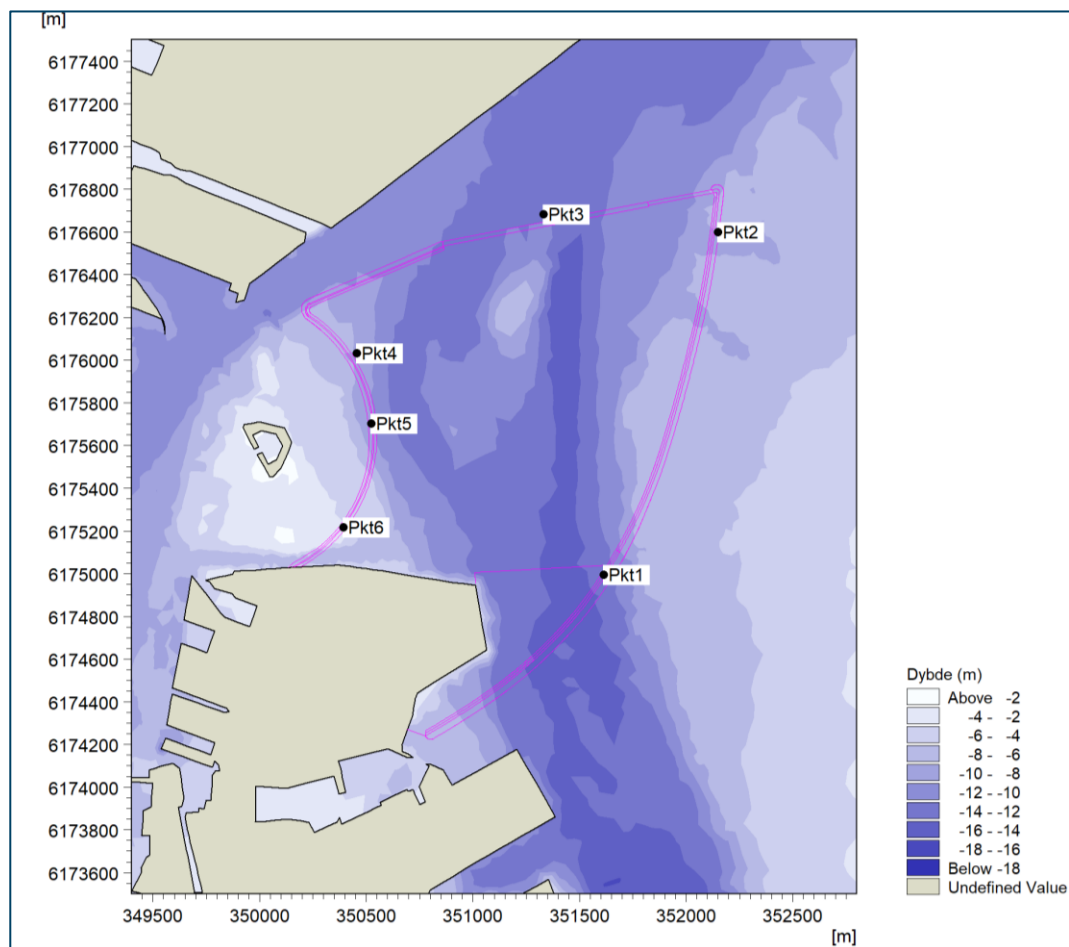
I diskussionsafsnittet 5.2.23 er der gennemført en sammenligning mellem de tre scenarier for henholdsvis sediment og vandfasen.

5.2.5 Hovedforslag 1

I de efterfølgende afsnit præsenteres resultaterne af spredningsberegningerne og de dertil knyttede frigivelser og sedimentation af tungmetaller for kobber, kviksølv og zink. Som nævnt under oversigten over præsentation af resultater er der udtaget tidsserier i 6 punkter, som fremgår af Figur 5-53. Desuden er der blevet defineret nogle områder for at følge udbredelsen af tungmetaller fra gravearbejderne og spildet. Områderne er defineret som:

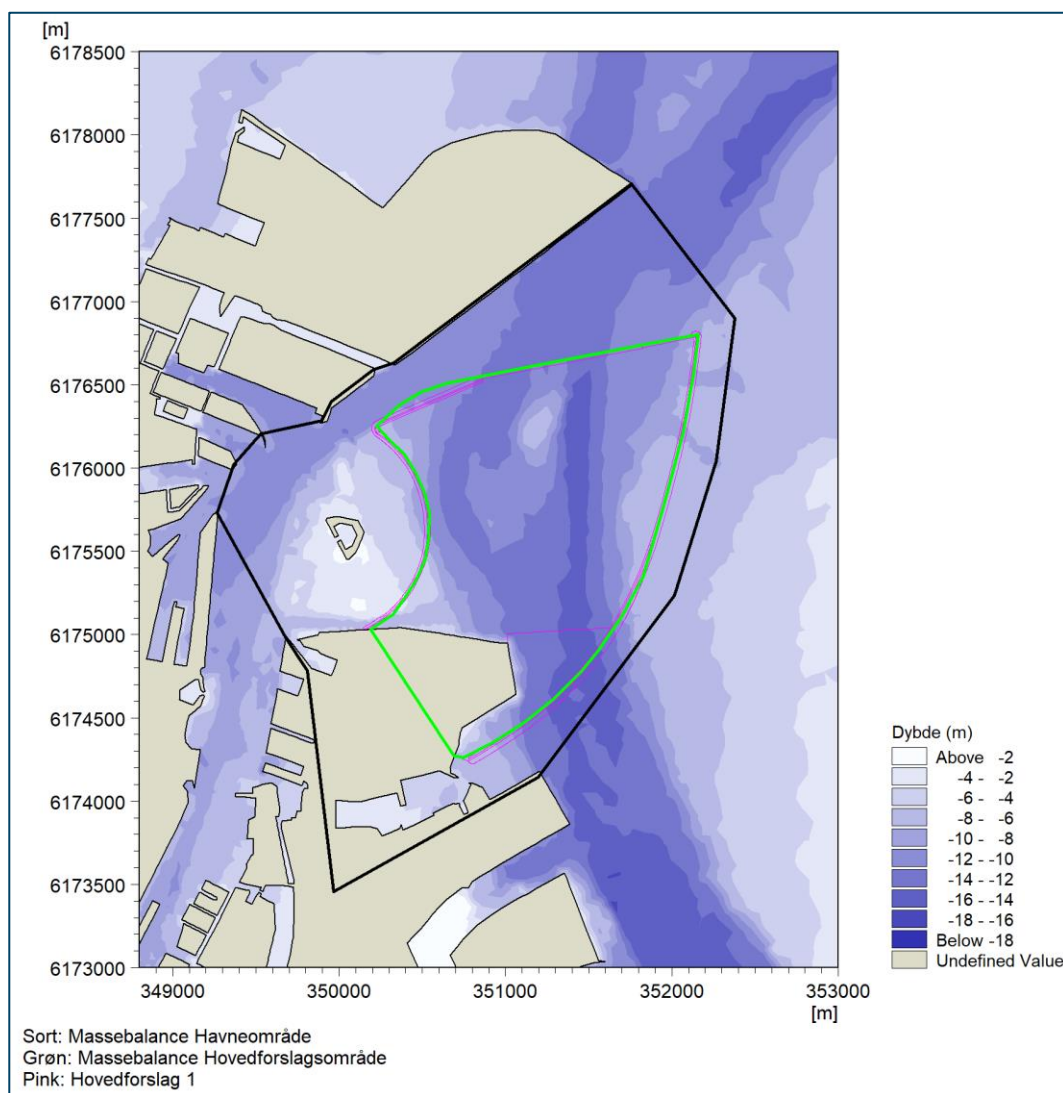
1. Hele modelområdet
2. Havneområdet
3. Hovedforslagsområde (Lynetteholm-området)

Afgrænsningsområderne 2 og 3 ses i Figur 5-54. Punkterne er lagt, så de rammer de områder, hvor gravescenarierne angiver større spildmængder.



Figur 5-53 Position af 6 punkter til udtræk af tidsserier. I den viste figur er Hovedforslag 1 vist med en lyserød linje.

De fem metaller udviser stort set de samme bindingsforhold til organisk og uorganisk materiale og vil derfor deponeres de samme steder.



Figur 5-54 Afgrænsningsområder brugt til massebalancer: I figuren ses Havneområdet, som svarer til den sorte polygon, samt Hovedforslagsområdet, som svarer til den grønne polygon (Hovedforslag 1). Hele modelområdet er ikke vist.

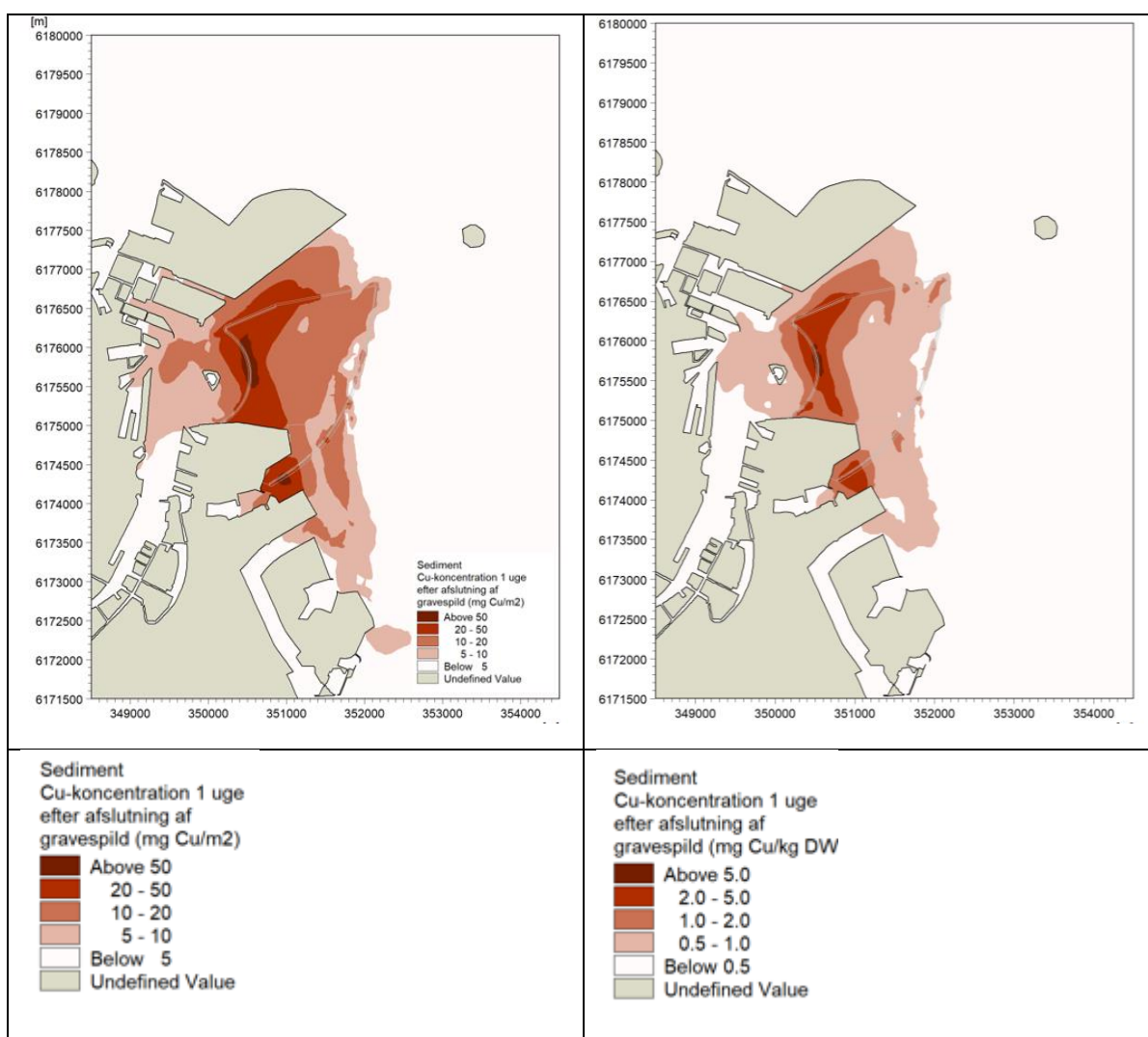
I det efterfølgende er der for Bly og Cadmium kun set på sedimentbelastningen.

5.2.6 HF1: Kobber

Kobber er et af de tungmetaller, der har høje værdier i det sediment, der skal afgraves og koncentrationerne i havnen er noget større end de koncentrationer, som blev målt på Middelgrund (sammenlign resultater i Tabel 5-32 og Tabel 5-33). Ved gravearbejdet forventes der i Hovedforslag 1 at blive frigivet ca. 309 kg kobber i hele graveperioden, bestemt ud fra mediankoncentrationen af de målte sedimentprøver. Spredningen af sedimentet er styret af de hydrauliske forhold, og ca. 47 % af den frigivne mængde bliver i og omkring graveområdet. Størrelsesordenen for deponeringen fremgår af Tabel 5-38. Forskellen mellem den frigivne mængde på 309 kg og de 232 kg, der ender i sedimentet inden for modelområdet, svarende til 77 kg (ca. 25%), vil teoretisk spredes ud over modelområdet, før det i praksis vil ende på bunden længere væk, efter det har bundet sig til det suspenderede stof i vandsøjlen. Dog skal den relative koncentration af de 77 kg ses i sammenhæng med det vandvolumen, der er i hele modelområdet, og der vil således være tale om særdeles lave koncentrationer, langt under detektionsgrænsen, som desuden vil kunne spredes helt uden for modelområdet.

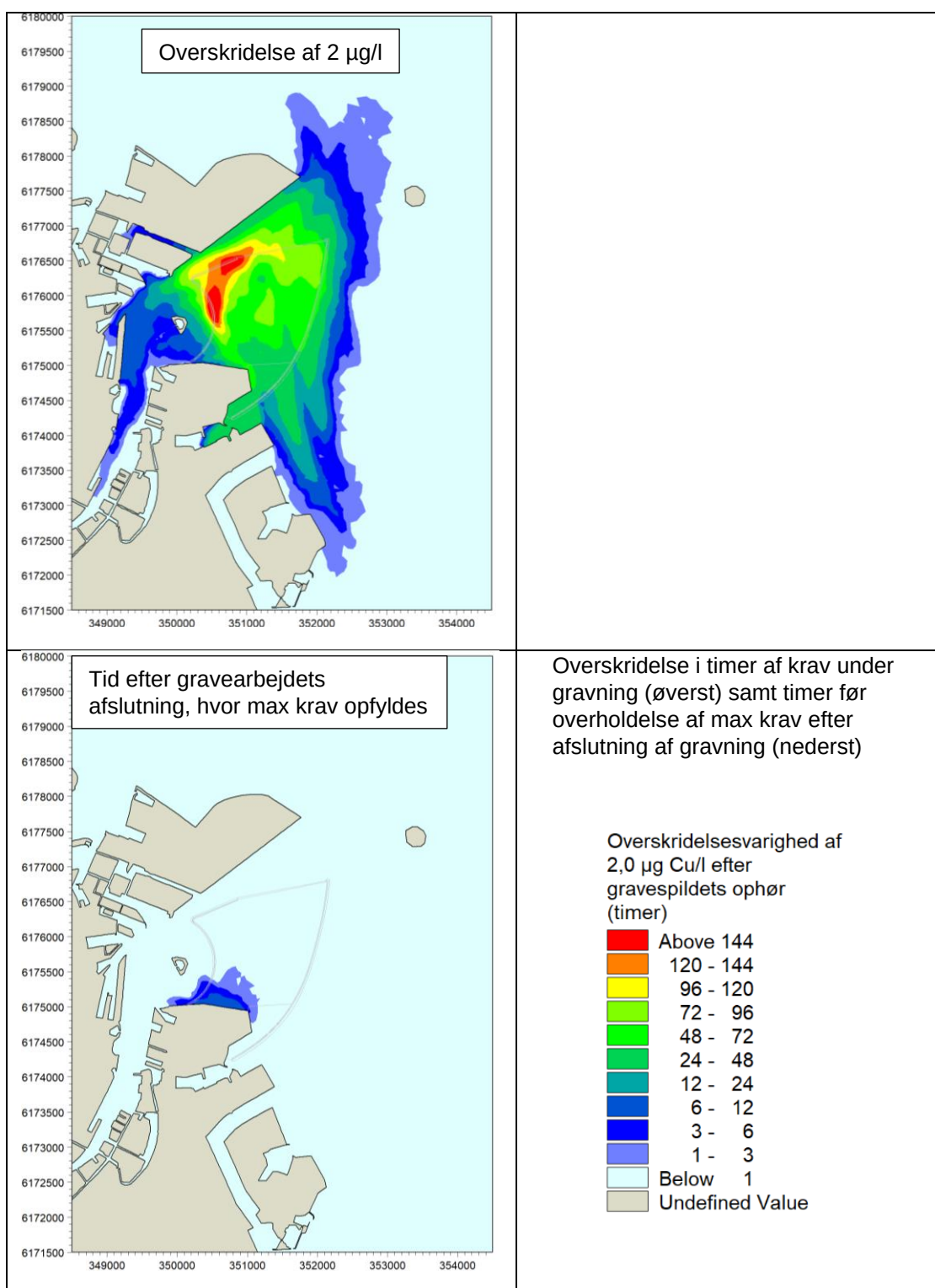
Tabel 5-38 **H1: Oversigt over frigjort kobber** samt opgørelse over, hvor det frigjorte kobber ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Cu)	% af total
Total spildmængde	309	100
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	232	75
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	94	30
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	51	17
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	77	25

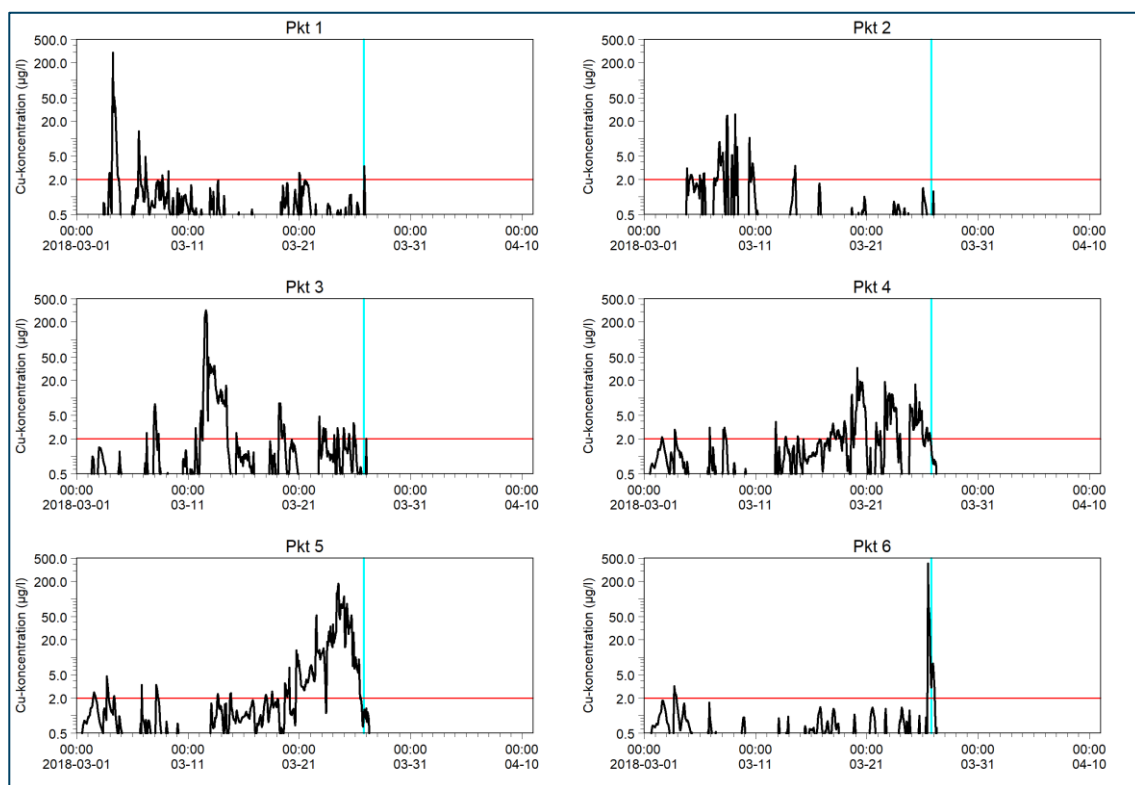


Figur 5-55 **HF1: Kobber** sediment deposition i mg Cu/m² (venstre) og mg/kg tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

Inden for Delområde 2 deponeres cirka 94 kg kobber, og her af vil cirka 51 kg kobber blive tildækket ved opfyldning til Lynetteholm. Figur 5-55 viser deponeringen af kobber 1 uge efter gravearbejdets afslutning. Deponeringen er næsten identisk med mængderne lige efter afslutning af gravearbejdet, idet der hurtigt efter afslutning af gravearbejdet vil ske resuspension og derved yderligere spredning og fortynding.



Figur 5-56 **HF1: Kobber i vandfasen.** Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 2 µg/l. Nederst venstre: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.



Figur 5-57 **HF1: Kobber i vandfasen, µg/l.** Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning af gravearbejdet, rød vandret linje angiver grænseværdien 2 µg/l.

5.2.7 HF1: Kviksølv

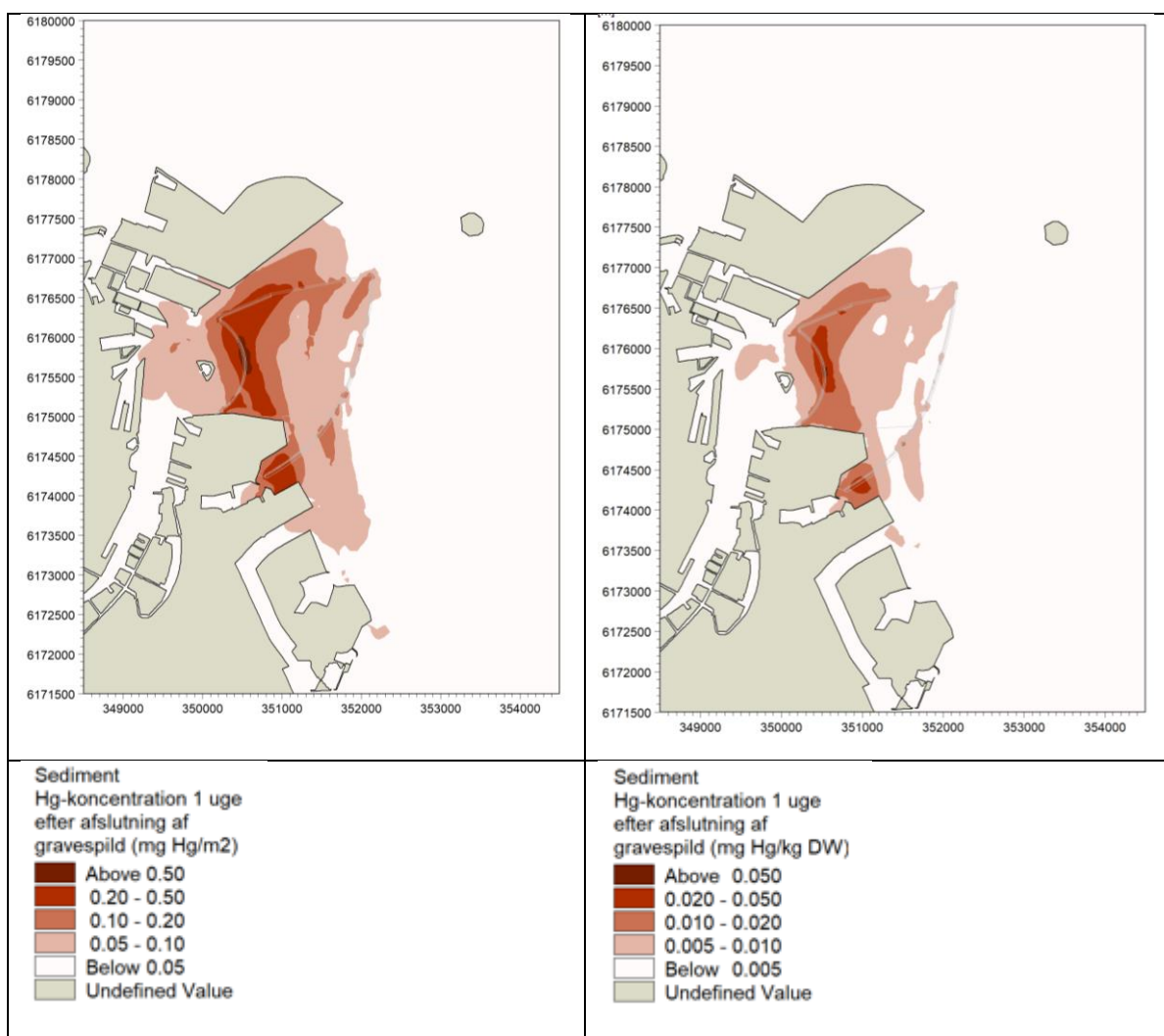
Kviksølv koncentrationen i sedimentet i Lynetteholm-området er i lighed med kobber høje, og en del af de målte koncentrationer ligger over øvre aktionsniveau i forhold til klapvejledningen. Der forventes en frigivelse på cirka 2,2 kg i hele graveperioden. Spredningen af sedimentet er styret af de hydrauliske forhold, og ca. 47 % af den frigivne mængde bliver i og omkring graveområdet. Størrelsesordenen for deponeringen fremgår af Tabel 5-39 og deponeringen ses i Figur 5-58. Forskellen på 0,55 kg (cirka 25%) mellem den frigivne mængde på 2,2 kg og de 1,7 kg, der ender i sedimentet, vil teoretisk spredes i vandsøjlen i modelområdet, mens det i praksis vil ende på bunden, efter det har bundet sig til det suspenderede stof, der er i vandsøjlen.

Tabel 5-39 **H1: Oversigt over frigjort kviksølv, samt opgørelse over, hvor det frigjorte kviksølv ender efter gravearbejdet.**

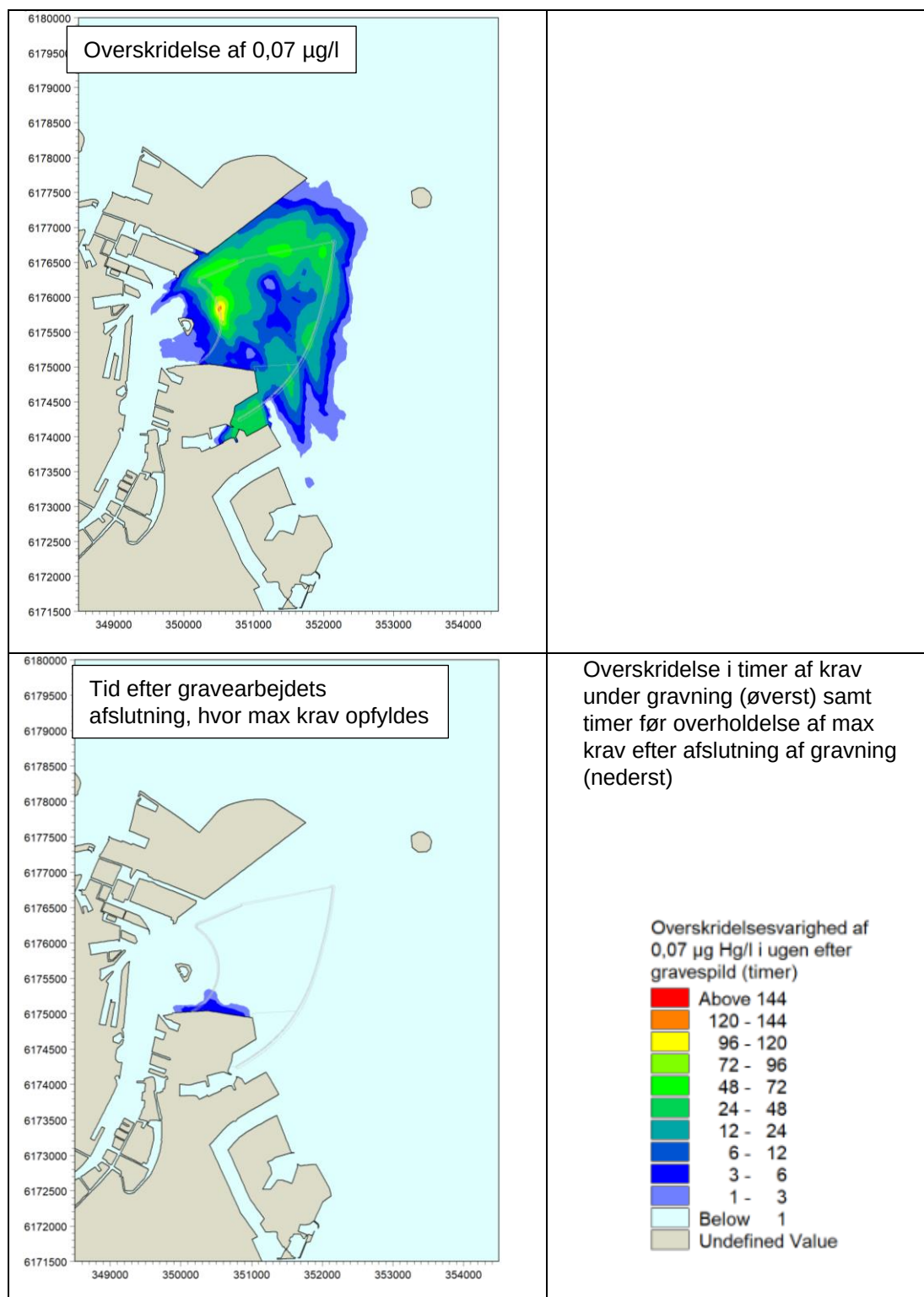
Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Hg)	% af total
Total spildmængde	2,2	100
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	1,7	75
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	0,68	30
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	0,37	17

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Hg)	% af total
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	0,55	25

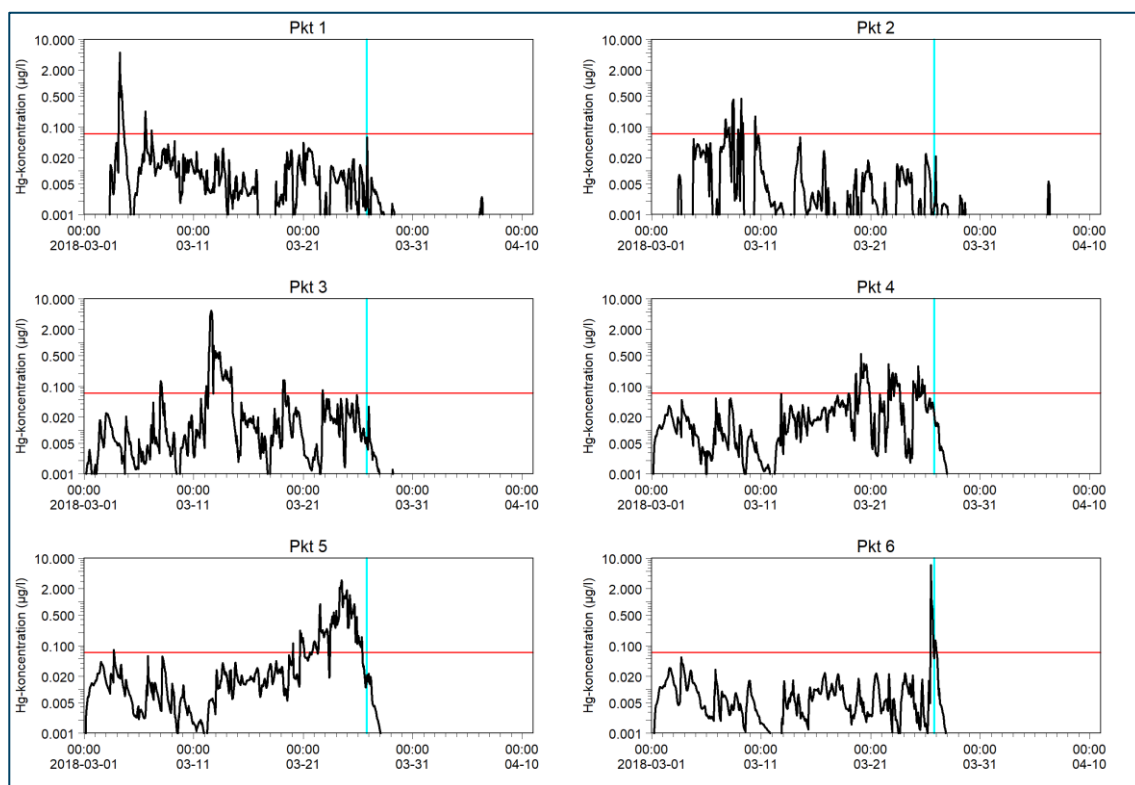
Den relative koncentration af de 0,55 kg skal ses i sammenhæng med det vandvolumen, der er i modelområdet, og der vil således være tale om særdeles lave koncentrationer, langt under detektionsgrænsen, som i løbet af ganske få timer efter gravearbejds afslutning kommer under kravgrænsen.



Figur 5-58 **HF1: Kviksølv** sediment deposition i mg Hg/m² (venstre) og mg/kg tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-59 **HF1: Kviksølv** i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 0,07 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.



Figur 5-60 **HF1: Kviksølv** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning af gravearbejdet. Rød vandret linje angiver grænseværdien 0,07 µg/l.

5.2.8 HF1: Zink

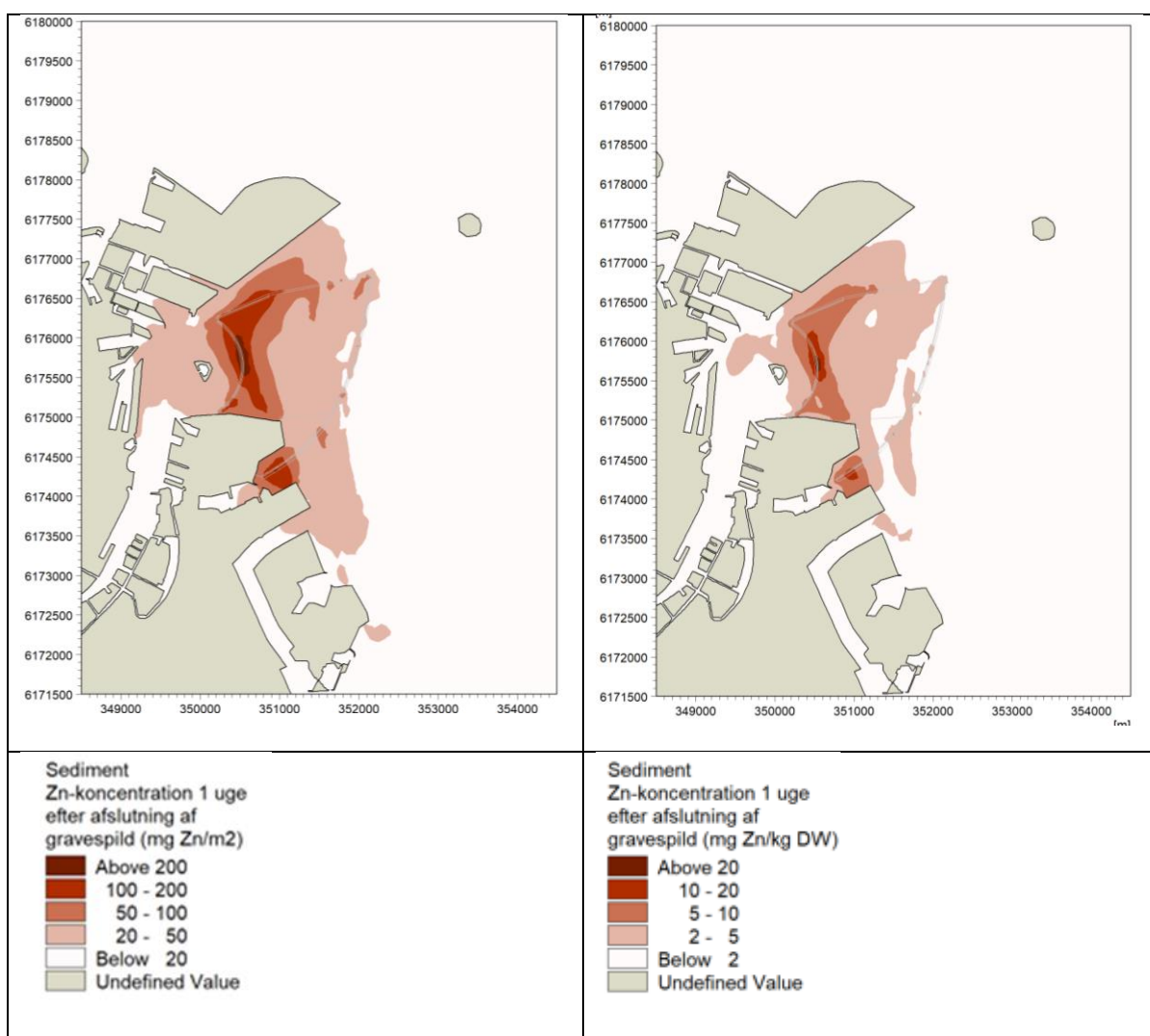
Zinkkoncentrationerne i sedimentet i Lynetteholm-området er i lighed med både kobber og kviksølv høje, og ligger 3-4 gange over øvre aktionsniveau i forhold til klapvejledningen. Der forventes en frigivelse på 964 kg i hele graveperioden. Spredningen af sedimentet er styret af de hydrauliske forhold, og ca. 47 % af den frigivne mængde bliver i og omkring graveområdet. Størrelsesordenen for deponeringen fremgår af Tabel 5-40 og deponeringen ses i Figur 5-58. Forskellen mellem den frigivne mængde på 964 kg og de 719 kg, der ender i sedimentet, svarende til 245 kg (ca. 25%), vil teoretisk spredes i vandsøjlen i modelområdet, mens det i praksis vil ende på bunden, efter det har bundet sig til det suspenderede stof, der er i vandsøjlen.

Tabel 5-40 Oversigt over frigjort zink, samt opgørelse over, hvor det frigjorte zink ender efter gravearbejdet.

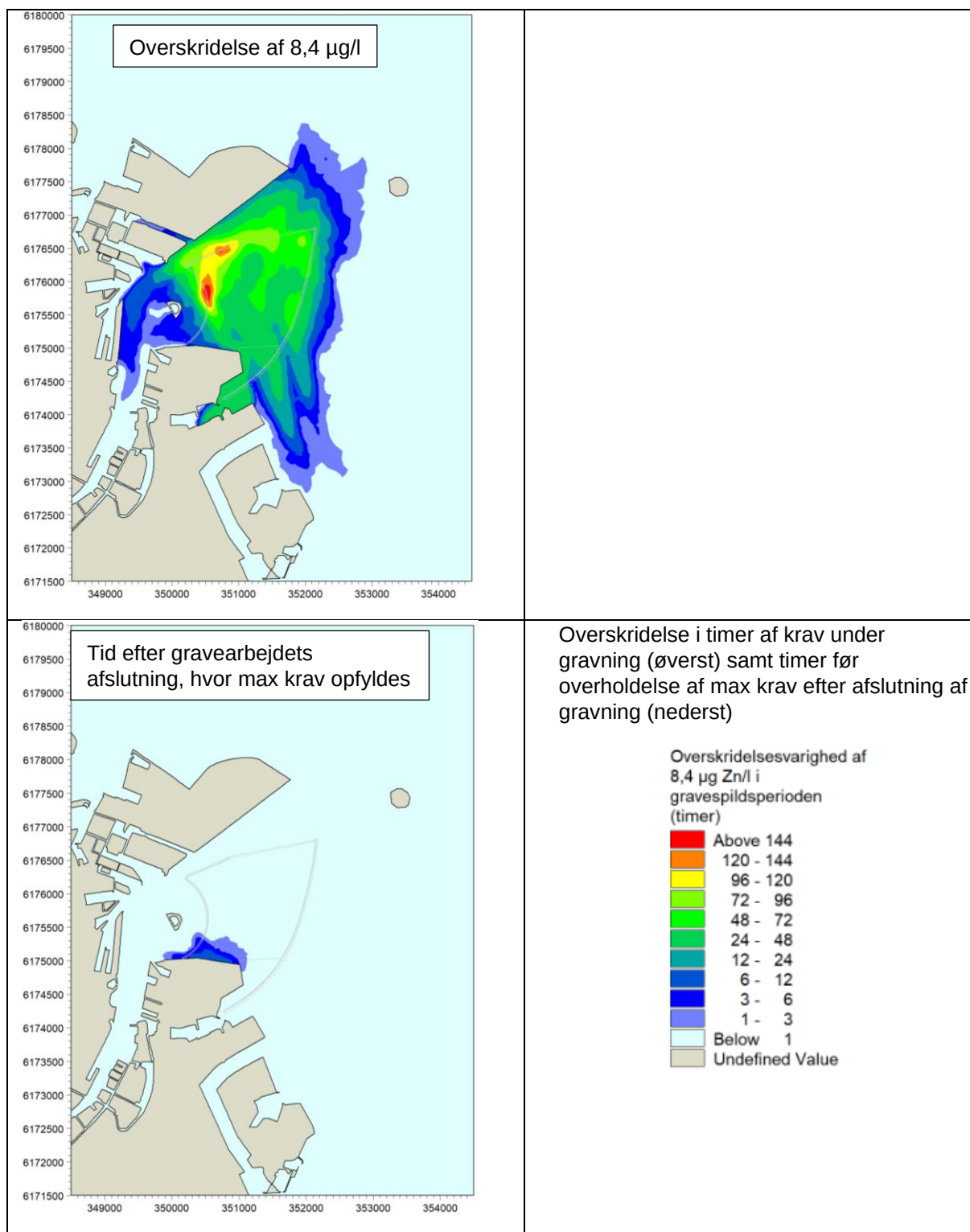
Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Zn)	% af total
Total spilmængde	964	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	719	75
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	291	30
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	159	17

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Zn)	% af total
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	245	25

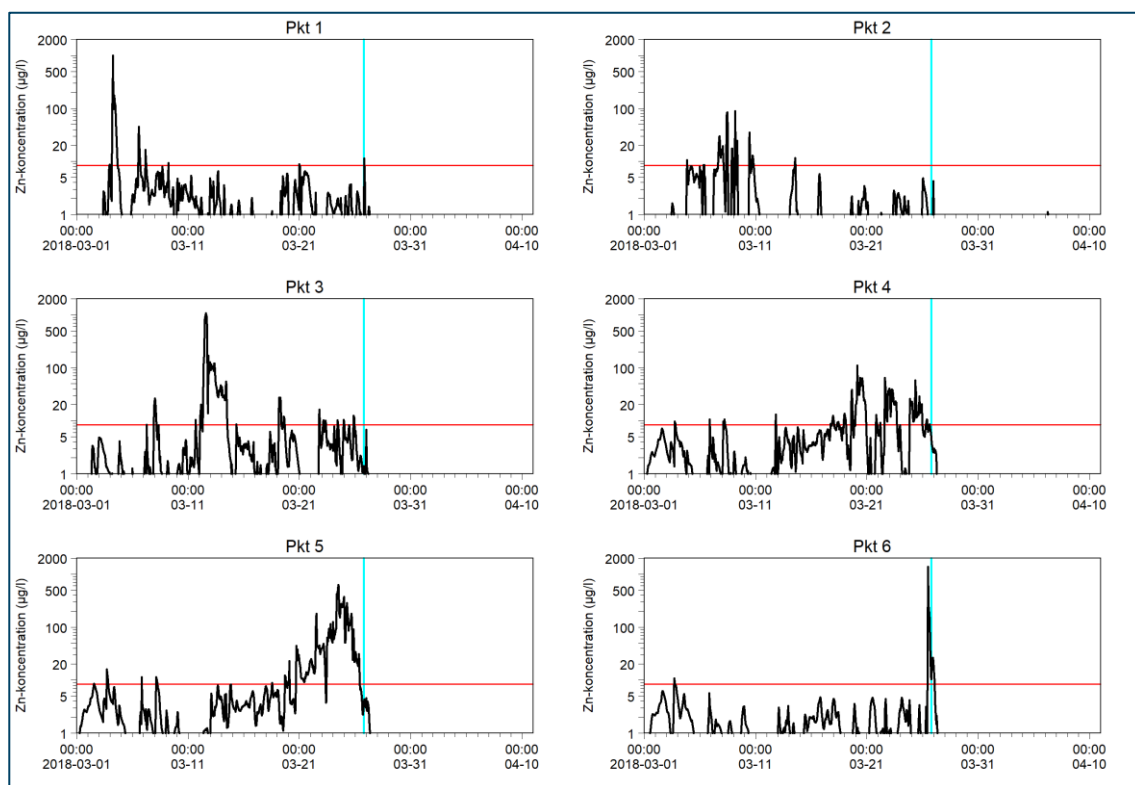
Modellen har ikke inkluderet baggrundskoncentrationer af total suspenderet stof, hvorfor de 245 kg ikke direkte indgår i den deponerede mængde. Dog skal den relative koncentration af de 245 kg ses i sammenhæng med det vandvolumen, der er i modelområdet, og der vil således være tale om særdeles lave koncentrationer, langt under detektionsgrænsen.



Figur 5-61 **HF1: Zink** sediment deposition mg Zn/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-62 **HF1: Zink i vandfasen.** Øverst: Antal timer med overskridelse af 8,4 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.



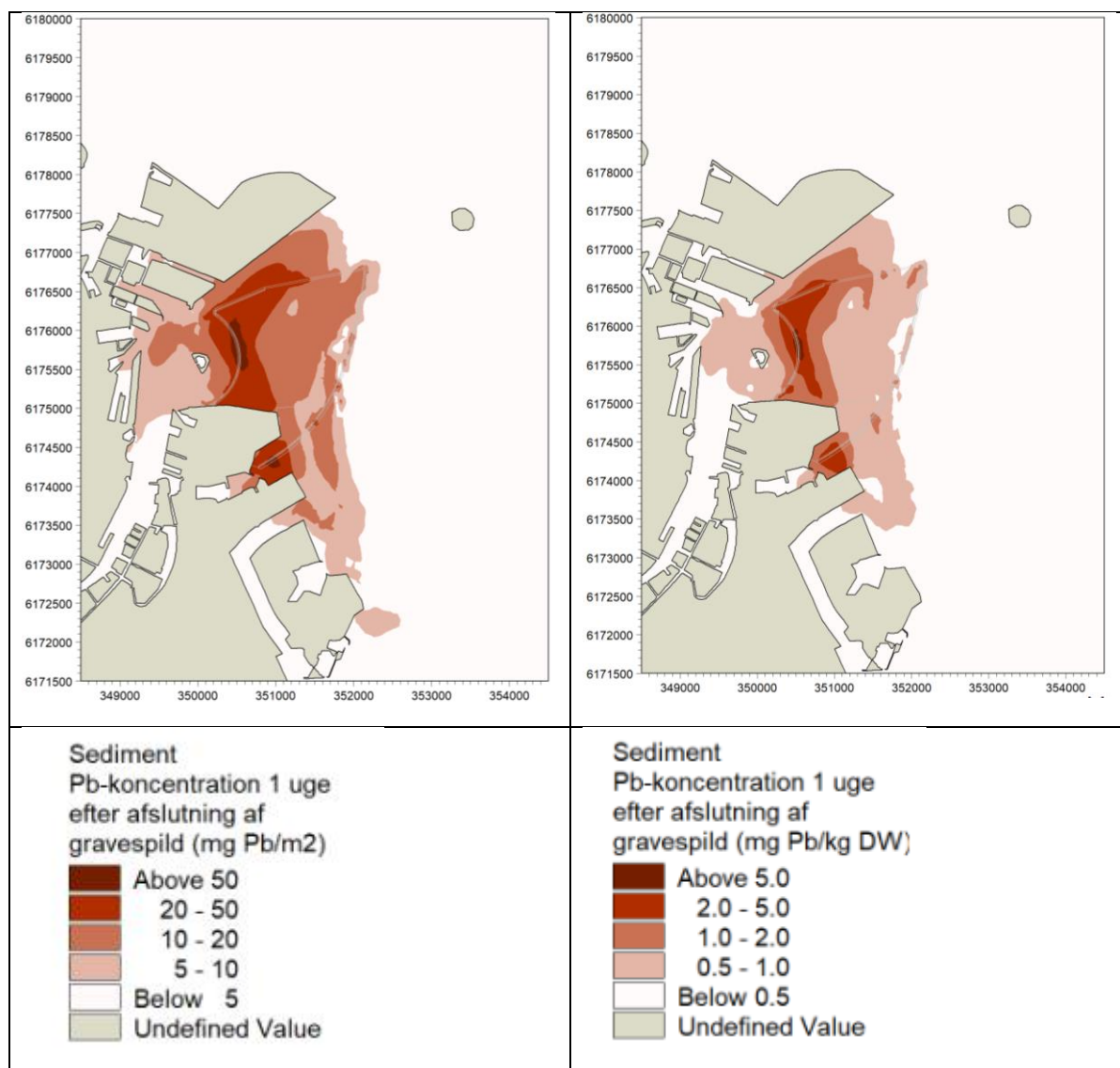
Figur 5-63 **HF1: Zink** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 8,4 µg/l.

5.2.9 HF1: Bly

Bly koncentrationerne i sedimentet i Lynetteholm-området er i lighed med både kobber, kviksølv og zink høje, og ligger 3-4 gange over øvre aktionsniveau i forhold til klapvejledningen. Der forventes en frigivelse på 304 kg i hele graveperioden. Spredningen af sedimentet er styret af de hydrauliske forhold, og ca. 48 % af den frigivne mængde bliver i og omkring graveområdet. Størrelsesordenen for deponeringen fremgår af Tabel 5-41 og deponeringen ses i Figur 5-64. Forskellen mellem den frigivne mængde på 304 kg og de 231 kg, der ender i sedimentet, svarende til 73 kg (ca. 25%), vil teoretisk spredes i vandsøjlen i og udenfor modelområdet, og at det i praksis vil ende på bunden, efter det har bundet sig til det suspendede stof, der er i vandsøjlen.

Tabel 5-41 Oversigt over frigjort bly, samt opgørelse over, hvor det frigjorte bly ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Pb)	% af total
Total spildmængde	304	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	231	76
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	93	31
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	51	17
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenteres	73	24



Figur 5-64

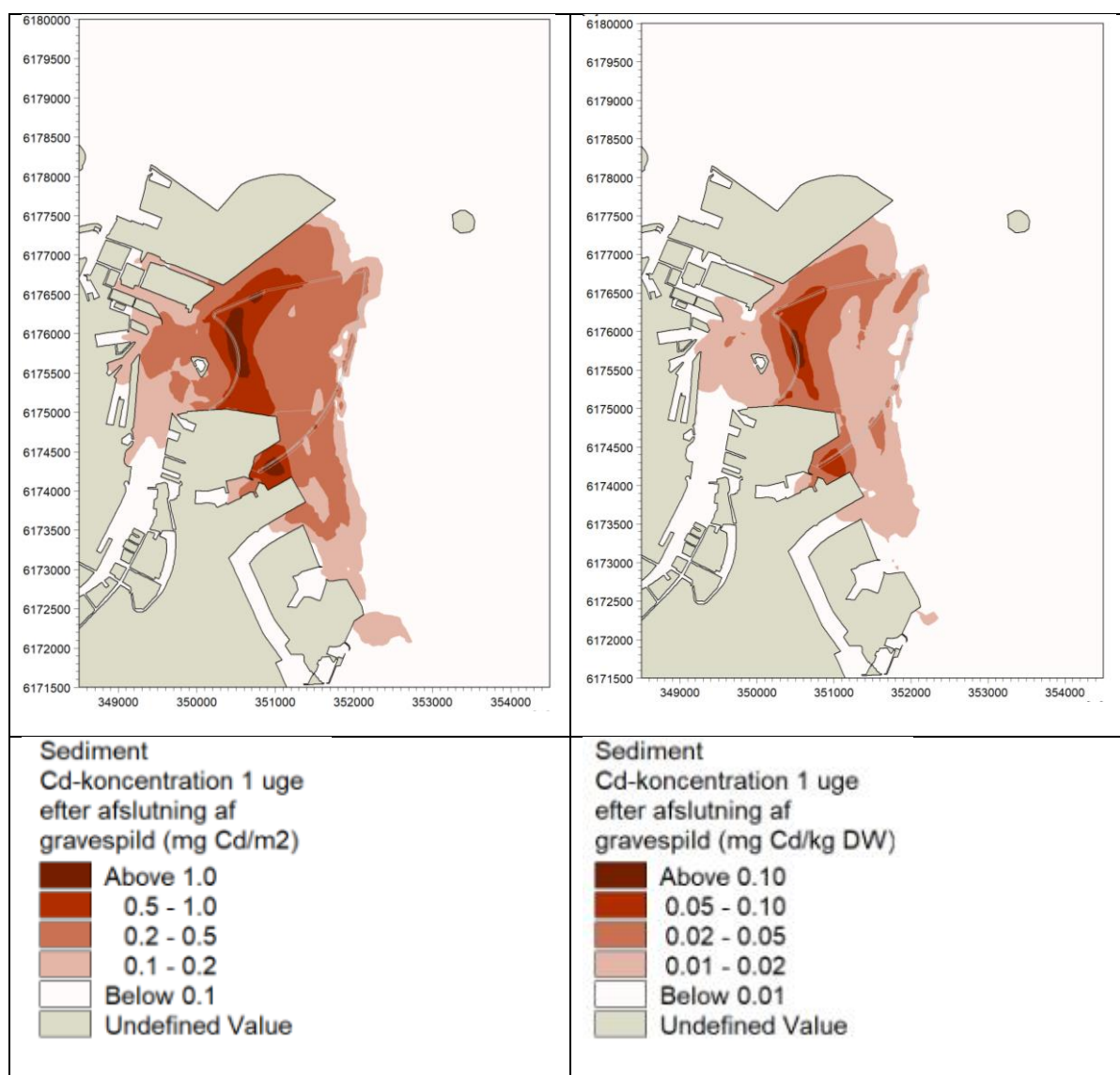
HF1: Bly sediment deposition mg Pb/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

5.2.10 HF1: Cadmium

Cadmium koncentrationerne i sedimentet i Lynetteholm-området er i lighed med både kobber, kviksølv, zink og bly høje, og ligger 3-4 gange over øvre aktionsniveau i forhold til klapvejledning. Der forventes en frigivelse på 7,4 kg i hele graveperioden. Spredningen af sedimentet er styret af de hydrauliske forhold, og ca. 46 % af den frigivne mængde bliver i og omkring graveområdet. Størrelsesordenen for deponeringen fremgår af Tabel 5-42 og deponeringen ses i Figur 5-65. Forskellen mellem den frigivne mængde på 7,4 kg og de 5,4 kg, der ender i sedimentet, svarende til 2 kg (ca. 27%), vil teoretisk spredes i vandsøjlen i og udenfor modelområdet, og at det i praksis vil ende på bunden, efter det har bundet sig til det suspenderede stof, der er i vandsøjlen.

Tabel 5-42 Oversigt over frigjort cadmium, samt opgørelse over, hvor det frigjorte cadmium ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Cd)	% af total
Total spildmængde	7.4	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	5.4	73
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	2.2	30
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	1.2	16
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	2.0	27



Figur 5-65 **HF1: Cadmium** sediment deposition mg Cd/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

5.2.11 Hovedforslag 2

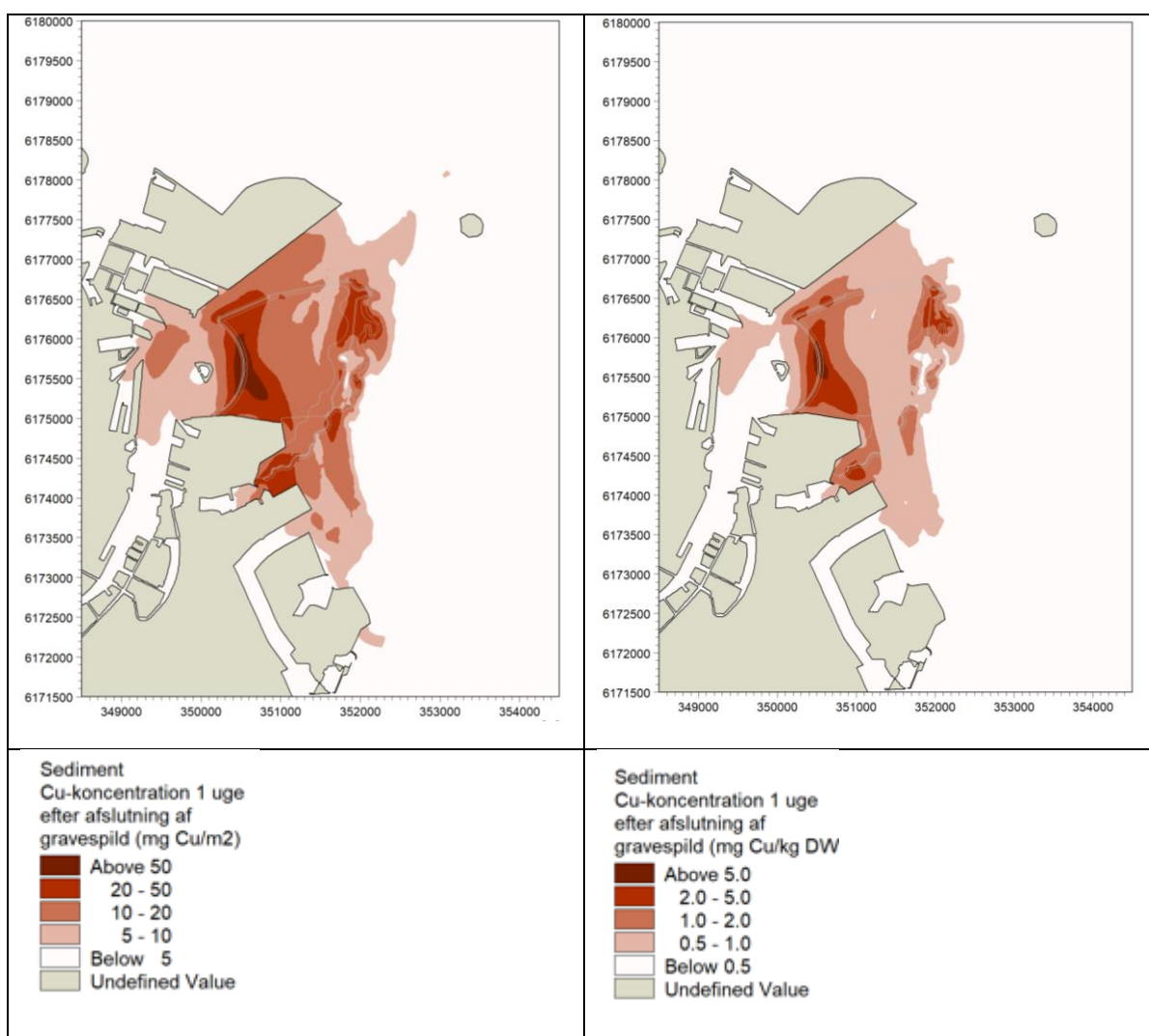
I gennemgangen af spredning af tungmetaller og deres deponering i sedimenterne, samt spredning i vandsøjlen er der ikke en gennemgang af hvert metal, idet tolkningerne er identiske med dem under Hovedforslag 1, bortset fra størrelsesordnerne.

5.2.12 HF2: Kobber

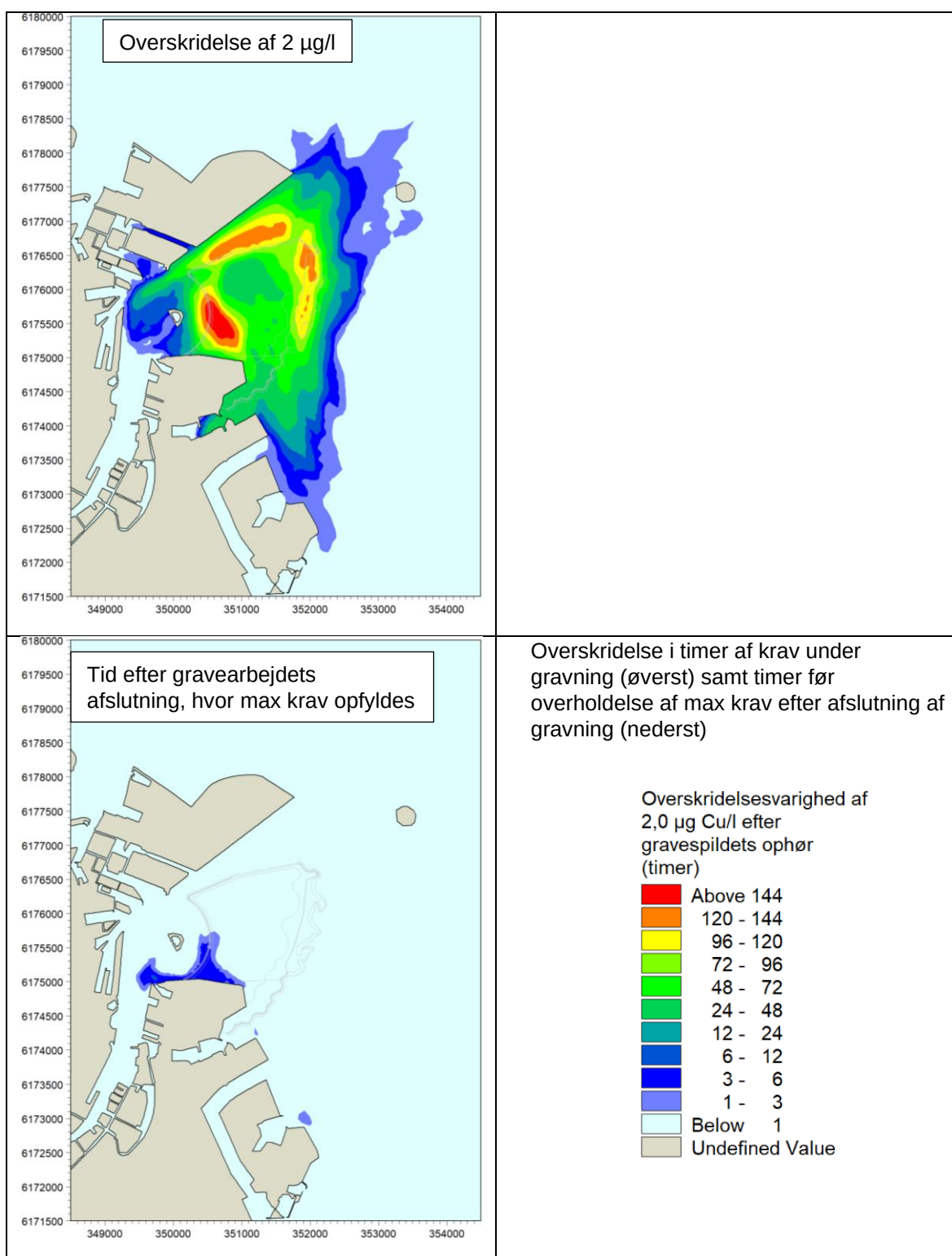
I Hovedforslag 2 er de frigivne mængder større end i forslag 1. Den totale spildmængde er på 376 kg, hvoraf de 278 kg sedimenterer og cirka 98 kg ender i vandfasen. 57 kg vil sedimentere inden for Lynetteholm området og derved tages ud af den mængde, der i fremtiden kan re-suspendere og spredes yderligere, og 98 kg vil ende i havneområdet, tæt på graveområdet. Tabel 5-43 viser fordelingen af frigivne kobbermængder, mens Figur 5-66 vider deponeringen 1 uge efter gravearbejdets afslutning. Figur 5-67 viser koncentrationer i vandfasen under og efter gravearbejdet, mens Figur 5-68 viser tidsserier for 6 punkter i periferien af graveområdet.

Tabel 5-43 **HF2: Oversigt over frigjort kobber** samt opgørelse over, hvor det frigjorte kobber ender efter gravearbejdet.

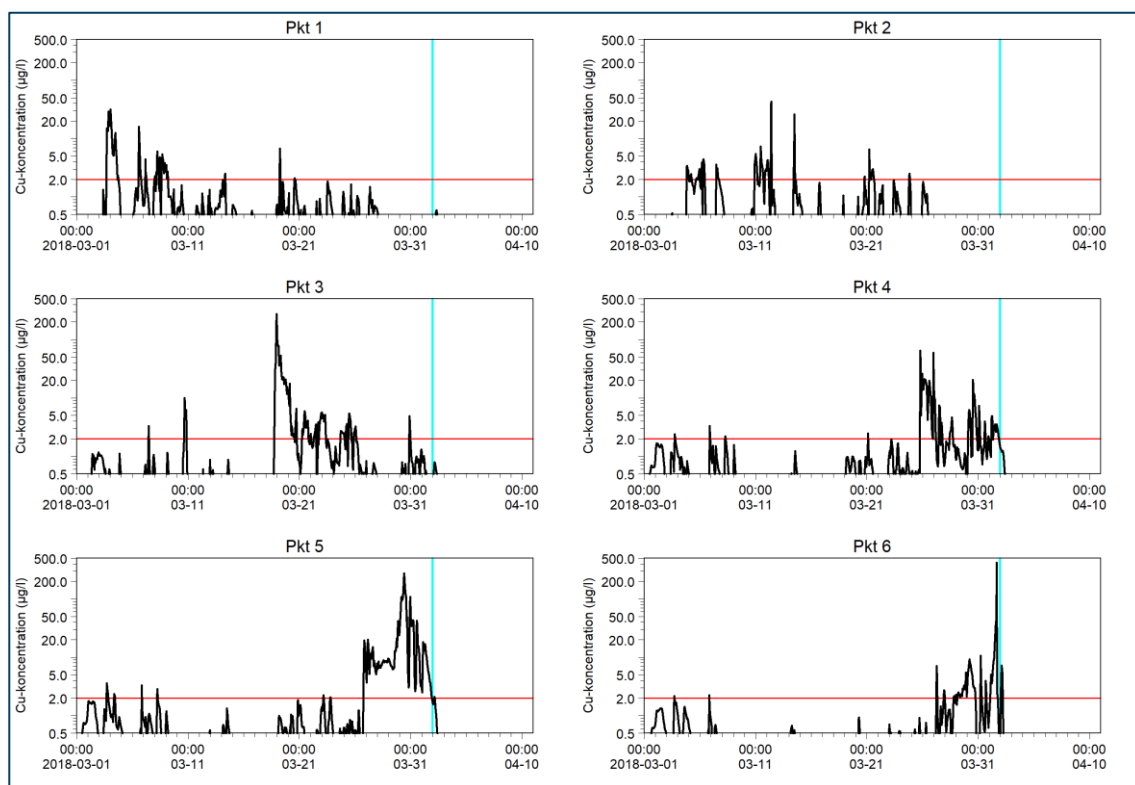
Hovedforslag 2	Total frigjort (kg Cu)	% af total
Total spildmængde	376	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	278	74
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	98	26
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	57	15
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	98	26



Figur 5-66 **HF2: Kobber** sediment deposition mg Cu/m² (venstre) og mg/kg tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-67 **HF2: Kobber** i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 2 µg/l. Nederst venstre: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.



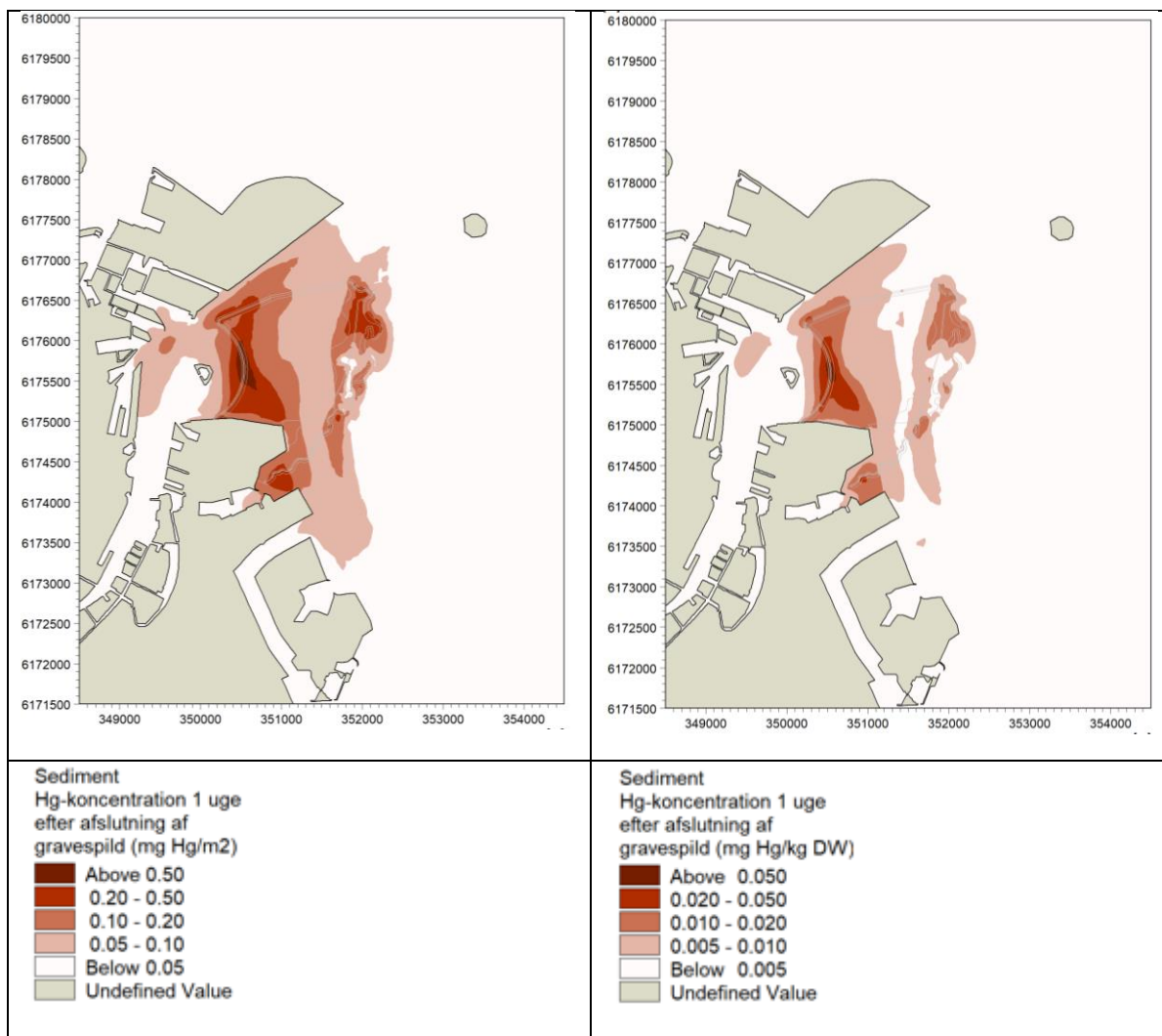
Figur 5-68 **HF2: Kobber** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet, rød vandret linje angiver 2 µg/l.

5.2.13 HF2: Kviksølv

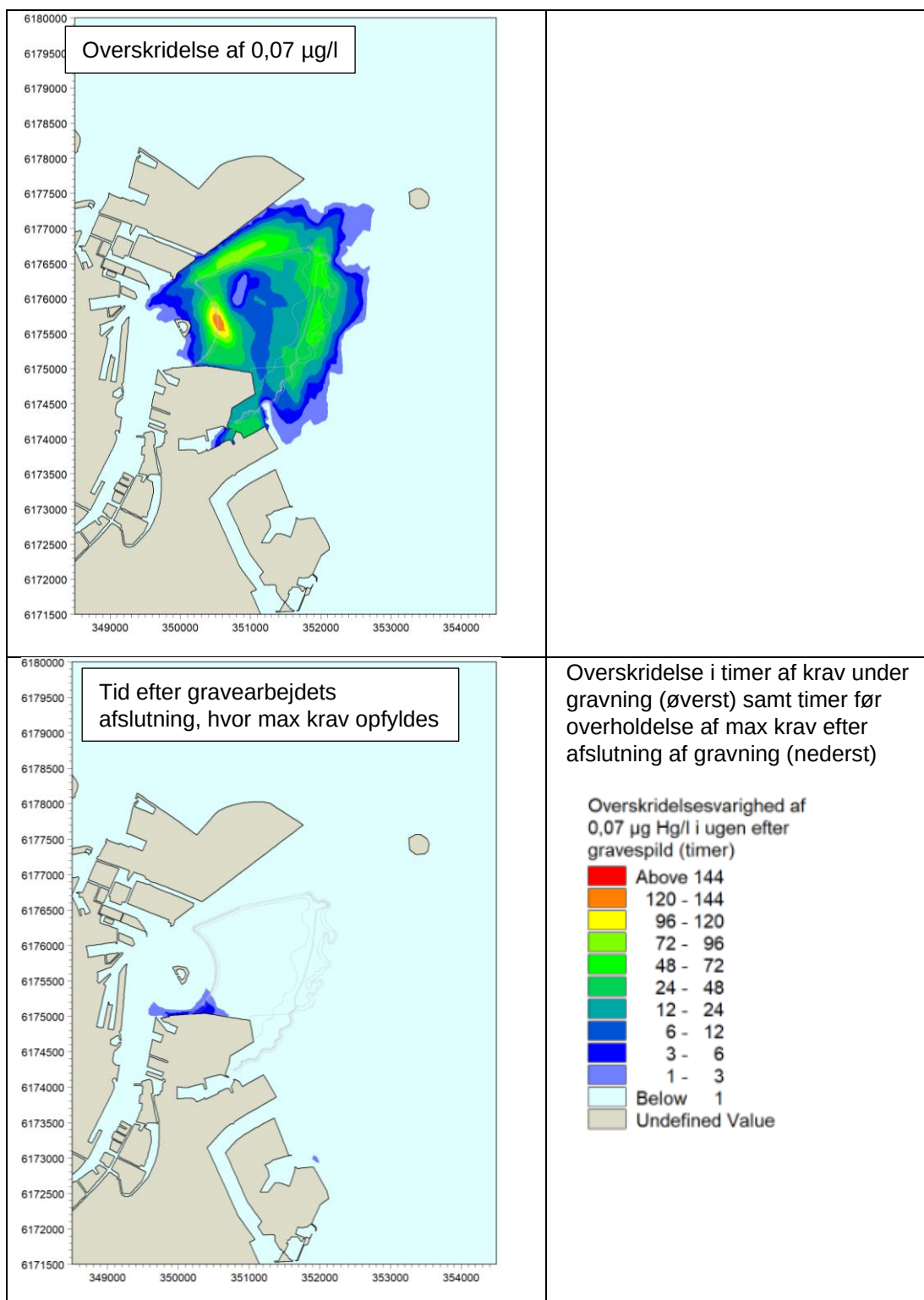
I Hovedforslag 2 forventes en frigivelse af cirka 2,7 kg kviksølv, hvor 2,0 kg vil sedimentere i nærheden af graveområdet og 0,7 kg vil frigives til vandfasen, hvor det ved kontakt med partikulært materiale vil sedimentere ud. 0,41 kg vil ende inden for den fremtidige perimeter af Lynetteholm og derved tages ud af kredsløbet (se Tabel 5-44). Figur 5-69 viser det sedimenterede kviksølv, mens Figur 5-70 viser varighed af kviksølv i vandsøjlen, tidligt vurderet i forhold til overskridelse af kravværdien på 0,07 µg/l. Figur 5-71 viser 6 tidsserier trukket langs periferien af graveområdet og man kan her se, hvor hurtigt koncentrationen i vandfasen falder, når gravearbejdet holder op.

Tabel 5-44 **HF2: Oversigt over frigjort kviksølv**, samt opgørelse over, hvor det frigjorte kviksølv ender efter gravearbejdet.

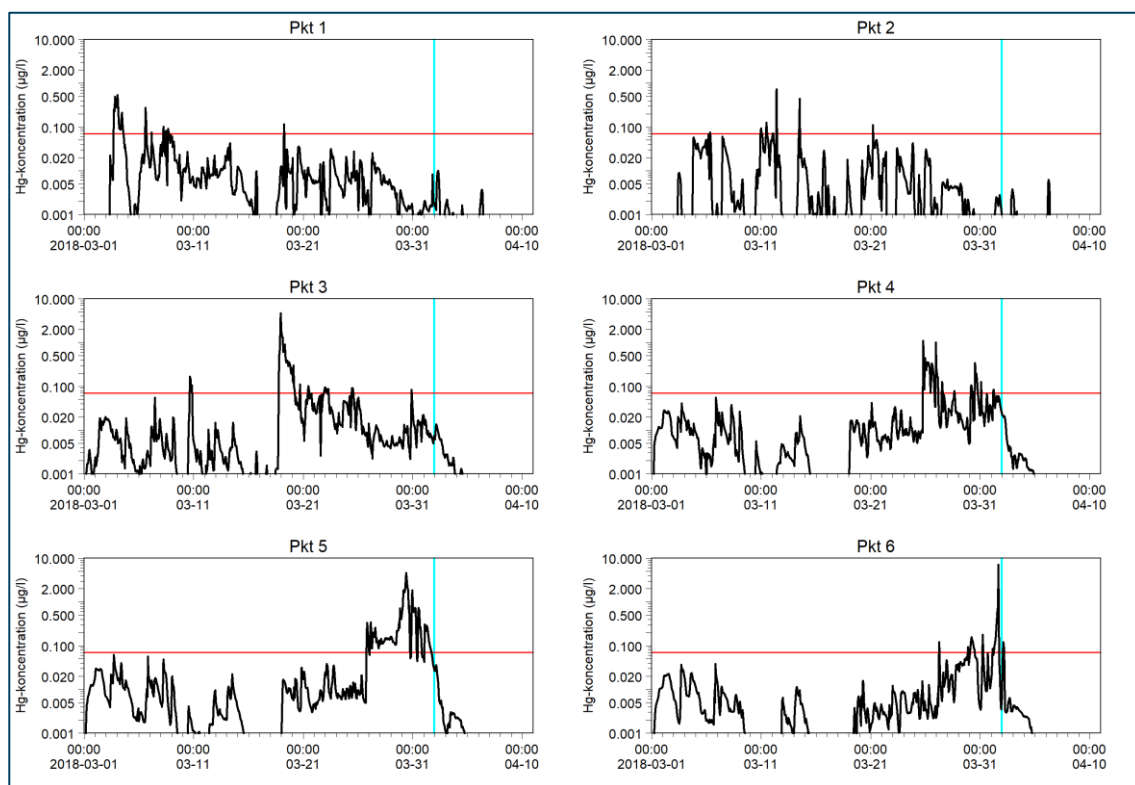
Hovedforslag 2	Total frigjort (kg Hg)	% af total
Total spildmængde	2,7	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	2,0	74
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	0,71	26
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	0,41	15
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	0,7	26



Figur 5-69 **HF2: Kviksølv** sediment deposition mg Hg/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-70 **HF2: Kviksølv** i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 0,07 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.



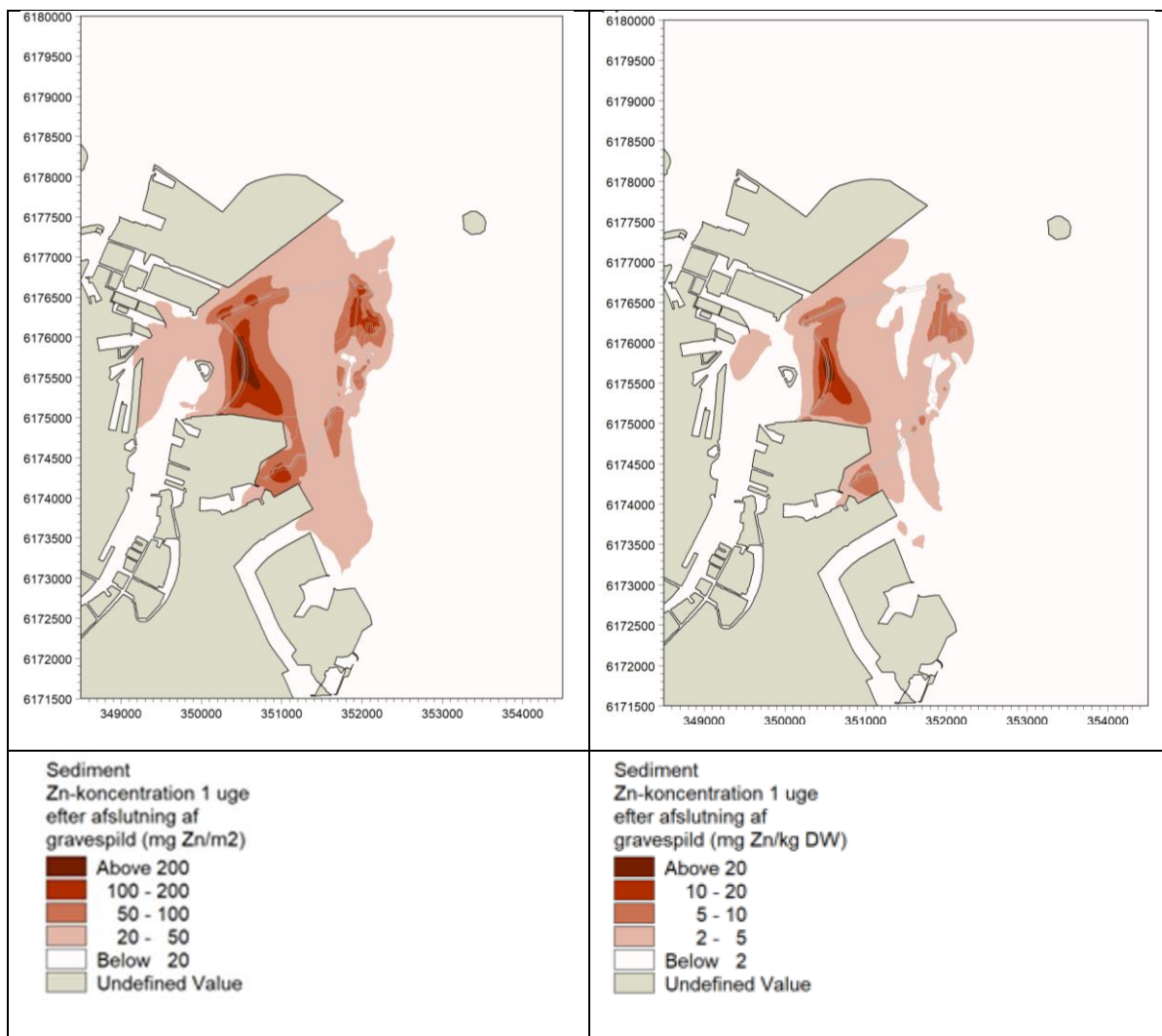
Figur 5-71 **HF2: Kviksølv** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 0,07 µg/l. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet

5.2.14 HF2: Zink

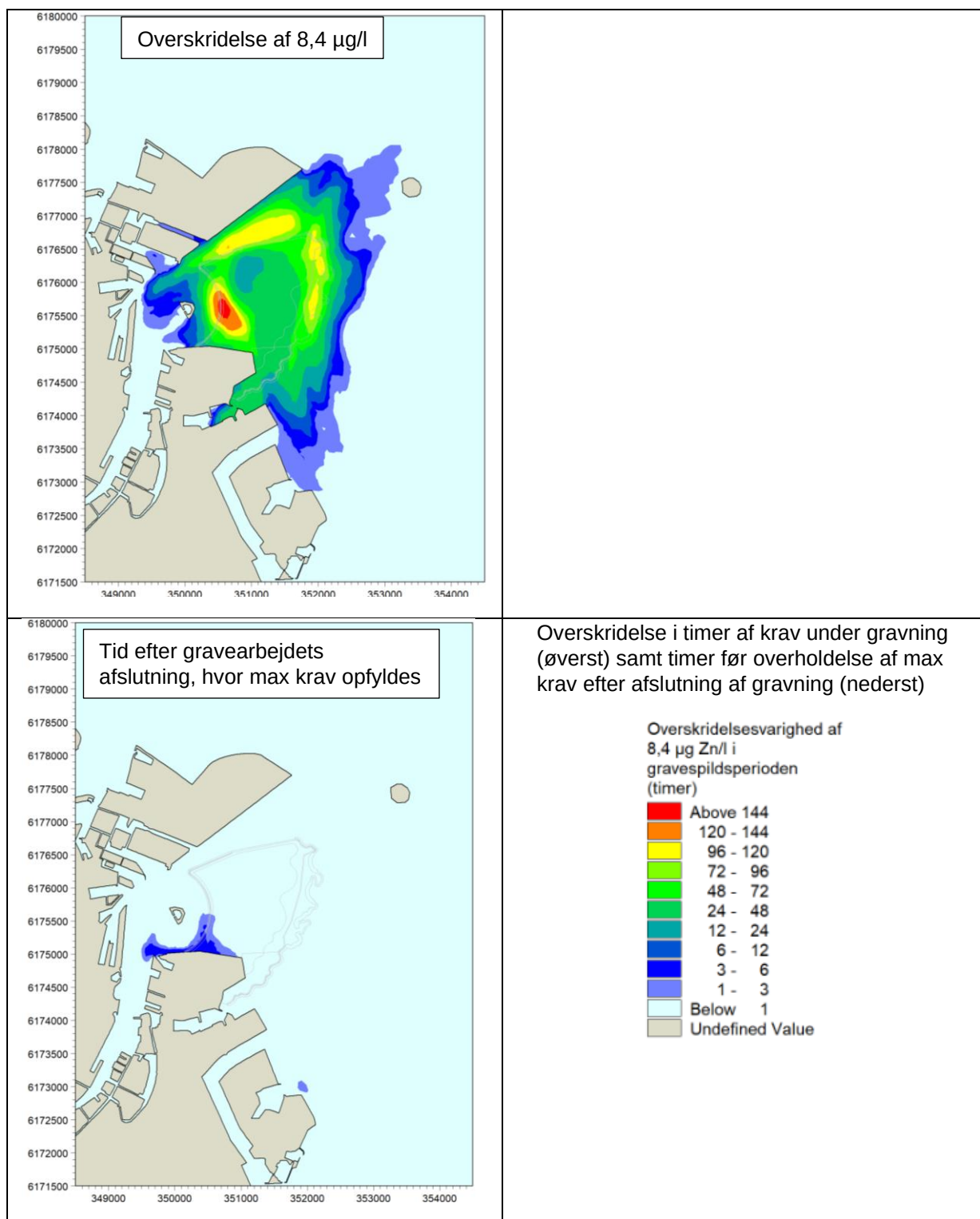
Zink koncentrationerne i Lynetteområdet er høje, og ligger 3-4 gange over øvre aktionsniveau i forhold til klapvejledningen. Ved Hovedforslag 2 forventes en frigivelse på 1.171 kg i hele graveperioden, som fordeler sig med cirka 859 kg, der sedimenterer og 312 kg, der frigives til vandsøjlen (se Tabel 5-45). Af de 859 kg vil 178 kg ende inden for periferien af Lynetteholm. Zink frigivet til vandsøjlen vil gradvist binde sig til partikulært materiale og derefter sedimentere. Figur 5-72 viser sedimentdeponeringen af Zink, mens Figur 5-73 og Figur 5-74 viser henholdsvis den tidlige varighed af overskridelse af kravværdier i vandsøjlen, samt tidsserier i periferien af graveområdet.

Tabel 5-45 Oversigt over frigjort zink, samt opgørelse over, hvor det frigjorte zink ender efter gravearbejdet.

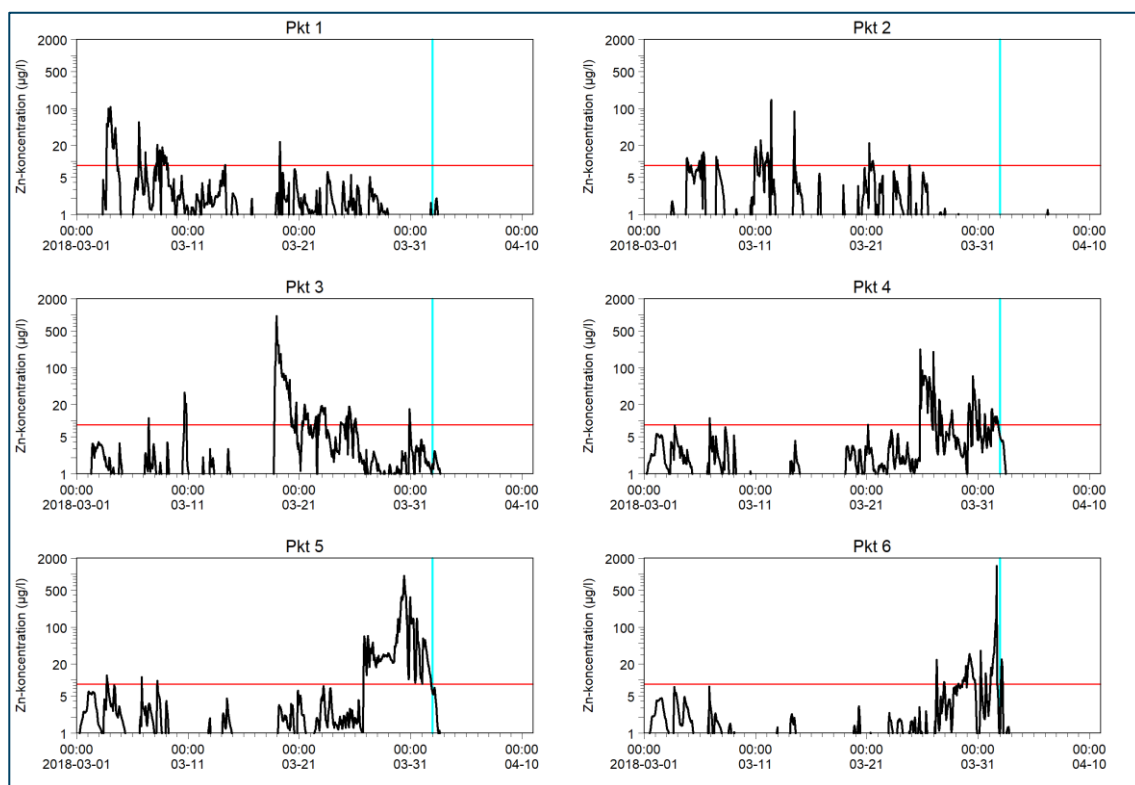
Hovedforslag 2	Total frigjort (kg Zn)	% af total
Total spildmængde	1.171	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	859	73
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	303	26
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	178	15
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	312	27



Figur 5-72 **HF2: Zink** sediment deposition mg Zn/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-73 **HF2: Zink i vandfasen.** Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 8,4 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.



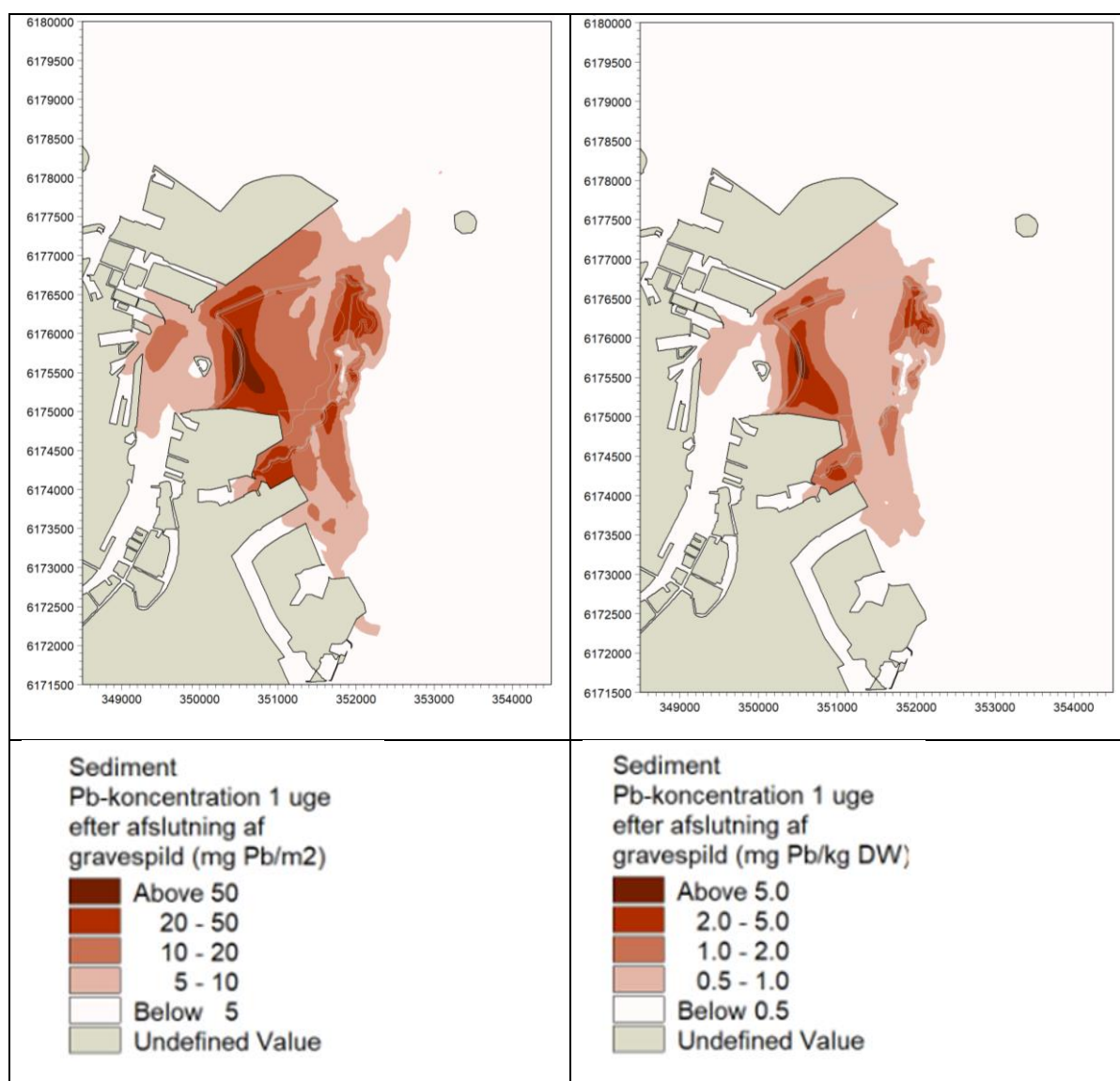
Figur 5-74 **HF2: Zink** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 8,4 µg/l. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet

5.2.15 HF2: Bly

I Hovedforslag 2 forventes en frigivelse af cirka 370 kg bly, hvor 276 kg vil sedimentere i nærheden af graveområdet og 94 kg vil frigives til vandfasen, hvor det ved kontakt med partikulært materiale vil sedimentere ud. 57 kg vil ende inden for den fremtidige perimeter af Lynetteholm og derved tages ud af kredsløbet (se Tabel 5-46). Figur 5-75 viser det sedimenterede bly.

Tabel 5-46 Oversigt over frigjort bly, samt opgørelse over, hvor det frigjorte bly ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Pb)	% af total
Total spildmængde	370	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	276	75
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	97	26
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	57	15
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	94	25



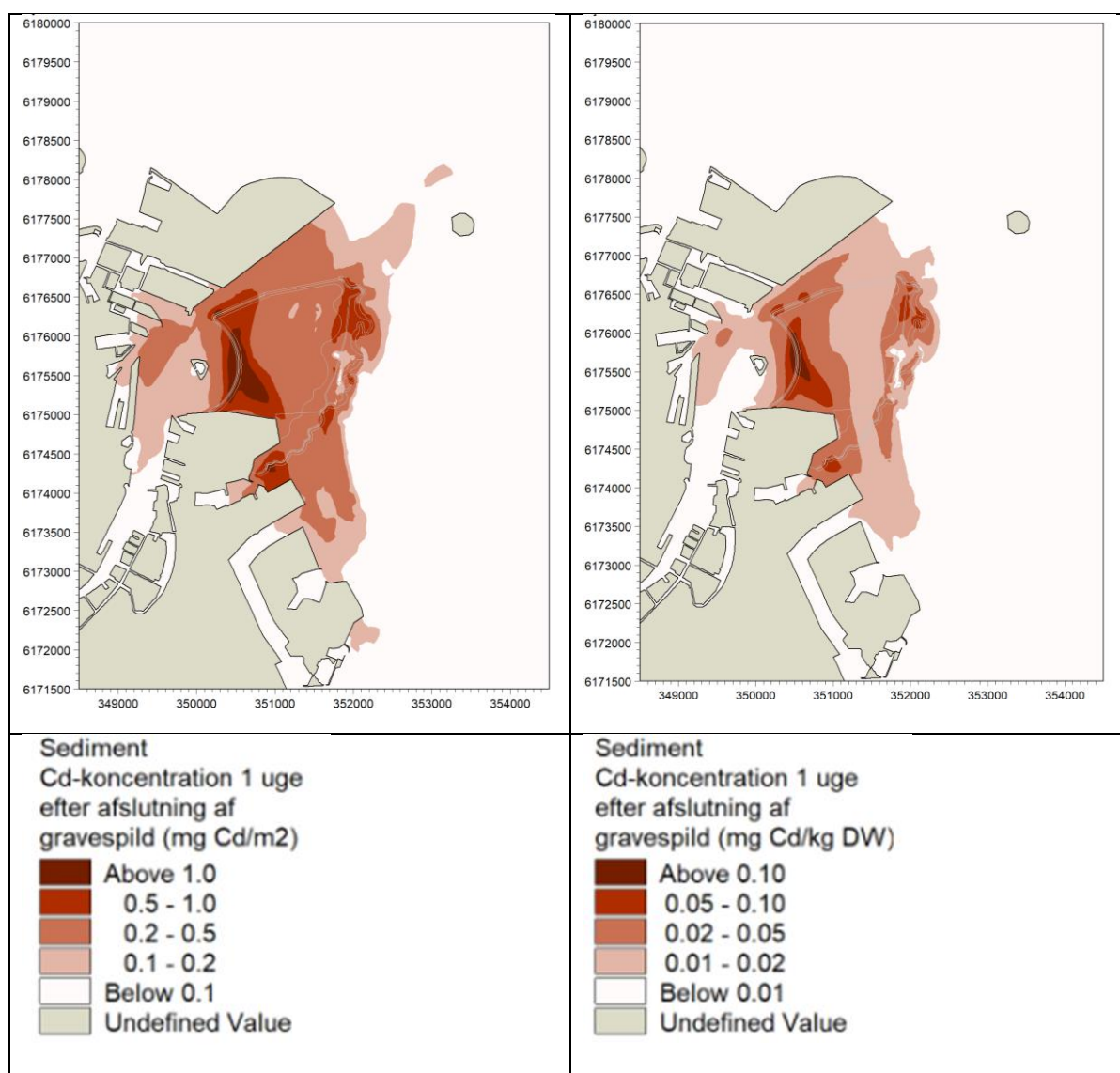
Figur 5-75 **HF2: Bly** sediment deposition mg Pb/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

5.2.16 HF2: Cadmium

I Hovedforslag 2 forventes en frigivelse af cirka 9 kg cadmium, hvor 6,4kg vil sedimentere i nærheden af graveområdet og 2,6 kg vil frigives til vandfasen, hvor det ved kontakt med partikulært materiale vil sedimentere ud. 1,3 kg vil ende inden for den fremtidige perimeter af Lynetteholm og derved tages ud af kredsløbet (se Tabel 5-47). Figur 5-76 viser det sedimenterede cadmium.

Tabel 5-47 Oversigt over frigjort cadmium, samt opgørelse over, hvor det frigjorte cadmium ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Cd)	% af total
Total spildmængde	9.0	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	6.4	71
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	2.3	25
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	1.3	15
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	2.6	29



Figur 5-76 HF2: Cadmium sediment deposition mg Cd/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

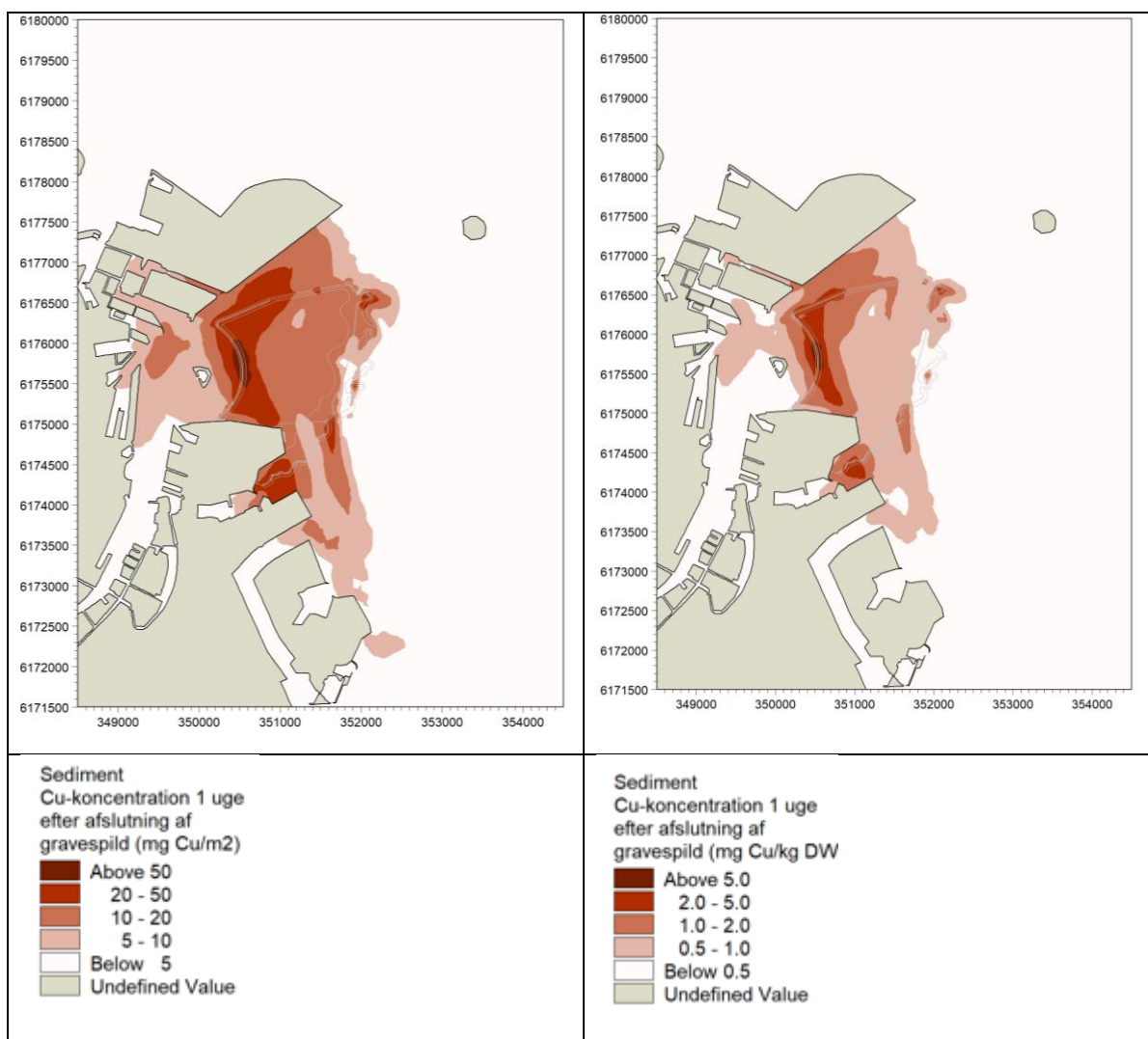
5.2.17 Hovedforslag 2 med afskærmning

Tolkning af de tre metaller spredning under gravearbejderne i Hovedforslag 2 med afskærmning minder særdeles meget om spredningerne i Hovedforslag 1 og derfor henvises der til dette afsnit for en tolkning.

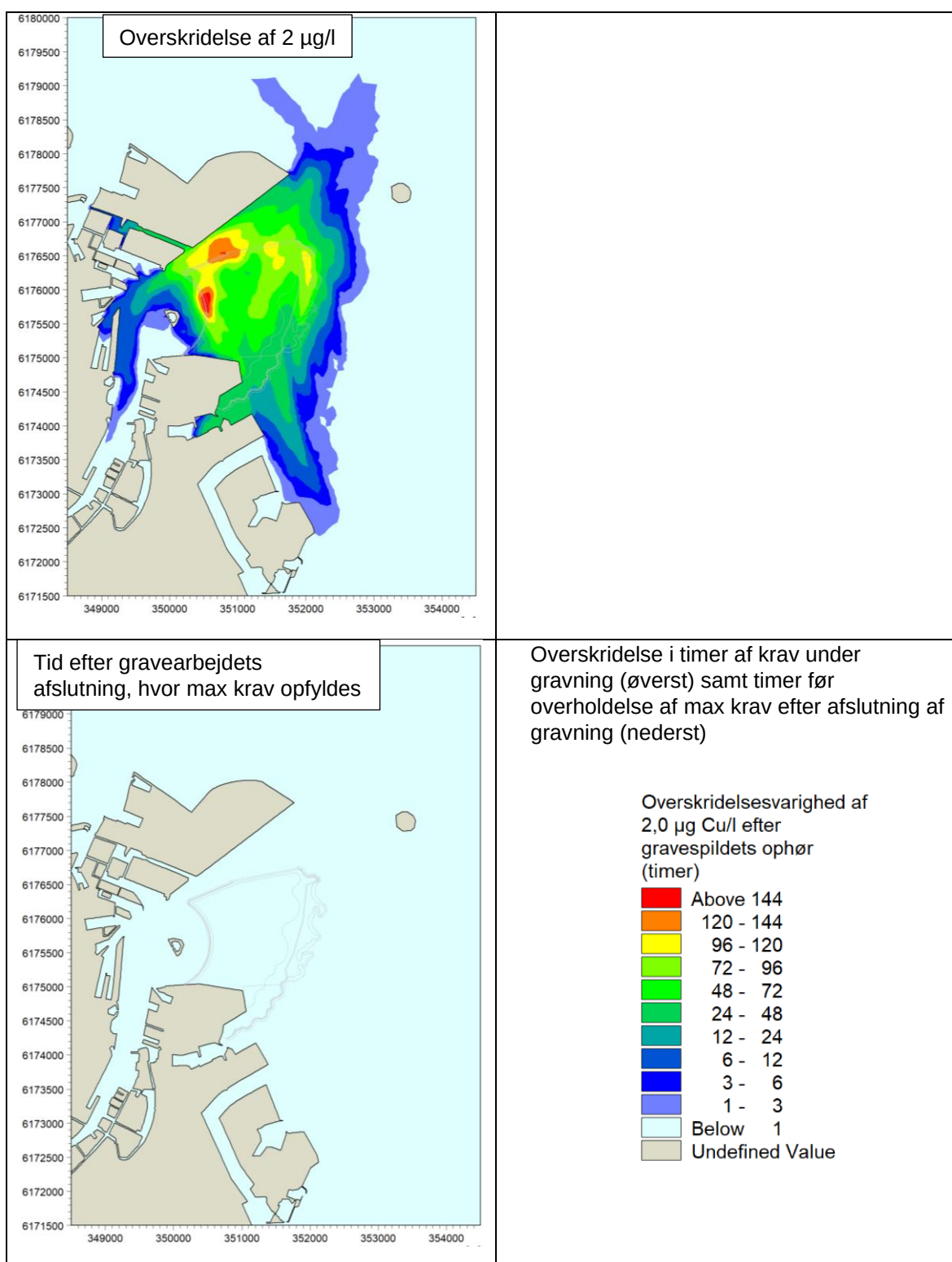
5.2.18 HF2A: Kobber

Tabel 5-48 **HF2A:** Oversigt over frigjort **kobber** samt opgørelse over, hvor det frigjorte kobber ender efter gravearbejdet.

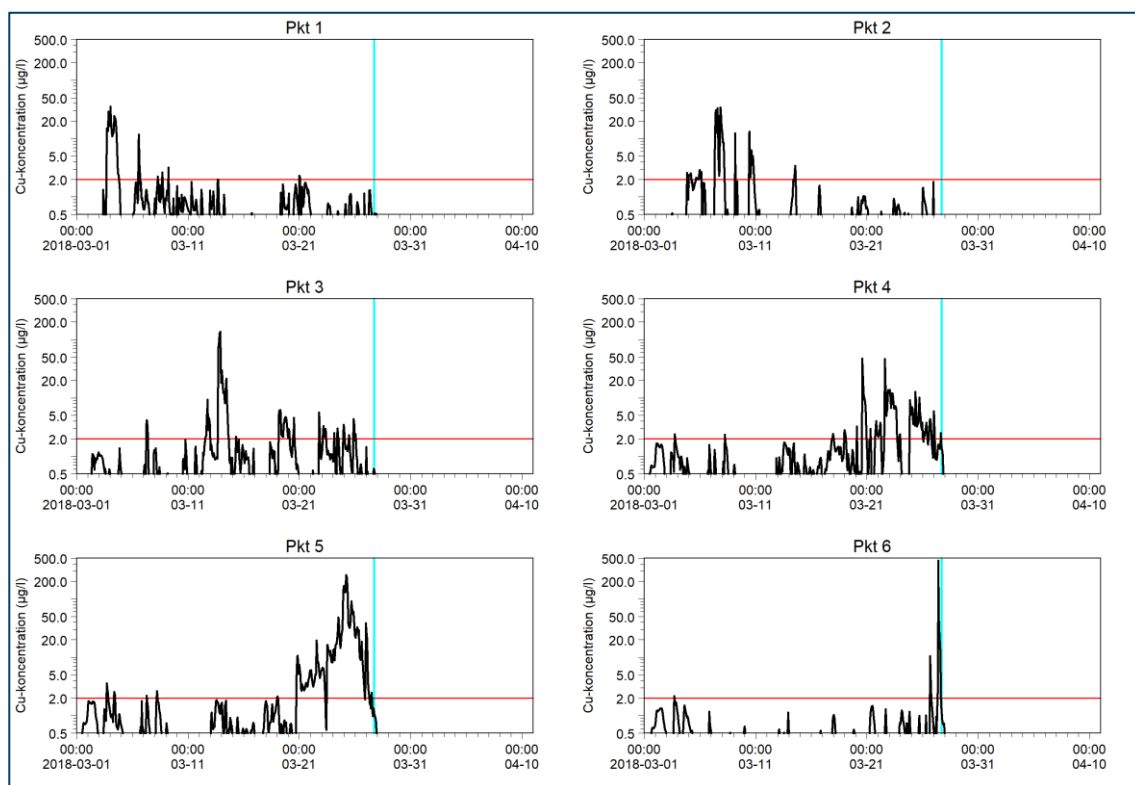
Hovedforslag 2 Afskærmning	Total frigjort (kg Cu)	% af total
Total spildmængde	306	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	230	75
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	88	29
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	49	16
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	77	25



Figur 5-77 **HF2A: Kobber** sediment deposition mg Cu/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-78 **HF2A: Kobber** i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 2 µg/l. Nederst venstre: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.

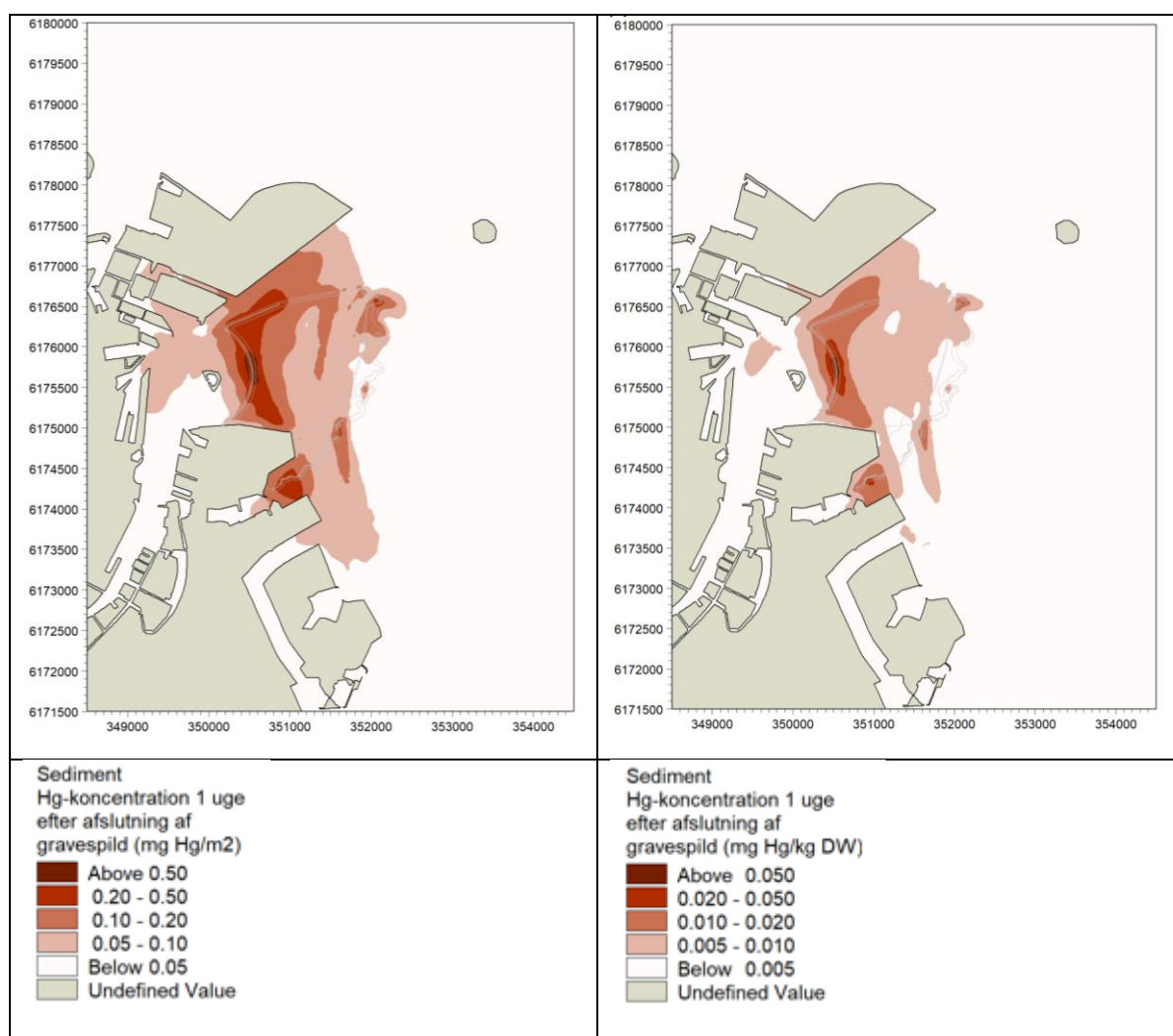


Figur 5-79 **HF2A: Kobber** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet, rød vandret linje angiver 2 µg/l.

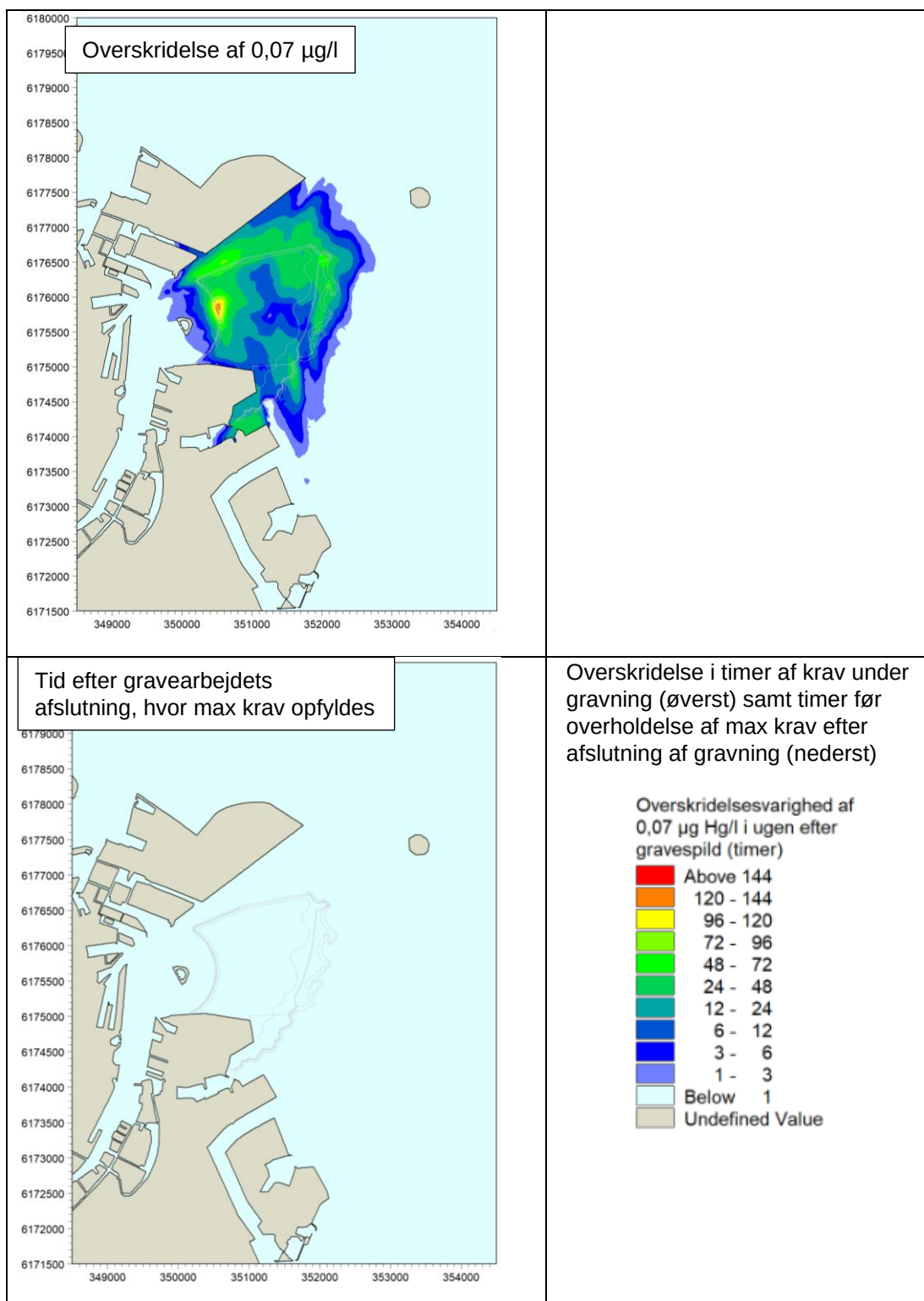
5.2.19 HF2A: Kviksølv

Tabel 5-49 **HF2:** Oversigt over frigjort **kviksølv**, samt opgørelse over, hvor det frigjorte kviksølv ender efter gravearbejdet.

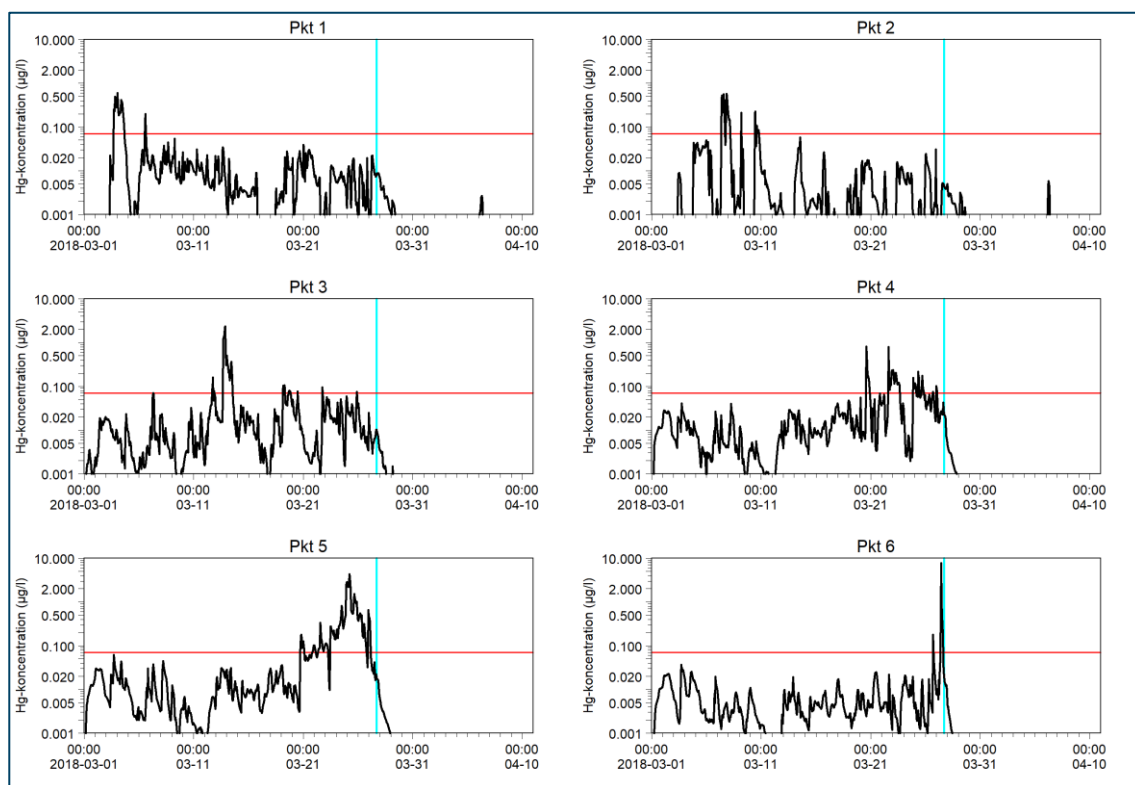
Hovedforslag 2 Afskærmning	Total frigjort (kg Hg)	% af total
Total spildmængde	2,2	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	1,7	75
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	0,64	29
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområdet	0,35	16
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	0,55	25



Figur 5-80 **HF2A: Kviksølv** sediment deposition mg Hg/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-81 **HF2A: Kviksølv** i vandfasen. Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 0,07 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.

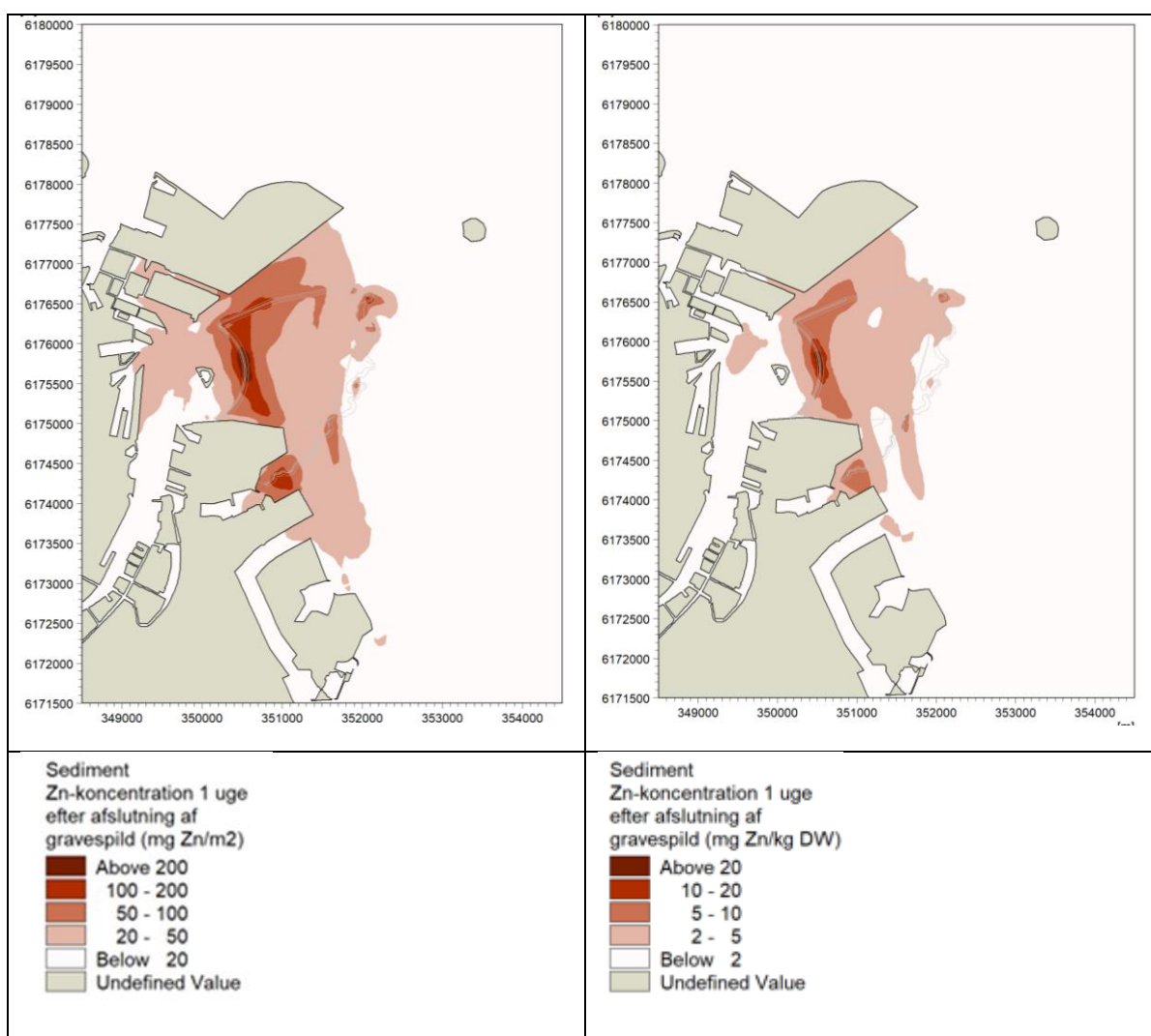


Figur 5-82 **H2A: Kviksølv** i vandfasen, µg/l. Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 0,07 µg/l. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet.

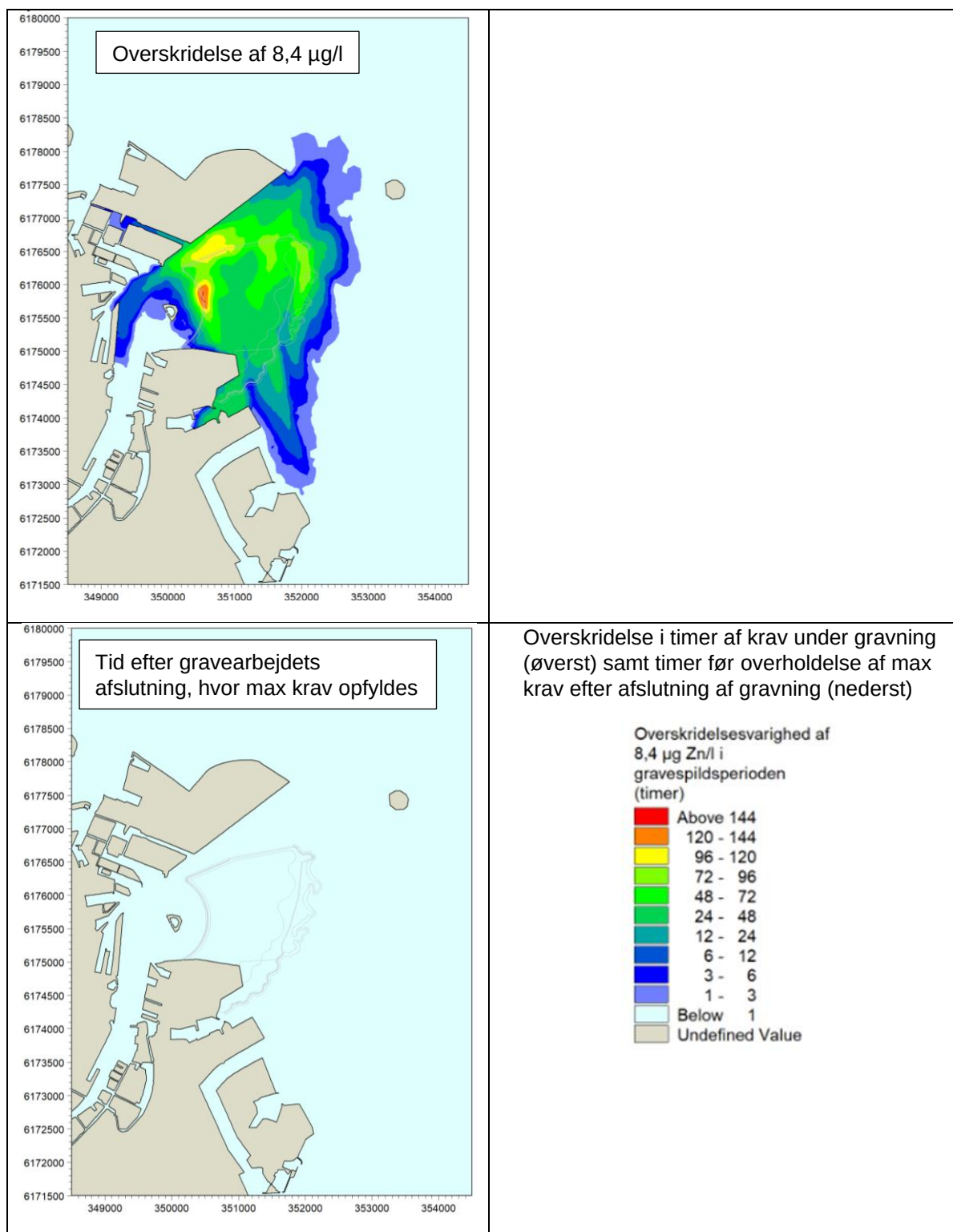
5.2.20 HF2A: Zink

Tabel 5-50 **HF2A:** Oversigt over frigjort **zink**, samt opgørelse over, hvor det frigjorte zink ender efter gravearbejdet.

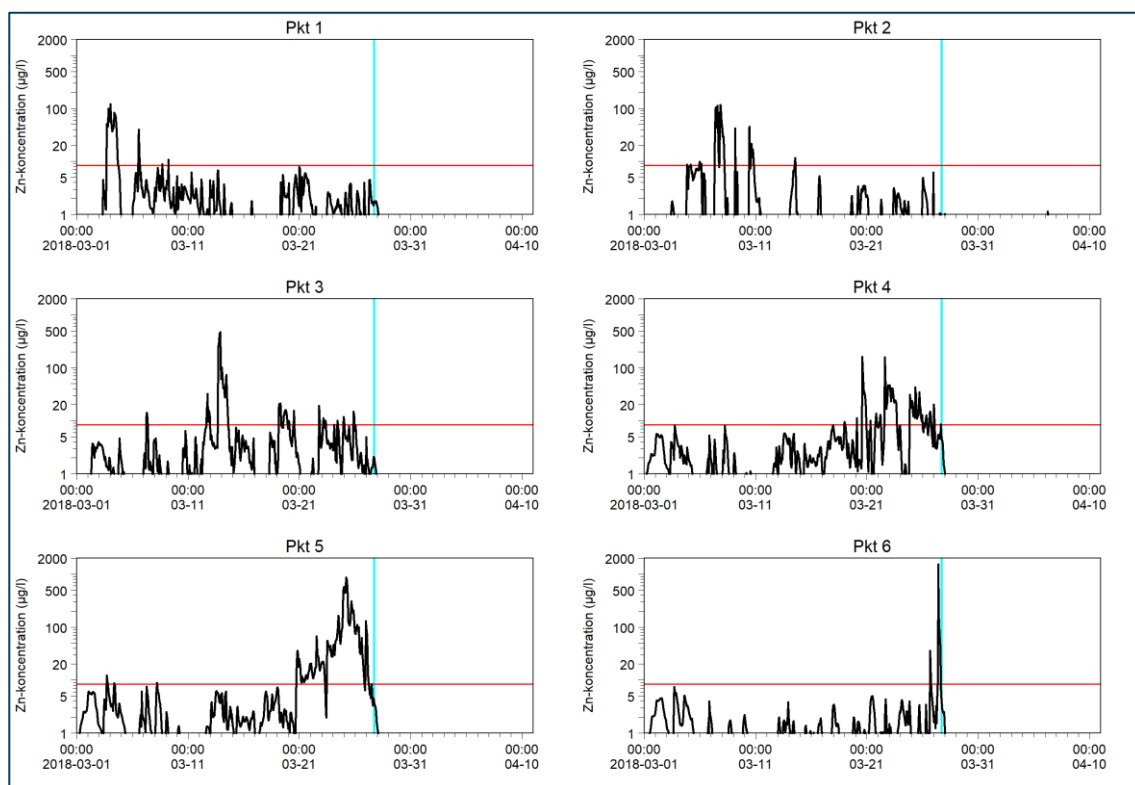
Hovedforslag 2 med afskærmning	Total frigjort (kg Zn)	% af total
Total spildmængde	954	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	710	74
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	272	29
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområdet	151	16
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	244	26



Figur 5-83 **HF2A: Zink** sediment deposition mg Zn/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.



Figur 5-84 **HF2A: Zink i vandfasen.** Øverst: Antal timer med overskridelse af max krav på 8,4 µg/l. Nederst: Tid efter gravearbejde til overholdelse af max krav.

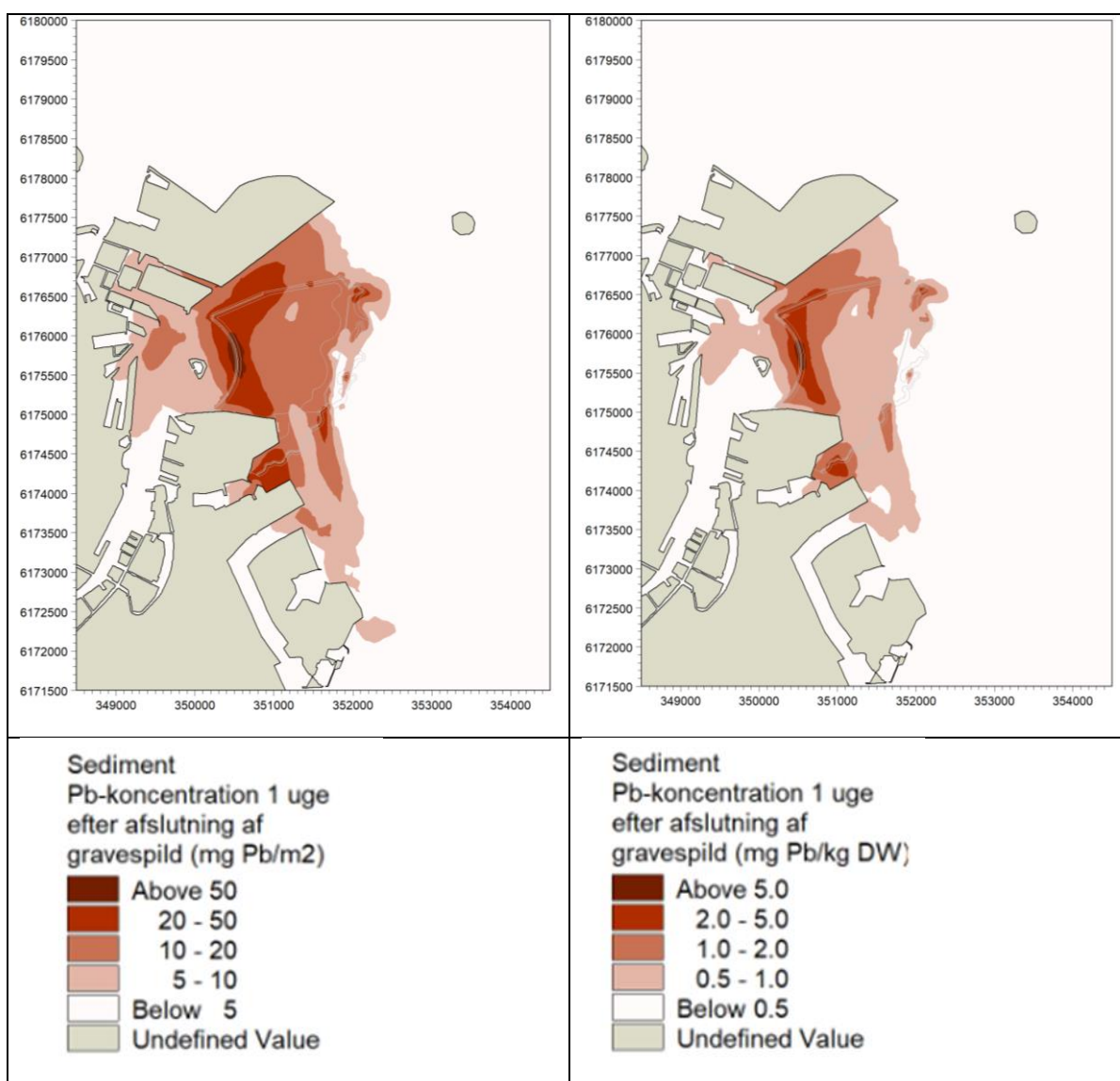


Figur 5-85 **HF2A: Zink i vandfasen, µg/l.** Tidsserier fra 6 punkter langs gravelinjen. Se Figur 5-53 for placering af positioner. Rød vandret linje angiver 8,4 µg/l. Blå lodret linje angiver afslutning på gravearbejdet.

5.2.21 HF2A: Bly

Tabel 5-51 Oversigt over frigjort bly, samt opgørelse over, hvor det frigjorte bly ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Pb)	% af total
Total spildmængde	301	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	228	76
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	87	29
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	48	16
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	73	24



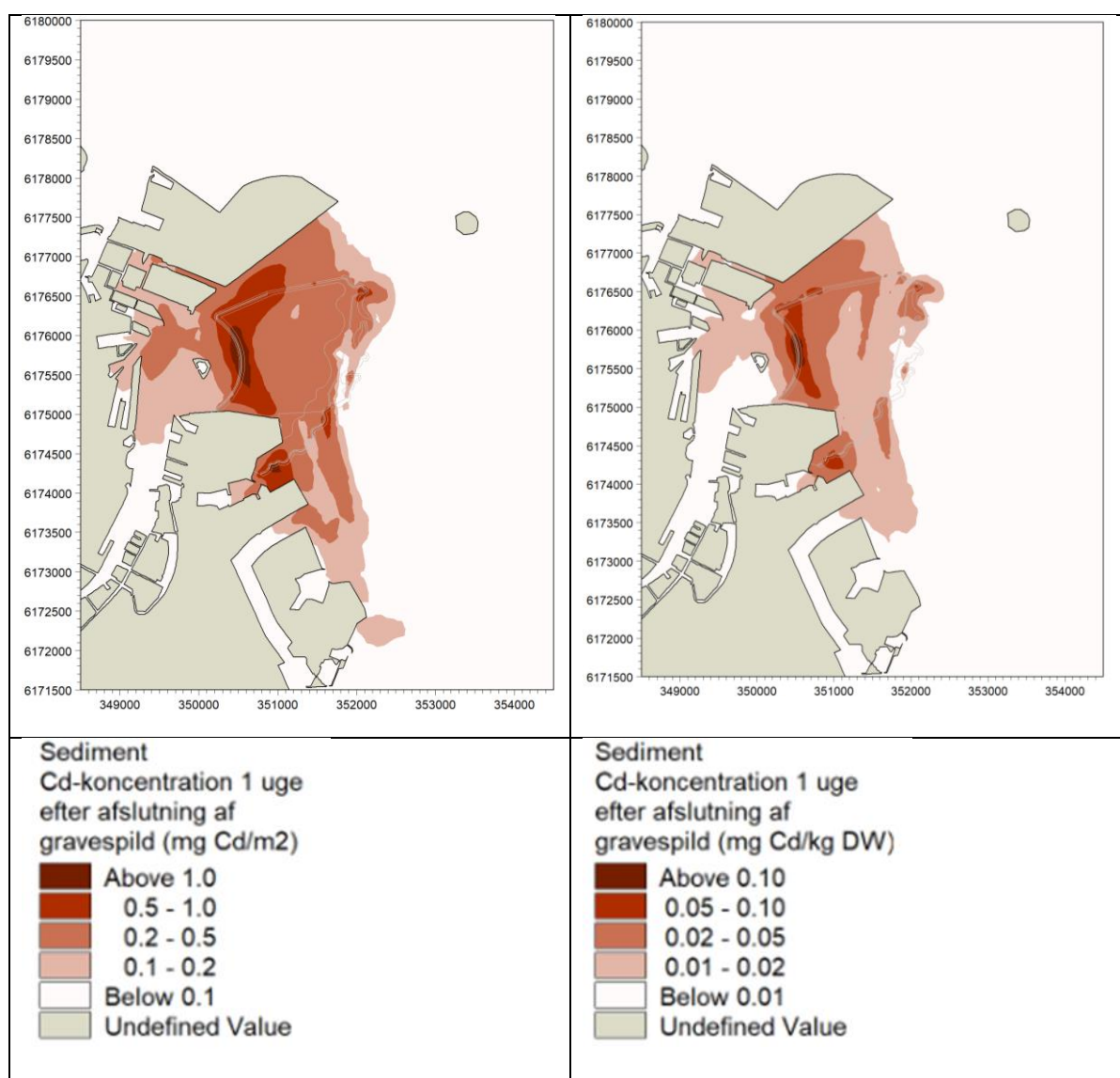
Figur 5-86 **HF2A: Bly** sediment deposition mg Pb/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

5.2.22 HF2A: Cadmium

Tabel 5-52 Oversigt over frigjort cadmium, samt opgørelse over, hvor det frigjorte cadmium ender efter gravearbejdet.

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Cd)	% af total
Total spilmængde	7.3	
Sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	5.3	72

Hovedforslag 1	Total frigjort (kg Cd)	% af total
Sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	2.1	28
Sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	1.1	15
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	2.0	28



Figur 5-87 **HF2A: Cadmium** sediment deposition mg Cd/m² (venstre) og mg/kg Tørvægt (højre) 1 uge efter afslutning af gravearbejdet.

5.2.23 Diskussion

De tre undersøgte gravescenarier vil som følge af gravespild frigive forskellige mængder sediment. I det forurenede sediment er der bundet tungmetaller, hvoraf en del vil frigives til vandfasen. Der er en meget lille forskel i procent på scenariet for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 med afskærmning (i størrelsesordenen 0,4 – 7,7 %), mens der er en stor forskel mellem Hovedforslag 1 og 2. Forskellen mellem de forskellige scenarier er vist i Tabel 5-53 herunder.

Tabel 5-53 Samlet oversigt over spildmængder for kobber, kviksølv, zink, bly og cadmium, samt hvordan disse fordeler sig til sediment og til vandfasen. Desuden sammenligning mellem Hovedforslag 1 og 2 samt Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 med afskærmning.

	HF1	HF2	HF2A	HF2/HF1	HF2A/HF1
Kobber	Total frigjort (kg Cu)			% forskel	
Total spildmængde	309	376	306	+17,8	-1
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	232	278	230	+16,5	-1
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	94	98	88	+4,1	-6,8
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	51	57	49	+10,5	-4,1
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen til det sedimenterer	77	98	77	+27	0
Kviksølv	Total frigjort (kg Hg)			% forskel	
Total spildmængde	2,2	2,7	2,2	+18,3	-1,2
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	1,7	2,0	1,7	+16,8	-1,6
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	0,68	0,71	0,64	+3,7	-1,1
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	0,37	0,41	0,35	+12,5	-7,7
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	0,55	0,7	0,55	+22,2	0
Zink	Total frigjort (kg Zn)			% forskel	
Total spildmængde	964	1.171	954	+17,6	-1,0
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	719	859	710	+16,3	-1,3
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	291	303	272	+3,9	-6,9

	HF1	HF2	HF2A	HF2/HF1	HF2A/HF1
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	159	178	151	+10,6	-5,3
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	245	312	244	+21,5	-0,4
Bly	Total frigjort (kg Pb)			% forskel	
Total spildmængde	304	370	301	+21	-1
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	231	276	228	+19	-1
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	93	97	87	+4,3	-7
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	51	57	48	+11,8	-13
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	73	94	73	+28,9	0
Cadmium	Total frigjort (kg Cd)			% forskel	
Total spildmængde	7.4	9.0	7.3	+21,6	-0,15
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hele modelområdet	5.4	6.4	5.3	+18,5	-2
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, havneområde	2.2	2.3	2.1	+4,5	-4,5
Mængde i sediment 1 uge efter gravespild, hovedforslagsområde	1.2	1.3	1.1	-8,3	-8,4
Residual, der transporteres rundt i vandsøjlen i modelområdet, til det sedimenterer	2.0	2.6	2.0	+30	0

For at kunne vurdere sedimentpåvirkningerne efter gravearbejdet, er der i det efterfølgende regnet med, at den sedimenterede mængde tungmetal ligger på de arealer, som er nævnt i tabellerne Tabel 5-27, Tabel 5-29 og Tabel 5-31 og de 5 inddelinger i sedimenttykkelser fra 1-10 mm er vist i nedenstående Tabel 5-54. Disse aflejringstykkelser af finkornet materiale er under antagelse af en tørdensitet på 400 kg/m³. Er tørdensiteten større bliver aflejringstykkelsen mindre.

For alle områder gælder det i øvrigt, at der også vil ske en aflejring af spild fra afgravning af dybereliggende sedimenter. Dette gravespild vil bidrage med en cirka 3,5 gange større sedimentation, som aflejres oven på det forurenede sediment. Da de dybereliggende sedimenter ikke er uden tungmetabelastning, er der brugt en koncentration, svarende til 25 % percentilen af koncentrationen, målt i 2 meters dybde, ref. /21/, idet der ikke er viden om koncentrationen i lagene under 2 m. Der er regnet med en vægtfaktor på 16 kg tørstof/1 cm sediment, idet det modtagne sediment formodes at være sand. Som baggrund/IFF-værdier for metallerne er anvendt de fundne værdier på NOVANA stationen KBHLYN, som fremgår af Tabel 5-56. Desuden er der kun set på den mængde tungmetal, der sedimenterer uden for Lynetteholm området, da denne pulje immobiliseres

under opfyldningen. Hovedforslag 2 medfører den største frigivelse af sediment, hvorfor det scenarium ligger til grund for nedenstående tabel. Arealbelastningen er udført på de arealer, hvor der er sedimenteret mellem 1-2 mm, svarende til 137 Ha, og som udgør godt 78 % af de påvirkede arealer. Der vil naturligvis være betydeligt højere koncentrationer i de begrænsede områder, hvor der er sedimenteret 5-10 mm. Hvis man gik yderligere ned i sedimentationstykkelse til >1 mm vil påvirkningsarealet stige yderligere, men denne vurdering holder sig til udstrækningen af 1mm området og er således konservativ.

Tabel 5-54 Oversigt over arealer, der modtager fra 1 mm til 10 mm sediment, antal kg/på arealet, arealbelastning i mg/m² og sidst mg/kg tørstof, som er reduceret, svarende til 3,5 gange for overlejring af uforurenet sediment.

	10mm sediment	5mm sediment	2mm sediment	1mm sediment
Areal, Ha	0,3	2,7	27	137
% af total	0,2	2	19,7	78,1
	Kg/areal	Kg/areal	Kg/areal	Kg/areal
Kobber	3,2	14,4	57,6	146,3
Kviksølv	0,02	0,10	0,4	1,1
Zink	9,9	44,4	177,6	450,7
Cadmium	0,07	0,3	1,3	3,4
Bly	3,2	14,3	57,1	144,9
	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²
Kobber	1068	534	214	107
Kviksølv	7,7	3,9	1,5	0,8
Zink	3290	1645	658	329
Cadmium	25	12	4,9	2,5
Bly	1058	529	212	106
	mg/kgTS	mg/kgTS	mg/kgTS	mg/kgTS
Kobber	66,7	33,4	13,3	6,7
Kviksølv	0,5	0,2	0,1	0,05
Zink	205,6	102,8	41,1	20,6
Cadmium	1,5	0,8	0,3	0,2
Bly	66,1	33,1	13,2	6,6

Tabel 5-55 25 % percentil af de målte koncentrationer i 2 m dybde fra COWI's undersøgelser af Lynetteområdet og brugt for de dybereliggende sedimenter.

	Kobber	Kviksølv	Zink	Bly	Cadmium
mg/kg TS	7,88	0,010	30,8	6	0,18
mg/m ²	126	0,16	492	96	2,88

Tabel 5-56 Målte sedimentkoncentrationer på NOVANA stationen KBHLYN

	Kobber	Kviksølv	Zink	Bly	Cadmium
mg/kg TS	6,1	0,1	24	14	0,1
mg/m ²	97,6	1,6	384	224	1,6

5.2.24 Kobber

Alt efter valg af Hovedforslag vil gravearbejderne frigive mellem 306 og 376 kg kobber, som vil spredes i havneområdet og i Øresund. En del vil lægge sig på havbunden og øge den eksisterende koncentration af kobber, og en del vil forblive længere i vandsøjlen, indtil det binder sig til suspenderet stof og efterfølgende sedimenterer i eller uden for Øresund.

I den tidligere undersøgelse af sedimentkemien i Lynetteholm-området /18/ blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 22,3 mg Cu/kg tørstof (+/-11,67), hvilket svarer til cirka 356 mg/m². Miljøstyrelsen undersøgte i 1999 forskellige bundmalinger og fandt her 25-50 mg Cu/kg tørstof i Århus Bugt /20/, så koncentrationen fundet i Københavns Havn ligger under fundet fra Århusbugten. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 97,6 mg Cu/m² svarende til 6,1 mg Cu/kg tørstof.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 106 mg/m², som er en forøgelse på 8,4 mg/m² af sammenlignet med baggrundsbelastning på cirka 97 mg/m².

Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 126 mg Cu/m², hvilket er 20 mg/m² højere end belastningen fra de forurenede sedimenter og derfor er der en samlet tilvækst på 28,4 mg Cu/m² i forhold til baggrundsbelastningen

Der er ingen danske anbefalinger eller lovgivningsmæssige begrænsninger i tungmetallindholdet i havsedimenter, men NOAA har i nogle litteraturstudier anbefalet en grænse på 544 mg Cu/m² /19/ som en "Effect range, Low". Den nye belastning pr m² er således på cirka 23% af den af NOAA angivne "effect range".

For kobberkoncentrationen i vandsøjlen vil der efter ophør med gravearbejdet i en periode på få timer være en overskridelse af kravgrænsen på 2 µg/l i alle tre scenarier. Der er dog ikke taget stilling til overskridelsen, når den udledte koncentration skal tillægges baggrundskoncentrationer. I Øresund er der ganske få målinger af baggrundskoncentration af f.eks. kobber. Som anvendt i afsnit 6.4 for udledning fra Lynetteholm området er der fastlagt en koncentration på 1,42 µg/l som "I forvejen fundet" koncentration (IFF) og modelleringen viser, at koncentrationen i gravefasen og lige efter

meget hurtigt når under 2 µg/l og det skønnes derfor at den også hurtigt vil være på niveau med IFF.

5.2.25 Kviksølv

For Kviksølv vil gravearbejderne frigive mellem 2,2 kg og 2,7 kg kviksølv og bidrage til hhv. en forhøjet sedimentkoncentration og vandopløst koncentration. En del af kviksølvet i vandsøjlen vil først sedimentere langt fra graveområdet.

I målingerne fra Lynetteholm-området /18/ blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 0,27 mg Hg/kg tørstof (+/-0.17), hvilket vil svare til cirka 4,3 mg/m², mens der er blevet målt 0,1 mg Hg/kg tørstof, svarende til 1,6 mg Hg/m² ved NOVANA stationen KBKLYN i 2008. Miljøstyrelsen undersøgte i 1986 havnesedimenter og fandt her, at Københavns Havn havde den højeste koncentration i dansk havområde, sandsynligvis på grund af udledninger fra Sojakagefabrikken. Her blev målt 6,1 mg/kg TS (97,6 mg/m²) /23/ så koncentrationen fundet ved Lynetteholmen ligger under fundet fra 1986, men er stadig på et højt niveau.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 0,8 mg Hg/m², som svarer til cirka 50% af baggrundsbelastning på cirka 1,6 mg/m².

Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde, vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 0,16 mg Hg/m², hvilket er cirka 10% i forhold til baggrundsbelastningen. Der vil således ske et samlet fald i den arealmæssige belastning på næsten 50%.

Der er ingen danske anbefalinger eller lovgivningsmæssige begrænsninger i tungmetalindholdet i havsedimenter, men NOAA har i nogle litteraturstudier anbefalet en grænse på 0,5 mg/kg tørstof som en "Effect range, Low", hvilket svarer til 8 mg/m² /19/. Der er således tale om at sedimentkoncentrationen efter afslutning af gravearbejdet vil ligge under de anbefalede niveauer. Det skal fremhæves, at områderne med mest forurenede deposition ligger i selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

For kviksølvkoncentrationen i vandsøjlen vil der i en periode på få timer være en overskridelse af max-kravgrænsen på 0,07 µg/l (Figur 5-59, Figur 5-70 og Figur 5-81). Efter gravearbejdets ophør vil koncentrationen i vandsøjlen i hele modelområdet være under 0,07 µg/l. Der er dog ikke taget stilling til overskridelsen, når den udledte koncentration skal tillægges baggrundsconcentrationer. I tolkning af påvirkningerne fra udledning fra Lynetteholm i driftsfasen er der regnet med en "I forvejen fundet" koncentration (IFF) på 0,002 µg/l, og det forventes at koncentrationerne fra gravearbejdet efter få timer vil komme ned på IFF koncentrationen.

5.2.26 Zink

Gravearbejderne forventes at afgive zink mængder på mellem 954 – 1.171 kg og det vil have en indvirkning på koncentrationen i de omgivne sedimenter. Tæt på graveaktiviteterne ind mod havnen vil koncentrationen stige med over 300 mg/m². En del af zinken vil i lighed med de andre metaller i vandsøjlen transporteres længere væk inden det sedimenterer.

I målingerne fra Lynetteholm-området (/6/) blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 600 mg Zn/kg tørstof, hvilket vil svare til cirka 9.600 mg/m². Med 600 mg/kg tørstof er belastningen over det øvre aktionsniveau på 500 mg/kg tørstof. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 24,3 mg/kg tørstof, svarende til 384 mg/m², altså betydeligt mindre end i havnen.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 329 mg/m², som er cirka 14 % lavere end baggrundsbelastning på cirka 384 mg Zn/m².

Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 492 mg Zn/m², hvilket er 163 mg/m² højere end belastningen fra de forurenede sedimenter og derfor er der en samlet tilvækst på 108 mg Zn/m² i forhold til baggrundsbelastningen. Den nye belastning på 492 mg/m² svarer til cirka 31 mg/kg TS. Dette er langt under nedre aktionsniveau, som er 150 mg Zn/kg tørstof, hvilket også er den grænse, som NOAA sætter for "Effect range, Low" /19/. Det skal i lighed med forholdene for de andre metaller fremhæves, at de mest forurenede områder ligger inden for selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

For zinkkoncentrationen i vandsøjlen vil der mellem 3-12 timer efter gravearbejdets ophør være en overskridelse af kravgrænsen på 8,4 µg/l uden tillæg af baggrunds-koncentrationen (Figur 5-62, Figur 5-73, Figur 5-84) Efter gravearbejdets ophør vil koncentrationen i vandsøjlen i hele modelområdet være under 8,4 µg/l efter få timer. Der er dog ikke taget stilling til overskridelsen, når den udledte koncentration skal tillægges baggrunds-koncentrationer. I tolkning af påvirkningerne fra udledning fra Lynetteholm i driftsfasen er der regnet med en "I forvejen fundet" koncentration (IFF) på 21 µg/l, hvilket er næsten 3 gange højere end kravværdien.

5.2.27 Bly

Gravearbejderne forventes at frigive mellem 301 og 370 kg bly, hvoraf mellem 228 – 276 kg vil ende i sedimentet. Tæt på graveaktiviteterne ind mod havnen vil koncentrationen stige til over 50 mg/m², mens mellem 73-94 kg bly vil ende i vandsøjlen og transporteres længere væk inden det sedimenterer.

I målingerne fra Lynetteholm-området (/6/) blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 31 mg Pb/kg tørstof, hvilket vil svare til cirka 496 mg/m². Med 31 mg/kg tørstof er belastningen under det øvre aktionsniveau på 200 mg/kg tørstof. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 14 mg/kg tørstof, svarende til 224 mg/m², altså betydeligt mindre end i havnen.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 106 mg/m², som er 116 mg/m² lavere sammenlignet med baggrundsbelastning på cirka 224 mg Pb/m².

Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 96 mg Pb/m², hvilket er 20 mg/m² lavere end belastningen fra de forurenede sedimenter og 126 mg/m² lavere end baggrundsbelastningen. Samlet sænkes belastningen med cirka 50% pr m². Med en arealbelastning af de øverste sedimentlag på cirka 120 mg/m² svarer dette til cirka 7,5 mg/kg TS, hvilket er langt under nedre aktionsniveau, som er 40 mg Pb /kg, samt under den grænse, der i Danmark er sat til 163 mg/kg tørstof. Det skal i lighed med forholdene for de andre metaller fremhæves, at de mest forurenede områder ligger inden for selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

5.2.28 Cadmium

Efter afslutning af bundudskiftningsaktiviteterne vil der være frigivet mellem 7,3 og 9 kg cadmium. Heraf vil 5,3 - 6,4 kg cadmium ende i sedimentet. Tæt på graveaktiviteterne ind mod havnen vil koncentrationen stige til over 1 mg/m², mens mellem 2-2,6 kg vil ende i vandsøjlen og spredes i et meget stort område inden det sedimenterer.

I målingerne fra Lynetteholm-området (/6/) blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 2 mg Cd/kg tørstof, hvilket vil svare til cirka 32 mg/m². Med 2 mg/kg tørstof er belastningen under det øvre aktionsniveau på 2,5 mg/kg tørstof. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 0,1 mg/kg tørstof, svarende til 1,6 mg/m², altså betydeligt mindre end i havnen.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 2,5 mg/m², som 0,9 mg/m² højere sammenlignet med baggrundsbelastning på cirka 1,6 mg Cd/m².

Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 2,88 mg Cd/m², hvilket er 0,38 mg/m² højere end belastningen fra de forurenede sedimenter og 1,28 mg/m² højere end baggrundsbelastningen. Den nye belastning svarer til 0,18 mg/kg TS.

Det nedre aktionsniveau er sat til 0,4 mg Cd/kg TS, og den danske grænse er sat til 3,8 mg/kg tørstof og med 0,18 mg Cd/kg TS er begge krav/grænser overholdt. Det skal i lighed med forholdene for de andre metaller fremhæves, at de mest forurenede områder ligger inden for selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

5.2.29 Sammenfatning

Ser man på koncentrationerne af metallerne i hhv. sedimentet og i vandfasen stammende fra anlægsarbejdet, og sammenligner dem med hhv. målte baggrundsdata fra Lynetteområdet og andre undersøgelser, og holder resultaterne op mod de krav og anbefalinger, som findes i litteraturen, så ligger de nye sedimentkoncentrationer efter gravearbejderne under anbefalingerne, selv når spildbidraget fra afgravning fra de dybere liggende jorde tillægges. Samlet set er ovenstående vurderinger bygget på konservative estimer, idet der kun er vurderet i områder med 1 mm sedimentation fra de forurenede jorde og 3,5 mm fra de dybere jorde. Hvis vurderingen havde inkluderet alle områder med ned til 0,1 mm sedimentation fra de forurenede jorde, ville der være et betydeligt større areal, som ville modtage en belastning, og dette ville samlet nedbringe de arealmæssige belastninger.

For koncentrationerne i vandfasen i og ved graveområdet er der periodiske overskridelser af de forskellige lovgivningsmæssige krav på mellem 0-5 dage under selve gravearbejdet, mens alle koncentrationer er under kravene få timer efter afslutning af gravearbejderne. De fraktioner af metallerne, der frigives til selve vandsøjlen, og som ikke fra starten er knyttet til partikler, vil gradvist blive knyttet til partikler og derved sedimentere ud i Øresundsområdet eller længere væk, men i ganske små mængder pr. arealenhed og i lighed med de andre stoffer bundet til sedimentet vil de re-suspendere og føres til nye områder.

En sammenligning mellem de tre scenarier har vist, at spild og spredning af tungmetaller ved Hovedforslag 1 er mindre end ved gravning til Hovedforslag 2. Samtidig viser modelresultaterne, at hvis Hovedforslag 2 gennemføres med en afskærmning, så falder belastningen af det omgivne miljø til samme størrelsesorden som Hovedforslag 1 på trods af de forøgede gravemængder.

Tabel 5-57 Opsummering af sediment- og vandsøjle ændringer.

	SEDIMENT				VANDFASE		
	Baggrund	Tilførsel	Ændring	Krav/Anbefalinger	Baggrund	Tilførelses overskridelse af krav efter anlægsperioden	Krav/Anbefalinger
	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	µg/l	Antal timer	µg/l
Kobber	97	107	10	544	1,04 – 13,6	0-24	2
Kviksølv	0,16	0,8	0,64	8	>0,001	3-12	0,07
Zink	384	329	-55	2.400	0,6 – 11,2	3-12	8,4
Bly	224	106	-118	640	1,3	(1-12)	-
Cadmium	1,6	2,5	0,9	60	<0,05	(1-12)	0,2

5.3 Frigivelse af N og P i forbindelse med gravespild

I forbindelse med gravearbejdet vil der fra det opgravede sediment ske en frigivelse af N (kvælstof) og P (fosfor) næringsstoffer, ligesom der udløses et iltforbrug. I de følgende afsnit behandles frigivelsen af næringsstoffer og iltforbrug separat. Først beregnes mængden af N, P og TOC (Total Organic Carbon) i de sedimenter, som skal graves op fordelt på forurenede og uforurenede jord. Derefter estimeres hvor meget af det opgravede N og P, der er biotilgængeligt. I disse beregninger indgår såvel laboratorieforsøg på sedimenter fra Lynetteholm, samt laboratorieforsøg af marine sedimenter fra andre danske VVM-undersøgelser. Sedimenternes iltforbrug er udelukkende bestemt ud fra laboratorieforsøg, primært foretaget i forbindelse med danske VVM-undersøgelser.

Sedimenternes frigivelse af næringsstoffer kan opdeles i to dele. En frigivelse under opgravningen af sedimenterne, samt en frigivelse ved deponeringen eller efter klapning af sedimentet.

Det forurenede sediment placeres i et landbaseret deponi. En tilførsel af næringsstoffer eller iltforbrug fra depotet indgår ikke i nærværende beregninger, da den endelige håndtering af det uforurenede (og rene) sediment er ikke afklaret endnu, hvorfor en frigivelse af næringsstoffer og iltforbrug pt. ikke kan bestemmes.

Frigivelse af biotilgængelige næringsstoffer og iltforbrug ved selve opgravningen kan beregnes ud fra nedenstående relationer.

Biotilgængeligt N eller P

Biotilgængeligt N, P frigivelse (kg/døgn) = Graverate (m³/døgn)% sedimentspild/100* sediments TN-TP indhold (kg/m³)* %biotilgængeligt TN eller TP/100.*

Akkumuleret iltforbrug

Det akkumulerede iltforbrug af det spildte sediment kan beregnes 1, 6, 12 og 24 timer efter opgravningen, idet der ud fra det indsamlede datamateriale er fundet en lineær sammenhæng mellem sedimentets glødetab og sedimentets iltforbrug pr. m³. Der er for hvert graveområde beregnet, hvor meget akkumuleret iltforbrug (tons O₂) området indeholder 1, 6, 12 og 24 timer efter sedimentet er spildt:

$$\text{Akkumuleret Iltforbrug (kg/døgn)} = \text{Gravering (m}^3\text{/døgn)} \cdot \% \text{sedimentspild} / 100 \cdot \text{Iltforbrug (kg O}_2\text{/m}^3 \text{ efter 1, 6, 12, eller 24 timer i graveområdet)}.$$

Iltforbruksraten

Iltforbruksraten (kg O₂/m³/time) er typisk højest ved starten af spildet, idet reducerede forbindelser (typisk sulfider) vil blive oxideret ved kontakten til vandets ilt. Iltforbruksraten vil falde over tid og nå et basalt niveau efter nogen tid f.eks. 120 timer, svarende til 5 døgn. Ligesom for det akkumulerede iltforbrug er det muligt at beregne, hvor meget hvert graveområde indeholder af basalt iltforbrug (ton O₂) efter 120 timer. Det er muligt at estimere den resterende basale iltforbruksrate efter at spildet er sket, f.eks. 120 timer, ud følgende relation:

$$\text{Iltforbruksraten (kg O}_2\text{/døgn efter 120 timer)} = \text{sedimentspild for 120 timer (m}^3\text{) siden} \cdot \text{basalt iltforbrug (kg O}_2\text{/døgn efter, 120 timer)}.$$

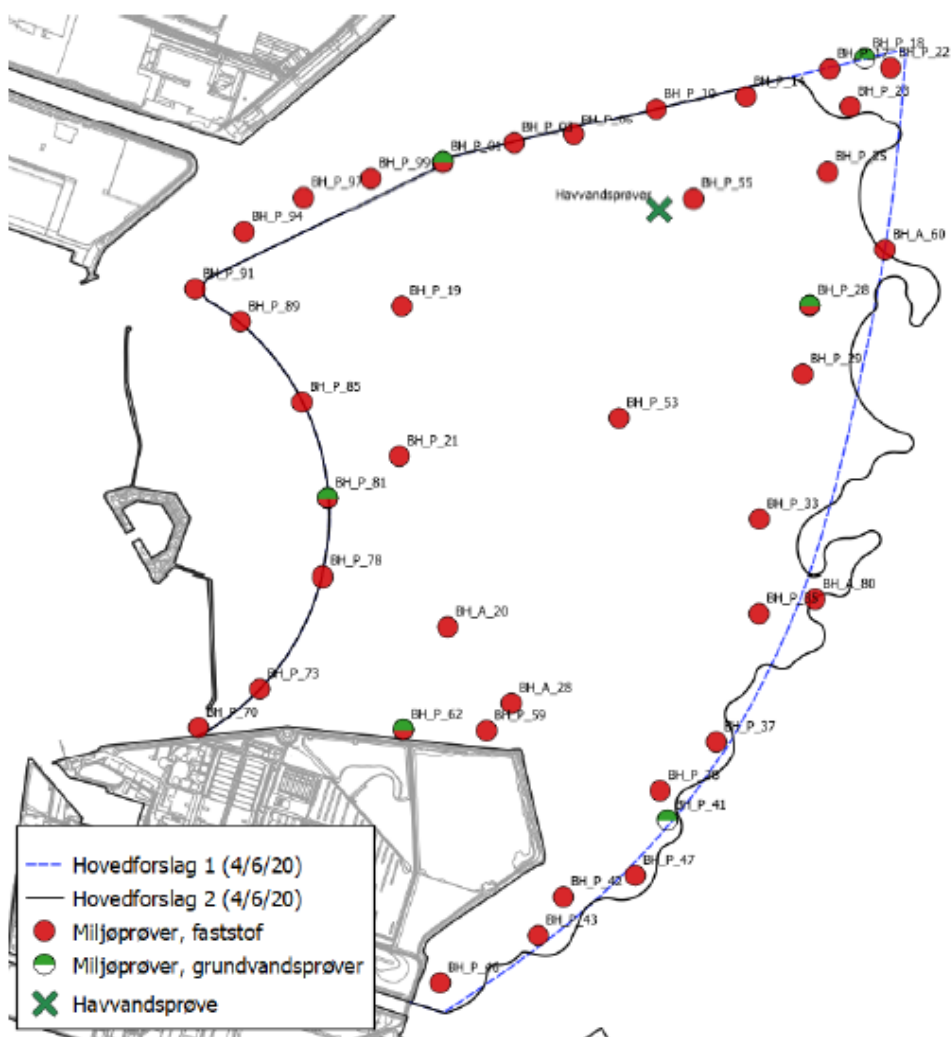
5.3.1 Mængden af total N, total P og TOC i det opgravede materiale

Mængden af total N og P, samt TOC i det opgravede sediment er bestemt ud fra målinger af sedimentets tørstof % af vådvægten, sedimentets glødetabs % af tørstoffet, TN, TP og TOC i forskellige sedimentdybder fra i alt 38 borer placeret i graveområdet, se Figur 5-88. Der er udtaget 138 prøver i sedimentdybden 0-2,2 m hvor der er målt tørstof, glødetab, TN, TP og TOC.

I 38 prøver i sedimentdybder større end 2,2 m er der målt tørstof og glødetab, men der er kun målt TN og TP i 14 af disse prøver /39/.

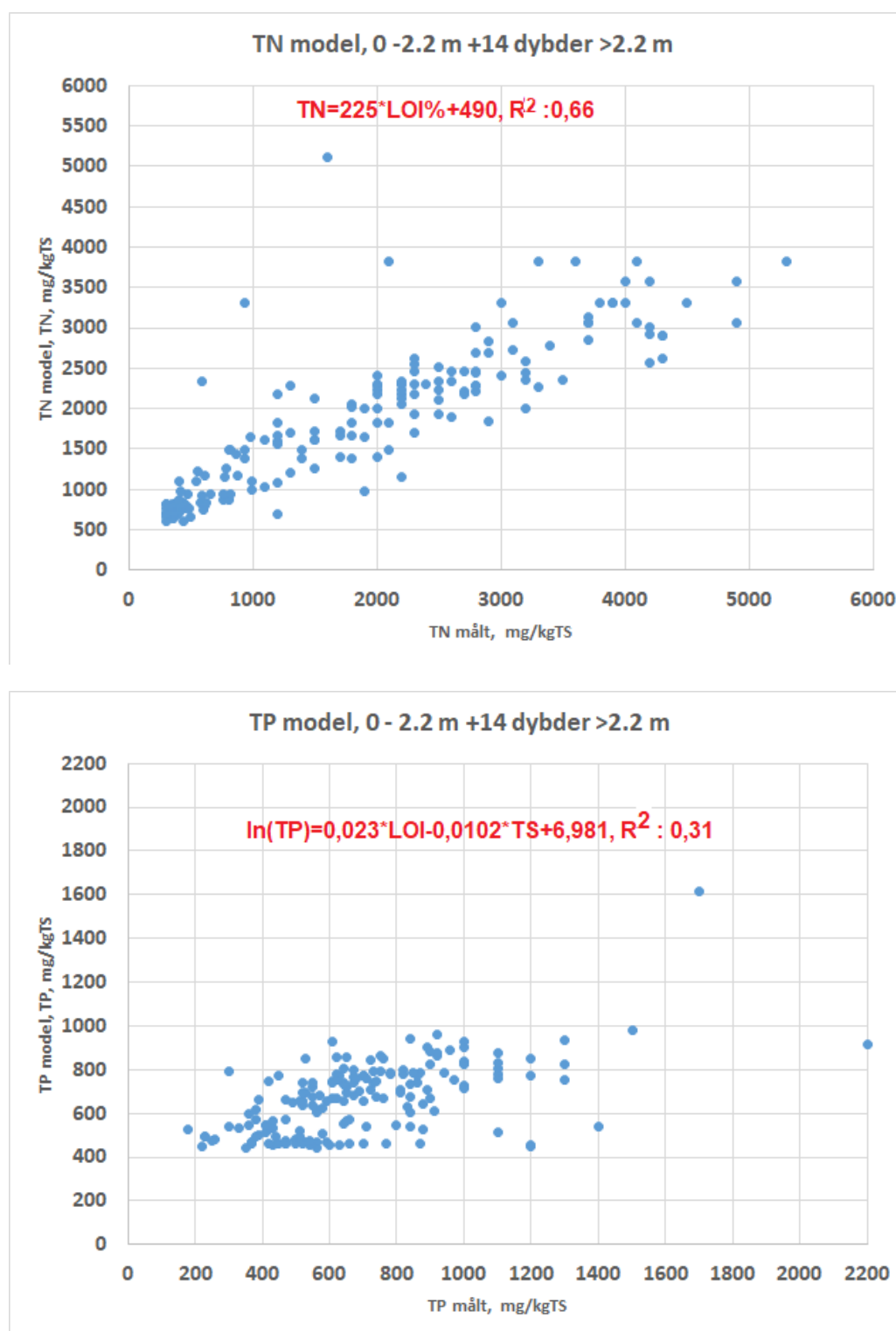
Der er en klar overvægt af målinger i sedimentets øverste 2,2 m der hvor det forurenede sediment befinder sig. Imidlertid udgør gravemængderne af forurenede sediment kun 22-23% af den totale mængde sediment, der skal graves op, se Tabel 5-58. For at få et bedre data grundlag at beregne mængderne af TN og TP på, er der ud fra datamaterialet etableret nogle sammenhænge mellem glødetab og TN samt mellem glødetab plus tørstof og TP.

Der er fundet en god sammenhæng mellem glødetabs % og TN (mg N/kg tørstof), der kan forklare 66% af variationen af datamaterialet, se Figur 5-89. En tilsvarende sammenhæng mellem tørstof % (TS), glødetabs % (LOI%) og TP forklarer 31% af TP datas variation. Der er en tendens til at modellen overestimerer TP ved TP < 400 mg P/kg TS og underestimerer TP koncentrationen ved målte TP over 1.000 mg P/kg TS. Hovedvægten af TP-målinger ligger imidlertid i intervallet 400-1.000 mg P/kg TS.



Figur 5-88 Placering af boringer i forhold til de to Hovedforslag, fra /39/.

I det omfang der er målte glødetab og tørstof, men ikke TN- og TP-målinger, er næringsstofkoncentrationerne beregnet ud fra de to regressionsrelationer angivet i Figur 5-89.



Figur 5-89 Øverst: model (regression) mellem model beregnede og målte TN. Nederst: model (regression) mellem model beregnede og målte TP.

De opgravede sedimenterers våde massefylde er beregnet ud fra sedimenternes tørstof %, glødetabs % ved brug af formelapparatet i /25/, samt ved antagelse om, at massefylden for uorganisk sediment, organisk sediment, samt vand ved 20 PSU hhv. er 2,9 g/cm³, 1,05 g/cm³ samt 1,02 g/cm³. Ved kendt tørstof % og kendt våd massefylde er det muligt at beregne TN og TP som kg N eller P /m³ våd sediment.

Figur 5-1 viser de dybder til hvilken der skal udgraves. De dybder hvortil der er knyttet forurenede sediment er præsenteret i Figur 5-90. Det er herefter muligt at beregne mængderne af TN, TP og TOC i hvert af graveområderne, se Tabel 5-58 og Tabel 5-59.

I alt befinder der sig hhv. 2.710 ton N og 3.188 ton P i det sediment som opgraves i hhv. Hovedforslag 1 og 2, samt 938 ton P og 1.050 ton N hhv. i Hovedforslag 1 og 2. Mængden af TOC er opgjort til 39.943 ton og 42.250 ton i hhv. Hovedforslag 1 og 2. I sedimenter under 2,2 m er der kun få målinger af TOC. I stedet er anvendt et forhold mellem TOC og glødetab bestemt ud fra målingerne mellem 0-2,2 m.

Mængden af biotilgængeligt N, P og iltforbrug er imidlertid kun en mindre fraktion af de totale mængder af TN og TP. Det potentielle iltforbrug, beregnet ud fra målinger af TOC eller glødetab er tidligere i forbindelse med forundersøgelserne til Storebælts forbindelsen sammenlignet med målte iltforbrug (SOD) i opslæmmede sedimenter, /26/ og /27/. TOC viste sig at være et dårligt og usikkert mål for mængden af SOD i sedimenterne, idet mindre end 2% af TOC blev oxideret. Anvendelsen af TOC til bestemmelse af sedimentspildets iltforbrug er derfor usikkert og bør i stedet baseres på målte iltforbrug i opslæmmede sedimenter.

Tabel 5-58 Mængder (ton) af TOC, TN og TP i forurenede (FJ) og uforurenede jord (RJ) fordelt på graveområder, se Figur 5-1, i Hovedforslag 1.

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	TOC FJ	TN FJ	TP FJ	TOC RJ	TN RJ	TP RJ
ØP4	42.837	115.764	158.601	1.516	112	30,9	3.827	239	46,5
ØP3	21.891	153.264	175.155	468	46	15,1	5.540	391	91,4
ØP2	9.136	6.683	15.819	203	14	8,3	116	8	2,2
ØP1	1.019	47.731	48.750	14	1	1,2	1.046	75	22,1
NP3	47.001	256.640	303.641	1.359	122	33,7	6.125	585	180,6
NP2	45.271	176.803	22.2074	1.132	108	37,1	4.597	333	94,7
NP1	53.572	112.866	166.438	3.062	90	78,8	6.057	194	161,1
VP3	3.461	7.291	10.752	35	4	1,3	107	9	3,8
VP2	77.060	162.352	239.412	781	90	31,7	3.643	259	72,2
VP1	8.178	17.230	25.408	104	10	8,2	208	20	17,1
Sum	309.426	1.056.624	1.366.050	8.676	597	246	31.267	2.113	692

Tabel 5-59 Mængder (ton) af TOC, TN og TP i forurennet (FJ) og ren jord (RJ) fordelt på graveområder, se Figur 5-2 i Hovedforslag 2.

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	TOC FJ	TN FJ	TP FJ	TOC RJ	TN RJ	TP RJ
ØP4	46.915	134.177	181.092	1.661	123	33,9	4.436	277	53,9
ØP3.2	19.655	78.621	98.276	284	40	13,9	2.842	200	46,9
ØP3.1	18.304	73.217	91.521	579	31	8,8	2.647	187	43,6
ØP2.2	2.280	9.119	11.399	64	3	2,8	258	13	11,1
ØP2.1	17.268	69.073	86.341	381	25	16,7	1.753	123	30,6
ØP1.2	4.304	17.217	21.521	74	6	3,3	487	25	21,0
ØP1.1	27.272	109.088	136.360	554	69	16,7	1.213	88	25,8
NP3	59.809	374.695	434.504	1.901	169	44,7	8.034	577	171,6
NP2	45.271	176.803	222.074	1.200	111	36,6	4.789	476	144,3
NP1	53.572	112.866	166.438	1.585	114	53,5	3.193	163	137,7
VP3	3.461	7.291	10.752	35	4	1,3	107	9	3,8
VP2	77.060	162.353	239.413	781	90	31,7	2.900	226	79,8
VP1	8.178	17.230	25.408	104	10	8,2	387	27	7,7
Sum	383.349	1.341.750	1.725.099	9.205	795	272	33.045	2.393	778



Figur 5-90 Dybder af forurenet jord samt placering af borekerner, fra /39/.

5.3.2 Mængden af biotilgængeligt N og P i det opgravede materiale

Fraktionen af biotilgængeligt N og P af de totale mængder af N og P er bestemt ud fra, hvor mange % af TN og TP af opslæmmede sedimenter som frigives til vandfasen efter hhv. 6-24 timer og på lang sigt efter 12,5-28 døgn. Efter 12,5-28 døgn er frigivelsen lille hvorfor den biotilgængelige N og P pulje defineres som frigivelsen af opløst N og P i sedimentopslæmningen efter 12,5-28 døgn.

I forbindelse med undersøgelserne af Lynetteholms sedimenter er der lavet ittede opslæmningsforsøg over 24 timer med et sediment-vandforhold på 1:2 på i alt 6 sediment prøver, hvoraf 5 er udtaget i borekerner fra 0-2,2 m og 1 dybere end 2,2 m under sedimentoverfladen /12/.

Den omstændighed at udvaskningsforsøgene er foretaget under iltede forhold betyder, at noget af sedimentets jern oxideres, hvorved det evner at binde frit PO_4 . Herved konverteres PO_4 fra at være i opløst form til at være partikulært P, som ikke måles. Hertil skal lægges at anvendelsen af et sediment-vandforhold på 1:2 ikke er realistisk i forhold de sediment- vandforhold, der forekommer ved spild af sediment under gravearbejdet. Et 1:2 forhold kan forventes, hvis der anvendes en "cutter suction dredger" ved opgravningen, men planen er at bruge en gravemetode, der anvender skovl ved opgravningen. Et spild med et sediment- vandforhold på 1:25 er derfor mere realistisk, se /38/. Et lavt sediment-vandforhold medfører, at der er relativt meget oxideret jern som kan binde frit PO_4 med en reduktion af udvaskningen af P til følge. Den partikelbundne PO_4 vil imidlertid blive frigjort, så snart det nedblandes i iltfrit reduceret sediment eller bliver udsat for en iltsvindssituation.

Ønsker man at få et billede af den potentielle udvaskning af PO_4 fra sedimenterne, dvs. opløst PO_4 samt PO_4 bundet til oxideret jern, er det nødvendigt, at udvaskningen sker under strikt iltfrie betingelser eller hvis man foretager udvaskningen under iltede forhold, at man slutteligt udtrækker den jernbundne PO_4 pulje med tilføjelse af dithionit, se /32/ og /33/.

For at få et bredere datagrundlag at arbejde ud fra er målinger af sedimenters biotilgængelig N og P blevet inddraget fra andre undersøgelser, herunder 3 VVM-undersøgelser i hhv. Storebælt, Grådybet og Femern Bælt, se /26/, /28/, /29/, /30/, /31/, /35/, /36/, /37/ og /38/.

Det viser sig, at det biotilgængelige N og P bedst beskrives som en % del af sedimentets TN- og TP-indhold. Biotilgængeligheden for N's vedkommende er uafhængigt af, om udvaskningsforsøgene er foretaget under iltede eller iltfrie forhold. Biotilgængeligheden af P er afhængig af, om udvaskningen er sket under iltede eller iltfrie forhold. Derfor er biotilgængeligheden af både N og P bestemt under iltede og iltfrie forhold. Både for N og P anvendes 75% percentilen af % frigiven N eller P i forhold til sedimentets TN- eller TP-indhold, dels efter 6-24 timer og dels efter 12,5-28 døgn, se Tabel 5-60 og Tabel 5-61. I bilag B findes en beskrivelse af fremkomsten af tallene i de to tabeller.

Frigivelsen af N og P til vandet kan opdeles i en frigivelse fra det spildte sediment efter 6-24 timer under gravearbejdet samt en frigivelse efter 12-28 døgn. Det N og P som frigives fra sedimentet, skal betragtes som "nyt næringsstof" til det økologiske system, idet sedimenter under ca. 0,2-0,5 m normalt ikke er biotilgængeligt for det økologiske system.

N frigivelsen er uafhængig af iltforholdene. Under gravearbejdet vil der ske en umiddelbar frigivelse af typisk NH_4 og lidt NO_3 ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ = opløst uorganisk N (DIN)), samt lidt opløst organisk N (DON), hvilket ca. svarer til den mængde N, der frigives efter 6-24 timer. En del af det organiske materiale, som findes i det spildte sediment, vil imidlertid blive nedbrudt over tid og give anledning til en frigivelse af N. Forsøg med N frigivelse fra suspensioner af sediment over 12-30, døgn viser at den biotilgængelige del af N i det organiske materiale bliver frigivet over denne periode, se /26/, /30/ og /31/. Det partikulære organiske materiale med tilhørende N føres bort med strømmen og sedimenterer på havbunden. Det vil have tendens til at blive transporteret videre, via gentagne re-suspensioner og sedimentationer, mod depositionsområder, som typisk befinder sig på dybere vand. Under denne transport proces nedbrydes det organiske materiale, hvorved der frigives N, typisk som NH_4 .

P frigivelsen i forbindelse med spildt sediment har en lidt anden dynamik. Oxideret jern (Fe^{+++}), som typisk er knyttet til uorganisk partikulært materiale, evner at binde PO_4 . Under gravearbejdet vil spildt sediment blive iltet og en fraktion af sedimentets Fe vil blive oxideret til (Fe^{+++}), og PO_4 i sedimentets porevand vil bindes til det oxiderede Fe. Det spildte sediment spredes med strømmen og sedimenterer til bunden. Typisk vil de øverste 2-5 cm af bunden være oxideret i en grad, så Fe befinder sig som oxideret Fe^{+++}

om vinteren. Dette ændrer sig imidlertid i løbet af sommeren, hvor det oxiderede lag ofte reduceres til 0-0,5 cm dybde, hvilket medfører, at der sker en frigivelse af PO_4 fra det nu reducerede Fe. Indtræffer der iltvind, frigives den jernbundne -P pulje til vandet, /32/, /33/ og /34/.

Det betyder, at den umiddelbare P frigivelsen fra sedimentspildet under gravearbejdet, der foregår i iltet havvand, er minimal (0,54% af TP-puljen). Imidlertid skal der medregnes en pulje af PO_4 som er komplekst bundet til oxideret jern. Frigivelsen af P under iltfrie forhold (1,09% af TP-puljen) angiver den umiddelbare frigivelse ved uddybningsfartøjet i et reduceret iltfrit miljø.

Fraktionen af P, der frigives under iltfrie forhold efter 12-28 døgn (5,11 % af TP-puljen), angiver den P mængde, der potentielt frigives fra sedimentspildet efter, at det organisk bundne P er mineraliseret. Ligesom for den partikulære N vil denne P pulje minus det umiddelbart frigivne P blive spredt, da det transporteres og spredes med strøm og via re-suspension-sedimentation transporteres mod depositions områder på dybere vand.

Tabel 5-60 Sedimentets biotilgængeligt N som % af sedimentets TN (bio-N) efter 6-24 timer og 12,5 til 28 døgn.

Tidsforløb	% bio-N/TN 75% percentil
6-24 timer	2,35
12,5-28 døgn	9,13

Tabel 5-61 Sedimentets biotilgængeligt P som % af sedimentets TP (bio-P) efter 6-24 timer og 12,5 til 28 døgn under iltede og iltfrie forhold.

Tidsforløb	% bio-P/TP 75% percentil
6-24 timer - O_2	1,09
12,5-28 døgn - O_2 eller dithionit	5,11
6-24 timer + O_2	0,54
12,5-28 døgn + O_2	1,45

Tabel 5-62 Puljer i opgravede sedimenter af biotilgængeligt N og P efter hhv. 6-24 timer og 12,5-28 døgn fordelt på hovedforslag, samt iltforhold.

Hovedforslag	Næringsstof og iltforhold	6-24 timer ton N el. P	12,5-28 døgn ton N el. P
1	Bio-N $\pm \text{O}_2$	65	248
2	Bio-N $\pm \text{O}_2$	75	291
1	Bio-P $+\text{O}_2$	5,1	13,6
1	Bio-P $-\text{O}_2$	10,2	47,9
2	Bio-P $+\text{O}_2$	5,7	15,2
2	Bio-P $-\text{O}_2$	11,4	53,6

De samlede puljer af biotilgængeligt N og P i de opgravede sedimenter er præsenteret i Tabel 5-62 for de to hovedforslag. I Tabel 5-63 og Tabel 5-64 er puljerne af N for de to hovedforslag fordelt på graveområder. I Tabel 5-65 og Tabel 5-66 er P puljerne fordelt på graveområder for Hovedforslag 1 og i Tabel 5-67 og Tabel 5-68 er P puljerne fordelt på graveområder i Hovedforslag 2.

Det fremgår af Tabel 5-62, at de biotilgængelige N puljer til umiddelbar frigivelse (6-24 t) er på 65 og 75 ton for hhv. Hovedforslag 1 og 2. Den maksimale biotilgængelige N pulje (12,5-28 døgn) er på 248 og 291 ton N for hhv. Hovedforslag 1 og 2.

Den umiddelbare frigivelige biotilgængelige P pulje (Bio-P -O₂, 6-24 t) er på 10,2 og 11,4 ton P for hhv. Hovedforslag 1 og 2. Den maksimale biotilgængelige P pulje (Bio-P -O₂, 12,5-28 døgn) er på 47,9 og 53,6 ton P for hhv. hovedforslag 1 og 2.

Tabel 5-63 Puljer af biotilgængeligt opløst N i sedimenterne fordelt på graveområder, Hovedforslag 1. FJ: Forurennet jord, RJ: Ren jord.

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	FJ DON+DI N frigivet efter 6-24 timer [ton N]	FJ DON+DI N frigivet efter 12,5-28 døgn [ton N]	RJ DON+DI N frigivet efter 6-24 timer [ton N]	RJ DON+DI N frigivet efter 12,5-28 døgn [ton N]
ØP4	42.837	115.764	158.601	2,6	10,3	5,6	21,8
ØP3	2.1891	153.264	175.155	1,1	4,2	9,2	35,7
ØP2	9.136	6.683	15.819	0,3	1,3	0,2	0,8
ØP1	1.019	47.731	48.750	0,0	0,1	1,8	6,9
NP3	47.001	256.640	30.3641	2,9	11,1	13,8	53,4
NP2	45.271	176.803	222.074	2,5	9,9	7,8	30,4
NP1	53.572	112.866	166.438	2,1	8,2	4,6	17,7
VP3	3.461	7.291	10.752	0,1	0,3	0,2	0,8
VP2	77.060	162.352	239.412	2,1	8,3	6,1	23,6
VP1	8.178	17.230	25.408	0,2	0,9	0,5	1,8
Sum	309.426	1.056.624	1.366.050	14	55	50	193

Tabel 5-64 Puljer af biotilgængeligt opløst N i sedimenterne fordelt på graveområder, Hovedforslag 2. FJ: Forurennet jord, RJ: Ren jord.

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	FJ DON+DI N frigivet efter 6-24 timer [ton N]	FJ DON+DI N frigivet efter 12,5-28 døgn [ton N]	RJ DON+DI N frigivet efter 6-24 timer [ton N]	RJ DON+DI N frigivet efter 12,5-28 døgn [ton N]
ØP4	46.915	134.177	181.092	2,9	11,2	6,5	25,3
ØP3.2	19.655	78.621	98.276	0,9	3,7	4,7	18,3
ØP3.1	18.304	73.217	91.521	0,7	2,9	4,4	17,0
ØP2.2	2.280	9.119	11.399	0,1	0,3	0,3	1,2
ØP2.1	17.268	69.073	86.341	0,6	2,3	2,9	11,2
ØP1.2	4.304	17.217	21.521	0,1	0,5	0,6	2,3
ØP1.1	27.272	109.088	136.360	1,6	6,3	2,1	8,0
NP3	59.809	374.695	434.504	4,0	15,4	13,6	52,7
NP2	45.271	176.803	222.074	2,6	10,1	11,2	43,5
NP1	53.572	112.866	166.438	2,7	10,4	3,8	14,9
VP3	3.461	7.291	10.752	0,1	0,3	0,2	0,8
VP2	77.060	162.353	239.413	2,1	8,3	5,3	20,7
VP1	8.178	17.230	25.408	0,2	0,9	0,6	2,5
Sum	383.349	1.341.750	1.725.099	19	73	56	218

Tabel 5-65 Puljer af biotilgængeligt opløst P i forurennet sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 1. FJ: Forurennet jord.

Område	FJ [m ³]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 t +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 timer -O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn -O₂ [ton P]
ØP4	42.837	0,2	0,4	0,3	1,6
ØP3	2.1891	0,1	0,2	0,2	0,8
ØP2	9.136	0,0	0,1	0,1	0,4
ØP1	1.019	0,0	0,0	0,0	0,1

Område	FJ [m ³]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 t +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 timer -O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn -O₂ [ton P]
NP3	47.001	0,2	0,5	0,4	1,7
NP2	45.271	0,2	0,5	0,4	1,9
NP1	53.572	0,4	1,1	0,9	4,0
VP3	3.461	0,0	0,0	0,0	0,1
VP2	77.060	0,2	0,5	0,3	1,6
VP1	8.178	0,0	0,1	0,1	0,4
Sum	309.426	1,3	3,6	2,7	12,6

Tabel 5-66 Puljer af biotilgængeligt opløst P i rene sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 1. RJ: Ren jord.

Område	RJ [m ³]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 t +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 timer -O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn -O₂ [ton P]
ØP4	115.764	0,3	0,7	0,5	2,4
ØP3	153.264	0,5	1,3	1,0	4,7
ØP2	6.683	0,0	0,0	0,0	0,1
ØP1	47.731	0,1	0,3	0,2	1,1
NP3	256.640	1,0	2,6	2,0	9,2
NP2	176.803	0,5	1,4	1,0	4,8
NP1	112.866	0,9	2,3	1,7	8,2
VP3	7.291	0,0	0,1	0,0	0,2
VP2	162.352	0,4	1,0	0,8	3,7
VP1	17.230	0,1	0,2	0,2	0,9
Sum	1.056.624	3,8	10,0	7,5	35,3

Tabel 5-67 Puljer af biotilgængeligt opløst P i forurenede sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 2. FJ: Forurenede jord.

Område	FJ [m ³]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 t +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 timer -O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn -O₂ [ton P]
ØP4	46.915	0,2	0,5	0,4	1,7
ØP3.2	19.655	0,1	0,2	0,2	0,7
ØP3.1	18.304	0,0	0,1	0,1	0,4
ØP2.2	2.280	0,0	0,0	0,0	0,1
ØP2.1	17.268	0,1	0,2	0,2	0,9
ØP1.2	4.304	0,0	0,0	0,0	0,2
ØP1.1	27.272	0,1	0,2	0,2	0,9
NP3	59.809	0,2	0,6	0,5	2,3
NP2	45.271	0,2	0,5	0,4	1,9
NP1	53.572	0,3	0,8	0,6	2,7
VP3	3.461	0,0	0,0	0,0	0,1
VP2	77.060	0,2	0,5	0,3	1,6
VP1	8.178	0,0	0,1	0,1	0,4
Sum	383.349	1,5	3,9	3,0	13,9

Tabel 5-68 Puljer af biotilgængeligt opløst P i rene sedimenter fordelt på graveområder, Hovedforslag 2. RJ: Ren jord

Område	RJ [m ³]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 t +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 timer -O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn -O₂ [ton P]
ØP4	134.177	0,3	0,8	0,6	2,8
ØP3.2	78.621	0,3	0,7	0,5	2,4
ØP3.1	73.217	0,2	0,6	0,5	2,2
ØP2.2	9.119	0,1	0,2	0,1	0,6
ØP2.1	69.073	0,2	0,4	0,3	1,6
ØP1.2	17.217	0,1	0,3	0,2	1,1

Område	RJ [m ³]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 t +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn +O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 6-24 timer -O₂ [ton P]	DOP+PO ₄ frigivet efter 12,5-28 døgn -O₂ [ton P]
ØP1.1	109.088	0,1	0,4	0,3	1,3
NP3	374.695	0,9	2,5	1,9	8,8
NP2	176.803	0,8	2,1	1,6	7,4
NP1	112.866	0,7	2,0	1,5	7,0
VP3	7.291	0,0	0,1	0,0	0,2
VP2	162.353	0,4	1,2	0,9	4,1
VP1	17.230	0,0	0,1	0,1	0,4
Sum	1.341.750	4,2	11,3	8,4	39,7

5.3.3 Frigivelse af N og P i forbindelse med gravespild

Den mængde N og P som frigives til omgivelser under opgravningen af sedimenterne, kan beregnes som puljerne af biotilgængeligt N eller P ganget med en spildprocent.

I kapitel 5.1.5 er der anvendt et sediment spild på 8% for sedimenter med en tør densitet > 1.000 kg/m³ og en spildprocent på 10 % på mere vandholdige sedimenter med en tør densitet på ≤1.000 kg/m³. I det følgende anvendes en spildprocent på 9% for biotilgængeligt N og P uanset sedimentets densitet. Dette begrundes med, at de biotilgængelige pulser af N og P er beregnet pr. m³ vådt sediment samt at det biotilgængelige N og P primært vil være knyttet til det finkornede sediment eller befinde sig som opløst N og P i sedimentets porevand. Dvs. at det biotilgængelige N og P befinder sig på en form der transporteres med strømmen og sedimenterer ligesom den finkornede sedimentfraktion. Det er muligt, at der er brugbare informationer at hente omkring sediment-spildprocenten i test gravearbejdet udført inden udgravningerne til Øresundsforbindelserne /41/. Rapporten er imidlertid ej at finde i DHI's arkiv, ligesom en forespørgsel til COWI har været resultatløs.

Frigivelse af biotilgængeligt N og P ved et spild på 9% er præsenteret i Tabel 5-69. Fra spildt sediment under opgravningen frigives 5,850 og 6,750 kg biotilgængelig N i løbet af 6-24 timer for hhv. Hovedforslag 1 og 2. Frigivelsen af N og P på lang sigt (12,5-28 døgn) svarer til den pulje af N og P som sedimentet kan frigive og kaldes derfor sedimentets biotilgængelige N og P pulje. De biotilgængelige puljer i hhv. hovedforslag 1 og 2 er 22.320 og 26.290 kg N. På kort sigt (6-24 timer) frigives 909 kg og 1.026 kg biotilgængeligt P fra gravespildet fra de to hovedforslag, hvilket på lang sigt (12,5 -28 døgn) stiger til 4.311 kg og 4.824 kg biotilgængeligt P for hhv. Hovedforslag 1 og 2. I kapitel 5.1.5 er der lavet beregninger over sedimentspildet, hvis der først afgraves i områderne ØP3.1, ØP2.1 og ØP1.1 efter det ydre midlertidige dige er etableret og indsejlingen til området er afskærmet med et boblegardin. Oprettelsen af en sådan afskærmning forventes ikke at ændre på mængden af frigiven biotilgængeligt N og P. Det partikulære N og P vil blot sedimentere indenfor graveområdets perimeter hvor N og P vil blive frigivet til vandfasen ved nedbrydning af det organisk bundne N og P, samt ved, at det partikulære jernbundne P vil sedimentere til bunden og blive frigivet, når det nedblandes til sedimentets iltfrie reducerede lag.

Tabel 5-69 Frigivelse af biotilgængeligt N og P fra spildt sediment under gravearbejdet for hovedforslag 1 og 2.

Hovedforslag	Spild af biotilgængeligt N og P som funktion af iltforhold	6-24 timer [kg N –el. P]	12,5-28 døgn [kg N –el. P]
1	Bio-N $\pm$ O ₂	5.850	22.320
2	Bio-N $\pm$ O ₂	6.750	26.190
1	Bio-P +O ₂	459	1.224
1	Bio-P -O ₂	909	4.311
2	Bio-P +O ₂	513	1.368
2	Bio-P -O ₂	1026	4.824

Ønsker man den daglige frigivelsen af biotilgængeligt N og P kan man dividere puljerne i Tabel 5-63 til Tabel 5-68 med det totale opgravede antal m³ for området ganget med en sediment spild rate (m³/døgn).

5.3.4 Mængden af iltforbrug i det opgravede materiale

Bestemmelsen af puljerne af iltforbrug i det opgravede sediment er foretaget ud fra tidligere undersøgelser af sedimenters iltforbrug, se /26/, /27/, /28/, /29/, /30/, /31/, /35/, /36/, /37/ og /38/. Der er i forbindelse med N og P udvaskningsforsøgene af sedimentprøver fra borekerner fra Lynetteholm målt modificeret BOD₅, tilsyneladende på eluatet. Omregnes BOD₅ til iltforbrug pr. m³ sediment, giver det imidlertid markant lavere iltforbrug end hvad der er målt i ovenstående referencer. BOD₅ målingerne er derfor ikke anvendt ved beregning af Lynetteholms sedimenters iltforbrug. Der anvendes således kun målinger af sedimenternes iltforbrug (SOD) fra ovenstående referencer. Iltforbruget i ovenstående referencer er enten målt kontinuerligt i opslæmninger af sediment i filtreret eller kunstigt havvand, se f.eks. /35/ eller i en serie BOD flasker med sediment opslæmninger, se /38/. I disse forsøg kunne vægtforholdet mellem vådt sediment og vand variere fra 1:20 til 1:200, alt efter sedimentets iltforbrug.

En analyse af ovenstående datamateriale viste følgende:

1. Der er en sammenhæng mellem SOD og sedimentets glødetab for $1\% < \text{glødetab} \leq 20\%$.
2. Sedimenternes SOD kan beskrives med relationen $\text{SOD}_x = b \cdot t^m$, hvor t er tiden i timer og $1\% < \text{glødetab} < 20\%$.
3. Sedimentets respiration rate (BRESP) til tiden t, kan beskrives med relationen $\text{BRESP}_t = m \cdot b \cdot t^{(m-1)}$
4. Der er en lineær sammenhæng mellem beregnet SOD og glødetabet efter 1, 6, 12 og 24 timer.
5. SOD i sedimenter med glødetab < 1% uden H₂S lugt beskrives bedst med en lineær sammenhæng i intervallet $0 < \text{timer} \leq 12$ timer.
6. SOD for sedimenter med glødetab > 20% beskrives bedst med konstant SOD.

Ovenstående sammenhænge er en videreudbygning af de sammenhænge som blev etableret i /35/. I bilag C er der en nærmere beskrivelse af data og regressioner.

En opsummering af sedimenternes akkumulerede SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt respirationsraten efter 24 og 120 timer for de to hovedforslag er præsenteret i Tabel 5-70.

Det akkumulerede SOD stiger med tiden, men stigningen reduceres over tid. Når der sker et sedimentspild, vil respirationsraten være bestemt af, at let omsættelige reducerede forbindelser (typisk sulfider) vil blive oxideret ved kontakt med vandets ilt, f.eks. efter den første time. Senere vil det akkumulerede iltforbrug blive domineret af mere langsomt oxiderbare stoffer, som i højere grad vil være partikulært bundet. Der vil således være en glidende overgang mellem fra 1 time til 24 timer efter at spildet er sket, fra primært at være opløste stoffer der oxiderer til det er partikulært materiale som oxideres. Et sted mellem 6 til 24 timer vil iltforbruget være partikulært betinget. Det partikulære iltforbrug vil spredes med strømmen og sedimentere til bunden, hvor det vil forøge bundens respiration. Respirationen pr. døgn efter 24 timer og 120 timer, af formodet partikulært materiale, udgør stadig et betydende bidrag til iltforbruget. Det betyder, at nok kan man beregne det umiddelbare iltforbrug i vandet efter 1-6 timer efter et sedimentspild, men hertil skal lægges et iltforbrug fra bunden som skyldes tidligere sedimentspild.

Tabel 5-70 Mængden af de opgravede sedimenters akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.

Hoved-forslag	Akkumu- leret SOD 1 timer [ton O ₂]	Akkumu- leret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumu- leret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumu- leret SOD 24 timer [ton O ₂]	Basal RESP efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]
1	193	512	774	1.196	630	315
2	264	697	1.051	1.620	857	429

I Tabel 5-71 og Tabel 5-72 er de akkumulerede mængder SOD fordelt på graveområder for Hovedforslag 1 og i Tabel 5-74 og Tabel 5-75 er de akkumulerede SOD mængder for Hovedforslag 2 præsenteret for graveområderne.

I Tabel 5-73 og Tabel 5-76 er respirationsraterne efter 24 og 120 timer fordelt på graveområder i de to hovedforslag.

Tabel 5-71 Mængden af opgravede sedimenternes akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i forurennet jord (FJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 1.

Område	FJ [m ³]	Akkumuleret SOD 1 time [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 timer [ton O ₂]
ØP4	42.837	4,4	10,6	15,2	21,8
ØP3	2.1891	2,1	4,9	7,0	10,0
ØP2	9.136	0,6	1,4	1,9	2,8
ØP1	1.019	0,0	0,1	0,1	0,1
NP3	47.001	4,8	11,4	16,3	23,4

Område	FJ [m ³]	Akkumuleret SOD 1 time [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 timer [ton O ₂]
NP2	45.271	4,6	11,1	15,9	22,9
NP1	53.572	3,3	7,0	9,5	13,0
VP3	3.461	0,1	0,3	0,4	0,5
VP2	77.060	4,1	9,4	13,1	18,6
VP1	8.178	0,4	0,9	1,2	1,7
Sum	309.426	24	57	81	115

Tabel 5-72 Mængden af opgravede sedimenternes akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i ren jord (RJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 1.

Område	RJ [m ³]	Akkumuleret SOD 1 time [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 timer [ton O ₂]
ØP4	115.764	3,6	21,6	43,3	86,5
ØP3	153.264	77,7	194,3	281,4	411,0
ØP2	6.683	1,5	3,7	5,4	7,9
ØP1	47.731	10,4	29,4	46,0	74,1
NP3	256.640	22,2	65,3	104,6	172,9
NP2	176.803	28,3	69,5	100,0	145,2
NP1	112.866	5,2	11,1	15,2	21,1
VP3	7.291	0,6	1,3	1,9	2,7
VP2	162.352	18,2	56,4	92,5	156,6
VP1	17.230	0,8	1,7	2,3	3,2
Sum	1.056.624	169	455	693	1.081

Tabel 5-73 Opgravede sedimenternes basale respirationsrate efter 24 og 120 timer i forurenset (FJ) og ren jord (RJ) fordelt på graveområder, Hovedforslag 1.

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	Basal RESP FJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-FJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]
ØP4	42.837	115.764	158.601	11,6	5,9	40,1	17,5

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	Basal RESP FJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-FJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]
ØP3	2.1891	153.264	175.155	5,2	2,6	227,0	117,6
ØP2	9.136	6.683	15.819	1,5	0,8	4,4	2,3
ØP1	1.019	47.731	48.750	0,1	0,0	38,1	18,5
NP3	47.001	256.640	30.3641	12,4	6,3	86,6	41,2
NP2	45.271	176.803	222.074	12,4	6,4	78,9	40,5
NP1	53.572	112.866	166.438	5,9	2,7	13,8	8,7
VP3	3.461	7.291	10.752	0,2	0,1	1,4	0,7
VP2	77.060	162.352	239.412	9,5	4,6	77,9	36,8
VP1	8.178	17.230	25.408	0,8	0,4	2,1	1,3
Sum	309.426	1.056.624	1.366.050	59,7	29,8	570	285

Tabel 5-74 Mængden af opgravede sedimenter akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i forurennet jord (FJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 2.

Område	FJ [m ³]	Akkumuleret SOD 1 time [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 timer [ton O ₂]
ØP4	46.915	4,9	11,6	16,6	23,9
ØP3.2	19.655	1,6	3,7	5,2	7,4
ØP3.1	18.304	1,8	4,5	6,6	9,6
ØP2.2	2.280	0,1	0,2	0,3	0,4
ØP2.1	17.268	1,0	2,3	3,3	4,7
ØP1.2	4.304	0,2	0,5	0,7	0,9
ØP1.1	27.272	3,4	8,4	12,2	17,7
NP3	59.809	6,3	15,3	21,9	31,6
NP2	45.271	4,7	11,2	16,0	23,1
NP1	53.572	4,1	9,7	13,7	19,5
VP3	3.461	0,1	0,3	0,4	0,5
VP2	77.060	4,1	9,4	13,1	18,6

Område	FJ [m ³]	Akkumuleret SOD 1 time [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 timer [ton O ₂]
VP1	8.178	0,4	0,9	1,2	1,7
Sum	383.349	33	78	111	159

Tabel 5-75 Mængden af opgravedes akkumuleret SOD (sediment iltforbrug) i ren jord (RJ) efter 1, 6, 12 og 24 timer fordelt på graveområder, Hovedforslag 2.

Område	RJ [m ³]	Akkumuleret SOD 1 time [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 timer [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 timer [ton O ₂]
ØP4	134.177	4,2	25,1	50,1	100,3
ØP3.2	78.621	39,9	99,7	144,4	210,9
ØP3.1	73.217	37,1	92,8	134,4	196,4
ØP2.2	9.119	0,4	0,9	1,2	1,7
ØP2.1	69.073	28,1	71,2	103,7	152,2
ØP1.2	17.217	0,8	1,7	2,3	3,2
ØP1.1	109.088	8,1	19,9	28,7	41,6
NP3	374.695	60,4	177,4	283,5	467,1
NP2	176.803	29,4	71,4	102,3	147,9
NP1	112.866	5,2	11,1	15,2	21,1
VP3	7.291	0,6	1,3	1,9	2,7
VP2	162.353	15,1	40,6	62,5	99,1
VP1	17.230	1,9	6,0	9,8	16,6
Sum	1.341.750	231	619	940	1.461

Tabel 5-76 Opgravede sedimenternes basale respirationsrate efter 24 og 120 timer i forurenede (FJ) og ren jord (RJ) fordelt på graveområder, Hovedforslag 2.

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	Basal RESP-FJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-FJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]
ØP4	46.915	134.177	181.092	12,7	6,4	46,5	20,2
ØP3.2	19.655	78.621	98.276	3,7	1,8	116,4	60,3

Område	FJ [m ³]	RJ [m ³]	Total [m ³]	Basal RESP-FJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-FJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 24 timer [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP-RJ efter 120 timer [ton O ₂ /døgn]
ØP3.1	18.304	73.217	91.521	5,3	2,7	108,4	56,2
ØP2.2	2.280	9.119	11.399	0,3	0,2	1,1	0,7
ØP2.1	17.268	69.073	86.341	2,7	1,6	85,1	44,4
ØP1.2	4.304	17.217	21.521	0,4	0,2	2,1	1,3
ØP1.1	27.272	109.088	136.360	9,7	5,0	22,6	11,6
NP3	59.809	374.695	434.504	17,0	8,7	236,1	113,2
NP2	45.271	176.803	222.074	12,3	6,2	79,5	40,5
NP1	53.572	112.866	166.438	11,1	6,1	13,8	8,7
VP3	3.461	7.291	10.752	0,2	0,1	1,4	0,7
VP2	77.060	162.353	239.413	9,5	4,6	49,7	23,8
VP1	8.178	17.230	25.408	0,9	0,5	8,3	3,9
Sum	383.349	1.341.750	1.725.099	86	44	771	385

5.3.5 Frigivelse af iltforbrug i forbindelse med sedimentspild

Den mængde iltforbrug der frigives i forbindelse med opgravningen af sedimenterne, er proportionel med spildmængden og sedimentets SOD.

I kapitel 5.1.5 er der anvendt et sediment spild på 8% for sedimenter med en tør densitet > 1.000 kg/m³ og en spildprocent på 10 % på mere vandholdige sedimenter med en tør densitet på ≤1.000 kg/m³. I det følgende anvendes en spildprocent på 9% for sedimentets iltforbrug, men denne procentdel bør måske justeres alt efter hvilken opgravnings- og transportmetode der anvendes. En del af det initiale iltforbrug må forventes at stamme fra opløste stoffer. Hvis der anvendes en transportmetode med overløb, kan der være en proportionalitet mellem sedimentspild og iltforbrug som er større end 1:1. Dette sker, hvis der udledes forholdsmeæssigt mere iltforbrug fra opløste stoffer i vandet end der spildes sediment. Det er muligt, at der er brugbare informationer at hente fra test gravearbejdet lavet inden udgravningerne til Øresundsforbindelserne Ref. /40/. Rapporten er imidlertid ej at finde i DHI's arkiv, ligesom en forespørgsel til COWI har været resultatløs.

I det følgende regnes med et SOD spild på 9%, se Tabel 5-77. Ønskes en fordeling på graveområder findes disse mængder ved at tage 9% af mængderne i Tabel 5-71 og Tabel 5-72 for Hovedforslag 1 samt i Tabel 5-74 Tabel 5-74 og Tabel 5-75 for Hovedforslag 2.

Tabel 5-77 Mængden af "spildte" sedimenters akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.

Hoved-forslag	Akkumu- leret SOD	Akkumu- leret SOD	Akkumu- leret SOD	Akkumu- leret SOD	Basal RESP efter 24	Basal RESP efter 120
---------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	------------------------	-------------------------

	1 time [ton O ₂]	6 timer [ton O ₂]	12 timer [ton O ₂]	24 timer [ton O ₂]	timer [ton O ₂ /døgn]	timer [ton O ₂ /døgn]
1	17,7	46,1	69,6	107,7	56,7	28,4
2	23,7	62,7	94,7	145,8	77,1	38,6

I kapitel 5.1.5 er der opereret med at reducere sedimentspildet i graveområderne ØP3.1, ØP2.1 samt ØP1.1 ved at vente med at afgrave indtil ydre midlertidige dæmninger er etableret. Afskærmningen vil ikke ændre på mængderne af frigjort akkumuleret SOD, men den vil ændre placeringen af iltforbruget, idet specielt det partikelbårne SOD vil forblive inden for opgravningsområdet.

5.3.6 Sammenfatning af frigivelse af næringssalte og iltforbrugende stoffer

Den mængde sediment, som opgraves i forbindelse med etableringen af Lynetteholm, indeholder 2.710 ton N og 938 ton P i Hovedforslag 1 samt 3.188 ton N og 1.050 ton P i Hovedforslag 2. En væsentlig del af dette N og P vil dog ikke være biotilgængeligt. Biotilgængeligheden er bestemt ud fra frigivelse af N og P fra sediment i suspension foretaget over længere tid (12-30 døgn). Ud fra udvaskningsforsøg på sedimenter i Dansk farvand viser, at der efter 24 timer efter frigives 2,4 % af sedimentets TN og at der efter 12- 28 døgn frigives 9,1 % af sedimentets TN. Frigivelsen af N og P efter 12-28 døgn er minimal, hvilket betyder at den biotilgængelige pulje af N og P svarer til udvaskningen efter 12-28 døgn.

Frigivelsen af fosfor er afhængig af iltforholdene, idet sedimentets jern binder PO₄, når jernet er på oxideret form. Under opgravningen vil jernet i sedimentet blive oxideret, hvorved PO₄ bindes til jernet og det partikulære oxiderede jern-PO₄ vil blive ført væk med strømmen og senere sedimentere. Når jern reduceres, vil PO₄ frigives til vandet. Den biotilgængelige P pulje efter 6-24 timer under iltede og iltfrie forhold er estimeret til hhv. 0,5% og 1,1% og efter 12,5-28 døgn til 5,1 % af sedimentets TP-pulje. Tabel 5-78 viser resultaterne af total P og N, samt de biotilgængelige puljer af N og P efter 6-24 timer og 12,5-28 døgn præsenteret.

Tabel 5-78 Puljer af total N og P samt puljer af biotilgængeligt N og P i opgravet sediment. Mængder er angivet i tons. Sort: Hovedforslag 1. Rød og angivet i parentes: Hovedforslag 2.

Puljer af N eller P	Mængde i forurennet jord	Mængde i ren jord	Mængde Total
Total N	597 (795)	2.113 (2.393)	2.710 (3.188)
Total P	246 (272)	692 (778)	938 (1.050)
Biotilgængelig N, efter 6-24 h	14 (19)	50 (56)	65 (76)
Biotilgængelig N, efter 12,5-28 døgn	55 (73)	193 (218)	248 (291)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltede forhold	1,3 (1,5)	3,8 (4,2)	5,1 (5,7)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltfrie forhold	2,7 (3,0)	7,5 (8,4)	10,2 (11,4)
Biotilgængelig P, efter 12,5-28 døgn iltfrie forhold	12,6 (13,9)	35,3 (39,7)	47,9 (53,6)

Antages det, at der under opgravningen af sedimenterne spildes 9% af de biotilgængelige N og P puljer til omgivelserne, vil der de første 24 timer hhv. spildes 5,85 ton N og 6,75 ton N i hovedforslag 1 og 2. I samme tidsperiode vil der hhv. spildes 0,92 ton og 1,02 ton biotilgængeligt P i Hovedforslag 1 og 2. Over 12,5-28 døgn spildes 22,35 ton og 26,25 ton biotilgængeligt N i hovedforslag 1 og 2, og over samme periode spildes 4,31 ton og 4,83 ton biotilgængeligt P, se Tabel 5-79.

Spildet af biotilgængeligt N og P under selve opgravningen er begrænset og forventes ikke at påvirke miljøet negativt.

Tabel 5-79 Puljer af biotilgængeligt N og P frigivet til omgivelserne ved spild på 9% under **opgravning** af sedimenterne. Mængder er angivet i tons. Sort: Hovedforslag 1. Rød og i parentes: Hovedforslag 2.

Tidshorisont for spild	Biotilgængeligt N eller P i forurenet jord	Biotilgængeligt N eller P i ren jord	Biotilgængeligt N eller P, total
Biotilgængelig N, efter 6-24 h	1,26 (1,71)	4,50 (5,04)	5,85 (6,75)
Biotilgængelig N, efter 12,5-28 døgn	4,95 (6,57)	17,37 (19,62)	22,35 (26,25)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltede forhold	0,12 (0,14)	0,35 (0,38)	0,47 (0,51)
Biotilgængelig P, efter 6-24h, iltfrie forhold	0,26 (0,27)	0,68 (0,75)	0,92 (1,02)
Biotilgængelig P, efter 12,5-28 døgn iltfrie forhold	1,14 (1,25)	3,18 (3,57)	4,31 (4,83)

Frigivelse af iltforbrug i forbindelse med gravearbejdet

Lynetteholms gravearbejder vil frigive iltforbrugende stoffer. Puljen af iltforbrug er bestemt ud fra andre forsøg fra undersøgelser af Grådybets sejlrende, Storebæltsforbindelsen og Femern Bælt forbindelsen.

I Tabel 5-80 er sedimentets puljer af akkumuleret iltforbrug (SOD) efter hhv. 1, 6, 12 og 24 timer opgjort. SOD efter 24 timer forventes at være partikelbundet, hvorimod SOD efter 1 time skyldes oxidering af opløste forbindelser, typisk sulfider. Imellem 1-24 timer vil det være en blanding af opløst og partikelbundet SOD. Det spildte sediment vil stadig have et iltforbrug, som reduceres over tid kaldet basal respiration. I Tabel 5-81 er angivet den basale respiration efter 24 og 120 timer.

Tabel 5-80 Puljerne af sedimenters akkumulerede SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer, samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.

Hoved forslag	Akkumuleret SOD 1 t [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 t [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 t [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 t [ton O ₂]	Basal RESP efter 24 t [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP efter 120 t [ton O ₂ /døgn]
1	193	512	774	1.196	630	315
2	264	697	1.051	1.620	857	429

Antages det, at der under opgravningen spildes 9%, vil SOD over 24 timer hhv. udgøre 107,7 og 145,8 ton ilt for Hovedforslag 1 og 2. De basale respirationer vil efter 120 timer være reduceret til 28,4 og 38,6 ton ilt pr. døgn i Hovedforslag 1 og 2, se Tabel 5-81.

Tabel 5-81 Mængden ved 9% sedimentspild af akkumuleret SOD efter 1, 6, 12 og 24 timer samt basal respiration efter 24 og 120 timer i Hovedforslag 1 og 2.

Hovedforslag	Akkumuleret SOD 1 t [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 6 t [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 12 t [ton O ₂]	Akkumuleret SOD 24 t [ton O ₂]	Basal RESP efter 24 t [ton O ₂ /døgn]	Basal RESP efter 120 t [ton O ₂ /døgn]
1	17,7	46,1	69,6	107,7	56,7	28,4
2	23,7	62,7	94,7	145,8	77,1	38,6

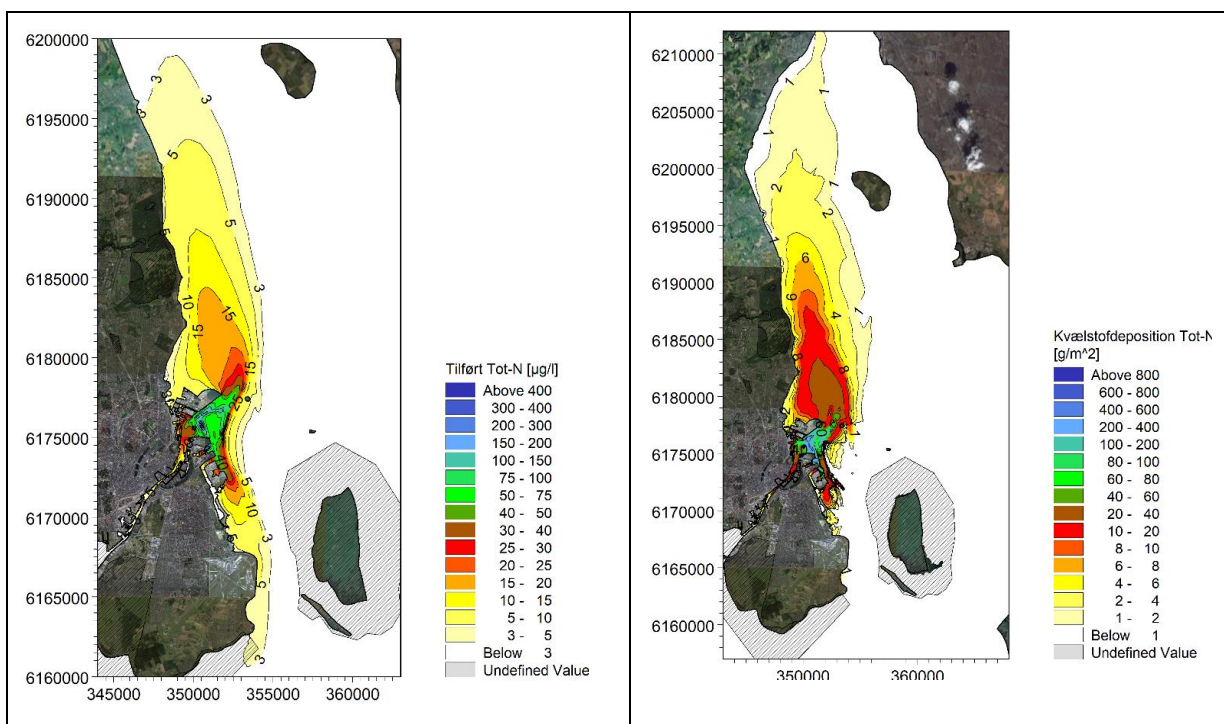
Hvis disse mængder af SOD og basal respiration spredes tilstrækkeligt med strømmen, vurderes iltforbruget ikke at udgøre et problem for miljøet.

Dette skal dog tages med det forbehold, at der ikke er foretaget en egentlig spredningsberegning af iltforbruget, samt at dette ekstra iltforbrug ikke er koblet sammen med det eksisterende iltforbrug, som der er i systemet.

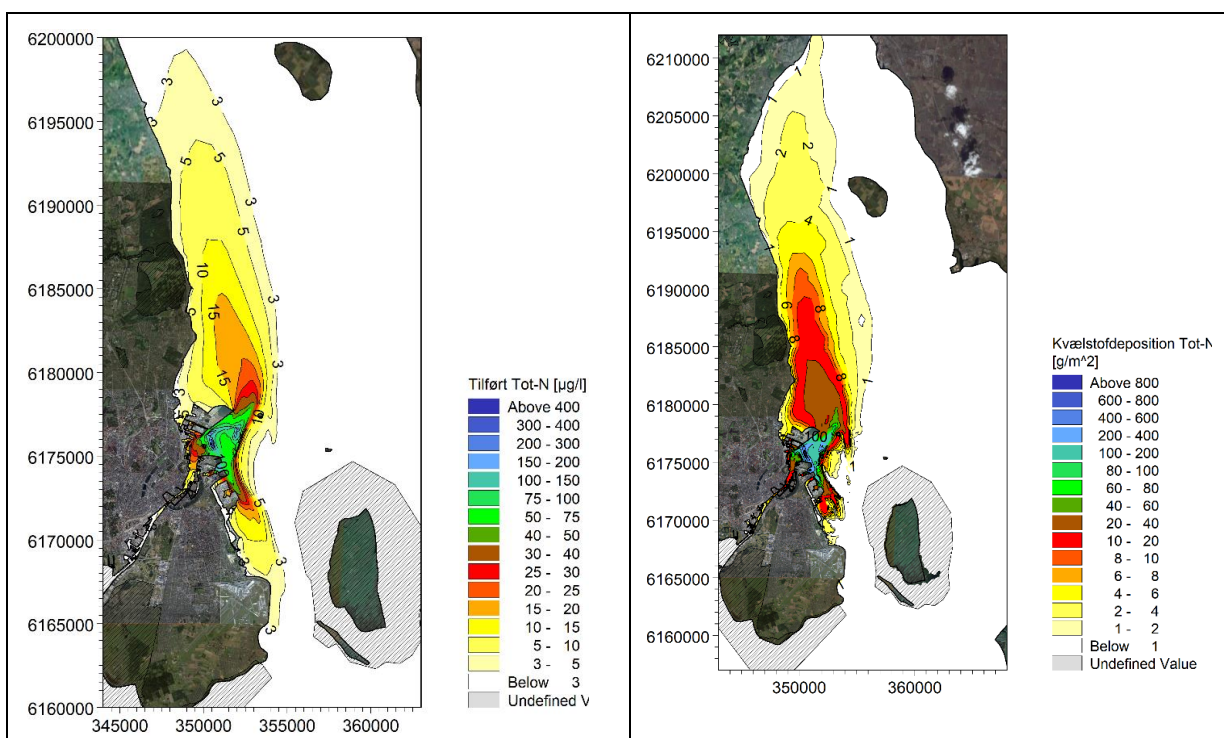
5.3.7 Potentiel spredning af total kvælstof til Natura2000 områder

Under gravearbejderne frigives der blandt andet Total-N fra de spildte sedimenter, som nævnt i afsnit 5.3. I nedenstående figurer vises hhv. den tilførte koncentration af Total-N til vandfasen og den tilførte Total-N til sedimenterne for de tre scenarier: Hovedforslag 1, Hovedforslag 2 og Hovedforslag 2 med afskærmning. Kvælstofmængderne er fundet ud fra Tabel 5-78 og Tabel 5-79 og der er anvendt en faktor 17 ved omregning mellem aflejret sediment og aflejret Total-N. Faktoren er fremkommet ved at beregne den relative andel af gravespildet som udgøres af Tot-N. Når der ses på det totale gravespild er faktoren 17,1-17,7 alt afhængig af spildscenarie.

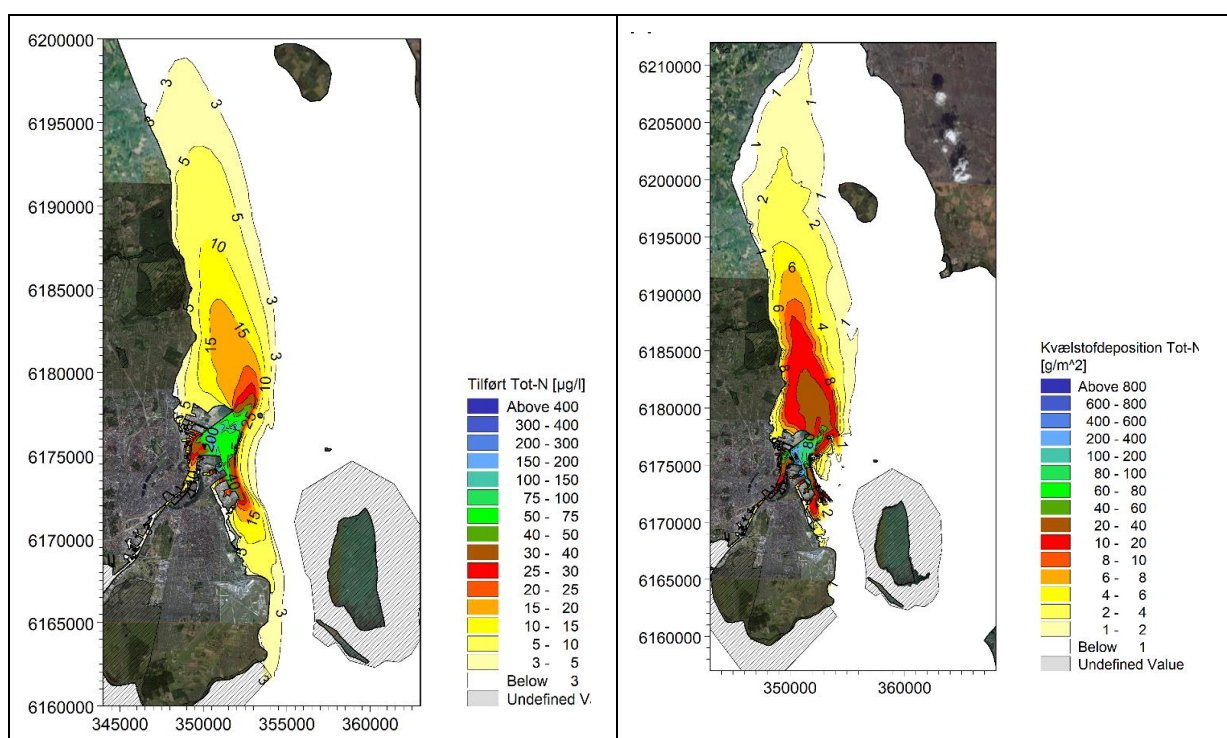
De viste koncentrationer er middelkoncentrationen af Tot-N i hele modelperioden. I Hovedforslag 1 er der et gravespild i 2.732 timer, mens modelperioden hvorover middelkoncentrationen er beregnet dækker 2.880 timer. I Hovedforslag 2 er der et gravespild i 3.450 timer, mens modelperioden hvorover middelkoncentrationen er beregnet dækker 3.600 timer. I alle tre scenarier vil tilførsel af Total-N til vandfase og sediment primært ske i en nordlig retning, som er styret af de fremherskende strømretninger og der forventes derfor ikke en opbygning af Total-N i de to Natura2000 områder.



Figur 5-91 Hovedforslag 1: Ekstra Total-N i vandfasen midlet over anlægsperioden (venstre) og deposition af Total-N i sedimentet (højre) ved anlægsperiodens slutning. Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder



Figur 5-92 Hovedforslag 2: Tilførsel af Total-N i vandfasen (venstre) og deposition af Total-N i sedimentet (højre). Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder.



Figur 5-93 **Hovedforslag 2A:** Tilførsel af Total-N i vandfasen (venstre) og deposition af Total-N i sedimentet (højre). Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder.

6 Vurdering af påvirkninger i driftsfasen

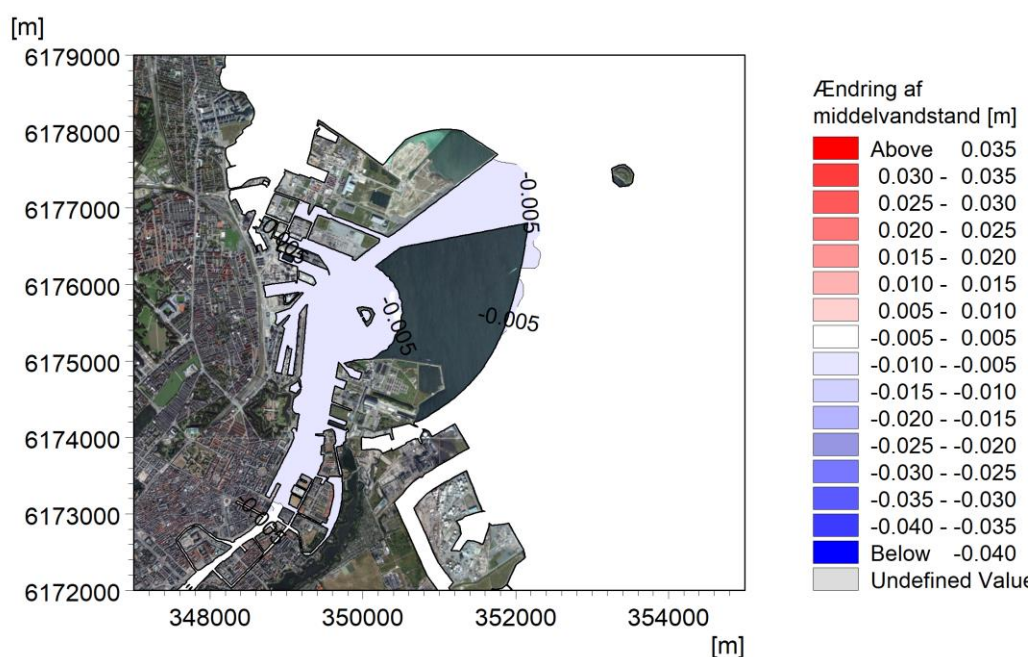
6.1 Hydrauliske og kystmorfologiske forhold

6.1.1 Vurdering af ændrede vandstandsforhold

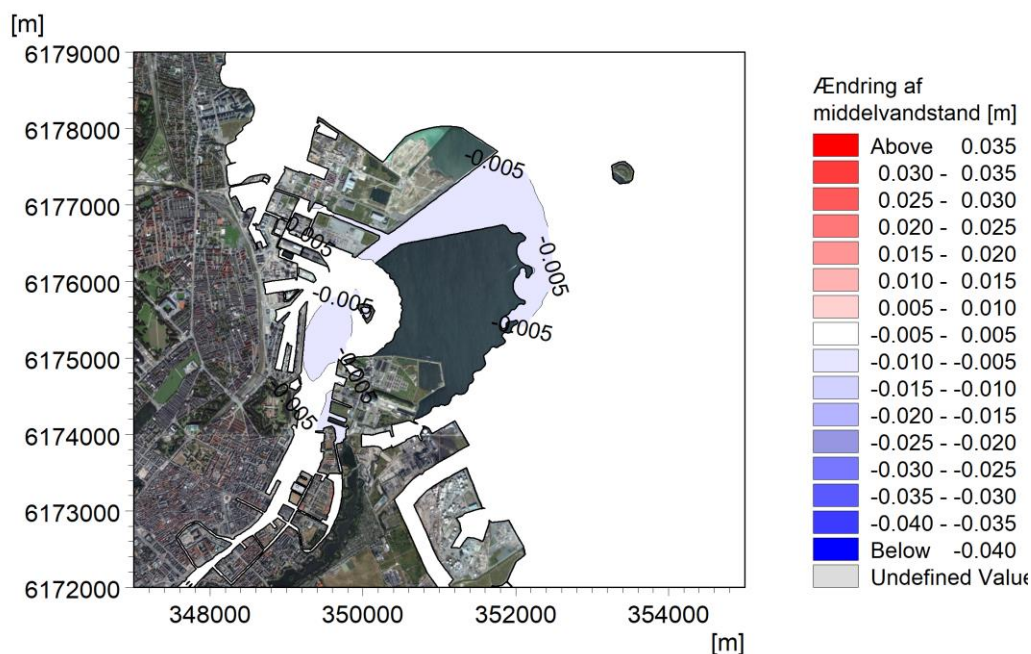
Begge hovedforslag for Lynetteholm opfyldningen vil lukke Kongedybet fuldstændigt, og vil derfor ændre væsentligt på de lokale strømningsforhold og dermed også i nogen grad på vandstandsforholdene. Lynetteholms påvirkning på de lokale vandstandsforhold er belyst i det følgende.

6.1.1.1 Middelvandstand

Begge hovedforsalg for Lynetteholm har som forventet stort set ingen indvirkning på middelvandstanden. Med udgangspunkt i vandstandsvariationen gennem hele år 2018 viser Figur 6-1 og Figur 6-2 den forventede ændring i middelvandstand, som Lynetteholm vil afstedkomme henholdsvis uden og med et kystlandskab langs den østlige perimeter. Det ses af figurerne, at middelniveauet falder med mellem 5-10 mm i tragten mellem Nordhavnen og Lynetteholmen og langs den nordøstligste del af perimeteren. I forslaget uden et kystlandskab kan sænkningen mærkes helt ind til Kvæsthusbroen. I de øvrige områder er ændringen mindre end 5 mm og der kan dermed ikke identificeres områder, hvor udbygningen vil føre til en forøgelse af middelvandstanden.



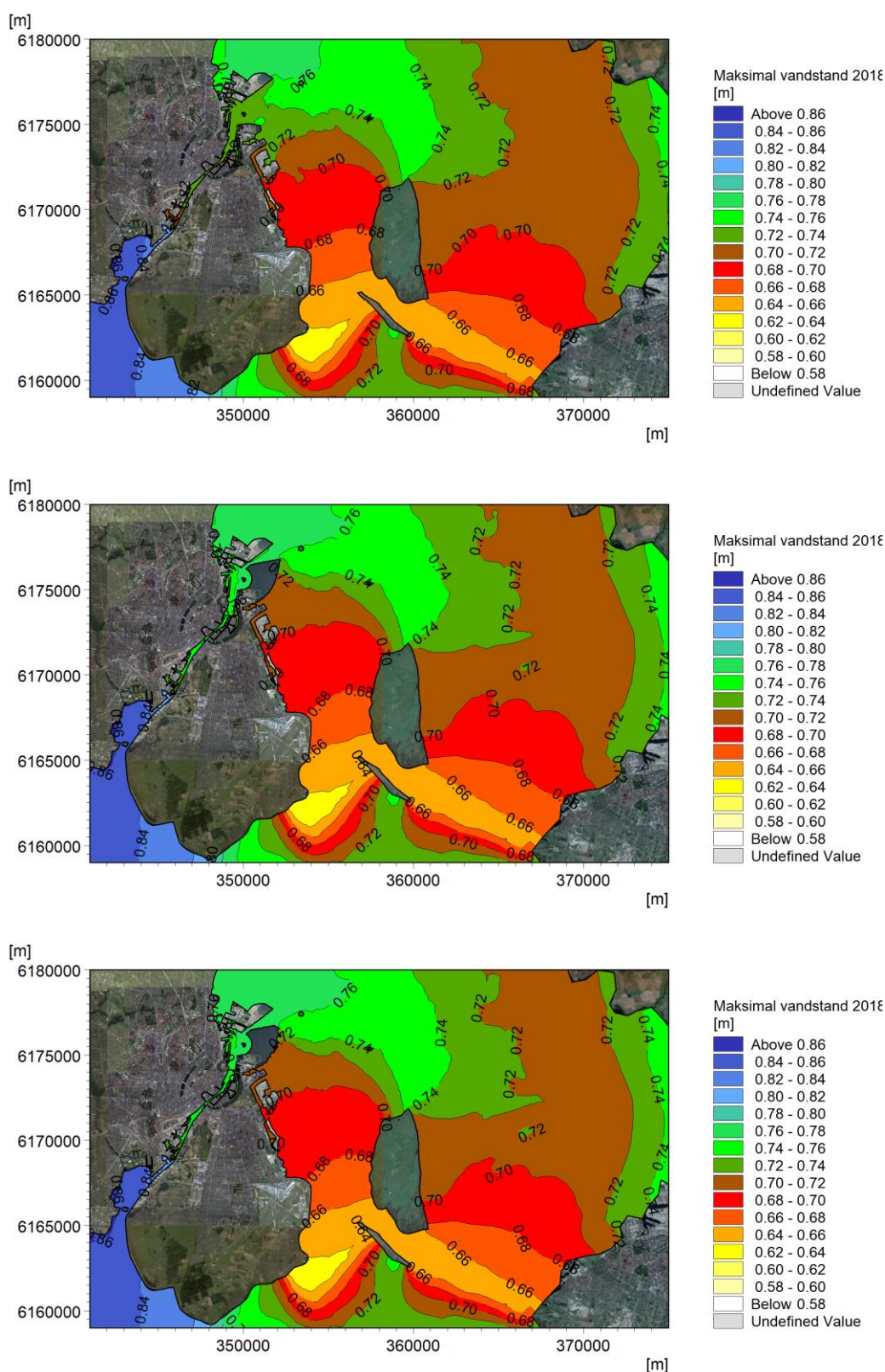
Figur 6-1 Ændring af middelvandstand år 2018 med en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab.



Figur 6-2 Ændring af middelvandstand år 2018 med en Lynetteholm udbygning med et kystlandskab.

6.1.1.2 Maksimumvandstand

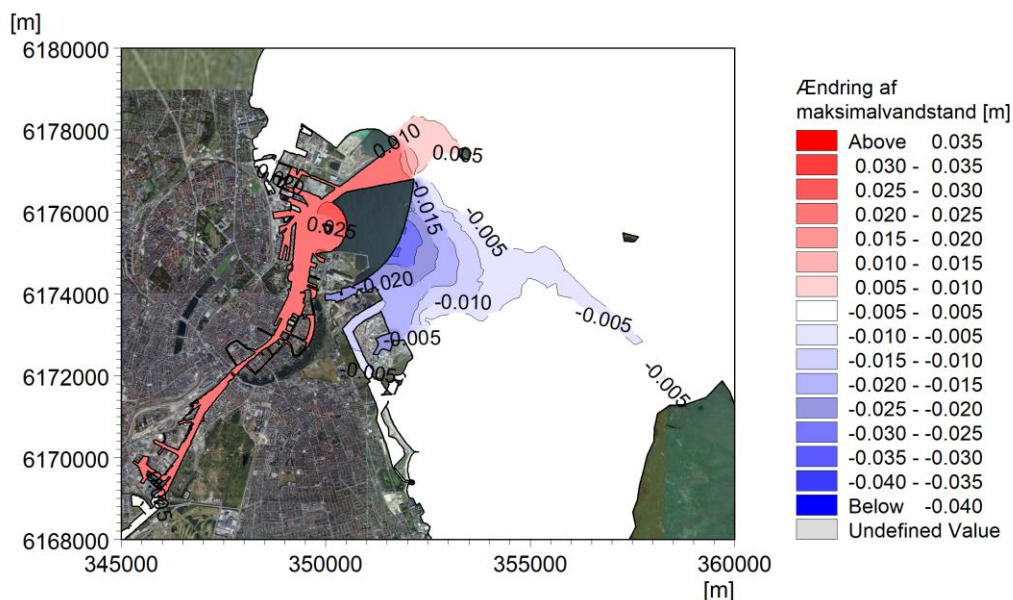
År 2018 indeholder ikke nogen egentlige stormflodshændelser. Maksimumvandstanden er derfor tilknyttet en moderat højvandshændelse. Figur 6-3 viser de højeste modellerede vandstande i år 2018 for baseline og de to hovedforslag for en Lynetteholm udbygning. Plottene er baseret på en statistisk analyse og er derfor ikke udtryk for et øjeblikbillede. Helt generelt vil de høje vandstande nord og syd for Drogdentræsklen være tilknyttet to forskellige hændelser. Drogdentræsklen kan identificeres ved hjælp af det gule og orange bånd, hvor vandstands niveauet er lavest.



Figur 6-3 Modelleret maksimalvandstand år 2018 for baselineforhold (øverst), med Lynetteholm-udbygning uden et kystlandskab (midt) og Lynetteholm udbygning med et kystlandskab (nederst).

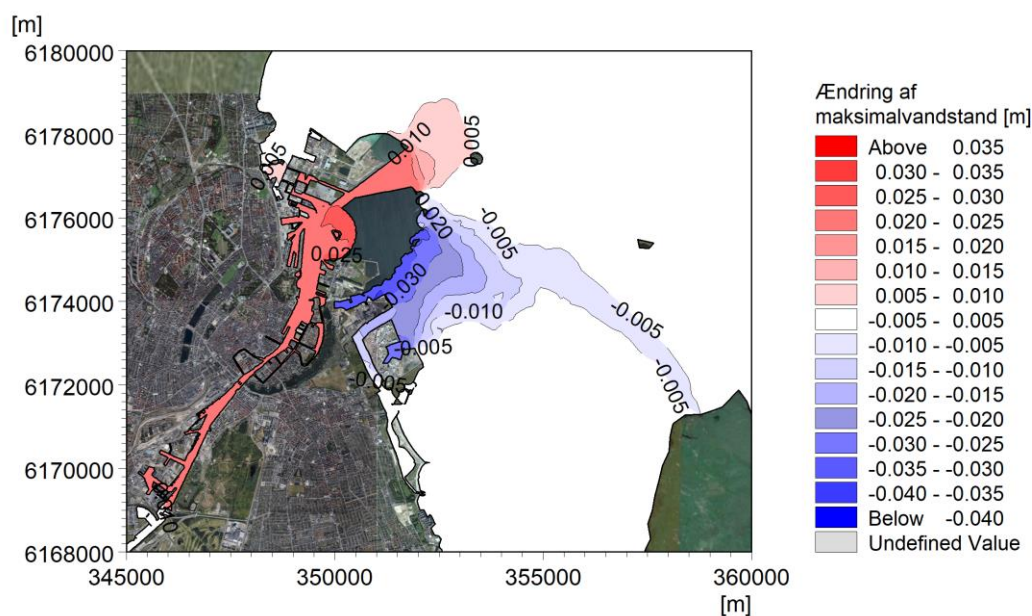
Ændringen af maksimalvandstand er beregnet og optegnet i Figur 6-4 for Hovedforslag 1, som ikke indeholder et kystlandskab. Det ses, at der er en tendens til svagt forøget

vandstand i hele havneløbet frem mod stigsbordet i Sydhavnen. Forøgelsen er mellem 20-25 mm. I området øst for Trekroner og i den inderste del af Kronløbet er forøgelsen fundet 25-30 mm. I området sydøst for Lynetteholm er der en reduktion af maksimalvandstanden på helt op til 30 mm. Generelt varierer den langs den østlige perimeter mellem 15-30 mm.



Figur 6-4 Ændring af nutidig maksimalvandstand som følge af Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab.

Forøgelsen af højvandsniveauet inde i havneløbet er, som det fremgår af Figur 6-5, stort set det samme for Hovedforslag 2 (25-30 mm), men sænkning af maksimalvandstanden langs den østlige perimeter er lidt større. På størstedelen af strækningen langs den østlige perimeter er sænkningen mellem 30-35 mm.



Figur 6-5 Ændring af nutidig maksimalvandstand som følge af Lynetteholm udbygning med et kystlandskab.

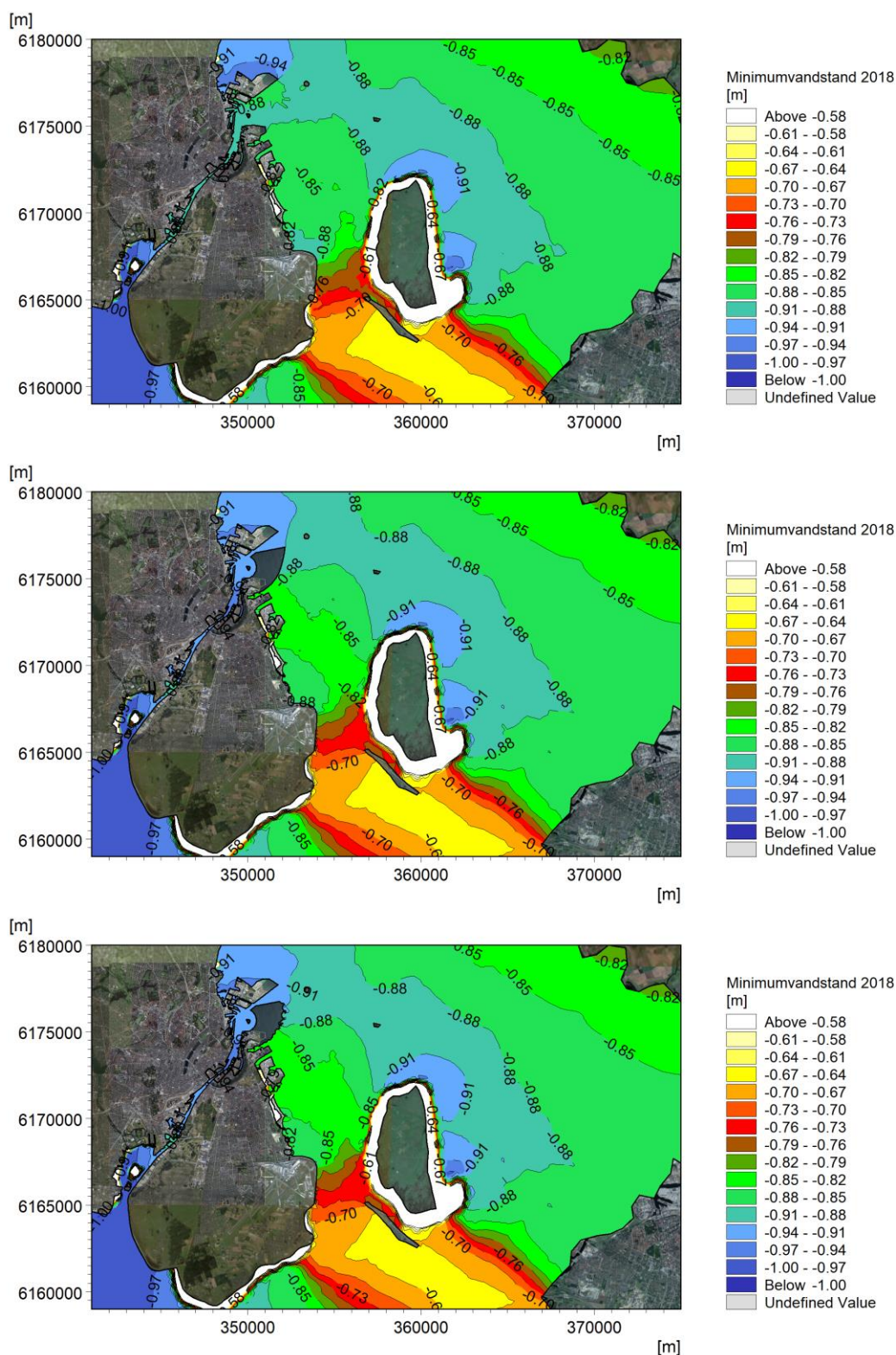
Påvirkningerne af maksimalvandstanden er lokale, men indebærer, at der vil optræde en svagt forøget vandstand i havneløbet helt frem til stigsbordene i forbindelse med stormflod.

Lynetteholm opfyldningen er tiltænkt som et væsentligt element i den fremtidige stormflodssikring af København, men har som en afledt effekt, at den vil virke svagt forøgende på stormflodsniveauerne i havneløbet frem til etablering af en stormflodsport, som kan lukkes i forbindelse med forøget vandstand. Man kan derfor udlede at Lynetteholm opfyldningen vil fremskynde behovet for en stormflodsport i takt med at havspejlstigninger af middelvandstands niveauet gør sig gældende.

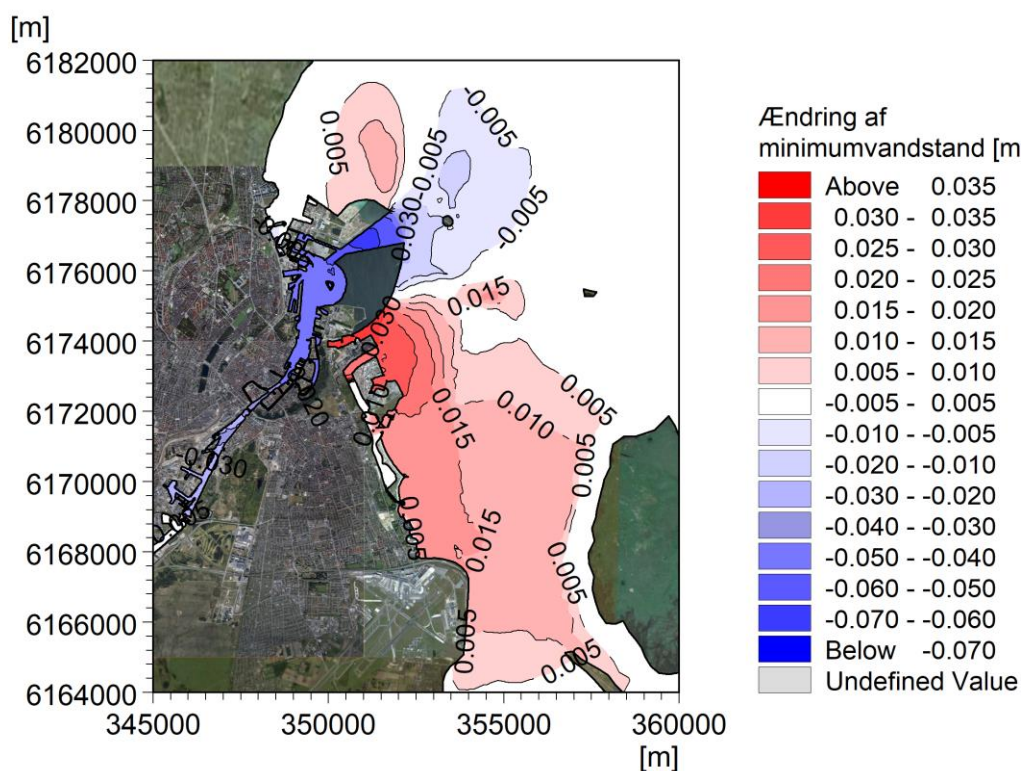
6.1.1.3 Minimumvandstand

År 2018 indeholder en hændelse med meget lav vandstand, som ikke er overgået i de seneste 20 år. Figur 6-6 viser de laveste modellerede vandstande i år 2018 for baselineforhold og de to hovedforslag for en Lynetteholm udbygning. Plottene er baseret på en statistisk analyse og er derfor ikke udtryk for et øjebliksbillede.

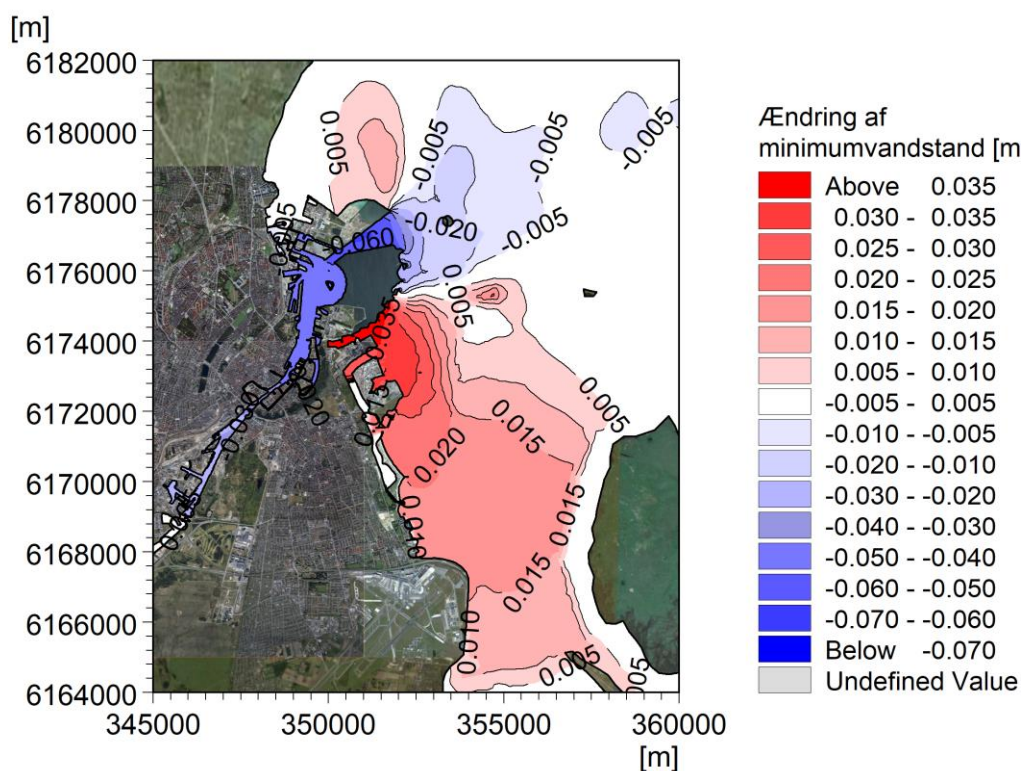
Ændringen af minimumvandstand er beregnet og optegnet i Figur 6-7 for Hovedforslag 1, som ikke indeholder et kystlandskab. Det ses, at der er en tendens til svagt reduceret vandstand i hele havneløbet frem mod stigsbordet i Sydhavnen. Reduktionen er mellem 25-62 mm og aftagende i retning mod stigsbordene. Den største reduktion på 50-62 mm optræder i tragten mellem Nordhavnen og Lynetteholm og effekten med reduceret vandstand strækker sig ud i Øresund i form af en nordøstlig orienteret kegle, som strækker sig forbi Middelgrundsfortet. I området nord for Nordhavnsopfyldningen er der en vandstandsforøgelse på op til 13 mm. I området sydøst for Lynetteholmen og helt ned til Peberholm er der en forøgelse af minimumvandstanden på mellem 5-35 mm. Ændringerne af minimumvandstand for Hovedforslag 2, er som det fremgår af Figur 6-8 stort set identiske med Hovedforslag 1.



Figur 6-6 Modelleret minimumvandstand år 2018 for baselineforhold (øverst), med Lynetteholm-udbygning uden et kystlandskab (midt) og Lynetteholm udbygning med et kystlandskab (nederst).



Figur 6-7 Ændring af minimalvandstand med en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab.



Figur 6-8 Ændring af minimalvandstand med en Lynetteholm udbygning med et kystlandskab.

6.1.2 Vurdering af ændrede strømforhold

I dette afsnit beskrives de lokale strømforhold og de strømændringer, som Lynetteholm opfyldningen vil afstedkomme. Strømforholdene og påvirkningen af disse er beskrevet for de to ligestillede udformninger (dvs. med og uden et kystlandskab). I de udførte beregninger er det antaget, at Trekronerfortets vinger (bølgebrydere) vil blive fjernet, idet de med etableringen af Lynetteholm ikke længere er formålstjenstlige. Endvidere er den udkragede mole ved Orientbassinet fjernet for at forbedre indsejlingsforholdene gennem Kronløbet til havnen.

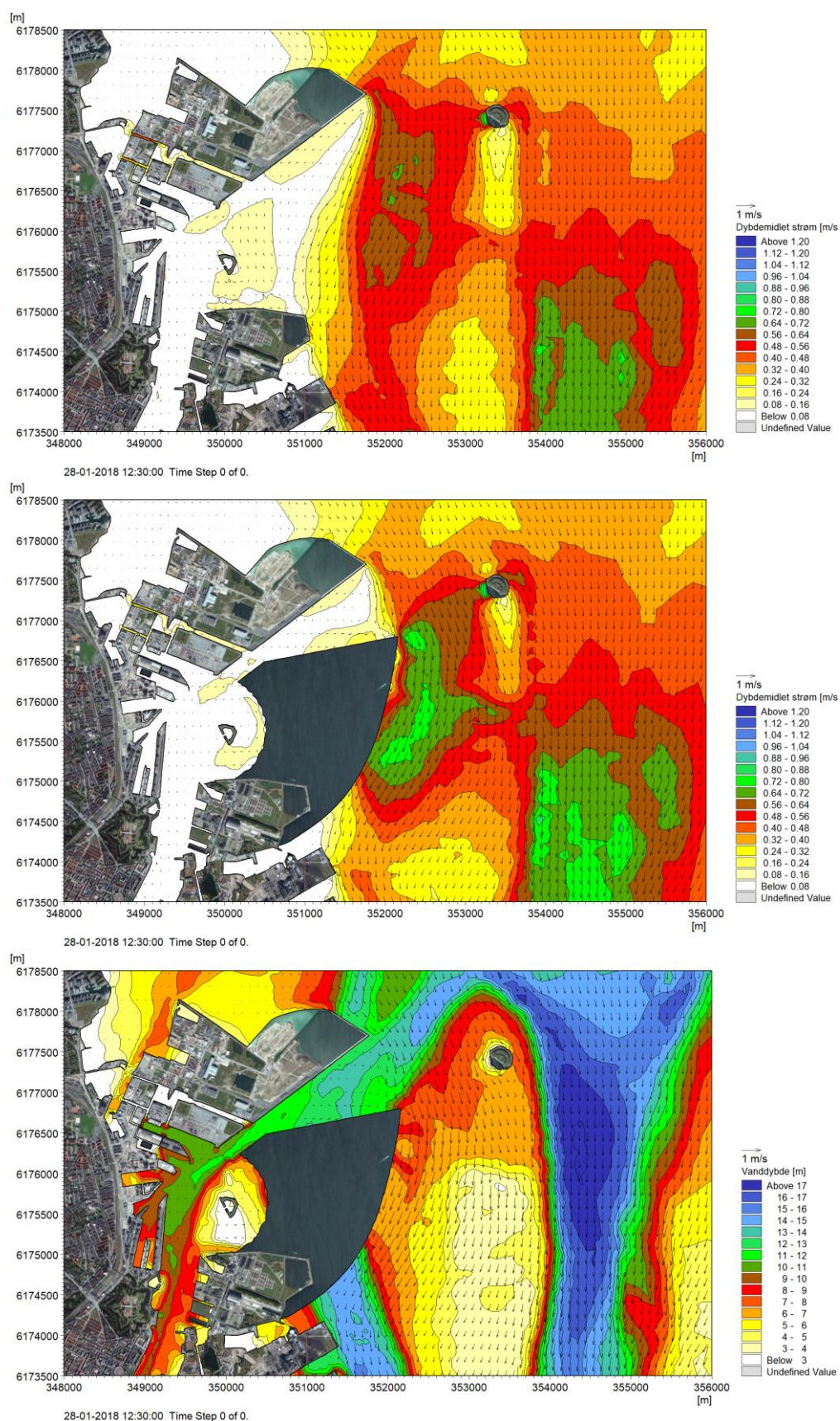
6.1.2.1 Forhold med stærk sydgående strøm

Lynetteholm opfyldningen lukker Kongedybet i begge sine udformninger og vil derfor påvirke de lokale strømningsforhold væsentligt. Påvirkningen vil være størst i situationer med stærk nordgående eller sydgående strøm, idet strømmen fra Kongedybet tvinges øst om Lynetteholm. Strømmen fra Kongedybet vil fordele sig, således at der skabes en strømforstærkning på dele af Middelgrunden, men også således, at der føres mere vand igennem Hollænderdybet.

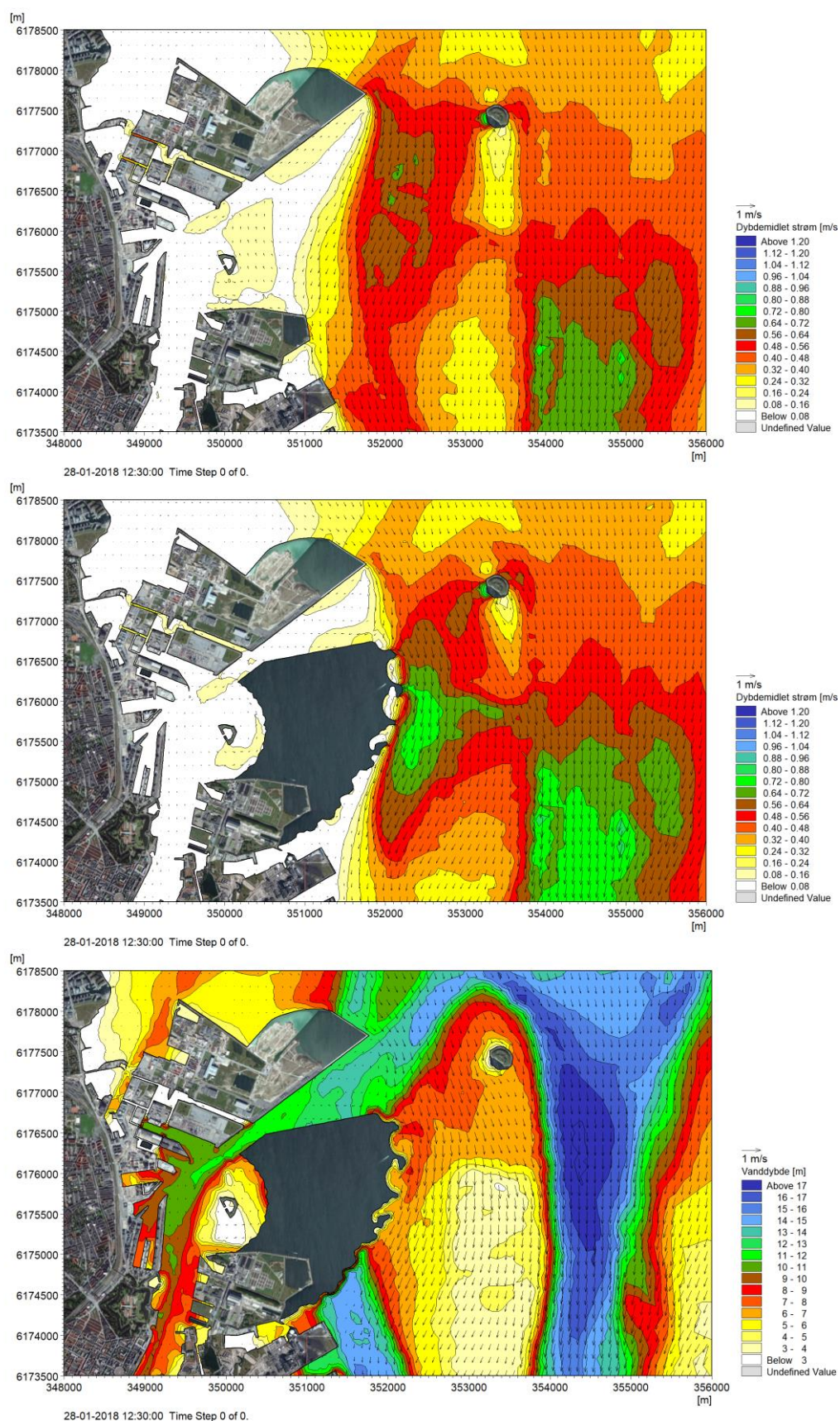
I Figur 6-9 er de dybdemidlet strømfelter vist for en situation med kraftig sydgående strøm (28. januar 2018) for de eksisterende forhold (øverst) og for en Lynetteholm udbygning uden et landskab (midt). Til hjælp for forståelse af strømbilledet er der ligeledes indsat et plot af vanddybderne (nederst). Den tilsvarende figur for en Lynetteholm udbygning med et kystlandskab langs den østlige perimeter er indsat i Figur 6-10.

Strømbillederne viser, at der for begge udformninger opstår en strømforstærkning i området øst for opfyldningen, men at strømmen svækkes øst for Nordhavnsplidsen og i Kongedybet ud for Amagerværket samt Prøvestenen syd for Lynetteholm. Da strømmen er sydgående, er det primært forholdene ud for og nedstrøms Lynetteholmen som påvirkes. Det ses, at strømdæmpningen i området ud for Amagerværket er kraftigst i udformningen med et kystlandskab.

Strømforhold beskrives med en størrelse og en retning. Strømændringer kan derfor beregnes og illustreres på to måder; som en vektoriel ændring, hvor der tages hensyn til ændringer i strømrretningen og som en skalar ændring, hvor der alene tages hensyn til strømmens størrelse. Begge beregningsmåder er anvendt i plottene vist i Figur 6-11 og Figur 6-12. I disse plot er der zoomet lidt ud for at dække hele påvirkningsområdet. Figurene viser, at der er en mærkbar strømsvækkelse i Kongedybet og i Kronløbet ved munden ind til havnen. Strømsvækkelsen i Kongedybet ud for Amagerværket, kan have betydning for Amagervandets brug af kølevand. I strandlommerne er der naturligt strøm læ og der er derfor også en kraftig strømsvækkelse i disse områder.

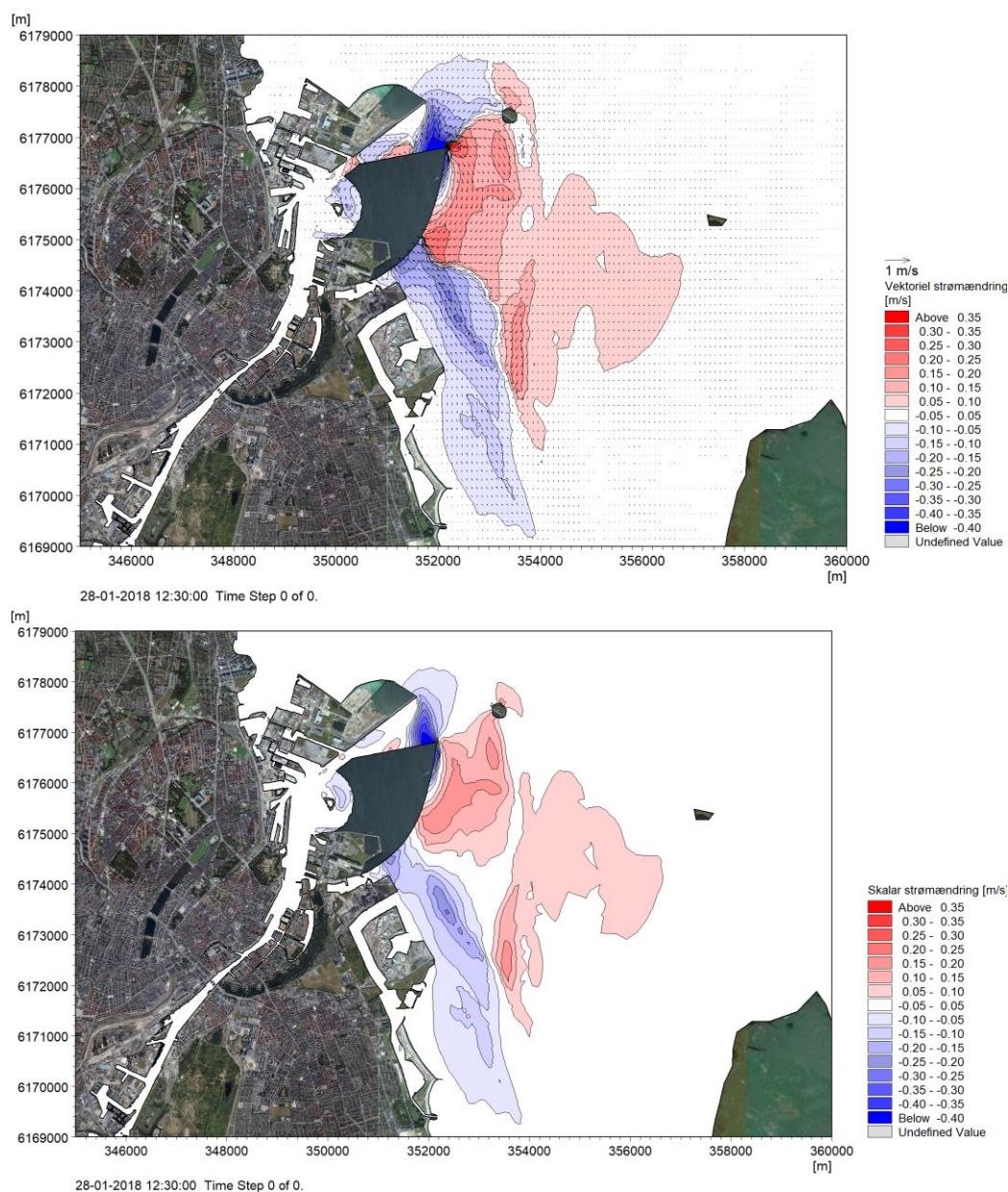


Figur 6-9 Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med strømvektorer.

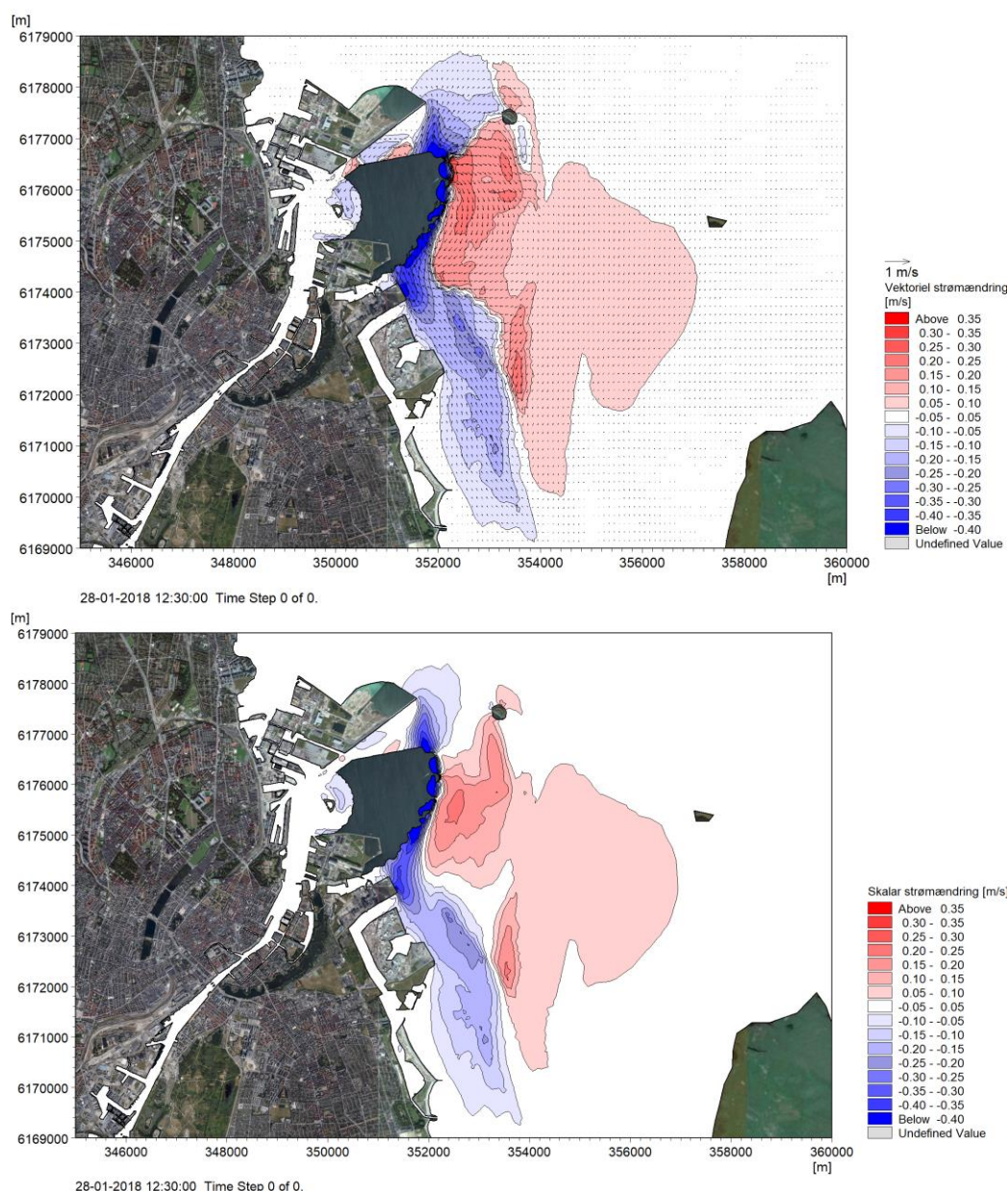


Figur 6-10 Dybdemidlet strømhastighed og vanddybde for forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybde overlejret med strømvektorer.

Øst for Lynetteholm er der et større område, som vil opleve en strømforstærkning. Strømforstærkningen aftager i retning væk fra Lynetteholmen, men kan identificeres som en strømforøgelse på mere end 5 cm/s i en afstand på op til 5 km. Ligeledes er der en strømforstærkning i Hollænderdybet, særligt langs den sydligste del af Middelgrunden. Øst for Trekroner er der ligeledes en strømsvækkelse, idet området efter udbygningen udgør en afskærmet del af havnen, hvor det i dag er en del af Øresund.

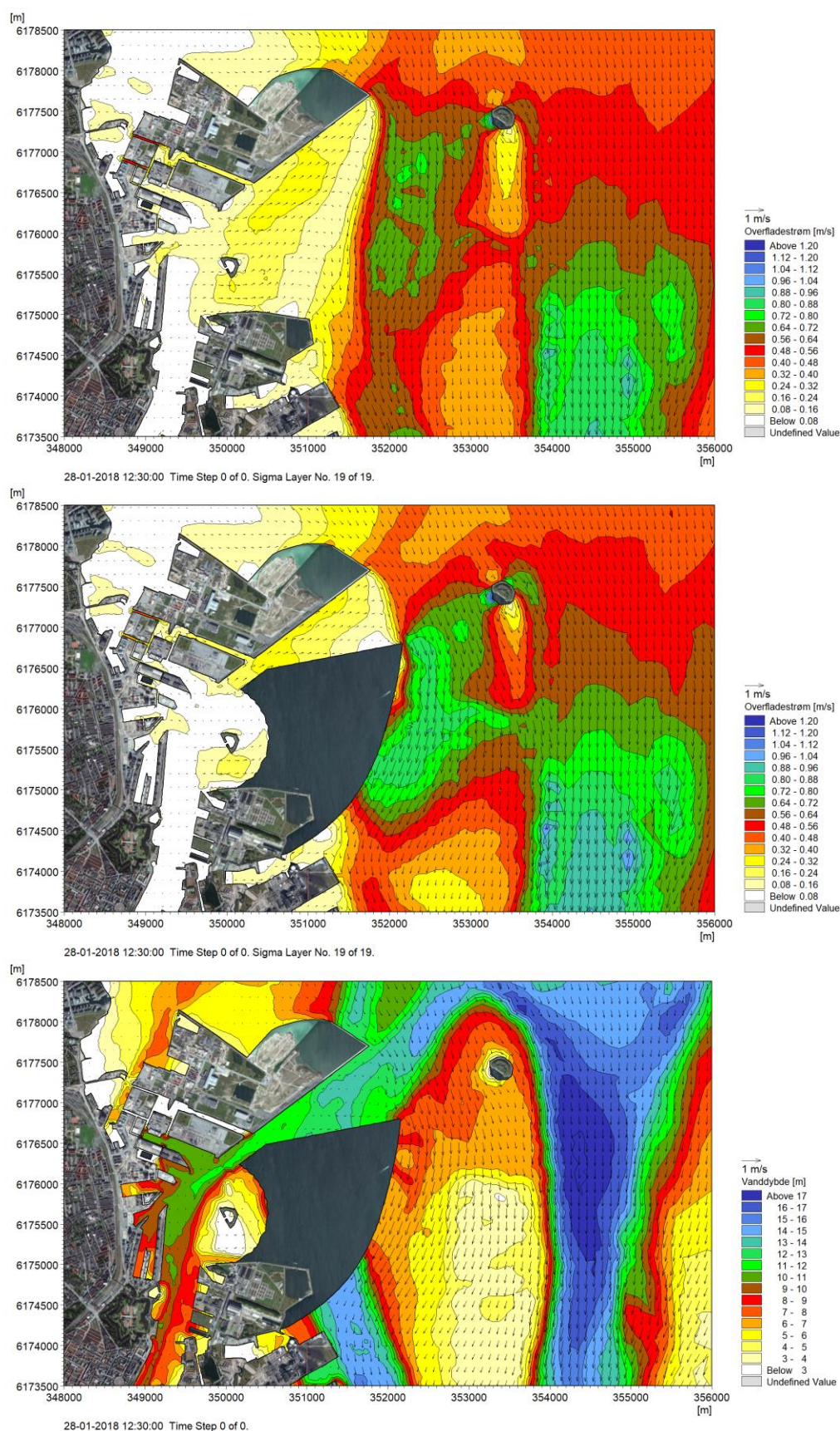


Figur 6-11 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig sydgående strømning og opfyldning uden kystlandskab.

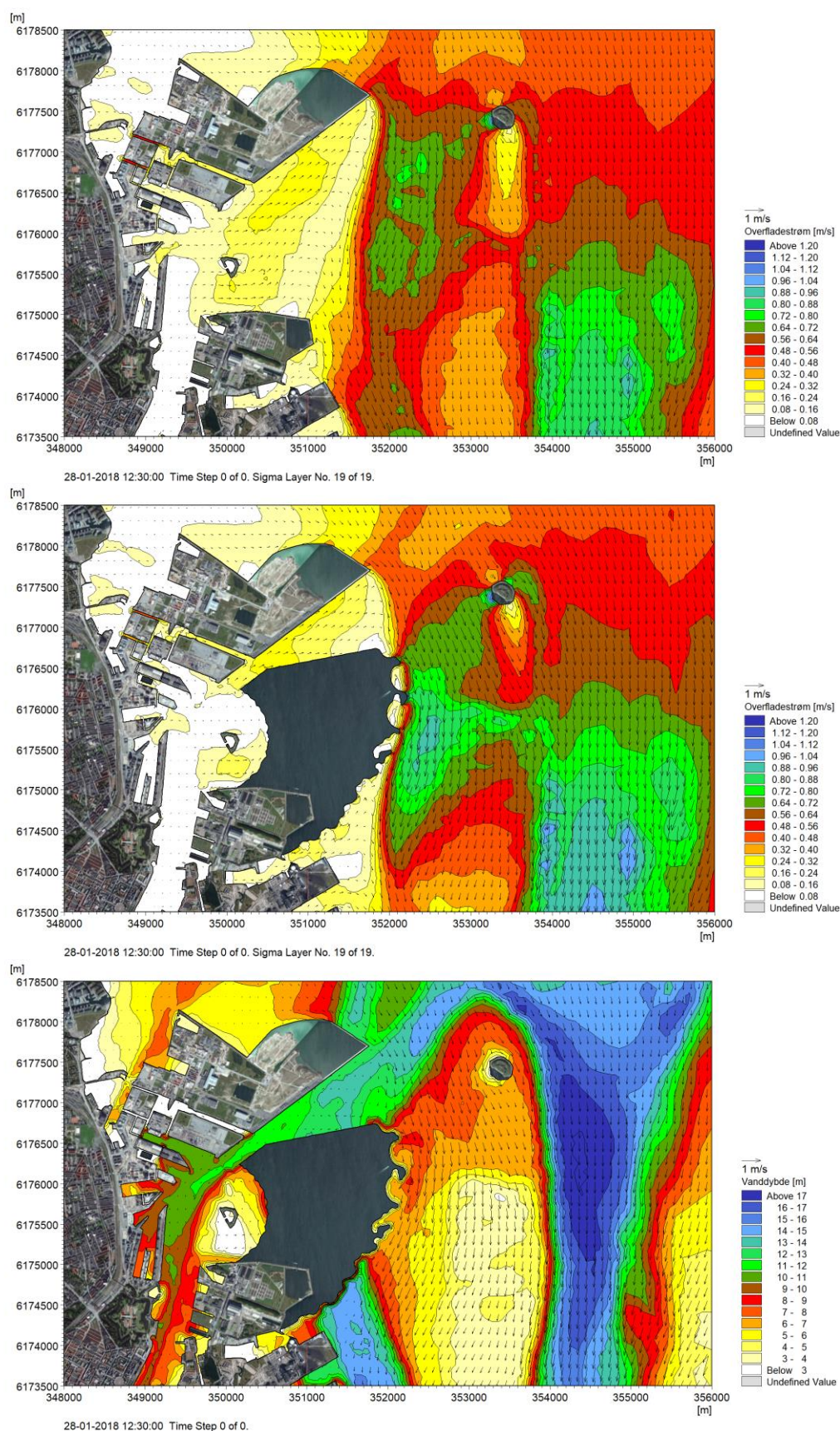


Figur 6-12 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig sydgående strømning og opfyldning med kystlandskab.

For samme strømsituation med kraftig sydgående strøm er overfladehastighederne vist i Figur 6-13 for henholdsvis eksisterende forhold og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab og i Figur 6-14 for Lynetteholm med kystlandskab. Overfladehastighederne er større end de dybdemidlede hastigheder, så påvirkningen fremtræder relativt større i disse plots. Til hjælp for forståelse af strømbilledet er der igen indsat et plot af vanddybderne nederst i figuren. Strømmen svækkes i området ved Nordhavnopfyldningens nordøstlige spids, hvor der i dag udledes overskudsvand fra Nordhavnsdeponiet. De dæmpede strømforhold vil gøre det lettere at lægge til ved den planlagte containerterminal langs Nordhavnopfyldningens nordøstlige kaj, idet tværstrømseffekter mindskes.

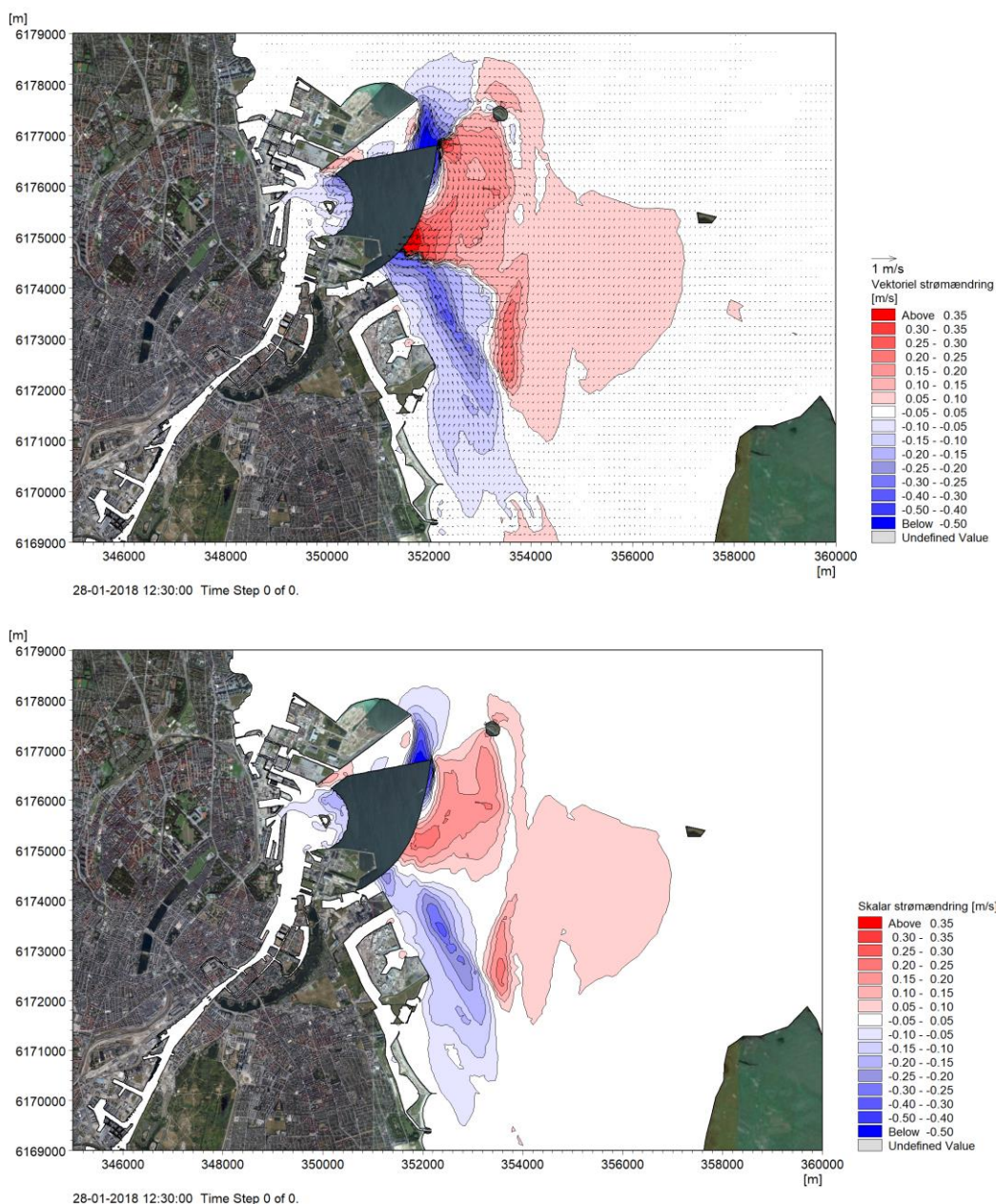


Figur 6-13 Overfladehastighed under forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.



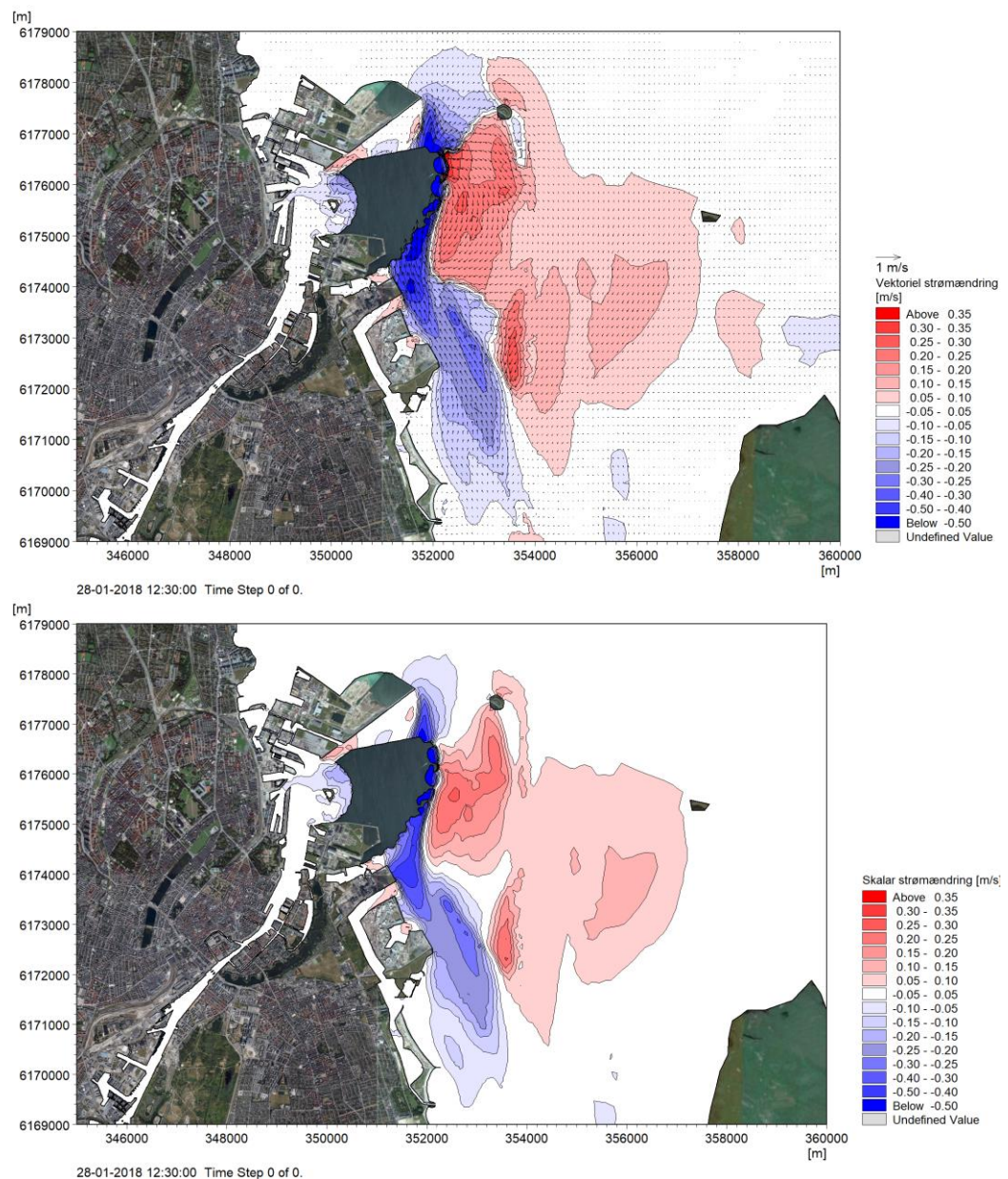
Figur 6-14 Overfladehastighed under forhold med stærk sydgående strøm 28. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.

Ændringerne i overfladestrømmen for en udbygning uden kystlandskab er vist øverst i Figur 6-15 beregnet som den vektorielle forskel, hvor der tages hensyn til ændring af strømrretningen og nederst ved en skalar beregning, hvor der alene tages hensyn til ændringen i strømmens størrelse. Påvirkningen af overfladestrømmen er analog med den dybdemidlede ændring, men ændringerne er større.



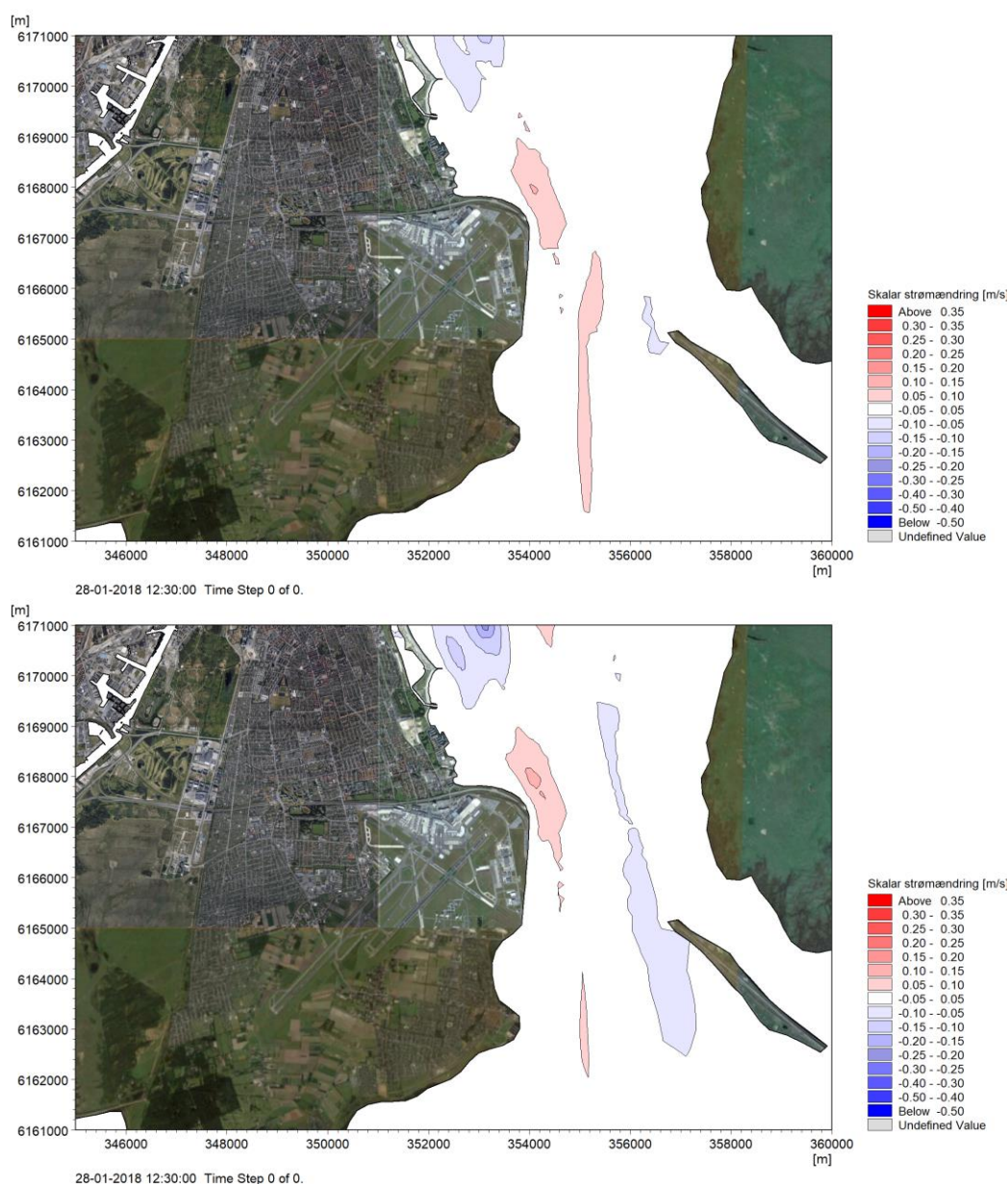
Figur 6-15 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.

De tilsvarende strømændringer for en udbygning med et kystlandskab er vist i Figur 6-16. I udbygningen med et kystlandskab er strømdæmpningen ud for Amagerværket noget kraftigere end ved en udbygning uden kystlandskab. Ligeledes ses det, at området med strømforstærkning i området øst for opfyldningen er lidt kraftigere end ved en udbygning uden et kystlandskab.



Figur 6-16 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.

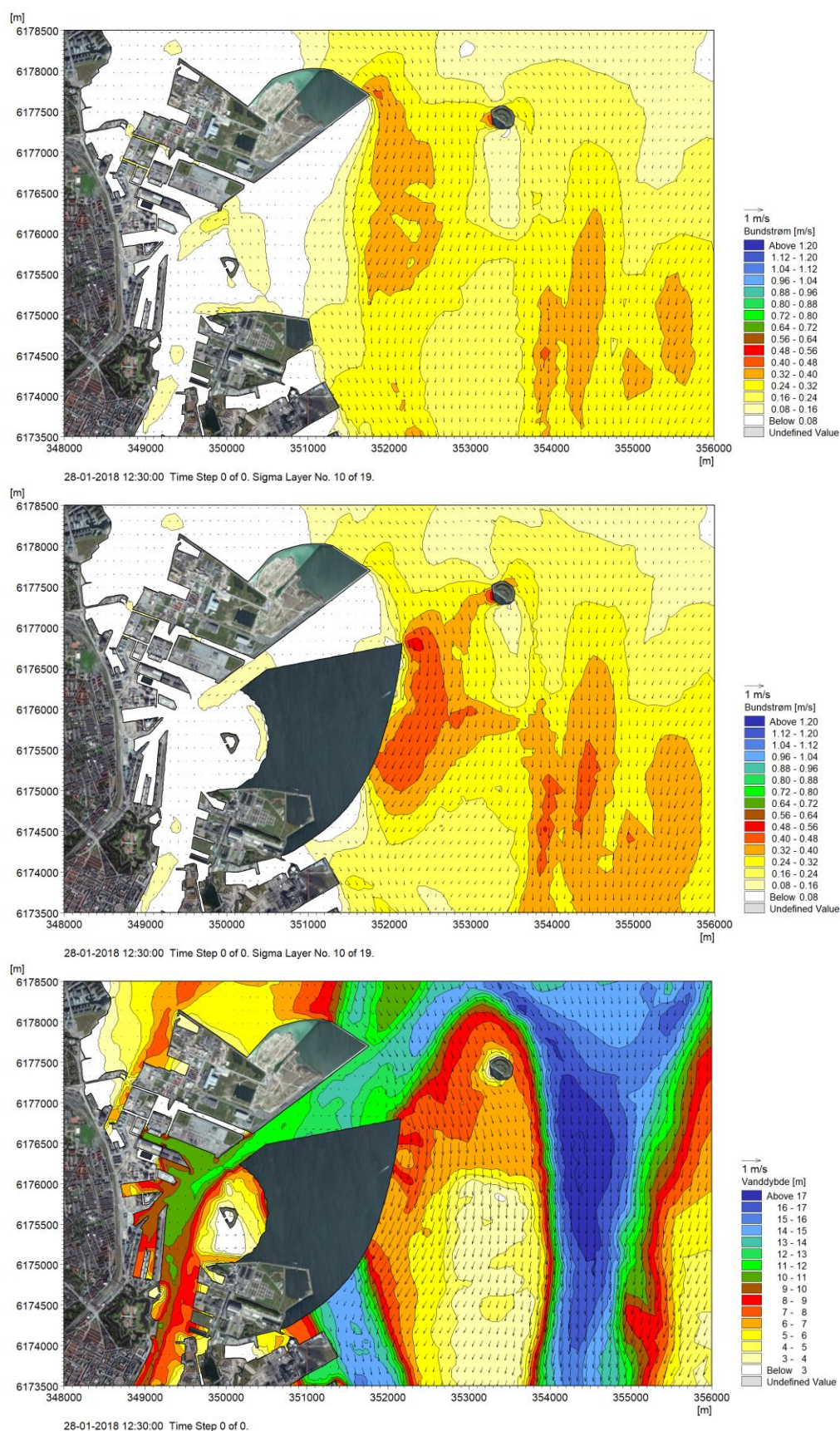
Syd for det viste udsnit er der en mindre påvirkning af overfladestrømmen i den centrale del af Drogdenrenden, som kan mærkes op til cirka 4 km syd for Øresundsbroen. Påvirkningen er typisk mellem 5-7 cm/s. Påvirkningsområderne for de to udbygninger er vist i Figur 6-17. Udbygningen uden et kystlandskab skaber hovedsagelig en strømforstærkning i området, mens udbygningen med et kystlandskab har strømforstærkning i den vestlige del og strømsvækkelse i den østlige del af Drogdenrenden.



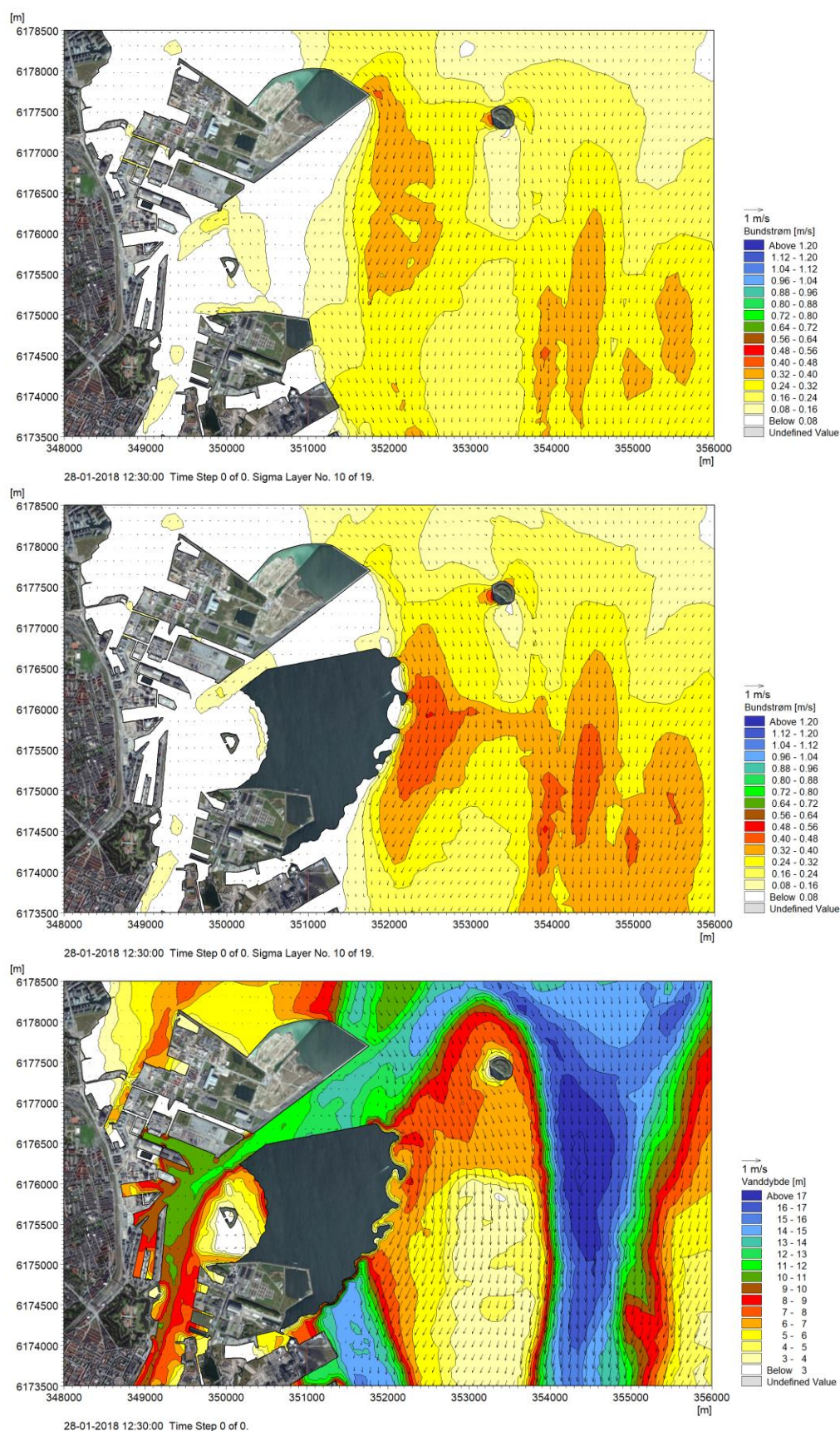
Figur 6-17 Skalar beregnet strømændring i området syd for opfyldningen.
Øverst: Udbygning uden kystlandskab, Nederst: Udbygning med kystlandskab.

Figur 6-18 viser bundhastigheder for samme hændelse med sydgående strøm for henholdsvis eksisterende forhold og en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab og i Figur 6-19 med et kystlandskab. Bundhastighederne er som følge af bundfriktion mindre end de dybdemidlede hastigheder, så påvirkningen fremtræder relativt mindre. Til hjælp for forståelse af strømbilledet er der igen indsat et plot af vanddybderne.

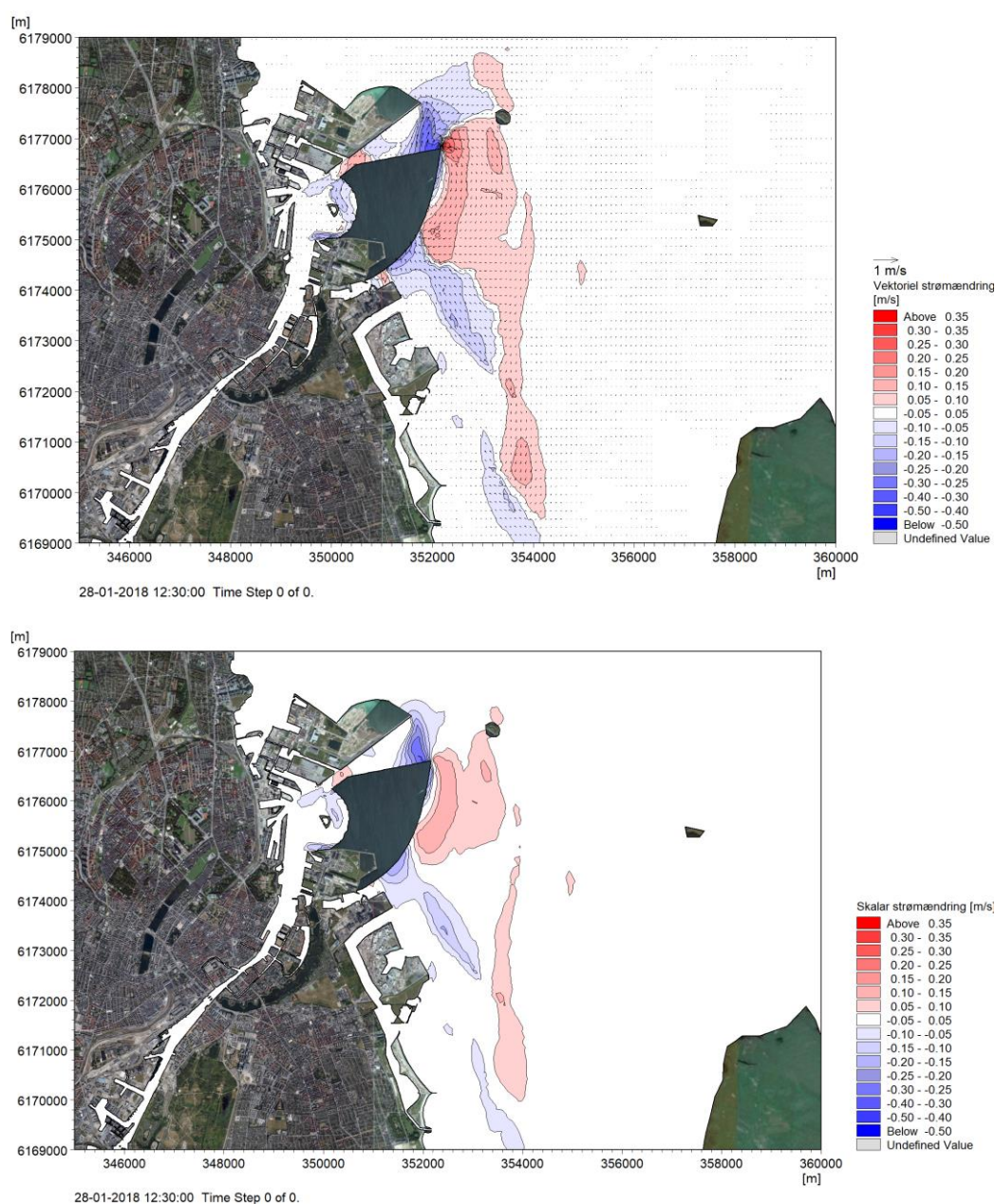
De fremtidige ændringer i strømforhold er vist i Figur 6-20 og Figur 6-21 for en Lynetteholm udbygning henholdsvis uden og med et kystlandskab langs den østlige perimeter. Det ses også af disse plots, at strømningen gennem Kongedybet afskæres, for i stedet at blive ledt øst om opfyldningen henover Middelgrunden og via Hollænderdybet.



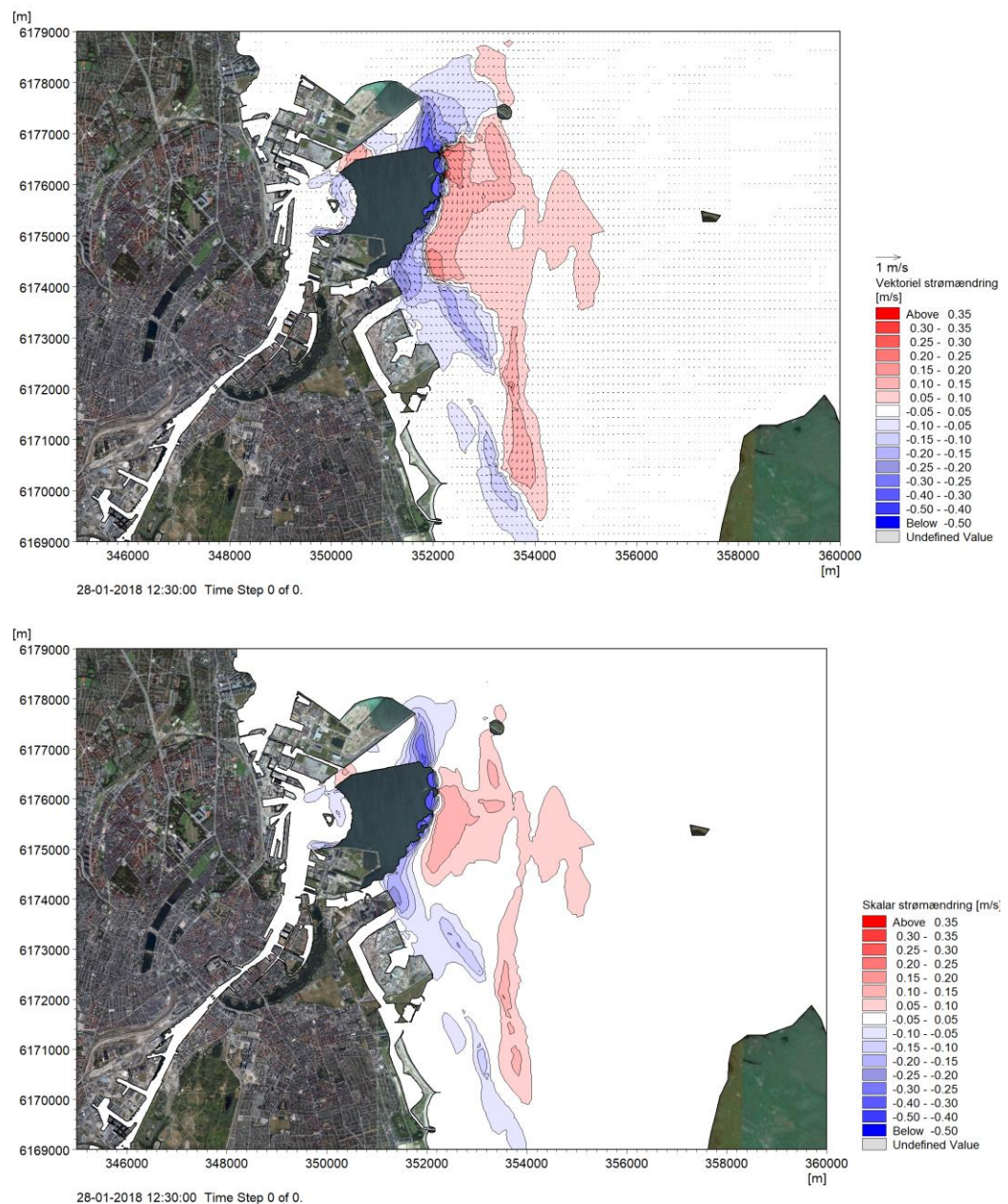
Figur 6-18 Bundhastighed under forhold med stærk sydgående strøm. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vandybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer for forhold med stærk sydgående strøm og vandybde.



Figur 6-19 Bundhastighed under forhold med stærk sydgående strøm. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer for forhold med stærk sydgående strøm og vanddybde.



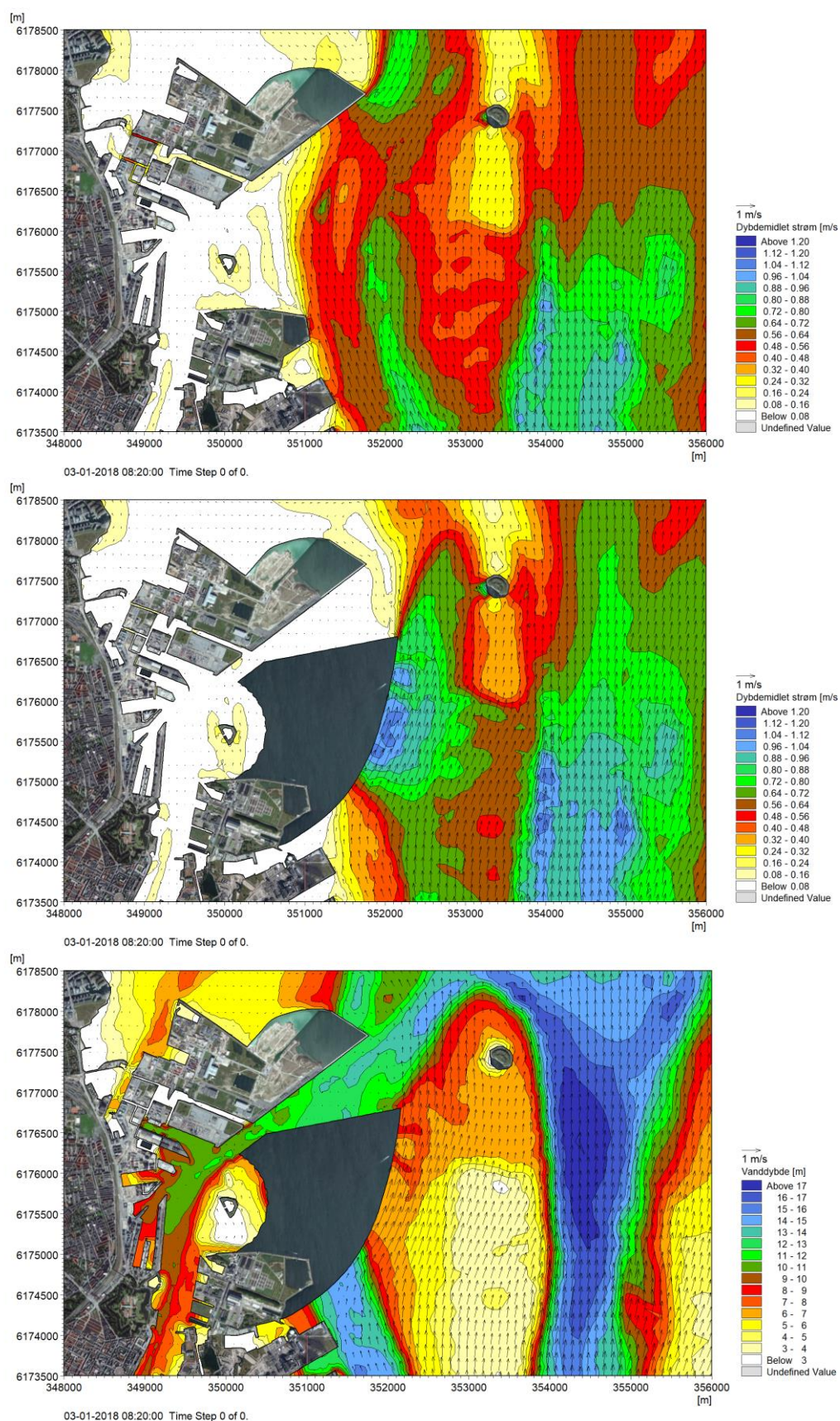
Figur 6-20 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.



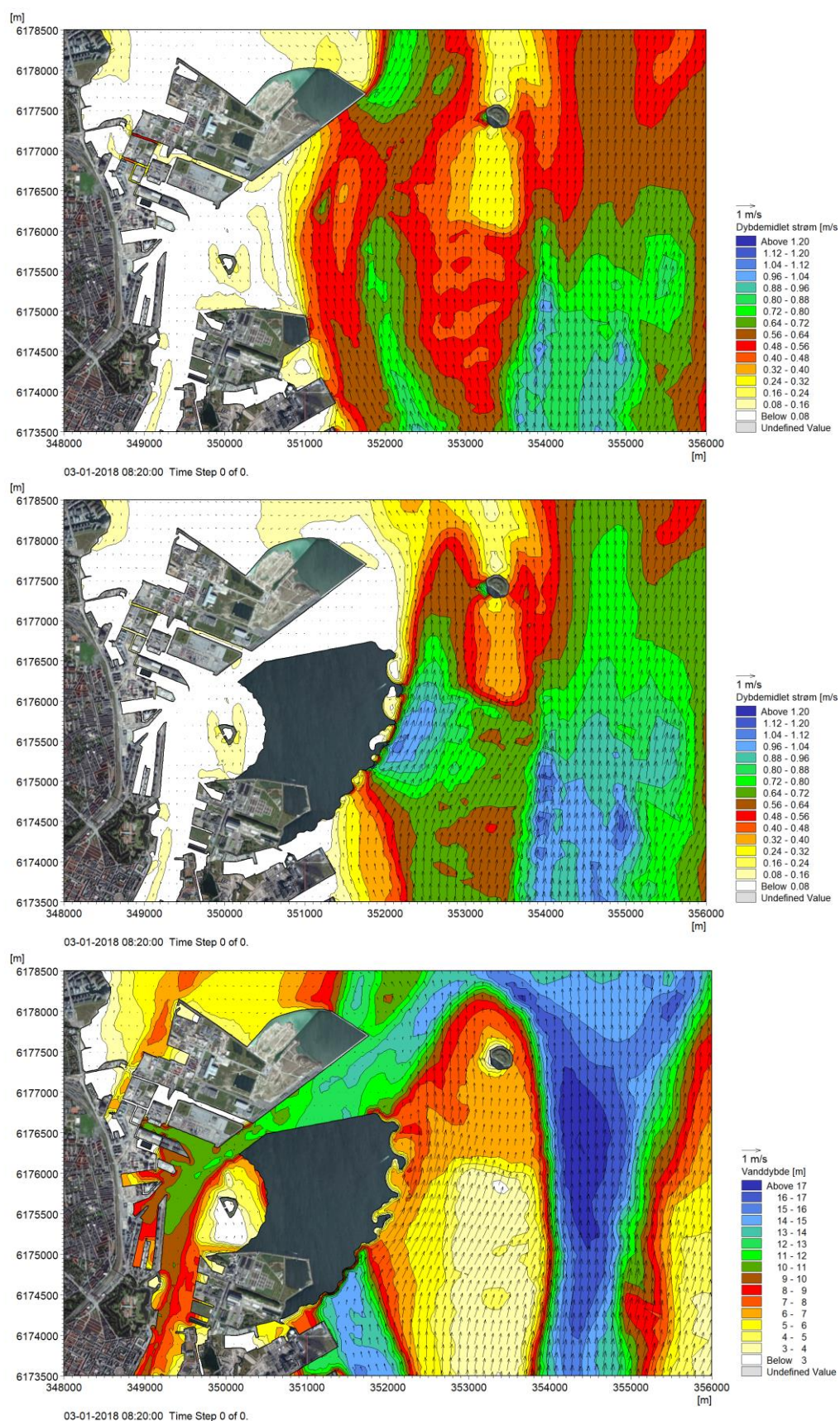
Figur 6-21 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig sydgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.

6.1.2.2 Forhold med stærk nordgående strøm

Lynetteholm opfyldningen påvirker de lokale strømningsforhold både med og uden et kystlandskab langs den østlige perimeter. I dette afsnit belyses påvirkningen for en situation med kraftig nordgående strøm. Med opfyldningens lukning af Kongedybet vil strømmen fra Drogden være tvunget længere østpå, således at strømmen svækkes i den tilbageværende del af Kongedybet og forstærkes langs store dele af Lynetteholms østlige perimeter samt i Hollænderdybet øst for Middelgrunden.

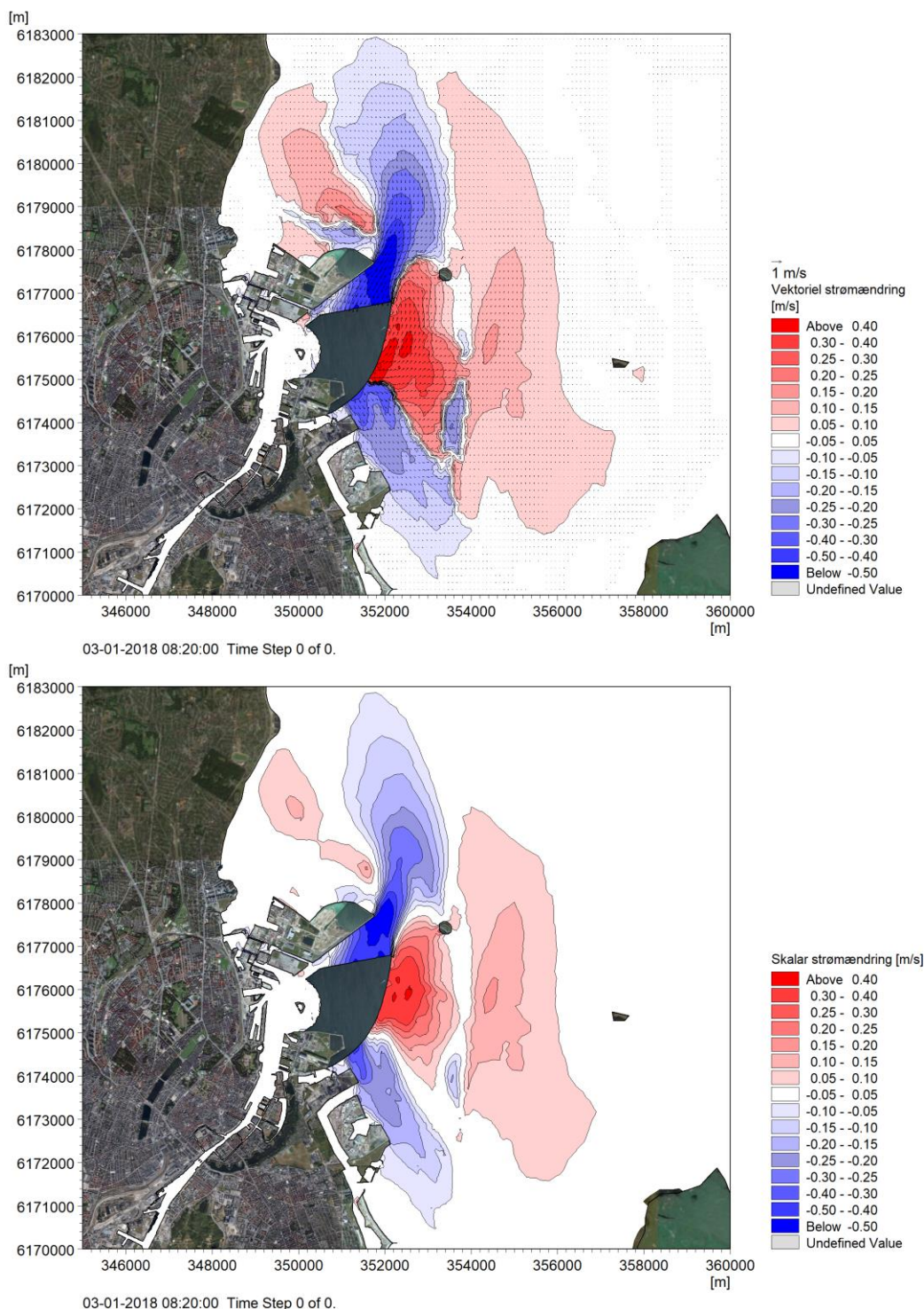


Figur 6-22 Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybde overlejret med strømvektorer.



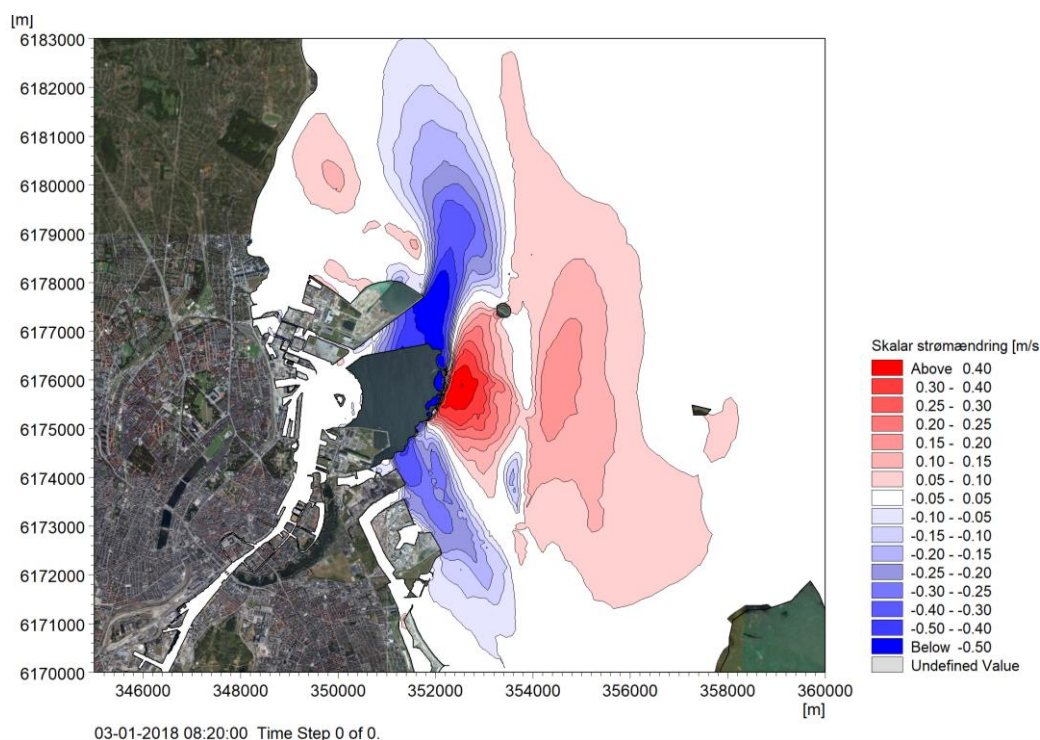
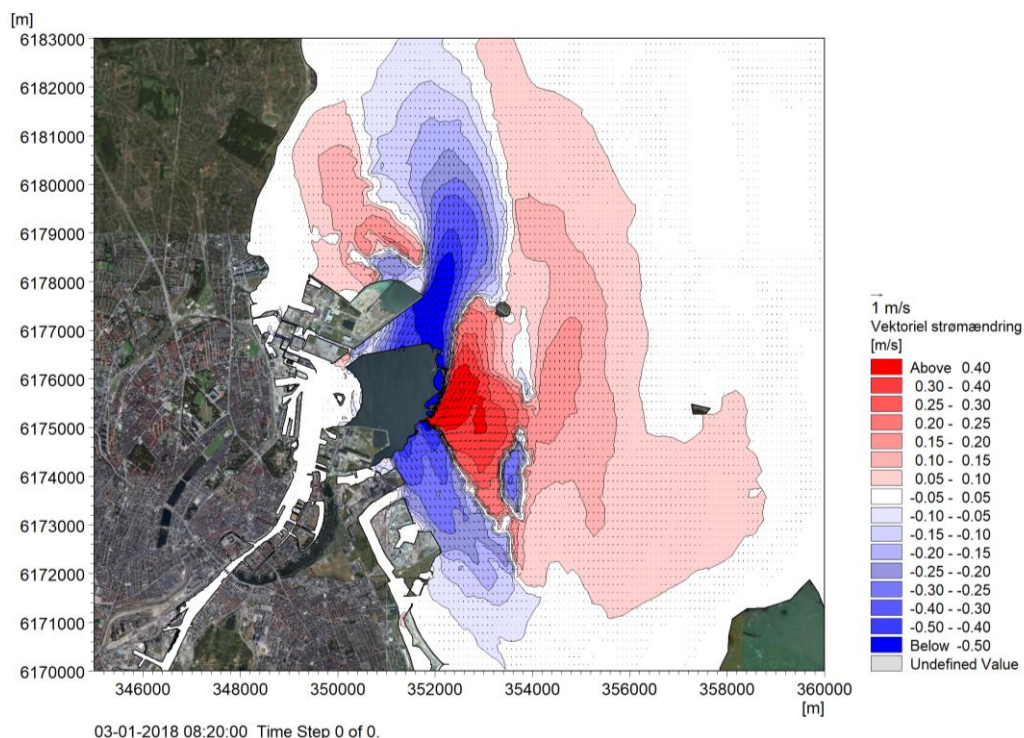
Figur 6-23 Dybdemidlet strømhastighed og vanddybder for forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med strømvektorer.

I Figur 6-22 (øverst) er der med udgangspunkt i eksisterende forhold vist et dybdemidlet strømfelt for en situation med kraftig nordgående strøm (3. januar 2018). Den tilsvarende situation med Lynetteholm uden et kystlandskab etableret er vist nederst i figuren. Tilsvarende viser Figur 6-23 strømforholdene med et kystlandskab. Strømhastighederne under denne nordgående hændelse er noget kraftigere end den ovenfor beskrevne sydgående hændelse.

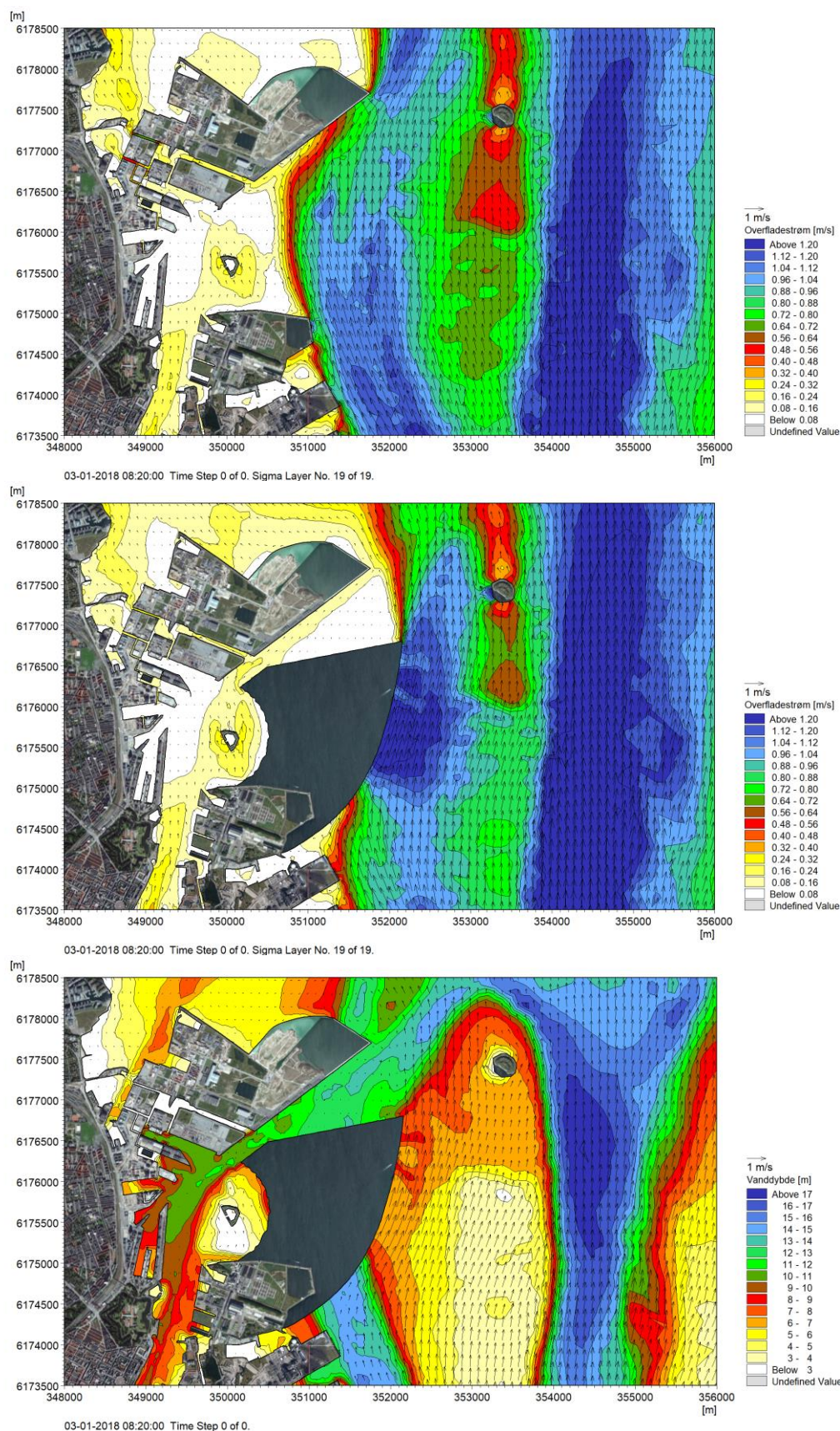


Figur 6-24 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig nordgående strømning og opfyldning uden kystlandskab.

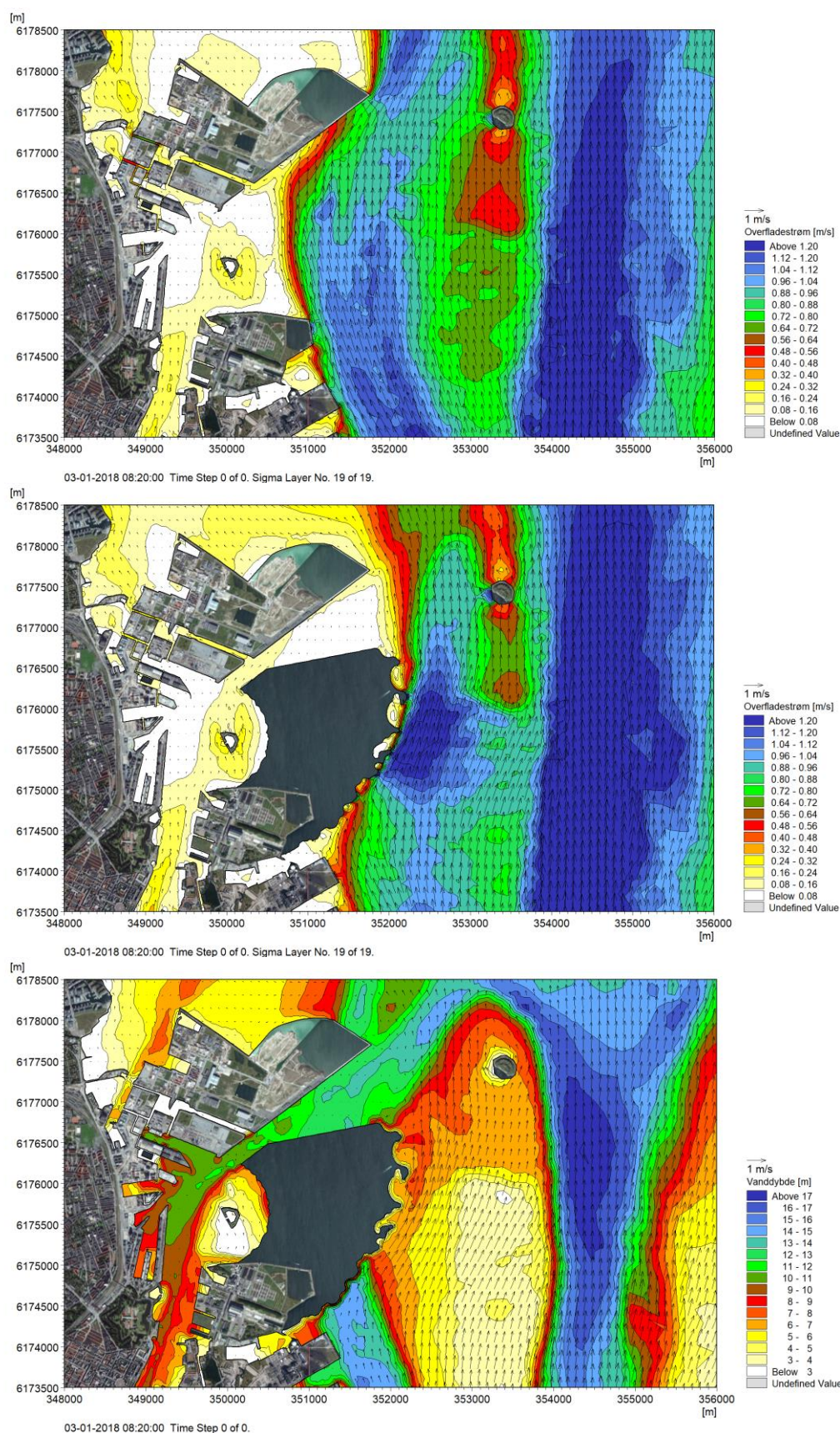
Det ses, at der opstår en strømforstærkning langs store dele af den østlige perimeter, men at strømmen svækkes øst for Nordhavnsplidsen og i Kongedybet ud for Amagerværket samt Prøvestenen syd for Lynetteholm. I layoutet med kystlandskab er der strøm læ i de konkave lommer, hvor strande etableres. Lommerne med strøm læ sikrer at badning kan foregå forsvarligt. Uden for lommerne vil strømmen til gengæld ofte være kraftig og badning må derfor frarådes i disse områder. Til hjælp for forståelse af strømbilledet er der nederst indsat et plot af vanddybder på pågældende tidspunkt.



Figur 6-25 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af dybdemidlet strøm for forhold med kraftig nordgående strømning og opfyldning med kystlandskab.



Figur 6-26 Overfladehastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.



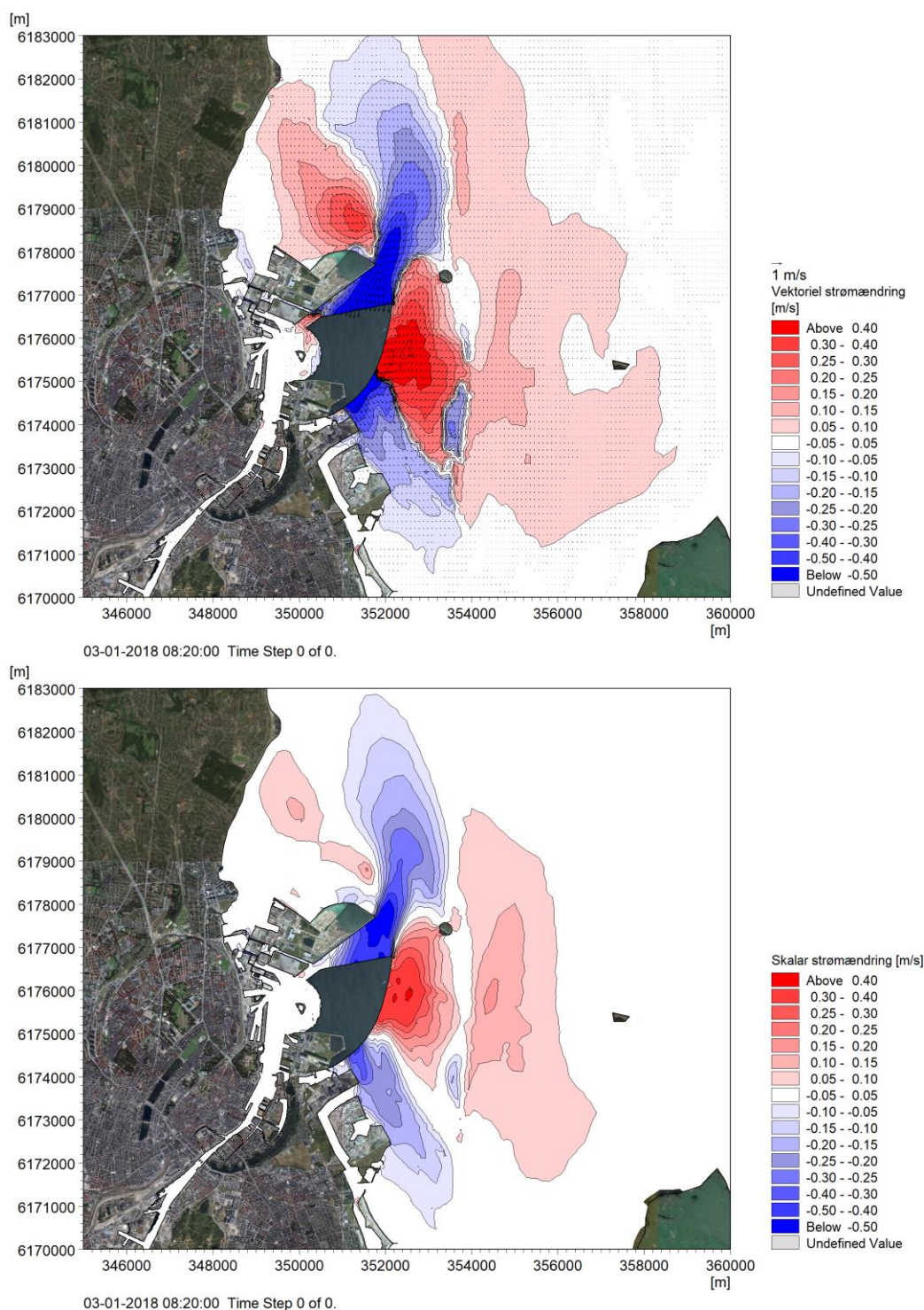
Figur 6-27 Overfladehastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.

I Figur 6-24 og Figur 6-25 er strømaendringer beregnet og vist i form af den vektorielle ændring, hvor der tages hensyn til ændringer i strømretningen og som en skalar ændring, hvor der alene tages hensyn til ændringer i strømmens størrelse. I plottene er der zoomet lidt ud for at dække hele påvirkningsområdet. Det ses, at ændringer i dybdemidlet strøm og strømretning under denne hændelse kan mærkes i et område, som har en udstrækning på næsten 10 x 14 km for layoutet med et kystlandskab. Påvirkningsområdets udstrækning er lidt mindre for layoutet uden et kystlandskab. I begge layouts er der en markant strømsvækkelse i Kongedybet og i Kronløbet ved munden ind til havnen. I Svanemølle-bugten (området vest for en linje mellem Nordhavnsipidsen og Skovshoved) opstår der en mindre strømforstærkning, som har betydning for vandskiftet i bugten, der kan karakteriseres som et idvande. I Hollænderdybet og forlængelsen af dette finder man en forstærkning af dybdemidlet strøm på mellem 5-19 cm/s over en strækning på cirka 12 km. Strømsvækkelsen i Kongedybet ud for Amagerværket, kan have betydning for Amagervandets brug af kølevand, da vandskiftet vil nedsættes generelt i dette område.

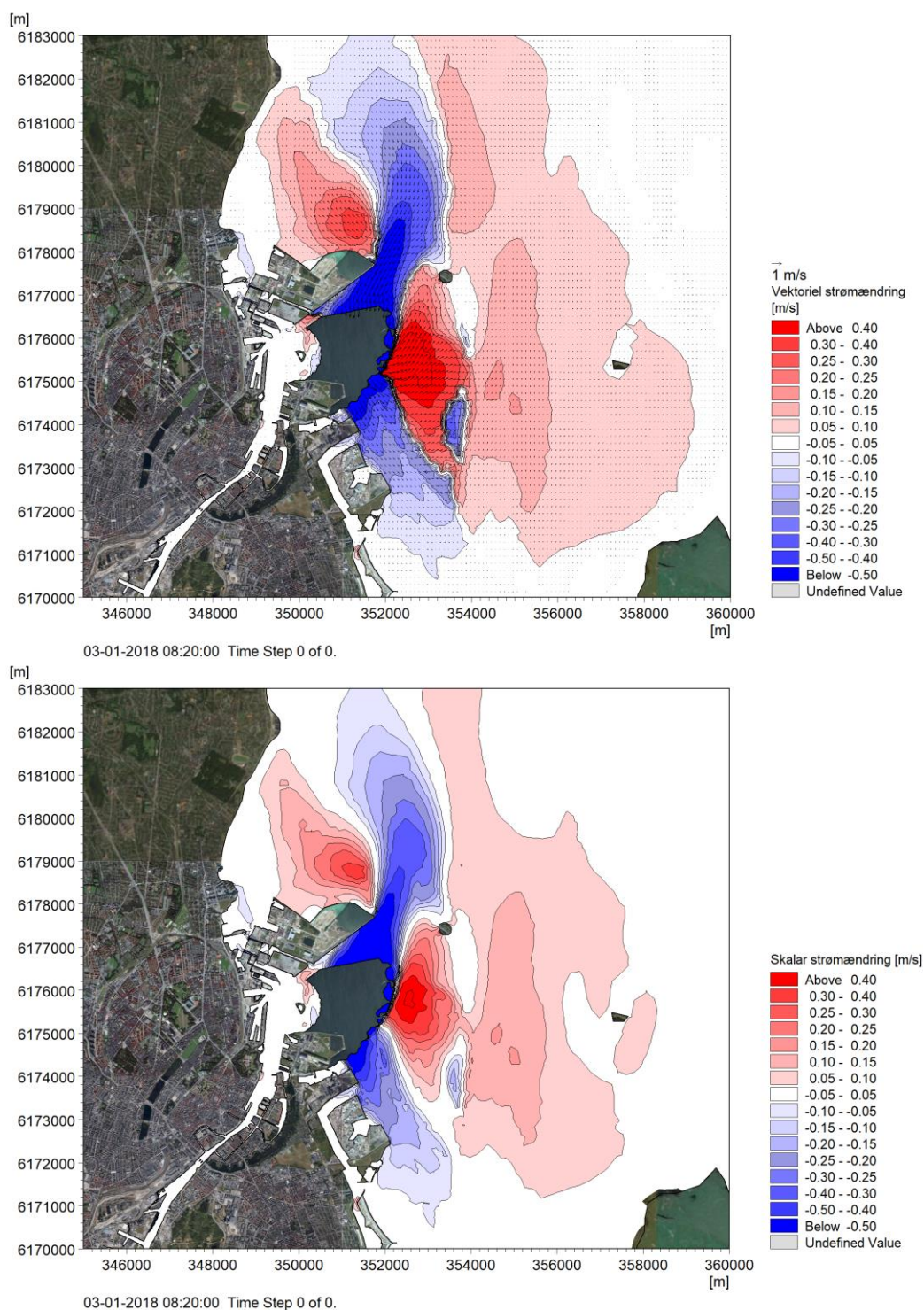
For samme situation med nordgående strøm er overfladehastighederne vist i Figur 6-26 for henholdsvis nuværende forhold og med en Lynetteholm opfyldning uden et kystlandskab, mens Figur 6-27 viser det tilsvarende for en opfyldning med et kystlandskab. Overfladehastighederne er større end de dybdemidlede hastigheder, så påvirkningen fremtræder relativt større. Til hjælp for forståelse af strømbilledet er der igen indsat et plot af vanddybderne.

Ændringerne i overfladestrømmen er vist øverst i Figur 6-28 og Figur 6-29 beregnet som den vektorielle forskel, hvor der tages hensyn til ændring af strømretningen og nederst ved en skalar beregning, hvor der alene tages hensyn til ændringen i strømmens størrelse. Billedet er analogt med den dybdemidlede ændring, men ændringerne er større. Det ses, at der er en relativ stor ændring af strømmene nord for Nordhavnsopfyldningen, som relaterer til at Lynetteholmens østlige perimeter styrer retningen på flowet, så den i modsætning til i dag vil glide mere langs med den nordlige del af Nordhavnsopfyldningen.

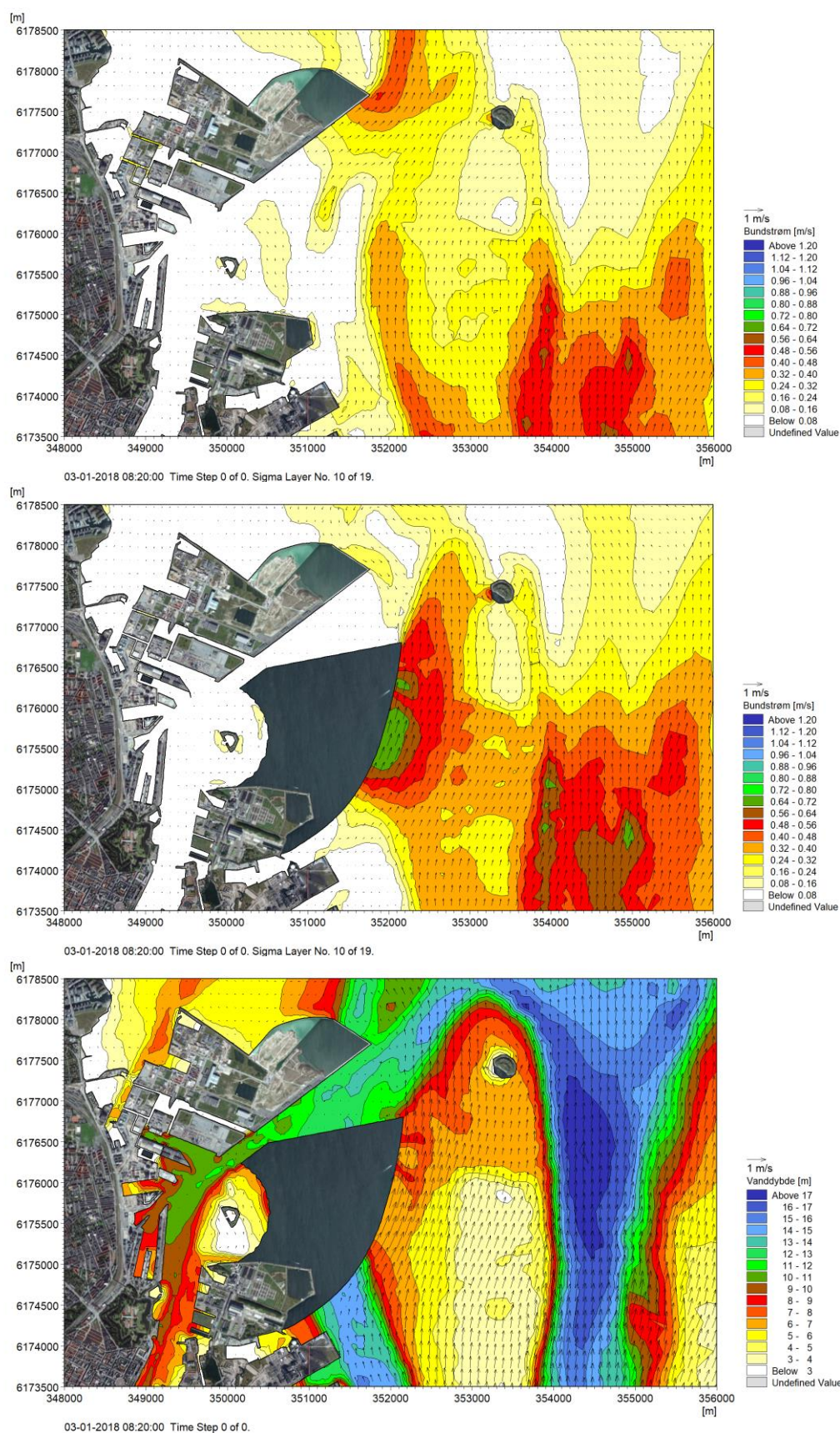
Figur 6-30 viser bundhastigheder for samme nordgående strømsituation for henholdsvis nuværende forhold og med en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab og tilsvarende i Figur 6-31 med et kystlandskab. Bundhastighederne er som følge af bundfriktion mindre end de dybdemidlede hastigheder, så påvirkningen fremtræder relativt mindre. Til hjælp for forståelse af strømbilledet er der igen indsat et plot af vanddybderne på det pågældende tidspunkt. Ændringer i bundstrømmen er vist i Figur 6-32 og Figur 6-33. Det ses, at bundstrømmene i modsætning til overfladestrømmen svækkes i området nord for Nordhavnsopfyldningen, hvilket indikerer at der vil komme en ændring i den vertikale cirkulation (3D-effekter).



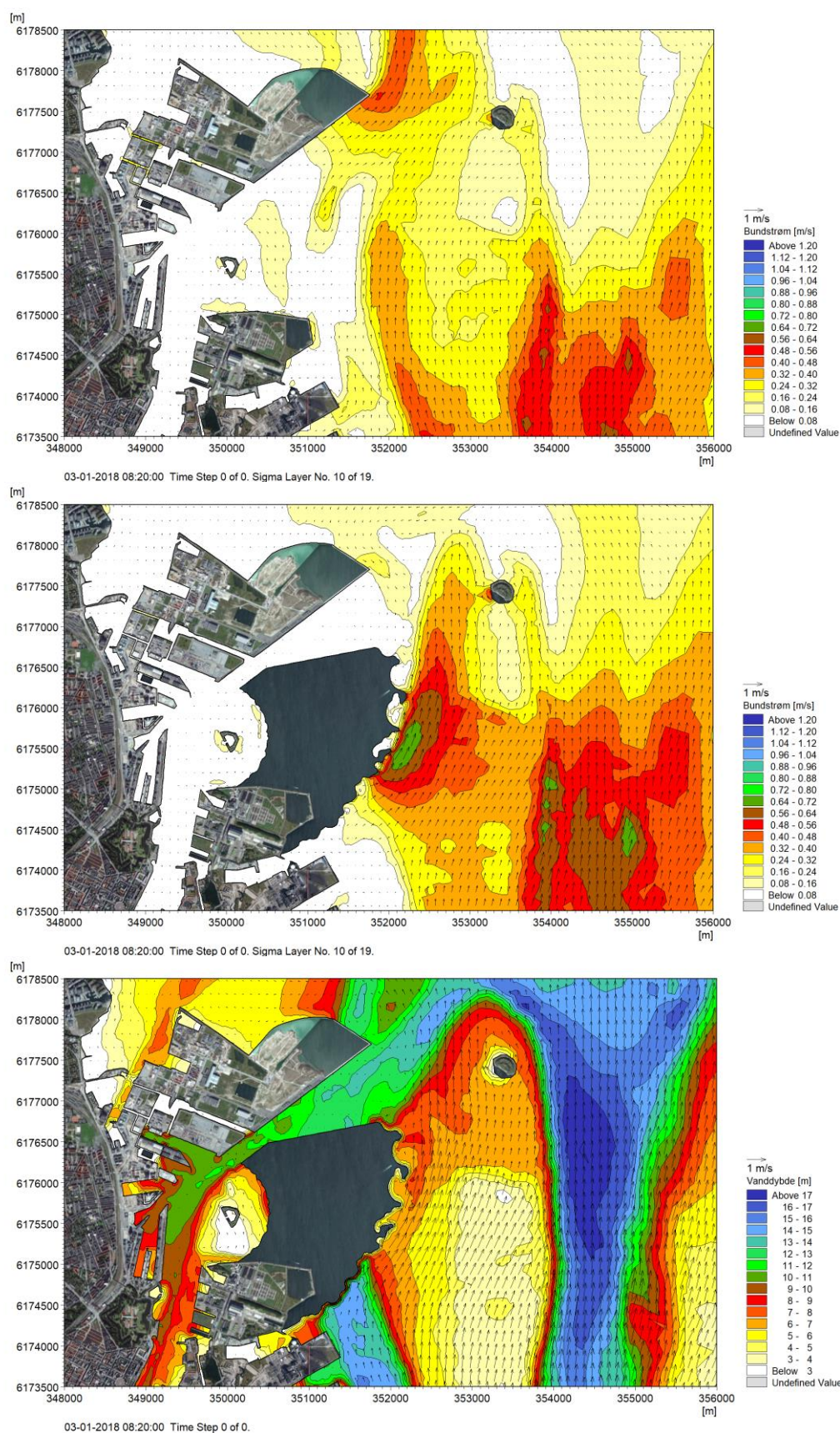
Figur 6-28 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.



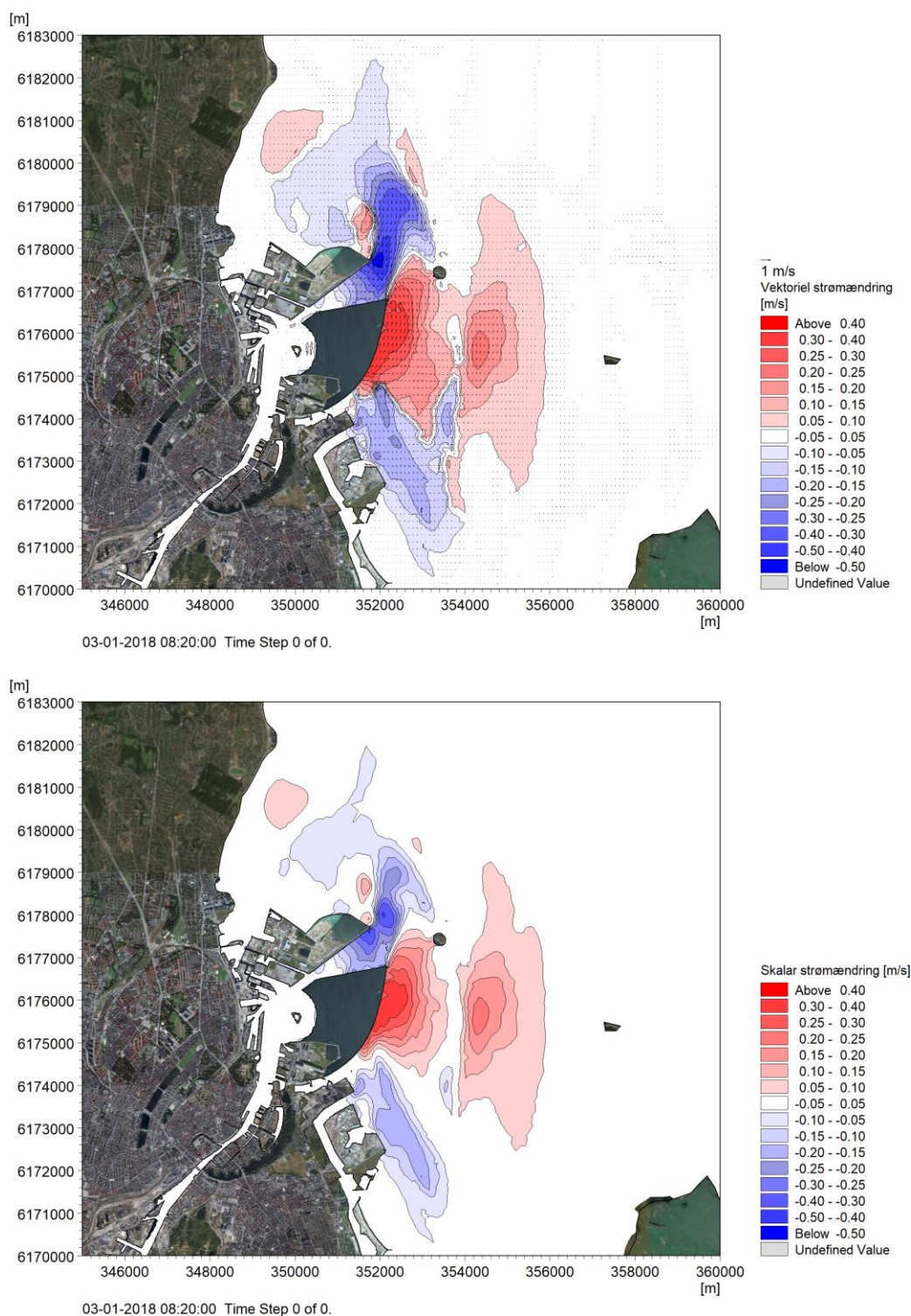
Figur 6-29 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af overfladestrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.



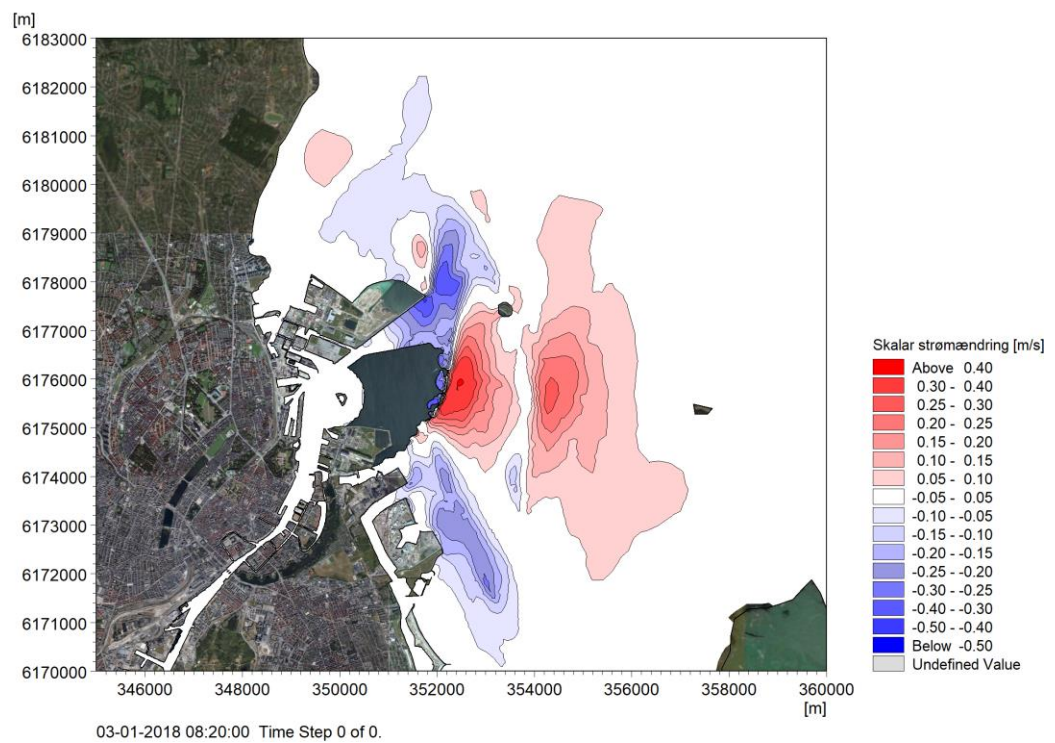
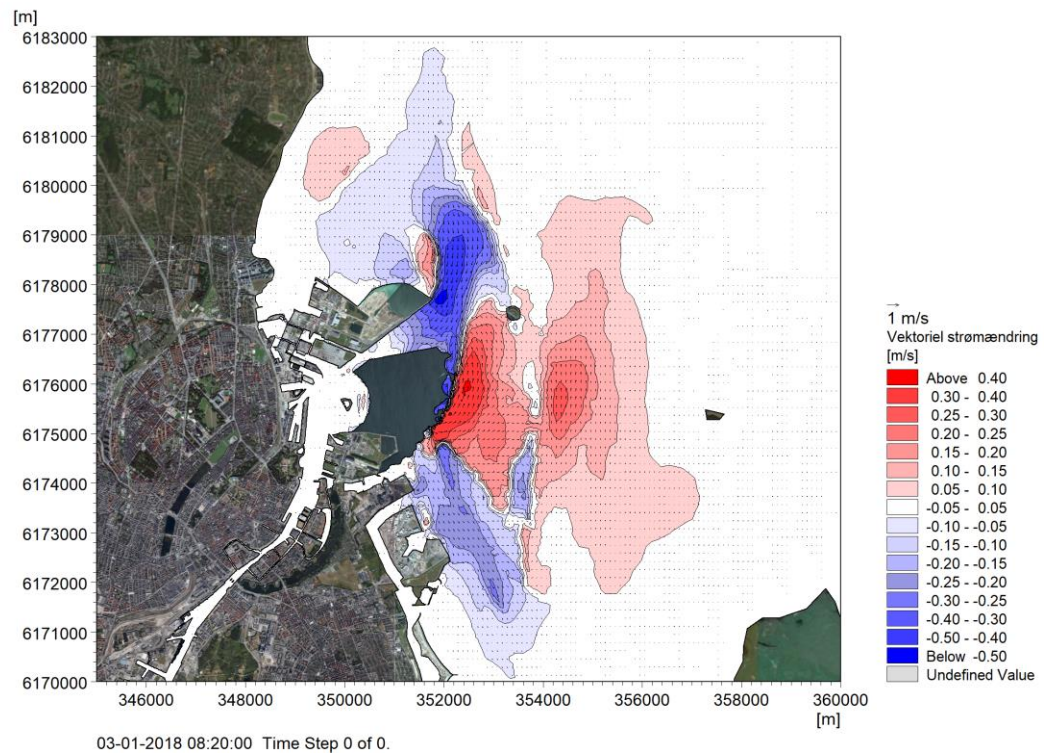
Figur 6-30 Bundhastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm uden kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.



Figur 6-31 Bundhastighed under forhold med stærk nordgående strøm 3. januar 2018. Øverst: Eksisterende forhold, Midt: Lynetteholm med kystlandskab, Nederst: Vanddybder overlejret med dybdemidlet strømvektorer.



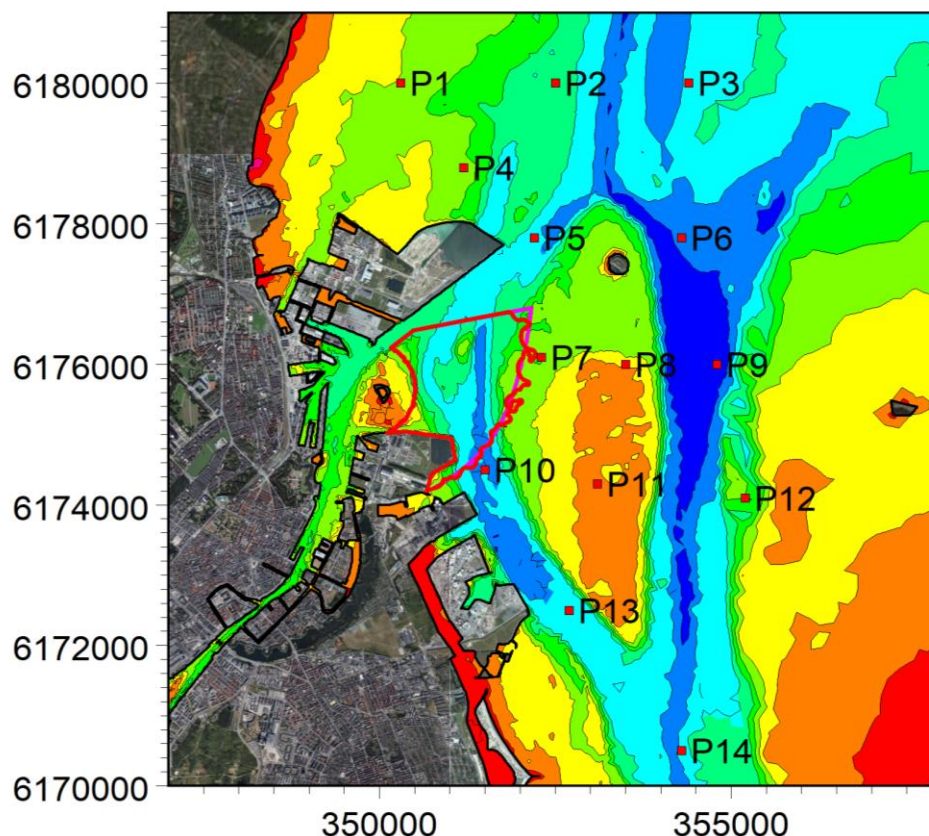
Figur 6-32 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning uden kystlandskab.



Figur 6-33 Vektoriel (øverst) og skalar (nederst) beregnet ændring af bundstrøm for forhold med kraftig nordgående strømning og Lynetteholm udbygning med kystlandskab.

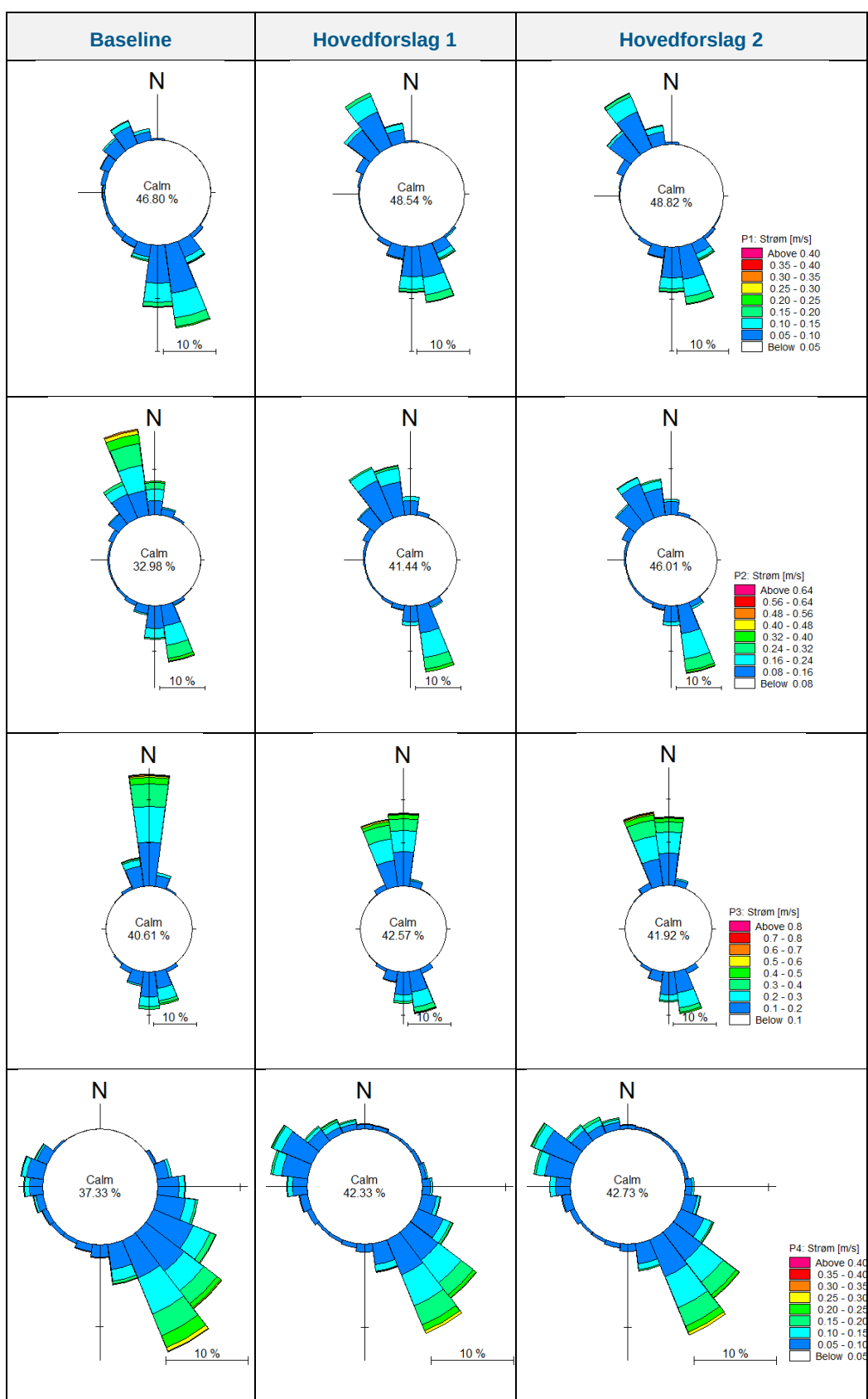
6.1.2.3 Dybdemidlet strømroser

De i foregående afsnit viste strømfelter indikerer, at det lokale udstrækningsområde, hvor strømforholdene kan være påvirket, for visse strømsituationer er relativt stort. I dette afsnit vises strømroser i 14 udtrækspunkter fordelt som vist i Figur 6-34. Strømroserne giver et dybdemidlet billede af strømmens retninger, størrelse og af varigheden hvormed den forekommer i det givne område. Ved at sammenholde strømroserne for henholdsvis baseline og de to hovedforslag for en etablering af Lynetteholm, får man et billede af hvordan de fremtidige strømforhold bliver og hvor meget de ændres i de givne områder.



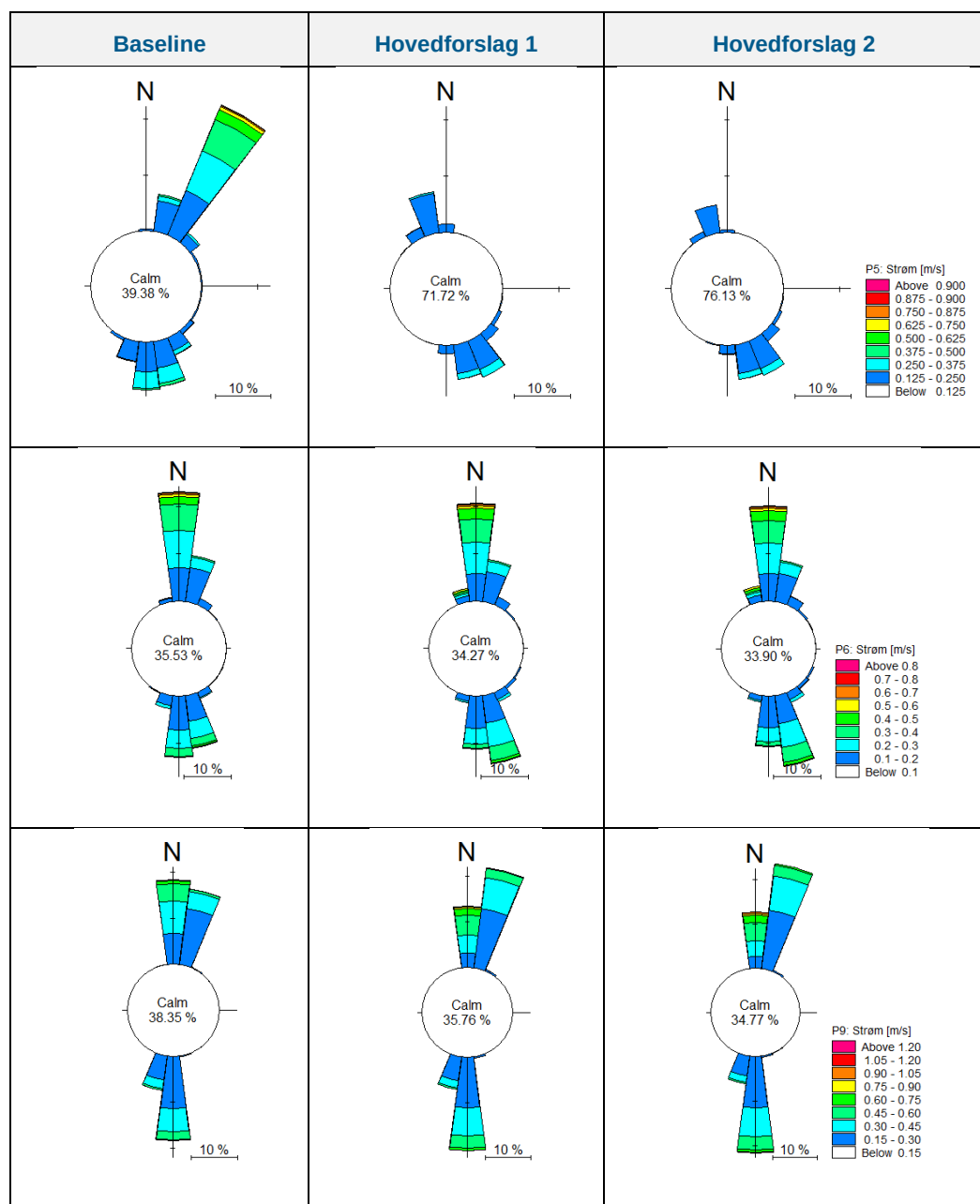
Figur 6-34 Udtrækspunkter for strømroser. Pink omrids: Hovedforslag 1 - Lynetteholm afgrænset med spuns og stenkastning. Rødt omrids: Hovedforslag 2 - Lynetteholm med kystlandskab.

Strømroserne P1-P4 er placeret i området nord for Nordhavnsopfyldningen og Middelgrunden og er vist i Figur 6-35 for eksisterende forhold og de to hovedforslag for Lynetteholm udbygningen. Strømroserne viser den retning, som strømmen løber og størrelsen af den ved hjælp af den angivne farve. Endvidere angiver længden af aksestykket i hvor stor en del af et år (angivet i %) den pågældende strømsituation må forventes at optræde. Punkterne P1 og P4 er placeret inde i den zone som former et idvande i området mellem Nordhavnsspidsen og Skovshoved. Et idvande er et delvist aflukket område, hvor der opstår en strømningscirkulation, som drives af den gennemgående strømning ude i den åbne del af Øresund. Det ses, at strømmingen i de to punkter i dag er domineret af syd, sydøst gående strømning. Denne dominans bliver svækket med Lynetteholm udbygningen, idet der bliver flere strømsituationer med nord, nordvest rettet strømning. Lynetteholmen ses derfor at have en forbedrende effekt på vandskiftet i dette område. I punktet P2 er den sydgående strøm svagt forstærket, mens der ved nordgående strøm vil være en mærkbar strømsvækkelse. I punktet P3 er effekten primært en drejning af strømmen på cirka 5 grader i retning mod uret, for både sydgående og nordgående strøm, som en konsekvens af en øget strømning gennem Hollænderdybet.

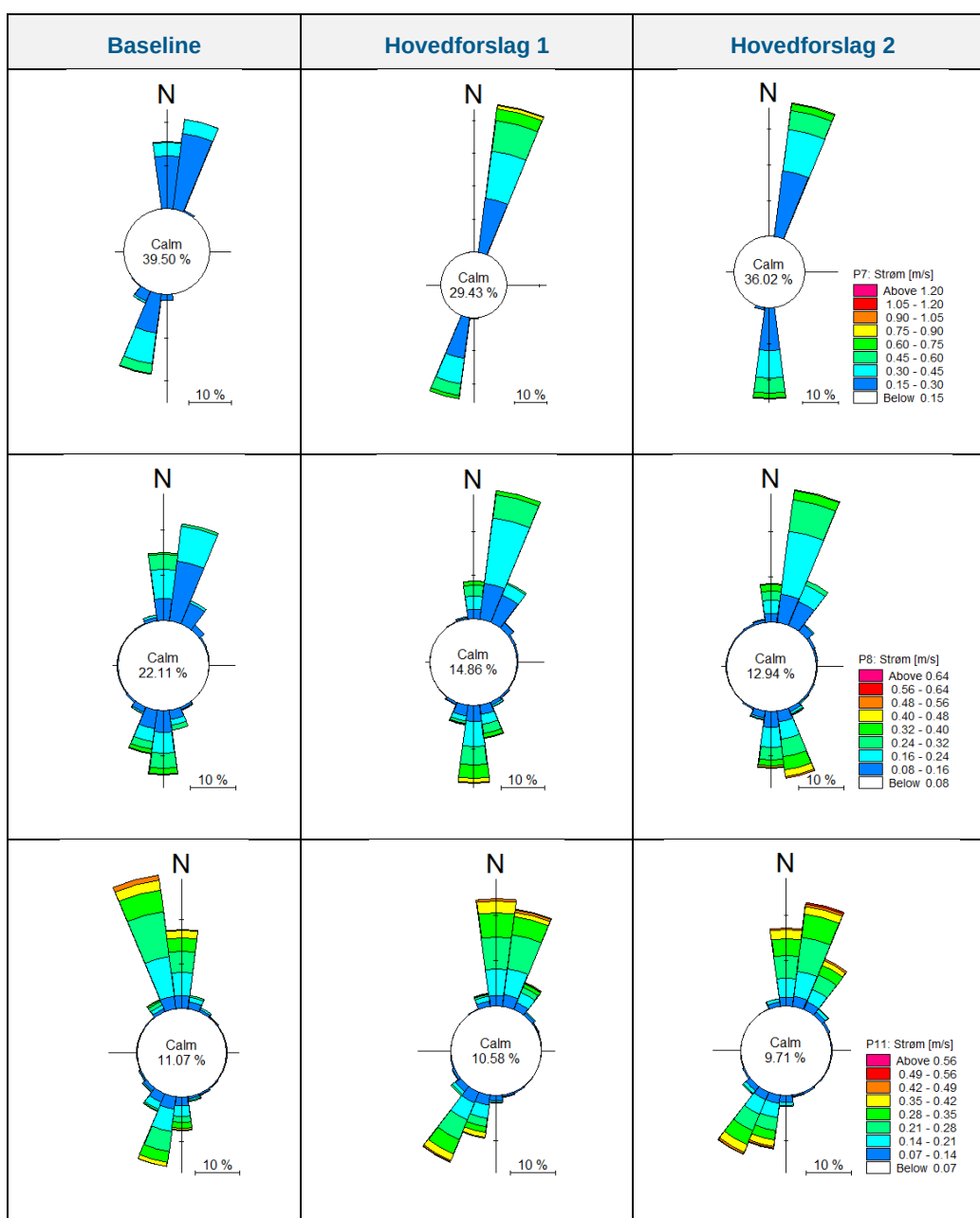


Figur 6-35 Strömroser visende dybdemidlet strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P1-P4. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.

Punkterne P5, P6 og P9 er placeret i henholdsvis Kronløbet og Hollænderdybet. De tilhørende strømrøser er vist i Figur 6-36. Strømningen i Kronløbet (P5) ændres markant med bygningen af Lynetteholm. Strømningen gennem Kongedybet bliver blokeret, så de kraftige nordgående strømme, som optræder i dag, vil forsvinde og erstattes af langt svagere strømme. Anløb til containerterminalen Nordhavnopfyldningens nordside vil derfor blive lettere, da området ikke længere vil være udsat for kraftig tværstrøm. Omvendt vil opblandingsforholdene ved Nordhavnsspidsen, hvor der i dag udledes overskudsvand fra Nordhavnsdeponiet svækkes. Ligeledes ses strømretningerne at dreje med omkring 30 grader i retning mod uret. I punkterne P6 og P9 i Hollænderdybet er ændringerne relativt begrænset. Den primære effekt er en svag strømforstærkning, som lettest kan ses ved, at perioden med rolige strømforhold (calm) bliver lidt mindre efter en etablering af Lynetteholm. Herved ses også at påvirkningen ved Hovedforslag 2 er lidt større end ved Hovedforslag 1.



Figur 6-36 Strømrøser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P5, P6 og P9. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.

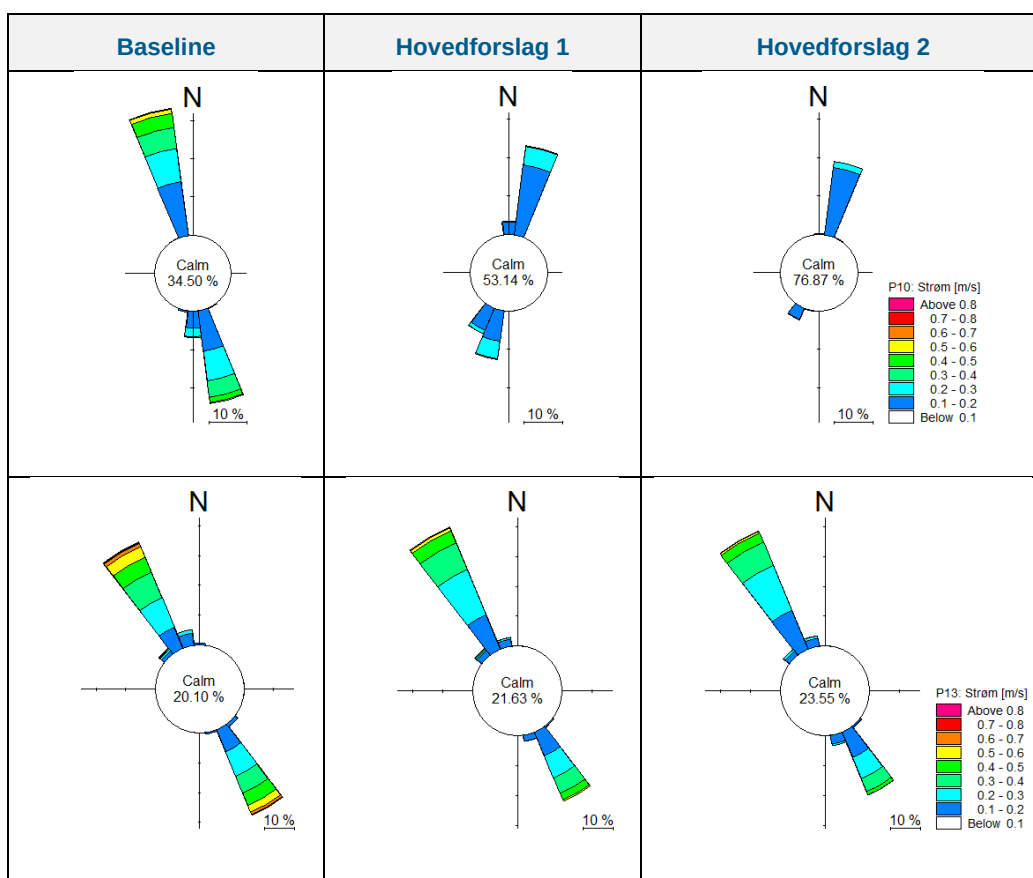


Figur 6-37 Strømrøser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P7, P8 og P11. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.

Punkterne P7, P8 og P11 er placeret på Middelgrunden øst for Lynetteholm. De hertil hørende strømrøser er vist i Figur 6-37. Punktet P7 er placeret lige øst for Lynetteholm og da vandet ikke længere kan løbe igennem Kongedybet, ledes en del af det i stedet langs med den østlige periferi. Punktet P7 oplever derfor en meget kraftig strømforstærkning, ikke mindst i situationer med nordgående strøm. De nordgående strømretninger er relativt uforandrede, mens de sydgående strøme drejer omkring 15 grader i retning mod uret med Hovedforslag 2. Med Hovedforslag 1 ændres de ikke. Punktet P8 ligger i noget større afstand til Lynetteholm, men også her opleves der en strømforstærkning. Strømretningerne drejes svagt med uret ved nordgående strømretning og med omkring 15 grader i retning mod uret for Hovedforslag 2 ved sydgående strømretning. Punktet P11 er placeret på Middelgrunden længere mod syd. Her opleves der også en svag strømforstærkning, men de største ændringer relaterer til en drejning af strømmen på cirka 15 grader i retning med uret ved både nord- og sydgående strømning. Drejningen af strømmen relaterer til lukningen af Kongedybet, som

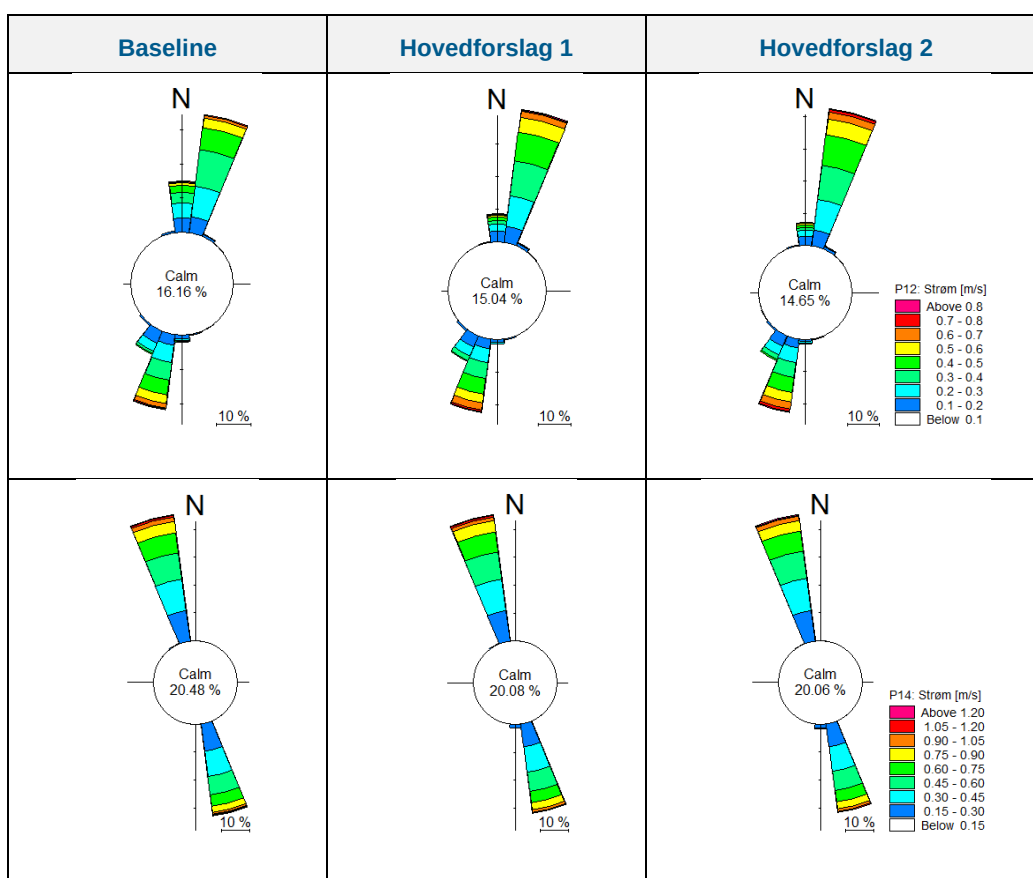
indebærer at der ledes mere vand mellem Hollænderdybet og Kongedybet hen over den sydlige del af Middelgrunden. Bemærk i øvrigt at strømskalaen er tilpasset strømforholdene i de enkelte punkter, da det primære formål er at illustrere påvirkningen i det enkelte punkt og ikke på tværs af punkterne.

P10 og P13 er placeret i Kongedybet. Førstnævnte er placeret tæt på Lynetteholm og nær Amagerværket. Det ses, at strømmen svækkes signifikant i området, som følge af Lynetteholm opfyldningen. Vandskiftet vil derfor blive reduceret og kan have betydning for Amagerværkets brug af kølevand. I punkt P13 placeret i den sydlige del af Kongedybet er der ligeledes en svækkelse af de nordvest og sydøst gående strømme, mens hovedstrømretningerne forbliver upåvirket.



Figur 6-38 Strömroser visende strömhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P10 og P13. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.

Strömroser hørende til punkterne P12 og P14 er vist i Figur 6-39. Punktet P12 er placeret på overgangen mellem Hollænderdybet og Saltholm Flak. Her finder der en strömforstærkning sted, som følge af, at der med lukningen af Kongedybet føres mere vand gennem Hollænderdybet. De nordgående strømme drejes cirka 7 grader i retning med uret. Punktet P14 er placeret syd for Svælget ved indgangen til Drogden. Her finder man en meget beskedent strömforstærkning, men ingen påvirkning af strömretningerne.

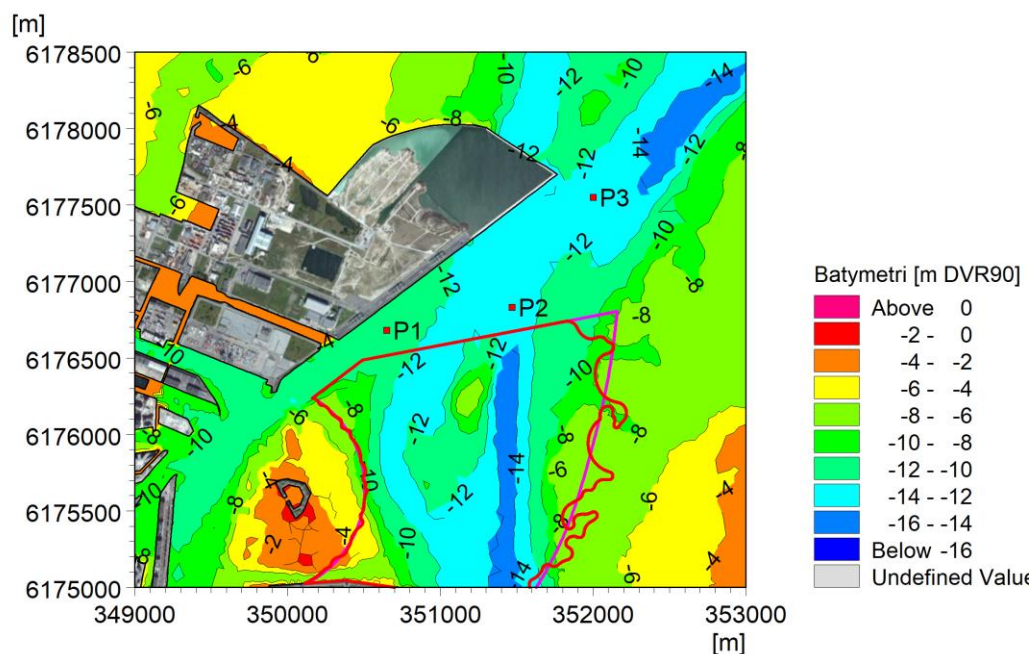


Figur 6-39 Strömroser visende strømhastigheder, retninger og forekomst i punkterne P12 og P14. Venstre side: Baseline, midt: Hovedforslag 1 og højre side: Hovedforslag 2.

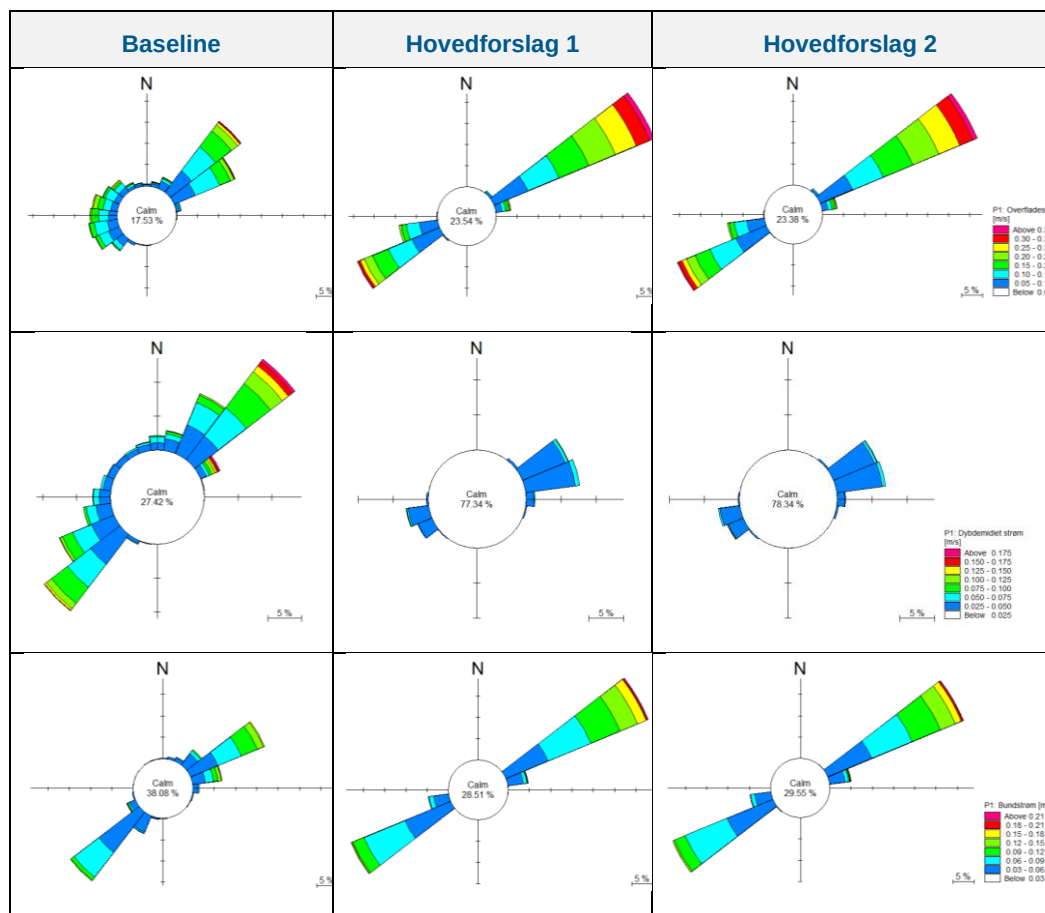
6.1.2.4 Påvirkning af strømforhold i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn

De dybdemidlede strømplot kan let give indtryk af, at strømmen er svag i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn samt i Havneløbet. Dette er dog en sandhed med modifikationer, idet der ofte er lagdelt modsatrettet strømning i den ydre del. For at illustrere betydningen af tredimensionelle strømeffekter og projektets påvirkning af disse er der udtrukket dybdemidlet strøm samt strøm ved overflade og bund i de tre punkter P1-P3 indikeret på Figur 6-40. Kortet viser batymetrien i området og omridset af de to hovedforslag for Lynetteholm opfyldningen. Den pink kontur viser omridset af Hovedforslag 1, mens den røde kontur angiver Hovedforslag 2. På steder hvor der er overlap vises den røde kontur.

Punktet P1 er placeret i Kronløbet i den indre del af tragten. Strömroser er vist i Figur 6-41 for baseline og de to hovedforslag. Det ses, at den dybdemidlet strøm svækkes betragteligt efter en udbygning, men at overfladestrøm og bundstrøm forstærkes i forhold til baseline. Den primære årsag til dette er effekter fra densitetsdrevne strømme og modsat rettet strømning ved overflade og bund. I baseline situationen er P1 placeret udenfor den afskærmede del af havnen (i Øresund), hvor densitetsgradienterne er mere udjævnet og 3D-effekter mindre signifikante.

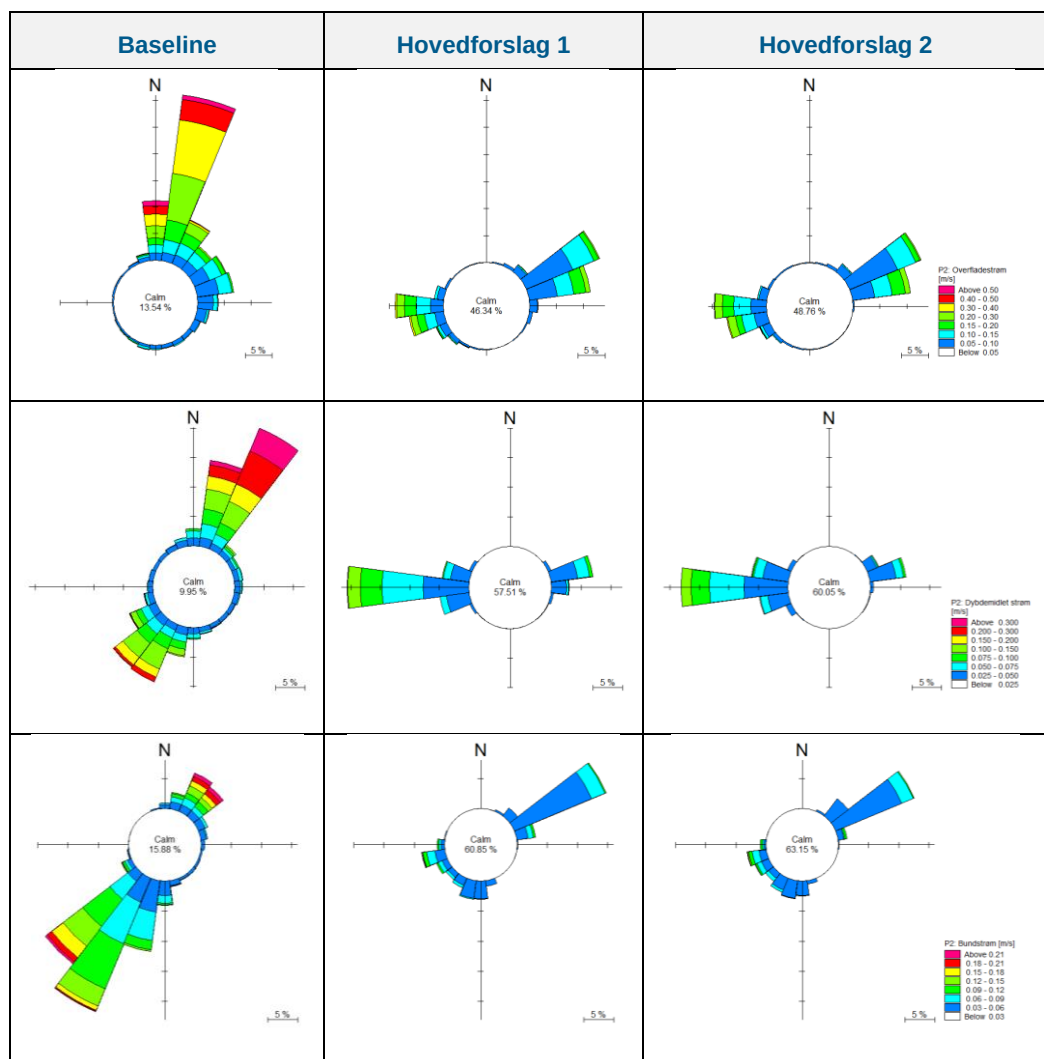


Figur 6-40 Strømdutrækspunkter P1-P3.



Figur 6-41 Strømrøser i P1 for baseline og de to hovedforslag. Øverst: overfladestrøm, midt: dybdemidlet strøm og nederst: bundstrøm.

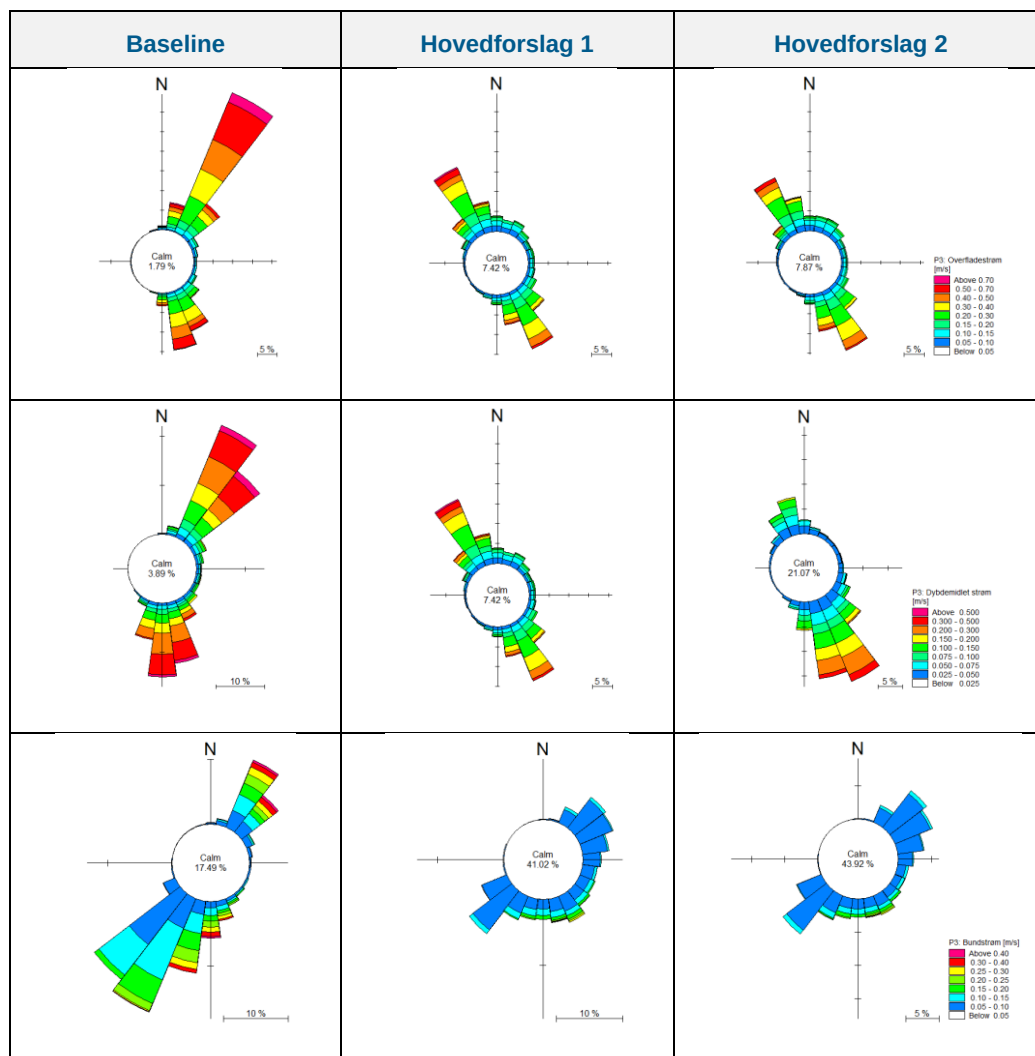
Punktet P2 er placeret i overgangen mellem Kronløbet og Kongedybet. Strømroser hørende til dette punkt er vist i Figur 6-42. For baselineforhold er der næsten altid nordgående strøm ved overfladen, mens bundstrømmen og den dybdemidlede strøm kan være rettet mod både nordnordøst og sydsydvest. Med etableringen af Lynetteholm lukkes der for strøm gennem Kongedybet. Strømhastighederne falder derfor betragteligt og hovedstrømretningerne ændres så de løber parallelt med opfyldningen. P2 er placeret i den bredere del af tragten, hvor strømningstværsnittet er væsentligt større end ved P1. Strømhastighederne er derfor noget mindre end ved P1. De kraftigste bundstrømme optræder ved strømning rettet mod havneløbet, men optræder mindre hyppigt end strømning rettet væk fra havneløbet.



Figur 6-42 Strømroser i P2 for baseline og de to hovedforslag. Øverst: overfladestrøm, midt: dybdemidlet strøm og nederst: bundstrøm.

Punktet P3 er placeret i den yderste del af tragten. De tilhørende strømroser er vist i Figur 6-43. I baseline situationen er der ganske kraftig strøm i dette område. Bundstrømmens hovedretninger følger primært løbets orientering (nordnordøst, sydsydvest), mens overfladestrømmens hovedretninger er rettet mod nordnordøst og syd. Med bygningen af Lynetteholm drejes overfladestrømmen og den dybdemidlede strøm, således at den ledes på tværs af tragten og langs med opfyldningens østlige perimeter. Bundstrømmens retning er mindre veldefineret. I størstedel af tiden er den orienteret enten mod

nordnordøst eller sydsydvest, men de kraftigste bundstrømme optræder, når vandet ledes på tværs af tragten.



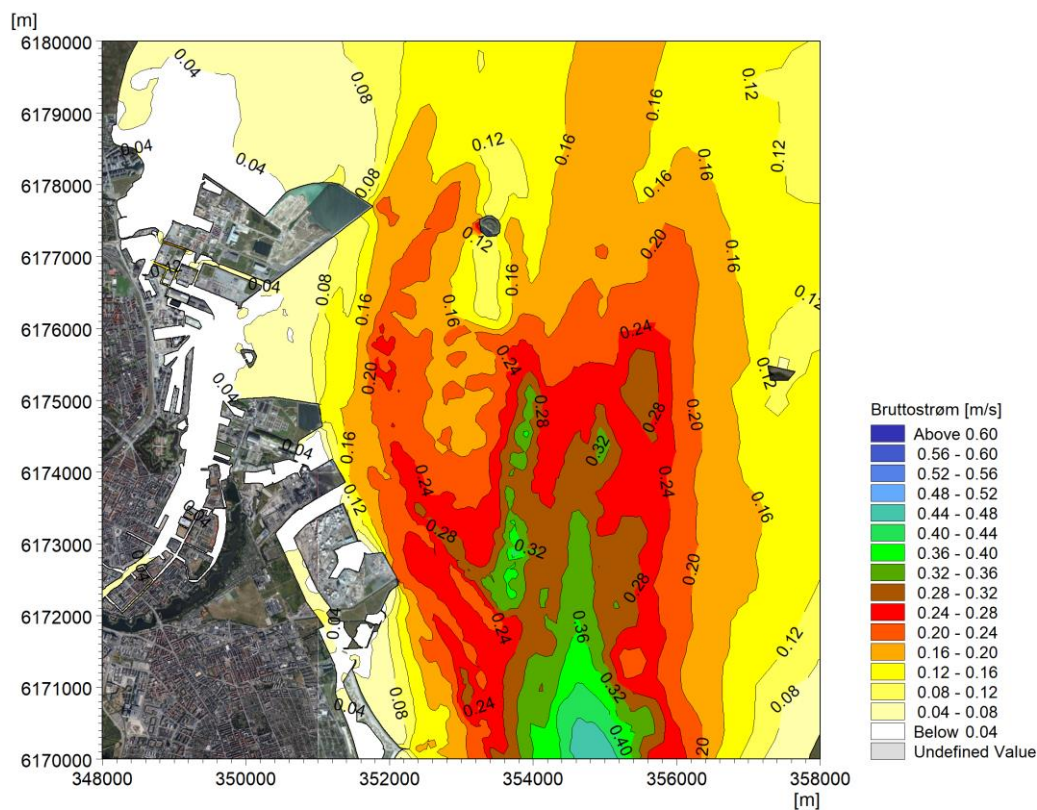
Figur 6-43 Strømrøser i P3 for baseline og de to hovedforslag. Øverst: overfladestrøm, midt: dybdemidlet strøm og nederst: bundstrøm.

6.1.2.5 Påvirkning af bruttostrøm

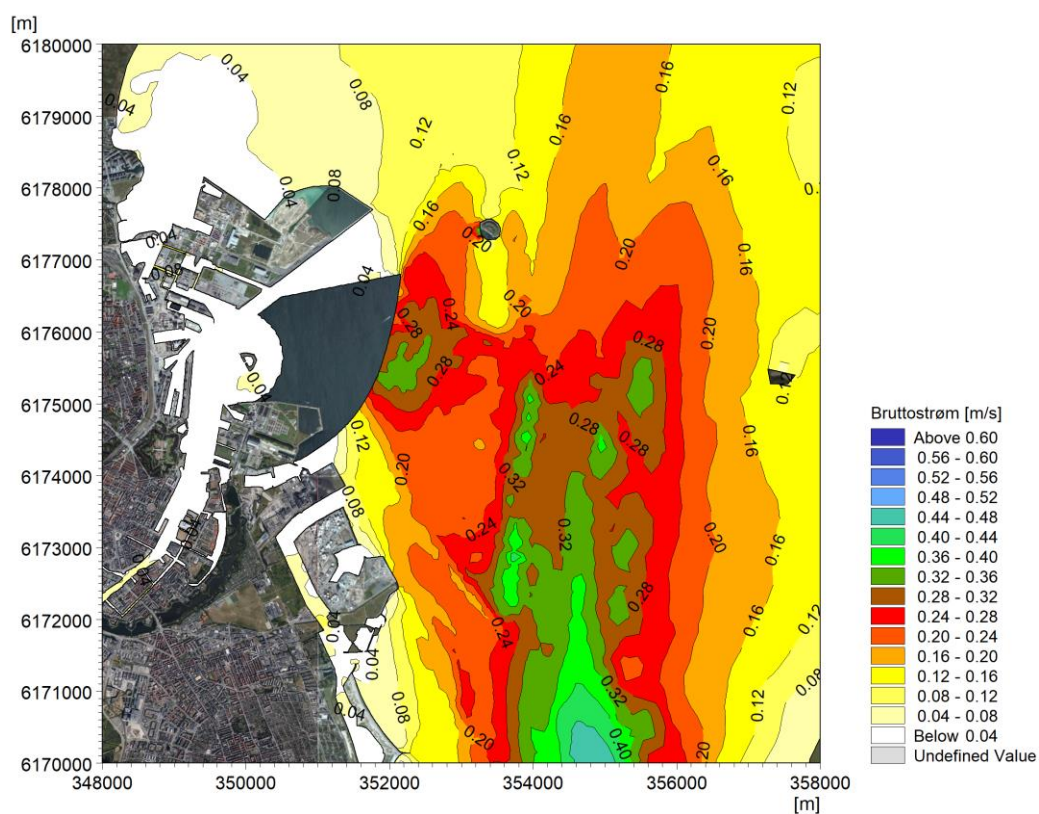
De i afsnit 6.1.2.1 og afsnit 6.1.2.2 beskrevne ekstreme strømsituationer optræder kun med længere tids mellemrum og giver derfor ikke et tydeligt billede af hvor stor en udstrækning området med en mere permanent påvirkning udgør. For at identificere det primære påvirkningsområde er der her lavet analyser baseret på bruttostrømmen og projektets påvirkning af denne. På baggrund af de modellerede strømhastigheder i år 2018 er den årsmiddel af dybdemidlet strømhastighed beregnet for baseline og de to hovedforslag for en Lynetteholm udbygning. Da der i beregningen ikke tages hensyn til strømhastighedens retning, betegnes denne bruttostrømmen.

Årsmidlet bruttostrøm er et godt mål for den påvirkning området oplever igennem et helt år. I Figur 6-44 er de beregnede bruttostrømme vist for baseline forhold, mens Figur 6-45 og Figur 6-46 viser beregnede bruttostrømme for hver af de to hovedforslag. Det ses, at der for begge forslag er en markant svækkelse af bruttostrømmen i Kronløbet og i

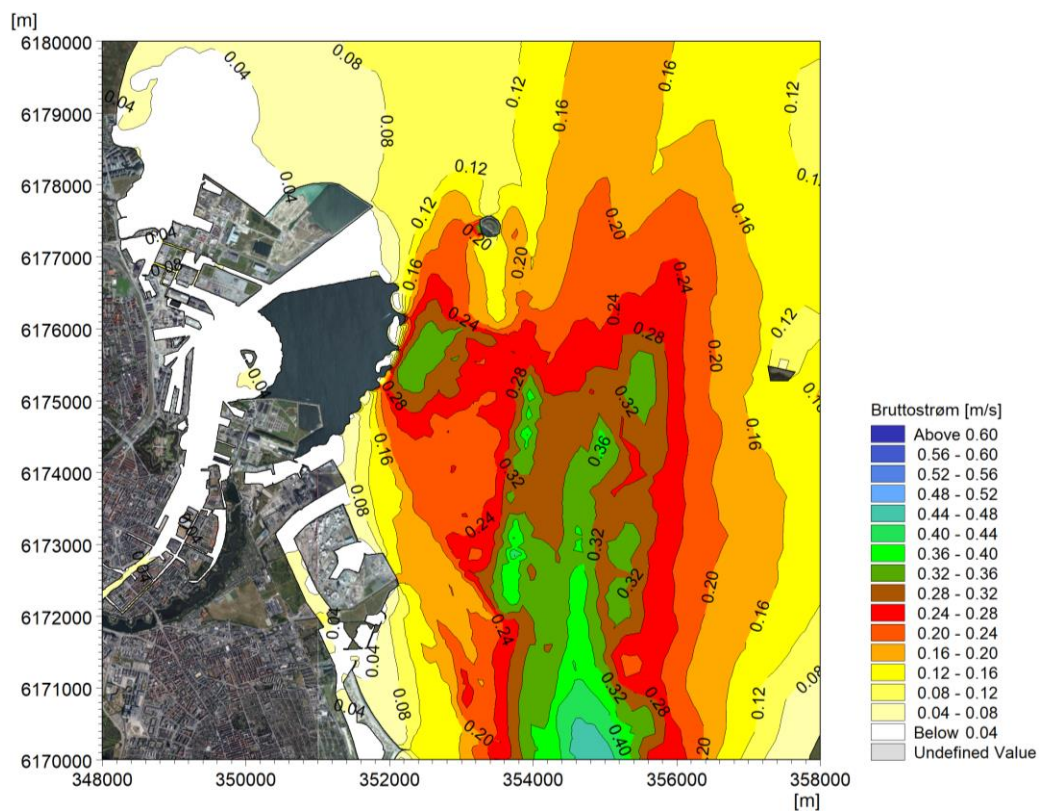
Kongedybet syd for Lynetteholm. Øst for Lynetteholm er der en forstærkning af bruttostrømmen henover Middelgrunden.



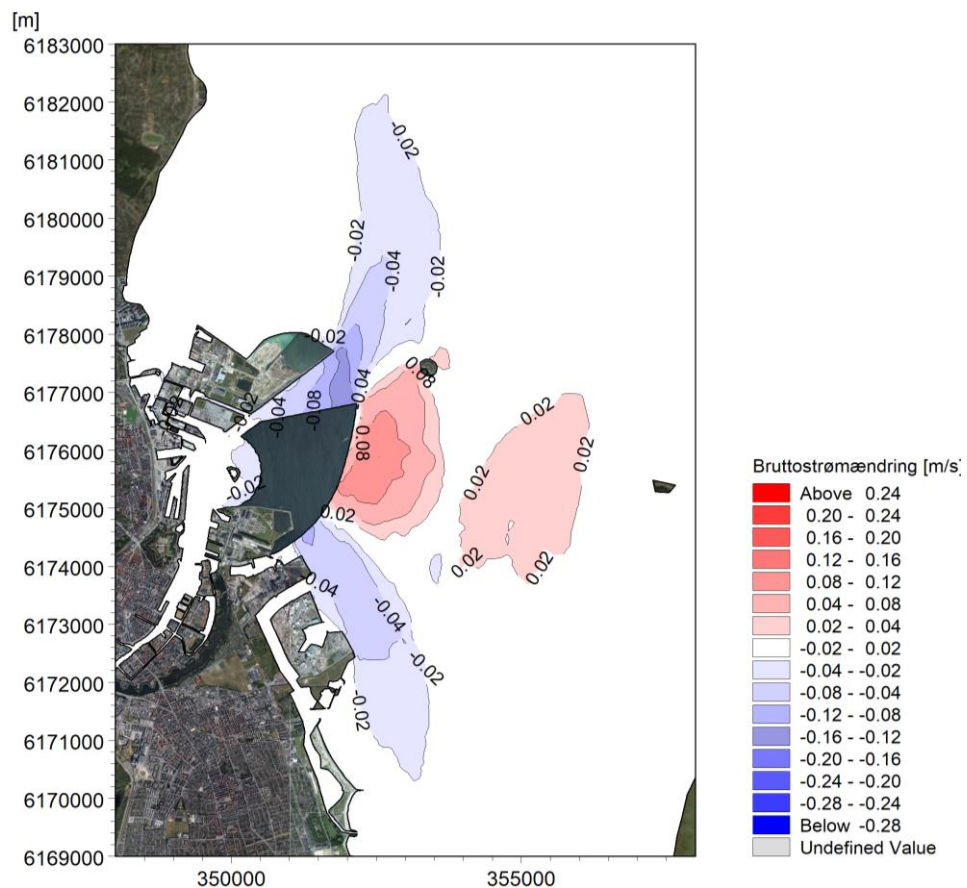
Figur 6-44 Årsmiddel af dybdemidlet bruttostrøm med baseline forhold.



Figur 6-45 Årsmiddel af dybdemidlet bruttostrom med Hovedforslag 1 udbygning.

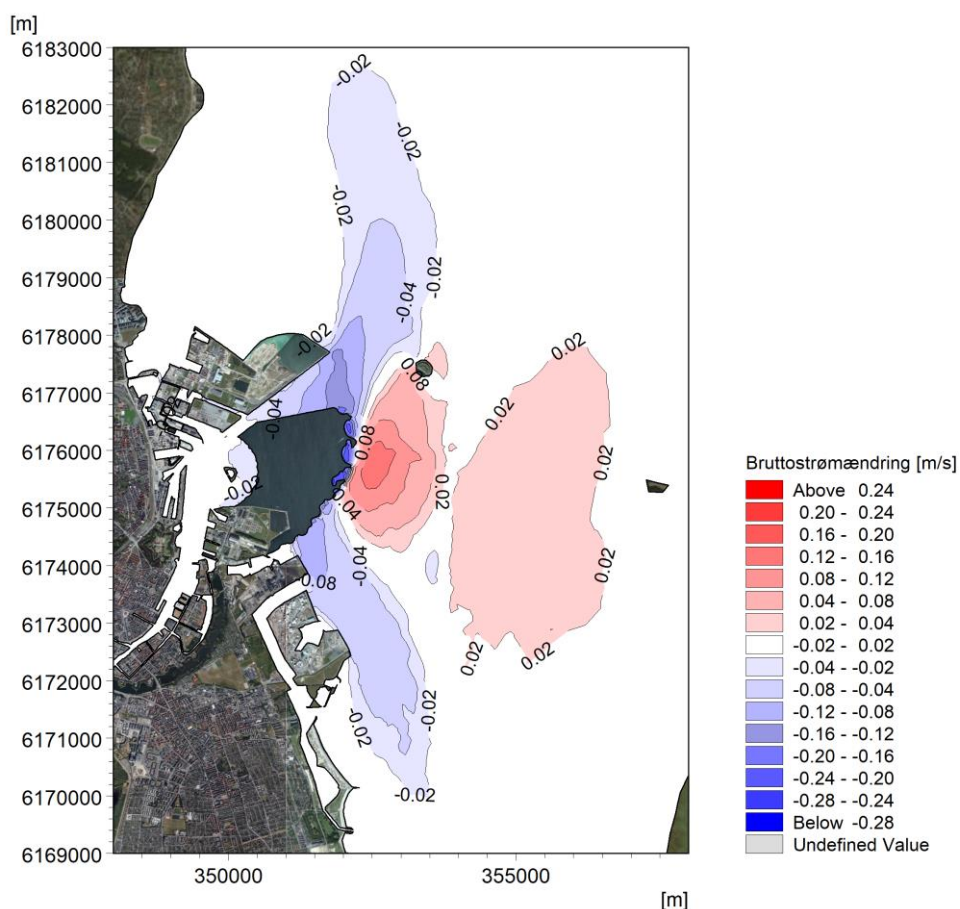


Figur 6-46 Årsmiddel af dybdemidlet bruttostrom med Hovedforslag 2 udbygning.



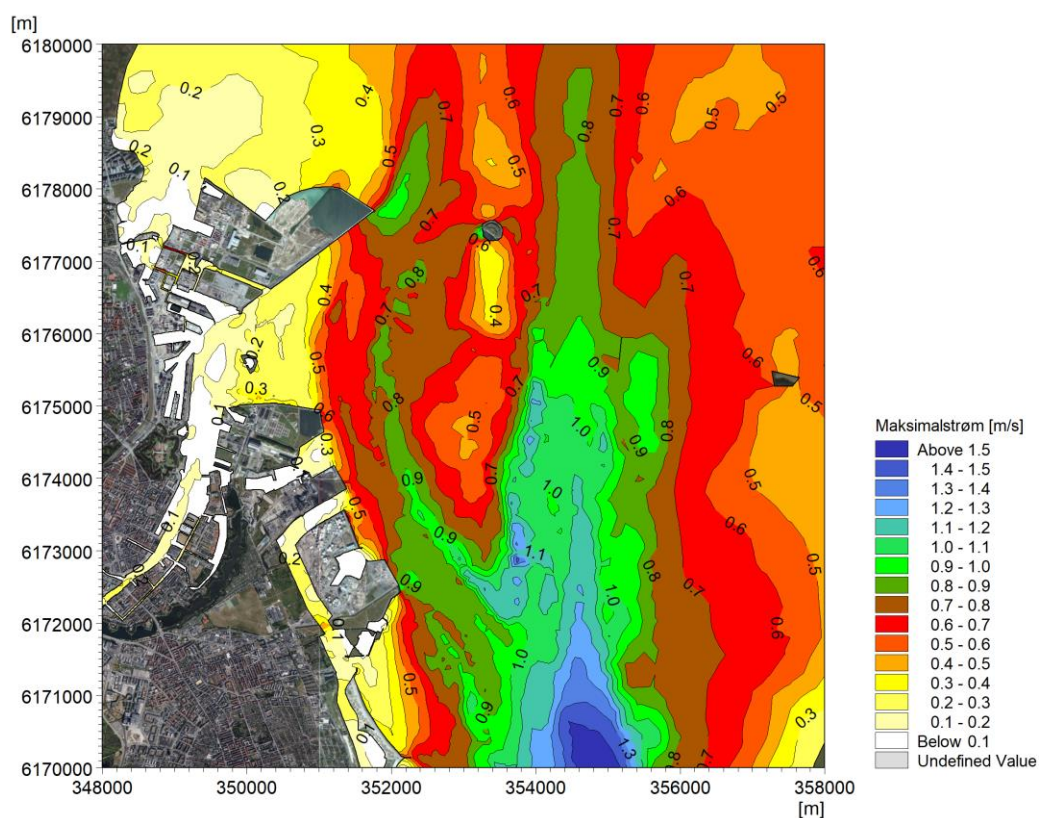
Figur 6-47 Hovedforslag 1. Ændring af årsmiddel af bruttostrøm (dybdemidlet).

Det primære påvirkningsområde kan identificeres ved hjælp af et bruttostrømdifferensplot, idet et sådan plot illustrerer, hvor der henholdsvis vil være en forøget og svækket dynamik. Figur 6-47 illustrerer de med Hovedforslag 1 udbygningen forventede ændringer af bruttostrømmen. Det ses, at bruttostrømmen forstærkes øst for opfyldningen henover Middelgrunden og i Hollænderdybet i området mellem Middelgrundsfortet og Flakfortet. De røde områder angiver primærområdet, hvor man normalt ville forvente en mindre effekt af erosion, mens de blå farver er områder, hvor eroderet sediment potentielt kan blive aflejret, som følge af den i området svækkede dynamik. Middelgrunden er et naturligt forekommende rev, hvor Københavnerkalken ligger højt og de oven liggende sedimentlag er af beskeden tykkelse. Den fundne strømforstærkning vurderes derfor kun at føre til en egentlig erosion i beskedent omfang. I Figur 6-48 er det tilsvarende plot vist for Hovedforslag 2. Påvirkningsområdets udstrækning er en smule større end med Hovedforslag 1, men strømforstærkningen optræder også her i områder, hvor Københavnerkalken ligger højt og omfanget af en erosion vil være begrænset.

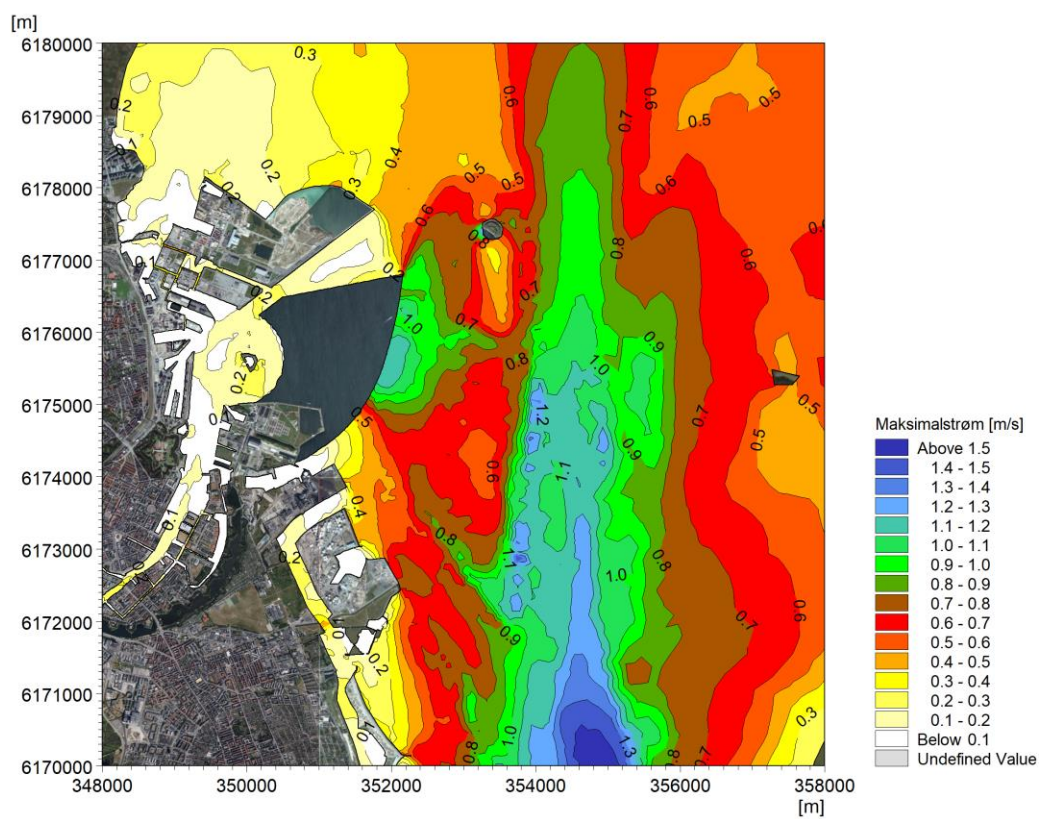


Figur 6-48 Hovedforslag 2. Ændring af årsmiddel af bruttostrøm (dybdemidlet).

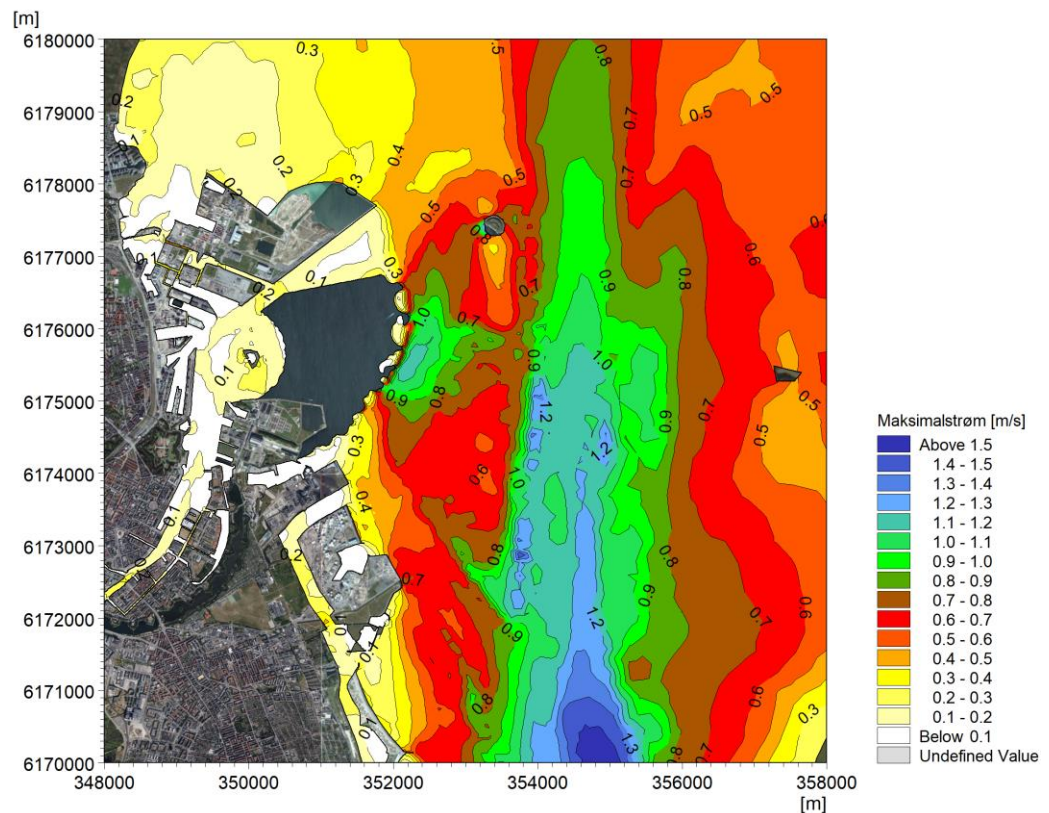
Med udgangspunkt i det modellerede år (2018) er den størst forekommende dybdemidlet strømhastighed identificeret og udtrukket. De fundne strømhastigheder repræsenterer derfor ikke et øjebliksbillede, idet der kan være tidsforskydninger i hvornår den største strømhastighed optræder på en given lokation. De statistisk beregnede maksimale strømhastigheder er vist i Figur 6-49 for baseline forhold og i henholdsvis Figur 6-50 og Figur 6-51 for de to hovedforslag. Det ses, at strømhastighederne overstiger 1 m/s i området lige øst for Lynetteholm, men at strømhastighederne er noget mindre end dem der hyppigt optræder i Drogdenrenden længere mod syd. I Hovedforslag 2 er strømmen inde i de beskyttede bugter af beskeden størrelse, således at badning kan foregå afskærmet og sikkert. Det fremgår dog også af plottene at det vil være forbundet med en betydelig risiko at bevæge sig udenfor de afskærmede områder.



Figur 6-49 Maksimal dybdemidlet strøm år 2018 med baseline forhold.

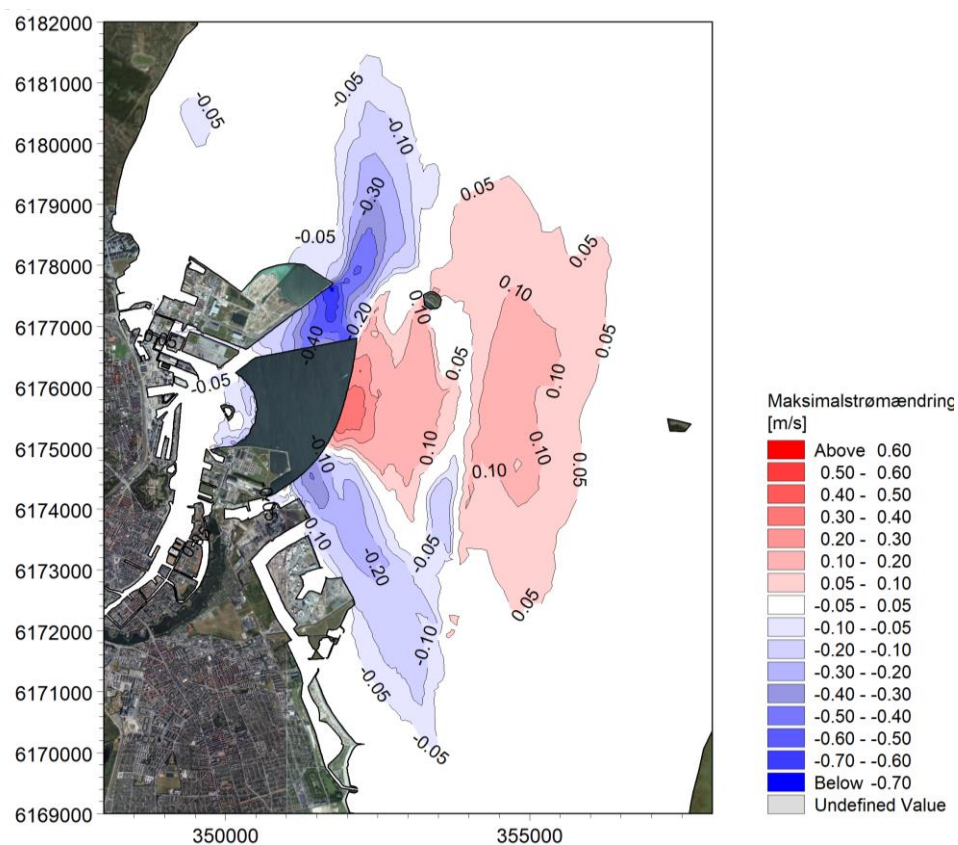


Figur 6-50 Maksimal dybdemidlet strøm år 2018 med Hovedforslag 1 udbygning.

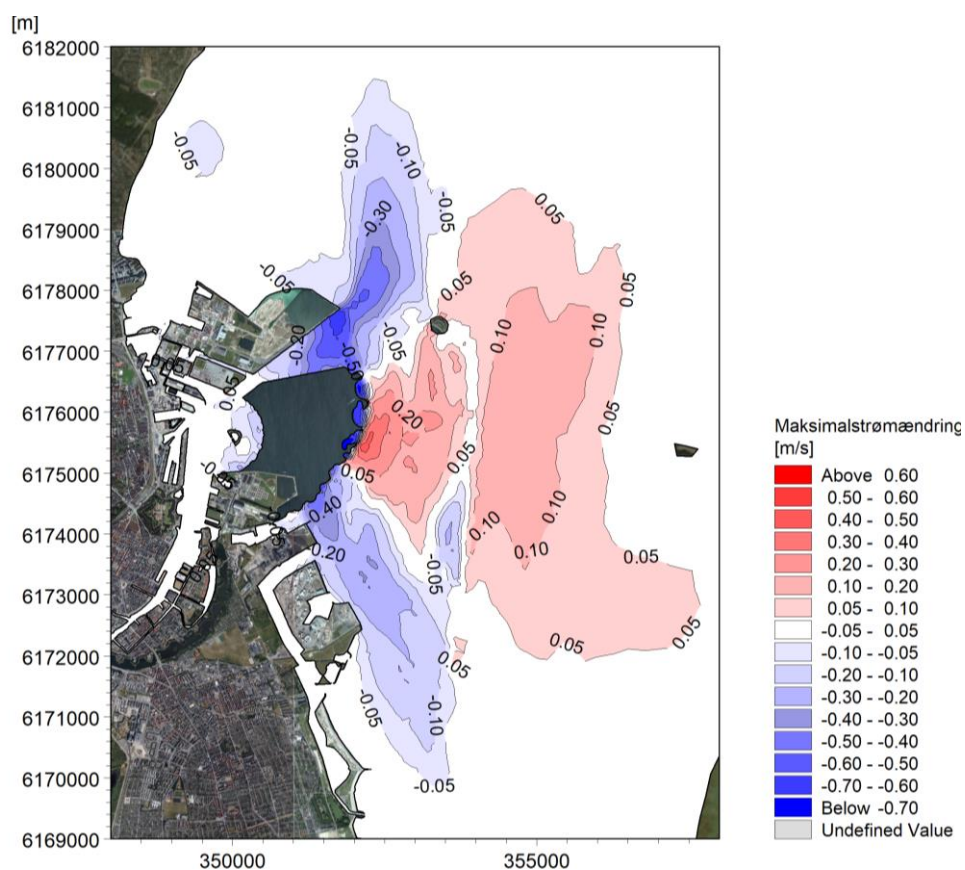


Figur 6-51 Maksimal dybdemidlet strøm år 2018 med Hovedforslag 2 udbygning.

Ændringerne i dybdemidlet maksimalstrøm er vist i Figur 6-52 for Hovedforslag 1 og i Figur 6-53 for Hovedforslag 2. De her illustrerede områder kan opfattes som et sekundært påvirkningsområde, hvor der lejlighedsvis vil kunne forekomme erosion i de røde områder. De blå farver angiver på tilsvarende vis områder, hvor eroderet sediment potentielt vil kun blive aflejret. Det ses, at Hovedforslag 2's påvirkningsområde har en lidt større udstrækning end Hovedforslag 1.



Figur 6-52 Hovedforslag 1. Ændring af maksimal dybdemidlet strøm.



Figur 6-53 Hovedforslag 2. Ændring af maksimal dybdemidlet strøm.

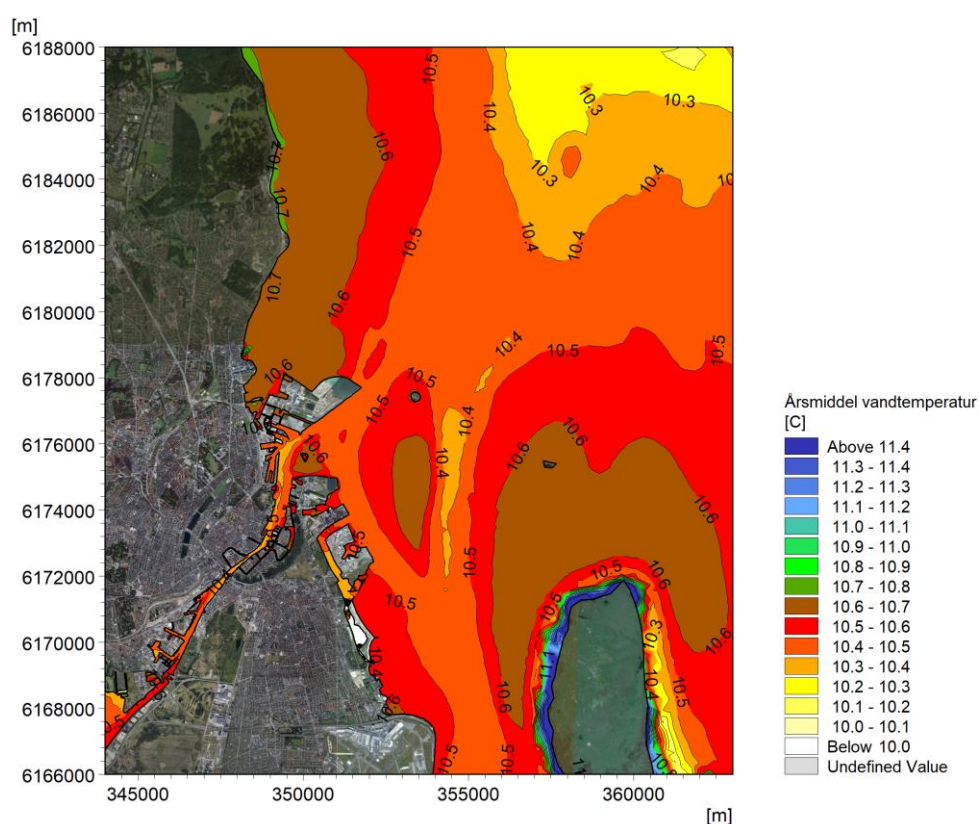
6.1.3 Vurdering af ændringer i vandtemperatur

Vandudvekslingen gennem renderne i Øresund fører ofte varmere eller koldere vand med sig. Lukningen af Kongedybet vil derfor lokalt påvirke transporten af vand og "varme" i området. Ydermere er der en tendens til at dynamikken (vandudvekslingen) dæmpes i dele af området, hvilket typisk vil føre til en lidt kraftigere solopvarmning i sommerhalvåret og lidt kraftigere nedkøling i vinterhalvåret.

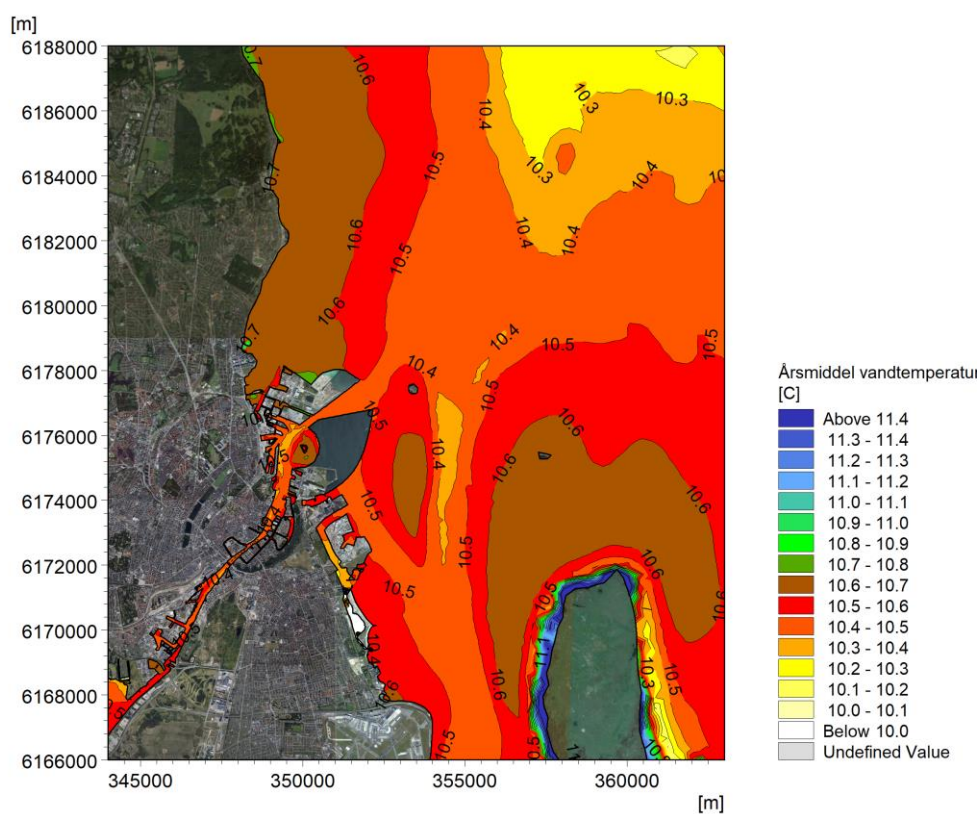
6.1.3.1 Årsmidlet vandtemperatur

Vandtemperaturen varierer en del hen over året som følge af en årsvariation. I områder hvor vandskiftet nedsættes vil der være tendens til lidt kraftigere opvarmning om sommeren og lidt kraftigere afkøling om vinteren. De to effekter vil udjævne sig når der ses på en middeltemperatur, hvorfor projektets påvirkning på årsmiddel vil være relativt begrænset. Da vandtemperaturens årsvariation kan tilnærmes med en sinus-svingning, vil årsmiddel typisk repræsentere forhold svarende til forårs- og efterårsmåneder.

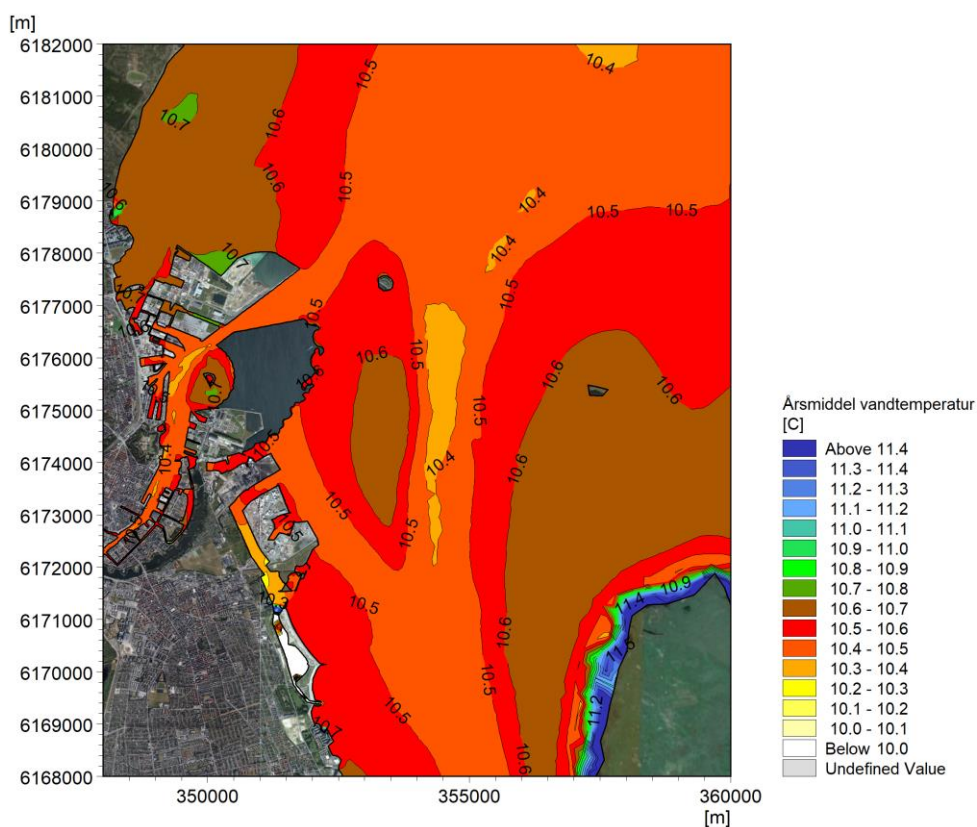
Figur 6-54 til Figur 6-56 viser den beregnede årsmiddel af vandtemperatur (dybdemidlet) for hele 2018 for baseline forhold og de to hovedforslag. Det ses, at variationerne i vandtemperaturen er relativt begrænsede (varierer fra 10,2-10,7 °C). De højeste vandtemperaturer ses at optræde i områder med lavere vanddybde, mens de koldeste optræder i områder med stor vanddybde. Det varme område langs den nordlige del af Saltholm skyldes at området ikke altid er vanddækket og derfor ikke midlet på samme måde som områderne med konstant vanddække. Middeltemperaturerne er fundet ved en statistisk analyse og derfor ikke udtryk for et øjeblikbillede.



Figur 6-54 Årsmiddel af dybdemidlet vandtemperatur for baseline forhold.



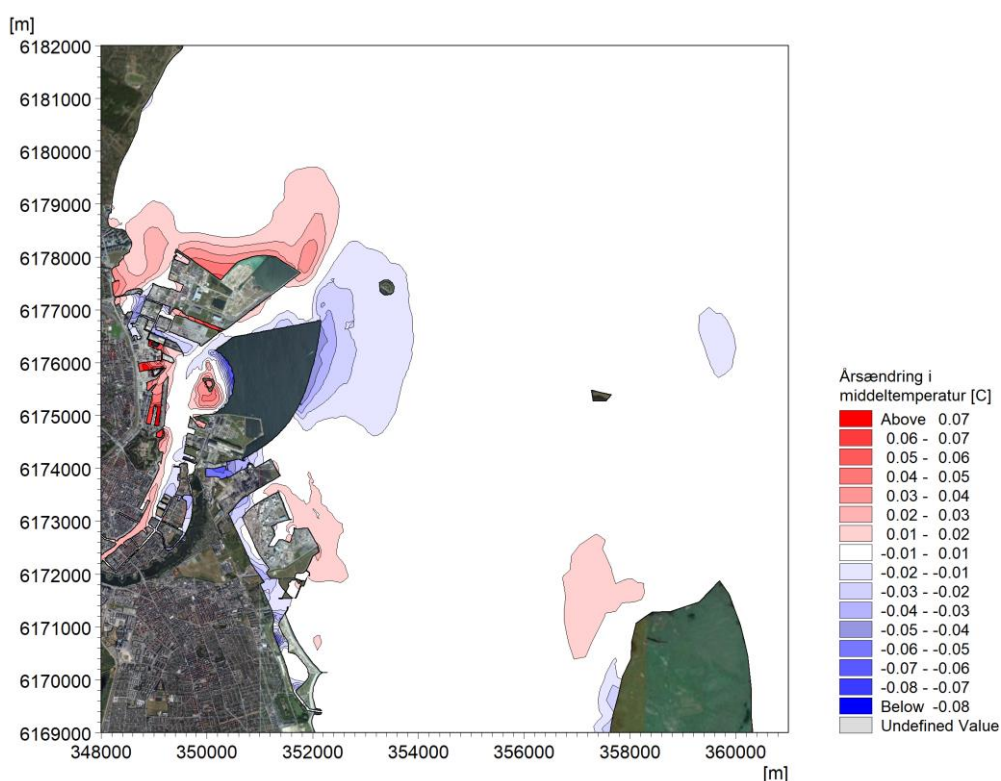
Figur 6-55 Årsmiddel af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.



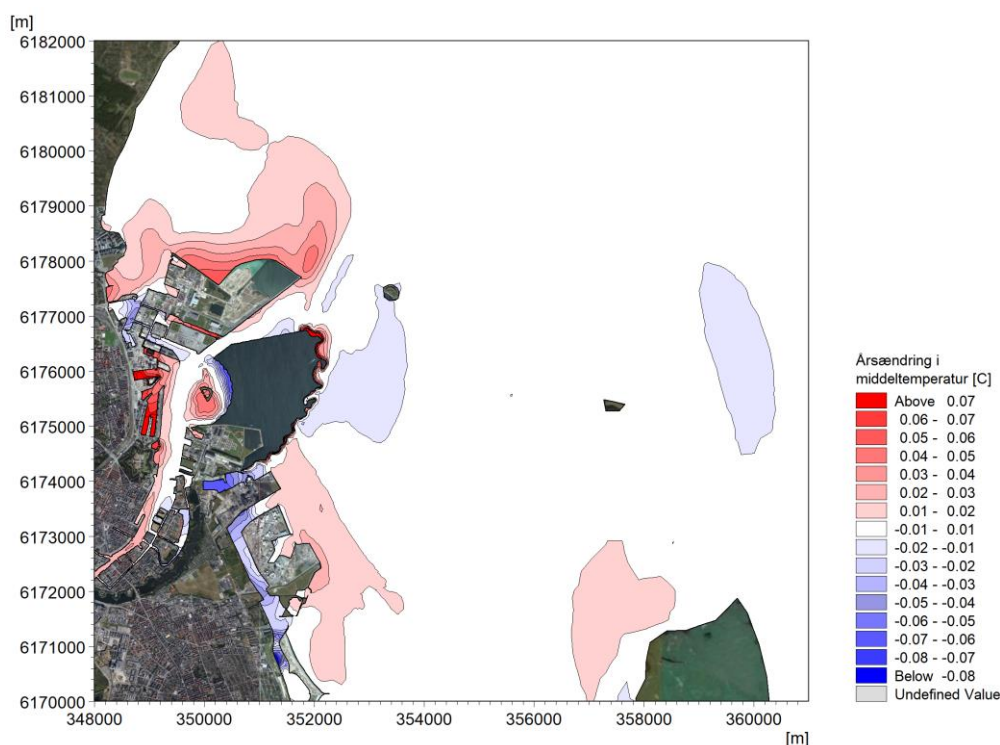
Figur 6-56 Årsmiddel af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.

6.1.3.2 Vurdering af ændringer i årsmiddel af vandtemperatur

Figur 6-57 viser den for Hovedforslag 1 beregnede ændring af årsmidlet vandtemperatur, set i forhold til baseline, mens Figur 6-58 viser det tilsvarende plot for Hovedforslag 2. Det ses som forventet at ændringerne er meget små og ikke vil være detekterbare. Temperaturerne falder svagt øst for Lynetteholm, som følge af at tungere og køligere bundvand som tidligere blev ledt igennem Kongedybet fremover ledes øst om opfyldningen. Tilsvarende stiger temperaturen svagt i området nord for Nordhavnen, da dette område i mindre grad påvirkes af tungere og køligere bundvand. Det overordnede mønster i temperaturændringer er identisk for begge hovedforslag. Dog er tendensen til øget opvarmning lidt større for Hovedforslag 2, idet dette forslag dæmper strømningen henover Middelgrunden lidt mere end Hovedforslag 1.



Figur 6-57 Beregnet ændring af årsmidlet vandtemperatur for Hovedforslag 1.

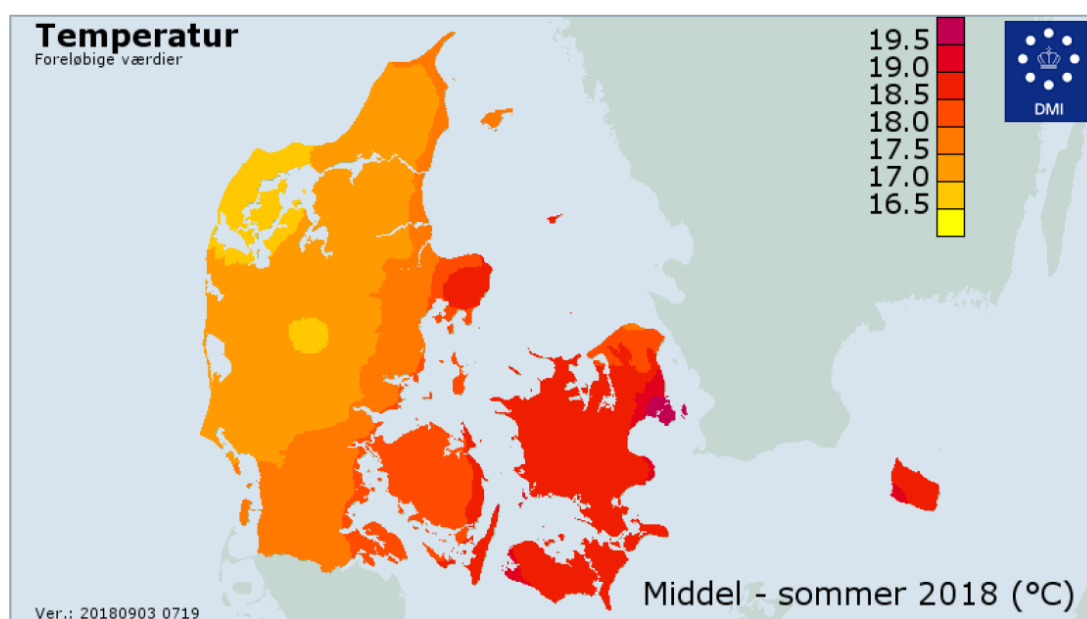


Figur 6-58 Beregnet ændring af årsmidlet vandtemperatur for Hovedforslag 2.

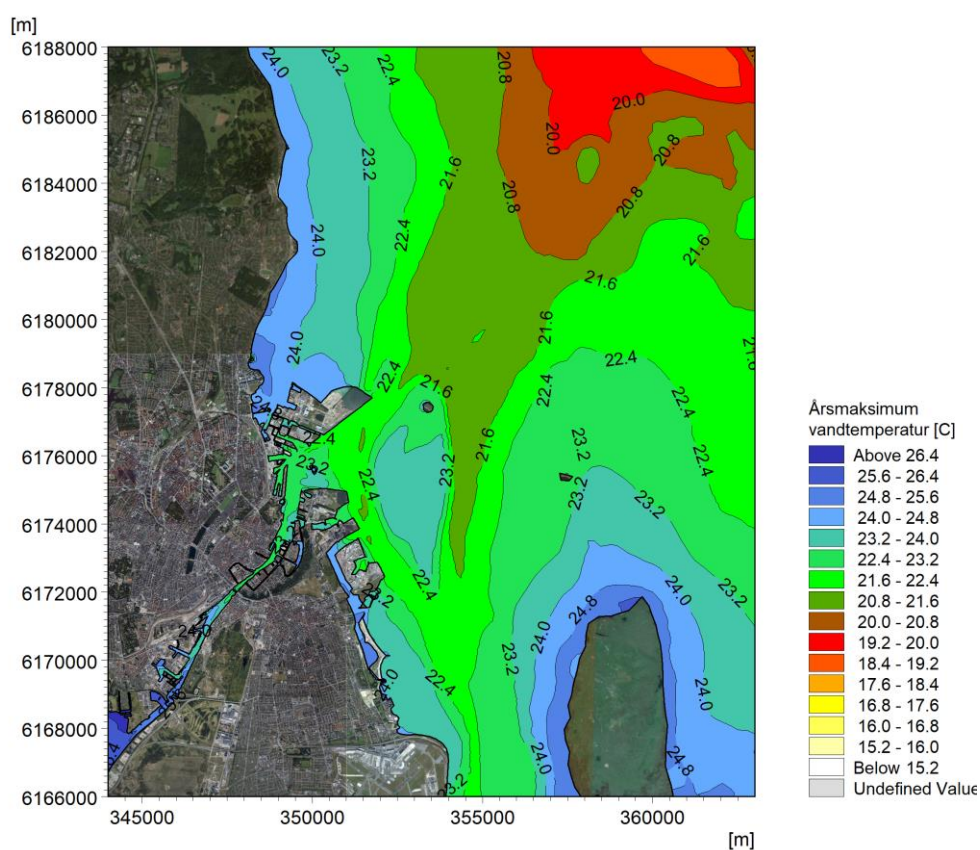
6.1.3.3 Maksimum vandtemperaturer

Den højest forekommende vandtemperatur kan variere meget fra år til år, da den i høj grad er relateret til hvor lang og varm en dansk sommer, der er i det givne år. De her angivne resultater forholder sig alene til år 2018, som ifølge DMI, ref. /2/ er den varmeste registrerede sommer siden 1874. Kalendersommeren 2018 (juni, juli og august) nåede en middeltemperatur for hele landet på 17,7 °C, hvilket er 2,5 °C over normalen beregnet for perioden 1961-90 og 1,6 °C over 10-års gennemsnit beregnet for perioden 2006-2015. Sommeren 2018 fik i alt 26,7 sommerdøgn på landsplan, hvor normalen for 1961-90 er på 6,8 døgn. Et sommerdøgn er defineret ved at temperaturen overstiger 25 °C i løbet af et kalenderdøgn. Varmen var ikke ligeligt fordelt i Danmark. Som det fremgår af Figur 6-59 var København det område i landet med den højeste middeltemperatur (cirka 19,5 °C).

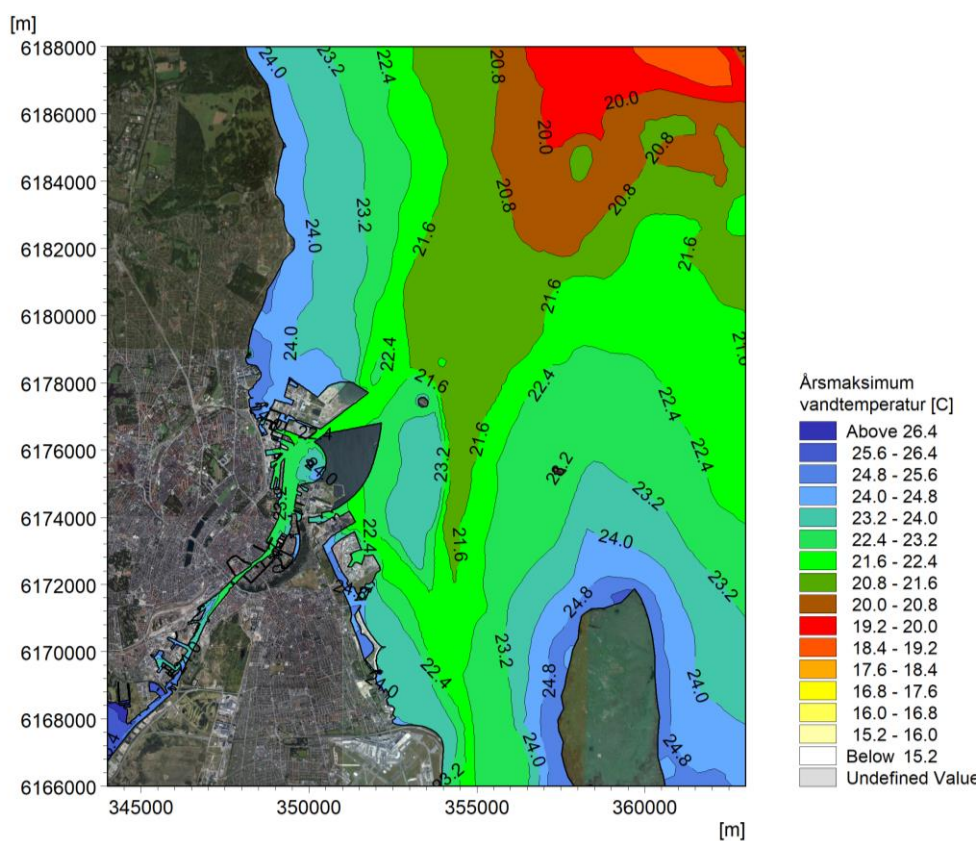
Figur 6-60 - Figur 6-62 viser den beregnede maksimumvandtemperatur (dybdemidlet) i sommeren 2018 for baseline forhold og de to hovedforslag. Det ses, at vandtemperaturen med +24 °C dette år nåede op på niveauer kendt fra Middelhavet. De højeste vandtemperaturen optræder i området med lavere vanddybde og begrænset vandskifte. Det skal i øvrigt bemærkes at maksimumtemperaturerne er fundet ved en statisk analyse og derfor ikke nødvendigvis et udtryk for et øjeblikbillede.



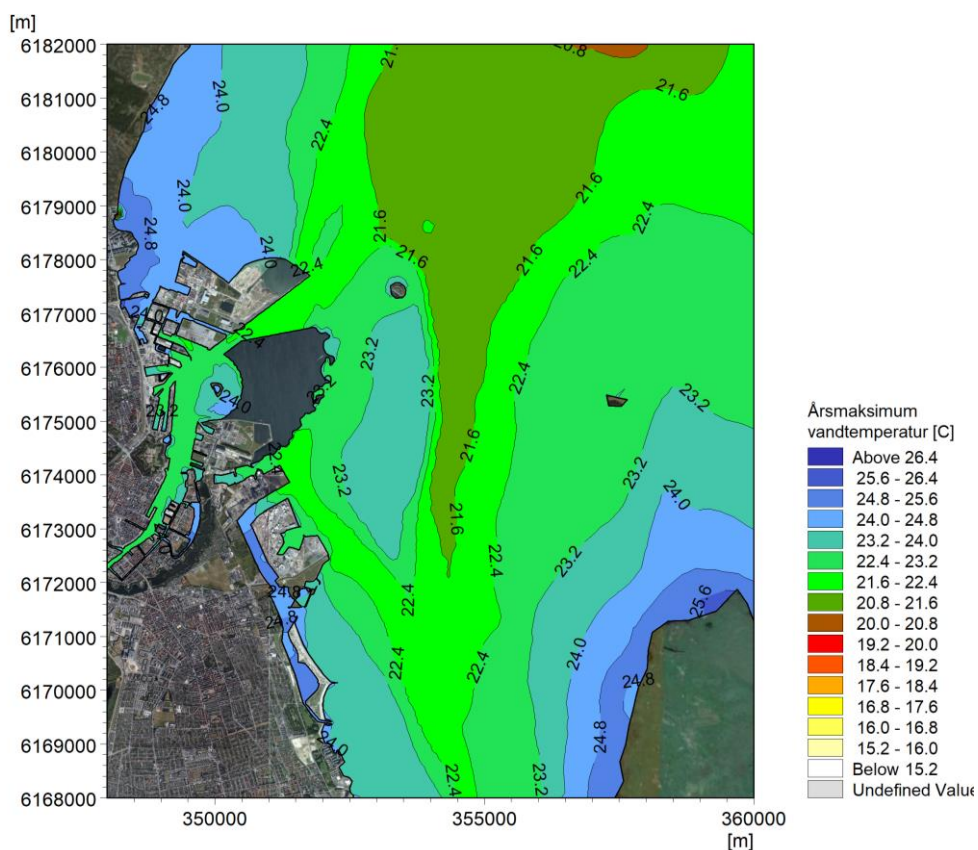
Figur 6-59 Middeltemperaturen i Danmark sommeren 2018, ref./2/.



Figur 6-60 Årsmaksimum af dybdemidtet vandtemperatur for baseline forhold.



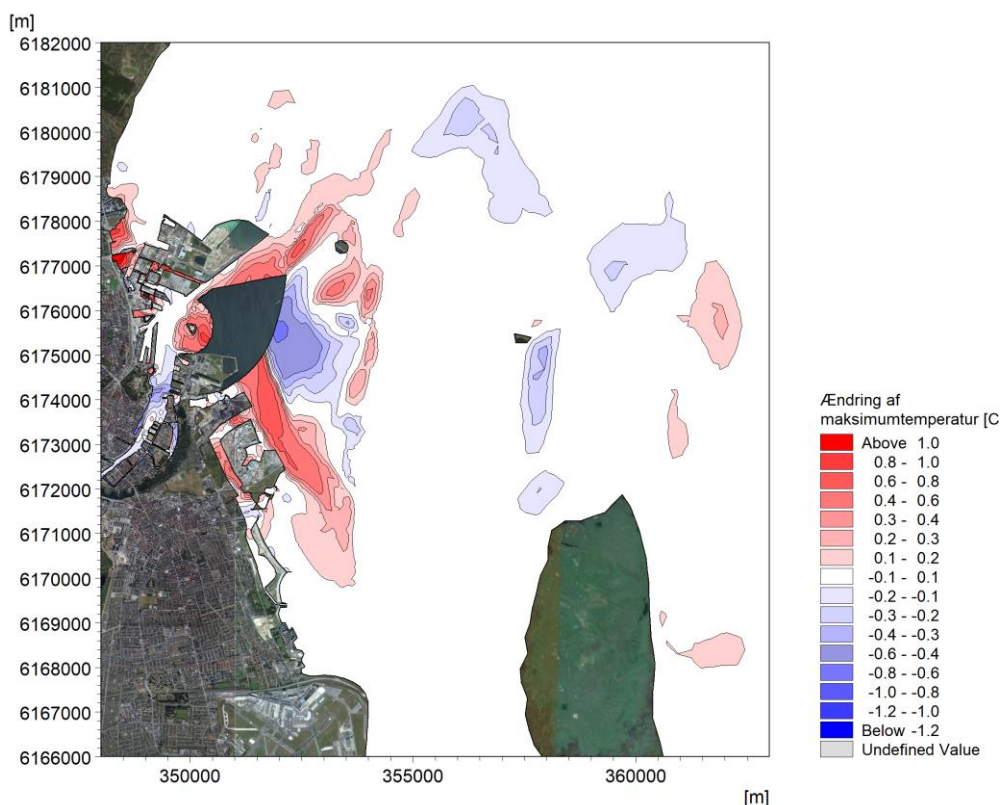
Figur 6-61 Årsmaksimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.



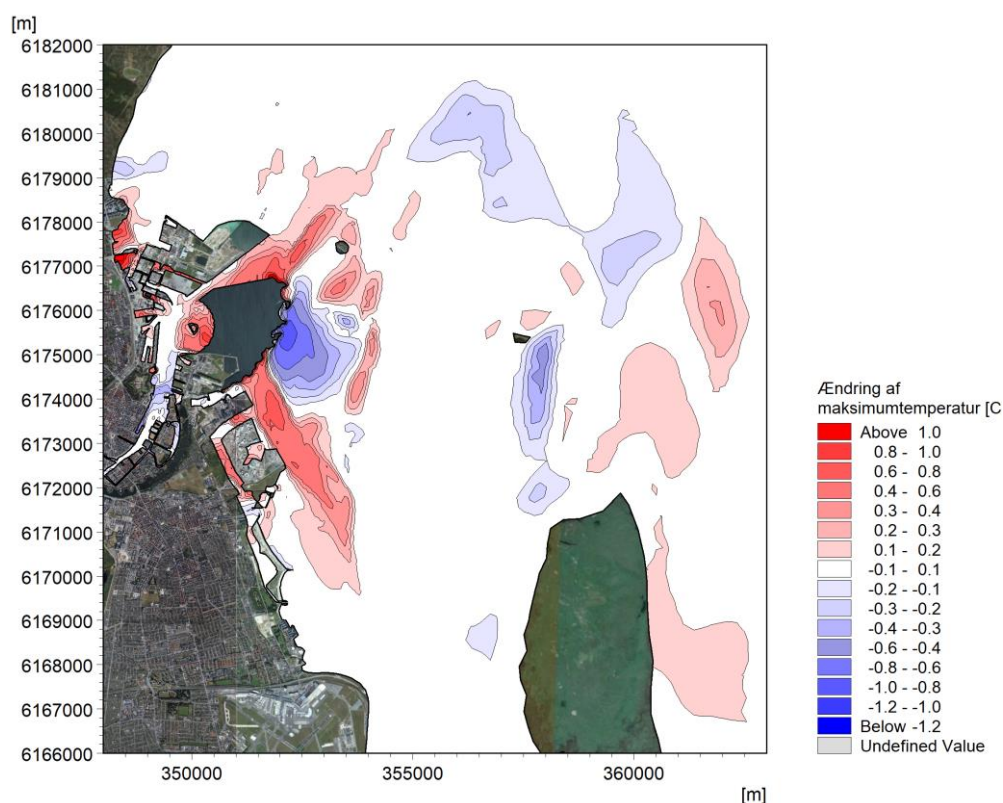
Figur 6-62 Årsmaksimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 2 - med kystlandskab.

6.1.3.4 Vurdering af ændringer i maksimum af vandtemperatur

Figur 6-63 viser den for Hovedforslag 1 beregnede ændring af de højest forekommende vandtemperaturer, set i forhold til baseline, mens Figur 6-64 viser det tilsvarende plot for Hovedforslag 2. Det ses, at vandtemperaturerne stiger i området omkring Trekroner, i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavnen, i Svanemøllebugten og i Kongedybet, mens den falder henover Middelgrunden i området øst for opfyldningen samt i dele af havneløbet. Stigningerne finder sted i områder med nedsat vandskifte, hvorved solopvarmningen får større magt og som giver sig udslag i en let øget vandtemperatur. Temperaturfaldet i havneløbet og på Middelgrunden skyldes, at tungere og køligere bundvand presses ind i havneløbet og henover Middelgrunden – begge dele som en konsekvens af Kongedybets blokering.



Figur 6-63 Beregnet ændring af maksimale vandtemperaturer for Hovedforslag 1.

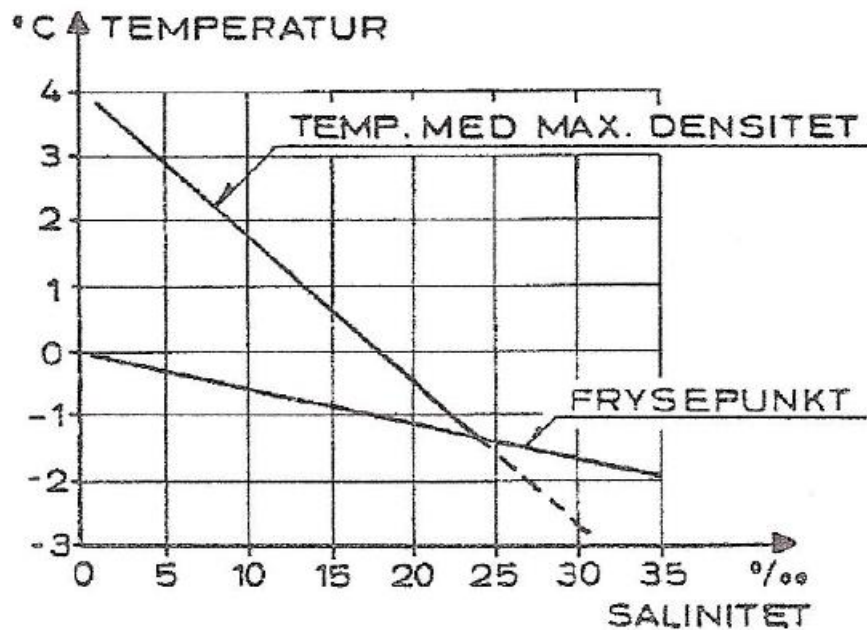


Figur 6-64 Beregnet ændring af maksimale vandtemperaturer for Hovedforslag 2.

6.1.3.5 Minimum vandtemperaturer

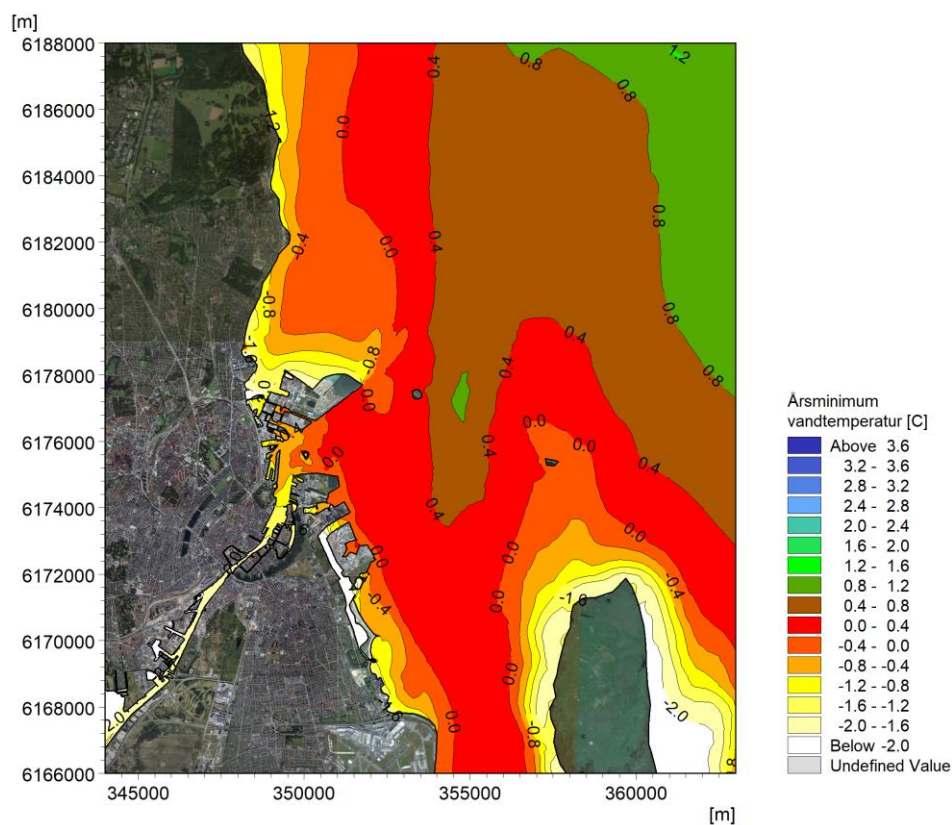
Modelåret dækker dele af to vintersæsoner, hvor månederne januar og februar hører til vinteren 2017-18 og december til vinteren 2018-19. Kalendervinteren 2017-18 (december, januar og februar) havde ifølge DMI, ref. /3/ en middeltemperatur på 1,9 °C på landsplan, hvilket er 1,4 °C over klimanormalen beregnet for perioden 1961-90 og 0,2 °C varmere end gennemsnittet for perioden 2006-15. Middeltemperaturen i januar var 2,3 °C og dermed 2,3 grader varmere end klimanormalen for perioden 1961-90 og 0,9 °C varmere end gennemsnittet for perioden 2006-15. Middeltemperaturen i februar var -0,7 °C og dermed 0,7 °C koldere end normalen for 1961-90 og 1,8 °C koldere end i perioden 2006-15. Der blev registreret 13,0 frostdøgn i januar og 23,3 frostdøgn i februar. Vinterens koldeste temperatur blev registreret 28. februar ved Sjælsmark i Nordsjælland i forbindelse med en kold afslutning på vinteren og en periode med sammenhængende isdøgn, hvor temperaturen ikke overstiger frysepunktet. December 2018 havde ifølge ref. /4/ en middeltemperatur på 4,3 °C og er dermed ikke bestemmende for de fundne minimumstemperaturer.

Brakvands densitet og frysepunkt varierer, som det fremgår af Figur 6-65 med saltholdigheden. Når brakvand afkøles ved overfladen, bliver det tungere og synker ned gennem vandsøjlen (vertikal opblanding). Denne proces fortsætter indtil at overfladevandet når den maksimale densitet eller frysepunktet, hvor der i stedet dannes et isdække. Den vertikale opblanding som det tungere overfladevand genererer, medfører en hurtigere afkøling af hele vandsøjlen. I modsætning til processen ved en solopvarmning, hvor det varmere og lettere vand forbliver ved overfladen. Modellen regner ikke på is, så i området hvor vandet er underafkølet (dvs. under havvandets frysepunkt), er det i virkeligheden et udtryk for, at der vil være isdannelse i området.

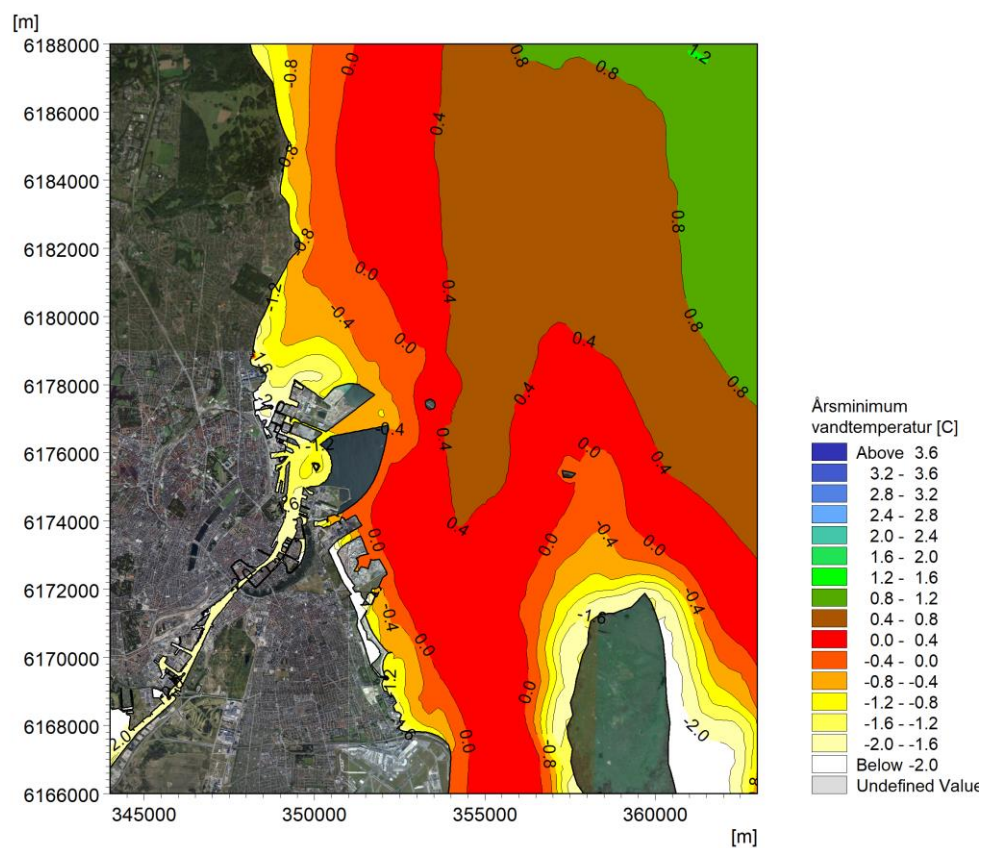


Figur 6-65 Sammenhæng mellem frysepunkt, maksimal densitet og saltholdighed, ref. /5/.

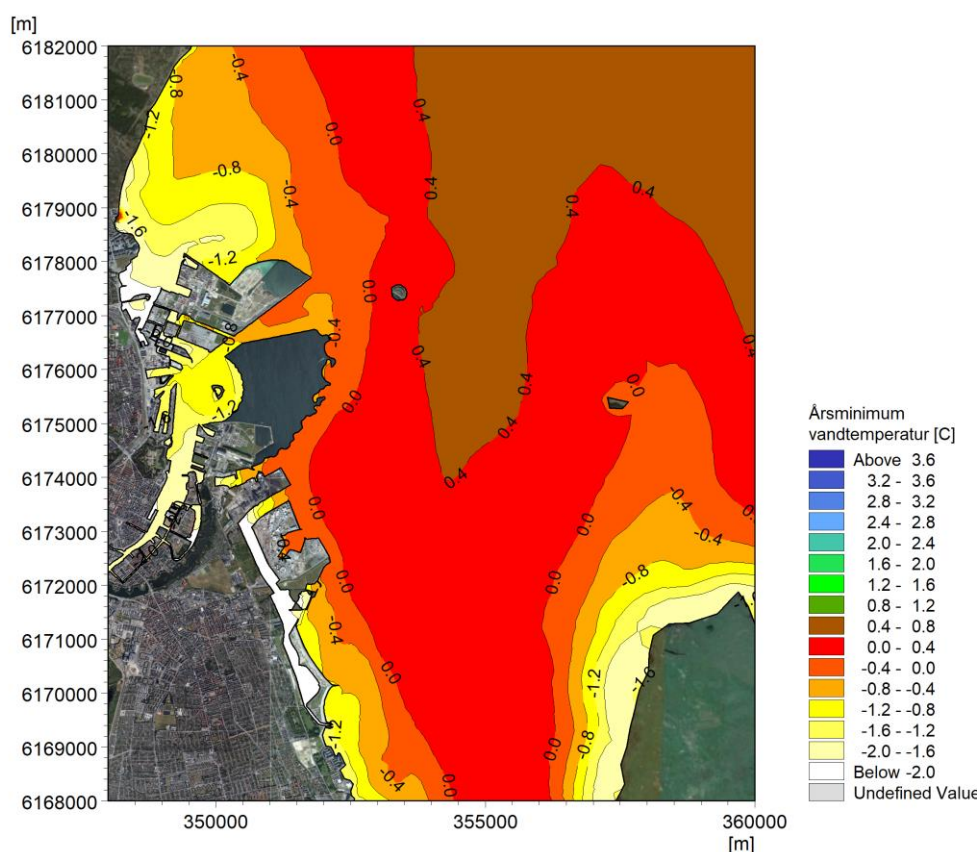
Figur 6-66 til Figur 6-68 viser den beregnede mindste vandtemperatur (dybdemidlet) i februar-marts 2018 for baseline forhold og de to hovedforslag. Det ses, at vandtemperaturen i de kystnære områder når ned under frysepunkter og at der derfor vil være isdannelse. De højeste vandtemperaturer optræder i områder med strøm og større vanddybde. Minimumtemperaturerne er fundet ved en statisk analyse og derfor ikke nødvendigvis et udtryk for et øjebliksbillede.



Figur 6-66 Årsminimum af dybdemidlet vandtemperatur for baseline forhold.



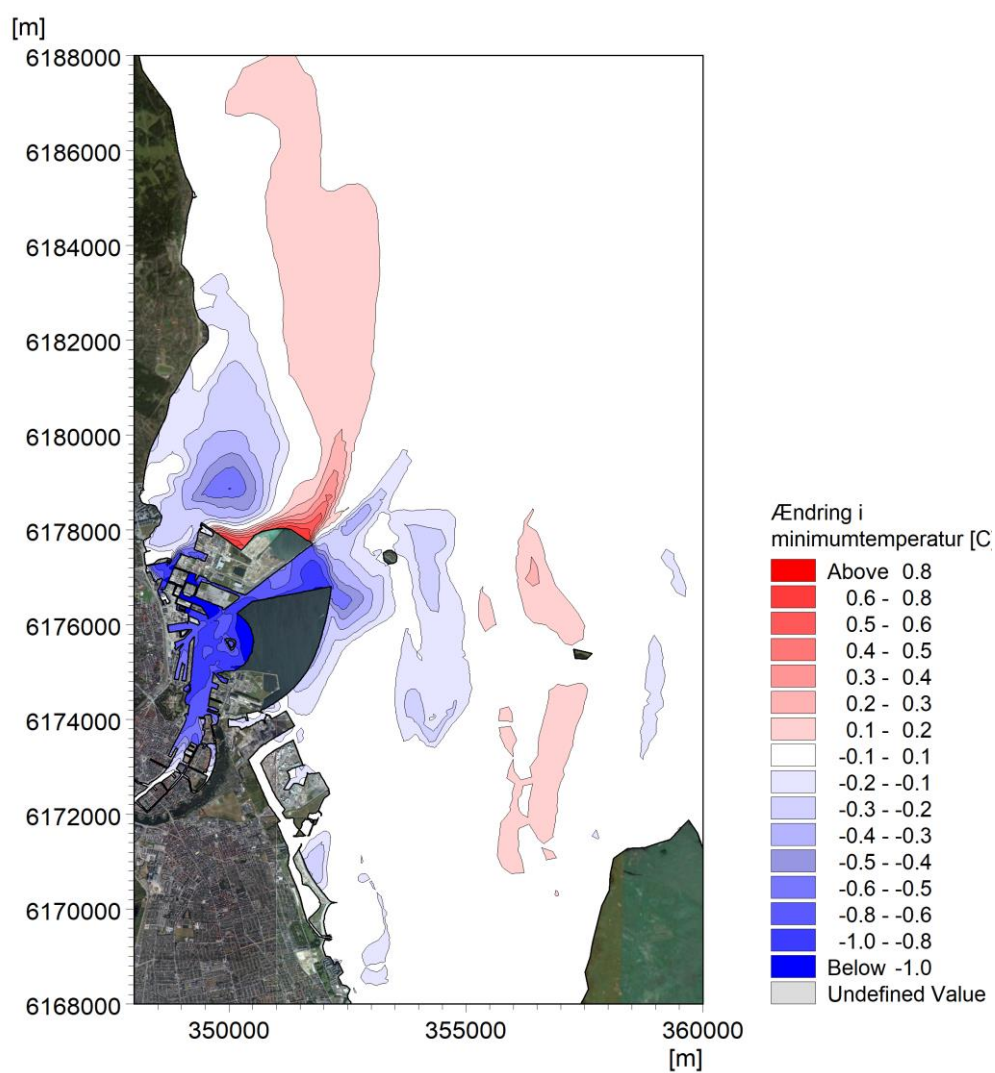
Figur 6-67 Årsminimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.



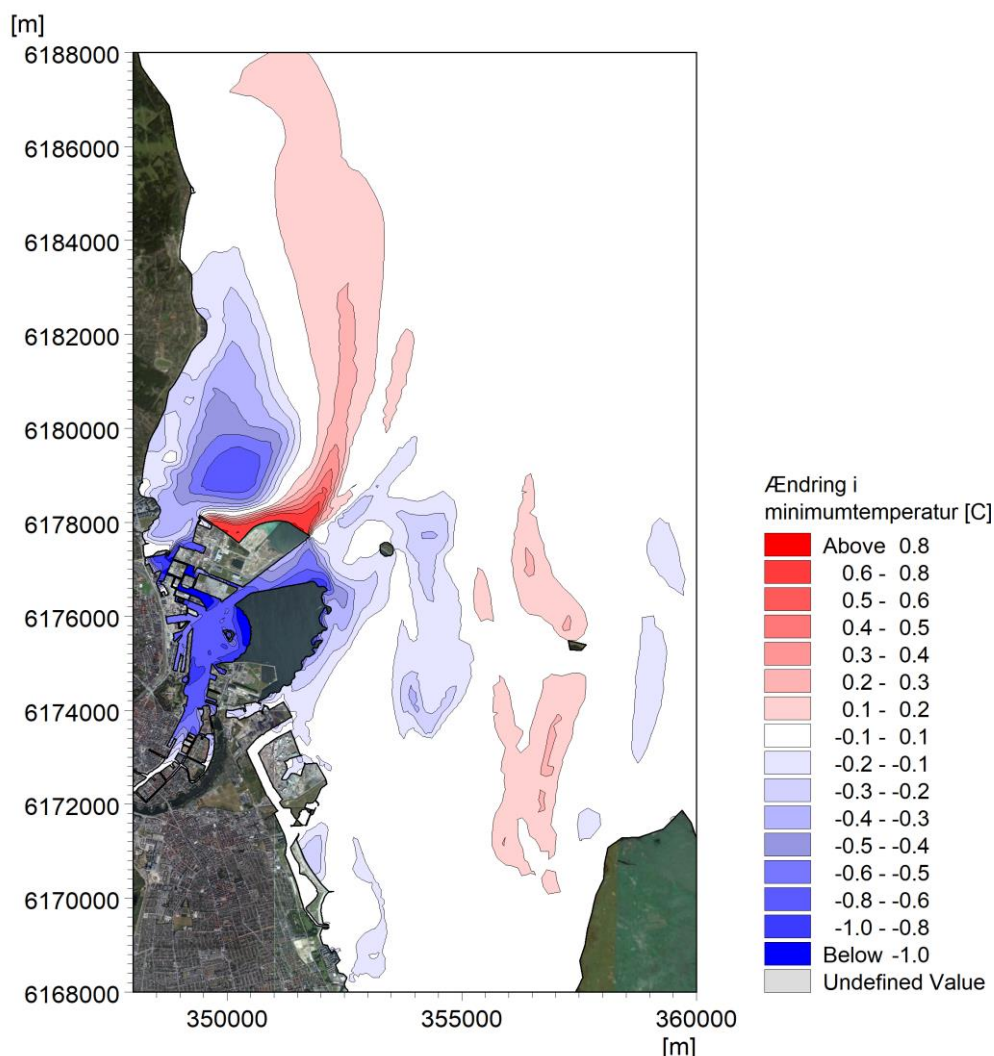
Figur 6-68 Årsminimum af dybdemidlet vandtemperatur. Hovedforslag 2 - med kystlandskab.

6.1.3.6 Vurdering af ændringer i minimum af vandtemperatur

Figur 6-69 viser den for Hovedforslag 1 beregnede ændring af de lavest forekommende vandtemperaturer, set i forhold til baseline, mens Figur 6-70 viser det tilsvarende plot for Hovedforslag 2. Det ses, at vandtemperaturerne falder i området omkring Trekroner, i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavnen, i Svanemøllebugten og i områder øst for opfyldningen. Til gengæld stiger minimumtemperaturen i en kile nord for Nordhavnsopfyldningen og i dele af Hollænderdybet. Temperaturfaldet finder sted i områder med nedsat vandskifte, og kraftig afkøling til verdensrummet. Temperaturstigningerne skyldes ændrede strømningsforhold.



Figur 6-69 Beregnet ændring af laveste vandtemperatur for Hovedforslag 1.



Figur 6-70 Beregnet ændring af laveste vandtemperatur for Hovedforslag 2.

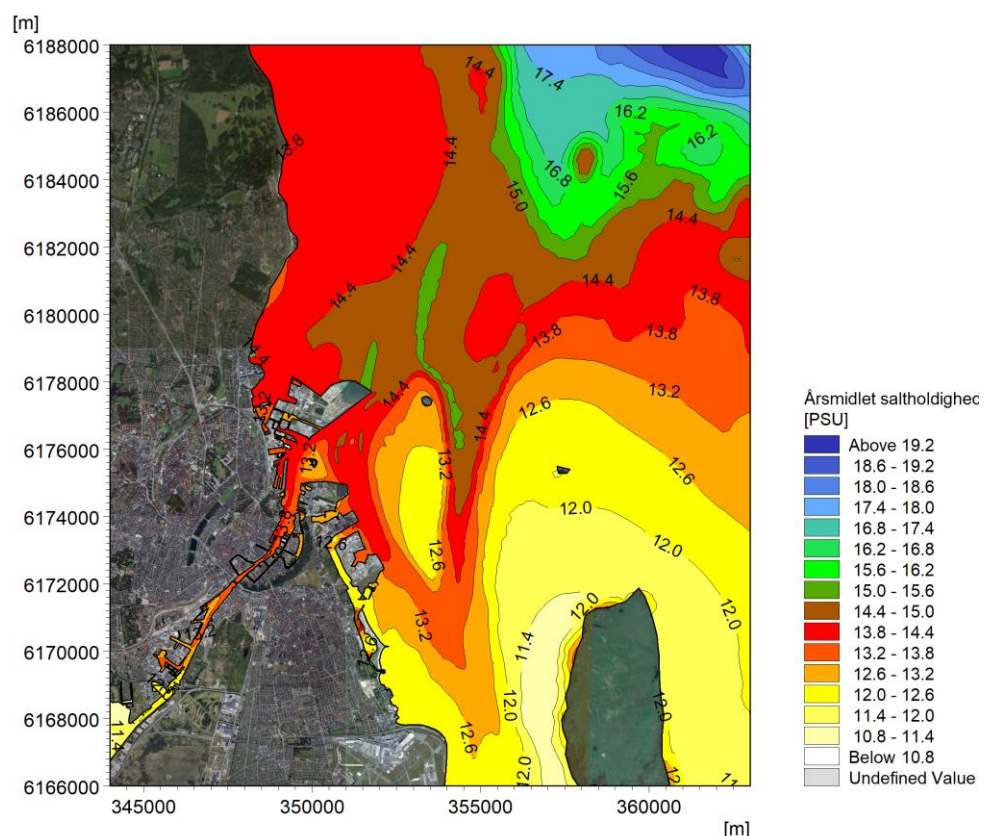
6.1.4 Vurdering af ændringer i saltholdighed

Forskelle i saltholdighed påvirker i højere grad vandets densitet end forskelle i vandtemperatur. Ydermere er solens opvarmning af vandoverfladen mere jævnt fordelt, hvorimod forskelle i saltholdighed er styret af udvekslingen mellem Østersøens brakvand og Nordsøen/Kattegats havvand. Saltholdighedens variation i sted og over dybden skaber derfor tredimensionelle strømningsfænomener som eksempelvis tunge bundstrømme og let overfladestrøm, som i situationer med springlag vil være modsatrettede. Ændringer i saltholdighed kan derfor ikke undgå at få en mindre påvirkning på opblandingsforhold og den lokale strømningscirkulation.

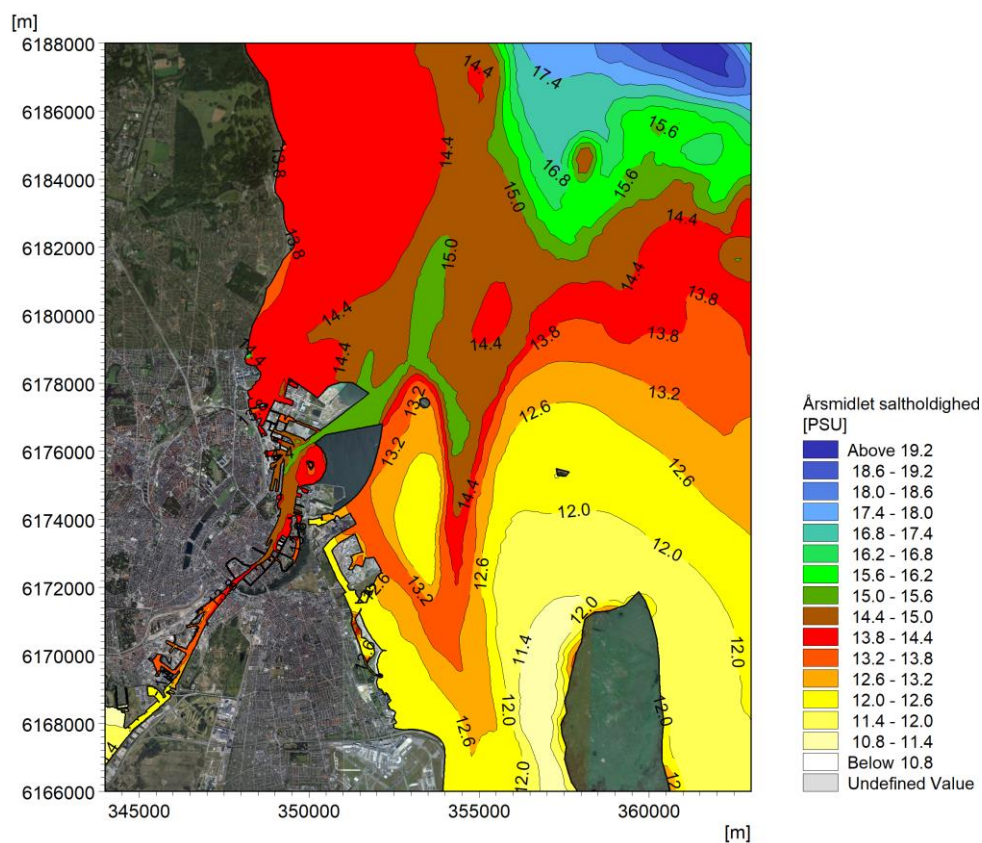
6.1.4.1 Årsmidlet saltholdighed

Saltholdigheden er langt mindre sæsonbetonet end vandtemperaturen og følger i langt højere grad dynamikken i vandstandsniveauet og udvekslingen af vand mellem Østersøen og Kattegat. I situationer med signifikant afstrømning fra Østersøen vil saltholdigheden generelt være lavere, mens den i situationer med signifikant indstrømning til Østersøen vil være højere. I overgangssituationer kan der være stor variation over dybden og modsatrettet strømning ved overflade og havbund (springlag). Det mest saltholdige vand findes på grund af densitetsdrevne strømme nær bunden i

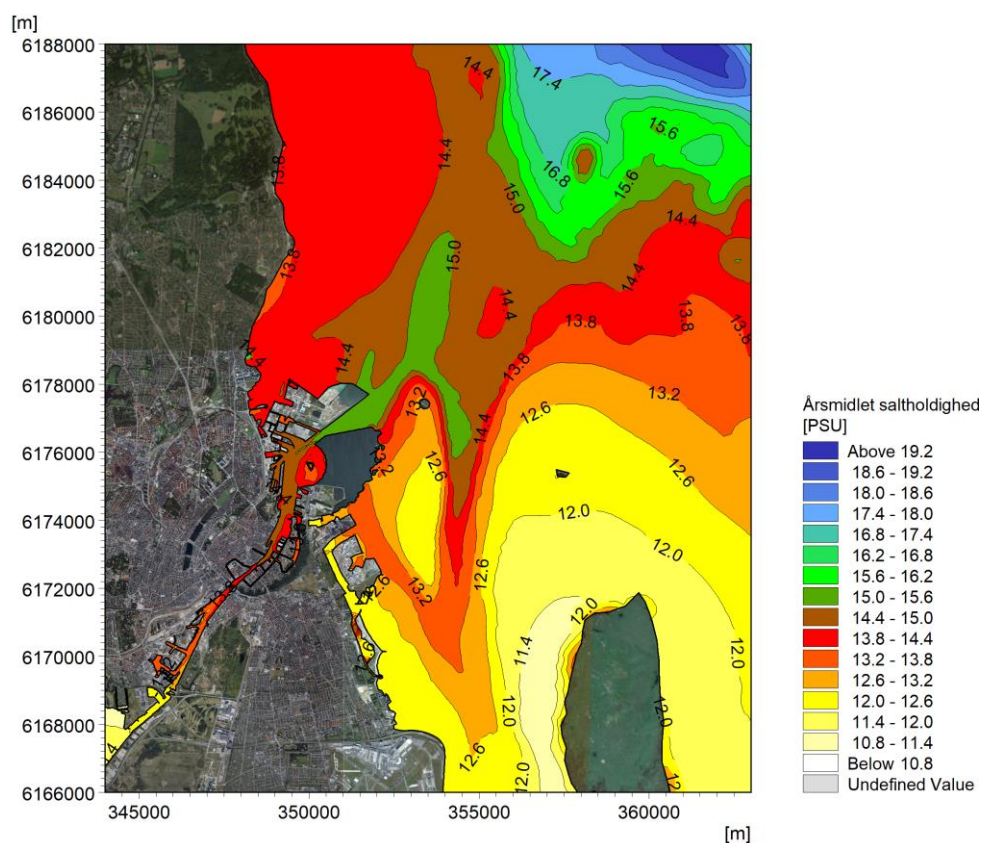
renderne hvor vanddybderne er størst og det tungere vand naturligt samler sig. Den beregnede dybdemidlet værdi for saltholdigheden vil derfor til dels afspejle dybdeforholdene (højere værdier på dybt vand, lavere værdier på lavt vand). En anden styrende faktor for niveauet og en vertikal fordeling er Drogdentræsklen syd for Saltholm, som grundet den lave vanddybde forhindrer/dæmper indstrømning af det tunge saltholdige bundvand. Figur 6-71 til Figur 6-73 viser den beregnede årsmiddel af saltholdighed (dybdemidlet) for hele 2018 for baselineforhold og de to hovedforslag. Det ses, at de stedlige variationer i saltholdigheden i det viste udsnit varierer fra 11-19,5 ‰. I tillæg til denne variation kommer variationen over dybden. En variation som i renderne ofte vil overstige 20 ‰ i niveauforskel ved bund og overflade. Niveauet aftager generelt i retning fra nord mod syd. Saltransporten til Østersøen foregår primært via de dybere render. Det ses, at saltholdigheden med baseline forhold er forøget i både Kongedybet og Hollænderdybet. I begge hovedforslag er Kongedybet blokeret. Saltholdigheden er derfor forøget i området omkring tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn, mens den er reduceret i den resterende del af Kongedybet syd for opfyldningen. Dele af området langs med Saltholm er ikke altid vanddækket. De lidt højere niveauer skyldes derfor, at der ikke beregnes middel for samme varighed, som i områderne med konstant vanddække. Den dybdemidlet årsmiddel af saltholdighed er et produkt af en statistisk analyse og derfor ikke udtryk for et øjeblikbillede.



Figur 6-71 Årsmiddel af dybdemidlet saltholdighed for baseline forhold.



Figur 6-72 Årsmiddel af dybdemidlet saltholdighed. Hovedforslag 1 - uden kystlandskab.

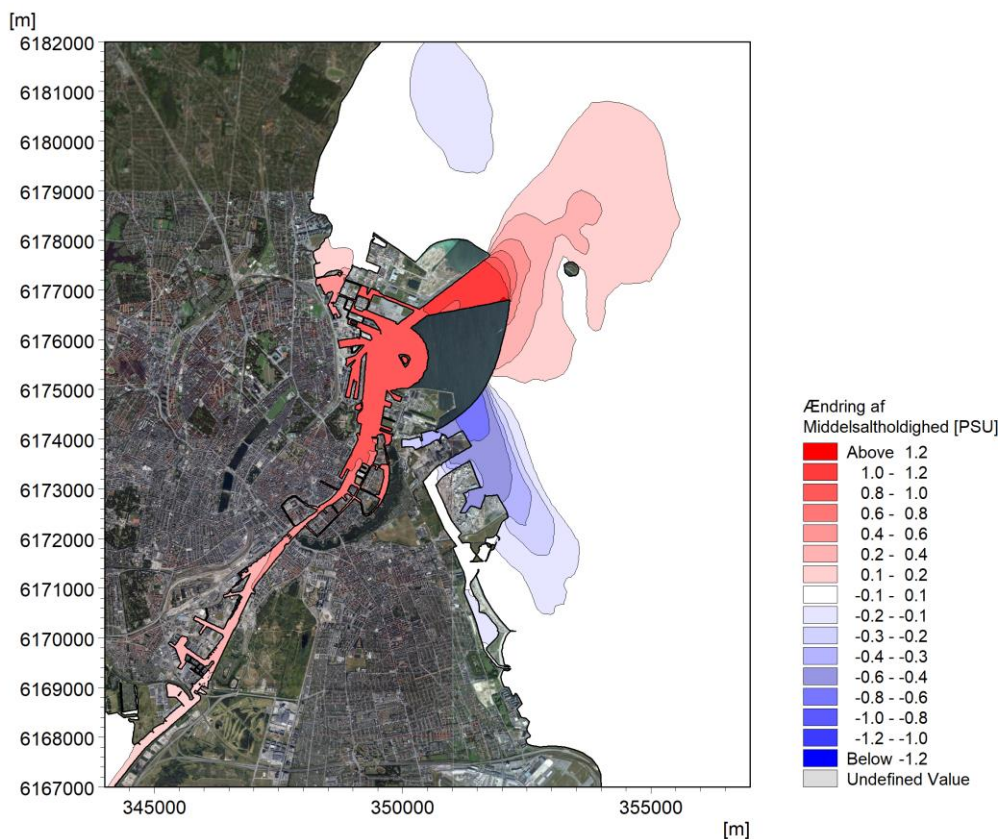


Figur 6-73 Årsmiddel af dybdemidlet saltholdighed. Hovedforslag 2 - med kystlandskab.

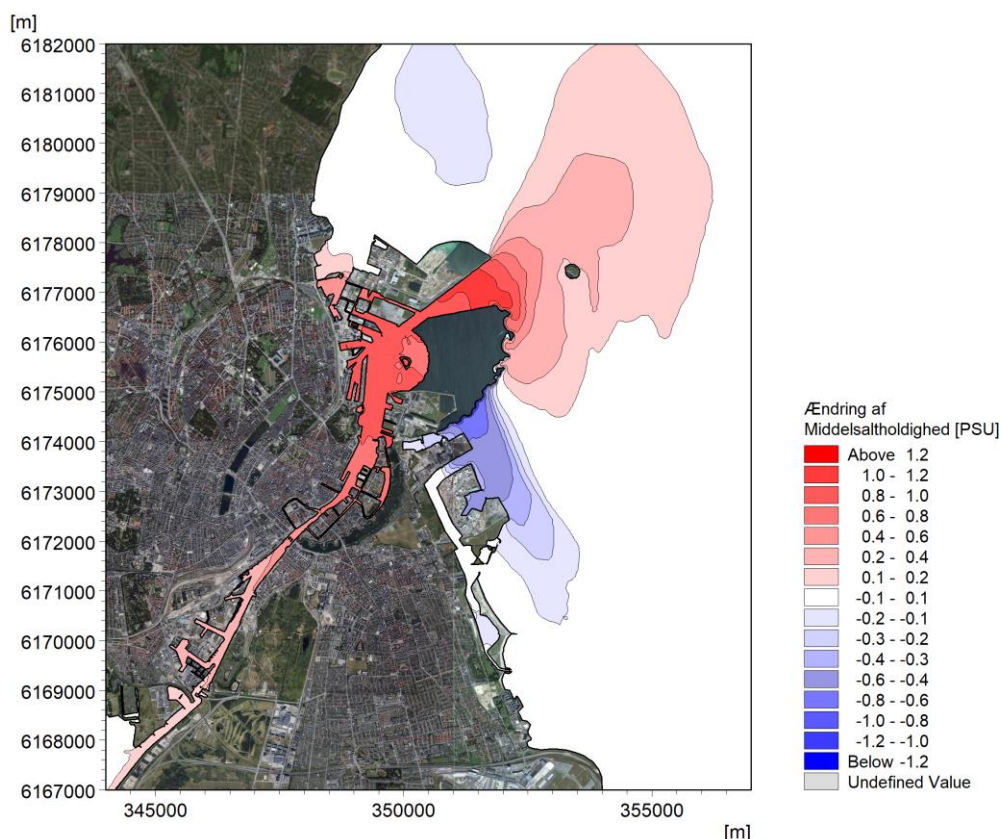
6.1.4.2 Vurdering af ændringer i årsmiddel af saltholdighed

Lynetteholms blokering af Kongedybet indebærer at den sydgående transport af salt vil mindskes lokalt. Dette giver sig udslag i et generelt forøget saltholdighedsniveau (ophobningseffekt) i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn, i området nordøst herfor og i havneløbet, jf. Figur 6-74 og Figur 6-75. I Kongedybet syd for opfyldningen falder saltholdighedsniveauet til gengæld, som følge af den reducerede tilførsel nordfra.

De fundne ændringer er små i forhold til de naturligt forekommende variationer og er derfor i sig selv ikke kritiske.



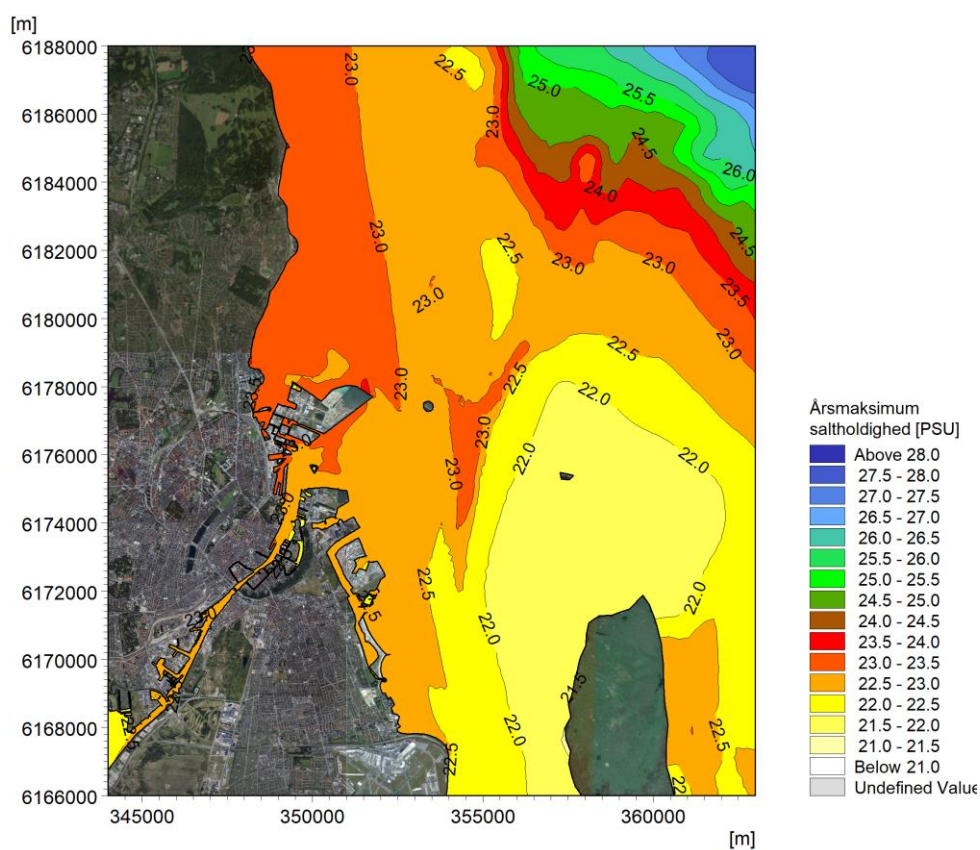
Figur 6-74 Beregnet ændring af årsmidlet saltholdighed for Hovedforslag 1.



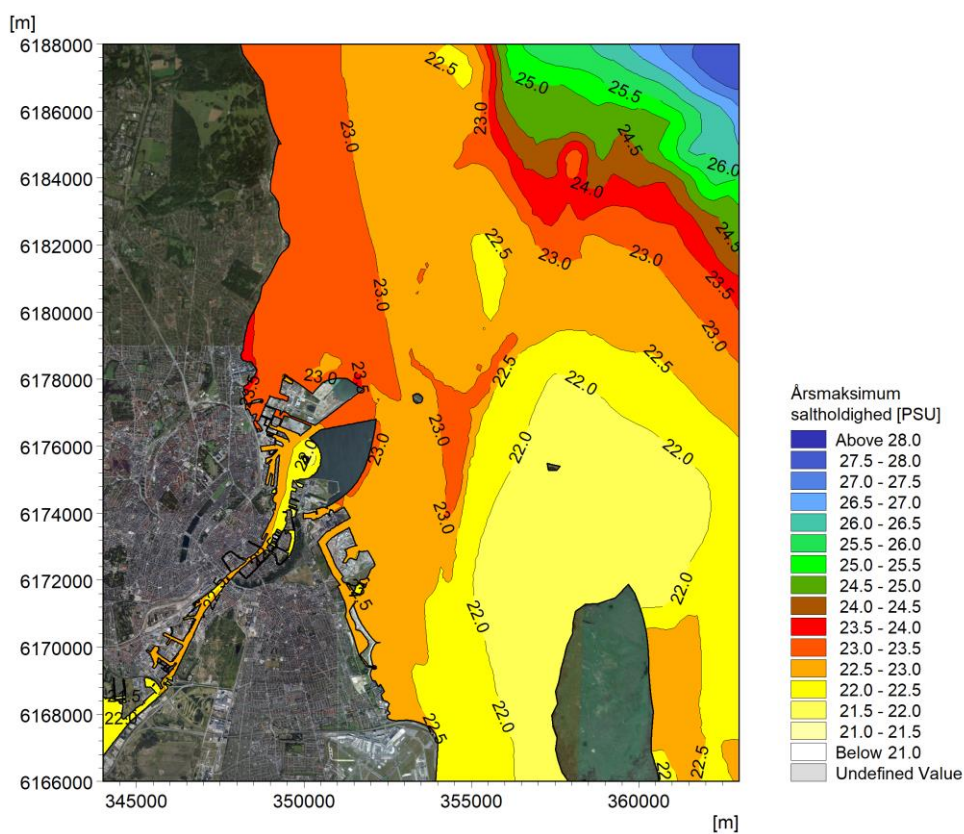
Figur 6-75 Beregnet ændring af årsmidlet saltholdighed for Hovedforslag 2.

6.1.4.3 Maksimum saltholdighed

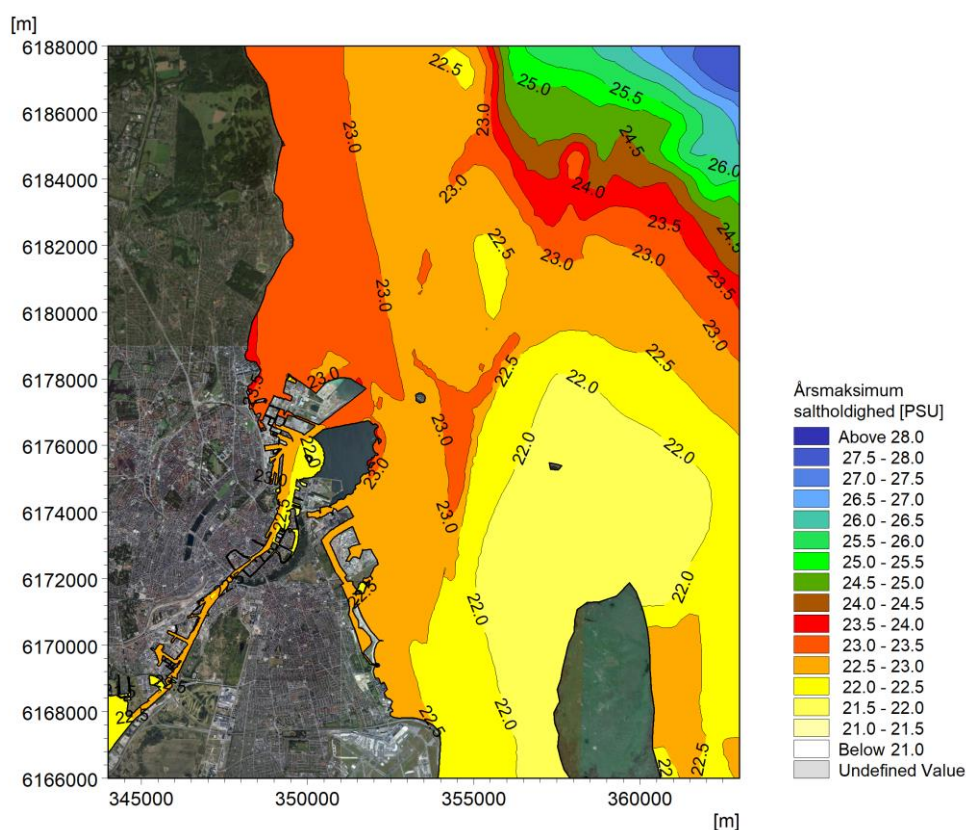
Meget høje niveauer af saltholdighed og saltindbrud til Østersøen optræder typisk i forbindelse med nordfra kommende stormflodshændelser, hvor store mængder af saltvand presses fra Nordsøen og via Kattegat ind i Østersøen. I det valgte modelår er der ingen ekstreme stormflodshændelser, men længerevarende perioder med dominerende sydgående strøm, hvor der også presses saltvand fra Kattegat ind i Østersøen. Figur 6-76 til Figur 6-78 viser det beregnede maksimum af dybdemidlet saltholdighed i 2018 for baseline forhold og de to hovedforslag. Det ses, at de stedlige variationer i saltholdigheden i det viste udsnit varierer fra 21,5-28 %. I tillæg til denne variation kommer variationen over dybden, som i disse situationer begrænser sig til nogle få promille i niveauforskel mellem bund og overflade. Niveauet aftager generelt i retning fra nord mod syd. Plottene er et produkt af en statistisk analyse og derfor ikke udtryk for et øjebliksbillede, men repræsentative for forhold med længerevarende sydgående strømning.



Figur 6-76 Årsmaksimum af dybdemidlet saltholdighed for baseline forhold.



Figur 6-77 Årsmaksimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 1 – uden kystlandskab.

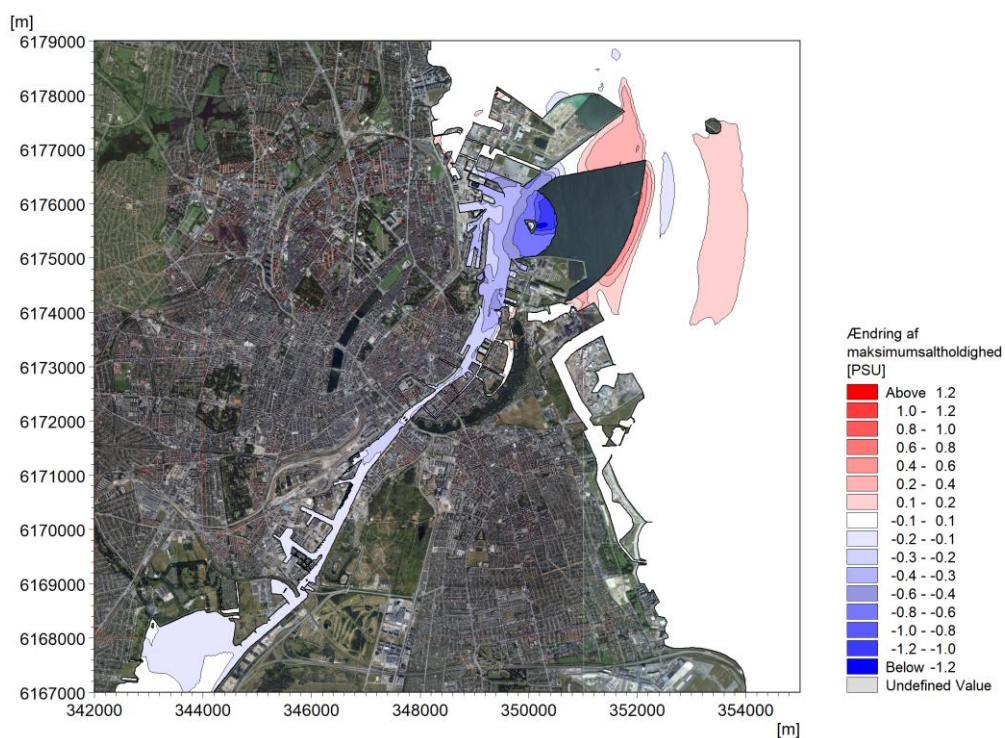


Figur 6-78 Årsmaksimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 2 – med kystlandskab.

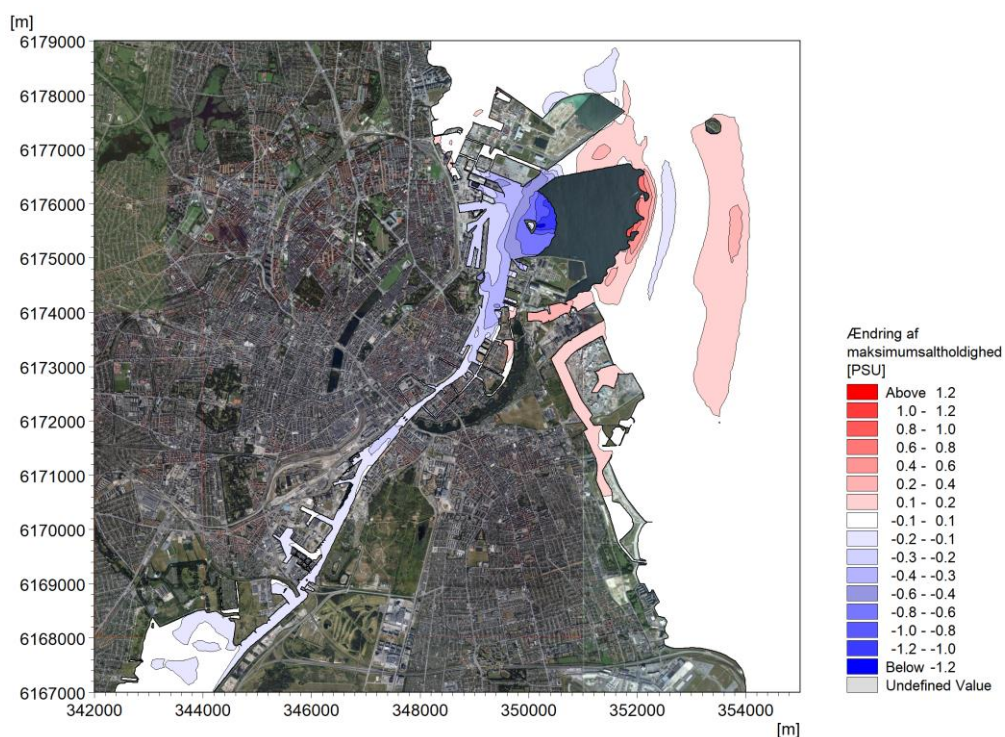
6.1.4.4 Vurdering af ændringer i maksimum af saltholdighed

I situationer med høj saltholdighed er der en kraftigere opblanding i vandsøjlen. De stedlige gradienter i saltholdighed, dvs. forskelle over en strækning, er derfor mindre end i situationer med mere normale strømforhold. I situationer med høj saltholdighed er de tredimensionale strømningseffekter mere afdæmpede, hvorfor ændringer, fremkaldt af Lynetteholm opfyldningen, i saltudvekslingen mellem Øresund og havneløbet bliver mindre markant. Figur 6-79 og Figur 6-80 viser den beregnede ændring af den maksimale saltholdighed (dybdemidlet) for hver af de to hovedforslag. Det ses, at der er en lokal forøgelse i den yderste del af tragtens og langs med opfyldningens østlige perimeter, mens der er et fald i hele havneløbet. Der optræder også en lokal forøgelse langs den østlige del af Middelgrunden. Det største fald opleves i området lige øst for Trekroner, hvor der som følge af opfyldningen ikke længere er direkte udveksling med Øresund.

De fundne ændringer er små i forhold til de naturligt forekommende variationer og er derfor i sig selv ikke kritiske.



Figur 6-79 Beregnet ændring af maksimum saltholdighed for Hovedforslag 1.

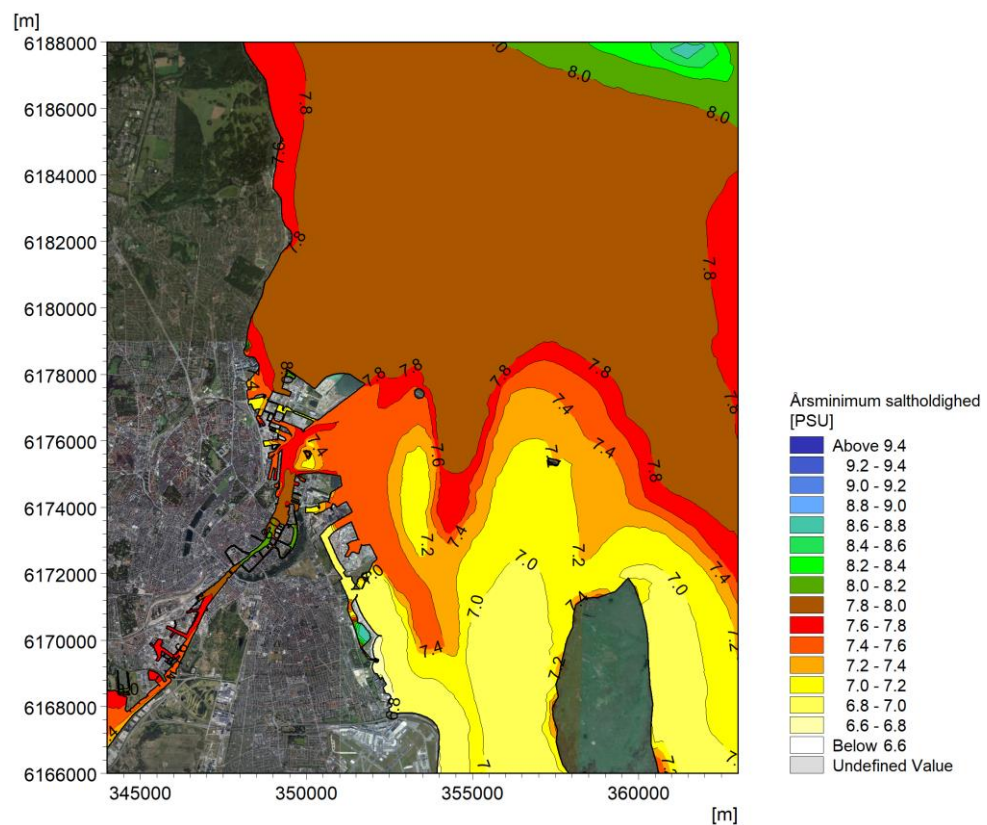


Figur 6-80 Beregnet ændring af maksimum saltholdighed for Hovedforslag 2.

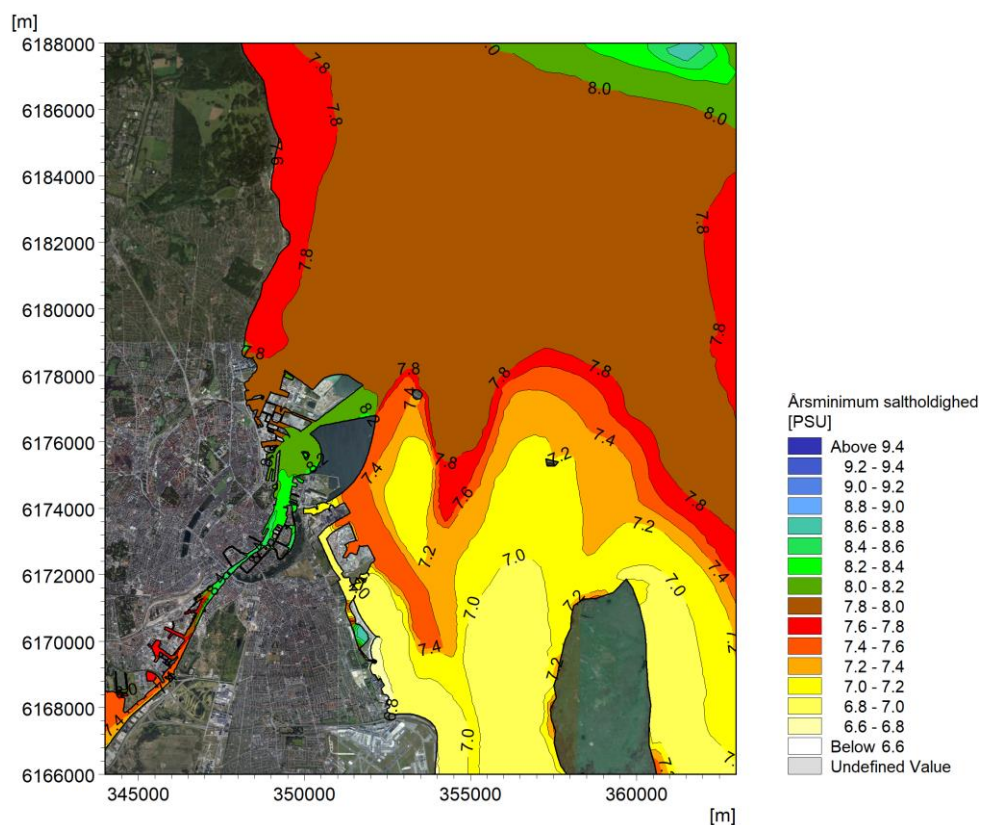
6.1.4.5 Minimum saltholdighed

Meget lave niveauer af saltholdighed optræder typisk, når der i en længerevarende periode presses større mængder brakvand fra Østersøen ud i Kattegat. Figur 6-81 til Figur 6-83 viser det beregnede minimum af dybdemidlet saltholdighed i 2018 for baseline

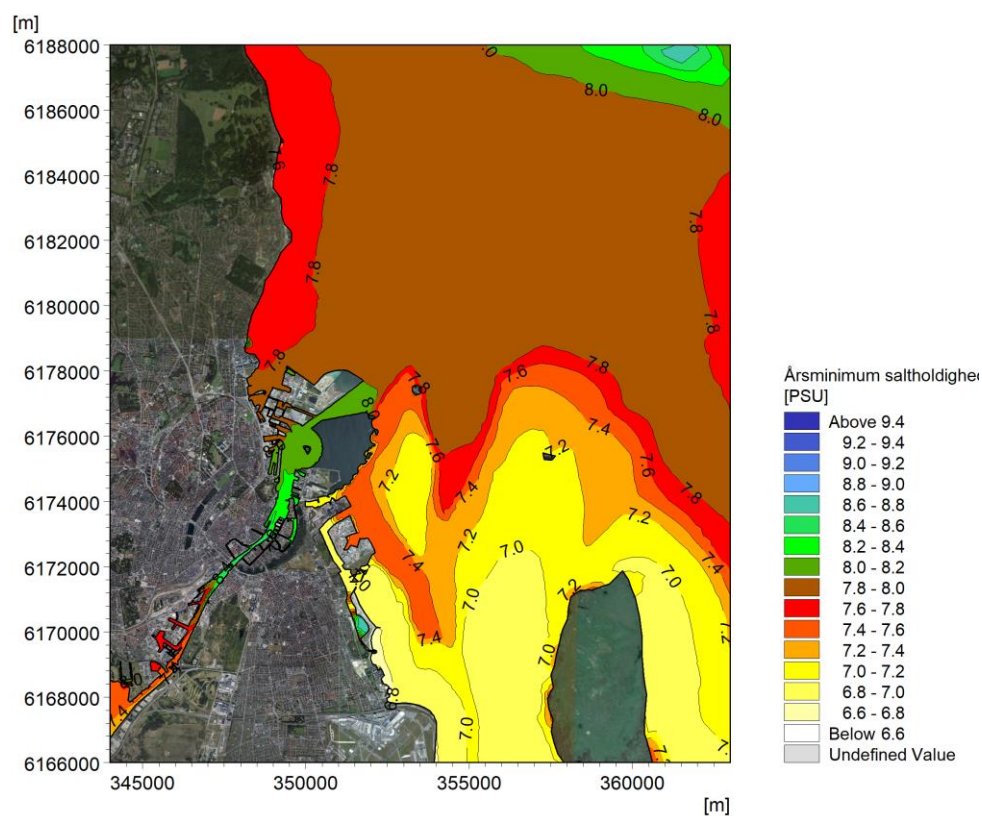
forhold og de to undersøgte hovedforslag. Det ses, at de stedlige variationer i saltholdigheden i det viste udsnit varierer fra 7-8,5 ‰. I tillæg til denne variation kommer variationen over dybden, som i disse situationer begrænser sig til nogle få promille i niveauforskel mellem bund og overflade. Niveaueet i saltholdighed stiger generelt i retning fra syd mod nord. Plottene er et produkt af en statistisk analyse og derfor ikke udtryk for et øjebliksbillede, men repræsentative for forhold med længerevarende nordgående strømning.



Figur 6-81 Årsminimum af dybdemidlet saltholdighed for baseline.



Figur 6-82 Årsminimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 1 – uden kystlandskab.

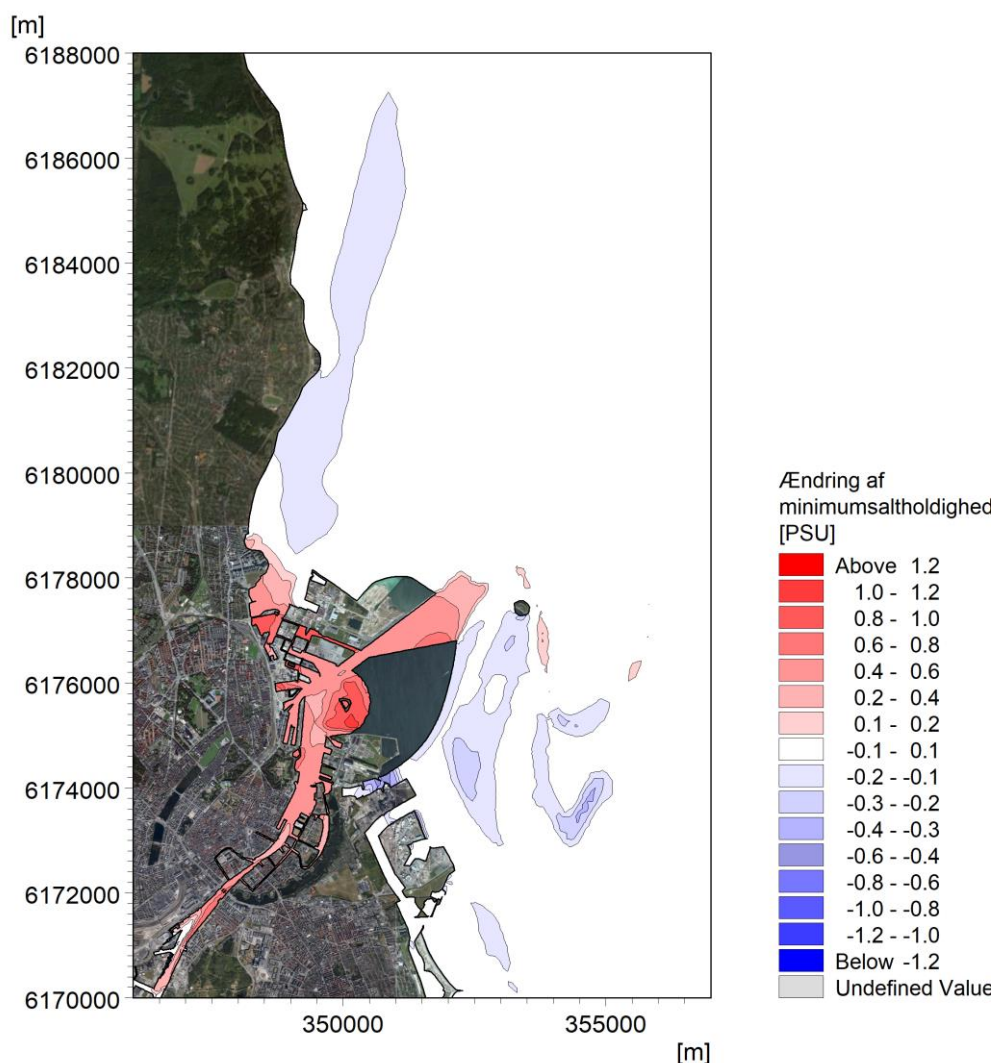


Figur 6-83 Årsminimum af dybdemidlet saltholdighed for Hovedforslag 2 – med kystlandskab.

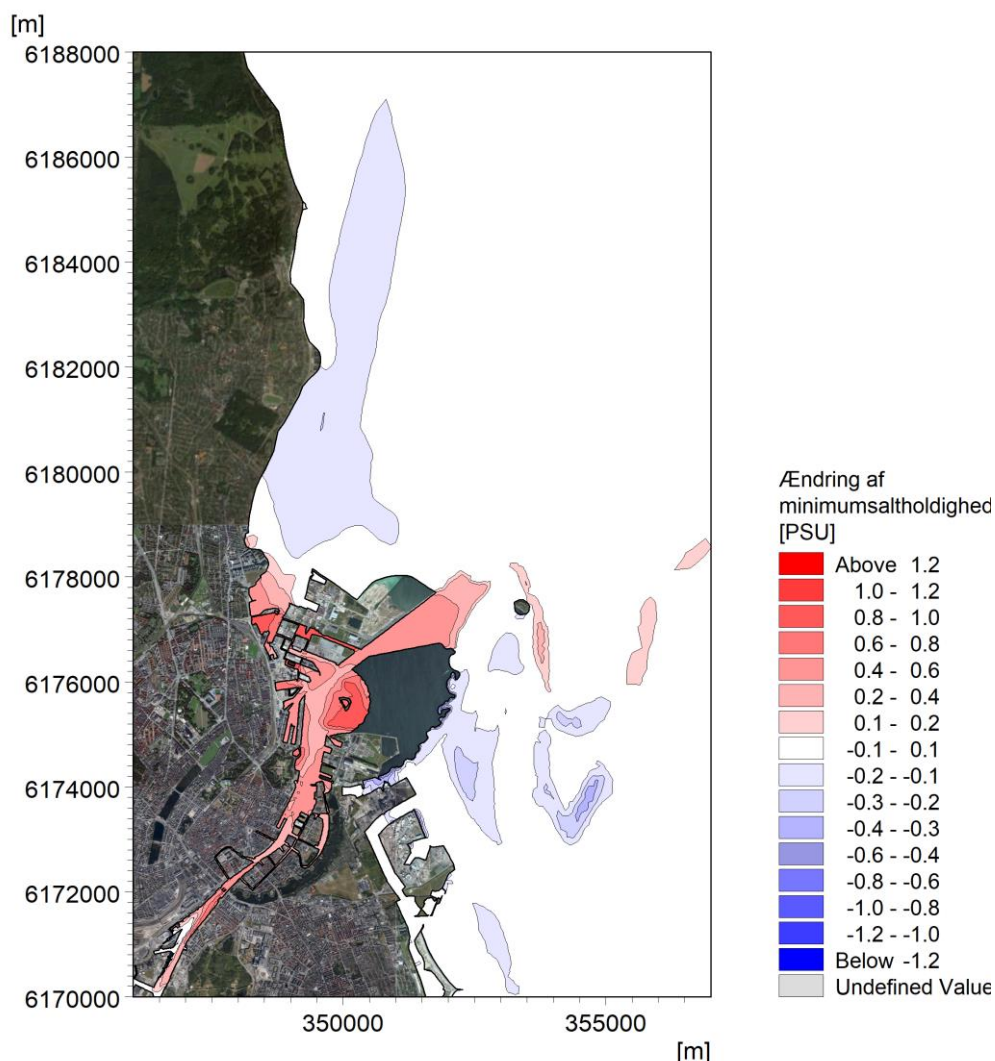
6.1.4.6 Vurdering af ændringer i minimum af saltholdighed

Figur 6-84 og Figur 6-85 viser de beregnede ændringer i minimum saltholdighed (dybdemidlet) i 2018 for de to undersøgte hovedforslag. Det ses, at der optræder en stigning i saltholdighed i havneløbet, i tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn og den indre del af Svanemøllebugten. I området øst for opfyldningen og det kystnære område nord for Nordhavn ses et mindre fald i saltholdighed.

Modelberegningerne af maksimum og minimum indikerer at variationerne i saltholdighed i havneløbet generelt vil mindskes efter en Lynetteholm udbygning. De fundne ændringer er dog små i forhold til de naturligt forekommende variationer og er derfor ikke kritiske.



Figur 6-84 Beregnet ændring af minimum saltholdighed for Hovedforslag 1.



Figur 6-85 Beregnet ændring af minimum saltholdighed for Hovedforslag 2.

6.1.5 Vurdering af ændrede bølgeforhold

For at kunne vurdere de to hovedforslags påvirkning af bølgeforholdene lokalt og langs de omkringliggende kyster er der simuleret et helt års bølger i Øresund, således at alle sæsonvariationer er repræsenteret. Det er valgt at modellere år 2018, da dette år er modelleret i detaljer for de hydrodynamiske forhold, og analysen derfor skaber et samlet billede af forholdene.

Vurderingen af ændringerne i bølgeforhold er lavet som en komparativ analyse, hvor først de eksisterende forhold er modelleret (baseline) og disse efterfølgende er sammenlignet med de fremtidige forhold fremkaldt af de to hovedforslag. Herved er eventuelle ændringer identificeret, kvantificeret og kommenteret.

Eftersom der er sandstrande både nord for projektområdet (Charlottenlund, Hellerup og Svanemøllen) og syd for projektområdet (Amager Strand) er eventuelle påvirkninger af interesse, idet ændringer i bølgefelter, og særligt de indkommende bølgeretninger, kan forårsage ændringer i de litorale forhold.

Figur 6-86 og Figur 6-103 viser de analyserede punkter på et kort med henholdsvis Hovedforslag 1 (layout uden kystlandskab) og Hovedforslag 2 (layout med kystlandskab)

markeret. Punkterne 1-3 ligger nord for projektområdet, og særligt punkt 1 og 2 må ikke påvirkes, da dette vil have indflydelse på de nordlige strande (Svanemøllen og Hellerup). Punkt 4-8 ligger ud for projektområdet og Prøvestenen. Kysten er i disse punkter opbygget af hårde konstruktioner såsom spunsvæg og stenkastninger, hvorfor eventuelle ændringer ikke vil have betydende konsekvenser. Punkt 9 og 10 ligger ud for Amager Strand, og ændringer i bølgeforholdene vil således have indflydelse på denne.

Udover de 10 punkter er der analyseret to punkter i indsejlingen mellem Nordhavn og Lynetteholm. Bølgeforholdene i tragten mellem Nordhavnen og Lynetteholm vil afhænge af, hvordan indfatningen langs den nordlige kant af Lynetteholm udføres. Denne udførte analyse bygger på, at nordsiden af Lynetteholm bliver udført tilsvarende til Nordhavnen, som en spunsvæg der reflekterer langt størstedelen af bølgeenergien. Opføres perimeteren, således at konstruktionen kan absorbere en del af bølgeenergien i tragten, vil bølgehøjderne blive mindre end de her fundne.

6.1.5.1 Hovedforslag 1 – Layout uden kystlandskab

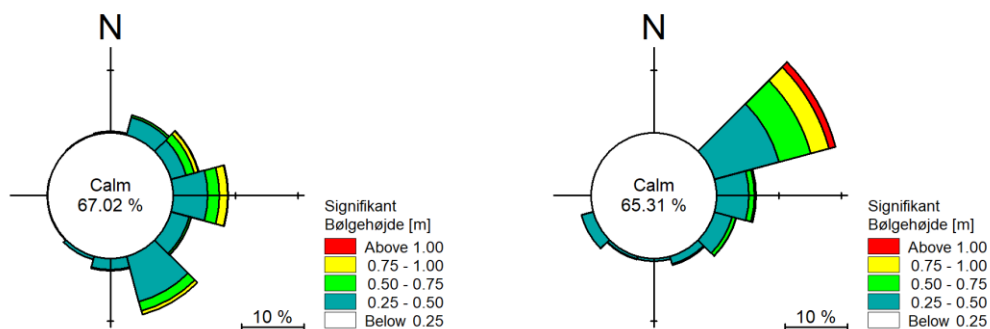
Hovedforslag 1 er karakteriseret ved en konveks udformning af den østlige perimeter. Udformningen er lavet med henblik på at kunne føre strømmingen fra Kongedybet uden om opfyldningen i naturlig sammenhæng med Nordhavns spidsen.



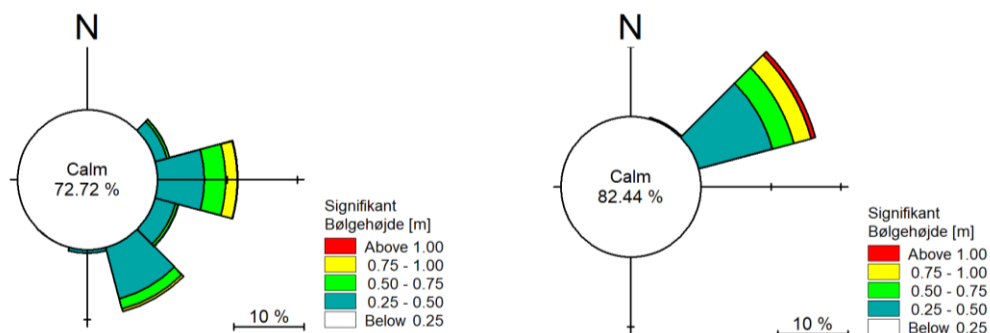
Figur 6-86 Analyserede punkter i bølgeanalysen af Hovedforslag 1.

Figur 6-87 og Figur 6-88 viser bølgeroser henholdsvis yderst og inderst i tragten for den nuværende situation og for Hovedforslag 1. For både det ydre og det indre punkt, ses det, at de reflekterende rande medfører en intensivering og forstærkning af bølgerne. Derudover ses effekten af Lynetteholm som en skyggeeffekt for sydlige og sydøstlige bølgeretninger, således at stort set alle bølgerne i tragten vil komme fra øst-nordøstlig retning. Yderst i tragten vil bølgerne refraktere om hjørnet af Lynetteholm, og perioden hvori bølgerne overstiger 25 cm er stort set den samme som i det nuværende scenarie. Figur 6-88 viser at Lynetteholm, på trods af intensiveringen af bølgehøjden vil virke som læ, og dermed forårsage at bølgerne sjældnere vil overstige 25 cm. For Hovedforslag 1

overstiger den signifikante bølgehøjde kun 25 cm i 18 % af tiden mod 28 % af tiden med nuværende forhold.

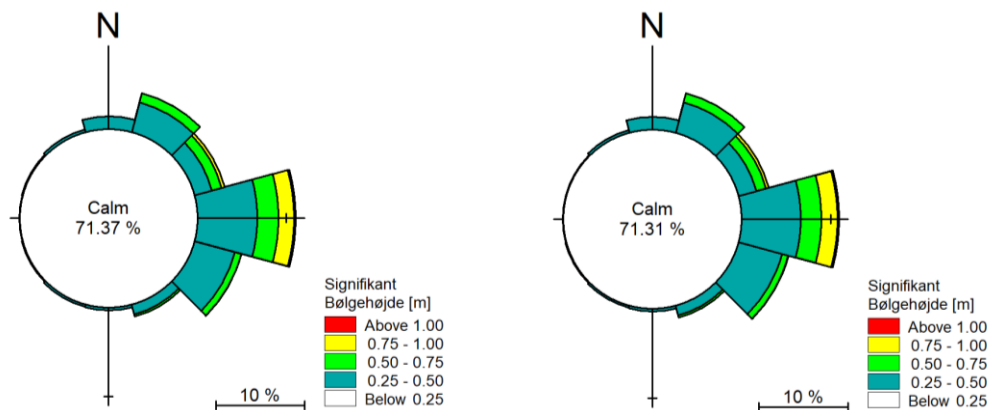


Figur 6-87 Ydre tragt, bølgeroser for de nuværende forhold og Hovedforslag 1.

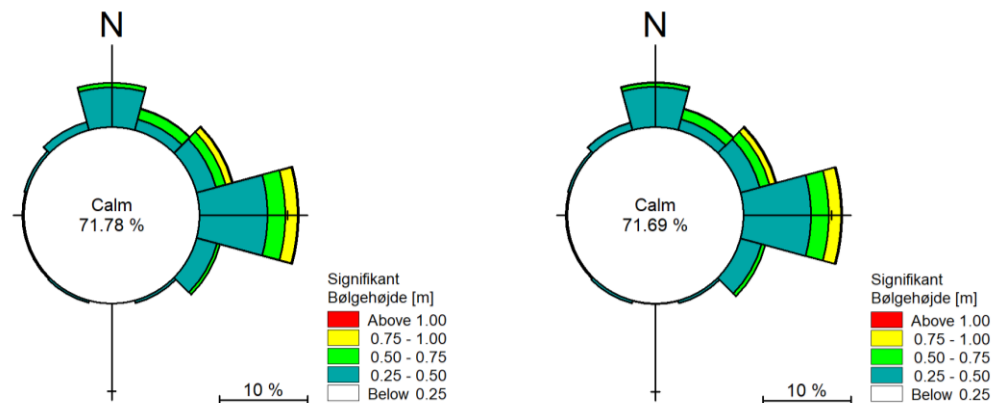


Figur 6-88 Indre tragt, bølgeroser for de nuværende forhold og Hovedforslag 1.

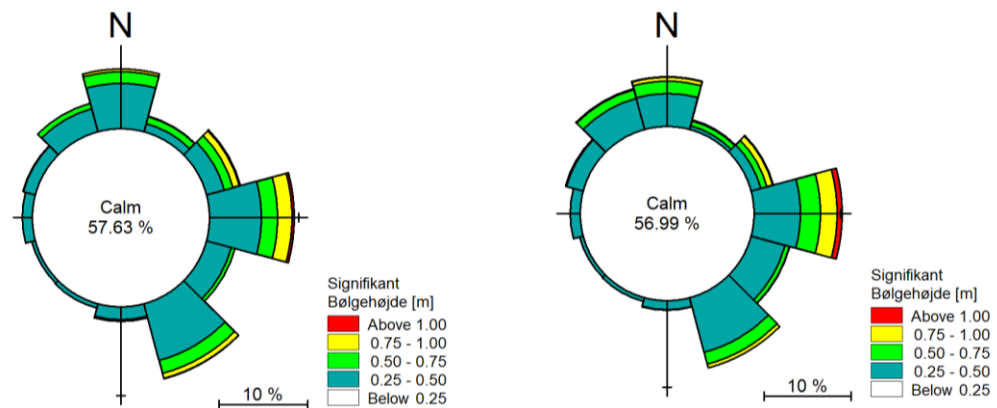
Figur 6-89 til Figur 6-91 viser bølgehøjder og bølgeretninger (kommende fra) for punkt 1-3 før og efter Hovedforslag 1 udbygning af Lynetteholm. Bølgeretningerne er inddelt ind i 30 graders segmenter. De tre figurer viser ingen signifikante ændringer. Den dominerende bølgeretning er direkte øst med klare påvirkninger fra nord/nordøst og for Nordhavn punktet ligeledes fra sydøst.



Figur 6-89 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 1, Charlottenlund.

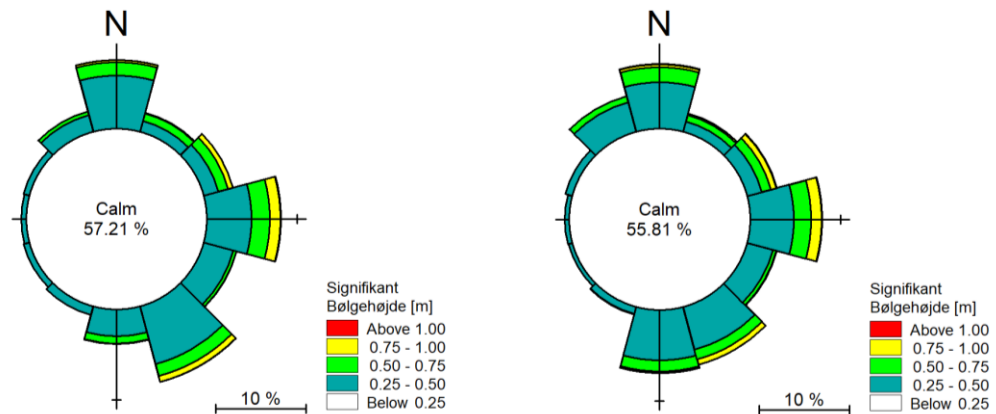


Figur 6-90 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 2, Hellerup.

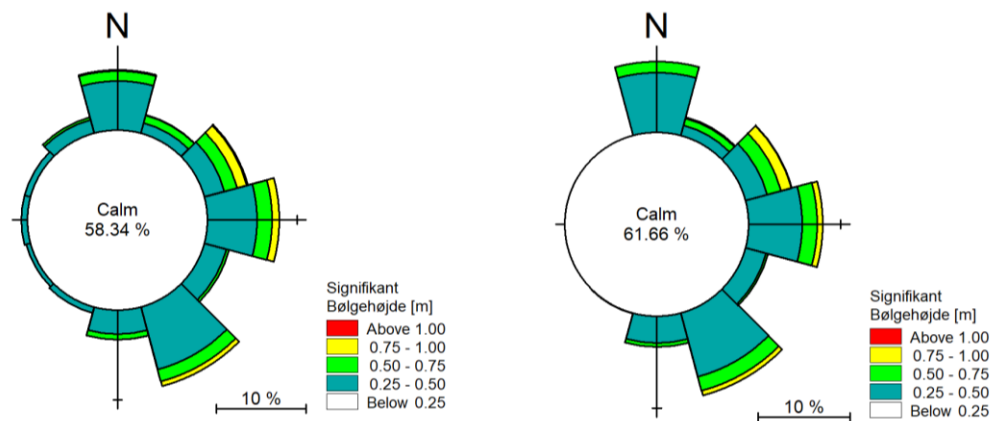


Figur 6-91 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 3, Nordhavn.

Figur 6-92 og Figur 6-93 viser bølgeforholdene ud for Lynetteholm før og efter en Hovedforslag 1 opfyldning. For de to punkter ses der kun en uvæsentlig effekt i bølgerne fra syd, idet Lynetteholm skygger for disse. De sydlige bølger er dog i forvejen meget små, hvorfor effekter ligeledes bliver små.

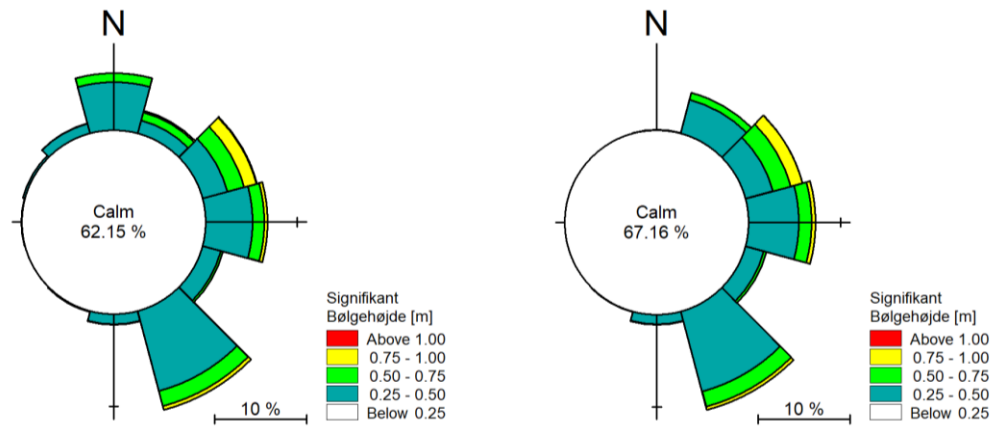


Figur 6-92 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 4, Lynetteholm Nord.

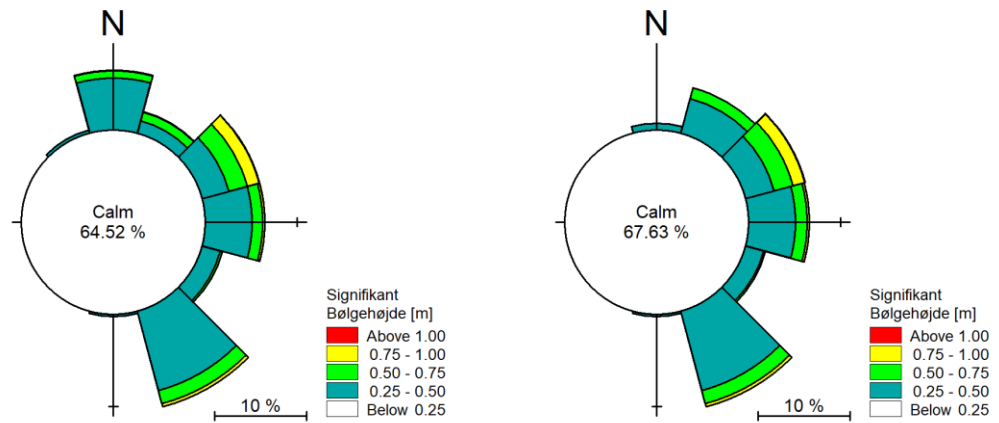


Figur 6-93 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 5, Lynetteholm Centralt.

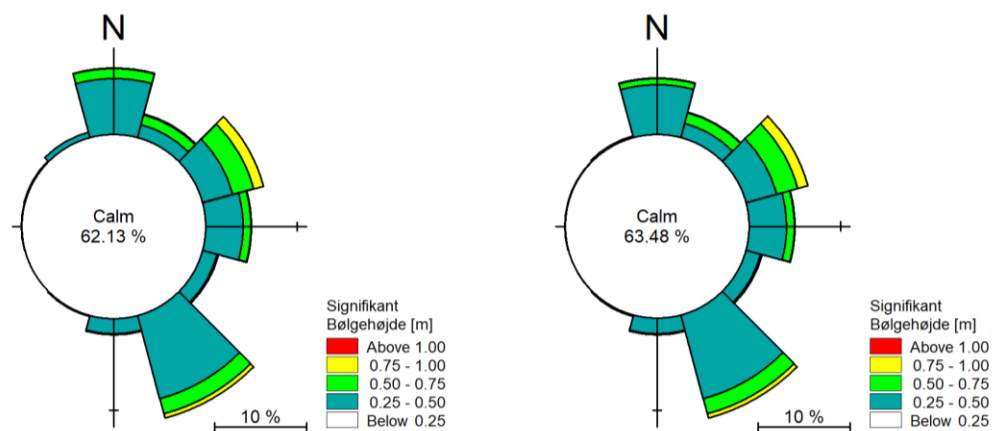
Figur 6-94 til Figur 6-96 viser bølgeforholdene syd for Lynetteholm. Eftersom der er en skyggeeffekt mod nord, ses de nordfra kommende bølger at optræde mere sjældent samt blive mindre. Der er ingen synlige effekter for bølger kommende fra østnordøst og sydligere retninger.



Figur 6-94 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 6, Lynetteholm Syd.



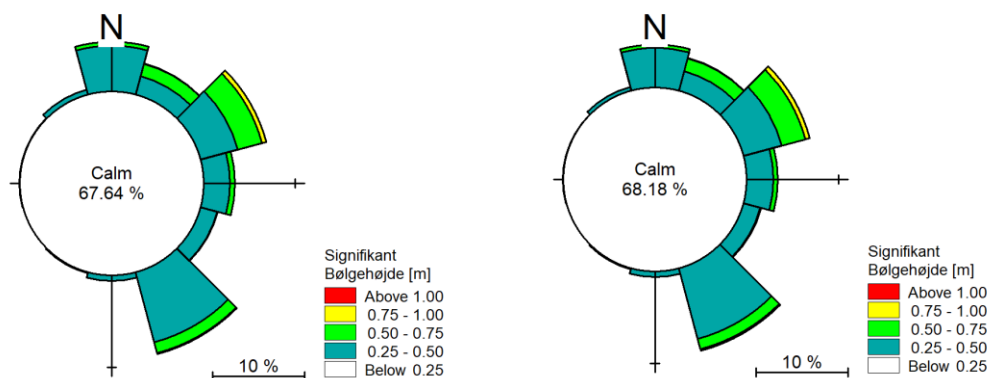
Figur 6-95 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 7, Prøvestenen Nord.



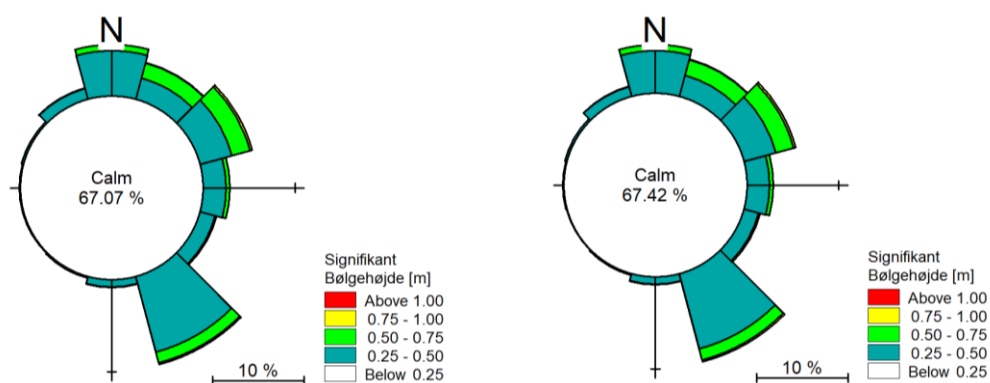
Figur 6-96 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag (højre) for punkt 8, Prøvestenen Syd.

Figur 6-97 og Figur 6-98 viser de kritiske punkter ud for Amager Strand. Figureerne viser, at skyggeeffekten er aftaget, således,

at der ud for stranden ikke er nogen synlig effekt af Lynetteholm.

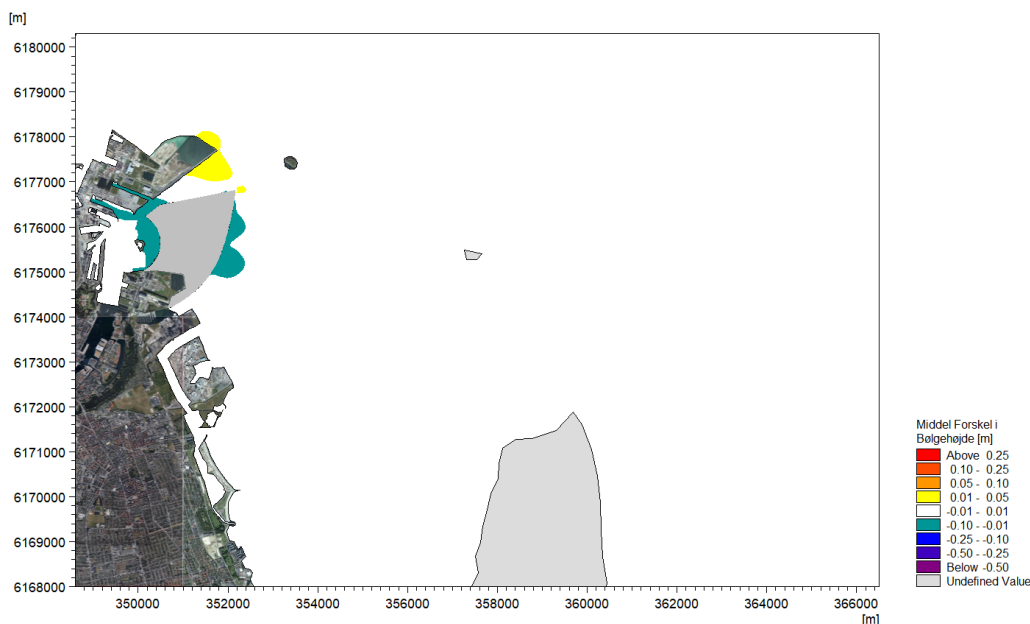


Figur 6-97 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 9, Amager Strand Nord.



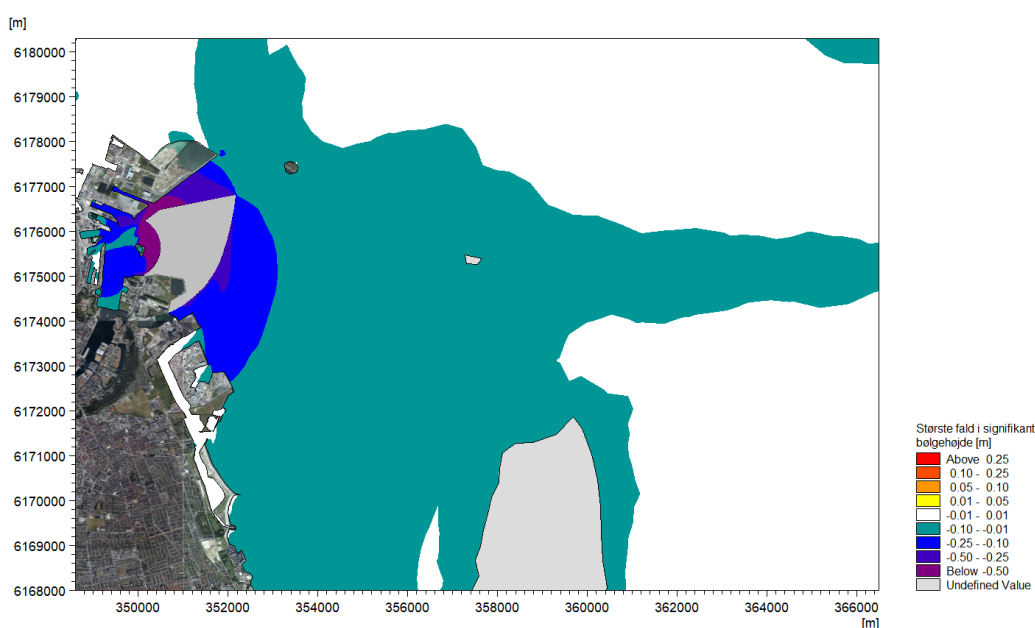
Figur 6-98 Bølgeroser for nuværende forhold (venstre) og Hovedforslag 1 (højre) for punkt 10, Amager Strand Syd.

Figur 6-99 til Figur 6-101 viser konturer for de af projektet fremkaldte ændringer i bølgehøjde. Figur 6-99 viser ændringer i middelbølgehøjden, som ses at være koncentreret omkring Nordhavnsudvidelsens østlige hjørne, hvor bølgehøjderne generelt er større og omkring Lynetteholm, hvor bølgehøjderne i gennemsnit er lavere.



Figur 6-99 De af Hovedforslag 1 fremkaldte ændringer af årsmidlet bølgehøjde.

Figur 6-100 viser det maksimale fald i den signifikante bølgehøjde skabt af Hovedforslag 1 opfyldningen. Det største fald i bølgehøjder forekommer mellem Lynetteholm og Trekroner. Her har bølgerne på Øresundssiden i dag uhindret adgang, og vil i fremtiden være fuldstændig af skårede. Derudover viser skyggeeffekten fra opfyldningen sig både nord og syd for Lynetteholm, hvor der forekommer et fald i signifikant bølgehøjde på op mod 50 cm. Derudover forekommer der fald på mellem 1 og 10 cm mellem Amager og Saltholmen.



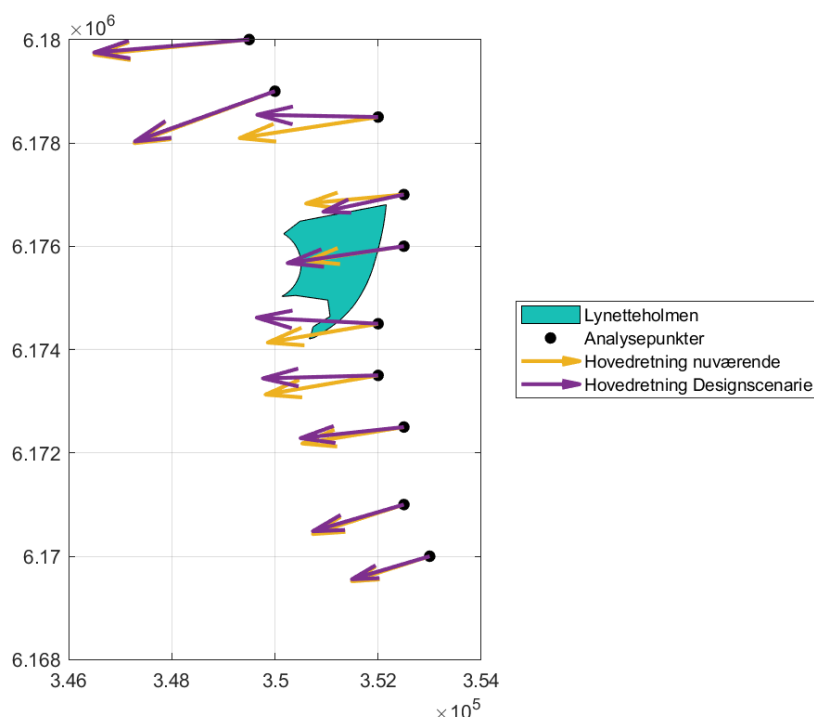
Figur 6-100 Største reduktion i signifikant bølgehøjde.

Figur 6-101 viser den maksimale stigning i bølgehøjder skabt af Hovedforslag 1 opfyldningen. Her ses en tydelig intensivering af bølgerne i indsejlingen mellem Lynetteholmen og Nordhavnen på mere end 25 cm. Derudover ses store stigninger nord for Nordhavnens østlige hjørne.



Figur 6-101 Største forøgelse af signifikant bølgehøjde.

Figur 6-102 viser de indkommende bølgers hovedretninger for henholdsvis baseline og Hovedforslag 1 udbygningen af Lynetteholm. Hovedretningen angiver den retning hvorfra den indkommende bølgeenergi kommer fra i middel. Ligesom konkluderet på baggrund af de ovenfor præsenterede bølgeroser, ses der ændringer i størrelse og hovedretning fra Nordhavnen til Prøvestenen, men hverken nord for Nordhavnen eller ud for Amager strand, hvor der er som følge af kystprofil med sandstrand er dynamisk påvirkelige kystforhold.



Figur 6-102 Hovedretninger for indkommende bølger i analysepunkter med nuværende forhold og en Hovedforslag 1 udbygning.

De højeste bølger er ligeledes uændrede ved de kritiske lokaliteter (punkt 1, 2, 9 og 10). Ud for Lynetteholm ses bølgerne at være marginalt reduceret, også her grundet den tidligere nævnte skyggeeffekt.

Tabel 6-1 viser de beregnede ændringer i middelbølgeretninger og i de største bølger, udtrykt ved $H_{s,12\text{ timer}}$, som angiver bølgehøjden, der årligt kun overskrides i 12 timer. Denne bølgehøjde anvendes ofte til at estimere ud til hvilken dybde der vil være en bølgedrevet strøm og dermed i hvilken del af kystprofilet der vil være en egentlig litoral transport.

I tragten (punkt T1 og T2) ses middelbølgeretningerne at være markant ændrede. Ydermere er de højeste bølger markant intensiverede.

For de kritiske punkter (1, 2, 9 og 10) ses middelbølgeretningsændringerne at være mindre end 1° og dermed uden betydning for den litorale transport. Ud for Lynetteholm ses middelbølgeretningen over simuleringsperioden at rykke ca. 9° mod nord. Dette bekræftes af bølgeroserne vist i Figur 6-92 og Figur 6-93. For punkterne syd for Lynetteholm ses et skifte mod syd i middelbølgeretningerne. Dette skyldes den førnævnte skyggeeffekt, som er synlig i Figur 6-94, Figur 6-95 og Figur 6-96.

De højeste bølger er ligeledes uændrede ved de kritiske lokaliteter (punkt 1, 2, 9 og 10). Ud for Lynetteholm ses bølgerne at være marginalt reduceret, også her grundet den tidligere nævnte skyggeeffekt.

Tabel 6-1 Middelbølgeretninger og 12-timers signifikante bølgehøjder i de udvalgte punkter.

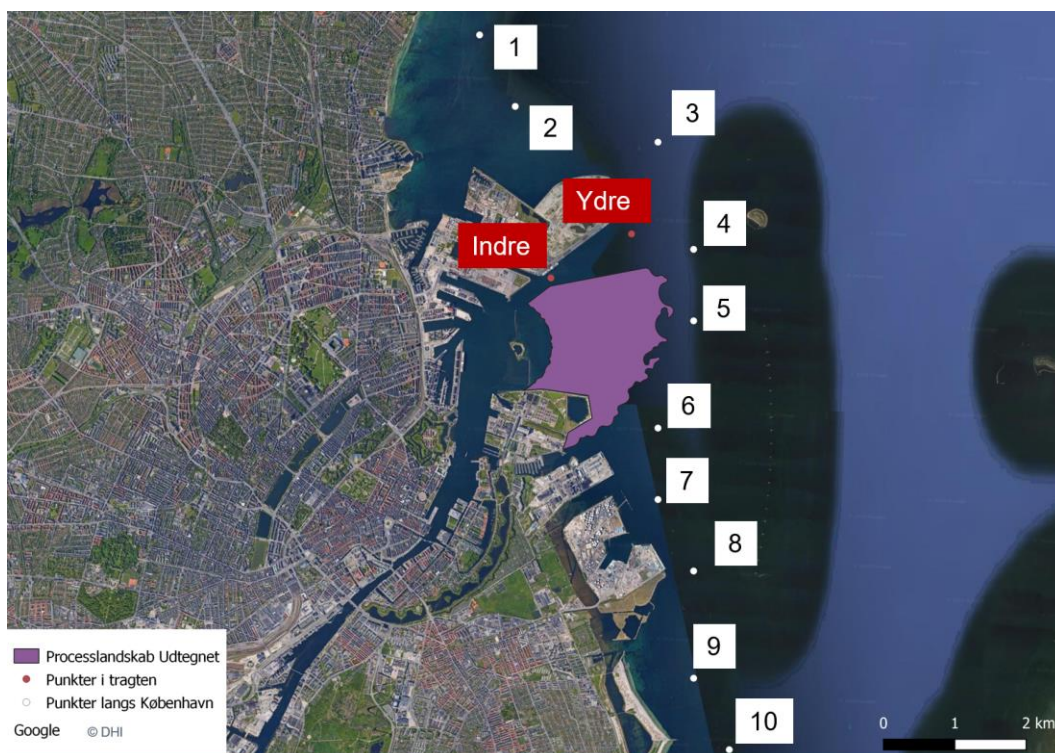
Punkt	Lokation	Dybde [m]	Middelbølgeretning [°]			H _{s,12 timer} [m]	
			Baseline	H1	Ændring	Baseline	H1
T1	Tragt Ydre	13,30	110,96	129,98	-19,0	1,02	1,20
T2	Tragt Indre	10,98	124,33	88,97	35,4	0,97	1,16
1	Charlottenlund	5,49	106,18	106,86	-0,7	1,03	1,03
2	Hellerup	7,01	100,36	100,82	-0,5	1,04	1,04
3	Nordhavn	10,51	113,76	116,87	-3,1	1,10	1,14
4	Lynetteholm N	7,28	119,19	114,51	4,7	0,98	1,00
5	Lynetteholm C	6,52	116,49	107,32	9,2	0,98	0,97
6	Lynetteholm S	7,98	105,39	111,89	-6,5	0,98	0,95
7	Benzinøen N	14,48	104,02	109,06	-5,0	0,95	0,94
8	Benzinøen S	13,31	107,51	108,44	-0,9	0,93	0,93
9	Amager Strand N	4,39	104,40	105,20	-0,8	0,84	0,84
10	Amager Strand S	4,42	108,25	109,02	-0,8	0,80	0,80

Ud fra bølgeanalysen kan det konkluderes, at Hovedforslag 1 udbygningen af Lynetteholm ikke vil have nogen signifikant effekt på de indkommende bølger i området nord og syd for opfyldningen, hvor kysten udgøres af sandstrande som har en dynamisk karakter. Således vil der ikke opstå ændringer i den litorale drift langs strandene og dermed ingen ændringer i kysternes naturlige udstrækning og udformning.

6.1.5.2 Hovedforslag 2 – Layout med kystlandskab

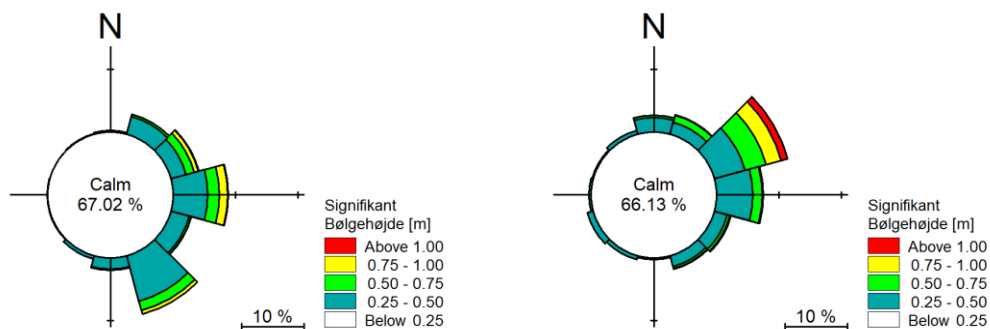
For Hovedforslag 2 er de samme 10 punkter langs med kysten ud for København, fra Charlottenlund i nord til Amager Strand i syd analyseret. De to ender af denne strækning er som følge af sandstrande klassificeret som dynamiske kyststrækninger, og er derfor sensitive overfor ændringer i hovedretningen af den indkommende bølgeenergi. De midterste punkter (punkt 2 til 7) ligger ud for en ikke-dynamisk kyst grundet en opbygning med hårde konstruktioner, og er således ikke i samme grad sensitive overfor ændringer i bølgeforskel.

Udover de ydre punkter er bølgeforskelene i den fremtidige indsejling langs Nordhavnen analyseret i to punkter.



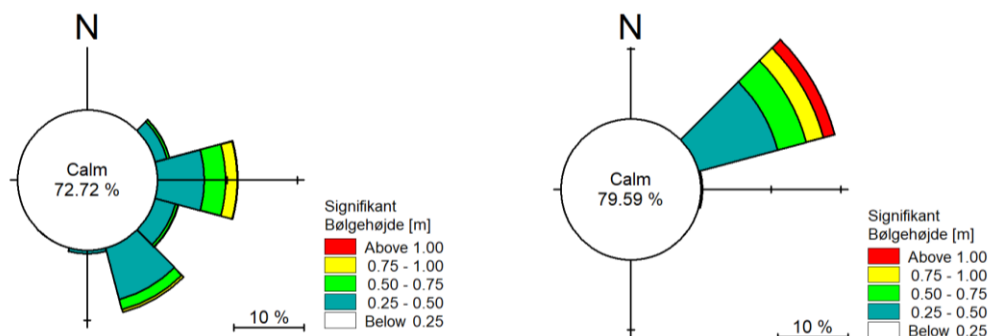
Figur 6-103 Analyserede punkter i bølgeanalysen udført for Hovedforslag 2.

Figur 6-104 viser bølgeklimaet for det ydre punkt i indsejlingen. Der vil være en klar intensivering af bølgerne i indsejlingens retning NØ, og tydeligt læ fra både syd og nord.



Figur 6-104 Ydre tragt, bølgeroser for baseline og Hovedforslag 2.

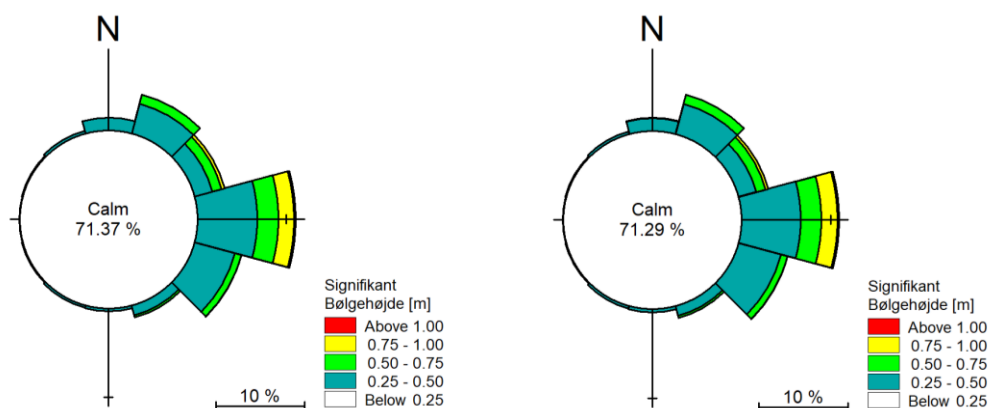
Figur 6-105 viser det indre punkt i den tragtformede indsejling. Her er både intensivering og læ effekt fra Lynetteholm forstærket. Figur 6-105 viser at Lynetteholm, på trods af intensiveringen af bølgehøjden vil virke som læ i en stor del af tiden, og dermed forårsage at bølgerne sjældnere vil overstige 25cm. Med Hovedforslag 2 udbygningen overstiger bølgehøjden 25 cm i 20 % af tiden mod 28 % af tiden med nuværende forhold.



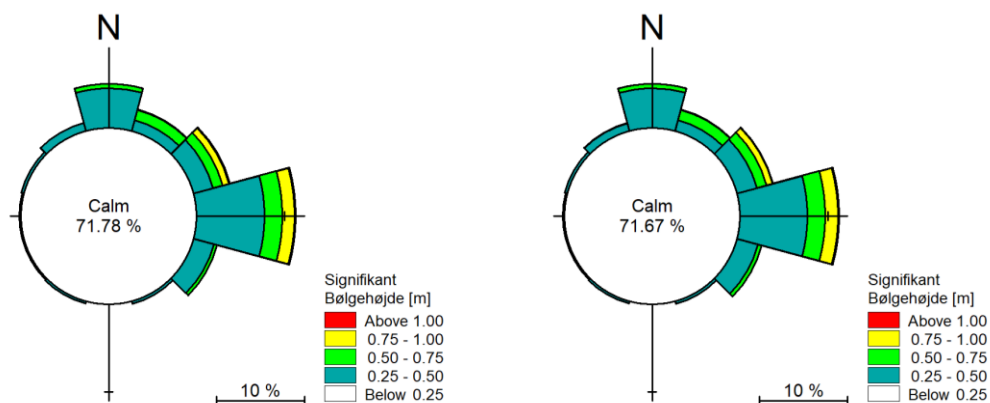
Figur 6-105 Indre tragt, bølgeroser for baseline og Hovedforslag 2.

Figur 6-106 og Figur 6-107 viser bølgeforholdene ud for Charlottenlund og Hellerup. I begge disse punkter observeres ingen ændring i det generelle bølgeklime. Den dominerende bølgeretning er direkte øst med klare påvirkninger fra nord/nordøst.

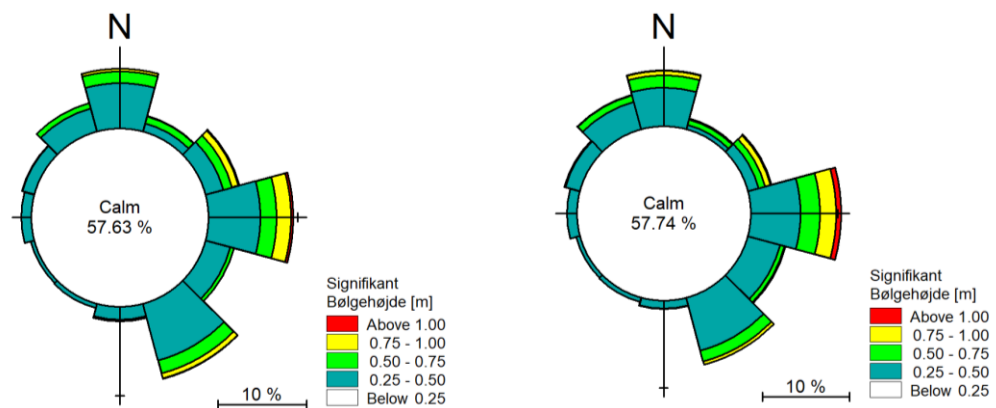
Figur 6-108 viser bølgeklimaet på østsiden af den nye Nordhavnsudvidelse. Her ses en svag læ-effekt af Lynetteholm i perioder med indkommende bølger fra syd, men derudover er forholdene også her uændrede. Bølgeklimaet minder om foregående, her med lette påvirkninger fra sydøst.



Figur 6-106 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 1, Charlottenlund.

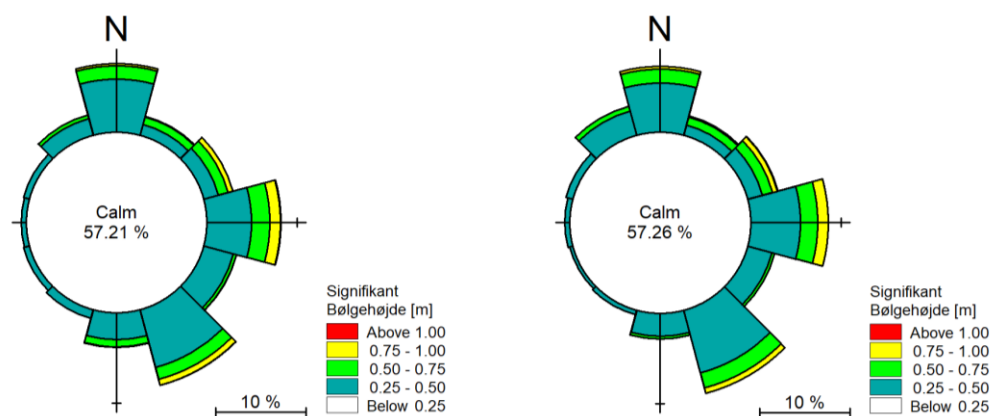


Figur 6-107 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 2, Hellerup.

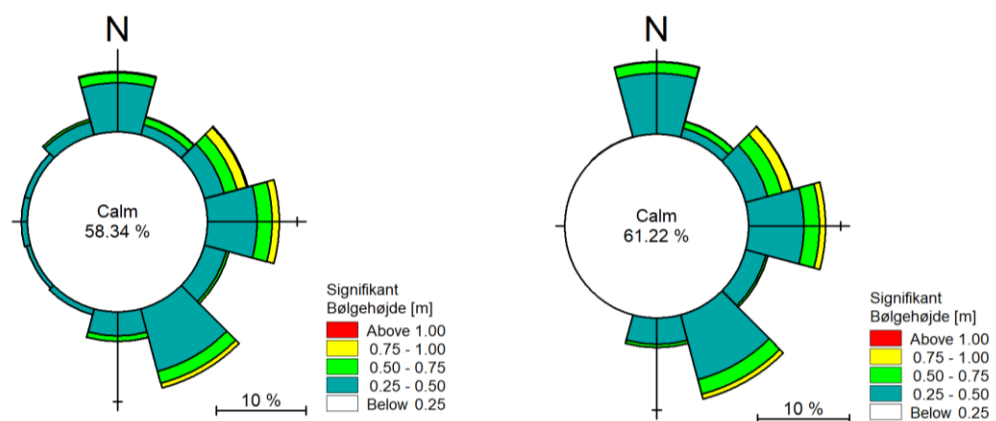


Figur 6-108 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 3, Nordhavn.

Figur 6-109 og Figur 6-110 viser bølgeforholdene ud for Lynetteholm for baseline og Hovedforslag 2. Der ses, ligesom for Hovedforslag 1 en mindre effekt på bølgerne fra syd, da Lynetteholm skygger for disse. De sydlige bølger er dog i forvejen meget små, hvorfor effekter ligeledes bliver små.

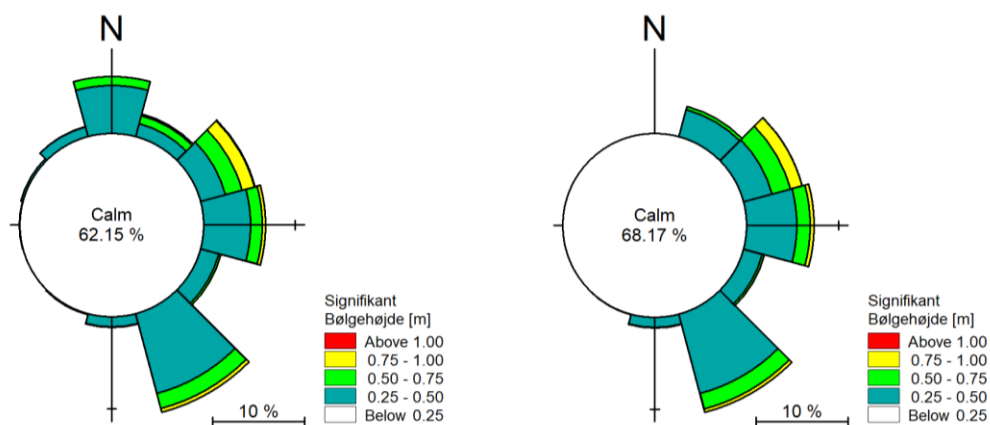


Figur 6-109 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 4, Lynetteholm Nord.

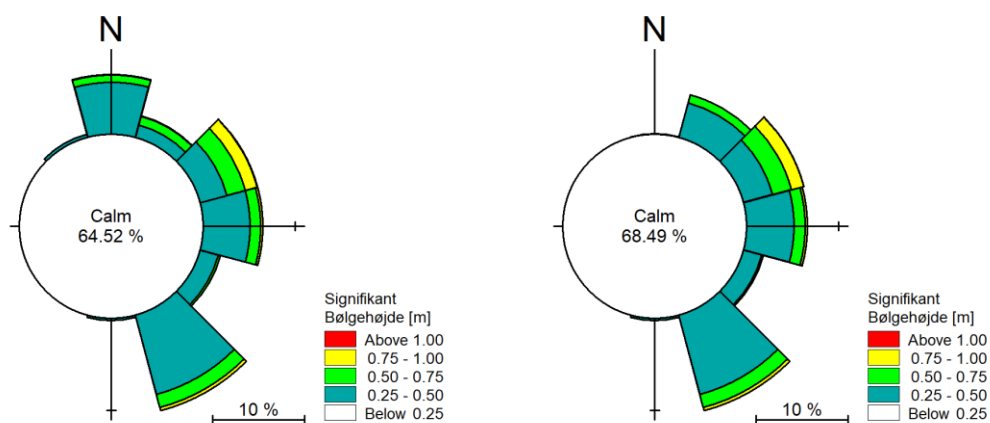


Figur 6-110 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 5, Lynetteholm Centralt.

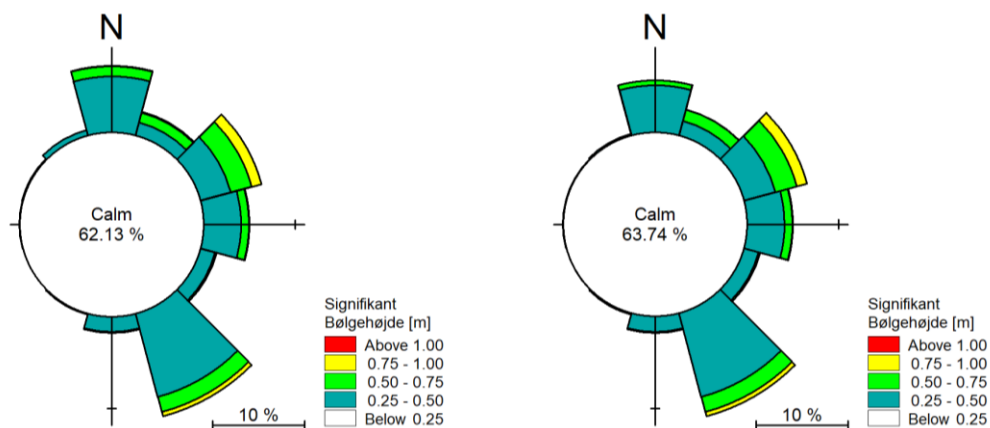
Figur 6-111 viser bølgeforholdene syd for opfyldningen. Implementeringen af Hovedforslag 2, kommer ikke til at ændre på effekten af Lynetteholm i nævneværdig grad i disse punkter, set i forhold til effekterne af Hovedforslag 1. Der er en skyggeeffekt mod nord. Der kommer således færre og mindre bølger fra nord. Der er ingen synlige effekter for bølger kommende fra vestnordvest og sydligere retninger.



Figur 6-111 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 6, Lynetteholm Syd.

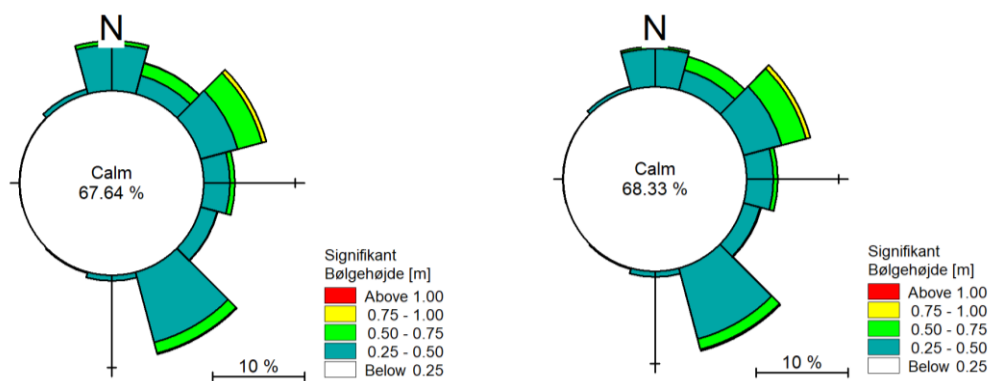


Figur 6-112 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 7, Prøvestenen Nord.

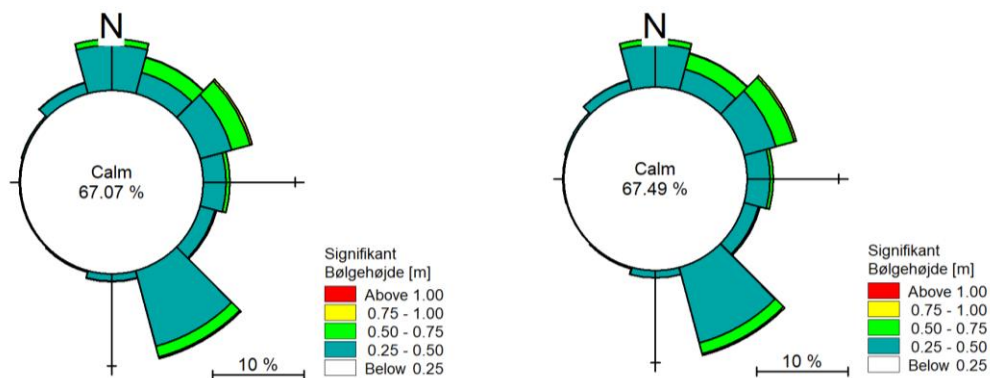


Figur 6-113 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 8, Prøvestenen Syd.

Figur 6-114 og Figur 6-115 viser de kritiske punkter ud for Amager Strand. Figureerne viser, at skyggeeffekten er aftaget, således at der ud for stranden ikke er nogen synlig effekt af Lynetteholm.



Figur 6-114 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 9, Amager Strand Nord.

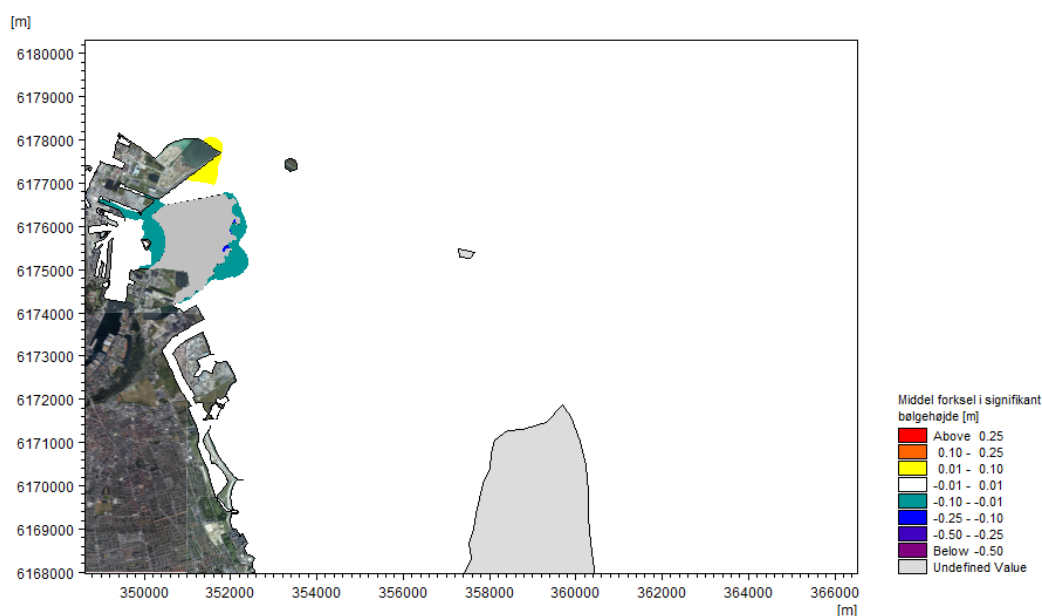


Figur 6-115 Bølgeroser for baseline (venstre) og Hovedforslag 2 (højre) for punkt 10, Amager Strand Syd.

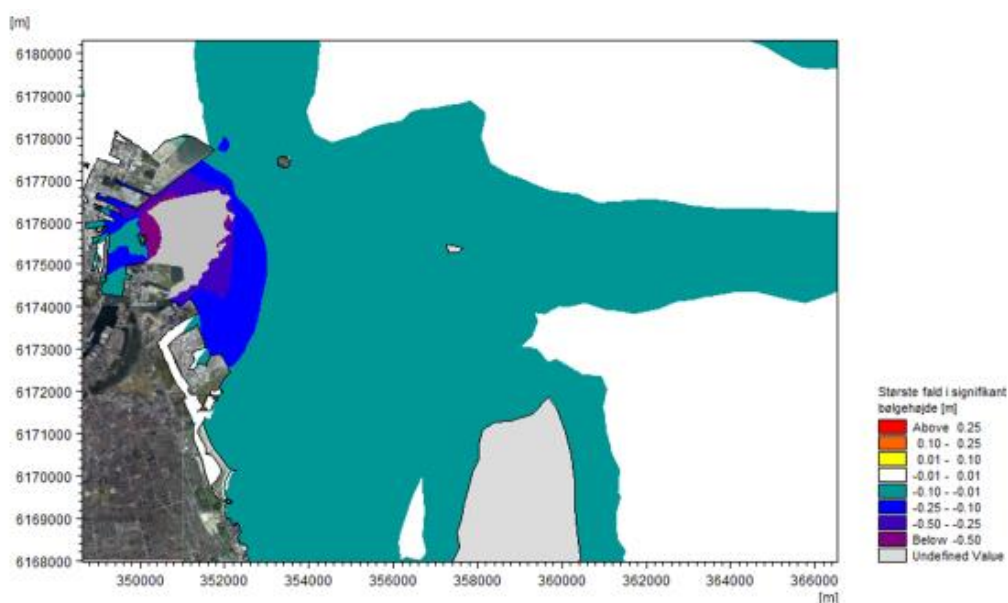
Figur 6-116 til Figur 6-118 viser konturer for de af projektet fremkaldte ændringer i bølgehøjde. Der er ingen signifikante forskelle mellem disse figurer for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2.

Figur 6-116 viser ændringer i middelbølgehøjden, som ses at være koncentreret omkring Nordhavnsudvidelsens østlige hjørne, hvor bølgehøjderne generelt er større og omkring Lynetteholmen, hvor bølgehøjderne i gennemsnit er lavere.

Figur 6-117 viser det maksimale fald i den signifikante bølgehøjde skabt af Hovedforslag 2 opfyldningen. Det største fald i bølgehøjder findes mellem Lynetteholm og Trekroner. Her har bølgerne i dag uhindret adgang, og vil i fremtiden være fuldstændig afskærmede. Derudover viser skyggeeffekten fra opfyldningen sig både nord og syd for Lynetteholm, hvor der forekommer et fald i signifikant bølgehøjde på op mod 50 cm. Derudover forekommer der fald på mellem 1 og 10 cm mellem Amager og Saltholm.

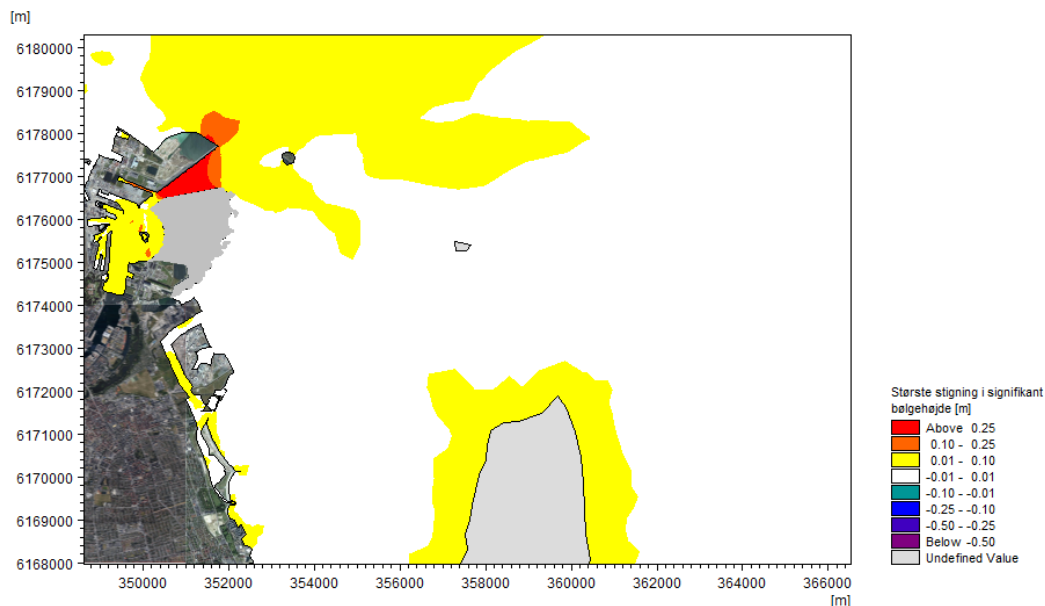


Figur 6-116 De af Hovedforslag 2 fremkaldte ændringer af årsmidlet bølgehøjde.



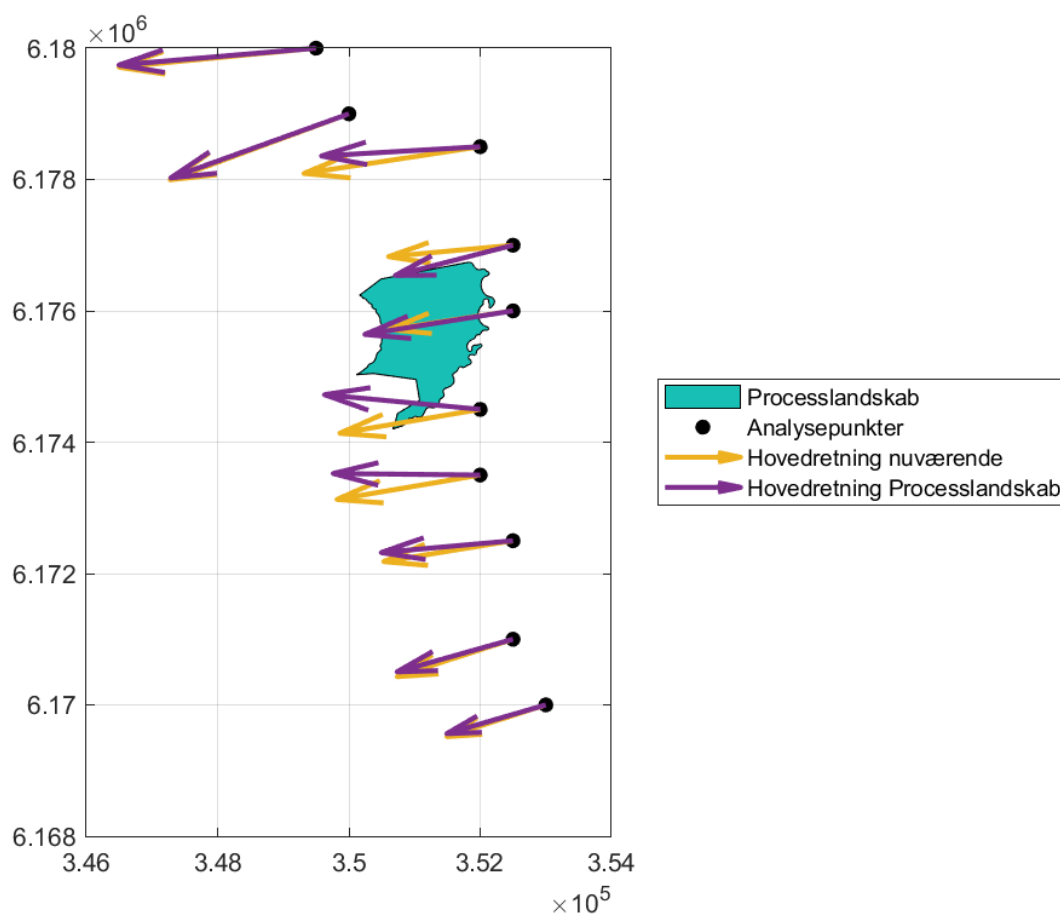
Figur 6-117 Største reduktion i signifikant bølgehøjde.

Figur 6-118 viser den maksimale stigning i bølgehøjder skabt af Hovedforslag 2 opfyldningen. Her ses en tydelig intensivering af bølgerne i tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm.



Figur 6-118 Største forøgelse af signifikant bølgehøjde.

Figur 6-102 viser de indkommende bølgers hovedretninger for henholdsvis baseline og Hovedforslag 2 udbygningen af Lynetteholm. Hovedretningen angiver den retning hvorfra den indkommende bølgeenergi kommer fra i middel. Der er ikke signifikante forskelle mellem resultaterne for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2. Ligesom konkluderet på baggrund af de ovenfor præsenterede bølgeroser, ses der ændringer i størrelse og hovedretning fra Nordhavnen til Prøvestenen, men hverken nord for Nordhavnen eller ud for Amager strand, hvor der er som følge af kystprofil med sandstrand er dynamisk påvirkelige kystforhold.



Figur 6-119 Hovedretninger for indkommende bølger i analysepunkter med nuværende forhold og en Hovedforslag 2 udbygning.

Tabel 6-2 viser de beregnede ændringer i middelbølgeretninger og i de største bølger, udtrykt ved $H_{s,12 \text{ timer}}$, som angiver bølgehøjden, der årligt kun overskrides i 12 timer. Denne bølgehøjde anvendes ofte til at estimere ud til hvilken dybde der vil være en bølgedrevet strøm og dermed i hvilken del af kystprofilen der vil være en egentlig litoral transport. De her angivne resultater er stort set identisk med hvad der blev fundet for Hovedforslag 1.

I tragtens indre punkt (T2) ses middelbølgeretningerne at være markant ændrede, yderst i tragtens er middelretningsændringen lille i forhold til ændringen forårsaget af implementeringen af Hovedforslag 1. Bølgehøjderne er inderst i tragtens intensiveret yderligere i forhold til Hovedforslag 1. For punkt T1 er intensiveringen mindre for Hovedforslag 2.

De højeste bølger er ligeledes uændrede for de kritiske punkter (1, 2, 9 og 10). Ud for Lynetteholm ses de at være marginalt reducerede grundet den førnævnte skyggeeffekt.

Tabel 6-2 Middelbølgeretninger og 12-timers signifikante bølgehøjder i de udvalgte punkter.

Punkt	Lokation	Dybde [m]	Middelbølgeretning [°]			H _{s,12 timer} [m]	
			Baseline	H2	Ændring	Baseline	H2
T1	Tragt Ydre	13,30	110,96	112,95	-2,0	1,02	1,19
T2	Tragt Indre	10,98	124,33	99,68	24,7	0,97	1,30
1	Charlottenlund	5,49	106,18	106,73	-0,6	1,03	1,03
2	Hellerup	7,01	100,36	100,75	-0,4	1,04	1,04
3	Nordhavn	10,51	113,76	114,54	-0,8	1,10	1,14
4	Lynetteholm N	7,28	119,19	110,16	9,0	0,98	0,99
5	Lynetteholm C	6,52	116,49	106,13	10,4	0,98	0,97
6	Lynetteholm S	7,98	105,39	115,91	-10,5	0,98	0,94
7	Benzinøen N	14,48	104,02	110,71	-6,7	0,95	0,94
8	Benzinøen S	13,31	107,51	108,75	-1,2	0,93	0,93
9	Amager Strand N	4,39	104,40	105,59	-1,2	0,84	0,84
10	Amager Strand S	4,42	108,25	106,73	1,5	0,80	0,80

Ud fra bølgeanalysen kan det konkluderes, at Hovedforslag 2 udbygningen af Lynetteholm ikke vil have nogen signifikant effekt på de indkommende bølger i området nord og syd for opfyldningen, hvor kysten udgøres af sandstrande som har en dynamisk karakter. Således vil der ikke opstå ændringer i den litorale drift langs strandene og dermed ingen ændringer i kysternes naturlige udstrækning og udformning.

6.1.6 Projektets virkning på gennemstrømningsforholdene i Øresund og havneløbet

For at kunne estimere de to hovedforslags påvirkning af vand- og saltgennemstrømningen i Øresund udføres der en hydraulisk beregning for de eksisterende forhold (Baseline) og for udbygninger af Lynetteholm med og uden et kystlandskab langs den østlige perimeter. Blokeringsberegningerne er gennemført for et fuldt kalenderår, således at alle sæsonvariationer er inkluderet.

Lynetteholm opfyldningens blokerende påvirkning beregnes relativt i forhold til referencesituationen (Baseline) og estimeres som den absolutte relative forskel givet ved:

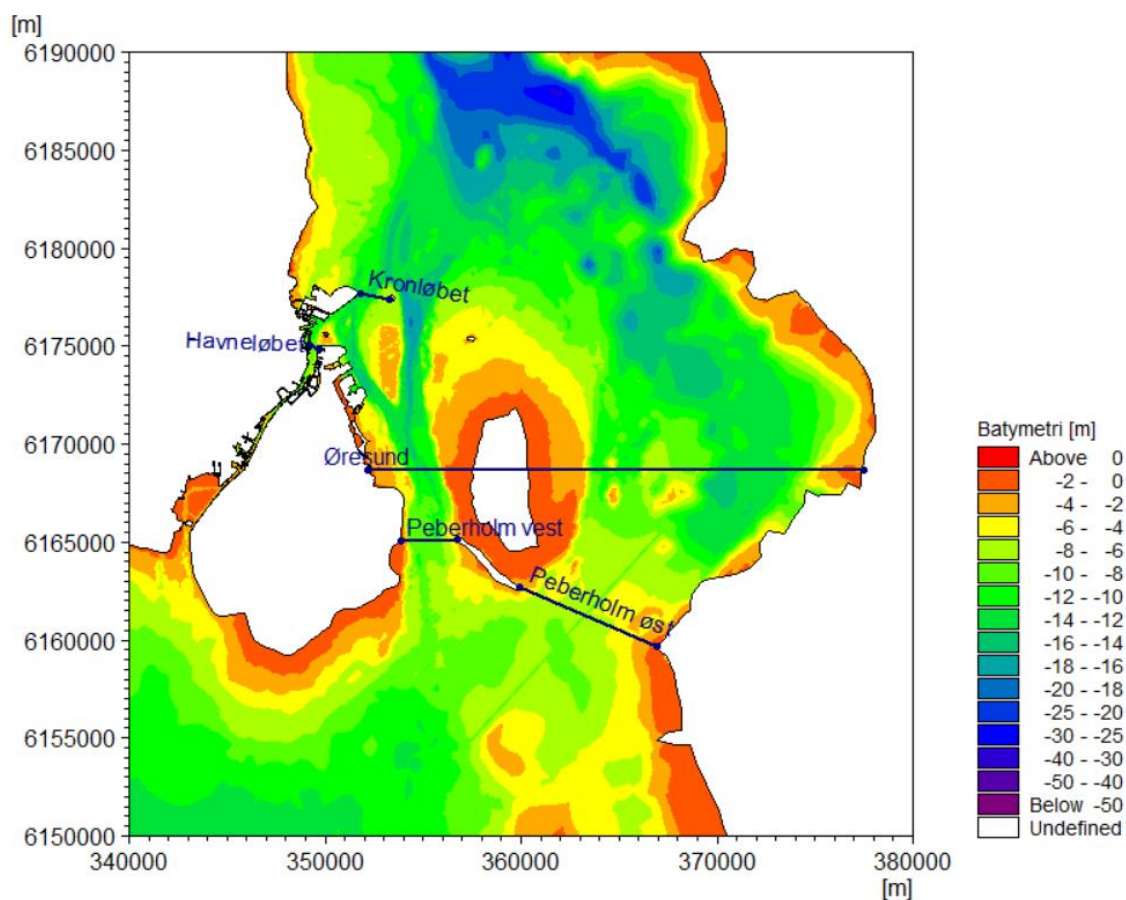
$$dq = \frac{\sum(|Q_L| - |Q_B|)}{\sum|Q_B|}$$

Hvor Q enten relaterer til vandføringen eller salttransporten gennem et prædefineret vertikalt snit. Q_B refererer til baseline, mens Q_L refererer til udbygningen af Lynetteholm med eller uden et kystlandskab. Ideen med at bruge den numeriske værdi af begge størrelser er, at man får elimineret betydningen af en faseforskel samt får et fortegn på

blokeringen. En negativ blokeringsfaktor angiver, at der er en svækkelse (blokering), mens positive værdier angiver en forstærkning.

Til vurdering af Lynetteholms påvirkning af vand- og saltbalancen i Øresund og havneløbet er der defineret en række tværsnit, hvorigennem vandføringen og salttransporten er beregnet, se Figur 6-120. Snittene er valgt, således,

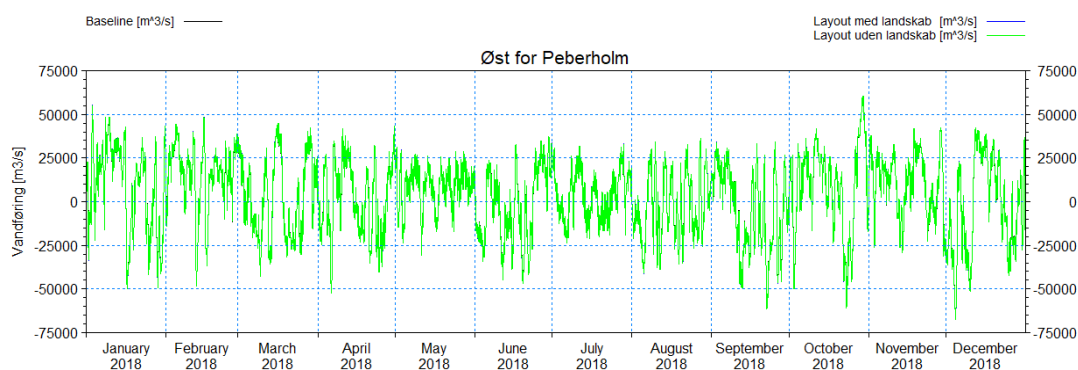
at der kan estimeres en påvirkning på transporten gennem havneløbet og gennem hele Øresund samt i tværsnit vest (Drogden) og øst (Flinterenden) for Peberholm. Endelig er blokeringen beregnet for den ydre del af Kronløbet defineret ved tværsnittet mellem Nordhavnopfyldningens nordspids og Middelgrundsfortet.



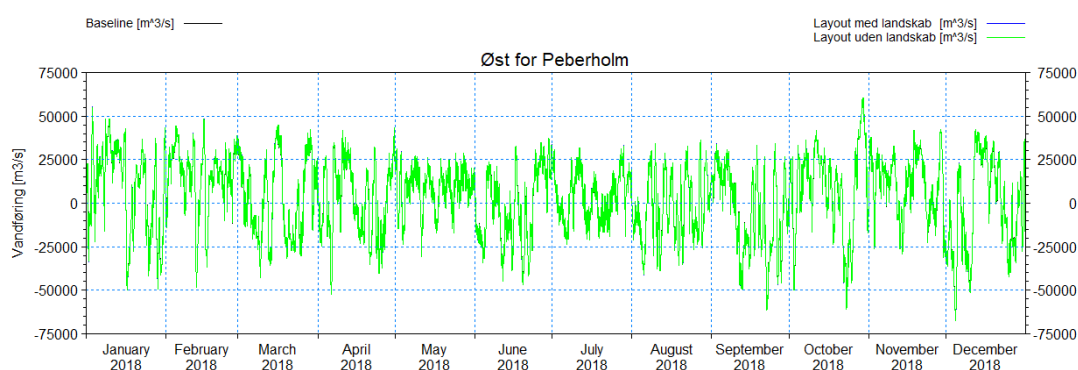
Figur 6-120 Tværsnit hvorigennem vandføringen og salttransporten er beregnet for nuværende og fremtidige forhold.

6.1.6.1 Vandføringer

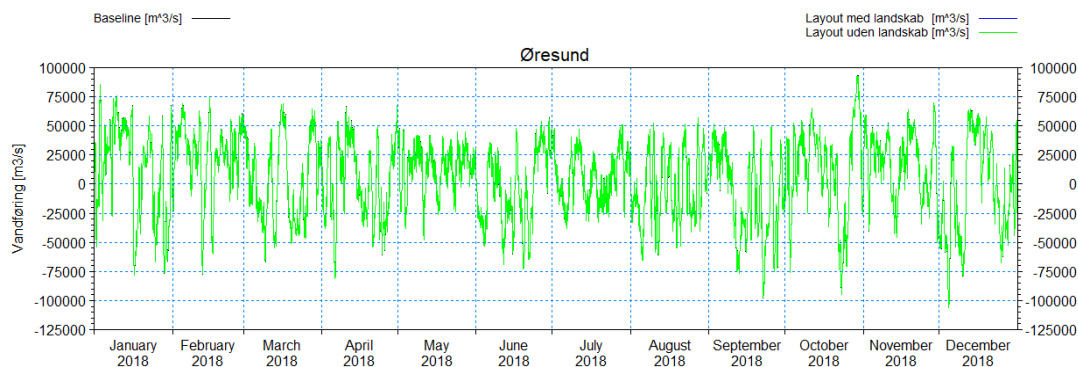
De modelberegnedede vandføringer i de fem prædefinerede tværsnit er vist i Figur 6-121 til og med Figur 6-125. Vandføringerne er defineret, således at positive værdier angiver udstrømning fra Østersøen, mens negative værdier angiver indstrømning til Østersøen. Med udgangspunkt i de modellerede (brutto) vandføringer er det fundet, at vandet fordeler sig med cirka 0,15 % i havneløbet, 37 % i snittet vest for Peberholm (Drogden) og 63 % i snittet øst for Peberholm (Flinterenden).



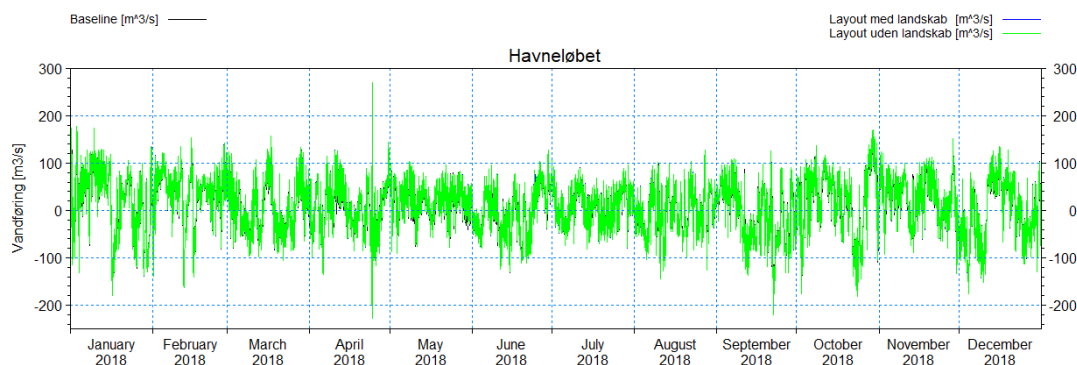
Figur 6-121 Vandføring i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



Figur 6-122 Vandføring i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

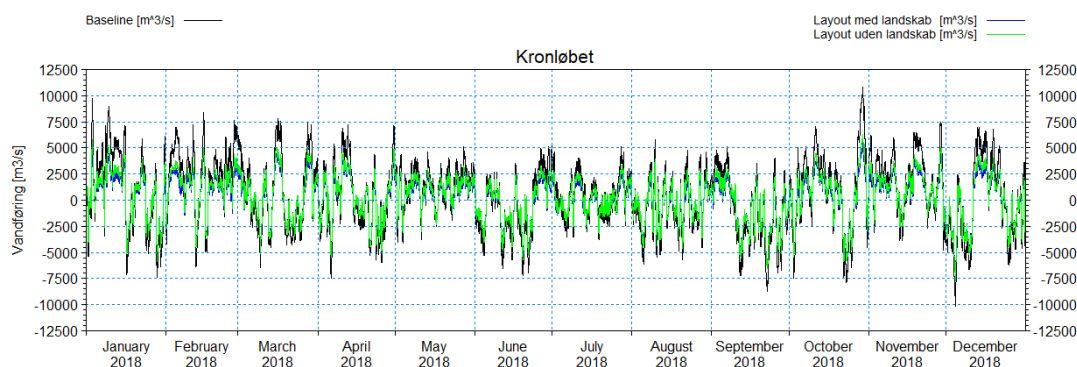


Figur 6-123 Vandføring i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



Figur 6-124 Vandføring i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

Med undtagelse af vandføringerne i Kronløbet (snittet mellem Nordhavnsspidsen og Middelgrundsfortet), er det svært ud fra plottene at identificere forskelle i vandføringerne. Den ændrede vandføring i Kronløbet er et udtryk for, at en del af vandet som følge af udbygningen og lukningen af Kongedybet presses øst om Middelgrunden og gennem Hollænderdybet.



Figur 6-125 Vandføring i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnsspidsen og Middelgrundsfortet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

Tabel 6-3 angiver årsmidlet bruttovandføring (vandføring regnet uden fortegn) for baseline og med en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab. Det ses, at udbygningen medfører en forøget dynamik i Havneløbet med forstærkelse af bruttovandføringen på omkring 2,4 %. Opfyldningens blokering af Kongedybet medfører en kraftig svækkelse af brutto-vandføringen i Kronløbet på op mod 31 %. Vest for Peberholm svækkes bruttovandføringen med omkring 0,9 %, mens den øst for Peberholm forstærkes med 0,21 %. For det samlede Øresundstværsnit er der fundet en reduktion af årsmidlet bruttovandføring på 0,19 %.

Tabel 6-3 Årsmidlet bruttovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning uden kystlandskab (Hovedforslag 1).

Tværsnit	Baseline [m ³ /s]	Efter udbygning [m ³ /s]	Ændring [%]
Havneløbet	44,1	45,2	2,43
Kronløbet	2.774	1.914	-31,0
Vest for Peberholm	10.898	10.801	-0,891
Øst for Peberholm	18.789	18.829	0,211
Øresund	29.568	29.513	-0,186

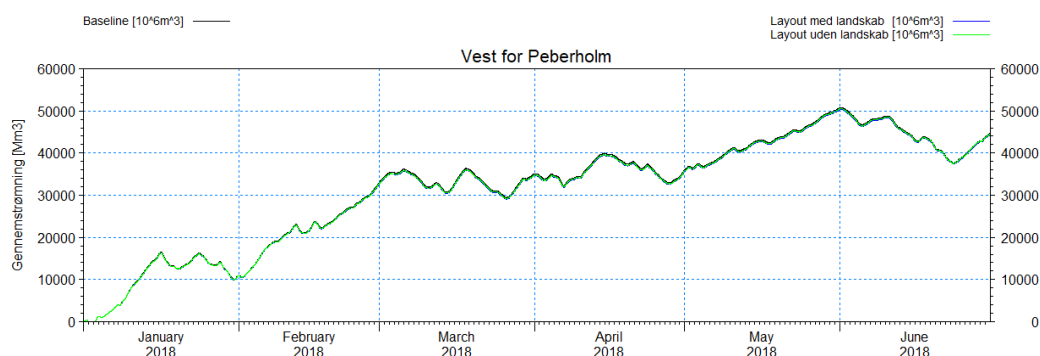
Tabel 6-4 angiver årsmidlet bruttovandføring (vandføring regnet uden fortegn) for henholdsvis baseline og for en Lynetteholm udbygning med et kystlandskab. Det ses, at udbygningen medfører en forøget dynamik i Havneløbet med forstærkelse af bruttovandføringen på omkring 2,4 %. Opfyldningens blokering af Kongedybet medfører en kraftig svækkelse af bruttovandføringen i Kronløbet på op mod 39 %, idet kystlandskabets ujævne forløb skaber en større modstand og blokering. Vest for Peberholm svækkes bruttovandføringen med omkring 1,2 %, mens den øst for Peberholm forstærkes med 0,29 %. For det samlede Øresundstværsnit er der fundet en reduktion af årsmidlet bruttovandføring på 0,24 %. Det ses derfor at Hovedforslag 2 har en lidt kraftigere påvirkning på gennemstrømningsforholdene i Øresund og helt lokalt end Hovedforslag 1.

Tabel 6-4 Årsmidlet bruttovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning med kystlandskab (hovedforslag 2).

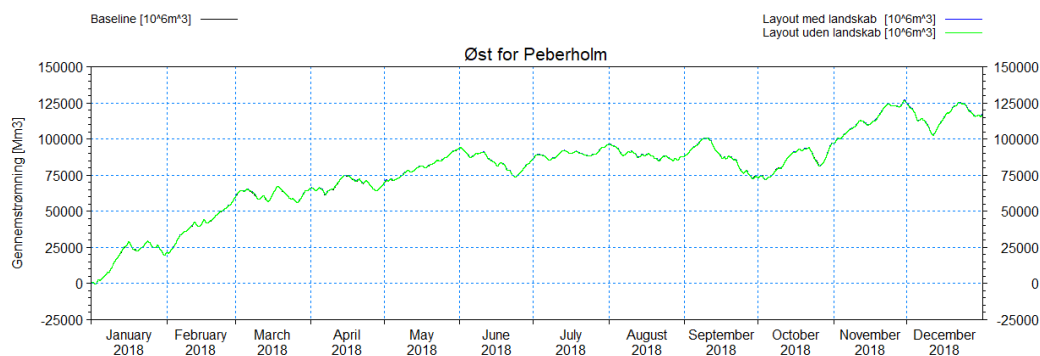
Tværsnit	Baseline [m ³ /s]	Efter udbygning [m ³ /s]	Ændring [%]
Havneløbet	44,1	45,1	2,37
Kronløbet	2.774	1.715	-38,2
Vest for Peberholm	10.898	10.768	-1,192
Øst for Peberholm	18.789	18.845	0,294
Øresund	29.568	29.496	-0,244

6.1.6.2 Akkumulerede vandføringer

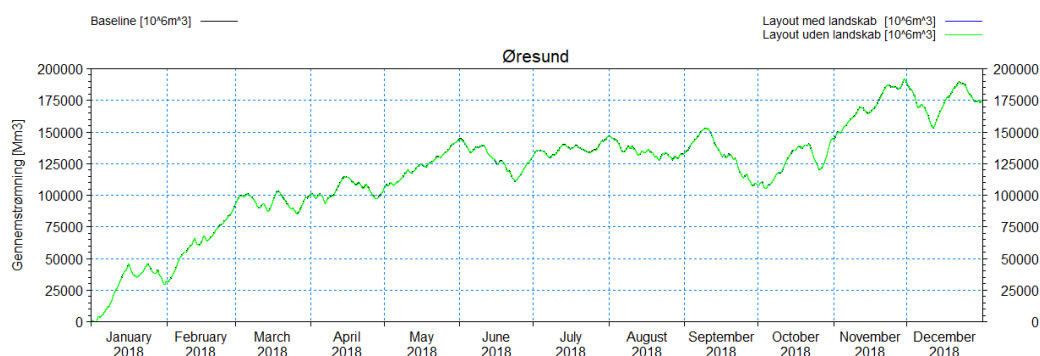
Ferskvandstilførslen fra floderne med udmunding i Østersøen medfører, at der hen over et år vil være en nettoudstrømning fra Østersøen gennem de fem tværsnit.



Figur 6-126 Gennemstrømning i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

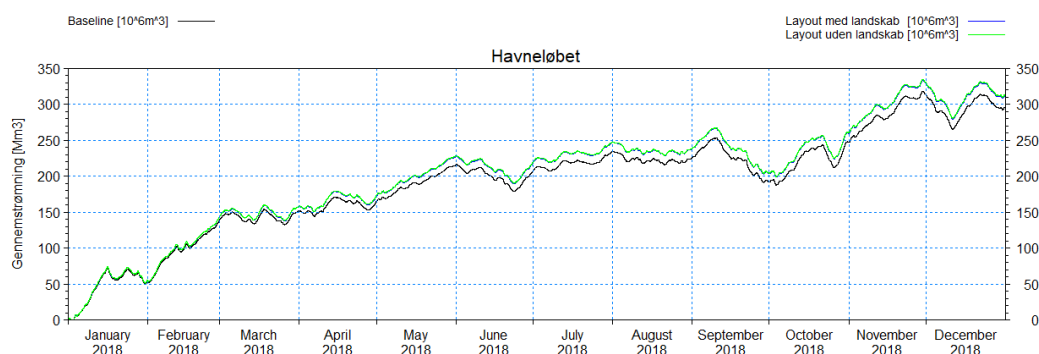


Figur 6-127 Gennemstrømning i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

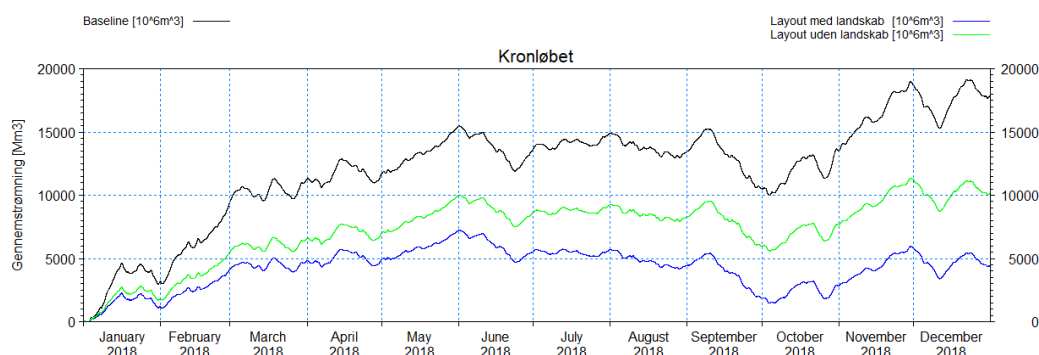


Figur 6-128 Gennemstrømning i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

Med undtagelse af vandføringerne i Havneløbet og Kronløbet (snittet mellem Nordhavnsspidsen og Middelgrundsfortet), er det svært ud fra de optegnede plots at identificere forskelle i de beregnede akkumulerede vandføringer. Den ændrede gennemstrømning af Kronløbet er et udtryk for, at en del af vandet som følge af udbygningen og lukningen af Kongedybet presses øst om Middelgrunden og gennem Hollænderdybet.



Figur 6-129 Gennemstrømning i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



Figur 6-130 Gennemstrømning i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundsfortet med eksisterende forhold (sort kurve udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

De akkumulerede vandføringer (gennemstrømning) kan omregnes til årsmidlet nettovandføring, hvilket er gjort i Tabel 6-5 for henholdsvis baseline og for en Lynetteholm udbygning uden et kystlandskab. De tilsvarende tal er vist i Tabel 6-6 for en Lynetteholm opfyldning med et kystlandskab langs den østlige perimeter. Heraf ses, at opfyldningen skaber en forøget nettovandføring i Havneløbet på omkring 5-6 %. Risikoen for at påvirke Natura 2000-området i Kalveboder med for eksempel op hvirvlet forurenede havnesediment vil derfor blive nedsat, som følge af at nettovandføringen er rettet ud af Østersøen. Risikoen vil dog fortsat være til stede i forbindelse med stormflodshændelser fra nord. Nettovandføringen i Kronløbet reduceres med 43 % efter en udbygning uden et kystlandskab og med 75 % med et kystlandskab. Reduktionen er en naturlig konsekvens af lukningen af Kongedybet. Kystlandskabets sammensætning af fremspring og bugter øger ligeledes friktionen på grund af dannelse af hvirvler, hvorfor påvirkningen er større for Hovedforslag 2. I de tre øvrige tværsnit er påvirkningen relativt begrænset.

Tabel 6-5 Nettovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning uden et kystlandskab (Hovedforslag 1).

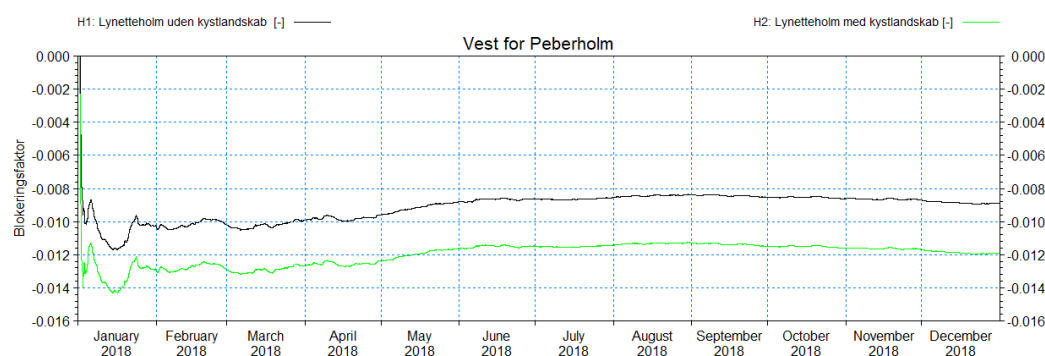
Tværsnit	Baseline [m ³ /s]	Efter udbygning [m ³ /s]	Ændring [%]
Havneløbet	9,36	9,90	5,77
Kronløbet	561,8	318,2	-43,4
Vest for Peberholm	1.843	1.840	-0,16
Øst for Peberholm	3.693	3.690	-0,08
Øresund	5.539	5.534	-0,09

Tabel 6-6 Nettovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning med et kystlandskab (Hovedforslag 2).

Tværsnit	Baseline [m ³ /s]	Efter udbygning [m ³ /s]	Ændring [%]
Havneløbet	9,36	9,86	5,34
Kronløbet	561,8	137,7	-75,5
Vest for Peberholm	1.843	1.833	-0,59
Øst for Peberholm	3.693	3.694	0,03
Øresund	5.539	5.530	-0,16

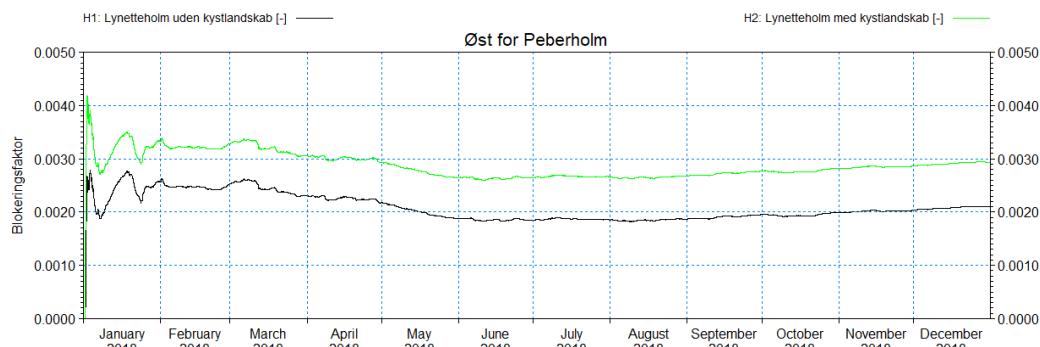
6.1.6.3 Blokeringsfaktorer for vandføring

Blokeringsfaktorerne beregnes med udgangspunkt i den ændrede akkumulerede bruttovandføring relativt til den akkumulerede baseline bruttovandføring og angiver dermed et mål for, hvor meget systemets dynamik vil ændres. For at estimere blokeringsfaktorerne er man nødt til at regne over en længere periode, således at den får stabiliseret sig og kun indeholder effekter fra en svag sæsonrelateret variation. Den tidlige variation af blokeringsfaktorerne i de fem definerede tværsnit er vist i Figur 6-131 til Figur 6-135.

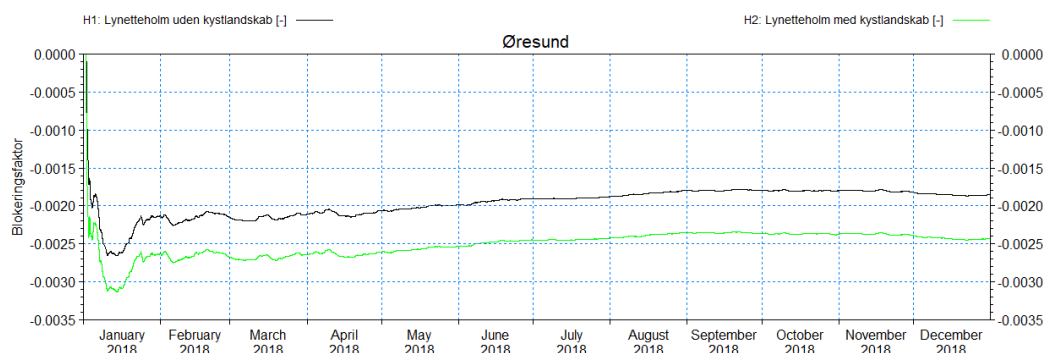


Figur 6-131 Blokeringsfaktorer for vandføringen i tværsnittet vest for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.

Af plottene ses, at det er nødvendigt at regne en periode på mindst 5 måneder for at opnå et stabilt estimat for blokeringsfaktorer relateret til vandføring. Den svage variation, der optræder i de efterfølgende 7 måneder, er udtryk for en sæsonvariation. En negativ blokeringsfaktor er et udtryk for en svækket dynamik, mens en positiv blokeringsfaktor er et udtryk for en forstærket dynamik.



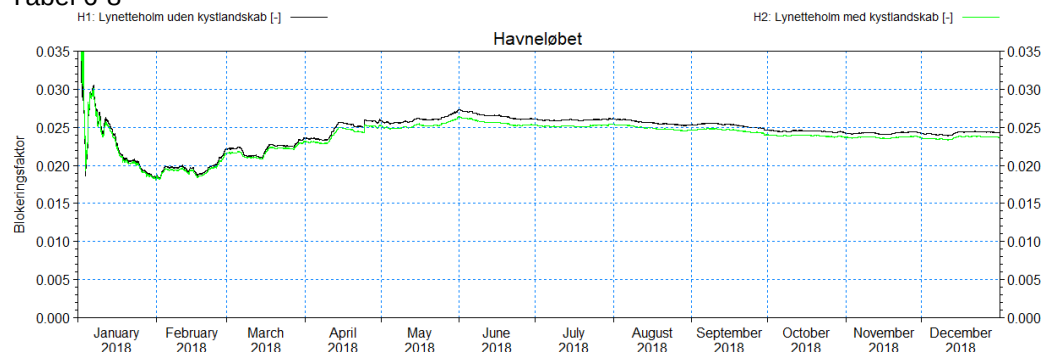
Figur 6-132 Blokeringsfaktorer for vandføringen i tværsnittet øst for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.



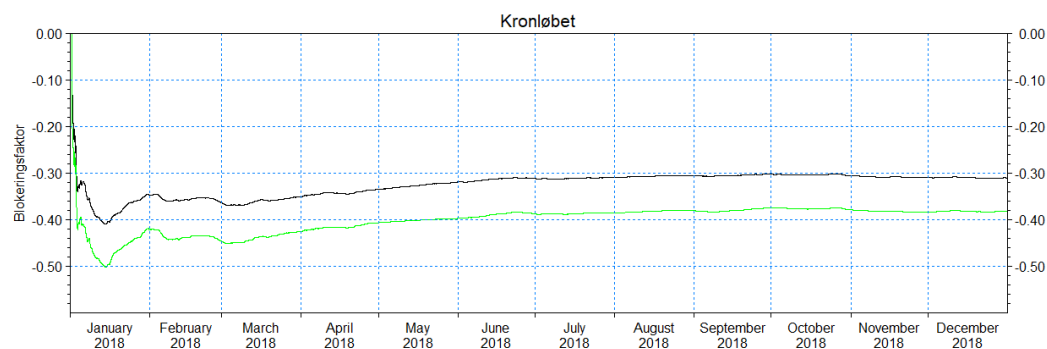
Figur 6-133 Blokeringsfaktorer for vandføringen i Øresundstværsnittet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.

Blokeringsfaktorerne viser, at Lynetteholm udbygningen med og uden et kystlandskab vil føre til en mindre omfordeling af strømmingen gennem Øresund og således, at der ledes lidt større mængder vand gennem Flinterenden øst for Peberholm og lidt mindre mængder vand gennem Drogden vest for Peberholm. Påvirkningen af Kronløbet er kun af lokal betydning, og påvirkningen af Havneløbet vil om ønsket kunne ændres med en ændret konfiguration af stigbordenes indstilling i Sydhavnen. Fastholdes stigbordene i deres nuværende indstilling vil der opleves en svagt forstærket dynamik og gennemstrømning i retning væk fra Østersøen. I tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundstortet er der som følge af Kongedybets blokering en signifikant blokering. Vandet skubbes i stedet øst om Middelgrunden og gennem Hollænderdybet. Igennem hele Øresund er der for Hovedforslag 1 fundet en blokeringsfaktor på -0,19 % ved årets udgang og som dermed repræsenterer forholdene for en fuld sæson. For Hovedforslag 2 er effekten lidt større, her er blokeringsfaktoren ved årets udgang -0,24 %. Øvre og nedre værdier af blokeringsfaktorerne er angivet i Tabel 6-7 for Hovedforslag 1 og i Tabel 6-8 for Hovedforslag 2. Værdierne er fundet med udgangspunkt i den beregnede blokering i perioden juni-december 2018. Fortegnet i sidste kolonne indikerer, om der er en svækket eller øget dynamik.

Tabel 6-8



Figur 6-134 Blokeringsfaktorer for vandføringen i Havneløbet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.



Figur 6-135 Blokeringsfaktorer for vandføringen i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnsplidsen og Middelgrundstortet). Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.

Tabel 6-7 Hovedforslag 1: Estimerede blokeringsfaktorer for vandføring i udvalgte tværsnit. Positive værdier angiver en øget dynamik, mens negative værdier er udtryk for en svækket dynamik.

Tværsnit	Blokeringsfaktor nedre værdi [%]	Blokeringsfaktor øvre værdi [%]	Fortegn
Havneløbet	2,39	2,73	+
Kronløbet	30,2	32,0	-
Vest for Peberholm	0,84	0,89	-
Øst for Peberholm	0,18	0,21	+
Øresund	0,18	0,20	-

Tabel 6-8 Hovedforslag 2: Estimerede blokeringsfaktorer for vandføring i udvalgte tværsnit. Positive værdier angiver en øget dynamik, mens negative værdier er udtryk for en svækket dynamik.

Tværsnit	Blokeringsfaktor nedre værdi [%]	Blokeringsfaktor øvre værdi [%]	Fortegn
Havneløbet	2,34	2,64	+
Kronløbet	37,4	39,7	-
Vest for Peberholm	1,13	1,20	-
Øst for Peberholm	0,26	0,29	+
Øresund	0,23	0,25	-

I forbindelse med Øresundsforbindelsen blev der stillet krav om en nulløsning, hvor man ved hjælp af kompensationsafgravning forsøgte at frembringe forhold, som resulterede i en blokeringsfaktor på nul. I disse beregninger blev blokeringskravet sat til mindre end 0,1 % med et usikkerhedsspænd estimeret til +/- 0,25 % indenfor en usikkerhed begrænset til et 95 % konfidensinterval, Ref. /1/. Den ved nulløsningen accepterede usikkerhed er dermed større eller af samme størrelse som de estimerede blokeringer, som Lynetteholm opfyldningens to hovedforslag afstedkommer.

Lynetteholm udbygningen medfører en lukning af Kongedybet. Den nuværende besejlsrute til Prøvestenen vil derfor blive lukket og i stedet medføre, at besejling til Prøvestenen skal ske gennem Hollænderdybet via Svælget syd for Middelgrunden. Åbning af denne rute kræver, at der vil blive uddybet i området syd for Middelgrunden. En uddybning som i mindre grad vil modvirke opfyldningens blokerende virkning på transport af vand og salt gennem Drogden og Øresund.

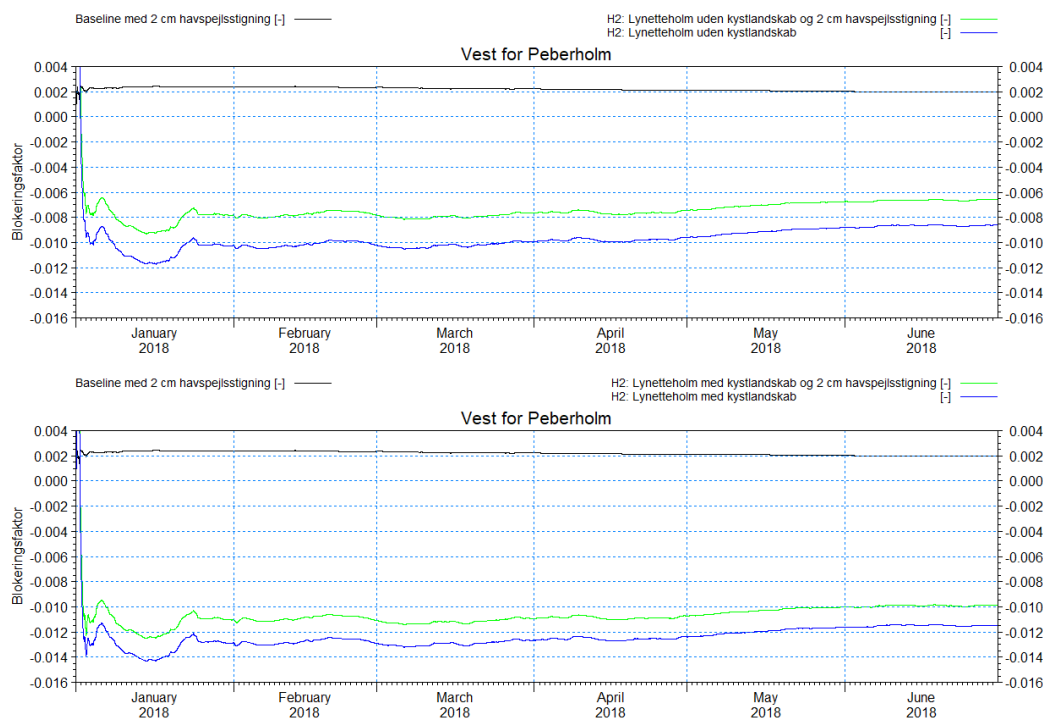
Klimaeffekter og havspejlsstigninger vil over tid påvirke baselineforholdene. Over tid kan man derfor ikke tale om en nulløsning. Et løftet vandspejl (øget vanddybde), vil påvirke bruttovandføringerne og gradvist øge den dynamiske udveksling mellem Kattegat og Østersøen. For at opretholde en virkelig nulløsning over tid vil man derfor skulle øge friktionen gennem Øresund på anden vis, for eksempel i form af opfyldninger som Lynetteholmen.

6.1.6.4 Omsætning af blokeringsmål for transport af vand til målbar fysisk størrelse

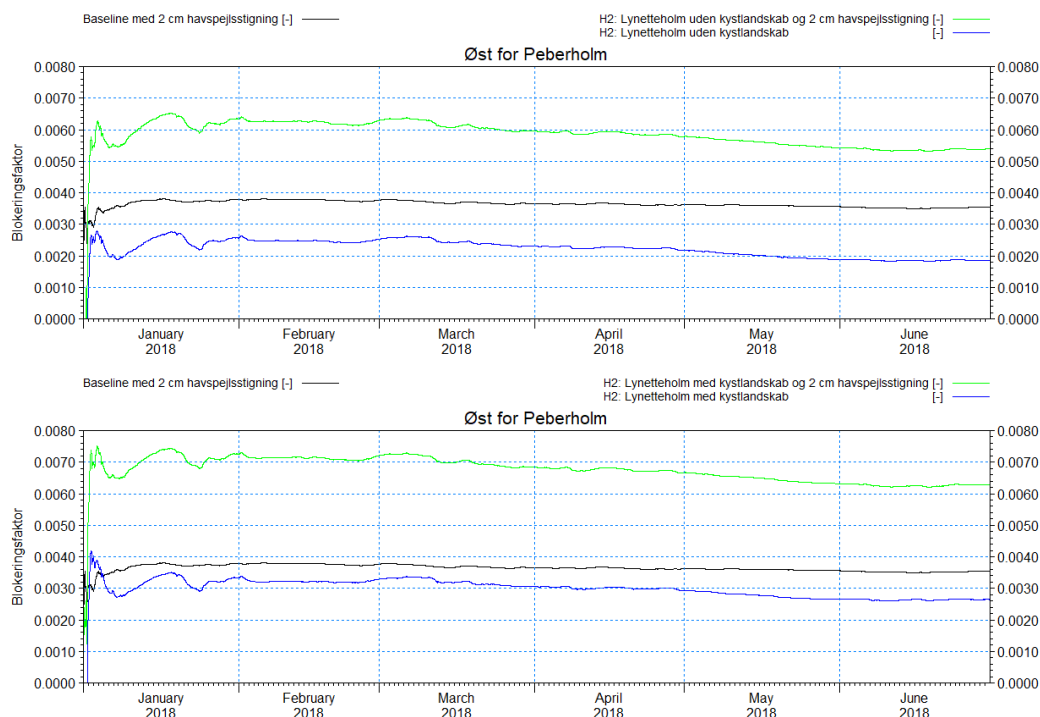
Det kan være svært at relatere blokeringsmålet til en målbar fysisk størrelse og dermed også at forstå den egentlige konsekvens af blokeringen. En nulløsning er som nævnt ovenfor et lidt søgt begreb, idet klimaeffekter gradvist vil føre til havspejlsstigninger i havet omkring Danmark. For at tydeliggøre hvornår en blokerings effekt er af betydning samt for at kvantificere effekten ved hjælp af en mere relaterbare størrelse, er der gennemført beregninger, hvor det er antaget at middelhavspejlet er øget med 2 cm. Disse beregninger er brugt til at kvantificere betydningen af en havspejlsstigning for baseline situationen, altså uden en Lynetteholm opfyldning, og sammenholde denne situation med de to hovedforslag med og uden en svag havspejlsstigning.

Figur 6-136 viser den beregnede blokeringsfaktor for hver af de to hovedforslag og baseline forhold med og uden en havspejlsstigning på 2 cm i det definerede snit vest for

Peberholm. Af plottene ses, at en havspejlsstigning på 2 cm fører til en blokering på +0,002 (øget gennemstrømning). Ligeledes er ændringen af samme størrelse, når der vurderes på effekten af Lynetteholm og en havspejlsstigning på 2 cm. Ekstrapoleres effekten finder man derfor at blokeringsfaktoren i pågældende tværsnit vil være tilnærmelsesvis nul efter en havspejlsstigning på cirka 8 cm med Hovedforslag 1 og cirka 12 cm for Hovedforslag 2.



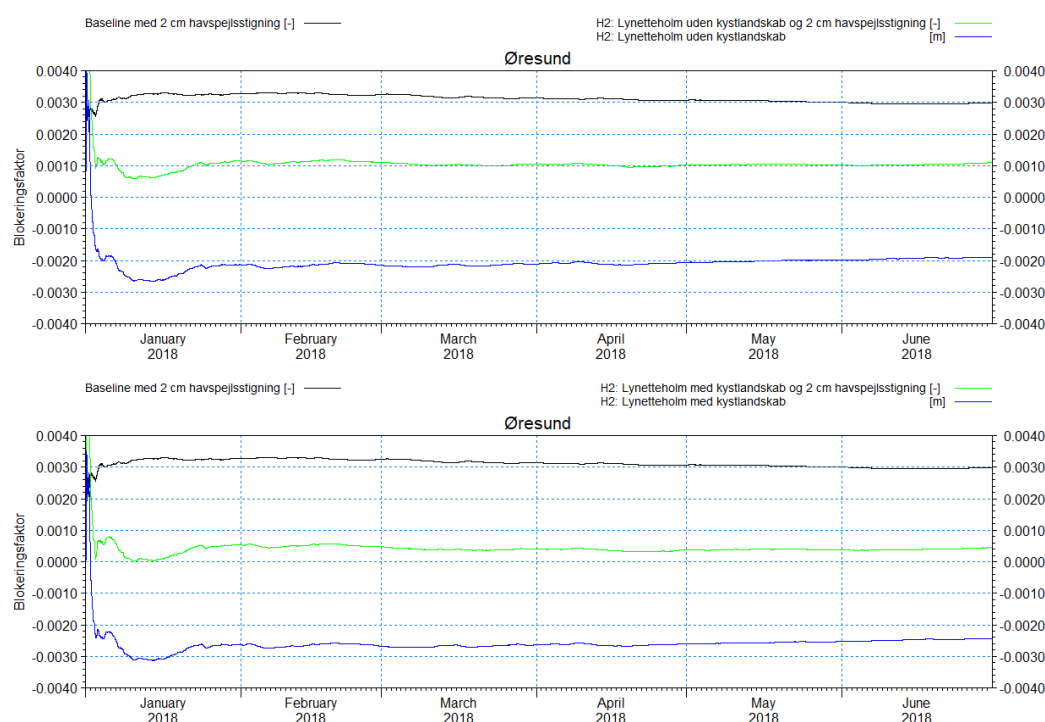
Figur 6-136 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i tværsnittet vest for Peberholm. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.



Figur 6-137 Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i tværsnittet øst for Peberholm. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.

De tilsvarende blokerings effekter er vist i Figur 6-137 for tværsnittet øst for Peberholm. Det ses, at blokerings effekten af en 2 cm havspejlstigning i pågældende tværsnit er større end projektets påvirkning. Begge dele fører dog til en forøget dynamik og ikke en reel blokering, idet fortegnet på blokeringen er positivt.

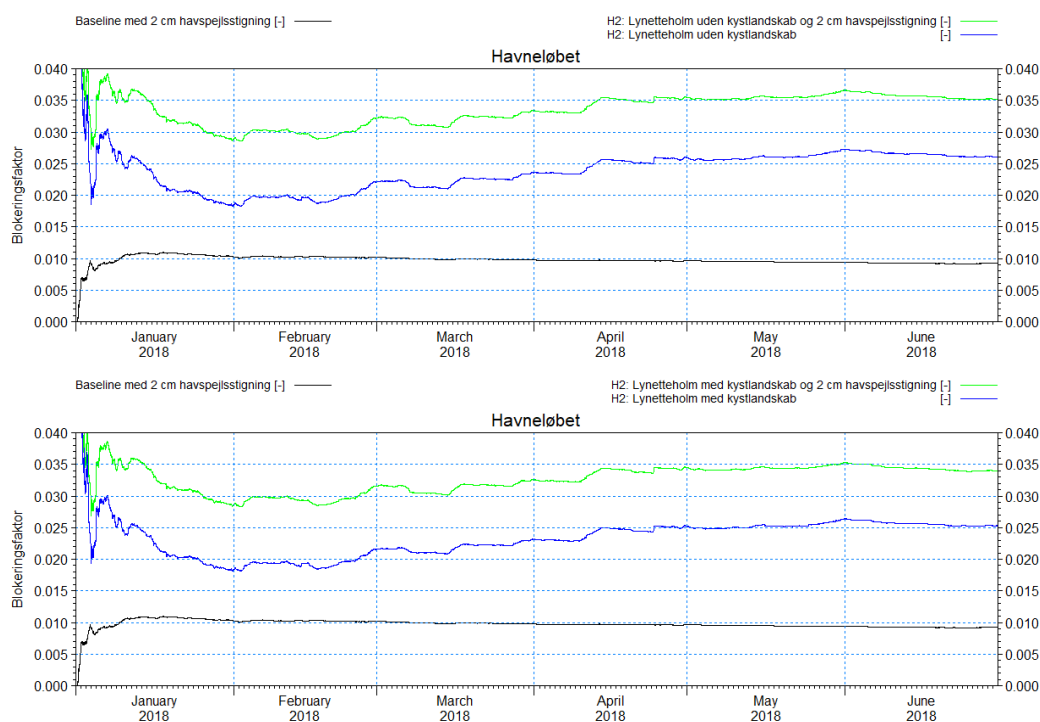
Figur 6-138 angiver blokerings effekter for et fuldt Øresundstværsnit og fortæller dermed noget om hvordan udvekslingen af vand mellem Østersøen og Kattegat påvirkes. Af kurverne fremgår det, at der kræves mindre end en havspejlstigning på 2 cm til at ophæve projektets blokerende påvirkning for begge hovedforslag. Med den nuværende stigningstakt kompenseret for effekter af landhævning (1,55 mm/år, ref. /6/ og /7/) vil blokerings effekten derfor forventeligt være udlignet efter en 10-årsperiode – ikke mindst da der forventes en acceleration i stigningstakten fremadrettet, som følge af termal udvidelse og øget afsmeltning ved polerne.



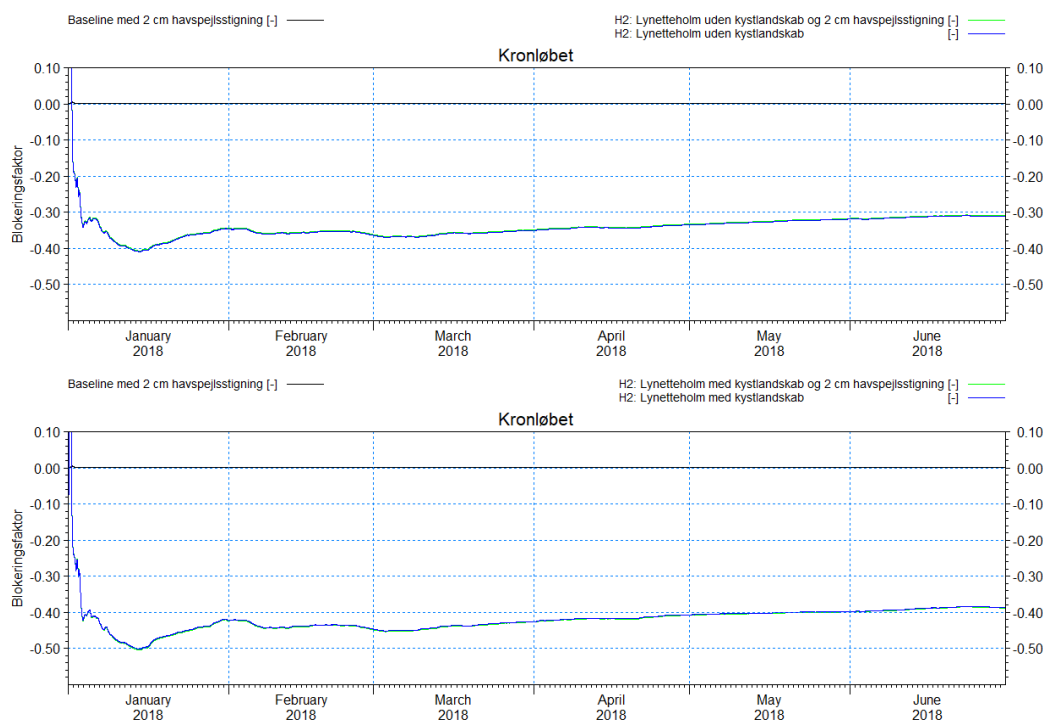
Figur 6-138 Projektets og en havspejlstignings effekt på blokeringen i Øresundstværsnittet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.

Projektets påvirkning og betydningen af en havspejlstigning på 2 cm for blokering i havneløbet fremgår af kurverne vist i Figur 6-139. Det ses, at projektets påvirkning forventeligt svarer til effekten af en effektiv havspejlstigning på 5 cm for begge hovedforslag. Strømningen i havneløbet er i høj grad reguleret af stigningene i Sydhavnen, det vil derfor være muligt at regulere effekten ved at ændre indstillingen af disse.

Opfyldningens lukning af Kongedybet medfører at der er en signifikant reduktion af strømningsdynamikken i tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundsforsigt. Figur 6-140 viser at effekter fra havspejlstigning på ingen måde vil være i stand til at kompensere for den lokale blokerings effekt. Men da effekten kun er lokal og ikke afgørende for den generelle dynamik i Øresund, er den ikke kritisk, men blot en afledt konsekvens af lukningen af Kongedybet.



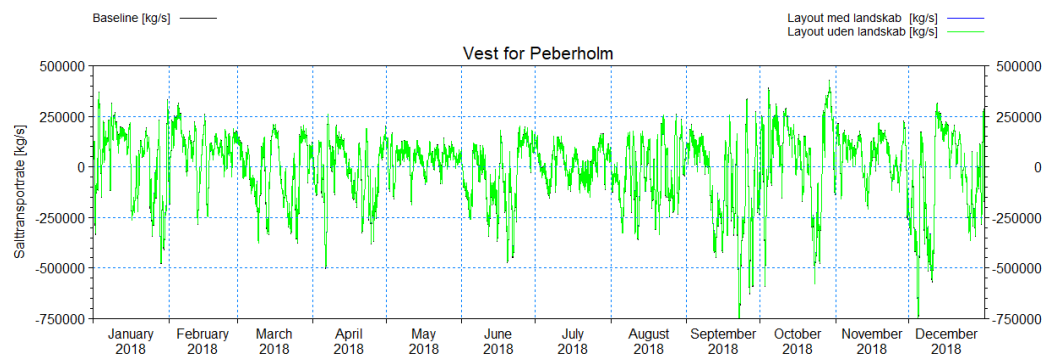
Figur 6-139 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i Havneløbet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.



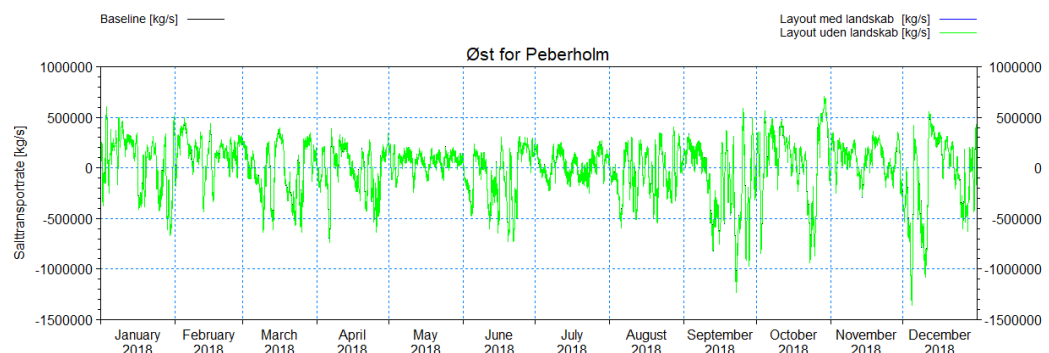
Figur 6-140 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundstortet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.

6.1.6.5 Salttransport

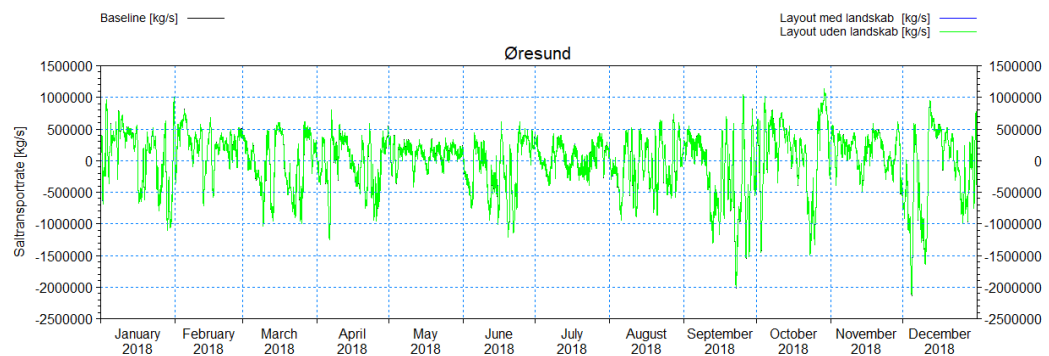
De modelberegnede saltfluxe i de fem prædefinerede tværsnit er vist i Figur 6-141 til og med Figur 6-145. Saltfluxene er defineret, således at positive værdier angiver udstrømning fra Østersøen, mens negative værdier angiver indstrømning til Østersøen. Da der er en nettoafstrømning af vand fra Østersøen, opretholdes saltbalance i Østersøen i begrænset omfang ved hjælp af en densitetsdrevet vertikal strømningscirkulation, hvor det tungere saltholdige bundvand i de dybere render har en nettostrømretning rettet ind mod Drogden tærsklen, mens det lavsaline brakvand fra Østersøen løber ud ved overfladen. Den største tilførsel sker dog i forbindelse med hændelser med kraftig sydgående strøm af lang varighed, hvor lagdelingen er brudt og salttilførslen hen over Drogden tærsklen derfor finder sted over hele vandsøjlen. I tværsnit med begrænset vanddybde som Havneløbet og Kronløbet og med strømforhold som skaber en relativ god opblanding, vil der derfor være en tendens til nettoudstrømning af salt fra Østersøen. I de tre store tværsnit; Øresund, Vest og Øst for Peberholm vil der være en tendens til at opretholde status quo.



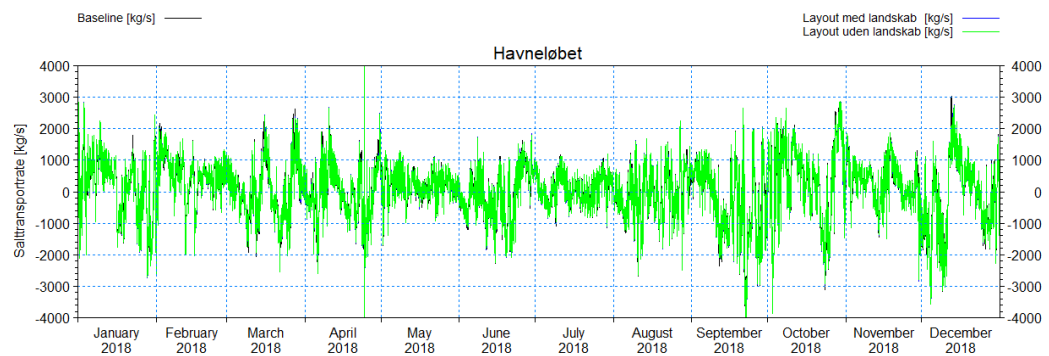
Figur 6-141 Transport af salt i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



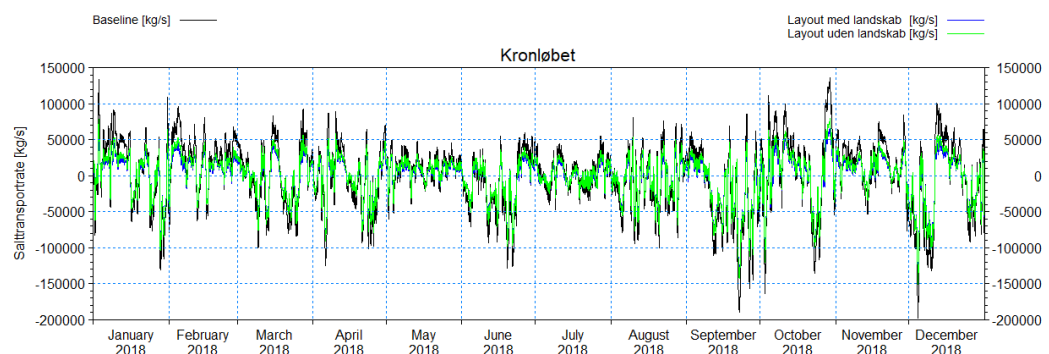
Figur 6-142 Transport af salt i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



Figur 6-143 Transport af salt i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



Figur 6-144 Transport af salt i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

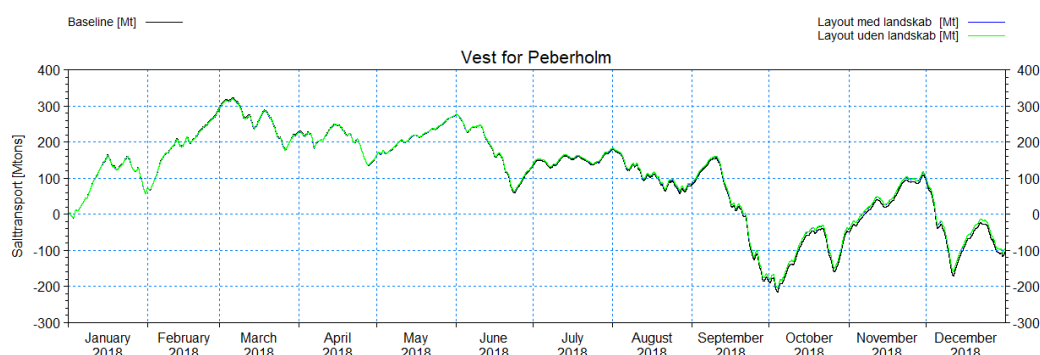


Figur 6-145 Transport af salt i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundsfortet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

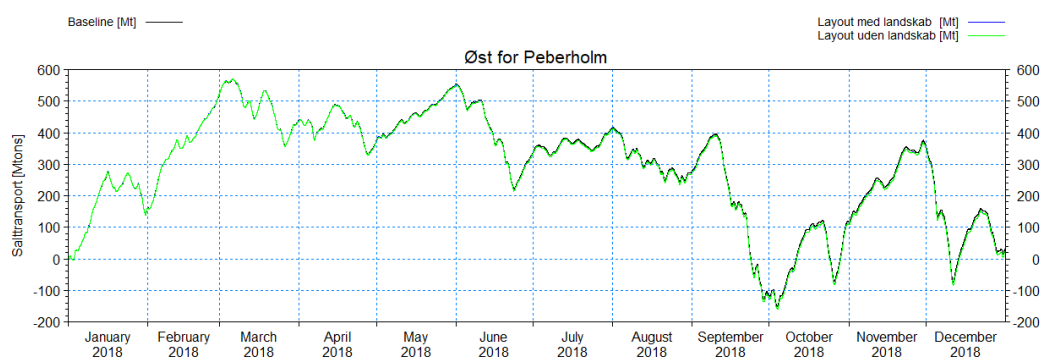
Det er primært i Kronløbet, at man ser en effekt på Saltfluxen. Igen hænger reduktionen sammen med lukningen af Kongedybet.

6.1.6.6 Akkumuleret transport af salt

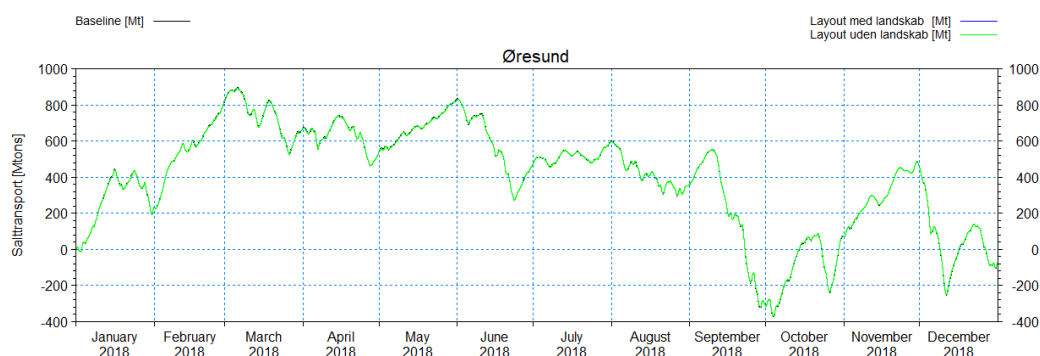
Ferskvandstilførslen fra floderne med udmunding i Østersøen medfører at der vil være en nettoudstrømning af vand fra Østersøen. Saltbalancen bliver derfor opretholdt i forbindelse med saltvandsindbrud, hvor enkeltstående hændelser tilfører Østersøen større mængder salt. En anden vigtig mekanisme er den vertikale cirkulation i Øresund, hvor tunge bundstrømme rettet mod Drogdetærsklen skaber et højt saltholdighedsniveau i de dybere render, som kan skubbes ind i Østersøen i perioder med længerevarende kraftig sydgående strøm. Samlet set sikrer disse hændelser en import af salt, som hen over et år vil kompensere for tabet skabt af nettoudstrømningen af brakvand fra Østersøen. I et år som 2018, hvor der ikke optræder egentlige ekstreme højvandshændelser, er der ingen voldsomme saltvandsindbrud. Der vil derfor forventeligt kunne være et tab af salt fra Østersøen i år 2018. Det ses dog af plottene, at der i sidste halvdel af september og starten af december er strømforhold hvor der tilføres en ret så kraftig mængde af salt til Østersøen via Øresund. De to hændelser medfører at året ender med en beskednen nettotilførsel af salt til Østersøen.



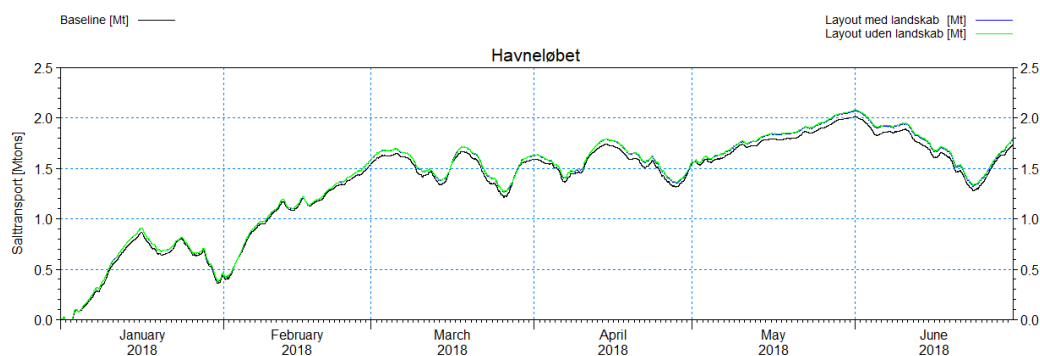
Figur 6-146 Akkumuleret transport af salt i tværsnittet vest for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



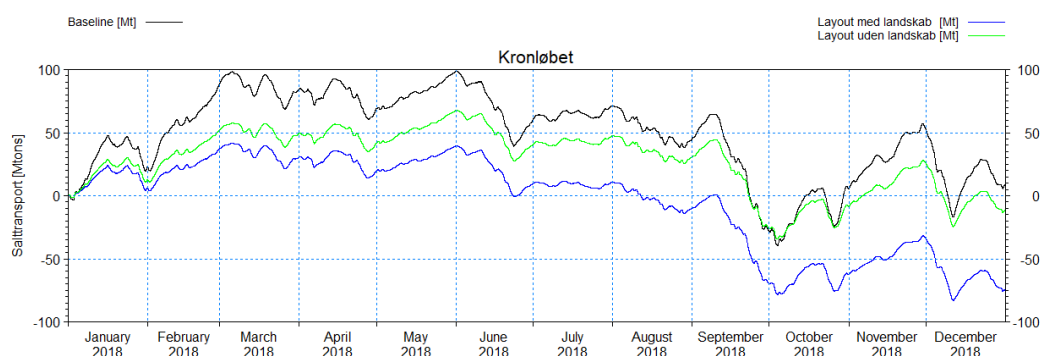
Figur 6-147 Akkumuleret transport af salt i tværsnittet øst for Peberholm med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



Figur 6-148 Akkumuleret transport af salt i tværsnittet gennem Øresund med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



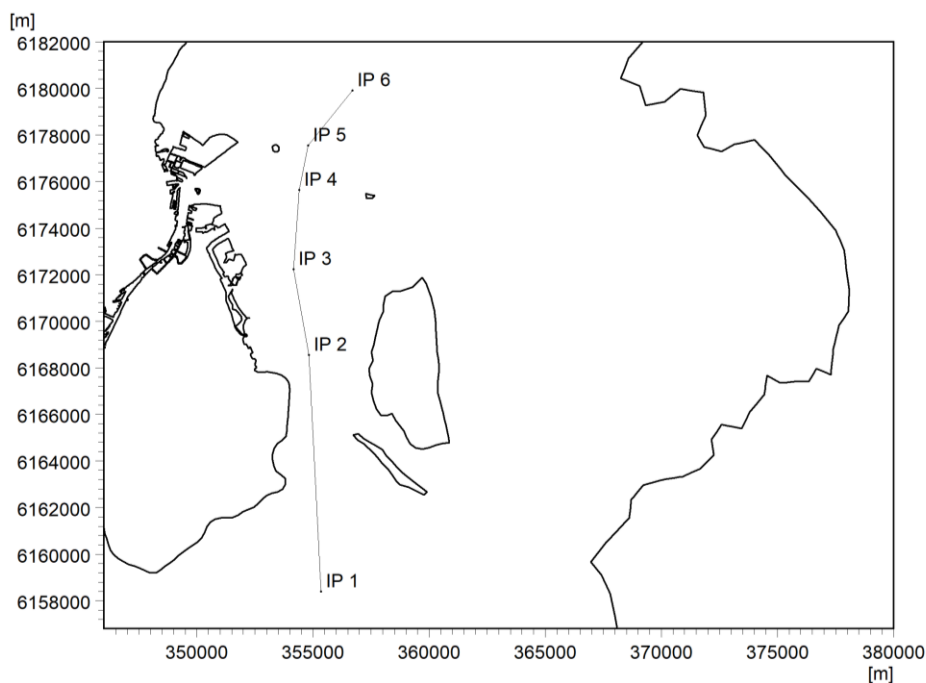
Figur 6-149 Akkumuleret transport af salt i tværsnittet gennem Havneløbet med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).



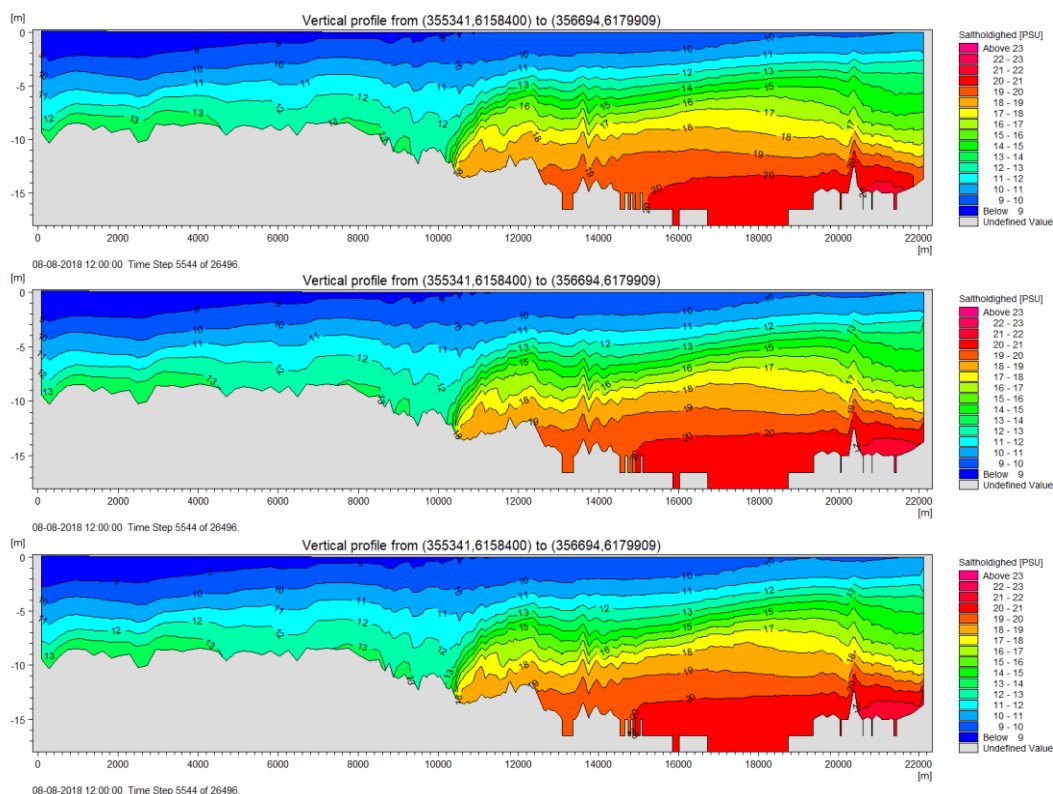
Figur 6-150 Akkumuleret transport af salt i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundstøtten) med eksisterende forhold (sort kurve), udbygning uden landskab (grøn kurve) og udbygning med landskab (blå kurve).

Af Figur 6-147 kan man identificere de perioder, hvor der er et tab af salt fra Østersøen, perioder, hvor der er en balance og perioder, hvor der er en tilførsel. Til illustration af forholdene i disse perioder er der udtrukket et saltprofil langs det i Figur 6-151 indikerede forløb. Saltprofiler fra hver af de tre typer perioder er vist i Figur 6-152 til Figur 6-154. I august måned er nettotransporten af salt næsten i balance. I disse perioder er der en

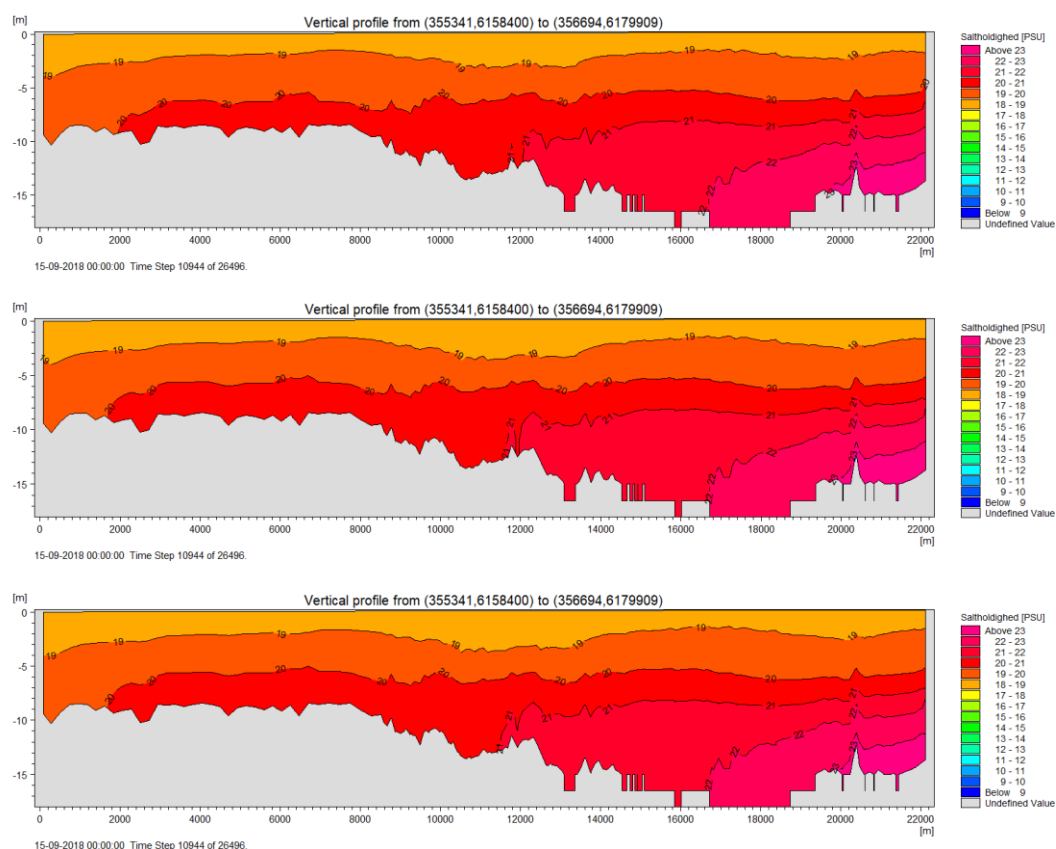
lagdeling og store variationer i saltholdighed ved overflade og bund. Midt i september er der en større tilførsel af salt. I denne situation er der kraftigere opblanding samtidig med at saltholdigheden er højere, som det fremgår af Figur 6-153. I november er der en periode med tab af salt (afstrømning fra Østersøen). I denne periode er der næsten fuld opblanding samtidig med at saltholdigheden er lav.



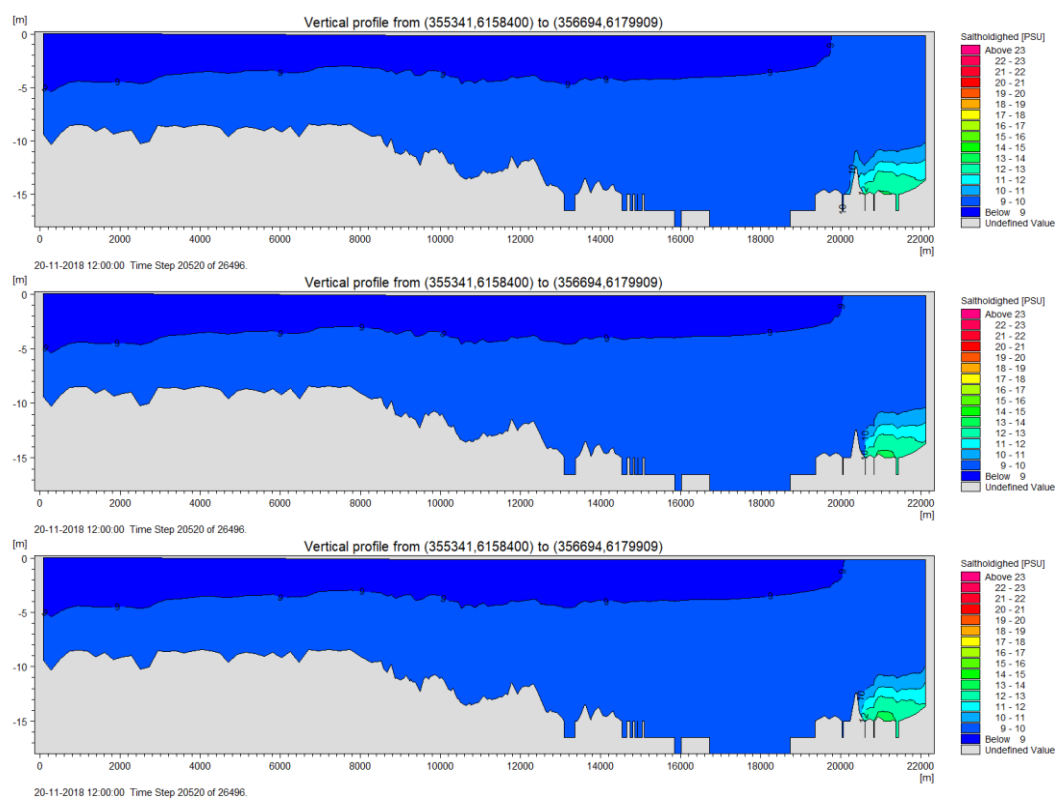
Figur 6-151 Profilets forløb fra starten af Drogden sejlrenden og videre op nord forbi projektområdet.



Figur 6-152 Vertikalt profil af saltholdighed i en periode med balance. Øverst: baseline, midt: Hovedforslag 1 og nederst: Hovedforslag 2.



Figur 6-153 Vertikalt profil af saltholdighed i en periode med saltvandsindbrud. Øverst: baseline, midt: Hovedforslag 1 og nederst: Hovedforslag 2.



Figur 6-154 Vertikalt profil af saltholdighed i en periode med tab af salt. Øverst: baseline, midt: Hovedforslag 1 og nederst: Hovedforslag 2.

Over tid vil nettotransporten af salt stabilisere sig omkring nul svarende til at de eksisterende saltholdighedsniveauer i Østersøen opretholdes. De i Tabel 6-9 og Tabel 6-10 angivne nettotransporter og ændringer heraf, kan derfor være svære at forholde sig til. Grundlæggende ser man, at der generelt må forventes et tab af salt fra Østersøen gennem Havneløbet, som følge af en god vertikal opblanding og relativt lave vanddybder. Nettotransporten af salt gennem Kronløbet reduceres markant, som følge af lukningen af Kongedybet. Tværsnittet vest for Peberholm importerer salt til Østersøen, mens der afgives salt fra Østersøen via tværsnittet øst for Peberholm. Samlet set importeres der lidt mindre salt i år 2018 med en udbygning, men forskellen er meget lille.

Tabel 6-9 Nettotransport af salt og påvirkning heraf for eksisterende forhold og en Hovedforslag 1 udbygning.

Tværsnit	Baseline [Mtons]	Hovedforslag 1 [Mtons]	Ændring [Mtons]	Ændring [%]
Havneløbet	1,86	1,91	0,05	2,5
Kronløbet	6,75	-13,1	-19,9	-294
Vest for Peberholm	-110	-99,5	10,8	-9,8
Øst for Peberholm	26,4	16,9	-9,6	-36,3
Øresund	-85,3	-84,1	1,2	1,4

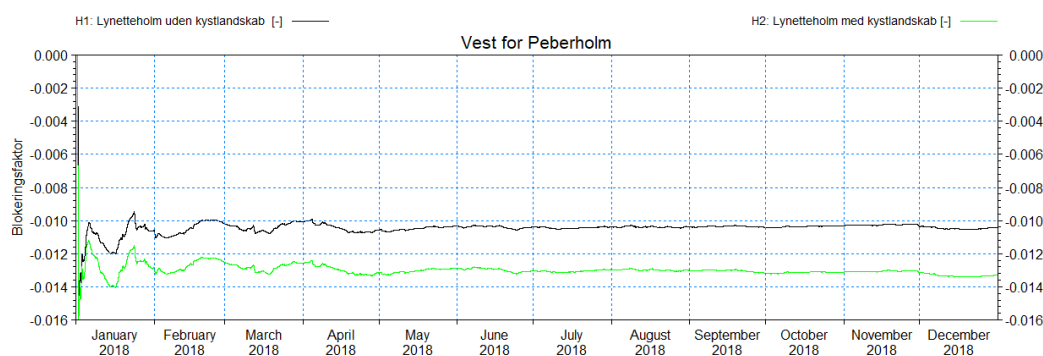
Tabel 6-10 Nettotransport af salt og påvirkning heraf for eksisterende forhold og en Hovedforslag 2 udbygning.

Tværsnit	Baseline [Mtons]	Hovedforslag 1 [Mtons]	Ændring [Mtons]	Ændring [%]
Havneløbet	1,86	1,89	0,03	1,6
Kronløbet	6,75	-76,1	-82,8	-1.227
Vest for Peberholm	-110	-99,7	10,6	9,6
Øst for Peberholm	26,4	16,9	-9,6	-36,3
Øresund	-85,3	-84,3	1,0	1,2

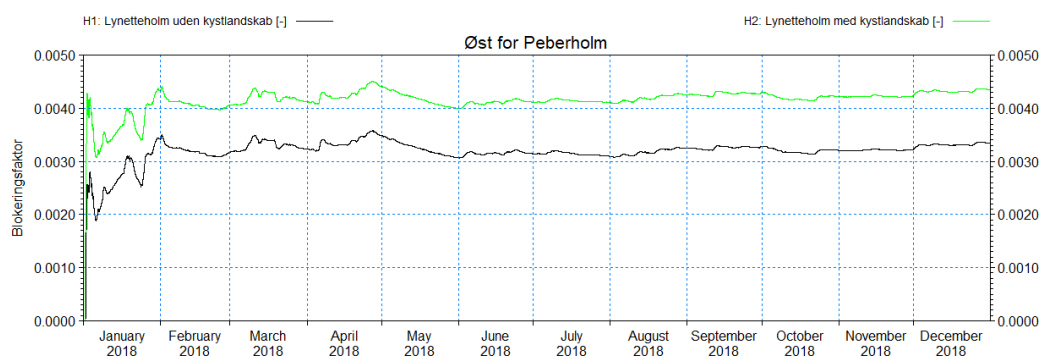
6.1.6.7 Blokeringsfaktorer for salttransport

Blokeringsfaktorerne beregnes med udgangspunkt i den ændrede akkumulerede bruttosalttransport relativt til den akkumulerede baseline bruttosalttransport og angiver dermed et mål for, hvor meget systemets dynamik ændres, som følge af Lynetteholm-opfyldningen. For at estimere blokeringsfaktorerne er man nødt til at modellere en periode af længere varighed, således at blokeringsfaktoren får stabiliseret sig og kun indeholder en svag sæsonrelateret variation. Den tidlige variation af blokeringsfaktorerne i de fem definerede tværsnit er vist i Figur 6-155 til Figur 6-159. Af plottene ses, at det er nødvendigt at regne en periode på mindst 5 måneder for at opnå et stabilt estimat for blokeringsfaktorer relateret til transporten af salt. Den svage variation, som optræder i de efterfølgende 7 måneder, er udtryk for en sæsonvariation. En negativ blokeringsfaktor er

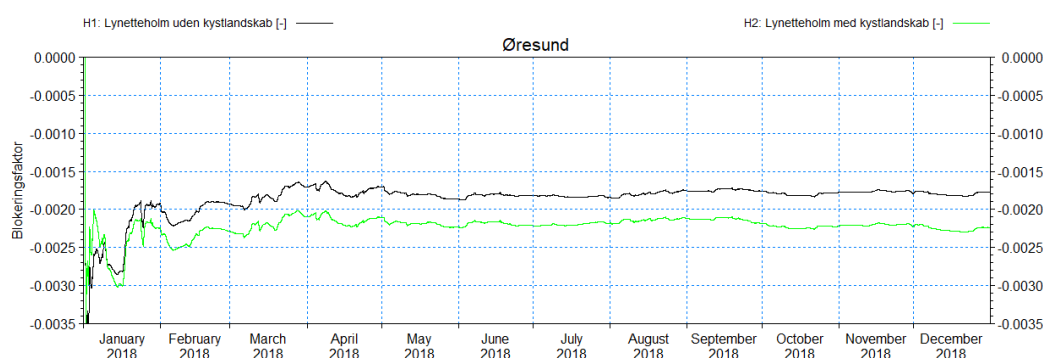
et udtryk for en svækket dynamik, mens en positiv blokeringsfaktor er et udtryk for en forstærket dynamik i det pågældende tværsnit.



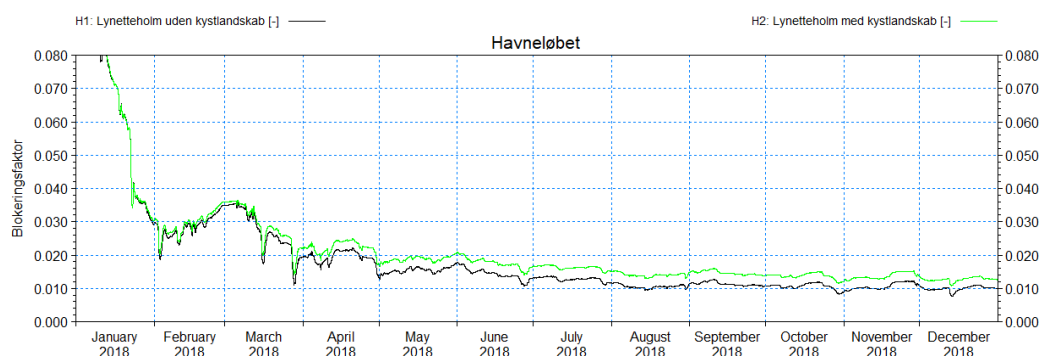
Figur 6-155 Blokeringsfaktorer for salttransporten i tværsnittet vest for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.



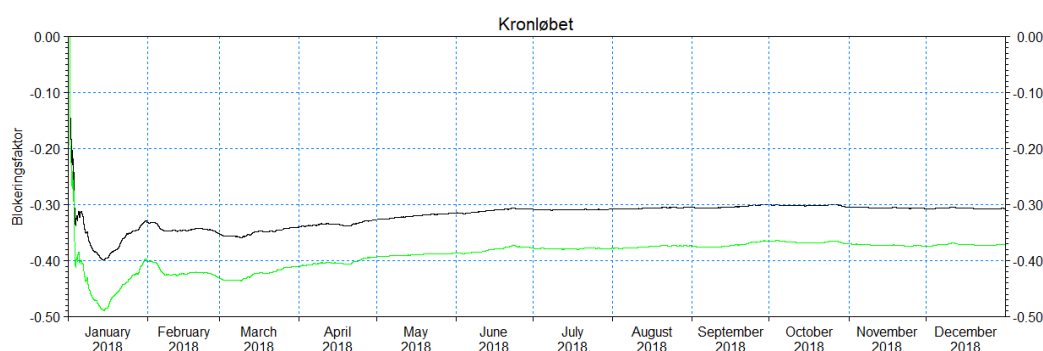
Figur 6-156 Blokeringsfaktorer for salttransporten i tværsnittet øst for Peberholm. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.



Figur 6-157 Blokeringsfaktorer for salttransporten i Øresundstværsnittet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.



Figur 6-158 Blokeringsfaktorer for salttransporten i Havneløbet. Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.



Figur 6-159 Blokeringsfaktorer for salttransporten i Kronløbet (tværsnittet mellem Nordhavnspidsen og Middelgrundsfortet). Sort kurve: Hovedforslag 1, grøn kurve: Hovedforslag 2.

Tabel 6-11 Hovedforslag 1: Estimerede blokeringsfaktorer for transport af salt i udvalgte tværsnit.
Positive værdier angiver en øget dynamik, mens negative værdier er udtryk for en svækket dynamik.

Tværsnit	Blokeringsfaktor nedre værdi [%]	Blokeringsfaktor øvre værdi [%]	Fortegn
Havneløbet	0,76	1,36	+
Kronløbet	30,0	31,0	-
Vest for Peberholm	1,02	1,05	-
Øst for Peberholm	0,31	0,34	+
Øresund	0,172	0,186	-

De for hver af de to hovedforslag beregnede blokeringsfaktorer viser, at Lynetteholm-udbygningen vil føre til en mindre omfordeling af strømmingen og salttransporten gennem Øresund og således, at dynamikken forstærkes lidt i Flinterenden øst for Peberholm og svækkes lidt i Drogden vest for Peberholm. Påvirkningen af Kronløbet er kun af lokal betydning og relaterer til lukningen af Kongedybet. Igennem hele Øresund er der for Hovedforslag 1 fundet en blokeringsfaktor af salt på -0,18 % ved årets udgang og som

dermed repræsenterer effekter fra en fuld sæsonvariation. For Hovedforslag 2 er der en lidt kraftigere påvirkning. Her er der fundet en blokeringsfaktor af salt på -0,22% ved årets udgang. Øvre og nedre værdier af blokeringsfaktorerne er angivet i Tabel 6-11 og Tabel 6-12 for hver af de to hovedforslag. De i tabellerne angivne værdier er fundet med udgangspunkt i den beregnede blokering i perioden juli-december 2018. Fortegnet i sidste kolonne indikerer, om der er en svækket eller øget dynamik.

Tabel 6-12 Hovedforslag 2: Estimerede blokeringsfaktorer for transport af salt i udvalgte tværsnit.
Positive værdier angiver en øget dynamik, mens negative værdier er udtryk for en svækket dynamik.

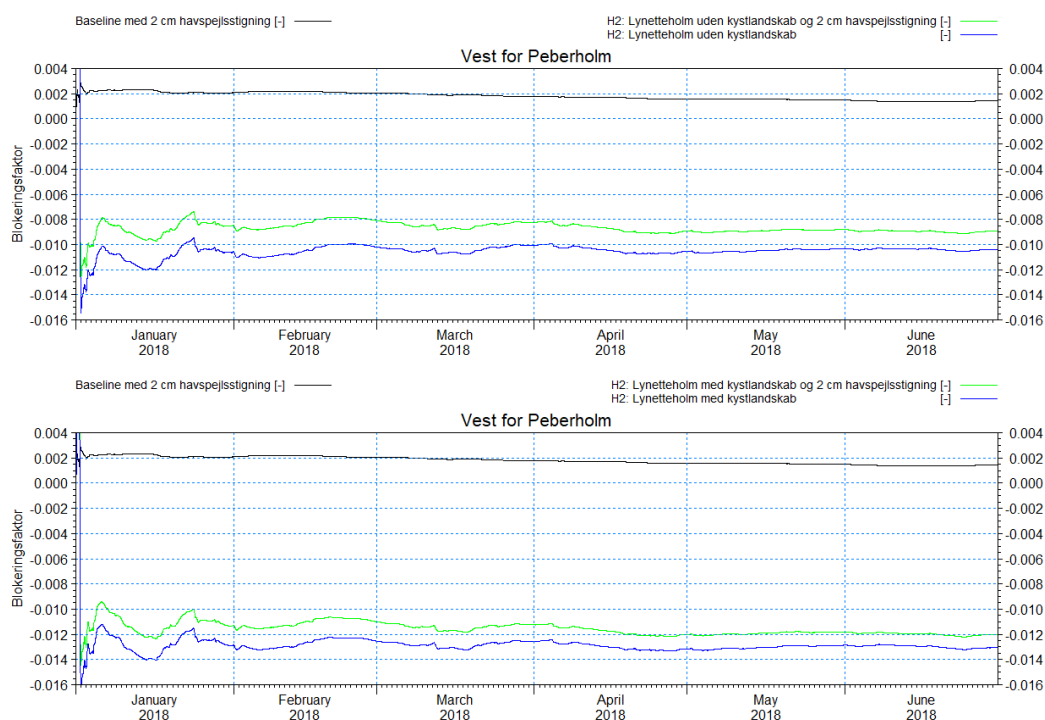
Tværsnit	Blokeringsfaktor nedre værdi [%]	Blokeringsfaktor øvre værdi [%]	Fortegn
Havneløbet	2,39	2,73	+
Kronløbet	30,2	32,0	-
Vest for Peberholm	1,28	1,34	-
Øst for Peberholm	0,41	0,44	+
Øresund	0,210	0,229	-

I forbindelse med Øresundsforbindelsen blev der stillet krav om en nulløsning, hvor man ved hjælp af kompensationsafgravning forsøgte at frembringe forhold, som resulterede i en blokeringsfaktor på nul for både vand og salt. I disse beregninger blev blokeringskravet sat til mindre end 0,1 % med et usikkerhedsspænd estimeret til +/- 0,25 % indenfor en usikkerhed begrænset til et 95 % konfidensinterval, Ref. /1/. Den ved nulløsningen accepterede usikkerhed er dermed større end den estimerede blokering, som Lynetteholm opfyldningen afstedkommer for transporten af salt gennem Øresund.

6.1.6.8 Omsætning af blokeringsmål for transport af salt til målbar fysisk størrelse

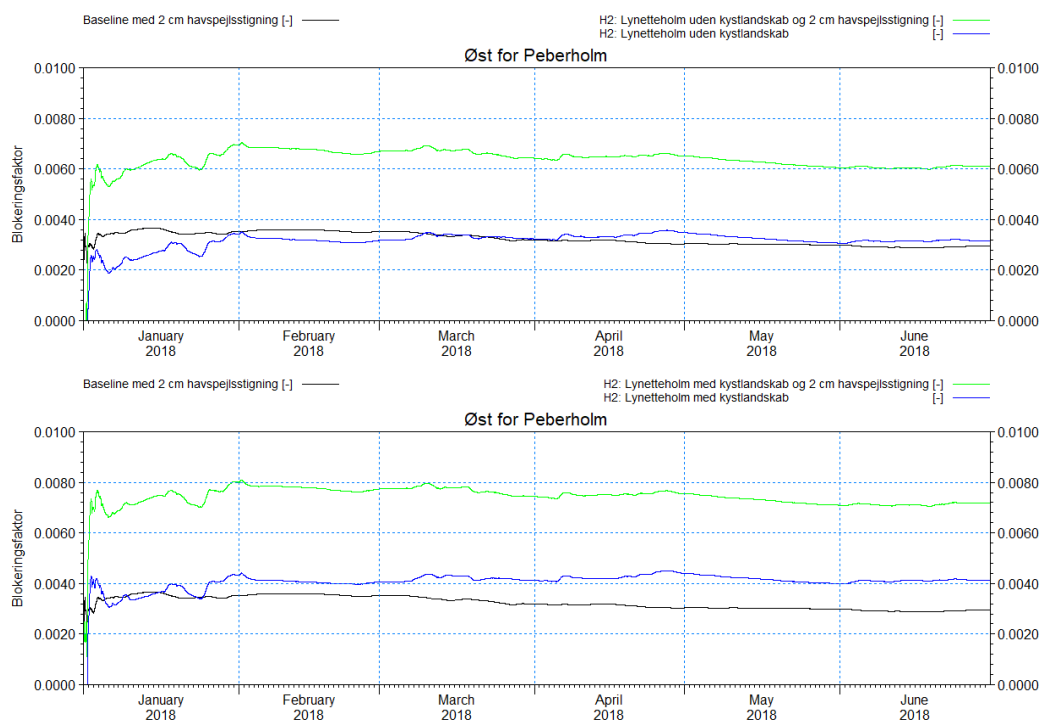
Det kan være svært at relatere blokeringsmålet til en målbar fysisk størrelse og dermed også at forstå den egentlige konsekvens af blokeringen. En nulløsning er som nævnt ovenfor et lidt søgt begreb, idet klimaeffekter gradvist vil føre til havspejlsstigninger i havet omkring Danmark. For at tydeliggøre hvornår en blokering effekt er af betydning samt for at kvantificere effekten ved hjælp af en mere relaterbare størrelse, er der gennemført beregninger, hvor det er antaget at middelhavspejlet er øget med 2 cm. Disse beregninger er brugt til at kvantificere betydningen af en havspejlsstigning for baseline situationen, altså uden en Lynetteholm opfyldning, og sammenholde denne situation med de to hovedforslag med og uden en svag havspejlsstigning.

Figur 6-160 viser den beregnede blokeringsfaktor for hver af de to hovedforslag og baseline forhold med og uden en havspejlsstigning på 2 cm i det definerede snit vest for Peberholm. Af plottene ses, at en havspejlsstigning på 2 cm fører til en blokering på +0,0015 (øget salttransport). Ligeledes er ændringen af samme størrelse, når der vurderes på effekten af Lynetteholm og en havspejlsstigning på 2 cm. Ekstrapoleres effekten finder man derfor at blokeringsfaktoren i pågældende tværsnit vil være tilnærmelsesvis nul efter en havspejlsstigning på cirka 14 cm med Hovedforslag 1 og cirka 17 cm for Hovedforslag 2.

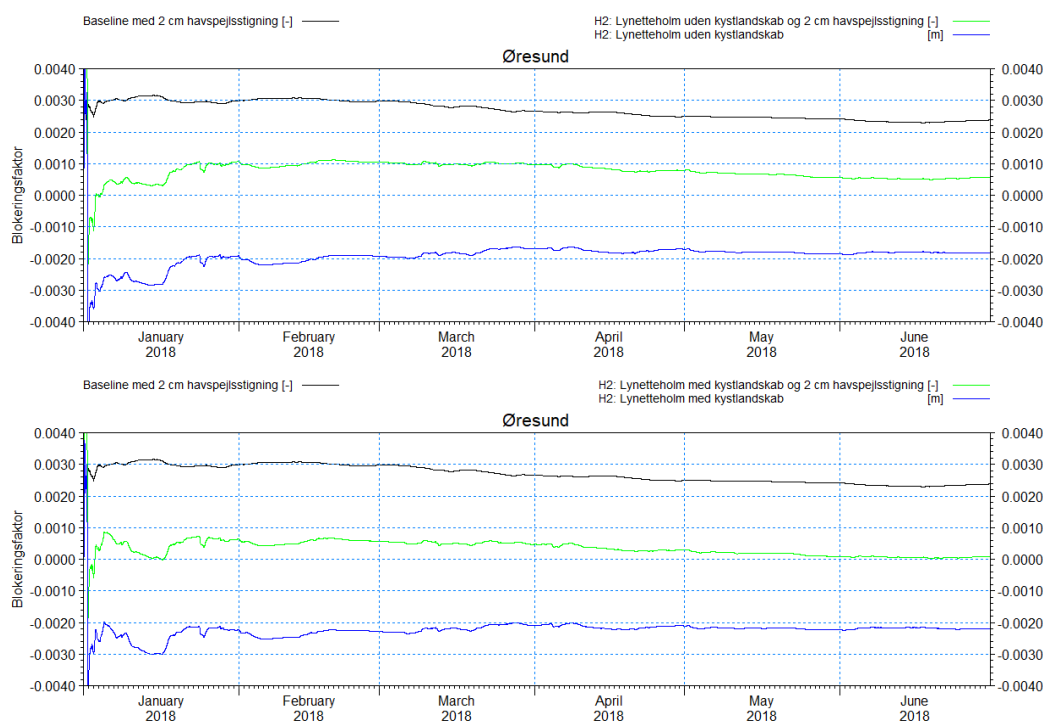


Figur 6-160 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i tværsnittet vest for Peberholm. Øverst: hovedforslag 1, nederst: hovedforslag 2.

De tilsvarende blokeringseffekter er vist i Figur 6-161 for tværsnittet øst for Peberholm. Det ses, at blokeringseffekten af en 2 cm havspejlsstigning i pågældende tværsnit er af næsten samme størrelse som projektets påvirkning. Begge dele fører dog til en forøget dynamik og ikke en reel blokering, idet fortegnet på blokeringen er positivt.

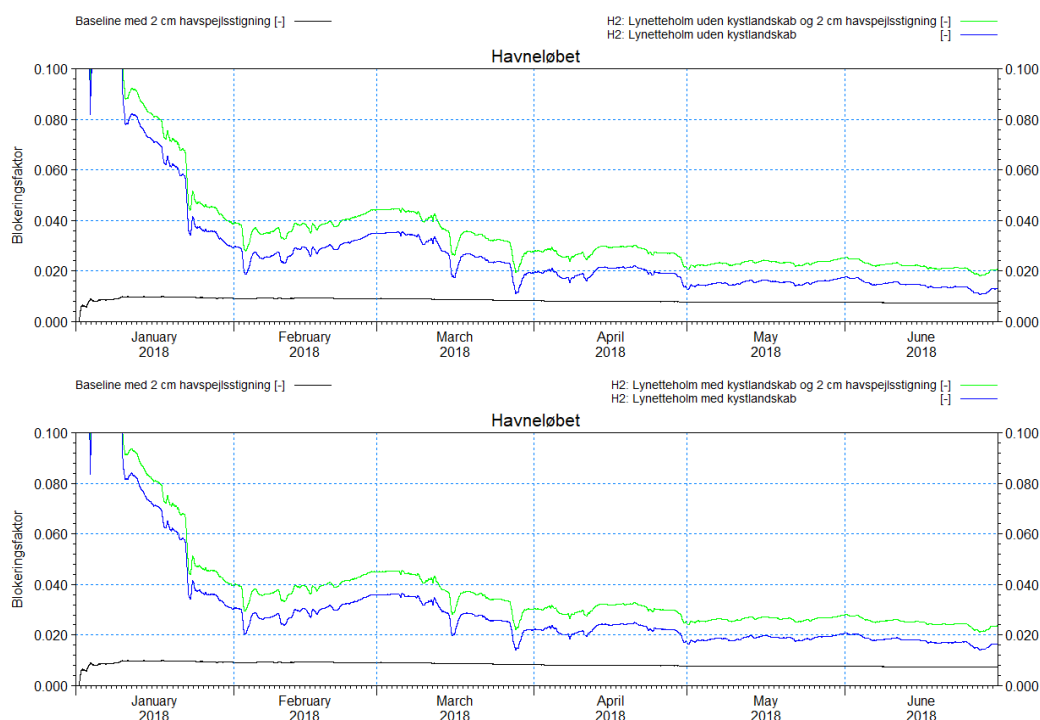


Figur 6-161 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i tværsnittet øst for Peberholm. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.



Figur 6-162 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i Øresundstværsnittet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.

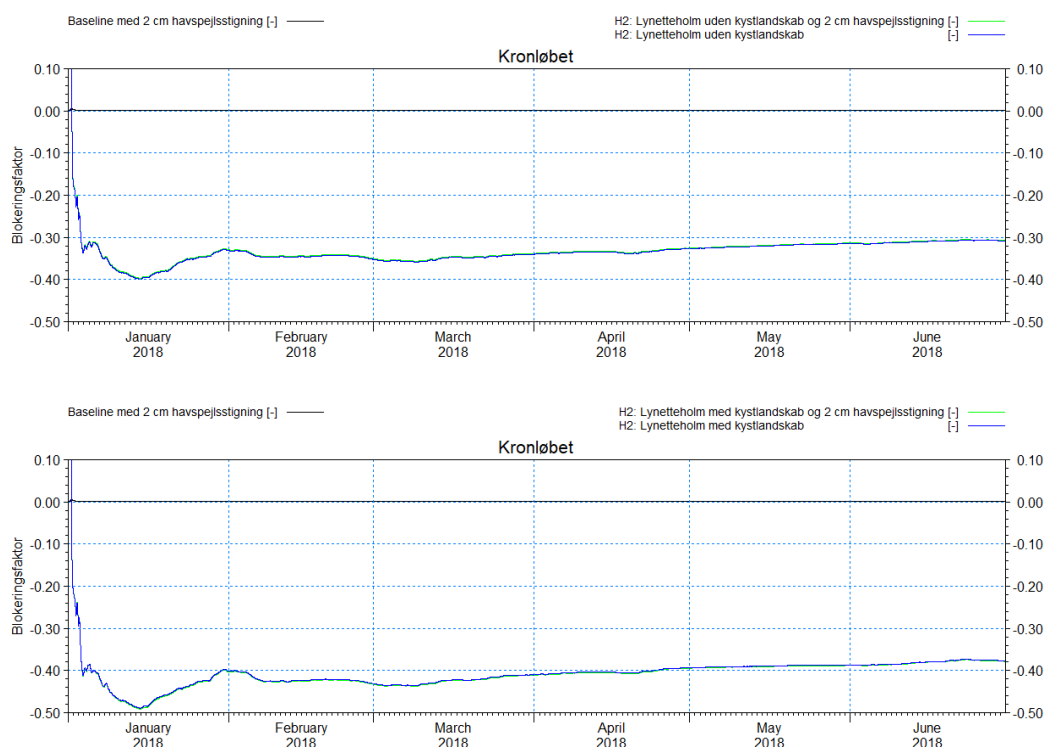
Figur 6-162 angiver blokeringseffekter for et fuldt Øresundstværsnit og fortæller dermed noget om hvordan udvekslingen af salt mellem Østersøen og Kattegat påvirkes. Det ses af kurverne, at der kræves en havspejlsstigning på omkring 4 cm til at ophæve projektets blokerende påvirkning for begge hovedforslag. Med den nuværende stigningstakt kompenseret for effekter af landhævning (1,55 mm/år, ref. /6/ og /7/) vil blokeringseffekten derfor forventeligt være udlignet efter en 25-årsperiode. I praksis må det forventes at gå hurtigere, da der er en acceleration i stigningstakten, som følge af termal udvidelse og øget afsmeltning ved polerne.



Figur 6-163 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i Havneløbet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.

Projektets påvirkning og betydningen af en havspejlsstigning på 2 cm for blokering i havneløbet fremgår af kurverne vist i Figur 6-163. Det ses, at projektets påvirkning forventeligt svarer til effekten af en effektiv havspejlsstigning på 4 cm for med hovedforslag 1 og 5 cm for hovedforslag 2. Strømningen i havneløbet er i høj grad reguleret af stigbordene i Sydhavnen, det vil derfor være muligt at regulere effekten ved at ændre indstillingen af disse.

Opfyldningens lukning af Kongedybet medfører, at der er en signifikant reduktion af strømningsdynamikken i tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundsfartøjet. Figur 6-164 viser, at effekter fra havspejlsstigning på ingen måde vil være i stand til at kompensere for den lokale blokeringseffekt. Men da effekten kun er lokal og ikke afgørende for den generelle dynamik i Øresund, er den ikke kritisk, men blot en afledt konsekvens af lukningen af Kongedybet.



Figur 6-164 Projektets og en havspejlsstignings effekt på blokeringen i tværsnittet mellem Nordhavnspladsen og Middelgrundstortet. Øverst: Hovedforslag 1, nederst: Hovedforslag 2.

6.2 Projektets påvirkning af Amagerværkets brug af kølevand

I forbindelse med anlæggelsen af Lynetteholm er effekten fra kølevandsudledningen fra Amagerværket undersøgt. Tabel 6-13 viser de benyttede antagelser for kølevandsanlæggets indtag og afkast.

Tabel 6-13 Benyttede antagelser for den modellerede kølevandskapacitet.

	Indtags rate [m ³ /s]	Overtemperatur [°C]	Saltholdighedsforskel [PSU]
Indtag sommer	4,5	0	0
Indtag vinter	8,5	0	0
Afkast sommer	4,5	6	0
Afkast vinter	8,5	6	0

Specifikationerne er baseret på offentliggjorte grønne regnskaber fra HOFOR, ref. /8/ og ref. /9/ og oplistet i Tabel 6-14.

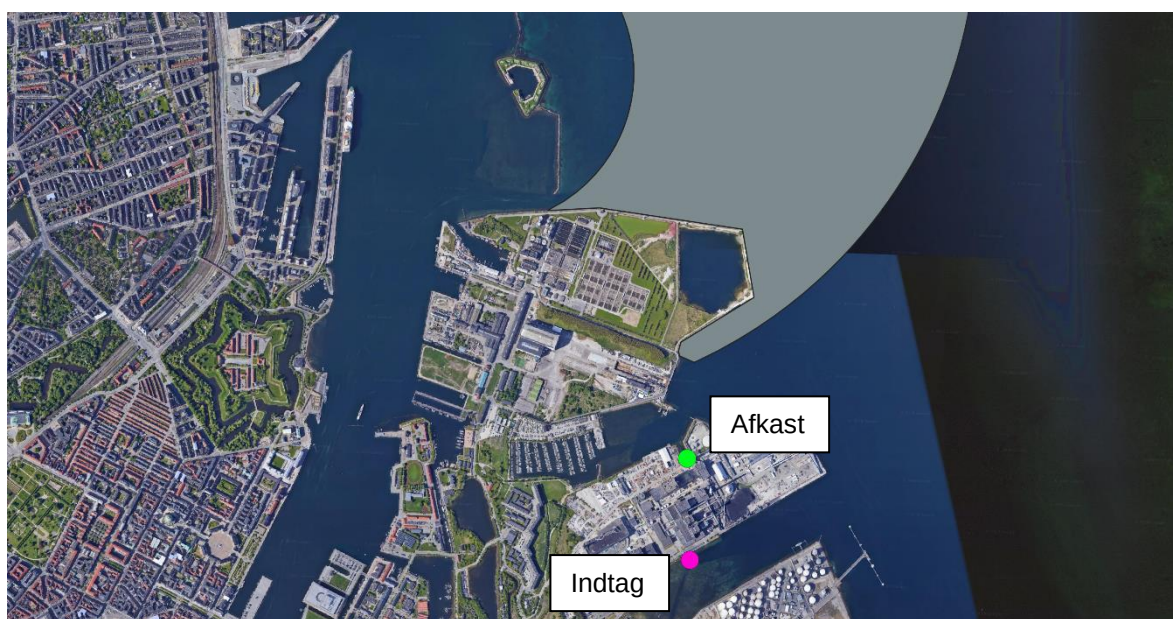
Tabel 6-14 Termisk udledning fra Amagerværket i årene 2010-samt 2016, ref. /8/ og ref. /9/.

Årstal	Kølevandsmængde [m ³ /år]	Energi indhold [GJ/år]	Udledning [m ³ /s]	Overtemperatur [°C]
2010	115.582.465	4.464.244	3,67	9,18
2011	151.781.797	4.347.029	4,81	6,81
2012	132.122.785	3.007.268	4,18	5,41
2013	136.447.072	3.627.898	4,33	6,32
2014	164.170.794	4.263.310	5,21	6,17
2015	137.774.549	1.879.064	4,37	3,24
2016	158.033.466	3.266.399	5,01	4,91
2010-16	142.273.275	3.550.745	4,51	5,93

De ovenfor angivne udledninger og overtemperaturer er gennemsnitsværdier for hele året. I beregningen af overtemperaturerne er der antaget en densitet på 1005 kg/m³ for kølevandet og vands specifikke varmekapacitet på 4186 J/g°C.

Kølevandsfluxen i Tabel 6-14 angiver middelforbruget for kølevandsanlægget over året. Eftersom varmekonsumet er markant højere om vinteren, vil kølevandsindtaget være tilsvarende større. Derfor er den højere vandføring brugt i dette scenarie. Den anvendte værdi på 8,5 m³/s svarende til en øvre værdi ved normal drift.

Kølevandsanlægget er modelleret som en koblet kilde i MIKE 3 FM HD-modellen, eftersom indtagsmængder og afkastmængder er lige store. Figur 6-165 viser placeringerne af indtaget i Østhavnen (sydsiden af Margretheholmen) og afkastet i Margretheholmens havn (nordsiden af Margretheholmen).



Figur 6-165 Kølevandsindtaget og udfaldet markeret på satellitbillede, med udformningen af Lynetteholm (Hovedforslag 1) inkluderet.

Påvirkningen af Lynetteholm opfyldningen på overtemperaturer er undersøgt ved at analysere den reelle overtemperaturs-ændring i forbindelse med etableringen af Lynetteholm.

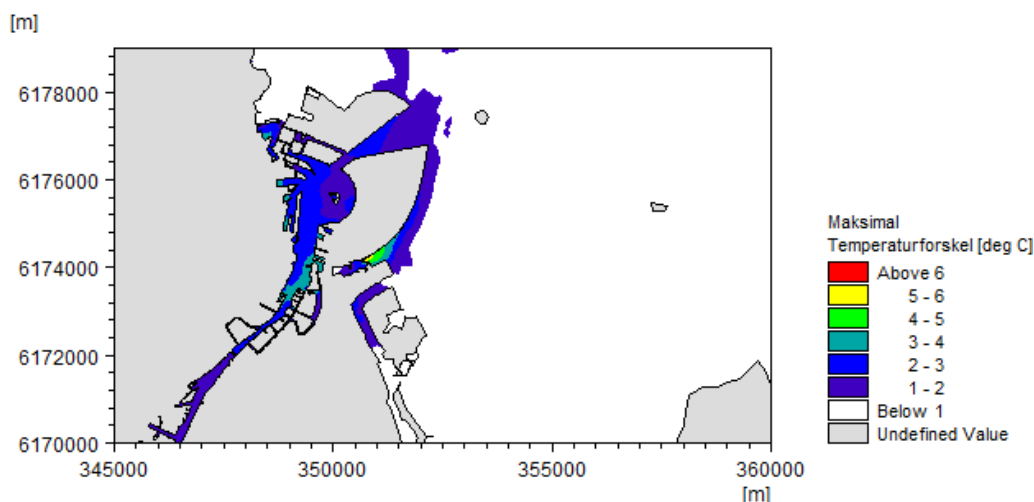
6.2.1 Analyse af Lynetteholms betydning for overtemperaturer omkring Amagerværket

Effekten af Lynetteholm på Amagerværkets brug af kølevand er lavet som en komparativ analyse, der anvender temperaturændringer mellem designscenarierne og den nuværende situation som indikator. Eftersom temperaturforholdene i Øresund er påvirket fra nord af Nordsøen/Kattegat og fra syd af Østersøen, vil de ændrede strømningsforhold have en indflydelse på temperaturerne i havneløbet og omkring opfyldningen.

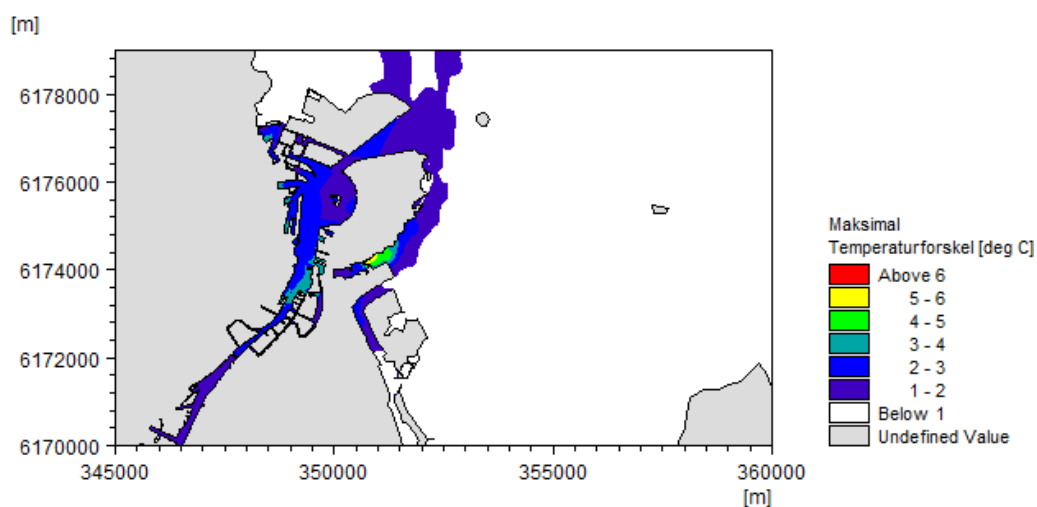
Denne analyse skal ses i sammenhæng med analysen af temperaturforskelle i det generelle område, præsenteret i sektion 6.1.3.

Figur 6-166 - Figur 6-169 viser maksimal overtemperatur over dybden for henholdsvis Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 for henholdsvis vinter- og sommerperioden. For både sommer og vinterperioden og for begge hovedforslag ses det, at der er en meget markant forskel i overtemperatur helt lokalt omkring udfaldet. Dette er som forventet, eftersom der er en markant forskel på gennemstrømningen ud for Margretheholmens havn før og efter anlæggelsen af Lynetteholm.

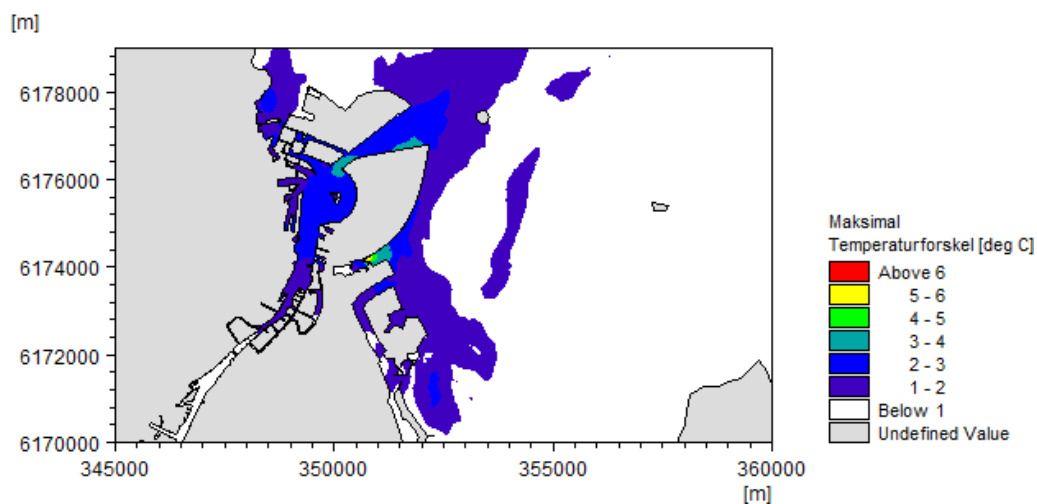
Bag ved Margretheholmen på nordsiden af Prøvestenen, hvor kølevandsindtaget ligger, ses der i vinterperioden kun overtemperaturer på omkring 1 grad, hvorimod der i sommerperioden ses overtemperaturer ved kølevandsindtaget på op mod 2 grader. Det er vigtigt at overvåge netop denne placering, da udledningstemperaturen er relativ til temperaturen på indtaget. Derfor undersøges det herunder om der er en generel opvarmning af området hen over simuleringsperioderne, i vinterperioden, men særligt i sommerperioden, hvor de største temperaturforskelle forekommer.



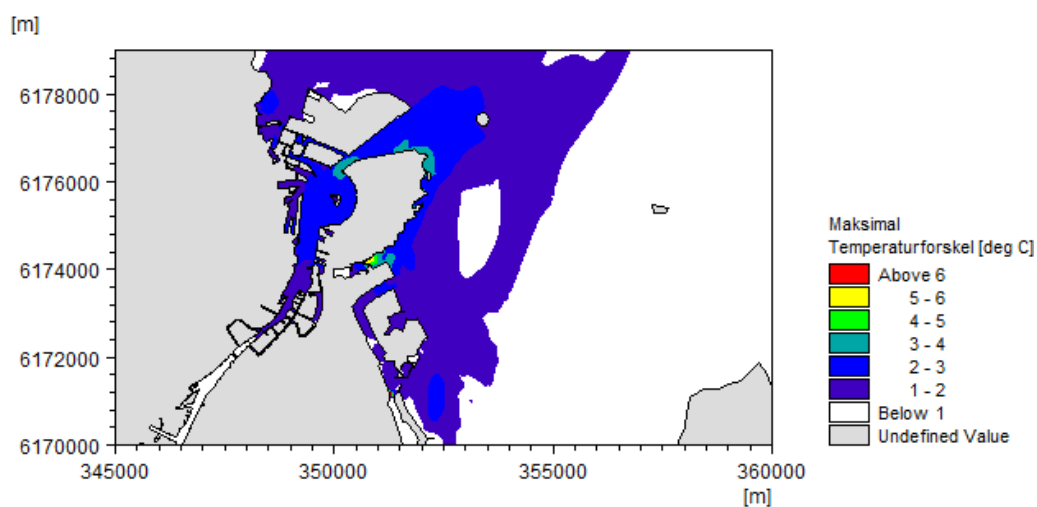
Figur 6-166 Hovedforslag 1. Maksimal overtemperatur over dybden i vinterperioden set i forhold til baseline, vinter (31 dages simulering).



Figur 6-167 Hovedforslag 2. Maksimal overtemperatur over dybden i vinterperioden set i forhold til baseline, vinter (31 dages simulering).

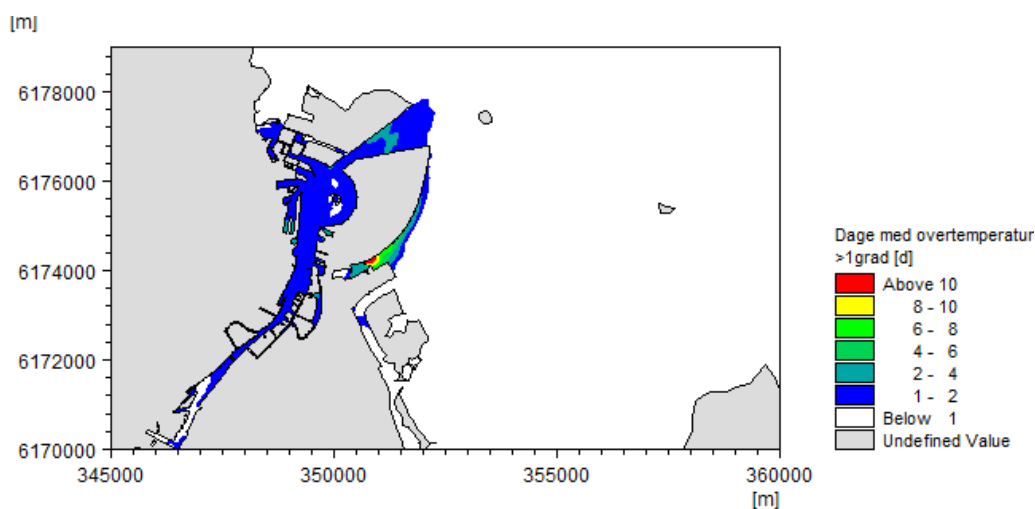


Figur 6-168 Hovedforslag 1. Maksimal overtemperatur over dybden i sommerperioden set i forhold til baseline, sommer (31 dages simulering).

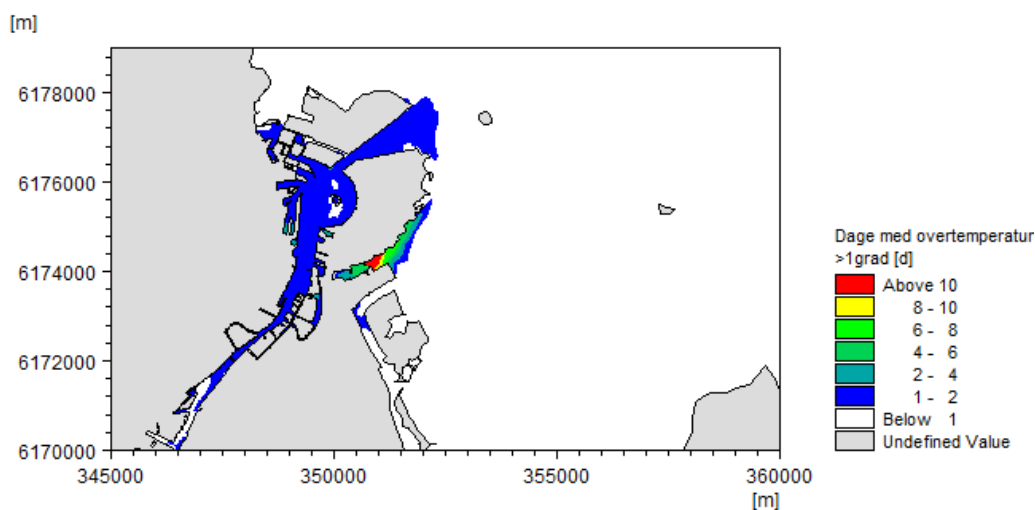


Figur 6-169 Hovedforslag 2. Maksimal overtemperatur over dybden i sommerperioden set i forhold til baseline, sommer (31 dages simulering).

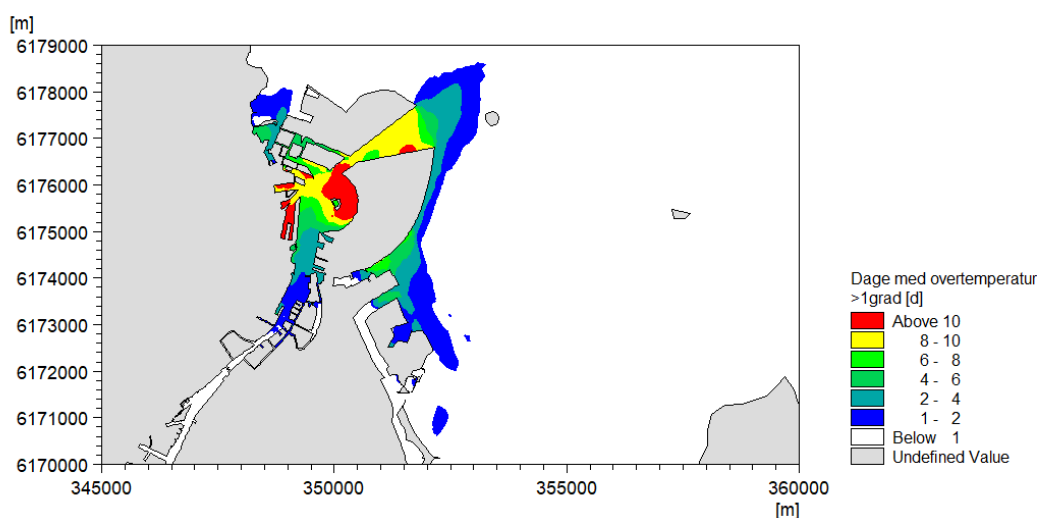
Figur 6-170 - Figur 6-173 viser antallet af dage ud af de 31 simulerede dage, hvor overtemperaturen overstiger en 1 grader for henholdsvis Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 for henholdsvis vinter- og sommerperioden. I vinterperioden ses overtemperaturændringen omkring Amagerværket at være begrænset til området lige omkring udledningen i kanalen nord for Margretheholmen. Ændringen i vinterperioden ses at være særdeles lokal og aftage langs med projektets perimeter uden at strække sig mod syd. I sommerperioden ses overtemperaturændringen at strække sig længere mod syd, og at overtemperaturændringen overstiger en (1) grad i 4-6 dage af de 31 modellerede dage.



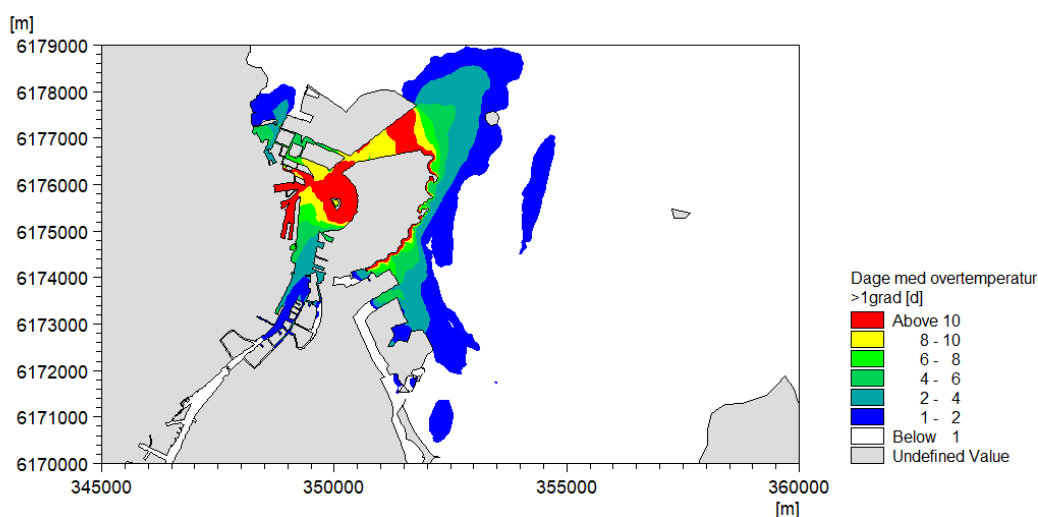
Figur 6-170 Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Vinterperiode, 31 dages simulering.



Figur 6-171 Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Vinterperiode, 31 dages simulering.

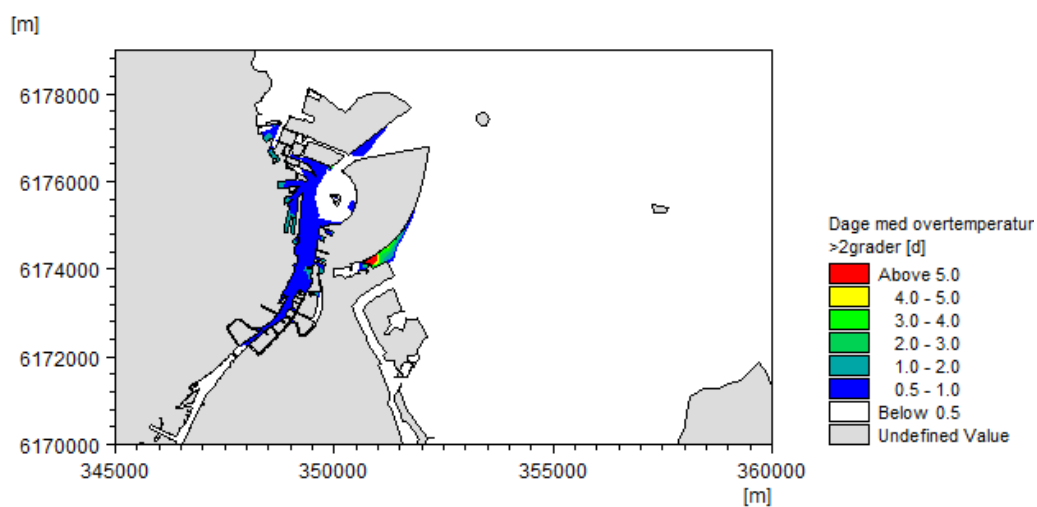


Figur 6-172 Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Sommerperiode, 31 dages simulering.

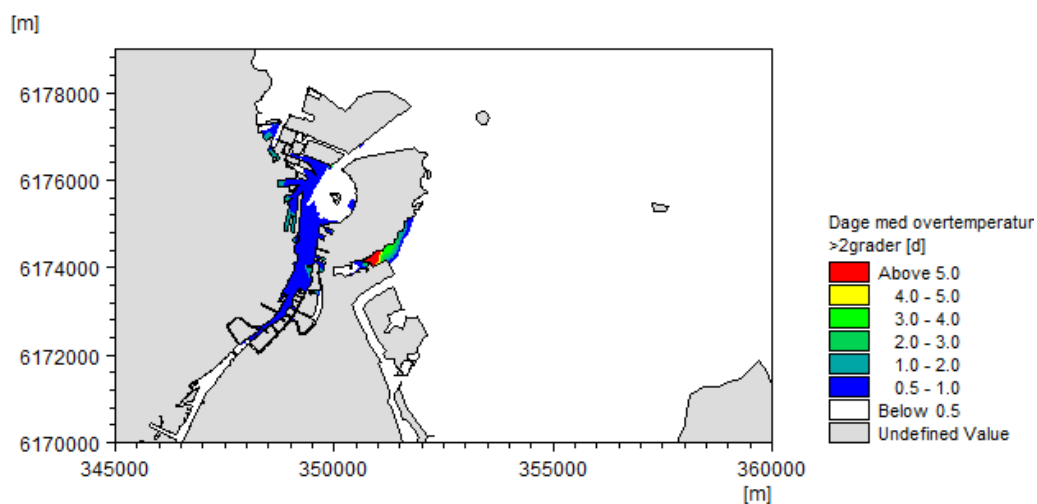


Figur 6-173 Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 1 grad. Sommerperiode, 31 dages simulering.

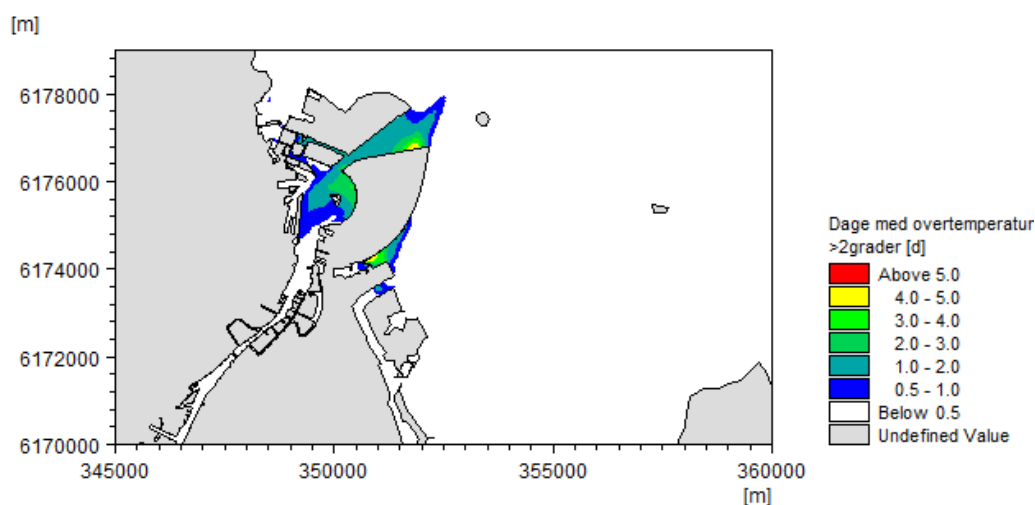
Figur 6-174, Figur 6-175, Figur 6-176 og Figur 6-177 viser antallet af dage ud af de 31 simulerede dage hvor overtemperaturen overstiger 2 grader for henholdsvis Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 for henholdsvis vinter- og sommerperioden. Figureerne er et billede på, hvor der kunne være alvorlige ændringer. I vinterperioden er ændringerne begrænset til omkring afkastet, og der er ikke ændringer omkring indtaget. I sommerperioden ses der at være ændringer på overtemperaturen overstigende 2 grader i 1-2 dage for Hovedforslag 1 og i 0.5-1 dage for Hovedforslag 2.



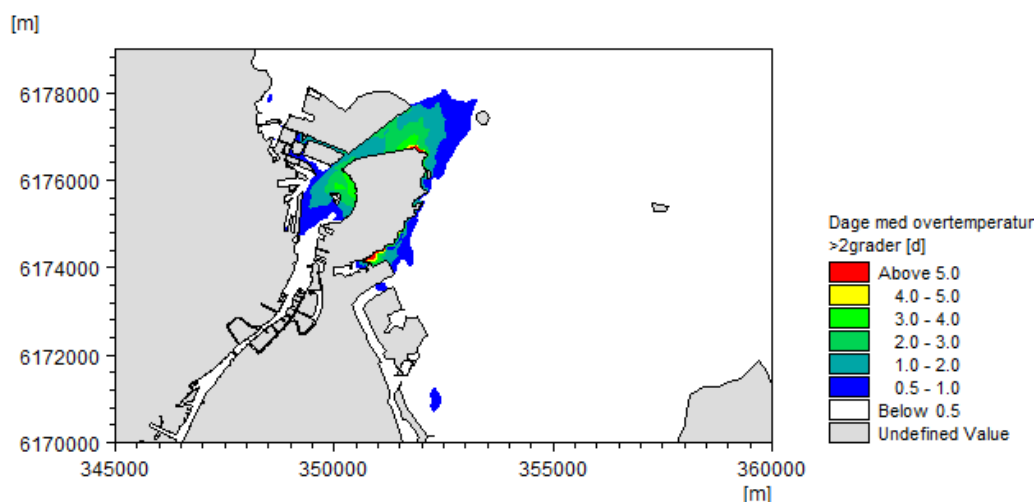
Figur 6-174 Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Vinterperiode, 31 dages simulering.



Figur 6-175 Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Vinterperiode, 31 dages simulering.



Figur 6-176 Hovedforslag 1. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Sommerperiode, 31 dages simulering.

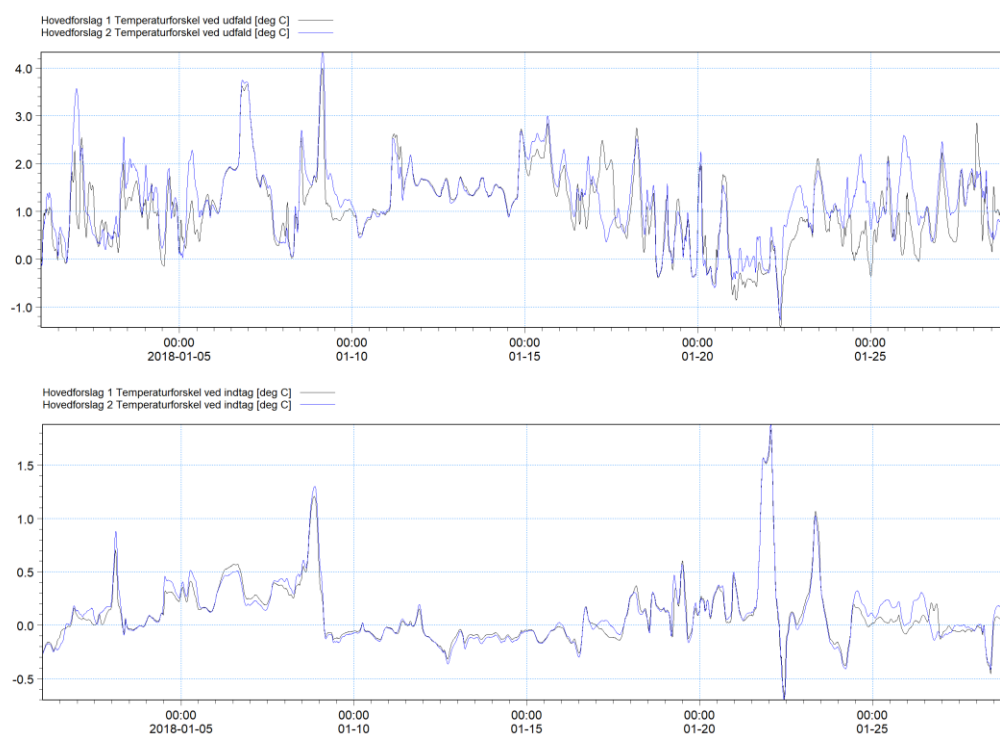


Figur 6-177 Hovedforslag 2. Antal dage med temperaturstigning overstigende 2 grader. Sommerperiode, 31 dages simulering.

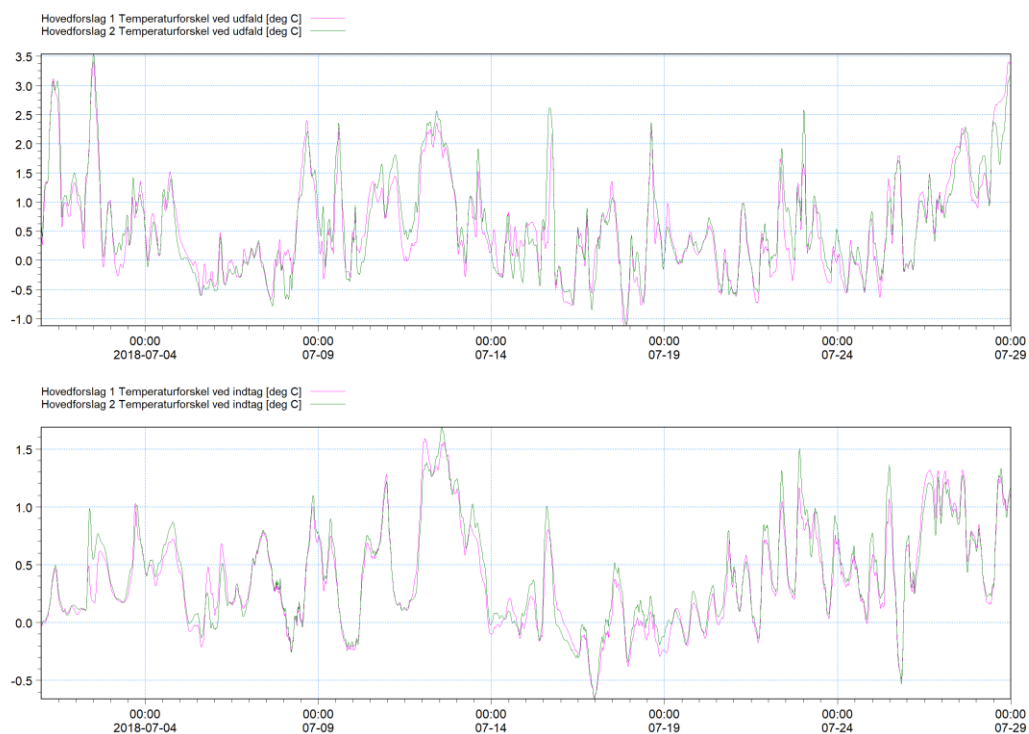
Figur 6-178 og Figur 6-179 viser overtemperaturforskellene omkring udfaldet og indtaget i sommer og vinterperioderne for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2.

Forskellen mellem hovedforslagene ses at være meget små. I punktet i nærheden af afkastet ses overtemperaturen for både sommer og vinter at nærme sig 4 grader. Det viser at afkølingen om vinteren, hvor udledningsovertemperaturen er 8,5 grader, er stor og at spredningen af afkastvandet er begrænset af afkølingen af overfladevand der skaber en nedadgående strøm i vandsøjlen som trækker afkastvandet mod bunden. Om sommeren er spredningen af afkastvandet større.

Omkring indtaget er forskellene i vinterperioden generelt små udover nogle få peaks. Generelt er temperaturforskellene i intervallet $\pm 0,5$ grader. For sommerperioden er forskellene større, og der er en generel tendens til opvarmning mellem 0-1,5 grader i perioden.



Figur 6-178 Tidsserier af overtemperaturforskelle omkring afkast og indtag i vinterperioden set i forhold til baseline.



Figur 6-179 Tidsserier af overtemperaturforskelle omkring afkast og indtag i sommerperioden set i forhold til baseline.

6.2.2 Diskussion af projektets påvirkning på Amagerværkets kølevandseffekt

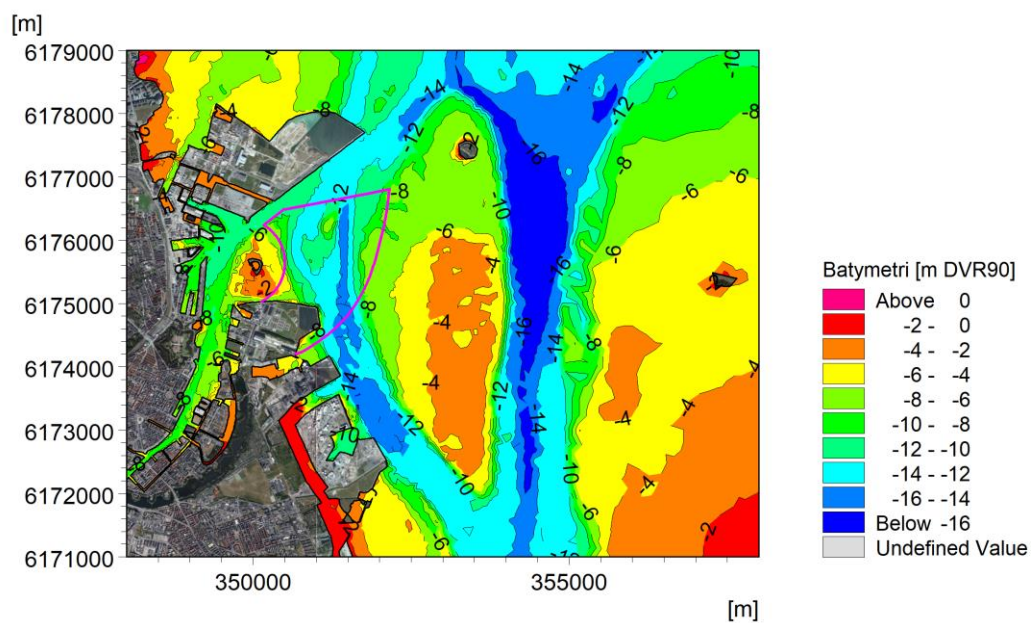
Konkluderende kan det siges at der ikke vil være betydelig indvirkning fra anlæggelsen af Lynetteholmen på Amagerværkets brug af kølevand. Det er analyseret hvordan ændringerne vil være både i sommer og vinterperioden og både for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2. Fordi projektet blokerer for gennemstrømning i Kongedybet vil der være en mindre gennemstrømning i Margretheløbet, hvilket vil medføre en større spredning af opvarmet udløbsvand. Denne spredning holder sig primært inde i Margretheløbet eller spreder sig langs den nyanlagte kyst på Lynetteholmen. I sommerperioden er der derudover en generel tendens til varmere vand på sydsiden af Margretheløbet, hvor kølevandsindtaget er placeret. Det vil øge behovet for kølevand i sommerperioden.

6.3 Projektets påvirkning af de kystmorfologiske forhold

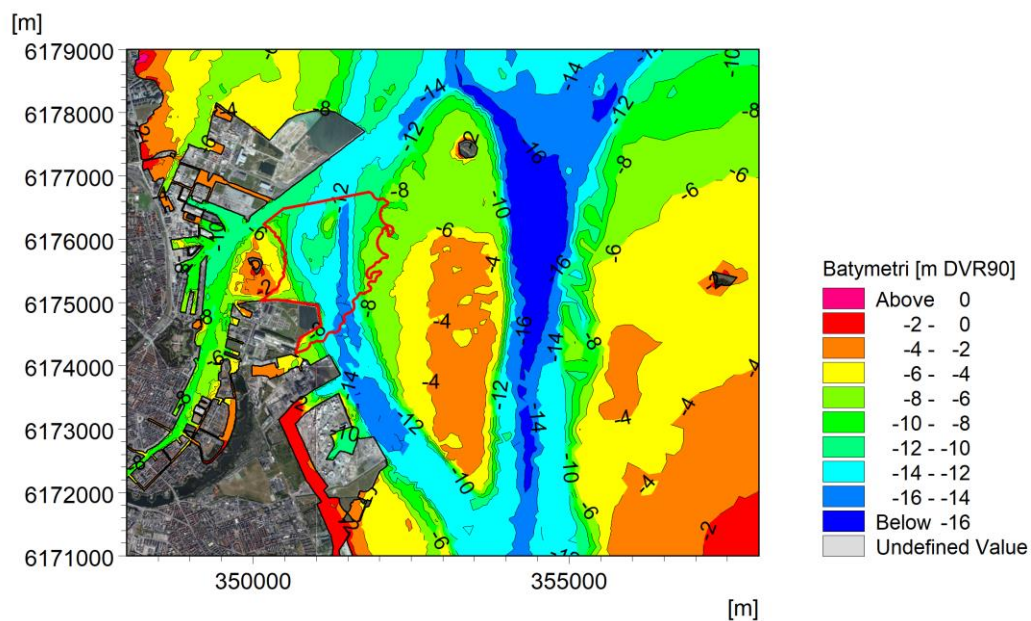
Lynetteholmens to hovedforslag er udformet og placeret, således at de flugter med Nordhavnsopfyldningen, hvilket sikrer, at den ikke påvirker bølgeforholdene på strækningen fra Hellerup Havn til Skovshoved Havn, se Figur 6-180 og Figur 6-181. Denne strækning indeholder flere strækninger med sandstrande, hvor den litorale transport i strandprofilen er bestemt af de bølgedrevne strømme, som dannes, når skråt indkommende bølger dydbegrænses og bryder. Da bølgeforholdene på denne strækning ikke påvirkes af de to hovedforslag for Lynetteholm, kan det konkluderes, at projektet ikke vil give anledning til ændret kystmorfologi i dette område.

Den sydøstlige side af Nordhavnen løber langs med Kronløbet og er afgrænset ved en lodretstående spuns på stor vanddybde. Bølgeforholdene ændres i dette område som følge af en lævirkning og refleksion fra Lynetteholm, men vanddybderne er for store til, at bølgerne bliver dydbegrænsede og bryder, hvorved der dannes bølgedrevne strømme. I området syd for Lynetteholmen ligger Amagerværket og Prøvestenen, hvis indfatninger ligeledes består af lodretstående spuns eller stenkastninger. Da områderne er karakteriseret ved indfatninger bestående af hård beskyttelse og stor vanddybde i forhold til de forekommende bølgehøjder, vil ingen af disse områder mærke kystmorfologiske ændringer i overgangen fra land til vand.

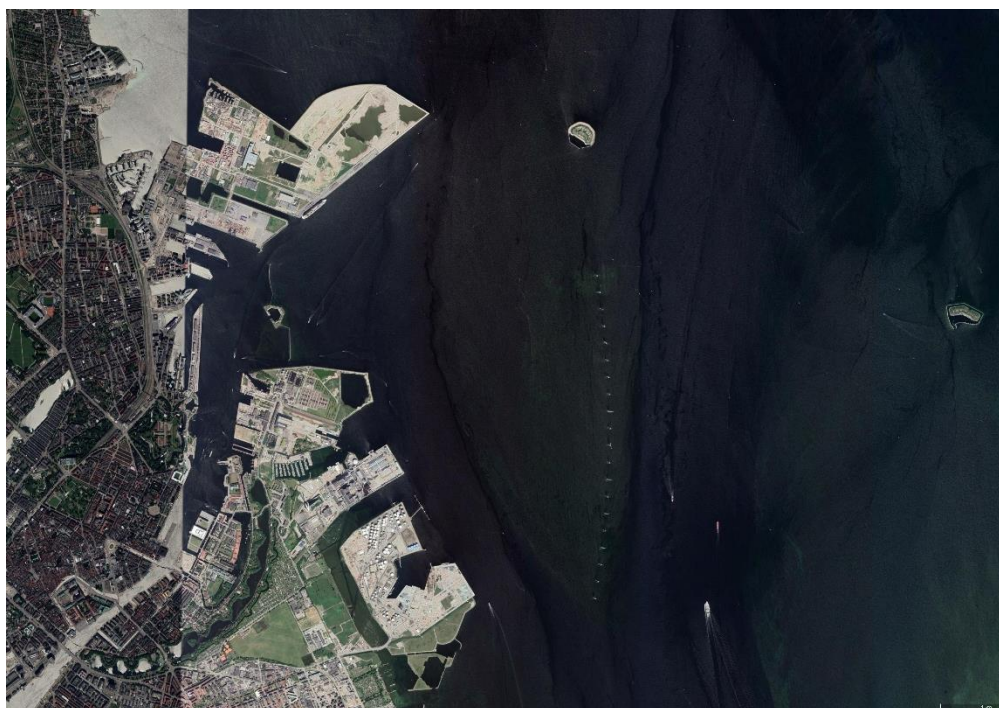
Amager Strandpark er placeret for langt væk fra Lynetteholm til at mærke en egentlig påvirkning af bølgefeltet (jf. afsnit 6.1.5), og dermed vil Lynetteholms to hovedforslag ikke have nogen kystmorfologisk påvirkning i dette område. Det helt samme gør sig gældende på strækningen fra Hellerup Havn til Skovshoved.



Figur 6-180 Lynetteholms udstrækning og placering med Hovedforslag 1.



Figur 6-181 Lynetteholms udstrækning og placering med Hovedforslag 2.



Figur 6-182 Luftfotografi af området nord og syd for Lynetteholmen.

6.3.1 Generel morfologisk påvirkning

Lynetteholmen vil ikke forårsage nogen egentlige kystmorfologiske ændringer, men da opfyldningen indebærer en generel strømforstærkning på åbent vand, vil der være en generel morfologisk påvirkning i form af potentiel erosion over et større område på Middelgrunden.

Middelgrundens karakteristika og dannelse er beskrevet i ref. /10/ og gengivet her i kort form. Middelgrunden er et langstrakt naturligt rev beliggende mellem Kongedybet mod vest og Hollænderdybet mod øst. Middelgrunden består fra kote -5 m til -10 m af Københavnerkalk, der er aflejret i kridttiden. Denne kalk er under den sidste istid blevet overlejret af moræneler, sand og kalkmoræne (som lejret kalk) i varierende tykkelse. Hvor bunden er uberørt, afsluttes den af et tyndt sanddække på mellem 0-30 cm. Middelgrunden har i perioden efter sidste istid skiftevis været landfast og vanddækket. Der vil derfor formentlig være aflejring af tørv, gytje og muslingeskaller.

Området har over en længere periode været anvendt som klapplads, hvilket midlertidigt har skabt områder med lavere vanddybde. Akkumulationen af materiale er på den anden side blevet modvirket af erosion fra bølger, strøm og isgang, som har fjernet materiale fra de mest eksponerede del af Middelgrunden. Opbygning og erosion har altså udlignet hinanden de fleste steder.

Lynetteholmen lukker for en gennemstrømning af Kongedybet. Der finder derfor en omfordeling af strømmen sted, således at der opstår en væsentlig strømforstærkning langs med Lynetteholmens østlige perimeter. Ydermere flyttes en del af flowet til Hollænderdybet. Det morfologiske påvirkningsområde på åbent vand kan findes ved at se på middelændringen af den årsmidlede bruttostrømning. I områder, hvor bruttostrømmen forstærkes, vil der være en tendens til erosion, mens der i områder med en svækkelse vil være en tendens til aflejring. Det primære påvirkningsområde er vist i Figur 6-47 og Figur 6-48 for hver af de to undersøgte hovedforslag. Det ses, at påvirkning primært er på Middelgrunden, hvor københavnerkalken stikker højt, og der kun er tynde eroderbare sedimentlag. Det vurderes derfor, at bygningen af Lynetteholm vil føre til en

mindre erosion af Middelgrunden, men omfanget vil hovedsageligt være begrænset til det øvre tynde sanddække, som typisk udgør mellem 0-30 cm.

7 Vurdering af udledning af overskudsvand

I dette afsnit vurderes der på udledning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområdet under og efter opfyldning. Vurderingerne på vandkvalitet, sediment og biota, er fokuseret på Hovedforslag 2, idet dette er valgt som det primære endelige forslag.

7.1 Udledning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområde under opfyldning

Lynetteholm opfyldes frem mod 2050 med overskudsjord fra bygge- og anlægsprojekter i Storkøbenhavn, og opfyldet vil variere med typen og antallet af anlægsaktiviteter. På baggrund af erfaringerne fra KMC Nordhavn forventes der i gennemsnit tilført 2,6 millioner tons opfyldt årligt. Erfaringsmæssigt varierer mængderne mellem 1,7-3,2 millioner tons per år. Det antages, at den tilførte jordmængde vil være fordelt på 60 % forurennet jord og 40 % ikke-forurennet (ren) jord. Sammensætningen af jorden og modtagekriterierne på Lynetteholm forventes at være de samme som for KMC Nordhavn. Tabel 7-1 indeholder en oversigt over de forventede ifyldningsmængder. I beregningen af fortrængningsvolumener er det konservativt antaget, at materialet er vandmættet og har en samlet rumvægt på 2,0 tons/m³. I jordflytningsbekendtgørelsen anvendes en tørdensitet på 1,8 tons/m³, svarende til et kornvolumen på cirka 70% og et porevolumen på 30 %. Er porevolumenet vandfyldt, så svarer denne værdi til en samlet rumvægt på 2,1 tons/m³. Er jorden hel tør, vil rumvægten være 1,8 tons/m³, men vil i stedet så kun fortrænge 0,7 m³ vand for hver kubikmeter jord som fyldes ind i nyttiggørelsesområdet.

Tabel 7-1 Forventede ifyldningsmængder fra 2024 og frem.

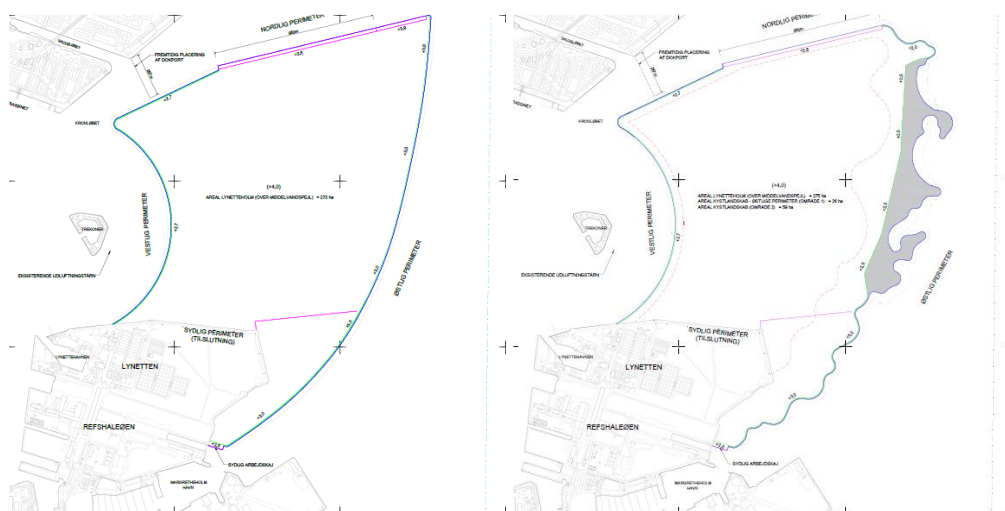
Ifyldning	Andel	Tilført jordmængde [tons/år]	Rumvægt [t/m ³]	Fortrængningsvolumen [m ³ /år]
Mindste årlige ifyldning				
Forurennet jord	60 %	1.020.000	2,0	510.000
Ren jord	40 %	680.000	2,0	340.000
Samlet	100 %	1.700.000	2,0	850.000
Årlig ifyldning i et gennemsnitsår				
Forurennet jord	60 %	1.560.000	2,0	780.000
Ren jord	40 %	1.040.000	2,0	520.000
Samlet	100 %	2.600.000	2,0	1.300.000
Største årlige ifyldning				
Forurennet jord	60 %	1.920.000	2,0	960.000
Ren jord	40 %	1.280.000	2,0	640.000
Samlet	100 %	3.200.000	2,0	1.600.000

I praksis vil ifyldningsmængderne ikke være fuldt vandmættet og ligeledes vil dele af opfyldet blive placeret over middelvandspejlsniveau, hvorfor de reelle fortrængnings-

volumener må forventes at være mindre end angivet i ovenstående tabel (og derfor bliver de estimerede volumener anvendt i modelberegningerne konservative).

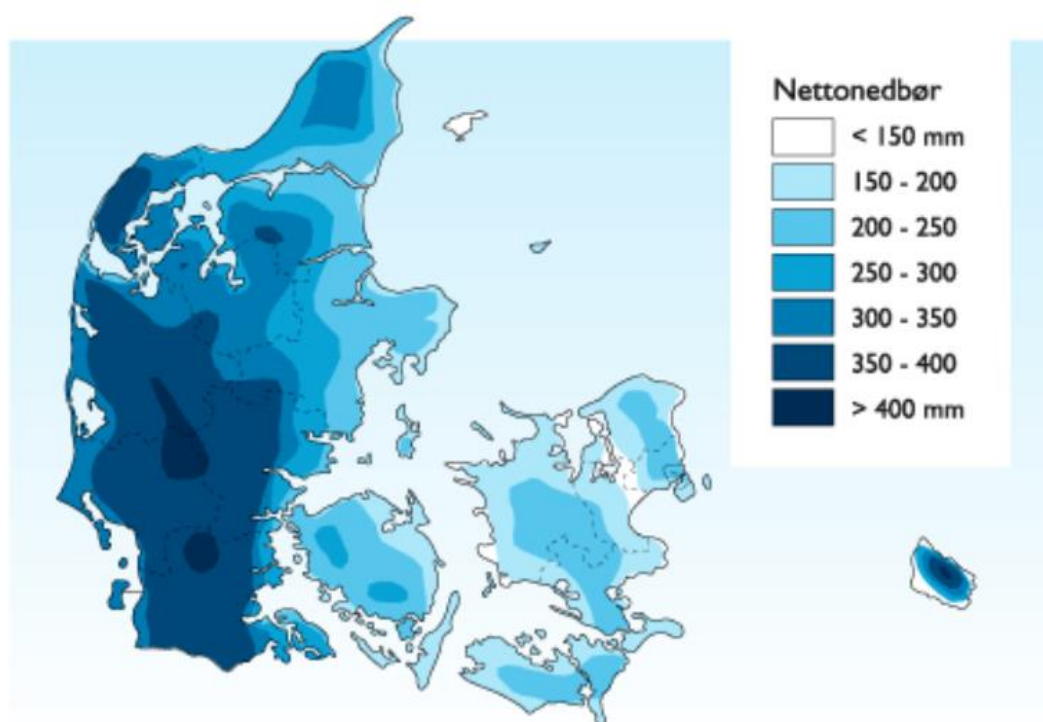
I år 2023 vil der forventeligt være en større ifyldningsmængde grundet et mellemoplæg på 2,7 millioner tons i Nordhavn. I dette år vil der derfor skønsmæssigt opfyldes $2,7 + 2,6 = 5,3$ millioner tons jord i Lynetteholm. Fortrængningsvolumenet af denne mængde udgør dermed konservativt $2.650.000 \text{ m}^3/\text{år}$. Materialet fra mellemdeponiet kan tilføres efter behov og kan dermed vælges tilført over 18 måneder frem for de her antagne 12 måneder.

Opfyldningsvolumenet for de endelige layouts udgør $42,5$ millioner m^3 med Hovedforslag 1 og $40,9$ millioner m^3 med Hovedforslag 2. I de opgjorte mængder er der et sætningsbidrag, hvilket betyder at mængderne er opgjort som ifyldningsmængde og ikke det faktiske volumen efter en konsolidering/komprimering. Opfyldningsperioden kan med udgangspunkt i ovenstående tal forventes at være mellem 26-48 år med Hovedforslag 1 og 25-46 år med Hovedforslag 2. Den forventede opfyldningsperiode er cirka 32 år for Hovedforslag 1 og 30 år for Hovedforslag 2. I de angivne estimater er der taget højde for en større ifyldningsmængde i år 2023. De to hovedforslag og opfyldningsområdet er vist i Figur 7-1 for de endelige Hovedforslag layouts.



Figur 7-1 Endeligt Hovedforslag 1 (venstre side) og Hovedforslag 2 (højre side).

Den årlige udledningsmængde i opfyldningsperioden anslås at svare til det estimerede fortrængningsvolumen plus bidrag fra nettonedbøren på området. Nettonedbøren er nedbøren minus fordampningen. Et bud på nettonedbøren ved Lynetteholmen er vist i Figur 7-2. Det ses, at nettonedbøren skønsmæssigt er omkring $200 \text{ mm}/\text{år}$. De angivne værdier for nettonedbøren er for jorddækkede områder. Da store dele af nyttiggørelsesområdet er vanddækket i en meget stor del af opfyldningsperioden, vil nettonedbøren i nyttiggørelsesområdet formentlig være mindre end $200 \text{ mm}/\text{år}$. Der er allerede nu indikationer af at klimaeffekter fører til forøget nedbør, så det kan diskuteres om der for en fremtidssituation skal inkluderes et klimabidrag på nettonedbøren, set i forhold til den forventede opfyldningsperiode på 30-32 år.



Figur 7-2 Nettonedbørs fordelingen i Danmark, ref. /11/.

Kapaciteten af de to endelige hovedforslag er vist i Tabel 7-2 indeholder tal for de endelige projektforslag. Det angivne jordvolumen i Tabel 7-2 indeholder et bidrag fra sætninger af det underliggende gytjelag som komprimeres og dræner porevand. En del af opfyldet er placeret over middelvandspejlet og bidrager hermed ikke til fortrængning. I tabellen er der derfor også angivet et tal for det af opfyldet fortrængte vandvolumen.

Tabel 7-2 Arealer og jordvolumener for endelige projektforslag.

Projektforslag	Hovedforslag 1	Hovedforslag 2
Jordopfyldningsareal	261,5 ha	243 ha
Kystlandskabsareal	0 ha	34,4 ha
Topkote af jordopfyld	+4 m DVR90	+4 m DVR90
Jordvolumen	42,5 Mm ³	40,9 Mm ³
Fortrængt vandvolumen	32 Mm ²	31,2 Mm ²

Den største udledning af overskudsvand finder sted i år 2023, hvor der er et ekstraordinært ifyldningsbidrag fra mellemdeponi. I perioden 2024 og frem sker den største udledning af overskudsvand sted i de år, hvor der er størst ifyldning, jf. Tabel 7-1. Da nyttiggørelsesområdet har en forventet opfyldningsperiode på 30-32 år, er det valgt at medtage et klimabidrag på 10 % på nettonedbøren, så det samlede bidrag bliver 220 mm/år. Bemærk at en forøgelse af nettonedbøren på 10% ikke er udtryk for at nedbørsmængden kun vokser med 10%. Den kan blive væsentlig større, men det vil effekten af fordampning også blive, hvorved, at nettonedbøren kun påvirkes i mindre grad. Det akkumulerede bidrag fra nettonedbøren er lidt større med Hovedforslag 1, da

jordopfyldningsarealet er større end for Hovedforslag 2. I Tabel 7-3 er det for Hovedforslag 1 skønnede udledningsbidrag i år 2023 angivet, mens Tabel 7-4 forventede udledningsbidrag fra 2024 og frem.

Tabel 7-3 Hovedforslag 1: Udledningsbidrag via punktkilde år 2023.

Kilder	Udledning [l/s]
Fortrængningsbidrag middel scenarie	41,2
Bidrag fra mellemoplag	42,8
Nettonedbør	18,3
Samlet udledning	102,3

Tabel 7-4 Hovedforslag 1: Udledningsbidrag via punktkilde år 2024 og frem.

Kilder	Minimum scenarie	Middel scenarie	Maksimum scenarie
Fortrængningsbidrag [l/s]	27,0	41,2	50,7
Nettonedbør [l/s]	18,3	18,3	18,3
Samlet udledning [l/s]	45,3	59,5	69,0

For det endelige Hovedforslag 2 er skønnede udledningsbidrag i år 2023 angivet i Tabel 7-5, mens Tabel 7-6 angiver forventede udledningsbidrag fra 2024 og frem.

Tabel 7-5 Hovedforslag 2: Udledningsbidrag via punktkilde år 2023.

Kilder	Udledning [l/s]
Fortrængningsbidrag middel scenarie	41,2
Bidrag fra mellemoplag	42,8
Nettonedbør	17,0
Samlet udledning	101,0

Tabel 7-6 Hovedforslag 2: Udledningsbidrag via punktkilde år 2024 og frem.

Kilder	Minimum scenarie	Middel scenarie	Maksimum scenarie
Fortrængningsbidrag [l/s]	27,0	41,2	50,7
Nettonedbør [l/s]	17,0	17,0	17,0
Samlet udledning [l/s]	44,0	58,2	67,7

I de ovenfor beregnede er det implicit antaget at alt opfyld placeres under vandlinjen. Dette kan være en god antagelse, når der laves en enkeltårsbetragtning, men ikke når

der ses på en gennemsnitsbetragtning for hele opfyldningsperioden. Af Tabel 7-2 fremgår det, at opfyldsvolumenet for Hovedforslag 2 udgør 40,9 Mm³, idet der opfyldes til kote +4 m DVR90, men at kun 31,2 Mm³ er placeret under vandlinjen. Til beregning af den akkumulerede tilførsel af miljøfremmede stoffer, skal der derfor tages udgangspunkt i et gennemsnitsår og korrigeres for at ikke alt opfyldt fortrænger vand. Herved finder man de i Tabel 7-7 angivne udledningsrater, der skal anvendes til at beregne den akkumulerede stofbelastning, som følge af udledning af fortrængningsvand.

Tabel 7-7 Hovedforslag 2: Udledningsbidrag til beregning af akkumulerede bidrag.

Periode	Fortrængningsbidrag [l/s]	Nettonedbør [l/s]	Total [l/s]
2023	64,1	17,0	81,1
2024-2053	31,4	17,0	48,2

7.1.1 Feltdata og udledningsdata

På basis af data, som er stillet til rådighed af KMC har COWI gennemgået samtlige målinger for vandkemi i udledningen fra Nordhavnsdeponiet helt frem til foråret 2020. Disse data er gengivet Tabel 7-8 og dækker perioden 29/6-2012 – 18/3-2020. Data for vandkemi er baseret på filtrerede prøver og indeholder derfor kun den vandopløste koncentration. I beregningen af middelværdi er der anvendt en **øvre** detektionsgrænse for de prøver, hvor der ikke har kunnet måles en koncentration af det pågældende stof. Nogle prøveanalyser er udført med en lavere detektionsgrænse, hvorfor der for en række stoffer er angivet en minimumværdi, som er lavere end den i tabellen angivne detektionsgrænse.

Yderligere skal det bemærkes, at Nordhavnsdeponiet er opdelt i et deponi for ren jord og et deponi for forurenede jord, i modsætning til Lynetteholm, hvor nyttiggørelsesområdet ikke vil adskille modtagelsen af rent og forurenede jord. Dertil kommer at Lynetteholm arealmæssigt er væsentlig større end Nordhavnsopfyldningen, hvorfor der må forventes en væsentlig større fortynding før udledning til recipienten og særligt i de første mange år.

Lynetteholm opføres uden tæt spuns men med sanddæmninger. Sanddæmningerne vil have en bredde og permeabilitet som kun tillader en afdæmpet vekselvirkning mellem nyttiggørelsesområdet og recipient i takt med at vandstanden i Øresund er højere eller lavere end i deponiet. Vekselvirkningen vil svækkes i takt med, at der opfyldes og særligt, hvis der opfyldes således at dæmningskonstruktionen løbende gøres bredere.

Vekselvirkningen gennem perimeteren vil generere en vandopløst stoftransport til recipienten, ifald der er en højere stoffkoncentration i nyttiggørelsesområdet. Omvendt vil vekselvirkningen kunne virke dæmpende på de i nyttiggørelsesområdet forekommende stoffkoncentrationer. Der vil ikke være nogen nævneværdig partikelbundet stoftransport igennem dæmningerne. I de foretagne beregninger af fortrængningsvolumen er der meget konservativt antaget, at porevolumenet af opfyldsmaterialet er vandmættet. Det vil det næppe være i praksis. I de benyttede fortrængningsvolumener er der derfor reelt indeholdt et indsugningsbidrag, som sikrer en nettoindsivning fra recipienten til nyttiggørelses-området. Et bidrag som i praksis opnås ved at holde middelvandstanden i nyttiggørelses-området lidt under middelvandstanden i recipienten.

Lynettens sedimentdeponi bliver indbygget i Lynetteholm og der vil derfor være et udsivningsbidrag fra dette område ind i nyttiggørelsesområdet. Det skal bemærkes at opfyld med gytje fra bundudskiftningen vil have en tætnende virkning på Lynettens sedimentdeponi og således, at vekselvirkningen/udsivningen mellem Øresund og

deponiet svækkes efterfølgende. Forudsætningen herfor er blot, at der opfyldes langs med de vandomkransede perimetre, hvorved dæmningen gøres bredere og mindre permeabel. Effekten af en udsivning fra Lynettens sedimentdeponi, vil være af mindre betydning end de gunstige effekter som opnås ved at blande ren og forurennet jord, samt effekten af reservoirets store størrelse.

I forbindelse med etableringen af Lynetteholm foretages der en bundudskiftning for at sikre tilstrækkelig geoteknisk stabilitet af den beskyttende perimeter. Da vandskiftet er stort i området, vil gravespildet ikke føre til nogen påvirkning af vandopløste koncentrationer, kort tid efter at gravearbejdet er afsluttet. Benyttes der en afskærmet afgravning af de indre områder langs den østlige perimeter, som beskrevet i afsnit 5.1.10, vil der kunne være en periode, hvor vandopløste stofkoncentrationer og suspenderet stof vil kunne være forøget i reservoiret. Her skal den eventuelle akkumulerede merudledning, som følge af en forøget stofkoncentration (vandopløst og partikulært) inde i nyttiggørelsesområdet holdes op mod det bidrag der frigives og spredes uden for området ved et ikke-afskærmet gravespild. Da der er en tidsmæssig forskydning mellem gravearbejde og begyndende opfyld, vil partikulært materiale fra gravespild være bundfældet og dermed ikke bidrage til en øget udledning i nævneværdig grad. Der afgives stofkoncentration til vandfasen i forbindelse med gravearbejdet (cirka 25%). Størstedelen vil dog efterfølgende gen-binde sig til det finkornede sediment og bundfældes indenfor perimeteren, da der ikke er nævneværdig strøm. Gravespildet indenfor perimeteren vurderes derfor ikke at have nævneværdig betydning på udledningskoncentrationerne.

Der vil aflejres forurennet sediment indenfor nyttiggørelsesområdets perimeter, men som følge af reservoirets store størrelse, vil det kun være en lille del, som vil kunne hvirvles op i forbindelse med opfyld. Yderligere kan man bruge teknikker som mindsker risikoen for ophvirvling. For eksempel at materialet skubbes ud fremfor at dumpes direkte. Det store vandvolumen indeholdt i reservoiret indebærer, at der vil være en høj opholdstid for vandmassen og at der dermed vil være god tid til at ophvirvlet sediment kan aflejres. Reservoiret størrelse i sig selv er derfor at betragte som en forebyggende foranstaltning i de første mange år, idet vandindtag for udledning og opfyldsområde kan placeres langt fra hinanden for herved at reducere på mængden af udledt suspenderet stof. I praksis betyder dette at vandindtagslokationen bør flyttes adaptivt.

Placerer man vandindtaget til udpumpning af fortrængningsvand langt væk fra opfyldsområdet, vil mængden af udledt suspenderet stof kunne reduceres. Desuden kan der etableres foranstaltninger med siltgardin i området omkring vandindtag, som vil kunne fjerne partikulært materiale før udpumpning, når/hvis sedimentkoncentrationen og de hertil bundne stofkoncentrationer i udledningen bidrager væsentligt til de målte total-koncentrationer.

Tabel 7-8 Tabel over øvre detektionsgrænse, minimum, gennemsnits- og maksimum værdier fra udløbskontrollen af stofkoncentration i perioden 29/6-2012 – 18/3-2020.

Stof	Detektions-grænse	Minimum-værdi	Gennemsnits værdi	Maksimum-værdi
ANALYSEPARAMETRE	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Total kulbrinter	3	2	4,06	29
C6-C10	0,5	0,5	0,711	6
C10-C15	0,5	0,5	1,14	15
C15-C20	0,5	0,5	1,0	4,8
C20-C35	1	1	1,17	2,7
Benzen	0,01	0,01	0,0118	0,03
Toluen	0,02	0,01	0,0247	0,078

Stof	Detektions- grænse	Minimum- værdi	Gennemsnits værdi	Maksimum- værdi
Ethylbenzen	0,01	0,01	0,0121	0,04
(m+p)-xylen	0,01	0,01	0,0306	0,30
o-xylen	0,02	0,02	0,02	0,02
Sum BTEX	0,06	0,01	0,0687	0,34
Trichlormethan / Chloroform	0,01	0,01	0,0111	0,02
1,1,1-Trichlorethan	0,01	0,01	0,012	0,04
Tetrachlormethan	0,01	0,01	0,011	0,02
Trichlorethylen	0,01	0,01	0,0158	0,097
Tetrachlorethylen	0,01	0,01	0,0428	0,82
Naphtalen	0,01	0,01	0,0383	0,77
Acenaphthylen	0,01	0,01	0,0129	0,058
Acenaphthen	0,01	0,01	0,0118	0,042
Fluoren	0,01	0,01	0,0128	0,094
Phenanthren	0,01	0,01	0,0225	0,35
Anthracen	0,01	0,01	0,0111	0,044
Fluoranthren	0,01	0,01	0,0213	0,17
Pyren	0,01	0,01	0,0185	0,12
Benz(a)anthracen/Chrysen	0,02	0,01	0,0184	0,02
Benz(bjk)fluoranthren	0,02	0,01	0,0191	0,028
Benz(a)pyren	0,01	0,01	0,0104	0,02
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0,01	0,01	0,0111	0,045
Dibenz(a,h)anthracen	0,01	0,01	0,01	0,01
Benzo(ghi)perylene	0,01	0,01	0,0101	0,014
ΣPAH 16	0,1	0,022	0,149	1,7
Arsen	0,3	1,4	4,16	5,8
Barium	1	14	329	560
Bly	0,2	0,08	1,31	8,8
Kobber	1	0,81	6,4	37
Chrom VI	0,3	0,11	1,52	4,8
Nikkel	1	0,96	4,75	19
Zink	5	0,1	10,7	39
Kviksølv	0,05/0,001 ⁵	0,013	0,0566	0,26
Cadmium	0,03	0,003	0,21	1,9
Selen	1	1	1,53	4,8
Tin	0,1	0,004	0,249	1,0
Vanadium	0,05	0,05	3,68	9,9
Dimethylphenol:	0,05	0,05	0,137	0,93
2,3-Dimethylphenol	0,05	0,01	0,0475	0,05
2,4-Dimethylphenol	0,05	0,05	0,05	0,05

⁵ Fra 2020 er der anvendt en analysemetode med en detektionsgrænse på 0,001 ug/l

Stof	Detektions-grænse	Minimum-værdi	Gennemsnits værdi	Maksimum-værdi
2,5-Dimethylphenol	0,05	0,05	0,05	0,05
2,6-Dimethylphenol	0,05	0,05	0,050	0,05
3,5-Dimethylphenol	0,05	0,21	0,25	0,25
3,4-Dimethylphenol	0,05	0,05	0,05	0,05
4-Ethyl-/2,3-Dimethyl-Phenol	0,1	0,05	0,092	0,1
Suspenderet stof (mg/l)	2	0,36	15,3	56
Ammonium-N	5	5	231	770
Nitrat-N	0,1	0,1	146	1000
Total-N	0,5	0,5	891	2700
Cyanid Total	1	0,785	5,3	5,3

Alle anvendte og analyserede målinger er fra udledningen af overskudsvand fra den del af Nordhavnsdeponiet med forurenede jord. Da målingerne er baseret på filtrerede prøver (vandopløste stoffkoncentrationer), er der behov for også at estimere total koncentrationer til vurdering af årlige udledningsmængder og akkumulerede effekter. På baggrund af tal fra KMC Nordhavnsdeponiet, Ref. /43/, er der fundet estimater på forholdstal mellem opløst og totalindholdet af metaller (total/opløst).

Tabel 7-9 De beregnede forholdstal mellem total og opløst stoffkoncentration, Ref. /43/.

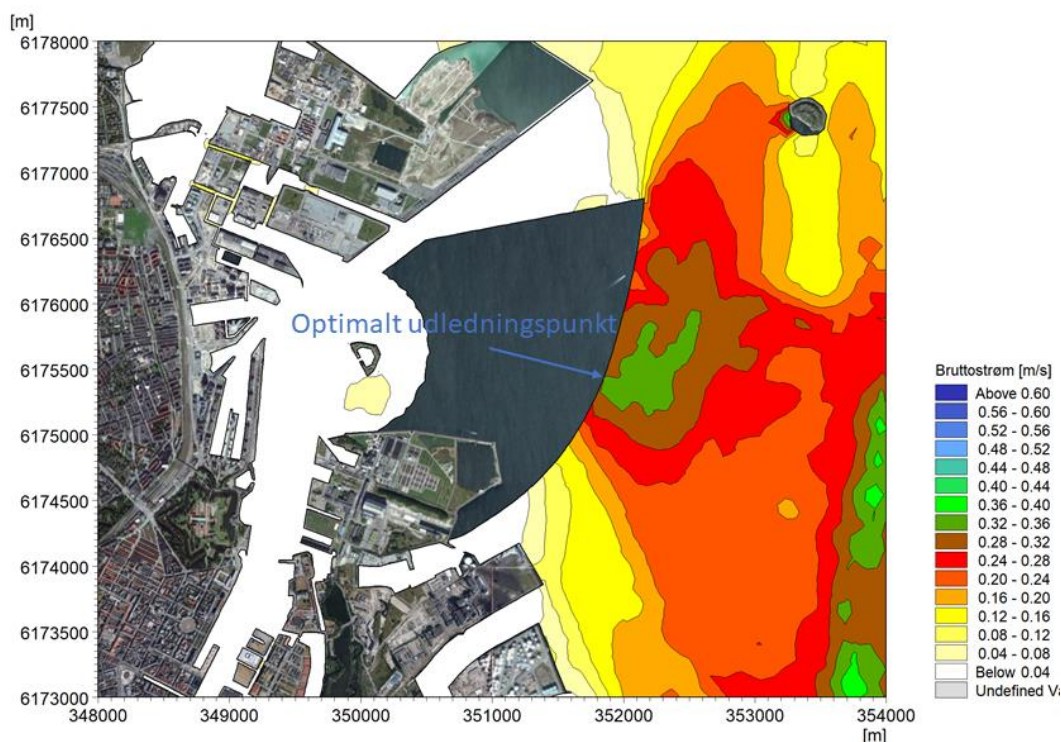
Stof	Forholdstal (total/opløst)
Arsen	1,03
Barium	1,08
Bly	2,47
Cadmium	Ikke detekteret
Chrom (total)	1,62
Kobber	1,07
Kviksølv	Ikke detekteret
Nikkel	1,22
Selen	1,38 (middelværdi)
Tin	1,38 (middelværdi)
Vanadium	1,19

De i Tabel 7-9 angivne forholdstal anvendes til at omregne den i Tabel 7-8 angivne gennemsnitskoncentration for metaller i henhold til EU-guidelines, således at der for det generelle miljøkriterie vurderes på en total koncentration. For miljøkriteriet relateret til maksimumkoncentration anvendes der ud fra et forsigtighedsprincip en faktor 2 på de i KMC-Nordhavnsdeponiet fundne maksimumkoncentrationer for tungmetaller.

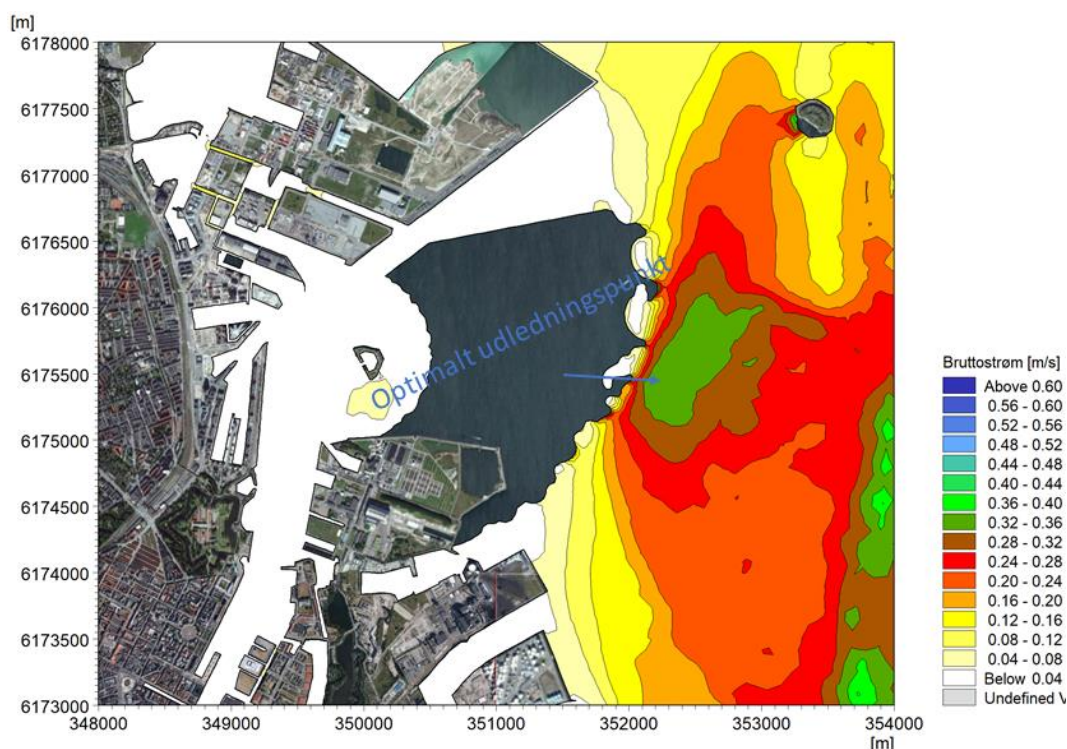
7.1.2 Screening for optimalt udledningspunkt (punktudledning)

Ofte identificerer man det optimale udledningspunkt ved at teste for en række udledningspunkter langs med opfyldningens perimeter. Det er dog muligt i dette tilfælde at identificere det mest optimale udledningspunkt på simplere vis, ved blot at beregne bruttostrømmen langs opfyldningens perimeter. Med bruttostrømmen menes her årsmidlet værdi af strømhastigheden regnet uden retning langs perimeter. Analyser af bruttostrømmen er lavet for begge hovedlayouts.

Figur 7-3 viser den for år 2018 beregnede årsmidlet bruttostrøm med en Hovedforslag 1 udformning. Det ses, at bruttostrømmen er kraftigst helt tæt på perimeteren øst for opfyldningen. Udledningen vil derfor kunne foretages helt tæt ved konstruktion med optimal placering som indikeret på figuren.



Figur 7-3 Beregnet bruttostrøm for Hovedforslag 1 og identifikation af optimalt udledningspunkt.



Figur 7-4 Beregnet bruttostrøm for Hovedforslag 2 og identifikation af optimalt udledningspunkt.

Der er lavet en tilsvarende beregning for Hovedforslag 2, som indeholder et kystlandskab. Kystlandskabet indeholder en række bugter, hvor der er strøm læ og nedsat vandskifte. Det er derfor vanskeligere at finde et optimalt udledningspunkt ved selve perimeteren. Figur 7-4 viser den for år 2018 beregnede årsmidlet bruttostrøm med en Hovedforslag 2 udformning. Det ses, at bruttostrømmen ikke er kraftigst helt tæt på perimeteren øst for opfyldningen. Det vil derfor være nødvendigt at føre udledningen via en rørledning ud i åbent vand og frigive udledningen via diffusere. Den ud fra et opblandingssynspunkt optimale placering er som indikeret på figuren. En anden fordel ved at rykke udledningspunktet fri af perimeteren, er at udledningen vil kunne etableres som en del af fase 1 og benyttes sideløbende med at fase 2 perimeteren etableres, såfremt det placeres udenfor arbejdsområdet i fase 2.

7.1.3 Nyttiggørelsesområdets opbygning

Nyttiggørelsesområdet opbygges ved hjælp af sand og raldæmnninger og uden brug af tæt spuns. Der vil derfor kunne finde en mindre ind- og udsivning sted i primært den øvre del, hvor dæmningerne er smallest og mest permeable og afhængig af, hvor stor vandspejlsforskel der er mellem reservoir og recipient. Under den daglige drift vil der næppe med den beskedne trykforskel og det begrænsede tværsnit for ud-/indsivning ske en væsentlig udveksling af vand gennem det i perimeterkonstruktionen indbyggede sand under og omkring perimeteren. Ved målrettet opfyldning med opfyldningsjorden umiddelbart ved perimeteren vil denne udveksling stort set blive forhindret som følge af den lavere permeabilitet i opfyldningsmaterialerne. Ligeledes vurderes det, at de lavpermeable gytje og moræne i overkalken i kombination den gennemsnitlig indadrettede gradient vil forhindre en væsentlig ud-/indsivning gennem bunden. En vurdering/validering af nyttiggørelsesområdets initialtæthed kan etableres ved at måle sammenhørende vandstande i reservoir og recipient i en kortere periode efter inddæmning af den fulde perimeter og før påbegyndelse af opfyld. Til en sådan analyse bør der placeres fire samtidigt registrerende vandstandsmålere inde i

nyttiggørelsesområdet, fordelt således at effekter af vindstuvning og vandspejls-svingninger inde i bassinet kan udjævnes. Desuden skal der måles nedbør og vandstand i Øresund, således at man kan etablere et vandbalancebudget og relatere vandudveksling gennem perimeteren til en vandspejlsforskel mellem reservoir og recipient.

Bidrag fra nettonedbør og fortrængningsvand fra nyttiggørelsesområdet udledes til recipienten via en rørledning og diffusere. Det skal derfor i forbindelse med en udledningstilladelse eftervises, at den opnåede fortynding i forbindelse med en punktudledning opfylder miljøkravene for de enkelte stoffer inden for en given blandingszone.

Ydermere påvises det, at fortyndingsforholdene langs med nyttiggørelsesområdets perimeter vil kunne opfylde miljøkravene uden brug af en punktudledning. Disse beregninger er af mere kvalitativ karakter og har primært til formål at eftervisse, at der ikke er et behov for at etablere en tæt spuns langs den ydre perimeter, når overskudsvand udledes via en diffuser 150-300 meter fra perimeteren.

7.1.4 Fortyndingsberegninger

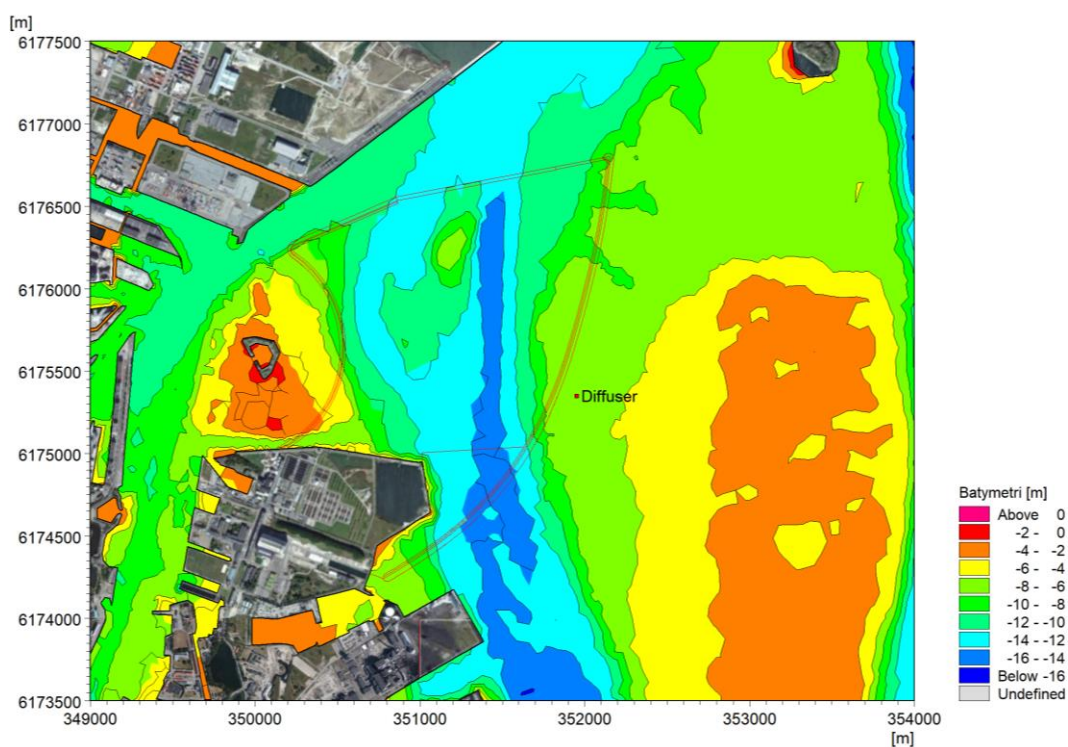
For at simulere fortyndingen af fortrængningsvand fra nyttiggørelsesområdet er der etableret en model, hvor beregningsnettet er forfinet helt lokalt omkring, det identificerede og valgte udledningspunkt. Da det ikke er muligt at sige noget præcist om hvordan udledningens vandets densitet vil være i forhold til det vand det udledes i, er det valgt at fordele udledningen jævnt over vanddybden. Vandet udledes i recipienten med en enhedskoncentration. Initialkoncentrationen i recipienten og på modelrandene er sat til nul.

Fortyndingsberegningen er foretaget for en sommermåned (juli 2018), hvor vandskiftet (og opblandingen) helt generelt vil være ringere end i vinterhalvåret. Fortyndingsforholdene i forbindelse med maksimumkravet er fundet ved at bruge en 95% fraktil for koncentrationen i det lag over dybden med den største forekommende koncentration, og som udtrykker den koncentration, som kun er overskredet i 5 % af tiden. Fortyndingsfaktoren er fundet efterfølgende som den reciprokke af den relative fortynding. Ovenfor beskrevne fortyndingsforhold bruges i vurderingen af miljøkravene til maksimumkoncentrationen af de forurenende stoffer.

Til vurderingen af det generelle miljøkvalitetskrav beregnes fortyndingsforholdene med udgangspunkt i middelsoncentrationen i det lag over dybden med den største forekommende koncentration. Den her anvendte metode vil være konservativ i den forstand, at der analyseres på en sommerperiode, hvor opblandingsforholdene i middel vil være mindre dynamiske end ved en analyse baseret på et fuldt kalenderår.

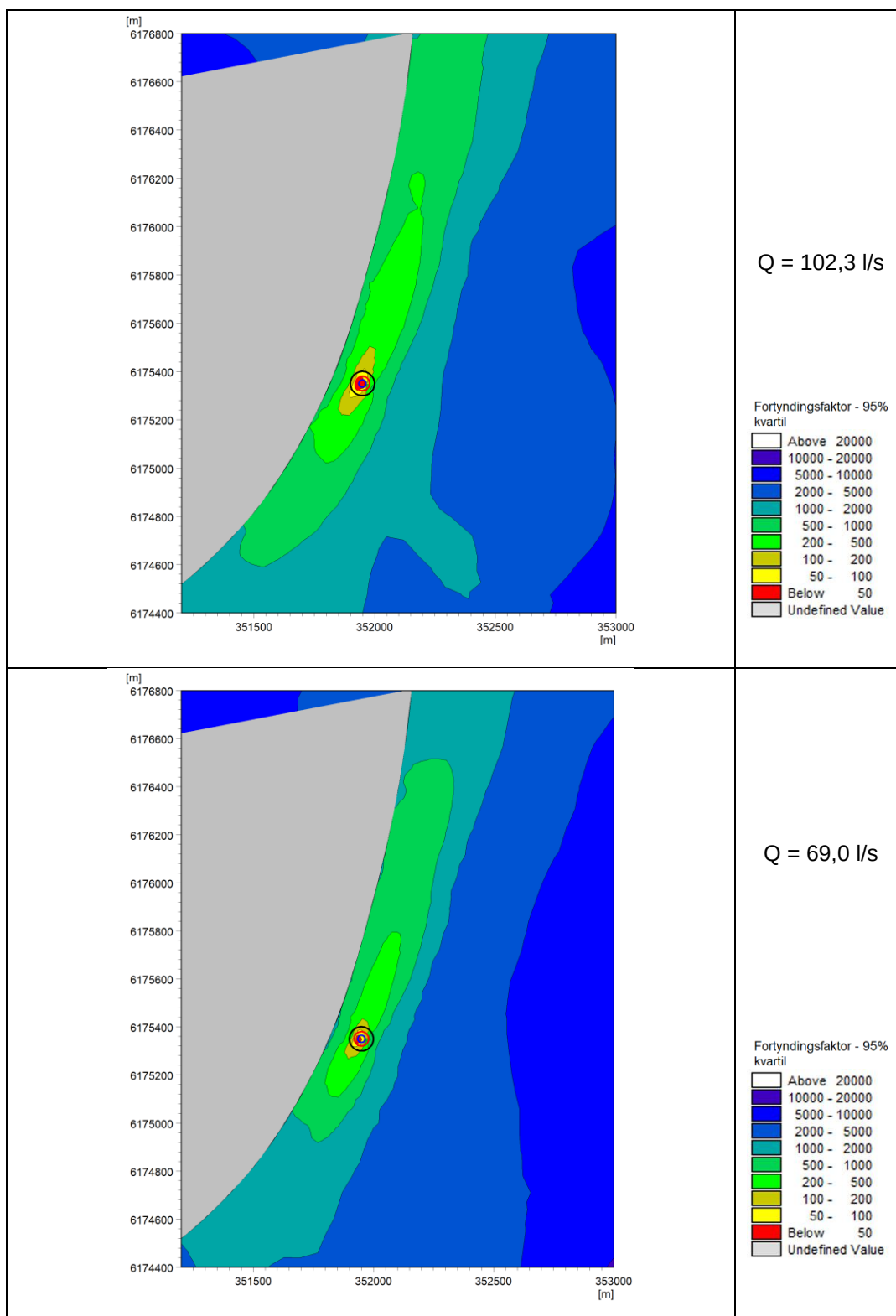
7.1.4.1 Fortynding Hovedforslag 1

For Hovedforslag 1 udledes det fortrængte vand via en diffuser omkring 150 m øst for perimeteren (Easting 351950 m, Northing 6175350 m UTM-33). Udledningspunktet er valgt på grundlag af den i afsnit 7.1.2 foretagne screening. Der er foretaget to fortyndingsberegninger. I den første beregning udledes der et flow baseret på den skønnede fortrængningsmængde i år 2023, mens der i den anden beregning udledes et skønnet maksimalflow gældende for perioden 2024 og fremad. I beregning 1 udledes der et konstant flow af fortrængningsvand på 102,3 l/s i hele modelperioden (juli 2018) via diffuseren med en enhedskoncentration (koncentration på 1). I beregning 2 er flowet 69,0 l/s. Det udledte fortrængningsvand opblandes med vandet i Øresund og fortyndes derfor i retning væk fra diffuseren.



Figur 7-5 Diffuser udledningspunkt og Hovedforslag 1 perimeteromrids.

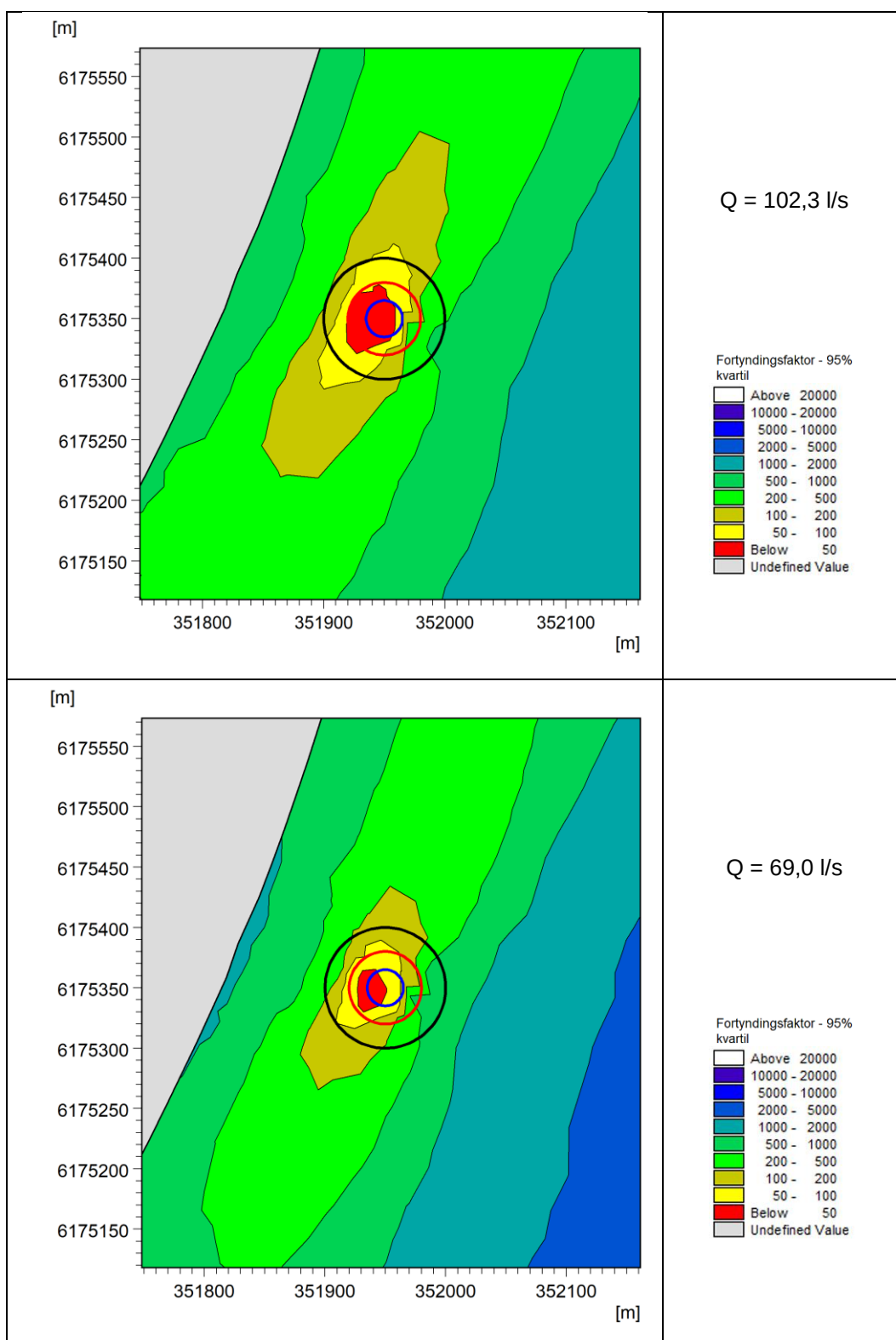
For at analysere resultaterne (koncentrationen af det udledte stof over tid) i forhold til maksimum-miljøkravet er 95% fraktilen for koncentrationen udtaget i det lag med højest koncentration over dybden til hvert enkelt tidspunkt og sted. Den herved fundne koncentration kan omsættes til en fortyndingsfaktor, idet den med anvendelse af en enhedskoncentration blot er den reciprokke værdi.



Figur 7-6 Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.

Figur 7-6 viser for hver af de to udledningssituationer iso-linjer for fortyndingsfaktoren i et større område omkring diffuseren øst for Lynetteholm. Det ses af figuren, at udledningsfanen strømmer langs med opfyldningens perimeter, og kun i meget begrænset omfang spredt sig længere ud i Øresund. Ligeledes ses det, at

fortyndingsfanen har størst udstrækning i nordgående retning, som følge af, at der oftere optræder forhold med nordgående end sydgående strømning.



Figur 7-7 Nærbillede visende fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktile af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.

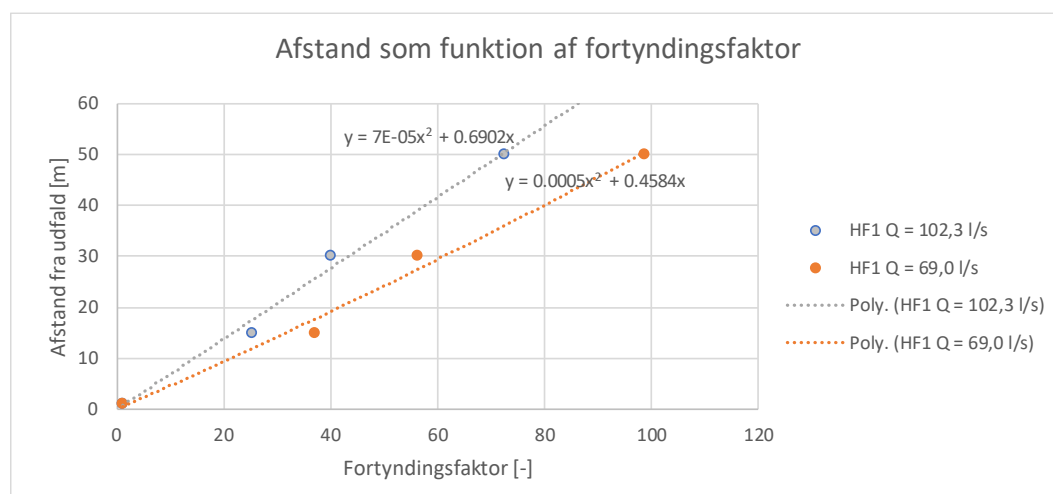
Figur 7-7 viser for hver af de to udledningssituationer et nærbillede af iso-linjerne over fortyndingsfaktoren. Herpå er yderligere afbildet 15 m (blå cirkel), 30 m (rød cirkel) og 50 m (sort cirkel) radier, for at give en størrelsesreference af opblandingsforholdene ved udledningen.

Tabel 7-10 viser den mindste fortyndingsfaktor forekommende i de 3 afstande afbildet med cirkler ovenfor. Disse værdier er brugt til at danne et andengradspolynomium, til bestemmelse af afstanden, hvormed en given mindste fortyndingsfaktor opnås. Af tabellen ses, at der opnås en fortyndingsfaktor på omkring 75 og 100 gange i en afstand på 50 meter fra udledningspunktet, når der tages udgangspunkt i miljøkriteriet for maksimum puls (102,3 l/s og 69,0 l/s).

Tabel 7-10 Mindste fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 1 for maksimumkriterie.

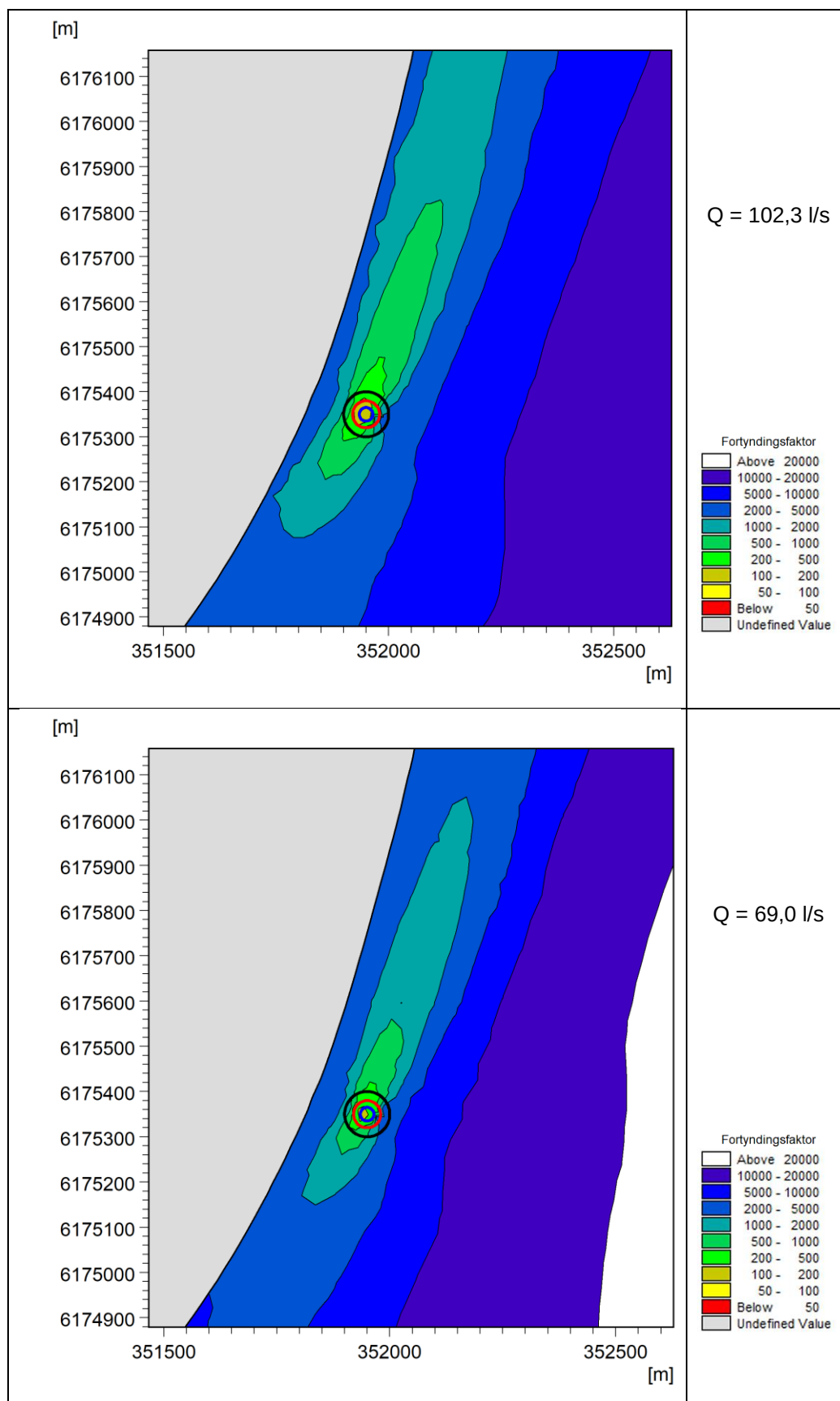
Afstand fra udledning	15 m	30 m	50 m
Fortyndingsfaktor (Q = 102,3 l/s)	25,3	40,0	72,5
Fortyndingsfaktor (Q = 69,0 l/s)	37,0	56,2	98,7

Figur 7-8 viser de tilnærmede funktioner for afstanden beregnet ud fra fortyndingsfaktorerne i Tabel 7-10, dvs. indenfor de første 50 m af udledningen og for hver af de to udledningsrater.

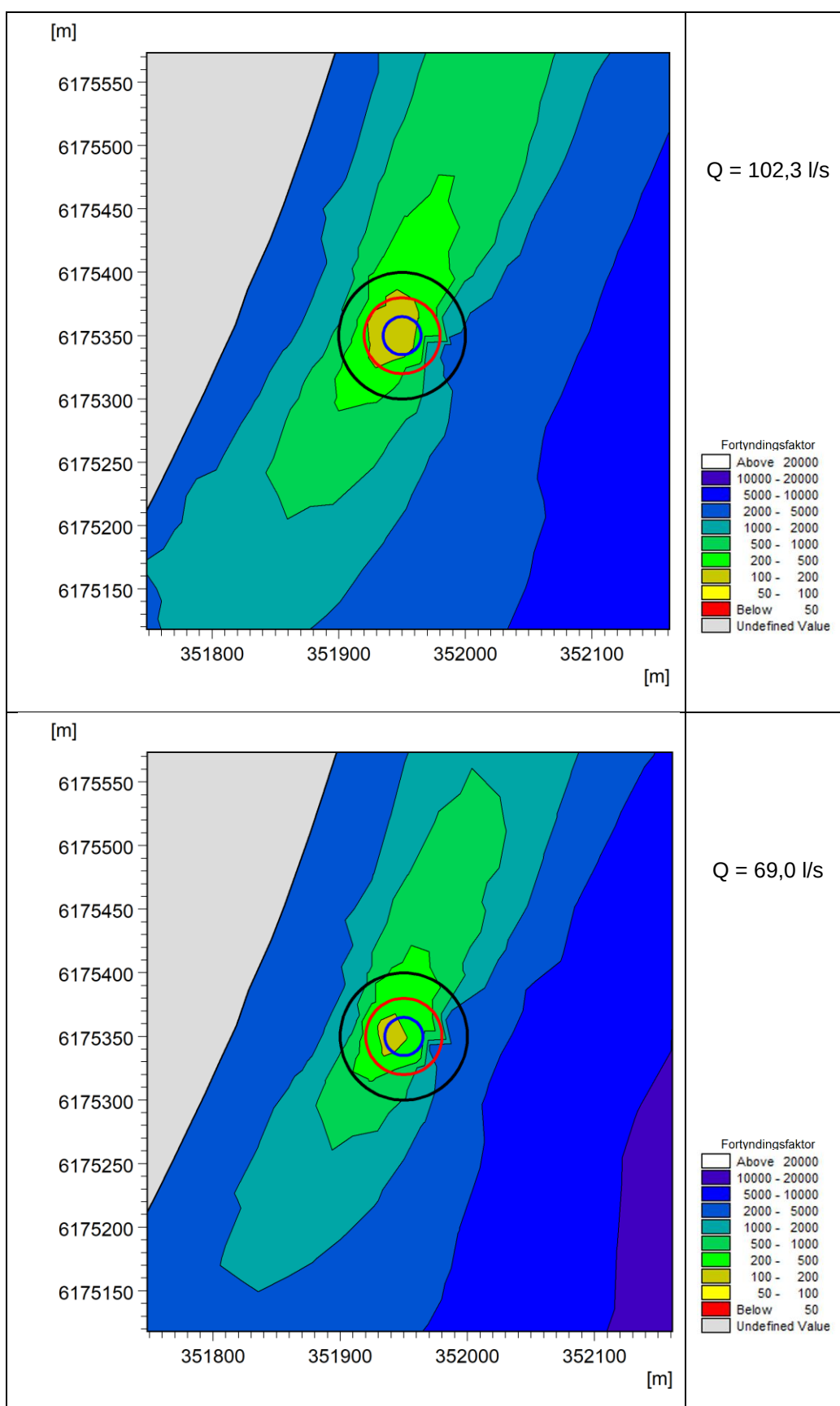


Figur 7-8 Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med maksimumkriterie.

For det generelle miljøkriterie er der lavet en analog analyse, men her tages der udgangspunkt i den højeste middelkoncentration over dybden igennem hele modelperioden (juli 2018). Figur 7-9 viser iso-konturlinjer for fortyndingsfaktoren i et større område omkring udledningspunktet, mens Figur 7-10 viser et nærbillede helt lokalt omkring udledningen for hver af de to udledningssituationer. Det ses, at fortyndingsfaktorerne er noget højere end for 95 % fraktile, da de er baseret på en middelbetragtning.



Figur 7-9 Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middelmiddelt koncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.



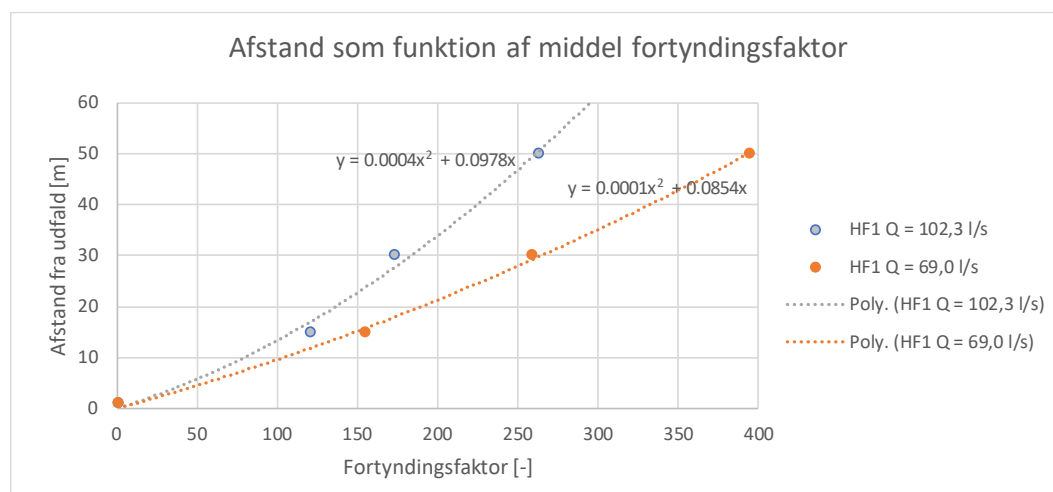
Figur 7-10 Nærbillede visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middelmiddelt koncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.

Tabel 7-11 viser den mindste fortyndingsfaktor forekommende i de 3 afstande afbildet med cirkler for hver af de to udledningssituationer. Disse værdier er brugt til at lave et andengradspolynomium, til at bestemme afstanden, hvormed en given fortyndingsfaktor opnås. Af tabellen ses, at der opnås en fortyndingsfaktor på omkring 260 og 400 gange i en afstand på 50 m fra udledningspunktet, når der tages udgangspunkt i det generelle miljøkriterie (102,3 l/s og 69,0 l/s).

Tabel 7-11 Mindste fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 1 for det generelle miljøkriterie.

Afstand fra udledning	15 m	30 m	50 m
Fortyndingsfaktor (Q = 102,3 l/s)	121	173	263
Fortyndingsfaktor (Q = 69,0 l/s)	155	259	395

Figur 7-11 viser de tilnærmede funktioner for afstanden beregnet ud fra fortyndingsfaktorerne i Tabel 7-11, dvs. indenfor de første 50 m af udledningen for hver af de to udledningssituationer.



Figur 7-11 Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med det generelle miljøkriterie.

De fundne fortyndingsrelationer er anvendt til vurdering af behov for blandingszoner for opfyldelse af miljø til vandkvalitet.

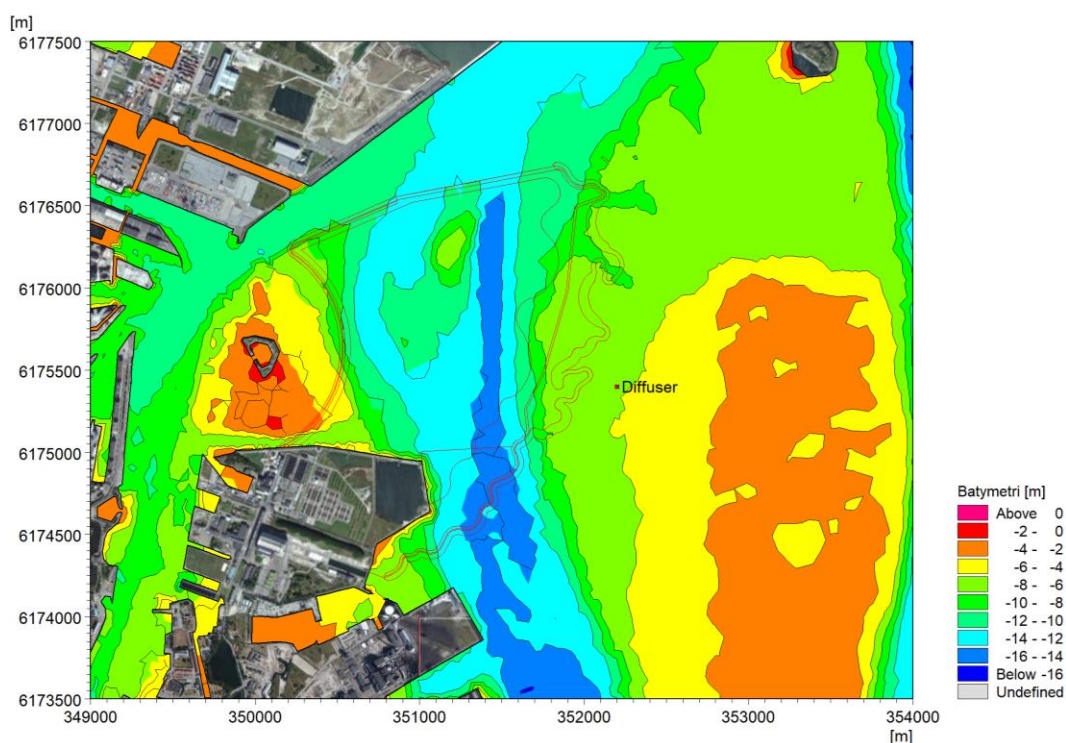
7.1.4.2 Fortynding hovedforslag 2

For Hovedforslag 2 udledes det fortrængte vand via en diffuser helt fri af perimeteren og et stykke øst for det kurvede kystlandskab (Easting 352000 m, Northing 6175400 m UTM-33), se Figur 7-12. Udledningspunktet er valgt på grundlag af den i afsnit 7.1.2 foretagne screening. Der er foretaget to fortyndingsberegninger. I den første beregning udledes der et flow baseret på den skønnede fortrængningsmængde i år 2023, mens der i den anden beregning udledes et skønnet maksimalflow gældende for perioden 2024 og frem. I beregning 1 udledes der et konstant flow af fortrængningsvand på 101,0 l/s i hele modelperioden (juli 2018) via diffuseren med en enhedskoncentration (koncentration på 1). I beregning 2 er flowet 67,7 l/s. Det udledte fortrængningsvand opblandes med vandet i Øresund og fortyndes derfor i retning væk fra diffuseren.

For at analysere resultaterne (koncentrationen af det udledte stof over tid) i forhold til maksimum-miljøkravet er 95% fraktilen for koncentrationen udtaget i det lag med højest koncentration over dybden til hvert enkelt tidspunkt og sted. Den herved fundne koncentration kan omsættes til en fortyndingsfaktor, idet den med anvendelse af en enhedskoncentration blot er den reciprokke værdi.

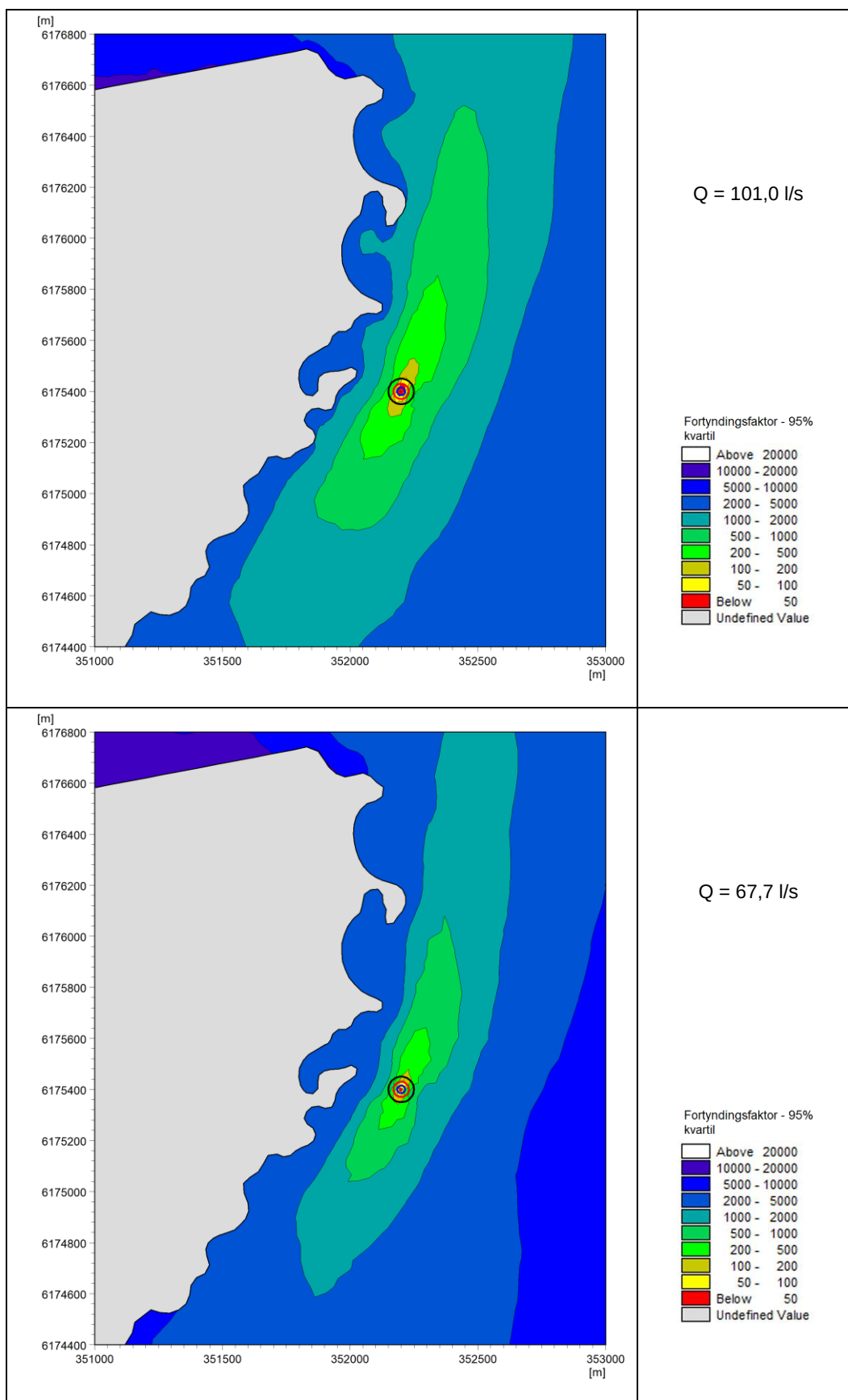
Figur 7-13 viser for hver af de to udledningssituationer iso-linjer for fortyndingsfaktoren i et større område omkring diffuseren øst for Lynetteholm. Det ses af figuren, at udledningsfanen strømmer langs med opfyldningens perimeter, og kun i meget begrænset omfang spredt sig længere ud i Øresund. Ligeledes ses det, at fortyndingsfanen har størst udstrækning i nordgående retning, som følge af, at der oftere optræder forhold med nordgående end sydgående strømning.

For at analysere resultaterne (koncentrationen af det udledte stof over tid) i forhold til maksimum-miljøkravet er 95% fraktilen for koncentrationen udtaget i det lag med højest koncentration over dybden til hvert enkelt tidspunkt og sted. Den herved fundne koncentration kan omsættes til en fortyndingsfaktor, idet den med anvendelse af en enhedskoncentration blot er den reciprokke værdi.

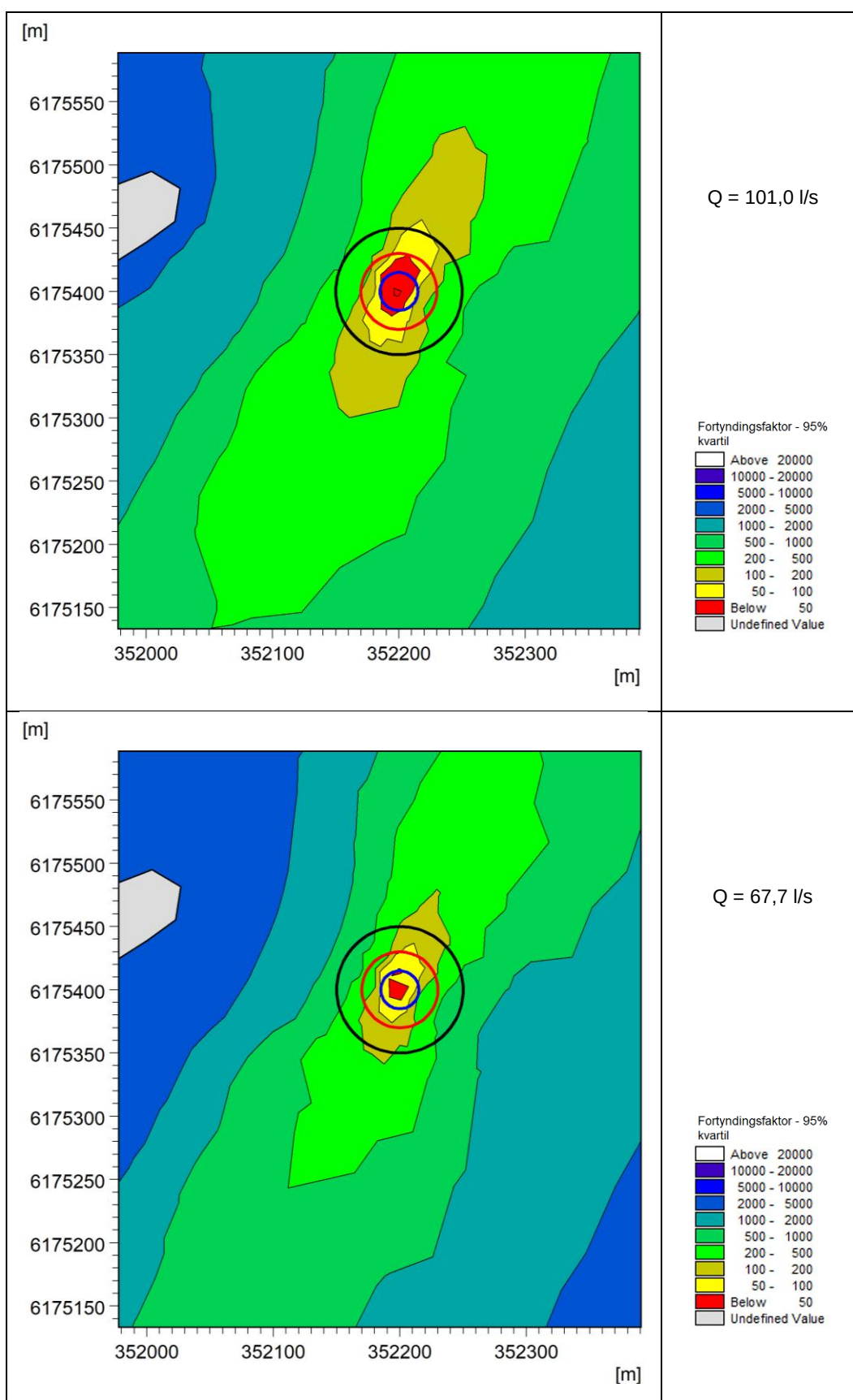


Figur 7-12 Diffuser udledningspunkt og Hovedforslag 2 perimeteromrids.

Figur 7-14 viser for hver af de to udledningssituationer et nærbillede af iso-linjerne over fortyndingsfaktoren. Herpå er yderligere afbildet 15 m (blå cirkel), 30 m (rød cirkel) og 50 m (sort cirkel) radier, for at give en størrelsesreference.



Figur 7-13 Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.



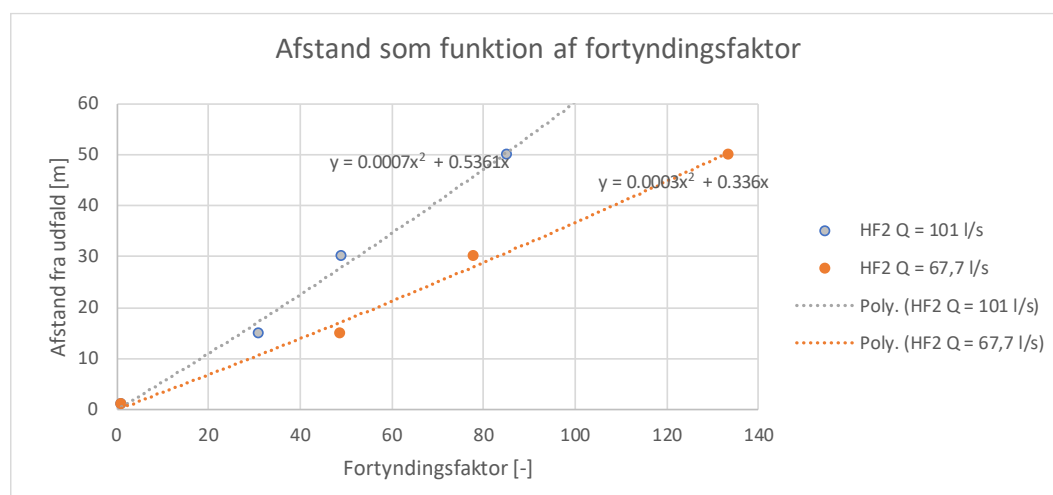
Figur 7-14 Nærbillede af iso-linjer baseret på en 95% fraktil af den udledte koncentration (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområdet. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.

Tabel 7-12 viser den mindste fortyndingsfaktor forekommende i de 3 afstande afbildet med cirkler. Disse værdier er brugt til at lave et andengradspolynomium, til at bestemme afstanden, hvormed en fortyndingsfaktor opnås. Af tabellen ses, at der opnås en fortyndingsfaktor på omkring 85 og 130 gange i en afstand på 50 meter fra udledningspunktet, når der tages udgangspunkt i miljøkriteriet for maksimum puls (101,0 l/s og 67,7 l/s). Den bedre opblanding i Hovedforslag 2 end i Hovedforslag 1 skyldes den lidt mindre udledningsrate og en strømforstærkning.

Tabel 7-12 Mindste fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 2 for maksimumkriterie.

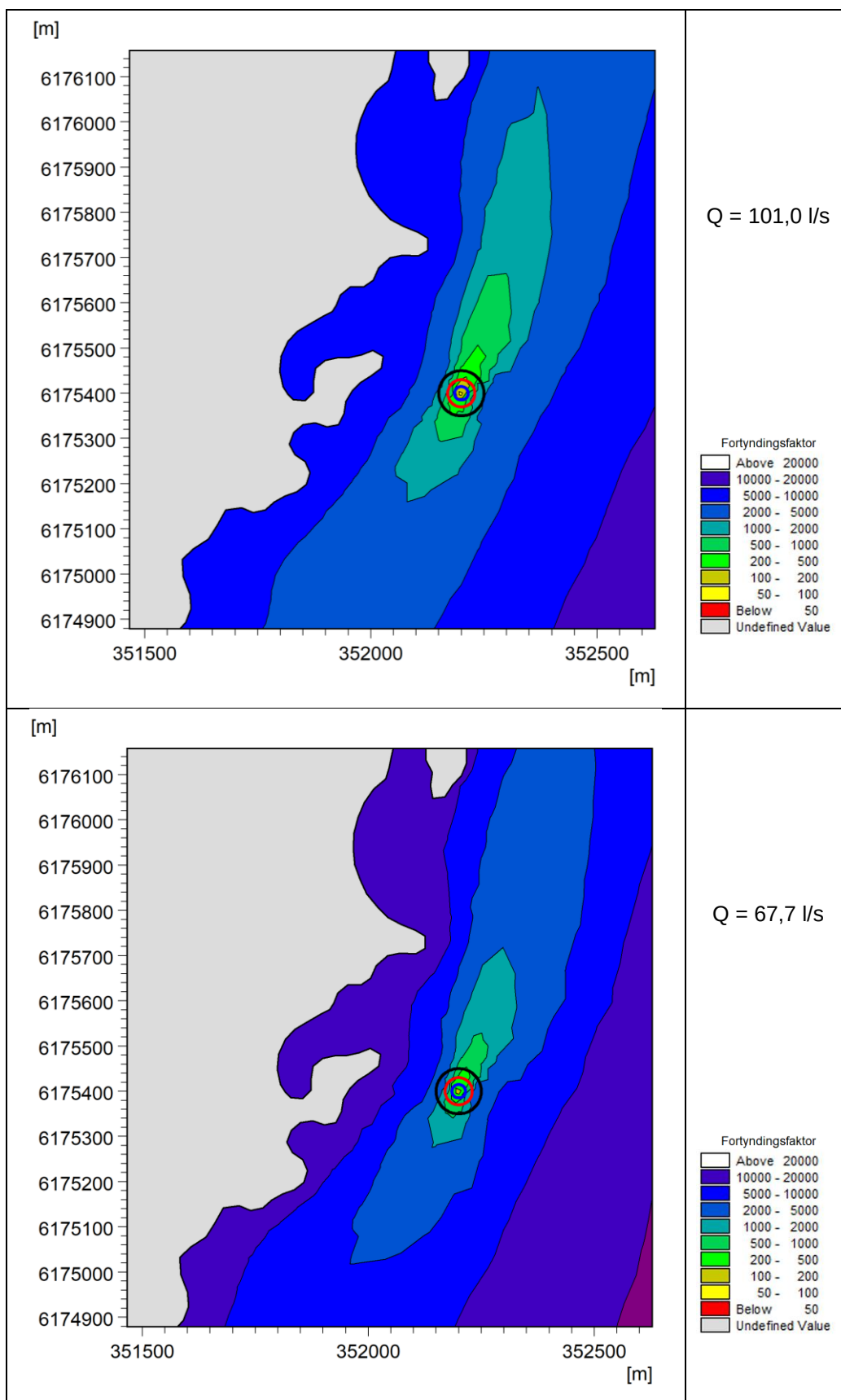
Afstand fra udledning	15 m	30 m	50 m
Fortyndingsfaktor (Q = 101,0 l/s)	31,0	49,0	85,0
Fortyndingsfaktor (Q = 67,7 l/s)	48,6	77,9	133,5

Figur 7-15 viser de tilnærmede funktioner for afstanden beregnet ud fra fortyndingsfaktorerne i Tabel 7-12, dvs. inden for de første 50 m af udledningen, for hver af de to udledningsrater.

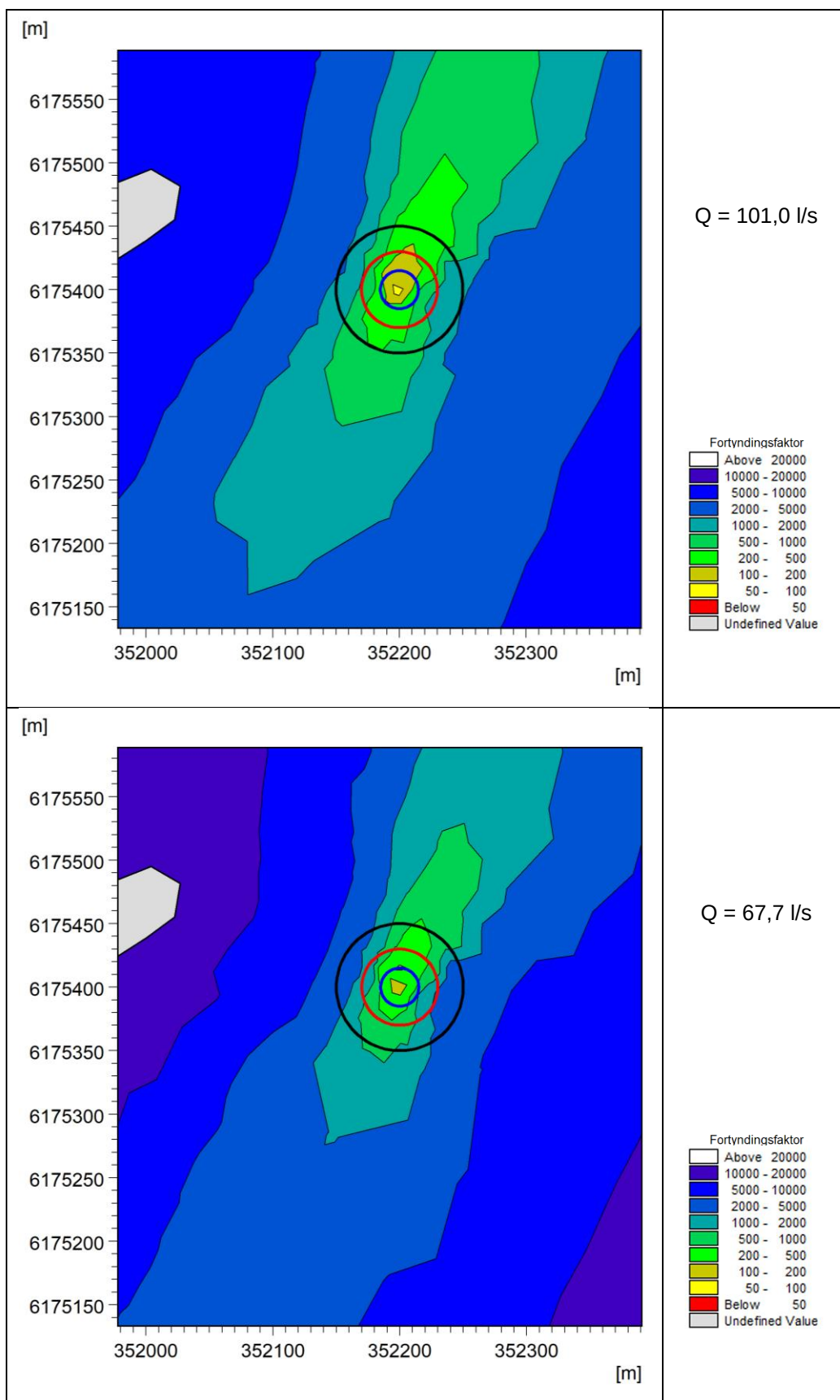


Figur 7-15 Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningspunkt. Anvendes i forbindelse med maksimumkriterie.

For det generelle miljøkriterie er der lavet en analog analyse, men her tages der udgangspunkt i den højeste middelkoncentration over dybden igennem hele modelperioden (juli 2018). Figur 7-16 viser for hver af de to udledningssituationer isokonturlinjer for fortyndingsfaktoren i et større område omkring udledningspunktet, mens Figur 7-17 viser et nærbillede helt lokalt omkring udledningen. Det ses, at fortyndingsfaktorerne er noget højere end for 95 % fraktilen, da de er baseret på en middelbetragtning.



Figur 7-16 Iso-linjer visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middelkoncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.



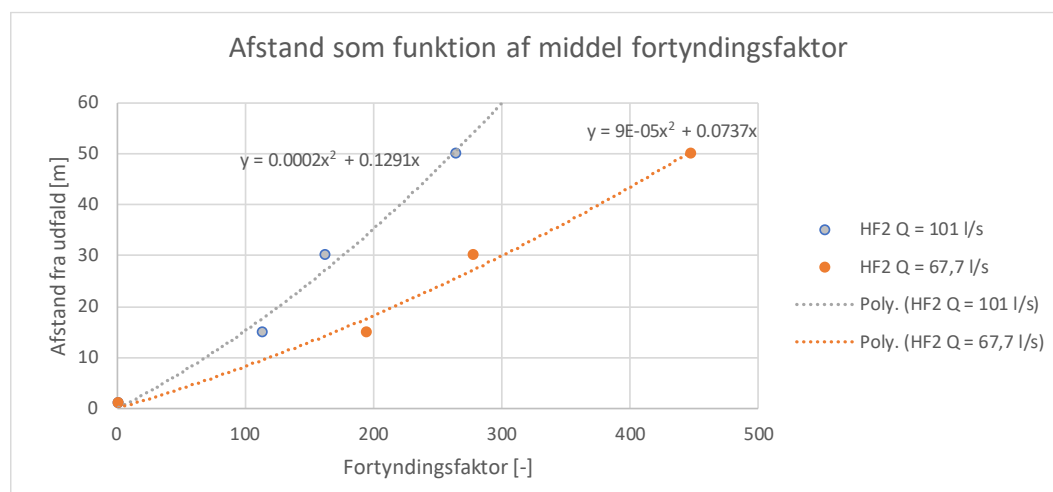
Figur 7-17 Nærbillede visende fortyndingsfaktorer baseret på den relative middelmiddelt koncentration af udledning (maksimum over dybden) ved udledning fra nyttiggørelsesområde. Cirkler markerer afstande 15m (blå), 30m (rød) og 50m (sort) fra udledningspunkt.

Tabel 7-13 viser den mindste fortyndingsfaktor forekommende i de 3 afstande afbildet med cirkler for hver af de to udledningssituationer. Disse værdier er brugt til at lave et andengradspolynomium, til at bestemme afstanden, hvormed en given fortyndingsfaktor opnås. Af tabellen ses, at der opnås en fortyndingsfaktor på omkring 260 og 450 gange i en afstand på 50 meter fra udledningsspunktet, når der tages udgangspunkt i det generelle miljøkriterie (101,0 l/s og 67,7 l/s).

Tabel 7-13 Fortyndingsfaktorer i afstand fra udledning ved Hovedforslag 2 for det generelle miljøkriterie.

Afstand fra Udledning	15 m	30 m	50 m
Fortyndingsfaktor (Q = 101,0 l/s)	114,0	162,0	264,0
Fortyndingsfaktor (Q = 67,7 l/s)	194,5	278,0	448,0

Figur 7-18 viser de tilnærmede funktioner for afstanden beregnet ud fra fortyndingsfaktorerne i Tabel 7-13, dvs. indenfor de første 50 meter af udledningen for hver af de to udledningsrater.



Figur 7-18 Fortyndingsfaktor som funktion af afstand fra udledningsspunkt. Anvendes i forbindelse med det generelle miljøkriterie.

De fundne fortyndingsrelationer er anvendt til vurdering af behov for blandingszoner for opfyldelse af miljøkrav til vandkvalitet.

7.1.5 Udledning fra Lynetteholm

Nedenstående analyser er udført for Hovedforslag 2, da dette i slutningen af projektfasen er blevet udvalgt som det primære Hovedforslag.

Udledningerne af fortrængningsvand fra Lynetteholm kan på nuværende tidspunkt kun vurderes ved at bruge de data, som er til rådighed fra udledningerne fra KMC Nordhavnsdeponiet. Umiddelbart forventes det, at der i Lynetteholm vil fyldes op med jordsammensætninger, som dem der er fyldt i Nordhavnsdeponiet, bortset fra at der i Lynetteholm ikke vil være en separering af forurenede og ren jord. Desuden vil der over en årrække være så store vandmængder inden for inddæmningsområdet, at der vil være en ganske stor fortynding af de miljøfremmede stoffer, der tilføres området. Derfor må de anvendte data fra KMC over de seneste 8 år anses for højere end hvad der må forventes at være i udledningerne i de første mange år fra Lynetteholm. Hvad angår kviksølv er der

dog en bekymring for, om den i dag indeholdte kviksølvkoncentration i bundsedimentet forårsaget af fortidens synder (klapning på Middelgrunden af store mængder kviksølvholdigt havneslam fra Sojakagefabrikken, skønsmæssigt 3-8 tons kviksølv ref. /44/), vil kunne føre til et højere kviksølvniveau end det fra KMC fundne niveau. Det skal dog bemærkes, at det fundne gennemsnit for kviksølv i høj grad er påvirket af detektionsgrænsen på 0,05 µg/l, hvorfor det faktiske kviksølvindhold er usikkert bestemt.

Tabel 7-14 viser alle stoffer fundet i forbindelse med opfyldningen og udledning af fortrængningsvand fra Nordhavnsdeponiet, hvortil der er krav om maksimalindhold. Kolonnerne "Gennemsnit" og "Maksimum" fortæller om indholdet af prøverne herfra. Prøverne er filtrerede og indeholder derfor kun den opløste del. De to efterfølgende kolonner oplister, hvor stor koncentration der tillades i henholdsvis årsmiddel og maksimalpuls (miljøkravene i BK 1625). Stoffer som er markeret med grøn har udløbskoncentrationer under kravene for andet overfladevand og kræver derfor ikke en opblandingszone. De øvrige stoffer kræver en nærmere undersøgelse, hvor kravet til fortyndingszone beregnes ved at inddrage bidrag fra i forvejen fundne koncentrationer (IFF) og den naturligt forekommende baggrundskoncentration.

Tabel 7-14 Udledningstal fra Nordhavnsdeponi, generelt miljøkrav (GK) og krav til maksimumkoncentration (MK) for alle stoffer, hvor der er defineret et miljøkrav i BK. 1625. Grøn markering betyder at udløbskoncentrationerne er under krav-grænserne.

	Gennemsnit	Maksimum	GK	MK
ANALYSEPARAMETRE	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Benzen	0,0118	0,03	8	50
Toluen	0,0247	0,08	7,4	380
Ethylbenzen	0,0121	0,04	2	180
(m+p+o)-xylene	0,0417	0,32	Σ=1	Σ=100
Trichlormethan / Chloroform	0,0111	0,02	2,5	AI
1,1,1-Trichlorethan	0,0120	0,04	2,1	54
Tetrachlormethan	0,0110	0,02	12	AI
Trichlorethylen	0,0158	0,10	10	AI
Tetrachlorethylen	0,0428	0,82	10	AI
Naphtalen	0,0383	0,77	2	130
Acenaphthylen	0,0129	0,058	0,13	3,6
Acenaphthen	0,0118	0,042	0,38	3,8
Fluoren	0,0128	0,094	0,23	21,2
Phenanthren	0,0225	0,35	1,3	4,1
Anthracen	0,0111	0,044	0,1	0,1
Fluoranthren	0,0213	0,17	0,0063	0,12

	Gennemsnit	Maksimum	GK	MK
ANALYSEPARAMETRE	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Pyren	0,0185	0,12	0,0017	0,023
Benz(a)anthracen/Chrysen	0,0184	0,02	0,0014 ³	0,018 ³
Benz(b,j,k)fluoranthren	0,0191	0,028	AI	0,017
Benz(a)pyren	0,0104	0,018	0,00017	0,027
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0,0111	0,045	0,00017	AI
Dibenz(a,h)anthracen	0,01	0,01	0,00014	0,018
Benz(g,h,i)perylene	0,0101	0,014	AI	0,00082
Arsen	4,16	5,8	0,6 ¹	1,1 ¹
Barium	329	560	5,8 ¹	145
Bly	1,31	8,8	1,3	14
Kobber	6,4	37	1 ¹ / 4,9 ²	2 ¹ / 4,9 ²
Chrom VI	1,52	4,8	3,4	17
Nikkel	4,75	19	8,6	34
Zink	10,7	39	7,8 ¹	8,4 ¹
Kviksølv	0,0566	0,26	-	0,07
Cadmium	0,21	1,9	0,2	0,45
Selen	1,53	4,8	0,08 ¹	31 ¹
Tin	0,249	1,0	0,2	20
Vanadium	3,68	9,9	4,1 ¹	57,8
Σ Dimethylphenol:	0,137	0,93	1,31	132
1: Kvalitetskravet er denne koncentration af stoffet tilføjet den naturlige baggrundskoncentration, jf. dog note 2 2: Kvalitetskravet angiver den øvre koncentration af stoffet uanset den naturlige baggrundskoncentration 3: Højeste kvalitetskriterie for Benz(a)anthracen, henholdsvis Chrysen, anvendt for beregninger				

I nedenstående redegørelse er der taget stilling til udledningen på basis af den seneste udledningstilladelse for KMC og de bagvedliggende dokumenter /43/ og /45/, samt de ansøgte udledningskoncentrationer. Alle vurderinger er baseret på målte data fra KMC-depotet fra 2012 og frem til 2020. Selvom der udledes en lang række stoffer, er der i det efterfølgende udelukkende set på de stoffer, hvor der i dansk lovgivning er angivet

grænseværdier for vandfasen, sediment eller biologi. Desuden er der kun medtaget de stoffer, der i udledningen overskrider ovennævnte koncentrationskrav.

Da der for alle stoffer er tale om lave koncentrationer skønnes det ikke muligt at iværksætte egentlige renseforanstaltninger, ud over at man vil kunne anvende f.eks. siltgardiner omkring det område, hvorfra der pumpes. Derved vil man kunne begrænse udledning af de stoffer, der binder sig til større partikler, da disse ikke vil kunne passere siltgardinet.

Udledningen af ovennævnte stoffer er vurderet med udgangspunkt i de etablerede fortyndingsrelationer, jf. Figur 7-15 og Figur 7-18. For at vurdere de enkelte stoffer er der set på gennemsnitskoncentrationen, samt maksimum af de målte koncentrationer. Disse er så tillagt henholdsvis en naturlig baggrundskoncentration, samt en koncentration, som afspejler målte koncentrationer i området (IFF = "I Forvejen Funden" koncentration). Det skal tilføjes, at der for flere stoffer ikke findes en baggrunds- eller IFF-koncentration. For disse stoffer er der anvendt 50% af detektionsgrænsen. De anvendte IFF-koncentrationer er baseret på data modtaget fra Udviklingsselskabet By & Havn og er målinger fra Københavns Yderhavn i 2017, samt data fra /21/, hvor der er målt i Kongedybet. Sidstnævnte reference er kun anvendt til fastsættelse af IFF for kviksølv.

I det efterfølgende bruges følgende forkortelser:

VKK_{gen} = Vandkvalitetskrav generelt

VKK_{max} = Vandkvalitetskrav maksimumkoncentration

IFF = I Forvejen Funden koncentration. Hvis angivelsen er i parentes, er der anvendt 50% af detektionsgrænse.

For yderligere forklaring for nedenstående tabel henvises til /45/, hvor krav til fortynding af udledningskoncentrationer er angivet og beregnet, dog med den forskel, at der her er taget udgangspunkt i målt maksimumkoncentration fremfor en 95% fraktil. Gennemsnitsværdierne er for en række af metallerne skaleret med de i Tabel 7-9 angivne forholdstal. Ligeledes er maksimumkoncentrationer skaleret med en faktor 2 på de stoffer, som overstiger miljøkravet til maksimum. De med fed angivne værdier er skalerede i forhold til målte værdier. Betegnelsen AI angiver "Anvendes Ikke", mens NA angiver at IFF-koncentrationen overstiger det generelle miljøkrav, hvor der ikke kan angives en opblandingszone.

Kviksølv, som generelt regnes for et af de mere problematiske stoffer, er kun fundet i ganske få analyser fra udledningen fra KMC og selv efter en sænkning af detektionsgrænsen til 0,001 ug/l er den ikke fundet i de seneste analyser. Derfor anses udledning af kviksølv som stærkt begrænset.

Tabel 7-15 nedenfor angiver en samlet oversigt for alle stoffer der potentielt har krav om en opblandingszone og som derfor er vurderet som udgørende en risiko ved udledning. Udledningskoncentrationerne i tabellen er baseret på udledningstal fra KMC. Tabellen indeholder også de gældende miljøkriterier, samt information om naturlig baggrundskoncentration og IFF-koncentrationer for de enkelte stoffer. Endelig er der angivet blandingszoner for de to undersøgte udledningsrater for hvert enkelt stof. Tabel 7-16 indeholder den samme information, men her er det de ansøgte udledningskoncentrationer som er angivet, samt det hertil tilknyttede behov for opblandingszone.

Tabel 7-15 Oversigt over alle stoffer, der potentielt har krav om en opblandingszone og som derfor er vurderet som udgørende en risiko ved udledning. Tabellen er delt i en med miljøfremmede stoffer og en med tungmetaller. Hvis der ikke er fundet oplysninger om IFF og baggrundskoncentrationer er der anvendt 50% eller 100 % af detektionsgrænsen. Tabellen er baseret på udledningsforholdene i Hovedforslag 2 og målte udledningskoncentrationer ved KMC Nordhavn.

Stof	Gennemsnitskonc i udledning	VKK _{gen}	Maksimum konc. i udledning	VKK _{max}	Krav til fortyndingsfaktor		IFF	Naturlig baggrundskoncentration	Opblandingszone (Q = 101 l/s)	Opblandingszone (Q = 67,7 l/s)
STOFFER	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	GK	MK	[µg/l]	[µg/l]	[m]	[m]
Benzen	0,0118	8	0,03	50	< 1	< 1	0,01	0	<0,1	<0,1
Toluen	0,0247	7,4	0,078	380	< 1	< 1	0,067	0	<0,1	<0,1
Ethylbenzen	0,0121	2	0,04	180	< 1	< 1	0,01	0	<0,1	<0,1
(m+p+o)-xylen	0,0306	1	0,3	100	< 1	< 1	0,073	0	<0,1	<0,1
Trichlormethan / Chloroform	0,0111	2,5	0,02	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichlorethan	0,012	2,1	0,04	54	< 1	< 1	0,01	0	<0,1	<0,1
Tetrachlormethan	0,011	12	0,02	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
Trichlorethylen	0,0158	10	0,097	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
Tetrachlorethylen	0,0428	10	0,82	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
Naphtalen	0,0383	2	0,77	130	< 1	< 1	0,0041	0	<0,1	<0,1
Acenaphthylen	0,0129	0,13	0,058	3,6	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Acenaphthen	0,0118	0,38	0,042	3,8	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Fluoren	0,0128	0,23	0,034	21,2	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Phenanthren	0,0225	1,3	0,17	4,1	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Anthracen	0,0111	0,1	0,044	0,1	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Flouranthen	0,0213	0,0063	0,17	0,12	4,02	1,43	0,001	0	<0,9	<0,5
Pyren	0,0185	0,0017	0,12	0,023	26,4	5,45	0,001	0	<3,6	<2,1
Benz(a)anthracen ²	0,0184	0,0012	0,02	0,018	92	1,18	0,001	0	<13,6	<7,6
Chrysen ²	0,0184	0,0014	0,02	0,014	46	50	0,001	0	<29,1	17,6
Benz(bjk)flouranthen	0,0191	0,01	0,028	0,0017	2,12	40	0,001 ¹	0	<23,2	<14,0
Benz(a)pyren	0,0104	0,00017	0,018	0,027	-	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1

Stof	Gennemsnitskonc i udledning	VKK _{gen}	Maksimum konc. i udledning	VKK _{max}	Krav til fortyndingsfaktor		IFF	Naturlig baggrundskoncentration	Opblandingszone (Q = 101 l/s)	Opblandingszone (Q = 67,7 l/s)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,0111	0,00017	0,045	AI	-	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Dibenz(a,h)anthracen	0,01	0,00014	0,01	0,018	-	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Benzo(ghi)perylene	0,0101	0,00017	0,0086	0,0008	-	-	0,001	0	NA	NA

1: Der er ikke data for Benz(b,j,k)flouranthen fra Yderhavnen. Den antages dog en IFF, som for øvrige PAH'er

2: Benz(a)anthracen/Chrysen er målt som en samlet værdi. I beregningen er det antaget at alt stof er fordelt på et af de to stoffer

-: Angiver at det ikke er muligt at definere en fortyndingsfaktor, som kan opfylde miljøkravet

Fede værdier angiver opblandingszonen for maksimumkravet for de stoffer, hvor det generelle krav ikke kan opfyldes

Stof	Gennemsnitskonc i udledning	VKK _{gen}	Maksimum konc. i udledning	VKK _{max}	Krav til fortyndingsfaktor		IFF	Naturlig baggrundskoncentration	Opblandingszone (Q = 101 l/s)	Opblandingszone (Q = 67,7 l/s)
TUNGMETALLER	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	GK	MK	[µg/l]	[µg/l]	[m]	[m]
Arsen	4,28	0,6	11,6	1,1	2,86	5,80	1,1	1	<3,3	<2,0
Barium	355,32	21,8	1120	145	16,3	7,72	16	16	<4,4	<2,7
Bly	3,24	1,3	17,6	14	3,08	1,28	0,25	0	<0,8	<0,5
Kobber	6,85	1,5	74	2,5	4,57	29,6	0,5	0,5	<17,0	<10,2
Chrome VI	2,46	3,4	3,8	17	< 1	< 1	0,25	0	<0,1	<0,1
Nikkel	5,80	8,6	38	34	< 1	1,13	0,5	0	<0,7	<0,4
Zink	14,77	8,8	78	9,4	2,02	9,87	2,5	1	<5,6	<3,4
Kviksølv	0,06	-	0,52	0,07	-	7,54	0,001	0	<4,3	<2,6
Cadmium	0,21	0,2	3,8	1,45 ⁶	1,20	2,67	0,025	0	<1,5	<0,9
Selen	2,11	0,08	9,6	31	7,04	< 1	0,5	0,36	<1,0	<0,6
Tin	0,34	0,2	2	20,5	-	< 1	0,5	0	<0,1	<0,1
Vanadium	4,38	6,61	19,8	57,8	< 1	< 1	0,5	0,5	<0,1	<0,1

⁶ Angivne værdi er den højeste i forhold til vandets hårdhed.

Tabel 7-16 Oversigt over **ansøgte udledningskoncentrationer**. Tabellen er delt i en med miljøfremmede stoffer og en med tungmetaller.

Stof	Gennemsnitskonc i udledning	VKK _{gen}	Maksimum konc. i udledning	VKK _{max}	Krav til fortyndingsfaktor		IFF	Naturlig baggrunds-koncentration	Opblandingszone (Q = 101 l/s)	Opblandingszone (Q = 67,7 l/s)
STOFFER	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	GK	MK	[µg/l]	[µg/l]	[m]	[m]
Benzen	0,1	8	0,15	50	< 1	< 1	0,01	0	<0,1	<0,1
Toluen	0,2	7,4	0,25	380	< 1	< 1	0,067	0	<0,1	<0,1
Ethylbenzen	0,1	2	0,15	180	< 1	< 1	0,01	0	<0,1	<0,1
(m+p+o)-xylen	0,3	1	1	100	< 1	< 1	0,073	0	<0,1	<0,1
Trichlormethan / Chloroform	0,03	2,5	0,02	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
1,1,1-Trichlorethan	0,03	2,1	0,04	54	< 1	< 1	0,01	0	<0,1	<0,1
Tetrachlormethan	0,03	12	0,02	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
Trichlorethylen	0,05	10	0,2	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
Tetrachlorethylen	0,2	10	1	AI	< 1		0,01	0	<0,1	<0,1
Naphtalen	0,05	2	0,8	130	< 1	< 1	0,0041	0	<0,1	<0,1
Acenaphthylen	0,03	0,13	0,06	3,6	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Acenaphthen	0,03	0,38	0,05	3,8	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Fluoren	0,03	0,23	0,1	21,2	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Phenanthren	0,1	1,3	0,7	4,1	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Anthracen	0,01	0,1	0,05	0,1	< 1	< 1	0,001	0	<0,1	<0,1
Flouranthen	0,05	0,0063	0,35	0,12	9,43	2,94	0,001	0	<1,7	<1,0
Pyren	0,05	0,0017	0,25	0,023	71,4	11,36	0,001	0	<10,3	<5,8
Benz(a)anthracen	0,01	0,0012	0,014	0,018	50	1,76	0,001	0	<7,0	<4,0
Chrysen	0,01	0,0014	0,03	0,014	25	2,31	0,001	0	<3,4	<1,9
Benz(bjk)flouranthen	0,01	0,01	0,03	0,0017	1,1	42,9	0,001 ¹	0	<24,8	<15,0
Benz(a)pyren	0,01	0,00017	0,03	0,027	-	1,15	0,001	0	<0,7	<0,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,01	0,00017	0,03	AI	-		0,001	0	NA	NA
Dibenz(a,h)anthracen	0,01	0,00014	0,03	0,018	-	1,76	0,001	0	<1,0	<0,6

Stof	Gennemsnitskonc i udlledning	VKK _{gen}	Maksimum konc. i udlledning	VKK _{max}	Krav til fortyndingsfaktor		IFF	Naturlig baggrundskoncentration	Opblandingszone (Q = 101 l/s)	Opblandingszone (Q = 67,7 l/s)
Benzo(ghi)perylene	0,01	0,00017	0,03	0,0008	-	-	0,001	0	NA	NA

1: Der er ikke data for Benz(b,j,k)flouranthen fra Yderhavnen. Den antages dog en IFF, som for øvrige PAH'er

-: Angiver at det ikke er muligt at definere en fortyndingsfaktor, som kan opfylde miljøkravet

Fede værdier angiver opblandingszonen for maksimumkravet for de stoffer, hvor det generelle krav ikke kan opfyldes

Stof	Gennemsnitskonc i udlledning	VKK _{gen}	Maksimum konc. i udlledning	VKK _{max}	Krav til fortyndingsfaktor		IFF	Naturlig baggrundskoncentration	Opblandingszone (Q = 101 l/s)	Opblandingszone (Q = 67,7 l/s)
TUNGMETALLER	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	GK	MK	[µg/l]	[µg/l]	[m]	[m]
Arsen	7	0,6	12	1,1	4,67	6,0	1,1	1	<3,4	<2,1
Barium	700	21,8	1200	145	32,1	8,28	16	16	<4,7	<2,8
Bly	12	1,3	45	14	9,52	3,27	0,25	0	<1,9	<1,1
Kobber	15	1,5	80	2,5	10	32	0,5	0,5	<18,4	<11,1
Chrome VI	10	3,4	16	17	3,17	< 1	0,25	0	<0,5	<0,3
Nikkel	12	8,6	50	34	1,85	1,49	0,5	0	<0,9	<0,5
Zink	30	8,8	100	9,4	4,1	12,7	2,5	1	<7,2	<4,3
Kviksølv	0,025	-	0,1	0,07	-	1,45	0,001	0	<0,9	<0,5
Cadmium	1	0,2	4	1,45 ⁷	5,71	2,81	0,025	0	<1,6	<1,0
Selen	5	0,08	15	31	16,7	0,48	0,5	0,36	<2,3	<1,3
Tin	1	0,2	3	20,5	-	< 1	0,5	0	<0,1	<0,1
Vanadium	10	6,61	25	57,8	2,17	< 1	0,5	0,5	<0,3	<0,2

⁷ Angivne værdi er den højeste i forhold til vandets hårdhed.

7.1.6 Vurdering af udvalgte stoffers kvalitetskriterier for vand

For hvert af stofferne er miljøkvalitetskriterierne angivet. Desuden er den gennemsnitlige og den maksimale udledningskoncentration også angivet. Da udledningsområdet er i og omkring Københavns Havn er der også fundet værdier for den i forvejen fundne koncentration, IFF, samt en naturlig baggrundskoncentration, hvis den er tilgængelig. For en række stoffer er der ikke undersøgt for IFF og for disse stoffer er der brugt 50% af detektionsgrænsen, selv om dette i princippet kunne medføre en overestimering af den faktiske belastning.

For de vurderede stoffer er der vist en graf, som inkluderer det generelle vandkvalitetskriterium, VKK_{gen} , Max-kriteriet, VKK_{max} , samt de målte koncentrationer tillagt 1 og 2 gange standardafvigelsen. Samtlige grafer er lånt fra /45/, da forholdene for Lynetteholms fremtidige udledning er vurderet i forhold til de målte udledningskoncentrationer fra KMC.



INFO BOX: Beregninger

VKK_{gen} = Naturlig baggrund + det generelle krav

VKK_{max} = Naturlig baggrund + max-krav

For stoffer med krav om tillæg af baggrundskoncentration anvendes nederste relation. For øvrige stoffer tillægges baggrundskoncentrationen ikke, hvorfor øverste relation anvendes.

Nødvendig fortynding generel = generel udledningskoncentration / (krav + baggrund minus IFF)

Nødvendig fortynding max = max udledningskoncentration / (krav + baggrund minus IFF)

Desuden er der i analyserne taget udgangspunkt i Figur 7-15 og Figur 7-18, som indeholder kurver og relationer for opblandingszonens største udstrækning, som funktion af fortyndingsfaktor baseret på henholdsvis det generelle miljøkriterie og maksimumkriteriet. I tolkningen er anvendt fortyndingsforholdene for en udledning på 67,7 l/s, som svarer til udledning i år med maximal jordopfyld over de forventede 30-31 år, det tager at gennemføre opfyldningen af Lynetteholm. I 2023 forventes der en større opfyldning, som medfører en stigning i udledningsmængden på 67 %. Dette sker dog i en periode, hvor der er mere end 25 mio. m³ vand inden for inddæmningen, som vil virke kraftigt dæmpende på eventuelle lokale stigninger i koncentrationsniveauet. I forhold til koncentrationer målt i KMC må det forventes, at koncentrationerne i Lynetteholm kunne blive lavere, idet der opfyldes med 40% ren jord og 60% forurenet i modsætning til KMC, hvor al opfyld er forurenet jord.

For alle metaller er der brugt en faktor for at justere målingerne fra KMC, da disse er gennemført på filtrerede prøver og ikke på ufiltrerede. Derfor afviger de brugte udledningskoncentrationer lidt fra dem, der er opgivet for KMC. Desuden er der for max-koncentrationerne for metaller justeret med en faktor 2 ud fra et forsigtighedsprincip. For hver af de beskrevne stoffer er der lavet en vurdering på basis af den koncentration, der er målt på KMC depotet over de sidste 8 år og så en vurdering på basis af de koncentrationer, der er ansøgt for Lynetteholm.

Relationen mellem afstand fra udledningspunkt og fortyndingsgrad er vist i Figur 7-15 og Figur 7-18. Som eksempler på fortynding i forhold til en afstand fra udledningspunktet viser Tabel 7-17 fortyndingen i henholdsvis 1, 5, 10, 15, 20 og 25 m afstand for en udledning på 67,7 l/s og 101 l/s. For vurderingen af fortyndingen inden for en blandingszone er der brugt fortyndingsfaktoren for 101 l/s, da den er det mest konservative. Udledning af 101 l/s vil kun forekomme i 2023, mens resten af opfyldningen vil medføre fortrængning af vand svarende til 67,7 l/s i snit. De beregnede udledningsmængder og rater forudsætter at alt opfyld er vandmættet og at alt opfyld

placeres under vandlinjen indenfor nyttiggørelsesområdet. I praksis må udledningsmængder og rater derfor forventes at blive mindre end det her antagne.

Tabel 7-17 Fortyndingsfaktorer I forhold til afstand og udledningsmængder. GK: Generelt miljøkriterie, MK: Maksimum miljøkriterie.

	67,7 l/s		101 l/s	
Afstand	GK	MK	GK	MK
1 m	13,5	3,0	7,7	1,8
5 m	63	14,7	37	8,8
10 m	119	29,0	70	17,6
15 m	169	43,0	100	26,2
20 m	215	56,7	129	34,7
25 m	258	70	156	43,2

Miljøvurdering og gennemgang af de enkelte stoffer

Herunder er de enkelte stoffer gennemgået. De er som ovenfor nævnt identiske med de i /45/ angivne værdier og betragninger, korregeret for forholdet mellem filtreret/ufiltreret og 2 x på maxkoncentrationerne, som her er opdateret i forhold til de forventede forhold i forbindelse med den fremtidige udledning fra Lynetteholm. For hvert af de gennemgåede stoffer, er der angivet en gennemsnitskoncentration og en max koncentration for hvert stof. Desuden er der angivet vandkvalitetskravene for den generelle udledning (VKK_{gen}) og max udledning (VKK_{max}). Den nødvendige fortyndingsgrad er angivet for henholdsvis den generelle og den maksimale koncentration og derefter er der vist største afstand fra udledningspunktet, hvor den nødvendige fortynding er opfyldt. Der er med en farvemarkør angivet, om blandingszonen er beregnet på baggrund af den generelle koncentration eller den maksimale, og dette er gjort for at angive det kriterie, der udløser den største afstand fra udledningspunktet. Der er angivet værdier for IFF og baggrund, for så vidt disse værdier har været tilgængelige og således at de er konsistente med grundlaget i udledningsansøgningen.

En **blå markering** i et af felterne under "Nødvendig fortynding" i de efterfølgende tabeller for de enkelte stoffer angiver, om det har været fortynding af det generelle eller det maksimale krav, der har fastlagt det nødvendige afstand/fortyndingskrav. Hvis der ikke er angivet en farvekode, er miljøkriteriet opfyldt (krav om fortynding < 1) uden behov for en blandingszone eller også er det ikke muligt at opfylde det generelle miljøkrav. Sidstnævnte kan ikke opfyldes når IFF-koncentrationen overstiger miljøkravet. I tabellen for naphthalen er der i den første kolonne angivet et N = nuværende gennemsnitsudledning fra KMC, mens A = ansøgt koncentration for den kommende udledning fra Lynetteholm.

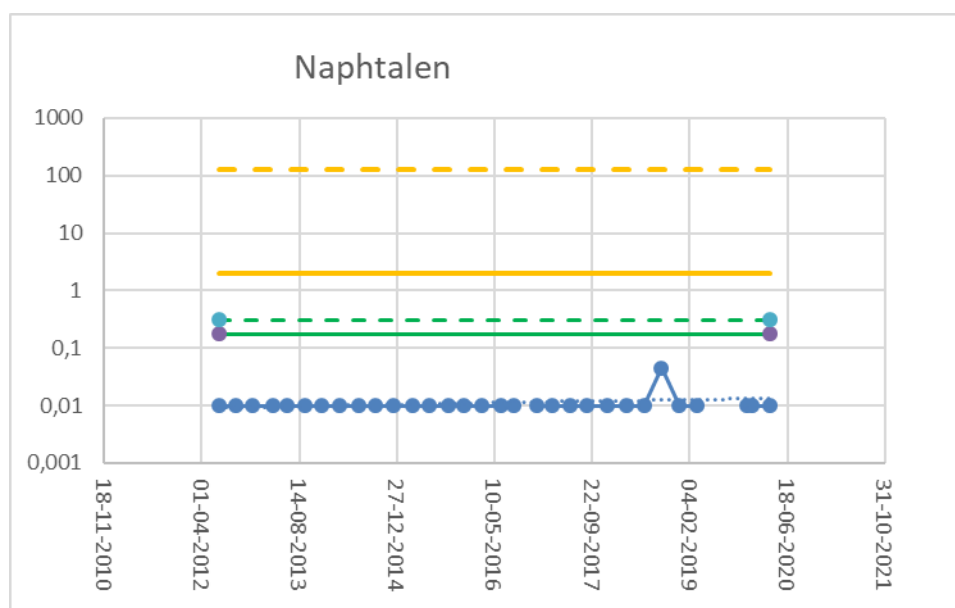
Naphtalen

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,0383	2,0	0,77	130	< 1	< 1	<0,1m	<0,1m	0,0041	-
A	0,05	2,0	0,8	130	< 1	< 1	<0,1m	<0,1m	0,0041	-

¹⁾ Kongedybet, detektionsgrænsen

²⁾ Kendes ikke

Der er ikke grundlag for at udlægge en blandingszone, da den ansøgte udledningskoncentration er langt under det generelle krav, svarende til 5%, og det vurderes at udledningen fra Lynetteholm ikke vil give anledning til at den kumulerede koncentration overskrider VKK for Naphtalen i fremtiden. I lighed med en række andre PAH-forbindelser, har der ikke været store udsving i udledningskoncentrationen over de 8 år, hvor der har været monitoreret, hvilket tydeligt fremgår af nedenstående graf. Det forventes derfor heller ikke at være tilfældet for udledningerne fra Lynetteholm. Grafen viser med stiplede gul linje, det maksimale vandkvalitetskrav, med fuldptrukket gul linje, det generelle vandkvalitetskrav, den blå linje og tilhørende punkter viser målte koncentrationer eller detektionsgrænse, de grønne kurver viser gennemsnit + henholdsvis 1 og 2 gange spredning.



Der er fastsat kvalitetskriterier for naphtalen for sediment og biota.

Pyren

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,0185	0,0017	0,12	0,023	26,4	5,45	<2,1	<3,6	0,001	-
A	0,05	0,0017	0,25	0,023	71,4	11,36	<5,8	<10,3	0,001	-

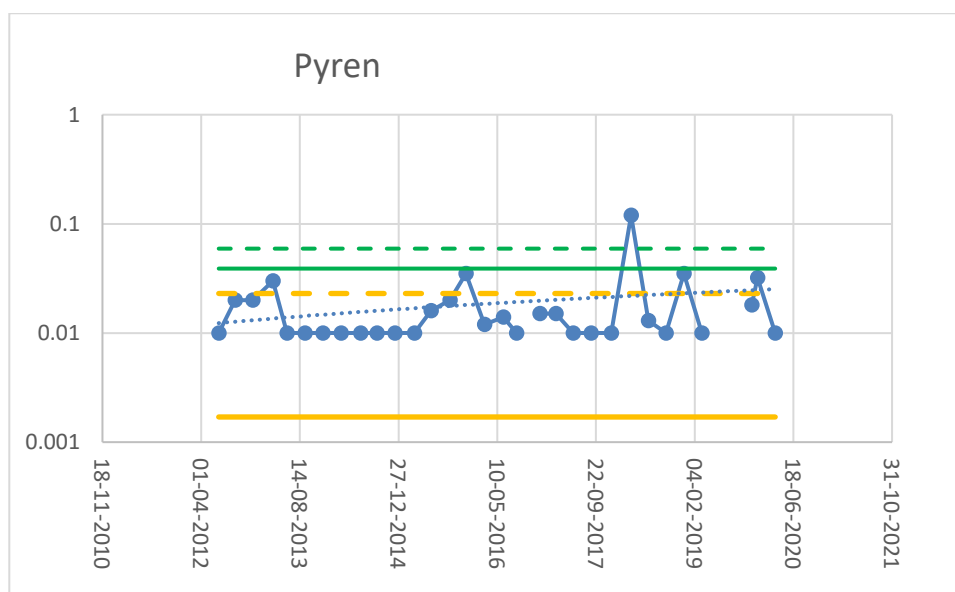
¹⁾ Kongedybet, detektionsgrænsen

²⁾ Kendes ikke

Den ansøgte udledningskoncentration for Pyren overskrider VKK_{gen} og VKK_{max} og der er dermed behov for at udlægge en blandingszone. Blandingszonens udstrækning er bestemt af det generelle miljøkriterie og vil være opfyldt indenfor en afstand af 6 m med udledninger fra 2024 og frem. Med denne blandingszone vurderes det, at fortyndingsforholdene i en blandingszone, er tilstrækkelige til at den kemiske tilstand i Københavns Havn ikke forværres.

I vandområdet er der en estimeret påvirkning, som er betydeligt større end VKK, og udledningens påvirkning ved blandingszonens rand vil ved 10 m blandingszone være ubetydelige i forhold til den estimerede IFF-koncentration. Dog udgør Lynetteholms udledning af Pyren ca. 25 % af VKK. Udledningen fra Lynetteholm vurderes derfor ikke til at være den væsentligste årsag til, at VKK i vandområdet kan være overskredet udenfor en blandingszone på 10 m (119 gange fortynding) for opfyldelse af det generelle udledningskriterium.

Det skal understreges, at der vurderes ud fra en estimeret IFF af Pyren på baggrund af, at Pyren ikke er detekteret i vandområdet, hvorfor vurderingen er meget konservativ. Som det fremgår af grafen for Pyren fra KMC, har målingerne ligget relativt stabilt med de fleste målinger under detektionsgrænsen.



Det vurderes derfor, at den fremtidige udledning af Pyren fra Lynetteholm ikke vil være årsag til at miljømålene for tilstanden i Københavns Havn kan overholdes.

Anthracen

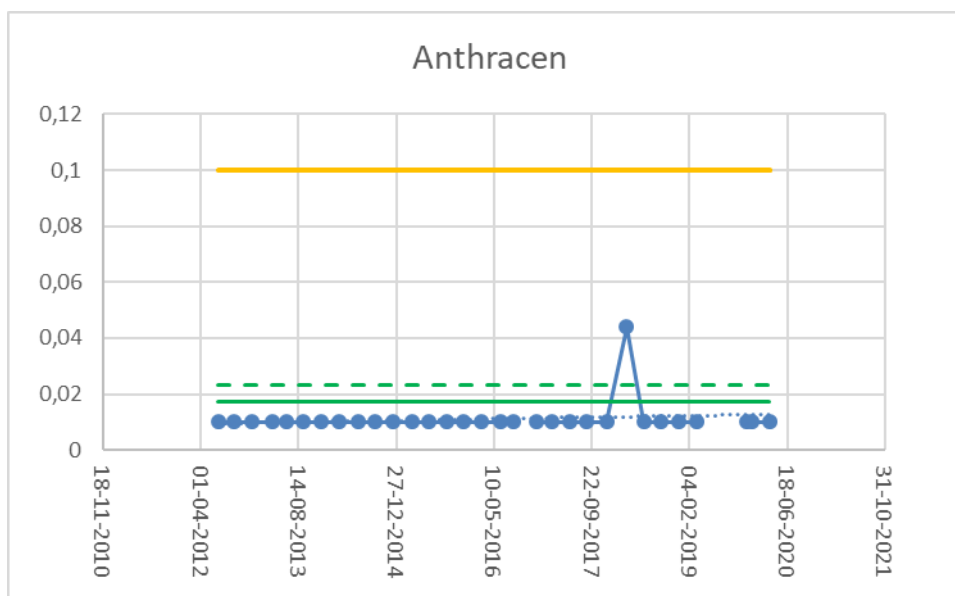
Anthracen er registeret som et af de prioriterede stoffer, som skal vurderes meget nøje.

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,0111	0,1	0,044	0,1	< 1	< 1	<0,1m	<0,1m	0,001	-
A	0,01	0,1	0,05	0,1	< 1	< 1	<0,1m	<0,1m	0,001	-

1) Kongedybet, detektionsgrænsen

2) Kendes ikke

Da udledningskoncentrationen er under kravværdierne, er der ikke behov for at udlægge en blandingszone.



Da IFF-koncentrationen udgør 1 % af VKK_{gen} vurderes det, at den fremtidige udledning fra Lynetteholm ikke vil medføre, at der sker en kumulering, som overskrider VKK for Anthracen i fremtiden.

Der er fastsat kvalitetskriterier for Anthracen for sediment og biota.

Benz(a)anthracen

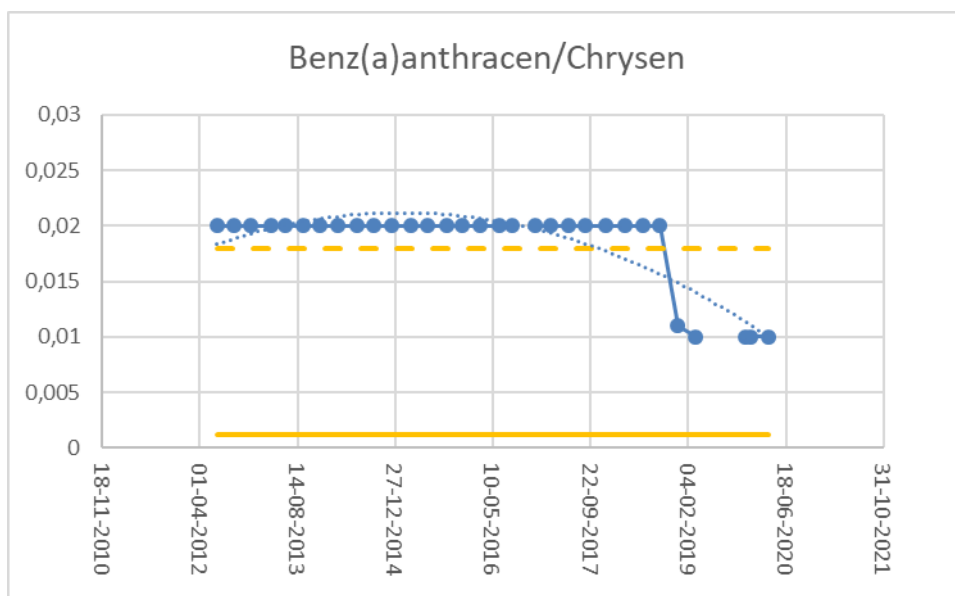
	Gennemsnit	VKK_{gen}	Max udledning	VKK_{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
N	0,0184	0,0012	0,02	0,018	92	1,18	<7,6	<13,6	0,001	-
A	0,01	0,0012	0,03	0,018	50	1,76	<4,0	<7,0	0,001	-

¹⁾ Kongedybet, detektionsgrænsen

²⁾ Kendes ikke

Den ansøgte udledningskoncentration for Benz(a)anthracen for både generel og max koncentration overskrider både VKK_{gen} og VKK_{max} og der skal derfor udlægges en blandingszone. Det er dog vigtigt at fastslå, som også nævnt senere i dette afsnit, at hovedparten af analyserne for stoffet i KMC har ligget under detektionsgrænsen, så vurderingerne er således meget konservative. Der vil således være behov for en blandingszone på cirka 24 m for opfyldelse af max-koncentrationen, med den forventede udledningsrate i 2023 og cirka 14 meter fra udledningspunktet i de efterfølgende år.

Udledningen fra Lynetteholm vurderes, trods den store blandingszone, ikke at være den væsentligste årsag til, at VKK i vandområdet kan være overskredet udenfor en blandingszone på 15-25 m.



Som det ses af grafen, er de fleste målinger fra KMC under detektionsgrænsen og derfor er det måske tvivlsomt, om stoffet faktisk har været i prøverne, idet der kun er fundet én positiv påvisning af stoffet. Derfor vurderes det, at den fremtidige udledning af Benz(a)anthracen fra Lynetteholm ikke vil medføre en risiko for overskridelse af VKK i området ved Lynetteholm.

For Benz(a)anthracen gælder der ligeledes kvalitetskrav for biota.

Chrysen

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,0184	0,0014	0,02	0,014	46	50	<17,6	<29,1	0,001	-
A	0,01	0,0014	0,03	0,014	25	2,31	<1,9	<3,4	0,001	-

¹⁾ Kongedybet, detektionsgrænsen

²⁾ Kendes ikke

Udledningskoncentrationen for Chrysen svarer til den for Benz(a)anthracen, da de analyse-mæssigt er taget som et stof, men da der er forskellige krav til stofferne, er Chrysen her behandlet individuelt. Der er der behov for at udlægge en blandingszone, hvor man ser på en zone, hvor udledningens bidrag i blandingszonens rand antager samme koncentration som estimerede IFF-koncentration af Chrysen i vandområdet. Der vil således være et behov for en fortynding på op til 25 gange for opfyldelse af den gennemsnitlige udledningskoncentration, hvilket kan opnås indenfor en afstand af cirka 3-4 m fra udledningspunktet. For opfyldelse af det generelle til kriterie med den forventede udledningsrate i 2023 kræves dette en blandingszone på cirka 3-4 meter.

Samlet udgør den fremtidige Lynetteholms udledning af Chrysen 8,4 % af VKK_{gen} ved randen af 10 m blandingszonen. Udledningen fra deponiet vurderes derfor ikke at være den væsentligste årsag til, at VKK i vandområdet kan være overskredet udenfor en blandingszone på 10 m.

Benz(a)pyren

Koncentrationen af Benz(a)pyren bruges normalt som repræsentanten for en række andre PAH-forbindelser: Benz(bjk)fluoranthren, benz(g,h,i)perylene og indeno(1,2,3)pyren, og derfor er nedenstående vurdering således en samlet vurdering af de 4 stoffer i forhold til VKK.

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,0104	0,00017	0,018	0,027	NA	<1	<0,1	<0,1	0,001	-
A	0,01	0,00017	0,03	0,027	NA	1,15	<0,4	<0,7	0,001	-

1) Kongedybet, detektionsgrænsen

2) Kendes ikke

For Benz(a)pyren og de tilknyttede PAH-forbindelser er der behov for at udlægge en blandingszone, men da IFF er større end VKK_{gen} kan der ikke udlægges en blandingszone, hvor VKK i blandingszonens rand er overholdt. I stedet kan man se på en zone, hvor udledningens bidrag i blandingszonens rand antager samme koncentration som den estimerede IFF-koncentration af Benz(a)pyren i vandområdet. Der vil således være et behov for en fortynding på 1 gange i forhold til max udledningen, hvilket kan opnås cirka 1 m fra udledningens punkt. Det bør bemærkes, at den beregnede nuværende udløbskoncentration fra KMC er baseret på 2 positive fund over 8 år og resten er baseret på målinger under detektionsgrænsen, hvorfor både den eksisterende og den ansøgte udledningskoncentration må anses for at være særdeles konservativ.

Betragtes det fremtidige bidrag fra Lynetteholm alene, vil der være et fortyndingsbehov på 1 gange for Benz(a)pyren. Fortyndingsbehovet er derved væsentlig mindre ift. fortyndingen i en blandingszone cirka 10 m meter fra Lynetteholms udledning (fortynding 119 gange).

Udledningens påvirkning med Benz(a)pyren ved blandingszonens rand i forhold til VKK og den IFF-koncentration i vandområdet er som følger:

	Blandings-zonens størrelse	Fortyndings-faktor	Udledningskonc. i blandingszonens-rand (Cbl) [µg/L]	Udledt konc. udgør af IFF konc. (Cbl/IFF)	Udledt konc. udgør af VKK (Cbl/VKK)
N	10m	119	$8,7 \cdot 10^{-5}$	8,7 %	51,4%
A	10m	119	$8,4 \cdot 10^{-5}$	8,4%	49%

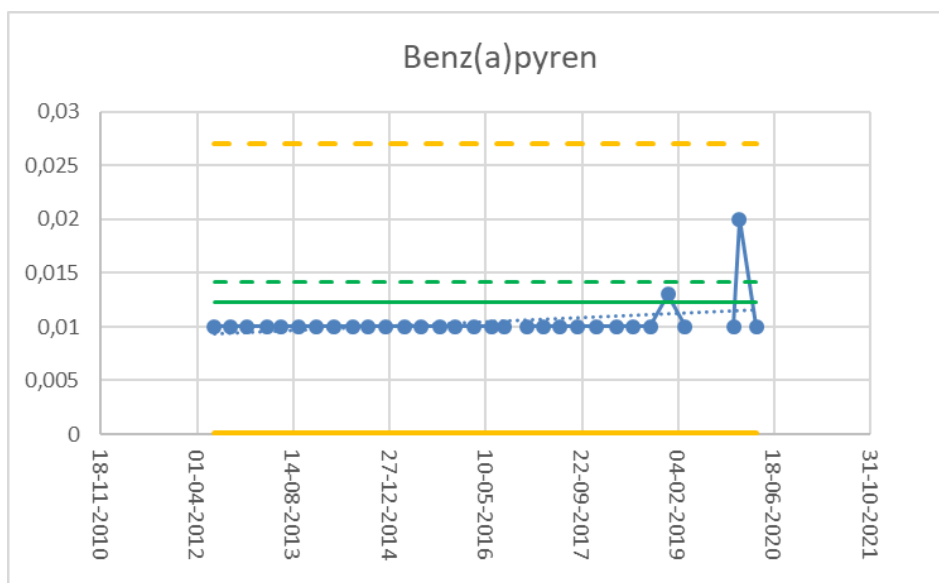
I vandområdet er der en estimeret eksisterende påvirkning, som er cirka 8 gange større end VKK_{gen}, og udledningens påvirkning ved blandingszonens rand, baseret på koncentrationerne fra KM, vil ved en 10m blandingszone udgøre cirka 8,7% i forhold til den estimerede IFF-koncentration. Lynetteholms udledning af Benz(a)pyren efter fortynding udgør ca. 51,4 % af VKK.

Når man laver den samme vurdering på basis af den ansøgte udledningskoncentration på 0,01 µg/l vil det kræve en større blandingszone for at sikre en resulterende koncentration under VKK. For Benz(a)pyren skal der udlægges en blandingszone på 10 meter, hvorved den udledte koncentration udgør cirka 49 % af VKK_{gen}.

Med denne blandingszone og udledte koncentration vurderes det at udledningen fra Lynetteholm ikke vil være den væsentligste årsag til, at VKK i vandområdet kan være overskredet udenfor blandingszonen.

Som for en række af PAH-stofferne ligger de fleste observationer under detektionsgrænsen med ganske få egentlige observationer over grænsen, hvorfor det ikke er muligt at udtale som om den tidlige variation af stoffet. Der er siden 2011 kun analyseret 2 positive fund af Benz(a)pyren.

For benz(a)pyren gælder der ligeledes kvalitetskrav for biota.



Dibenz(a,h)anthracen

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,01	0,00014	0,01	0,018	NA	<1	<0,1	<0,1	0,001	-
A	0,01	0,00014	0,03	0,018	NA	1,76	<0,6	<1,0	0,001	-

¹⁾ Kongedybet, detektionsgrænsen

²⁾ Kendes ikke

Siden måleprogrammet for KMC startede i 2011 er der kun fundet 1 positiv måling af Dibenz(a,h)anthracen, som var over detektionsgrænsen. Derfor er estimatet, brugt i denne vurdering, særdeles konservativt, da samtlige ikke-positive er sat til detektionsgrænsen og teoretisk vil overskride udledningen af Dibenz(a,h)anthracen VKK på 0,00014 µg/l.

For Dibenz(a,h)anthracen er der behov for at udlægge en blandingszone, men da IFF er større end VKK_{gen} kan der ikke udlægges en blandingszone, hvor VKK i blandingszonens rand er overholdt. I stedet kan man se på en zone, hvor udledningens bidrag i blandingszonens rand antager samme koncentration som den estimerede IFF-koncentration af Dibenz(a,h)anthracen i vandområdet. Man skal dog holde sig for øje, at der generelt for PAH-forbindelser ikke er målt værdier over detektionsgrænsen i området omkring Københavns Havn. Der er derfor stor usikkerhed tilknyttet, om det giver mening at udlægges en blandingszone, da eftervisning af overholdelse i princippet kun kan gennemføres, hvis man er i stand til at måle koncentrationer af Dibenz(a,h)anthracen over detektionsgrænsen.

Betragter man det fremtidige bidrag fra Lynetteholm, baseret på en udledning svarende til KMC og en udledning svarende til det ansøgte på 0,01 µg/l, vil der være et fortyndingsbehov på 1 gang, som vil opnås mindre end 1 m fra udløbspunktet. Ser man på den afstand og derved fortynding, som er nødvendig for at den udledte koncentration svarer til VKK kræver det en afstand på 10 m og dermed fortynding på 119 gange.

	Blandings-zonens størrelse	Fortyndings-faktor	Udledningskonc. i blandingszonens-rand (Cbl) [µg/L]	Udledt konc. udgør af IFF konc. (Cbl/IFF)	Udledt konc. udgør af VKK (Cbl/VKK)
N	10m	119	8,4 *10 ⁻⁵	8,4%	60%
A	10m	119	8,4 *10 ⁻⁵	8,4%	60%

Uanset om man kan måle tilstedeværelse af Dibenz(a,h)antracen i området ved Københavns Havn, så skønnes det, at koncentrationen af Dibenz(a,h)antracen kan overholde VKK uden for blandingszone på 1 meter og at udledningen ikke vil hindre opfyldelse af miljømålene for tilstanden omkring Københavns Havn.

Fluoranthen

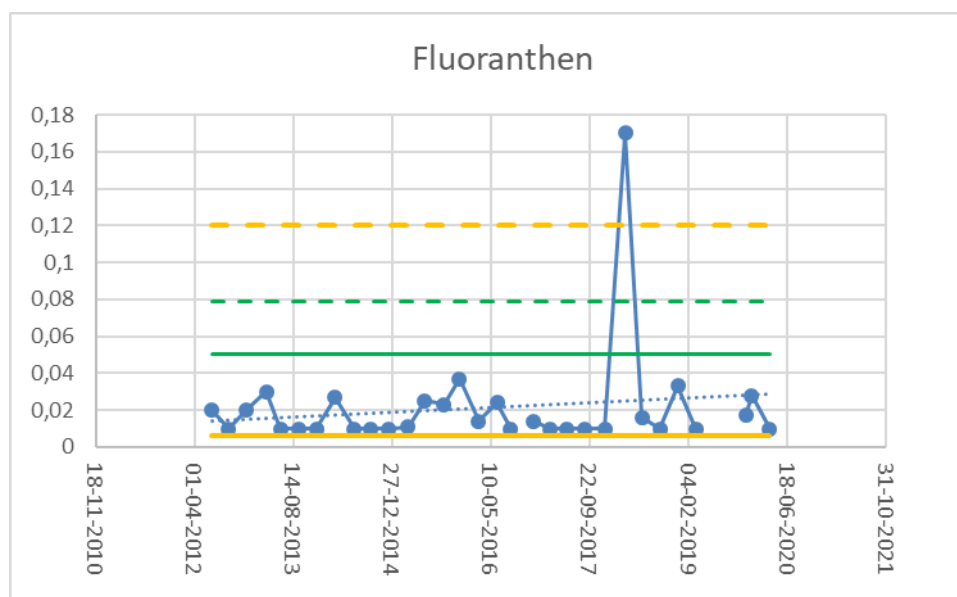
	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,0213	0,0063	0,17	0,12	4,02	1,43	<0,5	<0,9	0,001	-
A	0,05	0,0063	0,35	0,12	9,43	2,94	<1,0	<1,7	0,001	-

¹⁾ Kongedybet, detektionsgrænsen

²⁾ Kendes ikke

Udledningen af Fluoranthen har en koncentration, der overskrider VKK_{gen} og dermed er der behov for at udlægge en blandingszone, som angivet i ovenstående tabel.

Det vurderes, at fortyndingsforholdene i en blandingszone fra 10 meter fra udledningen (fortynding 119 gange), er tilstrækkelige til at den kemiske tilstand i Københavns Havn ikke forværres.



Indholdet af Fluoranthen i det udledte perkolat fra KMC har været relativt stabilt og uden stigende tendens igennem den periode, der er foretaget monitoring. Det vurderes dermed, at den forventede udledningen af Fluoranthen fra Lynetteholm ikke fremtidigt vil udgøre en risiko for at VKK vil blive overholdt.

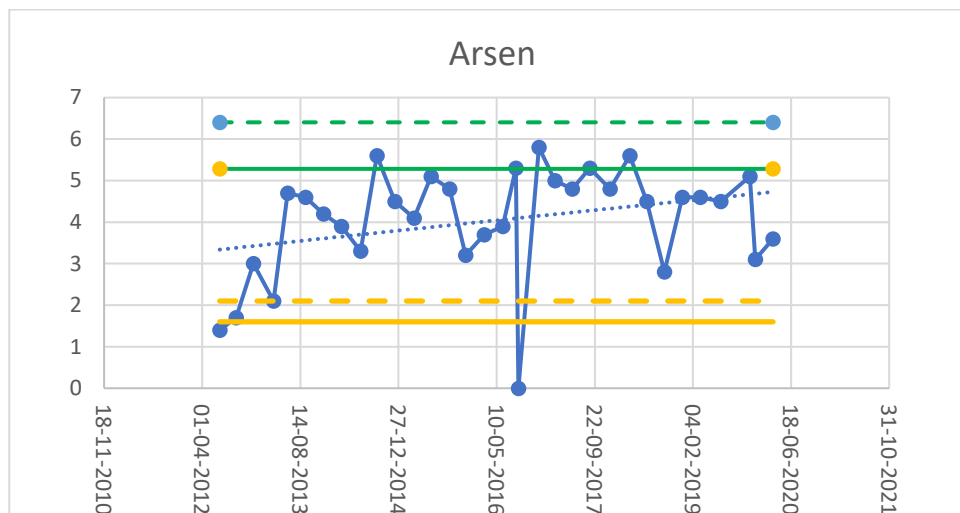
For fluoranthen gælder der ligeledes kvalitetskrav for biota.

Arsen

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	µg/l	µg/l
N	4,28	0,6	11,6	1,1	2,85	5,80	<2,0	<3,3	1,1	1
A	7	0,6	12	1,1	4,67	6,0	<2,1	<3,4	1,1	1

¹⁾ Yderhavn - målte koncentrationer i Øresund

Udledningen af Arsen har en koncentration, der overskrider VKK_{gen} og dermed er der behov for at udlægge en blandingszone, som angivet i tabellen ovenfor. Blandingszoneberegningen herunder er baseret på det ønskede udledningskrav på 7 $\mu\text{g/l}$.



I monitoringsperioden har der i første år været en stigning til omkring 5 $\mu\text{g/l}$, hvorefter det har stabiliseret sig på et gennemsnit på 4,28 $\mu\text{g/l}$, hvilket vil kræve en fortynding på 10-11 gange for også at fortynde for max-kravet. Dette fortyndingskrav er opfyldt inden for 5-10 meter fra udledningen og på denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af arsen ikke vil udgøre en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor blandingszonen. Som det ses af nedenstående tabel, vil udledningen i en blandingszone på 10 m, baseret på koncentrationer fra KMC, kun udgøre 6,5 % af vandkvalitetskravet.

Laves den samme vurdering på basis af den ansøgte udledningskoncentration på 7 $\mu\text{g/l}$ vil den udledte koncentration 10 m fra udledningspunktet være på cirka 10% af vandkvalitetskravet.

	Blandingszonens størrelse	Fortyndingsfaktor	Udledningskonc. i blandingszonens- rand (Cbl) [$\mu\text{g/l}$]	Udledt konc. udgør af IFF konc. (Cbl/IFF)	Udledt konc. udgør af VKK (Cbl/VKK)
N	10 m	119	0,039	3,6%	6,5%
A	10 m	119	0,06	5,3%	9,8%

Barium

	Gennemsnit	VKK_{gen}	Max udledning	VKK_{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	($\mu\text{g/l}$)	($\mu\text{g/l}$)
N	355	55,8	1.120	145	16,3	7,72	<2,7	<4,4	16	16
A	700	55,8	1.200	145	32,1	8,28	<2,8	<4,7	16	16

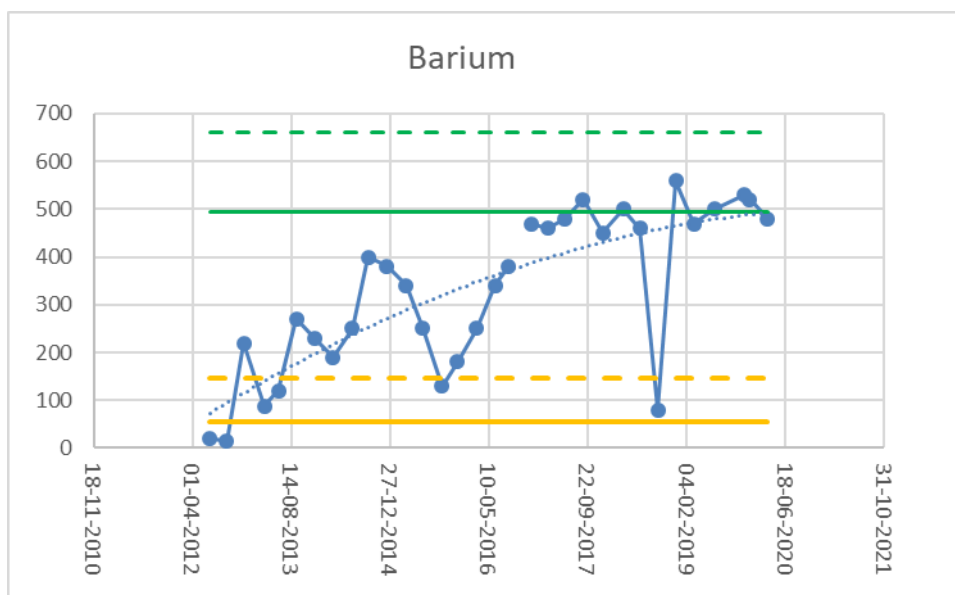
¹⁾ Yderhavn

²⁾ MST Datablad for barium - 2015

Udledningen af Barium har en koncentration, der overskrider VKK_{gen} og dermed er der behov for at udlægge en blandingszone, som angivet i tabellen ovenfor.

I monitoringsperioden udviser koncentrationerne en stigende tendens og koncentrationerne har de seneste cirka 4 år ligget omkring ca. 500 $\mu\text{g/l}$ med en maksimal værdi på 560 $\mu\text{g/l}$. Benyttes 2x den nuværende højeste koncentration fås 1.120 $\mu\text{g/l}$ som grundlag, findes en nødvendig fortynding på ca. 8 gange for at være på den sikre side

med max-udledningerne og 16 gange baseret på gennemsnittet. Disse fortyndinger opnås inden for 5 meter fra udledningspunktet.



For den ansøgte koncentration på 700 µg/l stiger kravet til fortynding for at kunne overholde kravet inden for en blandingszone. Her kan den generelle udledningskoncentration overholdes inden for cirka 5 meter for udledningerne i 2023 og frem.

På denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af barium ikke vil udgøre en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor blandingszonen.

Bly

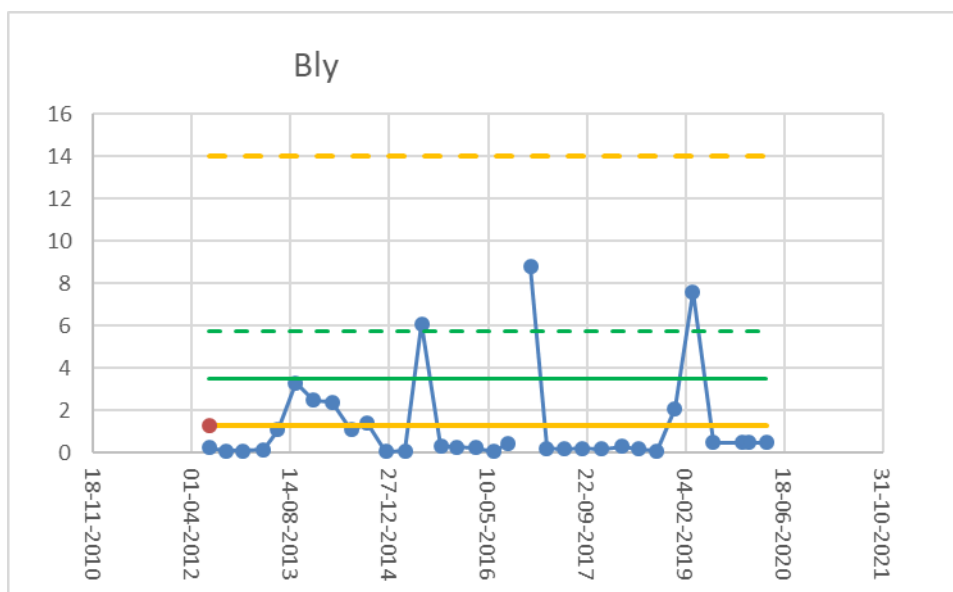
	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	3,24	1,3	17,6	14	3,08	1,28	<0,5	<0,8	(0,25)	-
A	12	1,3	45	14	9,52	3,27	<1,1	<1,9	(0,25)	-

1) jf. Yderhavn i Øresund

Den konstaterede IFF udgør ca. 19% af VKK_{gen}, og denne er medtaget i ovenstående beregning af den nødvendige fortynding. Der er således behov for, at der udlægges en blandingszone for bly, som angivet i tabellen ovenfor.

Indholdet af bly i det udledte perkolat fra KMC har generelt i monitoringsperioden ligget under VKK_{gen} og tæt på detektionsgrænsen, idet der dog indenfor de sidste 6 år er registreret 3 værdier væsentlig over VKK_{gen} men under VKK_{max}. Der syntes ikke at være en stigende tendens i indholdet af bly i udledningen. For IFF er der ved Yderhavnen målt medianværdier på under 0,5 µg/l. I beregningerne er der medtaget en værdi svarende til 50% af detektionsgrænsen. Med et behov for fortyndinger på mellem 1,3 og 3,1 er dette mindre end 1 meter fra udledningspunktet.

Beregninger på basis af de ansøgte udløbskoncentrationer på henholdsvis 12 og 45 µg/l medfører, at blandingszonen vokser til 2 meter fra udledningspunktet.



På denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af bly ikke udgør en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor blandingszonen.

For bly gælder der ligeledes kvalitetskrav for sediment og biota.

Cadmium

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max} 3)	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,210	0,2	3,8	1,45	1,20	2,67	<0,9	<1,6	(0,025)	-
A	1	0,2	4	1,45	5,71	2,81	<1,0	<1,6	(0,025)	-

1) Yderhavn - målte koncentrationer i Øresund: 50% af detektionsgrænse

2) Kendes ikke

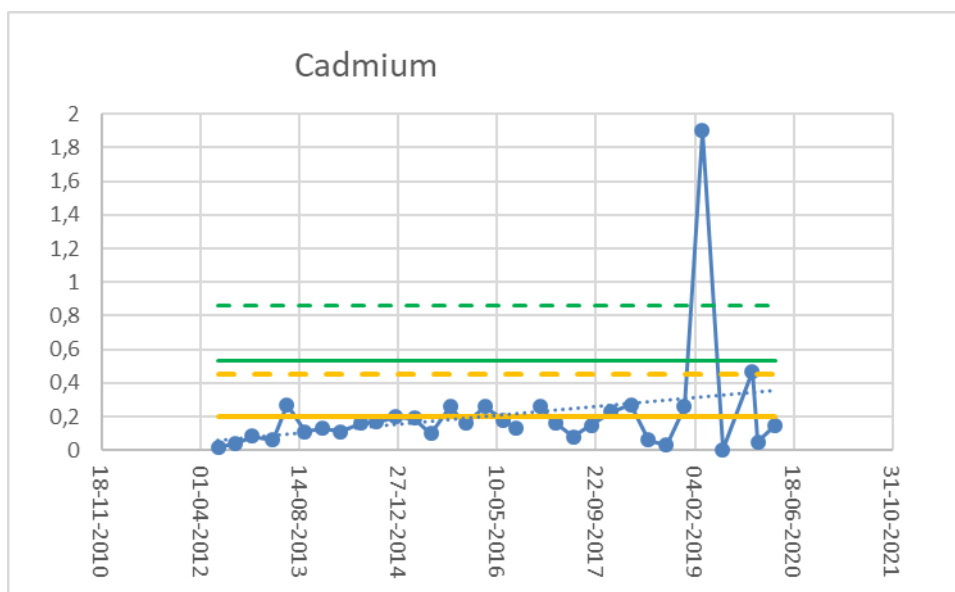
3) EU max. krav ved klasse 5 hårdhed

IFF-koncentrationen udgør ca. 13% af VKK_{gen}, og denne er medtaget i ovenstående beregning af den nødvendige fortynding. Der er dermed behov for at udpege en blandingszone som angivet i ovenstående tabel og primært i forhold til max koncentrationen.

Cadmium indgår som et af de prioriterede farlige stoffer, jf. bilag 2, Del A i bekendtgørelse nr. 1625.

Indholdet af Cadmium i det udledte perkolat fra KMC har generelt ligget stabilt lige omkring VKK_{gen} uden at vise en faldende eller stigende tendens. På denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af cadmium ikke udgør en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor en blandingszone på 10 meter.

Når der vurderes på basis af de ansøgte koncentrationer på hhv. 1 og 4 µg/l øges den krævede blandingszone til 2 m fra udledningspunktet og i 10 m afstand vil den generelle udledningskoncentration kun udgøre 4% af VKK_{gen}.



For cadmium gælder der ligeledes kvalitetskrav for sediment og biota.

Chrom

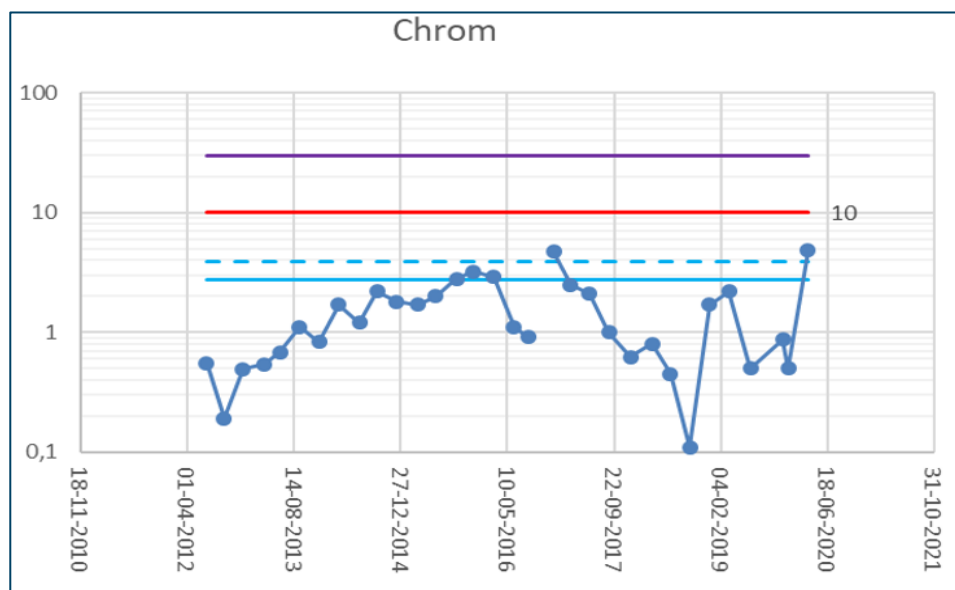
	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	2,46	3,4	3,8	17	<1	<1	<0,1	<0,1	(0,025)	-
A	10	3,4	16	17	3,17	<1	<0,4	<0,6	(0,025)	-

¹⁾ Yderhavn - målte koncentrationer i Øresund. 50% af detektionsgrænsen.

²⁾ Kendes ikke

Udledningen af Chrom har en ansøgningskoncentration, der overskrider VKK_{gen} og dermed er der behov for at udlægge en blandingszone, som angivet i tabellen ovenfor.

Grafen viser med lilla linje, det maksimale vandkvalitetskrav, med rød linje, det generelle vandkvalitetskrav, den mørkeblå linje og tilhørende punkter viser målte koncentrationer eller detektionsgrænse, de to lyseblå linjer viser gennemsnit + henholdsvis 1 og 2 gange spredning.



Indholdet af Chrom i det udledte perkolat fra KMC har generelt i monitoringsperioden ligget under VKK_{gen}. Der var en stigende tendens i starten af ifyldningen i KMC, og i de seneste år er der været en større variation, men samlet set under VKK_{gen}. Der syntes ikke at være en stigende tendens. For IFF er der ved Yderhavnen målt medianværdier på under 0,5 ug/l. I beregningerne er der medtaget en værdi svarende til 50% af detektionsgrænsen. Med et behov for fortynding på 3,2 er dette indenfor en meter fra udledningspunktet.

Når der vurderes på basis af de ansøgte koncentrationer på hhv. 10 og 16 ug/l øges den krævede blandingszone til 1 m fra udledningspunktet og i 10 m afstand vil den generelle udledningskoncentration kun udgøre 2,5% af VKK_{gen}.

På denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af chrom ikke udgør en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor blandingszonen.

Kobber

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	6,85	1,5	74	2,5	4,57	29,6	<10,3	<17,0	0,5	0,5
A	15	1,5	80	2,5	10	32	<11,1	<18,4	0,5	0,5

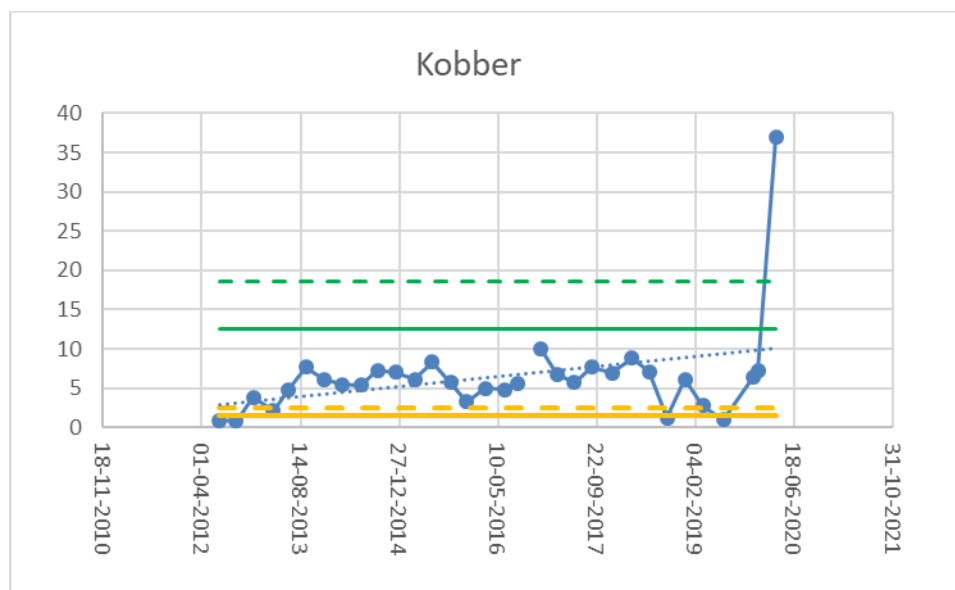
¹⁾ Yderhavnen - målte koncentrationer i Øresund

²⁾ Yderhavn. 50% af detektionsgrænse på 1

Udledningen af kobber overstiger den fastlagte VKK_{gen}. Der er dermed behov for at udpege en blandingszone. VKK_{gen}, og denne er medtaget, som angivet i tabellen ovenfor.

Betragtes bidraget fra Lynetteholmundledningen, baseret på KMC-koncentrationerne alene, vil der være et fortyndingsbehov på 4,6 gange for det generelle kriterie og 30 gange for max kriteriet for kobber. Fortyndingsbehovet forventes at kunne ske inden for en blandingszone på 17 meter fra udledningen med udledningsraten i 2023 og 10 m i efterfølgende år.

Når der vurderes på basis af de ansøgte koncentrationer på hhv. 15 og 80 ug/l øges den krævede blandingszone til godt 19 m i 2023 og 11 m i efterfølgende år, og dette vurderes tilstrækkeligt for at tilstanden i Københavns Havn ikke forværres. Kobber er dermed det stof, der kræver den største blandingszone.



Indholdet af kobber i det udledte perkolat fra KMC har i monitoringsperioden ligget umiddelbart under 10 µg/l, idet der dog i de seneste 2 år har været større udsving. Der syntes ikke at være en hverken stigende eller faldende tendens i koncentrationerne.

På baggrund heraf vurderes det, at Lynetteholms fremtidige udledning af kobber ikke vil udgøre en miljøfare for Københavns Havn uden for blandingszonen og dermed for opfyldelse af miljømålene for tilstanden af Københavns Havn.

Nikkel

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	5,8	8,6	38	34	<1	1,13	<0,4	<0,7	0,5	-
A	12	8,6	50	34	1,85	1,49	<0,5	<0,9	0,5	-

1) COWI undersøgelse, 2020.

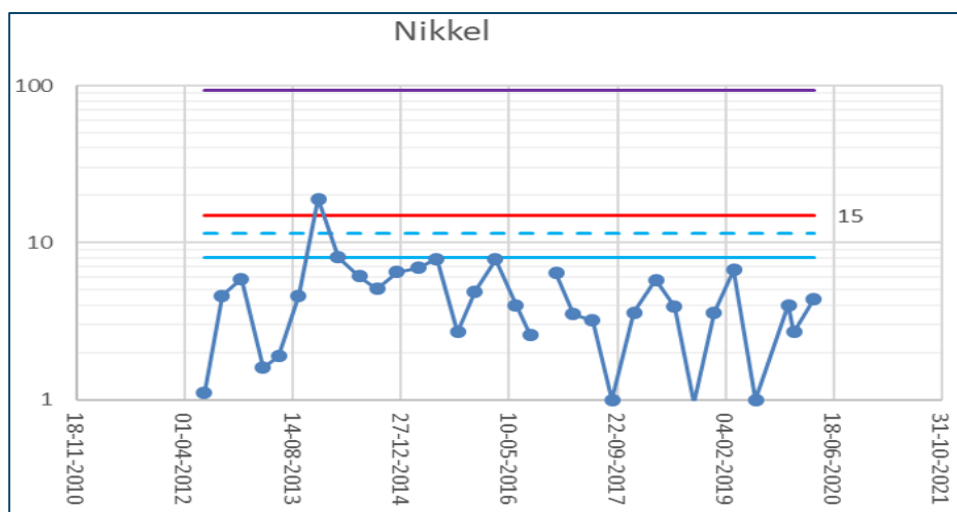
Udledningen af nikkel, baseret på KMC data, ligger under den fastlagte VKK_{gen}. Der er behov for at udpege en blandingszone, da max udledningen ligger over VKK_{max}, dog kun lidt og også fordi der i lighed med de andre metaller er brugt en forsigtighedsfaktor på 2.

Betragtes bidraget fra Lynetteholm udledningen alene, vil der være et fortyndingsbehov på 1,5 gange for max kriteriet for nikkel. Fortyndingsbehovet forventes at kunne ske inden for en blandingszone på mindre end 1 meter fra udledningen fra Lynetteholm og dette vurderes tilstrækkeligt for at tilstanden i Københavns Havn ikke forværres.

Når der vurderes på basis af de ansøgte koncentrationer på hhv. 12 og 50 µg/l øges den krævede blandingszone kun svagt og er forsat mindre end 1 m fra udledningspunktet. I 10 m afstand vil den generelle udledningskoncentration kun udgøre 1,7% af VKK_{gen}.

På denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af nikkel ikke udgør en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor blandingszonen.

Grafen viser med lilla linje, det maksimale vandkvalitetskrav, med rød linje, det generelle vandkvalitetskrav, den mørkeblå linje og tilhørende punkter viser målte koncentrationer eller detektionsgrænse, de to lyseblå linjer viser gennemsnit + henholdsvis 1 og 2 gange spredning.

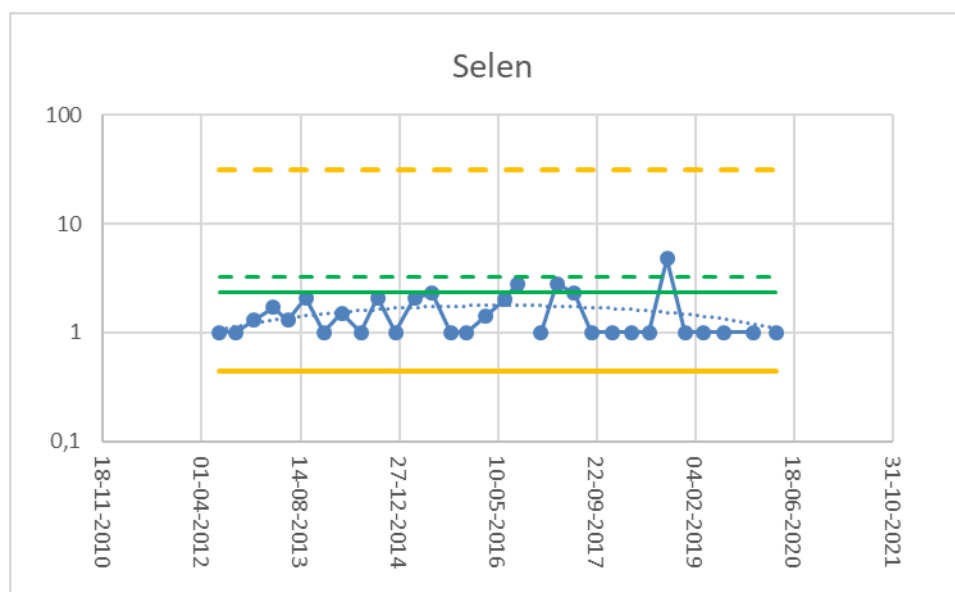


Selen

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{ma} x	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	µg/l	µg/l
N	2,11	0,08	9,6	31,36	7,04	0,31	<0,6	<1,0	0,5	0,36
A	5	0,08	15	31,36	16,7	0,48	<1,3	<2,2	0,5	0,36

¹⁾ Yderhavn

For selen er der et behov for at udlægge en blandingszone, som sikrer at udledningsbidraget fra Lynetteholm i blandingszonens rand kan siges at være ubetydelig i forhold til den estimerede IFF-koncentration af selen i vandområdet. Desuden er udledningskoncentrationen af selen højere end VKK_{gen}. Da IFF-koncentrationen overstiger VKK_{gen} er det ikke muligt at udlægge en blandingszone.



Indholdet af Selen i det udledte perkolat fra KMC har generelt ligget stabilt lige omkring VKK_{gen} uden at vise en faldende eller stigende tendens.

Udledningens påvirkning ved blandingszonens rand i forhold til VKK og den IFF-koncentration i vandområdet er som følger:

	Blandingszonens størrelse	Fortyndingsfaktor	Udledningskonc. i blandingszonens- rand (C _{bl}) [µg/L]	Udledt konc. udgør af den IFF konc. (C _{bl} /IFF)	Udledt konc. udgør af VKK (C _{bl} /VKK)
N	10m	119	0,0177	3,5%	22,1%
A	10m	119	0,0420	8,4%	52%

I vandområdet er der en estimeret påvirkning – IFF – som er cirka 6 gange større end VKK. I en afstand af 10 m fra udledningspunktet vil den resulterende koncentration, baseret på den ansøgte værdi på 5 µg/l svarer til 52 % af VKK_{gen}.

Udledningen fra Lynetteholm vurderes derfor ikke til at være en væsentlig årsag til, at VKK i vandområdet kan være overskredet udenfor en blandingszone på 10-15 m.

Tin

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,34	0,2	2	20	NA	<1	<0,1	<0,1	(0,5)	-
A	1	0,2	3	20	NA	<1	<0,1	<0,1	(0,5)	-

¹⁾ 50% af detektionsgrænsen på 1 µg/l

For tin er der et behov for at udlægge en blandingszone, som sikrer at udledningsbidraget fra Lynetteholm i blandingszonens rand kan siges at være ubetydelig i forhold til den estimerede IFF-koncentration af tin i vandområdet. Desuden er gennemsnitskoncentrationen af tin, baseret på KMC udledningen højere end VKK_{gen}, lige som IFF er højere.

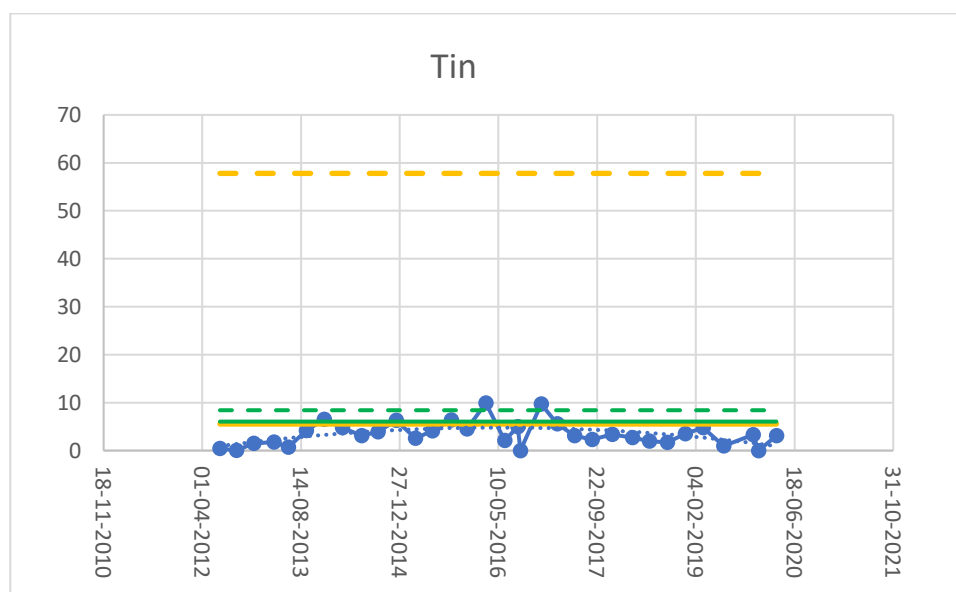
Udledningens påvirkning ved blandingszonens rand i forhold til VKK og den IFF-koncentration i vandområdet er som følger:

	Blandingszonens størrelse	Fortyndingsfaktor	Udledningskonc. i blandingszonens-rand (C _{bl}) [µg/L]	Udledt konc. udgør af den IFF konc. (C _{bl} /IFF)	Udledt konc. udgør af VKK (C _{bl} /VKK)
N	10m	119	0,003	0,57%	1,42%
A	10m	119	0,008	1,68%	4,2%

I vandområdet er der en estimeret påvirkning – IFF - som er cirka 2,5 gange større end VKK. I en afstand af 10 m fra udledningspunktet vil den resulterende koncentration, baseret på den ansøgte værdi på 1 µg/l svarer til 4,2 % af VKK_{gen}.

På denne baggrund vurderes det, at Lynetteholms forventede udledning af tin ikke udgør en risiko for overskridelse af VKK i Københavns Havn udenfor blandingszonen.

Indholdet af tin i det udledte perkolat fra KMC har generelt over VKK_{gen} med mindre udsving over perioden.



Vanadium

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	4,38	6,6	19,8	57,8	<1	<1	<0,1	<0,1	0,5	0,5
A	10	6,6	25	57,8	2,17	<1	<0,2	<0,3	0,5	0,5

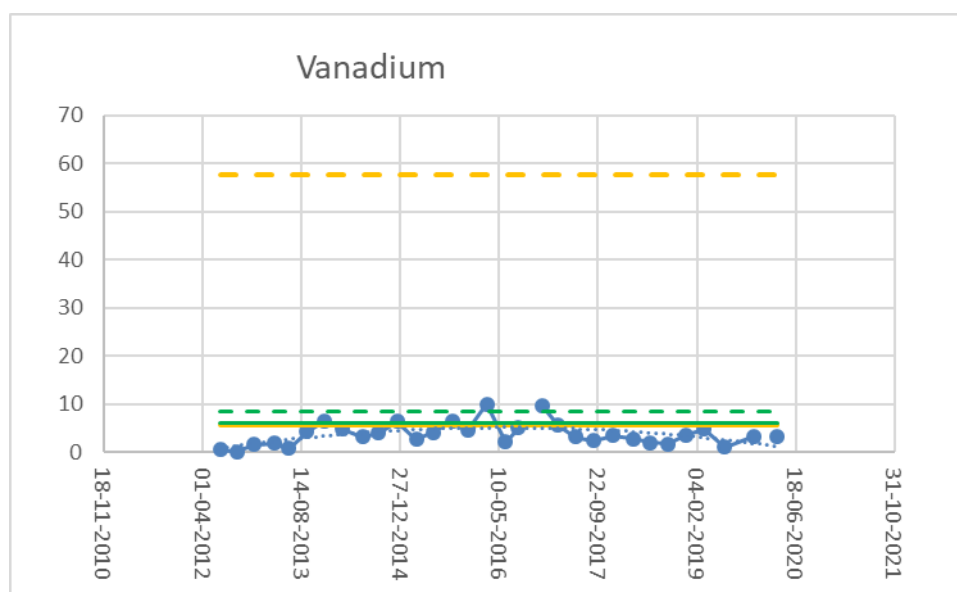
¹⁾ Gennemsnit af målinger – KMC Nordhavn (2012-2020)

IFF udgør ca. 8% af VKK_{gen}, og denne er medtaget i ovenstående beregning af den nødvendige fortynding. Der er dermed ikke behov for at udpege en blandingszone, når der ses på udledningstal fra KMC Nordhavn.

Når der vurderes på basis af de ansøgte koncentrationer på hhv. 10 og 25 µg/l er en blandingszone på 1 m tilstrækkelig til at sikre den nødvendige fortynding og i 10 m afstand vil den generelle udledningskoncentration kun udgøre 1,2 % af VKK_{gen}.

De registrerede koncentrationer i udledningen fra KMC i monitoringsperioden befinder sig generelt lige omkring eller under VKK_{gen} med en svagt faldende tendens indenfor de seneste år.

På baggrund heraf vurderes det, at Lynetteholms fremtidige udledning af Vanadium ikke vil udgøre en miljøfare for Københavns Havn og dermed for opfyldelse af miljømålene for tilstanden af Københavns Havn.



Zink

	Gennemsnit	VKK _{gen}	Max udledning	VKK _{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	14,8	8,8	78	9,4	2,02	9,87	<3,5	<5,6	2,5	1
A	30	8,8	100	9,4	4,11	12,7	<4,3	<7,2	2,5	1

¹⁾ COWI 2020

²⁾ Yderhavn 50% af måling

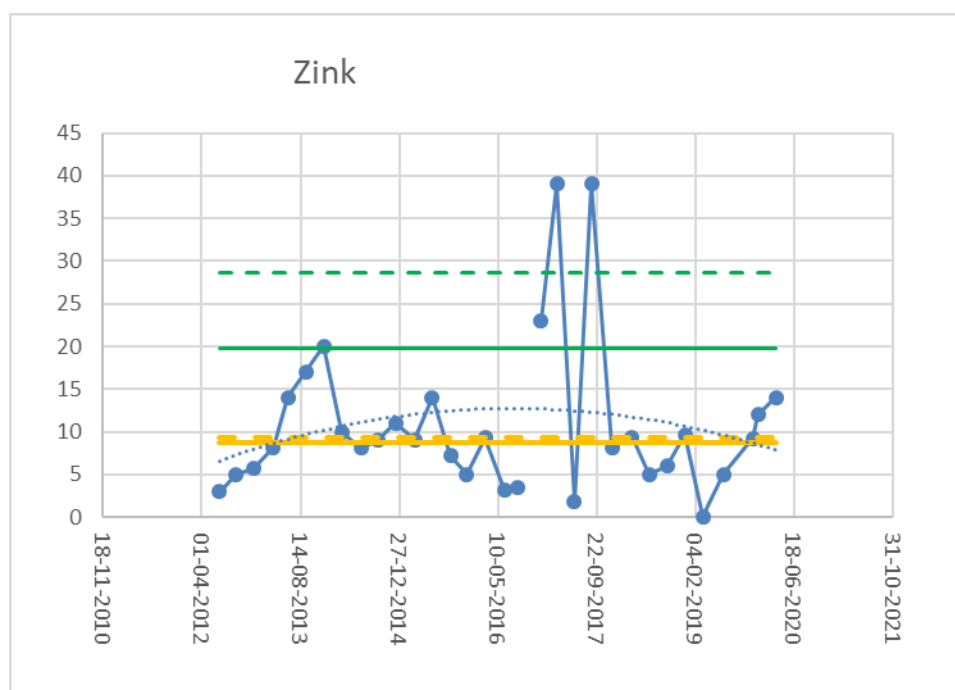
IFF udgør ca. 28% af VKK_{gen}, og denne er medtaget i ovenstående beregning af den nødvendige fortynding. Da udledningskoncentrationerne overstiger miljøkravene, er der behov for at udpege en blandingszone, som angivet i tabellen ovenfor.

Når der vurderes på basis af de ansøgte koncentrationer på hhv. 10 og 100 µg/l er en blandingszone på 4-7 m tilstrækkelig til at sikre den nødvendige fortynding og i 10 m afstand vil den generelle udledningskoncentration kun udgøre 2,9 % af VKK_{gen} .

Fortyndingsbehovet er derved mindre ift. fortyndingen i en blandingszone fra 10 til 15 meter fra udledningen (fortynding +119) og dette vurderes tilstrækkeligt for at tilstanden i Københavns Havn ikke forværres på grund af udledningen fra Lynetteholm.

I monitoringsperioden for udledningen fra KMC har de målte koncentrationer af Zink i udledningen generelt varieret omkring VKK_{gen} med enkelte væsentligt højere hhv. væsentligt lavere værdier, men der synes ikke at være hverken stigende eller faldende tendens.

På baggrund heraf vurderes det, at Lynetteholms fremtidige udledning af Zink ikke vil udgøre en miljøfare for Københavns Havn og dermed for opfyldelse af miljømålene for tilstanden af Københavns Havn.



Kviksølv

	Gennemsnit	VKK_{gen}	Max udledning	VKK_{max}	Nødvendig fortynding		Største opblandingszone, m		IFF 1)	Naturlig baggrund 2)
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	Generelt	Max.	67,7 l/s	101 l/s	(µg/l)	(µg/l)
N	0,057	-	0,52	0,07	-	7,54	<2,6	<4,3	< 0,001	-
A	0,025	-	0,1	0,07	-	1,45	<0,5	<0,9	< 0,001	-

¹⁾ IFF = seneste detektionsgrænse.

²⁾ Kendes ikke

³⁾ Alle analyser hvor resultatet er mindre end detektionsgrænsen er ansat til detektionsgrænsen.

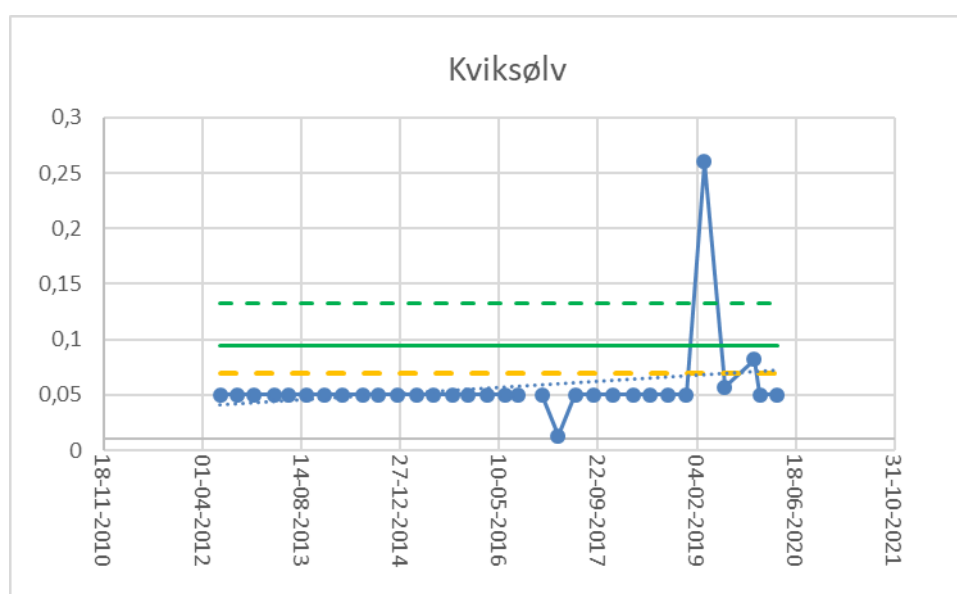
For kviksølv er der behov for at udpege en blandingszone for at sikre en tilstrækkelig opblanding for at kunne overholde VKK_{max} kriteriet på 0,07 µg/l. Der er ansøgt om en generel udledningskoncentration, som ligger under den konstaterede koncentration fra KMC. Dette skyldes primært fornyede vurderinger af udledningen og et skift i detektionsgrænse.

Der er som bekendt ikke et krav til en generel udledningskoncentration af kviksølv, men kun en for max udledning.

På basis af det ansøgte vil en udlagt blandingszone på 1 m give en tilstrækkelig fortynding til at kunne overholde max-kravet og i en afstand af 10 m fra udledningen vil koncentrationen ligge på cirka 3% af kravværdien.

I den samlede monitoringsperiode for udledningen fra Nordhavnsdeponiet er der fundet 3 analyseresultater, der er højere end detektionsgrænsen på 0,05 µg/l. I alle øvrige analyser er der ikke påvist kviksølv over detektionsgrænsen.

I 2020 er der gennemført supplerende analyser på perkolatet fra KMC med en detektionsgrænse på 0,001 µg/l, men selv med en sænket grænse blev der i de analyser ikke fundet Kviksølv, og det er derfor ikke muligt at vurdere trend i udviklingen af koncentrationerne.



Ud fra ovenstående må det antages, at koncentrationen af kviksølv generelt er mindre end 0,025 mg/l (svarende til 50% af den almindeligvis anvendte detektionsgrænse). Dertil kommer så en enkelthændelse med en max i udledningsvandet på 0,52 µg/l. Dog kunne værdien på 0,52 være en outlier, hvorfor man bør bruge værdien med forsigtighed.

Miljøkvalitetskrav for kviksølv

Der er ikke defineret et generelt krav til kviksølv, men kun et krav til det maksimale vandkvalitetskrav (VKK), hvilket for kviksølv er 0,07 µg/l. For at beskytte naturen er der i direktivet om miljøkvalitetskrav 2008/105/EF beskrevet, at man ikke forventer, alene at kunne arbejde med vandkvalitetskrav, men at man også må inddrage krav til biota. Her er der fastsat et miljøkvalitetskrav på biota (BKK) for kviksølv til 20 µg/kg vådvægt i fisk.

Vurdering af påvirkningen fra virksomhedens udledning

Vandområdet ved Lynetteholm ligger i delområdet, Københavns Havn, i hovedvandopland 2.3 Øresund og området er morfologisk karakteriseret som "Stærkt modificeret" som en naturlig konsekvens af, at området er et havneområde, og at den økologiske tilstand derfor er præget af dette faktum. Opnåelse af God Økologisk Tilstand vil derfor kun være muligt, hvis man ændrede urealistisk på hele havnen. Den nuværende tilstand er angivet som Moderat økologisk potentiale. Den kemiske tilstand er ukendt/ikke bedømt, men det er angivet i vandplanen at:

"Der må ikke ske forringelse af aktuel tilstand, herunder for de enkelte kvalitetselementer: Godt økologisk potentiale efter 22. december 2021. God kemisk tilstand senest 22. december 2021."

I det tilgrænsende vandområde Øresund er der ifølge vandområdeplanen ikke god kemisk tilstand på grund af bl.a. kviksølv i fisk.

Den samlede belastning af Øresund med kviksølv er bl.a. kortlagt af Øresundsvandsamarbejdet, der i 2005/2014 har udgivet rapporten "Miljøfarlige stoffer i Øresund, en oversigt". I rapporten angives det, at der årligt udledes ca. 75 kg kviksølv pr. år til Øresund, hovedsageligt stammende fra de kommunale spildevandsrensningsanlæg, og Lynetteholms nærmeste nabo, Lynetten Renseanlæg er ansvarlig for cirka 18 kg kviksølv/år. Desuden er havneområdet belastet af tidligere industriens udledning.

Ser man på en 30-årig periode vil Lynetteholm udlede omkring 3,39 kg kviksølv, svarende til 0,113 kg/år, hvilket er 6,6% af udledningen fra renseanlægget. Det skal igen understreges, at udledningskoncentrationerne fra KMC er baseret på ganske få analyser over detektionsgrænsen, så nedenstående estimerer er meget konservative.

Isoleret set er 0,133 kg/år måske et højt tal, men hvis man samtidig ser på, hvordan hele etableringen af Lynetteholm vil medvirke positivt til at reducere de mængder af kviksølv, der både fjernes ved den indledende afgravning og den efterfølgende inddæmning af de cirka 300 ha, som Lynetteholm kommer til at fylde, fremkommer følgende tal, som tager udgangspunkt i mediankoncentrationen i de havsedimenter og havbund, som er i spil:

Aktivitet	Kg kviksølv
Bundudskiftning: deponering af cirka 306.000 tons sediment (tørstof)	76 kg
Inddæmning af 235 ha, fratrasket 65 ha, hvor der bundskiftes (baseret på kviksølvindhold i de øverste 20 cm)	277 kg
Udledt pga. opfyldning (30-31 år)	-3,8 kg
Total	349,2 kg

Udledningen over 30 år vil således svare til cirka 1/100 af den mængde, som inddæmnes/fjernes og derved fjernes fra den bio-tilgængelige pulje. Der vil tilsvarende blive fjernet og inddæmmede store mængder cadmium, bly, nikkel, kobber og andre tungmetaller og miljøfremmede stoffer.

Undersøgelser af den naturligt forekomne og den fundne koncentration af kviksølv i danske farvande er stærkt begrænset, men der findes enkelte undersøgelser, som angiver mellem 0,001-0,003 µg/l.

Idet spildevandsmængden er begrænset i forhold til størrelsen af vandudvekslingen og opblandingsforholdene i vandområdet, vurderes det, at udledningen kun indenfor et meget begrænset område tæt på udledningsstedet vil kunne medføre en forhøjelse af det eksisterende kviksølvniveau i vandet.

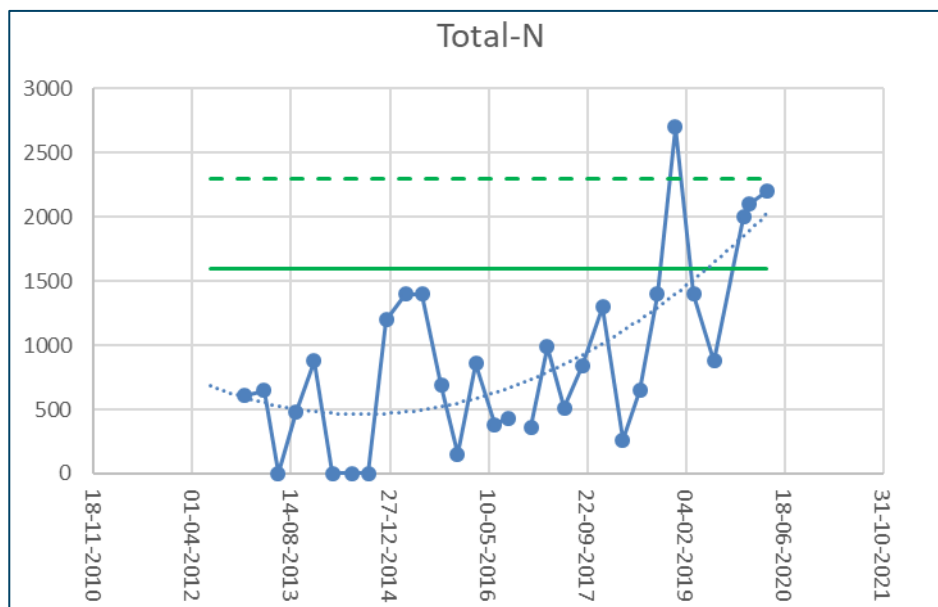
Det maksimale vandkvalitetskrav på 0,07 µg/l vil være overholdt i randen af en 10-15 m blandingszone og dermed også i vandområdet.

Samlet vurderes det på baggrund af ovenstående, at den absolut maksimale udledning af kviksølv fra Lynetteholm i sig selv er ubetydelig for vandområdets tilstand, og at der allerede i kort afstand fra udledningen ikke vil være nogen betydende forhøjelse af det i forvejen forekommende indhold af kviksølv i vandet. Udledningen vurderes således ikke at have betydning for opfyldelse af biota kravet for kviksølv i vandområderne Københavns

Havn eller Øresund som helhed og vil heller ikke være medvirkende til, at der sker en forringelse af tilstanden eller hindre at miljømålene for vandområderne kan opfyldes. Dertil skal lægges, at opbygningen af Lynetteholm vil fjerne cirka 92,6 kg kviksølv fra sedimenterne i området.

Kvælstof (total-N)

Kvælstof er ikke omfattet af direkte vandkvalitetskrav. Herunder ses grafen for koncentrationsudviklingen i vandet i KMC-depotet.



Det fremgår, at der er målt varierende koncentrationer over de 8 år og at gennemsnitlig koncentration ligger på 0,891 mg/l kvælstof. Der er en relativt kraftig stigning over de seneste år og de seneste målinger fra 2020 ligger på knap 2,5 mg/l.

Der er ikke en umiddelbar forklaring på den konstaterede stigning, da deponering af jord over de 8 år principielt burde have haft mere eller mindre de samme koncentrationer. Derfor er det ikke muligt at give et mere præcist billede af, hvordan kvælstofkoncentrationen vil udvikle sig i Lynetteholm inddæmningen. I de første år vil der være et opblandingsvolumen på godt 30 mio. m³, som gradvist vil reduceres med cirka 1 mio. m³ /år og derfor må man forvente at man i mange år vil se koncentrationer, der er mere på linje med baggrundskoncentrationerne i havvandet og at der først i slutningen af inddæmningens levetid eventuelt vil kunne ske en øgning af koncentrationen, som så delvist vil være påvirket af den atmosfæriske belastning. Den forventede koncentration af kvælstof i udledningen er så lav, at der næppe findes rensemetoder, der teknisk og økonomisk vil være i stand til at nedbringe koncentrationen væsentligt.

Den fremtidige udledning af kvælstof sker til Øresundskysten og forventes hurtigt fordelt i et stort område primært op langs Øresundskysten.

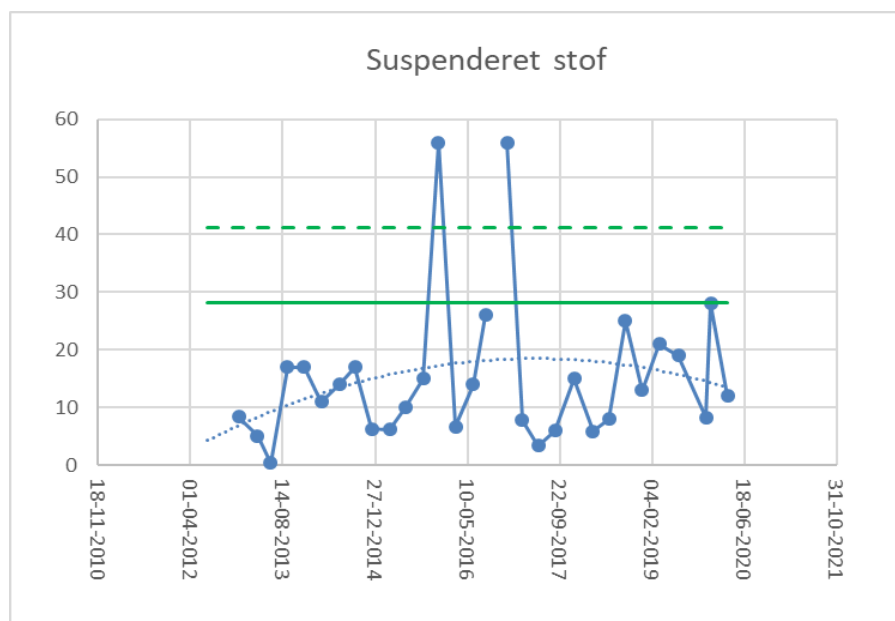
Der er en 2021 baselinebelastning på 1.111,7 t/år og et indsatsbehov på 269,8 ton kvælstof/år. Konstruktionen af Lynetteholm vil medvirke til at indkapsle eller fjerne op mod 1.000 tons total-N!

Hvis man tager udgangspunkt i de målte koncentrationer fra KMC's udledning og bruger gennemsnittet på 0,89 mg/l vil man med en årlig udledningsmængde på cirka 2,16 mio. m³ få en årlig tilførsel på cirka 2,9 tons Total-N, hvilket svarer til 0,26% af baseline belastningen til området, eller 1,1% af indsatsbehovet. I den sammenhæng skal det så

understreges, at der er tale om en temporær belastning, selv om den kommer til at vare i 30 år. Samlet set vurderes udledningen ikke at ville påvirke området målbart.

Suspenderet stof

Herunder vises udviklingen i koncentrationen af suspenderet stof. Der er ikke direkte krav til udledning af dette stof, men suspenderet stof kan lokalt påvirke lysnedtrængning til havbunden og derved begrænse udbredelse af bundvegetation.



Koncentrationen af suspenderet stof har i KMC depotet været svagt stigende gennem monitoringsperioden. Med en fortynding på +119 inden for en afstand af 10-15 meter vil den udledte koncentration blive bragt ned i samme størrelsesorden som den naturlige koncentration og derfor forventes udledningen ikke at ville påvirke havområderne. Reservoirets størrelse i sig selv er en forebyggende foranstaltning i de første mange år, idet vandindtag for udledning og opfyldsområde kan placeres langt fra hinanden. I praksis betyder dette at vandindtagslokationen flyttes adaptivt. Desuden kan der etableres foranstaltninger med siltgardin i området omkring vandindtaget til pumpen, når/hvis sedimentkoncentrationen og de hertil bundne stofkoncentrationer i udledningen bidrager væsentligt til de målte totalkoncentrationer.

7.1.7 Påvirkning af sediment

Vurderinger ift. sediment tager udgangspunkt i K_d -værdier (fordelingskoefficient mellem koncentration af et stof adsorberet til sediment og koncentrationen i vandfasen). Desuden er der taget udgangspunkt i en udledningsmængde, der svarer til 67,7 l/s, således at der kan bruges fortyndingsforhold. Det er valgt ikke at se på max-situationer, da det må formodes, at det er den generelle udledning over de mange år, der vil medføre den potentielt største ændring i sedimentets sammensætning.

Stofkoncentrationen i sedimentet estimeres som:

$$C_{sed} = C_w (g/l) \times K_d (l/(kgTS));$$

hvor:

C_{sed} = Koncentrationen i sedimentet ($\mu g/kgTS$)

K_d = Fordelingskoefficienten ($l/kgTS$)

C_w = Koncentrationen i vandfasen

Naphtalen

Cw i udledningspunktet (µg/l)	Cw i rand af blandingszonen 1) (µg/l)	Kd 2) (l/kgTS)	Csed v. udledningspunktet (mg/kgTS)	Csed v. rand af blandingszonen (mg/kgTS)	SKK mg/kg TS
0,0383	0,00032	35	0,0013	$1,13 \cdot 10^{-5}$	0,138
0,05	0,00042	35	0,0018	$1,5 \cdot 10^{-5}$	0,138

¹⁾ 10m blandingszone, 119 gange fortynding

²⁾ Miljøstyrelsens datablad - 2013 for naphtalen

C_{sed} udgør under cirka 9 % af SKK (sedimentkvalitetskriterium) = 0,138 mg/kgTS ved randen af blandingszonen i forhold til den ansøgte udledningskoncentration. Ved kanten af en blandingszone på 10 m udgør C_{sed} knap 0,01% af SKK og vil hurtigt aftage med afstanden herfra. Det vurderes på denne baggrund, at udledningen af Naphtalen fra den fremtidige udledning fra Lynetteholm ikke vil medføre en overskridelse af miljøkvalitetskriteriet for sediment i recipienten.

Anthracen

Cw i udledningspunktet (µg/l)	Cw i rand af blandingszonen 1) (µg/l)	Kd 2) (l/kgTS)	Csed v. udledningspunktet (mg/kgTS)	Csed v. rand af blandingszonen (mg/kgTS)	SKK mg/kg TS
0,0111	$9,3 \cdot 10^{-5}$	739	0,0082	$6,9 \cdot 10^{-5}$	0,0048
0,01	$8,4 \cdot 10^{-5}$	739	0,0074	$6,2 \cdot 10^{-5}$	0,0048

¹⁾ 10m blandingszone, 119 gange fortynding

²⁾ Miljøstyrelsens datablad 2013 for anthracen

C_{sed} er ved udledningspunktet knap 2 gange SKK = 0,0048 mg/kgTS, når der regnes på koncentrationerne fra KMC. Ved kanten af en blandingszone på 10 m udgør C_{sed} ca. 1,4% af SKK og vil hurtigt aftage med afstanden herfra. For den ansøgte udledningskoncentration på 0,01 µg/l udgør C_{sed} ved randen af 10-m blandingszonen 1,3 % af SKK.

Det vurderes på denne baggrund, at udledningen af anthracen fra Lynetteholm ikke vil medføre en overskridelse af miljøkvalitetskriteriet for sediment i recipienten.

Bly, cadmium og vanadium

I vurderingen af tungmetallerne Bly, Cadmium og Vanadium er der brugt de samme forudsætninger om sedimentets sammensætning, som for KMC, mens det potentielle spredningsareal er på 870 Ha. Dette areal er fundet ved at se på en analyse af, hvor der deponeres kvælstof ved en udledning i løbet af en sommermåned (Figur 7-20), selv om det i princippet nok drejer sig om væsentligt større områder. Desuden er der taget højde for en årligt udledt vandmængde på 2.134.990 m³, som forventes at være den årligt maksimale udledning over 30-31 år. De enkelte elementer i beregningerne fremgår af nedenstående informationsboks. De anvendte IFF-koncentrationer er fra NOVANA stationen KBHLYN.

Areal	870 Ha							
Densitet sediment	1.300 kg/m ³							
Tørstof sediment	20 %							
Vertikal spredning i sediment	2 cm							
Modtager sediment	45.240 tons TS							
Vandmængde/år	2.134.987 m ³							
Stof	C _{udl}	Udledt mængde	Bidrag til sediment konc./år	IFF koncentration	SKK	Overskridelse af SKK	Overskridelse af SKK + IFF	Bidrag i forhold til IFF
	ug/l	g/år	mg/kg TS	mg/kg TS	mg/kg TS	År	År	%
Bly	3,24	6.917.359	0,1529036	14	163	1066	974	1,07
Cadmium	0,21	448.347	0,0099104	0,1	3,8	383	373	9,9
Vanadium	4,38	9.351.244	0,206703	?	23,6	114	?	

De årlige bidrag til sedimentkoncentrationen er forskellige med 1,07 % bidrag for bly og 9,9 % bidrag for Cadmium i forhold til IFF-koncentrationen. Da der ikke er fundet en IFF for Vanadium, kan der ikke beregnes en tilsvarende procent for dette stof. Trods de store bidrag vil der dog gå betydeligt flere år før SKK rammes og da udledningen i opfyldningsfasen forventes afsluttet i løbet af 30-31 år forventes udledningen ikke at medvirke til at SKK overskrides. Det er naturligvis klart, at der er andre kilder til belastningen, herunder KMC, men den drosles kraftigt ned i de nærmeste år. Samlet set vurderes belastningen derfor ikke alene at kunne påvirke udviklingen i sedimenternes indhold af bly, cadmium og vanadium inden for en betydelig årrække. Det vurderes derfor, at udledningen fra Lynetteholm ikke vil medføre overskridelse af gældende SKK, og at udledningen derfor ikke vil hindre opfyldelse af miljømålene for den økologiske og kemiske tilstand af vandområdet.

7.1.8 Påvirkning på biota

For at vurdere påvirkningen af udledningen på biota er der anvendt en metode, som Miljøstyrelsen har anvist i forbindelse med godkendelse af KMC. Metoden er baseret på, at koncentration i vand afspejler koncentration i biota, hvorfor stigninger i vandkoncentrationer bør give de samme stigninger i biota. Der er set på en afstand af 1 m og 50 m. De allerede observerede biotabelastninger i området er taget fra NOVANA stationen KBHLYN. Derfor er der også anvendt de samme kriterier og beregninger, som Miljøstyrelsen har brugt i deres vurderinger, naturligvis justeret i forhold til fortyndingsgrader. Disse principper er afspejlet i nedenstående tabel.

Tabel 7-18 Miljøkvalitetskrav for biota, samt målte IFF-koncentrationer fra NOVANA station KBHLYN. Der er anvendt en fortyndingsgrad på 13,5 gange 1 m fra udledning og 448 gange i 50 m afstand fra udledningen.

	MKK biota	IFF biota	%-stigning 1 m fra udledning	Ny biota konc 1 m fra udledning	%-stigning 50 m fra udledning	Ny biota konc 50 m fra udledning
Enhed	ug/kg VV	ug/kg VV	%	ug/kg VV	%	ug/kg VV
Bly	110	400				
Cadmium	160	190				
Kviksølv	20	37	185,2	105,5	5,58	39,1
Vanadium	122		148		4,46	
Tetrachlorethylen			148		4,46	

	MKK biota	IFF biota	%-stigning 1 m fra udledning	Ny biota konc 1 m fra udledning	%-stigning 50 m fra udledning	Ny biota konc 50 m fra udledning
Tetrachlormethan			22,2		0,67	
Trichloretylen			37		1,12	
Acenaphthen		1,02	222,2	3,29	6,70	1,09
Anthracen	2400	0,2	74,1	0,35	2,23	0,2
Benz(a)pyren	5	1,08	74,1	1,88	2,23	1,1
Benz(b+j+k)-fluoranthren		4,33	74,1	7,54	2,23	4,43
benz(g,h,i)perylene		1,52	74,1	2,65	2,23	1,55
Pyren		2,17	370,4	10,21	11,16	2,41
Flouranthren	160	3,03	370,4	14,25	11,16	3,37
Indeno(1,2,3cd)pyren		1,21	74,1	2,11	2,23	1,24
Naphtalen	2400	1,8	90,33	3,43	2,72	1,85
Phenanthren		3,44	740,7	28,92	22,32	4,21

Herunder er lavet en gennemgang af de betydende stoffer og de forventede påvirkninger på biota. Da ovennævnte beregninger, som er baseret på Miljøstyrelsens arbejde med KMC, skal der tages hensyn til, at tabellen er lavet på basis af den forventede koncentration i udledningstilladelsen til KMC. Der må derfor forventes mindre afvigelser i forhold til den kommende udledning fra Lynetteholm. Så vidt muligt er der anvendt en Bio-koncentration factor, BCF, til at vurdere de enkelte stoffers potentiale for bioakkumulation.

Bly:

Ifølge datablad fra MST anses en overholdelse af MKK_{vand} krav for at sikre overholdelse af MKK_{biota}. Den ansøgte udledningskoncentration for bly ligger på 12 µg/l mod et MKK_{vand} krav på 1,3 µg/l og dette krav forventes overholdt inden for 2 m fra udledningspunktet. Derfor skønnes det, at en blandingszone på 50 m i rigeligt grad vil sikre denne overholdelse af MKK_{biota}.

Cadmium:

Som for bly forventes det, at en overholdelse af MKK_{vand} krav vil sikre en overholdelse af MKK_{biota}. For Cadmium gælder det, at der er ansøgt om en koncentration på 1 µg/l og der er et MKK_{vand} krav på 0,2 µg/l. MKK_{vand} kravet forventes derfor opfyldt inden for 2 meter fra udledningspunktet og inden for en blandingszone på 50 m er kravet naturligvis også opfyldt for MKK_{biota}.

Kviksølv:

Der henvises til beskrivelsen af kviksølv i foregående afsnit. Det er vigtigt at notere, at der i løbet af 8 år kun blev fundet 3 positive analyser med kviksølv og selv ved skift til en analysemetode med en lavere detektionsgrænse på 0,001 µg/l gav i 2020 ingen positive resultater. Det må derfor antages at udledningen af kviksølv er særdeles ringe og kun meget sjældent kommer over detektionsgrænsen. Der er ansøgt om en udledningskoncentration på 0,025 µg/l. MKK_{Max} kravet forventes opfyldt inden for 1-2 meter fra udledningspunktet og inden for en blandingszone på 50 m er kravet naturligvis også opfyldt for MKK_{biota}.

Det skal også tilføjes, at hvor man i KMC kun har modtaget forurenede jord vil man i Lynetteholm modtage 60% forurenede og 40% uforurenede jord, hvilket kan betyde et endnu lavere niveau for kviksølv.

Vanadium

Der er ikke et MKK_{biota} krav. Vanadium udledes med en gennemsnitskoncentration på 4,38 $\mu\text{g/l}$ mod en MKK_{vand} på 6,6 $\mu\text{g/l}$ (incl IFF) og der er ansøgt om en udledningskoncentration på 10, så kravet vil derfor være overholdt i både 1 og 50 m fra udledningspunktet.

Trichlorethylen

Miljøstyrelsen vurderer, at trichlorethylen kun i ringe grad er bio-akkumulerbart, hvilket understøttes af en BCF på 30. Derfor forventes der ikke at være påvirkninger på biota.

Tetrachlormethan

Stoffet har en BCF på 8,9 og anses derfor ikke som en potentiel kilde til bioakkumulering. Derfor forventes der ikke at være påvirkninger på biota.

Tetraclourethylen

Stoffet har en BCF på 50 og anses derfor ikke som en potentiel kilde til bioakkumulering. Derfor forventes der ikke at være påvirkninger på biota.

Acenaphthen

Stoffet har en BCF på 279 og kunne derfor godt have et potentiale for bioakkumulering. Imidlertid er der ansøgt om en udledningskoncentration på 0,03 $\mu\text{g/l}$, som svarer til 23% af MKK_{vand} , og i en afstand af 50 m fra udledningspunktet vil koncentrationen være faldet til $6,7 \cdot 10^{-5} \mu\text{g/l}$. Der forventes ikke at være påvirkninger på biota.

Anthracen

Stoffet har en BCF på 4.750 og har derfor et stort potentiale for bioakkumulering. Stoffet er ansøgt udledt med en koncentration på 0,01 $\mu\text{g/l}$, svarende til cirka 10% af MKK_{vand} og vil i 50 m afstand være nede på $2,2 \cdot 10^{-5} \mu\text{g/l}$. Der forventes ikke at være påvirkninger på biota.

Benz(a)pyren

Stoffet har en BCF på 608 og har derfor et potentiale for bioakkumulering. Der ansøges om at udlede en koncentration på 0,01 $\mu\text{g/l}$, som er cirka 58% af MKK_{vand} . I en afstand af 50 meter fra udledningspunktet vil koncentrationen være nede på $2,2 \cdot 10^{-5} \mu\text{g/l}$. Forøgelsen af koncentrationen af benz(a)pyren i biota i en afstand af 50 m fra udledningspunktet kan så beregnes til ca. 1,1 %.

Med den lave koncentration på randen af en blandingszone på 50 m vurderes det, at udledningen af benz(a)pyren fra Lynetteholm ikke giver anledning til overskridelse af $MKK_{biota} = 5 \mu\text{g/kgVV}$. Der er fundet op til 1,15 μg benz(a)pyren/kg VV i musling, som må anses for at være områdets IFF. Der er således et stykke op til MKK_{biota} og derfor vurderes det, at udledning fra Lynetteholm ikke udgør en risiko for overskridelse af MKK_{biota} af benz(a)pyren.

Pyren

Stoffet har en BCF på 1470 og har derfor et potentiale for bioakkumulering. Der er søgt om en udledningskoncentration på 0,05 $\mu\text{g/l}$. I 1 m fra udledningen kan der være en forøgelse på 10,2 % og i 50 m afstand en forøgelse på 2,41 % i forhold til udledningen. Der forventes ikke at være påvirkninger på biota.

Fluoranthen

Stoffet har en BCF på 2770 og har derfor et potentiale for bioakkumulering. Der er søgt om en udledningskoncentration på 0,05 $\mu\text{g/l}$. I 1 m fra udledningen kan der være en forøgelse på 14,25 % og i 50 m afstand en forøgelse på 3,37 % i forhold til udledningen. Der forventes ikke at være påvirkninger på biota grundet den lave koncentration i udledningen.

Der er fundet op til 3,03 µg flouranthen/kg VV i muslinger, som må anses for at være områdets IFF. Med en MKK_{biota} på 160 µg/kgVV anses udledningen fra Lynetteholm ikke at udgøre en risiko for overskridelse af MKK_{biota} af flouranthen.

Naphtalen

Stoffet har en BCF på 279 og kunne derfor godt have et potentiale for bioakkumulering. Der er søgt om en udledningskoncentration på 0,05µg/l mod et MKK_{vand} på 2 µg/l og i en afstand af 50 m fra udledningspunktet vil koncentrationen være faldet til $1 \cdot 10^{-3}$. Der forventes ikke at være påvirkninger på biota.

Phenanthren

Stoffet har en BCF på 2770 og har derfor et potentiale for bioakkumulering. Der er søgt om en udledningskoncentration på 0,1µg/l mod et MKK_{vand} på 1,3µg/l og i en afstand af 50 m fra udledningspunktet vil koncentrationen være faldet til $2 \cdot 10^{-3}$. Der forventes ikke at være påvirkninger på biota grundet den lave koncentration i udledningen, som kun udgør 7,7 % af MKK_{vand} .

7.1.9 Potentiel påvirkning fra udledt Total-N på Natura2000 områder

I COWI's vurdering for udledningen for KMC er der set på udledning af kvælstof /21/. Da KMC-depotet står til at være helt fyldt op i løbet af få år, er der naturligvis set på de seneste års kvælstofkoncentrationer som udgangspunkt for hvilken koncentration, udledningen sker med. Der er konservativt valgt en værdi på 2,5 mg N/l.

Ser man imidlertid på udviklingen i udledningskoncentrationerne fra KMC fremgår det, at der er sket en gradvis forøgelse af Total-N og nitrit/nitrat koncentrationerne i udledningen, mens der ikke spores den samme koncentrationsforøgelse i data fra NOVANA stationen Øresund Syd.

Tabel 7-19 Udvikling i Total-N og Nitrit/nitrat koncentrationer i hhv. KMC-depotet og på NOVANA stationen Sydlige Øresund i 5-års intervaller.

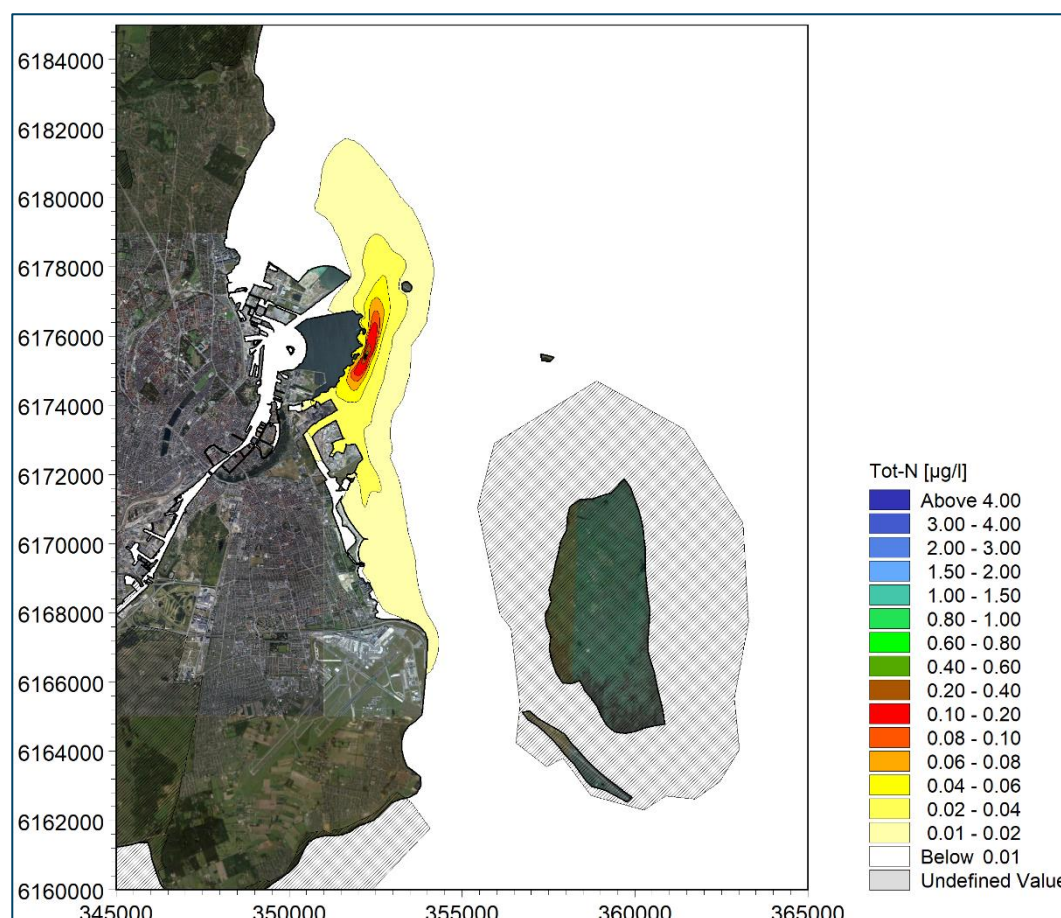
	KMC Total-N	KMC Nitrit/nitrat	NOVANA Total-N	NOVANA Nitrit/nitrat
5-års intervaller	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Gennemsnit 2012-17	772	183	277	19
Gennemsnit 2013-18	888	183	276	20
Gennemsnit 2014-19	940	183	280	21

KMC-depotet er væsentligt mindre end Lynetteholm området og derfor må man forvente, at den opkoncentrering, der ses i KMC depotet, ikke på samme måde vil ske i Lynetteholm inden for de første mange år. Derfor bør en vurdering af kvælstofudledningerne fra Lynetteholm vurderes ud fra målingerne fra KMC, og her er det antaget cirka 0,9 mg/l Total-N, som ligger i den høje ende af den udvikling, der er sket i depotet. Ser man på nitrit-nitrat koncentrationen fra KMC er den på cirka 20-23 % af Total-N koncentrationen, svarende til cirka 0,18 mg/l og det er den fraktion, som er den biotilgængelige, og som bør indgå i vurderingen af en fremtidig udledningskoncentration.

Ser man på den årlige udledningsmængde af Total-N og Nitrit/nitrat i et normal år med 67,7 l/s flowrate, svarer det til cirka 1,950 kg total-N, og cirka 390 kg nitrit/nitrat, som vist i Tabel 7-20.

Tabel 7-20 Udledte mængder af Total-N og Nitrit/nitrat ved henholdsvis 101,0 l/s og 67,7 l/s.

	Udlednings koncentration	Udledningsmængde	
		101 l/s kg/år	67,7 l/s kg/år
Kvælstof	0,9	2.867	1.949
Nitrit-Nitrat	0,18	574	390

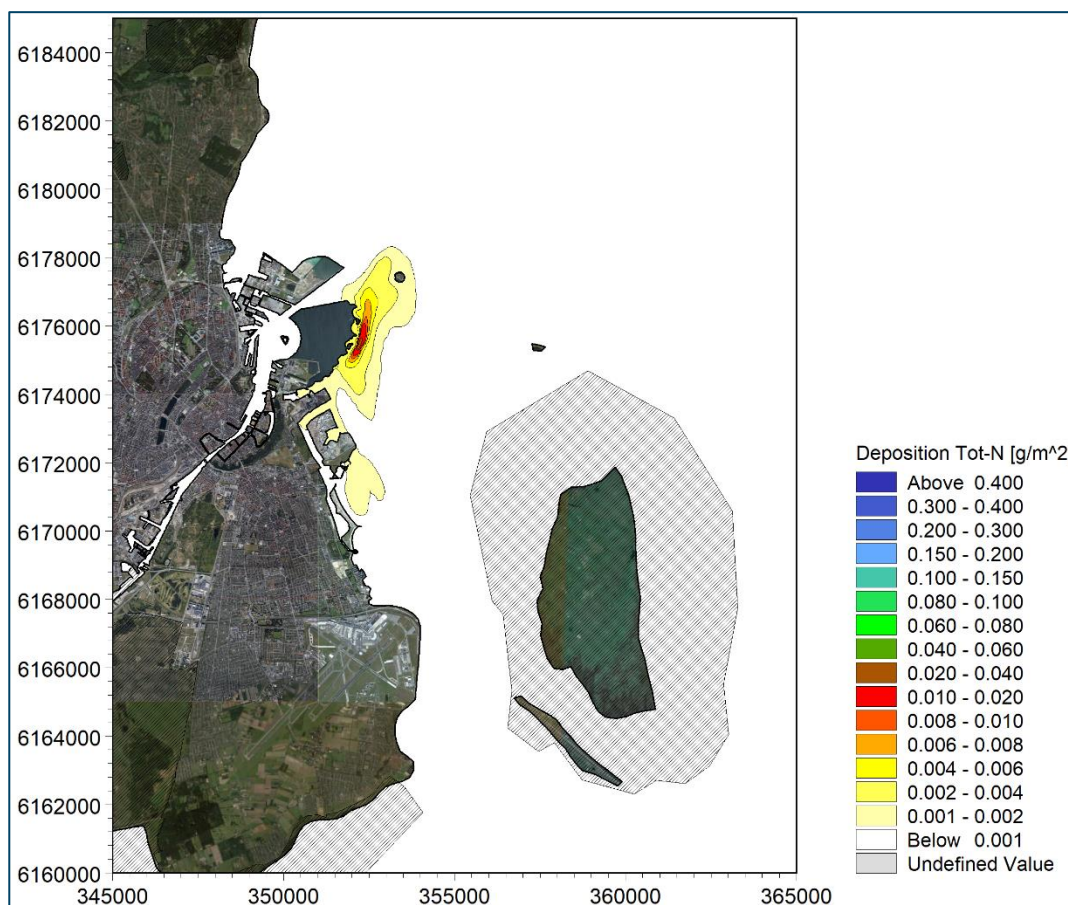


Figur 7-19 Tilført Total-N fra udledningen fra Lynetteholm, Hovedforslag 2, driftsfasen. Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder

For at belyse spredningen fra udledningen fra Lynetteholm er der lavet et konservativt estimat baseret på spredningsprismet for total suspenderet stof fra udledningen og baseret på en sommermånedes udledning, hvor der er de ringeste strøm- og vindforhold. Spredning af den udledte mængde kvælstof er konservativt vurderet på basis af en beregning af udledning af suspenderet stof og der er således ikke taget stilling til omsætning af kvælstof inden for det spredningsområde, som er vurderet. Der er brugt en skaleringsfaktor på 17,17 mellem TSS og Total-N, baseret på de koncentrationsmæssige forhold mellem de to stoffer i tallene fra KMC. Der er specielt fokus på at vurdere, hvor meget kvælstof, der potentielt vil ende i de to Natura2000 områder ved Saltholm og syd for Amager. Herunder er der lavet en vurdering for spredning af Total-N i driftsfasen, hvor

der kun udledes fortrængningsvand fra Lynetteholm. Der er brugt en koncentration på 0,9 mg/l Total-N.

I Figur 7-19 ses udbredelsen af tilføjet Total-N og man ser tydeligt tendens til en nordgående bevægelse, væk fra de to Natura2000 områder. Figur 7-20 viser den forventede deposition af Total-N fra samme udledning.



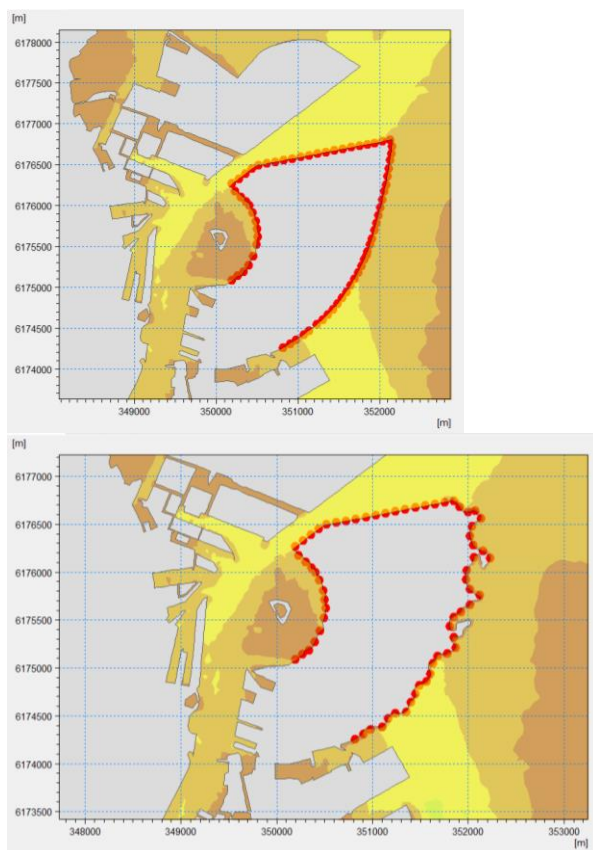
Figur 7-20 Deposition af Total-N som funktion af udledning fra Lynetteholm. Grå maske angiver udstrækning af Natura2000 områder.

7.1.10 Fortynding ved diffus udledning

Overskudsvand udledes fra nyttiggørelsesområdet via en punktudledning, men da området etableres uden brug af en tætnet spuns, er der udført en række fortyndingsberegninger, som viser hvordan fortyndingen ville være hvis udsivningen af overskudsvand fandt sted langs med dele af perimeteren. Fortyndingsberegningerne er udført ved at lægge en række kilder langs med opfyldningens ydre perimeter. Da perimeterens dæmninger er smallest omkring vandlinjen, er det valgt at lægge kilderne i de to øverste vandceller, som repræsenterer de øverste 20 % af vanddybden ud for perimeteren.

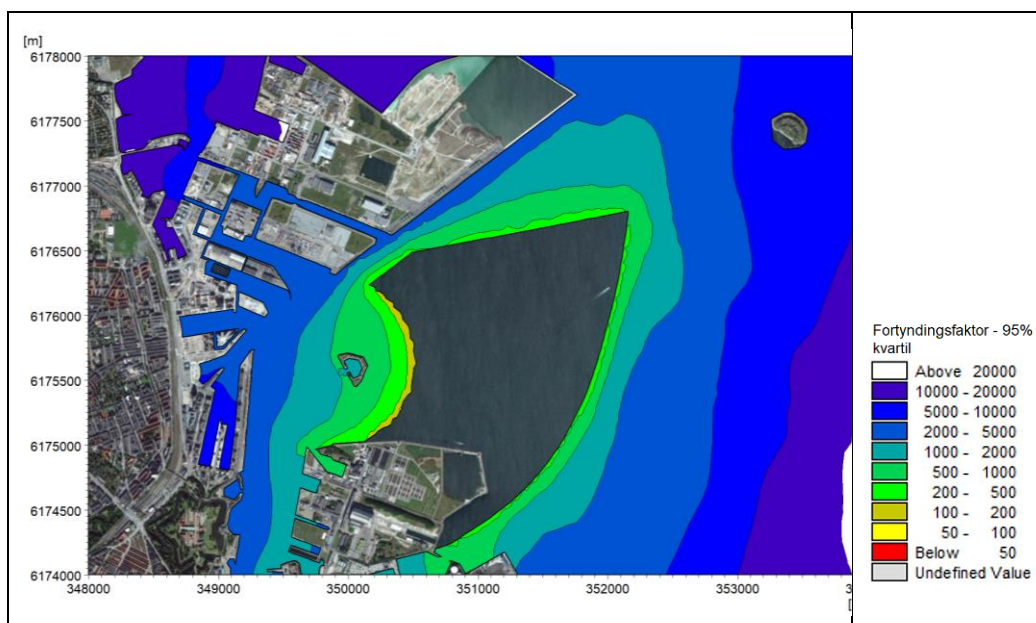
I det første scenarie antages der at være udsivning langs hele den vandomkransede del af perimeteren. Med Hovedforslag 1 fordeles den samlede udledning (fra fortrængning og nettonedbør) på 69,0 l/s på 134 kilder placeret som vist i Figur 7-21. Hvert punkt repræsenterer to kilder, idet der er defineret en udledning i de to øverste lag. Fra hver enkelt punktkilde udledes der derfor 0,5149 l/s. Med Hovedforslag 2 fordeles den samlede udledning på 67,7 l/s ligeledes på 134 kilder. Fra hver enkelt punktkilde er udledningen

derfor 0,5052 l/s. Udsivningsperimeteren er cirka 6.560 m lang i Hovedforslag 1, hvilket betyder at den gennemsnitlige afstand mellem punktkilderne er 91 m. Da der er tale om en kvalitativ modellering, vurderes det ikke at udgøre et problem at gennemsnitsafstanden mellem de indsatte kilder er under 100 m, som krævet i deponeringsbekendtgørelsen. Med Hovedforslag 2 er udsivningsperimeteren cirka 7.950 m lang, hvilket betyder at den gennemsnitlige afstand mellem kilderne er 118 m. De to yderste kilder er placeret i en afstand større end 50 m fra perimeterens afslutning.



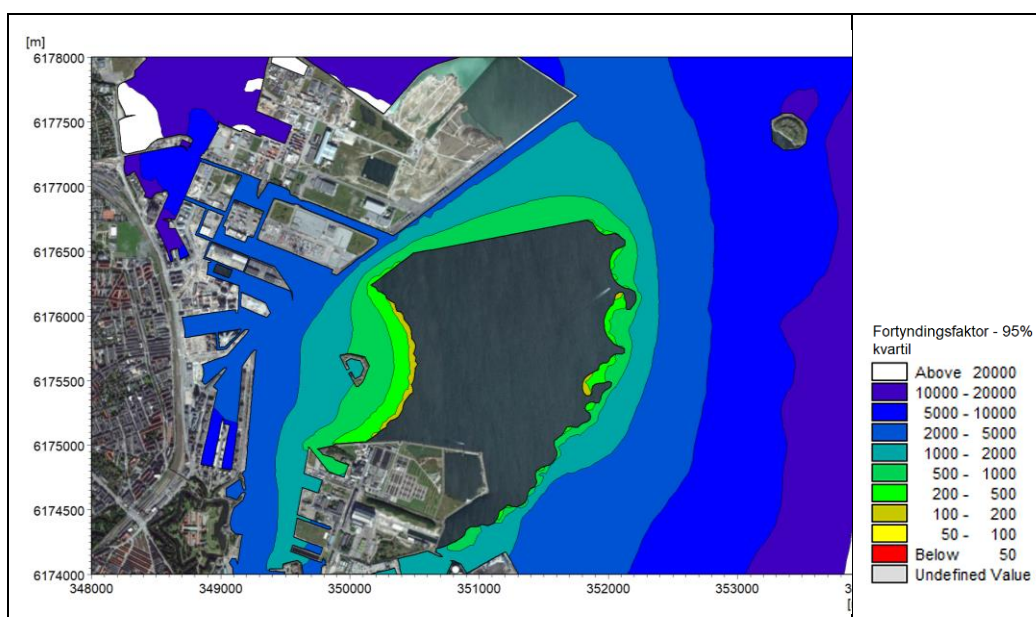
Figur 7-21 Kildeplacering for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 ved diffus udledning lang hele den vandomkransede perimeter.

I Figur 7-22 er der vist et fortyndingskort for diffus udsivning langs hele den vanddækkede Hovedforslag 1 perimeter. Fortyndingsberegningen er foretaget for en sommermåned (juli 2018), hvor vandskiftet (og opblandingen) helt generelt vil være ringere end i vinterhalvåret. Fortyndingsforholdene er fundet som ved en 95 % fraktil for koncentrationen i det lag over dybden med højest koncentration, og som udtrykker den værdi som kun er overskredet i 5 % af tiden. Fortyndingsfaktoren er fundet som den reciprokke af den relative fortynding. Den mindste fortyndingsfaktor i en afstand af 50 m fra opfyldningen er fundet til ~185, hvilket er bedre end hvad der er fundet for punktudledningen (maksimumkriteriet), jf. afsnit 7.1.4.1.



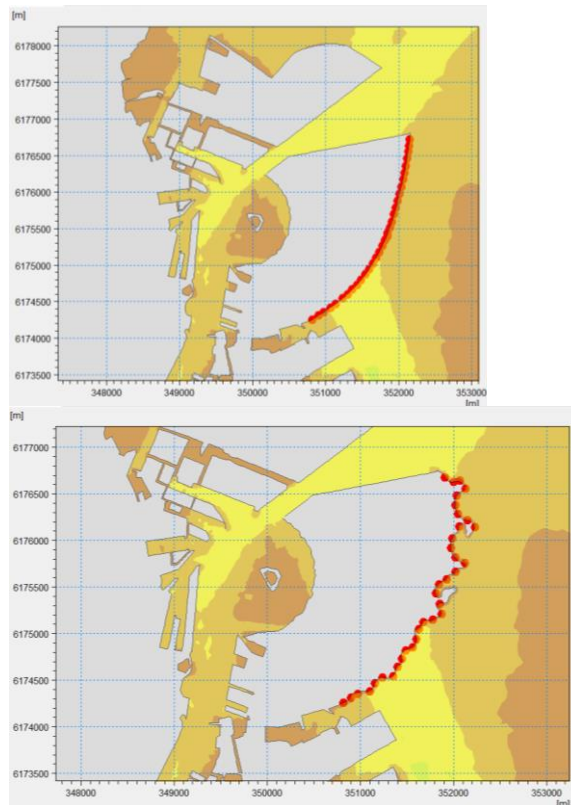
Figur 7-22 Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95 % fraktile for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 1 langs hele den vandomkransede perimeter.

I Figur 7-23 er der vist et fortyndingskort for diffus udsivning langs hele den vanddækkede Hovedforslag 2 perimeter. Fortyndingsberegningen er foretaget for en sommermåned (juli 2018), hvor vandskiftet (og opblandingen) helt generelt vil være ringere end i vinterhalvåret. Fortyndingsforholdene er fundet som ved en 95 % fraktile for koncentrationen i det lag med højest koncentration over dybden og som udtrykker den værdi som kun er overskredet i 5 % af tiden. Fortyndingsfaktoren er fundet som den reciprokke af den relative fortynding. Den mindste fortyndingsfaktor i en afstand af 50 m fra opfyldningen er fundet til ~195, hvilket er bedre end hvad der er fundet for punktudledningen (maksimumkriteriet), jf. afsnit 7.1.4.2.



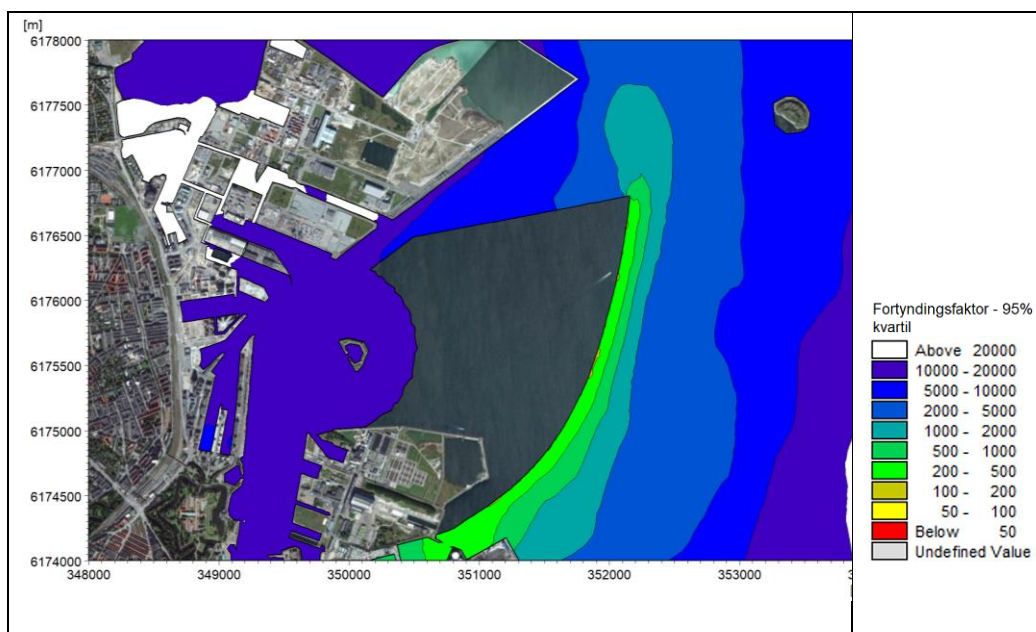
Figur 7-23 Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95% fraktile for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 2 langs hele den vandomkransede perimeter.

I det andet scenarie antages der at være udsivning alene langs hele den østlige del af perimeteren. Med Hovedforslag 1 fordeles den samlede udledning på 69 l/s på 64 kilder placeret som vist i Figur 7-24. Fra hver enkelt punktkilde udledes der derfor 1,078 l/s. Med Hovedforslag 2 fordeles den samlede udledning på 67,7 l/s på 70 kilder. Fra hver enkelt punktkilde er udledningen derfor 0,967 l/s.



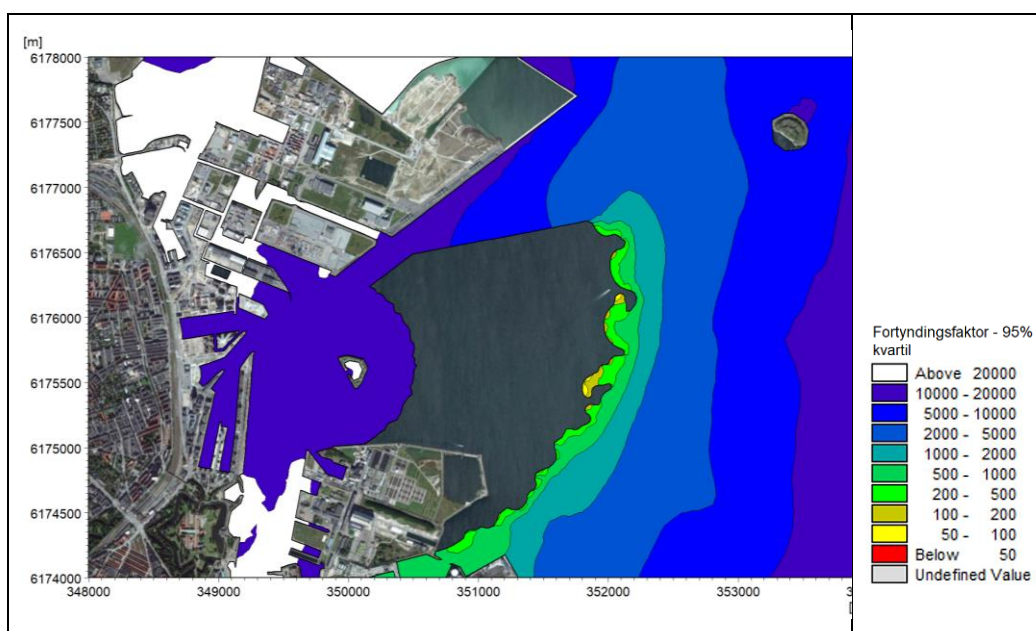
Figur 7-24 Kildeplacering for Hovedforslag 1 og Hovedforslag 2 ved diffus udledning lang hele den østlige perimeter.

I Figur 7-25 er der vist et fortyndingskort for diffus udsivning fra Hovedforslag 1 langs den østlige perimeter. Fortyndingsberegningen er foretaget for en sommermåned (juli 2018), hvor vandskiftet (og opblandingen) helt generelt vil være ringere end i vinterhalvåret. Fortyndingsforholdene er fundet som ved en 95 % fraktil for koncentrationen i det lag med højest koncentration over dybden og som udtrykker den værdi som kun er overskredet i 5 % af tiden. Fortyndingsfaktoren er fundet som den reciprokke af den relative fortynding. Den mindste fortyndingsfaktor i en afstand af 50 m fra opfyldningen er fundet til ~280, hvilket er bedre end hvad der er fundet for punktudledningen (maksimumkriteriet), jf. afsnit 7.1.4.1.



Figur 7-25 Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95 % fraktile for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 1 langs den østlige perimeter.

I Figur 7-26 er der vist et fortyndingskort for diffus udsivning fra Hovedforslag 2 langs den østlige perimeter. Fortyndingsberegningen er foretaget for en sommermåned (juli 2018), hvor vandskiftet (og opblandingen) helt generelt vil være ringere end i vinterhalvåret. Fortyndingsforholdene er fundet som ved en 95 % fraktile for koncentrationen i det lag med højest koncentration over dybden og som udtrykker den værdi som kun er overskredet i 5 % af tiden. Fortyndingsfaktoren er fundet som den reciprokke af den relative fortynding. Den mindste fortyndingsfaktor i en afstand af 50 m fra opfyldningen er fundet til ~200, hvilket er bedre end hvad der er fundet for punktudledningen (maksimumkriteriet), jf. afsnit 7.1.4.2.

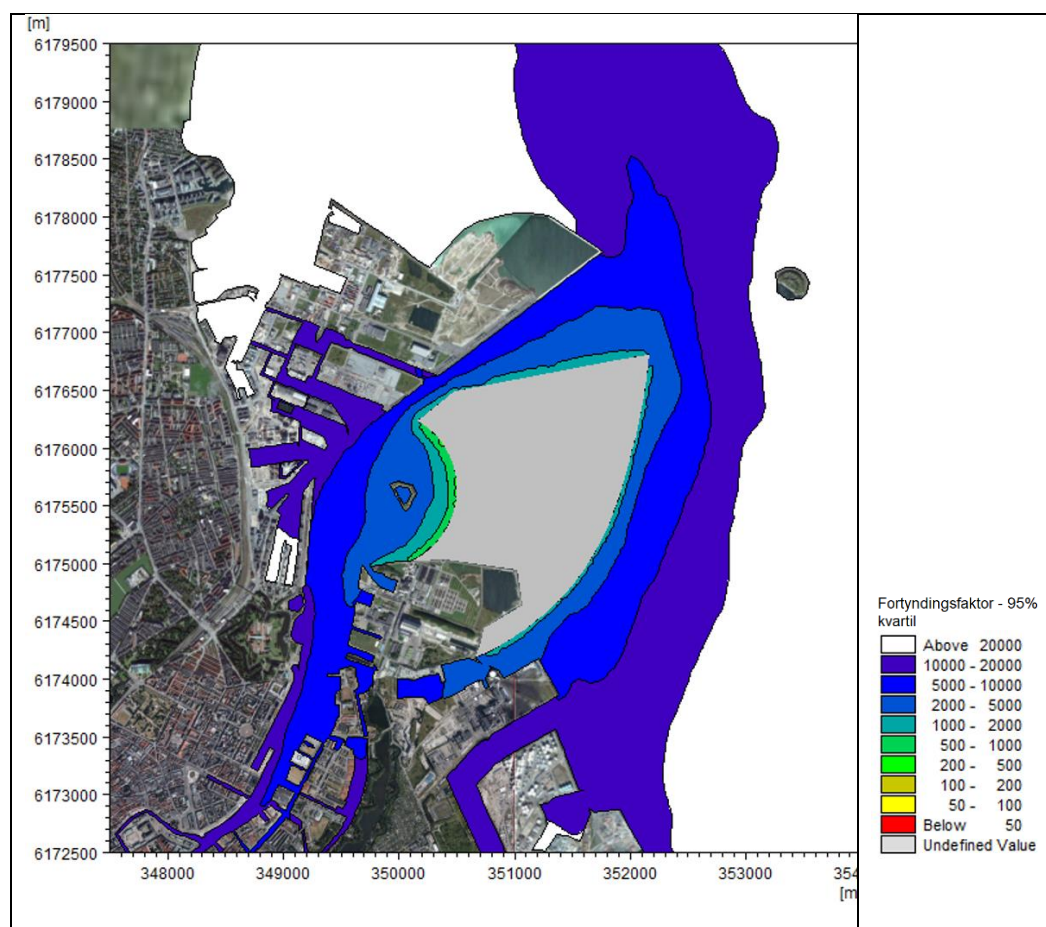


Figur 7-26 Iso-linjer for fortyndingsfaktorer og relativ fortynding baseret på en 95 % fraktile for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 2 langs den østlige perimeter.

7.2 Udsivning af overskudsvand fra nyttiggørelsesområde efter opfyldning

Efter nyttiggørelsesområdets opfyldning vil der kun finde en naturlig udsivning sted fra nettonedbøren, som inklusiv et klimabidrag skønnes at være 220 mm/år/m². For Hovedforslag 1 svarer det til en gennemsnitlig årlig udledning på 18,3 l/s. I afsnit 7.1 blev det påvist at udsivning af fortrængningsvand ved ifyldning og nettonedbør ikke vil give anledning til en overskridelse af gældende miljøkrav. Miljøkravet vil derfor også være opfyldt for begge Hovedforslag, når der alene ses på udsivning af bidrag fra nettonedbør.

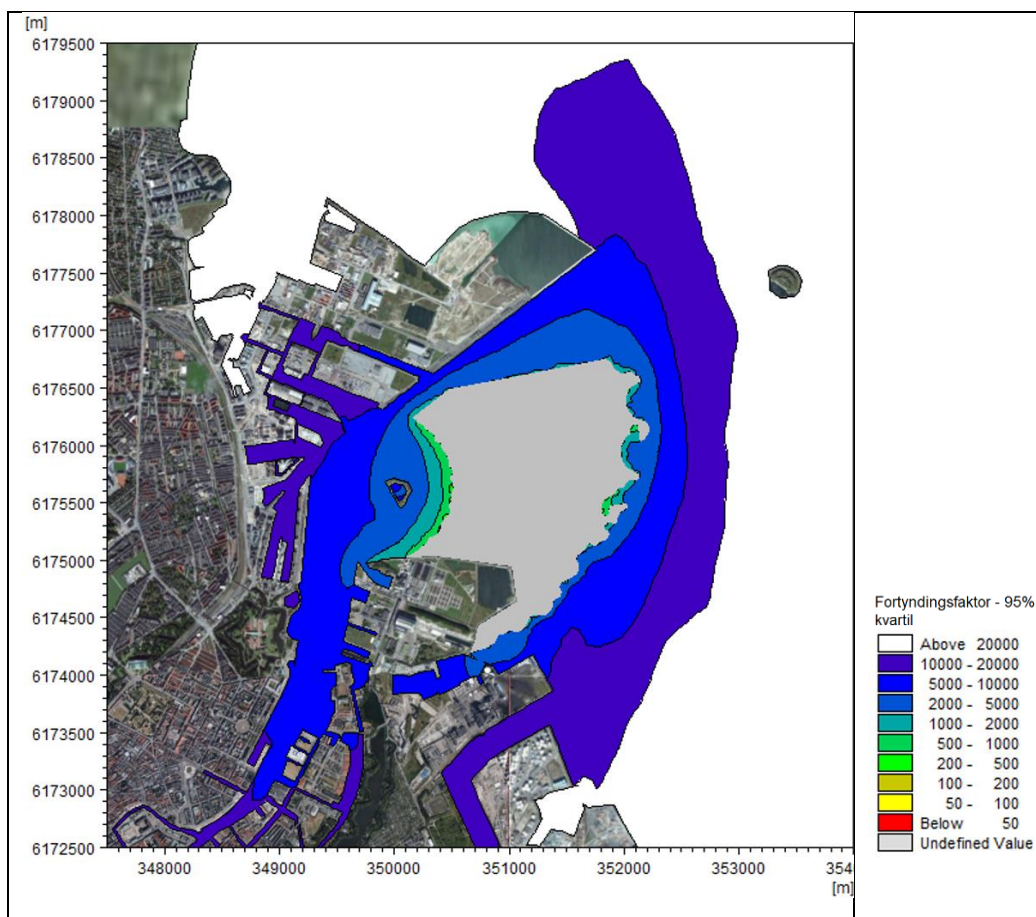
Et fortyndingskort for diffus udsivning af nettonedbør langs hele den vanddækkede Hovedforslag 1 perimeter er vist i Figur 7-27. Fortyndingsberegningen er foretaget for en sommermåned (juli 2018), hvor vandskiftet (og opblandingen) helt generelt vil være ringere end i vinterhalvåret. Fortyndingsforholdene er fundet som ved en 95% fraktil for koncentrationen i det lag med højest koncentration over dybden og som udtrykker den værdi som kun er overskredet i 5% af tiden. Fortyndingsfaktoren er fundet som den reciprokke af den relative fortynding. Den mindste fortyndingsfaktor i en afstand af 50 m fra opfyldningen er fundet til ~1000 (maksimumkriteriet). Miljøkrav til fortynding, vil derfor være opfyldt helt tæt på perimeteren.



Figur 7-27 Iso-linjer for fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning af nettonedbør fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 1 langs hele den vanddækkede perimeter.

For Hovedforslag to er bidraget fra nettonedbør 17 l/s. Et fortyndingskort for diffus udsivning af nettonedbør langs hele den vanddækkede Hovedforslag 2 perimeter er vist

i Figur 7-27. Også her er den mindste fortyndingsfaktor i en afstand af 50 m fra opfyldningen fundet til ~1000 (maksimumkriteriet). Miljøkrav til fortynding, vil derfor være opfyldt helt tæt på perimeteren.



Figur 7-28 Iso-linjer for fortyndingsfaktorer baseret på en 95% fraktil for den relative koncentration (maksimum over dybden) ved diffus udledning af nettonedbør fra nyttiggørelsesområde Hovedforslag 2 langs hele den vandomkransede perimeter.

8 Referencer

- /1/ DHI rapport i samarbejde med LICEngineering a/s for Øresundsbro Konsortiet: Zero Solution in Relation to Effects on Cod Recruitment in the Baltic Sea, December 2002
- /2/ DMI: Vejret i Danmark – Sommer 2018
- /3/ DMI: Vejret i Danmark – Vinter 2017-18
- /4/ DMI: Vejret i Danmark – Vinter 2018-19
- /5/ Reeh, N: Isens fysiske egenskaber. ISVA – DTU 1972
- /6/ Miljø- og Fødevareministeriet, Kystdirektoratet: Højvandsstatistikker 2017, februar 2018
- /7/ Kystdirektoratet: Landbevægelser i Danmark, Oktober 2011
- /8/ HOFOR: Grønt regnskab Amagerværket 2016
- /9/ HOFOR: Grønt regnskab Amagerværket 2014
- /10/ Københavns Belysningsvæsen og Middelgrundens Vindmøllelaug I/S: VVM-redegørelse for Vindmøllepark på Middelgrunden – Redegørelse for de miljømæssige konsekvenser
- /11/ <https://www.geus.dk/udforsk-geologien/laering-om-geologi/viden-om/viden-om-grundvand/vandets-kredsloeb/>
- /12/ COWI for By & Havn: Lynetteholm, Datarapport, Sedimentationsforsøg, maj 2020.
- /13/ <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/15342/5/5/2>
- /14/ <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/15562/5/5/2>
- /15/ <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/16063/5/5/2>
- /16/ <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/16146/5/5/2>
- /17/ Allison, J. D., & Allison, T. L. (2005). Partition coefficients of metals in surface water, soil and waste. EPA/600/R-05/074, July 2005. USEPA.
- /18/ DHI A/S (2020). Lynetteholm. Forundersøgelser og kortlægning af bundvegetation og -fauna. Opdateret med resultater fra udvidet undersøgelsesområde og sedimentkemi.
- /19/ <https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/SQuiRTs.pdf>
- /20/ Miljøstyrelsen (1999). Økotoksikologisk vurdering af begroingshindrende biocider og biocidfrie bundmalinger. Miljøprojekt 507.
- /21/ COWI (2020) Lynetteholm. Datarapport. Miljøkemi. Til By & Havn, August 2020.
- /22/ DCE (2014): Baggrunds niveau for barium, zink, kobber, nikkel og vanadium i fersk- og havvand. (Rapport).
- /23/ Miljøstyrelsen (1986) Miljøprojekt 71. Kviksølv i havnesedimenter.
- /24/ HELCOM Indicators (2018) Metal core indicators.

- /25/ Miljøstyrelsen 1979. Sørestaurering. Simple stofbalance- og eutrofieringsmodellers anvendelse i recipientplanlægningen januar 1979. Miljøprojekter no. 16. ISSN 0105-3094, ISBN 87-503-2915-4. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1979/87-503-2915-4/pdf/87-503-2915-4.pdf>
- /26/ Vandkvalitetsinstituttet & Dansk Geoteknisk Institut, 1988. Oxygen demand and nutrient release during dredging operations in Great Belt. Rapport til A/S Storebæltsforbindelsen. Juni 1988.
- /27/ Vandkvalitetsinstituttet & COWIconsult 1988. Supplementary investigations of the oxygen consumption during dredging operations. Rapport til A/S Storebæltsforbindelsen, September 1988.
- /28/ Dansk Hydraulisk Institut, LICengineering A/S, SOWIconsult & Vandkvalitetsinstituttet, 1989. Environment impacts caused by dredging operations, disposal operations and total impact assessments. Rapport til A/S Storebæltsforbindelsen, februar 1989.
- /29/ Vandkvalitetsinstituttet 1987. Sedimentundersøgelser i Isefjorden. Rapport til Vestsjællands Amtskommune. December 1987
- /30/ Vandkvalitetsinstituttet 1988. Sedimentundersøgelser i Korsør Nor. Rapport til Vestsjællands Amtskommune. Maj 1988
- /31/ Vandkvalitetsinstituttet 1990. Sedimentundersøgelse i Skælskør Fjord. Rapport til Vestsjællands Amtskommune. Januar 1990.
- /32/ Mortensen P. B., H. Skovgaard Jensen, E. K. Rasmussen, F. Østergaard Andersen, 1992. Fosforomsætning i sedimentet i Århus Bugt. Havforskning fra Miljøstyrelsen nr. 17. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/1992/87-7810-006-2/pdf/87-7810-006-2.pdf>
- /33/ Jensen Henning Skovgaard, Bo Thamdrup 1993. Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. Hydrobiologia 253 P47-49 1993.
- /34/ Jensen H.S., F.Ø. Andersen, E.K. Rasmussen, A. Jensen. Phosphorus cycling in coastal marine sediment, Aarhus Bay, Denmark. Limnol. Oceanogr. 40(5) P908-917 1995.
- /35/ Vandkvalitetsinstituttet (VKI) 1993 (siden 2000 del af DHI). Miljømæssig vurdering af uddybning af Grådyb. Delrapport nr. 10. Iltforbrug og næringssaltsfrigivelse fra sedimenter i Grådybet. Rapport til Statsadministrationen Esbjerg, august 1993. ISBN 87-89963-11-3. <https://www.sonderhohavn.dk/userfiles/Delrapport10Laboratorieforsog.pdf>
- /36/ Vandkvalitetsinstituttet 1996. Sedimentundersøgelser i Isefjorden. Rapport til Vestsjællands Amtskommune. Februar 1996.
- /37/ COWI-Lahmeyer Joint Venture, 1998. Fehmaren Belt Feasibility Study Coast-to-Coast Investigations Investigation of Environmental Impact. Environmental Evaluation of Soils. Teknisk note til Femeren A/S, November 1998.
- /38/ DHI/IOW/MariLim Consortium. 2013. Fehmarenbelt fixed link marine biology services (FEMA). Marine Soil-Baseline seabed chemistry of the Fehmarnbelt area including assessment of chemical risk of sediment suspension, E1TR0054-Volume

II. ISBN 978-87-92416-33-9, Maj 2013. Rapport til Femeren A/S.
<https://vvmdocumentation.femern.com/11.%20E1TR0056%20Vol%20II2fb9.pdf?filename=files/BR/11.%20E1TR0056%20Vol%20II.pdf>

- /39/ COWI 2020. Lynetteholm. Datarapport, Miljøkemi. Rapport til Udviklingsselskabet BY & HAVN I/S. Maj 2020.
- /40/ COWI/VKI Joint Venture 1993b. Investigation of Soil Samples from Test Dredgings in the Øresund. Oxygen consumption.
- /41/ COWI/VKI Joint Venture 1993a. Investigation of Soil Samples from Test Dredgings in the Øresund. Nutrients. Øresundskonsortiet.
- /42/ Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Environmental Quality Standards (EQS). Substance Data Sheet. Priority Substance No. 21. Mercury and its Compounds. Cas-no. 7439-97-6. Final version Brussel, 15 January 2005.
- /43/ Miljøstyrelsen: Miljøgodkendelse til permanent og midlertidig forøgelse af deponeringskapaciteten samt mining (fraførsel af materiale) inklusiv tilladelse til direkte udledning af spildevand og tilladelse efter Miljøvurderingsloven. For Københavns Kommune, Kalvebod Miljøcenter (KMC) – Nordhavnsdeponiet 21. september 2020.
- /44/ Middelgrunden en statusbeskrivelse, Københavns Miljøkontrol, januar 1997, 15 sider.
- /45/ COWI: Vurdering af ændret udledning fra Nordhavnsdeponiet af 27-06-2020.

BILAG

BILAG A – Hydrodynamisk model

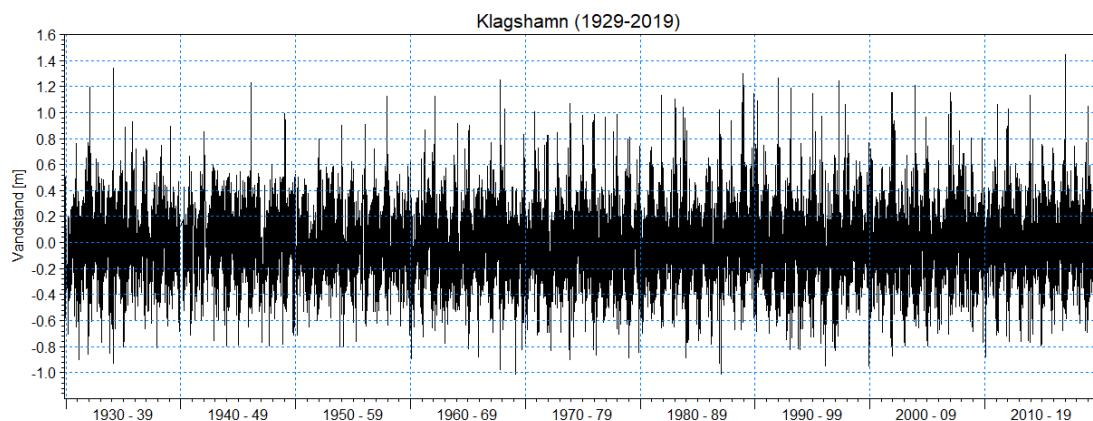
Modelkalibrering

A Modelkalibrering/validering af vandstand og saltholdighed

Dette afsnit indeholder dokumentationen for den anvendte hydrodynamiske models evne til at beskrive de hydrauliske forhold.

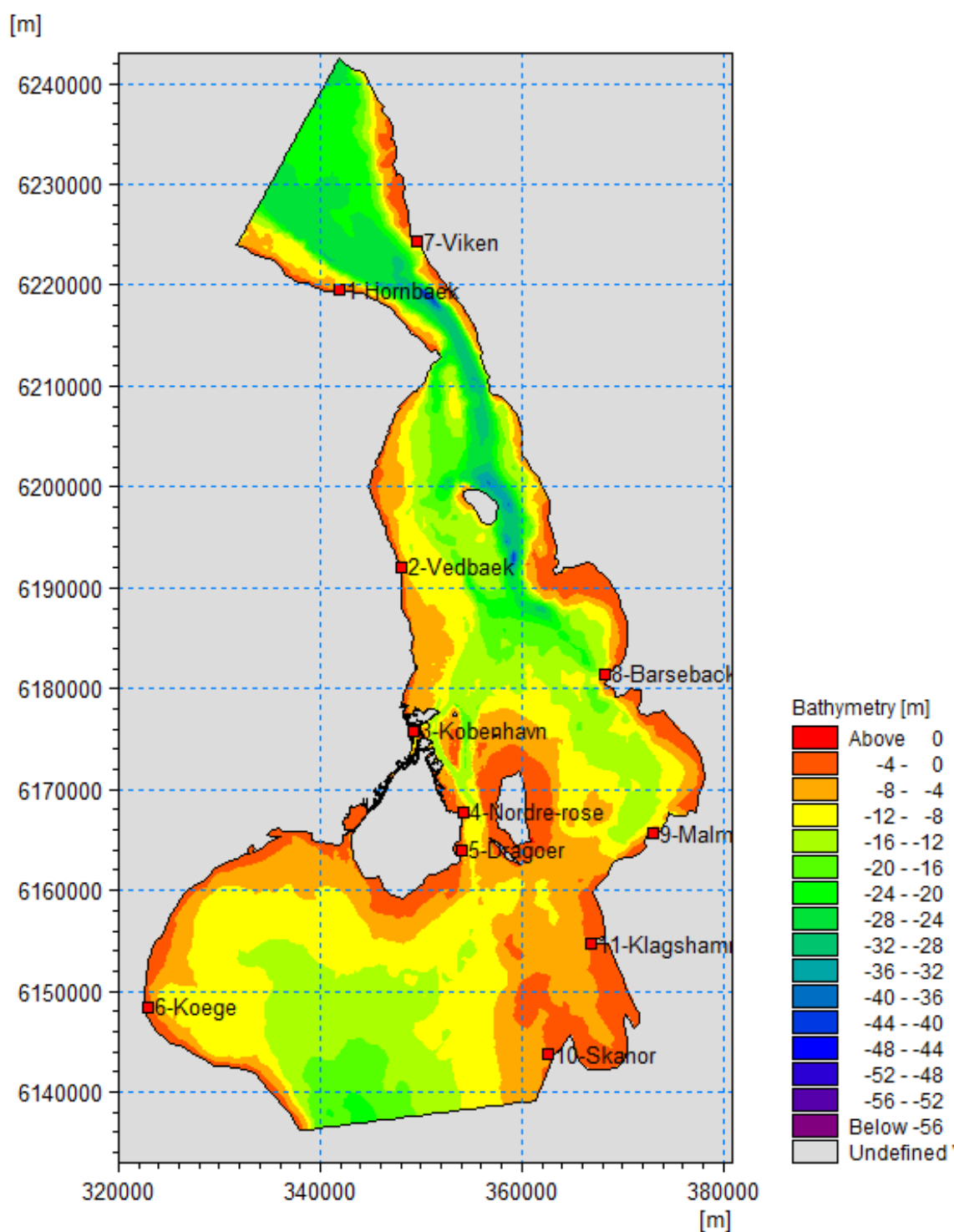
A.1 Vandstand

Både fra dansk og svensk side er der stor interesse for de hydrodynamiske tilstande i Øresund. Til validering og kalibrering af modellen har der således været adskillige vandstandsmålinger tilgængelige. De svenske data går således også langt tilbage. I denne undersøgelse er der brugt målinger fra Viken, Barsebäck, Malmø Havn, Klagshamn og Skanør. Disse målinger daterer tilbage til henholdsvis 1976, 1982, 2009, 1929 og 1992. På den danske side af sundet er der brugt vandstandsmålinger fra Hornbæk, Vedbæk, Københavns Havn, Nordre Røse, Dragør og Køge. På den danske side er der brugt målinger for modelleringsperioden 2018-2019. Den lange måletidsserie fra Klagshamn er vist nedenfor.

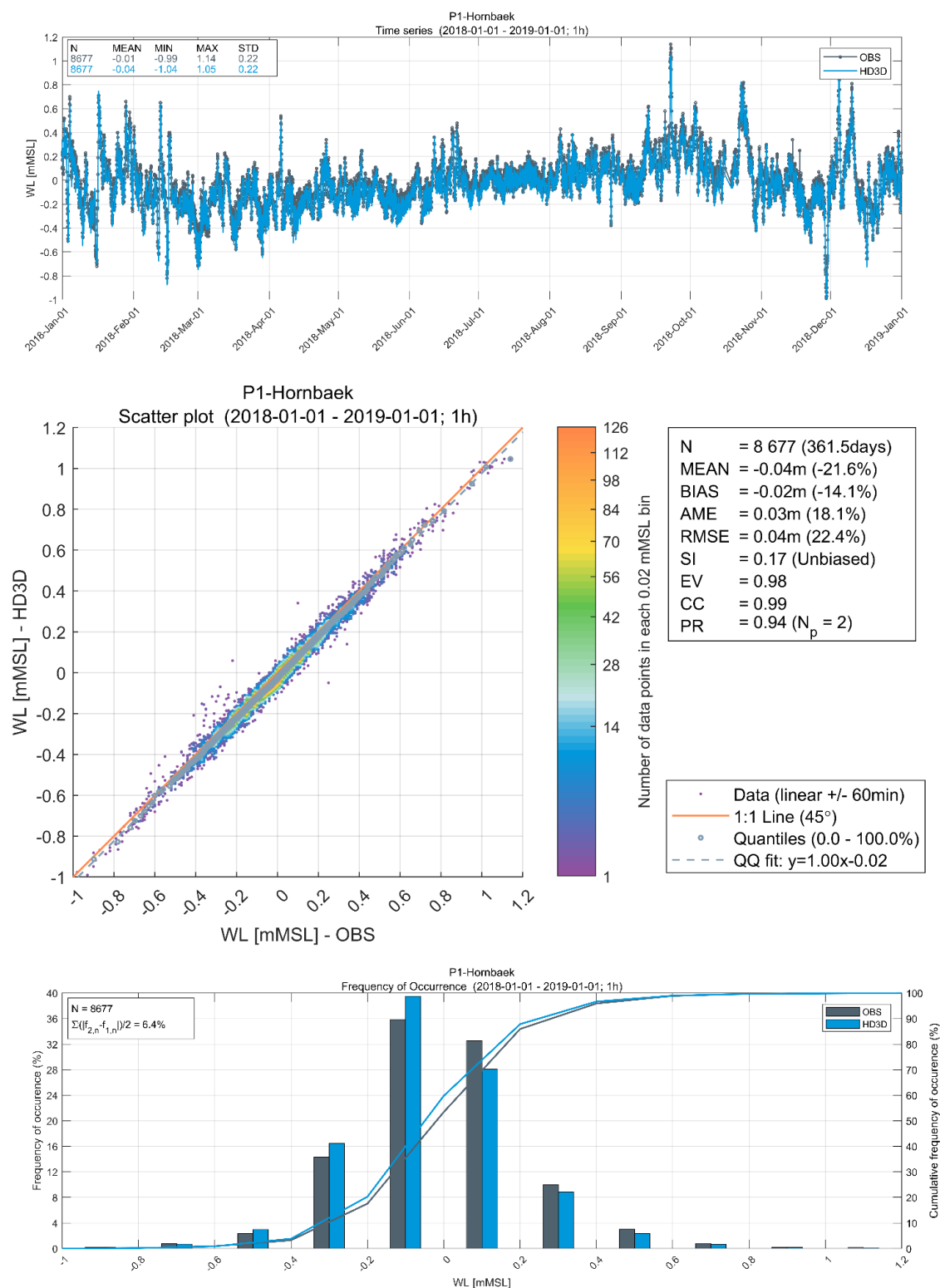


Figur A-1 Målte vandstande i Klagshamn 1929-2019.

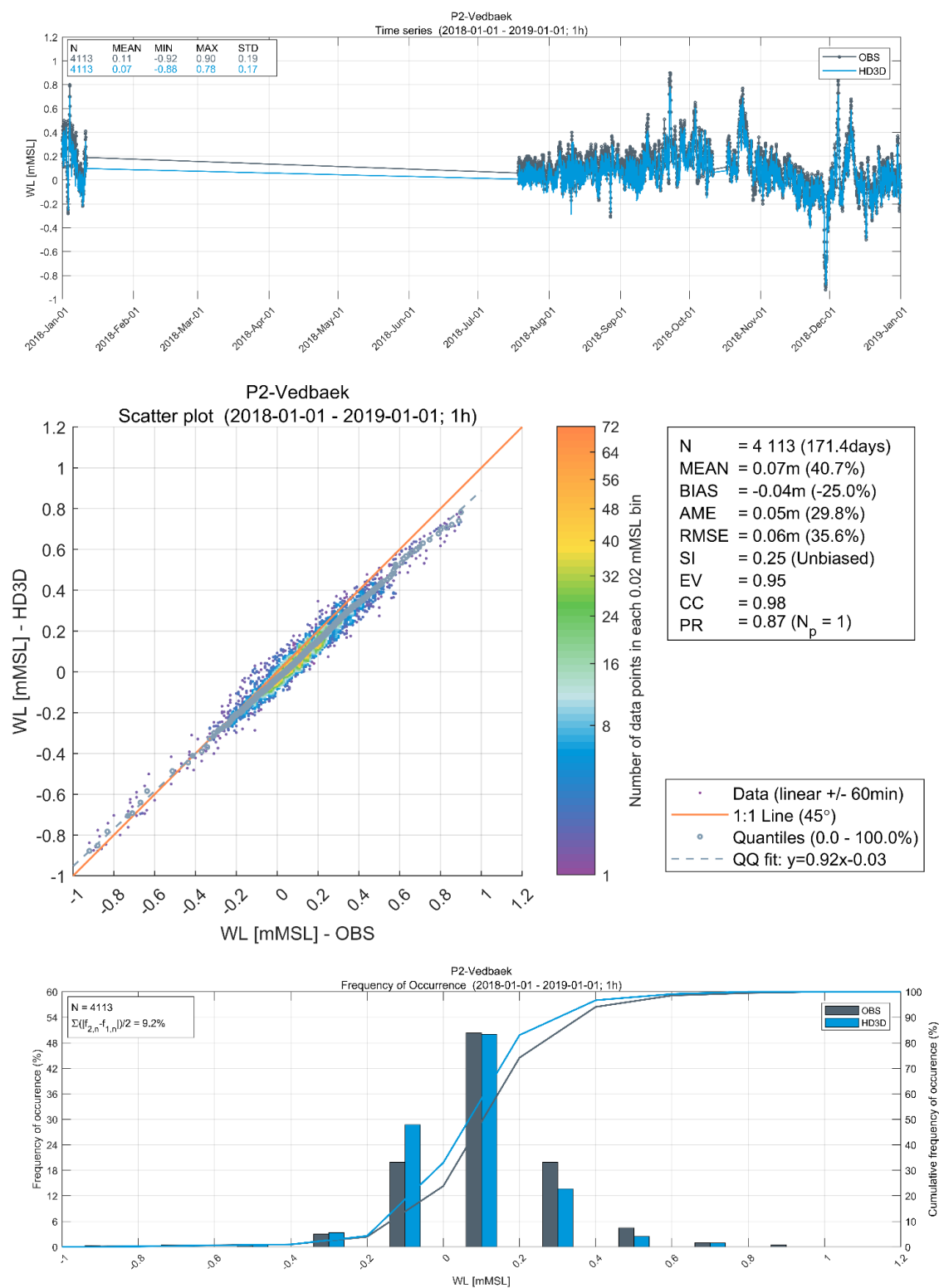
De 11 målestationers placering i modellen er vist i Figur A-2 sammen med modelbatymetrien.



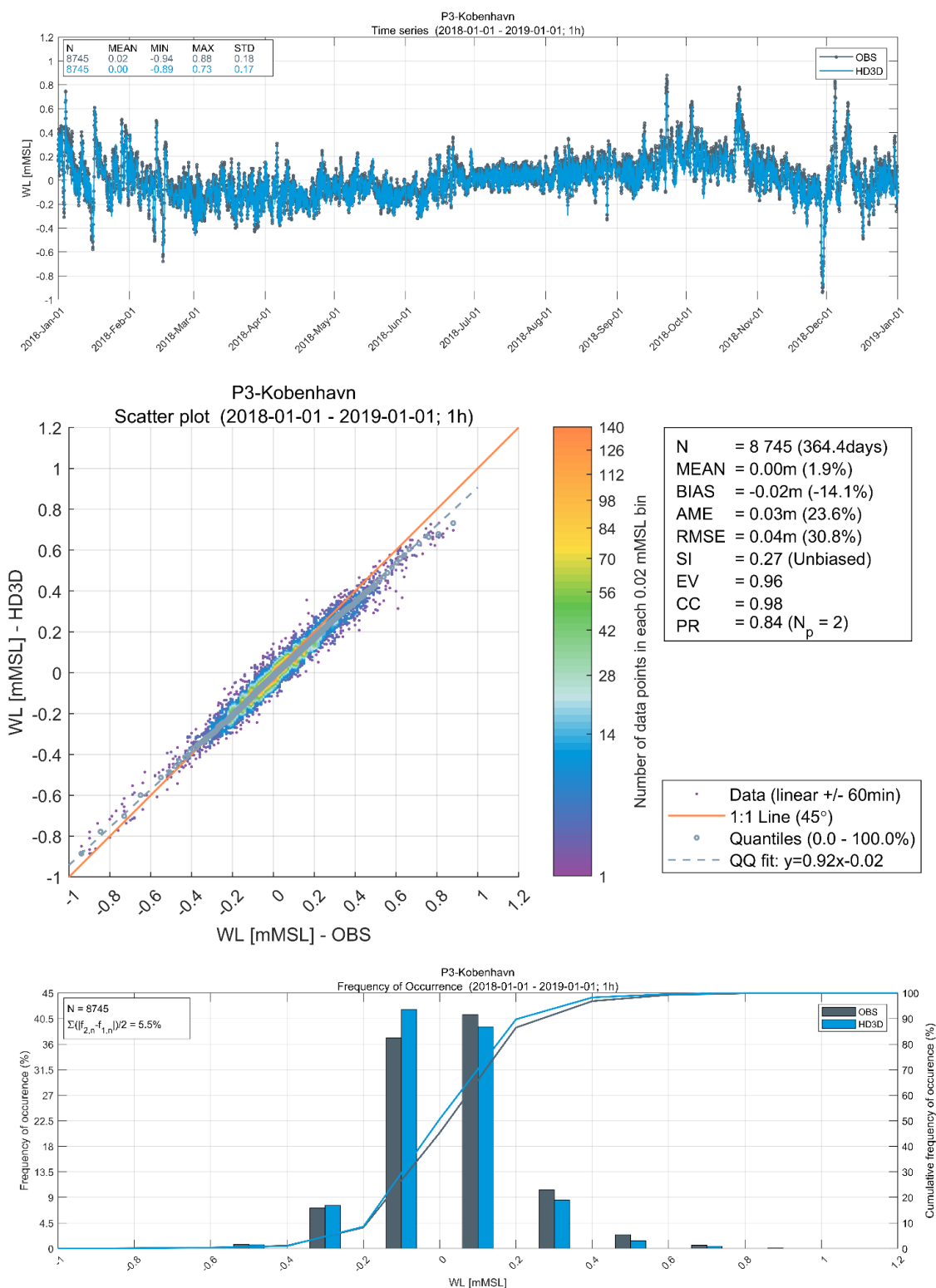
Figur A-2 Stationer hvis vandstandsmålinger er brugt til kalibrering og validering af HD model.



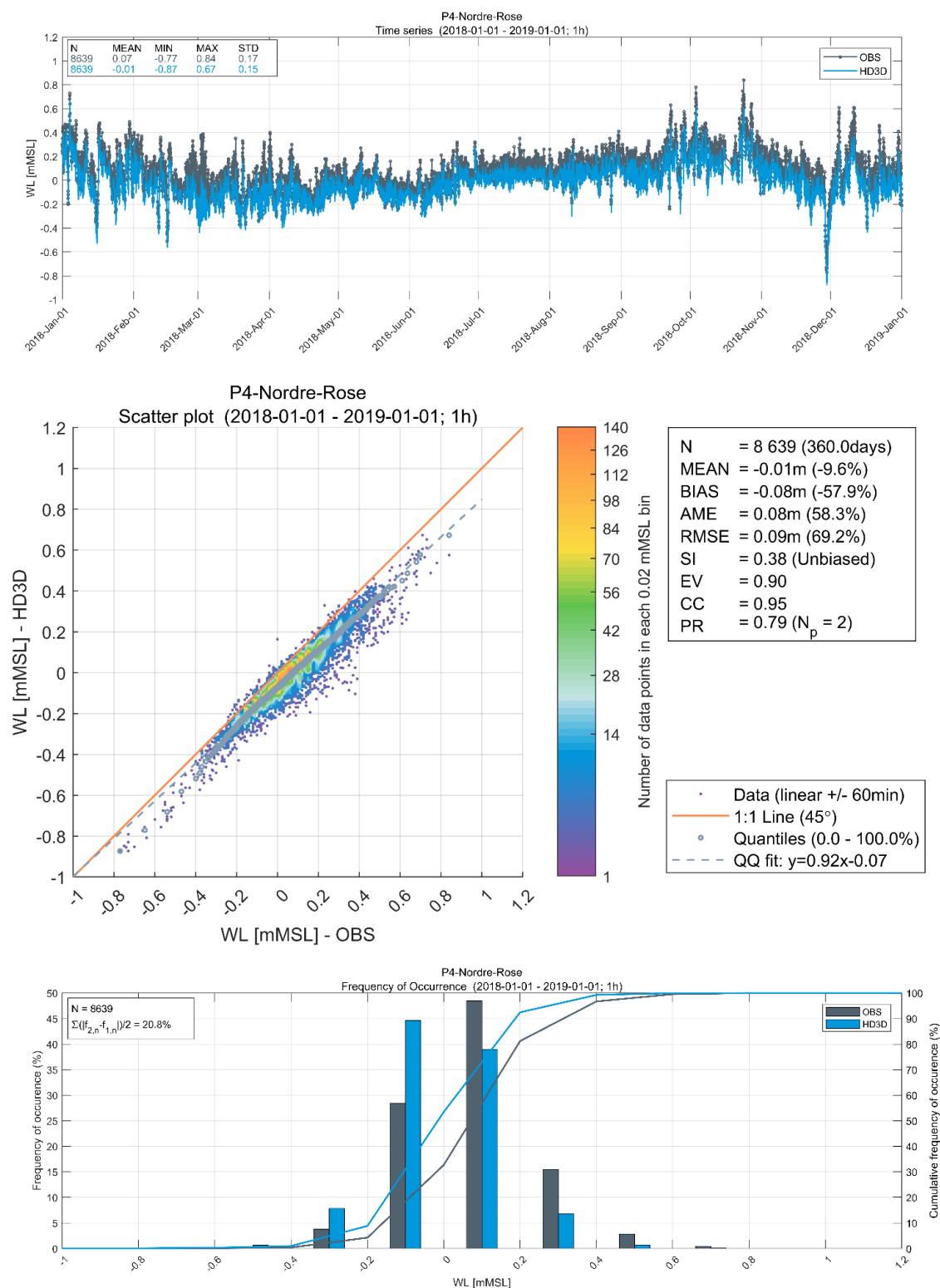
Figur A-3 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Hornbæk.



Figur A-4 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Vedbæk. Der er dataudfald i en længere periode.

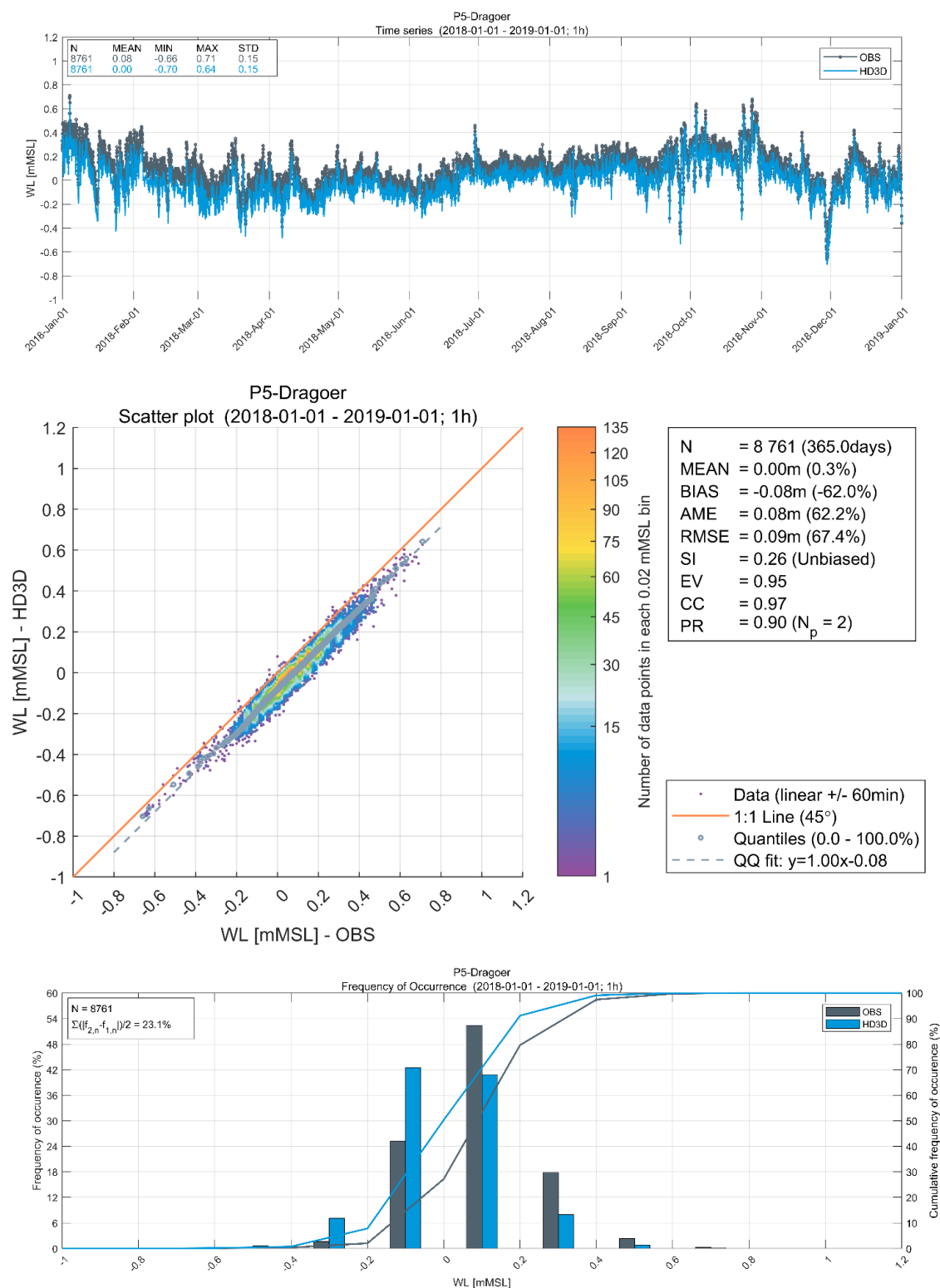


Figur A-5 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i København.



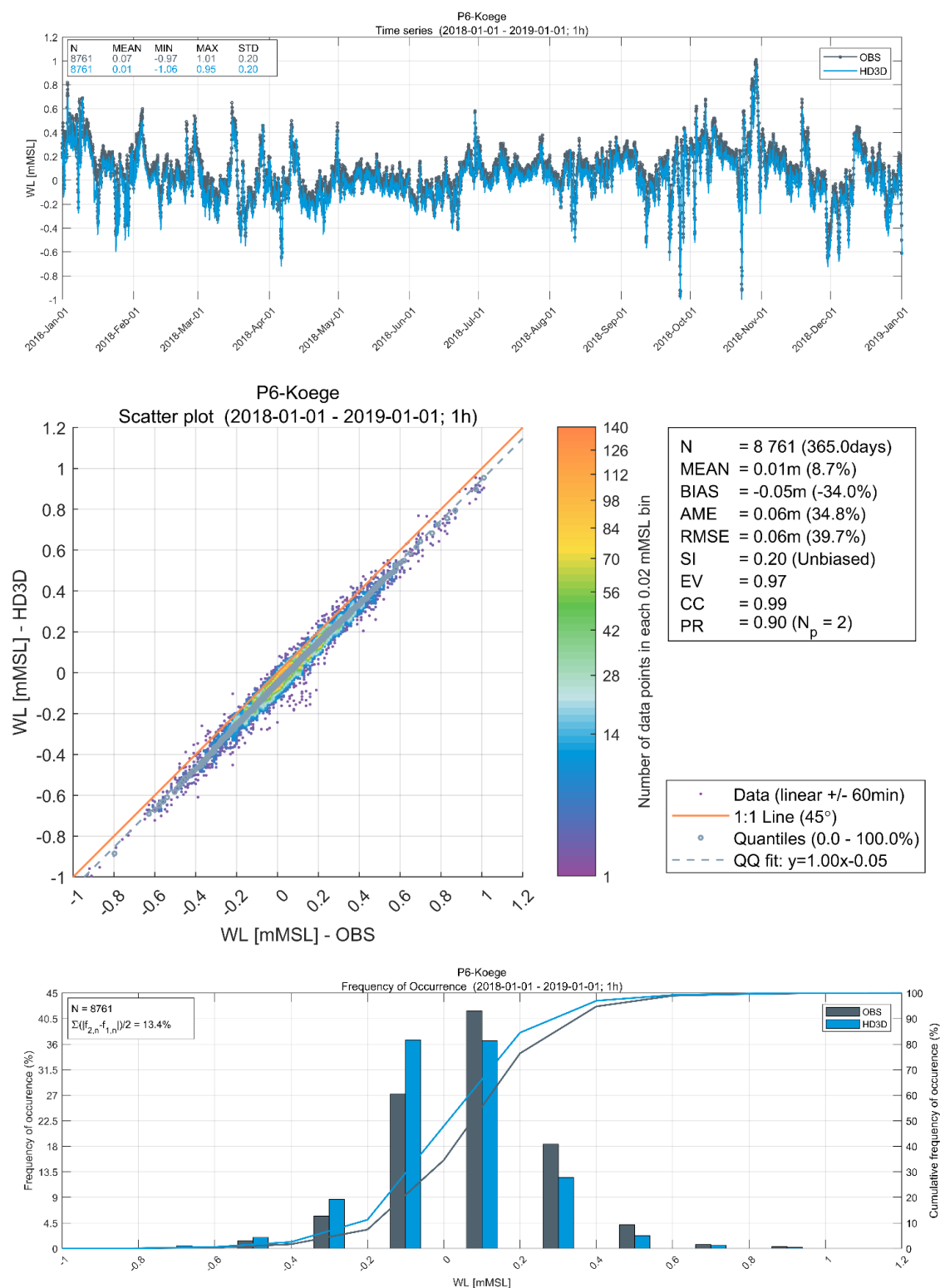
Figur A-6 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger ved Nordre Røse.

Modellen indikerer, at der er en datum fejl på 0,08 m i målingerne fra Nordre Røse.

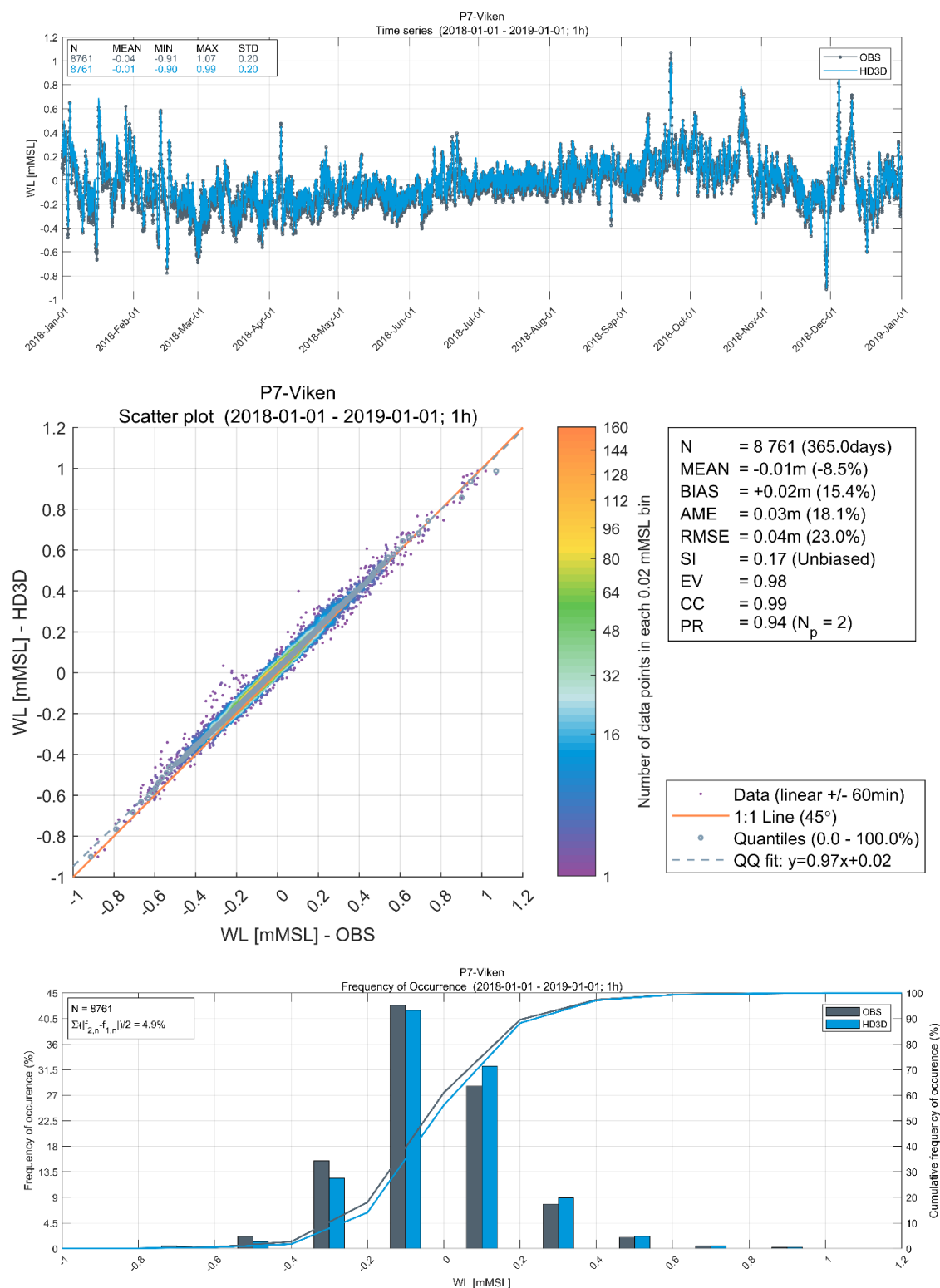


Figur A-7 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Dragør.

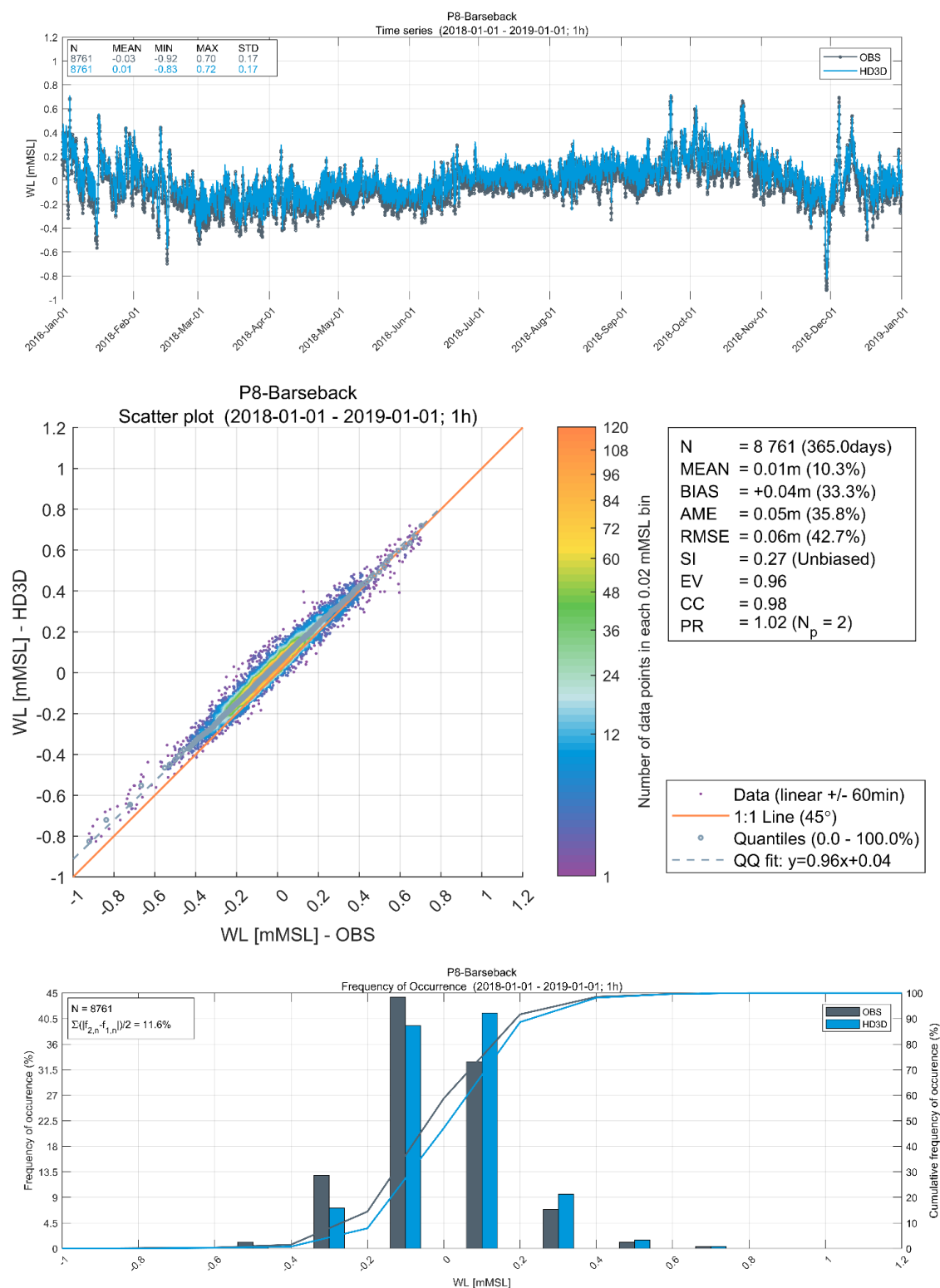
Målingerne indikerer, at der er en datum fejl på 0,08 m i målingerne fra Dragør.



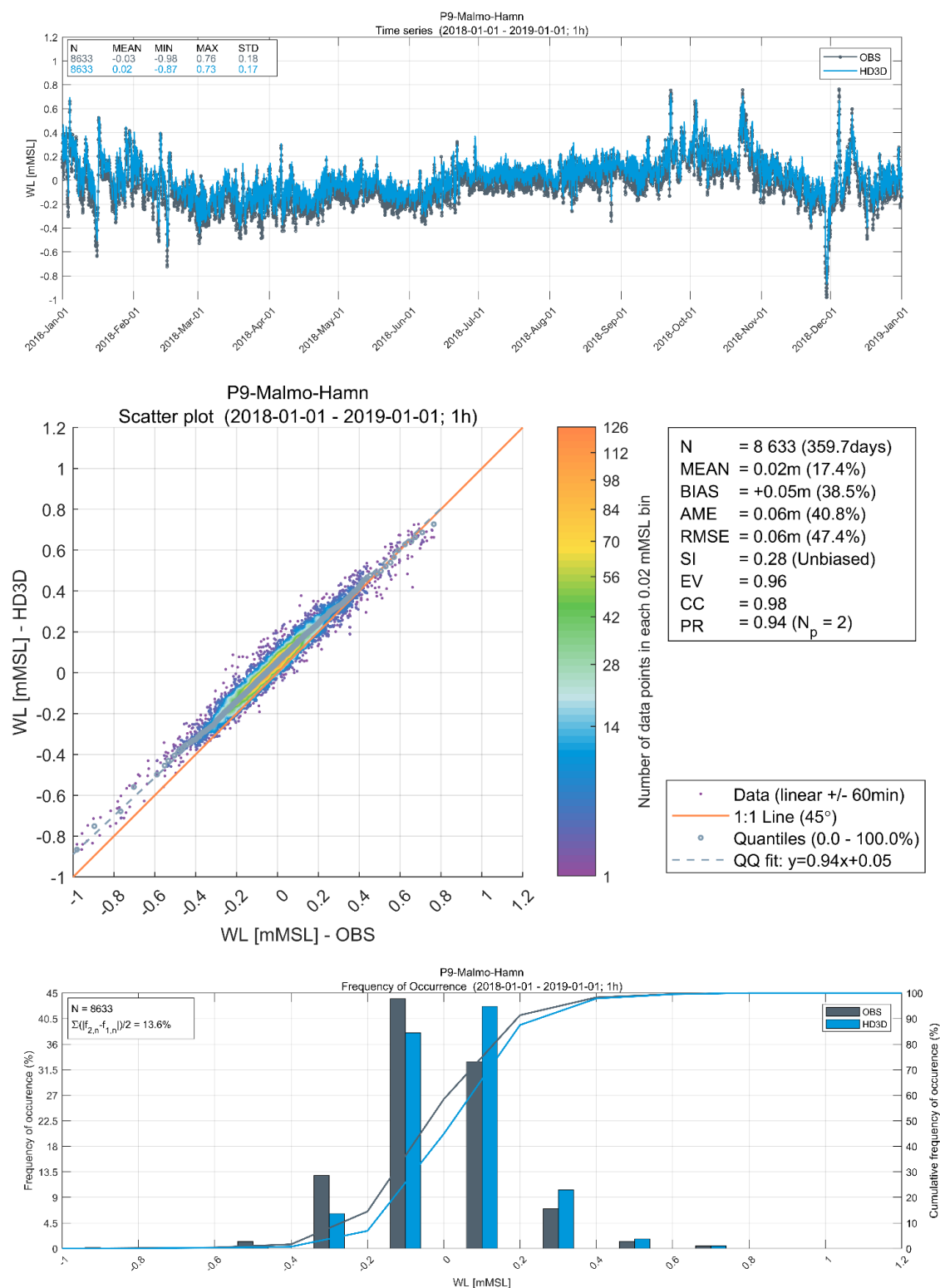
Figur A-8 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Køge.



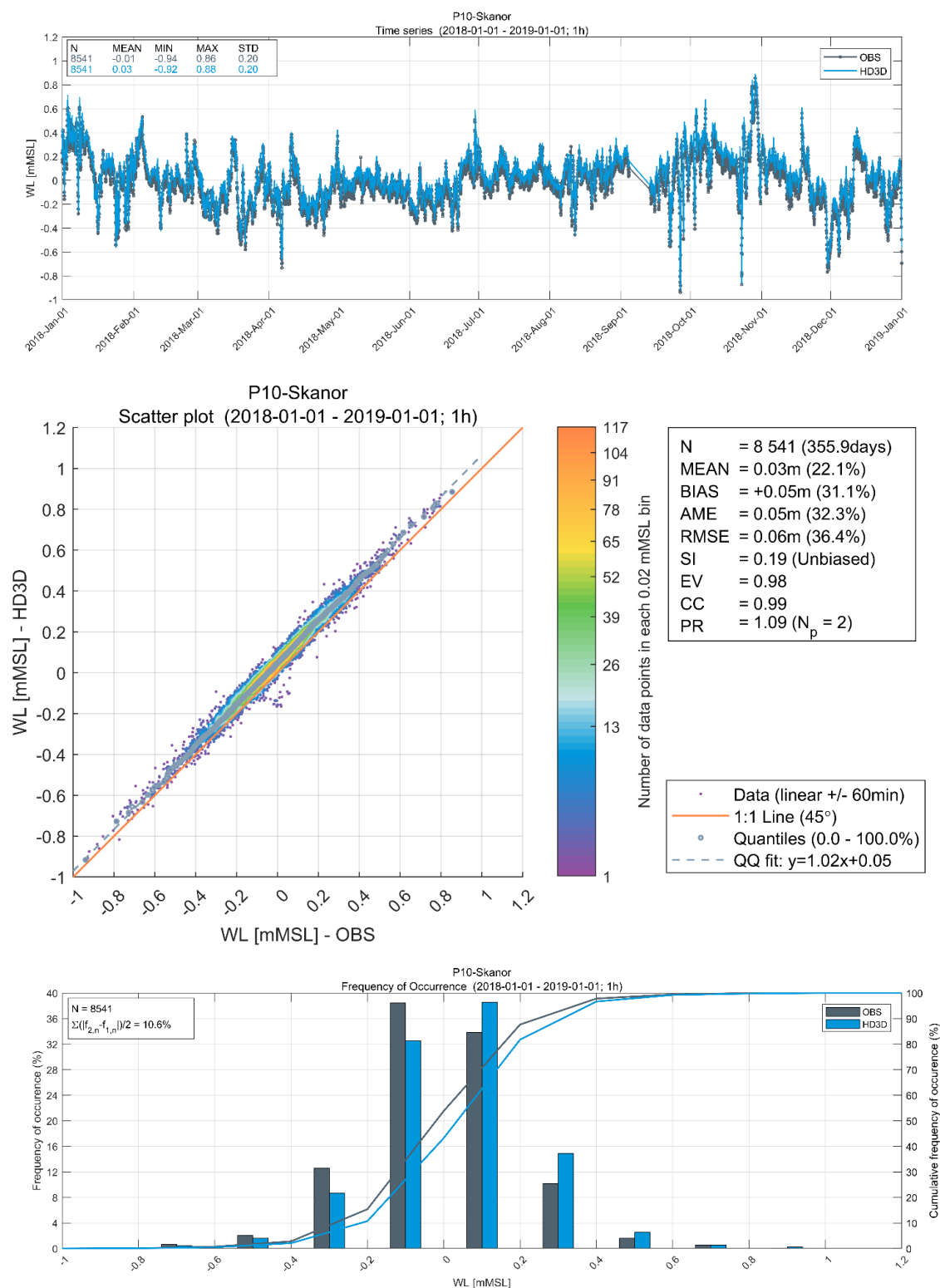
Figur A-9 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Viken.



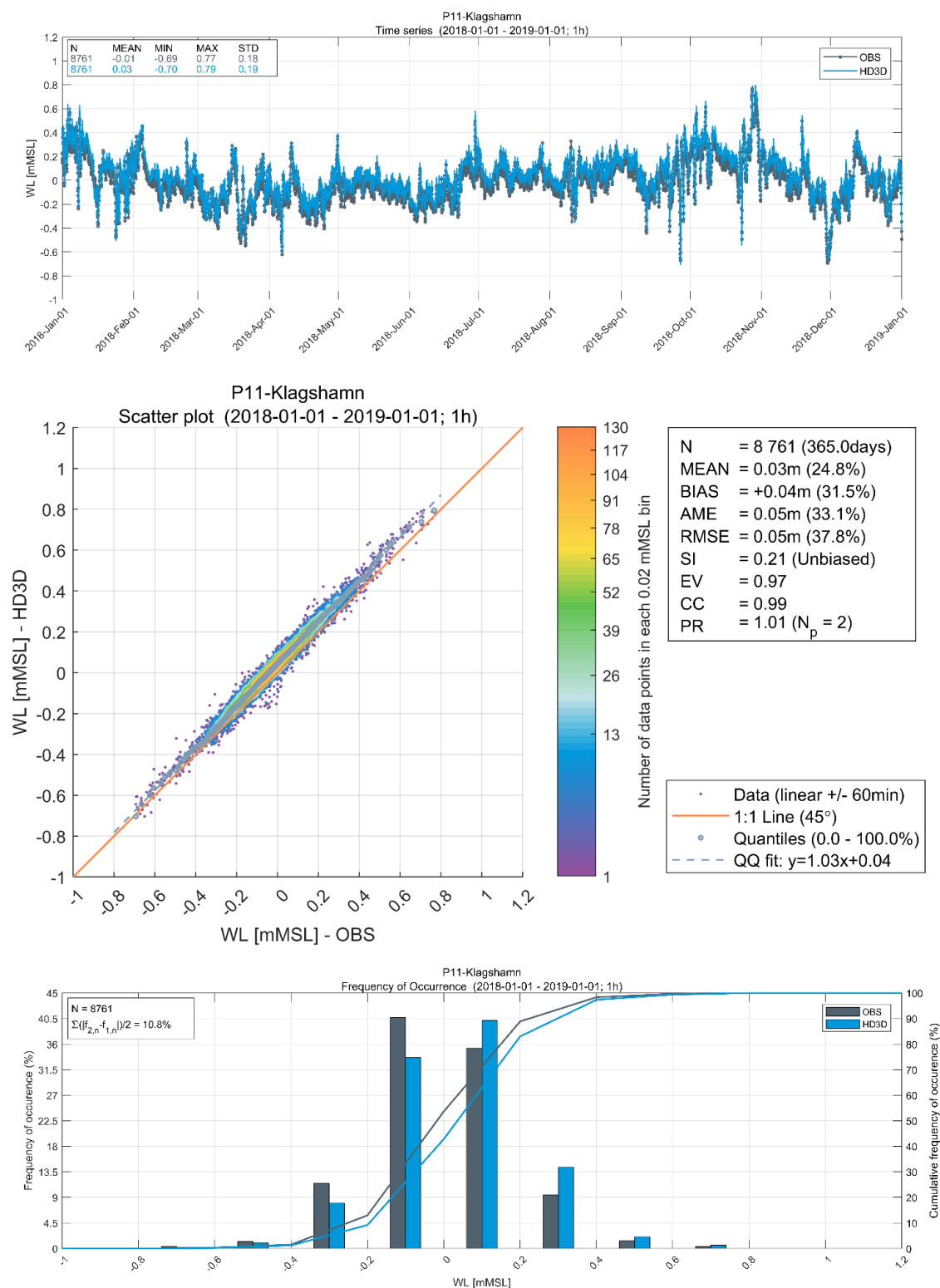
Figur A-10 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Barsebäck.



Figur A-11 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Malmø Hamn.



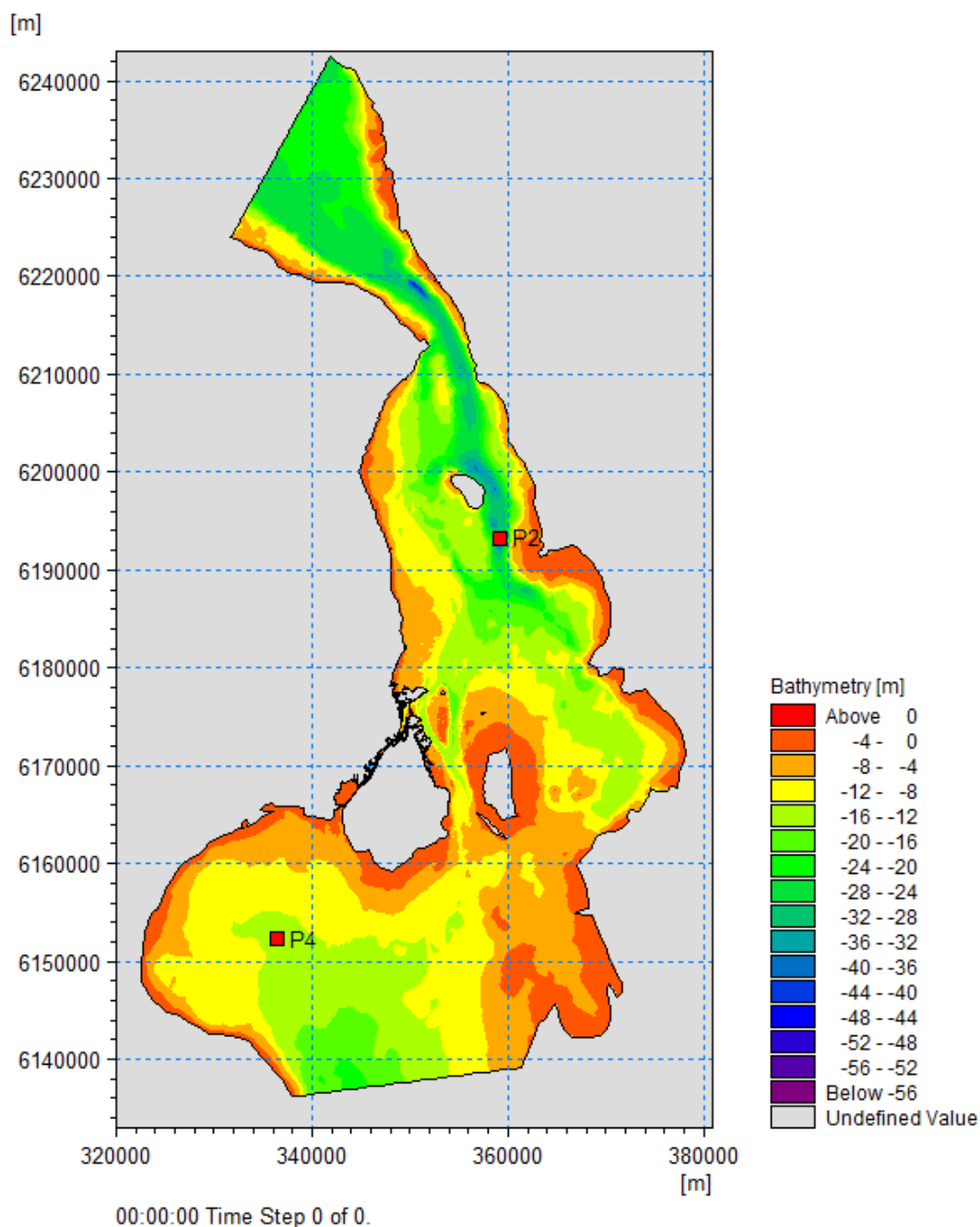
Figur A-12 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Skanör.



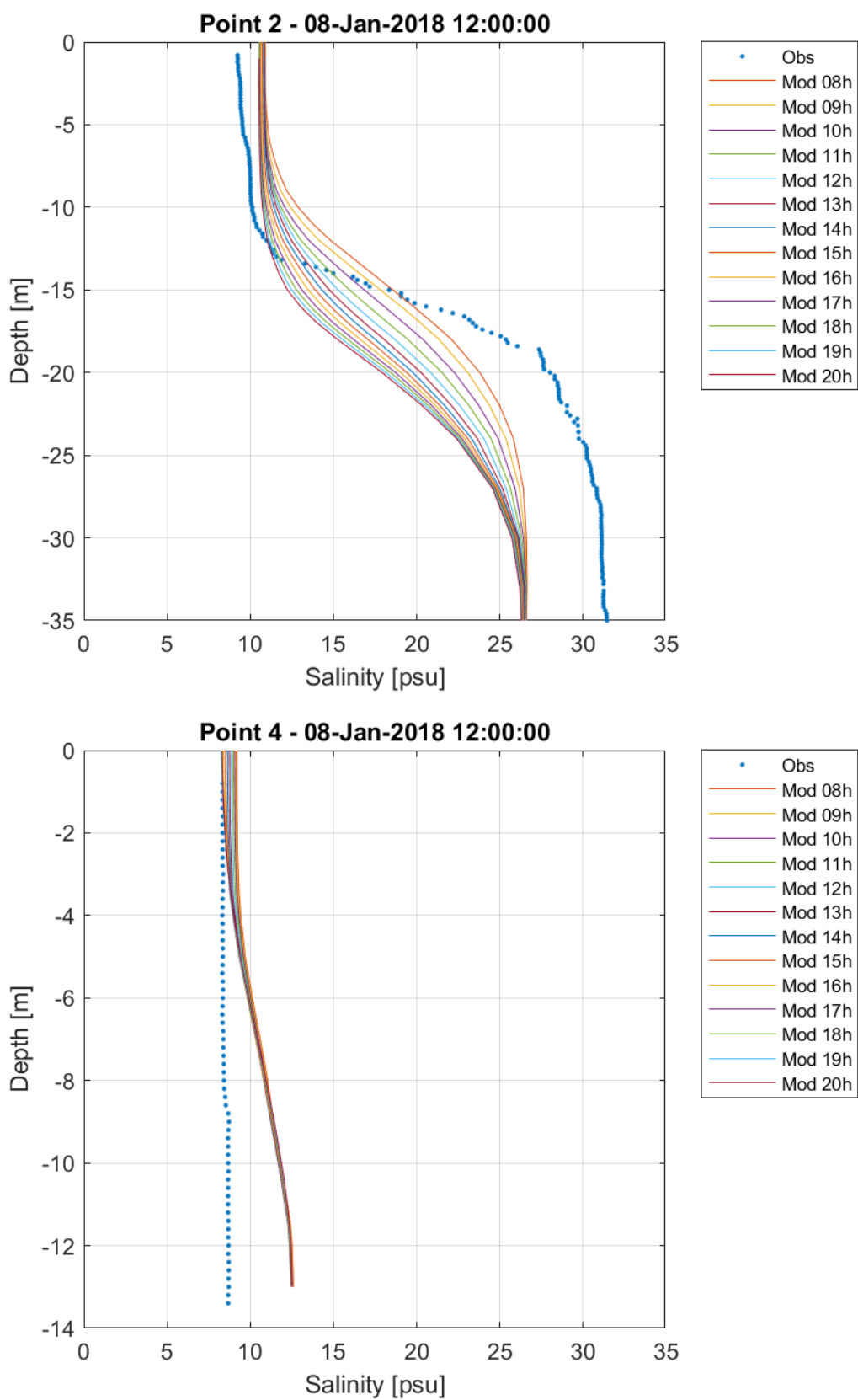
Figur A-13 Sammenligning af målte og modellerede vandstandsmålinger i Klagshamn.

A.2 Saltholdighed

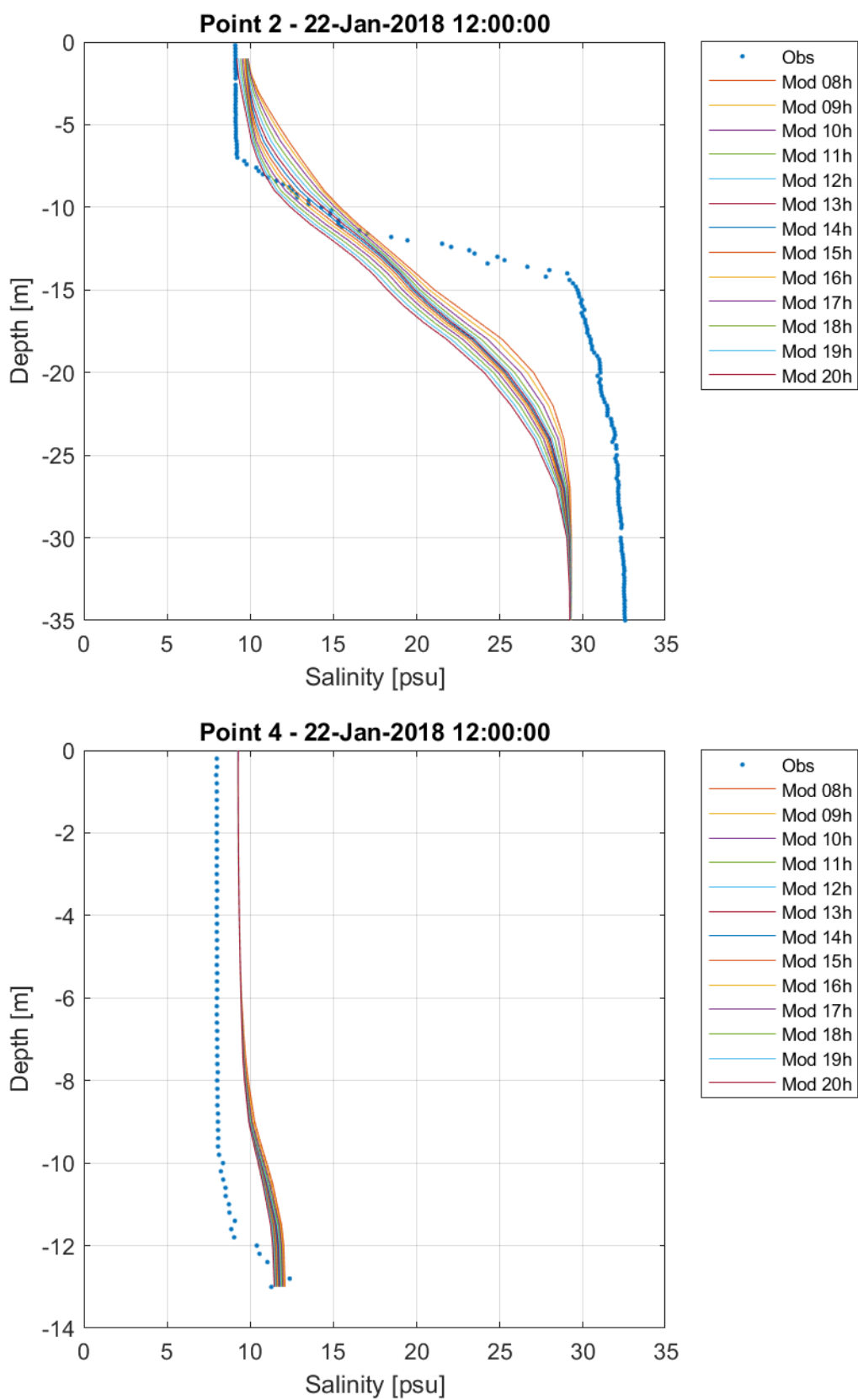
Modellens saltholdighed er styret af randbetingelsen ved indstrømning i tragten ved Kattegat i nord og åbningen mod Østersøen i syd. Disse felter kommer fra den noget større DKBS-model, som dækker hele Østersøen, alle de indre danske farvande, Kattegat og dele af Skagerak. I modelkalibreringen er det derfor primært opblandingen over vertikalen, der kan kalibreres på. De absolutte niveauer vil være styret af de til rådighed værende randbetingelser. Til HD-modellen er der anvendt saltprofiler målt i de to stationer P2 og P4.



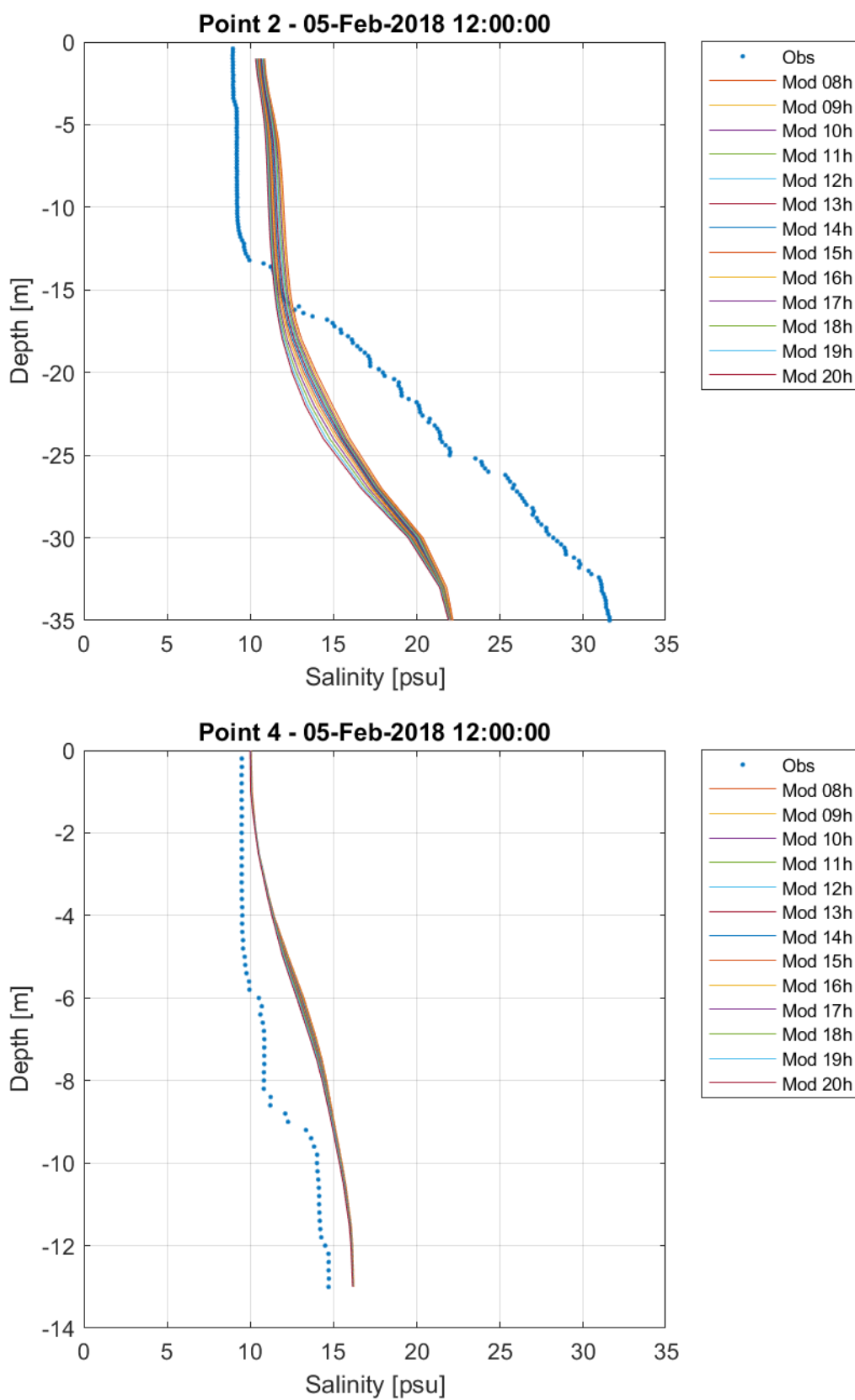
Figur A-14 Lokationer af saltholdighedsmålinger brugt til HD-modellering.



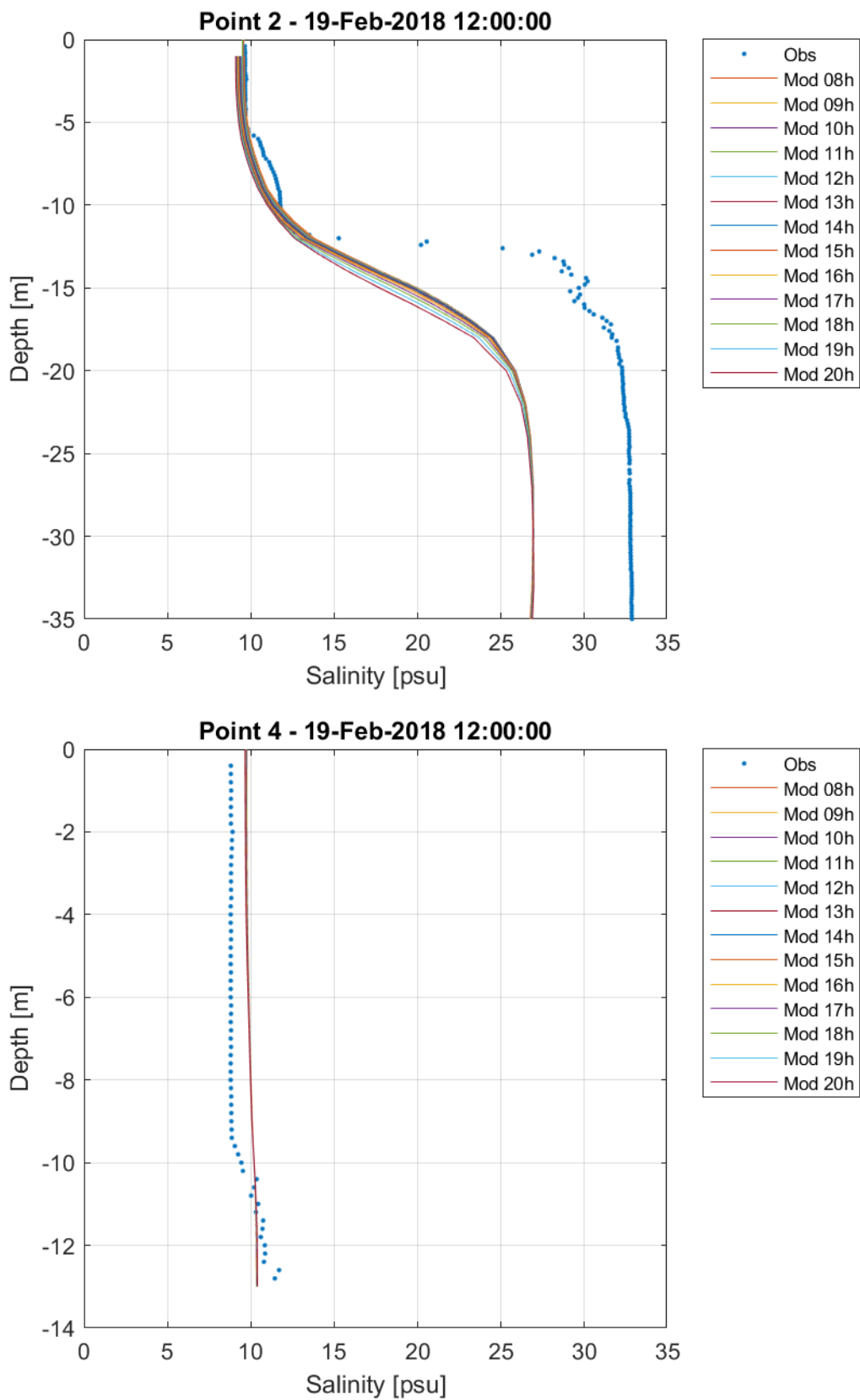
Figur A-15 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 8. januar 2018.



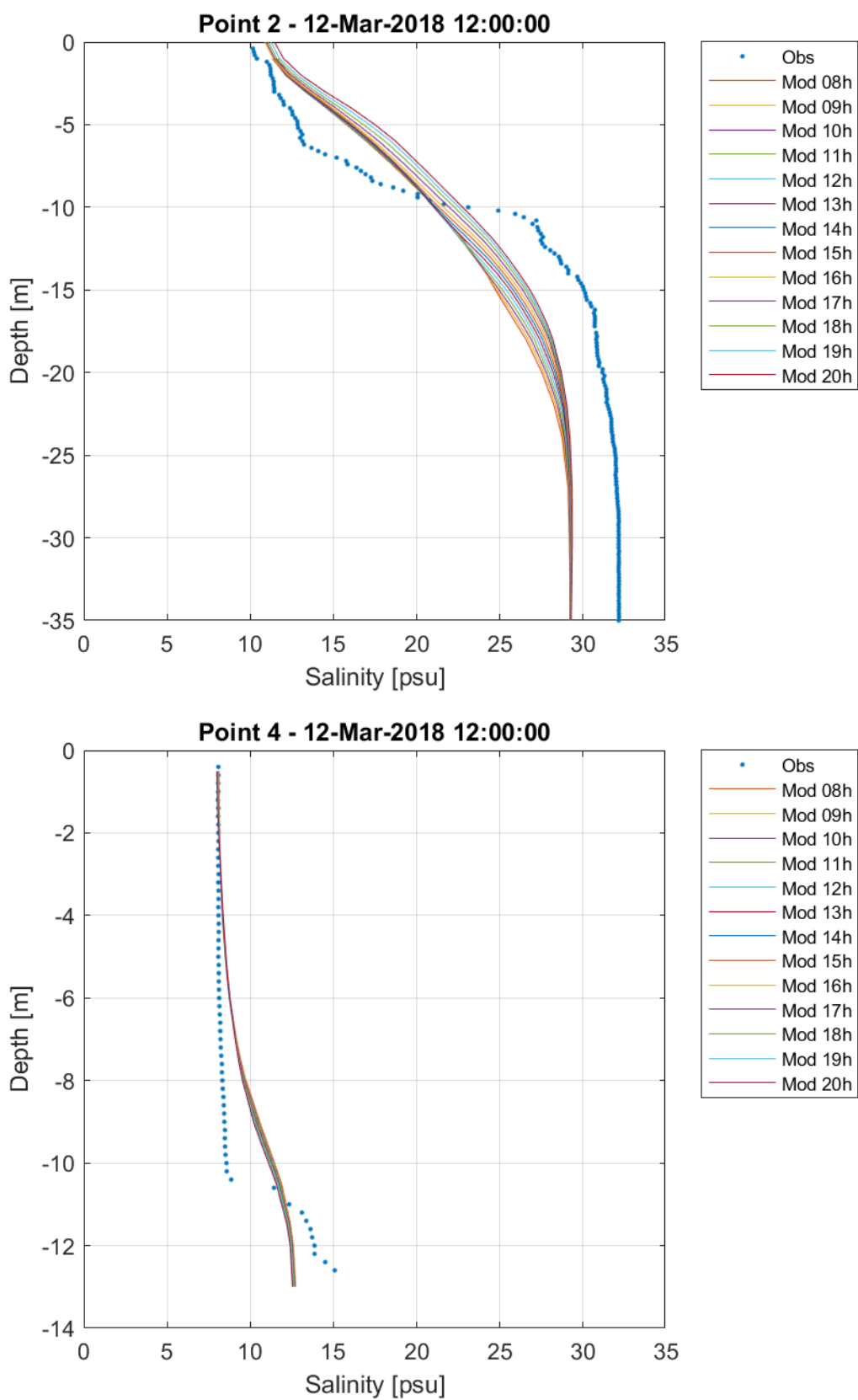
Figur A-16 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 22. januar 2018.



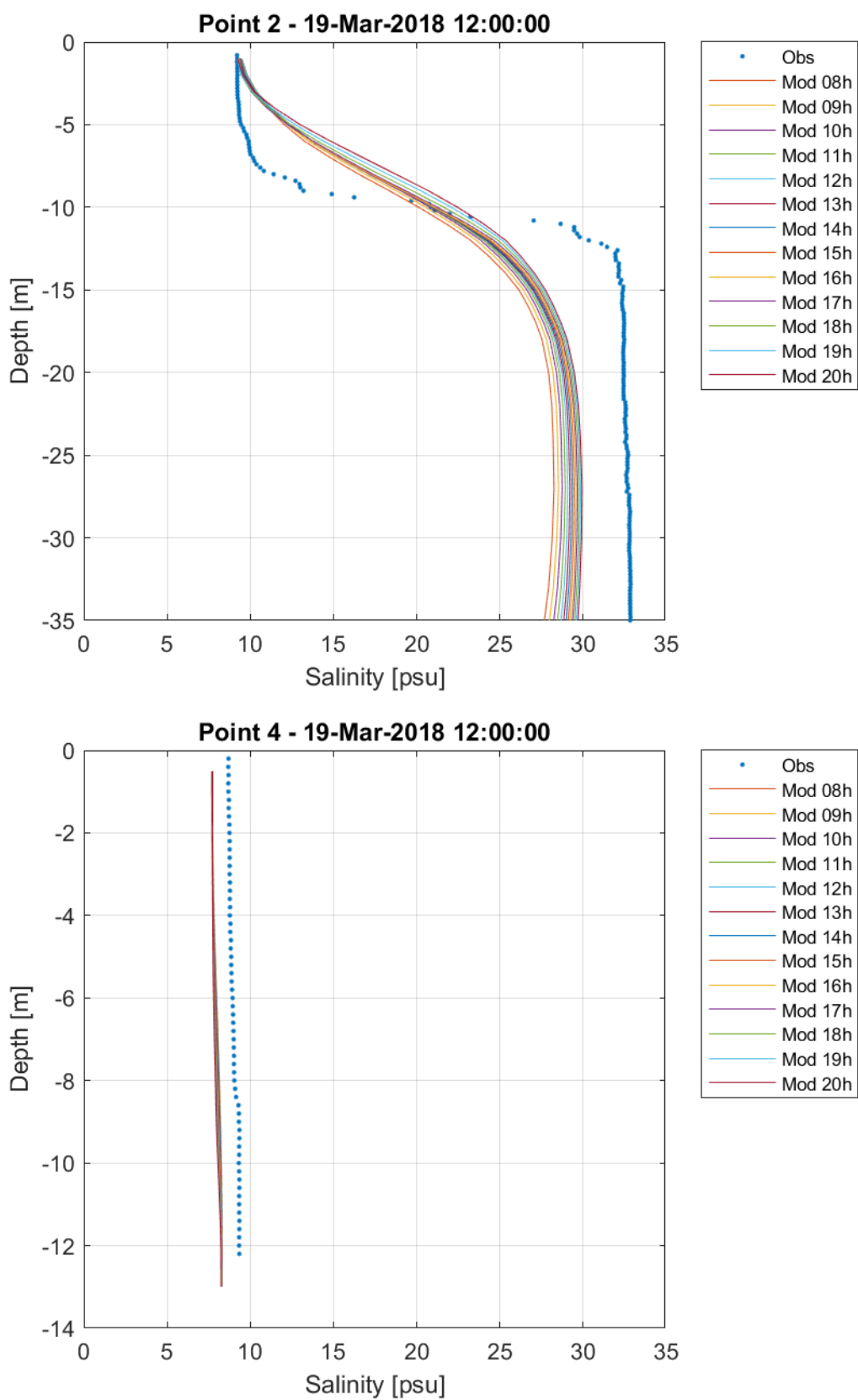
Figur A-17 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 5. februar 2018.



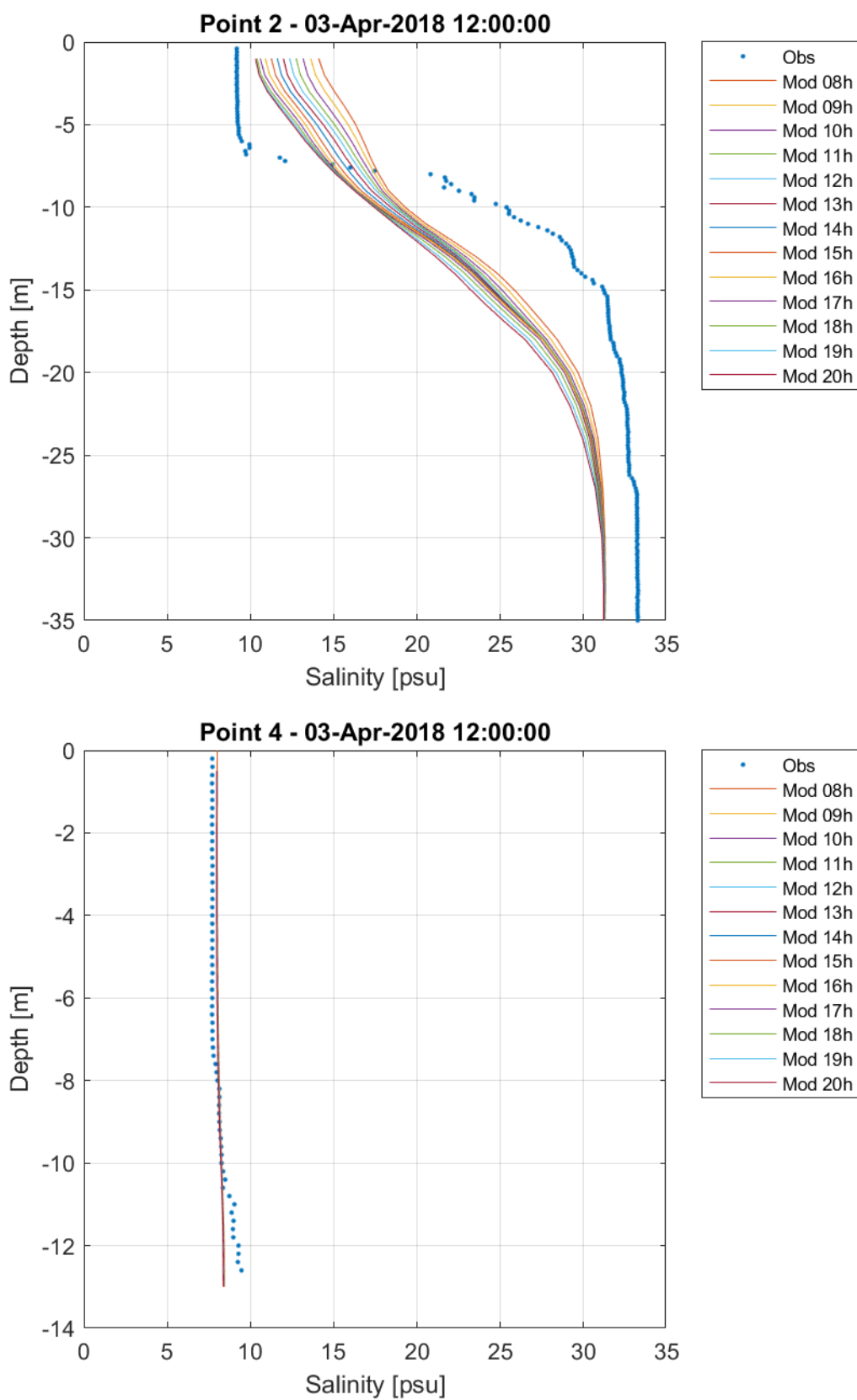
Figur A-18 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 19. februar 2018.



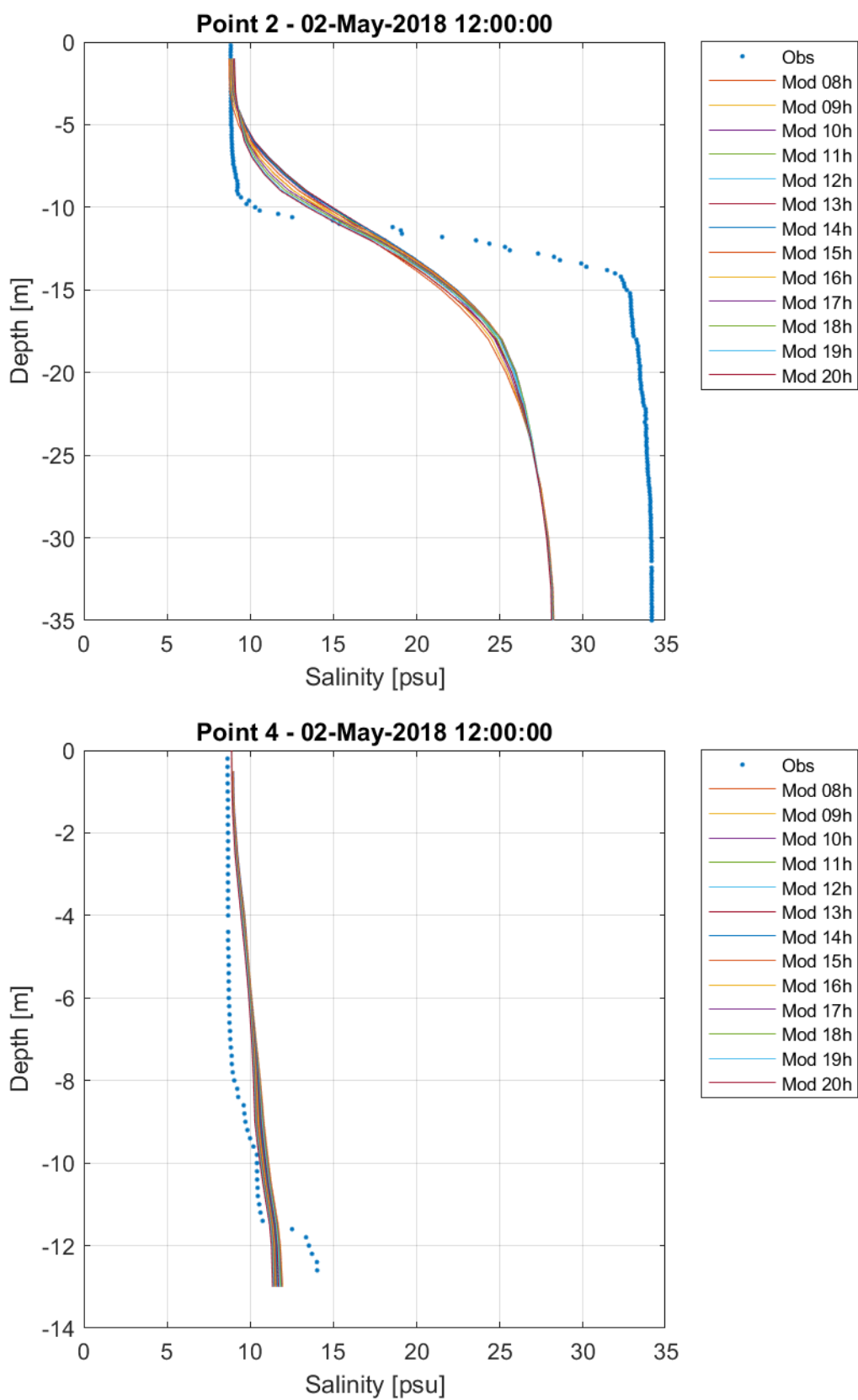
Figur A-19 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 12. marts 2018.



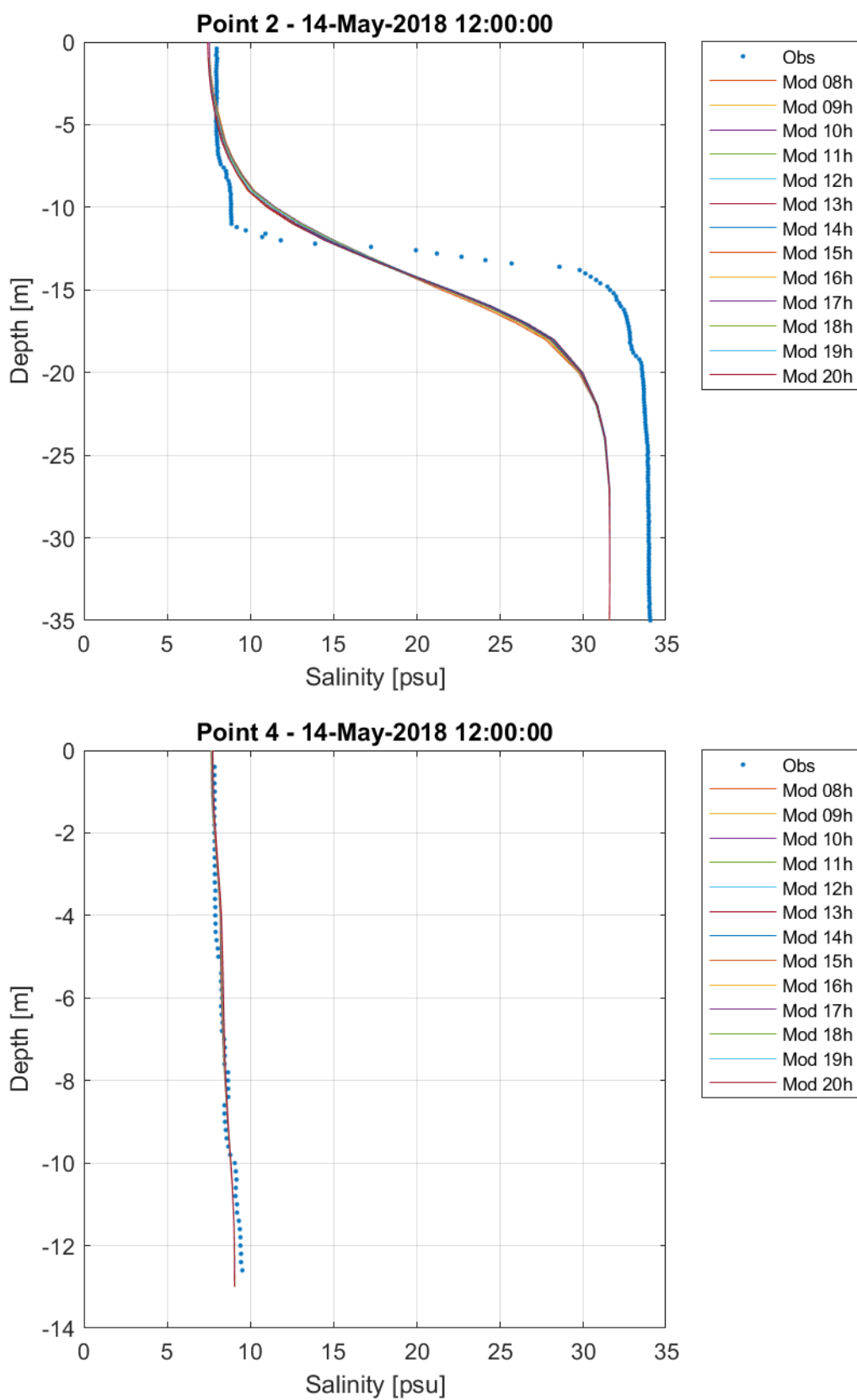
Figur A-20 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 19. marts 2018.



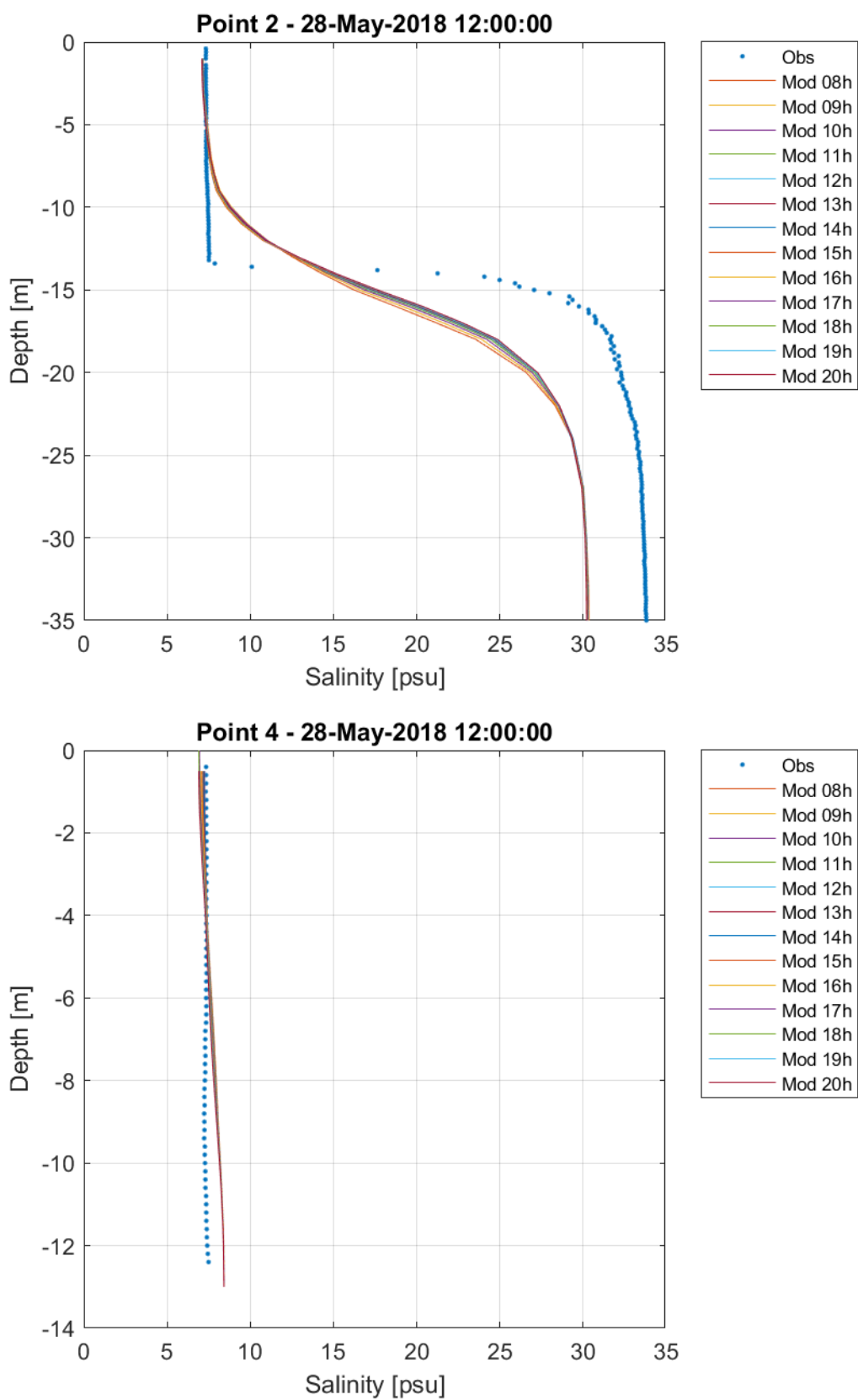
Figur A-21 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 3. april 2018.



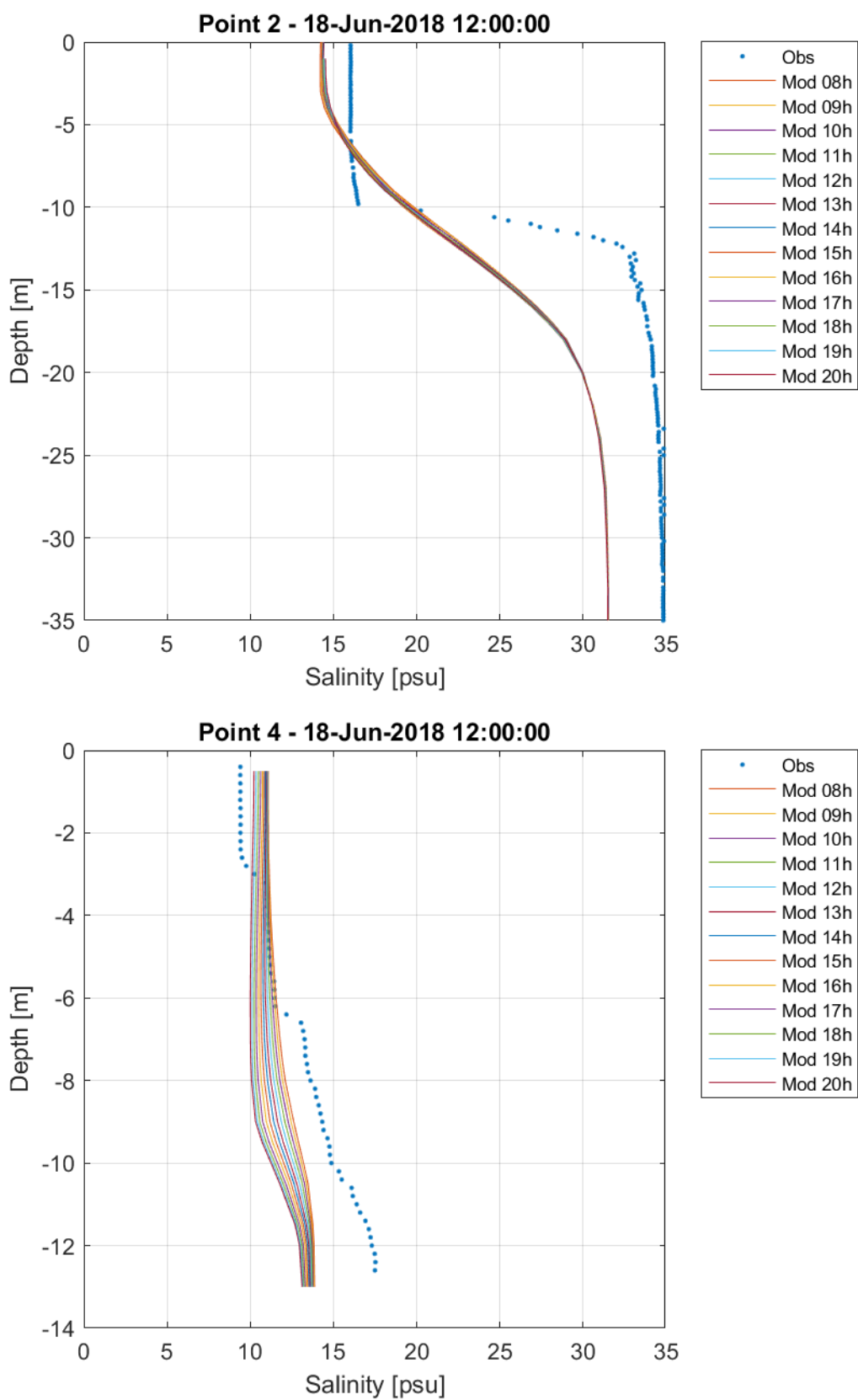
Figur A-22 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 2. maj 2018.



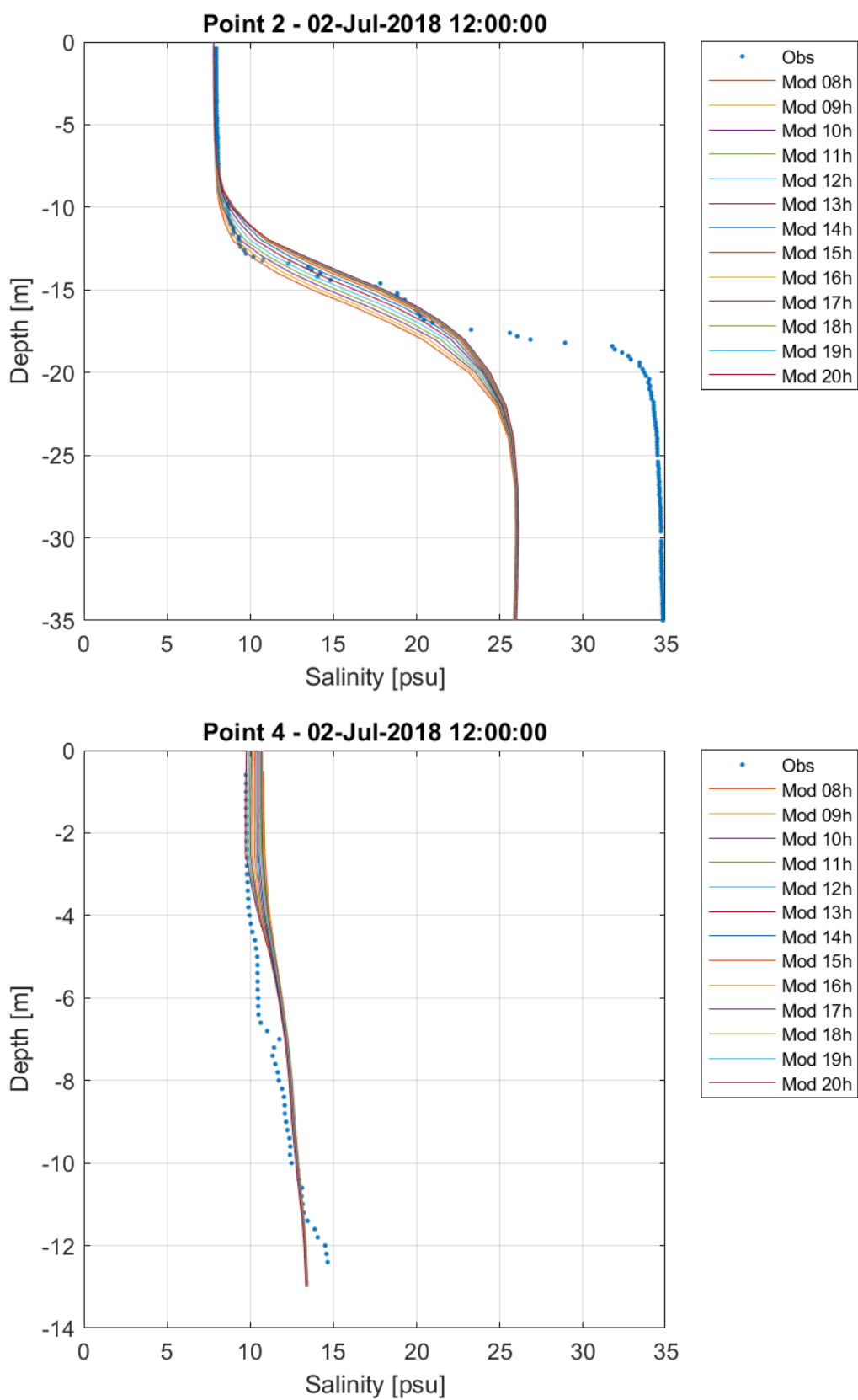
Figur A-23 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 14. maj 2018.



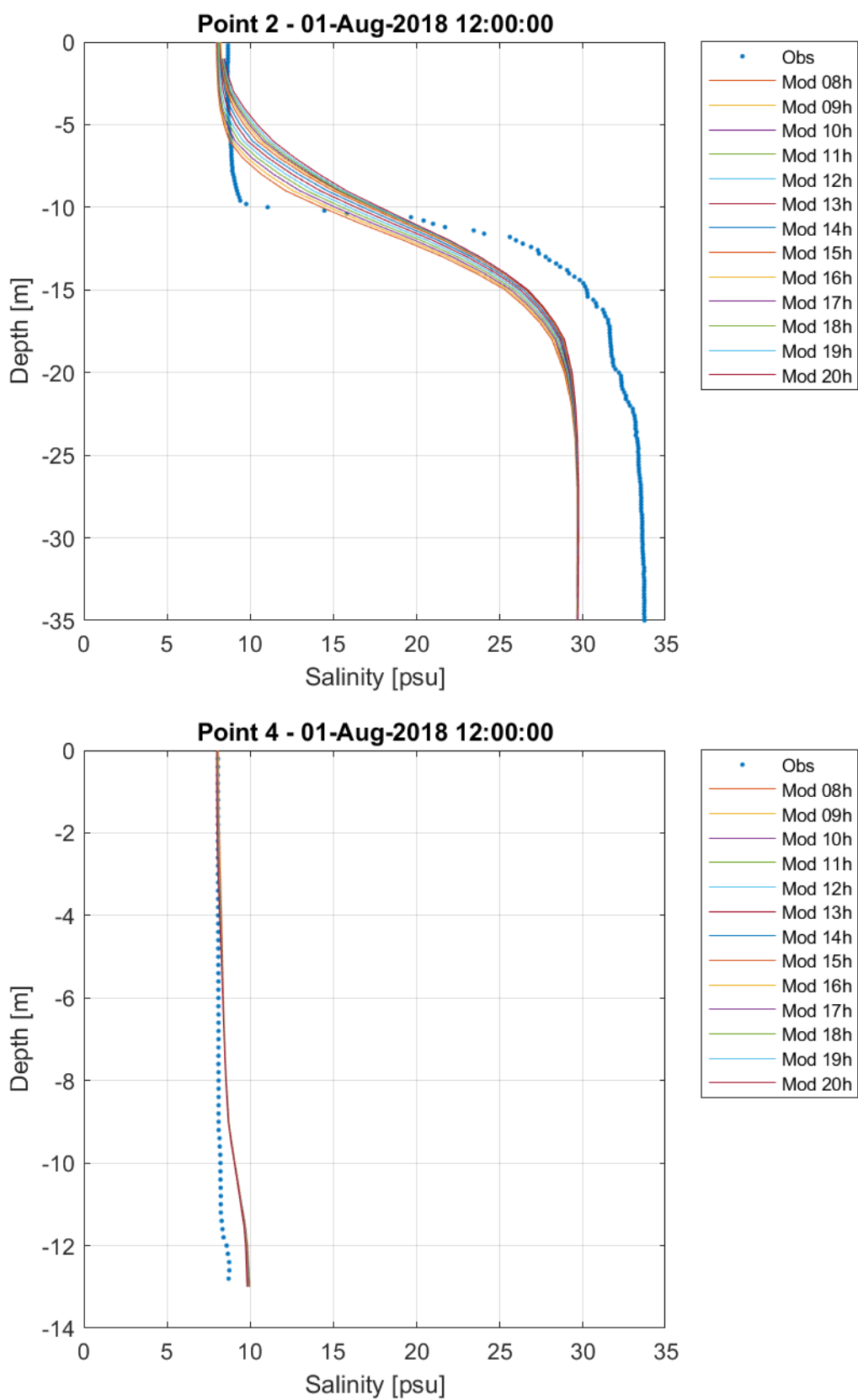
Figur A-24 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 28. maj 2018.



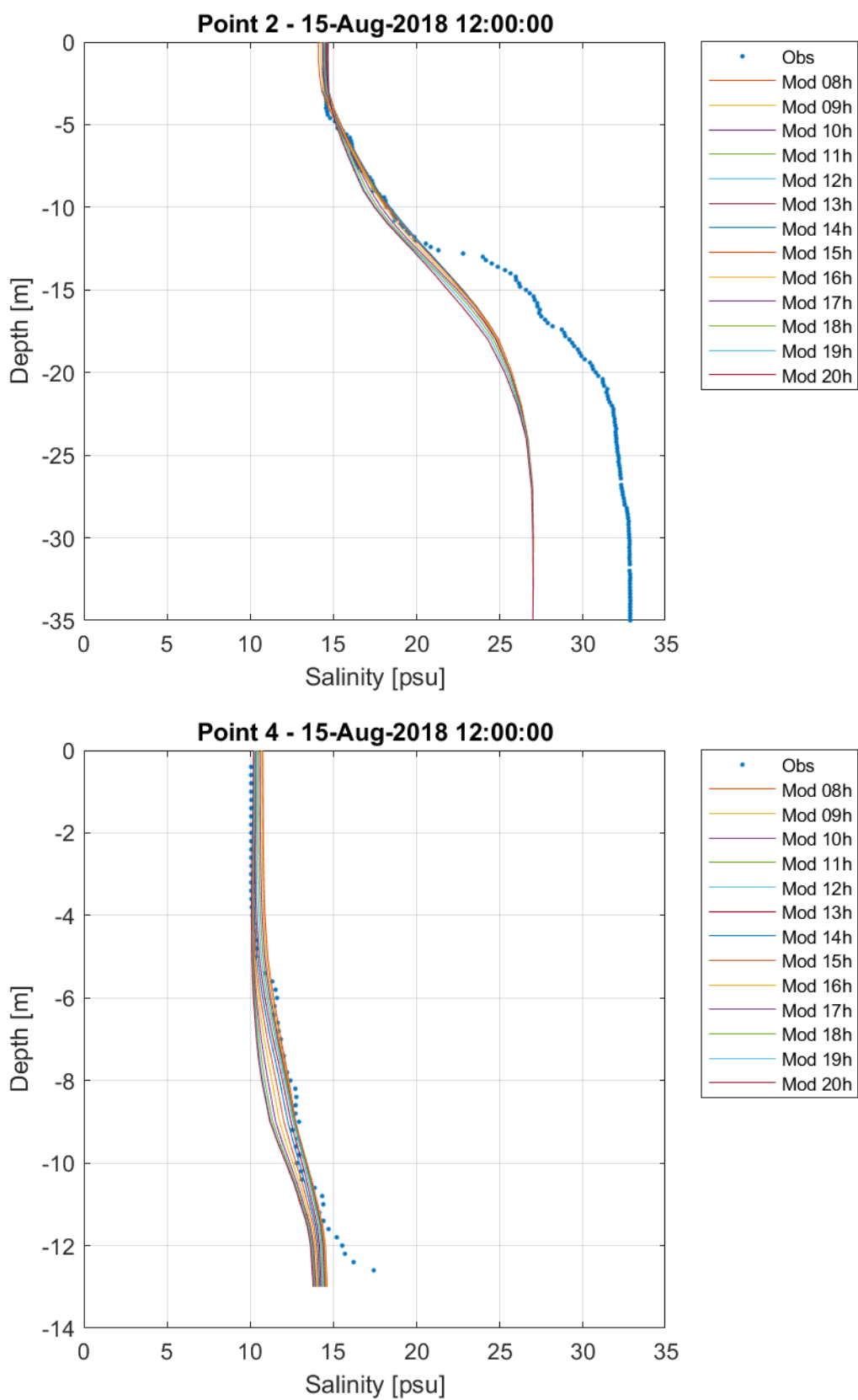
Figur A-25 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 18. juni 2018.



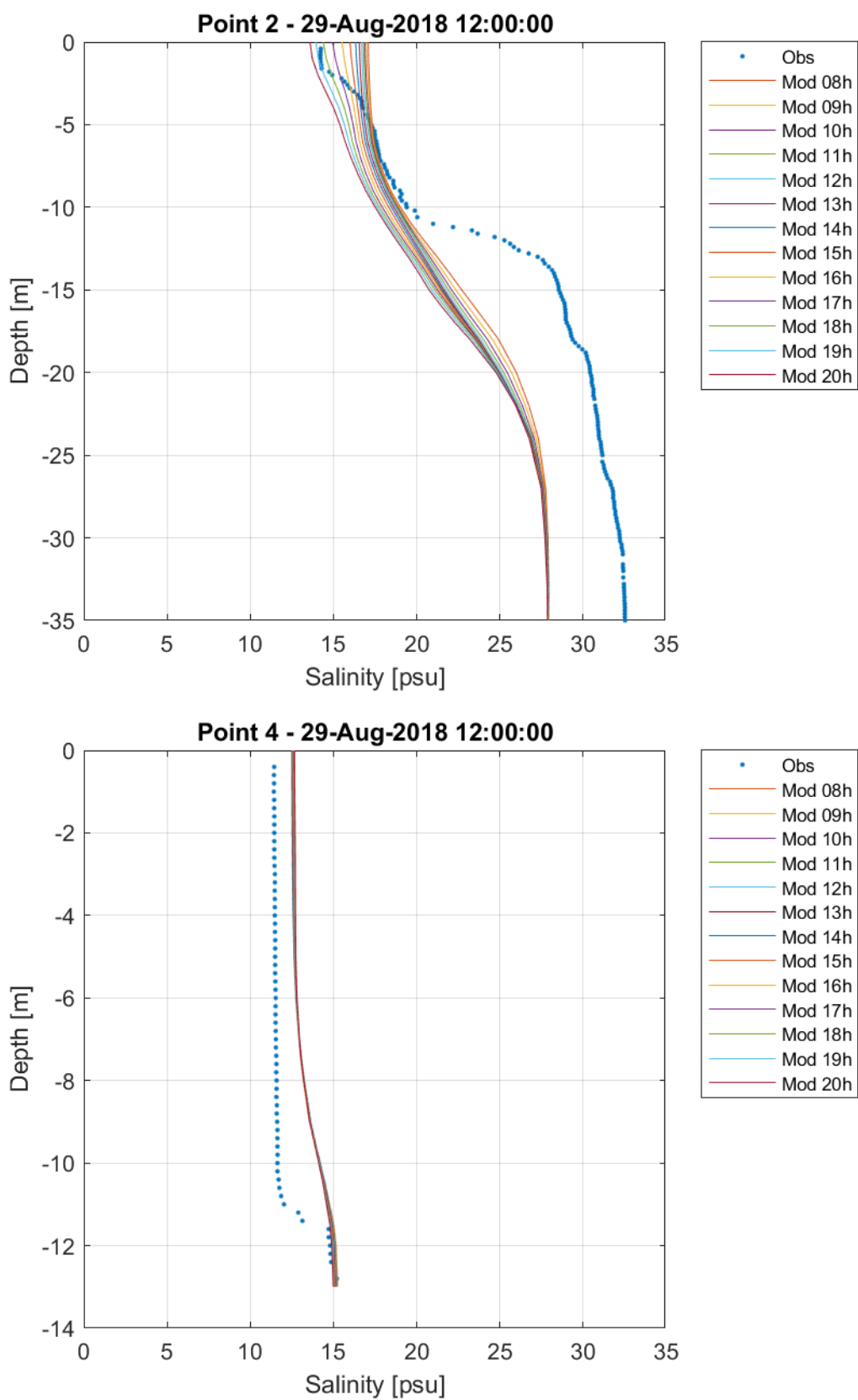
Figur A-26 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 2. juli 2018.



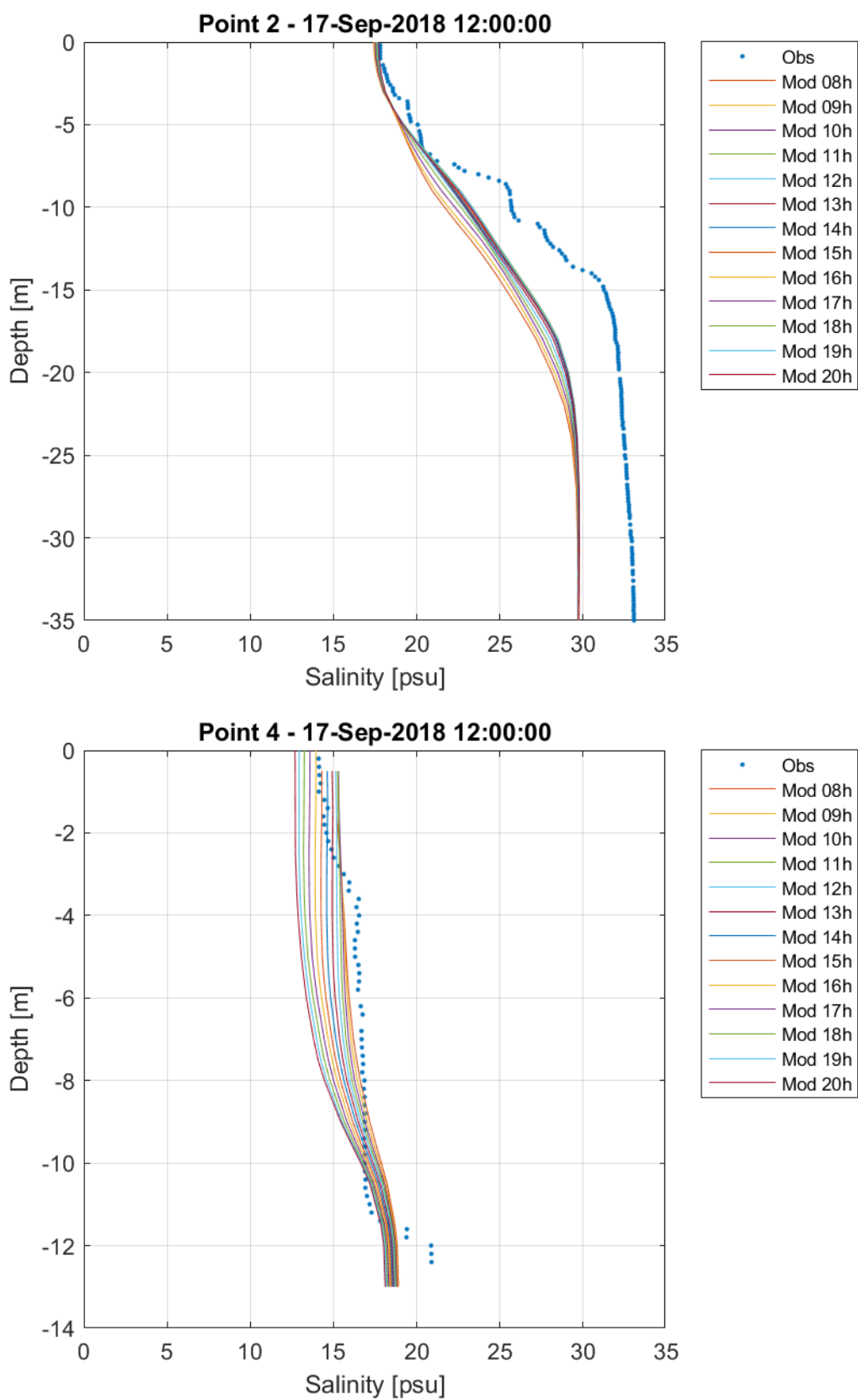
Figur A-27 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 1. august 2018.



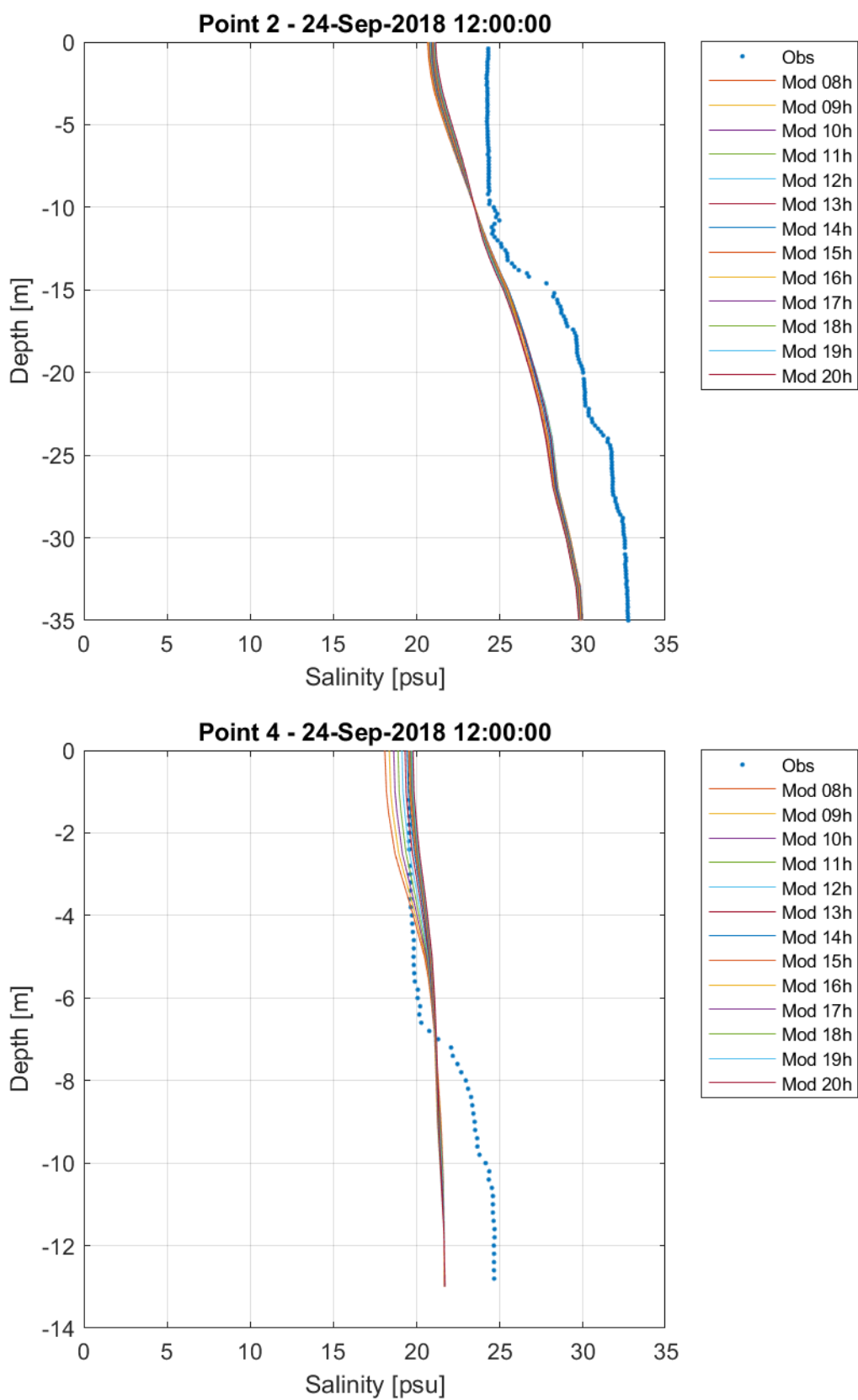
Figur A-28 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 15. august 2018.



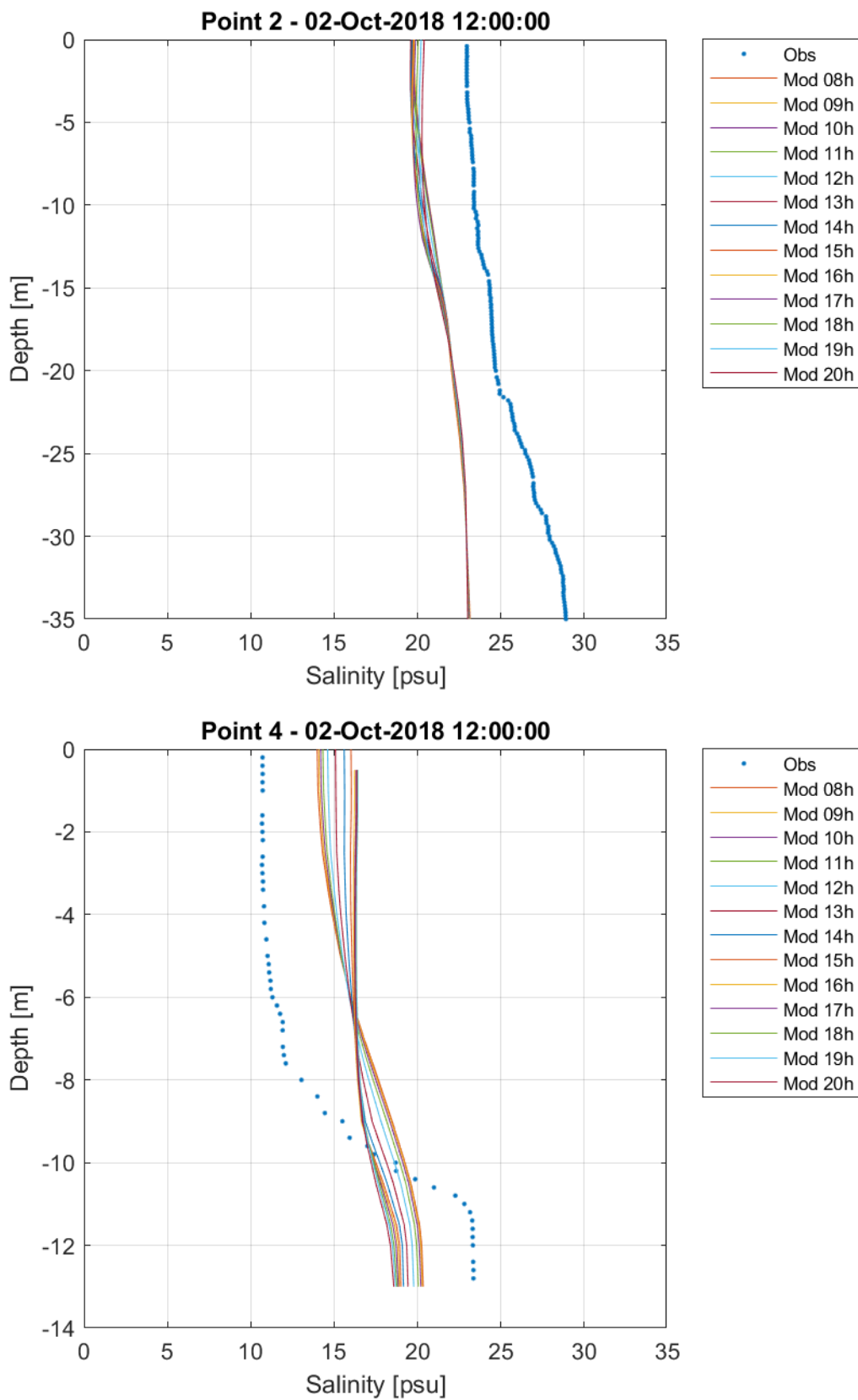
Figur A-29 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 29. august 2018.



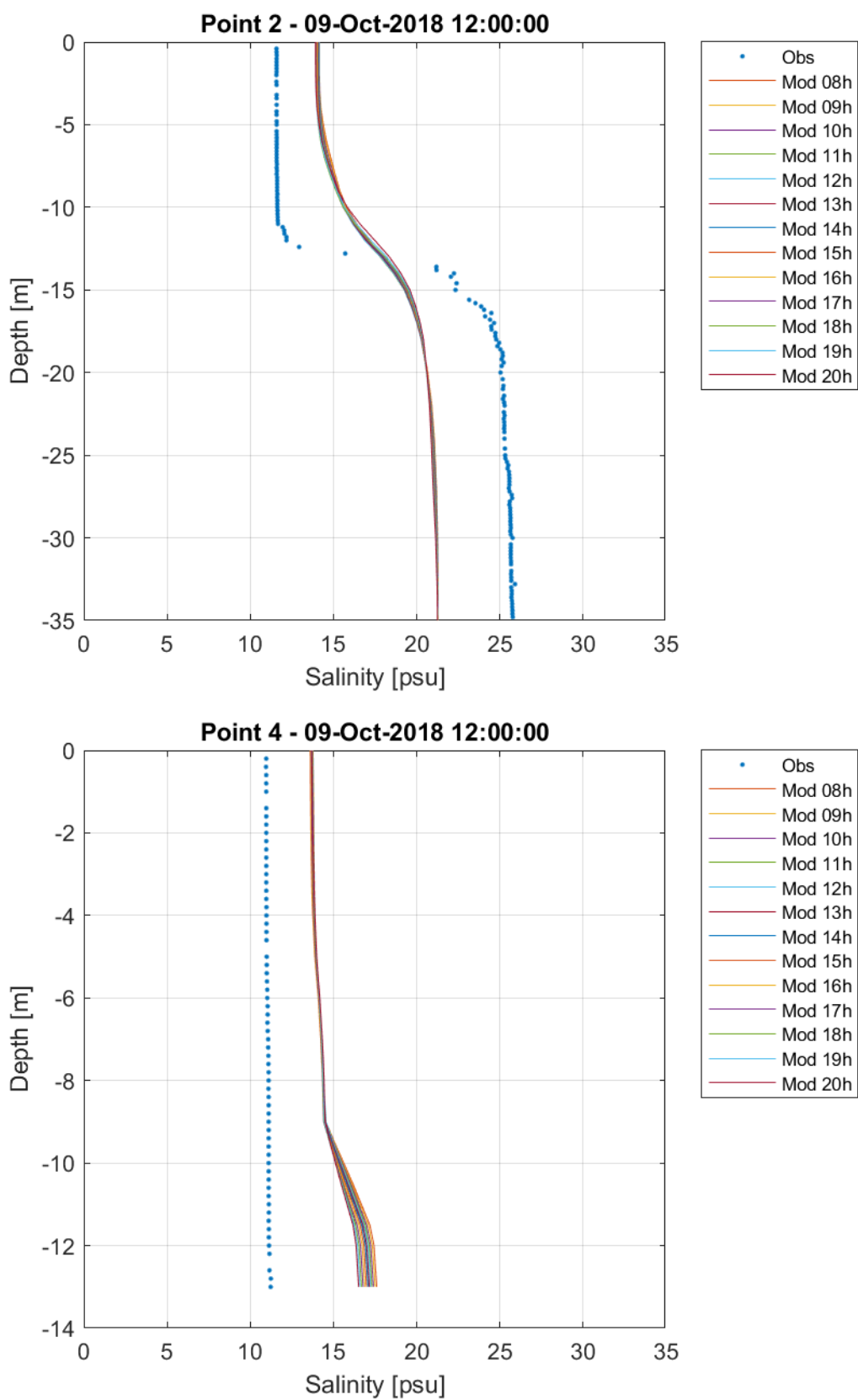
Figur A-30 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 17. september 2018.



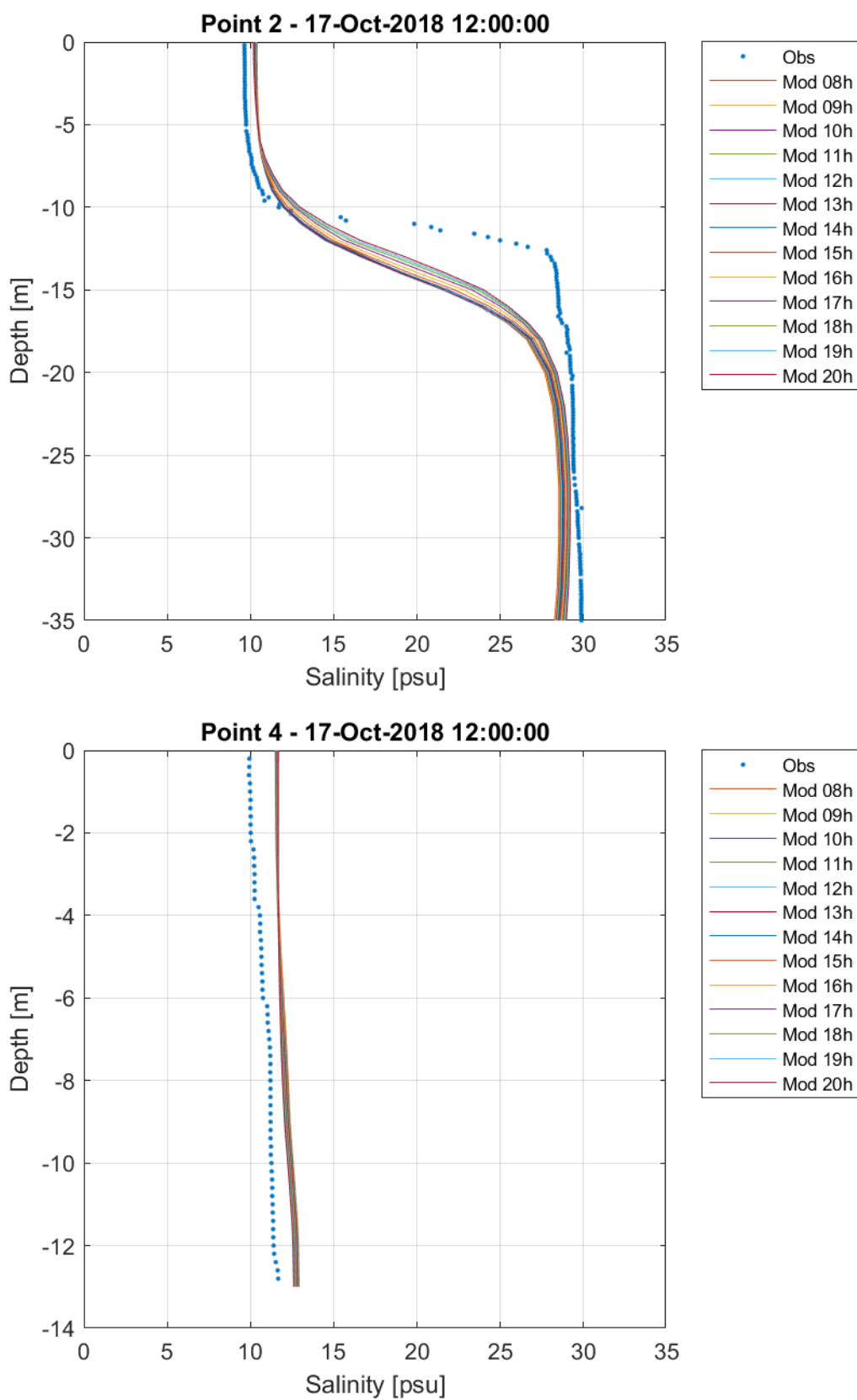
Figur A-31 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 24. september 2018.



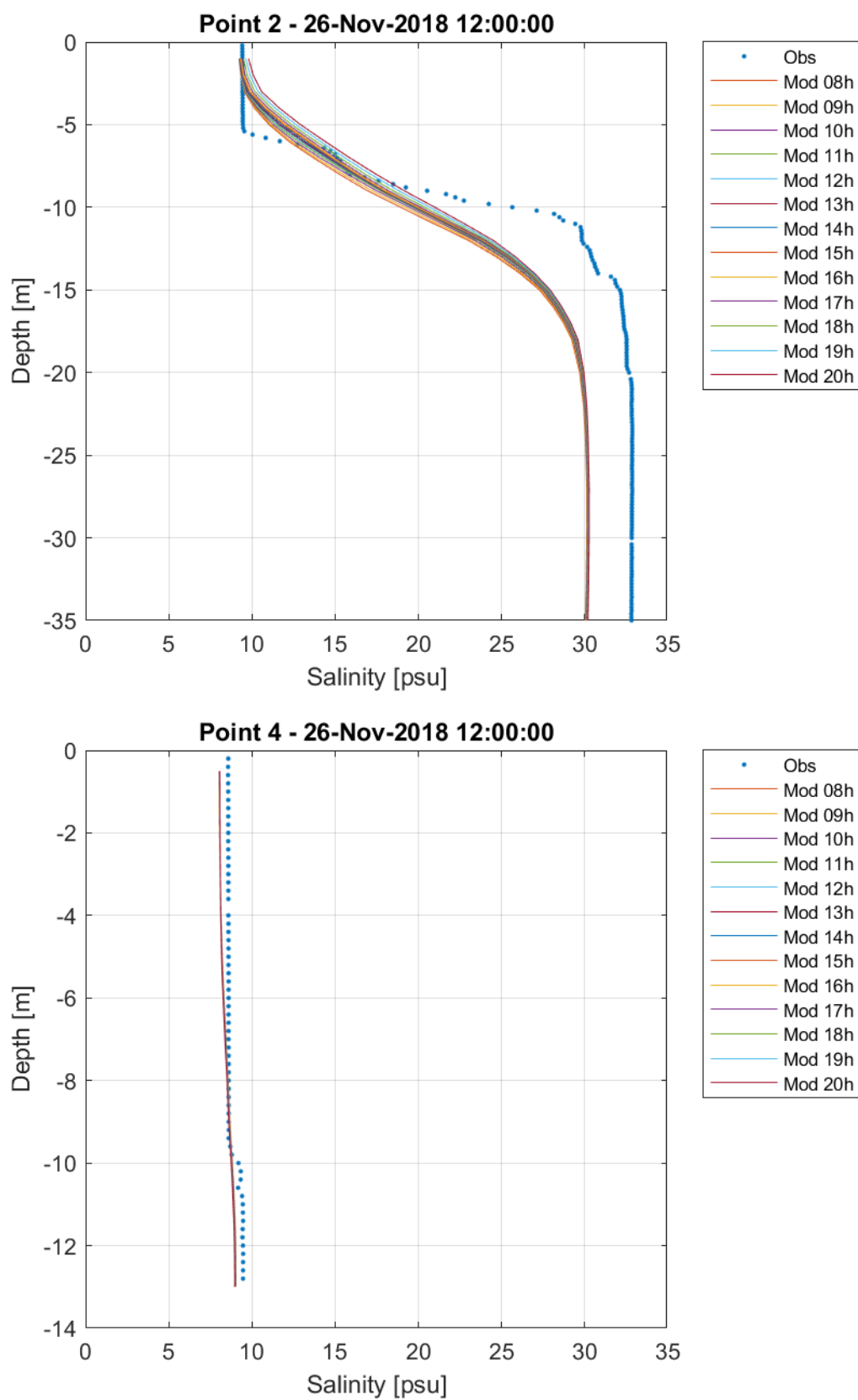
Figur A-32 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 2. oktober 2018.



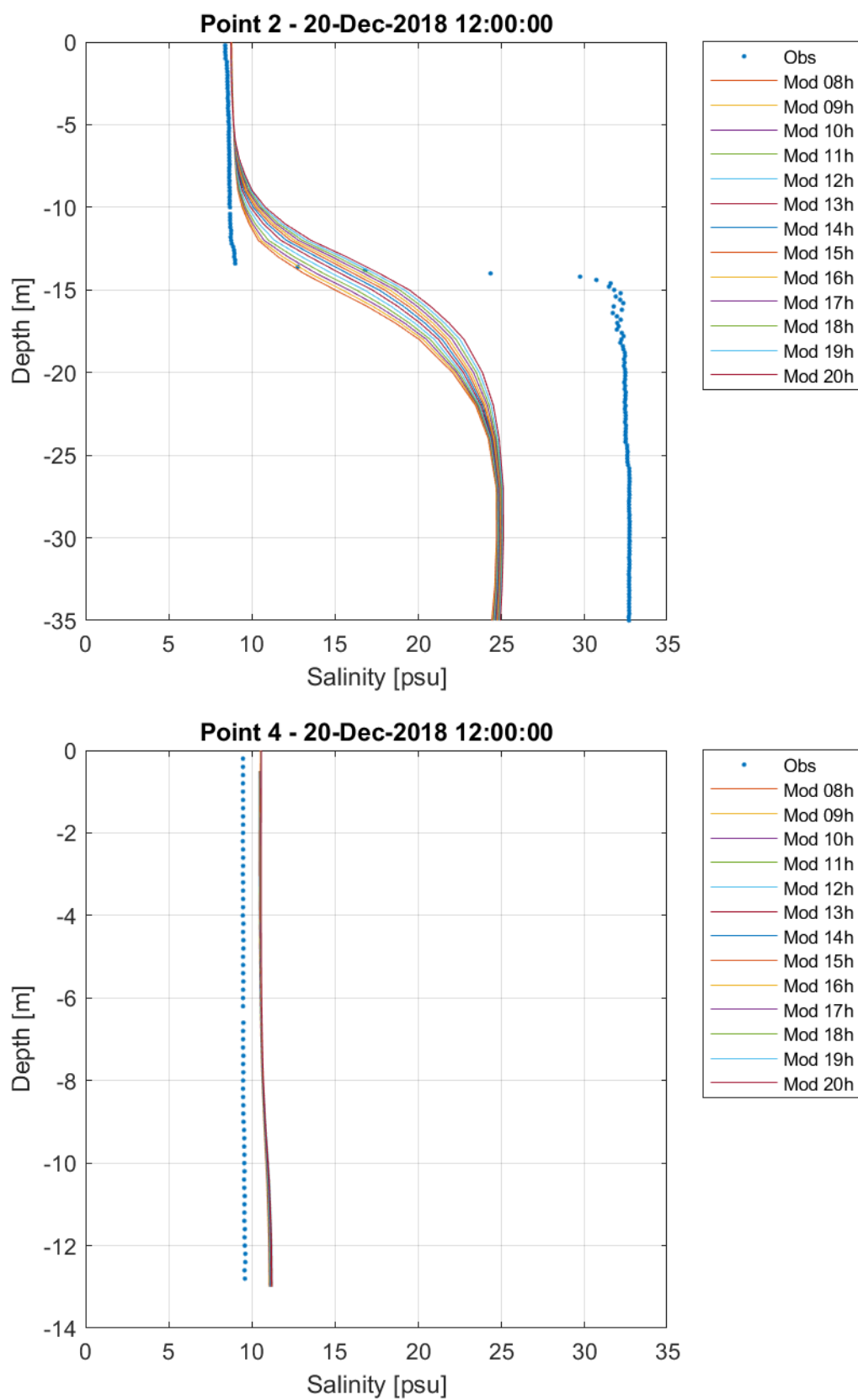
Figur A-33 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 9. oktober 2018.



Figur A-34 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 17. oktober 2018.



Figur A-35 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 26. november 2018.



Figur A-36 Sammenligning af målte og modellerede saltholdighedsprofiler i station P2 (øverst) og station P4 (nederst), 20. december 2018.

BILAG B – Biotilgængeligt N og P

B Datamateriale, N og P frigivelse fra sedimenter i suspension.

Datamaterialet til bestemmelse af suspenderede sedimenteres frigivelse af N og P består af i alt 90 udrystnings- eller udvaskningsforsøg fordelt på 75 sedimentkerner udtaget i farvandet omkring Danmark i tidsperioden fra 1986 til 2020, se Tabel B- 1.

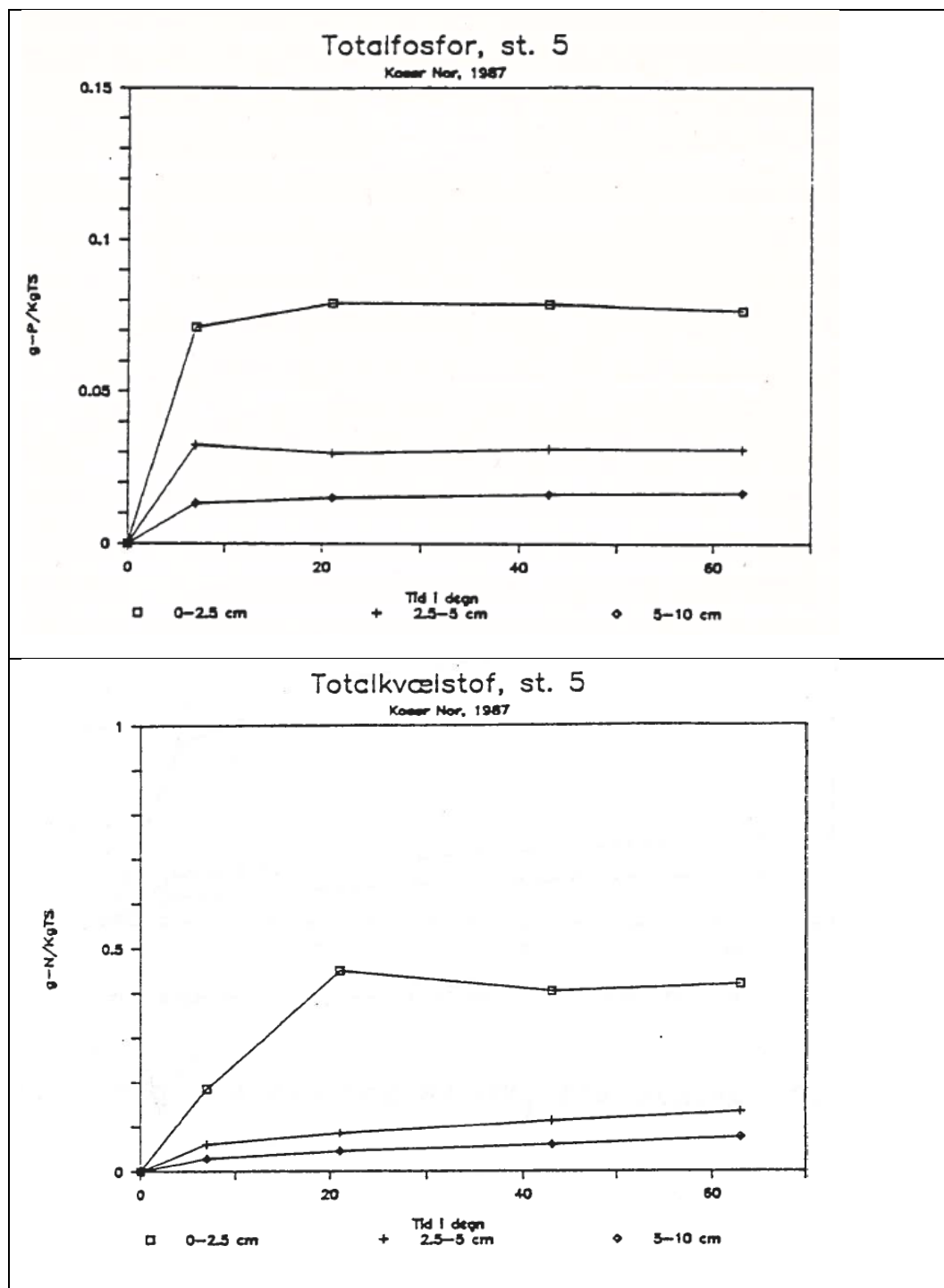
Udvaskningsforsøgene er enten udført under iltede (61) eller anaerobe (29) forhold. En serie prøver fra Femern Bælt (1996) er udført under iltede forhold, hvorefter det jernbundne- PO_4 er udtrukket ved at tilsætte carbonat-dithionit (18 prøver), svarende til trin 2 i en sekventiel P ekstraktion af marine sedimenter, se Ref. /32/, /33/. Udvaskningen af N er ikke afhængig af iltforholdene, det er udvaskningen af P imidlertid. Under iltede forhold vil sediments indhold af jern blive oxideret, som typisk er i partikulær form, og da oxideret jern kompleks binder PO_4 , vil mineraliseret PO_4 gå fra opløst form til partikulært form. Måler man P frigivelsen ved at måle på indholdet af TP eller PO_4 i eluatet (vandfasen), vil man ikke få denne pulje af frit PO_4 medregnet.

- Ønsker man et mål for sedimenternes biotilgængelige P pulje skal udrystningen ske under strikt iltfrie forhold. Dette gælder under udtagelse af sedimentprøver fra sedimentkernerne til anvendelse af iltfrit vand til iltfri udtagelse af eluat til bestemmelse frigivelse af N og P, hvis der over tid skal udtages flere prøver.
- Ønsker man et mål for den umiddelbare frigivelse af N og P næringssalte umiddelbart ved spild af sedimenterne, kan der anvendes udrystningsforsøg foretaget under iltede forhold over kort tid 6-24 timer. P frigivelsen vil imidlertid undervurdere mængden af biotilgængeligt P, men giver et mål for hvor meget P, der umiddelbart tilføres det omgivne vand.
- Ønsker man at få et mål for både den umiddelbare frigivelse af N og P samt puljer af biotilgængeligt P, kan man lave udrystningsforsøg over 6-24 timer. Og derefter lave en carbonat-dithionit ekstraktion på sedimentet for at få det jernbundne -PO_4 .

Metoderne er nærmere beskrevet i Ref. /35/, /37/og /38/.

Tidsperioden over hvilken udrystningen foregår, har betydning for mængden af biotilgængeligt N og P. I overfladesedimenter (0-0,1 m) vil det meste tilgængelige N og P under iltfrie forhold være udvasket indenfor 7 døgn for P og 7-21 døgn for N, se Figur B- 1. De øverste oxiderede 2,5 cm har den største P frigivelse, hvilket dels skyldes frigivelse af Fe bundet PO_4 samt nedbrydning af friskt organisk materiale. N frigivelser er ligeledes højest i de øverste 2,5 cm. Dybereliggende sedimenter, dvs. dybere end 0,3 m er gamle nedbrudte og kan forventes at frigive mindre biotilgængeligt N og P end laget i 5-10 cm dybde. Der kan dog forekomme undtagelser.

Der er kun 4 målinger fra Storebælt. Dette til trods for, at der er udtaget 18 lange sedimentkerner med vibrocore og 11 overflade sedimentkerner med kajakrør. Desværre har det ikke været muligt at finde Ref. /26/ i DHI's arkiv ligesom en forespørgsel hos COWI har været resultatløs. Data for de 4 målinger, hvoraf 3 er fra dybereliggende sedimenter stammer fra Ref. /27/og /28/.



Figur B-1 Udvaskning af TN og TP under iltfrie forhold i sedimentdybderne 0-2,5 cm, 2,5-5 cm og 5-10 cm. Korsør Nor st. 5, på 1-1,5 m vand, med sandet sediment, LOI:1-2,7%. Fra Ref. /30/.

Tabel B- 1 Metadata på næringsstofudvaskningsforsøg på marine sedimenter i farvandet omkring Dansk, med angivelse af om forsøgene er udført under iltfrie (-O₂) eller iltede (+O₂) forhold. Måleinterval angiver tidsinterval for måling af sedimentets næringsstoffrigivelse.

Ref.	År	System	Antal st.	antal prøver	Vand-dybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Ilt	Måleinterval
/29/	1986	Isefjord	2	2	5-8	0-0,1	Blød bund	+O ₂	24h
/30/	1987	Korsør Nor	1	3	4	0-0,1	Silt	-O ₂	7, 23, 30 døgn
/30/	1987	Korsør Nor	1	3	1-1,5	0-0,1	Sand	-O ₂	7, 23, 30 døgn
/26-27-28/	1988	Storebælt	1	1	5,6	1,4-1,5	Gytje, ler, silt, (Pg, Ma)	-O ₂	12h, & 16, 28 døgn
/26-27-28/	1988	Storebælt	1	1	5,6	3,9-4	Tørv, (Pg, Fw)	-O ₂	12h, & 16, 28 døgn
/26-27-28/	1988	Storebælt	1	1	7	7,8-7,9	Sand, silt, planterester, (L, Fw)	-O ₂	12h, & 16, 28 døgn
/26-27-28/	1988	Storebælt	1	1	1-2	0-0,2	Sand, grus	-O ₂	12h, & 16, 28 døgn
/31/	1989	Skælskør Nor	1	2	4	0-0,1	Sort mudder	-O ₂	12h, & 12, 28 døgn
/31/	1989	Skælskør Fjord	1	2	1	0-0,1	Sand	-O ₂	12h, & 12, 28 døgn
/31/	1989	Skælskør Fjord	1	2	4,5	0-0,1	Sand	-O ₂	12h, & 12, 28 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	5,5	2,6-2,7	Sand	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	5,5	4,3-4,4	Klæg	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	10	3-3,1	Klæg-gytje	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	12	1-1,1	Klæg	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	10,5	2,4-2,5	Groft sand	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	10	3,35-3,45	Fint sand	-O ₂	6h, 23 døgn

Ref.	År	System	Antal st.	antal prøver	Vand-dybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Ilt	Måleinterval
/35/	1993	Grådybet	1	1	10	1,65-1,75	Fint sand. H ₂ S lugt	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	10	3,5-3,6	Fint sand	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	10	4,5-4,6	Fint sand	-O ₂	6h, 23 døgn
/35/	1993	Grådybet	1	1	10	2-2,1	Fint sand	-O ₂	6h, 23 døgn
/36/	1955	Holbæk fjord	1	2	4-8	0-0,1	Blød bund	+O ₂	12h, 24h
/36/	1955	Isefjord indre	1	2	4-8	0-0,1	Blød bund	+O ₂	12h, 24h
/36/	1955	Isefjord ydre	1	2	4-8	0-0,1	Blød bund	+O ₂	12h, 24h
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,1	Sand (Rc/Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,25	Sand (Rc/Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,1	Sand (Rc/Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,1	Clay Till (Gc, Gl)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,1	Gytje (bassin), (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,1	Gytje (bassin), (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0,25-0,35	Late Glacial Clay, (Lg, Fw)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		3,6-3,7	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-1	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		1,2-1,3	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0-0,8	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn

Ref.	År	System	Antal st.	antal prøver	Vand-dybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Ilt	Måleinterval
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0,8-0,9	Sen Glacial Clay, (Lg, Fw)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		3,3-3,4	Sen Glacial Clay, (Lg, Fw)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		3,7-3,8	Clay Till, (Gc, Gl)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		2,4-2,5	Sen Glacial Sand, (Lg, Fw)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		2,5-2,6	Sen Glacial Sand, (Lg)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		0,5-0,6	Sen Glacial Clay (Sf), (Lg, Fw)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/37/	1996	Femern Bælt	1	1		3,5-3,6	Tørv, (Pg, Ma)	+O ₂ & dithionit	12h, 12,5 døgn
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	8	0-0,3	Groft sand, LOI%=1,05	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	14	0-0,3	Groft sand, LOI%=3,15	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	14	0,3-0,6	Groft sand, LOI%=1,2	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	19,8	0-0,3	LOI%=3,71	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	30,1	0-0,3	LOI%=1,78	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	30,1	0,3-0,6	LOI%=1,94	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	28,9	0-0,3	LOI%=2,96	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	28,9	0,3-0,6	LOI%=3,84	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	28,9	0,6-1	LOI%=1,41	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	28,5	0-0,3	LOI%=1,75	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	28,5	0,3-0,6	LOI%=6,45	+O ₂	24h

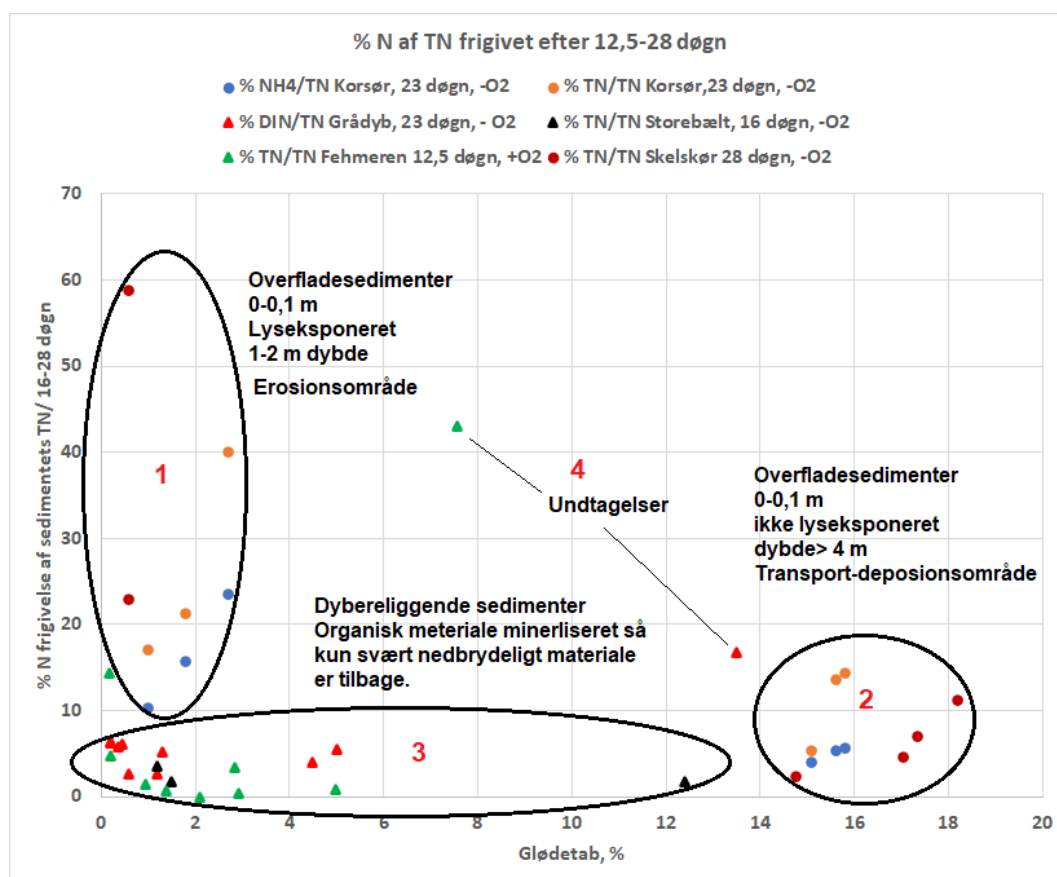
Ref.	År	System	Antal st.	antal prøver	Vand-dybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Ilt	Måleinterval
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	26	0-0,3	LOI%=6,10	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	26	0,3-0,6	LOI%=7,89	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	26	0,6-1	LOI%=3,83	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	29,4	0-0,3	LOI%=1,5	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	17	0-0,3	Grus, LOI%=0,86	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	17,5	0-0,3	LOI%=0,32	+O ₂	24h
/38/	2009	Femern Bælt	1	1	17,5	0,3-0,6	LOI%=0,49	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	7,19	2-2,2	Gytje, sand, mørkegråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	11,1	0,2-0,4	Gytje, leret, gråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	10,16	1-1,2	Gytje, meget fedt, sandet, gruset, sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	9,7	0,2-0,4	Gytje, fedt, sandet, sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	9,7	2-2,2	Gytje, fedt, gråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	8,75	3-3,2	Gytje, leret, sandet, mørk olivengråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	8,75	0-0,2	Fyld: Gytje, leret, meget mørkegråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	11,14	0,2-0,4	Gytje, silt-sand, gråbrunt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	12,2	1-1,2	Gytje, fedt, sandet, sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	12,2	3-3,2	Gytje, fedt, olivengråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	13,24	0-0,2	Fyld: Gytje, sandet, sort	+O ₂	24h

Ref.	År	System	Antal st.	antal prøver	Vand-dybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Ilt	Måleinterval
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	11,4	0,6-0,8	Gytje, meget fedt, sand, grus, sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	11,4	4-4,2	Gytje, fedt, sand, grus, mørk gråbrunt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	9,71	1-1,2	Gytje, sandet, olivengråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	13,23	0-0,2	Gytje, sandet, sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	9,7	0-0,2	Gytje, fedt, sandet, sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	9,7	1-1,2	Sand, mørkegråt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	12,51	0-0,2	Gytje, fedt, sandet, mørkegråt-sort	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	12,51	2-2,2	Tørv, omdannet, mørkebrunt	+O ₂	24h
/39/	2020	Lynetteholm	1	1	10,16	0,2-0,4	Gytje, meget fedt, sandet, gruset, sort	+O ₂	24h

B.1 Biotilgængeligt N og P - afsøgning af sammenhænge

Datamaterialet er visuelt undersøgt for sammenhænge mellem puljer af biotilgængeligt N og P, som funktion af sedimentets glødetab. Det viser sig imidlertid, at en sådan sammenhæng kun er synlig for overfladesedimenter indenfor sedimentdybden 0-0,1m, hvor den største stigning mellem biotilgængeligt N og glødetab findes i de lavvandede lyseksponerede sedimenter med lavt glødetab, Korsør Nor og Skælskør Fjord, se cirkelgruppe 1 i Figur B- 2. På de ikke lyseksponerede sedimenter med høje glødetab, syntes der ligeledes at være en positiv sammenhæng mellem glødetab og fraktionen af biotilgængeligt N, men med en mindre stigning end i sedimenterne på lavt vand gruppe 1. Fraktionen af biotilgængeligt N i gruppe 2 er markant lavere end i gruppe 1, se Figur B- 2.

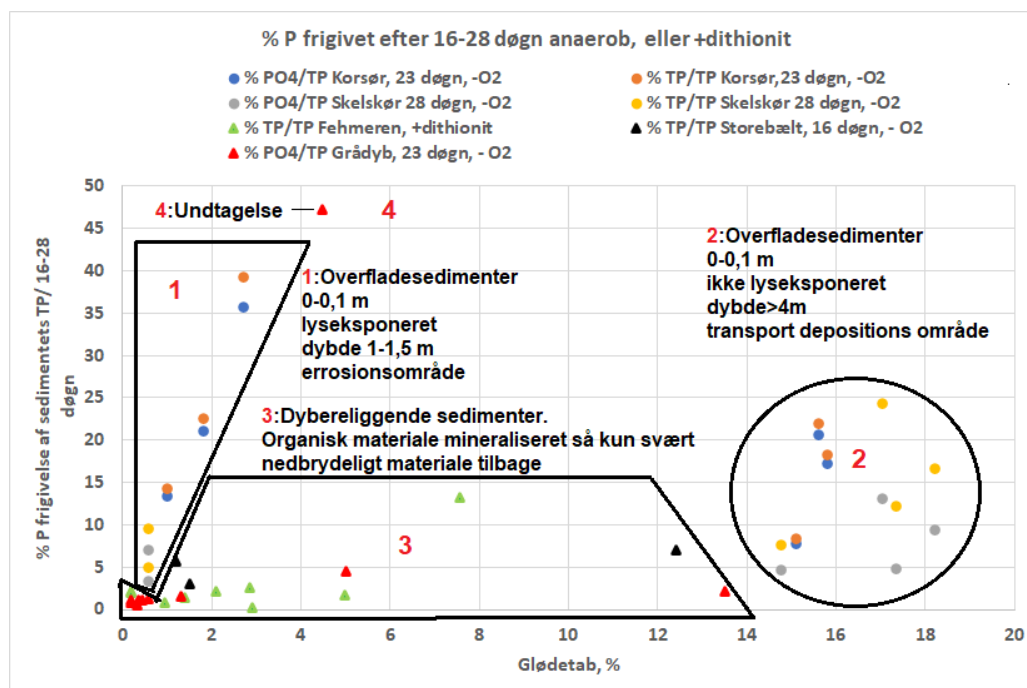
I den 3. gruppe af dybereliggende sedimenter fra Grådybet, Storebælt og Femern Bælt er der ingen sammenhæng mellem den biotilgængelige N fraktion og glødetabet. Dette skyldes, at disse sedimenter organiske materiale er nedbrudt, så kun det vanskeligt nedbrydelige organiske materiale er tilbage. Disse sedimenter er fra hundrede til flere tusinde år gamle. Endelig er der en 4 gruppe af dybereliggende sedimenter fra Grådybet, Storebælt og Femern Bælt som har biotilgængelige N fraktioner på størrelse med gruppe 1 og 2.



Figur B- 2 Biotilgængeligt N som % af sedimentets TN, afbilledet mod sedimentets glødetab (%) efter 12,5-28 døgns udvaskning under iltede eller iltfrie forhold.

I Figur B- 3 er de biotilgængelige P fraktioner af sedimentets TP præsenteret som funktion af glødetabet i sedimentet. Ligesom for fraktionen af biotilgængeligt N kan datamaterialet opdeles i 4 grupper. Gruppe 1 bestående af overfladesedimenter (0-0,1m) på lyseksponeret lavt vand med lavt glødetab. Disse sedimenter har en klar sammenhæng mellem biotilgængeligt P fraktion og glødetabet. I Gruppe 2, som består af ikke

lyseksponerede overfladesedimenter med højt glødetab, er den biotilgængelige P fraktion lavere end i gruppe 1. Samtidig er der mindre klar sammenhæng mellem glødetabet og den biotilgængelige P fraktion. I gruppe 3, der består af dybereliggende sedimenter fra Grådybet, Storebælt og Femern Bælt, er der ingen sammenhæng mellem den biotilgængelige P fraktion og glødetabet. Dette skyldes ligesom for N, at disse sedimenter er gamle (100- flere 1000 år), hvorfor det tilbageværende organiske er svært nedbrydeligt. Endelig er der undtagelser (gruppe 4), dvs. enkelte målinger, hvor den biotilgængelige P fraktion er på størrelse med de lyseksponerede overfladesedimenter, se Figur B- 3.



Figur B- 3 Biotilgængeligt P som % af sedimentets TP, afbilledet mod sedimentets glødetab (%) efter 12,5-28 døgns udvaskning under iltfrie forhold eller ekstraktion med dithionit.

Det er ikke muligt at systematisere gruppe 4 for hverken biotilgængelige N eller P fraktion, hertil er datamængden for lille. Gruppe 4 kan heller ikke ignoreres og skal på en eller anden måde indgå ved fastsættelse i en N og P protokol for hvilken fraktion af N og P, der er biotilgængelig i sedimentet.

B.2 N og P protokol for biotilgængelig N og P fraktioner af sedimenternes TN og TP

I Tabel B- 2 og Tabel B- 3 er 25%, 50% og 75% fraktilerne i datamaterialet med alle data samt datamaterialet uden Skælskør og Korsør. Der er ikke den store forskel på den biotilgængelige N fraktion under iltede og iltfrie forhold. Det er der imidlertid mellem den iltede og iltfrie biotilgængelige P fraktion, idet sidstnævnte er markant den største fraktion. Dette skyldes at puljen af PO_4 bundet til oxideret jern under iltede forhold frigives som PO_4 under iltfrie forhold.

Langt den største del af de sedimenter som skal graves væk i perimeteren af Lynetteholmen ligger på vanddybder, som ikke modtager særligt meget lys. Samtidig udgør sedimenter beliggende dybere end 0,1 m langt det største volumen som skal graves op og deponeres eller klappes. Derfor er fraktilerne på datamaterialet uden data fra Korsør og Skælskør beregnet, se Tabel B- 4 og Tabel B- 5. Den biotilgængelige N fraktion efter 12,- 28 døg falder en smule under iltfrie forhold, men ikke nok til at man kan sige, at der er forskel på de biotilgængelige N fraktioner under iltede og iltfrie forhold.

De biotilgængelige P fraktioner under iltfrie forhold er stadig størst selvom forskellen mindskes. Dette kan skyldes, at de lavvandede sedimenter fra Korsør og Skælskør er oxiderede og derfor har en forholdsvis stor pulje af jern bundet PO_4 ved prøvetagningen, som frigives under de iltfrie udvaskningsforsøg.

Tabel B- 2 Biotilgængelig N fraktion af sedimentets TN alle data, minimum, maksimum, samt 25%, 50% og 75% fraktillerne under iltede for iltfrie forhold.

Tidsforløb & iltforhold	% N/TN min. alle data	% N/TN maks. alle data	% N/TN 25% percentil alle data	% N/TN 50% percentil alle data	% N/TN 75% percentil alle data
6-24 timer, $-\text{O}_2$	0,17	11,23	0,81	1,18	2,76
12,5-28 døgn, $-\text{O}_2$	0,00	58,84	2,76	5,57	14,31
6-24 timer, $+\text{O}_2$	-0,04	29,65	0,34	0,99	2,04
12,5-28 døgn, $+\text{O}_2$	0,00	43,02	0,49	2,47	11,92

Tabel B- 3 Biotilgængelig P fraktion af sedimentets TP alle data, minimum, maksimum, samt 25%, 50% og 75% fraktillerne under iltede for iltfrie forhold.

Tidsforløb & iltforhold	% P/TP min. alle data	% P/TP maks. alle data	% P/TP 25% percentil alle data	% P/TP 50% percentil alle data	% P/TP 75% percentil alle data
6-24 timer, $-\text{O}_2$	0,00	4,16	0,12	0,22	1,26
12,5-28 døgn, $-\text{O}_2$ eller dithionit	0,31	47,21	1,63	5,07	14,39
6-24 timer, $+\text{O}_2$	0,00	2,77	0,02	0,12	0,53
12,5-28 døgn, $+\text{O}_2$	0,00	2,01	0,00	0,09	1,45

Tabel B- 4 Biotilgængelig N fraktion af sedimentets TN alle data minus Skælskør og Korsør, minimum, maksimum, samt 25%, 50% og 75% fraktillerne under iltede for iltfrie forhold.

Tidsforløb & iltforhold	% N/TN min Uden Skælskør & Korsør	% N/TN maks. uden Skælskør & Korsør	% N/TN 25% percentil uden Skælskør & Korsør	% N/TN 50% percentil uden Skælskør & Korsør	% N/TN 75% percentil uden Skælskør & Korsør
6-24 timer, $-\text{O}_2$	0,17	11,23	0,68	1,17	2,66
12,5-28 døgn, $-\text{O}_2$	1,70	16,77	2,76	5,31	6,34
6-24 timer $+\text{O}_2$	-0,04	29,65	0,34	0,99	2,04
12,5-28 døgn, $+\text{O}_2$	0,00	43,02	0,49	2,47	11,92

Tabel B- 5 Biotilgængelig P fraktion af sedimentets TP alle data minus Skælskør og Korsør, minimum, maksimum, samt 25%, 50% og 75% fraktillerne under iltede for iltfrie forhold.

Tidsforløb & iltforhold	% P/TP min. uden Skælskør & Korsør	% P/TP maks. uden Skælskør & Korsør	% P/TP 25% percentil uden Skælskør & Korsør	% P/TP 50% percentil uden Skælskør & Korsør	% P/TP 75% percentil uden Skælskør & Korsør
6-24 timer, -O ₂	0,00	4,16	0,12	0,22	1,09
12,5-28 døgn, -O ₂ eller dithionit	0,31	47,21	1,11	2,15	5,11
6-24 timer, +O ₂	0,00	2,77	0,02	0,12	0,54
12,5-28 døgn, +O ₂	0,00	2,01	0,00	0,09	1,45

Tabel B- 6 Biotilgængelig N fraktion af sedimentets TN alle data minus Skælskør og Korsør, 75% fraktil som gennemsnit af biotilgængelige N fraktion under iltede og iltfrie forhold.

Tidsforløb	% N/TN 75% percentil uden Skælskør & Korsør
6-24 timer	2,35
12,5-28 døgn	9,13

I de følgende beregninger tages der udgangspunkt i data minus Korsør og Skælskør. Der bruges de biotilgængelige fraktioner ved 75% fraktilen for at kunne medtage undtagelserne i gruppe 4. Den biotilgængelige P fraktion deles op i iltede og iltfrie forhold, men det er den iltfrie biotilgængelige P fraktion efter 12,5-28 døgn, der bruges til beregning af den biotilgængelige P pulje af de spildte sedimenter, se Tabel B-6. Den biotilgængelige N fraktion beregnes som gennemsnittet af 75% fraktilen af iltede og iltfrie forhold på data minus Skælskør og Korsør data. Den Biotilgængelige N pulje af det spildte sediment beregnes ud fra den biotilgængelige N fraktion efter 12,5 til 29 døgn.

BILAG C – Suspenderede sedimenternes iltforbrug

C Datamateriale suspenderede sedimenters iltforbrug

Datamaterialet til bestemmelse af iltforbrug under gravearbejdet ved etableringen af Lynetteholmen er præsenteret i Tabel C- 1 til Tabel C- 3. Det består af 51 målinger af akkumuleret iltforbrug over forskellige tidsintervaller fra 5 timer op til 120 timer, på sedimenter fra 6 forskellige områder. Sedimenternes indhold af glødetab spænder fra 0,2 til 80% af tørvægten. Datamaterialet inkluderer ikke målinger af iltforbrug fra Lynetteholms sedimenter, idet de foretagne BOD5 målinger herfra viste sig at være markant lavere end målingerne i datamaterialet. Dette skyldes, at der formodentlig er målt BOD på eluat og ikke på suspenderet sediment.

Den tidslige udvikling af langt de fleste sedimenternes akkumulerede iltforbrug (SODx) viser sig at kunne beskrives med en potensfunktion:

$$SODx = b \cdot X^m, \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \text{ til tiden } X \rightarrow$$

$$\ln(SODx) = \ln(b) + m \cdot \ln(X)$$

Hvor:

SODx: Akkumuleret iltforbrug til tiden X timer.

b: Iltforbrug efter en time $\text{kg O}_2/\text{m}^3$

m: Henfaldskonstant

Respirationen, her kaldet den basale respiration (BRESP) til tiden X kan findes ved differentiering af ovenstående formel:

$$BRESPx = b \cdot m \cdot X^{(m-1)}, \text{ kg O}_2/\text{m}^3/\text{time}$$

I Figur C- 1 (højre) er der et eksempel på et sandet sediment med H_2S lugt, der følger ovenstående formelapparat. Der er imidlertid undtagelser fra ovenstående relation.

- Sandede sedimenter med et glødetab mindre end 1 % uden H_2S lugt, har lave SODx værdier som stiger lineært over 24 timer, se Figur C- 1 (venstre).
- Nogle få sedimenter med en meget højt glødetabs % kan bedst beskrives med en konstant SOD værdi for tidsintervaller større end 12 timer.

I Figur C- 2 vises målte akkumuleret iltforbrug over 24 timer, 12 timer og 5 timer præsenteret som funktion af sedimentets glødetabs procent af tørstofindholdet (LOI%). Der er en tydelig lineær sammenhæng mellem glødetabet og SODx for sedimenter med et glødetab mindre end 20%. For de få sedimenter med et større glødetab er SOD24 og SOD12 (24 og 12 timer) ikke så forskellige fra hinanden, hvorfor SOD12 også anvendes for SODx perioder større end 12 timer.

Der er foretaget regressionsanalyse på sedimenter med fra minimum 5 tids målinger af SOD for at finde modelkonstanterne b og m i ovenstående formelapparat, se Tabel C- 4. Alle regressioner kan forklare mellem 63 til 99% af variationen i datamaterialet, se R^2 .

For de sandede sedimenter med LOI% <1 uden H_2S lugt er der fundet en lineær sammenhæng, der beskriver SODx op til 24 timer, se Tabel C- 5.

Ved brug af formelapparatet $SODx = b \cdot X^m$ er det akkumulerede iltforbrug efter 24, 12, 6 og 1 time beregnet for hver af sedimenterne i Tabel C- 4. På disse data er der lavet en lineær regression mellem SODx og glødetabsprocenten ($SODx_m$), se Tabel C- 6. De største R^2 findes for X:24 timer, 61%, faldende til 21% for X:1 time. Dette kan forklares ved, at

iltforbruget efter 1 time er domineret af sedimentets indhold af let omsættelige forbindelser, typisk sulfider, hvis betydning aftager over tid, hvor mineralisering af organiske forbindelser, repræsenteret ved glødetabet, bliver mere dominerede.

De akkumulerede iltforbrug SOD_x og SOD_{x_m} beregnet ud fra glødetabet er præsenteret i Figur C-3.

Sedimenternes basale iltforbrugsrate ($BRESP_x$) efter 24 og 120 timer er beregnet ud fra konstanterne i Tabel C- 4. Herefter er der lavet en lineær regression mellem $BRESP_x$ og glødetabet, se Tabel C- 7, hvilket viser at mellem 77 og 71 % af variationen i $BRESP_x$ kan beskrives ud fra de fundne relationer. I Figur C-4 er $BRESP_x$ og $BRESP_{x_m}$ sammenlignet.

De to datasæt er ikke anvendt i ovenstående regressioner og kan derfor tjene som visuelle afprøvning af det udledte formelapparat. De to datasæt er målinger af SOD_x fra Storebælt i 1988 og fra Femern Bælt i 2009. I Figur C- 5 er målte og modelleret SOD_{12} og SOD_{24} afbildet som funktion af sedimentets glødetabs procent. Der er en god sammenhæng mellem målt og modelleret SOD_{12} . Det er lidt svært at vurdere hvor god de modellerede SOD_{24} er, idet der kun er et punkt, hvor glødetabet er større end 3,5%. Desværre har det ikke været muligt at tilvejebringe alle de målinger, som er foretaget i forbindelse med Storebælt undersøgelsen, da det ikke har været muligt at fremskaffe Ref. /26/.

Tabel C- 1 Metadata for måling af iltforbrug (SOD) i suspenderede sedimenter fra forskellige marine områder omkring Danmark.

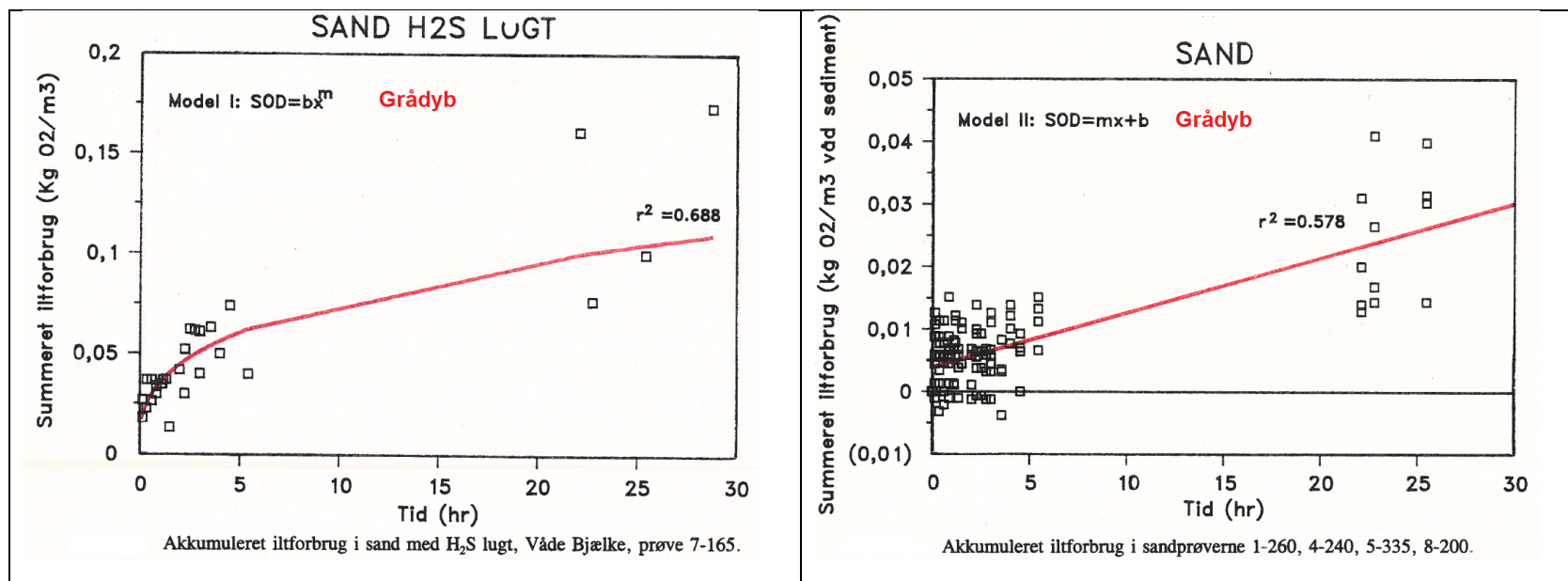
Ref.	År	System	Vanddybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Gløddtab % (LOI%)	Måleinterval
/27/	1988	Storebælt	5,6	1,4-1,6	Gytje, ler, silt	12,4	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt	5,6	3,95-4,1	Tørv	83,0	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt	5,6	7,55-7,75	Sand, silt, planterester	1,5	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt	3	0-0,2	Sand, H ₂ S	1,0	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt		0,4-0,5	Ler	3,0	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt		1,3-1,4	Glacial ler & sand	0,6	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt		0,5-0,6	Medium sand & gytje	1,5	12H, 24H
/27/	1988	Storebælt		0,4-0,5	Medium ler	1,5	12H, 24H
/35/	1993	Grådyb	5,5	2,6-2,7	Sand	0,19	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	5,5	4,3-4,4	Klæg	5,0	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	10	3-3,1	Klæg-gytje	13,5	1H-5H,12H,24H, 120H
/35/	1993	Grådyb	12	1-1,1	Klæg	4,48	1H-5H,12H,24H, 120H
/35/	1993	Grådyb	10,5	2,4-2,5	Groft sand	0,19	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	10	3,35-3,45	Fint sand	0,36	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	10	1,65-1,75	Fint sand, H ₂ S lugt	0,45	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	10	3,5-3,6	Fint sand	1,3	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	10	4,46-4,6	Fint sand	0,58	1H-5H,12H,24H
/35/	1993	Grådyb	10	2-2,1	Fint sand	0,34	1H-5H,12H,24H
/36/	1995	Holbæk Fjord	6,5	0-0,1	Mudder	7,9	1H, 5H, 12H, 24H
/36/	1995	Isefjord indre	3,5	0-0,1	Mudder	16,4	1H, 5H, 12H, 24H
/36/	1995	Isefjord Ydre	8,5	0-0,1	Mudder	6,3	1H, 5H, 12H, 24H

Tabel C- 2 Metadata for måling af iltforbrug (SOD) i suspenderede sedimenter fra forskellige marine områder omkring Danmark.

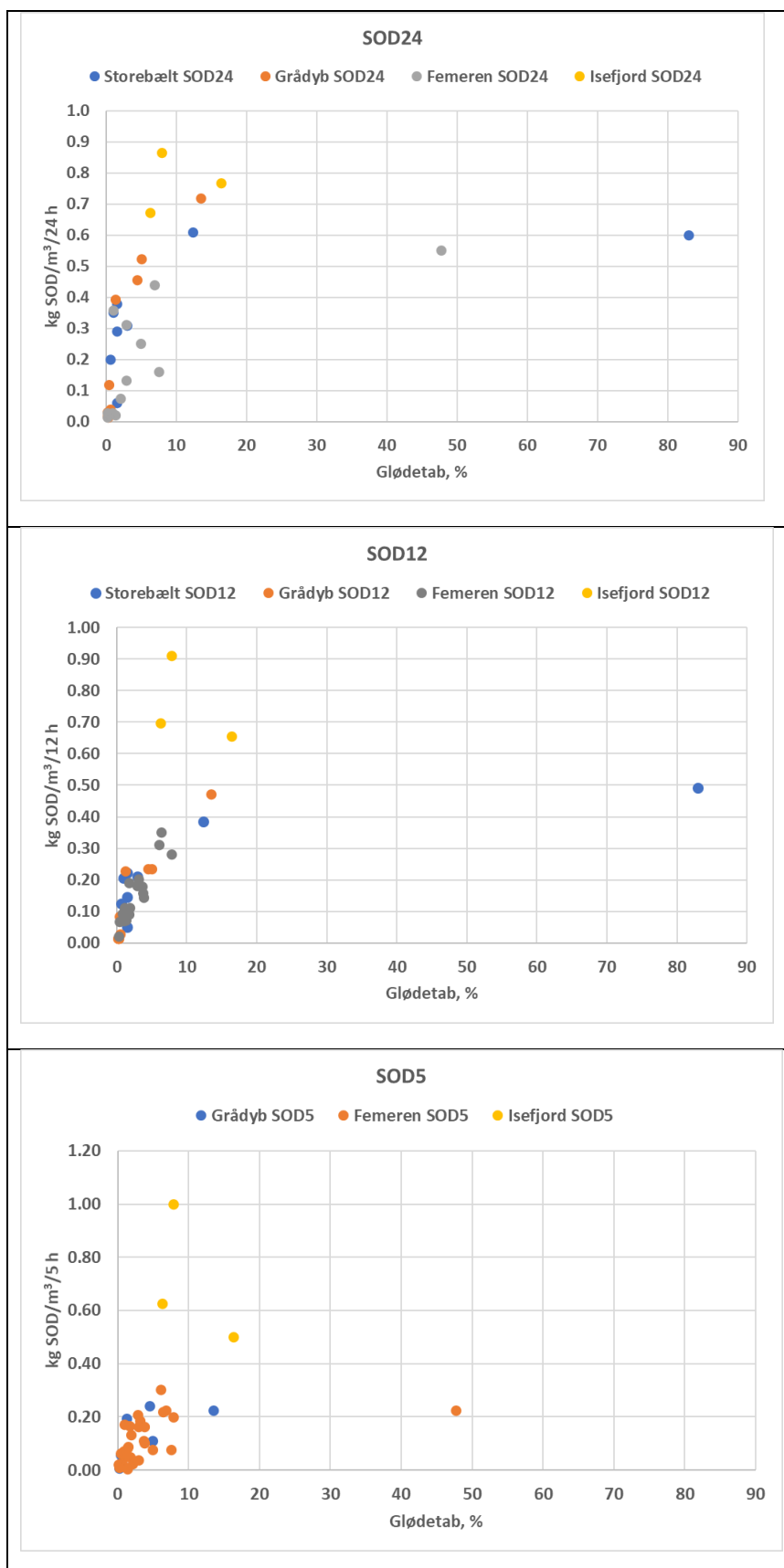
Ref.	År	System	Vanddybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Glødtab % (LOI%)	Måleinterval
/37/	1996	Femern Bælt		0-0,1	Sand (Rc/Pg, Ma)	0,201	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		0-0,1	Sand (Rc/Pg, Ma)	0,178	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		0-0,1	Gytje (bassin), (Pg, Ma)	2,91	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		0,25-0,3	Late Glacial ler, (Lg, Fw)	2,1	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		3,6-3,7	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	7,57	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		0-1	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	4,98	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		1,2-1,3	Gytje (skrænt), (Pg, Ma)	6,87	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		3,2-3,3	Sen Glacial ler, (Lg, Fw)	2,84	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		3,7-3,8	Clay Till, (Gc, Gl)	0,934	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		2,5-2,6	Sen Glacial Sand, (Lg)	1,38	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		0,5-0,6	Sen Glacial ler (Sf), (Lg, Fw)	1,01	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/37/	1996	Femern Bælt		3,5-3,6	Tørv, (Pg, Ma)	47,7	1H, 5H, 10H, 24H,48H
/38/	2009	Femern Bælt	8	0-0,3	groft sand	1,05	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	14	0-0,3	groft sand	3,15	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	14	0,3-0,6	groft sand	1,2	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	19,8	0-0,3		3,71	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	30,1	0-0,3		1,78	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	30,1	0,3-0,6		1,94	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	28,9	0-0,3		2,96	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	28,9	0,3-0,6		3,84	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	28,9	0,6-1		1,41	5H, 12H

Tabel C- 3 Metadata for måling af iltforbrug (SOD) i suspenderede sedimenter fra forskellige marine områder omkring Danmark.

Ref.	År	System	Vanddybde, m	Sediment-dybde, m	Sedimenttype	Glødtab % (LOI%)	Måleinterval
/38/	2009	Femern Bælt	28,5	0-0,3		1,75	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	28,5	0,3-0,6		6,45	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	26	0-0,3		6,1	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	26	0,3-0,6		7,89	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	26	0,6-1		3,83	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	29,4	0-0,3		1,5	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	17	0-0,3	grus	0,86	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	17,5	0-0,3		0,32	5H, 12H
/38/	2009	Femern Bælt	17,5	0,3-0,6		0,49	5H, 12H



Figur C- 1 Akkumuleret iltforbrug (SOD) som funktion af tid. Venstre: $SOD = bx^m$, sandede sedimenter (LOI%<1) med H₂S lugt eller sedimenter LOI%>1. Højre: sandede sedimenter (LOI%<1) ingen H₂S lugt $SOD = d \cdot X + e$. Fra Ref. /23/.



Figur C- 2 Suspenderede sedimenteres målte akkumulerede iltforbrug (SOD) som funktion af glødetabet% (LOI%) efter hhv. 24, 12 og 5 timer.

Tabel C- 4 Resultater af regressioner med model $SODx=bX^m$. X:timer. Sandede sedimenter (LOI%<1) med H₂S lugt og sedimenter LOI%>1.

Sted	Glødetab%	b	m	R ²
Holbæk Fjord	7,9	0,2668	0,4718	0,72
Isefjord indre	16,4	0,1240	0,6737	0,87
Isefjord ydre	6,3	0,3459	0,2956	0,59
Grådyb	5	0,0497	0,6247	0,91
Grådyb	13,5	0,1164	0,5611	0,62
Grådyb	4,48	0,0497	0,6247	0,91
Grådyb	0,45	0,0352	0,3385	0,67
Grådyb	1,3	0,0761	0,4197	0,95
Grådyb	0,58	0,0218	0,2634	0,72
Femern Bælt	0,2	0,0046	0,5627	0,99
Femern Bælt	0,2	0,0087	0,3625	0,63
Femern Bælt	2,9	0,0142	0,6930	0,99
Femern Bælt	2,1	0,0148	0,4950	0,90
Femern Bælt	7,6	0,0298	0,5904	0,98
Femern Bælt	5,0	0,0275	0,6689	0,99
Femern Bælt	6,9	0,1407	0,3741	0,97
Femern Bælt	2,8	0,1276	0,2875	0,99
Femern Bælt	0,9	0,0051	0,5531	0,96
Femern Bælt	1,0	0,0655	0,5081	0,96

Tabel C- 5 Resultater af regression med model $SODx=d*X+e$, X:timer, sandede sediment LOI%<1 uden H₂S lugt.

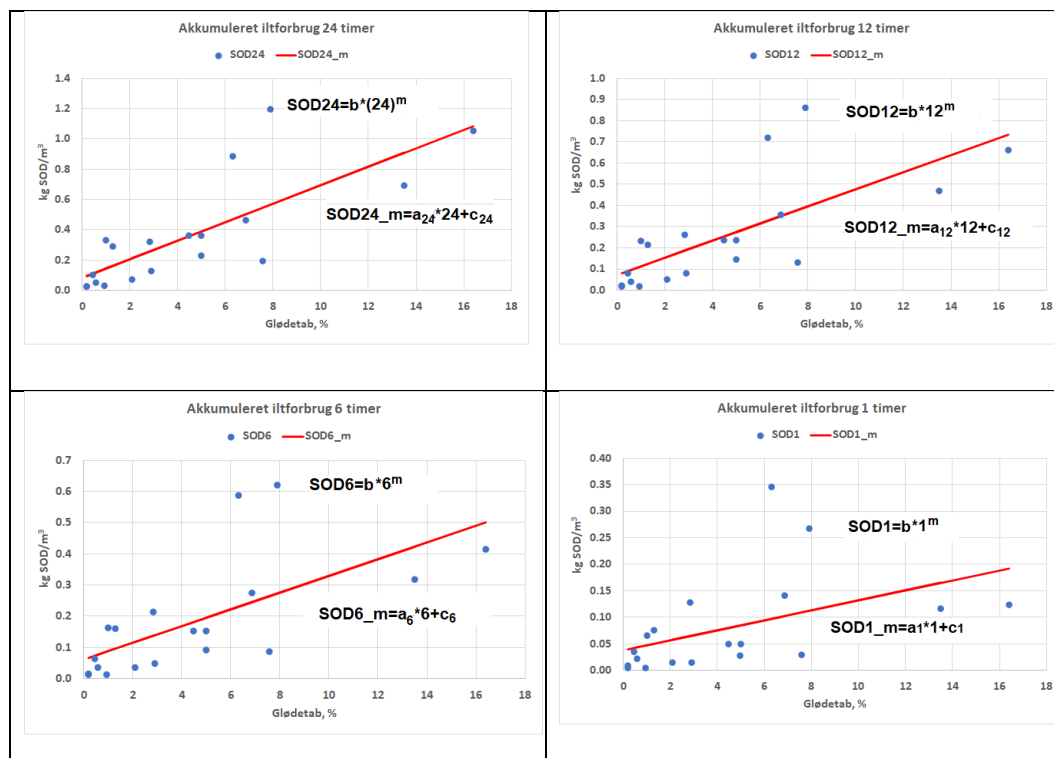
Sted	Glødetab%	d	e	R ²
Grådyb, Femern Bælt	0,19-1	0,00088	0,0040	0,58

Tabel C- 6 Resultat af regressioner mellem SODx beregnet med modelkonstanter fra Tabel C- 4 og glødetab% (LOI%) efter 24,12, 6 og 1 time. $SODx_m = a \cdot LOI\% + c$.

Akkumuleret iltforbrug efter, 24, 12, 6 & 1 time	a	c	R ²
SOD24_model	0,0611	0,0837	0,61
SOD12_model	0,0403	0,0732	0,52
SOD6_model	0,0267	0,0622	0,42
SOD1_model	0,0094	0,0378	0,21

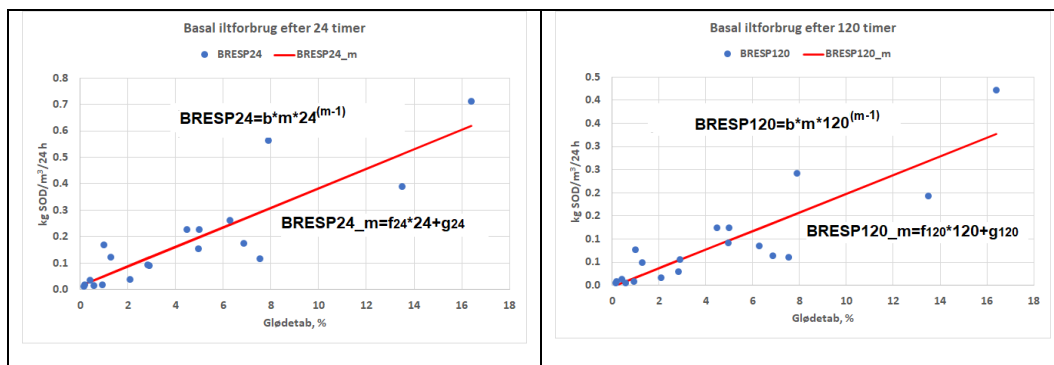
Tabel C- 7 Resultat af regressioner mellem basal respiration til tid X: $BRESPx = b \cdot mX^{(m-1)}$ beregnet med modelkonstanter fra Tabel C- 4 og glødetabes procenten (LOI%) efter 24 og 120 timer. $BRESP_m = f \cdot LOI\% + g$.

Basal respiration efter 24 & 120 timer	f	g	R ²
BRESP24	0,0369	0,0137	0,76
BRESP120	0,0201	-0,0034	0,77

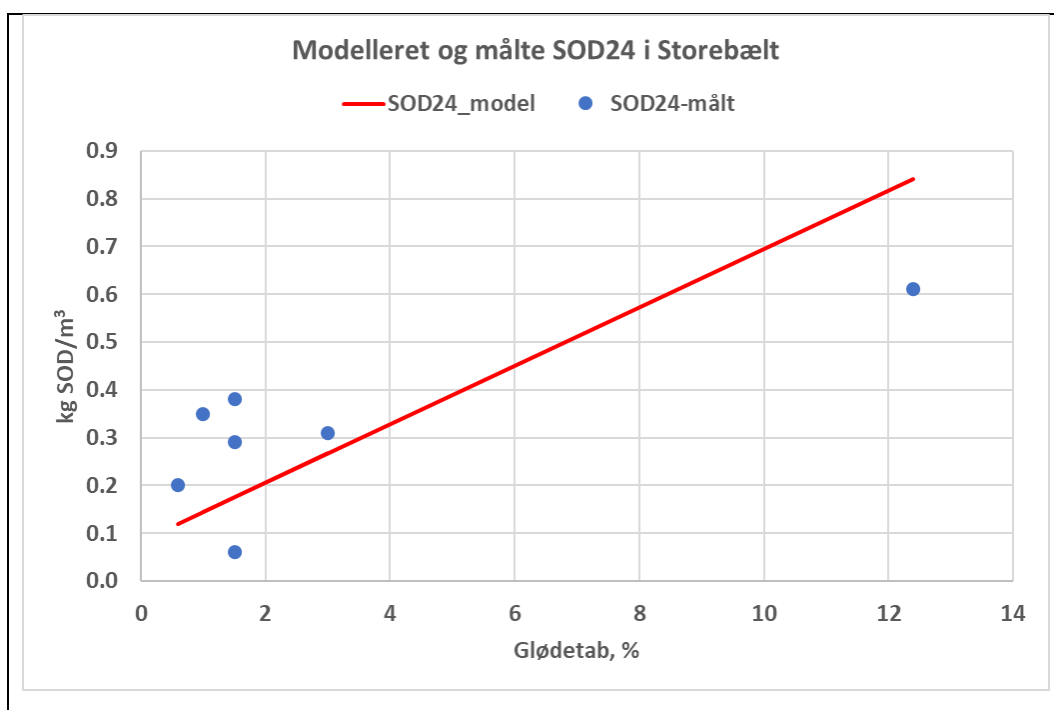


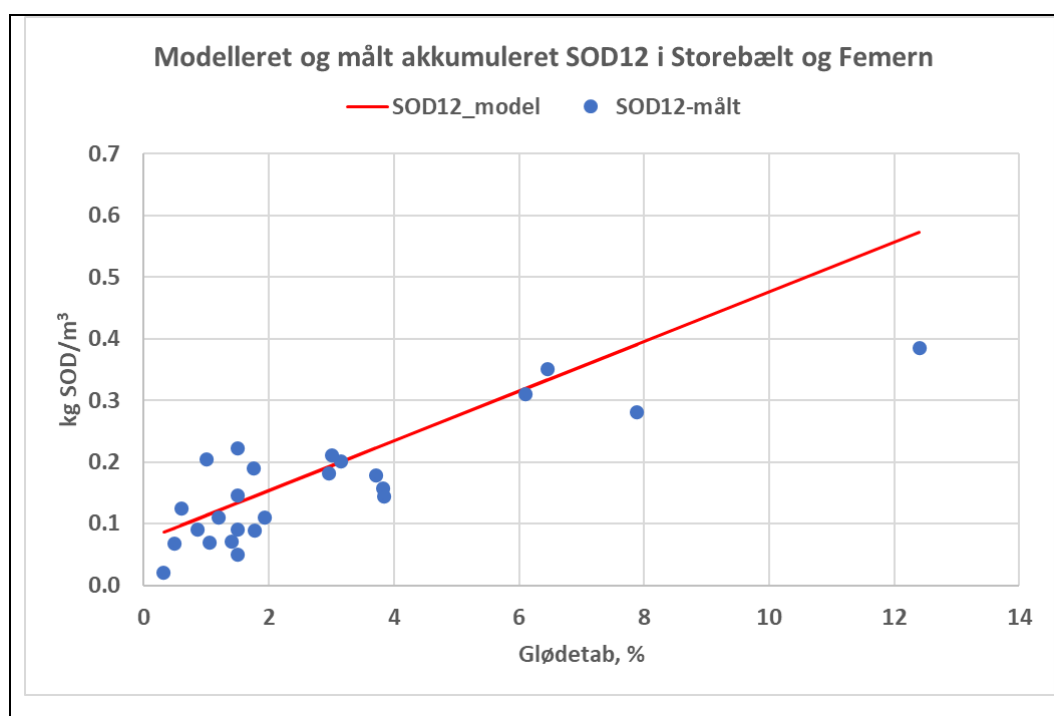
Figur C- 3 Sammenligning af akkumuleret iltforbrug (SODx) efter 24, 12, 6 og 1 time beregnet med model $SOD_x = b \cdot X^m$, se Tabel C- 4, og model $SOD_x = a \cdot LOI\% + c$, se

Tabel C- 6.



Figur C- 4 Basale respiration efter 24 og 120 timer, beregnet med model $BRESP = m \cdot bX^{(m-1)}$, se Tabel C- 4 og model $BRESPx_m = f \cdot LOI\% + g$, se Tabel C- 7.





Figur C- 5 Modelleret ($SODx=b \cdot X^m$) og målt akkumuleret iltforbrug (SOD) efter 24 og 12 timer.