



Notat

Fonden Sletten Havn

Sletten Havn

Moleforlængelse – Hydraulisk effekt på sedimenttransport, ålegræs og opholdstid

Projekt ID: 1030925
Dokument ID:
XTAXEUDDNY4W-75177900-752
Ændret: 10-01-2020 16:44
Revision: 2

Udarbejdet af: TEB
Kontrolleret af: UAN
Godkendt af: UAN

1 Metode

Til vurdering af ændringerne i aflejring af ålegræs/fedtemøg samt den kystnære sedimenttransport nord for Sletten Havn som følge af den planlagte moleforlængelse er der opstillet en model af Øresund med fokus på Sletten Havn.

Den anvendte model er den af DHI udviklede MIKE21 opstillet i tre kombinationer:

- 1) Sedimenttransport: hydrodynamisk model i kombination med spektral bølgemodel og sedimenttransport model. Modellerne er kørt parallelt med mellemliggende feedback modeller, således at f.eks. en ændring i strømmen er overført til bølgemodellen og tilsvarende omvendt med bølgerne. For en nærmere beskrivelse af modellen henvises der til [MIKE21HD](#) og [MIKE21SW](#).
- 2) Ålegræs/fedtemøg: hydrodynamisk model i kombination med 'Particle' til beskrivelse af materiale i drift som følge af den generelle strøm og vinden;
- 3) Vandskifte: hydrodynamisk model i kombination med stoftransport modulet for beskrivelse af opholdstid.

Vanddybderne er til dels baseret på søkort, Sundet, N-lige del, nr. 131, 2. udgave juni 2011, mens forholdene kystnært, er vurderet med udgangspunkt i dybderne på revlerne og kystens placering.

2 Resultat

Effekten af moleforlængelsen er anskueliggjort ved at betragte hhv. sedimenttransporten, transporten af ålegræs/fedtemøg og opholdstiden i hjørnet nord for havnen for nuværende og planlagte forhold.

2.1 Sedimenttransport

Transporten omkring havnen af ikke kohæsiv materiale, i dette tilfælde sand med en gennemsnit kornstørrelse på 0,2 mm, er udført med en lokal model der omkring havnen er holdt i en opløsning på 3 til 4 m for at have en rimelig beskrivelse af de brydende bølger.

Den opstillede model er kørt for en situation med ubegrænset adgang til materiale. Resultatet afspejler derfor den maksimale transportkapacitet og ikke den faktiske

transport. Mængden af materiale, der reelt kan komme i transport omkring havnen er begrænset til det materiale, der faktisk er til rådighed i området og derfor mindre end den beregnede transportkapacitet.

For at kunne beskrive den relative forskel mellem den nuværende situation og situationen med moleforlængelse er det valgt at udføre modelleringen for to fiktive, men repræsentative vejr cases:

- 1) Nordøstlige bølger, signifikant bølge højde på 1,5, peak periode på 4,5 s fra 45° og
- 2) Sydøstlige bølger, signifikant bølge højde på 1,5, peak periode på 4,5 s fra 135°.

Da der som tidligere nævnt, er fokuseret på den relative ændring i transportkapaciteten, er der ikke vist absolutte størrelser på Figur 2.1 og Figur 2.2. Ved at sammenholde de to situationer fortæller figurerne derfor primært, hvor der eventuelt kan forventes en påvirkning.

Resultatet af modelleringen for sedimenttransportkapacitet er illustreret nedenfor på figurerne 2.1 og 2.2, medens ændringerne i transportkapacitet henover linjerne 10 til 17 for henholdsvis nordøstlige bølger og sydøstlige bølger er sammenfattet på figur 2.3.

Nordøstlige bølger:

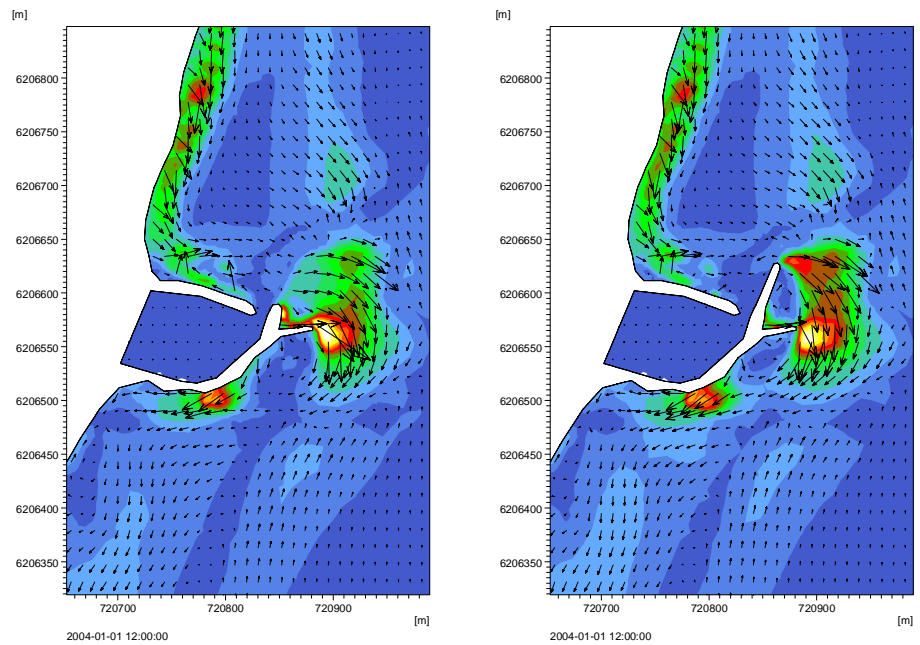
Situationen vil være uændret ca. 200 m nord for havnen (I5), hvorefter der langsomt sker en reduktion i transporten (I4 og I3) mod strækningen lige nord for havnen, hvor stranden ligger i læ af moleforlængelsen, jf. Figur 2.1 og Figur 2.3. Her sker der en mindre stigning i transporten (I2), mens transporten i retning mod havneindsejlingen og moleforlængelsen reduceres (I1), hvilket samlet giver en tilvækst af sand i hjørnet nord for havnen. Øst for havnen, offshore den østlige mole, er der forøget transport kapacitet indtil et punkt ca. 100 m syd for havnen, hvorefter forskellen er neglignable.

Figur 2.1: Sediment transportkapacitet for nordøstlige bølger.

Venstre: Nuværende situation

Højre: Moleforlængelse

Pilene angiver størrelse og transportretning, mens farverne viser transportstørrelsen startende fra 0 med blå, grøn, rød til gul.



Sydøstlige bølger:

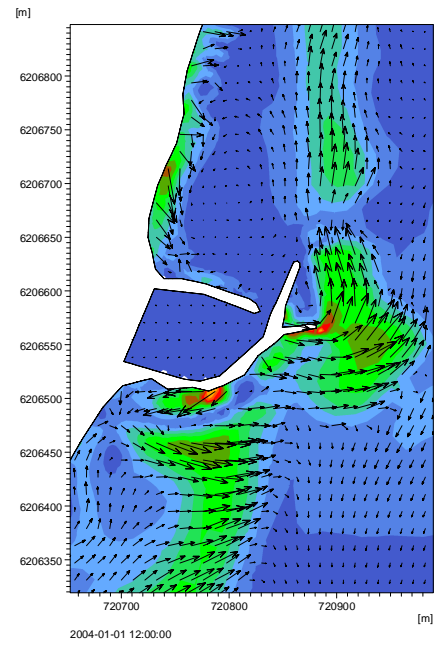
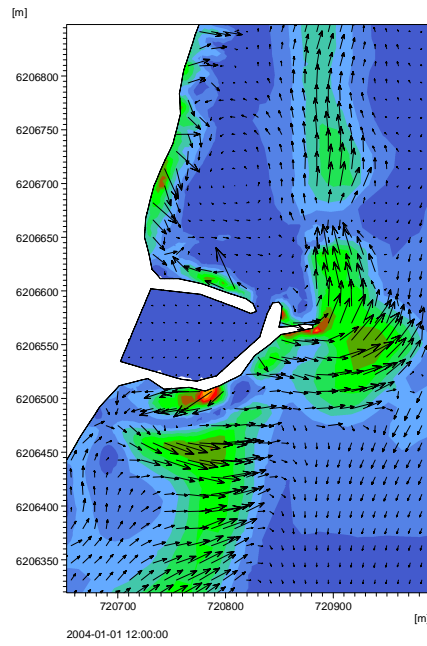
Syd for havnen (I0) er effekten af moleforlængelsen ikke mærkbar før omkring midt på den østlige mole, hvor transport kapaciteten øges en anelse. Som for nordøstlige bølger forekommer den største ændring vest for moleforlængelsen nord for havnen ved, at transporten af sand øst fra og ind i området reduceres (I1), mens der sker en stigning fra nord og ind i området (I2). Det sand, som for den nuværende situation transporteres fra øst og ind i hjørnet, vil med moleforlængelsen blive flyttet mod nord (I3). Omkring 200 m nord for havnen er ændringen minimal (I4 og I5). Samlet må der forventes en tilvækst af sand i hjørnet nord for havnen, Figur 2.2 og Figur 2.3.

Figur 2.2: Sediment transportkapacitet for sydøstlige bølger.

Venstre: Nuværende situation

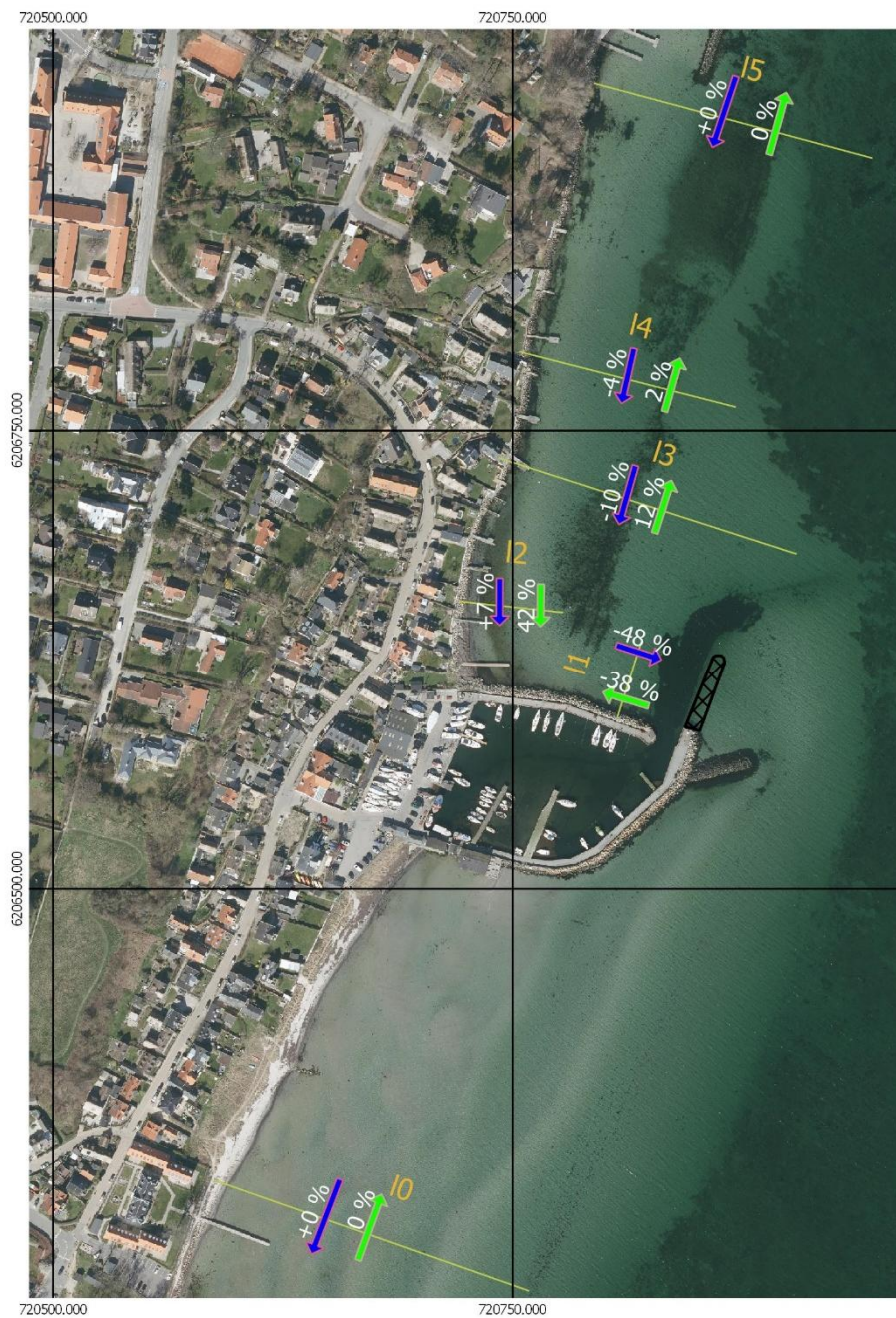
Højre: Moleforlængelse

Pilene angiver størrelse og transportretning, mens farverne viser transportstørrelsen startende fra blå, grøn, rød til gul.



Figur 2.3: Relative ændring i sediment transportkapaciteten for bølger fra hhv. nord- og sydøst givet ved en signifikant bølgehøjde på 1,5m og en peak periode på 4,5 s.

- Sydøstlige bølger
- Nordøstlige bølger



2.2 Transport af ålegræs/fedtemøg

Vandmassen i Øresund er lagdelt, således at der ofte øverst er en nordgående strøm af lettere overfladevand fra Østersøen medens der i det nederste lag på grund af tærsklen ved Drogden sker en tidsmæssigt mere ujævn indstrømning af tungere vand fra Kattegat og Nordsøen.

Enkelt set giver kraftig vestlig vind højvande i Nordsøen som via Kattegat trænger videre ind i Øresund og ned i Køge Bugt, der for samme vind er lavvandet. Altså sydgående strøm i Øresund for vestlige vinde.

Tilsvarende resulterer østenvinde i nordgående strøm – højvande i Køge Bugt og lavvande i Kattegat. Ud over denne vindstyrede strøm er der også et tidevandsbidrag drevet af vandstandsvariationer med oprindelse i det nordvestlige Atlanterhav. Tidevandsstrømmen er beskednen og kun synlig ved svage vindforhold. Ovennævnte bekræftes med nogle få afvigelser i Tabel 2-1, hvor vandstandsvariationen Hornbæk versus Dragør er betragtet. De laveste lavvande forekommer for vind fra 90° til 120° suppleret af vind fra 150° til 210°. hvor de højeste højvande meget tydeligt er relateret til vind fra 210° til 270°.

Tabel 2-1: Vandstandsfor-
skel mellem Hornbæk og Dra-
gør.

Positiv: sydgående strøm

Negativ: nordgående strøm

		Wind direction [degree]												Sum
From	To	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Sum
		30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
Water Level [m]	-2.5 -1.1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	-1.1 -0.9	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.06%
	-0.9 -0.7	0.00%	0.02%	0.10%	0.18%	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.04%	0.01%	0.00%	0.01%	0.44%
	-0.7 -0.5	0.08%	0.16%	0.27%	0.33%	0.19%	0.14%	0.19%	0.23%	0.18%	0.07%	0.02%	0.04%	1.90%
	-0.5 -0.3	0.30%	0.56%	0.86%	1.22%	0.99%	0.68%	0.81%	0.88%	1.01%	0.68%	0.38%	0.27%	8.66%
	-0.3 -0.1	1.11%	1.60%	2.91%	3.49%	2.77%	2.86%	2.73%	3.34%	3.66%	3.60%	2.04%	1.39%	31.51%
	-0.1 0.1	1.14%	1.18%	1.99%	3.06%	3.10%	3.24%	3.92%	4.62%	5.95%	6.24%	3.55%	1.98%	39.98%
	0.1 0.3	0.33%	0.32%	0.43%	0.74%	0.82%	0.95%	1.26%	1.60%	1.97%	1.96%	1.02%	0.51%	11.92%
	0.3 0.5	0.08%	0.10%	0.07%	0.14%	0.23%	0.26%	0.40%	0.52%	0.49%	0.48%	0.27%	0.12%	3.16%
	0.5 0.7	0.02%	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%	0.04%	0.08%	0.17%	0.20%	0.12%	0.02%	0.05%	0.81%
	0.7 0.9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.04%	0.07%	0.02%	0.00%	0.00%	0.18%
	0.9 1.1	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.07%
	1.1 1.3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.05%
	1.3 1.5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%
	1.5 1.7	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
	1.7 2.5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Sum		3.08%	3.97%	6.67%	9.22%	8.18%	8.23%	9.46%	11.45%	13.61%	13.20%	7.31%	4.38%	99%

Ålegræs/fedtemøg vil når det er kommet fri af voksestedet blive drevet omkring, til dels af strømmen i Øresund samt når det ligger i overflade også af vind og bølger.

For at ålegræsset skal kunne nå ind til den østvendte Øresundskyst ved Sletten Havn skal løsrivelsen ske samtidig med, at der blæser vinde fra vinkelrummet nordøst til sydøst svarende til 25° - 205°, hvilket forekommer i ca. 45% af tiden fordelt med 19% fra nordøst og 26% fra sydøst.

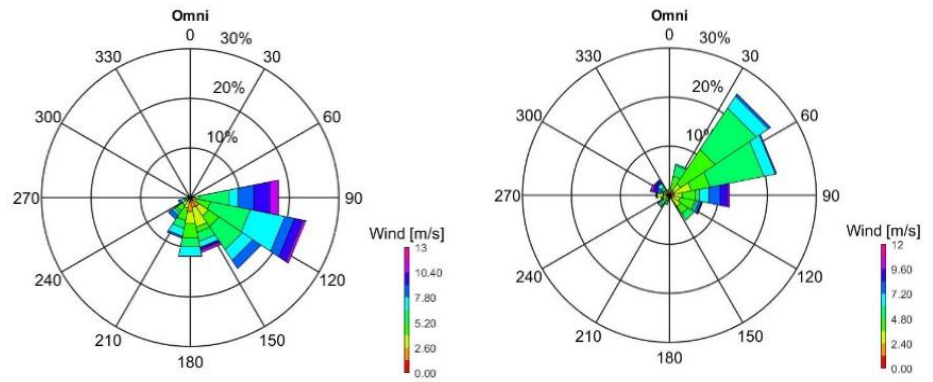
Til at illustrere den relative forskel mellem den nuværende situation og moleforlængelsen, er der udvalgt to vejr-situationer af en varighed på 30 dage:

- 1) 2014-01-14 0:00 til 2014-02-14 0:00; med vind fra sydøst og hovedsageligt nordgående strøm, Figur 2.4, Figur 2.5 og Figur 2.6.
- 2) 2016-09-29 0:00 til 2016-10-30 0:00; domineres af vind fra nordøst og nordgående strøm, Figur 2.4, Figur 2.5 og Figur 2.6.
- 3) Som 2) men med sydgående strøm skabt ved at bytte rundt på randbetingelserne, da det i de tilgængelige data ikke var muligt at finde en faktisk periode med sydgående strøm og samtidig vind fra nordøst.

Figur 2.4: Vindrose

Venstre:
2014-01-14 til 2014-02-14

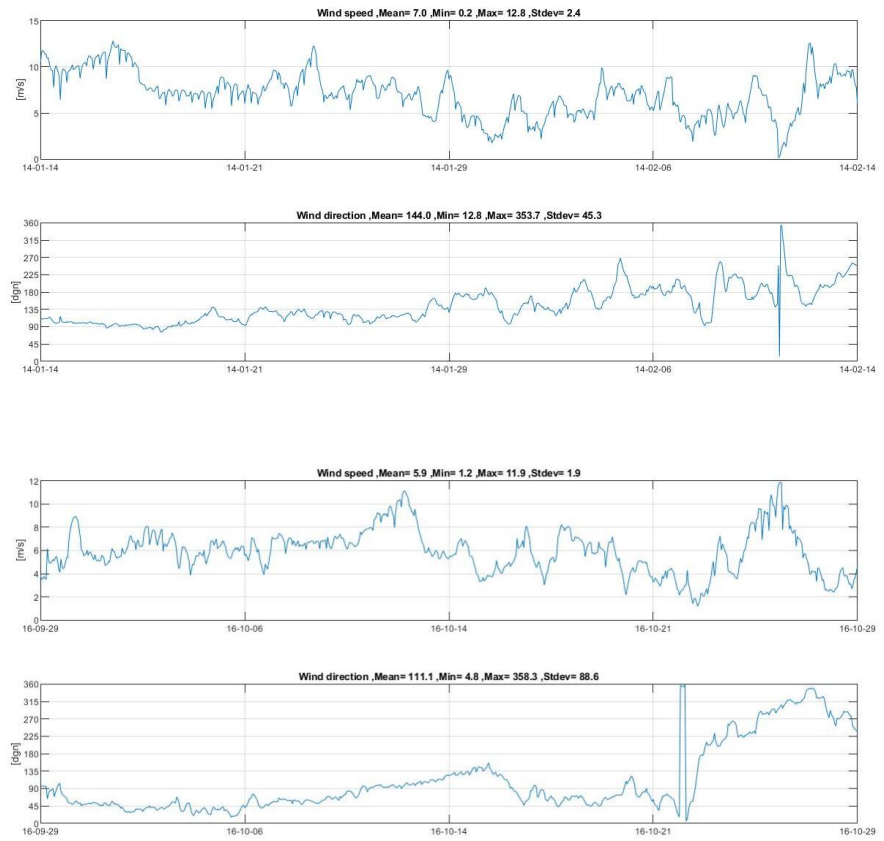
Højre:
2016-09-29 til 2016-10-30



Figur 2.5: Vindhastighed og retning

Top:
2014-01-14 til 2014-02-14

Bund:
2016-09-29 til 2016-10-30



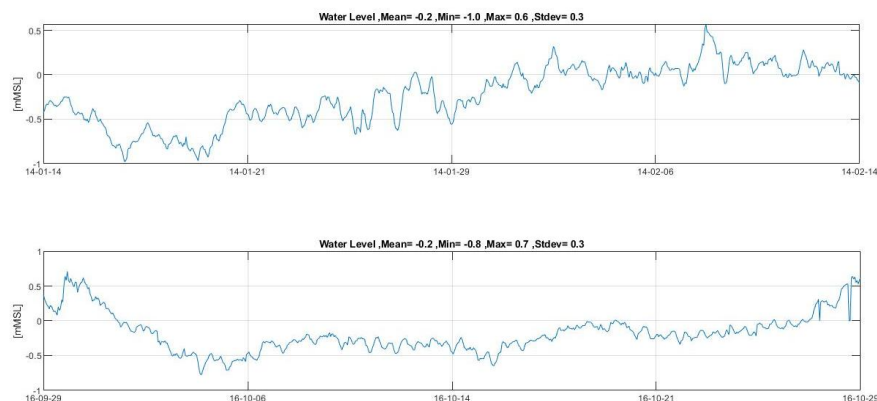
Figur 2.6: Vandstandsfor­skel Hornbæk vs. Dragør

Top:
2014-01-14 til 2014-02-14

Bund:
2016-09-29 til 2016-10-30

Positiv: sydgående strøm

Negativ: nordgående strøm



Beregningen er foretaget ved at frigive en konstant mængde ålegræs (illustreret ved partikler med en densitet mindre end vand, hvor hver partikel i princippet repræsenterer en given mængde ålegræs) i overfladen for et bånd med en bredde på 200 m dækkende et område hhv. 200 m nord og syd for havnen ca. 400 m fra kysten, Figur 2.7.

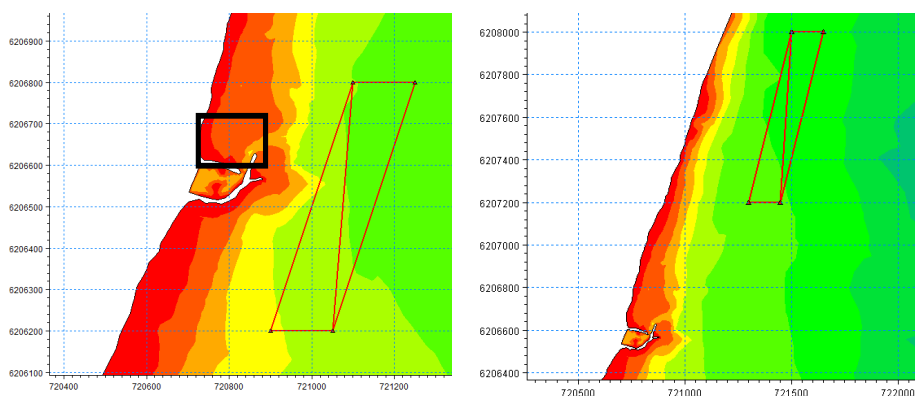
Udover, at ålegræsset transporteres af strømmen i Øresund, er effekten af vinden, på det i overfladen beliggende ålegræs, suppleret med en faktor svarende til 10% af vinden. Er strømmen i Øresund f.eks. nordgående vil dette bidrag for østenvinde kunne transportere ålegræs ind på de østvendte kyster.

Til kvantificering af forskellen mellem de to situationer, er antallet af partikler, som kommer ind i området nord for havnen med og uden moleforlængelsen, talt op og sammenlignet over tid, Figur 2.7.

Figur 2.7: Ålegræs;

Kildeområde markeret med en rød rektangel. Case 1) og 2) til venstre og case 3) til højre.

Området nord for havnen med en sort firkant.



Resultatet af de to beregninger viser, at der for

- Case 1 – sydøst vind og sydgående strøm, ålegræsmængden reduceres med 65%. Forskellen over den betragtede periode er relativt konstant og ligger

mellem 60% til 70%. Den fysiske barriere som moleforlængelsen udgør bevirker, at ålegræsset fanges øst for denne, samt at det transporteres mere nordligt, før det når kysten, Figur 2.8.

- Case 2 – nordøsten vind & nordgående strøm, de første 14 dage er forskellen neglignable, hvorefter moleforlængelsen giver en reduktion på 20%. Visuelt er der ikke den store forskel udover en omfordeling af det aflejrede ålegræs langs nordmolen, Figur 2.9.
- Case 3 – nordøsten vind & sydgående strøm, over den 7 dages periode giver moleforlængelsen en reduktion på ca. 10%. Visuelt er der ikke den store forskel udover en omfordeling af det aflejrede ålegræs langs nordmolen, Figur 2.10.

Moleforlængelsen vil altså for begge vejsituationer nedbringe mængden af ålegræs i området nord for havnen.

Figur 2.8: Case 1, Illustration af ålegræsaflejringen (lyserød cirkel) efter 30 dage med sydøsten vind.

Venstre: Nuværende situation

Højre: Moleforlængelse



Figur 2.9: Case 2, Illustration af ålegræsaflejringen (lyserød cirkel) efter 30 dage med nord-østen vind.

Venstre: Nuværende situation

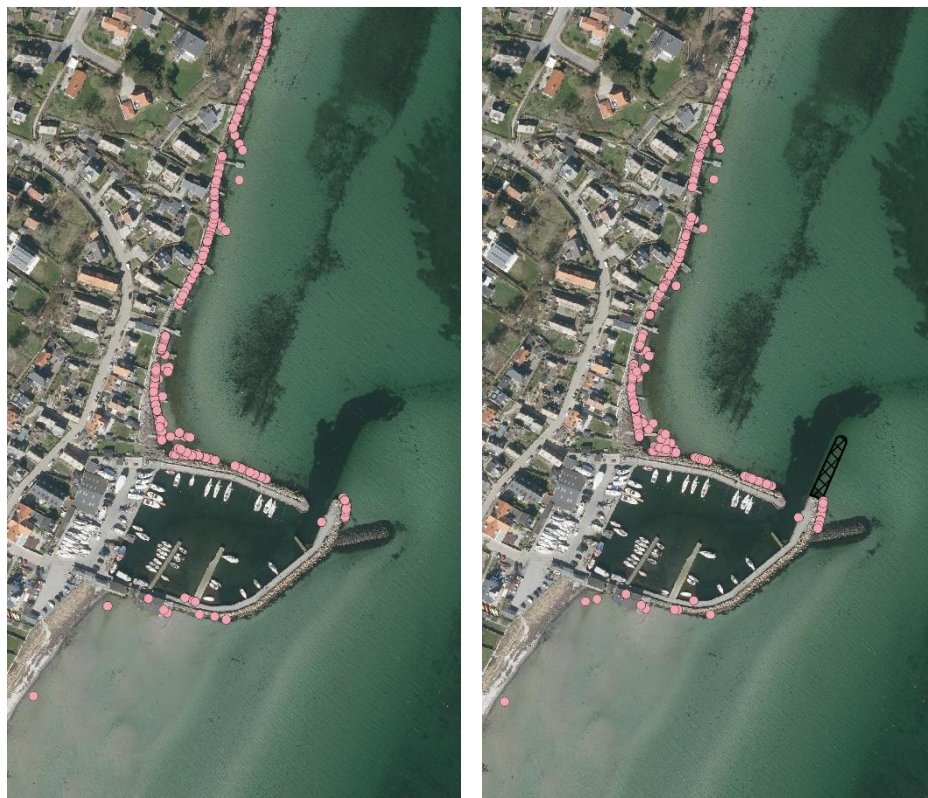
Højre: Moleforlængelse



Figur 2.10: Case 3, Illustration af ålegræsaflejringen (lyserød cirkel) efter 7 dage med nordøsten vind og sydgående strøm.

Venstre: Nuværende situation

Højre: Moleforlængelse



2.3 Spredning af udledning fra kommunens udligningsbassin.

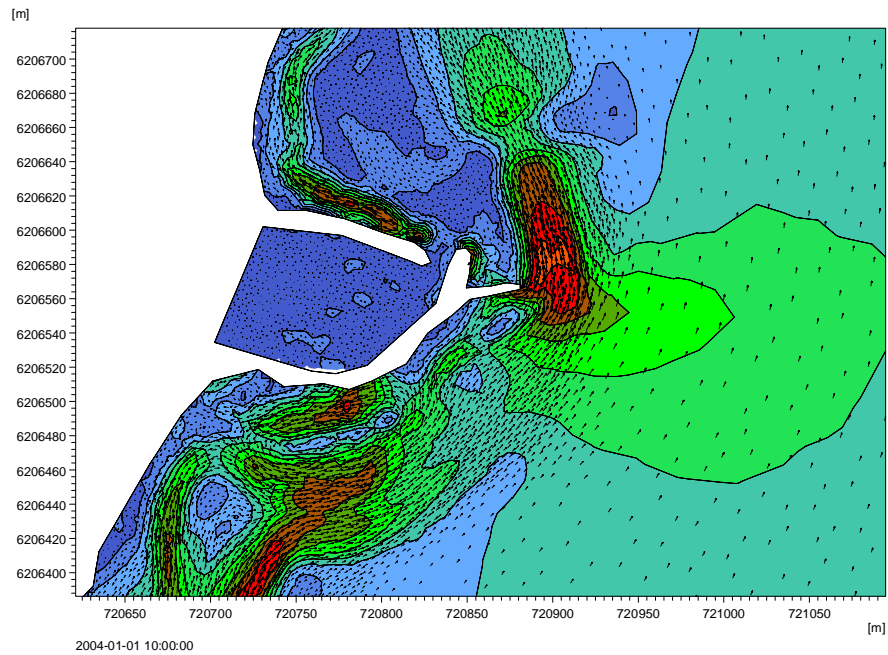
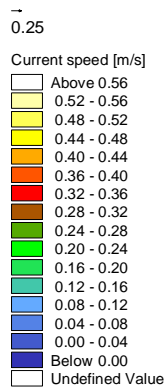
Til vurdering af påvirkningen på koncentrationen af spildevand fra overløbsbygværket nord for havnen er først ændringen i strømningsmønstret betragtet og herefter opholdstiden for en situationen med nordøsten vind og sydgående strømning.

2.3.1 Strømningsmønstre

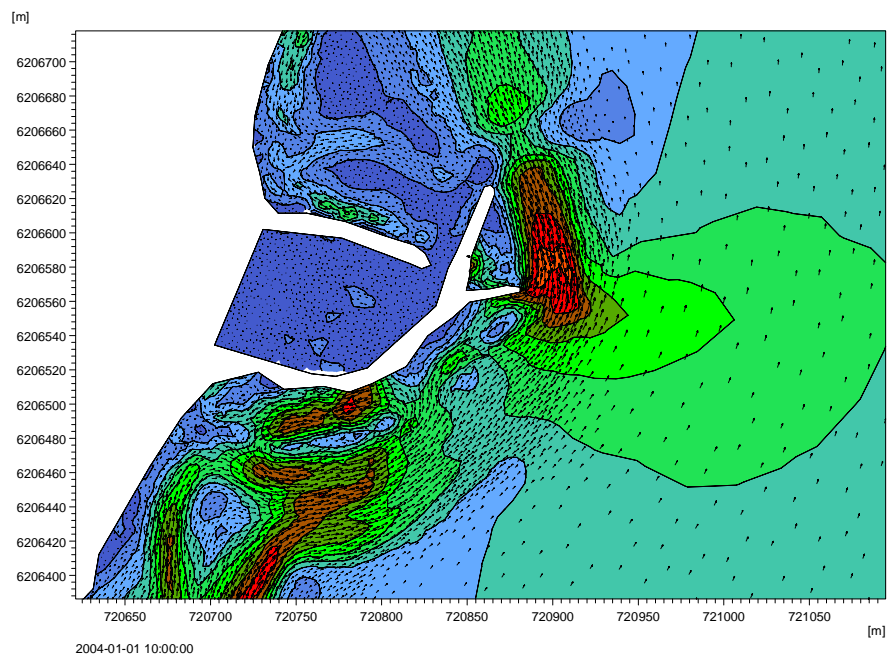
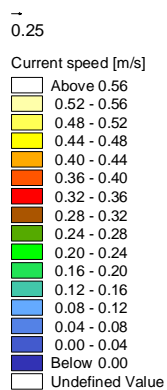
Kombinationen af vind- og bølgegenereret strøm for en vind fra 160° med en styrke på 10 m/s vil for situationen med den planlagte moleforlængelse være uforandret på østsiden af den planlagte mole i forhold til den nuværende situation. I den nuværende situation vil der, inde langs den nordlige mole pga. af brydende bølger (givet af refraktion), observeres en indadgående strømning som aftager i hjørnet for igen at øges ca. 40 m nordligere, Figur 2.11. For situationen med moleforlængelsen vil den indadgående strøm langs nordmolen være reduceret i hastighed (20 cm/s vs. 30 cm/s). I hjørnet reduceres strømmen lokalt til omkring 0 og der opstår en svag udadgående strøm med tendens til hvirveldannelse, Figur 2.12.

I sådanne situationer må der således forventes en øget opholdstid af vand udledt fra kommunens udligningsbassin.

Figur 2.11: Nuværende havn, strøm for en 10 m/s vind fra 160°

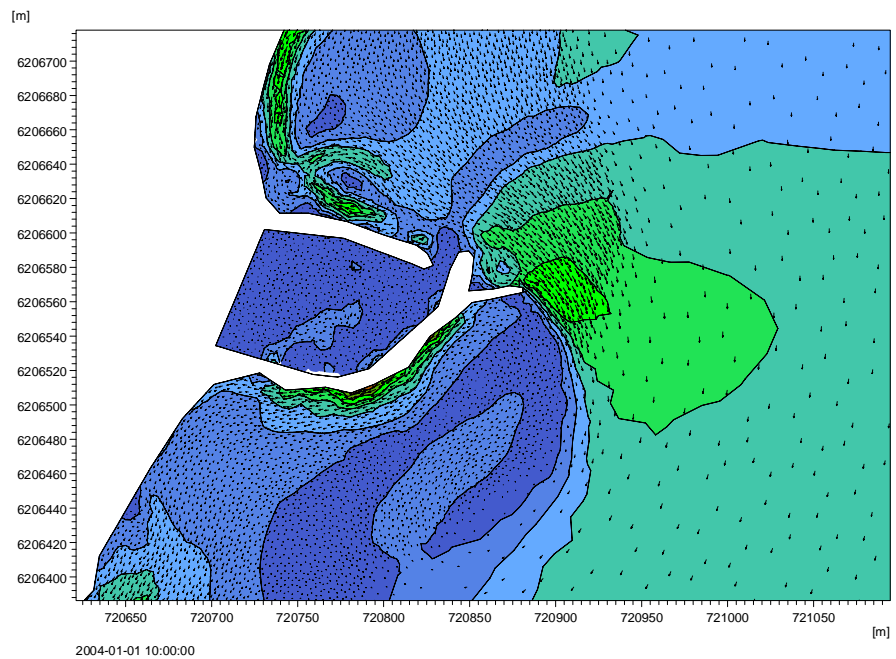
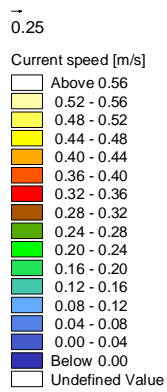


Figur 2.12: Planlagt havn, strøm for en 10 m/s vind fra 160°

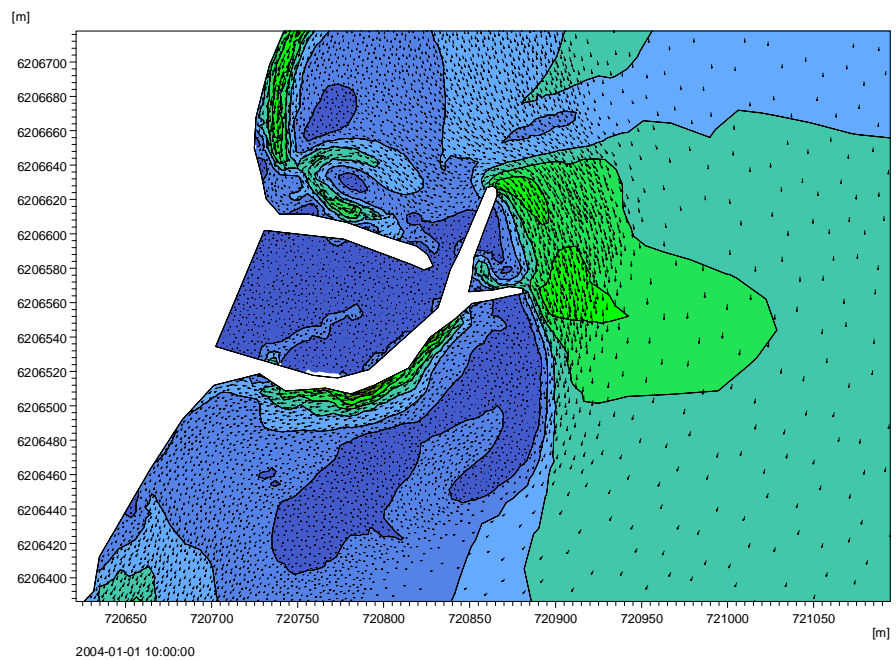
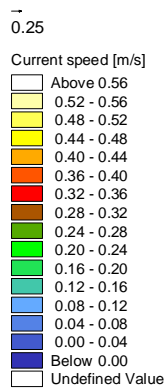


Kommer vinden derimod fra 30° med en styrke på 10 m/s er forskellen mellem nuværende og planlagt havn af en størrelse, hvor den er negligerel, Figur 2.13 og Figur 2.14. I begge tilfælde står der en hvirvel i hjørnet nord for havnen der i styrke aftager omkring indsejlingen til havnen.

Figur 2.13: Nuværende havn, strøm for en 10 m/s vind fra 30°



Figur 2.14: Planlagt havn, strøm for en 10 m/s vind fra 30°



2.3.2 Vandskifte

Til vurdering af vandskiftet er modellen i hjørnet nord for havnen initialiseret med en koncentration på 100 svarende til, at vandet her består af 100% f.eks. udløbsvand, mens den omkringliggende vandmasse er initialiseret med 0% svarende til rent Øresundvand.

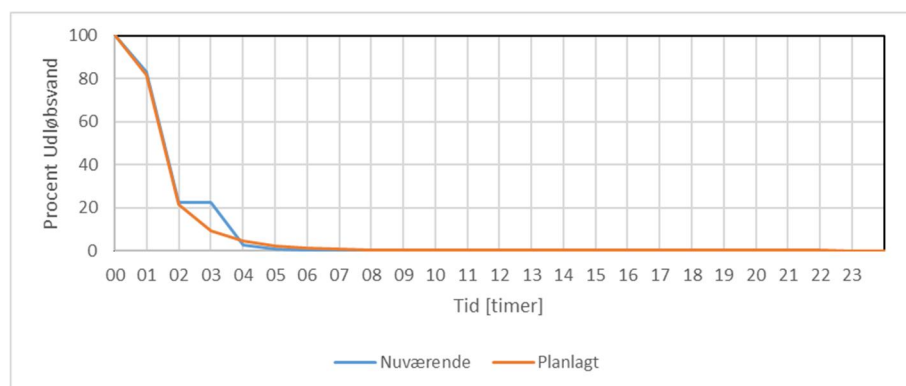
Den procentvise fortynding for området nord for havnen er vist på Figur 2.15 og i planen tidsstep for tidsstep på Figur 2.16, Figur 2.17 og Figur 2.18.

Efter 1 time er koncentrationsniveauet nord for havnen i sammenstørrelsesorden dog er det tydeligt, at området med 30% udløbsvand er noget større i situationen, hvor molen er forlænget. Ligeledes er koncentrationen i havnebassinet en anelse højere.

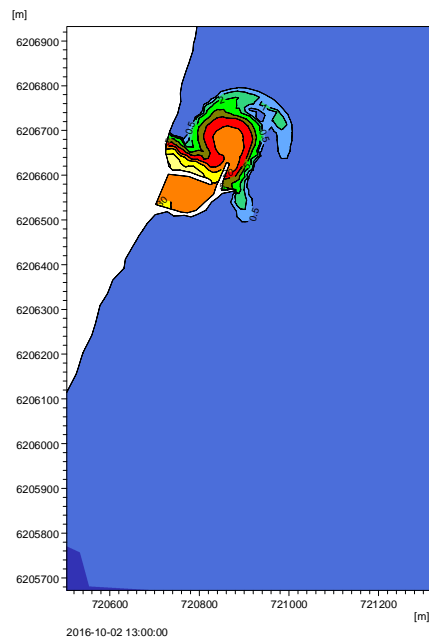
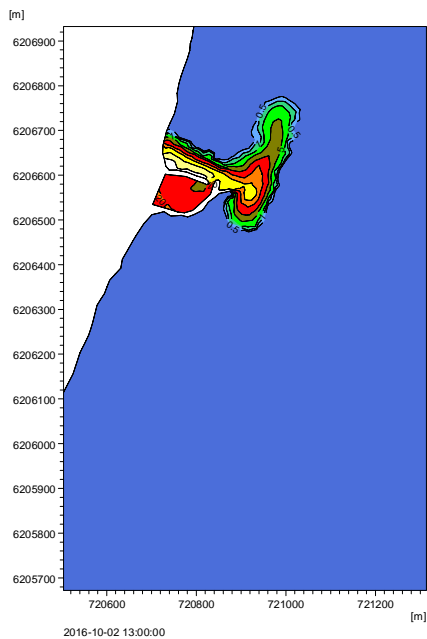
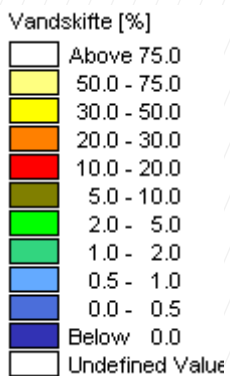
Nord for havnen gør samme billedet sig gældende efter 3 timer, mens moleforlængelsen giver en smallere fane af udløbsvand syd for havnen. Efter 5 timer er der udover koncentrationen i havnebassinet ingen forskel nord for havnen, hvorimod der er en tydelige forskel i fanen syd for havnen, hvor moleforlængelsen viser en forbedret opblanding.

Det skal dog bemærkes, at forskellene er relative små og næppe vil give anledning til mærkbare ændringer i vandkvaliteten, .

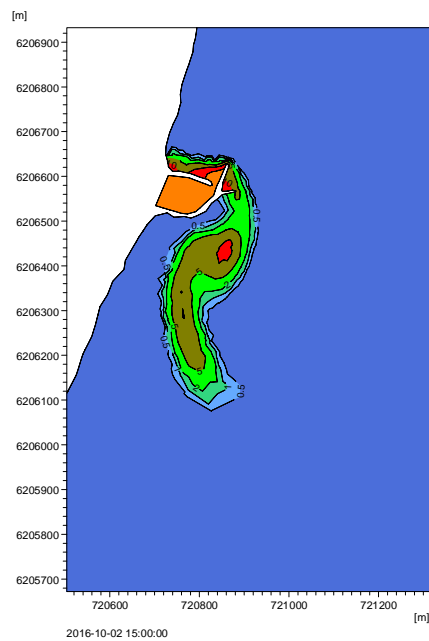
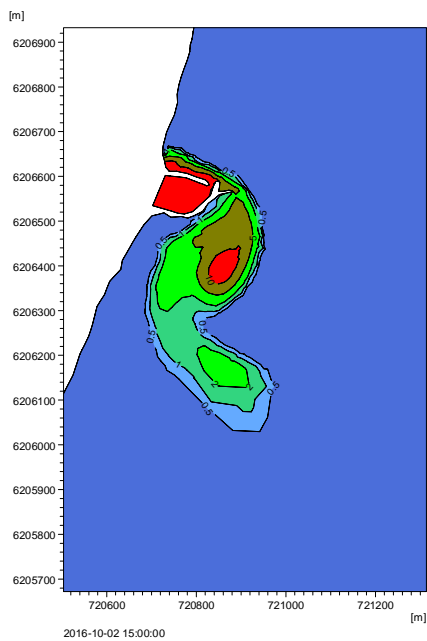
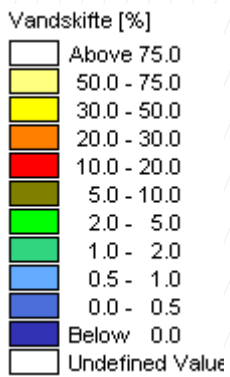
Figur 2.15: Gennemsnitlig procent udløbsvand over tid i hjørnet nord for havnen for situationen med nordøsten vind og sydgående strøm.



Figur 2.16: Vandskiftet efter 1 time.

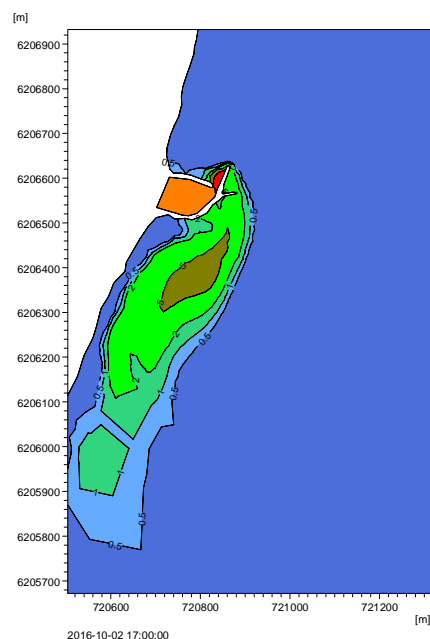
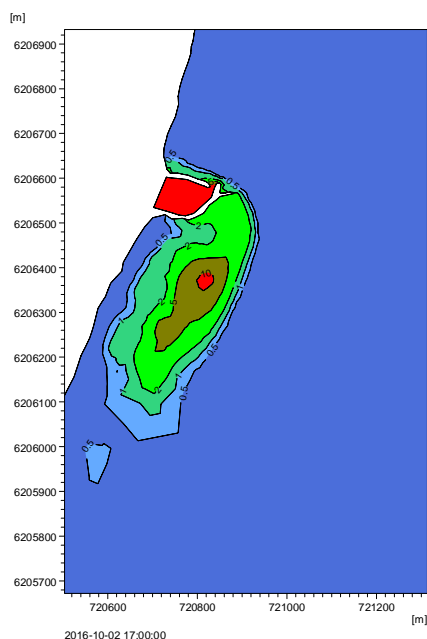
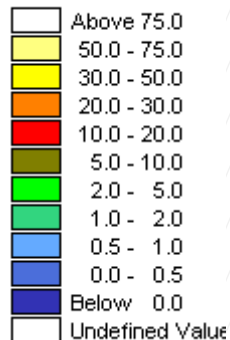


Figur 2.17: Vandskiftet efter 3 time.



Figur 2.18: Vandskiftet efter 5 time.

Vandskifte [%]



3 Sammenfatning

Sediment transportkapacitet

Den planlagte moleforlængelse er undersøgt for to fiktive scenarier til vurdering af ændringer i sediment transport kapaciteten i forhold til den nuværende og planlagte situation. Forholdene ca. 200 m nord og syd for havnen vil ikke blive påvirket som følge af moleforlængelsen. Omkring selve moleforlængelsen må der naturligvis forventes lokale ændringer i transportmønstret. Ligeledes i hjørnet nord for havnen, hvor transportkapaciteten for både nord- og sydøstlige bølger påvirkes, således at der må forventes en tilvækst af sandaflejring, såfremt der er sand til rådighed for transport.

Ålegræs

Ålegræs/fedtemøg vil når det er kommet fri af voksestedet blive drevet omkring af til dels strømmen i Øresund, samt når det ligger i havoverflade også af vind og bølger.

For, at ålegræsset skal kunne nå ind til den østvendte Øresundskyst ved Sletten Havn, skal løsrivelsen ske samtidig med, at der blæser vinde fra vinkelrummet nordøst til sydøst svarende til omkring 25° til 205°, hvilket forekommer i ca. 45% af tiden fordelt med 19% fra nordøst og 26% fra sydøst.

I perioden fra 2011 til 2018 er der identificeret to perioder af 30 dages varighed med hhv. sydøstlige og nordøstlige vinde. Vinddata fra disse to perioder er i modellen anvendt til at reproducere strøm og vindforhold for transport af frigivet ålegræs for et område øst for havnen. Ålegræsset er i modellen frigivet kontinuerligt og herefter overladt til strøm og vind. Til kvantificering af effekten er mængden af ålegræs løbende opgjort for området vest for moleforlængelsen med følgende resultat:

- Periode 1 - sydøst, ålegræsmængden reduceres med 65%. Forskellen over den betragtede periode er relative konstant og ligger mellem 60% til 70%. Den fysiske barriere som moleforlængelsen udgør bevirker, at ålegræsset fanges øst for denne, samt at det transporteres mere nordligt, før det når kysten.
- Periode 2 - nordøst, de første 14 dage er forskellen neglignibel, hvorefter moleforlængelsen giver en reduktion på 20%. Visuelt er der ikke den store forskel udover en omfordeling af det aflejrede ålegræs langs nordmolen.

Moleforlængelsen vil altså for begge vejsituationer nedbringe mængden af ålegræs i området nord for havnen.

Vandskifte

Ved udledning i perioder med vind fra sydøst (ca. 26 % af tiden), kan moleforlængelsen medføre en generel forøgelse af opholdstiden på nogle timer for vand udledt fra kommunens udligningsbassin mens påvirkningen ellers er neglignibel og derved også ændringen i opholdstid i hjørnet nord for havnen.

For den betragtede situation med vind fra nordøst (ca. 19 % af tiden) og samtidig sydgående strøm vil der ikke ske ændringer i opholdstiden for vand udledt fra kommunens udløbsbassin bortset fra en kortvarig forsinkelse i vandskiftet umiddelbart efter udledningen.