

VEJDIREKTORATET

INDBYGNING AF RESTPRODUKTER I VEJDÆMNINGER TIL NY STORSTRØMSBRO

RISIKOVURDERING

ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	2
2	Geologi, hydrogeologi og vandindvinding	2
2.1	Dimensionsgivende vandstand	2
2.2	Falster (Orehoved)	3
2.3	Masnedø	4
3	Sammensætning af restprodukter	6
4	Fase 1 - Risikovurdering i anlægsfasen	9
5	Fase 2 - Risikovurdering i driftsfasen	10
5.1	Konceptuel model for vandbalancebetragtninger	11
5.2	Nedsivning gennem asfaltbelægnings	12
5.3	Nedsivning gennem de lerdækkede skrånings	16
5.4	Øvrige forhold med indvirkning på den totale nedsivning	17
6	Fase 3 - Risikovurdering for en efterfølgende fase hvor rampen ikke længere er i brug	17
7	Sammenfatning	20
8	Referencer	22

Bilag A Tværsnitsprofil med afvandingsystem

PROJEKTNR.

A047030

DOKUMENTNR.

93200-COW-NOT-4-ENV-00282

VERSION

4.0

UDGIVELSESDATO

04-05-2017

BESKRIVELSE

UDARBEJDET

TVB

KONTROLLERET

BBH

GODKENDT

AEOE

1 Indledning

Denne risikovurdering er udarbejdet som et tillæg til ansøgninger til Vordingborg og Guldborgsund Kommuner om godkendelse af genanvendelse af kategori 3 restprodukter i vejdæmningerne op til den nye Storstrømsbro /7, 8/. Risikovurderingen er udført i forhold til påvirkning af jord, grundvand og overfladevand ved genanvendelse af affaldsforbrændingsslagger i kategori 3, jf. Restproduktbekendtgørelsen /1/. Når der i det følgende omtales restprodukter, menes der i denne sammenhæng derfor udelukkende affaldsforbrændingsslagger.

Risikovurderingen er opdelt i tre faser: Fase 1) En risikovurdering der beskriver omfanget af udsivning af miljøfremmede stoffer fra restprodukterne i anlægsfasen. Fase 2) En risikovurdering for drifts- og vedligeholdelsesfasen. Fase 3) En risikovurdering for udsivningen af tungmetaller fra vejdæmningen 500 år og 1.000 år efter etableringen.

Årsagen til opdelingen i de tre faser er, at der er stor forskel på vandgennemstrømningen gennem restprodukterne i de tre faser:

- > I **anlægsfasen** vil det af komprimeringshensyn være nødvendigt at tilsætte vand til restprodukterne ud over den nedbør der falder i anlægsperioden.
- > I **drifts- og vedligeholdelsesfasen** vil nedsivningen være yderst begrænset pga. den etablerede asfaltbelægning og vejens drænsystemer. I drifts- og vedligeholdelsesfasen er der regnet med en infiltration svarende til ca. 3 % af netto-nedbøren.
- > I **fasen efter at broen og vejdæmningen er taget ud af drift** vil infiltrationen gennem restprodukterne sandsynligvis være større, da asfaltbelægningen forventes at forvitte som følgende af manglende vedligehold. Derfor etableres der et 0,5 meter lerlag oven på asfalten, for at mindske konsekvenserne af den forvitrede asfalt. Infiltrationen af vand gennem lerlaget og det forvitrede asfaltlag, regnes konservativt som 10% af nettonedbøren.

Risikovurderingerne for driftsfasen og fasen efter at broen er taget ud af drift, er udarbejdet ud fra den forudsætning, at en spredning af forurening fra restprodukterne kræver, at der strømmer vand gennem restprodukterne. Hvis vandgennemstrømningen er begrænset er spredningen af forureningskomponenter således yderst minimal.

2 Geologi, hydrogeologi og vandindvinding

2.1 Dimensionsgivende vandstand

COWI har beregnet den dimensionsgivende vandstand for brokonstruktionerne /10/. Den dimensionsgivende vandstand er defineret af en 10.000 års stormhændelse og den forventede vandstandsstigning i år 2115. Der ses bort fra bidrag som følge af landhævning og lokale vind- og bølgeforhold. Den anbefalede dimensionsgivende vandstand bliver således:

- > 10.000 års ekstrem vandstand: ≈ 186 cm

- > Spredning på 10.000 års ekstrem vandstand: ~ 20 cm
 - > Vandstandsstigning i år 2135: ~ 100 cm
- Dimensionsgivende højvandsvandstand: 300 cm
(fra /10/)

Ved en forventet vandstandsstigning på 100 cm i år 2135 vil vandstanden i Storstrømmen være i ca. kote +1 til +1,5, og således min ca. 1,5 meter under bund af slaggen, der indbygges fra kote +3,0. Vandstanden i Storstrømmen kan med rimelighed antages at være styrende for vandstanden i jordlagene under dæmningen, som vil ligge på ca. samme niveau som i havet.

Da vandspejlet må forventes at stå omkring kote 0 i Storstrømmen, vil vandstanden i Storstrømmen, uden tillæg af bølger, i en ekstremssituation nå op til ca. kote +3,0. Det skal bemærkes, at vandstandsstigningen under en ekstremhændelse kun er yderst kortvarig, og at en kortvarig vandstandsstigningen ikke vil slå igennem i samme omfang i de terrænnære lag.

For det tilfælde at vandstanden i jordlagene under rampen stiger op over kote +3,0 i en ekstremssituation, må påvirkningen antages at være yderst kortvarig, og således uden praktisk betydning for den samlede udvaskning.

2.2 Falster (Orehoved)

Geologi

Den geologiske lagfølge omkring brohovedet på Falstersiden er beskrevet herunder.

Beskrivelsen af den geologiske lagfølge er baseret på boreprofiler fra de nærmeste borer indberettet til GEUS, som sammenfattet i Tabel 1.

Som det fremgår af Tabel 1 består de kvartære aflejringer på Orehoved af op til ca. 20 til 25 meter ler. Under de kvartære aflejringer træffes aflejringer af kalk.

I enkelte borer er der truffet et ca. 1 m tykt sandlag umiddelbart over kalken.

I boring DGU nr. 232.374, der er placeret nordvest for området, er lagfølgen beskrevet som ler, sandet, gruset.

Hydrogeologi

Det primære magasin udgøres af kalken, og grundvandsressourcen er således særdeles velbeskyttet i området. Det har ikke været muligt at fremfinde et potentialekort fra området. Potentialet i det primære kalkmagasin vurderes at stå mellem ca. kote 0 og kote +1,0 m DVR90, mens terrænet ligger i ca. kote +3,0 m DVR90, dvs. magasinet er spændt med en følgende god grundvandsbeskyttelse. Alle koter i det følgende er ligeledes i DVR90.

Der er ikke oplysninger om terrænnære magasiner, men der må formodes at være mindre sandslirer indlejret i de kvartære aflejringer.

Vandindvinding

Den del af Orehoved, hvor dæmningen skal etableres, er beliggende i et område klassificeret som værende uden drikkevandsinteresser. Nærmeste indvindingsboring

er til procesvand til levnedsmiddelindustrien og tilhører Ardo A/S. Her indvindes fra bl.a. boring DGU nr. 232.374 og DGU nr. 232.375, der ligger hhv. ca. 750 og 860 meter fra den fremtidige dæmningsfod. Den samlede årlige indvinding fra Ardo's i alt 5 indvindingsboringer var i år 2015 ca. 51.000 m³. Historisk set er der blevet indvundet op mod 150.000 m³ til Ardo A/S. Der er ikke registreret nogen almennyttige vandværker inden for en radius af 3 km fra projektområdet.

Tabel 1 Oplysninger om nærmeste boringer i GUES Jupiter database. Alle meterangivelser er i forhold til DVR90 eller DNN

DGU NR/formål	Beliggenhed	Lagfølge (i forhold til DVR 90)	Filtersætning (DVR90)	Vandspejl (DVR90)
232. 70K og 339-09-002449 Geoteknik	I rampen inden etablering af eksisterende bro Øst for ny dæmning	-2 til -5m ukendt -5 til -21m ler -21 til -30m kalk	Ingen	Ingen
232. 503 Geoteknik	Ved rampen til eksisterende bro Øst for ny dæmning	+1,3 til -1,7m Fyld -1,7 til -1,9m Muld -1,9 til -3,7m Moræneler	Ingen	Ingen
232. 79A Vandforsyningsboring?	I Overhoved Syd for ny dæmning	+2,5 til +2,0m Muld +2,0 til -1,5m Ler, gul -1,5 til -22,5m Ler, grå -22,5 til -37,5m kalk	29-37,5	+1,1 m
232. 79b Vandforsyningsboring?	I Overhoved Syd for ny dæmning	+1,7 til -1,3m Ler, gul -1,3 til -17,3m Ler, grå -17,3 til -18,3m Sand -18,3 til -43,3m kalk	28,3-43,3	-0,38 m
232. 183 Vandforsyningsboring?	I Overhoved SV for ny dæmning	2,5 til -16,5 m Ukendt -16,5 til -39,3m kalk	16,5-42,5	-2,58 m
232. 374 Vandforsyningsboring	I Overhoved NV for ny dæmning	+4,3 til -0,7m Ler, gul -0,7 til -22,7m Ler, sandet, gruset -22,7 til -23,7m Sand -23,7 til -25,7m flint -25,7 til -39,5m kalk		

2.3 Masnedø

Geologi

Den geologiske lagfølge omkring brohoved på Masnedø er beskrevet herunder.

Beskrivelsen af den geologiske lagfølge er baseret på boreprofiler fra de nærmeste boringer indberettet til GEUS, som sammenfattet i Tabel 2:

Som det fremgår af Tabel 2 består de kvartære aflejringer på Masnedø af op til ca. 20 til 25 m ler. Under kvartæret træffes kalken. I enkelte boringer, f.eks. DGU nr. 232.72, er der truffet indslag af sand i leret. I boring DGU nr. 232. 697, der er placeret nordvest for området, er lagfølgen beskrevet ler, sandet, gruset.

Tabel 2 Oplysninger om nærmeste boringer i GUES Jupiter database. Alle meterangivelser er i forhold til DVR90 eller DNN

DGU NR/formål	Beliggenhed	Lagfølge (i forhold til DVR 90)	Filtersætning (DVR90)	Vandspejl (DVR90)
232. 72 Sløjfet boring	Øst for ny dæmning	0 til -3,8 m Ler -3,8 til -6,3 m Sand -6,3 til -10,7 m Ler -10,7 til -13,2 m Kalk/kridt -13,2 til -14,4 m grus -14,4 til -22,0 m Ler -22,0 til -35,7 m Kalk/kridt	-22 til -35,7	Ingen
232. 383 Vandforsyningsboring	Øst for ny dæmning	+5,2 til +4,8 m Muld +4,8 til -23,4 m Ler siltet -23,4 til -29,3 m Kalk/kridt	-20,3 til -29,3 m	+0,5 m
232. 380 Vandforsyningsboring	Ved ny dæmning	+5,0 til +4,6 m Muld +4,6 til -19,8 m Ler siltet -19,8 til 29,8 m Kalk/kridt	-28,8 til -34,8	+2,1 m
232. 696 Vandforsyningsboring	Ved ny dæmning	+2,0 til -0,3 m Ler -0,3 til -2,9 m Sand -2,9 til -22,4 m Ler siltet -22,4 til -35 m Kalk/kridt	-22,4 til -35 m	-0,2 m
232. 697 Vandforsyningsboring	Vest for ny dæmning	+3,0 til +2,6 m Muld +2,6 til -23,1 m Ler siltet, gruset -23,1 til -33,1 m Kalk/kridt	-23,1 til -33,1	+1,1 m
232. 699 Vandforsyningsboring	Ved ny dæmning	+1,4 til -6,6m Ler -6,6 til -22,1m Ler -22,1 til -65m Kalk/kridt	-24,6 til -65	-0,8 m

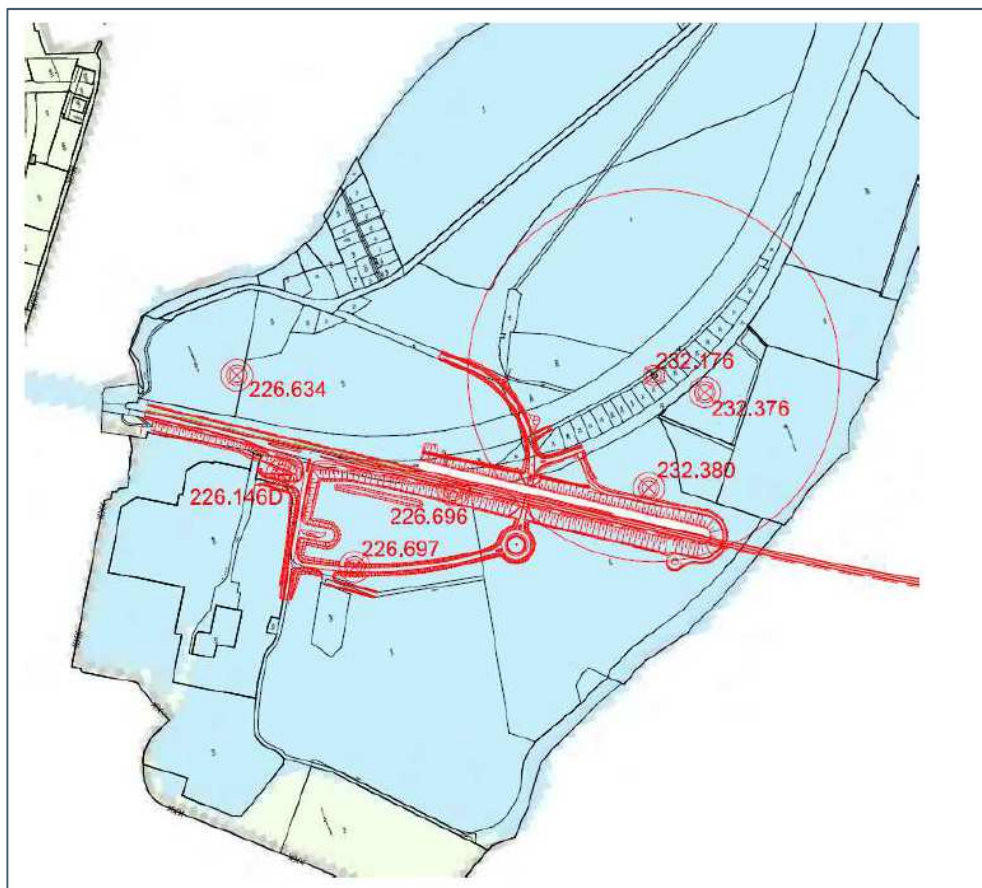
Hydrogeologi

Det primære magasin udgøres af kalken, og grundvandsressourcen er således særdeles velbeskyttet i området. Det har ikke været muligt at fremfinde et potentialekort fra området. Potentialet i det primære kalkmagasin står mellem ca. kote +1,0 og kote +2,0 m DVR90, mens terrænet ligger i ca. kote +3,0 m til +4,5 m DVR90 i dæmningens fodaftryk, dvs. magasinet er spændt med en følgende god grundvandsbeskyttelse.

Der er ikke oplysninger om terrænnære magasiner, men der må formodes at være mindre sandslirer indlejret i de kvartære aflejringer.

Drikkevand

Masnedø ligger i et område med drikkevandsinteresser, OD, og nærmeste indvindingsboring tilhører Mågevejens Vandværk. Her indvindes fra boring DGU nr. 232.176, der er beliggende ca. 185 meter fra den fremtidige dæmningsfod, jf. Figur 1. Den årlige indvinding fra boring DGU nr. 232.176 ligger på ca. 1.500 m³ til 2.000 m³ pr. år. Det er således en yderst beskedne vandmængde der indvindes til drikkevand på Masnedø. Boringerne DGU nr. 232.380 og 226.696 og 226.697 og 226.146D fungerer i øjeblikket som indvindingsboringer til procesvand og vanding, men de vil alle blive sløjfet i forbindelse med projektet.



Figur 1 Drikkevandsinteresser og borer på Masnedø. Den lyseblå farve viser områder med drikkevandsinteresser. Vejprojektet er vist med rødt. Kilde: Arealinformation

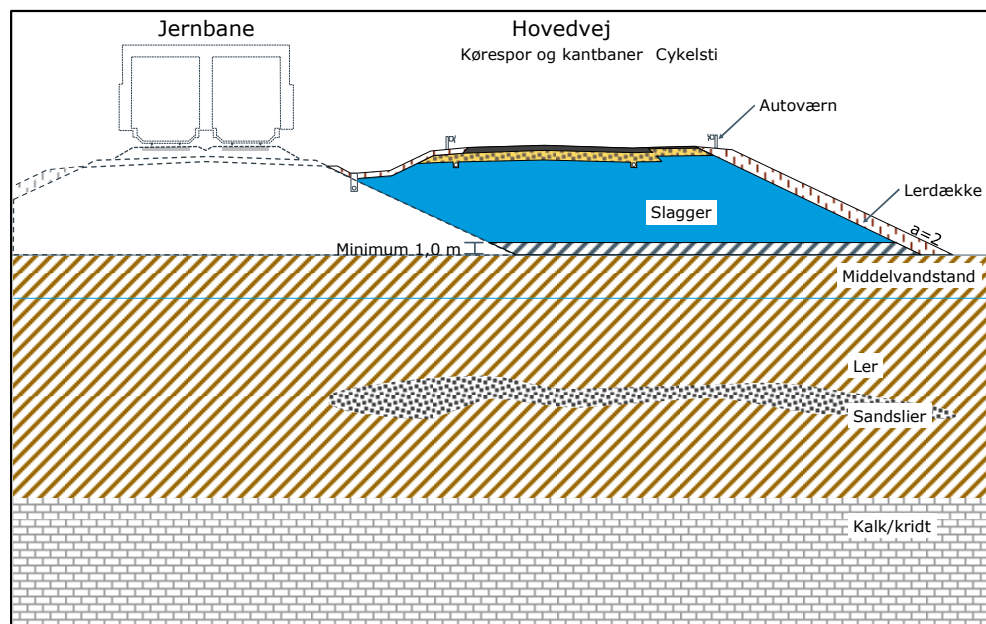
3 Sammensætning af restprodukter

Der ønskes indbygget slagger i vejdæmningen op til den ny Storstrømsbro i følgende mængder:

- > På Falster (Guldborgsund Kommune): ca. 100.000 m³ i en tykkelse på op til ca. 11 m, op til undersiden af vejkassen
- > På Masnedø (Vordingborg Kommune): ca. 150.000 m³ i en tykkelse på ca. 11,5 m, op til undersiden af vejkassen

Det skal bemærkes, at de ansøgte mængder er anslåede mængder, da det endelige projekt og entreprenørens plan for en eventuel indbygning af slagger ikke er kendt på nuværende tidspunkt.

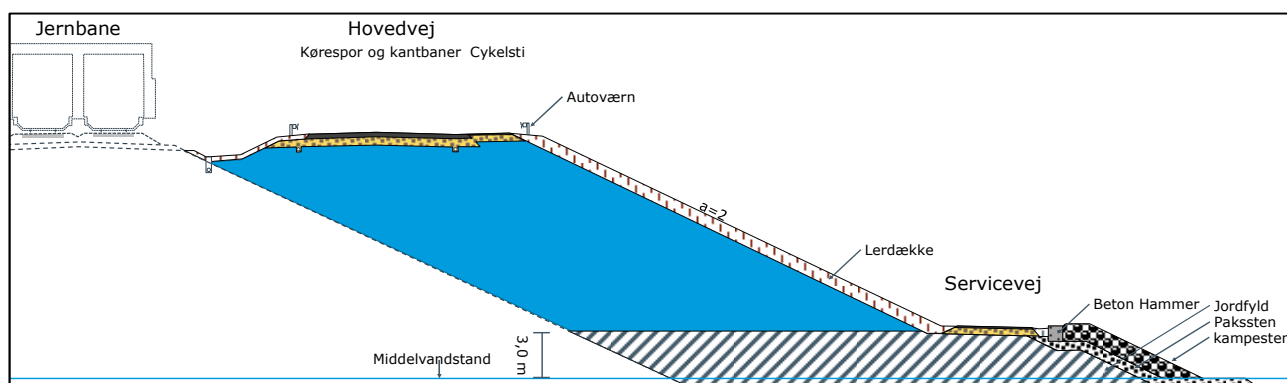
I Figur 2 er vist et konceptuelt snit af bane- og vejdæmning, med placering af slagger og de underliggende geologiske lagfølge.



Figur 2 Konceptuel model af bane- og vejdæmning og underliggende geologiske lagfolge. Placeringen af slagger er vist med blå. Tegningen er ikke målfast.

Tværsnitprofil med mål og afvandingsystem er vedlagt som bilag A.

På Falster bygges en del af dæmningen desuden ud i vandet, hvorfor der i det følgende kun regnes på Falster som "worst-case". Figur 2 viser et konceptuelt snit af vejdæmningen i den del der er ude i vandet.



Figur 3 Konceptuelt snit af bane- og vejdæmning for den del af dæmningen der ligger ud i vandet. Tegningen er ikke målfast.

Det forventes, at anlægsarbejdet med selve opbygningen med restprodukterne vil tage ca. 6 måneder. I denne periode vil der dels være en infiltration gennem restprodukterne fra nedbøren, idet afstrømningen vil være lille, dels en infiltration fra procesvand, idet det vil være nødvendigt at vande restprodukterne for at opnå et optimalt vandindhold for komprimeringen.

Der er på nuværende tidspunkt ikke taget stilling til hvilken/hvilke leverandør(-er) der skal levere forbrændingsslaggen, jf. ansøgningen. For at få et repræsentativt grundlag for ansøgningen er derfor taget udgangspunkt række udvaskningstest (i alt

161) for affaldsforbrændingsanlæg på Sjælland (KARA/NOVEREN, Nordforbrændingen og Vestforbrændingen) fra perioden 2000-2010.

I Tabel 3 er sammenstillet analyseværdier for eluatkoncentrationer fra de 161 udvaskningstests der er udført på slagge, som er sammenlignelig med den slagge der forventes anvendt i projektet.

Tabel 3 Analyseværdier på eluat fra 161 udvaskningstest på slaggeprøver. Koncentrationerne er målt ved et L/S forhold på 2. Tabellen indeholder desuden kriterieværdier for kategorisering efter Restproduktbekendtgørelsen samt kvalitetskriterier for grundvand og for overfladevand

Parameter	Min	Max	Gennemsnit (Eluat)		Kategori 1 og 2 #	Kategori 3 #	Kvalitetskriterium grundvand ×	Kriterie Overfladevand. Generelle krav / korttidskrav *
Enhed mg/l								
Klorid	57	1.500	664		150	3.000	250	
Sulfat	130	2.200	476		250	4.000	250	
Calcium	35	740	124				Ca. 200	
Natrium	25	1.300	629		100	1.500	175	
Enhed µg/l								
Arsen	0,37	50	5,6		8	50	8	0,11 / 11,0
Cadmium	0,05	8,8	0,73		2	40	0,5	0,2 / 0,45
Chrom VI III	1,1	220	44		10	500	25	4,3 / 17 3,4 / 124
Kobber	1,0	3.100	780		45	2.000	100	1 / 2
Nikkel	0,5	56	8,2		10	70	10	- / -
Bly	0,14	940	7,5		10	100	1	0,34 / 2,8
Zink	1,0	400	26		100	1.500	100	7,8 / 8,4

Fed tekst: Indhold højere end kategori 1&2, men lavere end Kategori 3. **Fed og understreget:** Højere end kategori 3
 # Restproduktbekendtgørelsen /1/, × Kvalitetskriterier for grundvand. www.mst.dk
 * Miljøkvalitetskrav. Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. BEK nr. 439 af 19/05/2016.

Af tabellen fremgår det, at gennemsnittet i eluatkoncentrationerne i den analyserede slagge overholder kravene til kategori 3 restprodukter, jf. /1/. I enkelte prøver ligger værdien over kategori 3 for kobber og bly, men den gennemsnitlige værdi ligger, med god margen, under kravene til kategori 3 restprodukter. Desuden overholdes kravene til kategori 1 og 2 restprodukter for stofferne arsen, cadmium, Nikkel, bly og zink. Samlet set klassificeres slaggen som kategori 3.

4 Fase 1 - Risikovurdering i anlægsfasen

For at opnå en acceptabel komprimering af slagterne er det under indbygningen nødvendigt at vande slagterne. Slagterne modtages med et vandindhold på ca. 12%, mens det optimale vandindhold ved indbygning er ca. 21%, svarende til en forøgelse af vandindholdet på ca. 9 %-point. Markkapaciteten af slaggen, dvs. den mængde vand der ikke kan drænes gravitativt ud af slaggen, svarer ca. til det vandindhold som slaggen har ved leveringen. Derfor vil hovedparten af den mængde vand der tilføres slaggen efterfølgende drænes ud af slaggen og ned i de underliggende jordlag.

Der skal indbygges op til ca. 150.000 m³ slagge på Masnedø og 100.000 m³ slagge på Falster (fast mål). Med en vægtfylde på 1,7 t/m³ giver det henholdsvis omkring 255.000 tons og 170.000 tons slagge. Der skal således tilføres ca. 23.000 m³ vand til slaggen på Masnedø og ca. 15.000 m³ vand til slaggen på Falster for at opnå det ideelle vandindhold i forbindelse med genindbygningen. Den mængde vand, der drænes pr. kvadratmeter fodaftryk, vil afhænge af indbygningshøjden af slaggelaget, der er mellem ca. 1 og ca. 11,5 m. I faktaboksen nedenfor er beregnet hvor meget vand der pr. kvadratmeter fodaftryk drænes som overskudsvand fra komprimeringsvanding af slaggen.

Ligning 1) 11,5 m slagge svarer til 11,5 m³ slagge/m² = 19,5 tons slagge/m²
 9% · 19,5 tons = 1,7 m³ vand/m² = 1700 liter/m²
 svarende til 1700 mm nedbør.

Ligning 2) 1 m slagge svarer til 1m³ slagge/m² = 1,7 tons slagge/m²
 9% · 1,7 tons = 153 liter/m²
 svarende til 153 mm nedbør.

Gennemsnitlig mængde vand ca. 1100 mm vand/m² fodaftryk

Hertil kommer nedbør i form af primært regn, som ifølge Danmarksmodellen forventes at være ca. 600 mm om året. En del af denne nedbør (40-60 %) vil igen fordampe (Q2). JAGG angiver at netto nedbøren (Q1-Q2) i området er på 250 mm/år svarende til 42 % af nedbøren angivet i danmarksmodellen.

På et halvt år vil netto nedbøren være ca. 125 mm. Konservativt kan den samlede vandmængde, der drænes ud af slaggen i anlægsperioden, antages at være gennemsnitligt ca. 1.250 mm. Hvis det antages, at de underliggende jordlag har en effektiv porøsitet på 0,2 vil nedsivningen give en porevandshastighed (V_v) på 5,5 m pr år eller 2,75 m på 6 måneder.

Stoffers hastighed i vand kan beskrives med ligning 3.

Ligning 3 $V_{\text{stof}} = V_v / R$

Hvor: V_{stof} = stoffets hastighed (m/år)

V_v = porevandets hastighed (m/år)

R retardationsfaktoren, der bestemmes af ligning 4

Ligning 4 $R=1 + (P_b/\epsilon_{eff}) \cdot K_d$
 Hvor: P_b = jordens tørre bulkdensitet (kg/l) (1,7 kg/l for mell. kornet sand)
 ϵ_{eff} = jordens effektive porøsitet (m^3/m^3) (0,2 for mell. kornet sand)
 K_d = er den fordelingskoefficient (l/kg), der bestemmes af ligning 5

Ligning 5 $K_d = C_s/C_v$
 Hvor: C_s = koncentrationen af stof i jorden/slaggen
 C_v = koncentrationen af stof i vandfasen

For tungmetaller kan anvendes K_d værdier fra litteraturen, f.eks. /6/, hvor de normalt angives som $\log K_d$. For tungmetallerne i Tabel 3 haves en $\log K_d$ på mellem ca. 2,7 og 4,3. Jo højere værdien er, jo mindre mobilt er stoffet. Kobber er et af de tungmetaller som har den laveste $\log K_d$ -værdi (2,7). Samtidigt er kobber det tungmetal hvor eluatkoncentrationen overskrider kriterieværdierne i overfladevand mest, ca. 780 gange jf. Tabel 3. I det følgende gives derfor en beregning på udsivningen af kobber i forbindelse med anlægsarbejdet.

Ved at kombinere ligning 3 og 4 fås:

$$V_{stof}=V_v/R = V_v/(1 + (P_b/\epsilon_{eff}) \cdot K_d)$$

$$V_{stof}=5,5[m/\text{år}]/(1+(1,7[kg/l]/0,2[m^3/m^3]) \cdot 10^{2,7})=1,3 \text{ mm/år}$$

Beregningen viser således, at tungmetallerne vil sive med det infiltrerede vand ned i de underliggende jordlag, men at det er de øverste få millimeter af jordlagene som vil blive belastet med tungmetallerne. Koncentrationen af tungmetallerne i jorden kan beregnes ud fra ligning 5. Fordi tungmetallerne kun bevæger sig meget kort, bliver jordkoncentrationerne høje i de jordlag som påvirkes. En beregning med f.eks. kobber giver en jordkoncentration i de øverste mm på 390 mg/kg TS. Jordkoncentrationen er beregnet på baggrund af en gennemsnitlig kobberkoncentration i eluat fra udvaskningstests på 780 $\mu\text{g/l}$, jf. Tabel 3, og en $\log K_d$ for kobber på 2,7, dvs. $K_d=500 \text{ l/kg}$: $C_s=500 \text{ l/kg} \cdot 0,78 \text{ mg/l} = 390 \text{ mg/kg}$.

Samlet risikovurdering for etableringsfasen

Selvom der skal tilsættes forholdsvis store vandmængder i anlægsperioden, så vurderes det under de givne forudsætninger, at tungmetallerne kun når ned i de øverste jordlag, svarende til få mm, uanset om der ligger sand eller ler under slaggen, og at tungmetallerne hverken når frem til grundvandet eller videre til havet.

5 Fase 2 - Risikovurdering i driftsfasen

Risikovurderingen i driftsfasen er opdelt i en risikovurdering for nedsivning gennem vejbelægningen og en nedsivning gennem lerdækket på skråningerne.

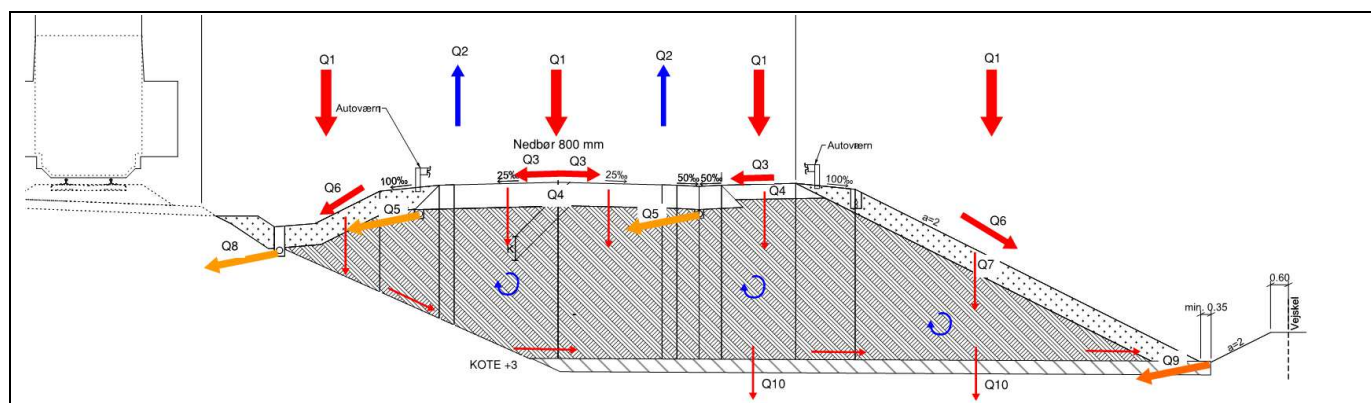
Risikovurderingen viser, at den totale nedsivning gennem asfaltbelægningen svarer til ca. 1,6% af nettonedbøren, mens nedsivningen gennem lerdækket er cirka en fjerdedel (0,4 %). I den samlede risikovurdering for hele vejdæmningen regnes med en nedsivning gennem hele dæmningens overflade, både gennem asfalt og lerdække, på 1,3% af nettonedbøren svarende til nedsivningen gennem vejbelægningen.

Risikovurderingen viser, at tungmetallerne fra slaggen kun vil nå få millimeter ned i de øverste jordlag under slaggen, uanset om slaggen er udlagt på ler eller sand, og at tungmetallerne hverken vil nå frem til grundvandet eller videre til recipienten.

5.1 Konceptuel model for vandbalancebetragtninger

Som udgangspunkt for risikovurderingen er der opstillet den i Figur 4 viste konceptuelle model for vandballancen.

- 1 Ud fra Danmarksmodellen kan beregnes, at nedbøren bliver ca. 590 mm/år. I det videre regnes med en maksimal årlig bruttonedbør (Q1) på 600 mm pr. år, svarende til 600 liter eller 0,6 m³ nedbør pr. m² overflade pr. år.
- 2 En del af denne nedbør (40-60 %) vil igen fordampe (Q2). JAGG angiver at netto nedbøren (Q1-Q2) i området er på 250 mm/år.
- 3 På den del af dæmningen der er asfalteret, vil langt hovedparten af nettonedbøren strømme af som overfladevand til vejens afløbssystem, der bortleder vandet i tætte ledninger, etablering af vejens afløbssystem er nærmere beskrevet i afsnit 5.4.2.
- 4 Den resterende vandmængde vil sive ned gennem asfalten og infiltrere i fylden (Q4). I kapitel 5.2.2 beregnes den vandmængde der vil sive ned gennem asfalten pr. m² pr. år. Det skal bemærkes, at der er forskel på tykkelsen af belægningen for sti og vejareal, se Figur 2, hvilket der er taget højde for i vurderingen.



Konceptuel model for vandbalancen for vejrampe

Q1 er bruttonedbøren =600 mm/år

Q2 er afdampning fra overfladen på asfaltbelægning

Q3 er overfladeafstrømning på asfaltbelægning

Q4 er nedsivning gennem asfalten

Q5 er afledning af overfladevand via afløbssystem

Q6 er overfladeafstrømning på siden af rampen hvor hældningen er 1:2 =50 %

Q7 er nedsivning gennem skråning

Q8 er afledning af overfladevand via afløbssystem

Q9 er afledning af overfladevand via grøft

Omsætning af vandet i slaggen på grund af kemiske reaktioner med slaggen

Q10 er udsivning til grundvandet

Figur 4 Konceptuel model

- 5 På de ubefæstede skråninger er udlagt minimum 0,6 m lerjord. Hældningen på skrånningen er som vist herunder på henholdsvis 1:2 og 1:5 svarende til mellem 50 % og 20 %. Den kraftige hældning bevirker ligeledes at hovedparten af nedbøren vil strømme af som overfladevand (Q6) for at blive opsamlet i grøft (Q9) og afvandingssystemer (Q8). I kapitel 5.3 gives en nærmere redegørelse for infiltrationen gennem skråningerne.

5.2 Nedsivning gennem asfaltbelægninger

5.2.1 Asfaltens permeabilitet

Som beskrevet i indledningen, er risikovurderingen foretaget ud fra den helt grundlæggende antagelse, at spredningen af miljøfremmede stoffer fra restprodukterne alene sker via vand der strømmer gennem produkterne. Derfor er en beregning af den vandmængde der vil strømme gennem restprodukterne essentielt for risikovurderingen.

Mængden af vand der trænger gennem en asfalt er overvejende styret af mængden af hulrum (luft) i asfalten, og sammenhængen mellem disse hulrum. Ved stigende mængde hulrum stiger permeabiliteten, og ved faldende mængde hulrum i asfalten mindskes permeabiliteten.

Ved udførelse af komprimeringsprøver er det muligt at beregne mængden af hulrum i asfalten i %. Nedenstående komprimeringsprøve i *Tabel 4* er fra en asfalt udlagt på Frederikssundsmotorvejen. Komprimeringsprøven vurderes at være repræsentativ for asfalt udlagt på både landeveje og motorveje, da der stilles de samme krav til asfalten.

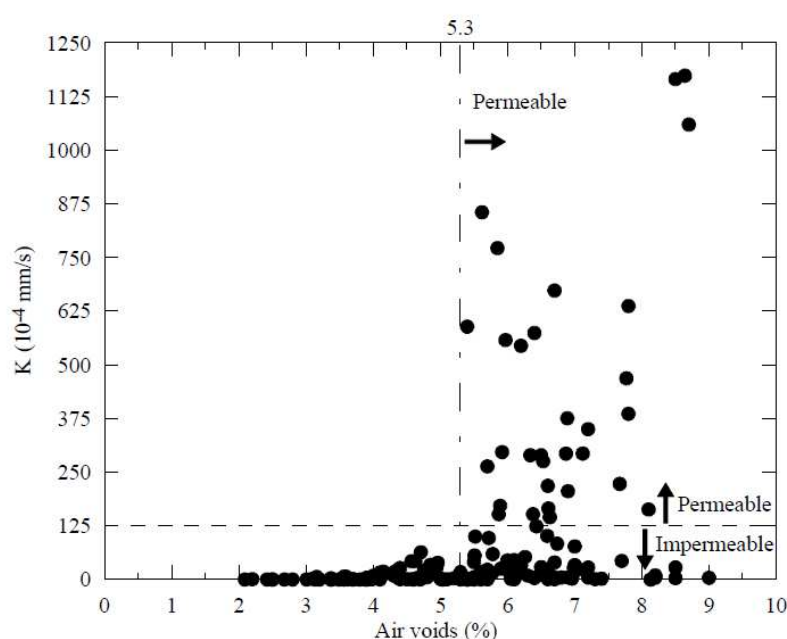
Tabel 4 Komprimeringsprøver fra Frederikssundsmotorvejen.

Komprimeringsprøve		Egenkontrol	Entreprenør: NCC Roads A/S Region København				
Asfaltværk:	NCC Roads A/S Ejby, NCC Roads A/S Udlagt d.: Herlev		10-06-2012				
Bygherre:	VD Anlægsområdet	Opboret d.:	10-06-2012				
Entreprise:	M12, Frederikssundmotorvejen	Lab.nr.:	201201993				
Materiale:	SMA 11, mod.	Receipt nr.:	55420.41				
Reference:							
Bitumenindehold, %	6,59						
Stendensitet, g/cm ³ :	2,762						
Marshall densitet, g/cm ³ :	2,425						
Bitumendensitet, g/cm ³ :	1,020						
Kerne nr.	Stationering m	Placering	Klæbning	Højde mm	Densitet g/cm ³	Hulrum %	Komprimering %
1	245/0600	K	+	50	2,364	4,8	97,5
2	245/0540	M	+	34	2,408	3,0	99,3
3	245/0480	K	+	46	2,401	3,3	99,0
4	245/0400	M	+	36	2,409	3,0	99,3
5	245/0300	K	+	34	2,312	6,9	95,3
6	245/0200	M	+	33	2,342	5,7	96,6
Middel:				39	2,373	4,4	97,8
Spredning:				7	0,040	1,6	1,7
				Tolerance:		5,4	96,8

Som det fremgår af beregningerne i *Tabel 4* af hulrumsprocenten, varierer hulrummet i de 6 udførte komprimeringsprøver mellem 3 % og 6,9 % med et middel på 4,4 %.

I et studie af asfalts permeabilitet [2], er permeabiliteten undersøgt for asfalt med forskellig hulrumsprocenter. Dernæst er permeabiliteten plottet mod hulrumsprocenten. Sammenhængen mellem hulrumsprocenten og permeabiliteten er vist i Figur 5 nedenfor.

Af Figur 5 fremgår det ligeledes, at der er defineret en grænse for permeabiliteten ved $125 \cdot 10^{-4}$ mm/sek ($1,25 \cdot 10^{-5}$ m/sek), hvor asfalten betegnes som impermeabel hvis permeabiliteten er under denne værdi, og permeabel hvis permeabiliteten er over denne værdi. Grænsen mellem permeabel og impermeabel kan ved første øjekast synes høj, da den er i samme størrelsesorden som fint sand. Denne grænse skal dog ses i det lys, at der ikke står et konstant vandtryk på oversiden af asfalten, men kun en periodisk vandbelastning.



Variation of the Coefficient Permeability with Air Voids of Phase I and Phase II Mixtures

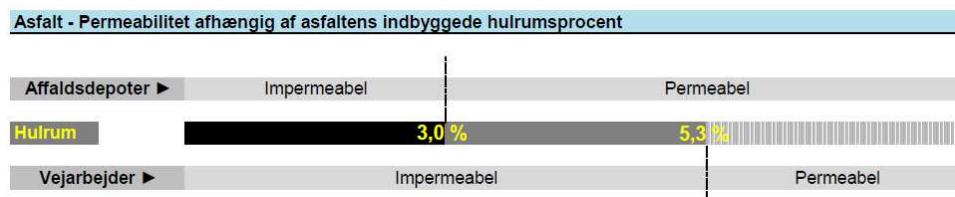
Figur 5 Sammenhængen mellem hulrum i asfalt og permeabilitet

Permeabiliteten ses overordnet at stige ved stigende hulrumsprocent, men det bemærkes dog, at selv ved en hulrumsprocent på op til 9 % kan permeabiliteten stadig ligge under den definerede grænse mellem impermeabel og permeabel asfalt.

Alle prøver med en hulrumsprocent under 5,3 procent plotter under den fastsatte grænse mellem permeable og impermeable aflejringer, hvorfor det sammenfattes, at asfalt med en hulrumsprocent på under 5,3 % er impermeabel.

I undersøgelsen fra Frederikssundmotorvejen, jf. Tabel 4 er den gennemsnitlige hulrumsprocent på 4,4 % væsentlig under den definerede grænse mellem impermeabel og permeabel asfalt. Som det fremgår af Figur 5, ligger permeabiliteten ca. en faktor 10 under den definerede grænse mellem permeabelt og impermeabelt svarende til ca. $1,25 \cdot 10^{-6}$ m/sek.

Forholdet mellem permeabilitet og hulrumsprocenten er vist grafisk i Figur 6.



Figur 6 Grænsen mellem impermeabel og permeabel asfalt er sat ved en hulrumsprocent på 5,3 %, svarende til en permeabilitet på $1,25 \cdot 10^{-5}$ m/sek.

Som det fremgår af Figur 6, anvendes en anden definition på impermeabel asfalt i forbindelse med affaldsdeponier og opbevaringsbassiner for kemikalier, hvor asfalt først regnes for impermeabel ved en hulrumsprocent mindre end 3 %. Fra Miljøstyrelsen /5/ haves, at en vandtæt asfalt kan have en permeabilitet på $<10^{-12}$ m/sek.

Årsagen til forskel i definition på impermeabel asfalt er det vandtryk som asfalten kan blive udsat for. I forbindelse med vejanlæg er der typisk tale om et periodisk vandtryk på få millimeter til centimeter der opstår på asfalten i forbindelse med nedbørshændelser, mens der ved deponeringsanlæg og opbevaringsbassiner er tale om et mere eller mindre permanent vandtryk på decimeter til meter.

5.2.2 Mængden af nedsivende vand gennem asfalten

Hvis man kender permeabiliteten af asfalten, det vandtryk der er på oversiden af asfalten og den tid vandtrykket forekommer, kan man overslagsmæssigt beregne nedsivningen gennem asfalten.

- > Permeabiliteten gennem asfalten er i kapitel 5.2 anslået til ca. $1/10$ af $125 \cdot 10^{-4}$ mm/sek svarende til ca. $125 \cdot 10^{-5}$ mm/sek = $1,25 \cdot 10^{-6}$ m/sek, ved en porøsitet på 4,4%
- > Vandtrykket på asfalten vil afhænge af bl.a. hældningen af overfladen og belægningens ruhed, og med hvilken intensitet nedbøren falder. Ud fra lokale nedbørsmålere kan man udtrække en statistik over nedbørsmængder og tidsperioder. Nedenfor, i Tabel 5, er vandtrykket meget konservativt sat til bruttonedbøren pr. time pr. m². Der er således ikke taget højde for at vandet rent faktisk strømmer af vejen mod vejdrænene.

Tabel 5 Oversigt, tid og hyppighed, over bruttonedbør på asfaltrampen. Vandstanden på oversiden af asfalten er konservativt sat til bruttonedbøren

	> 0,03 cm pr. time pr. m ²	> 0,1 cm pr. time pr. m ²	> 1 cm pr. time pr. m ²
Regnvejrskdage om året	171 dage om året (47 %)		1 dag om året 0,2 %
Timer med nedbør	3,9 %	0,9 %	0,03 %
Vandtryk på	0,03 cm	0,1 cm	1 cm

asfalten			
----------	--	--	--

For at vurdere hvilken nedsivning der sker gennem asfalten, er der taget udgangspunkt i Darcys lov, med de ovenfor nævnte parametre. Der er taget udgangspunkt i at asfalten har en ensartet permeabilitet på $1,25 \cdot 10^{-6}$ m/sek, og en hulrumsprocent på 4,4% i hele asfaltens tykkelse, som på begge dæmninger vil være omkring 15 - 20 cm.

Ved et vandtryk på oversiden af asfalten på 0,3 mm, kan der ud fra Darcys lov beregnes en porevandshastighed på 2,24 m/år hvis vandtrykket var konstant et helt år. Men vandtrykket (konservativt sat) forekommer kun i 3,9 % af tiden, hvilket derfor giver en årlig porevandshastighed på ca. 0,09 m/år. Ved en hulrumsprocent på 4,4 % svarer dette til en infiltration gennem asfalten på ca. 4 mm/år, jf. Tabel 6.

Tabel 6 Beregning af den samlede infiltration ved forskellige regnvejrshændelser

	> 0,03 cm pr. time pr. m ²	> 0,1cm pr. time pr. m ²	> 1 cm
Porevands hastighed	2,24 m/år	7,47 m/år	74,7 m/år
Infiltration	0,4 cm/år	0,3 cm/år	0,1 cm /år

Ved en asfalttykkelse på 15 cm beregnes den samlede infiltration over et år til 8 mm (0,4+0,3+0,1 = 0,8 cm/år) svarende til 1,3 % af den årlige bruttonedbør på 600 mm, eller 3,2 % af nettonedbøren på 250 mm. Ved et feltforsøg /3/ blev der udført udvaskningsforsøg under en vejstrækning ved Skælskør med ny asfaltbelægning uden synlige revner. I forsøgsperioden blev der registreret en infiltration under vejen på 0-0,5 % af nedbøren i området i sommermånederne (maj-august), mens der i vintermånederne (november-marts) blev registreret en infiltration gennem vejarealet på 0,6-2,2% af nedbøren. På årsbasis infiltrerede der ca. 0,7 % af nedbøren gennem vejarealet.

Cykel- og gangsti

Da belægningen på stien er cirka halvt så tyk, som på vejarealet, vil gennemstrømningen gennem asfalten under stien beregningsteknisk blive det dobbelte (ca. 2,7%). Stiarealet udgør ca. 1/6 del af det asfalterede areal. Med En vægget gennemsnitsnedbør bliver ca. 1,6%.

For en vedligeholdet asfalt vurderes det på baggrund af ovenstående rimeligt at antage, at ca. 1,6 % af bruttonedbøren infiltrerer gennem asfalten. Det skal bemærkes, at vejstrækningen vil blive vedligeholdet løbende af Vejdirektoratet, da det er en hovedfærdselsåre.

Samlet vurdering

Den lave infiltration (ca. 8 mm/år) giver, at for en driftstid for dæmningen på 125 år, vil den samlede infiltrationen være i samme størrelsesorden (ca. 1.000 mm) som infiltrationen under anlægsarbejdet, der jf. kapitel 4 er ca. 1.250 mm på 6 måneder.

Beregningerne i kapitel 4 viser, at tungmetallerne fra slaggen kun vil nå få millimeter ned i de øverste jordlag under slaggen, uanset om slaggen er udlagt på ler eller sand, og at tungmetallerne hverken vil nå frem til grundvandet eller videre til recipienten.

5.2.3 Asfalt som tæt belægning

I Restproduktbekendtgørelsen, bilag 5 /1/ stilles krav om at der udlægges en tæt belægning for at reducere nedsivningen. Tæt belægning er defineret ved:

Tæt belægning er defineret ved: Belægning som asfalt, beton m.m., der reducerer mængden af vand, der vil perkolere gennem belægningen. Bortledning af overfladevand medfører, at højst 10 % af nedbøren vil komme i kontakt med restprodukt eller jord.

Som det fremgår af forrige kapitel, kan man på baggrund af konservative betragtninger beregne, at for en vedligeholdet asfaltbelægning vil ske en infiltration på ca. 1,3 % af bruttonedbøren. Således er kravet om en tæt belægning overholdt med en god margin i det pågældende projekt. Da den projekterede vej er af vital betydning for trafikken vil vejen og vejdrænene til stadighed blive holdt i god stand.

Med en antaget porøsitet på 0,3 i restprodukterne, svarer en infiltration på 8 mm pr år pr. m² til en porevandshastighed på ca. 0,9 cm pr år. Ved en gennemsnitlig fyldhøjde på ca. 5 m vil det teoretisk set tage ca. 550 år for en vandpartikel at sive ned gennem restprodukterne.

5.3 Nedsivning gennem de lerdækkede skrånninger

På grund af den store hældning på siderne af vejdæmningen (20 -50 %) antages det, at der selv under kraftig regn kun opnås et forholdsvist begrænset vandtryk på lerdækket. I beregningen er taget udgangspunkt i et vandtryk på 1 cm.

Hvis det antages, at lerjorden har en permeabilitet på 10⁻⁸m/sek., jf. krav til entreprenør, og udlægges i et 0,6 m lerdække og et vandtryk på 1 cm, giver Darcy-beregningerne en porevandshastighed på 0,06 m/år hvis vandtrykket var konstant et helt år.

Men vandtrykket forekommer kun i ca. 3,9 % af tiden, hvilket derfor giver en årlig porevandshastighed på ca. 0,024 m/år. Ved en effektiv porøsitet af leret på 10 %, svarer dette til en infiltration på ca. 2,4 mm/år, svarende til en infiltration på knapt 0,4% af bruttonedbøren.

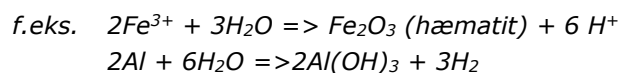
Den samlede nedsivning gennem lerdækket på skrånningerne beregnes således til at være ca. en fjerdedel af nedsivningen gennem området belagt med asfalt. I de samlede vurderinger regnes med en nedsivning på 1,3% for hele dæmningen.

Beregningen ovenfor er foretaget for et nyudlagt lerdække. Vedligeholdelse af dæmnings skrånninger er en del af den samlede vedligeholdelse af bro, bane og vejanlægget. Såfremt der fremkommer væsentlig erosion af siderne vil skaden blive udbedret. De forudsætninger der er opstillet i beregningerne ovenfor vurderes derfor at være gældende i hele vejanlæggets levetid.

5.4 Øvrige forhold med indvirkning på den totale nedsivning

5.4.1 Exoterme processer

Når vandet infiltrerer ned i affaldsforbrændingslaggen sker der en række kemiske processer, under bl.a. dannelse af jern, aluminium og calcium oxider og -hydroxider.



Disse processer er ud over at være vandforbrugende også exoterme, det vil sige, at der dannes varme under reaktionerne, som vil give anledning til fordampning af vand i selve restprodukterne.

Med en så begrænset nedsivning som beregnet i ovenstående, vurderes det, at der i praksis ikke vil sive noget vand gennem restprodukterne i driftsfasen. I princippet er det kun en fordel at der indbygges et tykt lag af restprodukter, da mægtigheden af laget med restprodukter i sig selv vil mindske nedsivningen gennem laget.

I den samlede risikovurdering er de exoterme processer ikke indregnet.

5.4.2 Vejens afvanding

Risikovurderingen for driftsfasen bygger bl.a. på den forudsætning, at vejens drænsystemer er tætte, og således ikke bidrager til den samlede flux ned gennem slaggen.

Der stilles krav til entreprenøren om at der skal etableres et tæt afløbssystem, i henhold til relevante arbejdsbeskrivelser, normer og standarder.

Rørene vil være med muffe samlinger. For at følge vejdæmningsens hældning, vil rørene blive lagt med et fald der er væsentligt større end det minimums fald som foreskrives i normerne for afløbssystemer. Dette giver en yderligere sikring mod eventuelle utætheder som følge af "tilbageløb" i muffesamlingerne.

Brønde vil desuden blive udført med tæt bund.

Afvandingssystemet vil løbende blive vedligeholdt. Ved mistanke om utætheder kan der udføres TV-inspektion af afløbssystemet. Hvis der mod forventning skulle opstå lækager på afløbssystemet, kan det tætnes ved hjælp af strømpeforing.

6 Fase 3 - Risikovurdering for en efterfølgende fase hvor rampen ikke længere er i brug

Risikovurderingen for Fase 3 er udarbejdet ud fra den forudsætning, at når rampen ikke længere er i brug efter 125 år, udlægges et 0,5 meter tykt lerlag oven på asfaltbelægningen. Lerlaget udlægges med en sådan hældning at der ikke vil stå frit vandspejl på terrænoverfladen. Infiltrationen gennem lerlaget er konservativt sat til 10% af nettonedbøren svarende til 25 mm/år.

Udvaskningen af slaggen vil derfor stige i forhold til driftsperioden, Fase 2, hvor ca. 3 % af nettonedbøren sivede gennem asfalten. Ved vurdering af udvaskningen af slaggen anvendes ligningerne 3, 4 og 5 i afsnit 4.

Tungmetallers mobilitet i jorden er stærkt afhængig af pH. Jo lavere pH jo større mobilitet har metallerne. Der findes i litteraturen mange formler for tungmetallernes mobilitet, men i Tabel 7 er beregningen af K_d -værdien foretaget på baggrund af formlerne i reference /9/.

Tabel 7 Beregning af K_d værdier for div. tungmetaller afhængig af porevandets pH /9/

Tungmetal	Ligning	pH=7	Ph=8	pH=9
Cadmium, Cd	$\text{Log } K_d = 0,73 \cdot \text{pH} - 3,29$	1,93	2,36	2,79
Kobber, Cu	$\text{Log } K_d = 0,43 \cdot \text{pH} - 1,08$	1,82	2,55	3,28
Nikkel, Ni	$\text{Log } K_d = 0,48 \cdot \text{pH} - 1,64$	1,72	2,2	2,68
Bly, Pb	$\text{Log } K_d = 0,60 \cdot \text{pH} - 1,14$	3,06	3,66	4,26
Zink, Zn	$\text{Log } K_d = 0,74 \cdot \text{pH} - 3,03$	2,15	2,89	3,63

I Figur 7 er det vist hvilken betydning pH har for udvaskningen af tungmetaller fra rampen. I figuren er der taget udgangspunkt i den akkumulerede udvaskning fra rampen anlægges (0,5 år), anvendelsen med asfaltbelægning (125 år) til rampen henligger med toplag af ler (>125 år).

Som det fremgår af Figur 7 stiger udvaskningsdybden med ca. en faktor 3 hver gang pH sænkes med 1 enhed. Beregningerne viser således, at efter 500 år vil kobber ved pH=9 kun være vasket ca. 1,2 cm ned i jordlaget under vejdamningen. Mens kobber ved pH=7 efter 500 år vil være vasket ca. 8 cm ned i jordlaget under vejdamningen.

Efter 1.000 år viser beregningerne at kobber ved pH=7 vil være vasket ca. 16 cm ned i de underliggende jordlag, mens kobber ved pH=9 kun vil være vasket 2,1 cm ned i jordlaget under vejdamningen.

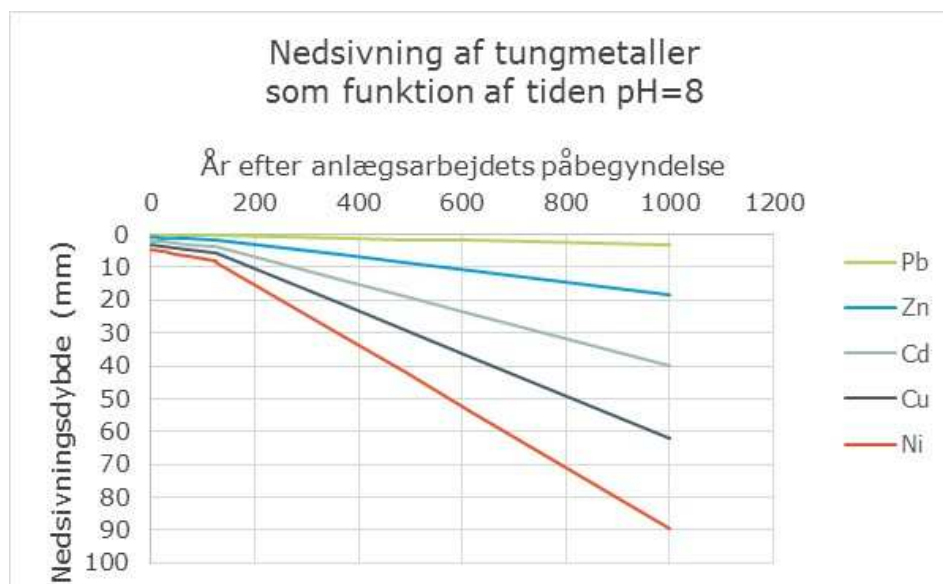
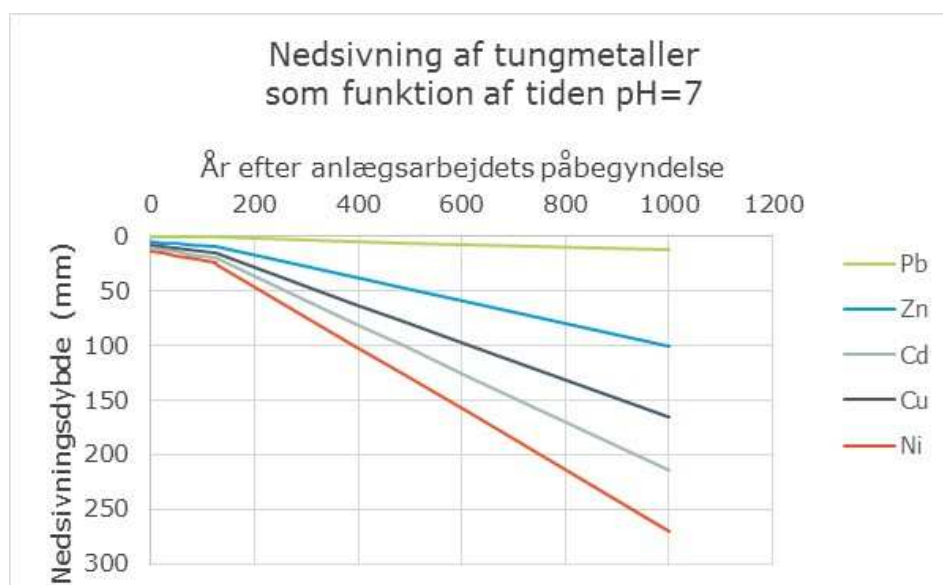
Figur 7 viser desuden at nikkel er det mest mobile metal, og ved pH = 7 vil nikkel være vasket 27 cm ned i jorden efter 1.000 år. Ved pH = 9 vil nikkel være vasket 3 cm ned i jorden efter 1.000 år.

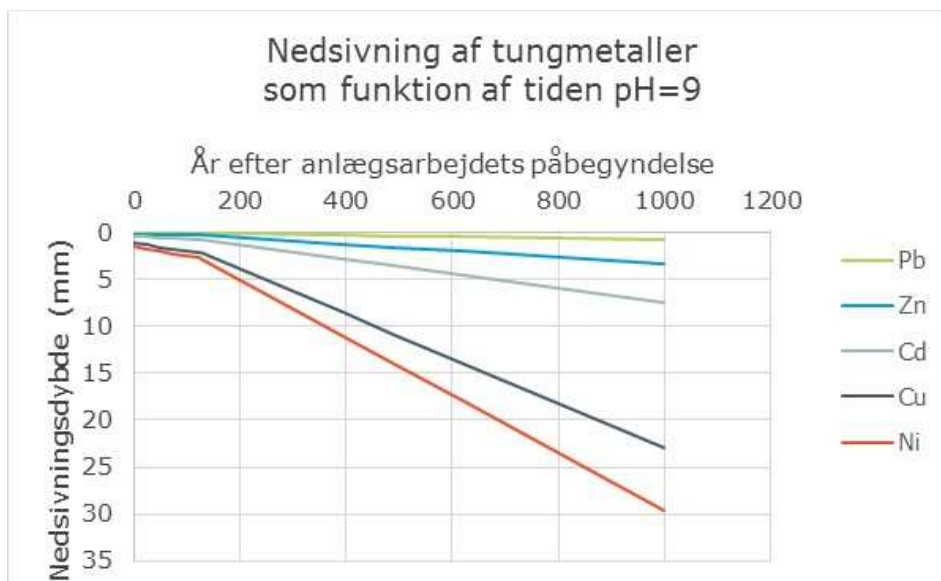
Hvis det antages, at det høje pH fra slaggen (pH=9) bliver opretholdt i jordlaget under vejdamningen, så vil de to mest mobile tungmetaller, nikkel og kobber, være hhv. ca. 3.300 år og ca. 4250 år om at nå mere end 10 cm ned i det underliggende jordlag. Ved en pH på 7 vil nikkel og kobber være trukket ca. 1 meter ned i de underliggende jordlag efter hhv. 3.300 år og 4250 år.

Det skal nævnes, at beregningerne er behæftet med usikkerhed, dels omkring fastlæggelsen af K_d , dels i hvilket omfang komponenterne vil reagere kemisk og enten udfælde som f.eks. sulfider, eller danne mere mobile ioner på grund af kompleksbinding, f.eks. hydroxider. Dertil kommer, at der er benyttet konservative værdier for mængden af vand der er siver ned gennem slaggen, og netop mængden af vand er den drivende faktor for udvaskningen. Ved de nedsivningsdybder der er beregnet,

selv for nikkel som er det mest mobile metal, vil nedrivningsdybden med en usikkerhed på 100% stadig være yderst beskednen inden for en tidshorisont på flere tusinde år, så set i det lys anses beregningerne, trods usikkerhederne, for at være robuste og konservative.

Slaglaget i vejdæmningen indbygges først fra kote +2,5, og ligger således væsentligt over havniveau og grundvandsspejlet, der ligger mellem ca. kote 0 og kote +1,0. Derfor vurderes udsivningen af tungmetaller fra slaggen ikke at udgøre en risiko for grundvandsforekomster eller for overfladevand, hverken på kort sigt (125 år), eller på lang sigt, dvs. tusindvis af år.





Figur 7 *Illustration af hvor langt tungmetallerne siver ned i de underliggende jordlag, uanset om det er ler eller sand, ved forskellig pH. Bemærk at Y-aksens værdier varierer med pH*

7 Sammenfatning

Risikovurderingen er lavet ud for den forudsætning, at miljøfremmede stoffer fra restprodukterne kun mobiliseres ved gennemstrømmende vand. Derfor er den alt-overvejende vigtigste faktor i risikovurderingen mængden af vand der i teorien - og under konservative antagelse - vil strømme igennem restprodukterne.

Studier har vist, at asfaltens permeabilitet overordnet set er styret af mængden af hulrum i asfalten. Ved en lav koncentration af hulrum falder asfaltens permeabilitet. Ved en hulrumsprocent på 4,4 %, er asfalten i det store hele impermeabel i forhold til nedbørshændelser, og det er konservativt beregnet, at omkring 1,6% af brutto-nedbøren infiltrerer igennem asfalten. Dermed er kravet i Restproduktbekendtgørelsen til en tæt belægning, over kategori 3 restprodukter, opfyldt med en god margin.

Tilsvarende er det beregnet, at infiltrationen gennem dæmningskråningerne vil udgøre ca. 0,4 % af bruttonedbøren.

Det vand der måtte sive ned gennem belægningen, vil indgå i kemiske processer i restprodukterne, under dannelse af bl.a. jern, aluminium og calcium oxider og -hydroxider. Disse processer er ud over at være vandforbrugende også exoterme, det vil sige, at der dannes varme under reaktionerne, som vil give anledning til fordampning af vand i selve restprodukterne. Derfor vurderes Q10 i den konceptuelle model, dvs. udsivningen af vand fra slaggelaget mod grundvandet, jf. Figur 4, i praksis at væsentlig mindre end den del af nettonedbøren der siver gennem belægningen. Der er ikke taget højde for de exoterme processer i risikovurderingen, hvilket igen er med til at gøre beregningerne robuste og konservative.

Selve risikovurderingen er opdelt i tre faser: Fase 1) En del for anlægsperioden, som har en anslået varighed på ca. ½ år. I anlægsperioden er infiltrationen beregnet til ca. 1250 mm. Fase 2) En del for drifts- og vedligeholdelsesfasen hvor asfaltbelægningen er etableret. Infiltrationen i driftsfasen på 125 år er beregnet til 1000 mm (ca. 8 mm/år). Fase 3) En fase efter at vejdæmningen er taget ud af drift og overdækket med 0,5 meter ler. I denne periode er infiltrationen konservativt anslået til 25 mm/år. Der er udregnet risikoscenarier for nedsivningen af metaller fra vejdæmningen til de underliggende jordlag efter henholdsvis 500 år og 1.000 år.

- > **Fase 1) Risikovurderingen for anlægsfasen** viser, at selvom der tilsættes vand til slaggen i forbindelse med forarbejdning af materialerne, når tungmetallerne ved udvaskning kun få mm ned i de øverste jordlag, uanset om der ligger sand eller ler under vejdæmningen.
- > **Fase 2) Risikovurderingen for driftsfasen på 125 år** viser, at selvom alt nedbør der måtte infiltrere ned gennem asfalten siver ud af bunden på vejdæmningen, så vil tungmetallerne kun spredes til de øverste få centimeter af jordlagene under vejdæmningen, og det uanset om slaggen udlægges på ler eller sand.
- > **Fase 3) Når vejdæmningen tages ud af drift og overdækkes med ler**, vil infiltrationen konservativt antaget svare til 10% af nettonedbøren, dvs. ca. 25 mm/år. Beregninger viser, at nikkel, der er det mest mobile tungmetal, inden for en tidsperiode på op til 1.000 bliver udvasket mellem 3 cm og 27 cm ned i jorden afhængig af pH. Så selv ved store usikkerheder på beregningerne bliver påvirkningen af jordlagene under vejdæmningen yderst begrænsede, selv set over tidshorisonter på flere tusinde år.

På baggrund af ovenstående betragtninger, er det COWIs vurdering, at indbygning af kategori 3 restprodukter i vejdæmningerne til Storstrømsbroen ikke vil udgøre en risiko for forurening af grundvandsressourcen eller vandmiljøet generelt i området.

Hvis vejdæmningen etableres med slagger, vil en forurening med tungmetaller være begrænset til de øverste cm af jordlagene under vejdæmningen.

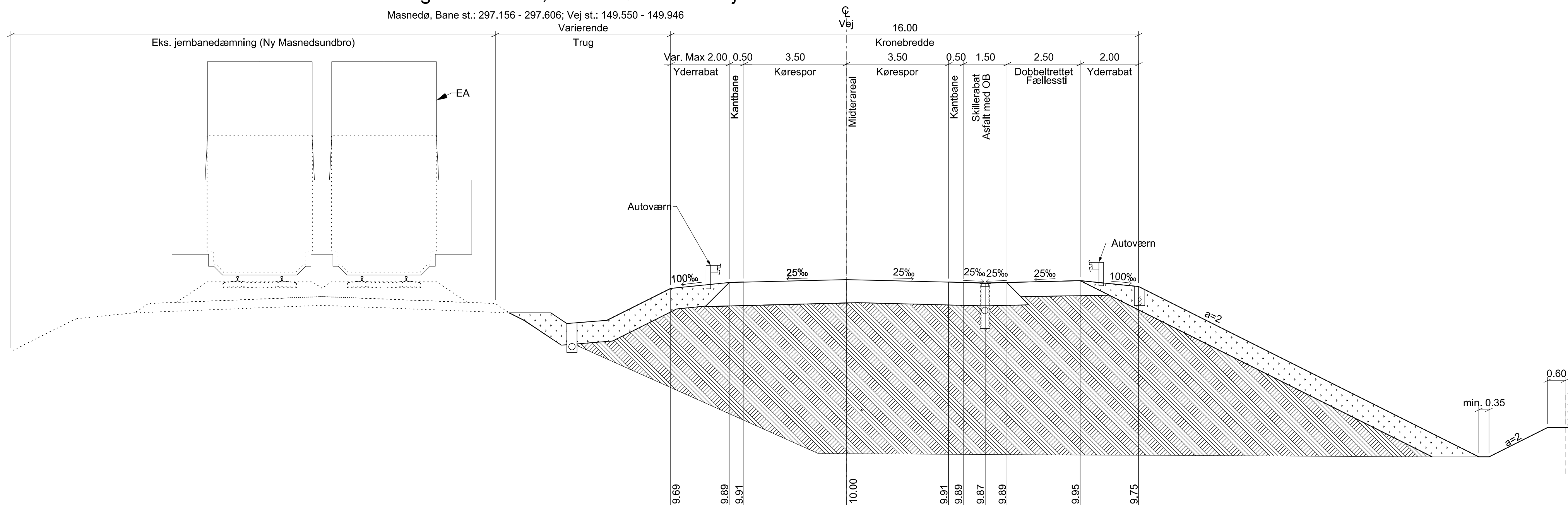
8 Referencer

- /1/ Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord og sorteret bygge- og anlægsaffald. BEK nr. 1672 af 15/12/2016 (også kaldet Restproduktbekendtgørelsen).
- /2/ Evaluation of Permeability of Superpave Asphalt Mixtures. TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM (http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-002464.pdf).
- /3/ VKI Vandkvalitetsinstituttet. Slagge som vejbygningsmateriale: Undersøgelse af stofudvaskning fra Skælskør omfartsvej, december 1995.
- /4/ Vejregler og deres anvendelse. Permeable belægninger og deres anvendelse i Danmark. Trafik & Veje, November 2015. (<http://asp.vejtid.dk/Artikler/2015/11/8239.pdf>)
- /5/ Miljøstyrelsen. Forebyggelse af jord og grundvandsforurening på industri-virksomheder ved udvalgte aktiviteter. Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 6, 2008.
- /6/ KEMISKE STOFFER. Vurdering af stoffer i forhold til farlighed i grundvandet. Miljøministeriet, By- og Landskabsstyrelsen, 2010
- /7/ Vejdirektoratet. Ansøgning om godkendelse til indbygning af restprodukter i vejdæmning til ny Storstrømsbro. Vordingborg Kommune. COWI d. 04-05-2017, Dok. nr. 93200-COW-NOT-4-ENV-00285.
- /8/ Vejdirektoratet. Ansøgning om godkendelse til indbygning af restprodukter i vejdæmning til ny Storstrømsbro. Guldborgsund Kommune. COWI d. 04-05-2017, Dok. nr. 93200-COW-NOT-4-ENV-00286.
- /9/ Transport and Transformation of Contaminants Near the Sediment-Water Interface. Josep V. DePinto, Wilbert Linck og John F. Paul. 1994
- /10/ Vejdirektoratet Ny Storstrømsbro. DC dimensionsgivende vandstand. Baggrundsnotat design basis. COWI, d. 19-03-2014. Dok. nr. 93200-COW-NOT-2-DBS-00033.

Bilag A Tværsnitsprofil med afvandingsystem

Landanlæg Hovedtracé, Masnedø med eks. jernbane

Masnedø, Bane st.: 297.156 - 297.606; Vej st.: 149.550 - 149.946
 Varierende



© Geodatastyrelsen og Vejdirektoratet © DDO, COWI KOORDINATSYSTEM: SSBKP/DVR90
 This drawing is printed on 04-05-2017 - 14:54:17 COWI-Projektnr: 47030

932 MASNEDØ - FALSTER				
93200 STORSTRØMSBROEN				
Tværsnit af bane og vej Indbygning af slagger				
				1:100
Proj.	ANDH	Tegnet	ANDH	Kontrol.
Godk.		Dato	04.05.2017	
				Tegn. nr.
				Rev.
				ROD-Sketch-109