

Technical University of Denmark



Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42 Notat 3

Søndergaard, Gitte Lemming; Binning, Philip John; Bjerg, Poul Løgstrup

Publication date:
2014

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Søndergaard, G. L., Binning, P. J., & Bjerg, P. L. (2014). Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42: Notat 3. Kgs. Lyngby: DTU Miljø.

DTU Library Technical Information Center of Denmark

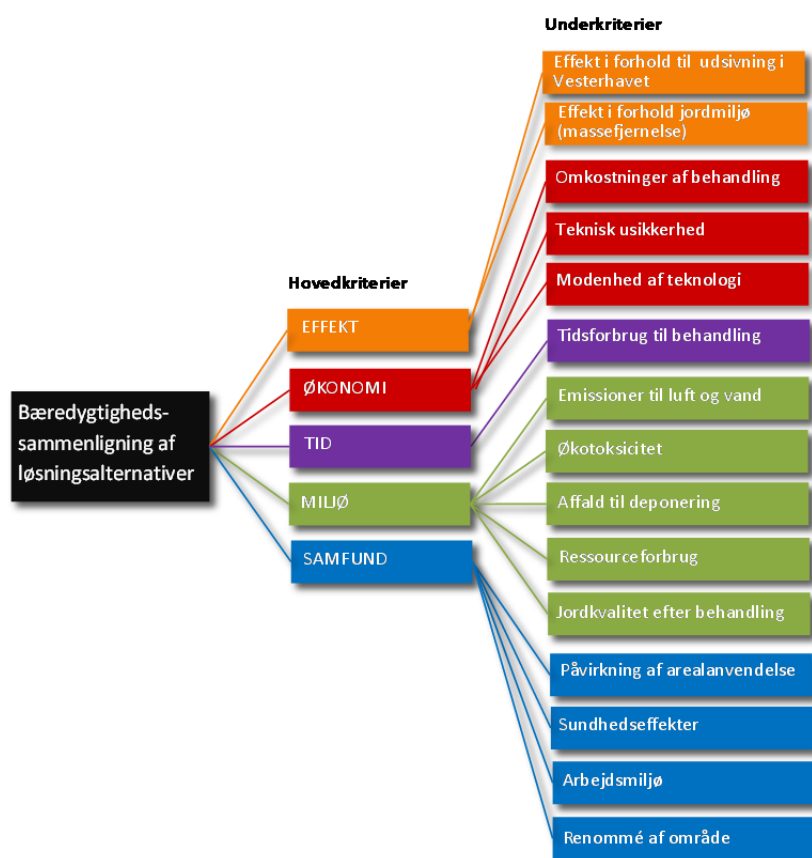
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42



Notat 3

Gitte Lemming, Philip J. Binning og Poul L. Bjerg

DTU Miljø

November 2014

Forord

Dette notat er udarbejdet i fase 3 af projektet *Bæredygtighed af afværgemetoder*, som er et samarbejdsprojekt mellem Region Midtjylland og DTU Miljø, Danmarks Tekniske Universitet. Projektet er knyttet sammen med projektet *NorthPestClean*, som omhandler fastsættelse af oprensningskriterier for pesticidforureningen ved Høfde 42 samt pilotskalatests af oprensning med *in situ* basisk hydrolyse ved Høfde 42.

I projektets første fase er der foretaget et litteraturstudium, der har til formål at kortlægge de eksisterende erfaringer med brug af multikriteriemetoder til beslutningsstøtte for bæredygtig afværge samt udvalgte værktøjer for relaterede områder såsom vandforsyning. Dette litteraturstudium er afrapporteret i Notat 1 (Lemming et al., 2011)

I fase 2 er der udviklet et multikriterieværktøj, som har til formål at foretage en sammenlignende bæredygtighedsvurdering for afværgemuligheder for en forurenede lokalitet. Værktøjet inddrager fem hovedkriterier i denne vurdering samt en række underkriterier. Alternativernes præstationer på de enkelte kriterier omregnes til en score fra 0 til 1. Denne score vægtes i forhold til et sæt af kriterievægte, som kan være bestemt af et interessentpanel. Værktøjet er afrapporteret i Notat 2 (Søndergaard et al., 2014).

Dette notat er udarbejdet i den afsluttende fase (fase 3) og omhandler anvendelsen af bæredygtighedsværktøjet på forureningen ved Høfde 42 på Harboøre Tange. Det udviklede værktøj er anvendt til at sammenligne bæredygtigheden af 4 forskellige strategier for håndteringen af forureningen. I forbindelse med anvendelse af værktøjet for Høfde 42, er der desuden afholdt en interessentworkshop i november 2013 med deltagelse af en række lokale, regionale og nationale interessenter. Interessenterne blev inddelt i to grupper, der hver især kom til enighed om hvorledes de vurderede vigtigheden af de kriterier, der indgår i værktøjet. På baggrund heraf er der udarbejdet vægtnings sæt, som er blevet anvendt i bæredygtighedsvurderingen for Høfde 42. Resultaterne fra interessentworkshoppen er afrapporteret i notatet "Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013" (Lemming & Bjerg, 2013).

Udover DTU Miljø har projektet haft deltagelse af en arbejdsgruppe fra Region Midtjylland bestående af Morten Bondgaard (projektleder), Anja Melvej, Børge Hvidberg, Kaspar Rüegg og Lars Ernst, der har bidraget med sparring og dataindsamling. Endvidere har Kirsten Rügge (COWI) og Steffen G. Nielsen (TerraTherm/Niras) bidraget med data vedrørende henholdsvis *in situ* basisk hydrolyse og *in situ* termisk oprensning af Høfde 42.

En oversigt over projektets tre faser og de tilhørende workshops og udarbejdede notater ses herunder.

Projektfaser

- Fase 1** Litteraturfase og intro-workshop med Region Midtjylland. **Notat 1:** *Bæredygtighed af afværgemetoder. Litteraturstudium (Lemming et al., 2011.)*.
- Fase 2** Metodeudviklingsfase og interessentworkshop. **Notat 2:** *Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgeteknikker for en forurenede grund (Lemming et al., 2014)*. **Notat om interessentworkshop:** *Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013 (Lemming & Bjerg, 2013)*.
- Fase 3** Case-afprøvning (Høfde 42) og afsluttende workshop. **Notat 3:** *Bæredygtighedsvurdering af løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42 (Søndergaard et al., 2014)*.

Projektfaser

Fase 1 (1/9 - 31/12 2011): Litteraturfase og intro-workshop med Region Midtjylland (Workshop 1)

Fase 2 (1/1 2012 - 31/12 2014): Metodeudviklingsfase og midtvejs-workshop med deltagelse af interessenter (Workshop 2)

Fase 3 (1/10 2013 - 31/12 2014): Case-afprøvning (Høfde 42) og afsluttende workshop (Workshop 3)

Resumé

Der er udviklet en metode til bæredygtighedsvurdering af afværgemethoder for en forurenede lokalitet. Metoden har til formål at støtte beslutningsprocessen omkring valg af afværgemetoder og er opbygget som en multikriterievurderingsmetode, der inddrager følgende hovedkriterier: effekt af afværge (Effekt), omkostninger af afværge (Økonomi), tidshorisont for implementering af afværgeløsningen (Tid) samt afværgemetodens afledte effekter på miljø (Miljø) og samfund (Samfund). Alle hovedkriterier, undtagen Tid, er inddelt i en række underkriterier. Løsningsalternativernes præstation på de forskellige underkriterier er opgjort dels ved kvantitative vurderinger, eksempelvis er miljøeffekterne i høj grad baseret på en livscyklusvurdering (LCA) af afværgemethoderne, eller ved kvalitative vurderinger af påvirkningen på en skala fra 1-5. For hvert hovedkriterium beregner metoden en normaliseret score mellem 0 og 1, hvor 0 betegner den bedst mulige score og 1 gives til det alternativ, der klarer sig dårligst for det pågældende kriterium. Den samlede score i bæredygtighedsvurderingen beregnes som en vægtet sum af de normaliserede scorer for de 5 hovedkriterier, hvor vægtene af de enkelte kriterier er bestemt af et interessentpanel.

Dette notat afrapporterer bæredygtighedsvurderingen af de fire løsningsalternativer for oprensningen af kemikaliedepotet ved Høfde 42. De fire løsningsalternativer er A1) Fortsat indeslutning med stålspons, A2) In situ basisk hydrolyse, A3) In situ termisk oprensning ved injektion af damp og A4) Afgravning efterfulgt af off-site behandling og slutdeponering af jorden. I forbindelse med bæredygtighedsvurderingen er der, i samarbejde med Region Midtjylland og en række rådgivere og firmaer, lavet en vurdering af alle væsentlige forbrug af materialer og energi samt transportaktiviteter for de enkelte løsningsalternativer. Disse data har givet et væsentligt input til livscyklusvurderingen, som delvist ligger til grund for vurderingen af de afledte effekter på Miljø og Samfund.

På en interessentworkshop afholdt i november 2013 vurderede en gruppe af 10 interessenter vigtigheden af de 5 hovedkriterier i forhold til hinanden. Denne vurdering blev lavet dels ved en simpel rangering i forhold til vigtighed og dels ved en parvis sammenligning af hovedkriterierne på en skala fra 1-9. Begge vurderinger viste, at Effekt og Samfund var de hovedkriterier, som blev vægtet højest af interessenterne, mens Tid, Miljø og Økonomi var mindre vigtige. Grundet anvendelsen af to vægtningsmetoder haves to forskellige vægtningssæt, henholdsvis en simpel vægtning og en detaljeret vægtning, hvoraf den detaljerede vægtning må forventes bedst at afspejle interessenterne synspunkter.

Indledningsvis blev der i bæredygtighedsvurderingen beregnet en samlet score for de 4 løsningsalternativer under antagelse af lige vægtning af de fem hovedkriterier. Her opnåede in situ termisk oprensning den laveste (og dermed bedste) samlede score, mens afgravning opnåede den højeste (og dermed dårligste) samlede score. Forskellen i de opnåede bæredygtighedsscorer var dog relativt lille.

Derefter blev de to vægtningssæt, udarbejdet af interessenterne, anvendt til beregning af vægtede bæredygtighedsscorer. Dette ændrede resultatet af bæredygtighedsvurderingen, idet fortsat indeslutning nu faldt markant dårligst ud ligegyldig hvilket af de to vægtningssæt, der anvendtes. Dette skyldes især, at interessenterne vægter Effekt og Samfund højt, hvilket netop er de områder, hvor indeslutningsløsningen klarer sig dårligt. De høje samfundspåvirkninger af indeslutningsmetoden skyldes især, at den ikke giver en væsentlig forbedring af områdets renommé, idet forureningen forbliver ved Høfde 42 i en uendelig periode fremover. Derudover giver det store forbrug af stål til at opretholde spunsen anledning til høje sundhedseffekter set i et livscyklusperspektiv. Dette bidrager også væsentligt til de samlede samfundspåvirkninger af metoden.

Ved den simple vægtning faldt de øvrige tre metoder (afgravning, in situ basisk hydrolyse og in situ termisk oprensning) meget ligegyldigt ud, idet afgravning kun havde en lidt lavere samlet score end de to in situ metoder. Ved den detaljerede vægtning faldt afgravningsløsningen markant bedst ud. Dette skyldes især interessenterne lave vægt på Miljø og Økonomi, hvor afgravningsløsningen klarer sig dårligere end de øvrige alternativer.

En følsomhedsanalyse af resultaterne viser, at en nutidsværdiberegning af udgifterne til indeslutningen vil reducere udgifterne til dette løsningsalternativ betragteligt (fra 61 mio. Kr. til 9 mio. Kr.), hvis en diskonteringsrate på 5 %

anvendes. Dette vil dog ikke påvirke konklusionen på bæredygtighedsvurderingen, da Økonomi har en relativt lav vægt. Der er desuden regnet på et følsomhedsscenario, hvor den forventede levetid af spunsvæggen i indeslutningsløsningen er fordoblet fra 25 år til 50 år. Dette stiller indeslutningsløsningen relativt bedre, men den falder stadig ud blandt de mindst bæredygtige løsninger. Det skal samtidig huskes, at analysen regnemæssigt anvender en tidshorisont på 100 år for indeslutningsscenalet, men at løsningen i princippet er uendelig, og at påvirkningerne på Samfund og Miljø dermed er undervurderede.

Såfremt hovedkategorien Effekt ændres til alene at se på løsningsalternativernes effekt i forhold til at reducere udsivningen af forurening til Vesterhavet og ikke i forhold til at fjerne forureningskilden vil indeslutningsløsningen ved anvendelse af den simple vægtning være lige så bæredygtig som de tre øvrige løsningsalternativer, mens afgravning, med den detaljerede vægtning, stadig bliver det mest bæredygtige alternativ. Det skal i denne forbindelse dog bemærkes at hvis definitionen af hovedkriteriet Effekt ændres, vil interessenternes vægtning sandsynligvis også ændres. Derfor er dette følsomhedsscenario kun indikativt.

Samlet set viser bæredygtighedsvurderingen, at afgravning, off-site behandling og deponering er den mest bæredygtige løsning for Høfde 42, når interessenternes vægtninger af kriterierne inddrages. Dette resultat kan virke overraskende, idet denne løsning giver de største afledte miljøeffekter og er dyrest, mens skyldes helt overvejende, at det er den eneste løsning, der effektivt fjerner både pesticider og kviksløv. Dette er medvirkende til, at løsningen opnår en god score for Effekt og Samfund, som netop vurderes vigtigst af interessenterne.

Selvom afgravningsløsningen samlet set opnår den bedste score i bæredygtighedsvurderingen, er dette dog ikke ensbetydende med, at denne metoden kan siges at være bæredygtig, da analysen blot vurderer løsningsalternativerne relativt til hinanden og ikke siger noget om metodernes absolutte bæredygtighed. Det er også væsentligt at huske på, at afgravningsløsningen samlet set klarede sig bedst, men samtidig var den løsning, der klarede sig dårligst for Miljø og Økonomi. Der er derfor kun tale om en *svag bæredygtighed* af denne løsning, da den dårlige præstation for Miljø og Økonomi kompenseres af en god præstation på Effekt, Samfund og Tid. Såfremt afgravningsløsningen vælges, er det derfor hensigtsmæssigt at undersøge om metodens miljøeffekter og omkostninger kan nedbringes f.eks ved at behandle jorden lokalt og genanvende den lokalt.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	3
Resumé.....	6
1 Introduktion	10
2 Forudsætninger for bæredygtighedsvurderingen.....	11
2.1 Afværgeområde, afværgevolument og forureningsmasser	11
2.2 Beskrivelse af de fire løsningsalternativer	12
3 Kort introduktion til bæredygtighedsvurderingsmetoden.....	17
3.1 Hoved- og underkriterier	17
3.2 Tildeling af scorer og beregning af vægtet sum	17
3.3 Ekspertpanel til vurdering af kvalitative scorer.....	19
4 Løsningsalternativernes opnåelse af scorer indenfor de fem hovedkriterier.....	21
4.1 Effekt	21
4.2 Økonomi.....	21
4.3 Tid.....	22
4.4 Miljø	23
4.5 Samfund	24
5 Samlede resultater og diskussion af bæredygtighedsvurderingen	26
5.1 Samlet score opnået i bæredygtighedsvurderingen (basisscenario)	26
5.2 Følsomhedsscenario 1 – nutidsværdi af omkostninger	27
5.3 Følsomhedsscenario 2 – Længere levetid af spunsen.....	28
5.4 Følsomhedsscenario 3 – Effekt opgøres kun i forhold til reduktion af udsivning.....	29
5.5 Følsomhedsscenario 4 – Effekt opgøres kun i forhold til reduktion af forureningsmasse.....	30
5.5 Opsummering af resultaterne af bæredygtighedsvurderingen	31
5.6 Diskussion af resultaterne af bæredygtighedsvurderingen	32
6 Konklusion.....	34
7 Referencer.....	35
APPENDIKSER	36
Appendiks A - Effekt.....	37
Appendiks B – Økonomi.....	38
Appendiks C – TID	40
Appendiks D – Miljø	41
Appendiks E – Samfund.....	44
Appendiks F – Resultat af livscyklusvurderinger	47
F.1 Sammenligning af livscykluseffekter fra alle løsningsalternativer	47
F.2 Detaljeret resultat for indeslutning.....	49
F.3 Detaljeret resultat for in situ basisk hydrolyse.....	50

F.4 Detaljeret resultat for in situ termisk oprensning	51
F.5 Detaljeret resultat for afgravning, off-site rensning og deponering	52
F.6 Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	53
F.7 Referencer	54
APPENDIKS G - Rådata for de fire løsningsalternativer	55

1 Introduktion

DTU har i samarbejde med Region Midtjylland udviklet en bæredygtighedsvurderingsmetode, der har til formål at sammenligne bæredygtigheden for forskellige afværgeløsninger for en forurenede grund. Metoden har til formål at støtte beslutningsprocessen omkring valg af afværgeløsning og er opbygget som en multikriterie-vurderingsmetode, der inddrager følgende hovedkriterier: effekt af afværge (Effekt), omkostninger af afværge (Økonomi), tidshorisont for afværge (Tid) samt afværgemetodens sekundære påvirkninger på miljø (Miljø) og samfund (Samfund). Alle hovedkriterier, undtagen Tid, er inddelt i en række underkriterier. Bæredygtighedsvurderingsmetoden vil blive beskrevet nærmere i projektets Notat 2, som endnu ikke foreligger. Dette notat inkluderer derfor en kort introduktion til metoden i kapitel 3.

Formålet med dette notat er at præsentere resultatet af anvendelsen af bæredygtighedsvurderingsmetode for en række løsningsalternativer for kemikaliedepotet ved Høfde 42.

De fire løsningsalternativer, der sammenlignes for Høfde 42, er:

- A1) Fortsat indeslutning ved opretholdelse af den nuværende spuns
- A2) In situ basisk hydrolyse
- A3) In situ termisk oprensning ved injektion af damp
- A4) Afgravning efterfulgt af off-site behandling og deponering

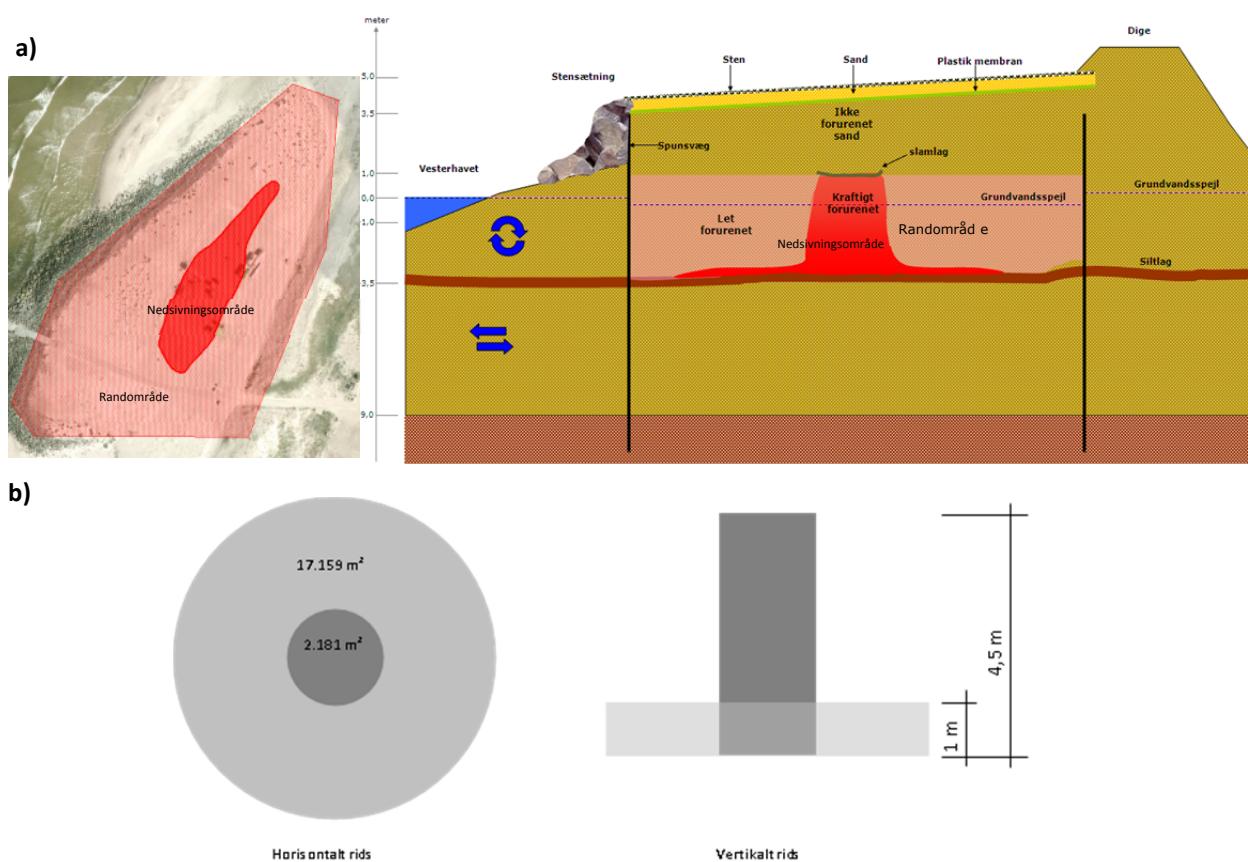
I kapitel 2 præsenteres forudsætningerne for bæredygtighedsvurderingen, herunder de jordvolumener som indsatsen på Høfde 42 er rettet imod samt de estimerede forureningsmasser. Derudover gives en kort introduktion til hver af de fire løsningsalternativer. Resultatet af bæredygtighedsvurderingen præsenteres i kapitel 4 og 5, mens de bagvedliggende detaljerede vurderinger indenfor hver hovedkategori er placeret i Appendiks A-E. Resultatet af den udførte livscyklusvurdering af teknikkerne er præsenteret i Appendiks F, og i Appendiks G findes alle rådata anvendt i beskrivelsen af de fire løsningsalternativer.

2 Forudsætninger for bæredygtighedsvurderingen

2.1 Afværgeområde, afværgevoluminer og forureningsmasser

De fire løsningsalternativer retter sig mod det forurenede volumen, som er udpeget af Region Midtjylland i notatet "Konceptuel beskrivelse af afværgeområde på Høfde 42" (Region Midtjylland, 2013). Afværgeområdet inkluderer dels det såkaldte "nedsivningsområde", der strækker sig over 4,5 m i dybden (fra kote +1 m til kote -3,5 m) og som er det mest forurenede område. Dertil kommer "udenomsområdet" som er forurenet i mindre grad og som er vurderet til at have en vertikal udstrækning på ca. 1 m (fra kote -2,5 m til kote -3,5 m). Endelig forefindes ovenover dele af nedsivningsområdet et højforurenet slamlag, som er ca. 30 cm tykt. De forskellige afværgeområder og deres horisontale og vertikale udstrækning er illustreret på Figur 1.

Tabel 1 opsummerer voluminer og jordmasser for de tre forurenede zoner samt estimater af zonernes indhold af henholdsvis pesticidprodukter og kviksolv. Disse estimater er gengivet fra COWI et al. (2013).



Figur 1.a) Afgrænsning af nedsivningsområde og udenomsområde. b) Arealer og dybder af nedsivningsområde og udenomsområde. Region Midtjylland (2013a)

Tabel 1. Arealer, dybder, volumener, densiteter og masser af jord og forurening i de tre forurenede zoner (Region Midtjylland, 2013; COWI et al., 2013)

Zone	Areal (m ²)	Dybde (m)	Volumen (m ³)	Densitet (ton/m ³)	Masse af jord (ton)	Pesticidprodukter (ton)	Kviksolv (ton)
Nedsivningsområde	2.181	4,5	9.815	1,8	17.666	34	2,8
Udenomsområde	17.159	1	17.159	1,8	30.886	59	1,4
Slamlag	907	0,3 ^{a)}	272,1	1,6	435,4	4	1
Totale volumener og masser			27.246		48.988	97	5,2

^{a)} Lagtykkelsen er baseret på COWI et al. (2013)

2.2 Beskrivelse af de fire løsningsalternativer

I bæredygtighedsvurderingen sammenlignes fire forskellige løsningsalternativer for håndteringen af forureningen ved Høfde 42. Udvælgelsen af disse løsningsalternativer er forestået af Region Midtjylland på baggrund af den teknologiske screening som blev foretaget i 2005. Der er tale om en afskæringsløsning, to in situ løsninger (basisk hydrolyse og termisk oprensning med damp) samt en ex situ løsning (afgravning, off-site termisk behandling og deponering). Ved afskæringsløsningen sker der ingen direkte fjernelse af forureningen. I stedet indesluttet forureningen med en spunsvæg og der holdes hydraulisk kontrol med grundvandet gennem kontinuerlig afværgepumpning fra det indspunsede område, således at udsivning hindres. Ved ex situ løsningen sker der en afgravning af alle tre forurenede zoner og efterfølgende behandling. Ved de to in situ løsninger retter behandlingen sig udelukkende mod nedsivnings- og udenomsområdet, mens slamlaget graves op og sendes til off-site jordbehandling.

Det er valgt at inkludere dels en kemisk in situ metode (in situ basisk hydrolyse) og dels en termisk in situ metode (dampinjektion). Basisk hydrolyse er valgt som den kemiske løsningsmetode, da denne metode har været afprøvet i pilotskala på lokaliteten som led i projektet NorthPestClean (Region Midtjylland, 2013b). Alternativt kunne kemisk oxidation eller reduktion med nulvalent jern være valgt som kemiske in situ metoder. Den valgte termiske løsning med injektion af damp opvarmer jorden til omkring kogepunktet og er dermed effektiv overfor pesticidforurening, men ikke kviksløv. For at fjerne kviksløv ved en in situ termisk oprensning er det nødvendigt at opnå temperaturer på minimum 200-300°C (Katz et al., 2013). Dette kan opnås ved in situ termisk desorption (ISTD), hvor jorden opvarmes med varmelegemer. Denne metode er dog stadig under udvikling og er ikke velafprøvet for de specifikke kviksløvforsbindelser, der forefindes ved Høfde 42. Den er derfor ikke medtaget i denne bæredygtigheds-sammenligning.

Som alternativ til afgravning og off-site behandling kunne man også forestille sig en løsning, hvor jorden afgraves og gennemgår en kemisk eller termisk behandling on-site inden den deponeres. Dette kræver etablering af en lokalt jordrensningsfacilitet, hvilket på nuværende tidspunkt ikke er velundersøgt. Der findes derfor ikke datagrundlag til at medtage denne løsning i bæredygtighedssammenligningen på lige fod med de øvrige alternativer.

For de fire valgte løsningsalternativer er der lavet en vurdering af de nødvendige forbrug af materialer og energi samt transportdistancer for materialer og persontransport til tilsyn og monitoring. Derudover er der lavet en vurdering af omkostningerne til behandlingen, tidsforbruget til behandlingen og den forventede effekt af afværgeløsningen (procentvis fjernelse af henholdsvis pesticider og kviksløv i de to afværggeområder). Udover Region Midtjylland har en række rådgivere og firmaer bidraget til denne dataindsamling, se Tabel 2.

Tabel 2. Oversigt over bidrag til dataindsamling for de 4 løsningsalternativer. Region Midtjylland har forestået formidlingen af data for henholdsvis fortsat indeslutning og afgravning, mens COWI har forestået dataindsamling for basisk hydrolyse og Niras/TerraTherm har forestået dataindsamling for in situ termisk oprensning.

Løsningsalternativ	Kilde til dataindsamling	Data
Fortsat indeslutning	Region Midtjylland	Forbrug og monitoringsfrekvenser for den eksisterende spunsvæg
In situ basisk hydrolyse	COWI	Forbrug af stål til fornyelse af spunsen samt energi til nedramningen.
	COWI	Installationer, forbrug, omkostninger og effekt af basisk hydrolyse baseret på skitseprojektet udarbejdet af COWI og Rambøll.
In situ termisk oprensning	Cheminova	Forbrug og omkostninger ved rensning af spildevand
	COWI	Omkostninger til afgravning og behandling af slamlag
Afgravning, off-site behandling og deponering	Niras/TerraTherm	Installationer, forbrug, økonomi og effekt for in situ termisk oprensning
	COWI	Omkostninger til afgravning og behandling af slamlag
	COWI	Installationer, forbrug og omkostninger til afgravningen er i høj grad baseret på et Miljøprojekt fra 2007 (COWI, 2007).
	NORD	Forbrug og omkostninger til behandling af den afgravede jord.
	NOAH	Forbrug til deponering af jorden på Langöya samt emissioner fra deponi

2.2.1 Alternativ 1, A1: Fortsat indeslutning med stålspons

Ved denne løsning sker der ingen aktiv fjernelse af forureningen. I stedet opretholdes den spons, som blev installeret omkring depotet i 2006. Der oppumpes løbende grundvand fra det indspunsede areal for at opretholde en indadrettet gradient. Det oppumpede vand renses ved filtrering med aktivt kul i det nærliggende "kulhus". Regnemæssigt er der valgt en 100 årig periode for dette scenarium. Forbrug og omkostninger er altså opgjort for denne tidshorisont - velvidende at problemet ikke er løst om 100 år. Nøgletal for forbrug samt økonomi for denne løsning er givet i boks 1. Appendiks 1 giver en samlet oversigt over de anvendte data til bæredygtighedsvurderingen.

A1: Fortsat indeslutning		
<p>Nøgletal for forbrug:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strømforsøg til grundvands-sænkning og katodisk beskyttelse: ca. 22 MWh/år ialt 2200 MWh - Aktivt kul til vandrensning: 2 tons/år ialt 200 tons - Stål til fornyelse af spons: ca. 900 tons pr fornyelse, i alt 2700 tons til 3 fornyelser - Dieselforsøg til installation af spons: 24.700 liter 	<p>Omkostninger:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Strømforsøg: 1,7 mio. kr - Aktivt kul: 5 mio. kr - Entreprenøruddgifter inkl. omkostninger til spons: 45 mio. kr - Løbende monitoring: 1,5 mio. kr <p><i>Totale omkostninger: 53 mio. kr</i></p>	<p>Tidsforsøg:</p> <p>Uendelig, men regningsmæssigt er der antaget 100 år</p> <p>Effekten af metoden opnås fra start</p>
		<p>Oprensningseffekt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pesticidprodukter: 0% - Kviksølv: 0% <p>Tilbageholdelseeffekt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pesticidprodukter: 100% - Kviksølv: 100%

Boks 1. Nøgletal for forbrug, omkostninger, tidsforsøg, oprensings- og tilbageholdelseeffekt ved opretholdelse af spunsen ved Høfde 42. De samlede data anvendt som input til bæredygtighedsvurderingen findes i Appendiks F.

2.2.2 Alternativ 2, A2: In situ basisk hydrolyse

Forud for den basiske hydrolyse afgraves slamlaget og transporteres til Nyborg, hvor det behandles termisk på NORDs anlæg (se nærmere detaljer under alternativ 4). Der etableres 84 injektionsboringer og 12 monitoringsboringer. Desuden etableres en spunsvæg omkring nedsivningsområdet, da de to områder behandles hver for sig. Natriumhydroxid, samt en lille mængde natriumsulfit, tilføres afvægeområderne og den basiske hydrolyse forløber i ca. et år, inden der drænes, og der tilføres en ny portion natriumhydroxid. I alt forventes det, at der skal udføres 8 tilsætninger af natriumhydroxid med efterfølgende dræning. Ved denne proces sker der en hydrolyse af pesticidprodukterne, således at de bliver opløselige i vand og kan fjernes sammen med det oppumpede vand. Der sker desuden en delvis mobilisering af kviksølv, idet det på baggrund af pilottests vurderes, at 10% af kviksølvet vil blive fjernet med det oppumpede vand. Vandet ledes efterfølgende til Cheminova, hvor det renses ved tilsætning af yderligere natriumhydroxid og opvarmning. Dette kræver en udbygning af Cheminovas eksisterende anlæg til spildevandsbehandling. Afslutningsvis neutraliseres det oprensede område ved gennemskylning med havvand.

I analysen er energi- og kemikalieforbrug til spildevandsrensningen ved Cheminova inkluderet. Der er set bort fra materialeforbruget til udbygningen af spildevandsrensningsanlægget. Omkostninger til udbygningen af anlægget er inkluderet.

A2: In situ basisk hydrolyse		
<p>Nøgletal for forbrug:</p> <p><u>On site:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Dieselforbrug til afgravning af slamlag: 10.470 liter - Dieselforbrug til installation af boringer, spuns og diverse: 7500 liter - On site elforbrug til injektion, recirkulation og oppumpning: 170 MWh - Natriumhydroxid: 3100 tons - Natriumsulfit: 5 tons - Polyethylen til boringer og rør: 32 tons - Stål til boringer, tanke mv: 7,3 tons <p><u>Off-site forbrug til vandrensning:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Elforbrug: 280 MWh - Damp til opvarmning af spildevand: 3700 tons - Natriumhydroxid: 370 tons - Saltsyre: 550 tons 	<p>Omkostninger:</p> <p><u>On site:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Rådgiverudgifter til design, styring, monitorering og dokumentation: 14.8 - Afgravning og rensning af slamlag: 3 mio. kr - Entreprenørudgifter til installation, drift og monitorering: 38 mio. kr - Natriumhydroxid: 4,7 mio. kr - Vandforbrug: 1,8 mio. kr - Elforbrug: 0,3 mio. kr - Vandforbrug: 1.8 mio. kr <p><u>Off-site vandrensning:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Etablering af anlæg: 12 mio. kr - Løbende udgifter: 17,3 mio. kr <p>Totale omkostninger: 91 mio. kr.</p>	<p>Tidsforbrug:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Installation: 12 uger - Drift: 416 uger (8 år) - Afvikling: 16 uger <p>Totalt tidsforbrug: 8,5 år</p>
		<p>Oprensningseffekt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pesticidprodukter: 90% - Kviksølv: 10%

Boks 2. Nøgletal for forbrug, omkostninger, tidsforbrug og oprensningseffekt ved in situ basisk hydrolyse ved Højde 42. De samlede data anvendt som input til bæredygtighedsvurderingen findes i Appendiks F.

2.2.3 Alternativ 3, A3: In situ termisk oprensning (damp)

Forud for behandlingen afgraves hele området til kote +1 m og slamlaget fjernes. Slamlaget transporteres til Nyborg og behandles termisk på NORDs anlæg (se nærmere detaljer under alternativ 4). Der udlægges en betonmembran hvorefter der etableres 386 injektionsboringer og 59 ekstraktionsboringer gennem membranen. Desuden installeres et antal temperatursensorer. Det afgravede rene sand fyldes tilbage ovenpå membranen inden oprensningen startes.

Jorden opvarmes til en temperatur på 110°C ved injektion af damp, hvorved forureningen overføres til luftfasen. Den forurenede luft ekstraheres og renses efterfølgende i en termisk oxidizer, hvori der sker en forbrænding ved over 1000 °C. Væske udskilt fra dampen vil blive behandlet ved filtrering gennem aktivt kul i det eksisterende kulhus. Selve den termiske oprensning vil tage ca. 41 uger, hertil kommer tidsforbrug til etablering og afvikling. I alt forventes løsningen at tage ca. 2 år. Boks 3 herunder opsummerer de væsentligste forbrug samt økonomi, tidsforbrug og oprensningseffekt for den termiske løsning. Som det ses, forventes den termiske løsning at være meget effektiv overfor pesticidforureningen, mens den ikke forventes at have nogen effekt overfor kviksølv, da dette vil kræve langt højere temperaturer.

A3: In situ termisk oprensning

Nøgletal for forbrug:

- Dieselforbrug til afgravning af topjod: 192.500 liter
- Dieselforbrug til installation: 9900 liter
- Naturgasforbrug til dampproduktion: 89.000 MM BTU^{a)}
- Naturgasforbrug til oxidizer: 49.200 MM BTU^{a)}
- Elforbrug til behandlingssystem: 2.800 MWh
- Vandforbrug til damp og scrubber: 36.400 m³
- Aktivt kul til vandrensning: 110 tons
- Stål til boringer: 32 tons
- Rustfri stål til boringer: 1,3 tons
- High temperature grout til boringer: 130 tons
- Glasfiber til manifold: 850 tons
- Skumbeton til membran: 4900 m³

Omkostninger:

- Rådgiverudgifter til design, styring, monitorering og dokumentation: 5,5 mio. kr
- Entreprenørudgifter til installation, monitorering og drift: 66 mio. kr
- Entreprenørudgifter til afgravning af topjod og slamlag: 6 mio. kr
- Rensning af slamlag: 2,2 mio. kr
- Dampproduktion: 22 mio. kr
- Elforbrug: 2,8 mio. kr
- Aktivt kul: 2,8 mio. kr

Totale omkostninger: 107 mio. kr

Tidsforbrug:

- Installation: 59 uger
 - Drift: 41 uger
 - Afvikling: 14 uger
- Totalt tidsforbrug: 2,2 år*

Oprensningseffekt:

- Pesticidprodukter: 99%
- Kviksølv: 0%

^{a)} 1 MM BTU = 1E6 BTU (British Thermal Unit) = 1,0546 GJ.

Boks 3. Nøgletal for forbrug, omkostninger, tidsforbrug og oprensningseffekt ved in situ termisk oprensning ved Høfde 42. De samlede data anvendt som input til bæredygtighedsvurderingen findes i Appendiks F.

2.2.4 Alternativ 4, A4: Afgravning, off-site rensning og deponering

Ved denne løsning sker der først en afgravning af terrænet bag spunsen ned til niveau med toppen af spunsen for at reducere jordtrykket. Derudover udføres der en forstærkning af den eksisterende spuns og der foretages grundvandssænkning fra kote +1 m til kote -3 m. Det oppumpede grundvand renses ved filtrering med aktivt kul i det eksisterende kulhus. Den uforurenede topjod afgraves og mellemdeponeres mens de forurende områder afgraves. Den forurenede jord transporteres med lastbiler til behandling hos NORD beliggende i Nyborg. På NORDs anlæg

behandles jorden ved en termisk behandling ved 1100°C, hvorved pesticiderne destrueres og kviksølvforbindelserne fordampes og indfanges ved røggasrensningen. Knap 80% af kviksølvet forventes at blive fældet i filterkagen, mens ca. 20% fældes i gipsen og under 1% ender i flyveasken (NORD, 2013). Anlægget har en kapacitet på 10 tons i timen, hvoraf 2 tons i timen vil bestå af jord fra Høfde 42, mens de resterende 8 tons vil bestå af NORDs øvrige affaldsfraktioner. Restprodukterne fra forbrændingen af jorden (ca. 39.000 tons fordelt på 3% filterkage/gips, 3% flyveaske og 94% slagger) vil blive transporteret til deponiet på Langöya i Oslofjorden, hvor det anvendes til at retablere det landskab, der var på øen inden indvinding af kalksten startede. Behandlingen af jorden hos NORD tager 2-3 år og da regionen ønsker straks at fylde op med ren jord efter afgravningen vil den ikke blive genanvendt på Høfde 42. Da der ikke forventes at være interesserede aftagere af den behandlede jord er NORDs eneste mulighed at sende den til deponi. Der vil blive indvundet rent sand fra Nordsøen til at genetablere landskabet ved Høfde 42.

Det skal bemærkes, at det ved denne løsning er nødvendigt at ombygge en eksisterende lagerhal beliggende ved NORDs anlæg i Nyborg, således at den kan anvendes til at mellemdeponere det forurenede jord, da behandlingstiden overstiger afgravningstiden. Materialer og energiforbrug til ombygning af denne lagerhal er ikke medtaget i analysen ligesom eventuelle lokale samfundspåvirkninger i Nyborg som følge af denne mellemdeponering af jorden ikke er inkluderet.

A4: Afgravning, off-site behandling og deponering

Nøgletal for forbrug:

On site:

- Ståltil forstærkning af spuns: 44 tons
- Dieselforbrug til afgravning af terræn bag spuns: 12.800 liter
- Elforbrug til grundvandssænkning og behandling i kulfilter: 306 MWh
- Aktivt kul til vandrensning: 76 tons
- Dieselforbrug til afgravning af jord og genfyldning: 246.500 liter
- Dieselforbrug til oppumpning, transport og genfyldning af rent sand fra Nordsøen: 27.500 liter

Off-site forbrug til rensning og deponering:

- Lastbiltransport af jord til behandling: 224 km
- Skibstransport af jord til deponering: 525 km
- Energi (fuel oil) til rensning af jord: 2,4 MWh/ton, i alt 117.570 MWh
- Aktivt kul til røggasrensning: 1 kg/ton i alt 50 tons
- Dieselforbrug til deponering af jord: 34.300 liter

Omkostninger:

- Rådgiverhonorar: 5,5 mio. kr
- Entreprenørudgifter til forstærkning af spuns og gravearbejde: 15 mio. kr
- Aktivt kul til vandrensning on site: 1,9 mio. kr
- Erstatningsmaterialer (sandfyld): 0,3 mio. kr
- Jordbehandling (termisk behandling) inkl. transport og deponering: 194 mio. kr.

Totale omkostninger: 216 mio. kr

Tidsforbrug:

- Installation/klargøring: 0,8 år
- Afgravning og genfyldning: 1 år
- Afvikling: 2 uger
- Jordrensning: 2,6 år

Totalt tidsforbrug på site (ekskl. jordrensning): 2 år^{a)}

Oprensningseffekt:

- Pesticidprodukter: 100%
- Kviksølv: 100%

^{a)} Herudover skal der beregnes 1½-2 år til jordrensers indhentning af miljøgodkendelse

Boks 4. Nøgletal for forbrug, omkostninger, tidsforbrug og oprensningseffekt ved afgravning, off-site rensning og deponering af forureningen ved Høfde 42. De samlede data anvendt som input til bæredygtighedsvurderingen findes i Appendiks F.

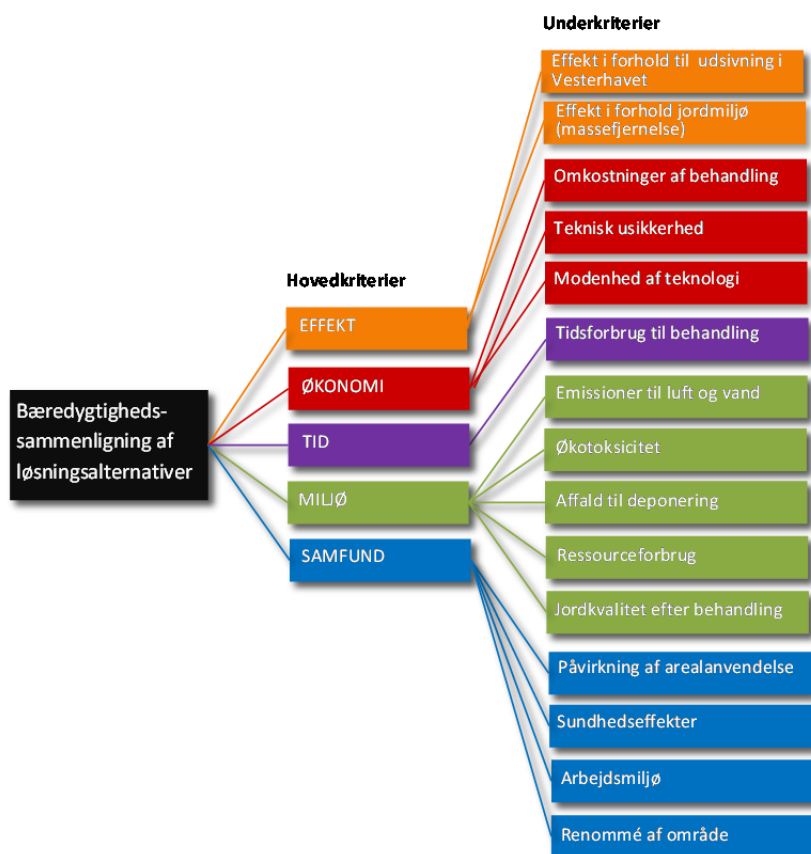
3 Kort introduktion til bæredygtighedsvurderingsmetoden

Metoden til vurderingen af afværgeteknikkers relative bæredygtighed er kort beskrevet i det følgende. En uddybende beskrivelse findes i Notat 2 (Søndergaard et al., 2014).

3.1 Hoved- og underkriterier

Bæredygtigheden af et afværgetiltag vurderes ud fra 5 overordnede kriterier (hovedkriterier) samt et antal underkriterier (illustreret på Figur 2). De 5 hovedkriterier i vurderingen er:

- **Effekt:** Hvor god er metoden til at opfylde formålet med oprensningen, dvs. til at fjerne forureningen og sikre, at der ikke er en uacceptabel påvirkning af Vesterhavet?
- **Økonomi:** Hvad koster det at rense op?
- **Tid:** Hvor lang tid går der før løsningen er implementeret og effekten er opnået?
- **Miljø:** hvor stor grad af afledte miljøeffekter er der forbundet med at rense op? (herunder emissioner til luft og vand, udledning af økotoxiske stoffer, affaldsproduktion, ressourceforbrug og påvirkning af det lokale jordmiljø)
- **Samfund:** hvor stor grad af samfundspåvirkninger er der forbundet med løsningsmetoden? (herunder restriktioner på arealanvendelse under og efter oprensning, arbejdsmiljørisici, afledte sundhedseffekter og påvirkning af områdets renommé).



Figur 2. Multikriteriestruktur for bæredygtighedsvurderingen.

3.2 Tildeling af scorer og beregning af vægtet sum

På baggrund af løsningsalternativernes præstation på de forskellige kriterier tildeles en normaliseret score fra 0-1, hvor 0 betegner den bedst mulige score og 1 gives til den dårligst mulige score. De opnåede scorer vægtes derefter i

henhold til et sæt vægte, som er udviklet af et interessentpanel. Den løsning, der samlet set opnår den laveste vægtede score vil være den, der vurderes at være mest bæredygtig.

3.2.1 Inddragelse af interessenter til at fastsætte kriterievægte

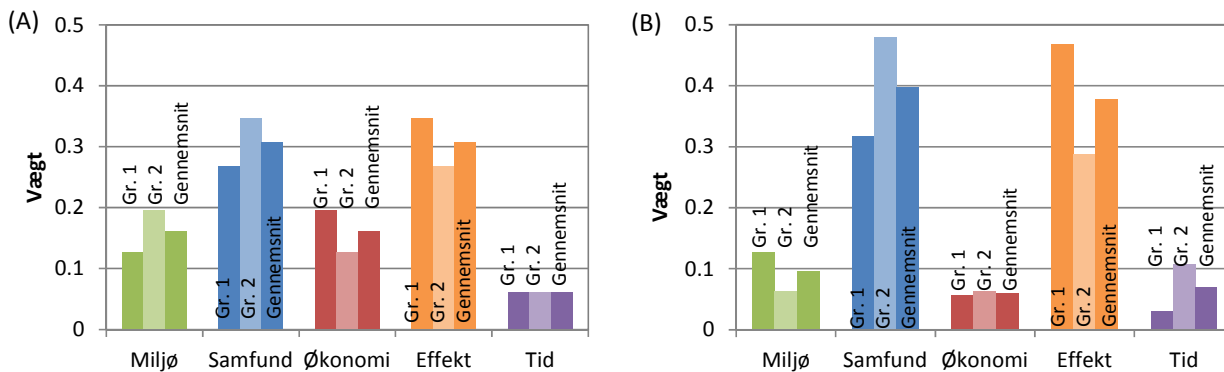
For Høfde 42 blev der, i november 2013, afholdt en interessentworkshop, hvor 15 interessenter, der hver repræsenterede en national, regional eller lokal interesse (eller en kombination), var inviteret (se oversigt i Tabel 3). 10 interessenter mødte op til workshoppen.

Indledningsvis foretog interessenterne en individuel vurdering af hvilket hovedkriterium, der var vigtigst. De 10 interessenter blev derefter inddelt i to grupper baseret på deres individuelle vurderinger af hovedkriteriernes vigtighed. Gruppe 1 bestod således af 5 interessenter, hvoraf 3 vægtede Miljø højt og to vægtede Effekt højt. Gruppe 2 bestod af 5 interessenter, hvoraf 3 vægtede Samfund højt og to vægtede Effekt højt. Det viste sig efterfølgende i gruppediskussionerne, at nogle af interessenterne til at starte med havde svært ved at skelne mellem hovedkriteriet Miljø og hovedkriteriet Effekt og i virkeligheden rangerede Effekt højt og ikke Miljø.

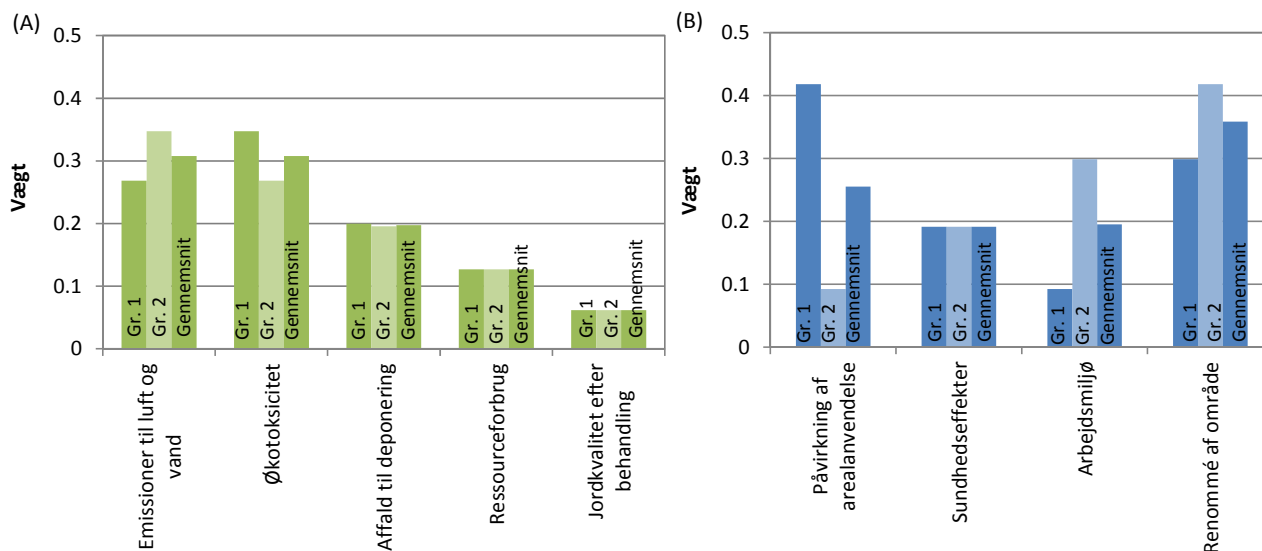
Tabel 3: Oversigt over inviterede og deltagende interessenter, samt gruppeinddeling

	Gruppekarakteristik	Deltager nr.	Repræsentant for	Type interessent
Gruppe 1	Deltagerne vægtede Miljø eller Effekt højt i den individuelle øvelse	1	Lemvig Kommune	Lokal
		2	Naturstyrelsen	National/Regional
		3	Kystcentret Thyborøn	Lokal
		4	Formand, Harboøre Borgerforening	Lokal
		5	Region Midtjylland, Miljø	Regional
Gruppe 2	Deltagerne vægtede Samfund eller Effekt højt i den individuelle øvelse	6	Cheminova A/S	Lokal
		7	Borger i Thyborøn	Lokal
		8	Thyborøn Havns Fiskeriforening	Lokal
		9	Kystdirektoratet og Friluftsrådet	National/Regional
		10	Landsforeningen Levende Hav	National/regional/lokal
		<i>Afbud</i>	Danmarks Naturfredningsforening	National/regional/lokal
		<i>Afbud</i>	Visit Lemvig	Lokal
		<i>Afbud</i>	Miljøstyrelsen	National
		<i>Afbud</i>	Dansk Ornitologisk Forening	National/regional/lokal
		<i>Afbud</i>	Region Midtjylland, Regional udvikling	Regional

De to interessentgrupper skulle først komme til enighed om at rangere de fem hovedkriterier efter vigtighed. De resulterende vægte på baggrund af rangeringen er vist i Figur 3a. Efterfølgende foretog de to interessentgrupper en mere detaljeret parvis sammenligning af kriteriernes indbyrdes vigtighed kaldet analytical hierarchy process (Saaty, 1987) (se Figur 3b). Begge vurderinger viste, at Effekt og Samfund var de vigtigste kriterier for interessenterne. I den første vurdering, baseret på rangering, faldt Tid ud som mindst vigtig, mens Miljø og Økonomi var middelvigtige. I den mere detaljerede vurdering nuancerede interessenterne deres syn på sagen og vurderede, at Økonomi var mindst vigtig, mens Tid og Miljø var lidt vigtigere end Økonomi.



Figur 3. De to interessentgruppers (Gr.1 og Gr.2) resulterende vægte for de fem hovedkriterier samt gennemsnittet af gruppernes vægte. A) Simpel vægtning ud fra rangering af de fem kriterier, B) Detaljeret vægtning baseret på en parvis vurdering af kriteriernes vigtighed i forhold til hinanden (Lemming & Bjerg, 2013).



Figur 4. De to interessentgruppers (Gr.1 og Gr.2) resulterende vægte samt gennemsnittet af de to gruppers vægte for (A) de fem underkriterier indenfor hovedkriteriet Miljø og (B) de 4 underkriterier indenfor hovedkriteriet Samfund. (Lemming & Bjerg, 2013).

Interessenterne udførte derudover en vurdering af vigtigheden af underkriterierne under henholdsvis Miljø og Samfund. Denne vægtning blev udelukkende udført på baggrund af en simpel rangering af kriterierne i forhold til vigtighed. De resulterende vægte af underkriterierne ses af Figur 4.

Interessentworkshoppen og de resulterende vægte er nærmere beskrevet i Lemming & Bjerg (2013). Til bæredygtighedsvurderingen vil gennemsnittet af de to interessentgruppers vægtninger blive anvendt til beregning af den samlede score for løsningsalternativerne. For hovedkriterierne vil både vægtnings-sættet fra den simple vægtning (rangering) og fra den detaljerede vægtning (analytical hierarchy process) blive benyttet i vurderingen. Det vurderes dog, at det detaljerede vægtnings-sæt bedst beskriver interessenternes holdninger. Det skal bemærkes, at den udførte vægtning er lokalitetsspecifik og ikke umiddelbart kan overføres til andre forurenede lokaliteter.

3.3 Ekspertpanel til vurdering af kvalitative scorer

Det anvendte værktøj til bæredygtighedsvurderinger af afværgemetoder er udviklet som et generelt værktøj, der skal kunne anvendes på alle typer af forurenede grunde. Værktøjet indeholder en række kriterier, som skal vurderes kvalitativt på en skala fra 1-5. For at give brugeren af værktøjet et udgangspunkt for tildelingen af kvalitative scorer

har et ekspertpanel bestående af 10 fagpersoner/grupper af fagpersoner udfyldt et spørgeskema, hvori en række af de oftest anvendte afværgemetoders påvirkning er vurderet for de relevante underkriterier (Tabel 4).

Tabel 4. Oversigt over underkriterier, som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for

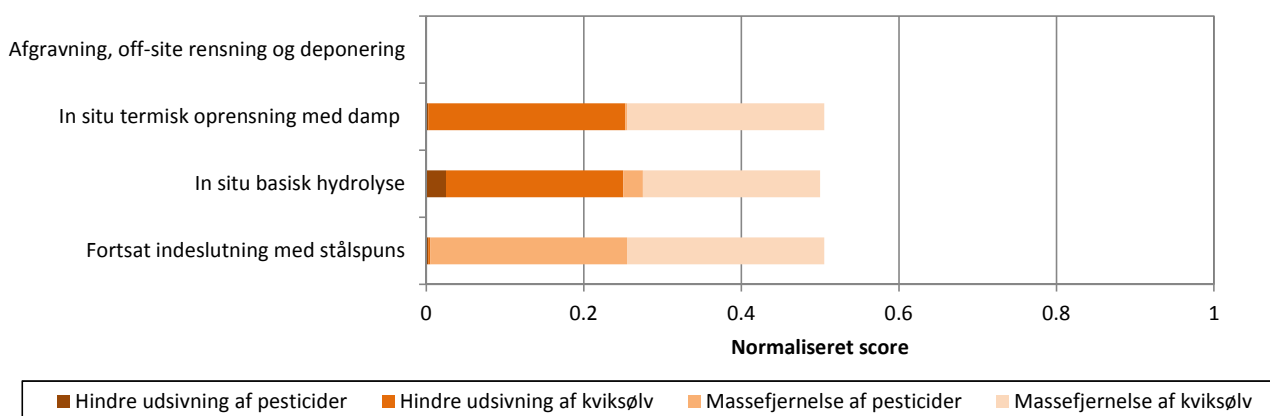
Hovedkriterium	Underkriterium som ekspertpanelet har lavet en generel vurdering for		Nærmere information om vurdering
	1. ordens underkriterier	2. ordens underkriterier	
Økonomi	Teknisk usikkerhed		Appendiks B
Miljø	Jordkvalitet efter behandling:	(A) Biogeokemisk påvirkning (B) Påvirkning af terrestrisk miljø	Appendiks D
Samfund	Påvirkning af arealanvendelse	(A) Under afværge (B) Efter afværge	Appendiks E
	Arbejdsmiljø		Appendiks E

4 Løsningsalternativernes opnåelse af scorer indenfor de fem hovedkriterier

4.1 Effekt

Formålet med løsningsalternativerne for kemikaliedepotet ved Høfde 42 er at beskytte Vesterhavet mod udsivning af toksiske stoffer fra depotet. For Høfde 42 er det valgt at arbejde med to underkategorier indenfor hovedkriteriet Effekt, nemlig effekten i forhold til at reducere forureningsmassen i kildeområdet og effekten i forhold til at hindre udsivning til Vesterhavet. Hver af disse underkategorier er vurderet i forhold til effekten for henholdsvis kviksølv og pesticidprodukter. Afgravning vil fjerne al forurening indenfor afværgeområdet og opnår dermed den bedst mulige score på nul. Termisk oprensning fjerner og hindrer udsivning af pesticider (99% fjernelse), men har ingen effekt overfor kviksølv. Den ender derfor på en samlet normaliseret score på 0,51. Basisk hydrolyse fjerner 10% kviksølv og 90% pesticider og ender på en samlet score på 0,5 altså ca. samme score som den termiske løsning. Fortsat indeslutning hindrer udsivningen af både pesticider og kviksølv, men fjerner ingen forurening fra jordmiljøet. Denne teknik ender dermed også med en score på 0,5. Detaljerne omkring beregningen af de normaliserede scorer er placeret i Appendiks A.

Såfremt der kun opereres med et underkriterium indenfor Effekt, nemlig at hindre udsivning til Vesterhavet, vil indeslutningsløsningen opnå den bedst mulige score på nul ligesom afgravningsløsningen. Anvendes derimod kun kriteriet fjernelse af forureningsmasse, vil indeslutning opnå den dårligst mulige score på 1. De øvrige teknikkers scorer er ikke afhængige af, om begge underkriterier inddrages.



Figur 5. De fire løsningsalternativers scorer for hovedkriteriet Effekt

4.2 Økonomi

Hovedkriteriet Økonomi er opdelt i tre underkriterier. Udover de vurderede omkostninger til etablering, drift, monitoring og afvikling for løsningsalternativet indgår desuden underkriterierne "Teknisk usikkerhed" og "Modenhed af teknik".

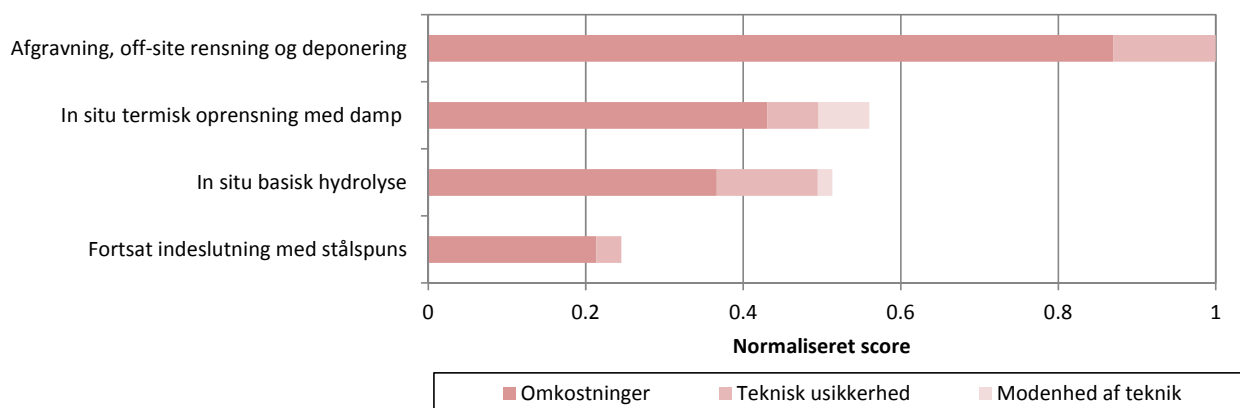
Den tekniske usikkerhed afspejler usikkerheden i afværgemetodens effekt og forløb. Hvor sikre er vi på at opnå den ønskede effekt indenfor den afsatte tid og de budgetterede omkostninger? Den tekniske usikkerhed vurderes på en skala fra 1-5, hvor 1 angiver, at der ingen nævneværdig usikkerhed er, mens 5 angiver, at der er en meget stor teknisk usikkerhed. Denne usikkerhed omregnes til en procentvis ekstra omkostning (fra 0 til 50% ekstra omkostninger). For afgravning, termisk oprensning og indeslutning er den tekniske usikkerhed vurderet til at være "Lille" (ekstra omkostning på 15%), mens den er vurderet at være "stor" for basisk hydrolyse (ekstra omkostning på 35%). Vurderingerne af den tekniske usikkerhed er baseret på input fra ekspertpanelet.

Modenhed af teknikken afspejler, hvor klar den enkelte teknik er til implementering, herunder om der inden igangsættelse er behov for yderligere undersøgelser, treatability tests, pilottests osv. Modenheden vurderes på en skala fra 1-5, hvor 1 angiver meget stor modenhed og 5 angiver meget lav modenhed. Den tekniske modenhed omregnes ligeledes til en procentvis ekstra omkostning (fra 0 til 20% ekstra omkostninger). Fortsat indeslutning og afgravning vurderes at være helt klar til implementering (meget stor modenhed, 0% ekstra omkostninger), mens termisk oprensning vurderes at have lille modenhed (15% ekstra omkostninger) og basisk hydrolyse vurderes at have stor modenhed (5% ekstra omkostninger), da der allerede er foretaget pilotskalatests for denne metode.

Inklusiv teknisk usikkerhed og modenhed spænder de totale omkostninger for de 4 løsningsalternativer fra 78 mio. Kr (fortsat indeslutning) til 248 mio kr (afgravning, off-site rensning og deponering) som det fremgår af Tabel 5. Mens udgifterne til afgravningsløsningen og de to in situ løsninger hovedsageligt falder indenfor de første par år fra i gang sætning vil omkostningerne til fortsat indeslutning være fordelt over 100 år med løbende udgifter til monitoring og udgifter til fonyelse af spunsvæggen hver 25. år. Såfremt der foretages en diskontering af fremtidige omkostninger med en diskonteringsrate på 5% vil de samlede omkostninger til fortsat indeslutning reduceres til 8,6 mio. Kr. For de øvrige oprensningsalternativer er der ikke foretaget diskontering, grundet de korte tidsrammer. Omkostningerne omregnet til normaliserede scorer fra 0-1 ses af Figur 6. Der henvises til Appendiks B for nærmere detaljer omkring opgørelsen af scorer for hovedkriteriet Økonomi.

Tabel 5. Specifikation af omkostninger, teknisk usikkerhed og modenhed af teknik for de fire løsningsalternativer (Mio. Kr)

	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering
Omkostninger	53	91	107	216
Teknisk usikkerhed	8	32	16	32
Modenhed af teknik	0	4,5	16	0
Total	61	127	139	248
Diskonteret nutidsværdi (r=5%) af totale omkostninger	8,6			

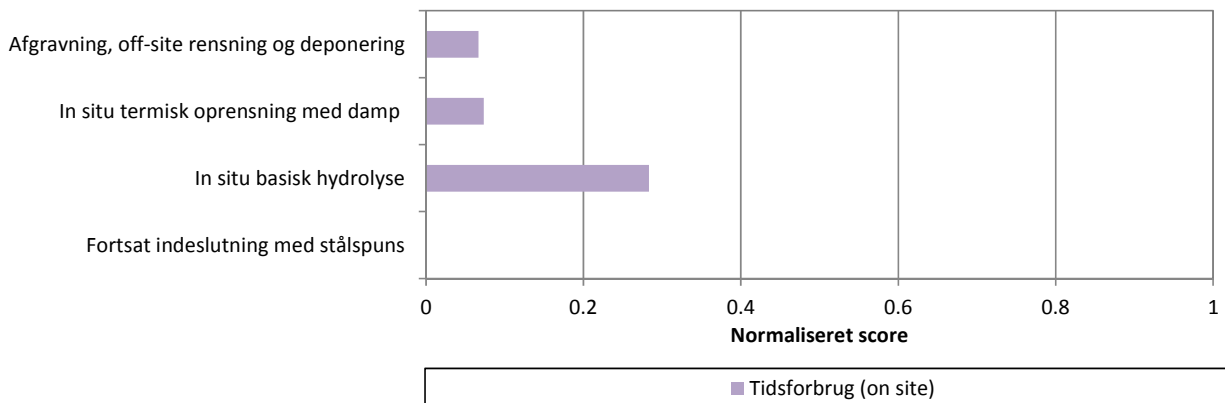


Figur 6. Normaliserede scorer for hovedkriteriet Økonomi

4.3 Tid

Hovedkriteriet Tid afspejler den tid, det tager at implementere en oprensning eller en afskæring af forureningen ved Høfde 42. Det vil sige, det er den tid der går indtil effekten af løsningsalternativet er opnået. For indeslutningsscenarioet opnås effekten lige nu og her, da denne løsning allerede er implementeret. In situ basisk hydrolyse er den metode, det tager længst tid at implementere (8-9 år). De to øvrige løsningsalternativer (afgravning

og termisk oprensning) tager ca. 2 år at implementere. Tidsforbrugene er normaliseret således at et tidsforbrug på 30 år (svarende til ca. en generation) giver den maksimale (og dermed dårligste) score på 1, mens en metode, der virker her og nu opnår en normaliseret score på 0. Løsningsalternativernes normaliserede scorer ses af Figur 7. Se endvidere Appendiks C.

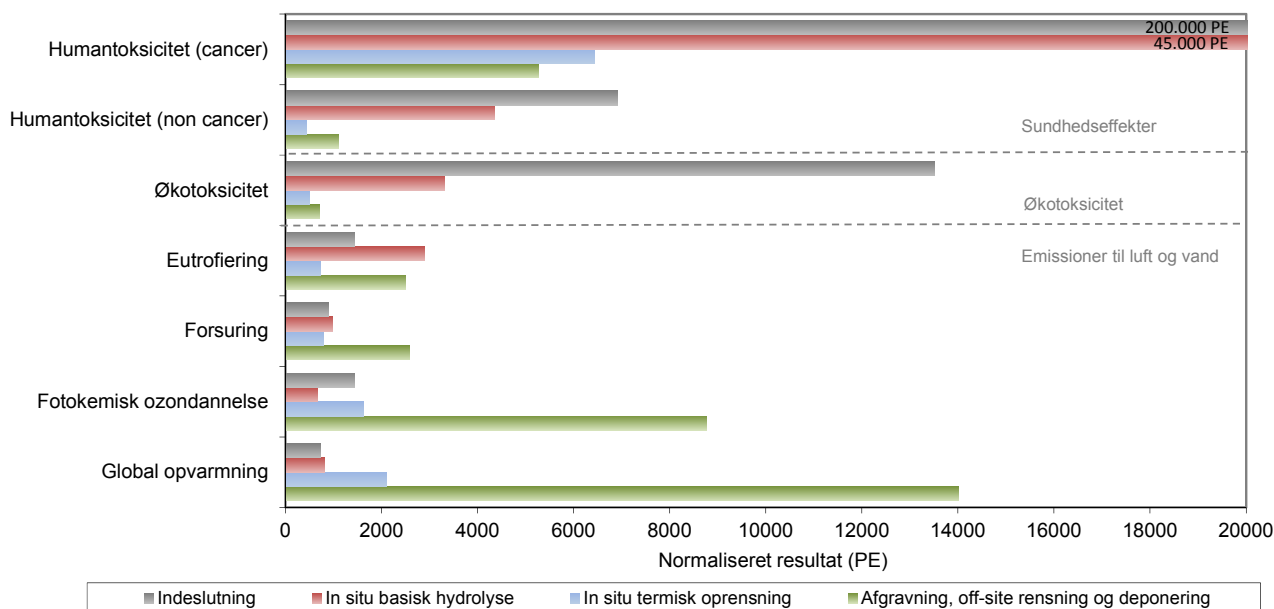


Figur 7. Normaliserede scorer for hovedkriteriet Tid

4.4 Miljø

Hovedkriteriet miljø dækker over en række afledte effekter på miljø, som er forårsaget af den valgte afværgemetode for Høfde 42. De fleste af disse afledte miljøeffekter opgøres ved en livscyklusvurdering (LCA). I livscyklusvurderingen inddrages alle miljøpåvirkninger og ressourceforbrug fra udvinding af råstoffer til endelig affaldsbehandling. Figur 8 viser resultatet af afledte miljøeffekter opgjort ved livscyklusvurderingen af de fire løsningsalternativer.

Livscyklusvurderingen er nærmere afrapporteret i Appendiks F, som også viser resultater for ressourceforbrug samt detaljerede resultater for de enkelte afværgeløsninger.

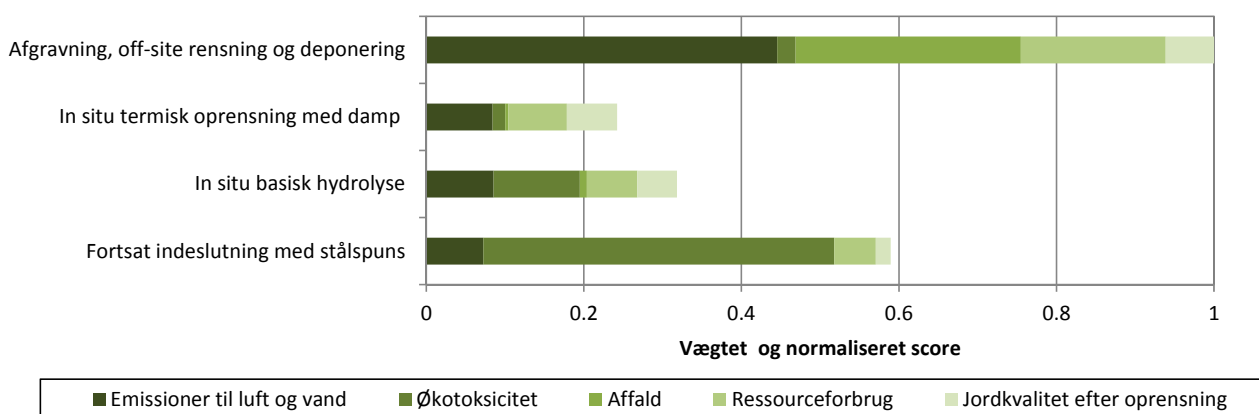


Figur 8. Resultat af livscyklusvurdering for de fire løsningsalternativer – Miljøeffekter opgjort i personækvivalenter (PE). Bemærk at Humantoksicitet (cancer) og Humantoksicitet (non cancer) medregnes under hovedkriteriet Samfund og ikke under Miljø.

De fem underkriterier indenfor hovedkriteriet Miljø er kort beskrevet herunder:

- **Emissioner til luft og vand:** Samlebetegnelse for udledning af drivhusgasser, forsurende forbindelser, næringsalte (eutrofiering) samt fotokemisk ozondannelse grundet udledning af uforbrændte organiske forbindelser (*Opgøres ved LCA, se Figur 8 samt detaljer i Appendiks F*)
- **Økotoksicitet:** Udledning af kemikalier til luft, vand og jord, som er giftige for dyr og planter. (*Opgøres ved LCA, se detaljer i Appendiks F*)
- **Affald til deponering:** Affaldsprodukter fra håndteringen, som skal deponeres enten i Danmark eller udlandet. Dette vil fx. være slagter fra afbrænding af forurenede jord samt restprodukter fra spildevands- og luftrensning. Affaldsproduktionen opgøres i ton for de enkelte løsningsalternativer.
- **Ressourceforbrug:** Dette omfatter brugen af energiressourcer, metaller og mineralske ressourcer (sand og grus). (*Opgøres ved LCA, se detaljer i Appendiks F*)
- **Jordkvalitet efter behandling:** Løsningsmetodens biogeokemiske påvirkning af den lokale jordkvalitet samt påvirkningen af forholdene for det terrestriske miljø (dyr og planter) på. Der er for begge typer af påvirkning tale om en kvalitativ vurdering på en skala fra 1-5. Bemærk at denne kategori ikke omhandler i hvor høj grad der fjernes forurening fra jorden.

Figur 9 viser de vægtede og normaliserede scorer for hovedkriteriet Miljø. Der henvises til Appendiks D for nærmere detaljer samt til Appendiks F for resultatet af livscyklusvurderingen. De fem underkategorier er vægtet i forhold til interessentgruppernes gennemsnitlige vægtning, der gav den højeste vægt til Emissioner til luft og vand samt Økotoksicitet og den laveste vægt til Jordkvalitet efter oprensning (Jf. Figur 4). Afgravningsløsningen giver langt de største samlede miljøeffekter. Dette skyldes især den termiske behandling af jorden, hvilket genererer store emissioner til luft og vand (jf. Figur 8) men også den store affaldsmængde til deponi og et samlet set stort ressourceforbrug. Forsat indeslutning har de næsthøjeste samlede miljøeffekter, hvilket især skyldes den meget store mængde af stål, der skal bruges til at opretholde spunsen. Denne giver i produktionsfasen anledning til især meget høje økotoksiske effekter, hvilket også fremgår af Figur 8. In situ termisk oprensning falder samlet set bedst ud fra et miljømæssigt synspunkt efterfulgt af in situ basisk hydrolyse. Grundet til at in situ basisk hydrolyse samlet set har en større miljøpåvirkning end in situ termisk oprensning er, at produktionen af kemikalier (NaOH) samt stål til spunsvæggen omkring nedslivningsområdet giver anledning til relativt høje økotoksiske udledninger.



Figur 9. Vægtede og normaliserede scorer for hovedkriteriet Miljø. Vægt af underkriterier 1) Emissioner til luft og vand: 0,31; 2) Økotoksicitet: 0,31; 3) Affald: 0,2; 4) Ressourceforbrug: 0,13 og 5) Jordkvalitet efter oprensning: 0,06

4.5 Samfund

Hovedkriteriet Samfund dækker over en række påvirkninger, der i høj grad sker i lokalområdet ved Høfde 42. Disse påvirkninger vurderes på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner en lille påvirkning og 5 betegner en høj påvirkning (se nærmere detaljer i Appendix E). Derudover inkluderer det sundhedspåvirkninger relateret til humantoksiske

udledninger fra hele livscyklussen af afværgemetoden (se Figur 8). De samlede resultater fra livscyklusvurderingen af løsningsmetoderne er præsenteret i Appendiks F.

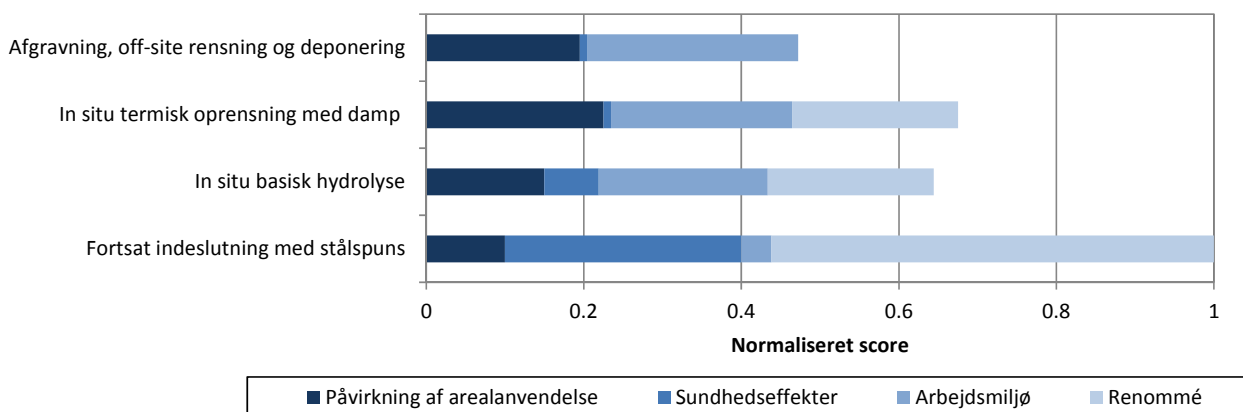
En kort beskrivelse af de fire underkriterier indenfor hovedkriteriet Samfund:

- **Påvirkning af arealanvendelse:** Restriktioner på fx. færdsel, badning og fiskeri på området under og efter behandling samt gener oplevet under behandling (støj, støv mv.). Opgøres på en skala fra 1-5.
- **Sundhedseffekter:** Udledning af kemikalier, der er toksiske overfor mennesker (*Opgøres ved LCA, se detaljer i Figur 8 og Appendiks F*)
- **Arbejds miljørisici:** Graden af arbejdsmiljømæssige risici under håndteringen af forureningen ved Høfde 42 både på lokaliteten under transport og ved eventuel behandling af jord. Opgøres på en skala fra 1-5.
- **Renommé af område:** Løsningsmetodens påvirkning af områdets renommé i forhold til beboere, tilflyttere og turister. Opgøres på en skala fra 1-5.

De to interessentgrupper var forholdsvis uenige om vigtigheden af de fire underkriterier indenfor Samfund, idet den ene gruppe vurderede Påvirkning af arealanvendelse mest vigtig og den anden vurderede denne mindst vigtig (se Figur 4). Til gengæld var de enige om at vurdere, at "Renommé" havde høj vigtighed. De vægtede og normaliserede scorer ses af Figur 10. Scoren for Sundhedseffekter er, som nævnt ovenfor, baseret på livscyklusvurderingen, mens scorerne for de øvrige underkategorier er baseret på kvalitative vurderinger på en skala fra 1-5. For Påvirkning af arealanvendelse og Arbejds miljø er de kvalitative scorer baseret på ekspertpanelets generelle vurderinger, som af Region Midtjylland er modificeret i forhold til de specifikke forhold for Høfde 42. Vurderingen af påvirkningen af områdets renommé er baseret på interessenternes tilkendegivelser ved workshoppen. Se Appendiks E for nærmere detaljer.

Forsat indeslutning opnår samlet set den dårligste score for hovedkategorien Samfund. Dette skyldes især interessenternes vurdering af, at renomméet af området ikke vil forbedres ved denne løsning samt at den store produktion af stål til spunsen, set i et livscyklusperspektiv, giver store udledninger af humantoksiske stoffer.

Afgravning, off-site rensning og deponering opnår den bedste score indenfor Samfund. Dette skyldes især, at denne løsning vurderes at have den bedste påvirkning af områdets renommé.



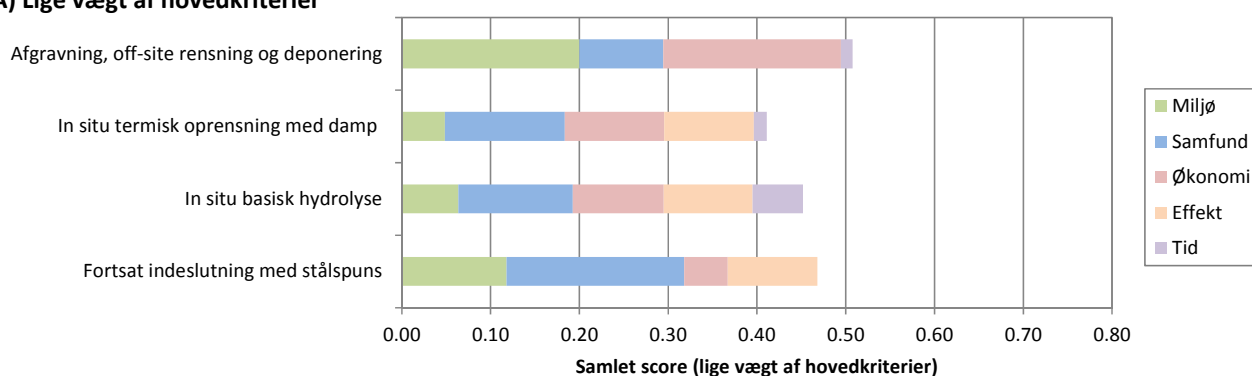
Figur 10. Vægtede og normaliserede scorer for hovedkriteriet Samfund. Vægt af underkriterier 1) Påvirkning af arealanvendelse: 0,26; 2) Sundhedseffekter: 0,19; 3) Arbejds miljø: 0,2; 4) Renommé: 0,36.

5 Samlede resultater og diskussion af bæredygtighedsvurderingen

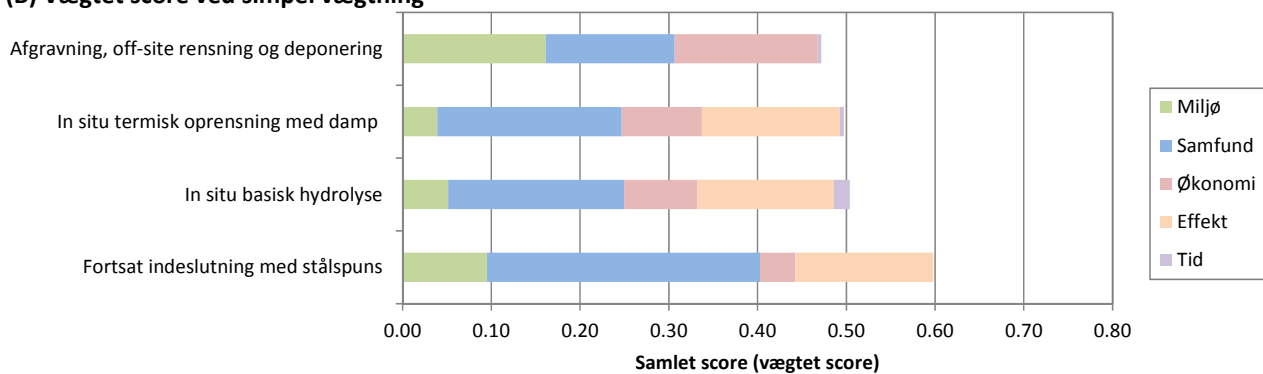
5.1 Samlet score opnået i bæredygtighedsvurderingen (basisscenarium)

Løsningsalternativernes totale scorer udregnet som summen af de normaliserede scorer for hver af hovedkriterierne Miljø, Samfund, Økonomi, Effekt og Tid er vist i under antagelse af, at de fem hovedkriterier vægtes lige højt. Hvert hovedkriterium er dermed givet en vægt på 0,2. Denne figur er medtaget for at illustrere betydningen af at anvende de vægte, som interessentgrupperne har udarbejdet, idet de vægtede resultater kan ses i forhold hertil. Det ses af Figur 11A, at afgravningsløsningen opnår den højeste (og dermed dårligste) totale score på 0,51, hvilket især skyldes de høje miljøeffekter og de store omkostninger til metoden. In situ termisk oprensning med damp opnår den laveste (og dermed bedste) totale score på 0,41, mens in situ basisk hydrolyse og fortsat indeslutning ligger herimellem. Overordnet set er der ikke så stor forskel på løsningsalternativernes scorer ved den lige vægtning.

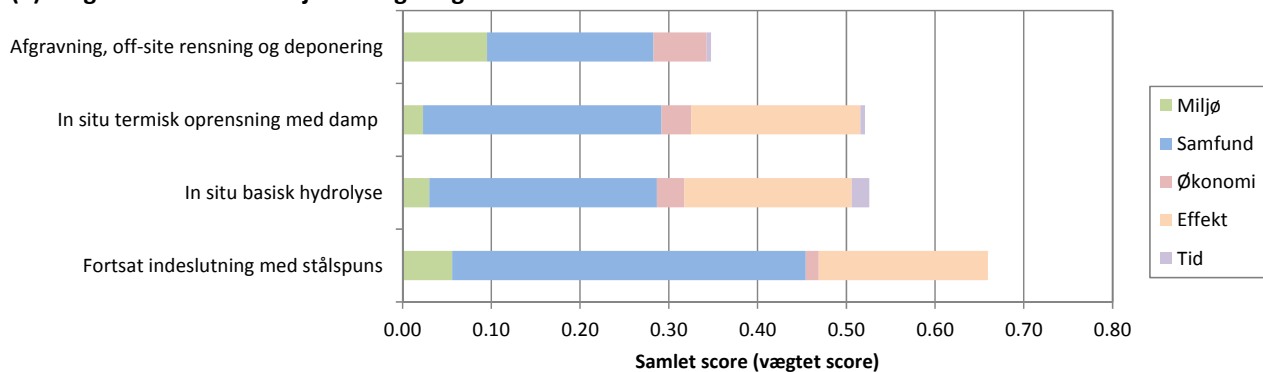
(A) Lige vægt af hovedkriterier



(B) Vægtet score ved simpel vægtning



(C) Vægtet score ved detaljeret vægtning



Figur 11. Samlet bæredygtighedsscore for de fire løsningsalternativer opnået for basisscenariet. Hovedkriteriernes scorer er vægtet i forhold til (A) lige vægt; (B) den simple vægtning foretaget af interessenterne og (C) den detaljerede vægtning foretaget af interessenterne.

Figur 11B og Figur 11C viser resultatet af bæredygtighedsvurderingen når hovedkriterierne vægtes i forhold til interessenterne vægte. Der er udviklet to sæt vægte. Indledningsvis blev der udarbejdet en mere forenklet vægtning udelukkende baseret på interessenterne rangering af vigtigheden af de 5 hovedkriterier (se Figur 11B). Dernæst er der udført en mere detaljeret vægtning, hvor interessenterne kunne nuancere deres syn på kriteriernes vigtighed ved at sammenligne dem indbyrdes på en skala fra 1-9 (se Figur 11C).

De vægtede resultater ændrer rangeringen af de fire løsningsalternativer, idet indeslutningsløsningen med begge vægtningssæt opnår den højst samlede score og dermed er mindst bæredygtig. Samtidig opnår afgravningsløsningen den laveste score og bliver dermed mest bæredygtig. Dette er mest udtalt når den detaljerede vægtning anvendes. Her opnår afgravningsløsningen en samlet score på 0,35, mens de øvrige løsninger scorer varierer fra 0,52 – 0,66. Grunden til at afgravningsløsningen nu falder bedst ud, er at interessenterne har givet lav vægt til Økonomi og Miljø, der er de kategorier, som denne løsning klarer sig dårligt på. Samtidig giver de høj vægt til Effekt, hvilket stiller in situ metoderne samt indeslutning dårligere, da disse ikke fjerner al forureningen.

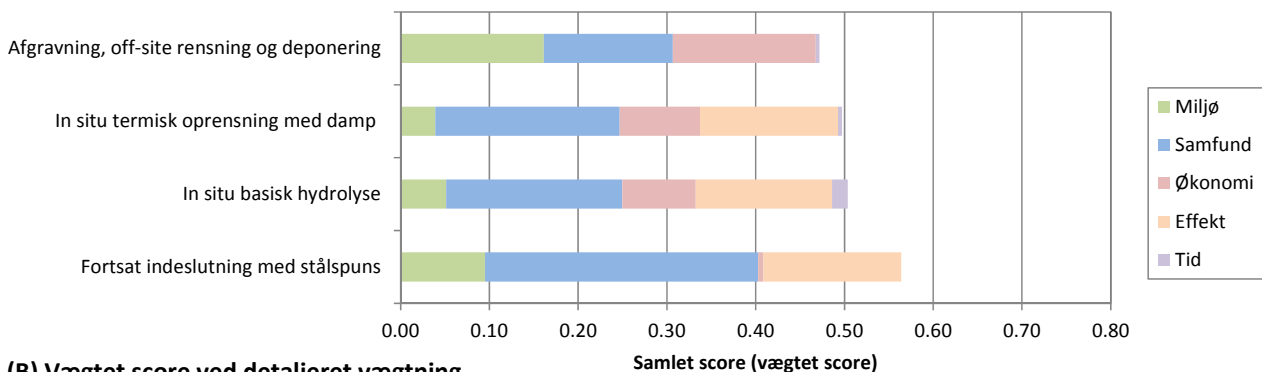
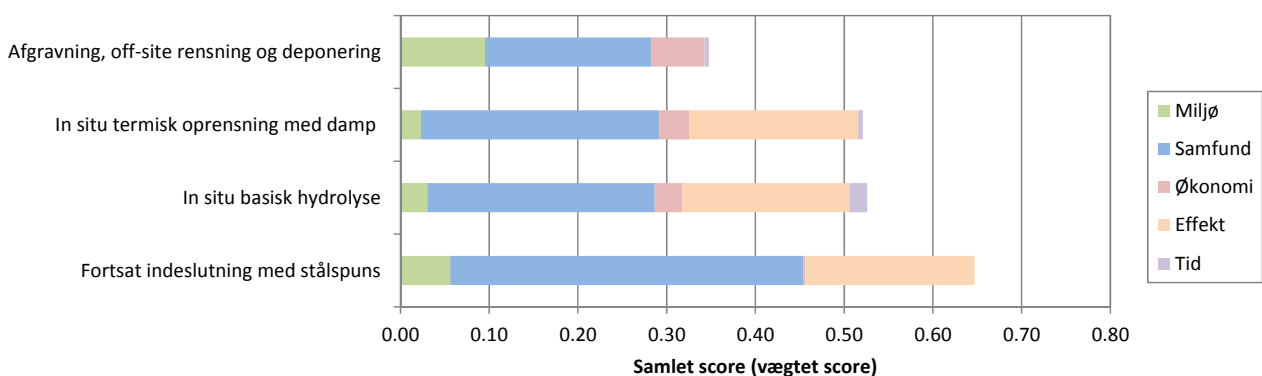
5.2 Følsomhedsscenario 1 – nutidsværdi af omkostninger

Mens afgravning, in situ basisk hydrolyse og in situ termisk oprensning alle er metoder, hvor udgifterne falder indenfor de første 10 år efter igangsættelse, har indeslutning udgifter, der er fordelt over en 100 årig tidshorisont. For at kunne sammenligne omkostningerne til de fire løsningsalternativer omregnes omkostningerne for indeslutningsscenarioet i dette følsomhedsscenario til en nutidsværdi. Dette gøres ved at tilbagediskontere alle fremtidige udgifter med en diskonteringsrate på 5%. Nutidsværdien beregnes af følgende formel, hvor r betegner diskonteringsfaktoren, n betegner projektets løbetid, t er tiden angivet i år og C_t angiver omkostningen i et givent år (Miljøministeriet, 2010):

$$NV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

Den beregnede nutidsværdi udtrykker således den aktuelle værdi af fremtidige betalinger, idet der tages højde for, at såfremt der betales på et senere tidspunkt vil der være mulighed for at investere pengene med afkast, og at der desuden kan være forventninger til, at fremtidig vækst og teknologisk udvikling kan medføre, at det kan være en fordel at udskyde investeringer.

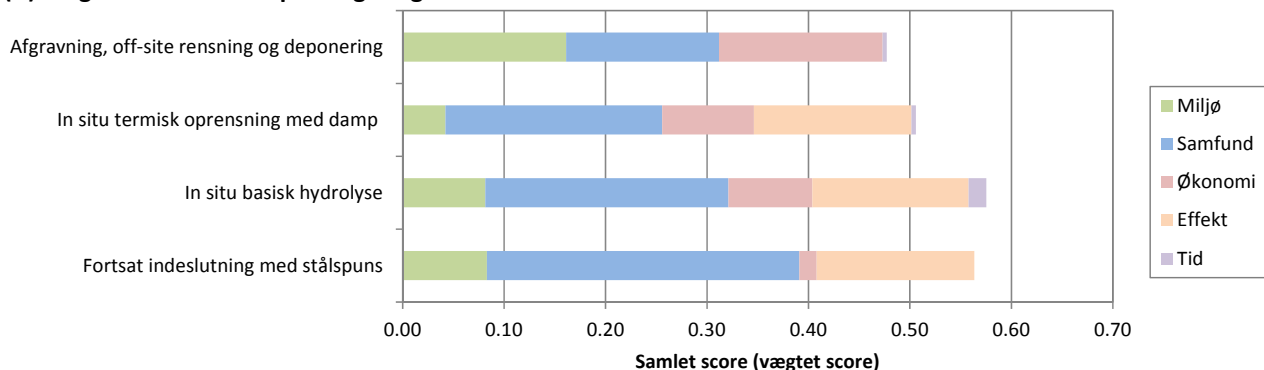
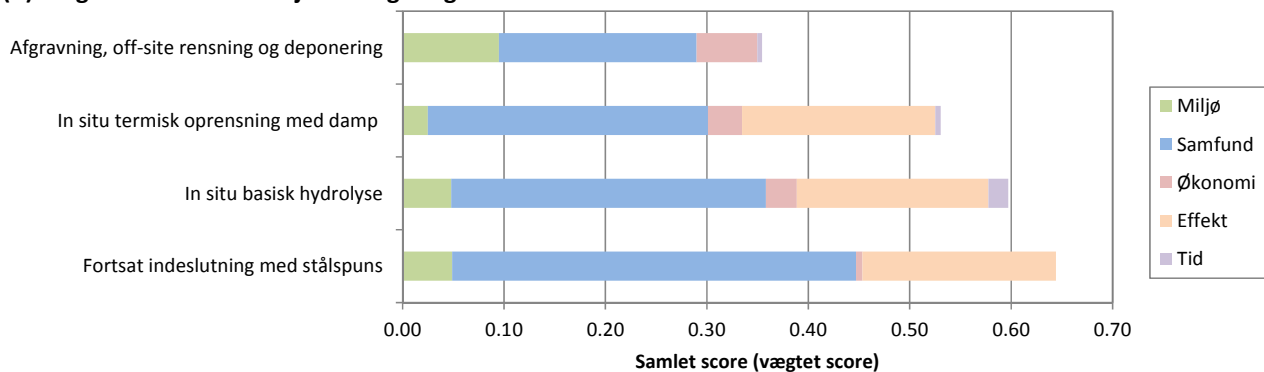
Der er foretaget en nutidsværdiberegning med en diskonteringsrate på 5%, hvilket svarer til den diskonteringsrate, som hidtil har været anbefalet af Finansministeriet (Finansministeriet, 2013). Hermed reduceres de samlede omkostninger til at opretholde spunsvæggen i en 100 års periode fra 61 mio. kr. til ca. 9 mio. kr. jf. Tabel 5. Anvendes den diskonterede omkostning i bæredygtighedsvurderingen vil dette dog kun give en minimal reduktion i den samlede score for fortsat indeslutning, som det ses af Figur 12. Dette skyldes, at fortsat indeslutning allerede er den billigste løsning og at Økonomi ikke er vægtes særlig højt. Dette løsningsalternativ vil således stadig falde ud som den mindst bæredygtige løsning selvom omkostningerne omregnes til en nutidsværdi. Det skal bemærkes, at raten på 5% er en relativt høj rate og at Finansministeriet for nylig har foreslået, at der for projekter med lang løbetid anvendes en diskonteringsrate på 4% for de første 35 år, en rate på 3% de efterfølgende 35 år og en rate på 2% efter 70 år. (Finansministeriet, 2013). Anvendes en sådan differentieret diskonteringsrate vil nutidsværdien for indeslutningsløsningen være 17 mio. kr.

(A) Vægtet score ved simpel vægtning**(B) Vægtet score ved detaljeret vægtning**

Figur 12. Følsomhedsscenario 1. Nutidsværdi af omkostninger (diskonteringsrate på 5%). Samlet bæredygtighedsscore for de fire løsningsalternativer, hvor hovedkriteriernes scorer er vægtet i forhold til (A) den simple vægtning foretaget af interessenterne og (B) den detaljerede vægtning foretaget af interessenterne.

5.3 Følsomhedsscenario 2 – Længere levetid af spunsen

I basisscenariet antages den eksisterende spuns at have en levetid på 25 år. Indenfor en 100 årig tidsramme skal spunsen derfor udskiftes 3 gange. Den faktiske levetid af spunsen kendes ikke, og det er muligt, at den er længere end de 25 år, som er konservativt fastsat. Der er derfor regnet på et følsomhedsscenario, hvor det antages at spunsen har en levetid på 50 år, og der derfor kun skal ske én udskiftning af spunsen indenfor de første 100 år. Dette giver en reduktion af omkostningerne for metoden, såvel som af de miljømæssige påvirkninger, fordi der skal anvendes mindre stål. Endvidere medfører dette også en reduktion af de samfundsmæssige påvirkninger, da sundhedseffekterne ved produktionen af stål også reduceres. Som det ses af Figur 13 stiller dette indeslutningsløsningen lidt bedre end i udgangssituationen, men denne løsning falder stadig dårligst ud ved den detaljerede vægtning, mens den ved den simple vægtning sammen med basisk hydrolyse falder dårligst ud.

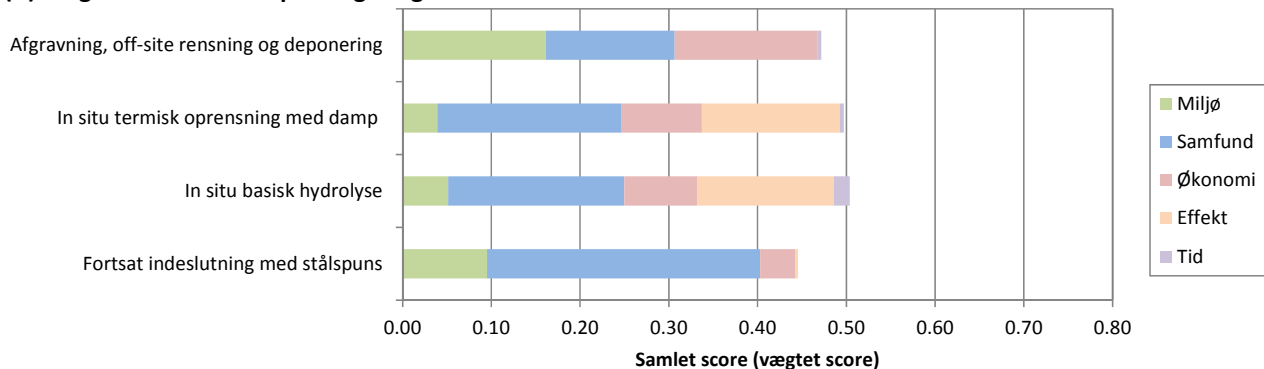
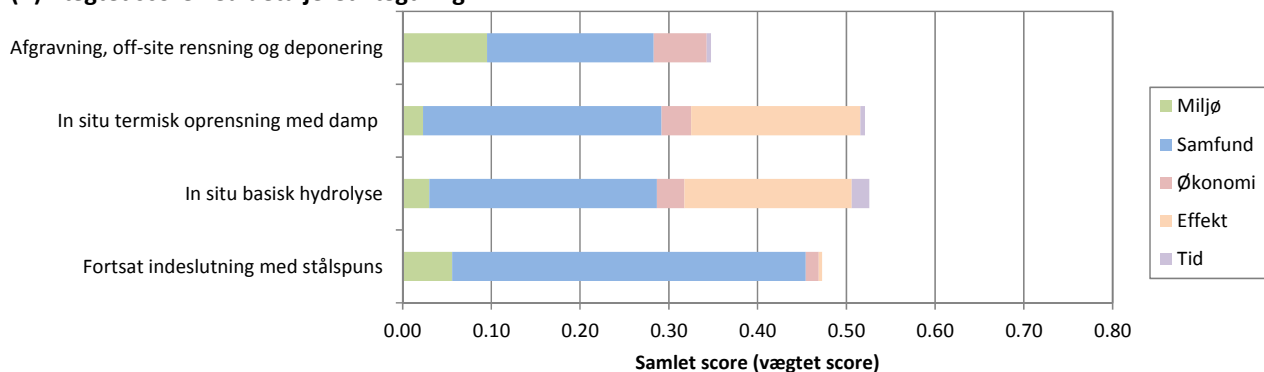
(A) Vægtet score ved simpel vægtning

(B) Vægtet score ved detaljeret vægtning


Figur 13. Følsomhedsscenario 2. Spunsen levetid er 50 år i stedet for 25 år, som antaget i basissceneriet. Samlet bæredygtighedscore for de fire løsningsalternativer, hvor hovedkriteriernes scorer er vægtet i forhold til (A) den simple vægtning foretaget af interessenterne og (B) den detaljerede vægtning foretaget af interessenterne.

5.4 Følsomhedsscenario 3 – Effekt opgøres kun i forhold til reduktion af udsivning

Effekttopgørelsen er, som beskrevet i afsnit 4.1, opdelt i effekten i forhold til at reducere udsivningen af forurening til Vesterhavet og effekten i forhold til at reducere forureningskilden. Såfremt der kun ses på løsningsalternativernes effekt i forhold til at reducere udsivningen til Vesterhavet vil fortsat indeslutning blive stillet bedre, da den reducerer udsivningen effektivt, men ikke fjerner forureningskilden. Som det ses af Figur 14 vil dette betyde, at indeslutningsløsningens score reduceres betydeligt, og at denne løsning opnår den laveste samlede score, når den simple vægtning anvendes. Forskellen til de øvrige teknikkers scorer er dog minimal, idet indeslutning ved den simple vægtning opnår en samlet score på 0,45, mens afgravning opnår en score på 0,47 og de to in situ metoder opnår scorer på 0,50. Når den detaljerede vægtning anvendes falder afgravning til gengæld stadig bedst ud.

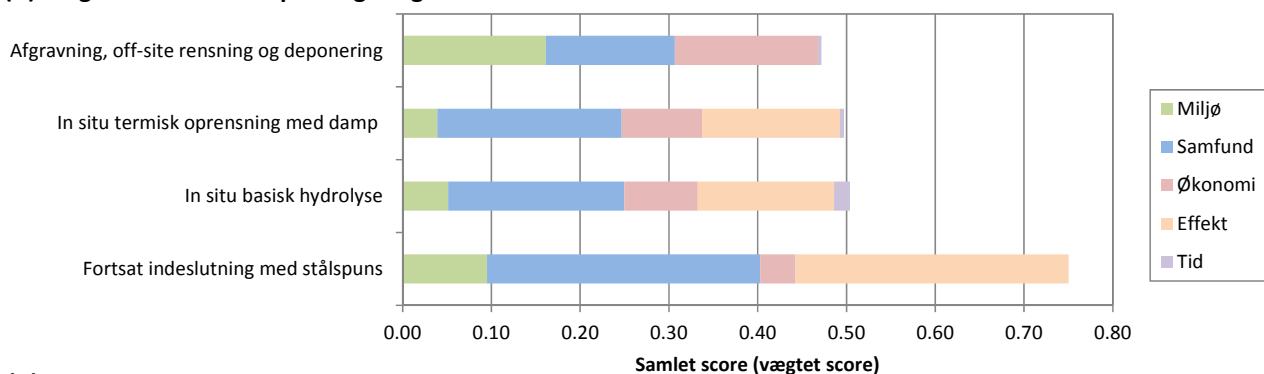
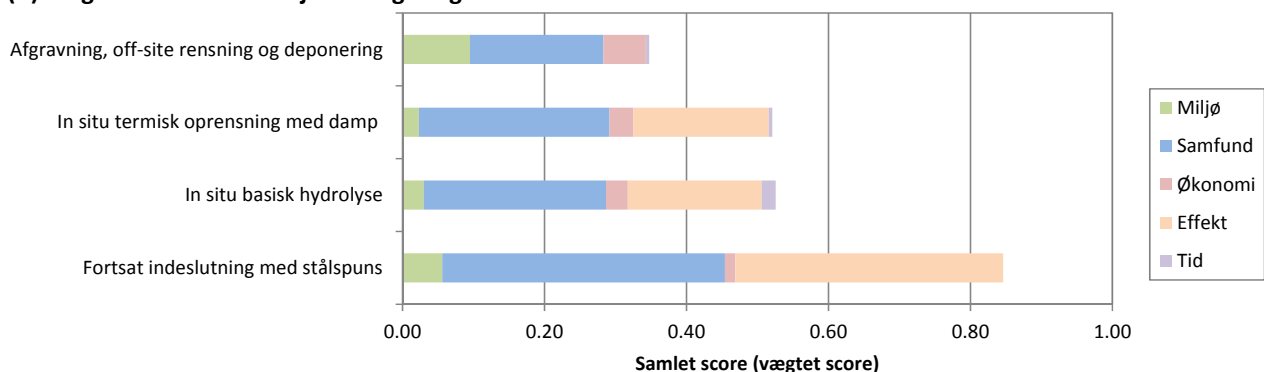
Når resultaterne fra dette følsomhedsscenario betragtes, er det dog vigtigt at huske på, at interessenterne vægtning er udført i forhold til den oprindelig definition af hovedkriteriet Effekt. Interessenterne lagde på workshoppen stor vægt på, at de ønskede forureningen fjerne helt (inklusive kviksølv). Det er derfor sandsynligt, at interessenterne ville have vægtet dette hovedkriterium lavere og have vægtet Samfund højere, såfremt Effekt kun var defineret i forhold til at reducere udsivning. I stedet ville de sandsynligvis have vægtet Samfund højere (især Renommé), hvilket stadig ville stille indeslutning dårligere og afgravning bedre.

(A) Vægtet score ved simpel vægtning**(B) Vægtet score ved detaljeret vægtning**

Figur 14. Følsomhedsscenario 3. Effektopgørelsen dækker kun effekten i forhold til at hindre udsivning til Vesterhavet og ikke effekten i forhold til fjernelse af forureningskilden. Samlet bæredygtighedsscore for de fire løsningsalternativer, hvor hovedkriteriernes scorer er vægtet i forhold til (A) den simple vægtning foretaget af interessenterne og (B) den detaljerede vægtning foretaget af interessenterne.

5.5 Følsomhedsscenario 4 – Effekt opgøres kun i forhold til reduktion af forureningsmasse

I modsætning til følsomhedsscenario 3 antages nu, at effekten kun opgøres i forhold til reduktionen af forureningsmassen i kildeområdet og ikke i forhold til effekten på at reducere udsivning. En sådan effektopgørelse vil stille fortsat indeslutning ringere, mens de øvrige løsningers scorer er uændrede (Figur 15).

(A) Vægtet score ved simpel vægtning

(B) Vægtet score ved detaljeret vægtning


Figur 15. Følsomhedsscenario 4. Effektopgørelse dækker kun effekten i fjernelse af forureningskilden og ikke effekten i forhold til at hindre udsivning til Vesterhavet. Samlet bæredygtighedsscore for de fire løsningsalternativer, hvor hovedkriteriernes scorer er vægtet i forhold til (A) den simple vægtning foretaget af interessenterne og (B) den detaljerede vægtning foretaget af interessenterne.

5.5 Opsummering af resultaterne af bæredygtighedsvurderingen

Tabel 6 specificerer de opnåede scorer indenfor hvert hovedkriterium ved scenariet med den lige vægtning af hovedkriterier. Scoren markeres med grøn, hvis en løsning klarer sig markant bedre end de andre løsninger og med rød, hvis løsningen klarer sig markant dårligere. En gul markering gives til præstationer der ligger herimellem. Tabellen viser i princippet det samme som Figur 11A, men tydeliggør hvilke hovedkriterier, som det enkelte løsningsalternativ klarer sig henholdsvis godt og dårligt for. Det er således tydeligt, at afgravning klarer sig rigtig dårligt med hensyn til Miljø og Økonomi, mens den klarer sig godt for alle øvrige hovedkriterier. Indeslutning klarer sig dårligt med hensyn til Samfund og Effekt, men godt for Økonomi og Tid. De to in situ metoder klarer sig godt på Miljø, men mindre godt på Effekt. Ingen af de fire løsningsalternativer udmærker sig ved at klare sig markant bedst på alle hovedkriterier.

Tabel 6. Oversigt over de fire løsningsalternativers normaliserede scorer indenfor hvert hovedkriterium. Scorerne er ganget med en vægtningsfaktor på 0,2 (lige vægt for alle kriterier). Den dårligst mulige score indenfor hvert hovedkriterium er derfor 0,2, mens nul er den bedst mulige score. Rød markerer at en løsning klarer sig markant dårligst for en hovedkriterium, mens grøn markerer at den klarer sig markant bedst. Gul markerer middelmådige præstationer.

Hovedkriterium	Normaliseret score indenfor hovedkriterium (lige vægt)			
	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering
Miljø	0,12	0,06	0,05	0,20
Samfund	0,20	0,13	0,14	0,09
Økonomi	0,05	0,10	0,11	0,20
Effekt	0,10	0,10	0,10	0
Tid	0	0,06	0,01	0,01

Tabel 7 opsummerer resultaterne fra bæredygtighedsvurderingen, idet den giver en oversigt over løsningsalternativernes opnåede bæredygtighedsscorer for de forskellige scenarier (basisscenario samt følsomheds-scenarium 1, 2 og 3) og vægtningssæt. Den/de løsninger, der opnår den markant laveste score (og dermed bedste score) i et givent scenarium er markeret med grøn, mens den løsning, der opnår den markant dårligste score er markeret med rød. Scorer herimellem er markeret med gul. For at opnå henholdsvis en grøn eller rød markering skal der minimum være en forskel i scorer mellem det dårligste og bedste alternativ på 0,10 samt minimum en forskel på 0,04 til det næstbedste eller næstdårligste alternativ.

Når alle hovedkriterier vægtes lige falder in situ termisk oprensning lidt bedre ud end de øvrige løsninger, men forskellen i bæredygtighedsscorerne er relativt lille. Det ses desuden af oversigten, at afgravning er den løsning, der overordnet set falder bedst ud i alle scenarier, hvor interessenteres vægte anvendes. Afgravningsløsningen falder nemlig bedst ud, eller lige så godt ud som de øvrige alternativer i alle øvrige scenarier end det, hvor der anvendes en lige vægt af hovedkriterierne. Ved alle scenarier med den detaljerede vægtning falder afgravningsscenarioet bedst ud.

Fortsat indeslutning er til gengæld den løsning, der overordnet set falder dårligst ud, når der tages højde for interessenteres vægtninger. En undtagelse er følsomhedsscenario 3, hvor den opnår en score på niveau med de resterende metoder når den simple vægtning anvendes. Anvendes den detaljerede vægtning falder afgravning dog markant bedre ud end de øvrige alternativer.

De to in situ metoder falder i flere tilfælde lige så godt ud som afgravningsløsningen, når den simple vægtning anvendes, mens de falder dårligere ud end afgravning, når det detaljerede vægtningssæt anvendes.

Tabel 7. Oversigt over de fire løsningsalternativers bæredygtighedsscorer samt deres rangering for de forskellige scenarier og vægtninger. Rød markerer, at løsningen falder markant dårligst ud. Grøn markerer at løsningen falder markant bedst ud. Gul markerer, at løsningen falder middelmådigt ud.

Scenarium	Vægtning	Bæredygtighedsscore og rangering			
		Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering
Basisscenario	Lige vægt	0,47	0,45	0,41	0,51
	Simpel vægtning	0,60	0,50	0,50	0,47
	Detaljeret vægtning	0,66	0,53	0,52	0,35
Følsomhedsscenario 1: Nutidsværdi af omkostninger	Simpel vægtning	0,56	0,50	0,50	0,47
	Detaljeret vægtning	0,65	0,53	0,52	0,35
Følsomhedsscenario 2: Fordoblet levetid af spuns	Simpel vægtning	0,56	0,58	0,51	0,48
	Detaljeret vægtning	0,64	0,60	0,53	0,35
Følsomhedsscenario 3: Kun effekt i forhold til udsivning	Simpel vægtning	0,45	0,50	0,50	0,47
	Detaljeret vægtning	0,47	0,53	0,52	0,35
Følsomhedsscenario 4: Kun effekt i forhold til at reducere forureningskilden	Simpel vægtning	0,75	0,50	0,50	0,47
	Detaljeret vægtning	0,85	0,53	0,52	0,35

5.6 Diskussion af resultaterne af bæredygtighedsvurderingen

Det kan synes overraskende, at afgravning, off-site behandling og deponering konkluderes at være det mest bæredygtige løsningsalternativ, da det er denne metode, der giver flest afledte miljøeffekter og i princippet blot sender "problemet" et andet sted hen. Jorden gennemgår dog forud for deponering en grundig behandling, hvor pesticidforureningen fjernes og restprodukter indeholdende kviksølv vil blive stabiliseret inden deponering. Her skal det også huskes, at ligegyldig hvordan kviksølvforureningen fjernes fra Høfde 42, vil den altid ende op i et restprodukt, som skal deponeres. Den helt afgørende grund til, at afgravningsløsningen bliver den mest bæredygtige metode, er, at det er den eneste af de fire løsningsalternativer, som både kan fjerne pesticidforurening og kviksølv. Interessenteres

vægtning taler nemlig sit tydelige sprog. De ønsker en løsning, der både fjerner pesticider og kviksølv samt minimerer samfundspåvirkningerne. De to in situ metoder falder netop dårligt ud i vurderingen, fordi deres effekt over for kviksølv er meget begrænset. Såfremt der anvendes omkring 100 mio. kr. på en in situ løsning (basisk hydrolyse eller termisk oprensning med damp), der stort set kun fjerner pesticiderne, stiller resultatet af bæredygtighedsvurderingen spørgsmålstejn ved, om dette giver nok "værdi" for lokalsamfundet, da renomméet af området stadig vil være påvirket af den tilbageværende kviksølv, som frygtes at ende i havet hvis kysten eroderes i en kraftig storm. I denne forbindelse er det selvfølgelig også vigtigt at huske på, at kemikaliedepotet ved Høfde 42 ikke er den eneste forurening i området, men at der på Cheminovas fabriksgrund også findes forurening, som kan påvirke områdets renommé. Indeslutningsløsningen falder dårligt ud, både fordi den ikke fjerner forureningen, men også fordi den har høje samfundspåvirkninger.

Selvom afgravningsløsningen opnår den bedste score i bæredygtighedsvurderingen, så er det vigtigt at bemærke, at dette ikke betyder, at denne løsning pr. definition er bæredygtig. Den udførte vurdering af bæredygtighed er en relativ vurdering af et antal løsningsalternativer i forhold til hinanden. Det er derfor blot muligt, ud fra vurderingen, at sammenligne løsningsalternativernes bæredygtighed i forhold til hinanden, men ikke at sige, om en løsning er bæredygtig. Desuden er det vigtigt at bemærke, at ingen af de 4 sammenlignede løsningsalternativer klarede sig bedst på alle hovedkriterier. Afgravningsløsningen, som samlet set opnår den bedste score i bæredygtighedsvurderingen, er samtidig den løsning, der klarer sig dårligst på Økonomi og Miljø, jf. Tabel 6. Rosén et al. (2009) definerer dette som en *svag bæredygtighed*, idet de negative påvirkninger indenfor Miljø og Økonomi kompenseres af at metoden klarer sig godt indenfor Samfund og Effekt. Såfremt et løsningsalternativ skulle opnå en *stærk bæredygtighed* ifølge Rosén et al. (2009), skulle det klare sig godt på alle hovedkriterier.

Derfor er det også vigtigt, at der, hvis der vælges en afgravningsløsning, arbejdes på at gøre denne mere bæredygtig, f.eks. ved at forbedre miljøprofilen for denne løsning. Det kan i denne forbindelse overvejes om behandlingen af den afgravede jord kan være en kemisk behandling on-site eller i lokalområdet, således at transport til Nyborg undgås og jorden efterfølgende kan sejles direkte til deponering på Langöya eller eventuelt kan genanvendes på Høfde 42. Dette ville sandsynligvis forbedre miljøprofilen og muligvis også økonomien for denne metode. Til gengæld kan det eventuelt have negative konsekvenser for samfundspåvirkningerne, idet en on-site behandling vil påvirke arealanvendelsen i en lang periode.

Når bæredygtighedsresultaterne sammenlignes for de fire alternativer skal det også huskes, at konsekvenserne af mellemdeponeringen af den afgravede jord i Nyborg ikke er inkluderet i vurderingen. Denne mellemdeponering kan både have indflydelse på metodens afledte miljøeffekter grundet materiale- og energiforbrug til mellemlagring, samt have samfundspåvirkninger for lokalbefolkningen i Nyborg. Da miljøeffekterne af metoden allerede er relativt høje, vurderes det især at være samfundspåvirkningerne i Nyborg, der kan have indflydelse på resultatet, såfremt det forventes, at mellemdeponeringen er til stor lokal gene.

I sidste ende er det en politisk beslutning, hvorledes de forskellige kriterier skal vægtes, samt hvorledes hovedkriteriet effekt skal defineres. Såfremt der udelukkende fokuseres på effekten i forhold til at reducere udsvivningen fra kemikaliedepotet, vil fortsat indeslutning være lige så bæredygtig som de øvrige løsninger. Det er dog ikke sandsynligt at valget møder opbakning hos interessenterne, da de har vægtet dette kriterium højt under forudsætningen af at det dækker over en fjernelse af forureningskilden. Derudover er det vigtigt at huske på, at der regningsmæssigt blev valgt en 100 årig periode for denne løsning, selvom den i princippet skal opretholdes uendeligt. Det er derfor ikke helt rimeligt at sige, at denne løsning i følsomhedsscenario 3 er lige så bæredygtig som de øvrige løsninger.

6 Konklusion

Bæredygtighedsvurderingen af de fire løsningsalternativer for håndteringen af kemikaliedepotet ved Høfde 42 viste, at afgravning samlet set er den mest bæredygtige løsning, når interessentpanelets detaljerede vægtning af hovedkriterierne anvendes. Dette skyldes især, at denne løsning er den eneste løsning, der både fjerner pesticidforurening og kviksløv effektivt og som også giver den mest positive påvirkning af lokalområdets renommé. Selvom afgravning samlet set klarer sig bedst i bæredygtighedsvurderingen er det samtidig den løsning, der har de største afledte miljøeffekter og er dyrest. Miljø og Økonomi vurderedes dog mindre vigtigt af interessentpanelet.

Ved brug af den simple vægtning af hovedkriterierne foretaget af interessenterne opnår afgravning og de to in situ løsninger (termisk oprensning og basisk hydrolyse) samlede scorer, som kun afviger få procent fra hinanden. Lige gyldigt hvilket vægtningsæt, der anvendes er fortsat indeslutning den løsning, der opnår den højeste score i bæredygtighedsvurderingen og dermed er mindst bæredygtig. Dette skyldes især, at denne metode har en høj påvirkning indenfor hovedkriterierne Samfund og Effekt. De høje samfundspåvirkninger af denne metode skyldes især, at den ikke giver en væsentlig forbedring af området renommé, da forureningen stadig vil blive liggende i en uendelig periode fremover. Dette giver anledning til bekymringer hos interessenterne bla. vedr blotlægning af forureningskilden, såfremt kysten eroderes af en kraftig storm. Endelig har metoden ingen effekt i forhold til at fjerne forureningskilden, hvilket medfører den dårlige score for hovedkriteriet Effekt.

En følsomhedsanalyse af resultaterne viser at en diskontering af udgifterne til indeslutningen ikke alene vil påvirke konklusionen på bæredygtighedsvurderingen, da Økonomi har en relativt lav vægt. Derudover er der regnet på et følsomhedsscenario, hvor levetiden af spunsen fordobles. Herved reduceres både omkostningerne til metoden, men også miljø- og samfundseffekterne. Indeslutningsløsningen falder dog stadig dårligere ud end afgravning og in situ termisk oprensning, men mindre markant end i udgangssituationen. In situ basisk hydrolyse falder, sammen med indeslutningsløsningen, dårligst ud i dette følsomhedsscenario.

Såfremt hovedkategorien Effekt ændres til alene at se på løsningsalternativernes effekt i forhold til at reducere udsivningen af forurening til Vesterhavet og ikke i forhold til at fjerne forureningskilden vil de fire løsningsalternativer være lige bæredygtige når den simple vægtning anvendes, mens afgravning er mest bæredygtig når den detaljerede vægtning anvendes. Her skal det dog huskes, at interessenternes vægtning er udført i forhold til den oprindelige definition af hovedkriteriet Effekt.

Selvom bæredygtighedsvurderingen viser, at afgravning samlet set er den mest bæredygtige løsning, når der tages højde for interessenternes vægtning er det stadig væsentligt at huske på, at det samtidig er den løsning, der klarer sig dårligst indenfor hovedkriterierne Miljø og Økonomi grundet de store afledte miljøeffekter og de høje omkostninger. Der er derfor kun tale om en *svag bæredygtighed* af denne løsning. Såfremt en afgravningsløsning vælges, er det derfor stadig vigtigt at undersøge mulighederne for at reducere miljøeffekterne f.eks ved at behandle jorden on-site i stedet for at transportere den til Nyborg. Derudover ville det også forbedre miljøprofilen af metoden, hvis jorden kunne genanvendes ved Høfde 42 i stedet for at blive deponeret.

7 Referencer

- COWI, Rambøll, Kogsgaard og Geosyntec (2013). Høfde 42. Afgræsning af nedsivningsområde. Undersøgelserapport til Region Midtjylland. Januar 2013
- Finansministeriet (2013). Ny og lavere samfundsøkonomisk diskonteringsrate. Faktaark. Finansministeriet, 31. Maj 2013.
- Katz, L., Davis, J., Liljstrand, H. (2013). Mercury and ISTD: Research Overview and Perspectives. Konferencepræsentation ved Advances in Thermal Remediation, University of Texas, Austin. 8.-9. januar 2013. Tilgængelig på http://iap.cpge.utexas.edu/therm2013/Katz_Mercury_ISTD.pdf
- LCA Center. 2005. List of EDIP factors downloaded from LCA Center Denmark 04-11-2008 at <http://www.lca-center.dk/cms/site.aspx?p=1595>.
- Lemming, G., Bjerg, P.L. (2013). Interessentworkshop om Høfde 42 afholdt 14. november 2013. Notat udarbejdet af Gitte Lemming og Poul L. Bjerg. DTU Miljø. December 2013.
- Lemming, G., Binning, P.J., Bjerg, P.L. (2011). Bæredygtighed af afværgemetoder. Notat 1. Litteraturstudium. DTU Miljø. December 2011.
- Miljøministeriet (2010). Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter. Januar 2010. Miljøministeriet.
- Region Midtjylland (2013a). Konceptuel beskrivelse af afværgeområde på Høfde 42. Region Midtjylland, Miljø. Version 2. 09-10-2013
- Region Midtjylland (2013b). Pilot experiments on the remediation technology in situ alkaline hydrolysis at Groyne 42. Status Report Cycle 2. Prepared by COWI, Rambøll, Kogsgaard and Geosyntec.
- Rosén, L., Back, P.-E., Söderqvist, T., Soutukorva, Å., Brodd, P. og Grahn, L. (2009). Multikriterieanalys (MKA) för hållbar efterbehandling av förorenade områden. Metodutveckling och exempel på tillämpning. Naturvårdsverket. Rapport 5891. Februari 2009.
- Søndergaard, G.L, Binning, P.J., Bjerg, P.L. (2014). Multikriterieværktøj til sammenligning af bæredygtigheden af afværgemetoder for en forurenede grund. Notat 2. DTU Miljø. November 2014.
- COWI (2007). Afgravning, transport og kontrolleret deponering af forurenede sediment fra Høfde 42. Peter A. Petersen og Henrik Benn, COWI. Miljøprojekt Nr. 1197 2007. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- Saaty, R.W. 1987. The analytic hierarchy process— what it is and how it is used. Mathematical Modelling 9, 161-176.

APPENDIKSER

Appendiks A - Effekt

Effektopgørelsen dækker den forventede effekt af løsningsalternativerne udelukkende overfor forureningen i nedsvningsområdet og udenomsområdet. Der vil forefindes en restforurening uden for det definerede afværgeområde. Denne restforurening vil være ens for alle teknikker og medtages ikke i denne vurdering af oprensningseffekten.

Som udgangspunkt indeholder Effekt to underkriterier, nemlig effekt i forhold til at hindre udsivning til Vesterhavet og effekt i forhold til jordmiljøet, dvs. i forhold til at fjerne forureningskilden. Disse to underkriterier er igen opdelt på effekten overfor henholdsvis pesticidprodukter og kviksløv. Fortsat indeslutning hindrer udsivningen af både pesticider og kviksløv og opnår således en god score for dette underkriterium, mens denne løsning ikke fjerner forureningen og dermed scorer dårligt på det andet underkriterium. Samlet set opnår denne løsning en normaliseret score på 0.51. Afgravning hindrer både udsivning og fjerner forureningskilden fuldstændigt og opnår dermed den bedst mulige samlede normaliserede score på 0. Basisk hydrolyse fjerner ca. 90 % af pesticiderne og 10 % af kviksløvet og reducerer udsivningen med samme effekt. Metoden opnår dermed en samlet normaliseret score på 0.5. In situ termisk oprensning fjerner ca. 99% af pesticiderne og reducerer udsivningen i samme omfang. Derimod er der ingen effekt på kviksløv. Den termiske oprensning opnår en samlet normaliseret score på 0.51. Opgørelsen af scorer ses i Tabel 8.

Såfremt det vælges enten kun at se på det ene eller det andet underkriterium for Effekt i vurderingen vil de opnåede scorer ændres for indeslutningsscenarioet, som det ses i tabellen herunder.

Tabel 8. Beregning af score og normaliseret score for hovedkriteriet Effekt. Tabellen viser både effekten som en oprenset andel fra 0-1 (1 er bedst, svarende til 100% reduktion og nul er dårligst, svarende til ingen reduktion). Dette omregnes til 1- effekt, hvor scoren 0 er bedst og 1 er dårligst. Scorerne summeres og omregnes til en normaliseret score, hvor en summeret score på 0 giver en normaliseret score på 0 (bedst mulige score) og en summeret score på 4 giver en normaliseret score på 1 (dårligst mulige score).

1. ORDENS KRITERIUM: EFFEKT			A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
			Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, oit-site rensning og deponering	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, oit-site rensning og deponering
2. ORDENS KRITERIUM	3. ORDENS KRITERIUM	Opgørelsesmetode	Effekt	Effekt	Effekt	Effekt	1-effekt	1-effekt	1-effekt	1-effekt
Effekt i forhold til at hindre udsivning til Vesterhavet	Pesticider	Reduktion i masseflux til havet	0.99	0.9	0.99	1	0.01	0.1	0.01	0
	Kviksløv	Reduktion i masseflux til havet	0.99	0.1	0	1	0.01	0.9	1	0
Effekt i forhold til jordmiljø (fjernelse af forureningskilden)	Pesticider	Reduktion af forureningsmasse	0	0.9	0.99	1	1	0.1	0.01	0
	Kviksløv	Reduktion af forureningsmasse	0	0.1	0	1	1	0.9	1	0
Summeret score							2.02	2	2.02	0
Normaliseret score fra 0-1							0.51	0.50	0.51	0
Følseomhedsscenarioer for effektopgørelse:										
Kun effekt i forhold til udsivning			Summeret score				0.02	1	1.01	0
			Normaliseret score fra 0-1				0.01	0.50	0.51	0
Kun effekt i forhold til massefjernelse			Summeret score				2	1	1.01	0
			Normaliseret score fra 0-1				2	0.50	0.51	0

Appendiks B – Økonomi

Hovedkriteriet Økonomi indeholder, udover de vurderede omkostninger til afværgeløsningen (i mio, Kr), underkriterierne ”teknisk usikkerhed” og ”modenhed af teknik”. Den tekniske usikkerhed afspejler den forskel der er i sikkerheden på forløbet af en afværgeteknik. Visse afværgeteknikker vil være meget sværere at forudsige forløbet af end andre fordi de eksempelvis er in situ metoder, der kræver at der opnås en god kontakt mellem forureningsstoffer og forskellige stoffer injiceres i jorden eller de kan være styret af aktiviteten af specifikke bakterier. I sådanne tilfælde er det svært at forudsige den præcise oprensningstid. Dette forårsager en usikkerhed på tid, økonomi og miljøeffekter af metoden. I denne sammenhæng er det valgt at den tekniske usikkerhed udelukkende giver sig udslag i en ekstra omkostning. I Boks 5 ses skalaen til vurdering af den tekniske usikkerhed samt omregningen til en ekstra omkostning. For de fire løsningsmetoder for Høfde 42 er vurderingen af den tekniske usikkerhed baseret på vurderingen fra ekspertpanelet, der har vurderet at Fortsat indeslutning, in situ termisk oprensning og afgravning alle har en lille teknisk usikkerhed, mens in situ basisk hydrolyse har en stor teknisk usikkerhed. Dette medfører en ekstra omkostning på 35% for basisk hydrolyse og på 15% for de øvrige løsninger.

Underkriteriet ”modenhed af teknik” afspejler hvor klar den enkelte teknik er til implementering. Boks 5 viser skalaen til vurdering af modenheden samt omregningen til en ekstra omkostning. For Høfde 42 vurderer Region Midtjylland at fortsat indeslutning og afgravning klar til implementering (meget stor modenhed). Der tillægges derfor ikke nogen ekstra omkostning til disse teknikker. In situ basisk hydrolyse vurderes at have stor modenhed og kun kræve enkelte ekstra forundersøgelser. Dette giver en ekstra omkostning på 5%. In situ termisk oprensning vurderes derimod at have lav modenhed, idet treatability tests kan være nødvendige pga. forureningstypen. Der tillægges dermed en ekstra omkostning på 15%.

Tabel 9. Beregning af score og normaliseret score for hovedkriteriet Økonomi. Den normaliserede score er beregnet ved at den dyreste løsning tildeles scoren 1 og de øvrige tildeles en score skaleret i forhold her til. Den bedst mulig score (0) opnås hvis en løsning har en omkostning på 0 kr.

1. ORDENS KRITERIUM: ØKONOMI		A1	A2	A3	A4
		Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Atgravning, off-site rensning og deponering
2. ORDENS KRITERIUM	Opgørelsesmetode				
Omkostninger	Projektspecifik opgørelse (Mio. Kr)	53	91	107	216
Teknisk usikkerhed	Skala 1-5	2	4	2	2
	Ekstra omkostninger (%)	15	35	15	15
Modenhed af teknik	Skala 1-5	1	2	4	1
	Ekstra omkostninger(%)	0	5	15	0
Omkostninger inkl. teknisk usikkerhed og modenhed af teknik		61	127	139	248
Normaliseret score fra 0-1		0.25	0.51	0.56	1
Følsomhedsscenario	Nutidsværdi af omkostninger (diskonteringsrate: 5%)				
Diskonterede omkostninger inkl. teknisk usikkerhed og modenhed af teknik		8.6	123	125	248
Normaliseret score fra 0-1		0.03	0.51	0.56	1

Teknisk usikkerhed: Vurdering på skala fra 1-5	Modenhed af teknik: Vurdering på skala fra 1-5
Vurdér den tekniske usikkerhed for hver af afværgeteknologierne. Med teknisk usikkerhed menes usikkerhed på afværgemetodens effekt og forløb.	Vurdér modenheten for hver af afværgeteknologierne. Er teknikken klar til implementering eller kræver det flere forundersøgelser såsom treatability tests og pilotforsøg?
1 - Ingen nævneværdig usikkerhed → 0-10 % ekstra omkostninger	1 - Meget stor modenhed → 0% ekstra omkostninger
2 - Lille usikkerhed → 10-20 % ekstra omkostninger	2 - Stor modenhed → 5 % ekstra omkostninger
3 - Moderat usikkerhed → 20-30 % ekstra omkostninger	3 - Middel modenhed → 10 % ekstra omkostninger
4 - Stor usikkerhed → 30-40 % ekstra omkostninger	4 - Lav modenhed → 15 % ekstra omkostninger
5 - Meget stor usikkerhed → 40-50 % ekstra omkostninger	5 - Meget lav modenhed → 20 % ekstra omkostninger

Boks 5. Omregning fra vurdering af teknisk usikkerhed og modenhed af teknik til en procentvis ekstra omkostning

Appendiks C – TID

Hovedkriteriet Tid dækker udelukkende over den forventede tid det tager for løsningsalternativet at opnå den forventede effekt. Der er altså tale om tidsforbruget på lokaliteten indtil forureningen er afskåret eller reduceret. For afgravningsløsningen indgår således ikke tiden til at behandle jorden på et off-site behandlingscenter.

Fortsat indeslutning giver en effekt med det samme, da spunsen allerede er installeret. Denne løsning opnår dergfor den bedste score på 0. De øvrige teknikkers tidshorisonter varierer mellem 2 og 8,5 år og er normaliseret i forhold til en tidshorizont svarende til en generation (30 år).

1. ORDENS KRITERIUM: TID	A1	A2	A3	A4
	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering
2. ORDENS KRITERIUM				
Tidsforbrug (år)	0	8.5	2.2	2
Normaliseret score fra 0-1	0	0.28	0.07	0.06

Appendiks D – Miljø

Hovedkriteriet Miljø indeholder 5 underkriterier (2. ordens kriterier), der igen indeholder en række underkriterier (3. ordens kriterier). Beregningen af normaliserede scorer for underkriterierne indenfor Miljø ses af Tabel 10, mens de samlede vægtede scorer beregnes i Tabel 11.

Tre af underkriterierne (emissioner til luft og vand, økotoksicitet og ressourceforbrug) vurderes ud fra en livscyklusvurdering (LCA). De specifikke resultater af livscyklusvurderingen for de 4 løsningsalternativer ses i Appendiks F, og resultaterne er opsummeret i tabellen herunder givet som personækvivalenter (PE) eller personresserver (PR). 1 PE svarer til den årlige belastning fra en gennemsnitsperson. 1 PR svarer til ressourceforbruget for en gennemsnitsperson vægtet i forhold til forsyningshorisonten for den enkelte ressource, således at ressourcer med lav forsyningshorisont vægtes lavere end ressourcer med en høj forsyningshorisont.

Underkriteriet Affald dækker over affald til deponering i den enkelte afværgeløsning. Her er det især mængden af jord til deponering, der giver udslag og afgravningsløsningen opnår dermed den dårligste score for denne underkategori.

Underkriteriet Jordkvalitet efter oprensning dækker dels over den biogeokemiske påvirkning af den jord der oprenses og dels over påvirkningen af det terrestriske miljø (dyr og planter i topjord og på jordoverfladen). Disse to kriterier vurderes på en skala fra 1-5, se Boks 6. Der er i vurderingen anvendt gennemsnitlige vurderinger fra ekspertpanelet. Disse ses af Tabel 10.

Tabel 10. Beregning af normaliserede scorer for underkriterier indenfor Miljø. Den dårligst mulige normaliserede score (score på 1) gives til alternativet med den højeste påvirkning inden for hvert underkriterium. En score på 0 fås, hvis der slet ikke er påvirkning inden for en kategori. For Jordkvalitet efter oprensning er hvert underkriterium vurderet på en skala fra 1-5, hvor 1 betegner ingen nævneværdig påvirkning og 5 betegner meget stor påvirkning. Den bedst mulige normaliserede score på 1 fås derfor ved en summeret score på 2 og den dårligst mulige normaliserede score (score =0) fås ved en summeret score på 10.

1. ORDENS KRITERIUM: MILJØ			A1	A2	A3	A4
			Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off- site rensning og deponering
2. ORDENS KRITERIUM	3. ORDENS KRITERIUM	Opgørelsesmetode				
Emissioner til luft og vand	Drivhusgasudledning (PE)	Livscyklusvurdering	720	815	2094	14012
	Forsuring (PE)	Livscyklusvurdering	899	975	793	2581
	Eutrofiering (PE)	Livscyklusvurdering	1449	2897	734	2489
	Fotokemisk ozondannelse (PE)	Livscyklusvurdering	1451	659	1632	8759
		<i>Summeret (PE)</i>	4519	5347	5253	27841
		<i>Normaliseret score (0-1)</i>	0.16	0.19	0.19	1.00
Økotoksicitet	Økotoksicitet (PE)	Livscyklusvurdering	13520	3316	492	707
		<i>Normaliseret score (0-1)</i>	1.00	0.25	0.04	0.05
Affald	Affald til deponering (inkl. jord)	Projektspecifik opgørelse	0	1242	545	39190
		<i>Normaliseret score (0-1)</i>	0.00	0.03	0.01	1.00
Ressourceforbrug	Råolie (PR)	Livscyklusvurdering	17.6	16.4	16.4	476.7
	Naturgas (PR)	Livscyklusvurdering	16.4	23.3	177.8	46.3
	Uran (PR)	Livscyklusvurdering	30	99.1	10.0	20.4
	Stenkul (PR)	Livscyklusvurdering	22.6	11.8	15.0	6.7
	Brunkul (PR)	Livscyklusvurdering	5.7	20.4	1.5	3.1
	Aluminium (PR)	Livscyklusvurdering	0.28	0.07	0.24	0.11
	Jern (PR)	Livscyklusvurdering	63.5	2.0	1.2	1.1
	Krom (PR)	Livscyklusvurdering	0.88	1.19	2.94	1.08
	Nikkel (PR)	Livscyklusvurdering	7.10	25.84	5.49	2.79
	Kobber (PR)	Livscyklusvurdering	0.37	0.007	0.036	0.009
	Mangan (PR)	Livscyklusvurdering	0.085	0.003	0.002	0.001
	Molybdæn (PR)	Livscyklusvurdering	0.45	0.018	0.025	0.098
	Sand og grus, kvalitet (PR)	Projektspecifik opgørelse	0	0.027	1.5	0
	Sand og grus, ej kvalitet (PR)	Projektspecifik opgørelse	0	0	0	17.5
		<i>Summeret (PR)</i>	165	200.1	232.1	575.8
		<i>Normaliseret score (0-1)</i>	0.29	0.35	0.40	1.00
Jordkvalitet efter oprensning	Biogeokemisk påvirkning af jord	Skala 1-5	1.8	4.3	3.8	3.3
	Påvirkning af terrestrisk miljø	Skala 1-5	1.9	2.2	3.9	4.2
		<i>Summeret</i>	3.7	6.5	7.7	7.5
		<i>Normaliseret score (0-1)</i>	0.21	0.56	0.71	0.69

Tabel 11. Beregning af vægtet normaliseret score for hovedkriteriet Miljø. De vægtede scorer er opnået ved at gange vægten for det enkelte underkriterium med underkriteriets normaliserede score fra Tabel 10. De normaliserede scorer er beregnet ved at løsningsalternativet med den samlede højeste score får en normaliseret score på 1. En normaliseret score på 0 opnås, hvis der ingen påvirkninger er indenfor hovedkriteriet Miljø. Der skaleres lineært mellem disse yderpunkter.

Vægtet score	A1				A2				A3				A4				
	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering	
Vægt	Vægtede scorer								Normaliserede scorer (0-1)								
Emissioner til luft og vand	0.308	0.05	0.06	0.06	0.31	0.07	0.09	0.08	0.45	0.09	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Økotoxicitet	0.308	0.31	0.08	0.01	0.02	0.45	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Affald	0.198	0.00	0.01	0.00	0.20	0.00	0.01	0.00	0.29	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	
Ressourceforbrug	0.127	0.04	0.04	0.05	0.13	0.05	0.06	0.07	0.18	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.18	
Jordkvalitet efter oprensning	0.062	0.01	0.03	0.04	0.04	0.02	0.05	0.06	0.06	0.02	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
		Summeret normaliseret score fra 0-1								0.59	0.32	0.24	1.00	0.59	0.32	0.24	1.00
Følsomhedsscenario - lige vægt af underkriterier:																	
		Summeret normaliseret score fra 0-1								0.44	0.37	0.36	1.00	0.44	0.37	0.36	1.00

Jordkvalitet efter oprensning

A) Biogeokemisk påvirkning af oprenset jord/grundvand

Påvirkningerne skyldes alene de indgreb, der følger af afværgeren. Forureningens påvirkning i sig selv skal ikke inkluderes i vurderingen. Vurder afværgeteknologiernes biogeokemiske påvirkning (ændring af pH, redoxforhold, vandindhold, organisk indhold) af jorden/grundvandet der renses op grundet fx kemikalietilsætning og temperaturændring.

Påvirkninger skyldes afledte effekter i jordmiljøet i de øverste jordlag (ca. ½ meter) som fx udtørring, kemisk påvirkning eller bortgravning af jord

B) Påvirkning af terrestrisk miljø på oprenset lokalitet

Vurder afværgeteknologiernes negative påvirkning af det terrestriske miljø på og i umiddelbar nærhed af den forurenede grund. Med det terrestriske miljø menes land- og jordlevende planter og dyr herunder fx regnorme, mus, svampe, græs, urter, buske, træer.

A og B vurderes på følgende skala:

- 1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning
- 2 - Lille negativ påvirkning
- 3 - Moderat negativ påvirkning
- 4 - Stor negativ påvirkning
- 5 - Meget stor negativpåvirkning

Boks 6. Skala til vurdering af jordkvalitet efter oprensning

Appendiks E – Samfund

I Tabel 12 ses en oversigt over løsningsalternativernes opnåede scorer indenfor de 4 underkriterier under Samfund. For tre af underkriterierne (påvirkning af arealanvendelse, arbejdsmiljø og renommé) er der tale om vurderinger af påvirkningernes omfang på en skala fra 1-5. Skalaerne til disse vurderinger er beskrevet i Boks 7 og Boks 8. I vurderingen af løsningsmetodernes påvirkning af arealanvendelse og arbejdsmiljø er der taget udgangspunkt i ekspertpanelets generelle vurderinger, men disse er modificeret af Region Midtjylland i forhold til de faktiske forhold for anvendelsen af metoderne for Høfde 42. Vurderingen af sundhedseffekter fra løsningsmetoden er baseret på livscyklusvurderingens opgørelser af humantoksiske effekter (se detaljeret resultat fra livscyklusvurderingen i Appendiks F). Vurderingen af metodernes påvirkning af lokalområdets renommé bygger på tilkendegivelser fra interessenterne under den afholdte interessentworkshop. De vægtede normaliserede scorer er beregnet i Tabel 13.

Tabel 12. Beregning af normaliserede scorer for underkriterier indenfor Samfund. For sundhedseffekter er en normaliseret score på 1 (dårligst mulige score) tildelt den løsning, der giver anledning til de højeste samlede humantoksiske udledninger og de øvrige løsnings scorer er skaleret i forhold her til. Påvirkning af arealanvendelse indeholder to underkriterier vurderet på en skala fra 1-5. En summeret score på 2 vil derfor udløse den bedst mulige normaliserede score på 1, mens den dårligst mulige normaliserede score på 1 gives til en summeret score på 10. Arbejdsmiljø og Renommé indeholder hver kun ét underkriterium, hvorfor en score på 1 vil udløse en normaliseret score på nul og en score på 5 vil udløse en normaliseret score på 1. Øvrige scorer skaleres lineært mellem disse yderpunkter.

1. ORDENS KRITERIUM: SAMFUND			A1	A2	A3	A4		
			Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off- site rensning og deponering		
2. ORDENS KRITERIUM	3. ORDENS KRITERIUM	Opgørelsesmetode						
		Påvirkning af arealanvendelse	Under afværge	Skala 1-5	2	3	4.5	4.9
		Efter afværge	Skala 1-5	2	2	2	1	
		Summeret score		4	5	6.5	5.9	
		Normaliseret score (0-1)	0.25	0.38	0.56	0.49		
Sundhedseffekter	Humantoksicitet (cancer)	Livscyklusvurdering	206638	44785	6429	5272		
	Humantoksicitet (non caner)	Livscyklusvurdering	6919	4348	441	1111		
	Summeret score		213556	49132	6870	6384		
	Normaliseret score (0-1)		1	0.23	0.03	0.03		
Arbejdsmiljø	Arbejdsmiljø	Skala 1-5	1.5	3.8	4.0	4.5		
		Normaliseret score (0-1)	0.13	0.70	0.75	0.88		
Renommé	Påvirkning af renommé af område	Skala 1-5	5	2.5	2.5	1		
		Normaliseret score (0-1)	1	0.38	0.38	0		

Tabel 13. Beregning af vægtede normaliserede scorer for hovedkriteriet Samfund. De vægtede scorer er opnået ved at gange vægten for det enkelte underkriterium med underkriteriets normaliserede score fra Tabel 10. De normaliserede scorer er beregnet ved at løsningsalternativet med den samlede højeste score får en normaliseret score på 1. En normaliseret score på 0 opnås, hvis der ingen påvirkninger er indenfor hovedkriteriet Samfund. Der skaleres lineært mellem disse yderpunkter.

Vægtet score		A1	A2	A3	A4	A1	A2	A3	A4
		Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering	Fortsat indeslutning	In situ basisk hydrolyse	In situ termisk oprensning	Afgravning, off-site rensning og deponering
Vægt		Vægtede scorer				Normaliserede scorer (0-1)			
Påvirkning af arealanvendelse	0.26	0.06	0.10	0.14	0.12	0.10	0.15	0.23	0.20
Sundhedseffekter	0.19	0.19	0.04	0.01	0.01	0.30	0.07	0.01	0.01
Arbejds miljø	0.20	0.02	0.14	0.15	0.17	0.04	0.21	0.23	0.27
Renommé	0.36	0.36	0.13	0.13	0.00	0.56	0.21	0.21	0.00
		Summeret normaliseret score fra 0-1				1.00	0.64	0.68	0.47
Følsomhedsscenario: Lige vægt af underkriterier:									
		Summeret normaliseret score fra 0-1				1.00	0.71	0.72	0.59

Skala til vurdering af Påvirkning af arealanvendelse og Arbejds miljø

PÅVIRKNING AF AREALANVENDELSE (RESTRIKTIONER)

A) Under afværge

Vurdér afværgeteknologiernes påvirkning af arealanvendelsen på den grund der renses op UNDER AFVÆRGE. I hvor høj grad sker der afspæring, som hindrer færdsel på området grundet installationer, indhegning mv.

B) Efter afværge

Vurdér afværgeteknologiernes påvirkning af arealanvendelsen på den grund der renses op EFTER AFVÆRGE. Er der restriktioner for anvendelse af grunden fx nedsatte geotekniske egenskaber eller restriktioner på arealanvendelsen.

ARBEJDS MILJØ FOR AFVÆRGEAKTIVITETER

Vurdér graden af potentielle arbejds miljøpåvirkninger for arbejdere på lokaliteten under afværge. Der ses på den samlede potentielle arbejds miljørisici forbundet med etablering, drift og monitoring af afværge anlæg.

For teknikker med off-site behandling/og eller transport af jord inkluderes arbejds miljøpåvirkninger på lokalitet såvel som off-site

SKALA TIL VURDERINGER

- 1 - Ingen nævneværdig negativ påvirkning
- 2 - Lille negativ påvirkning
- 3 - Moderat negativ påvirkning
- 4 - Stor negativ påvirkning
- 5 - Meget stor negativ påvirkning

Boks 7. Skala til vurdering af underkriterierne Påvirkning af arealanvendelse og Arbejds miljø

Skala til vurdering af påvirkningen af lokalområdets renommé

PÅVIRKNING AF LOKALOMRÅDETS RENOMMÉ

Vurdér graden af afværgeteknologiernes positive påvirkninger af lokalområdets renommé i forhold til den nuværende situation som følge af behandlingen.

SKALA TIL VURDERINGER

- 1 - Meget stor positiv påvirkning
- 2 - Stor positiv påvirkning
- 3 - Moderat positiv påvirkning
- 4 - Lille positiv påvirkning
- 5 - Ingen nævneværdig positiv påvirkning

Boks 8. Skala til vurdering af underkriteriet Renommé

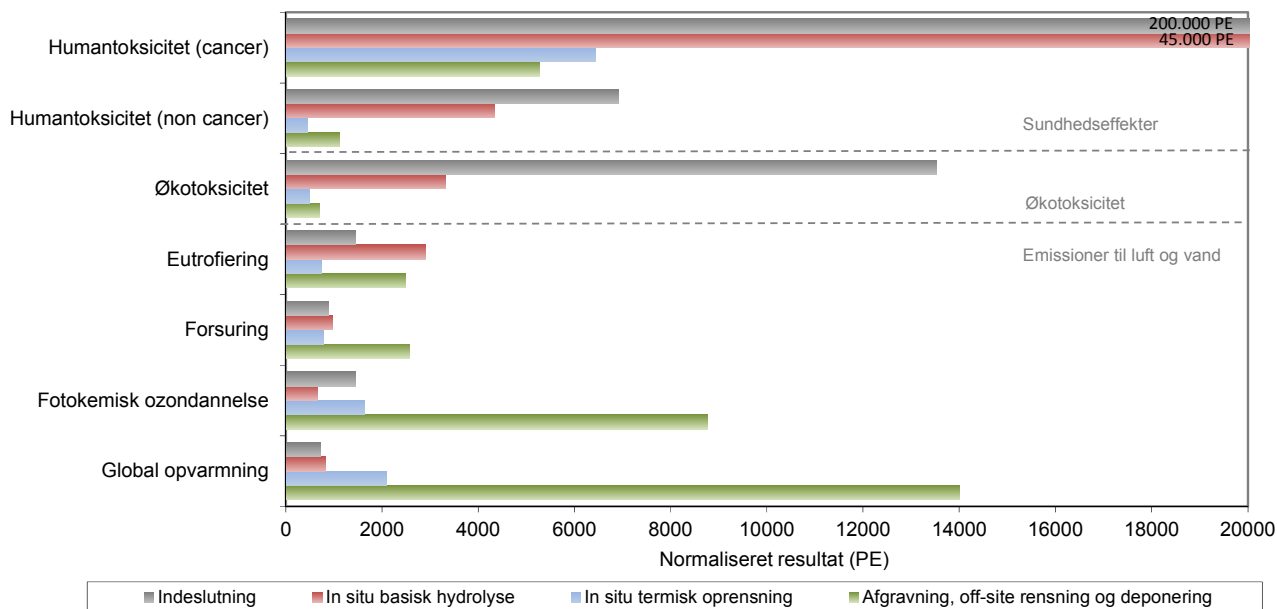
Appendiks F – Resultat af livscyklusvurderinger

Der er udført en livscyklusvurdering for hvert af de fire løsningsalternativer for Høfde 42. Nøgletal for de forbrug af energi og materialer, der ligger til grund for vurderinger er opsummeret i Boks 1-Boks 4 i Kapitel 2 og den fulde oversigt over data til vurderingen ses i Appendix G. Livscyklusvurderingen er udført i softwaren SimaPro version 7.3. De anvendte livscyklusvurderingsmetoder er EDIP2003 (Environmental Design of Industrial Products, Hauschild og Potting, 2005) for non-toksiske effekter og USEtox (Rosenbaum et al., 2008) for toksiske effekter. Resultaterne fra livscyklusvurderingerne præsenteres som normaliserede resultater, dvs. omregnet til personækvivalenter. For ressourceforbrug er resultaterne præsenterede som vægtede forbrug, såkaldte personresserver. Disse er beregnet ved først at omregne til personækvivalenter og derefter at vægte i forhold til den reciproke forsyningshorisont. De anvendte normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer ses i afsnit F.6 herunder

F.1 Sammenligning af livscykluseffekter fra alle løsningsalternativer

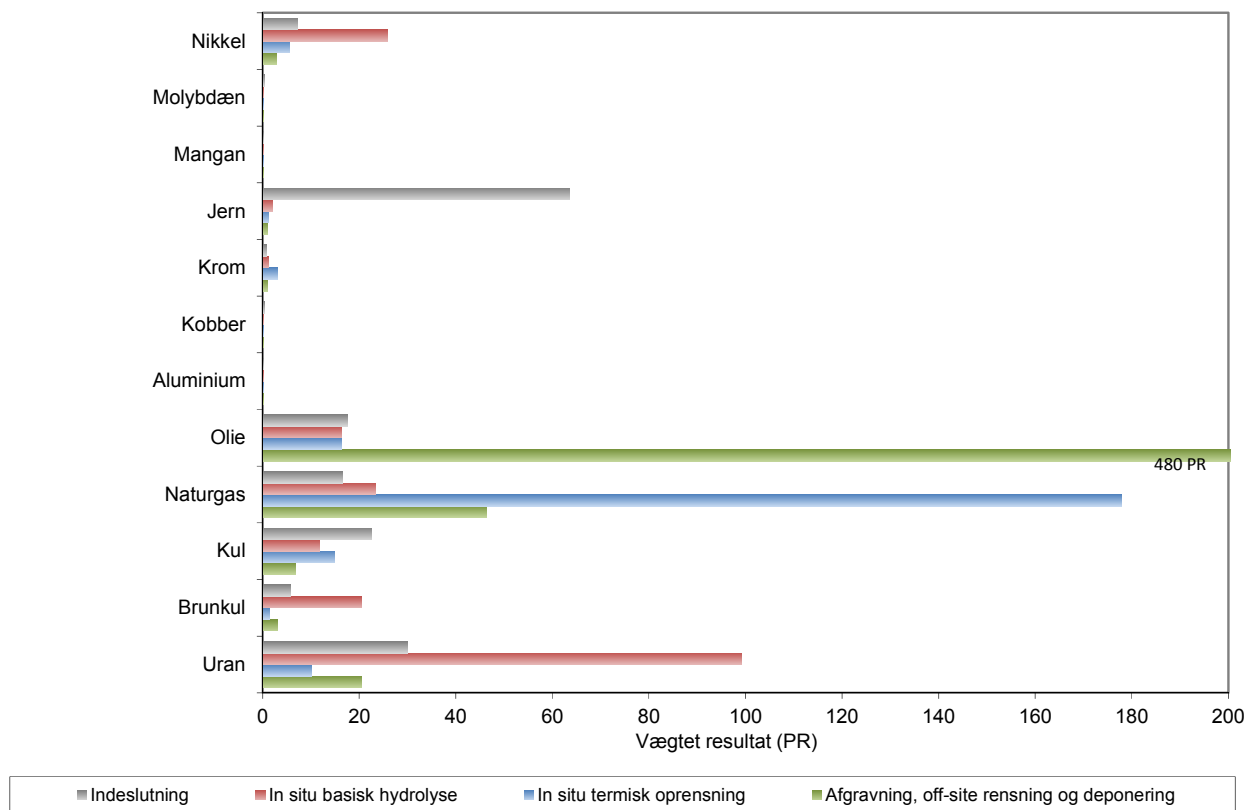
Figur 17 sammenligner resultatet af miljøeffekterne beregnet ved livscyklusvurderingen for de fire løsningsalternativer. De fire non-toksiske effekter (Global opvarmning, fotokemisk ozondannelse, forsuring og eutrofiering) indgår som et samlet underkriterium under Miljø kaldet emissioner til luft og vand. Økotoksicitet indgår ligeledes som et underkriterium under Miljø, mens de humantoksiske effekter indgår i underkriteriet Sundhedseffekter under hovedkriteriet Samfund.

For de non-toksiske miljøeffekter er det tydeligt at afgravningsløsningen har langt de højeste effekter især for global opvarmning, fotokemisk ozondannelse og forsuring. For eutrofiering har basisk hydrolyse den højeste effekt. Fortsat indeslutning har relativt lave miljøeffekter indenfor de non-toksiske effekter, men til gengæld rigtig høje effekter for øko- og humantoksicitet. Dette skyldes at disse effekter genereres under produktionen af stål til spunsvæggen. In situ basisk hydrolyse kræver også relativt store mængder stål til en spunsvæg omkring nedsivningsområdet. Dette, sammenholdt med produktionen af de anvendte kemikalier bidrager til de høje toksiske effekter for denne metode. Livscyklusvurderingsresultaterne uddybes for de enkelte teknikker i afsnit F.2 til F.5 herunder.



Figur 16. Resultat af livscyklusvurdering for de fire løsningsalternativer – Miljøeffekter opgjort i personækvivalenter (PE)

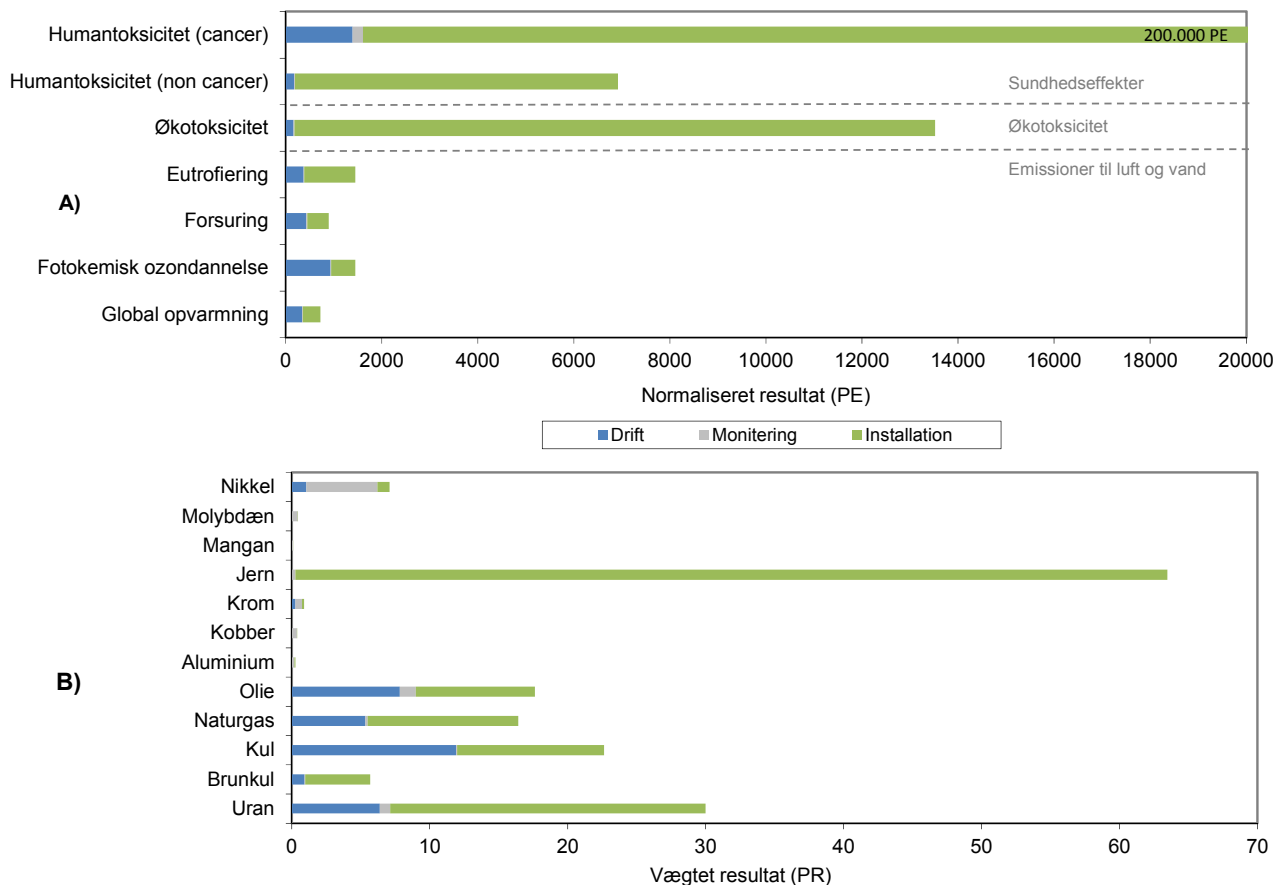
Løsningsalternativernes ressourceforbrug er sammenlignet på Figur 18. Det højeste ressourceforbrug ses ved afgravningsløsningen, hvilket især skyldes forbruget af råolie på 480 PR. Den termiske løsning har det højeste ressourceforbrug for naturgas, mens basisk hydrolyse har et højt vægtet forbrug af uran og fortsat indeslutning især ses at have et højt forbrug af jern.



Figur 17. Resultat af livscyklusvurdering for de fire løsningsalternativer - Ressourceforbrug opgjort i personreserver (PR).

F.2 Detaljeret resultat for indeslutning

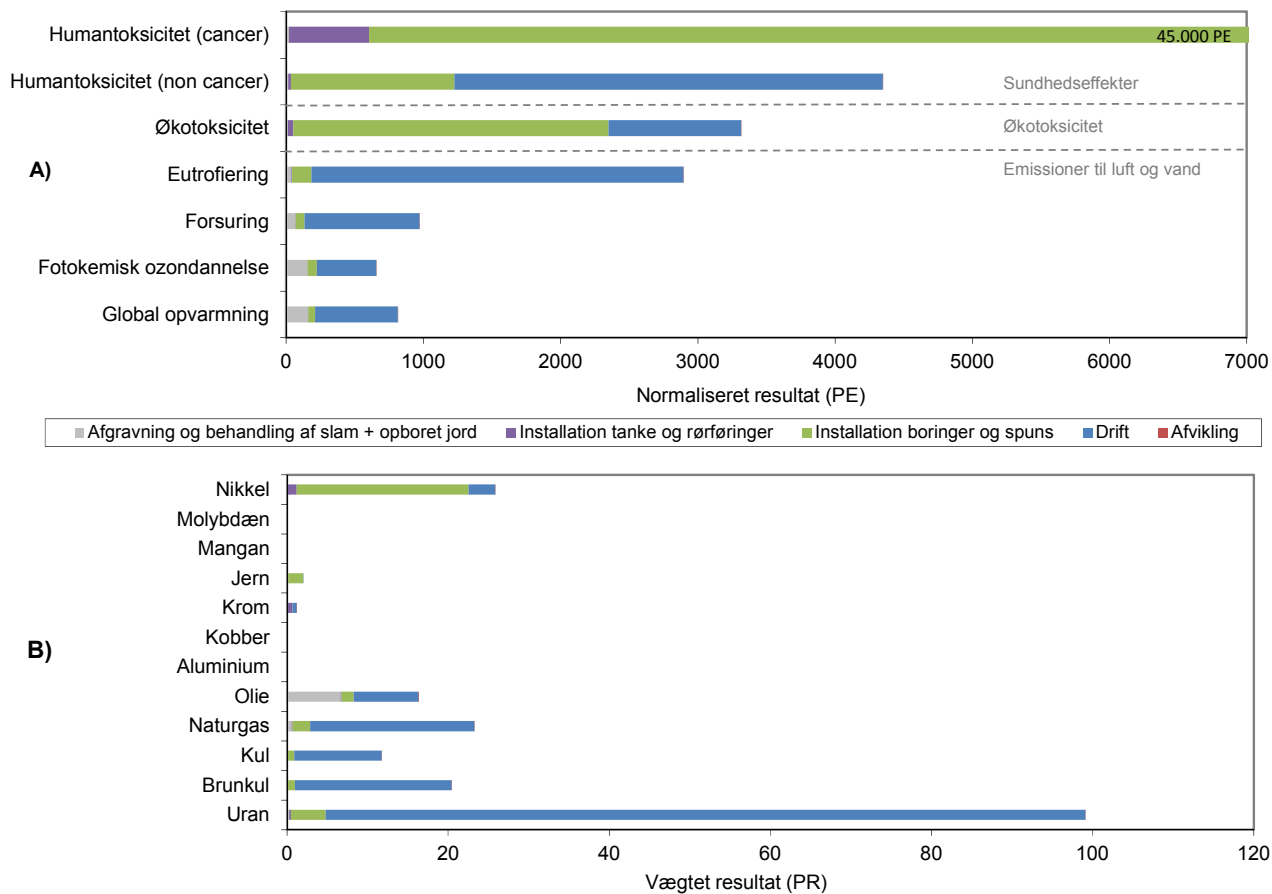
Figur 18 viser bidraget til livscykluseffekter for indeslutningsløsningen opdelt på henholdsvis drift (strømforbrug og forbrug af aktivt kul), monitorering (transport til og fra lokaliteten) og installation (opretholdelse af stålspsunen). Det ses, at især stålforsyningen bidrager til de høje toksiske effekter forbundet med denne løsning. Både driften og stålforsyningen bidrager væsentligt til de non-toksiske effekter. Jern er den ressource der er det største vægtede forbrug af, hvilket skyldes det store forbrug af stål til at opretholde spunsen.



Figur 18. Resultat af livscyklusvurdering for fortsat indeslutning med spuns. A) Miljøeffekter opgjort i personækvivalenter (PE); B) Ressourceforbrug opgjort i personreserver (PR).

F.3 Detaljeret resultat for in situ basisk hydrolyse

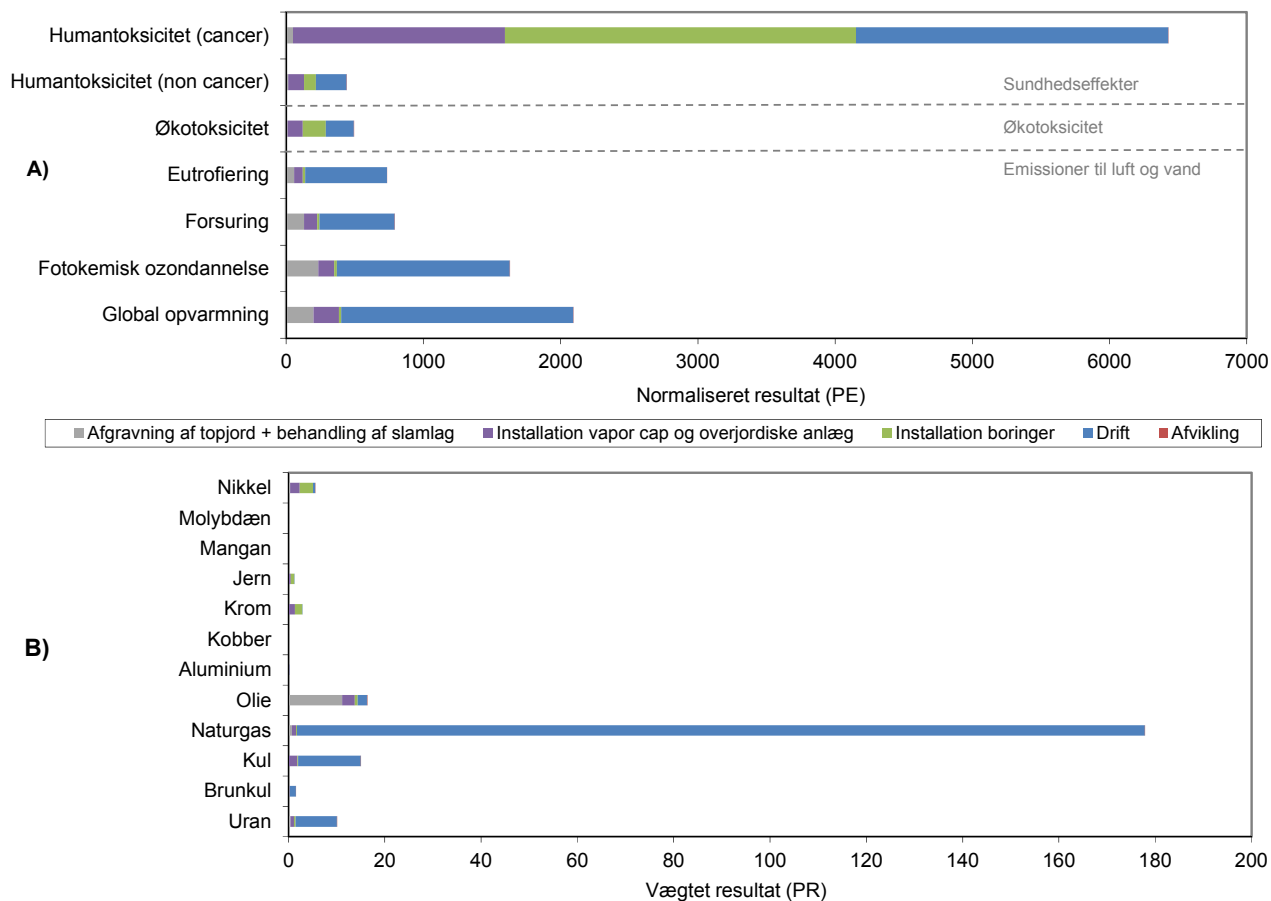
For basiske hydrolyse er det især driftsfasen, der bidrager til effekter (se Figur 19). Dette skyldes især emissioner relateret til produktionen af den store mængde natriumhydroxid, der anvendes til oprensningen. Installationen af en spunsvæg omkring det indre afværgeområde (nedsivningsområdet) giver desuden anledning til høje toksiske påvirkninger grundet produktionsfasen for stålen. Der ses et højt vægtet forbrug af uran ved denne løsningsmetode. Dette skyldes at den anvendte natriumhydroxid produceres i lande, hvor atonkraft udgør en betydelig andel af elsammensætningen.



Figur 19. Resultat af livscyklusvurdering for in situ basisk hydrolyse. A) Miljøeffekter opgjort i personækvivalenter (PE); B) Ressourceforbrug opgjort i personreserver (PR).

F.4 Detaljeret resultat for in situ termisk oprensning

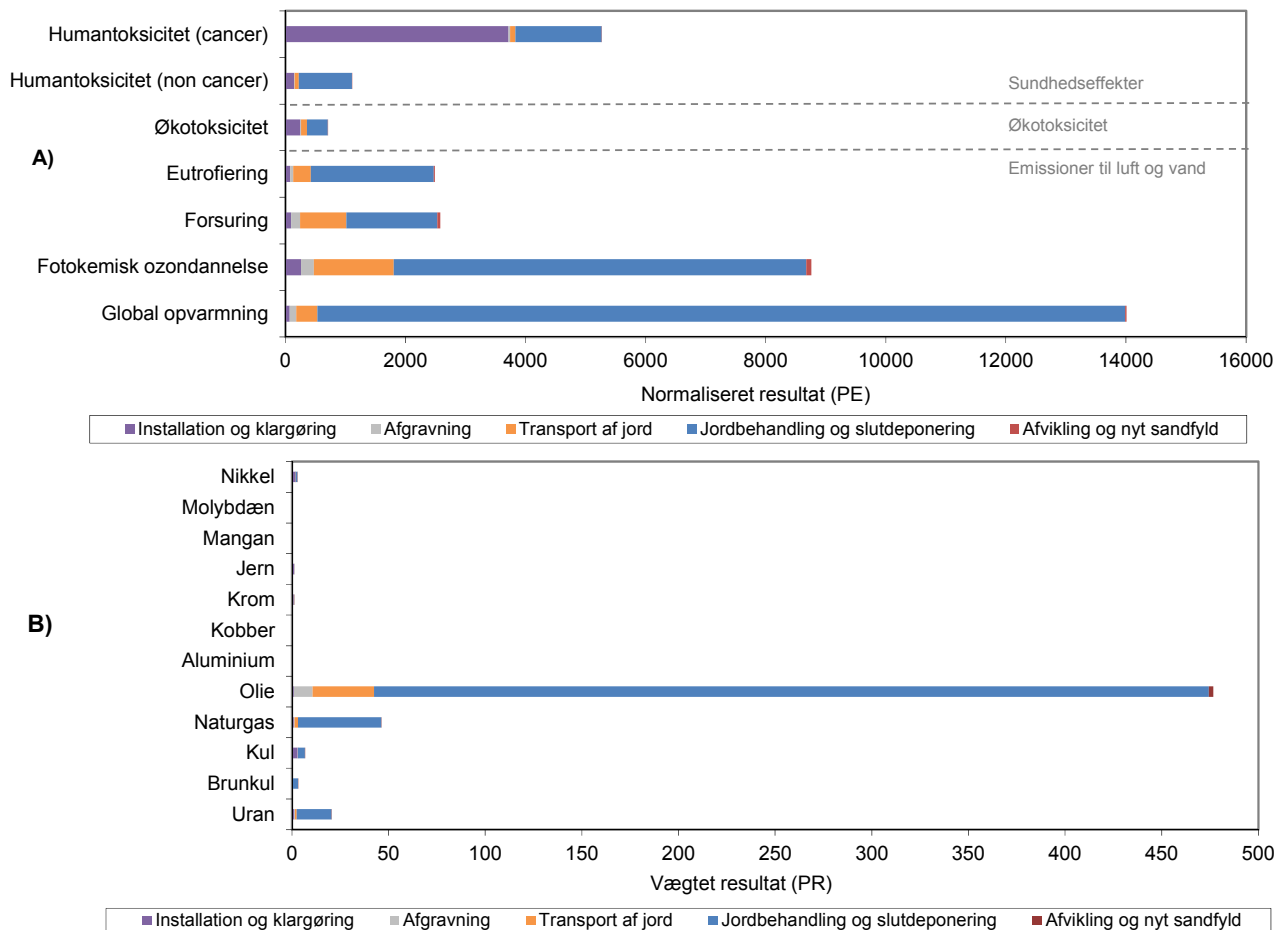
Som det ses på Figur 20 er det (ligesom for basisk hydrolyse) især driftsfasen der bidrager til miljøeffekter ved den termiske oprensning. Driftsfasen bruger en stor mængde naturgas til produktion af damp og til termiske oxidizer, der destruerer de opsamlede dampe. Der ses desuden et væsentligt bidrag fra den indledende afgravning af topjorden samt fra de vapor cappen. Stål fra boringer bidrager desuden til toksiske effekter.



Figur 20. Resultat af livscyklusvurdering for in situ termisk oprensning. A) Miljøeffekter opgjort i personækvivalenter (PE); B) Ressourceforbrug opgjort i personreserver (PR).

F.5 Detaljeret resultat for afgravning, off-site rensning og deponering

Den primære årsag til de høje miljøeffekter og ressourceforbrug for denne løsning er jordbehandlingen, som kræver en stor mængde energi (se Figur 21). Deruover ses også nævneværdige bidrag fra afgravning og transport af jorden.



Figur 21. Resultat af livscyklusvurdering for afgravning, off-site rensning og deponering. A) Miljøeffekter opgjort i personækvivalenter (PE); B) Ressourceforbrug opgjort i personreserver (PR).

F.6 Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer

De viste resultater for miljøeffekter er normaliseret i forhold til påvirkningen fra en gennemsnitseuropæer. For global opvarmning er normaliseringsreferencen baseret på en gennemsnitlig verdensborger, da denne effekt er global (se Tabel 14). Ressourceforbruget er normaliseret i forhold til forbruget fra en gennemsnits verdensborger og vægtes i forhold til den globale forsyningshorisont. Dog er forbruget af lokale mineralske råstoffer (sand og grus) normaliseret i forhold til det gennemsnitlige forbrug i regionen (Region Midt). De anvendte normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for ressourcer ses i Tabel 14.

Tabel 14. Oversigt over anvendte normaliseringsreferencer (Laurent et. At, 2011a, Laurent et al. 2011b) for miljøeffekter samt anvendte normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for ressourcer (LCA Center, 2005). Normaliseringsreferencen for lokale råstoffer (sand og grus) er baseret på det gennemsnitlige forbrug pr indbygger i Region Midtjylland (Danmarks Statistik, 2014). CTU=comparative toxic units

	LCIA metode	Normaliserings-referencen	Enhed	Region	År	Vægtningfaktor (reciprokke forsyningshorisont)
Miljøeffekter						
Global opvarmning	EDIP2003	7728	kg CO ₂ eq/pers/år	Global	2004	
Fotokemisk ozondannelse ^{a)}	EDIP2003	2,84	person.ppm.h/pers/år	EU27	2004	
Forsuring	EDIP2003	392	m ² /pers/år	EU27	2004	
Eutrofiering ^{b)}	EDIP2003	44	kg NO ₃ ⁻ /pers/ år	EU27	2004	
Økotoksicitet	USEtox	4744	CTU _e /pers/ år	EU27	2004	
Humantoksicitet, non cancer	USEtox	8,16 E-04	CTU _h /pers/ år	EU27	2004	
Humantoksicitet, cancer	USEtox	4,97E-05	CTU _n /pers/ år	EU27	2004	
Ressourceforbrug						
Uran		0,00562	kg/pers/år	Global	2004	0,0102
Brunkul		264	kg/pers/år	Global	2004	0,00393
Kul		602	kg/pers/år	Global	2004	0,00804
Naturgas		353	kg/pers/år	Global	2004	0,015
Olie		606	kg/pers/år	Global	2004	0,0239
Aluminium		4,52	kg/pers/år	Global	2004	0,00678
Kobber		2,27	kg/pers/år	Global	2004	0,0309
Krom		0,826	kg/pers/år	Global	2004	0,0212
Jern		98	kg/pers/år	Global	2004	0,00781
Mangan		1.72	kg/pers/år	Global	2004	0,0289
Molybdæn		0,0217	kg/pers/år	Global	2004	0,0162
Nikkel		0,219	kg/pers/år	Global	2004	0,0226
Sand og grus (kvalitet)		11335	kg/pers/år	Regional	2006-2013	0,01
Sand og grus (ej kvalitet)		11335	kg/pers/år	Regional	2006-2013	0,004

^{a)} Ozon formation (human). ^{b)} Normaliseringsreferencen er et vægtes gennemsnit af normaliseringsreferencerne for akvatisk eutrofiering (kg N) og akvatisk eutrofiering (kg P)

F.7 Referencer

- Danmarks statistik (2014). Udtræk fra Danmarks Statistiks hjemmeside <http://www.dst.dk/da/Statistik/emner/miljoe/raastofindvinding.aspx> Maj 2014.
- Hauschild, M.Z. and Potting, J. 2005. Spatial differentiation in life cycle impact assessment - the EDIP-2003 methodology. Environmental news No. 80 2005, Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment.
- Laurent, A., Lautier, A., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I., and Hauschild, M.Z. 2011a. Normalization references for Europe and North America for application with USEtox^(TM) characterization factors. International Journal of Life Cycle Assessment 16, 728-738.
- Laurent, A., Olsen, S.I., and Hauschild, M.Z. 2011b. Normalization in EDIP97 and EDIP2003: updated European inventory for 2004 and guidance towards a consistent use in practice. The International Journal of Life Cycle Assessment 16, 401-409.
- Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., and Hauschild, M.Z. (2008). USEtox-the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. International Journal of Life Cycle Assessment 13, 532-546.

APPENDIKS G - Rådata for de fire løsningsalternativer

Alternativ A1 – Fortsat indeslutning

Forudsætninger vedr. tidsramme mm.		Kommentar	
Tidsramme for opretholdelse af spuns:			
1) Tidsramme (år)	100		Fastsat af Region Midt
Levetid af nuværende spuns (år)	25		Estimeret af Region Midt
1. Installation - løbende forstærkning af spuns			
Materialeforbrug		Kommentar	
Stålspuns:	Pr spuns	Total	
Antal fornyelser	3		
Spunslængde (m)	585		
Spunsdybde (m)	13.8		
Pladetykkelse (mm)	10		COWI (2014)
Vægt af spunsjern pr areal (kg/m ²)	112		COWI (2014)
Total vægt af spunsstål (kg)	904176		
Forbrug af spunsjern (ton) til løbende forstærkning af spuns	904	2713	
Containere til arbejdsplads:			
<i>Container, kontor:</i>		Allokeret (kg)	Allokeret andel (%)
Stål (kg)	825	206.25	25
<i>Container, skurvogn:</i>			
Stål (kg)	2400	600	25
	sum	806.25	
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner		Kommentar	
	Min	Max	
Diesel til nedramning (L/m ² spuns)	0.75	1	Vurdering lavet af Arkil 2014 i forbindelse med COWIs notat omkring fornyelse af spunsen (COWI, 2014)
Dieselforbrug (L)	6055	8073	
Overfladeareal af nedrammet spuns, total (m ²)	24219		
Dieselforbrug til nedramning af ekstra spunsjern (L)	24219		Baseret på max estimat - 1 L pr m ² spuns
Transport		Kommentar	
Transportafstand for stål til spuns (km)	1010		Luxembourg - Thyborøn
Transportafstand for persontransport i forbindelse med spunsning (km tur/retur)	100		
Persontransport i forbindelse med spunsning (besøg i alt)	120		2 pers pr dag x 4 stk spuns
Tidsforbrug (uger)	6		Forbrug til eksisterende spuns
2. Drift: Grundvandssænkning og katodisk beskyttelse			
Materialeforbrug		Kommentar	
Pumper:			
Antal pumper	2		Nuværende pumpeantal
Stål (kg) pr pumpe	10		
Levetid pr pumpe (år)	10		

Total antal pumper	20			
Totalt forbrug (kg)	200			
Vandbehandling:				
Aktivt kul (kg/år)	2000			
Totalt forbrug (tons)	200			
Energiforbrug		total (kWh)		Kommentar
Energiforbrug til grundvandssænkning, pumpning og kulfilter (kWh/år)	10000	1000000		Nuværende forbrug, der pumpes 5000 m ³ /år i gennemsnit
Energiforbrug til katodisk beskyttelse af spuns (kWh/år) Første 15 år	10000	600000		Nuværende forbrug
Energiforbrug til katodisk beskyttelse af spuns (kWh/år) Sidste 10 år	15000	600000		Anslået af Region Midt
Energiforbrug total		2200000		
Transport				
Transport af aktivt kul (km)	100			Anslået lokal transport
3. Monitering				
Transport			Person km	
Transportafstand for persontransport i forbindelse med monitering (km ialt tur/retur)	100			Holstebro
Transportafstand for persontransport i forbindelse med monitering (km ialt tur/retur)	320			Horsens
Transportafstand for persontransport i forbindelse med monitering af katodisk beskyttelse (km ialt tur/retur)	800			København
Besøgsfrekvens for monitering af spuns (besøg pr. år) fra Holstebro	12		120000	
Besøgsfrekvens for monitering af spuns (besøg pr. år) fra Horsens	5		160000	
Besøgsfrekvens for tilsyn med kulhuset (besøg pr. år)	25		250000	
Besøgsfrekvens for tilsyn med katodisk beskyttelse (besøg pr. år)	1		80000	
4. Afvikling af spuns og retablering af landskab				
Spunsen skal ifølge Region Midt ikke tages op. Der er derfor ikke medtaget nogle aktiviteter under afvikling				

Omkostninger				
Forudsætninger				
Tidsramme for scenarium (år)	100			Kommentar
Elpris (kr/kWh)	1.61			Data fra Region Midt
Pris for aktivt kul (kr/ton)	25000			Data fra Region Midt
Omkostninger for opretholdelse af indeslutning	Enhedspris	Totalpris		Kommentar
	kr/år	Kr i alt (100 år)		
Løbende udgifter til opretholdelse af spuns			strøm i alt	
Strømforsøg katodisk beskyttelse år 1-15	7500	450000	1650000	Antages samme forløb for de 4 omgange der installeres spuns
Strømforsøg katodisk beskyttelse år 15-25	11250	450000		Antages samme forløb for de 4 omgange der installeres spuns
Strømforsøg til grundvandssænkning, pumpning og kulfilter	7500	750000		
Monitering på katodisk system, ekstern konsulent	15000	1500000		
Aktivt kul	50000	5000000		
Løbende udgifter, total (100 års scenarium)		8150000		

Entreprenørugifter til installation af spuns	kr/spuns	kr ialt (3 stk spuns)		Anlægsoverslag udarbejdet af COWI
Arbejdsplads inkl etablering af arbejdsveje	1000000	3000000		
Afgravning og genindbygning af samd og stenkastning for afgr. Spuns inkl membranarbejder	1500000	4500000		
Ny afgrænsende spunsvæg inkl ændringer på eksisterende katodiske system	10000000	30000000		
Administration og uforudsete omkostninger ca 20%	2500000	7500000		
Entreprenørugifter total	15000000	45000000		
Totaludgifter til opretholdelse af spuns (100 års scenarium)		53150000		

Alternativ A2 – In situ basisk hydrolyse

Data vedr. forbrug af materialer og el estimeret af Kirsten Rügge, COWI

1. Afgravning af slamlag og behandling af slam					
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner					Kommentar
Afgravning af slamlag:					
Volumen jord over slamlag (m3)	3628				4 meter x 907 m2
Masse jord (tons)	6530.4				
Volumen slamlag (m3)	272.1	total m3	total tons		
Slamlag (tons)	435.36	3900.1	6965.76		
Brændstofforbrug til håndtering af jord:					
		Forbrug (L)			
Brændstofforbrug til afgravning af uforurenet jord (L/m3) og slam	2	7800.2			
Brændstofforbrug til mellemedponering og genindbygning af uforurenet jord (L/m3)	1.2	4353.6			
Total (L diesel)		12153.8			
Off-site processer					
Behandling af slam hos NORD i Nyborg (tons)	435.36				Input og output til proces specificeret af NORD
Deponi på Langöya (tons)	435.36				
Transport					
Transport af slam til NORD (km)	264				Behandles hos NORD i Nyborg
Transportdistance til deponi, skib, (Nyborg-Langöya)	524.9				
2. Installation af boringer og spuns					
Materialeforbrug				Andel allokeret (%)	Kommentar
	Nedsivningsområde	Udenomsområde	Total mængde		
Injektionsboringer:					
Antal injektionsboringer	12	84	96	100	
Dybde af boringer (m)	8.5	8.5		100	
Boringsdiamter (cm) 8" = 20,2 cm	20.2	20.2		100	
Diameter filterrør, 125 mm =12,5 cm	12.5	12.5		100	
Længde filter (stål)	4.5	1.5		100	
Længde blindrør (PEH)	4	7		100	
<i>Materialeforbrug pr boring:</i>					
PEH (kg)	14	24.5	2226	100	3,5 kg/m ved Ø125 mm
Stål	16.3	5.4	653.4	100	Antaget 2,4 lbs/ft, svarer til 3,63 Kg/m, Johnson filter
Sand (kg)	157.5	157.5	15120	100	Antaget 35 kg/m, men kun u vandspejl. Over vandpejl anvendes sand fra lokaliteten
Bentonit	2	2	192	100	Der skal ikke afproppes som ved normale boringer. Bentonitmembran skal tætnes omkring filterrør. Antaget 2 kg/boring

Moniteringsboringer:					
Antal moniteringsboringer	12	84		100	
Dybde af boringer (m)	8.5	8.5		100	
Boringsdiamter (cm) 8" = 20,2 cm	20.2	20.2		100	
Diameter nedre filter, 63 mm =6,3 cm	6.3	6.3		100	
Dybde til nedre filter	8.5	8.5		100	
Diameter øvre filter, 50 mm =5 cm	5	-		100	
Dybde til øvre filter	4	-		100	
<i>Materialeforbrug pr boring:</i>					
PEH (kg) nedre filter	739.5	7.395	9495.18	100	0,87 kg/m ved Ø63 mm
PEH (kg) øvre filter	276	-	3312	100	Antaget 0,69 kg/m ved Ø50
Sand (kg)	157.5	157.5	15120	100	Antaget 35 kg/m, men kun u vs. Over vs anvendes sand fra lokaliteten
Bentonit	2	2	192	100	Der skal ikke afproppes som ved normale boringer. Bentonitmembran skal tætnes omkring filterrør. Antaget 2 kg/boring
Totalmængder til boringer (injektions og moniteringsboringer)					
PEH (kg)	30153.18				
Stål (kg)	653.4				
Sand (kg)	30240				
Bentonit (kg)	384				
Overskudsjord fra boringer (tons) densitet på 1.8 t/m ³			41.8		
Estimeret ud fra sandmængde (tons)			33.3		Opboret forurenede jord u vandspejl bortskaffes til NORD, mængde antaget svarende til forbrug af sand + 20 %
Spuns omkring nedsivningsområdet:					
længde spuns (m)	250			100	
dybde spuns (m)	14			100	
kg jern (x kg/m ²)	392000			100	Antaget 112 kg/ m ²
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner					
	Nedsivnings- område	Udenoms- område	Total		
Dieselforbrug til brøndboring (L) injektionsboringer	192	1344	1536		8 l/time, antaget 6 boringer pr. dag, dvs 16 dage med 6 timers effektiv boretid pr. dag = 32*6 = 192, eller 200 timer (2 rigge)
Dieselforbrug til brøndboring (L)	192	1344	1536		8 l/time, antaget 6 boringer pr. dag, dvs 16 dage med 6 timers effektiv boretid pr. dag = 32*6 = 192, eller 200 timer (2 rigge)
Dieselforbrug til installation af spuns omkring nedsivningsområdet	3920				10 l/tons spunsvæg
Diesel (L) sum	6992				
Transport					
Transportafstand for materialer til boringer (km tur/retur)	200				Forventet at materialer kommer fra Rotek, som ligger i Sdr. Felding
Samlet vægt af materialer til boringer (kg)	46311				

Persontransport (personbil) under installation (besøg pr uge)	1				
Installationstid for boringer (uger)	12				
Transportdistance for persontransport under installation (km tur/retur)	100				antaget fra kontor i Tim eller andet lokalt kontorgns 50 km's afstand, t/r = 100 km
3. Installation af overjordiske anlæg: tanke og rørføringer					
Materialeforbrug				Allokeret andel (%):	Kommentar
Etablering af tanke:					
<i>Ludtank:</i>	Total mængde	Allokeret mængde			
Materiale (20 m3 ståltank) 10 stk (kg)	10000	2500		25	Antaget 1000 kg/tank
<i>Opsamlingsstank:</i>					
<i>Lagertank til NaOH (20 m3 ståltank):</i>	1000	250		25	Antaget 1000 kg/tank
Etablering af rørføringer: (lokal recirkulering, rørføring til Cheminova)					
Længde af rørføringer (m)	2000			100	Antaget PEH rørføring til Cheminova
Materiale, PEH (kg)	4000	2000		50	Antaget Ø90 = 2,0 kg /m
lokal rørføring recirkulation (m)	210				
Materiale, PEH (kg)	183	91.35		50	Antaget Ø63 = 0,87 kg /m
Pumper:					
Stål (kg)	564			100	SQ-1 pumpe 4,9 kg, antaget pumper i alle 96 boringer + 20%
Loggere:					
Stål (kg)	6				Antaget 30 stk. 0,2 kg
Containere:					
<i>Container, kontor:</i>	Total mængde	Allokeret mængde			
Stål (kg)	3900	975		25	40 fods container vægt 3900 kg
<i>Container, skurvogn:</i>					
Stål (kg)	7800	1950		25	
<i>Container, øvrig</i>					
Stål (kg)	4000	1000		25	2 stk. 1 til SRO-anlæg m.m., 1 stk. til div. anden styring
<i>sum (kg)</i>		3925			
Øvrige forbrug til overjordiske installationer og infrastruktur					
Materiale PVC (kg)	2760			100	Diverse slanger, antaget slanger flyttes rundt 10 boringer til hver system af 2 tanke hver 80m antaget vægt slanger svarende til PEH Ø50 = 0,69 kg/m, i alt 4000 m m
Samlet materialeforbrug:					
Stål (kg)	6675				
Rustfri stål (kg)	570				
PEH (kg)	2091				
PVC (kg)	2760				
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner					
Dieselforbrug til installation af tanke og rørføringer (L)	500				Gennemsnitlig 10 l/time, div. forskellige entreprenørmaskiner

					antaget 50 timer
Transport					
Transportafstand for overjordiske materialer (km tur/retur)	100				Kommentar
Samlet vægt af overjordiske materialer (kg)	36423.18				Lokal transportafstand i DK
Tidsforbrug, installation (uger)	12				
Transportdistance for persontransport under installation (km tur/retur)	100				
3. Drift af basisk hydrolyse inkl. injektion, pumpning og rensning i Cheminovas renselanlæg					
Materialeforbrug					
On site:					
Forbrug af natriumhydroxid (natronlud) (kg)	3130400				8 udskiftninger a 419 m ³ =3354 m ³ konc., dens 1,3 kg/l
Andre forbrug, natriumsulfit? (kg)	4824				ved 8 gange
Vandhanevand (m ³)	45752				Til fortynding af NaOH
Off-site forbrug til spildevandsrensning hos Cheminova					
Se separat tabel					
Energiforbrug					
On site:					
Elforbrug til injektion (kWh)	8400				SQ1: 0,7 kW 5 stationer i 8*30 dage a 10 timer =8*5*30*10 = kWh kun 5 injektionsstationer, 10 timer pr. døgn
Elforbrug til evt recirculation (kWh)	168				3 dage pr cyklus 6 borer, 10 t pr døgn
Total vandmængde, der sendes til rensning hos Cheminova (m ³)	66308				8 dræninger af 8284+3 * havvand
Elforbrug til oppumpning og pumpning til renselanlæg (kWh)	162960				dræning i alle 97 borer i 30 døgn pr. cyklus 10 timer pr døgn
Total (kWh)	171528				SQ1: 0,7 kW 1 pumpe i hver boring + 1 ekstra
Off-site forbrug til spildevandsrensning hos Cheminova					
Se separat tabel					
Transport					
Persontransport (personbil) under drift (besøg pr år)	6				Skal køre i 8 år. 6 besøg pr år
Driftstid (uger)	416				
Transportdistance for persontransport under drift (km tur/retur)	100				
Transport af natronlud(tkm)	313040				Transport er med i proces, 600 km tog og 100 km lastbil. 100 km ekstra inkluderet
4. Afvikling af anlæg og retablering af landskab					
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner					
Kommentar					
Dieselforbrug til optagning af borer (L)	384				
Dieselforbrug til nedtagning af tanke, rør mv (L)	500				
Dieselforbrug til retablering af landskab (L)	1200				10l/h * 4 uger * 30 t/uge
Dieselforbrug til optrækning af spuns omkring nedsivningsområdet					Spunsen efterlades
Total (L)	2084				
Transport					
Kommentar					
Persontransport (personbil) under afvikling (besøg pr uge)	1				
Tidsforbrug, afvikling (uger)	16				

Transportdistance for persontransport under afvikling (km tur/retur)	100				
Tidsforbrug					
Tidsramme for basisk hydrolyse:					Kommentar
Tidsforbrug, installation (uger)	12				
Tidsforbrug, drift afværge (uger)	416				8 år
Tidsforbrug, drift - rensning på Cheminova (uger)					
Tidsforbrug, afvikling (uger)	16				
Totalt tidsforbrug (uger)	444				8,5 år
Omkostninger					
Rådgiver:	Mio. kr				
Procesdesign	2.1				
Monitering	4.4				
Afsluttende dokumentation	2				
Projektstyring og afrapportering	5.8				
I alt	14.3				
Entreprenørudgifter:					
Afgravning af slamlag	3				Rensning : 2.2 mio. , afgravning 0.8
Klargøring af oprensingsområde	5.5				
Borearbejde inkl. etablering af boringer	1.92				Antaget gennemsnitlig kr. 10000 pr boring incl materialer og boretilsyn, måske lidt højt sat (prisen inkluderer både boringer med Johnsonfiltre og moniteringsboringer med hhv. 1 og 2 filtre.
Etablering af tanke og rørføringer	1.4				
optrækning af spuns omkring testceller	0				
Pumper	2.2				
Spuns omkring nedsivningsområde	7.5				
Dræning og infiltration	11.2				
Neutralisering	4.2				
Drift af anlæg	2				
Monitering	1.9				
I alt	37.8				
Øvrige omkostninger:					
Kemikalieforbrug (NaOH)	4.7				Antaget 1.5 kr pr kg ved storkøb
Kemikalieforbrug (Natriumsulfit)	0.0				Antaget kr. 1000 pr 1000 kg
Forbrug af vand	1.8				40 kr pr m3
Elforbrug	0.3				1.61 kr pr kWh
Omkostninger til rensning hos Cheminova, etablering	12.0				Antaget 1 mio til etablering af ekstra udstyr
Rensning, pris pr m3: 100 kr	6.5				
Faste omkostninger, 1.2 mio kr pr år	10.8				
Øvrige omkostninger i alt	36				
Totale omkostninger	91				

Behandling af spildevand hos Cheminova					
---	--	--	--	--	--

Materialeforbrug		Kommentar
Forbrug pr m3 spildevand der renses		
Natriumhydroxid (kg)	4	Estimeret af Cheminova (2014)
Saltsyre (kg)	6	Estimeret af Cheminova (2014)
Energiforbrug		Kommentar
Forbrug pr m3 spildevand der renses		
Dampforbrug til opvarmning af spildevand (kg)	40	Estimeret af Cheminova (2014)
Elforbrug (kWh)	3	Estimeret af Cheminova (2014)
Emissioner og restprodukter		
Emissioner pr m3 spildevand der renses		
Restprodukt fra spildevandsrensning (vådslam) . Sendes til deponi på Langöya	13	Baseret på nuværende slamproduktion pr m3 behandlet spildevand (Cheminova, 2014)
Emissioner til havet fra spildevandsrensning (kg/m3)		Baseret på Cheminovas gennemsnitlige årlige udledninger (2012 og 2013). Fra Cheminovas grønne regnskab (Cheminova, 2013)
Total fosfor	0,0043	
Arsen	0,00010	
Nikkel	2,1E-05	
Halogenerede organiske forbindelser, AOX	0,00215	
Total kvælstof	0,0165	
Cadmium	9,4E-08	
Chrom	5,2E-06	
Kviksølv	1,1E-07	
Zink	1,2E-05	
Phenoler	6,0E-05	
Total organisk kulstof, TOC	0,028	

Alternativ A3 – In situ termisk oprensning med damp

Data vedr. forbrug af materialer og energi estimeret af Steffen G. Nielsen, TerraTherm/Niras.

1. Afgravning af topjord og slam samt behandling af slam				
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner				Kommentar
Afgravning til kote +1 og slam				
Volumen jord (m3)	60000			
Masse jord (tons)	108000			
Volumen slamlag (m3)	272.1			
Slamlag (tons)	435.36			
Brændstofforbrug til håndtering af jord:				
		Forbrug (L)		
Brændstofforbrug til afgravning af uforurenet jord (L/m3) og slam	2	120544.2		
Brændstofforbrug til mellemdeponering og genindbygning af uforurenet jord (L/m3)	1.2	72000		
Total (L diesel)		192544.2		
Off-site processer				
Behandling af slam hos NORD i Nyborg (tons)	435.36			Input og output til proces specificeret af NORD, se under Alternativ A4.
Deponi på Langöya (tons)	435.36			Input og output til proces ses under Alternativ A4.
Transport				Kommentar
Transport af slam til NORD (km)	264			Behandles hos NORD i Nyborg
Transportdistance til deponi, skib, (Nyborg-Langöya)	524.9			
1. Installation af borer/well field				
Materialeforbrug				Kommentar
	Nedsivningsområde	Udenfor nedsivningsområde	Bund	total
Injektionsboringer:				
Antal injektionsboringer	36	157	193	386
Dybde af borer (m)	7.50	7.50	8.5	
<i>Materialeforbrug pr boring:</i>				
Rustfri stål (kg)	7.07	1.41	1.41	749.5 5
Stål (kg)	33.81	44.69	50.12	1790 6.65
Sand (kg)	66.86	13.37	13.37	7087. 39
High temperature grout (kg)	194.50	272.30	311.20	1098 14.70
Ekstraktionsboringer:				
Antal ekstraktionsboringer	15	44		59
Dybde af borer (m)	7.50	7.50		
<i>Materialeforbrug pr boring:</i>				total
Rustfri stål (kg)	22.03	5.51		572.9 5

Stål (kg)	75.85	124.06		6596.39	
Sand (kg)	160.47	40.12		4172.26	
High temperature grout (kg)	204.23	379.28		1975.177	
Moniteringsboringer:					
Antal moniteringsboringer	0				
Dybde af boringer (m)	0.00				
<i>Materialeforbrug pr boring:</i>					
Rustfri stål (kg)	0.00		100		
Stål (kg)	0.00		100		
Sand (kg)	0.00		100		
High temperature grout (kg)	0.00		100		
Temperature monitors:					
Antal	50.00				
Dybde af boringer (m)	7.50				
<i>Materialeforbrug pr boring:</i>					
Rustfri stål (kg)	0.00		100		
Stål (kg)	32.25	1612.50	100		
Sand (kg)	0.00	0.00	100		
High temperature grout (kg)	61.54	3077.00	100		
Manifolds:					
<i>Water system manifold:</i>		Allokeret mængde			
Stål (kg)	3262.0	1630.995	50		
<i>Main manifold, 6":</i>					
Glasfiber (kg)	1698.0	848.98	50		
<i>Steam manifold, 3":</i>					
Stål (kg)	6774.1	3387.067	50		
Pumper:					
Stål (kg)	672.4	672.374	100		83 pumpeboringer - ca 8 kg pr pumpe
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner		liter/hr	total forbrug (l)		Kommentar
Dieselforbrug til brøndboring (hr)	820	8	6560		
Dieselforbrug til installation i øvrigt (hr)					
Bob cat (hr)	140	8	1120		
Fork lift (hr)	215	8	1720		
Welder (hr)	103	5	515		
Totalt forbrug (L)			9915		
Transport					
Transportafstand for materialer til wellfield (km tur/retur)					
	100				
Samlet vægt af materialer til wellfield (kg)					
	184306				
Persontransport (personbil) under installation (besøg pr uge)					
	15				Estimeret 3 biler dagligt

Installationstid for wellfield (uger)	13				64 dage - 5 dage per uge
Transportdistance for persontransport under installation (km tur/retur)	100				
Antal returture	192				
personkilometer	19200				
3. Installation af overjordiske anlæg, infrastruktur og vapor cap					
Materialeforbrug					Kommentar
Behandlingsanlæg, luft:					
<i>Væskeudskiller:</i>		Allokeret mængde(kg)	Allokeret andel (%)		
Stål (kg)	8000	400	5		Skaleret fra Reerslev
<i>SVE container:</i>					
Container - Stål (kg)	4800	480	10		Skaleret fra Reerslev
Blower - Stål (kg)	400	100	25		Skaleret fra Reerslev
<i>Thermal oxidizer:</i>					
Thermal oxidizer - stål (kg)	15500	2325	15		
<i>Scrubber:</i>					
Scrubber - Stål (kg)	3380	507	15		
Behandlingsanlæg, vand:					
<i>Water container:</i>					
Container - Carbon steel (kg)	1650	412.5	25		Skaleret fra Reerslev
Pumper - Rustfri stål (kg)	1400	700	50		Skaleret fra Reerslev
Heat exchanger water - Rustfri stål (kg)	250	125	50		Skaleret fra Reerslev
<i>Dry cooler:</i>					
Stål (kg)	8000	4000	50		Skaleret fra Reerslev
<i>Storage tank:</i>					
Stål (kg)	5000	1250	25		Skaleret fra Reerslev
<i>Free product tank:</i>					
Stål (kg)	250	62.5	25		Skaleret fra Reerslev
<i>Buffer tanks:</i>					
Container - Stål (kg)	4800	1200	25		Skaleret fra Reerslev
Buffer tank - PE (kg)	1880	470	25		Skaleret fra Reerslev
Containere:					
<i>Container, kontor:</i>					
Stål (kg)	825	206.25	25		Skaleret fra Reerslev
<i>Container, skurvogn:</i>					
Stål (kg)	2400	600	25		Skaleret fra Reerslev
<i>Container, electric input control:</i>					
Stål (kg)	4800	1200	25		Skaleret fra Reerslev
Blødgøringsanlæg:					
Blødgøringsanlæg - Stål (kg)	0	0	15		Skaleret fra Reerslev
Dampgenerator - Stål (kg)	24800	3720	15		
Vapor cap:					

Tykkelse (m)	0.254				
Areal (m ²)	19341				
Densitet af materiale (kg/m ³)	430				
Skumbeton (kg)	2112424		100		
Øvrige materialer					
Kabler, el (kg)	109	27.25	25		Forudsat 300 m 4/0 kabel i alt
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner		Liter/hr	Total forbrug (L)		Kommentar
Bob cat (hr)	88	8	704		
Fork lift (hr)	167	8	1336		
Total			2040		
Transport					
Transportafstand for overjordiske materialer (km tur/retur)	100				Gæt. Viborg er mindre end 100 km væk og en rimelig stor by. One-way. Afhænger af hvem der vinder entreprisen.
Samlet vægt af overjordiske materialer (kg)	69709				Vapor cap ikke medregnet
Persontransport (personbil) under installation (besøg pr uge)	15				Estimeret 3 biler dagligt
Installationstid for overjordiske anlæg (uger)	35				176 dage - 5 dage per uge
Transportdistance for persontransport under installation (km tur/retur)	100				Gæt. Nogle bor lokalt, andre kommer fra et kontor længere væk. One-way.
3. Drift af termisk anlæg og behandlingssystem					
Materialeforbrug					
Vandforbrug til dampgenerering (m ³)	28510				62.797.000 lbs damp injiceret.
Scrubber vandforbrug (m ³)	7847				5 gpm i gennemsnit er antaget. Afhænger af syredannelsen.
Totalt vandforbrug (m ³)	36357				
I alt oppumpet (m ³)	34302				Kun damp injiceret over det indskudte lerlag opsamles. Forudsat 5% net ekstarktion. Forudsat at al vand over indskudt lerlag udskiftes 1.5 gang for at flusher syrer ud.
Forbrug af aktivt kul (kg)	112774				3*mængde ift nuværende på 1.09 kg/m ³
Energiforbrug					
Naturgasforbrug til dampkedel (MM BTU)	89015		MM BTU = 1E6 BTU		1134 BTU/lbs damp
Naturgasforbrug til oxidizer (MM BTU)	49230				1027 BTU/cf naturgas
Elforbrug, behandlingssystem (kWh)	2808000				360 kW for behandlingssystem og 73 kW for dampkedel
Transport					
Persontransport (personbil) under drift (besøg pr uge)	5				En bil 5 gange ugentligt
Driftstid (uger)	41				288 dage - 24/7 drift
Transportdistance for persontransport under drift (km tur/retur)	20				Bor i nærliggende by. One-way.
4. Afvilkning af anlæg og retablering af landskab					
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner		Liter/hr	Total forbrug (L)		Kommentar
Bob cat (hr)	68	8	544		
Fork lift (hr)	113	8	904		

Borerig (hr)	210	8	1680		
Total (L)			3128		
Transport					Kommentar
Persontransport (personbil) under afvikling (besøg pr uge)	15				3 biler 5 gange ugentligt
Tidsforbrug, afvikling (uger)	11				55 dage - 5 dage per uge
Transportdistance for persontransport under afvikling (km tur/retur)	20				Bor i nærliggende by. One-way.
5. Diverse					
Tidsramme for termisk oprensning:					Kommentar
Tidsforbrug, installation (uger)	58.8				64 dage borearbejde og 176 dage installation - 5 dage ugentligt
Tidsforbrug, drift (uger)	41				298 dage - 7 dage ugentligt
Tidsforbrug, afvikling (uger)	14				55 dage - 5 dage ugentligt
Totalt tidsforbrug (uger)	114				Design og afrapportering er ikke medtaget
Totalt tidsforbrug (år)	2.2				
Afværgeomkostninger:					Kommentar
Rådgiver:	Mio. kr				
Procesdesign	2				
Monitering	1.2				Forundersøgelser ikke medregnet (forudsat at de er gennemført)
Projektstyring og afrapportering	0.3				
Afsluttende dokumentation (1 prøve pr 25 m3)	2				Som for basisk hydrolyse
<i>I alt</i>	5.5				
Entreprenøruddgifter:					
Monitering	1				
Klargøring af oprensningsområde	1				
Borearbejde inkl. etablering af boringer	8				
Rørtraceer inkl. måleudstyr	10				
Damp- og vakuumanlæg	28				
Luft- og vandrensning	10				
Drift af anlæg	8				
<i>Entreprenør total</i>	66				
Øvrige omkostninger:					
Aktivt kul	2.8				Baseret på enhedspris 25000 kr/ton
Elforbrug	2.8				Elpros på 1 kr/kWh. Forudsætter afgiftsfrigørelse
Omkostninger til dampgenerering	22				Enhedspris: .75 kr/kg genereret damp
Afgravning af topjord og slamlag	6				Skaleret ift estimater for afgravning 2007
Rensning af slamlag hos NORD	2.2				Baseret på enhedspris 5100kr/ton
Totale omkostninger	107				

Alternativ A4 – Afgravning, off-site rensning og deponering

1. Installation/klargøring (forstærkning af spuns, grundvandssænkning mv).				
Materialeforbrug			Allokere t andel (%)	Kommentar
Stålspons:				
Forbrug af spunsjern (kg)	44436		100	Spunsafstivninger (ankerplader, ankerbolte og skrå stålpæle). Antages ekstra 5 % ekstra stål i forhold til eksisterende forbrug til hele væggen
Pumper:				
Antal	38			Skaleret i forhold til det antal, der anvendes nu
Stål (kg) pr pumpe	10			
Stål (kg) i alt	380		100	
Vandbehandling:				
Aktivt kul (kg) i alt	76712			Til rensning af 70.000 m3 vand. Mængden af aktivt kul er beregnet ved skalering i forhold til det til nuværende forbrug på 2000 kg kul pr år ved en årlig oppumpning på 1825 m3 for den eksisterende spunsvæg.
Vandbehandlingskapacitet (m3/h)	10			
Vandbehandlingskapacitet (m3/år)	87600			
Containere:				
<i>Container, kontor:</i>		Allokeret (kg)	Allokere t andel (%)	
Stål (kg)	825	206.25	25	
<i>Container, skurvogn:</i>				
Stål (kg)	2400	600	25	
	Total	806.25		
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner				
Kommentar				
Dieselforbrug til nedramning af spunsafstivninger (ankerplader, ankerbolte og skrå stålpæle) (L)	444.36			Erfaringstal Aarslef A/S: 10 L/ton spuns
Afgravning af terænet bag spuns ned til toppen af spuns (m3 sand)	4000			Nævnt p. 13 i rapport fra COWI (2007). Mængde anslået af Region Midt
Dieselforbrug til afgravning og genindbygning (L)	12800			
Energiforbrug				
Kommentar				
Grundvandsvolumen øvre magasin(m3)	35000			Volumen baseret på COWI (2007). Grundvand antages sænket fra kote +1 til -3. Infiltrerende vand under afgravning medregnet
Grundvandsvolumen nedre magasin (m3)	35000			Volumen baseret på COWI (2007). Grundvand antages sænket fra kote +1 til -3. Infiltrerende vand under afgravning medregnet
Total vandmængde der pumpes (m3)	70000			
Pumpeeffekt (kW)	43.79			
Tidsforbrug til oppumpning (h)	7000			
Energiforbrug til oppumpning og behandling i kulfilter (kWh)	306499			
Transport				
Kommentar				
Transportafstand for materialer til spuns, boringsmaterialer, aktivt kul (km tur/retur)	100			Lokal transportafstand i DK
Vægt af materialer (kg)	102155.3			Stål, kul, containere. Stål køres ikke retur
Lastbiltransport (tkm)	10215.5			
Person transport (personbil) under	1			

Installation/klargøring(besøg pr uge)				
Tidsforbrug til installation/klargøring (år)	0.80	9.6	mdr	Tømningen af spunsen kan reelt gøres hurtigere ~0.5 år
Transportdistance for persontransport under fase 1 (km i alt tur/retur)	100			
Persontransport (personbil) under Installation/klargøring (pkm)	4155			
2. afgravning af jord, genindbygning af uforurenede materialer				
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner				Kommentar
Mængder af jord der skal håndteres:				
Afgravningsvolumen - Uforurennet jord (fra terræn til kote +1) (m3)	60000			Fra COWI (2007)
Afgravningsvolumen - Forurennet jord (kote +1 til -3) (m3)	27246			Baseret på Region Midtjylland (2013)
Genindbygning - uforurennet jord (m3)	60000			
Densitet af jord (ton/m3)	1.8			Cowi (2013)
Brændstofforbrug til håndtering af jord:		Forbrug (L)		
Brændstofforbrug til afgravning af uforurennet jord (L/m3)	2	120000		Baseret på COWI (2007)
Brændstofforbrug til mellemdponering og genindbygning af uforurennet jord (L/m3)	1.2	72000		Erfaringstal fra Arkil
Brændstofforbrug til afgravning af forurennet jord (L/m3)	2	54491		Baseret på COWI (2007)
Total (L diesel)		246491		
Transport				
Total mængde jord til håndtering (afgravning og genindfyldning) (m3)	147246			
Total mængde jord til håndtering (afgravning og genindfyldning) (tons)	265042			
Tidsforbrug til afgravning og genfyldning (uger)	133			2000 tons/uge (i rapport fra 2007 er der anvendt hhv 1000 og 3000 tons/uge)
Persontransport (personbil) under afgravning og indbygning (besøg pr uge)	30			6 mand, 5 dage pr uge
Transportdistance for persontransport under afgravning og indbygning (km tur/retur)	100			
Persontransport (personbil) under afgravning og indbygning (personkm)	397563			
3. Transport af jord				
Transport				
Mængde jord til behandling (ton)	48988			
Transportdistance for forurennet jord til behandlingssted (km) LASTBIL	264			Distance til NORD i Nyborg
Lastbiltransport (tkm)	1293274 2			
Mængde af restprodukt til deponering på Langøya	38014			
Transportdistance restprodukt fra Nyborg til Langøya (km) SKIB	524.9			
4. Jordbehandling og slutdisponering				
Volumen jord til rensning (m3)	27246			
Mængde jord til rensning (ton)	48988			
Restprodukter til deponering fra jordrensning (ton)	38014			

Materialeforbrug				Kommentar
Materialeforbrug til jordrensningsanlæg:				
Materialer til opbygning af eksisterende behandlingsanlæg giver sandsynligvis lille bidrag til samlet LCA vurdering, da anlægget har lang levetid.				
Materialer til opbygning af ny lagerhal i Nyborg				Ej inkluderet, da NORD ikke har specificeret forbrug
Materialeforbrug til jordbehandling: pr ton behandlet jord				
Aktivt kul til røggasrensning (kg)	1			Estimeret af NORD (NORD, 2013)
Energiforbrug				Kommentar
Energiforbrug til jordrensning: pr ton behandlet jord				
Total tidsforbrug til behandling af jord (h)	24493.83			2 tons behandles i timen
Gennemsnitligt tidsforbrug til termisk behandling (h/ton)	0.1000			Dette er et gennemsnit. Det varierer for de enkelte fraktioner afhænger af Hg indholdet. NORD (2013)
Effekt af forbrændingsovn (MW)	24.0			Samlet effekt for de 3 ovne. 10 tons behandles pr time. 2 tons fra Høfde 42 blandes med 8 tons andet og energiholdigt affald
Heavy fuel oil (MWh/ton jord)	2.4000			Halvdelen af den anvendte energi kan efterfølgende udvindes som varme. Jorden fra Høfde 42 giver ingen energi ved forbrændingen alene, dette kommer fra de affald der blandes med. Derfor antages anvendes bruttoenergiforbruget.
Emissioner til luft og vand fra forbrændingen				Estimeret af NORD (2013). Se separat tabel nedenfor
Emissioner til hav fra deponi på Langöya				Emissioner baseret på NOAH (2014). Se separat tabel nedenfor
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner				Kommentar
Deponering på Langöya				
Lokal transport (L diesel/ton affald)	0.7			Specificeret af NOAH
Transport				Kommentar
Er indeholdt i punkt 3				
4. Afvikling af anlæg og retablering af landskab, herunder indbygning af nyt sand				
Materialeforbrug				Kommentar
Nyt sandfyld fra Vesterhavet (m3)	27246			
Densitet af sandfyld (ton/m3)	1.8			
Vægt af fyldmaterialer (ton)	49042			
Brændstofforbrug, entreprenørmaskiner				Kommentar
Genfyldning og kompaktering af nyt sandfyld (L/m3)	1.2			Erfaringstal fra Arkil (sag med 2400 m3 jord) Kun genfyldning og diverse
Dieselforbrug til genfyldning og kompaktering (L)	32694.72			
Oppumpning af sand fra Vesterhavet (L/m3) Diesel	0.44			Baseret på DHI (2010) og 30000 m3
Dieselforbrug til oppumpning (L)	11988.064			
Transport med slæbebåd (2x25 km) (L/m3) Diesel	0.57			Baseret på DHI (2010)
Dieselforbrug til transport (L)	15504.1			
Totalforbrug L diesel på oppumpning og transport	27492.1			
Transport				Kommentar
Persontransport (personbil) under afvikling (besøg pr uge)	4			
Tidsforbrug, afvikling (uger)	2			Ca 4 dage til oppumpning og ca 1 uge til genfyldning
Transportdistance for persontransport under afvikling (km)	100			

tur/retur)				
Transport (personkm)	800			
5. Diverse				
Tidsramme for afgravning, behandling og slutdeponering				Kommentar
Tidsforbrug, installation/klargøring (uger)	41.6	0.80	år	
Tidsforbrug, afgravning og genfyldning (uger)	52	1.0	år	
Jordrensens indhentning af miljøtilladelse	78	1.5		
Tidsforbrug, jordrensning på eksternt anlæg (uger)	146	2.6	år	
Tidsforbrug, afvikling (uger)	2	0.04	år	
Totalt tidsforbrug på site (uger)	96	1.7	år	Inkl miljøtilladelse
Totalt tidsforbrug inkl jordrensning (uger)	241.3	4.6	år	
Afværgeomkostninger:				Kommentar
	Mio. kr			
Rådgivning	5.5			Baseret på COWI (2007)
Arbejdsplads	0.3			Baseret på COWI (2007)
Forstærknings af spuns	0.6			Baseret på COWI (2007)
Grundvandssænkning og vandbehandling	0.25			Baseret på COWI (2007)
Gravearbejde	14			Baseret på COWI (2007)
Aktivt kul	1.9			Enhedspris på 25.000 kr pr ton
Erstatningsmaterialer	0.3			Skaleret i forhold til vurdering i COWI (2007), da mindre mængde.
Jordbehandling NORD, inkl transport og deponering af restprodukter	193.5			Enhedspris 3950 kr/ton
Totale omkostninger	216.4			

Emissioner fra den termiske jordbehandling hos NORD		
Emissioner til luft	Kg/ton jord	
CO ₂	1900	Estimeret af NORD (2013)
CO	45	Estimeret af NORD (2013)
SO ₂	0,03	Estimeret af NORD (2013)
NO _x	0,44	Estimeret af NORD (2013)
Saltsyre	0,005	Estimeret af NORD (2013)
Kviksølv	9E-06	Estimeret af NORD (2013)
Andre metaller	9E-05	Estimeret af NORD (2013)
Dioxiner/furaner	5E-06	Estimeret af NORD (2013)
TOC, total organisk kulstof	0,001	Estimeret af NORD (2013)
Emissioner til vand, processpildevand fra røggasrensning	Kg/ton jord	
Total fosfor	2E-05	Estimeret af NORD (2013)
Total kvælstof	0,02	Estimeret af NORD (2013)
Klorid	11	Estimeret af NORD (2013)
Sulfat	0,2	Estimeret af NORD (2013)
Kviksølv	3E-08	Estimeret af NORD (2013)

TOC, total organisk kulstof	0,03	Estimeret af NORD (2013)
Andre metaller	1E-05	Estimeret af NORD (2013)

Emissioner fra deponi på Langöya		
Emissioner til vand	Kg/ton jord	
Phenoler	1.8E-08	Baseret på deponiets emissioner til vand i 2013 (NOAH, 2013) omregnet til årlig emission pr ton affald og ganget med 100 år. Kun stoffer med vurderet relevans for jorden ved Høfde 42 er medtaget.
Kviksølv	5.5E-08	
Total kvæstof	0.44	

Referencer

- Cheminova (2013). Grønt regnskab for 2012. Cheminova A/S. 03-05-2013.
- Cheminova (2014). Høfdedepot. Excelark med estimerede driftsomkostninger og forbrug (kemikalier og energi) til rensning af spildevand fra Høfde 42 hos Cheminova.
- COWI (2007). Afgravning, transport og kontrolleret deponering af forurenede sediment fra Høfde 42. Peter A. Petersen og Henrik Benn, COWI. Miljøprojekt Nr. 1197 2007. Miljøstyrelsen, Miljøministeriet.
- COWI (2014). afgrænsende spuns – Indledende anlægsoverslag. MEMO Ny. Høfdedepot ved Harboøre Tange. 7. april 2013.
- DHI (2010). Miljøeffekter ved anvendelse af store fartøjer til råstofindvinding på havbunden. By- og Landskabsstyrelsen. December 2010.
- NOAH (2013). Udslip til sjø fra Langöya 2013. Tabel fremsendt af Pelle Funder Michelsen 17-03-2014.
- NORD (2013). Input til beregning/sondering af bæredygtighed. Ved afgravning og termisk behandling af forurenede jord mv. ved Høfde 42. 6. december 2013.
- Region Midtjylland (2013). Konceptuel beskrivelse af afværgeområde på Høfde 42. Region Midtjylland, Miljø. Version 2. 09-10-2013
- Region Midt (2014). Høfde 42. Afgravning af slamlag. Notat.