

**Bilag 1****Risikovurdering for spild af olieculbrinter Sisimiut til Kangerluarsuk**

( ) ms' parenteser; [ ] vedføjet ms' engelske udtryk/oversætters vedføjede alternative oversættelse - nemlig den græsk-latinske vs dansk.

**Indholdsfortegnelse**

1. Potentielt farlige kulbrinte baserede brændstoffer og deres fysisk-kemiske karakteristika .....	2
2. Brændstofprodukters miljøskæbne i arktisk miljø (general gennemgang) .....	4
3. Mulige uheld (estimerede omfang af spild og produkter etc.) .....	9
4. Identificerede følsomme receptorer og typiske Omgivelser .....	9
4. Konsekvenser af en ulykke/et spild .....	15
5. Transport- og skæbneanalyse .....	17
6. Risikohåndtering .....	23
7. andre foreslåede tiltag .....	24
<b>References</b> .....	<b>25</b>

## 1. POTENTIELT FARLIGE KULBRINTE BASEREDE BRÆNDSTOFFER OG DERES FYSISK-KEMISKE KARAKTERISTIKA

Der er forudsat de potentielle olieprodukter transporteret på den forslåede vej Sisimiut – Kangerluarsuk Tulleq. Den planlagte vej er basalt en vej til ATV (All Terrain Vehicle), men en grusvej egnet for andre køretøjer er forudsat i projektbeskrivelsen, da dette sandsynligvis vil blive den endelige form. Transporterne vil hovedsagelig inkludere brændstof til biler (diesel/benzin), enten i køretøjernes tanke eller i containere til forsyning til skilifter eller andet maskinel. Derudover er der en risiko for spild fra hydrauliske slanger i køretøjer og tungt materiel (såsom gravemaskiner til vedligeholdelse af veje).

De generelle karakteristika ved de omtalte brændstoffer og smøremidler er beskrevet nedenfor. Nogle fysiske egenskaber diskuteres i tabel 1 og figur 1 nedenfor.

### - Diesel/benzin til køretøjer

Diesel til køretøjer, brugt i mange køretøjer og materiel (såsom generatorer), har fysiske/kemiske egenskaber, der er som opvarmningsolier, når undtages diverse tilsætninger tilsat til diesel til køretøjer.

Diesellole er en kompleks blanding af hovedsagelig aromatiske og alifatiske kulbrinter. Op til 90% af disse kulbrinter består af paraffiner og naftaliner, mens 10-20% er aromatiske (såsom benzen, toluen og xylener) og omkring 1% er alkener (såsom ethylen). Størst fokus er på kulbrintemolekylerne C10 til C19 af hvilke omkring 64% består af alifatiske kulbrinter, 35% aromatiske og omkring 2% alkener. Procentmængderne kan variere afhængig af typen af diesel brændstoffer. Siden diesel brændstof har tendens til at gelere/blive voksagtig i koldt vejr, er det almindeligt at tilsætte tilsætningsstoffer til diesel i vinterperioden, men i de fleste tilfælde er dette allerede sket på raffinaderiet, hvor de tungere kulbrintebestanddele fjernes fra vinter diesel mærker for at minimere paraffinering.

Benzin (aka gasoline i USA) består også mest af aromatiske og alifatiske kulbrinter, men i dette tilfælde er der et højere indhold af aromatiske, som kan variere fra omkring 40% op til 60%, mens indholdet i paraffiner og dieseler sjældent er meget over 40%. Benzin består derfor generelt af lettere kulbrinter med molekyler fra C5 til C12. Benzin kan indeholde forskellige tilsætningsstoffer såsom oxygenaterne (iltningstoffer) methyl-tert-butyl ether (MtBE, typisk 1-2%) som er relativt vandopløseligt og har forårsaget udspredd forurening af grundvand, og tertiary butyl alcohol (TBA), som bruges i stedet for MtBE. I følge Polar Oil, som står for brændstofforsyningen til Grønland, er der ikke tilsat MtBE til deres benzinprodukter. Tidligere blev der også brugt diverse blyfjernere i benzin, men disse blev generelt udfaset i 1980erne.

Både diesel og benzin indeholder derudover diverse andre bestanddele, såsom svovl og sporingsmetaller som enten er tilføjet til brændstofferne af forskellige årsager eller var til stede i råolien som urenheder. Benzin og diesel indeholder typisk mere end 150 til 200 forskellige kemiske forbindelser, hvoraf mange arter sig meget forskelligt i miljøomgivelserne, og derfor er relativt komplekse kemiske blandinger.

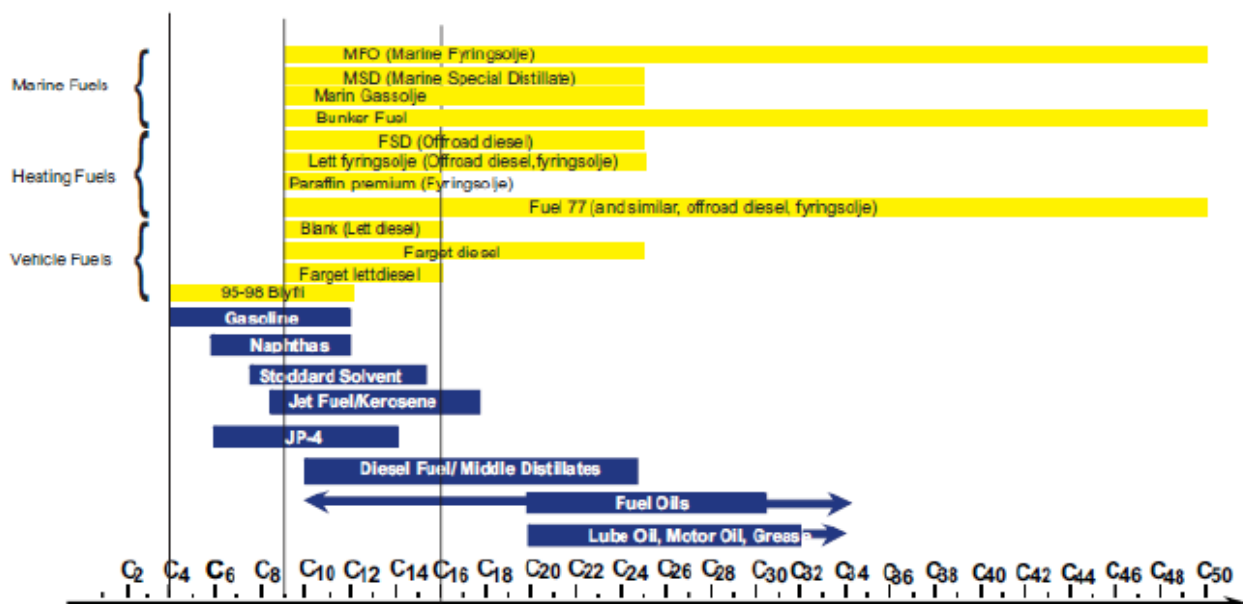
Hovedforskellen i opførsel mellem diesel og benzin i miljøet skyldes forskellen i aromatisk indhold; siden de aromatiske stoffer er lettere, har de et lavere kogepunkt (205°C til 205°C for benzin vs. 250°C til 350°C for diesel), fordamper hurtigere og flyder på vand, mens nogle tungere bestanddele af diesel kan synke i vand.

**Tabel 1. Udvalgte fysiske egenskaber ved potentielt spildte brændstoffer / væsker. Parametrene er blot vejledende og har en høj grad af usikkerhed på grund af produkternes komplekse sammensætning.**

Brændstoftype	Kogepunkt, °C	Massefylde, g/cm <sup>3</sup> (20 °C)	Viskositet, cSt (centistokes)*	Opløselighed i vand, g/100ml (20 °C)**	Henrys Lov Konstant atm <sup>3</sup> /mol (20 °C)
Benzin til køretøjer	205 - 250	0,70 - 0,80	0,46 - 0,88	0,05 - 10	3,3 - 4,8 x 10 <sup>-4</sup>
Diesel til køretøjer	250 - 350	0,87 - 0,95	6 - 30	<0,0001	5,9 - 7,4 x 10 <sup>-5</sup>
Hydraulisk væske/olie	100 - >400	0,92 - 1,15	16 - 100	<0,000001 - 0,36	5,0 - 9,0 x 10 <sup>-8</sup>

\*Dieselbrændstof og hydrauliske væskers viskositet varierer meget afhængigt af den ønskede temperatur på anvendelsestidspunktet.

\*\*Brændstoffer og hydrauliske væsker anses generelt for uopløselige i vand, men enkelte komponenter taget for sig kan opløse sig i vand i varierende grad.



**Figur 1. Typiske brændstofprodukters cirka kulstofkoncentration. Figuren viser det substantielle overlap i kulstofkoncentration mellem forskellige produkter, skønt benzin, diesel til køretøjer og smøremidler /fedtstof er lettere at skelne. Udarbejdet af Rambøll Norge 2020.**

- Hydrauliske væsker

Hovedformålet med hydrauliske væsker /olier er at overføre kraft i det hydrauliske maskiner, såsom i gravemaskiner og rendegravere, hydrauliske bremsere, servostyringssystemer, lifter og gearkasser. For at overføre kraft i sådanne systemer skal den hydrauliske væske ideelt set have tæt på nul i kompressibilitet. Dette resulterer så på sin side i højt tryk i hydrauliske slanger, som så generelt har en begrænset levetid og derfor før eller senere vil lække, ofte resulterende i et totalt spild af væsken på grund af trykket. Sådanne lækager kan forebygges gennem stramt gennemførte inspektioner og vedligeholdelse, men sommetider kan selv nye hydrauliske slanger lække [CITATION Gue14 \l 1044]. Hydrauliske væsker kan også tjene andre funktioner, såsom varmeoverførsel og smøring.

Hydrauliske væsker består generelt af 30% til 60% mineralsk olie, mens resten er vand (<40%), dog er der ofte tale om at vand er erstattet af fx ethylenglycol eller andre komponenter til at minimere korrosion. Afhængigt af formålet med væsken har de også generelt et indhold af en lang række tilsætningsstoffer og andre elementer, som ofte betragtes som virksomhedshemmeligheder. Førhen indeholdt hydrauliske væsker også PBC oljer, men dog generelt ikke siden 1980'erne.

Antallet af kulatomer i hydrauliske væsker vil også variere, men generelt ligger det mellem C15 og C50; jo højere antal kulatomer jo større viskositet, hvilket er en væsentlig faktor for hvad væsken kan bruges til (og dermed også for skæbne i miljøet).

Hydrauliske væsker er ved i stigende grad at blive halvt eller helt syntetiske eller vegetabilsk olie baserede. Hovedfordelen ved syntetiske væsker er at de ofte er brandmodstandsdygtige, men på den anden side indeholder de en vid vifte af nogle gange giftige stoffer såsom fosfatestere og polyalfaolefiner. Polyalfaolefin-baserede hydrauliske væsker (normalt blandet med mineralske olier) bruges i kolde omgivelser takket være deres gode temperatur karakteristika, selv om mineralsk olie baserede væsker stadig er mere almindelige.

For at minimere miljøproblemer ved syntetisk- og mineralsk-olie-baserede hydrauliske væsker, bliver der ofte stillet som betingelse for maskiner som opererer i fx følsomme miljøomgivelser, såsom i grundvandsområder. Vegetabilsk baserede væsker er som oftest en eller anden form for naturlige estere (triglycerider), bestående af glycerol og fedtsyrer med et kulstofnummer mellem C4 og C28. Disse olier er ofte udvundet fra soja, solsikke og raps (canola) frø. Mens vegetabilsk baserede hydrauliske væsker også har tekniske fordele, så er de største fordele ved deres relative ugiftighed (fx i vandmiljøer) og deres bionedbrydelighed (de fleste benzinkulbrinter nedbrydes i den sidste ende, men vegetabilsk baserede olier nedbrydes hurtigere). Som en generel tommelfingerregel kan 25 – 35% af mineralsk-olie-baserede hydrauliske væsker nedbrydes på få måneder, mens vegetabilsk baserede væsker er 85 – 95% nedbrydelige i det samme tidsrum (estimerer under ideelle forhold). En hovedulempe er deres dårligere ydelse under lavere temperaturer.

## 2. BRÆNDSTOFPRODUKTERS MILJØSKÆBNE I ARKTISK MILJØ (GENERAL GENNEMGANG)

Sektionerne nedenfor giver et kort resumé af de identificerede brændstofprodukters (diesel/benzin til køretøjer og hydrauliske væsker) miljøskæbne(r). Emnet er komplekst, og diskussionen i denne sektion er generel, men fokuserer på spild i koldt miljø.

Brændstofspilds *miljøskæbne* kan defineres som den tid det tager at reducere den skadelige virkning af brændstoffet til et sådant niveau at akut og kronisk toksicitet bliver ubetydelig[CITATION Kar02 \l 1044].

### - Jordbaseret skæbne

I kolde omgivelser er miljøskæbne for brændstofprodukter spildt på jorden hovedsageligt kontrolleret af en eller en kombination af følgende fysiske og biologiske processer:

- Det absorberes ned i jordbunden og vegetationen;
- Det lækker til grundvandet og til dybere jordlag;
- Det spredes på jordoverfladen (eller i grundfjeldssprækker) med overfladevands afstrømning (eller på frossen jord); og
- Forvitring / biologisk nedbrydning, spredning, fordampning og emulsion på jord og på jordområder, som ikke absorberer vand [waterlogged].

Til en vis grad kan overfladespild også undergå fotolyse, men i koldt miljø er effekten af den ret insignifikant.

De potentielt farlige elementer, COPCs (Constituents of Potential Concern) i denne vurdering, benzin og diesel til køretøjer og hydrauliske væsker, opfører sig forskelligt i miljøet; lettere produkter såsom diesel fordamper hurtigt, men migrerer [vandrer] på den anden side også hurtigere og trænger dybere ned i jordlagene. Tungere produkter såsom hydrauliske væsker forurener ofte kun overflade jordlag og migrerer langsommere takket være deres højere viskositet, men på den anden side kan de vise sig at være mere vedvarende i miljøet. Diesel brændstof til køretøjer opfører sig et sted mellem disse to yderpunkter. Forskelle i produkttegenskaber må derfor tages i betragtning når man skal identificere deres transport og skæbne under et spild.

Når et brændstofs spild sker på jord, så er den primære faktor som har betydning for spildets skæbne mængden og områdets overflade der dækkes af spildet; når overfladearealet er stort i forhold til mængden af brændstof, er forvitring og biologisk nedbrydning også hurtigere (i modsætning til en situation hvor brændstofs spildet fx er fanget i grundfjeldssprækker som "fri fase" produkt. Fra forskellige undersøgelser er det kendt at selv i koldt miljø vil ca. 70 – 90% af spildt kulbrinte brændstoffer nedbrydes i den sidste ende gennem forskellige processer. Denne proces kan tage fra måneder op til 2-4 år [CITATION Kar02 \l 1044]. Hvad der herefter resterer, har ikke længere substantielle miljøkonsekvenser.

De resterende 10 - 30% af et brændstofs spild som ikke let nedbrydes udgøres ofte af de tungere, mere uopløselige bestanddele der er til stede specielt i tungere brændstoffer (såsom hydrauliske væsker og bunkerbrændstoffer) som har tendens til at hærde op og blive til et klumpet asfaltlignende materiale som ikke har tendens til signifikant nedbrydelse (men som til sidst kan migrere i partikel form).

Ud fra det scenarie, at det kommer til at dreje sig om ret begrænsede brændstofs spild (nogle få kubikmeter snarere end to cifrede kubikmeter eller fortløbende spild), så er arealet og jordmængden dækket af spildet afhængigt af jordtypen og derfor af forsinkelsesfaktoren ([the retardation factor], R). Mere finkornede jordtyper, såsom silt og sand, kan absorbere større spild end stenet grusjord. "Formen" på spildet er herefter afhængig af tyngdekraften (fx stejl skråning vs jævn jordoverflade). Jordoverflader er også ofte dækket af vegetation som kan dæmpe migration og absorbere de spildte produkter (nogle planter kan også anvendes til at behandle kulbrinte spild enten ved at rødderne binder spildet eller gennem direkte optagelse af kulbrinterne.

Typiske tilbageholdelsesfaktorer [retentionsfaktorer] for olier generelt er vist i tabel 2 nedenfor. Faktorerne er kun vejledende og overflødig gør ikke en stedsspecifik modellering. Tilbageholdelsesfaktorerne ville være noget højere for lettere produkter og mindre for tungere produkter.

**Tabel 2. Typiske tilbageholdelsesfaktorer i jordtyper m h t mellemtunge olieprodukter.**

Jordtype	Olie-tilbageholdelseskapacitet l/m <sup>3</sup>
Sten, groft grus	5
Grus, groft sand	8
Groft sand, mellemfint sand	15
Mellemfint sand, fint sand	25
Fint sand, silt	40

Efter at have ramt jorden er det spildte produkts skæbne i begyndelsen gennem fordampning; jo lettere et produkt, jo hurtigere er fordampningen. I laboratorieundersøgelser er diesel spild blevet observeret til at have mistet ca. 16 – 23% af sin masse gennem fordampning ved 10 °C i 20 dage [CITATION RMa98 \l 1044]. Dog er fordampningen ikke lineær og vil blive mindre signifikant efterhånden som koncentrationerne reduceres. På lignende vis er fordampningen yderligere reduceret under forhold med frostgrader og med ekstremt meget væde.

Efterhånden som fordampningen reduceres bliver bionedbrydelsen (mestendels aerob [med ilt]) af kulbrinterne i stigende grad en vigtig nedbrydningsvej. Teoretisk set undergår alle benzin kulbrinter biologisk nedbrydning, men med forskellig hastighed; jo højere molekylær vægt, jo langsommere biologisk nedbrydning. De biologiske nedbrydningsprocesser kan også blive begrænsede ved lavere koncentrationer (hvor der er færre kulbrinter i jorden, nedsættes tempoet for den mikrobielle aktivitet i jordtyperne) og mangel på næringsstoffer, såsom nitrogen og fosfor, kan blive faktorer der begrænser nedbrydningen. Dog er biologisk nedbrydning en velkendt og accepteret afhjælpningsmetode til at oprense diesel kulbrinter.

## - Skæbne i vand (ferskvand; strømme, søer)

Miljøskæbnen for oliespild i vandmiljø kan inddeles i følgende kategorier:

Advektion-diffusion [gennem horisontal bevægelse af lufttransport af partikler ved koncentrationsudligning]

Når oliespil rammer overfladevand, bliver de fysisk påvirket af en kombination af vind, bølger, overfladestrømme og oceanisk eller atmosfærisk diffusion. Med henblik på modellering forventes graden af transport og retningen af spildet generelt at blive vektorsummen af disse komponenter. En general tilgang til større åbne vandområder er at estimere den vind-forårsagede overfladestrømsfart til at være 1 – 6% af vindhastigheden, idet 3% er den hyppigst brugte strømfaktor for modellering [CITATION GSR97 \l 1044]. Ved at sammenholde dette så med fx strømhastigheder i vandområdet fås en indikation på hvor meget vindhastigheden påvirker spildets bevægelse.

### Fordampning

Næsten alle oliespild undergår fordampning som er den vigtigste nedbrydningsvej i vandmiljøer. Graden af fordampning dikteres af den kemiske sammensætning af brændstofproduktet. Fx vil omtrent 90% af benzin fordampe fra overfladevand i løbet af ca to dage i koldt klima, mens ca. 60% af dieselbrændstof kan fordampe på seks dage under de samme forhold. Til sammenligning vil tungere residualolier såsom bunkerolier der er sammenlignelige med nogle hydrauliske væsker med høj molekylær vægt, kun miste <4% af deres masse ved fordampning efter to dage, hvorefter den resterende masse begynder at emulgere. Spredning af tungere produkter ses som insignifikant takket være det lave indhold af lettere alifatiske bestanddele [CITATION MFF97 \l 1044].

### Emulgering

Emulgering skal ses som dannelse af "chokolademousse"-type af blandingen vand-i-olie, som kan forandre egenskaber og karakteristika ved et oliespild temmelig meget, da viskositeten i olien selv ændres. Takket være emulgeringen dæmpes hastigheden i fordampningen styret af størrelsesforhold, ofte med det resultat at det når kystlinjer. I det lange løb er emulsioner så en synlig indikator på indtruffet oliespild, når de når kysterne. Udtrykt i kemisk terminologi er emulgering et resultat af de polære og asfaltene oliebestanddeles overfladeaktivlignende [surfactant-like] opførsel. Når den aromatiske (såsom benzen, toluen, ethylbenzen eller xylener) og lettere alifatiske del af den spildte olie er fordampet, begynder de asfaltene og polære at stabilisere vanddråber i oliemassen.

### Naturlig spredning

Under naturlig spredning vil oliedråber af en størrelse på mellem 1 til 50 µm spredes hovedsageligt horisontalt på vandoverfladen. Tilstedeværelsen af asfaltener i fx tungere olieprodukter forsinker signifikant denne proces og derfor forventes hovedsageligt kun lettere bestanddele at undergå spredning. Spredning øges med øgende turbulens (som når bølger bryder) i vand.

### Opløsning

Olier skyr generelt vand som hydrofobisk og kun en lille del af olier er derfor opløselige i vand. Dog varierer de forskellige produkters opløselighed, idet lettere produkter er mere opløselige. Opløsning betragtes derfor kun at være årsag til en lille del af massetab af oliespild i vandmiljøer, men ses alligevel som en vigtig vej, når det drejer sig om mere opløselige forbindelser i olie, såsom aromatiske som er giftige for mange aquatiske [vand-] arter. Nogle laboratorieforsøg har indikeret, at opløsningsprocessen generelt er hurtig og for en stor del sker i løbet af de første 15 minutters kontakt med vand [CITATION MFF97 \l 1044].

### Fotooxidation, bundfældning og biologisk nedbrydning

Ved fotooxidation eller fotolyse underkastes olie absorberingen af fotoner fra sollys, hvilket kan resultere i polymerisering til at danne forbindelser med større massefylde med højere molekylær vægt i oliespildet. Disse forbindelser, såsom hydroxylradikaler, alkoholer, ketoner og aldehyder, er mere vandopløselige og har større massefylde end forældre kulbrinterne og de kan medføre dannelse af emulsioner og/eller forårsage at oliespildet lettere bundfælder i vand.

Det at olien synker i vandsøjlen kan inddeles i to: 1) sedimentation af oliedråber og 2) bundfældning en masse. Takket være fordampningen af de mere flygtige forbindelser i oliespild, kan den resterende masse undergå en øgning i massefylde, som er kombineret med inkorporering af mineralsk stof med større vægtfylde end vand ind i olien og som på den måde bliver årsag til at den synker i vandsøjlen. Denne foreteelse er mest knyttet til tungere brændstofprodukter, såsom visse mineralsk olie baserede hydrauliske væsker. Det er blevet estimeret, at i åbenvandsområder kan det tage op til 30 dage før massefyldeforøgelsen sker i så stort omfang, at tungere olieprodukter bliver genstand for permanent nedsynkning i vandsøjlen. [CITATION LDM89 \l 1044].

Den biologiske nedbrydning af kulbrinter i sedimenter er ikke velkendte. Det er hovedsageligt de tungere alifatiske kulbrintebestanddele (fx >C25) som synker i vandsøjlen så signifikant, at sedimentation kan finde sted. Den biologiske nedbrydningshastighed af kulbrinter afhænger i vid udstrækning af det fysik-kemiske og de mikrobiologiske egenskaber ved sedimenterne. Det er blevet forslået, at anaerob nedbrydning af benzinkulbrinter i sedimenter kan finde sted takket være sulfatreducerende processer, dvs. at de sulfatreducerende bakteriestammer der er i sedimenter, kan bruge sulfat og sulfid som elektronacceptorer, mens kulbrinterne bruges som elektrondonorer, og derved resultere i kulbrintenedbrydning [CITATION FAe91 \l 1044] [CITATION CMS99 \l 1044].

## - Påvirkning fra årstider og klimavariabler på den arktiske tundra

Vinter/kold periode:

Årstiden, hvor spildet sker, har en signifikant indvirkning på de spildte produkts skæbne i kolde miljøer. Faktorer, som påvirker spildet, omfatter temperatur (luft og jordoverflade), dybden af snelag, typen af sne, permafrost, længden af vækstsæsonen og dybden af det biologisk aktive jordlag (i bund og grund det samme som det lag der vil tø i løbet af sommermånederne).

På den træløse tundra er blæst normalt (især om vinteren) og brændstofspild kan migrere som aerosol eller tåge, især når det drejer sig om spild fra hydrauliske systemer som er under pres. Men det er nok ikke værd at overveje i særlig høj grad betydningen af spredning af et spildt produkt i form af tåge, i sammenligning med spredning til jordområde (eller overfladevand), som giver mere umiddelbare og mere skadelige miljøpåvirkninger.

Frosne jordområder og permafrost vil forhindre eller reducere infiltrering ned i jordlag og kan derfor øge overflademigrationen af oliespildene, som i den sidste ende vil kunne migrere temmelig hurtigt over store afstande. Sne på den anden side kan hjælpe med til at tilbageholde et oliespild, da det fungerer som absorberende ift den spildte substans. Der er adskillige faktorer, som påvirker migrationen af oliespild i sne, såsom snekrystalstørrelsen, sneens tykkelse, overfladeforholdene under snedækket og det spildte produkts temperatur, og derfor er modellering af oliespilds skæbne i sne et komplekst emne. Et forsøg på modellering er blevet gennemført i hvert fald af S.L. Ross Environmental Research og D.F. Dickins Associates [CITATION SLR88 \l 1044].

#### Forårstøvejr og sommer

Når det er forår og tø og om sommeren er spilds skæbne og transport styret af en større mængde af faktorer, såsom dybden af det aktive jordlag, lufttemperatur, vandopløselighed, strømme og dræningsmønstre i overfladevand, bionedbrydelighed, jordbundtemperatur, længde af vækstsæson og vegetationsdække.

Varmere lufttemperaturer om sommeren vil øge spildets fordampning, afhængigt af det spildte produkts damptryk; benzin vil fordampe hurtigere, mens hydrauliske brændstoffer har lavere damppres og fordamper ikke væsentligt selv ved varmere temperaturer. Dog er fordampning i startfasen en signifikant nedbrydningsproces for de fleste olieprodukter, hvorefter bionedbrydning sædvanligvis tager over.

Mens stort set alle kulbrintebaseerede brændstofprodukter nedbrydes ved bionedbrydning til en vis grad, så bremses eller helt ophører den mikrobielle aktivitet i jordlag (også i vand og i sedimenter men i langt mindre grad) i vintermånederne, og bionedbrydning i Arktis anses generelt for meget langsommere end i varmere klimaer. På den anden side findes der nogen evidens (projekter om jordrespiration and bioremediering udført på arktiske norske oliespildssteder af forfatteren) for hurtig bionedbrydning i løbet af den korte sommer og det antages at kulbrintenedbrydende mikrober i Arktis er "specialiserede" til at udnytte den korte vækstperiode. Derudover så foregår der ifølge Margesin and Schinner stadig en signifikant nedbrydning ved temperaturer på mellem 4 and 10 °C [CITATION RMa98 \l 1044]. Den biologiske nedbrydningsproces hviler primært på aerobe betingelser (anaerob bionedbrydning kan også finde sted, men er en meget langsommere proces), men da mikroberne bruger nitrogen som elektronacceptorer kan manglen på nitrogen i de allerede næringsstoffattige arktiske jordlag blive en begrænsende faktor. På grund af de potentielle begrænsninger i næring, reduceret kulmasse og lavere temperaturer vil bionedbrydningen alene sandsynligvis ikke nedbryde alle spildte benzin kulbrinter og i hvert fald er processen langsom og væsentlig reduktion vil kunne tage adskillige år under arktiske forhold.

Det spildte produkts opløselighed vil påvirke dets transport i høj grad; de mere vandopløselige produkter (eller for kulbrinte baseerede brændstoffer og væsker er det de bestemte bestanddele i produkterne som er mere opløselige, såsom benzen i benzin) kan blande sig med overfladevand og spredes hurtigere i våde jordlag og dermed gøre deres genopretning vanskeligere. Uopløselige bestanddele med specifik massefylde lavere end vands (såsom diesels) flyder på vandoverfladen og har tendens til at sprede sig på stillestående vand og våde jordområder. Uopløselige bestanddele med specifik massefylde større end vands (såsom hydrauliske væsker) vil synke i vand såsom i større brudzoner i vandtæt [waterlogged] grundfjeld. Om vinteren har en substans opløselighed mindre betydning, når vandet mestendels er i frossen form.



Planter og plantevækst er mere sårbare for oliespild i den korte arktiske sommer. Den akutte giftighed fra COPC-erne varierer, men man regner med at nogle syntetiske hydrauliske væsker er mere toksiske end mineralsk baserede hydrauliske væsker, benzin og diesel. På oliespilsteder observeres det generelt (baseret på forfatterens erfaring på oliespilsteder i Arktis og andre steder) at planter kan klare en del skade under vækstsæsonen og sædvanligvis komme sig hvis rodsystemerne ikke har været udsat for langvarig kontakt med benzin baserede kulbrinter. På den anden side har planter på den arktiske tundra ofte kun et tyndt lag rodnet og da det aktive jordlag også er tyndt, kan rodsystemerne let lide skade. Det er muligt at modellere nogle grænseværdier for koncentrationer af brændstofprodukter i jordlag inden der begynder at ske substantiel skade på vegetation [CITATION Chr01 \l 1044].

### 3. MULIGE UHELD (ESTIMEREDE OMFANG AF SPILD OG PRODUKTER ETC.)

I følge projektbeskrivelsen vil trafik med køretøjer på den planlagte vej være begrænset. Hovedparten af trafikken vil finde sted mellem Sisimiut og skilifterne ca. 5 km øst for Sisimiut. Til at lægge til grund for risikovurderingen antager man et gennemsnit på tre køretøjer pr time på årsbasis. Men vurderingen her for potentielle spild tager kun i betragtning spildenes miljøskæbne dvs. deres konsekvenser, ikke risikoen sammen med den potentielle forekomsthæftighed (risiko = sandsynlighed x konsekvens).

Den planlagte vej er i al væsentlighed en ATV-vej (All Terrain Vehicle), men i der forudsættes en grusvej brugbar for andre køretøjer, da dette formodentlig vil blive sådan i den endelige form.

Til brug for denne vurdering er de følgende tre spildscenarier blevet sat op:

1. Spild af ca. 200 l brændstof til køretøjer, diesel eller benzin (aka gasoline), ved en trafikulykke eller lignende.
2. Utilsigtet spild på op til 3 x 250 l brændstoffromler (dvs. 750 l) fyldt med dieselbrændstof til skiliftsmaskinellen.
3. Utilsigtet spild på op til 20 l af hydraulisk olie fra tungt materiel såsom gravemaskiner, sneplove og lignende. Omfanget er konservativt og baseret på erfaring og på en undersøgelse ved Guerin i 2014 [CITATION Gue14 \l 1044]. Ifølge nævnte undersøgelse står hydrauliske slanger, koblinger og o-ringe for ca. 50% af de hydrauliske væskespild (resten stammer fra fx ulykker).

Ydermere er det antagelsen, at de ovennævnte spild vil ske på den planlagte vej eller i umiddelbar nærhed af den. Det er muligt for køretøjer at rulle ned af skråninger og derved forårsage spild, men sådanne scenarier er ikke særskilt vurderet, da scenarierne beskrevet i afsnittene nedenfor giver en generel angivelse af miljøskæbne for spild i typisk terræn og klima.

### 4. IDENTIFICEREDE FØLSOMME RECEPTORER OG TYPISKE OMGIVELSER

Der findes kun begrænset med tilgængelige data til at vurdere følsomme jordbaserede eller vandbaserede receptorer [modtagere], såsom truede arter eller vigtige grundvandsressourcer.

Men den vigtigste identificerede følsomme receptor er vandspærrezonen [water protection zone] øst for Sisimiut, som også inkluderer en vigtig kilde til drikkevand Vandsø 5, som er en

ferskvandssø og har et areal på ca. 0,6 km<sup>2</sup>. Opstrømsområder til Vandsø 5 betragtes derfor som følsomme områder, da brændstoftspild i disse områder kunne påvirke søen og dermed den lokale vandforsyning.

Vandspærrezonen består hovedsagelig af adskillige indbyrdes forbundne tilstrømningsområder (nedbørsfelt) med overfladevandsområder (ferskvandssøer og vandløb, hvoraf nogle kun er sæsonbestemte). Den planlagte vejsektion i vandspærrezonen krydser terrænet, som består mest af tynd skeletjordområder [skeletal soils], der ligger ovenpå blottet grundfjeld, og derfor antages det at grundvandspotentialiet i projektområdet er begrænset. Hvor dybt grundvandet i grundfjeldet ligger og dets signifikans (såsom masse og ydelse) er ukendt og på den anden side er grundvand ikke anvendt i vandspærrezonen.

Graden af brud i grundfjeldet er ukendt, men det antages at være substantielt på grund af is- og vanderosion under sidste istid. Grundfjelds strukturen i projektområdet er sammenhængende i øst-vestlig retning, hvilket kunne tyde på, at hovedparten af (overflade) brudzonerne er sammenhængende ligesådan. Terrænet i projektområdet er mestendels blødt skrånende dale med elevationer [højder] varierende fra 0 m til 300 m over havoverfladen (op til 400 m asl). De laveste elevationer ses som tidligere havbund og indeholder derfor marine aflejringer (fint sand, silt og muligvis lerarter). På højere elevationer dominerer blottet grundfjeld landskabet, men store områder er også dækket af grove veldrænende grusede skeletjordlag, somme tider med felter med store fjeldstykker. Organisk jord som ligger på nogle lavtliggende områder vil ende op med at blive fjernet fra under den planlagte vej og erstattet med grus eller klippe. Dette vil måske i den sidste ende øge overfladevandets strømme og erosion i den umiddelbare nærhed af vejen og derfor også migration af spildt brændstof. I nogle få områder krydser vejen vandløb og derfor skal der installeres gennemløb eller lignende under vejen. Naturligvis vil spild der sker på sådanne krydssteder (eller i nærheden af vandløb og andre overfladevandsområder) potentielt resultere i hurtig migration af de spildte produkter.

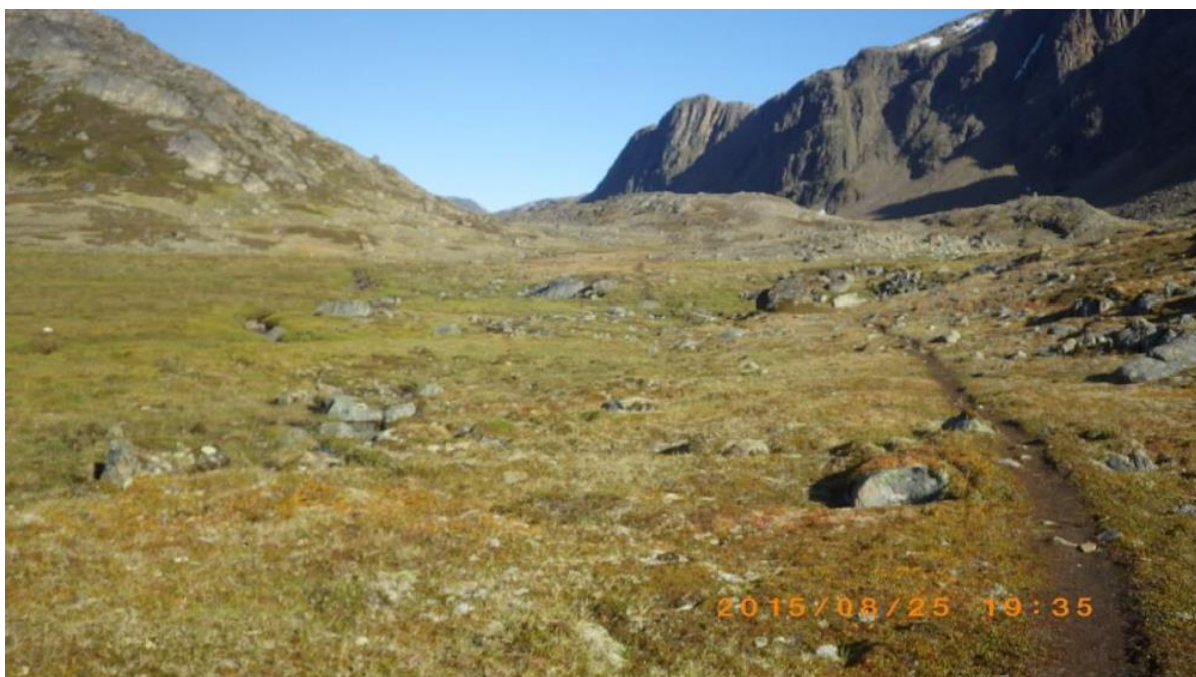
Typiske landskaber langs med sektionerne af den planlagte vej præsenteres i figurerne nedenfor.



**Figur 1. Udsigt mod øst over den planlagte vej (indenfor vandspærrezonen). Ref. punkt 278 i Forundersøgelse 2015. Drikkevandskilden (Vandsø 5) til venstre med den foreslåede vej mellem søen og en stejl fjeldskråning. Utsigtede spild af diesel eller benzin til køretøjer i dette område ville betyde en høj risiko for at det ville nå overfladevandet før genopretningstiltag.**



**Figur 2. Udsigt mod øst i den planlagte vejs dal (indenfor vandspærrezonen). Ref punkt 277 i Forundersøgelse 2015. Skeletlag af mere organisk jord og tussock græsser er tydelige på billedet, hvilket antyder et højere fugtindhold i skråningen i forgrunden, hvilket potentielt indikerer et område for præferencestrømme af overfladevand [of preferential surface water flows].**



**Figur 3.** Udsigt mod øst i den planlagte vejs dal (vandspærrezonen). Ref. punkt 274 i Forundersøgelse 2015. til venstre ses blottet fjeld, men også "sæsonbestemte" ["seasonal"] vandløb som forventes periodisk at transportere substantielle mængder af smeltevand.



**Figur 4.** Udsigt mod øst i den planlagte vejs dal (indenfor vandspærrezonen). Ref. punkt 275 i Forundersøgelse 2015. Bunden af dalen (og lignende lave kanaler) har delvist lige under jordoverfladen liggende grundfjeld og en mængde udtørrede vandløb i mere tørre perioder, mens substantielle vandstrømme forventes om foråret og efter kraftig nedbør. Vegetationen er karakteriseret som "våd/fugtig tundra" med bevis på vandgræsser og tussock græsser. Mens dybden ned til grundfjeldet er meget begrænset regner man med at nogle lommer af organisk jord og lag af finere sediment materialer findes i bunden (højre side af billedet).



**Figur 5. Udsigt mod nord i den planlagte vejs dal (vandspærrezone). Solbakkens skilifter ses på billedet. Ref. punkt 272 i Forundersøgelse 2015. Skråningen fremstår uden karakteristika med grundfjeld lige under overfladen [shallow], men ved nærmere eftersyn indeholder den ret velsorteret groft grus som i den sidste ende kunne nedsætte migrationsfarten for brændstofsild og indeholde det. Substantiel nedbør og smeltevand vil periodevis øge migrationen, men takket være fordampning af de lettere bestanddele ville de tungere bestanddele formodentlig blive absorberet ind i jordlag og vegetation.**



**Figur 6. Udsigt til vest i den planlagte vejs dal. Ref. punkt 262 i Forundersøgelse 2015. I visse områder dominerer felter med store klippestykker terrænet. Brændstofsild i sådanne områder ville være svære at genoprette.**



**Figur 7. Udsigt mod vest i den planlagte vejs dal (indenfor vandspærrezonen). Ref. punkt 254 i Forundersøgelse 2015. Skelet jord oven på ofte blottet grundfjeld. Jordlag består af stenet groft og tørt grus med begrænset vegetation. Højliggende områder ("tør tundra") forventes at dræne hurtigt under høj nedbør. Lavere områder ("fugtig til våd tundra") forventes at holde på oversvømmelser og nedbør i længere perioder, hvilket der er bevis for i ændringen i bevoksning hvor nogle vandgræsser, tussock græsser og mosser dominerer. I de mere tørre områder er spartanske, krybende [low lying] planter såsom lyngarter, laver og mosser mere almindelige.**

Siden den gennemsnitlige temperatur i området ligger under 0°C, så har store områder i projektområdet permafrost, men dybden af det aktive lag i sommermånederne er ukendt. På lang sigt forventes det at gennemsnitstemperaturerne og nedbøren vil øges på grund af den globale klimaændring.

De typiske naturtyper er detaljeret beskrevet i VVM rapporten (Vurdering af Virkninger på Miljøet). Ud fra tilgængelige data er der ikke nogen truede plantearter i projektområdet. Vegetationer er typisk tør til fugtig tundravegetation og består hovedsageligt af krybende [low lying] planter såsom lyngarter, laver og mosser på den mere højtliggende mere tørre grund, og nogle vand- og tussock græsser og en større diversitet af mosser i fugtig/våde områder.

Der findes hovedsageligt fire typer pattedyr i projektområdet: rener, polarræv, fjeldhare og moskusokser, som i den sidste ende vil kunne blive udsat for spildte brændstofprodukter, mestendels gennem indtagelse af påvirkede planter eller mindre dyr. Det samme gælder for fuglearterne i området. Det er ukendt hvilke akvatiske arter der er i ferskvandssøerne og andre overfladevandsområder. Det bør bemærkes, at visse specifikke bestanddele i CORP faktisk bioakkumulerer og biomagnificerer [ophober skadelige stoffer i kroppen]; men siden de forventede spildmængder er relativt små, forventes sådanne negative påvirkninger at være begrænsede.

## 5. KONSEKVENSER AF EN ULYKKE/ET SPILD

De potentielle konsekvenser af COCP-erne er kort resumeret nedenfor. Flere detaljer om konsekvenserne beskrives i VVM rapporten.

### - Risiko for eksplosion / brand (umiddelbare risici)

Spild af brændstoffer for køretøjer, såsom diesel og benzin, eller spild af diesel under transport (til skilifterne eller andet maskinel) forventes hovedsageligt at ske som resultat af en ulykke. Brændstoffer, specielt benzin, kan selvfølgelig antænde under en ulykke og starte en brand i vegetationen. Men vegetation i arktiske miljøer er mestendels krybende [low-lying] planter og derfor er det potentielle brandomfang ["fire load"] lav og dermed er der en tendens til at brande begrænses til den umiddelbare nærhed til brandkilden. Dieseltyper og specielt hydrauliske væsker antænder ikke let og derfor er risikoen for vedvarende brand ubetydelig.

### - Påvirkning på land- og vandbiota [terrestrial and aquatic]

Spild af benzin/diesel til køretøjer eller hydrauliske væsker (når undtages vegetabilsk baserede væsker) har normalt umiddelbart negative påvirkninger på jordbaseret og aquatisk biota [alt liv i området].

Med hensyn til jordbaserede miljøer så er påvirkningerne hovedsagelig på vegetation og almindeligvis begrænset til sommermånederne og til det biologisk aktive lag. Som diskuteret i de tidligere sektioner, genoprettes vegetationen i den sidste ende i mange tilfælde, undtagen hvis rodsystemerne eksponeres for langvarig kontakt med det spildte produkt, men genoprettelsen går normalt langsomt i det arktiske miljø. I projektområdet består vegetationen overvejende af krybende [low-lying] planter på grund af tynd skeletjord og derfor kan rødderne let komme i kontakt med spild og det er derfor forventeligt at spild der sker på tørre områder (dvs. på højere elevationer) vil resultere i tab af vegetation som kun langsom vil genoprettes. Uden nogle aktivt afhjælpende foranstaltninger vil vegetationen kun genoprettes efterhånden som koncentrationerne reduceres til "beboelige" ["livable"] niveauer gennem bionedbrydning og dette kan tage adskillige vækstsæsoner. Selv når de tungere brændstofbestanddele som modstår bionedbrydning danner asfaltlignende hærdede rester, kan det resultere i "ujævn" vegetation i årtier.

På et mikrobielt niveau forårsager spild af benzin ændring i de mikrobielle populationer; de kulbrintenedbrydende mikrober (som er tilstede faktisk i alle jordtyper og på alle geografiske områder) vil trives og forøges i mængde mens andre mikrobielle populationer vil have en tendens til at forblive upåvirkede [CITATION CSu02 \l 1044]. På den anden side eftersom generelt det meste af benzinkulbrinteforbindelser (over 90% i følge nogle undersøgelser [CITATION CSu02 \l 1044]) optages ind i jordpartikler, i stor lighed med at absorbere til organiske stof, så reduceres de akutte påvirkninger på organismer, der lever i jord, en del. Optagelse ind i jord modsvarer dog forlænget (kronisk) eksponeringstid. Men påvirkningerne på de jordmikrobielle populationer i projektområdet forventes at være begrænsede og acceptable, og da hovednedbrydningsruten af kulbrinter går gennem bionedbrydning (efter fordampning), så er det at forbedre vækstbetingelserne for kulbrintenedbrydende mikrober faktisk en realistisk men godt nok langsom afhjælpningsmetode for mange fjerntliggende arktiske områder (i modsætning til afhjælpning fx ved udgravning hvilket kan forårsage endog større skade).

Påvirkningerne på det aquatiske biota vil variere meget inden for projektområdet afhængig af de spildte produkter; benzin og diesel til køretøjer vil sandsynligvis fordampe relativt hurtigt fra vandoverfladen og /eller spredes, især i hurtigt strømmende eller på anden måde turbulente vande. Sedimentation [bundfældelse] af benzinkulbrinter kan finde sted for de tungere bestanddele med mere end 25 kulatomer hvilket så ville inkludere nogle af de tungere bestanddele af diesel brændstof og en stor del af hydrauliske væsker.

Der er meget lidt data tilgængeligt om påvirkning fra brændstoftspild på de arktiske pelagiske ferskvandsøkosystemer, såsom fytoplankton og fisk. Da brændstoftspildene i aquatiske miljøer mestendels er begrænset til overfladelag og temmelig hurtigt vil fordampe og fordi det potentielle spilmængder i projektområdet er begrænsede, vil de negative påvirkninger på pelagiske arter forventes at være ubetydelige. Undtagelsen kan være spild som sker i foråret når isen bryder op, da dette falder sammen med forblomstringen [prebloom] i fytoplankton under og omkring siderne af isen [CITATION Str02 \l 1035]. Men takket være de begrænsede spilmængder forventes påvirkningerne at være lokale og kortvarige.

De potentielle påvirkninger fra tungere benzinkulbrinter (den høje ende bestanddele af diesel og hydrauliske væsker som helhed) på benthiske samfund kan på den anden side lokalt blive substantielle og langvarige i ferskvandsområder af forskellig størrelse og i mindre udstrækning i vandløb og andre områder af strømmende vand. Dette gælder for de dybere sedimenter såvel som kystlinjer, skønt kystlinjer er mere udsat for isskuring [scouring] som sandsynligvis vil sprede de forurenende stoffer og derfor potentielt gøre dem mere tilgængelige for bionedbrydning. Takket være de begrænsede mængder af potentielle spild vil sedimentpåvirkningerne berøre relativt små områder; de tungere produkter, som vil synke i på nogen måde signifikant masse, vil synke gennem vandsøjlen relativt hurtigt og i lavvandede kystvande vil påvirkninger forblive begrænsede i overfladeområdet, i al væsentlighed i den umiddelbare nærhed af spildet (bortset fra situationer hvor spildene bliver indlejret i sne/is i forårstiden og migrerer yderligere fra spildstedet).

Når det gælder sedimenterne, så vil bionedbrydning blive hovednedbrydningsvejen og vil være meget langsommere end i landjordsmiljøer. Hvis spilmængden, produkttypen og sedimenttypen er kendte, så kunne det være muligt at estimere hvor hurtig nedbrydningen finder sted. Ud af de benthiske arter er krebsdyr og amfipoder mest følsomme over for benzin kulbrinter og forsvinder hurtigt fra de påvirkede områder (dels på grund af høj dødelighed) [CITATION AGI02 \l 1044].

#### - **Påvirkninger på ferskvandsressourcer og på ferskvandsudnyttelse**

Påvirkningerne af brændstoftspild på ferskvandsressourcerne (primært Vandsø 5) er modelleret i ROS analysen (risiko- og sårbarhedsanalyse).

#### - **Modstand mod nedbrydning i brændstoffer i jordlag og potentiel påvirkning på [of] grundvandsressourcer**

Modstanden mod nedbrydning i brændstoftspild på jord er vurderet i Sektion 5 nedenfor. Efter et jordbaseret spild er sket, er der i al væsentlighed at par hovedalternativer til rådighed (afventende en risikovurdering);



- 1) Fjernelse / inddæmning af alle fri fase kulbrinter ved brug af absorberende stoffer eller vacuum truck (sugebil).
- 2) Mekanisk fjernelse af spildet, normalt ved udgravning og transport til en losseplads eller behandling på stedet i specialkonstruerede biologiske bunker eller containere. Da de forventede jordmængder er begrænsede, antages det, at den mest praktiske løsning er at transportere det påvirkede jord til et andet sted til deponering / behandling.
- 3) At sætte sin lid til naturlig bionedbrydning af spildet, idet man potentielt forbedrer nedbrydningen ved at gøde jordlagene eller ved at bearbejde jorden (ved at vende jordlagene). Kemiske oxidanter (hvoraf nogle virkelig er milde og miljøvenlige) kan også blive anvendt, men på grund af deres relativt korte holdbarhed vil sådanne stoffer ikke være hurtigt tilgængelige.

Udgravning og deponering andetsteds er en hurtig og effektiv metode, men resulterer i synlig skade, og derefter vil vegetationen genindtage området meget langsomt. På arealer med permafrost kan udgravning resultere i jordpakninger, hvis den underliggende permafrost tør. På den anden side kan det, at man sætter sin lid til bionedbrydning, efterlade spildområdet "ubrugeligt" (adgang skal være under restriktioner) i adskillige år og visse synlige tegn på spildet vil sandsynligvis være der gennem årtier snarere end nogle år, afhængigt af det spildte produkt og stedet for spildet. Dvs. når alt kommer til alt er der adskillige faktorer at tage i betragtning, når man skal vælge den mest passende afhjælpnings- / genopretningsmetode, men efter der er sket et spild, så vil genopretningen af spildområdet i arktiske miljøer tage tid, uanset hvilken tilgang der vælges.

Der er registreret nogle mindre grundvandsdepoter i projektområdet<sup>1</sup>. Som diskuteret i tidligere sektioner, forventes grundvandet hovedsageligt at være grundfjeldsgrundvand, men den potentielle ydelse, strømningshastigheder og andre faktorer til at vurdere grundvandets følsomhed er ukendte. På grund af det allestedsnærværende blottede grundfjeld, skeletjorden i projektområdet, de relativt begrænsede mængder af potentielt spild og det faktum, at grundvandsressourcen ikke udnyttes, antages det, at risikoen for grundvandet er ubetydelig; der er ikke nogen substantiel migrationsvej, eksponeringsmekanisme og heller ingen receptor.

## 6. TRANSPORT- OG SKÆBNEANALYSE

### - **Via overfladevandafstrømning og oversvømmelseshændelser**

Benzinkulbrinter opløses dårligt i vand, og de fleste bestanddele anses for uopløselige, så brændstofsild eller hydraulisk væskesild vil ikke let opløse sig i overfladevand ved fx voldsom nedbør eller forårsoversvømmelser. Men oversvømmelseshændelser og afstrømning af overfladevand vil med stor sikkerhed "løfte" enhver fri fase benzin- eller dieselsild på jordoverflader, som så derefter vil migrere som en separat fase ovenpå vandet.

### - **Via grundfjelds brud og brudzoner**

<sup>1</sup> Thomas Ingemann-Nielsen, DTU 2020 personlig kommunikation

Grundfjeldsbrud er her set som brudzoner og brud som er tæt på grundfjeldsoverfladen. Migration i brudzoner er en kompleks størrelse og vanskelig at modellere uden mere detaljerede stedsspecifikke data. Modellering af transport af spild i grundfjeld ville (minimum) kræve, at man vurderede graden af grundfjeldets brud og retlinethed [lineament] og de gennemsnitlige bruddimensioner.

Ud fra erfaringer fra arktisk Norge finder substantiel migration af benzinspild på grundfjeld primært sted i større brudzoner, som er åbne oppe fra grundfjeldsoverfladen. Men hvis grundfjeldet er meget porøst og opbrudt i mange mikrokanaler, er sådanne kanaler og brud blevet fyldt med fint materiale hen over tid og yder generelt ikke lange, åbne spredningsveje, som spild kan migrere hurtigt ad. Tværtom er det almindeligt for spild at blive fanget i de fine materialer i sådanne brud (mængden af sådan fint materiale vil bestemme bruddenes tilbageholdelseskapacitet). Substantiel migration kan finde sted i umiddelbar tilknytning til kystlinjer af store vandområder, hvor tidevandsprocesser, bølger og nedbør kontinuerligt skyller grundfjeldsbruddene og derfor holder dem fri for absorberende fint materiale. Lignende vil gælde for meget stejle grundfjeldsskråninger.

For at et brændstofprodukt kan migrere i helt åbne grundfjeldsbrud over substantielle afstande vil det generelt kræve af produktet, at det er mindre kompakt end vand, og dette vil i de fleste tilfælde udelukke hydrauliske væsker. Så den migration, som faktisk finder sted, afhænger af kapilære kræfter og hydrauliske gradienter i brudsystemet. I små brud dominerer de kapilære kræfter, da de hydrauliske gradienter skulle være substantielle for at have størst indflydelse.

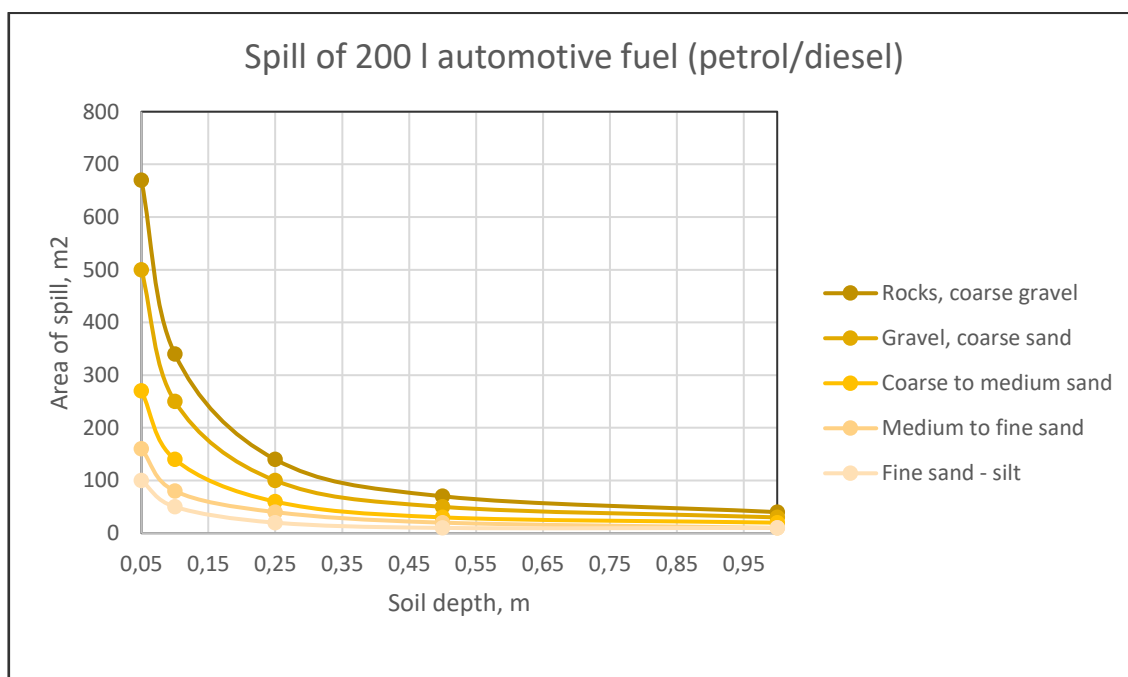
Baseret på erfaring fra norske spildsteder og de ovenfor nævnte fysiske vilkår, som styrer bevægelsen af brændstofspild i grundfjeld, kan følgende kommentarer gives angående projektområdet;

- i. I projektområdet forventes det, at større brudzoner (om overhovedet nogen) er kædet sammen mestendels øst til vest og nordøst til sydvest - idet retningen skyldes glacial erosion. Sammenkædningen af brud er derfor ligesom den foreslåede vej, og spild på grundfjeld vil snarere migrere parallelt med vejen end fx vinkelret på den.
- ii. Spild, der ville migrere med vand i grundfjeldet, ville være begrænset til benzin og diesel.
- iii. Hastigheden for og afstanden af brændstofspilds bevægelse i grundfjelds er vanskelige at estimere, men den kunne være substantiel i umiddelbar tilknytning til kystlinjer og på stejle skråninger, hvor brudzoner er mere blottet for finere, absorberende materiale.
- iv. Grundfjeldet i projektområdet består mestendels af prækambrisk gnejs, som anses for at være en relativt intakt og massiv type bjergart (fx i modsætning til sedimentære bjergarter) og derfor er substantielle brudzoner, der går fra overfladen ned til grundvandsstanden, ikke almindelige. I lignende områder i Norge er grundfjeldsgrundvand sjældent set være forurenede, da spild og forurenende stoffer i overvejende grad ville migrere (eller blive fanget) i overfladebrud og -zoner i grundfjeldet. Skæbnen for brændstofspild må forventes af være af lignende art i projektområdet. Dertil kommer, at de potentielle mængder af spild er relativt små, og at dyberegående brudzoner sandsynligvis ville holde spild tilbage, førend de nåede grundvandet (det er muligt at estimere tilbageholdelseskapaciteten i grundfjeld[CITATION MEI99 \l 1044]).

- **Forsinkelse og migration i jord**

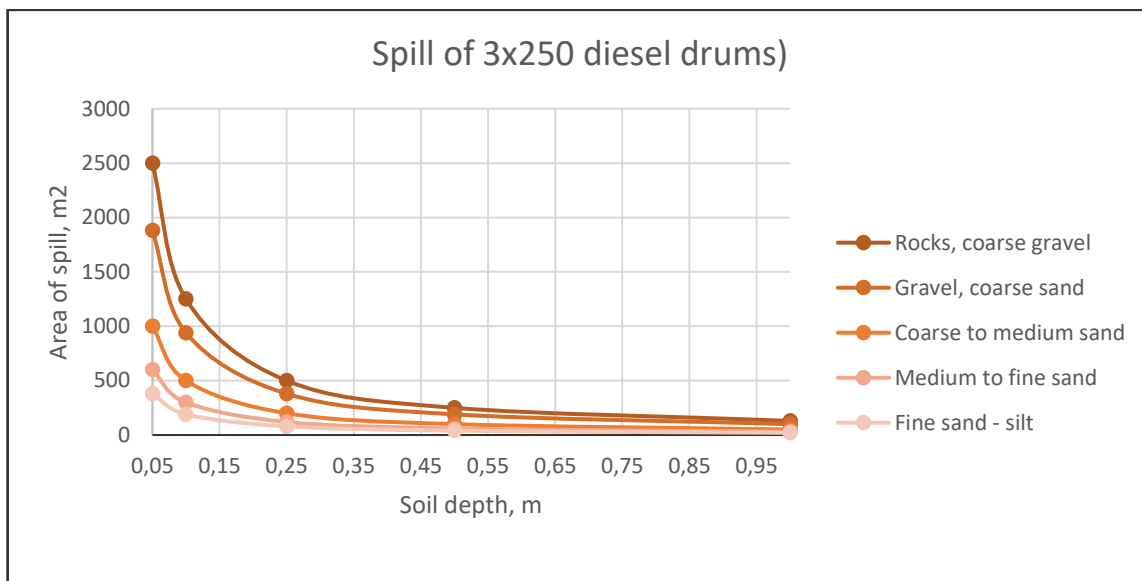
Når først brændstofforurende stoffer spildt på jord, så vil deres skæbne umiddelbart blive afgjort sædvanligvis af jordens tilbageholdelseskapacitet. Når denne tilbageholdelseskapacitet overskrides (fx hvis spildet fortsætter) så vil spildet fortsætte med at migrere. Om vinteren ville spild ikke blive tilbageholdt af jord, men potentielt af sne. Om efteråret / foråret når jordoverfladerne stadig er frosne vil spild sandsynligvis migrere over længere afstande som en overfladeafstrømning, som yderligere ville blive øget af smeltevand eller kraftig nedbør.

Ud fra de estimerede potentielle spildmængder og de generelle tilbageholdelseskapaciteter for typiske jordtyper, er overfladearealer af spild ved forskellige jorddybder blevet estimeret og ses nedenfor i figur 2 til 4. Overfladearealerne er baseret på spild på nivelleret jord. I skrånende terræn ville overfladearealerne stadig være forholdsvis af lignende art, men strakt ud på grund af tyngdekraften. Scenarierne i tabellerne tager ikke højde for effekten af en overfladevegetation, som sandsynligvis ville øge tilbageholdelsen. For overskuelighedens skyld repræsenterer tilbageholdelseskapaciteterne mellemtunge brændstofprodukter som diesel.

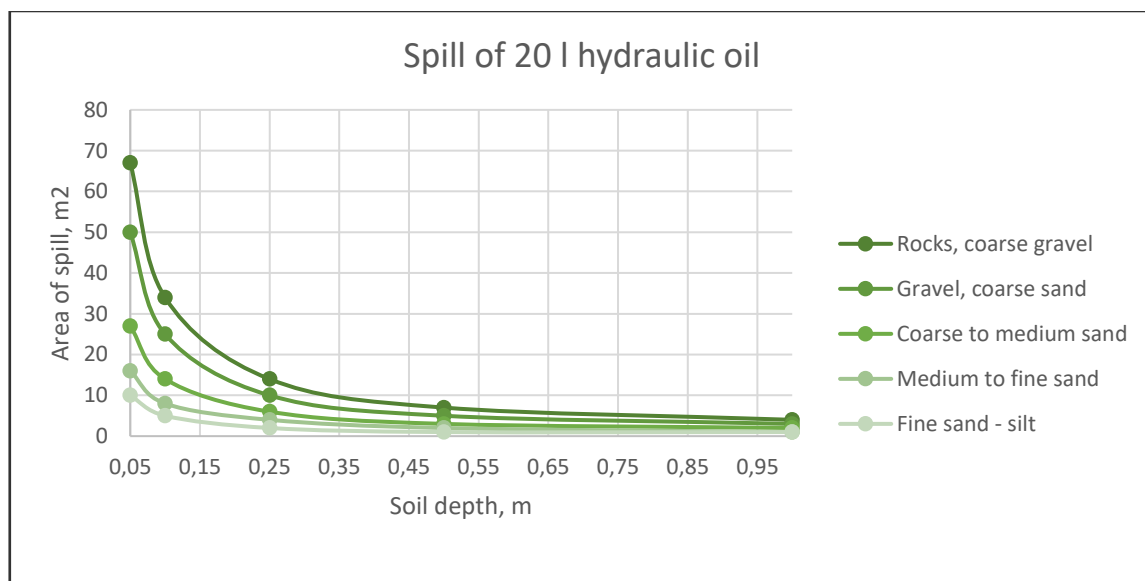


**Figur 2. Potentielle overfladearealer med benzin/diesel spild (ca 200 l) i forskellige jordtyper. <sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Oversætters note: Oversættelser af grafens enkeltord: spild af 200 l brændstof til køretøjer (benzin/diesel); spildarealet, m<sup>2</sup>; klipper, groft grus; grus, groft sand; groft til mediumfint sand; medium til fint sand; fint sand – silt; jorddybde, m



**Figur 3. Potentielle overfladearealer ved dieselspild (3 x 250 l) på forskellige jordtyper<sup>3</sup>**



**Figur 4. Potentielle overfladearealer ved spild af af hydrauliske væsker (ca. 20 l) på forskellige jordtyper.<sup>4</sup>**

Ud fra figurerne kan set let ses, at jo grovere jorden er, jo større spildareal. Det samme gælder for jorddybde; jo tyndere [shallower] jordlag, jo større spildareal. Baseret på tilgængelige data om projektområdet er de mere højtliggende og mere tørre områder domineret af grove tynde lag (op til ca. 15 cm) hen over grundfjeld lige under overfladen

<sup>3</sup> Oversætters note: Samme som ovenstående blot: Spild af 3x250 dieseltromler

<sup>4</sup> Oversætters note: samme som ovenstående, blot Spild af 20 l hydraulisk olie

[shallow], mens finere materialer and tykkere jordlag (op til ca. 30 cm) potentielt kan findes på de laveste punkter af dalene (hvor jordlagene også har højere indhold af organisk materiale og fugtighed). Tabel 3 nedenfor opsummerer potentielle spildarealer for disse scenarier.

**Tabel 3. Potentielle overfladearealer og deres påvirkning under forskellige spildscenarier.**

Jordtype	Spild af 200 l benzin/diesel, m <sup>2</sup>	Spild af 3 x 250 l diesel tromler, m <sup>2</sup>	Hydrauliske væskespild (20 l), m <sup>2</sup>
Groft grus, sand (højt terræn)	230	840	25
Medium to fine sand (lavt terræn)	60	200	6

Der kan drages visse observationer ud fra tabellen ovenfor;

- i. Da hydrauliske væsker overvejende vil synke i overfladevand, så vil spild inden for en radius af ca. 5 meter til et vandområde (i grove jordtyper) formodentlig resultere i sedimentpåvirkninger. I finere jordtyper vil et spild skulle ske næsten lige ved siden af vandområdet.
- ii. Et spild på tre 250 liters dieseltromler på en og samme tid vil sandsynligvis resultere i, at et substantielt overfladeareal ville blive påvirket i grove jordtyper; radius af spildet ville blive over 30 m. I finere jordtyper (sådan som i lavliggende områder, nærmere overfladevandområder såsom vandløb og søer) vil radius af spildet være på omkring 16 m. Derfor vil ethvert overfladevandområde inden for disse radiusser blive påvirket sandsynligvis.

#### - **Læk til grundvand og migration med grundvand**

Terrænet i projektområdet består mest af tynd, skeletjord oven på grundfjeld som blottes og derfor antages det, at grundvandspotentialen i projektområdet er begrænset. Dybden ned til grundfjeldsgrundvandet og dets signifikans (såsom omfang og ydelse) er ukendt og det er forudsat, at grundvand ikke er udnyttet i vandspærrezone. Derfor anses grundvand ikke for at være en transportvej eller en følsom receptor.

#### - **Adsorption til vegetation**

Sektion ovenfor som diskuterede forsinkelse i jordtyper, går ud fra, at der er ingen eller kun lidt vegetation i spildarealerne til yderligere at holde spildet tilbage. Typisk vegetation i projektområdet består af pletvise kapper af krybende [low-lying] lyngtyper, mosser, lav, græsser og halvgræsser etc. som gror i tynd jord og begrænset i fint materiale og organisk jord, som er fanget i grundfjeldsbrud. Spild, som sker ved højere elevationer, vil derfor sandsynligvis ikke blive tilbageholdt af vegetation i substantiel grad.

På lavere elevationer kan miljøet karakteriseres som fugtig til våd tundra med en højere grad af organisk jord og højere vandindhold. Højt organisk (humus) indhold i sådanne jordtyper og vegetation ville stærkt adsorbere [binde til sin overflade] benzin kulbrinter i

de lavere liggende områder og potentielt tillade en hurtigere bionedbrydning (fordampning ville sandsynligvis reduceres som et resultat af højere vandindhold) [CITATION RCa89 \l 1044].

#### - **Fordampning og bionedbrydning**

Baseret på undersøgelser ved fx Margesin and Schinner kan diesel og benzin spild miste minimum 16% af deres masse i temperaturer mellem 4 til 10 °C på 20 dage i jord. For et spild på 200 l af benzin/diesel til køretøjer betyder det minimum 35 til 40 liters reduktion på 20 dage; for et volumen af 750 l diesel ville en lignende reduktion være omkring 120 l. Ved temperaturer under nul grader forventes fordampningen er være meget mindre signifikant. Efter 20 dage vil fordampningen begynde at blive mindre, og bionedbrydningen vil blive vigtigere, men den vil blive påvirket af mange faktorer og må vurderes fra tilfælde til tilfælde.

I følge VVM-en er dagtemperaturerne gennemsnitlig over 0 °C kun fra juli til september, dvs. ca. 25% af året. Ud fra erfaringer fra det arktiske Norge er det potentielle gennemsnitlige årlige nedbrydningsmængde i 10 °C temperatur omkring 0,79 kg/m<sup>2</sup> og 25% af den mængde er ca. 0,2 kg/m<sup>2</sup>. Hvis man sætter et spild til at være 750 l diesel og at op til 16% af dette er fordampet, så efterlader det ca 544 kg til mikrobiel nedbrydning. Hvis dette så er spredt over 840 m<sup>2</sup> (se sektionen ovenfor om tilbageholdelseskapalet) giver dette 0,65 kg/m<sup>2</sup>. Det ville derfor tage fra **3 til 4 år** for de resterende 544 kg at nedbrydes helt. Dette estimat er formodentlig optimistisk, da de tungere bestanddele (fra ca C16 til C19) ville nedbrydes langsommere (muligvis via anaerob nedbrydning. Hertil kommer, at dette estimat også tager som sit udgangspunkt, at der er en passende mængde nitrogen og fosfor i jorden (for projektområdet er der ikke blevet sat tal på disse).

Hastigheden af bionedbrydningen vil være tilsvarende for de andre scenarier af utilsigtede hændelser med spild, ligesom den mikrobielle nedbrydning baserer sig på en iltstrøm fra atmosfæren (og i mindre grad fra nedbør) per kvadratmeter. I virkeligheden ville der være "hotspots" med høje koncentrationer, hvor ilt kunne blive en begrænsende faktor for nedbrydningen.

#### - **Transport ved biota og menneskers aktiviteter**

Det er muligt, at de spildte produkter vil migrere med biota, såsom dyr, og på grund af menneskeaktiviteter. Forurenende stoffer, såsom tungere kulbrintebestanddele og urenheder i brændstoffer kan bioakkumulere og biomagnificere, men takket være spildenes begrænsede omfang og udstrækning ses dette ikke som en større transportmekanisme.

Spredning ved køretøjer og andre menneskeaktiviteter ville være relativt let at minimere ved at lave restriktioner for adgang til spildarealet (fx under bioafhjælpning som kan tage mange år).

## 7. RISIKOHÅNDBLING

### Muligheder for at reducere sandsynligheden for utilsigtede hændelser:

Der er adskillige måder at reducere sandsynligheden for utilsigtede hændelser, og disse diskussioner er også del af vurderingen af forskellige projektmuligheder diskuteret i VVM. De benzin kulbrinte spild, der er regnet med, forventes at ske forårsaget af to kategorier af utilsigtede hændelser:

- 1) Spild ved en ulykke, såsom kollision mellem to køretøjer og ulykker med et enkelt køretøj (rollover-ulykke, kollision med vragrester/dyr). Begge typer ulykker er mulige på sektionerne på den foreslåede vej. Sådanne ulykker kan resultere i spild af brændstoffer for køretøjer, såvel som af hydrauliske væsker (fx fra bremses eller gearkassesystemer).
- 2) Spild som skyldes materielle fejl eller dårlig vedligeholdelse. Sådanne spild involverer mestendels hydrauliske væsker.

Mulighederne for at reducere sandsynligheden for utilsigtede hændelser kunne så omfatte tiltag som;

- Udvidelse af vejen for at reducere risikoen for kollision mellem to køretøjer, eller anlæggelse af sektioner, hvor to køretøjer kan passere hinanden sikkert.
- Fartbegrænsninger og passende trafikskiltning til at advare mod farlige vejsektioner og andre risici.
- Forebyggende vedligeholdelse af køretøjer, der bruger vejen, og programmer for syn af køretøjer (periodisk køretøjskontrol?).
- Forbedret kvalitet af køretøj/udstyr eller restriktioner mod brug af forældede køretøjer/udstyr.
- Foranstaltninger til spildkontrol. Det antages generelt, at hydrauliske væsker lækker/spildes fra tungt materiel (som gravemaskiner, sneplovkøretøjer etc.) før eller senere, og i visse lande er det et krav at have spildkontroludstyr med i køretøjet, når der arbejdes i følsomme områder. Sædvanligvis inkludere dette absorberende udstyr, som kan bruges til at absorbere og indeholde spildet, nogle gange endda før spild finder sted (fx under vedligeholdelse/reparation under feltforhold).

### Muligheder for at reducere konsekvenserne:

- Man kan reducere mængden af transporteret brændstof til skilifter (fx en 250 l tromle på en gang i stedet for tre tromler med en total på 750 l).
- Brug af planteoliebaserede hydrauliske væsker, når det teknisk er gennemførligt (et almindeligt krav i beskyttede grundvandsområder i mange lande).
- Foranstaltninger til spildkontrol, som er let tilgængelige (jf. ovenfor), for at minimere størrelsen af spild på landjorden. Udrykningskøretøjer skal have spildudstyrssæt, der er lettilgængelige.
- Foranstaltninger til spildkontrol, som er lettilgængelige, for at minimere spild på vand. Spildudstyrssæt skulle være lettilgængelige ved Vandsø 5. Et sådant udstyr skulle inkludere en egnet båd/fartøj, oliebumme/absorberende udstyr ("oliepølse"), dispergeringsmidler [midler til at opslæmme] and midler til at indsamle vandprøver. Brugen af dispergeringsmidler skal kun bruges som sidste udvej og kun efter en

grundig risikovurdering. Dispergeringsmidler er kemikalier, som spredes på spildet på overfladevandet, og som vil hjælpe med til at bryde spildet op i mindre dele og på den måde muliggøre en hurtigere fordamning og nedbrydelse. Men dispergeringsmidler vil også få dele af spildet til at synke og dermed gøre det sværere at genvinde, men i nogle tilfælde kan dette forsvares for at beskytte fx en vandplante. I dets mest simple form er et dispergeringsmiddel blot et normalt opvaskemiddel (fx "Zalo oppvaskemiddel" i Norge).

- Etableringen af en spildberedskabsorganisation og -politikker, inklusive en medie/kommunikationsplan.
- Effektive beredskabsplaner skal være på plads til at håndtere nødsituationer (inkl. testning af disse planer og øvelser i spildgenopretning).
- Der er lavet et kort over sårbarhed til at udpege skisporet tværs over land, snescootersporet og træningsområdet<sup>5</sup>, og dette kan bruges til at inddele den planlagte vej i prioriterede sektioner m h t indsatser i en nødsituation. Dette kan også være en hjælp til at beslutte passende indsatser efter nødsituationen (fx til at vælge mellem det at fjerne jord og så metoder til forbedret bionedbrydning).
- Man kan overveje specielle anlægsmetoder for særligt sårbare områder, såsom dræningsrender, barrierer til at holde spild væk fra sårbare områder (som fx åbenvandsområder), uigennemtrængelige membraner under vejen og vejkanterne i sårbare områder.

## 8. ANDRE FORESLÅEDE TILTAG

- Indsamling af jordprøver i projektområdet (og potentielt sedimentprøver i Vandsø 5) for at identificere populationer af kulbrintenedbrydende mikrober og næringsniveauer (i det mindste nitrogen og fosfor, som er vitale for mikrobiel nedbrydning). Disse prøver ville være en hjælp til at kvantificere, hvor længe det tager for spild af brændstof/hydrauliske væsker at nedbrydes, og om hvorvidt nogen tilførsel af næring til jorden ville kunne fremskynde nedbrydningen.

---

5

*Selvstyrets bekendtgørelse nr. 9 af 30. april 2015 om særlige regler for vandspærrezonen ved Sisimiut*



## References

- [1] T. Guerin, «Root causes of fluid spills from earthmoving plant and equipment: Implications for reducing environmental and safety impacts.» *Engineering Failure Analysis*, vol. 45, pp. 128-141, October 2014.
- [2] P. Pritchard og U. Karlson, «Fate and degradation of oil,» i *Potential environmental impacts of oil spills in Greenland*, vol. NERI Technical Report no 415, Copenhagen, National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment, Denmark, 2002, pp. 31-48.
- [3] F. Schinner og R. Margesin, «Oil biodegradation potential in Alpine habitats,» *Arctic and Alpine Research*, vol. 30, nr. 3, pp. 262-265, 1998.
- [4] G. S. Brunet og M. Reddy, «Numerical prediction of oil-slick movement in Gabes Estuary,» i *International Conference on Coastal Engineering 97*, La Coruna, Spain, 1997.
- [5] M. Fingas, «Studies on the evaporation of crude oil and petroleum products: The relationship between evaporation rate and time,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 56, nr. 227, 1997.
- [6] L. D. Mackay, F. Bonville, E. Joner og W. Y. Shiu, A study of the long-term weathering of submerged and overwashed oil, Toronto: University of Toronto, 1989.
- [7] F. Aeckersberg, F. Bak og F. Widdel, «Anaerobic oxidation of saturated hydrocarbons to CO<sub>2</sub> by a new type of sulphate-reducing bacterium,» *Arch. Microbiol.*, vol. 156, pp. 5-14, 1991.
- [8] C. S. & L. Young, «Isolation and characterization of a sulphate-reducing bacterium that aerobically degrades alkanes.» *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 65, nr. 7, pp. 2969-2976, 1999.
- [9] S.L. Ross Environmental Research Ltd. & D.F. Dickins Associates Ltd. , Modelling of oil spills in snow, Ottawa: Environment Canada, Environmental Protection Directorate, 1988.
- [10] C. B. Behr-Andres, J. K. Wieggers og S. D. Forester, Tundra spill cleanup and remediation tactics: a study of historic spills and literature, Fairbanks, Alaska: Alaska Department of Environmental Conservation, 2001.
- [11] C. S. Jacobsen, «Effect on microbial populations,» i *Potential environmental impacts of oil spills in Greenland*, Copenhagen, National Environmental Research Institute - Ministry of the Environment, Denmark, 2002, pp. 48-56.
- [12] B. Strandberg, «Impact on vegetation,» i *Potential environmental impacts of oil spills in Greenland*, Copenhagen, National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment, Denmark, 2002, pp. 57-64.
- [13] A. Glessing, O. Andresen og G. Banta, «Impact on invertebrates,» i *Potential environmental impacts of oil spills in Greenland*, Copenhagen, National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment, Denmark, 2002, pp. 65-77.
- [14] M. Elert, T. Lundgren, O. Landin og J.-O. Arnbom, Reviderat konceptuell modell för spridningen av petroleumrester rundt bergrumsanläggninger, 1999: SGU/Statens oljelager, 1999.
- [15] R. Calvet, «Adsorption of organic chemicals in soils,» *Environmental Health Perspectives*, vol. 83, nr. pp, pp. 145-177, 1989.