

Dokumenttype

Baggrundsrapport

Dato

Oktober 2021

VEJ FRA SISIMIUT TIL KANGERLUARSUK TULLEQ MODELLERING AF SPILD I VANDSØ 5 – BILAG 4

VEJ FRA SISIMIUT TIL KANGERLUARSUK TULLEQ MODELLERING AF SPILD I VANDSØ 5 – BILAG 4

Projekt navn **Vej fra Sisimiut til Kangerluarsuk Tulleq**
Projektnr. **1110000115**

Dokumenttype **Baggrundsrapport**
Version **3**
Dato **13-10-2021**
Udarbejdet af **JAK Rambøll**
Kontrolleret af **JQHN - Rambøll**
Godkendt af **LGOD**

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

T +45 5161 1000
F +45 5161 1001
<https://dk.ramboll.com>

INDHOLD

1.	Indledning	2
2.	Opsummering	4
3.	Datagrundlag	7
3.1	Vindforhold Sisimiut	7
3.1.1	Vindforhold ved Sisimiut lufthavn baseret på statistik fra DMI /1/	7
3.1.2	Vindforhold ved Sisimiut baseret på hindcast-data fra NOAA	8
3.2	Tilstrømnings-/afstrømnings-forhold til vandsøen	9
3.3	Drikkevandsindtag	12
3.4	Temperatur og nedbør	13
3.5	Oliespild (olietype og omfang)	13
4.	Modelopsætning	15
4.1	Modelområde	17
4.2	Egenskaber af olie/benzin og diesel	17
4.3	Opløst neutralt stof	19
4.4	Undersøgte scenarier i forbindelse med spildsimuleringer	19
5.	Følsomhedssimuleringer	22
6.	Resultater – strømforhold	25
7.	Resultater - oliespild	28
7.1	Udslip af 750 l dieselolie – scenarie 2	29
7.2	Udslip af 200 l benzin – scenarie 3	35
7.3	Udslip af 750 l dieselolie – scenarie 1 – alternativ placering af drikkevandsindtag	37
7.4	Konklusion	38
8.	Resultater – spild af neutralt stof	41
8.1	Udbredelse og maksimale koncentrationer af neutralt stof for scenarie 2 og 3	41
8.2	Konklusion	45
9.	Referencer	47

Appendix A: Resultater fra oliespildsmodelberegninger – nuværende placering af drikkevandsindtaget

Appendix B: Resultater fra oliespildsmodelberegninger – alternativ placering af drikkevandsindtaget

1. INDLEDNING

I forbindelse med planerne om at etablere en ny vej gennem vandspærrezonen ved Sisimiut er der ønsket en vurdering af konsekvenserne for indvinding af drikkevand fra Vandsø 5 i tilfælde af;

- J at der sker et spild eller et udslip af dieselolie, benzin eller hydraulikolie som følge af en ulykke på den nye vejstrækning
- J at der sker et spild af et neutralt stof¹ eksempelvis i forbindelse med anlægsfasen

I det følgende er ovenstående generelt refereret til som et "spild". Placering af vejen mod Vandsø 5 er vist på figur 1-1.



Figur 1-1: Oversigt over Vandsø 5, den fremtidige vej (rød linje) samt placeringen af det eksisterende drikkevandsindtag. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

Til vurdering af om et spild omkring den nye vej kan påvirke indvindingen af rent drikkevand fra Vandsø 5, dvs. vurdering af hvorvidt der er risiko for at indvindingsvandet er "forurenet" som følge af spildet, er der gennemført modelberegninger. Formålet med modelberegningerne er i hovedtræk at etablere et tilstrækkeligt grundlag til at vurdere om der er risiko for, at et spild kan nå drikkevandsindtaget, samt hvor hurtigt udbredelsen af spildet i Vandsø 5 vil ske.

Spredning og transport af et spild i en sø vil primært afhænge af overordnede parametre som;

- J Aktuelle lokale vindforhold (hastighed og retning)
- J Strømhastighed/retning (genereret af vindens påvirkning samt evt. tilstrømning fra omkringliggende areal)

¹ F.eks. partikler eller humus.

J Egenskaber for det spildte materiale

I det følgende gives en beskrivelse af datagrundlaget (afsnit 3) samt den anvendte metode til modelleringen af et spild i Vandsø 5, herunder forudsætninger for modelopsætningen (afsnit 4). Dette er efterfulgt af en beskrivelse af resultater samt konklusionerne fra modellering af hhv. et oliespild i afsnit 7 samt et neutralt stof i afsnit 8.

2. OPSUMMERING

Der er til nærværende vurderinger gennemført modelberegninger af spredning og transport af hhv. dieselolie, benzin, hydraulikolie samt et neutralt stof for udvalgte konservativt-realistiske strøm-/vindforhold. Modelberegningerne er gennemført ved anvendelse af MIKE3 programpakken fra DHI med relevante moduler til simulering af spredning af olieprodukter under hensyntagen til de processer som forskellige typer af olie undergår efter udslip samt spredning af et neutralt stof, der hverken aflejres eller henfalder.

Idet der ikke foreligger tilstrækkelige data til validering af den opsatte model eller viden omkring de eksakte egenskaber for det spildte produkt (da dette kan variere efter olietype), er der gennemført en række følsomhedssimuleringer for udvalgte parametre. Baseret på følsomhedssimuleringerne er det konkluderet, at modelresultaterne bl.a. er følsomme overfor positionen af spildet, opblandingsforholdene samt de faktiske vejrforhold, men ikke signifikant følsomme overfor nedbørs-, fordampnings- og temperaturforhold. De endelige simuleringer er således gennemført for realistisk-konservative vejrforhold, idet der anvendes vindforhold, der gennemsnitlig overskrides ca. 1 gang pr. sommerhalvåret og høje til ekstreme tilstrømningsforhold. Disse forhold vil således give anledning til hurtig spredning i søen.

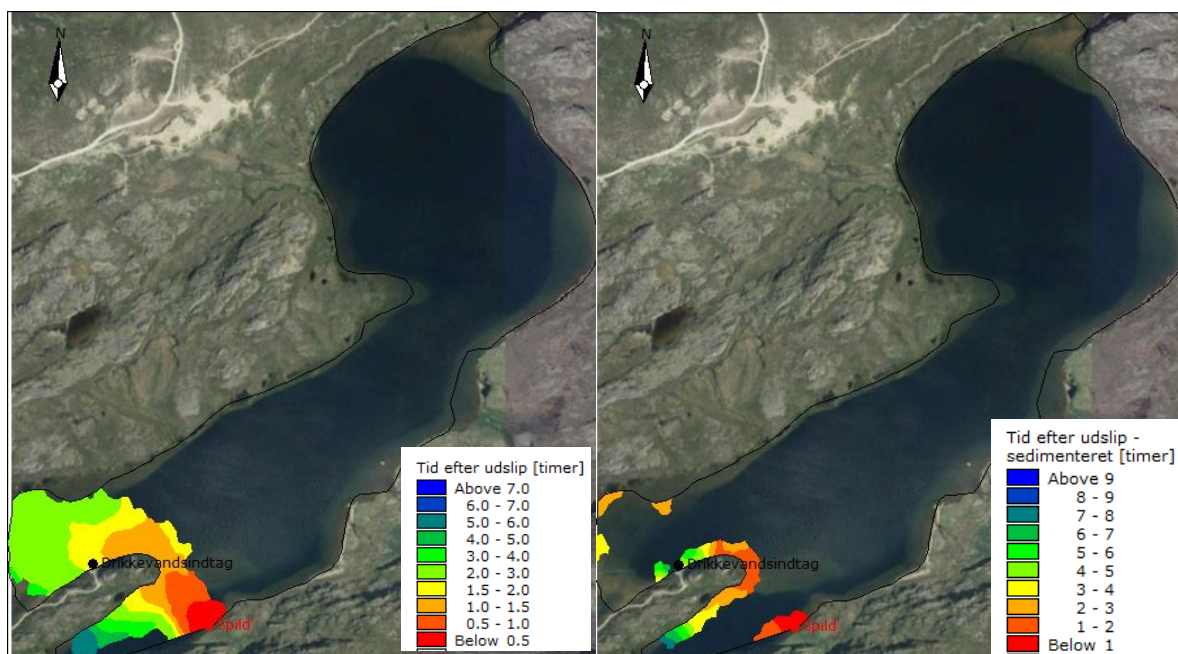
Det skal pointeres, at de opnåede resultater skal betragtes som værende kvalitative fremfor kvantitative – forstået på den måde, at de overordnede tendenser vurderes at være repræsentative for hvad der kan ske, som følge af et spild. De faktiske tidsangivelser ift. hvornår et spild vil nå et givent område kan afvige fra det modellerede, dels fordi modelberegningerne er kørt for specifikke scenarier for vind- og tilstrømning og dels fordi egenskaberne for det faktisk spildte materiale er ukendte. Resultaterne kan således alene anvendes til at vurdere om der er risiko for at et spild vil nå området omkring drikkevandsindtaget og give en indikation af om det tager kort eller længere tid før drikkevandsindtaget evt. nås. Der er ikke gennemført modelberegninger, der kan anvendes til at estimere, hvor lang tid et evt. spild kan forblive i Vandsø 5, dvs. uden at sedimentere eller blive ført med udløbsvandet væk fra Vandsø 5.

Positionen af spildet i forhold til den fremtidige vejstrækning er vist på figur 2-1, hvor også en alternativ placering af drikkevandsindtaget er markeret.



Figur 2-1: Vandsø 5 med markering af det fremtidige vejtracé, placeringen af drikkevandsindtaget og en alternativ placering af drikkevandsindtaget samt markering af positionen for et spild. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

Modelberegningerne har vist, at der er risiko for, at et spild af diesellole, benzin eller hydraulikolie vil kunne nå området for drikkevandsindtaget indenfor relativt kort tid efter at spildet er sket (ca. 2-5 timer) afhængig af de faktiske vind- og afstrømningsforhold, se transporttid for diesellole i tilfælde af vind fra syd-øst på figur 2-2.



Figur 2-2: Transporttid for suspenderet dieselolie (venstre) og aflejret dieselolie (højre) for et scenarie, hvor der er konstant vind fra syd-østlig retning og en tilstrømning til Vandsø 5 på 20 m³/s. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

En flytning af drikkevandsindtaget (alternativ placering af drikkevandsindtag jf. figur 2-1) vil ikke sikre indvinding af rent drikkevand, da der for de modellerede konservativt realistiske scenarier også er påvist risiko for, at et spild kan nå dette område. Her er kritiske vindretninger mere syd mod sydvestlige retninger.

I tilfælde af spild af et neutralt stof er der ligeledes risiko for at spildet vil nå området med drikkevandsindtaget, igen afhængig af de faktiske vejrforhold, men det vurderes, at drikkevandsindtaget kan nå indenfor samme korte tid (ca. 2 timer) efter et spild.

3. DATAGRUNDLAG

Data anvendes i forbindelse med opsætning samt gennemførelse af modelberegningerne til vurdering af risiko for at et spild når drikkevandsindtaget. I dette afsnit er det tilgængelige datagrundlag beskrevet.

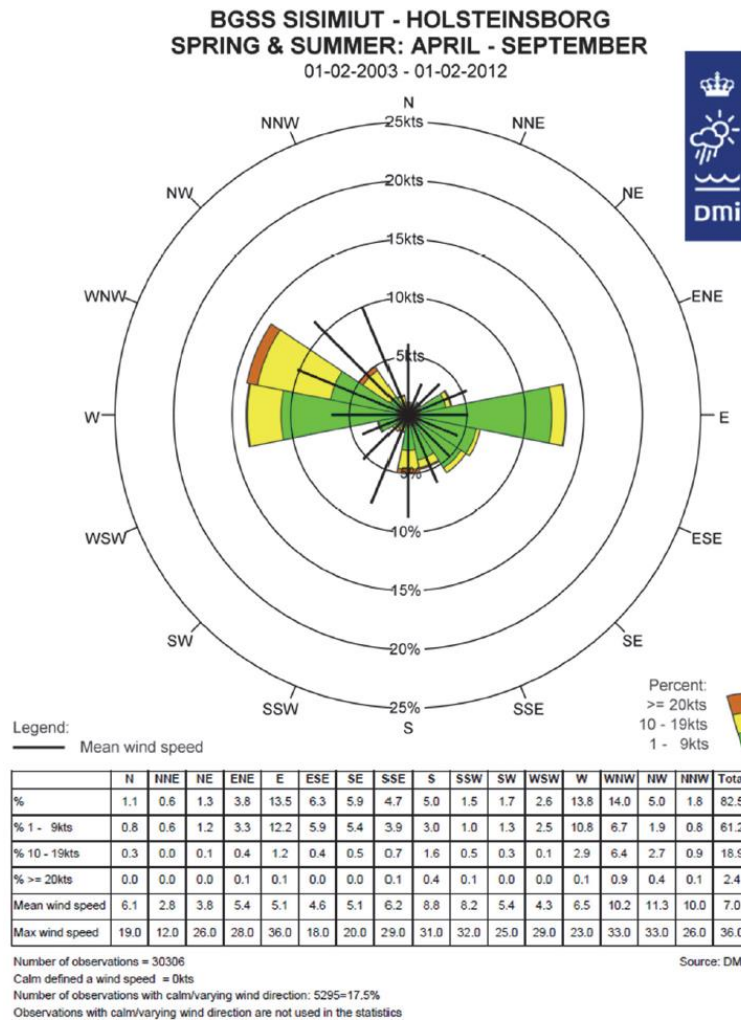
3.1 Vindforhold Sisimiut

En af de vigtigste parametre ift. generering af strøm i en sø, og dermed transport af et spild, er vindforholdene. Vindforhold ved Sisimiut er beskrevet baseret på statistik fra DMI, /1/, samt på tilgængelige hindcast data fra NOAA.

Til nærværende analyse er det hovedsageligt vindforholdene i sommerhalvåret som er væsentlige, da Vandsø 5 vil være dækket af is i vinterhalvåret. Vindforholdene er derfor specifikt beskrevet for sommerhalvåret.

3.1.1 Vindforhold ved Sisimiut lufthavn baseret på statistik fra DMI /1/

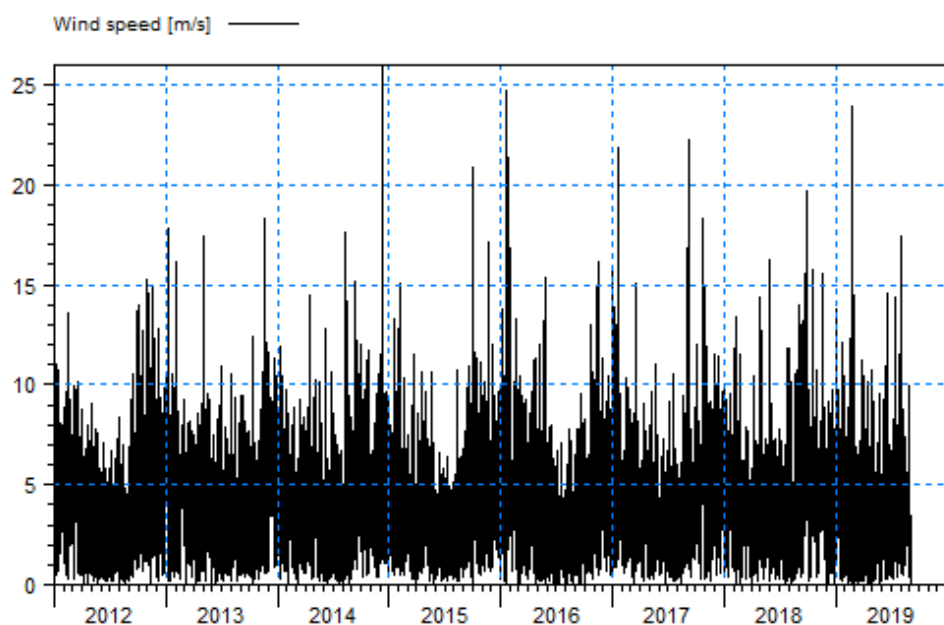
Vindrose samt vindstatistik fra DMI-rapporten /1/ for sommerhalvåret april - september på lokaliteten 66,950°N 53,717°W H: 29 m over middelvande for en 9-årig periode 1-Feb-2003 – 1-Jan-2012 er givet i figur 3-1. Som det fremgår af vindrosen i figur 3-1, er de mest dominerende vindretninger fra hhv. øst og vest i perioden, og middelvindhastigheder fra disse retninger er ca. 3 – 6 knob (1,5 – 3 m/s). Højeste middelvindhastigheder opstår fra vestlige retninger. Maksimale vindhastigheder i måleperioden varierer imellem ca. 12 – 19 m/s (højest fra øst).



Figur 3-1: Vindrose og vindstatistik ved Sisimiut Lufthavn i perioden 2003 – 2012. /1/ 1 kts = 0,5144 m/s.

3.1.2 Vindforhold ved Sisimiut baseret på hindcast-data fra NOAA

Data fra NOAA (*National Centers for Environmental Information*) [7] er indhentet til dette projekt. Dataene indeholder 1-times middel vindhastigheder i 10 m højde og er diskretiseret i rektangulære felter af 0,2° x 0,2°. Til nærværende projekt er der udtrukket data fra området ved Sø 5 i en periode fra 1. januar 2012 – 1. februar 2020. En tidsserie af dataene er vist i figur 3-2.



Figur 3-2: Tidsserie af vinddata fra området ved vandsøen i perioden januar 2012 – februar 2020. /7/

Da den fremtidige vej tangerer den sydvestlige kyst af søen, vil et oliespild kunne forekomme på denne nordvestvendte kyststrækning. Det er derfor valgt at analysere på vind fra de seks retninger, hhv. vest (V), sydvest (SV), syd (S), sydøst (SØ), øst (Ø), nordøst (NØ). For hver vindretning er der gennemført en statistisk analyse af vindhastighederne for vind i sommerhalvåret, dvs. i perioden april – september. Resultater fra analysen er givet i tabel 1.

Returperiode [år]	Vindhastighed (april - september) [m/s]					
	V	SV	S	SØ	Ø	NØ
1	10	11	11	10	11	13
5	13	14	15	13	14	16
10	15	16	17	14	15	17
50	18	20	21	17	17	20

Tabel 1: Estimerede returperioder for vindhastigheder i sommerhalvåret (april – september) fra vindretningerne NØ – V, baseret på NOAA vinddata fra perioden 1. januar 2012 – 1. februar 2020 ved Sisimiut.

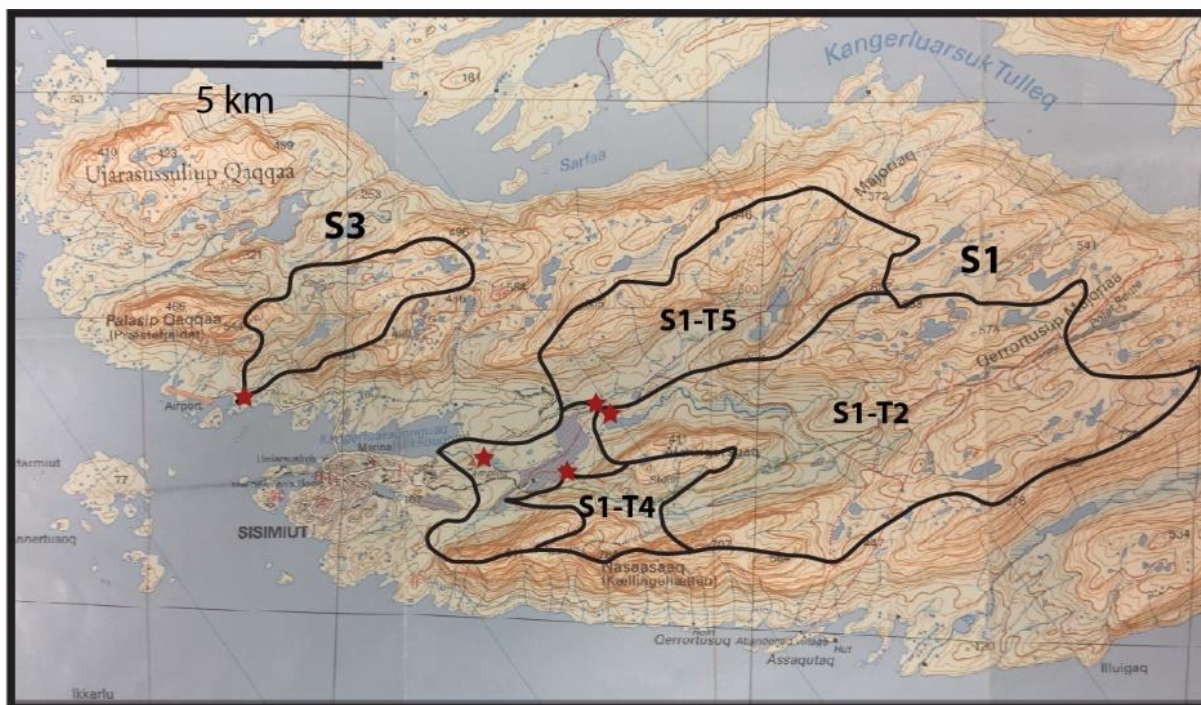
Som det fremgår af tabel 1, opstår der vindhastigheder på op til ca. 10 – 13 m/s med en returperiode på ét år, dvs. en gennemsnitlig forekomst én gang om året i sommerhalvåret. Der er kun en mindre variation imellem de forskellige vindretninger.

3.2 Tilstrømnings-/afstrømnings-forhold til vandsøen

En anden vigtig parameter ift. strømforhold i søen er til-/afstrømning i søen. Data for tilstrømning/afstrømning til drikkevandssøen er leveret fra Professor ved University of Florida, Jonathan B. Martin. Dataene blev indhentet som led i et større projekt støttet af US National Science Foundation under Grant No. OPP-1603452. /8/

Vandtilførslen til vandforsyningsøen blev målt på tre lokaliteter; to vandløb umiddelbart opstrøms for, hvor de løber ind i vandforsyningsøen fra øst (T2 og T5) samt på sydkysten af søen (benævnt T4). Herudover blev vandafstrømningen (udløb) målt ved broen i den vestligste del af søen (S1).

Placeringer af vandtilførslen til vandsøen samt oplandet for de forskellige tilstrømninger, er illustreret på figur 3-3 /8/.



Figur 3-3: Angivelse af placeringer for vandtilførsel til samt vandafstrømning fra drikkevandssøen (angivet via stjerner) samt illustration af opland for vandtilførsel til drikkevandssøen. /8/

Et skøn over den relative andel af den samlede tilstrømning af vand er givet i tabel 2. Fordelingen er baseret på målt tilstrømning og udledning til samme tidspunkt for forskellige perioder. Målingerne viser, at gennemsnitligt forekommer 64% af tilstrømningen fra T2, 22% af tilstrømningen fra T5 og 6% fra T4. T2 har ca. dobbelt så stort et afvandingsområde sammenlignet med T5, men det bidrager med næsten tre gange mere vand. Tilsvarende består T2 af et omkring seks gange større afvandingsområde sammenlignet med T4, men bidrager med omkring 10 gange mere vand til søen. Disse forskelle tyder på lokale variationer i nedbør og/ eller fordampning.

Forskellen mellem det samlede S1-udløb ved broen og summen af tilløb fra T2, T4, og T5 antages at afspejle tilstrømningen fra den u-målte del af tilstrømningen til søen (dvs. at 8% er u-målt). Ved antagelse om at al vandtilførsel til søen forekommer ved tilløbene fra T2, T4, T5 kan der foretages en op-skalering af vandtilførslerne i tabel 2 - se de skalerede vandføringer i tabel 3.

Date (m/d/y)	Flow meter type	Flow (m ³ /sec)				Fraction of S1 discharge		
		Bridge	T5	T2	T4	T5	T2	T4
8/25/2017	Price AA	1.78	N/A	0.86	N/A			
8/25/2017	Global	N/A	0.40	1.24	0.14	0.23	0.70	0.08
8/26/2017	Price AA	1.62	0.39	1.16	N/A	0.24	0.72	
8/26/2017	Global	N/A	0.40	1.07	N/A	0.24	0.66	
8/27/2017	Price AA	1.82	0.34	1.02	N/A	0.19	0.56	
8/27/2017	Global	N/A	0.37	0.93	0.10	0.21	0.51	0.05
7/5/2018	Price AA	2.85	N/A	N/A	N/A			
7/5/2018	Price AA	N/A	0.54	1.76	N/A	0.19	0.62	
7/5/2018	Global	N/A	N/A	1.69	N/A		0.59	
7/6/2018	Price AA	2.19	N/A	N/A	N/A			
7/6/2018	Global	N/A	N/A	N/A	0.16			0.05
7/8/2018	Price AA	2.20	N/A	1.33	N/A		0.60	
7/8/2018	Global	N/A	0.46	1.54	N/A	0.21	0.70	
7/10/2018	Price AA	1.48	0.35	1.13	N/A	0.24	0.76	
7/10/2019	Global	N/A	N/A	0.88	N/A		0.60	
				Average fraction =		0.22	0.64	0.06
				StdDev =		0.02	0.08	0.01

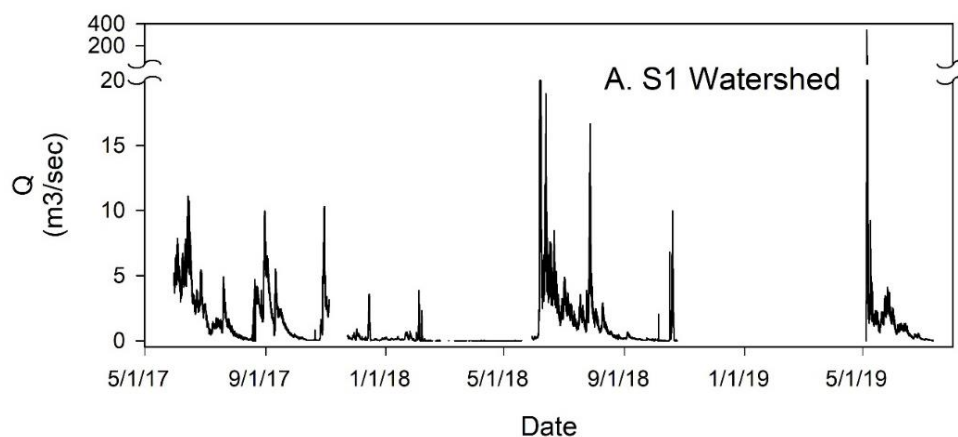
Tabel 2: Øjeblikkelig udledning og relative udledningsandele fra tilstrømning til Vandsø 5. /8/

Bidrag	T5	T2	T4
Op-skaleret fraktion	0.24	0.70	0.07

Tabel 3: Op-skalerede fraktioner fra tabel 2 under antagelse af, at den samlede vandføring ved broen tilløber Vandsø 5 ved enten T5, T2 eller T4.

En målt tidsserie for vandafstrømning ved broen i den vestligste del af søen er vist i figur 3-4. Som det fremgår af figuren, er intensiteten af tilstrømningen forholdsvis dynamisk/varierende. Således kan der under ekstremperioder (flom) opstå en kortvarig tilstrømning på op mod ca. 350 m³/s (forekom omkring d. 1/5-2019). De resterende ekstremperioder, i måleperioden, medfører vandtilstrømning på op til ca. 10 – 20 m³/s.

Den gennemsnitlige tilstrømning til drikkevandssøen i sommerperioden vurderes til at være ca. 3 m³/s (aflæst på figuren).

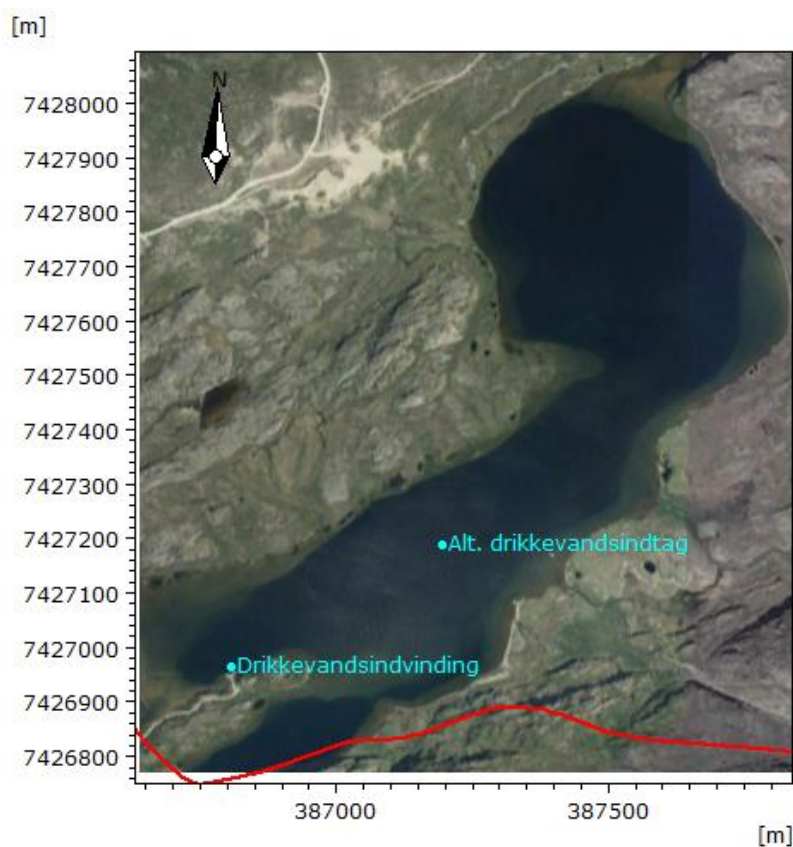


Figur 3-4: Tidsserie for den samlede vandtilførsel til søen - korrigeret for artefakter fra frysnings. /8/

3.3 Drikkevandsindtag

Jf. forsyningsvirksomheden Nukissiorfiit (Sisimiut) er drikkevandsindtaget placeret ca. 3 m over bunden i kote -8 og har en kapacitet på 100 l/s.

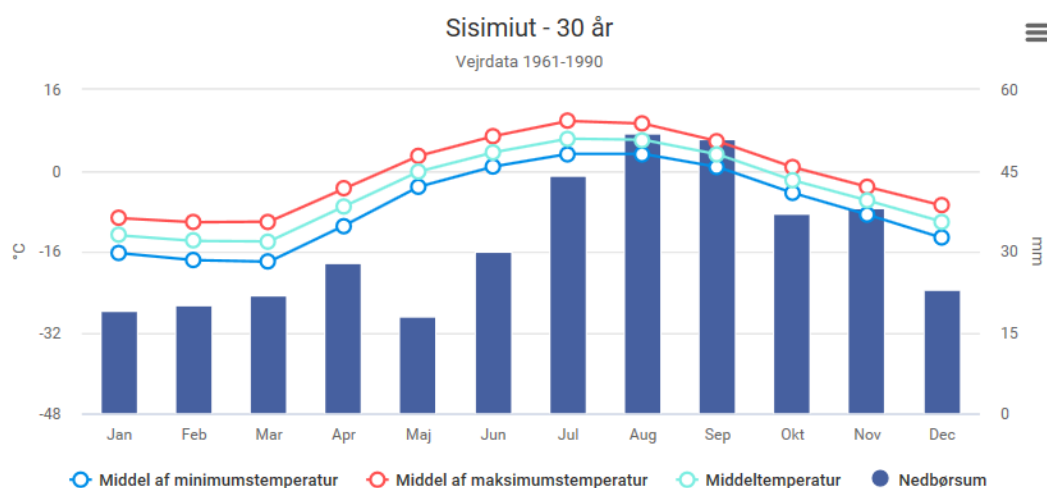
Der er mulighed for, at der kan etableres et alternativ drikkevandsindtag, hvis dette er mere gunstigt. Den alternative placering er midt i søen i et område, hvor vanddybden er ca. 21 m. Drikkevandsindtaget placeres ca. 3 m over bunden. Placeringen af eksisterende og fremtidige drikkevandsindtag er markeret på figur 3-5.



Figur 3-5: Vandsø 5 samt markering af fremtidig vej (rød linjeføring), eksisterende drikkevandsindtag samt en placering af et alternativt drikkevandsindtag. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

3.4 Temperatur og nedbør

Klimanormaler for temperatur og nedbør fra perioden 1961 – 1990 er vist i figur 3-6, samt gengivet på tabelform i tabel 4. Gennemsnit for sommerhalvåret (april – september) er desuden beregnet i tabel 4.



Figur 3-6: Klimanormaler for temperatur og nedbør ved Sisimiut i perioden 1961 – 1990 /9/.

Måned	Middel af minimumstemperatur [°C]	Middel af maksimumstemperatur [°C]	Middeltemperatur [°C]	Nedbørsum [mm/måned]
Jan	-16.3	-9.4	-12.8	19.0
Feb	-17.7	-10.2	-13.9	20.0
Mar	-18.0	-10.1	-14.0	22.0
Apr	-10.9	-3.6	-7.1	28.0
Maj	-3.2	2.9	-0.2	18.0
Jun	0.8	6.8	3.6	30.0
Jul	3.3	9.8	6.3	44.0
Aug	3.3	9.3	6.1	52.0
Sep	0.7	5.8	3.2	51.0
Okt	-4.4	0.7	-1.9	37.0
Nov	-8.7	-3.2	-5.9	38.0
Dec	-13.3	-6.9	-10.1	23.0
Gennemsnit: April - september	-1.0	5.2	2.0	37.2

Tabel 4: Klimanormaler for temperatur og nedbør ved Sisimiut i perioden 1961 – 1990. /9/

3.5 Oliespild (olietype og omfang)

Der er gennemført en vurdering af hvilke typer og omfang af oliespild, der er kan forekomme i forbindelse med transport på den nye vej ved Vandsø 5. Vurderingerne er beskrevet og dokumenteret i /10/ samt resumeret nedenstående ift. typer, karakteristika og mængder.

Det er vurderet, at der er risiko for følgende tre oliespildsscenerier:

- J Spild af ca. 200 l diesel eller benzin til biler under en trafikulykke eller lignende.
- J Udsigtet udslip på op til 3 x 250 l brændstoffromler (dvs. 750 l) fyldt med dieselolie til skilifterne.

- J Utsigtet udslip af op til 20 l hydraulikolie fra tunge maskiner såsom gravemaskiner, snepløve eller lignende. Mængden er konservativ og baseret på erfaring og en undersøgelse foretaget af Guerin i 2014. Ifølge samme undersøgelse udgør hydraulikslanger, koblinger og o-ringe ca. 50 % af hydraulikvæskeudslippet (resten stammer fra f.eks. ulykker). /10/

De generelle karakteristika ved de nævnte brændstoffer og smøremidler er opsummeret i tabel 5.

Fuel type	Boiling point, °C	Density, g/cm ³ (20 °C)	Viscosity, cSt (centistokes)*	Solubility in water, g/100ml (20 °C)**	Henry's Law Constant atm·m ³ /mol (20 °C)
Automotive diesel	250 - 350	0,87 - 0,95	6 - 30	0,0005	5,9 - 7,4 x 10 ⁻⁵
Automotive petrol	205 - 250	0,70 - 0,80	0,46 - 0,88	0,07 - 11	3,3 - 4,8 x 10 ⁻⁴
Hydraulic fluid/oil	100 - >400	0,92 - 1,15	16 - 100	<0,1 - 0,36	5,0 - 9,0 x 10 ⁻⁸

*Viskositeten af dieselolie og hydraulikvæsker varierer meget afhængigt af den ønskede driftstemperatur.

**Brændstoffer og hydrauliske væsker betragtes generelt som uopløselige i vand, men individuelle komponenter kan opløses i vand med forskellige hastigheder. /10/

Tabel 5: Udvalgte fysiske egenskaber af potentielt spildte brændstoffer/væsker. Parametrene er kun vejledende og har en høj grad af usikkerhed på grund af produkternes komplekse sammensætning.

4. MODELOPSÆTNING

Vurderingerne af et spild i Vandsø 5 er baseret på modelberegninger med state-of-art programmet MIKE3 FM udviklet af DHI.

MIKE3 er et tredimensionelt (3D) modul-baseret modelleringsværktøj udviklet til at simulere f.eks. hydrodynamiske forhold (strøm og vandstand) i søer, offshore og i kystområder, hvor der hersker en fri overfladestrømning samt kan forekomme dybdeafhængige returstrømme. Strømmen i modellen vil blive genereret af de påførte forceringsdata, herunder randbetingelser. I beregningerne kan der tages højde for effekten af:

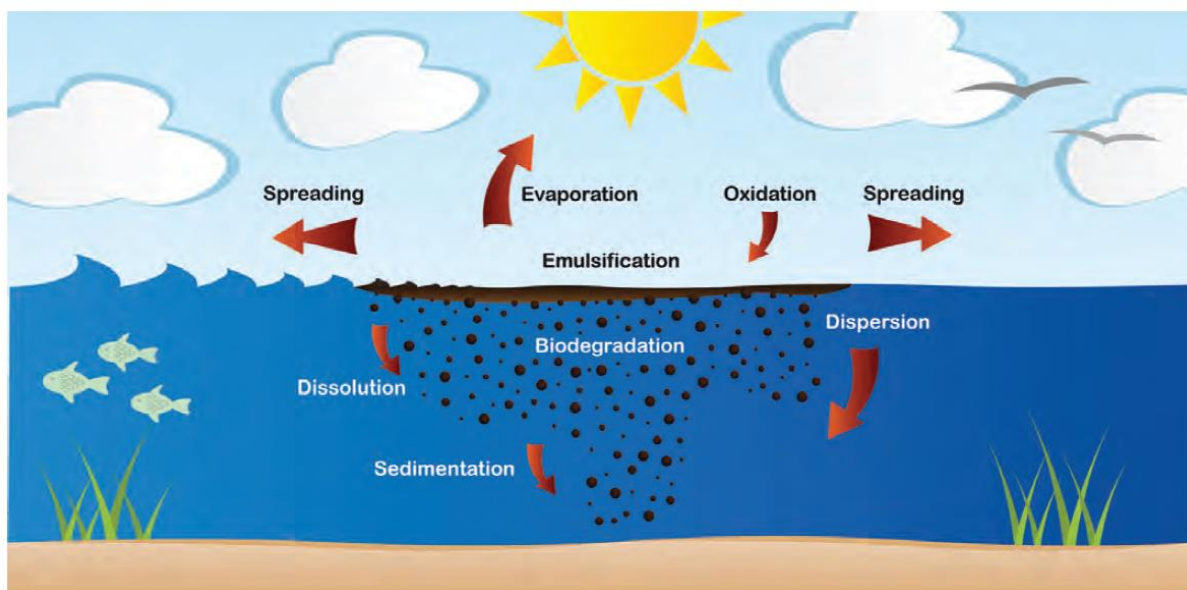
- J Vind- og bølgepåvirkning
- J Dybdeforhold
- J Bundruheder
- J Udtørring og/eller oversvømmelse af områder
- J Til- og afløb
- J Fordampning og nedbør

Til modellering af olieudslip er det hydrodynamiske modul (HD) koblet sammen med MIKE Ecolab/Oilspill-modulet (OS), som er en Lagrangiansk model, hvor olien beskrives ved et antal partikler, der transporteres med det beregnede strømfelt. Partiklerne gives en række egenskaber svarende til det modellerede olieprodukt, hvormed modelberegningerne tager hensyn til både transport af olien samt ændringer i dens kemiske sammensætning.

Mere specifikt påvirkes koncentrationen/spredningen/omdannelsen af olien af følgende processer (alle inkluderet i MIKE OS-modulet):

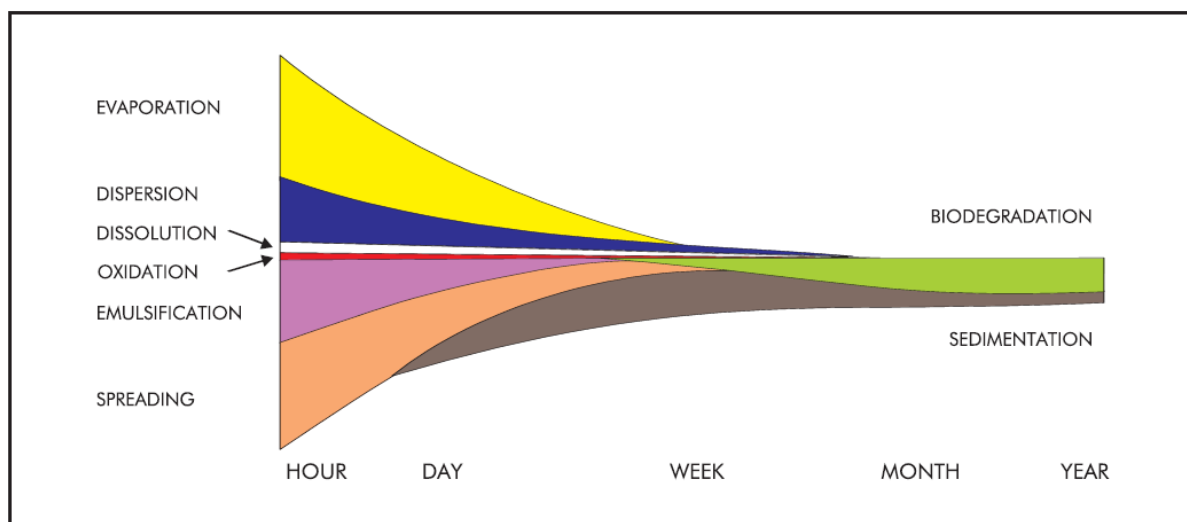
- J **Spredning:** Efter frigivelse (spild) spredes olien via strøm, vind og bølger. Olie med lav viskositet spredes hurtigere sammenlignet med olie med høj viskositet.
- J **Fordampning:** De flygtige fraktioner af olien fordampes, og derfor er indholdet af flygtige fraktioner, oliens temperatur og vindhastigheden af betydning.
- J **Emulgering:** De fleste olier kan absorbere vand og danne en vand-i-olie emulsion. Emulgeringsprocesserne øges med energitilførslen som følge af bølgeintensitet og turbulens i havvandet. Emulsionens stabilitet afhænger af det såkaldte asfaltene indhold. Hvis indholdet er højere end 0,5%, er emulsionen stabil. På grund af turbulens og bølgeaktivitet vil olien bryde op i dråber. De mindste dråber vil blive suspenderet i hele vandsøjlen.
- J **Opløsning:** Oliens lette fraktioner er opløselige i vand. Men fordampning af de lette oliefraktioner er typisk 10-1.000 gange hurtigere.
- J **Oxidation:** Oxidation hovedsagelig på grund af solstråling kan nedbryde de store molekyler i mindre, normalt mindre end 0,1% om dagen.
- J **Sedimentering:** Når oliens lyskomponenter fordampes eller opløses i vand, øges tætheden af den resterende del. Olien absorberer også partikelmateriale, hvilket også øger tætheden. Hvis olietætheden overstiger det omgivende vands massefylde, vil olien begynde at sedimentere. Denne proces er observeret oftere i ferskvand eller brakvand, som har en lavere tæthed end havvand.
- J **Bionedbrydning:** Olien kan nedbrydes af mikroorganismer, der bruger olien som en kilde til kulstof eller energi. Denne proces afhænger af temperaturen af vand og olie, og tilgængeligheden af ilt og næringsstoffer (kvælstof / fosfor).

De forskellige ovenfor nævnte processer er illustreret i figur 4-1.



Figur 4-1: Spredningsprocesser og forvitningsprocesser for olien i vand /6/.

Processernes og tidshorisontens relative betydning er illustreret i figur 4-2.



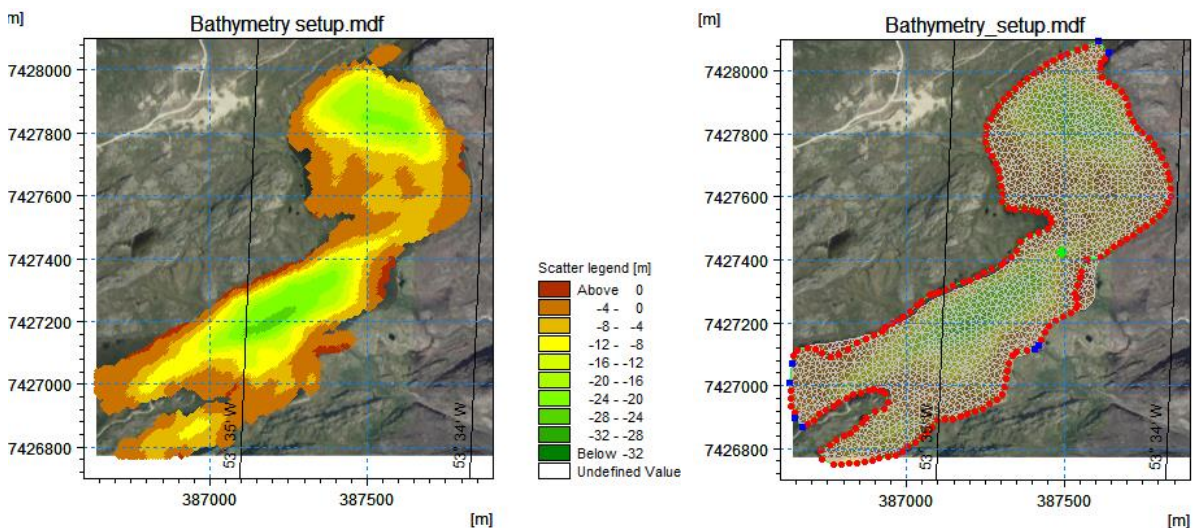
Figur 4-2: En skematisk repræsentation af den relative betydning af forvitring processer med tiden. Bredden af hvert bånd angiver betydningen af processen /6/.

Ved anvendelse af MIKE3 FM PT simuleres transport af partikler ved en Lagransk model, hvor det udledte/frigivne materiale beskrives ved et antal partikler, der transporteres med det beregnede strømfelt (partiklerne/partikelintensiteten påvirker ikke strømfeltet). Hver partikel tilskrives egenskaber i form af eksempelvis en masse og en faldhastighed og indenfor hvert tidsstep flyttes hver af partiklerne både horisontalt og vertikalt. Partiklerne flyttes i modellen via både advektion samt dispersion.

4.1 Modelområde

Det anvendte modelområde inkluderer hele Vandsø 5 og fremgår af figur 4-3 (højre), hvor også det anvendte fleksible beregningsnet bestående af trekant-formede elementer af varierende størrelse fremgår. De visualiserede vanddybder er baseret på importerede xyz-data fra den gennemførte georadarundersøgelse, se importerede xyz-data på figur 4-3 (venstre).

Vertikalt er modelområdet opdelt i 10 lag og hvert lag består af ca. 3000 beregningselementer.



Figur 4-3: Anvendte XYZ-data i den hydrauliske model (venstre). Interpolerede vanddybder samt det anvendte beregningsnet i den hydrauliske model (højre). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

4.2 Egenskaber af olie/benzin og diesel

Jf. afsnit 3.5 er der risiko for spild/udslip af hhv. hydraulikolie, benzin eller diesel. Typespecifikke karakteristika er gengivet i nedenstående tabel 6 - tabel 8 og resterende input baseres på prædefinerede standardværdier i MIKE OS. For udvalgte input-parametre er gennemført følsomhedssimuleringer, for at vurdere på, hvor resultaternes følsomhed overfor den specifikke parameter, se mere i afsnit 5.

Hydraulikolie (HO)			
Beskrivelse	Værdi	Enhed	Kommentar
Volatile fractions. Distillation percentage at 300°C	7,50	%	/11/ *
Heavy fractions. Distillation percentage at 300°C	77,5	%	/11/ *
Wax	7,00	%	/11/ *
Asphaltene fraction	8,00	%	/11/
Water fraction	0.85	%	0-0,85
Buoyancy: Density of original oil at 15°C, total density	877-1005	kg/m ³	
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, total density	877-1005	kg/m ³	/11/ *
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, volatile fraction	787	kg/m ³	/11/ *
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, heavy fraction	1011	kg/m ³	/11/ *
Volumetric temperature expansion coefficient volatile fraction	0,001	-	/11/
Volumetric temperature expansion coefficient heavy fraction	0.0007	-	/11/
Dynamic viscosity at reference temperature	79	cP	
Reference temperature for dynamic viscosity	40	°C	/11/
Coefficient for exponential temperature dependency	-0,136	-	/11/
Maximum water content	0,85	%	/11/

Evaporation parameter A (logarithmic)	-0,68	-	/11/
Evaporation parameter b (logarithmic)	0,045	-	/11/

* kan variere for forskellige typer af HO

Tabel 6: Specifikke input for hydraulikolie anvendt i modelopsætningen i MIKE OS

Automotive diesel (diesel)			
Beskrivelse	Værdi	Enhed	Kommentar
Volatile fractions. Distillation percentage at 300°C	30	%	/11/ *
Heavy fractions. Distillation percentage at 300°C	68.99	%	/11/ *
Wax	1	%	/11/ *
Asphaltene fraction	0.01	%	/11/
Water fraction	0.5	%	0-0,5
Buoyancy: Density of original oil at 15°C, total density	730	kg/m ³	/12/
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, total density	640-780	kg/m ³	/11/ *
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, volatile fraction	796	kg/m ³	/11/ *
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, heavy fraction	878	kg/m ³	/11/ *
Volumetric temperature expansion coefficient volatile fraction	0.001	-	/11/
Volumetric temperature expansion coefficient heavy fraction	0.0007	-	/11/
Dynamic viscosity at reference temperature	1.68	cP	/11/ *
Reference temperature for dynamic viscosity	40	°C	/11/ *
Coefficient for exponential temperature dependency	-0.136	-	/11/
Maximum water content	0.5	%	/11/
Evaporation parameter A (logarithmic)	4.54	-	/11/ *
Evaporation parameter b (logarithmic)	0.045	-	/11/ *

* gælder for "middle oil low aromatics"

Tabel 7: Specifikke input for diesel anvendt i modelopsætningen i MIKE OS

Automotive benzin (benzin)			
Beskrivelse	Værdi	Enhed	Kommentar
Volatile fractions. Distillation percentage at 300°C	100	%	/11/ *
Heavy fractions. Distillation percentage at 300°C	0	%	/11/ *
Wax	0	%	/11/ *
Asphaltene fraction	0	%	/11/
Water fraction	0.5	%	0-0,5
Buoyancy: Density of original oil at 15°C, total density	730	kg/m ³	/12/
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, total density	640-780	kg/m ³	/12/
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, volatile fraction	640-780	kg/m ³	/12/
Buoyancy: Density of original oil at 20°C, heavy fraction	-	kg/m ³	
Volumetric temperature expansion coefficient volatile fraction	0.001	-	/11/
Volumetric temperature expansion coefficient heavy fraction	0.0007	-	/11/
Dynamic viscosity at reference temperature	0.292	cP	/13/
Reference temperature for dynamic viscosity	40	°C	/11/
Coefficient for exponential temperature dependency	-0.136	-	/11/
Maximum water content	0.5	%	/11/
Evaporation parameter A (logarithmic)	13.2	-	/11/
Evaporation parameter b (logarithmic)	0.21	-	/11/

* Justeret ift. /11/.

Tabel 8: Specifikke input for benzin anvendt i modelopsætningen i MIKE OS

Jf. afsnit 3.5 er der defineret tre sandsynlige spildscenarier;

- J Spild af ca. 200 l benzin (benzin)
- J Utsigtet udslip af op til 750 l dieselolie (dieselolie)
- J Utsigtet udslip af op til 20 l hydraulikolie (HO)

Dertil er tilføjet to scenarier for lækage/ulykke med en tankbil;

- J Utsigtet udslip af ca. 3000 l diesel som følge af en trafikulykke (Tank 3)
- J Utsigtet udslip af ca. 12.400 l diesel som følge af en trafikulykke (Tank 12)

4.3 Opløst neutralt stof

Idet der ikke er klarhed over præcist, hvilket stof der er risiko for at der kan spildes i Vandsø 5, eksempelvis i forbindelse med anlægsfasen, er der gennemført modelberegninger med et neutralt stof uden hensyn til faldhastighed og henfald. Det vil dermed være et stof, der forbliver i vandsøjlen indtil det evt. ledes ud med det afstrømmende vand. I modelberegningerne er antaget følgende spildscenarie;

- J Momentant spild af 300 kg neutralt stof

4.4 Undersøgte scenarier i forbindelse med spildsimuleringer

Der er taget udgangspunkt i, at de opstillede scenarier giver realistisk-konservative resultater (dog ikke nødvendigvis ekstreme) ift. risiko for at et spild vil nå drikkevandsindtaget og ift. hvor lang tid der går inden drikkevandsindtaget nås.

Spildscenarierne defineret i afsnit 4.2 og afsnit 4.3 er kombineret med følgende hydrodynamiske scenarier. Udvalgte hydrodynamiske- og spildscenarier er gennemført for den alternative placering af drikkevandsindtaget:

- J **Scenarie 1** (kraftig vind)
 - o Konstant vindhastighed = 10 m/s (ca. svarende til en 1-års returperiode i sommerhalvåret). Forskellige vindretninger er antaget ift. at definere den mest kritiske ift. at drikkevandsindtaget nås.
- J **Scenarie 2** (kraftig vind / høj tilstrømning = hurtig spredning af olien):
 - o Samlet tilstrømning = 20 m³/s (svarende til normal/kraftig tilstrømning), der antages fordelingen af bidrag fra de enkelte kilder som anført i tabel 3.
 - o Konstant vindhastighed = 10 m/s (ca. svarende til en 1-års returperiode i sommerhalvåret). Forskellige vindretninger er antaget ift. at definere den mest kritiske ift. at drikkevandsindtaget nås.
- J **Scenarie 3** (kraftig vind / ekstrem tilstrømning = hurtig spredning af olien samt kraftig strøm mod bassin med drikkevandsindtaget):
 - o Samlet tilstrømning = 350 m³/s (svarende til højest målte afstrømning i perioden 2017-2020, jf. figur 3-4), der antages fordelingen af bidrag fra de enkelte kilder som anført i tabel 3.
 - o Konstant vindhastighed = 10 m/s (ca. svarende til en 1-års returperiode i sommerhalvåret). Forskellige vindretninger er antaget ift. at definere den mest kritiske ift. at drikkevandsindtaget nås.

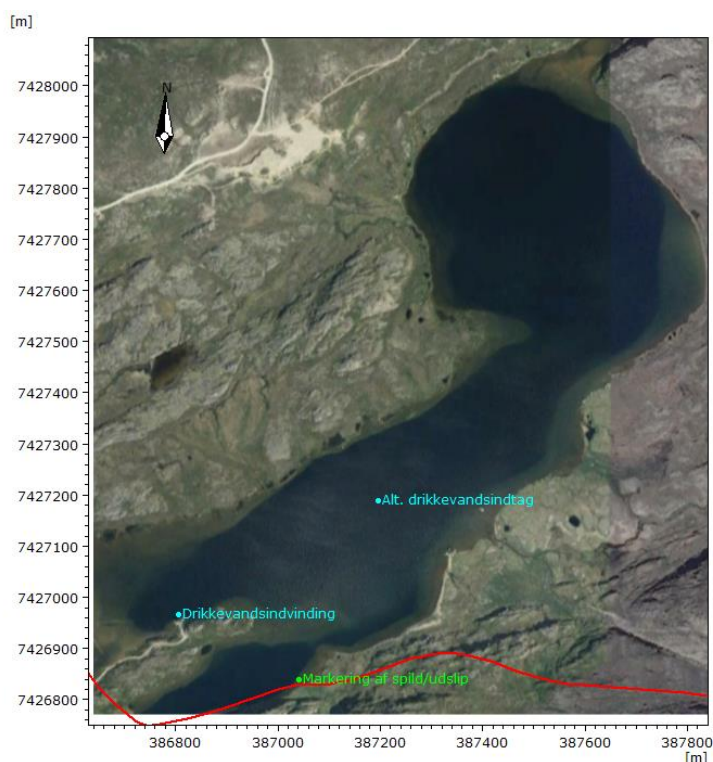
Scenarie 1 repræsenterer en situation, hvor der ikke forekommer tilstrømning til Vandsø 5 og det dermed primært er vinden der genererer strømmen. Scenariet er kritisk ift. den alternative placering af drikkevandsindtaget. Vindretningerne er fra syd til vestlig retning.

Scenarie 2 repræsenterer en situation, hvor der forekommer høj vindhastighed sammen med høj tilstrømning. Strømmen i Vandsø 5 genereres derfor af kombinationen af vindens påvirkning af vandoverfladen og til- og afstrømning. Vindretningen er fra øst til sydlig retning for den nuværende placering af drikkevandsindtaget og fra syd til vestlig retning for den alternative placering af drikkevandsindtaget.

Scenarie 3 repræsenterer en ekstrem situation, hvor der forekommer høj vind samtidig med ekstrem til- og afstrømning. Strømmen i Vandsø 5 genereres derfor af kombinationen af vindens påvirkning af vandoverfladen og til- og afstrømningen. Vindretningen er fra øst til sydlig retning for den nuværende placering af drikkevandsindtaget.

Mht. nedbør og lufttemperatur anvendes der for alle scenarier gennemsnitlige værdier fra en sommerperiode. Der er gennemført følsomhedssimuleringer for udvalgte parametre, se mere i afsnit 5. Mht. drikkevandsindtag antages generelt indvinding svarende til kapaciteten, da det vil give anledning til det største sug omkring indtaget. Dvs. der antages konstant indvinding af 100 l/s, som anført i afsnit 3.3.

I modelberegningerne er det antaget, at spildet/udslippet sker på den planlagte vej eller i umiddelbar nærhed i det område, hvor vejen tangerer Vandsø 5 og afstanden til drikkevandsindtaget er kort, se placering på figur 4-4. Det er muligt for køretøjerne at rulle ned skråninger og derefter forårsage spild.



Figur 4-4: Vandsø 5 med markering af det fremtidige vejtracé, placeringen af hhv. drikkevandsindtaget og det alternative drikkevandsindtag samt markering af positionen for spildet/udslippet. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

Varigheden af spildet/udslippet er sat til 5 min for udslip < 1.000 l/300 kg og 30 min for udslip > 1.000 l.

Modelberegningernes varighed er 30 timer, indeholdende en opvarmningsperiode på 6 timer, hvor stationære strømforhold opnås samt en beregningsperiode på ca. 24 timer efter spild/udslip.

5. FØLSOMHEDSSIMULERINGER

Idet der har været begrænsede valideringsdata til rådighed i forbindelse med gennemførelse af modelberegningerne for Vandsø 5 er der gennemført en række følsomhedssimuleringer. Følsomhedssimuleringerne er gennemført for udvalgte input-parametre for scenarier med spild af diesel for både HD- og OS-modulerne, dog ikke for typespecifikke input som defineret i tabel 6 - tabel 8.

Som tidligere nævnt, er scenarierne for modelberegningerne baseret på en konservativ-realistisk tilgang.

Følsomhedssimuleringerne er gennemført for følgende HD-parametre/forudsætninger, inkl. konklusion:

- J Ændring af nedbør og fordampning
Resultaterne er ikke følsomme overfor ændringer i hhv. fordampnings- og nedbørsmængderne, hvilket skyldes, at vind og evt. til- og afstrømning er dominerende ift. generering af strøm i Vandsø 5 for de hydrodynamiske scenarier der er gennemført modelberegninger for.
- J Ændringer i dispersionen (horisontalt)
Resultaterne er følsomme overfor den anvendte dispersion (spredning) både ift. udbredelse samt koncentrationer. Lav dispersion betyder lille spredning og høje koncentrationer, mens høj dispersion betyder stor spredning og lave koncentrationer. De endelige beregninger er gennemført med default-dispersionskoefficient, der således kan tolkes til at repræsentere en ikke helt konstant vindretning i simuleringensperiode og dermed lidt større spredning af spildet.
- J Opblanding i Vandsø 5
Resultaterne er følsomme overfor opblandingsforholdet. Ved fuld opblanding, dannes der ikke et såkaldt springlag, der deler søen op i et øvre og et nedre vandlag. Følsomhedssimuleringer har vist, at under forudsætning om, at der ikke forekommer en vertikal opblanding, vil spildet forblive i den øvre del af vandsøjlen og der vil ikke komme sedimentation indenfor de første 24 timer efter spild. Fordampningsprocessen betyder desuden, at især den volatile fraktion af dieselolien reduceres sammenlignet med scenariet, hvor der er fuld opblanding. En antagelse om ingen opblanding vil dermed give mere optimistiske resultater sammenlignet med resultater under antagelse af fuld opblanding og de endelige modelberegninger er derfor gennemført med forudsætningen om fuld opblanding. Dette vurderes desuden realistisk, især for scenarier med høj vindpåvirkning og tilstrømning.
- J Ændringer kombinationen af vind og tilstrømning
Resultaterne er særdeles følsomme overfor de anvendte vindforhold og for høje tilstrømninger er resultaterne også følsomme over for tilstrømningsmængden. Spildet sker i overfladen, hvor vindens påvirkning er dominerende ift. generering af strømmingen. Høj tilstrømning og deraf høj afstrømning kan generere en dominerende strøm fra indløb til udløb.

Følsomhedssimuleringerne er gennemført for følgende OS-parametre, inkl. konklusion:

- J Placering af spild
Resultaterne er særdeles følsomme overfor placeringen af spildet idet lokale strømforhold har afgørende betydning for transporten og spredningen af olien. De endelige beregninger er gennemført for en placering af spildet nær det fremtidige

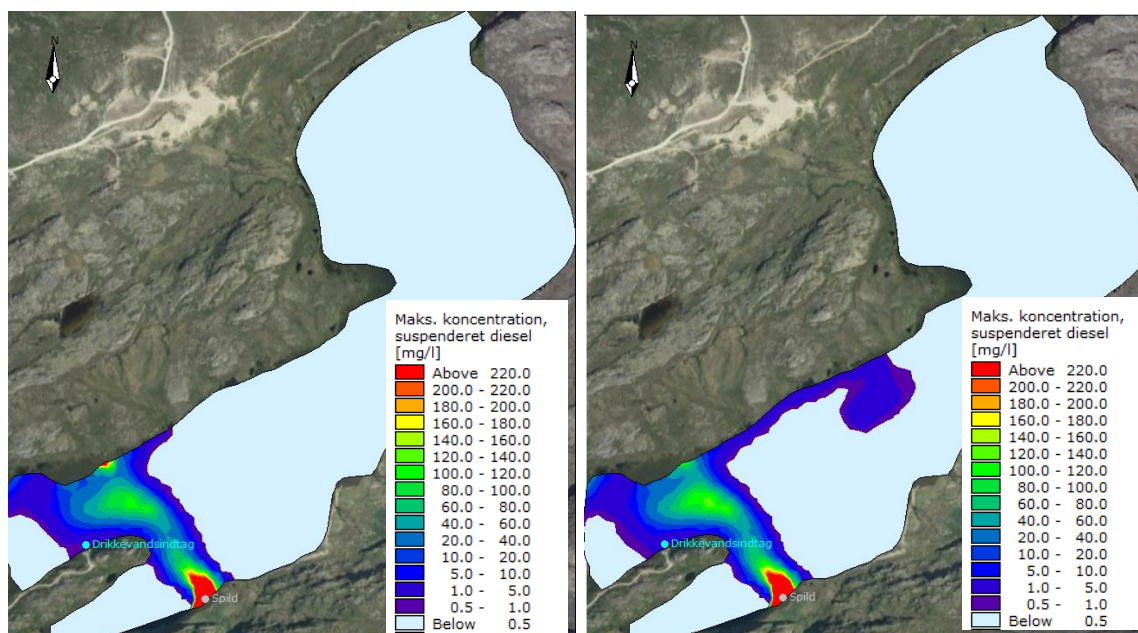
vejtrace i et område, hvor afstanden til drikkevandsindtaget er kort. En mere kritisk placering af spildet er muligt, men i så fald øges afstanden til vejtracéet og resultater fra en sådan placering er derfor ikke inkluderet i nærværende analyse.

J Vandtemperatur

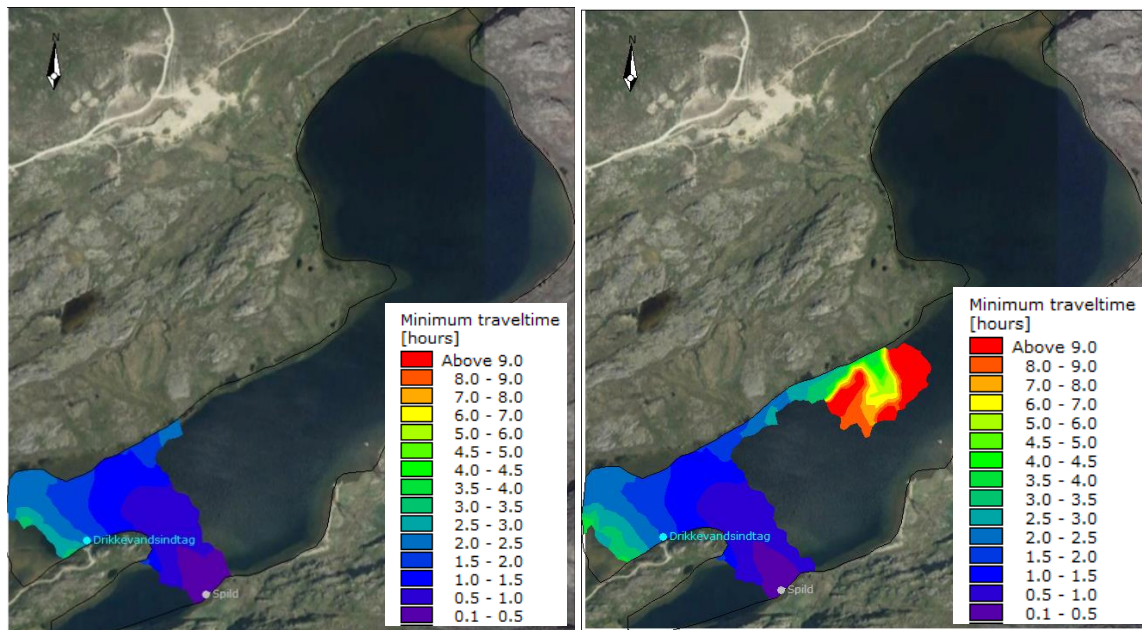
Der er gennemført modelberegninger for forskellige vandtemperaturer og ændringer af denne giver ikke anledning til en signifikant ændring af udbredelsen eller varighed før et spild vil nå drikkevandsindtaget.

J Oliens vedhæftning/absorption på kysten

Resultaterne ift. udbredelse og sedimentation er følsomme overfor antagelser om hvorvidt olien binder sig til kysten eller forbliver i vandsøjlen og fortsat transporteres efter en kyst er nået ift. berørt areal. Udbredelse af et diesel-udslip med hhv. antagelse om vedhæftning/ikke vedhæftning er vist på figur 5-1 og transporttiden på figur 5-2. Hvorvidt olien binder sig til kysten, afhænger af faktorer som kystens sammensætning/stejlhed mv. Beregningerne er generelt gennemført under forudsætning af olien binder sig til kysten (default), hvilket ikke har den store indflydelse på resultaterne ift. hvornår et spild hurtigst når drikkevandsindtaget.



Figur 5-1: Udbredelse af diesel for en følsomhedssimulering, hvor dieselolien bindes til kysten (venstre) og ikke bindes til kysten (højre). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

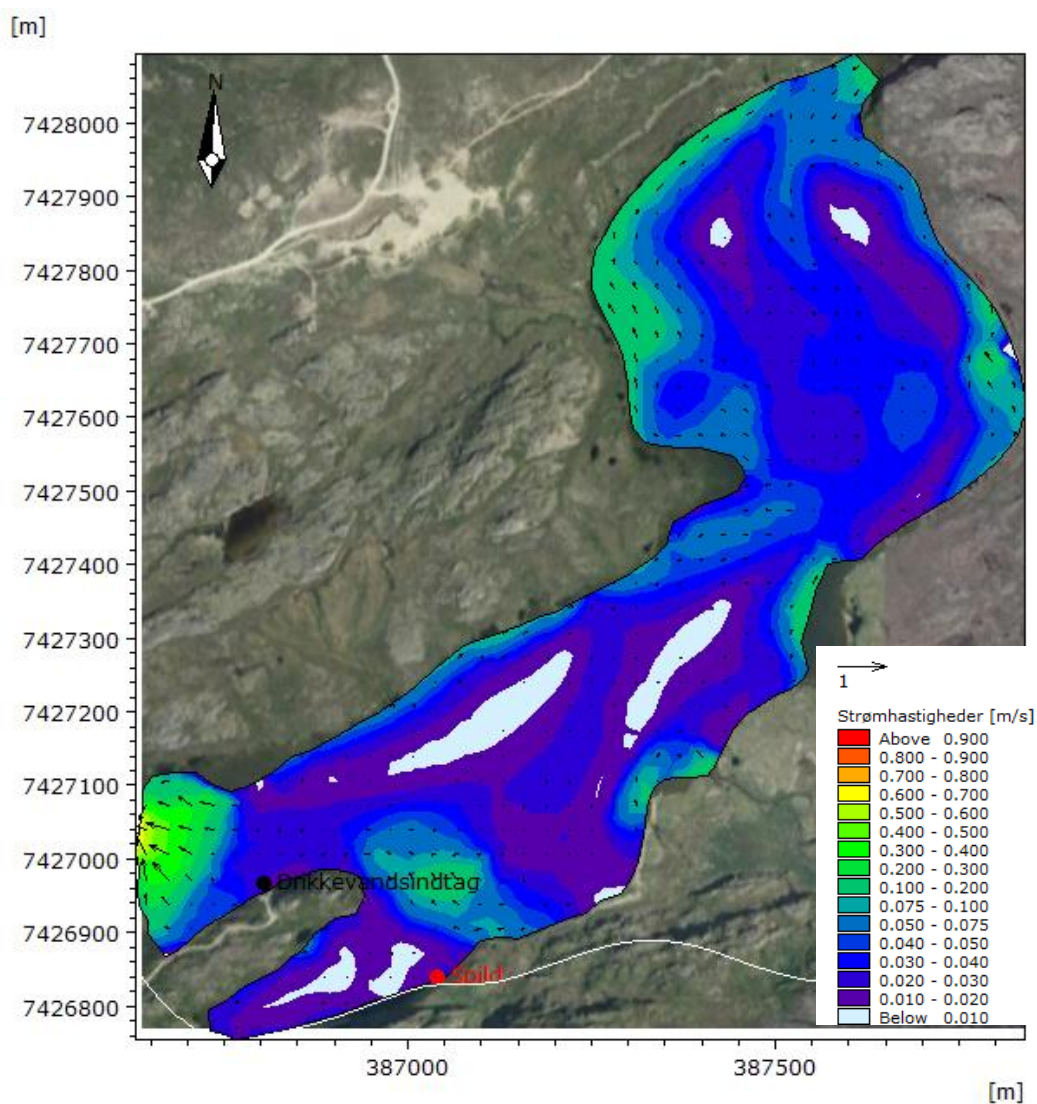


Figur 5-2: Transporttid for dieselolie for en følsomhedssimulering, hvor dieselolien bindes til kysten (*venstre*) og ikke bindes til kysten (*højre*). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

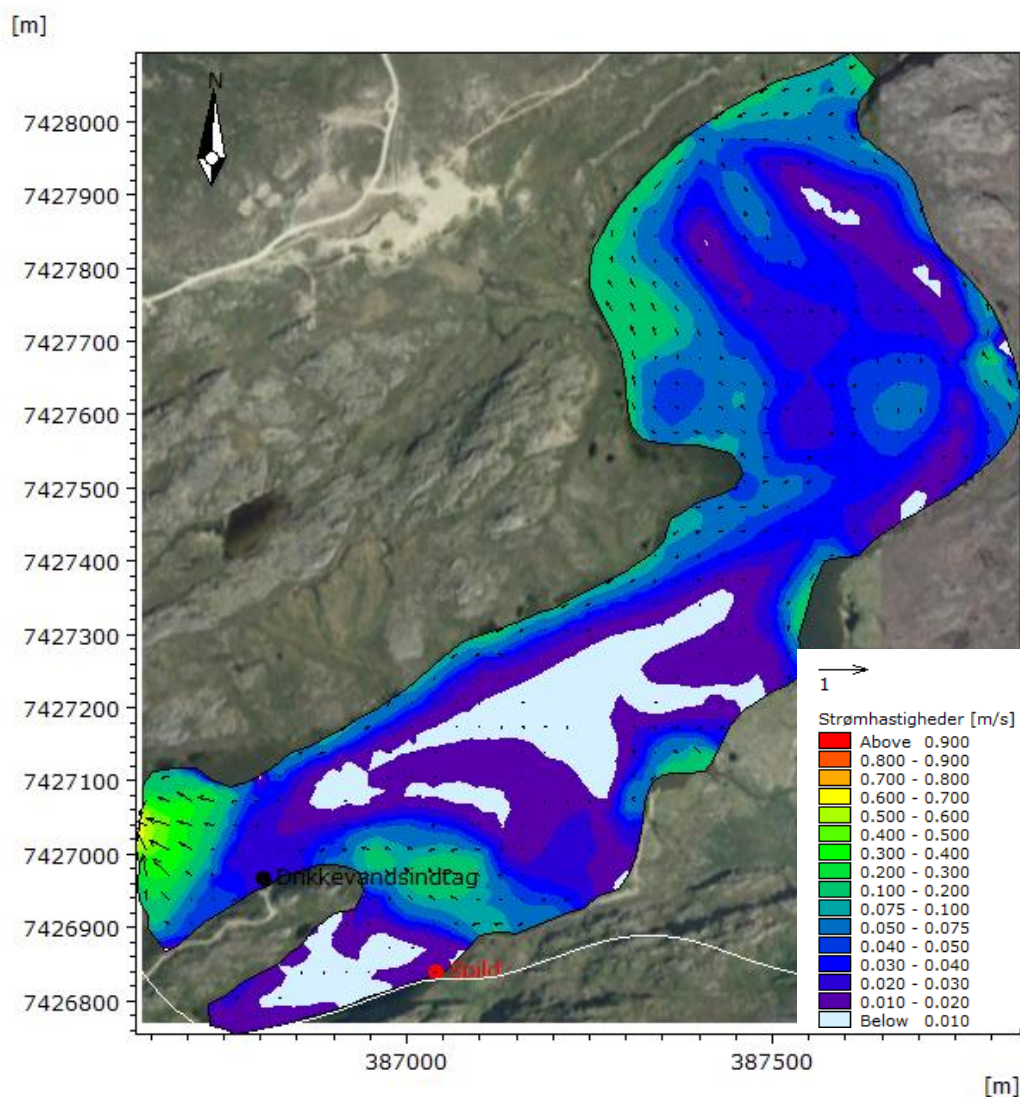
6. RESULTATER – STRØMFORHOLD

I dette afsnit vises strømbilleder for udvalgte vindretninger i scenarie 2 (figur 6-1 og figur 6-2) og scenarie 3 (figur 6-3). Strømplottene viser de dybdemidlede strømhastigheder og -retning.

Som det fremgår af figur 6-1 og figur 6-2, sker spildet i et område, hvor der for vind fra syd-sydøst og sydøst er relativt rolige strømforhold (lave strømhastigheder). Der er til gengæld kraftig strøm i området, hvor afstrømningen sker (vestlig del af Vandsø 5) og i området hvor den primære tilstrømning sker (nordlig del af Vandsø 5).

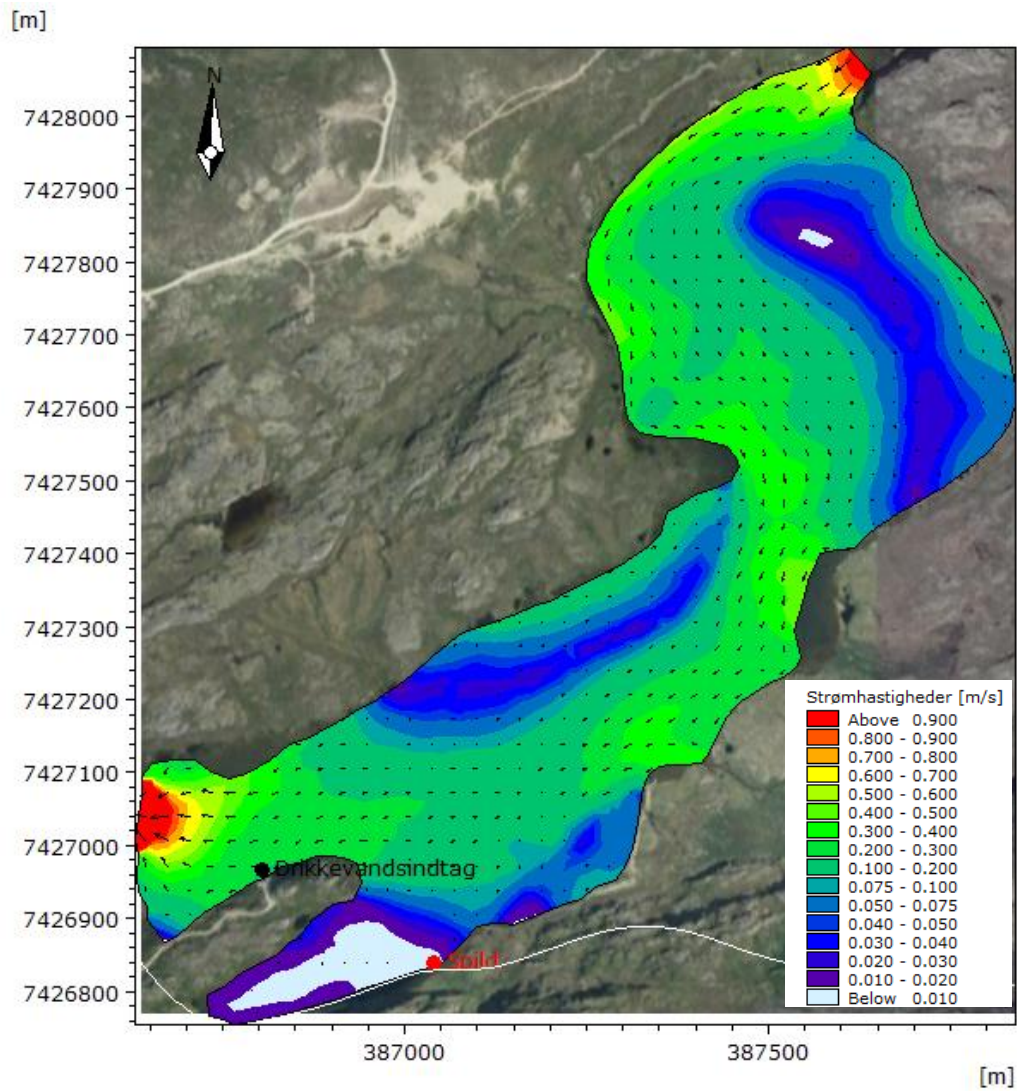


Figur 6-1: Dybdemidlede strømhastigheder for scenarie 2 med vind fra sydøst. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.



Figur 6-2: Dybdemidlede strømhastigheder for scenarie 2 med vind fra sydøst. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

På figur 6-3 ses de dybdemidlede strømhastigheder og -retning for scenarie 3, hvor vinden kommer fra syd. Af figuren fremgår det, at der er en dominerende strøm fra tilstrømningsområdet i den nordlige del af Vandsø 5 og ned mod afstrømningsområdet i den vestlige del af Vandsø 5. Det nordligste spildområde, hvis spildet skal forekomme hvor vejen tangerer Vandsø 5, ligger i et relativt roligt område.



Figur 6-3: Dybdemidlede strømshastigheder for scenarie 3 med vind fra syd. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

7. RESULTATER - OLIESPILD

Der er gennemført modelberegninger for forskellige kombinationer af hydrodynamiske scenarier og spildscenarier. I tabel 9 og tabel 10 er oversigtsmæssigt præsenteret den estimerede transporttid fra spild/udslip til udslippet når drikkevandsindtaget for de modellerede scenarier med den nuværende placering af drikkevandsindtaget og i tabel 11 og tabel 12 tilsvarende resultater for modellerede scenarier med den alternative placering af drikkevandsindtaget.

Tabel 9: Scenarie 2. Estimeret transporttid for suspenderet olie/benzin fra udslip til drikkevandsindtag for nuværende placering af drikkevandsindtaget.

Vindretning	OSO	SO	SSO	S
750 l dieselolie	-	1.5 t	2 t	-
200 l benzin		1.5 t	-	-
20 hydraulikolie		-	-	-
3000 l dieselolie		1.5 t	2 t	
12.400 l dieselolie		1.5 t	2 t	

"-" Angiver, at udslippet ikke når drikkevandsindtaget. Tomt felt markerer, at der ikke er gennemført endelige modelberegninger for det aktuelle scenarie. Grå felt angiver, at der er en mere detaljeret præsentation af resultatet i afsnit 7.1.

Tabel 10: Scenarie 3. Estimeret transporttid for suspenderet olie/benzin fra udslip til drikkevandsindtag for nuværende placering af drikkevandsindtaget.

Vindretning	SO	SSO	S
750 l dieselolie	1.5 t	1 t	1 t
200 l benzin	1.5 t	1 t	1 t
20 hydraulikolie	-	-	1 t
3000 l dieselolie	1.5 t	1 t	1 t
12.400 l dieselolie	1.5 t	1 t	1 t

"-" Angiver, at udslippet ikke når drikkevandsindtaget. Grå felt angiver, at der er en mere detaljeret præsentation af resultatet i afsnit 7.2.

Tabel 11: Scenarie 1. Estimeret transporttid for suspenderet olie fra udslip til den alternative placering af drikkevandsindtaget.

Vindretning	S	SSV	SV
750 l dieselolie	3 t	1.5 t	-(1t)
20 hydraulikolie		-	
12.400 l dieselolie		2 t	

"-" Angiver, at udslippet ikke når drikkevandsindtaget. Tomt felt markerer, at der ikke er gennemført endelige modelberegninger for det aktuelle scenarie.

Tabel 12: Scenarie 2. Estimeret transporttid for suspenderet dieselolie fra udslip til den alternative placering af drikkevandsindtaget.

Vindretning	S	SSV	SV
750 dieselolie	-(2 t)	2 t	-
12.4000 l dieselolie		2 t	

"-" Angiver, at udslippet ikke når drikkevandsindtaget. Tomt felt markerer, at der ikke er gennemført endelige modelberegninger for det aktuelle scenarie. Grå felt angiver, at der er en mere detaljeret præsentation af resultatet i afsnit 7.3.

I dette afsnit præsenteres desuden resultater i form af arealplots fra udvalgte scenarier, mens resultater fra alle endeligt modellerede scenarier er præsenteret i appendiks A for den oprindelige placering af drikkevandsindtaget og i appendiks B for den alternative placering af

drikkevandsindtaget. Det er ikke alle spildscenarier, der er kørt for alle de hydrodynamiske scenarier idet løbende resultatbehandling har medført, at ikke-kritiske scenarier er undladt.

Afslutningsvis given en overordnet konklusion for de gennemførte modelberegninger, her konkluderes således på alle resultater ikke kun de præsenterede i dette afsnit.

Resultaterne i dette afsnit er præsenteret i form af arealplots af eksempelvis:

- J Maksimal koncentration og udbredelse af olien i perioden 0-24 timer efter udslip
- J Transporttid for suspenderet olie (olie i vandsøjlen)
- J Transporttid før benzin/olie sedimenteres (olie aflejret på bunden)
- J Sedimenteret olie
- J Udvalgte øjeblikplots af koncentrationen af olie

Viste koncentrationer i form af arealplots er dybdemidlede koncentrationer, hvilket betyder, at den faktiske koncentration i de påvirkede vandlag er højere, da olien reelt ikke fordeler sig i hele vandsøjlen. Dette er visualiseret af udvalgte vertikalplots, der viser koncentrationen af olien gennem vandsøjlen til udvalgte tidspunkter efter udslip, disse koncentrationer er ikke dybdemidlede koncentrationer.

I Appendix A og Appendix B til bilag 4 vises resultaterne i form af arealplots af:

- J Maksimal udbredelse af olien i perioden 0-24 timer efter udslip
- J Transporttid for suspenderet olie (olie i vandsøjlen)
- J Sedimenteret olie
- J Transport for sedimenteret olie (olie aflejret på bunden)

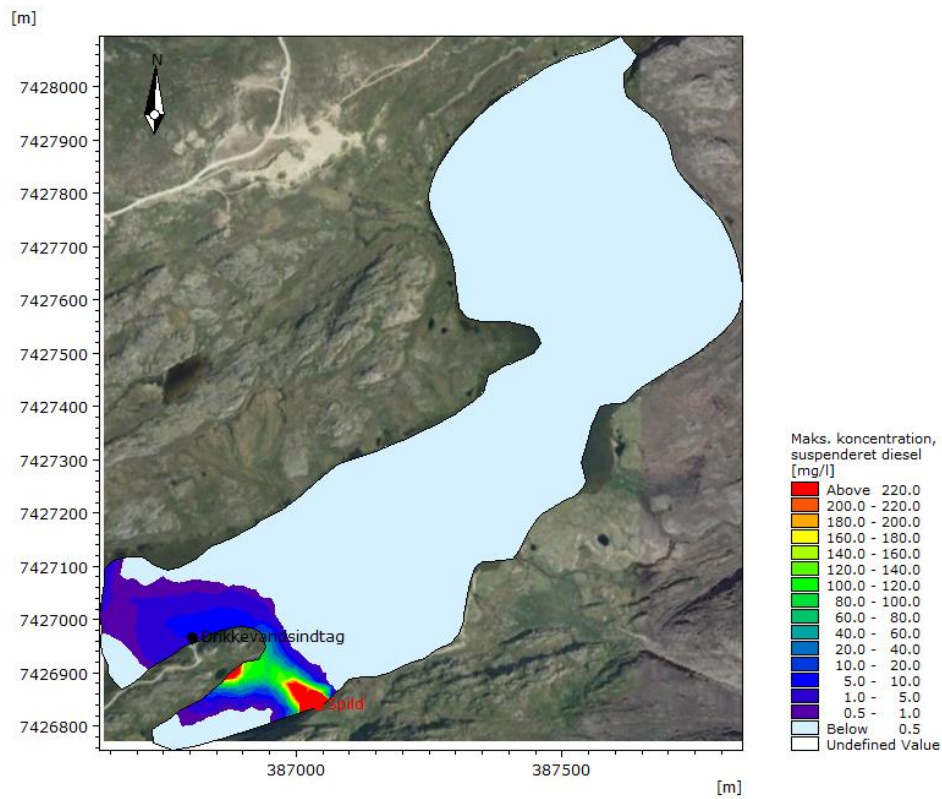
Det skal pointeres, at de opnåede resultater skal betragtes som værende kvalitative fremfor kvantitative – forstået på den måde, at de overordnede tendenser vurderes at være repræsentative for hvad der vil ske, som følge af et udslip af olie. De faktiske koncentrationer og tidsangivelser kan afvige fra det modellerede, dels fordi modelberegningerne er kørt for stationære hydrodynamiske scenarier, der vurderes at være konservativ-realistiske (dog ikke nødvendigvis ekstreme) og de faktiske vejrforhold vil have en afgørende betydning for oliens transport og spredning og dels fordi den anvendte model ikke er kalibreret og valideret ift. strømforholdene og det spildte olies faktiske sammensætning og egenskaber. Resultaterne kan således anvendes til at vurdere, om der er risiko for at et oliespild vil nå området omkring drikkevandsindtaget og give en indikation af om det tager kort eller længere tid før drikkevandsindtaget evt. nås.

7.1 Udslip af 750 l dieselolie – scenarie 2

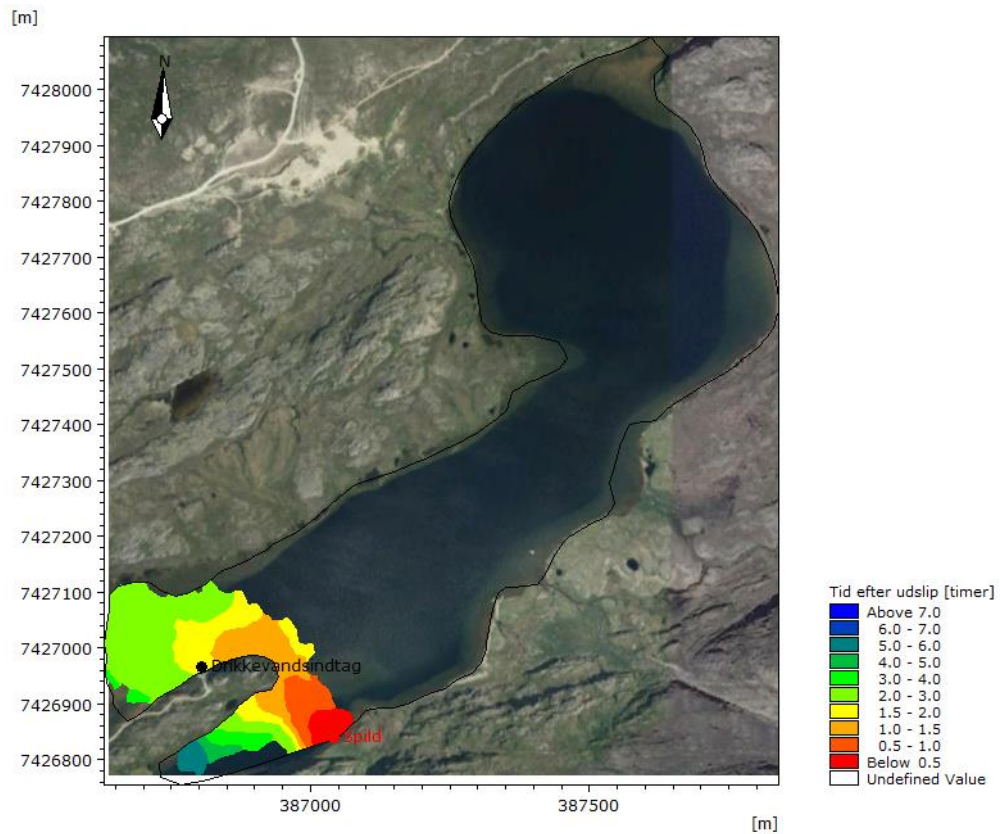
For et scenarie, hvor; 750 l dieselolie slipper ud i Vandsø 5 indenfor ca. 5 min, vinden blæser med 10 m/s fra sydøst, tilstrømningen er på 20 m³/s, kan der forventes en maksimal udbredelse af dieselolien indenfor de første 24 timer efter udslip som vist på figur 7-1. Bemærk at figuren viser de maksimalt forekommende dybdemidlede koncentrationer gennem simuleringsperioden og altså ikke et øjeblikplot af koncentrationerne.

Dieselolien vil således transporteres og spredes ind i det nærliggende sydvestlige bassin samt forbi pynten op mod drikkevandsindtaget og bassinet, hvorfra afstrømningen foregår.

Den tidsmæssige afstand før den suspenderede dieselolie når området med drikkevandsindtaget er vist på figur 7-2. Heraf fremgår det, at den suspenderede dieselolie vil nå området med drikkevandsindtaget indenfor kort tid (ca. 1,5-2 timer efter udslip).



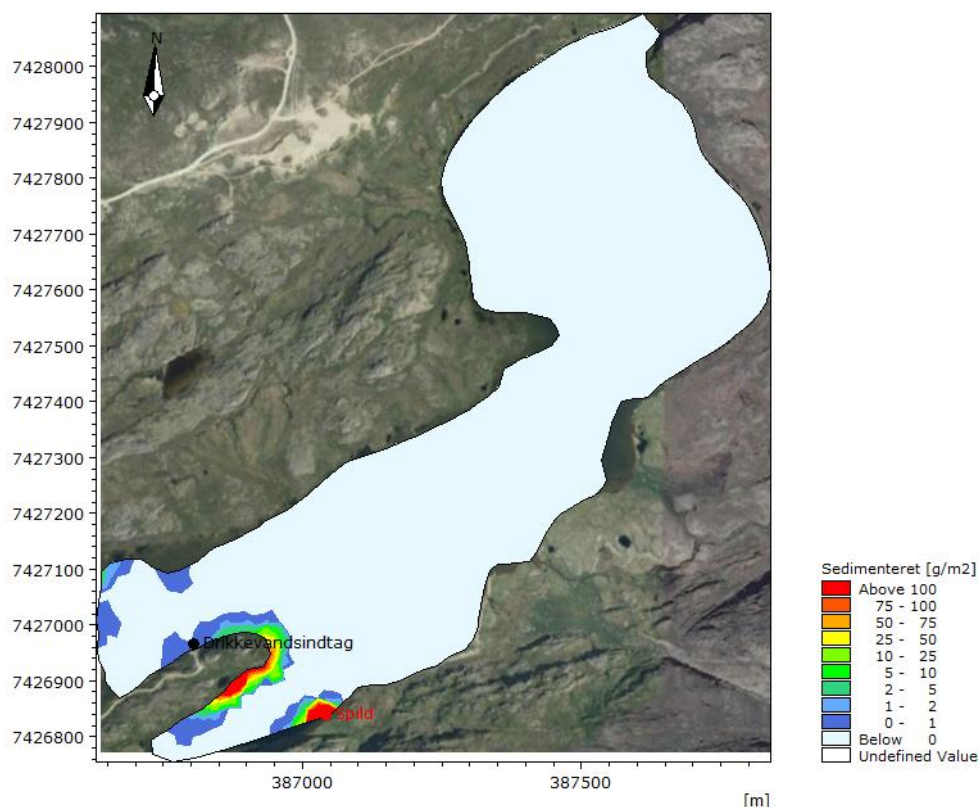
Figur 7-1: Maksimal dybdemidlet koncentration af dieselolie indenfor en periode på 24 timer efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.



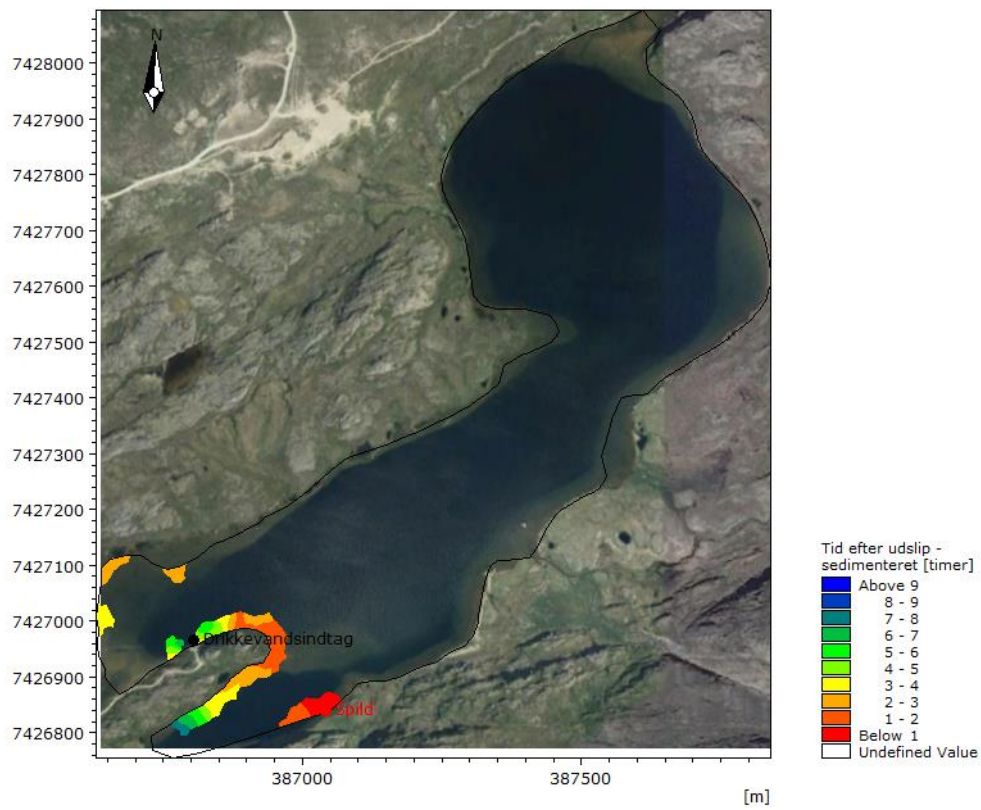
Figur 7-2: Transporttid for dieselolie i suspension – tid efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

Som det fremgår af figur 7-3, vil en del af dieselolien aflejres i de kystnære områder indenfor de første 24 timer efter udslip. Den tidsmæssige afstand fra udslippet sker til den første dieselolie aflejres i et område er vist på figur 7-4. Heraf fremgår det, at det kan forventes, at der vil aflejres dieselolie omkring drikkevandsindtaget indenfor kort tid (ca. 5 timer efter udslip).

Idet drikkevandsudtaget er beliggende ca. 3 m over bunden vurderes, at under de forudsatte vejrforhold vil dieselolien nå drikkevandsindtaget indenfor 2-5 timer efter spild.

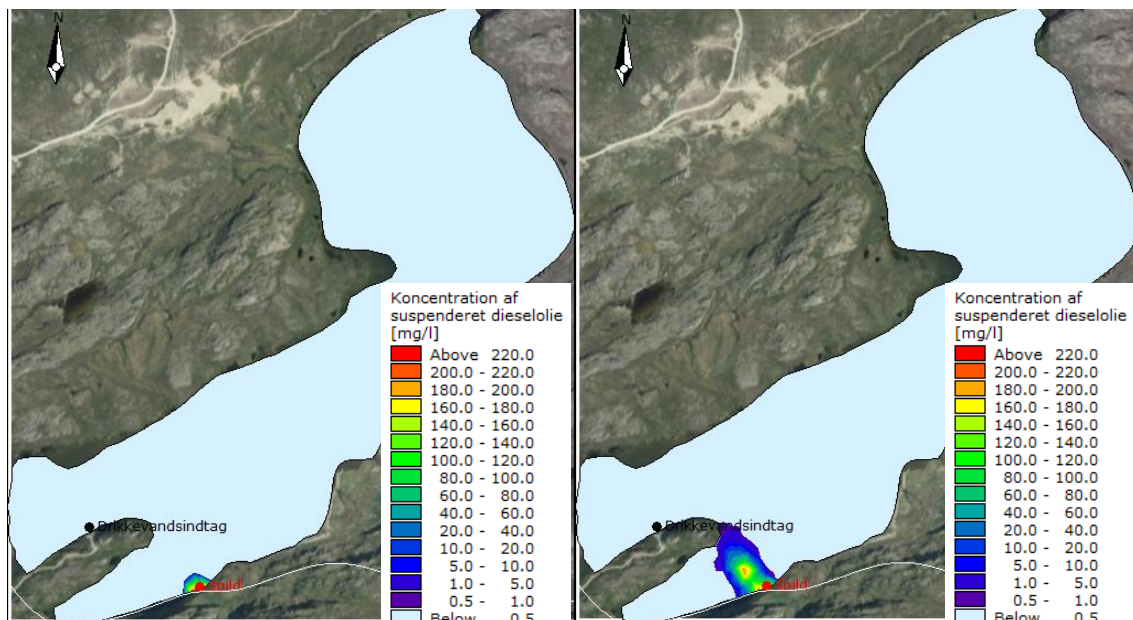


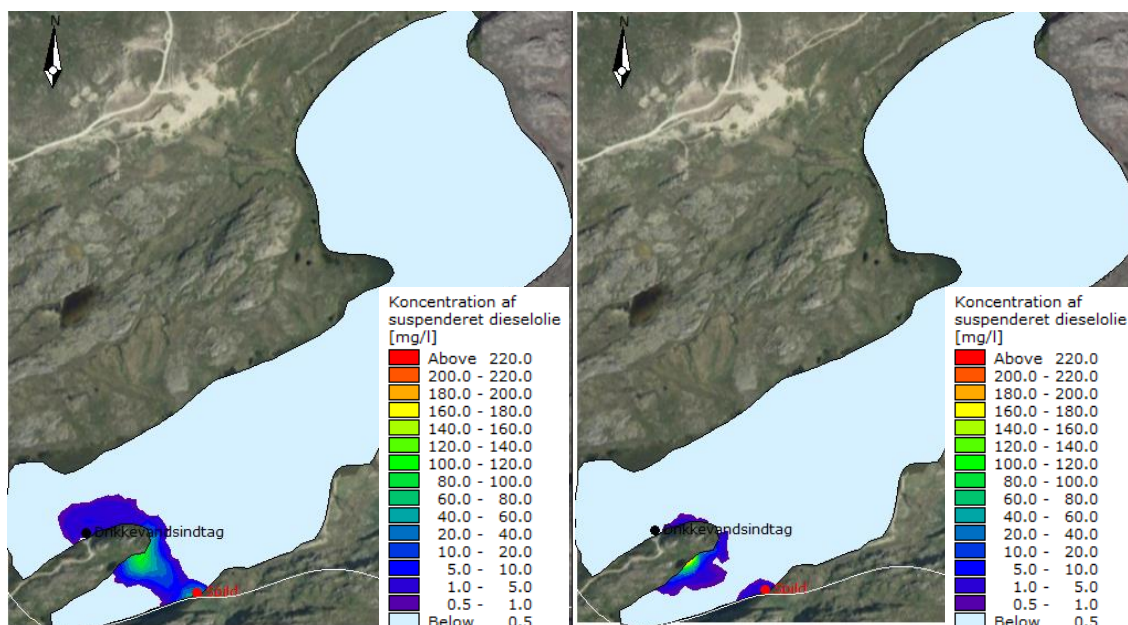
Figur 7-3: Aflejret dieselolie 24 timer efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.



Figur 7-4: Transporttid før den første dieselolie aflejes i et område – tid efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

Øjeblikbilleder af dybdemidlede koncentrationer af dieselolien til forskellige tidspunkter efter udslip er vist på figur 7-5.





Figur 7-5: Øjeblikbilleder af koncentrationen af dieselolie ved udslip (øverst venstre), 1 time efter udslip (øverst højre), 2 timer efter udslip (nederst venstre) og 4 timer efter udslip (nederst højre). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

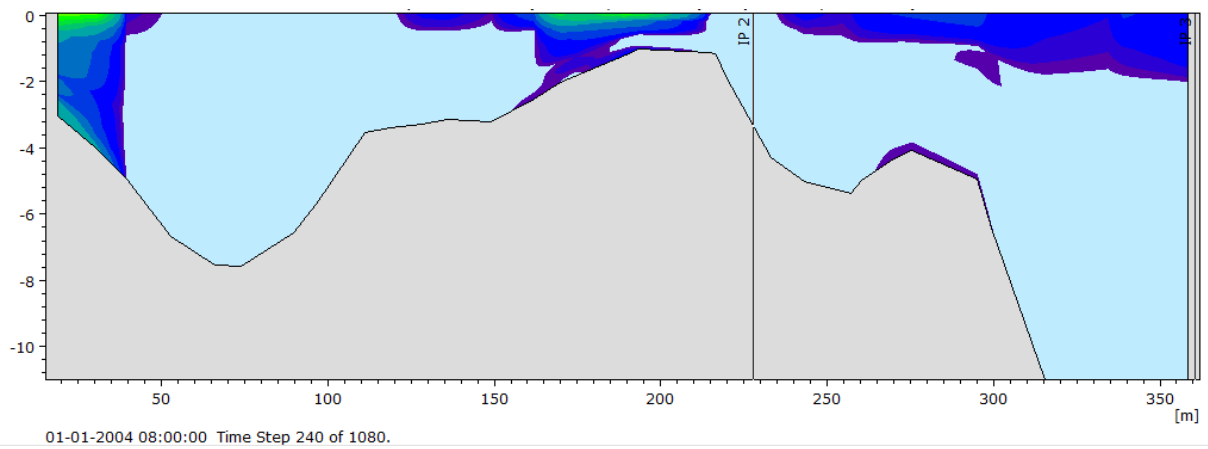
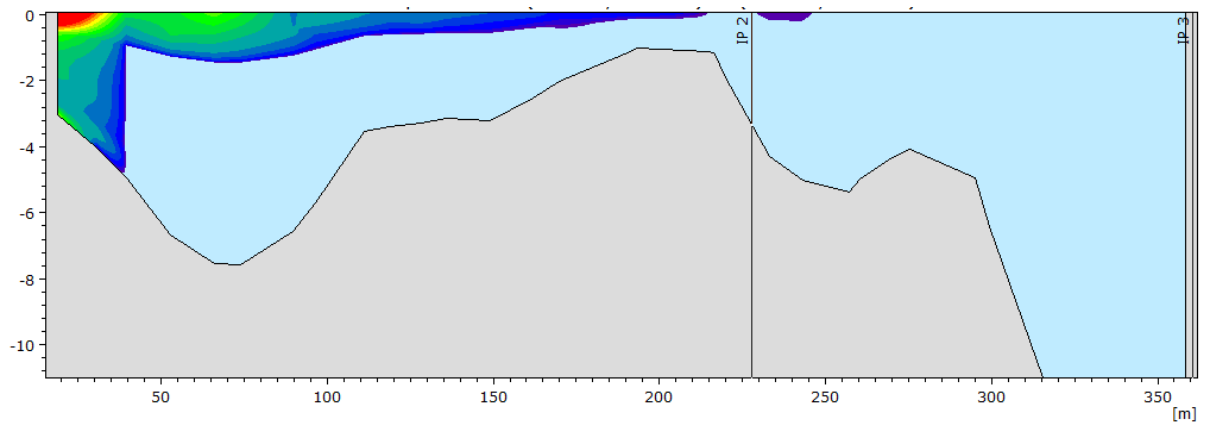
For det aktuelle scenarie forekommer der ikke dybdemidlede koncentrationer af suspenderet dieselolie, der overstiger 0,5 mg/l 12 timer efter spild.

Status for fraktionerne i dieselolien 24 timer efter udslip er givet i tabel 13, heraf fremgår det, at 70% af den volatile fraktion er forsvundet som følge af processer – primært fordampning. Ca. 5 % er forsvundet ud af modelområdet som følge af afstrømning. Den indbyrdes fordeling af de enkelte fraktioner er givet i tabel 7.

Fraktion	Tilbage i model- domænet [%]	Udledt i forbindelse med afstrømning [%]	Forsvundet som følge af processer [%]	Sum [%]
Volatile	28,3	0,8	70,9	100,0
Heavy	94,8	5,2	0,0	100,0
Wax	94,8	5,2	0,0	100,0
Asfalt	94,8	5,2	0,0	100,0

Tabel 13: Status for de fire fraktioner i dieselolien 24 timer udslip.

Fordelingen af dieselolie gennem vandsøjlen til udvalgte tidsstøp er vist på figur 7-6 og markeringen af det vertikale snit er vist på figur 7-7.



Figur 7-6: Vertikalplots af dieseloliens fordeling ned gennem vandsøjlen 1 time efter udslip (øverst) og 2 timer efter udslip (nederst). Længst mod venstre er ved udslips positionen og IP 3 er omkring drikkevandsindtaget, se figur 7-7.



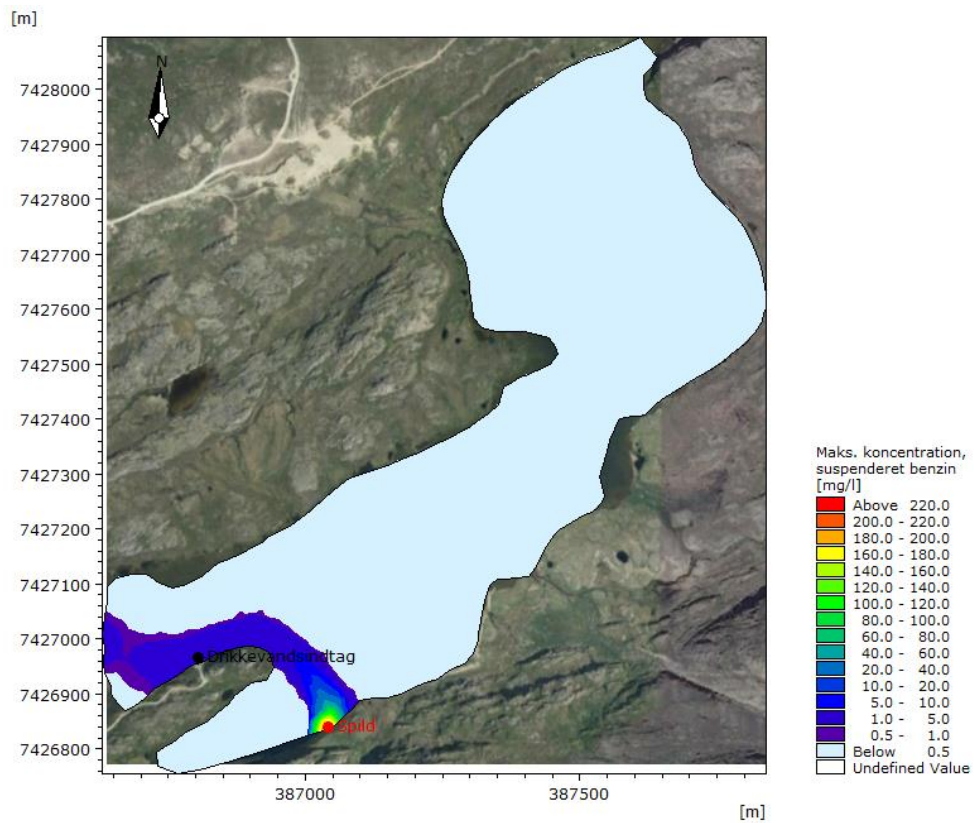
Figur 7-7: Position for vertikallplots. IP 1 er ved udslippet og IP 3 er omkring drikkevandsindtaget. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

7.2 Udslip af 200 l benzin – scenarie 3

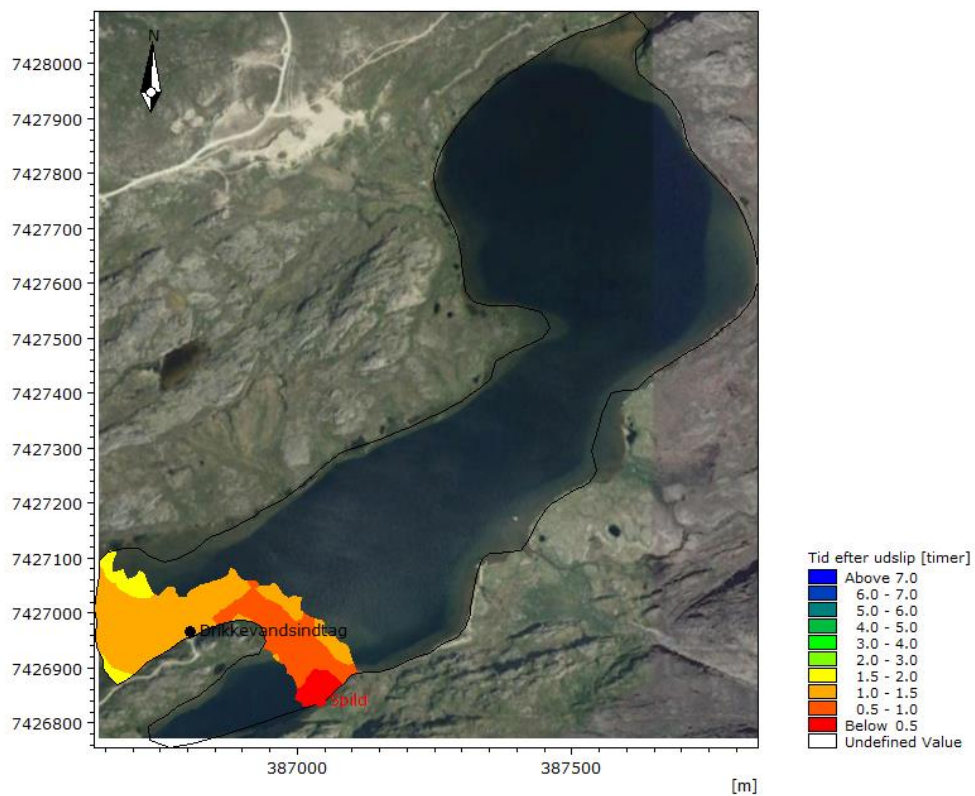
For et scenarie hvor; 200 l benzin slipper ud i Vandsø 5 indenfor ca. 5 min, vinden blæser med 10 m/s fra syd, tilstrømningen er på 350 m³/s, kan der forventes en maksimal udbredelse af dieselolien indenfor de første 24 timer efter udslip som vist på figur 7-8. Bemærk at figuren viser de maksimalt forekommende dybdemidlede koncentrationer gennem simuleringsperioden og altså ikke et øjebliksplot af koncentrationerne.

Benzinen vil således transporteres og spredes op mod pynten og op mod drikkevandsindtaget og bassinet, hvorfra afstrømningen foregår.

Den tidsmæssige afstand før den suspenderede benzin når området med drikkevandsindtaget er vist på figur 7-9 og viser, at det kan forventes, at den suspenderede benzin vil nå området med drikkevandsindtaget indenfor kort tid (ca. 1-2 timer efter udslip).



Figur 7-8: Maksimal dybdemidlet koncentration af benzin indenfor en periode på 24 timer efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.



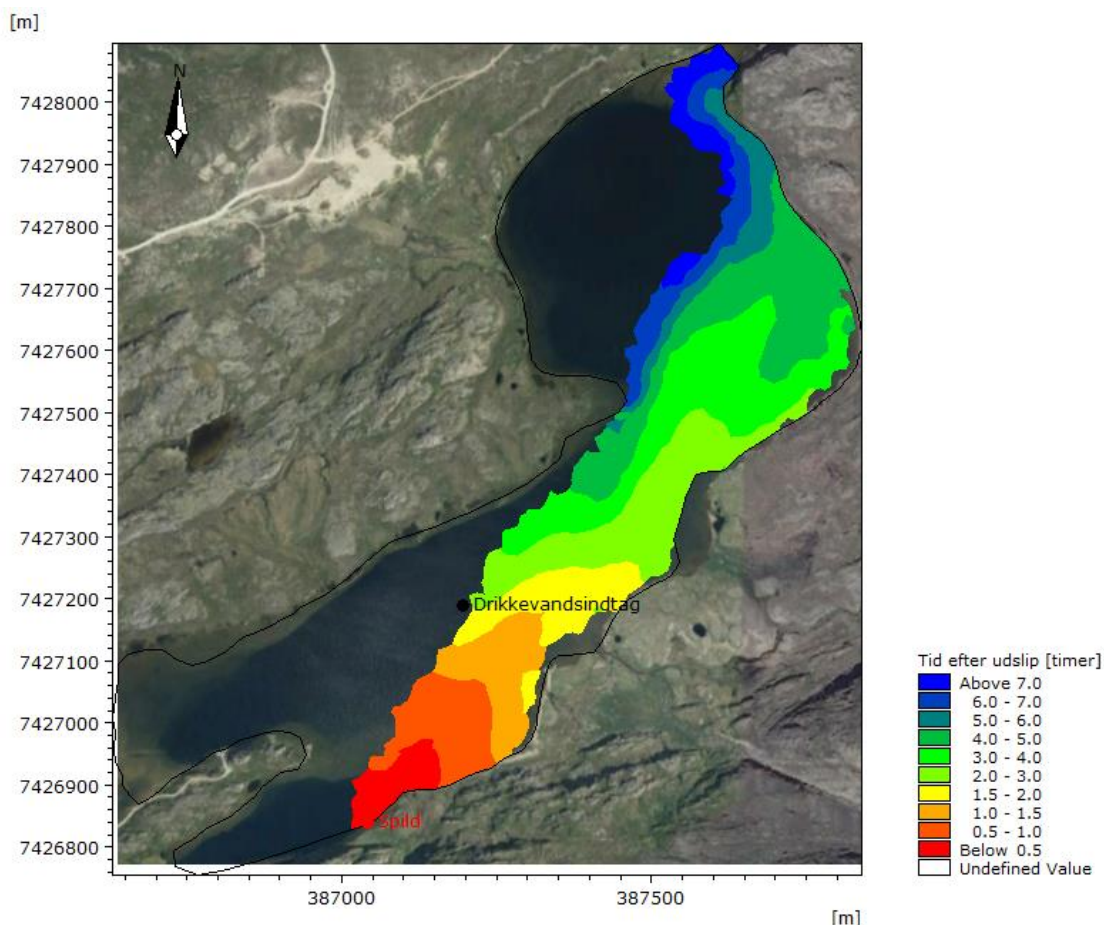
Figur 7-9: Transporttid for benzin i suspension – tid efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

7.3 Udslip af 750 l dieselolie – scenarie 1 – alternativ placering af drikkevandsindtag

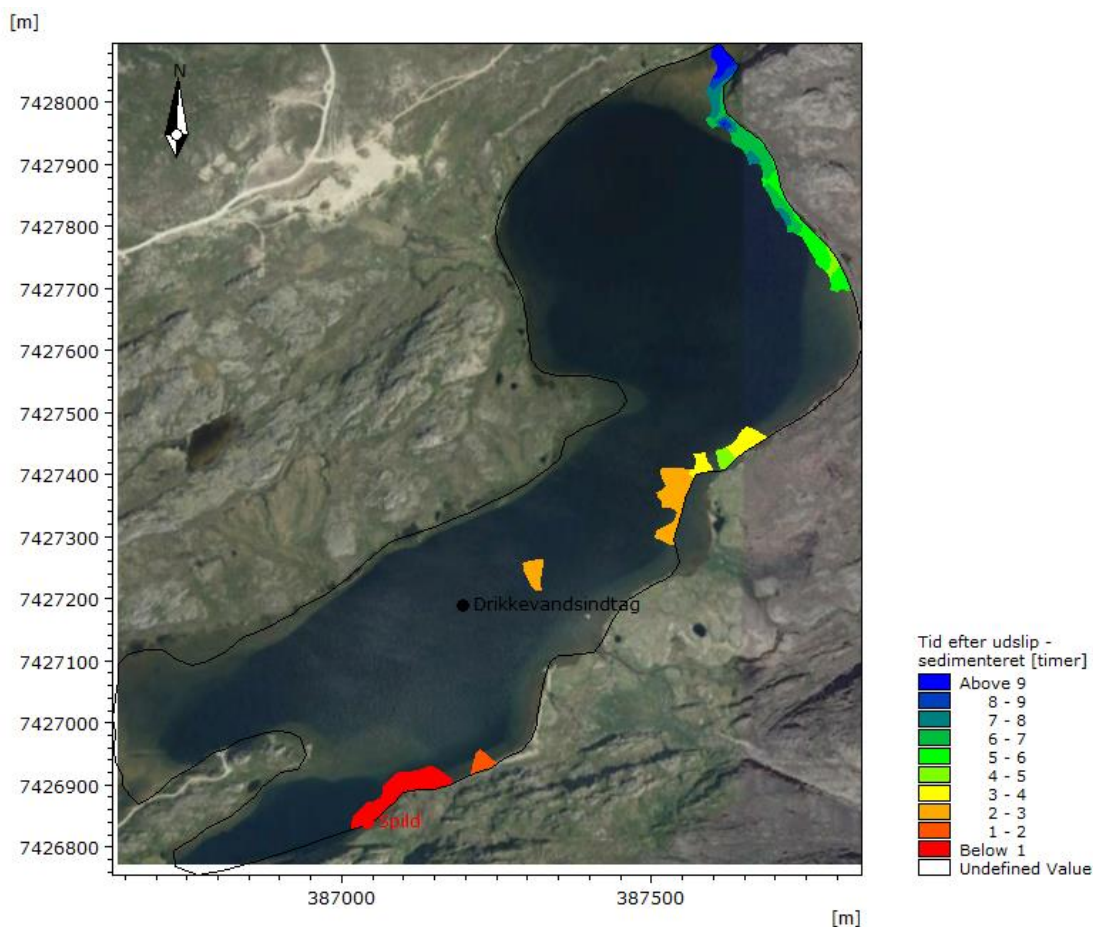
For et scenarie hvor; 750 l dieselolie slipper ud i Vandsø 5 indenfor ca. 5 min, vinden blæser med 10 m/s fra syd-sydvest, uden tilstrømning, kan det forventes, at dieselolien vil nå området med den alternative placering af drikkevandsindtaget indenfor ca. 1,5 - 2 timer (se figur 7-10).

Modelberegningerne viser ydermere, at der er risiko for, at der vil ske en aflejring af dieselolie i de dybereliggende områder allerede indenfor 2 timer efter udslip. figur 7-11.

En flytning af drikkevandsindtaget vil således ikke nødvendigvis fjerne risikoen for at et spild kan give anledning til en "forurening" i området omkring drikkevandsindtaget. Det understreges, at ændrede forhold, herunder evt. lagdeling, placeringen af drikkevandsindtaget, vejrforhold mv. kan ændre på den faktiske risiko for påvirkning. I tilfælde af en flytning af drikkevandsindtaget bør der gennemføres en mere detaljeret analyse, hvor der bl.a. inkluderes vurderinger af eventuelle utilsigtede påvirkninger f.eks. større mængder suspenderet sediment i vandet generelt som følge af drikkevandsindtagets placering i områder påvirket af kraftig strøm under flom.



Figur 7-10: Transporttid for dieselolie i suspension – tid efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.



Figur 7-11: Transporttid for aflejring af dieselolie- tid efter udslip. Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

7.4 Konklusion

Baseret på de gennemførte modelsimuleringer og følsomhedssimuleringer konkluderes følgende;

- J at der er risiko for at et spild af dieselolie eller benzin vil kunne nå området med drikkevandsindtaget indenfor relativ kort tid (2-5 timer) i tilfælde af stærk vind og høj tilstrømning til Vandsø 5 (scenarie 2)
- J at der er risiko for, at spild af dieselolie, benzin eller hydraulikolie vil kunne nå området med drikkevandsindtaget indenfor relativ kort tid (1-2 timer) i tilfælde af kombinationen med høj vind og ekstrem tilstrømning til Vandsø 5 (scenarie 3).
- J at de kritiske vindretninger generelt er fra sydøst til syd, mere østlige vindretninger medfører, at spildes samlet i det nærliggende syd-vestlige bassin. For den alternative placering af drikkevandsindtaget er de kritiske vindretninger syd – sydvest.
- J at for nogle scenarier vil de dybdemidlede koncentrationer være $< 0,5$ mg/l, hvormed figurene der viser udbredelsen og maksimale koncentrationer vil vise, at der ikke forekommer et indhold af olie i et område, mens transporttid og aflejningsplots viser, at olien vil nå et givent område. Transporttiderne bestemmes ud fra at koncentrationen > 0 mg/l
- J at ca. 12 – 24 timer efter spildet er sket, er den spildte benzin/olie sedimenteret, omdannet eller strømmet væk fra Vandsø 5 (udløbet i den vestlige del af bassinet med drikkevandsindtaget). Ændrede vejrforhold og eller opblandingsforhold (springlag) i Vandsø 5 kan medføre at olie/benzin vil forblive i Vandsø 5 i længere tid.

- J at modelberegninger af spildscenarier, hvor der sker et udslip fra en tankbil giver marginalt kortere transporttider sammenlignet med de opnåede ved modelberegningerne med et mindre spild af dieselolie (forudsat at de to typer af dieselolie har samme egenskaber). Koncentrationsniveauerne øges markant og den større mængde giver også mulighed for at det påvirkede areal er større.
- J at en mere nordøstlig placering af spildet kan give anledning til markant mere kritiske forhold for transporttid og spredning op mod drikkevandsindtaget, jf. afsnit 5 og 6. Tilsvarende vil lokale ændringer af strømforholdene bevirke en ændring af spredningsforholdene samt transporttiden.
- J at en ændret placering af drikkevandsindtaget ikke giver anledning til en signifikant ændring af transporttiden før et oliespild kan nå drikkevandsindtaget (ca. 2-3 timer). Evt. springlag (lagdeling) i Vandsø kan medføre, at den alternative placering af drikkevandsindtaget er mere gunstigt end modelberegningerne viser. Det skal dog understreges, at en evt. flytning af drikkevandsindtaget bør inkludere en vurdering af drikkevandets kvalitet generelt f.eks. evt. generelt øget indhold af suspenderet sediment grundet stærk strøm under flom (optimering og vurdering af generel alternativ placering af drikkevandsindtaget er ikke indeholdt i indeværende analyse). Modelberegningerne viser også, at der er risiko for en vis sedimentation af olie i umiddelbar nærhed til drikkevandsindtaget, dvs. også ude i de dybere dele af Vandsø 5. Udslip af hydraulikolie, når dog ikke den alternative placering af drikkevandsindtaget.

For de tre typer af modellerede olietyper er status for scenarie 2 vind fra sydøst givet i tabel 14 - tabel 16. Heraf fremgår det, at 24 timer efter spildet er sket, er mellem 50 - 70 % af den flygtige fraktion i dieselolien og benzinen forsvundet fra Vandsø 5 som følge af processer (primært fordampning). De resterende fraktioner er stadig i modeldomænet, primært aflejret i kystnære området.

Fraktion	Tilbage i model-domænet [%]	Udledt i forbindelse med afstrømning [%]	Forsvundet som følge af processer [%]	Sum [%]
Volatile	28,3	0,8	70,9	100.0
Heavy	94,8	5,2	0,0	100.0
Wax	94,8	5,2	0,0	100.0
Asfalt	94,8	5,2	0,0	100.0

Tabel 14: Status for de fire fraktioner i dieselolien 24 timer udslip for scenarie 2 vind fra sydøst.

Fraktion	Tilbage i model-domænet [%]	Udledt i forbindelse med afstrømning [%]	Forsvundet som følge af processer [%]	Sum [%]
Volatile	102,5	0,0	-2,5	100.0
Heavy	99,9	0,0	0,0	100.0
Wax	100	0,0	0,0	100.0
Asfalt	100	0,0	0,0	100.0

Tabel 15: Status for de fire fraktioner i hydraulikolien 24 timer udslip for scenarie 2 vind fra sydøst.

Fraktion	Tilbage i model-domænet [%]	Udledt i forbindelse med afstrømning [%]	Forsvundet som følge af processer [%]	Sum [%]
Volatile	51,2	2,3	46,5	100.0

Tabel 16: Status for den volatile fraktion i benzin 24 timer udslip for scenarie 2 vind fra sydøst.

8. RESULTATER – SPILD AF NEUTRALT STOF

Der er gennemført modelberegninger for spild af et neutralt stof i kombination med forskellige hydrodynamiske scenarier. Resultaterne præsenteres i form af arealplots af:

- J Maksimal koncentration og udbredelse af suspenderet stof i perioden 0-24 timer efter udslip
- J Transporttid for suspenderet stof (stof i vandsøjlen)

Viste koncentrationer i form af arealplots er dybdemidlede koncentrationer. I tilfælde af at stoffet ikke er jævnt fordelt i hele vandsøjlen vil der forekomme højere koncentrationer i nogle dele af vandsøjlen.

Idet stoffet er at betragte som et neutralt stof påvirker det ikke strømfeltet og koncentrationsintensiteten giver ikke anledning til en ændring af stoffets egenskaber. Det vil derfor være muligt at skalere de opnåede koncentrationer jf. en anden mængde spildt stof, med samme egenskaber som det modellerede neutrale stof.

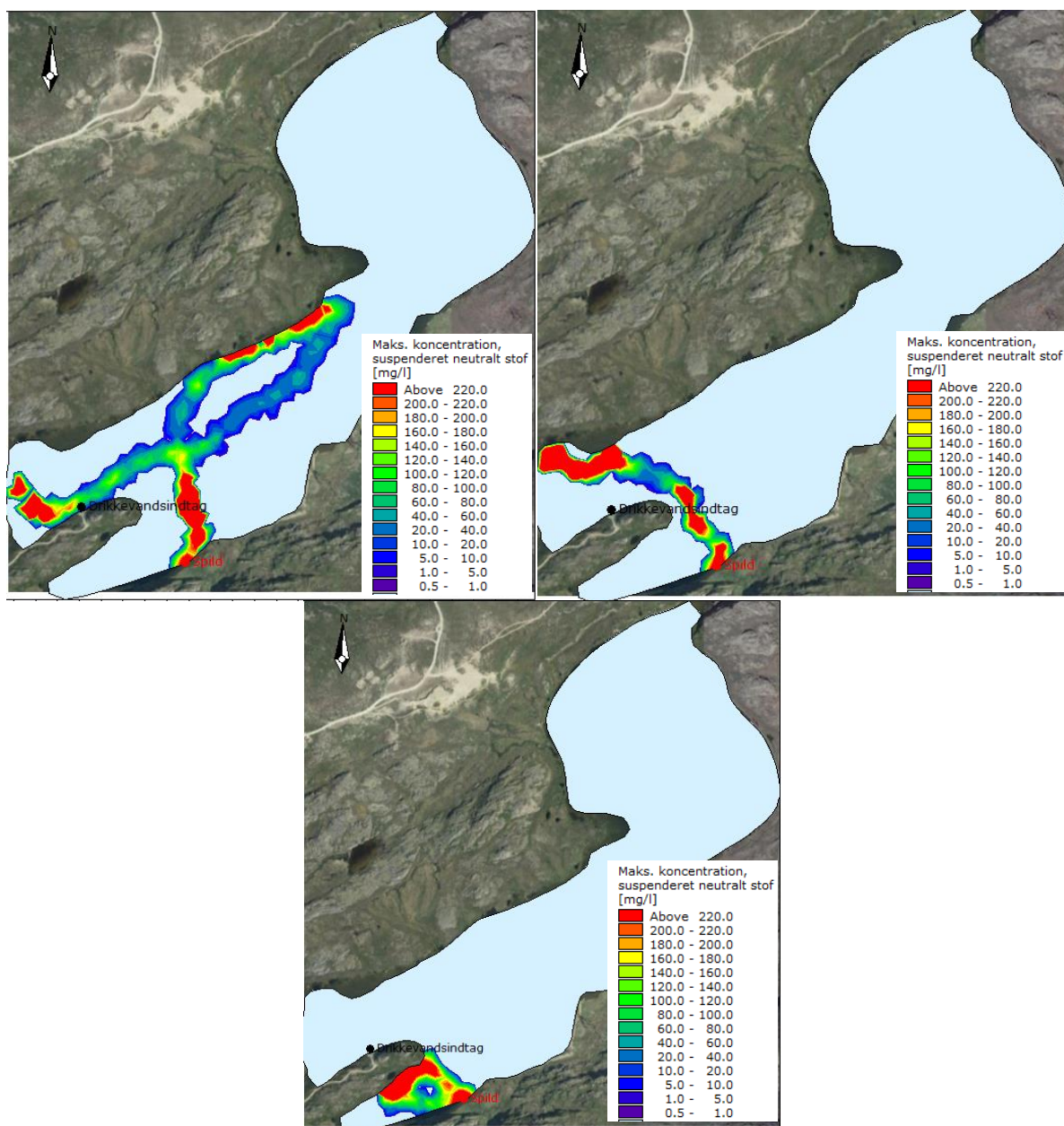
I tilfælde af at spildet vil være i form af sedimenter vil disse have en faldhastighed og dermed aflejres efter et stykke tid. Modelberegninger med et neutralt stof uden hensyn til henfald eller faldhastighed vil dermed give anledning til de største koncentrationer og størst mulig påvirket område.

Det skal pointeres, at de opnåede resultater skal betragtes som værende kvalitative fremfor kvantitative – forstået på den måde, at de overordnede tendenser vurderes at være repræsentative for hvad der vil ske, som følge af et udslip af et neutralt stof. De faktiske koncentrationer og tidsangivelser kan afvige fra det modellerede, dels fordi modelberegningerne er kørt for stationære hydrodynamiske scenarier, der vurderes at være konservativ-realistiske (dog ikke nødvendigvis ekstreme) og de faktiske vejrforhold vil have en afgørende betydning for spildets transport og spredning og dels fordi den anvendte model ikke er kalibreret og valideret ift. strømforholdene og det spildte stofs faktiske sammensætning og egenskaber. Resultaterne kan således anvendes til at vurdere, om der er risiko for at et spild vil nå området omkring drikkevandsindtaget og give en indikation af om det tager kort eller længere tid før drikkevandsindtaget evt. nås.

8.1 Udbredelse og maksimale koncentrationer af neutralt stof for scenarie 2 og 3

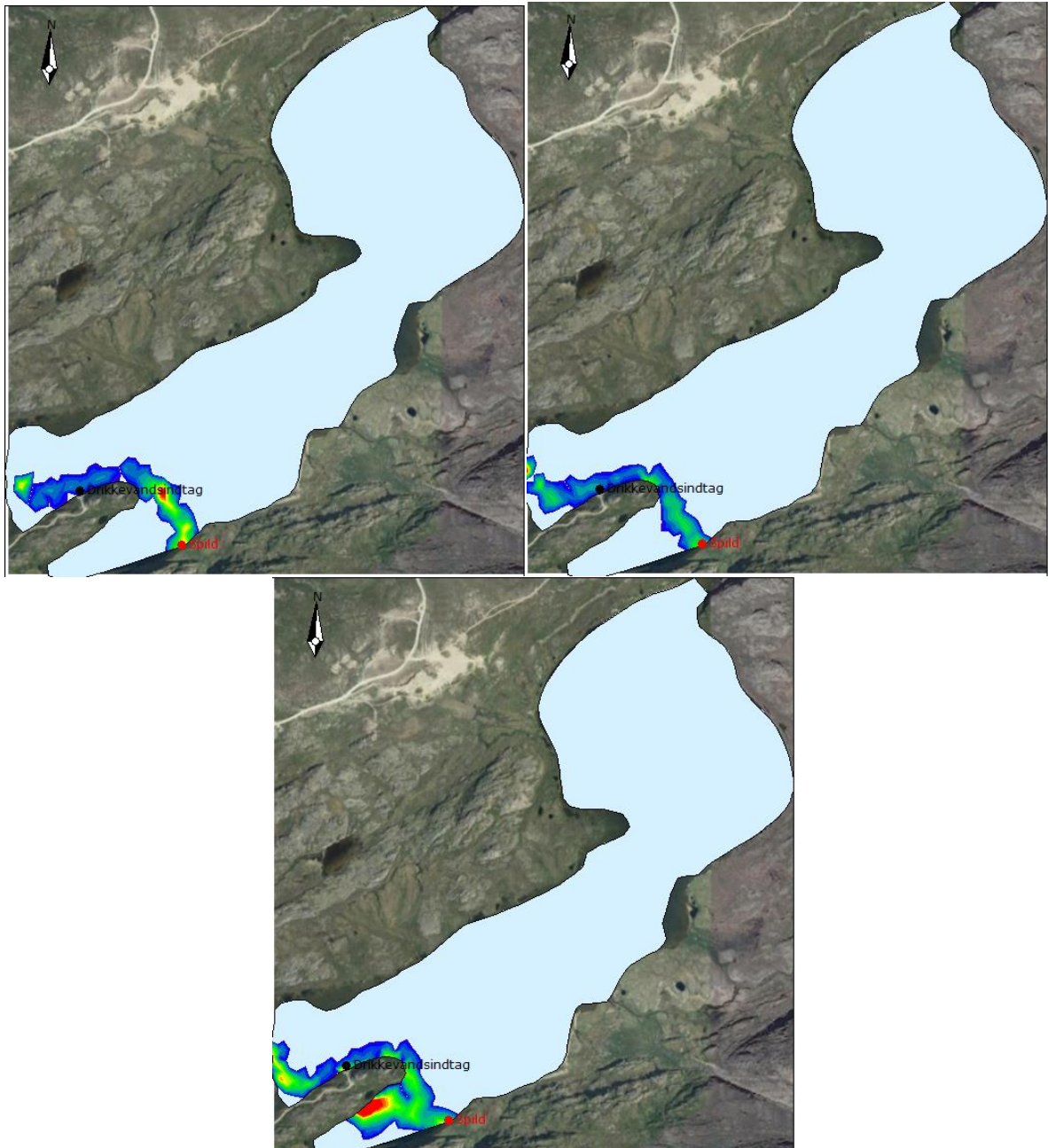
På figur 8-1 er udbredelsen og maksimale dybdemidlede koncentrationer af et spildt neutralt stof vist for det hydrodynamiske scenarie 2, dvs. høj vind og høj tilstrømning, mens tilsvarende er vist på figur 8-2 for det hydrodynamiske scenarie 3 med høj vind og ekstrem afstrømning. Resultaterne viser, at der er risiko for at et neutralt stof vil kunne transporteres og spredes til området med drikkevandsindtaget.

For scenarie 2 er det kritisk at vinden kommer fra sydlig retning, mens vind fra sydøstlig retning vil give anledning til at det spildte stof primært transporteres ind i det tilstødende bassin. For vind fra syd-sydøst bevæges stoffet op mod nord, hvorefter det bevæges over mod afstrømningspositionen.



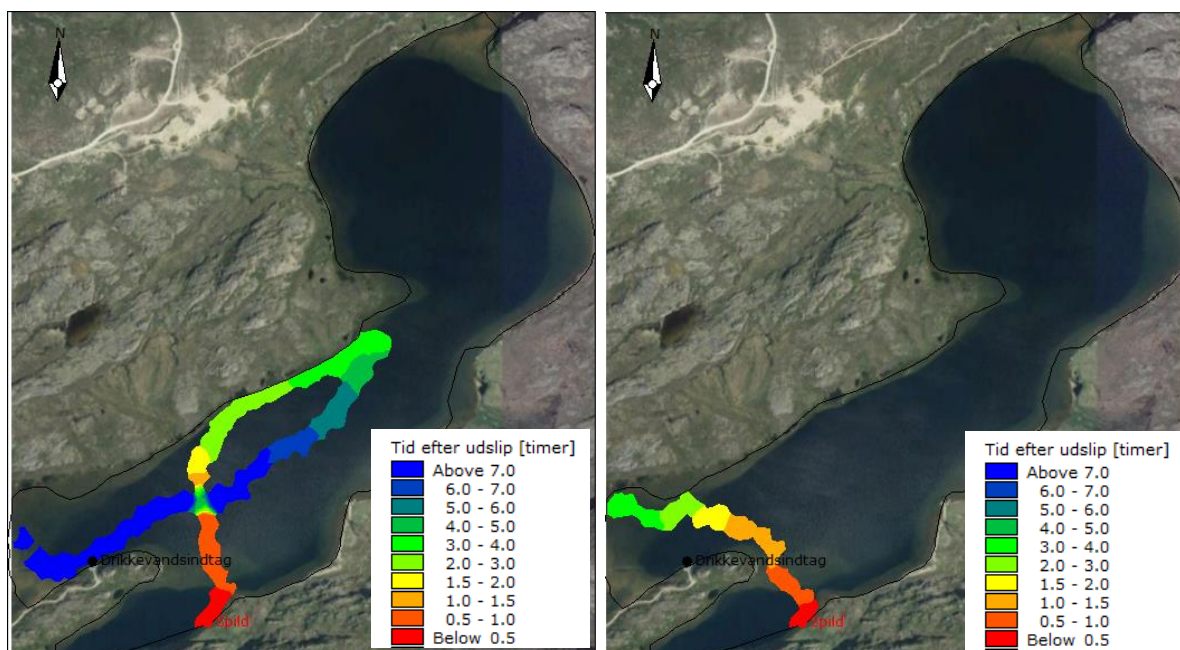
Figur 8-1: Maksimale dybdemidlede koncentrationer og udbredelse af et neutralt stof for det hydrodynamiske scenarie 2 med vind fra syd (øverst venstre) og med vind fra syd-sydøst (øverst højre) og vind fra sydøst (nederst). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

For det hydrodynamiske scenarie 3, hvor der forekommer ekstremt tilløb, vil der være en tendens til, at et neutralt stof vil transporteres og spredes i bassinet med drikkevandsindtaget, se figur 8-2. Modelberegningerne viser at afstrømningen er dominerende for strømforholdene og dermed er vindretningen for dette scenarie af mindre betydning.



Figur 8-2: Maksimale dybdemidlede koncentrationer og udbredelse af et neutralt stof for det hydrodynamiske scenarie 3 med vind fra syd (øverst venstre) og med vind fra syd-sydøst (øverst højre) og vind fra sydøst (nederst). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

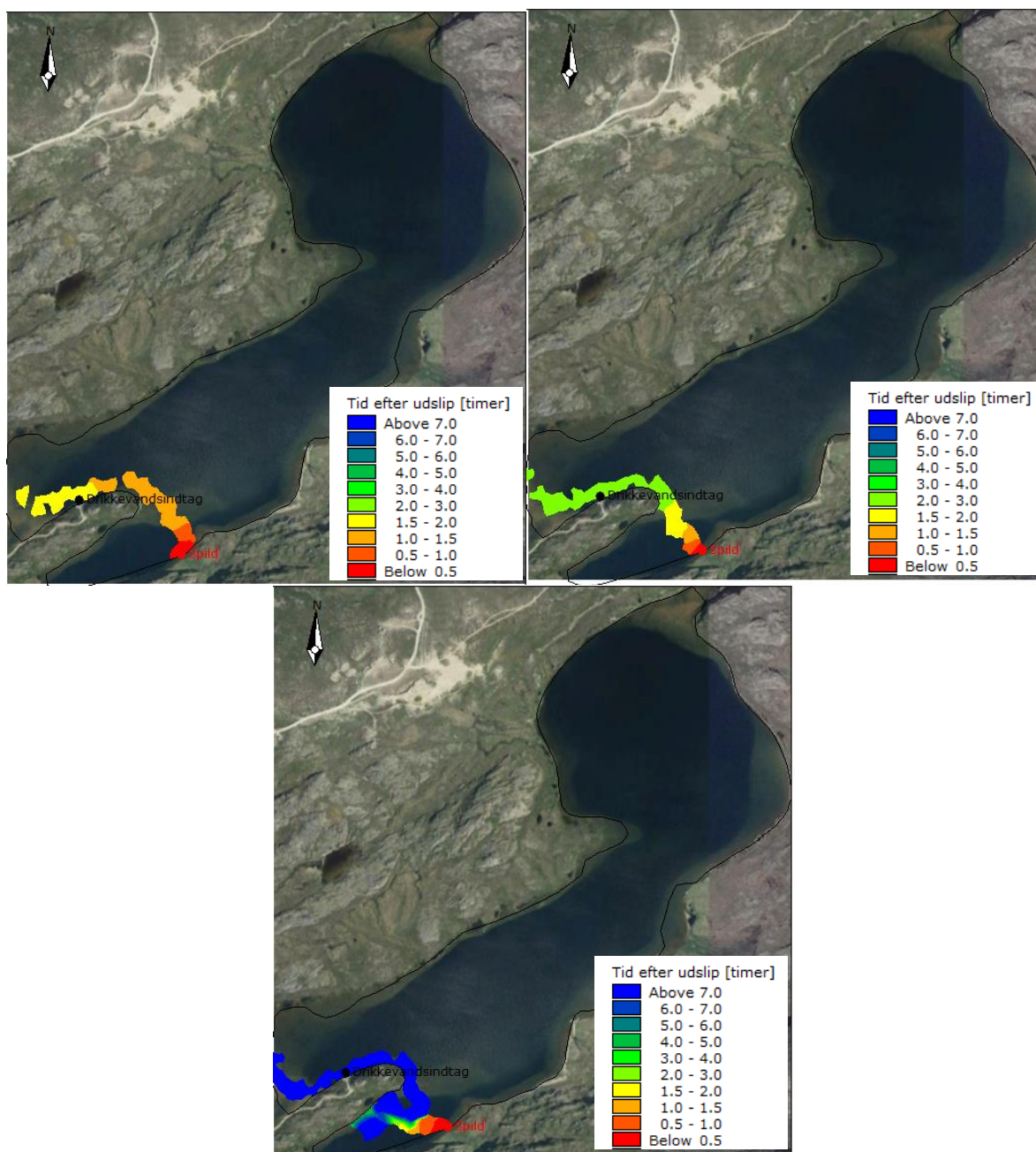
For udvalgte scenarier er transporttiden for den suspenderede sediment vist på figur 8-3 for scenarie 2 og på figur 8-4 for scenarie 3.



Figur 8-3: Transporttid for suspenderet neutralt stof for det hydrodynamiske scenarie 2 med vind fra S (øverst venstre) og med vind fra SSO (øverst højre). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

I tilfældet med høj tilstrømning til Vandsø 5 (scenarie 2) vil et spild i tilfælde af vind fra direkte syd nå området for drikkevandsindtaget mere end 7 timer efter udslip (ca. 10 timer). Er vinden mere syd-sydøstlig viser modelberegningerne, at det spildte materiale ikke vil transporteres mod drikkevandsindtaget med mere mod den modsatte kyst. Det skal dog erindres, at modelberegningerne er kørt for stationære vindforhold (konstant vindhastighed og retning i hele beregningsperioden) og hvis vinden ca. 1½ time efter spildet er sket drejer mere over i østlig retning vil der være risiko for, at det spildte stof i stedet transporteres ned i området med drikkevandsindtaget. Dette vurderes således at kunne nås indenfor ca. 2 timer efter spildet skete.

For scenarie 3 (jf. figur 8-4) viser modelberegninger, at et neutralt stof kan nå området omkring drikkevandsindtaget indenfor kort tid efter spildet er sket (ca. 1½-2 timer).



Figur 8-4: Transporttid for suspenderet neutralt stof for det hydrodynamiske scenarie 3 med vind fra syd (øverst venstre), vind fra syd-sydøst (øverst højre) og vind fra sydøst (nederst). Baggrund fra Google Earth Image © 2020 Maxar Technologies, Asiaq, Terra Metrics.

8.2 Konklusion

Modelberegningerne viser, at der er risiko for at et spild af et neutralt stof kan nå området omkring drikkevandsindtaget indenfor kort tid i tilfælde af at der forekommer høj tilstrømning til Vandsø 5. Er tilstrømningen mindre kan der for visse vindforhold ligeledes ske en transport og spredning af det spildte materiale op mod drikkevandsindtager.

Jf. afsnit 5 er modelberegningerne følsomme overfor forhold som spildets placering og de faktiske vejrforhold. Sker spildet lidt længere mod nordøst af strækningen vil transporttiden afkortes og flere vindretninger kan være kritiske, da spildet dermed kommer direkte ud i et område hvor strømhastighederne er større (her er afstanden til vejen dog større og de endelige

modelberegninger er således ikke gennemført for spild på denne position). Sker spildet længere mod vest, på den strækning hvor vejen tangere Vandsø 5 er strømhastighederne lavere, hvormed der er stor sandsynlighed for at et spild vil tage længere tid om at nå drikkevandsindtaget, der forekommer dog kombinationer af vind- og afstrømningsforhold, der vil give anledning til en transport og spredning op mod drikkevandsindtaget, hvormed det ikke kan konkluderes, at et spild længere mod vest ikke vil nå drikkevandsindtaget.

9. REFERENCER

- /1/ DMI, 2013, Technical Report 13-16, *Weather Statistics for Airports, 2003-2012 Greenland*, Ellen Vaarby Laursen
- /2/ ETC, 2016, Oil Properties Database, Environment Canada, Government of Canada
- /3/ DHI, 2014, DHI Oil Spill Model, Scientific Documentation for MIKE DHI Oil Spill Module
- /4/ Database contained in Adios 2, version 2.0.10, NOAA Office of Response and Restoration Emergency Response Division
- /5/ Concawe, 1996, Product dossier no 95/107. Gas oils (diesel fuels/heating oils)
- /6/ ITOPF, 2014, Fate of marine oil spills, technical information paper 2
- /7/ NOAA, 2020, <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2>
- /8/ Data fra projekt støttet af US National Science Foundation under Grant No. OPP-1603452, leveret af Professor ved University of Florida, Jonathan B. Martin.
- /9/ DMI, 2020, Klimanormaler for Grønland, <https://www.dmi.dk/vejrkarkiv/normaler-groenland/>
- /10/ Risk Assessment of petroleum hydrocarbon spills – Sisimiut to Kangerluarsuk. Rambøll 2020
- /11/ MIKE OS manual
- /12/ <http://www.ic.gc.ca/eic/site/mc-mc.nsf/eng/lm00105.html>
- /13/ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9780470423851.app1>

