

Himmark Strand - Spredning af opsivende forurening

Projektnavn **Himmark Strand - Granskning og tilpasning**
Projektnr. **1100048603**
Kunde **Region Syddanmark**
Version **0.6**
Udarbejdet af **THBU**
Kontrolleret af **JAK**
Godkendt af **METC**

1 Opsivende forurening ved Himmark Strand

Dato 28-08-2023

Ved Himmark Strand på Nordals findes to områder, hvor der forekommer en såkaldt generationsforurening. I 1950'erne og 1960'erne blev der brændt og deponeret store mængder industriaffald i området, hvilket har medført at jorden og havbunden er forurenede i en sådan grad, at et badeforbud er udstedt. Dette badeforbud ønskes ophævet i forbindelse med etableringen af et nyt rekreativt område umiddelbart nord for projektlokaliteten, hvorfor forureningen skal fjernes.

Rambøll
Prinsensgade 11
DK-9000 Aalborg

Da forureningen med tiden har bevæget sig dybt ned i jorden, vurderes det ikke muligt at fjerne hele forureningen. I stedet planlægges det at afgrave den øverste og mest forurenede del og erstatte det med ren jord. Den blivende dybereliggende jord vil således fortsat have en høj koncentration af forurening, som med tiden forventes at udskilles via porevandet igennem havbunden til havvandet.

T +45 5161 1000

Nærværende notat dokumenterer input, antagelser og resultater for simulering af spredning af vinylchlorid fra denne forurening, når den når havvandsøjlen.

Omtalte simuleringer baseres på strømforhold, der er vurderet repræsentative for hhv. en periode med rolige forhold og en periode med høje strømhastigheder og vandstandsvariationer. Resultaterne baseres således ikke på statistiske ekstreme perioder, hvorfor de ikke bør anvendes til at estimere det maksimale koncentrationsniveau og/eller udbredelsesområde. Resultaterne er i stedet anvendelige ift. vurderinger af den generelle udbredelsestendens og omtrentligt niveau af forurening. Ift. videre anvendelse af resultaterne skal der derfor tillægges en vis robusthed.

2 Modelopsætning

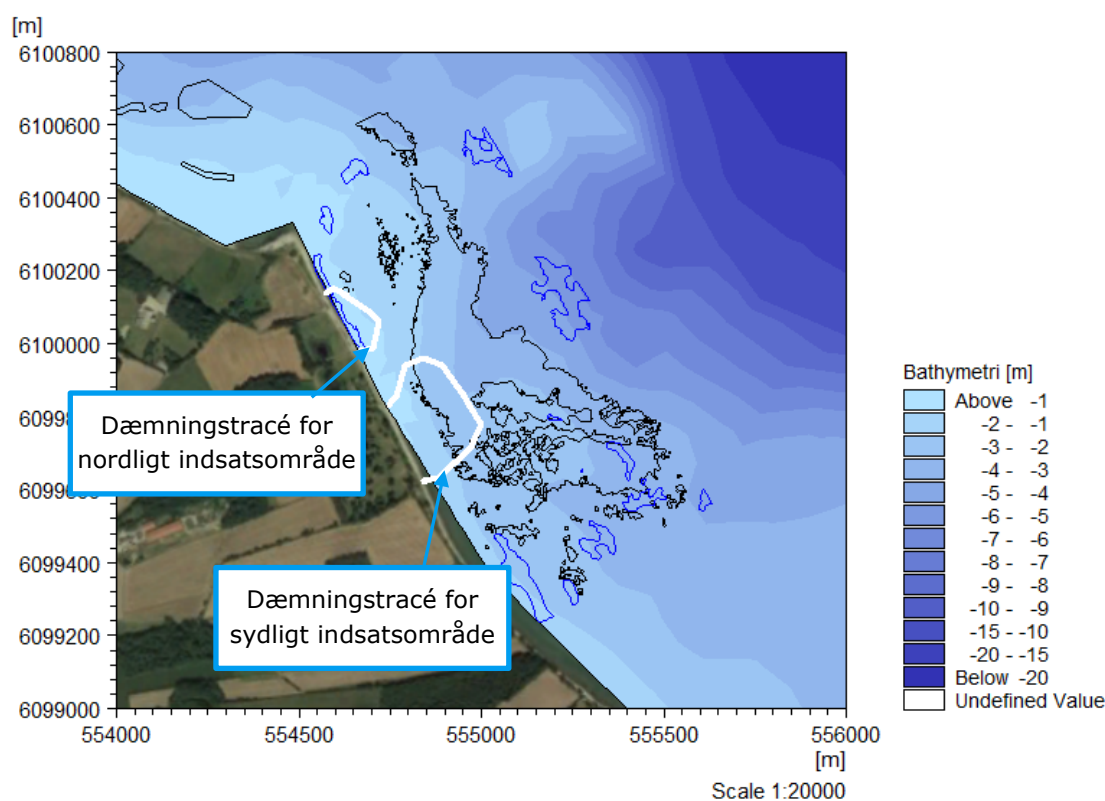
Simuleringerne gennemføres ved anvendelse af MIKE 3 programpakken, hvor relevante moduler kombineres efter behov. Der er taget udgangspunkt i den allerede opstillede model, der blandt andet er anvendt ifm. simulering af spredning af rensset vand udledt i forbindelse med tørholdelse af indsatsområderne under afgravningen af de øvre forurenede jordlag. Modellen gør brug af pakkerne:

- MIKE SW (spektral bølge modul) - til modellering af bølger og bølgegenereret strøm.
- MIKE HD (hydrodynamisk modul) - til modellering af strømfelter og vandstandsvariationer.
- MIKE TR (transport modul) - til sporing af materialetransport baseret på strømninger.

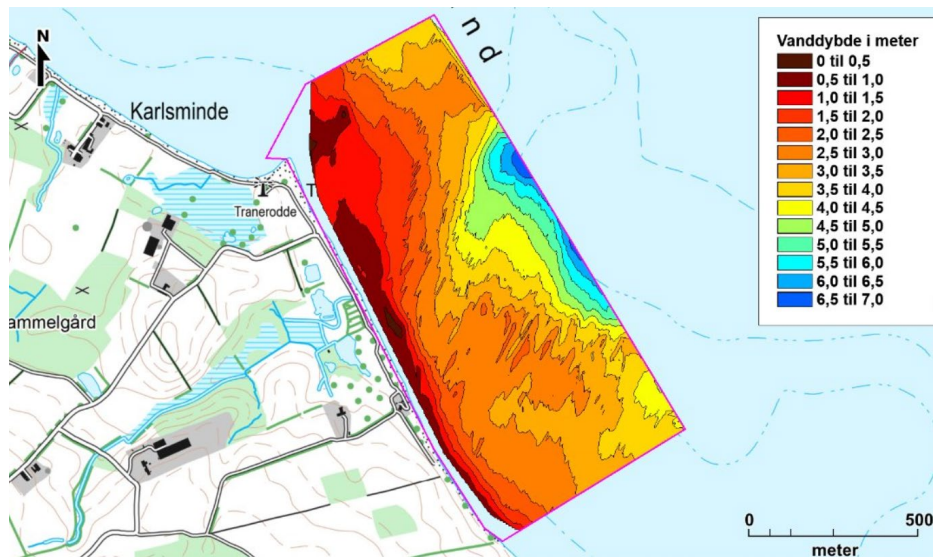
For en mere detaljeret beskrivelse af den anvendte model henvises generelt til bilagsrapporten for "Oprensning af forurening på Himmarn Strand" (Rambøll, 2023). Input parametre vedr. udledningpunkter og fluxe er nærmere beskrevet i notatet "Himmarn Strand – Input til MIKE 3 modellering af VC-koncentrationer i havvand efter afværge" (Rambøll, 2023).

2.1 Dybdeforhold og modeldiskretisering

De lokale dybdeforhold forudsat i modelberegningerne er gengivet i Figur 2-1. Dybder baseres i størstedelen af det modellerede område på digitaliserede søkort fra MIKE C-Map (DHI, 2023). I området vist på Figur 2-2 samt i området ud for det planlagte ressortområde nord for pynten, anvendes lokale pejlinger, som er mere detaljerede og opdaterede end C-Map data.

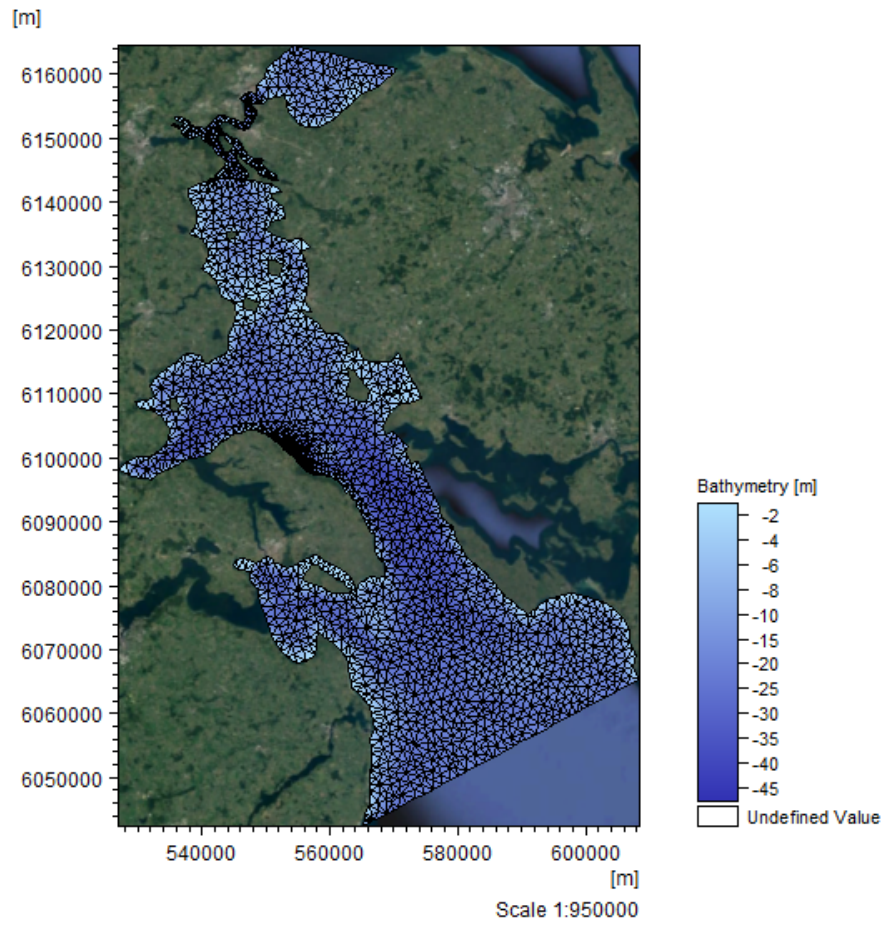


Figur 2-1: Bathymetri for projektområdet. Ålegræsområde er angivet med sort omruds, stenrev med blå. Baggrundsbillede fra (Google, 2023)

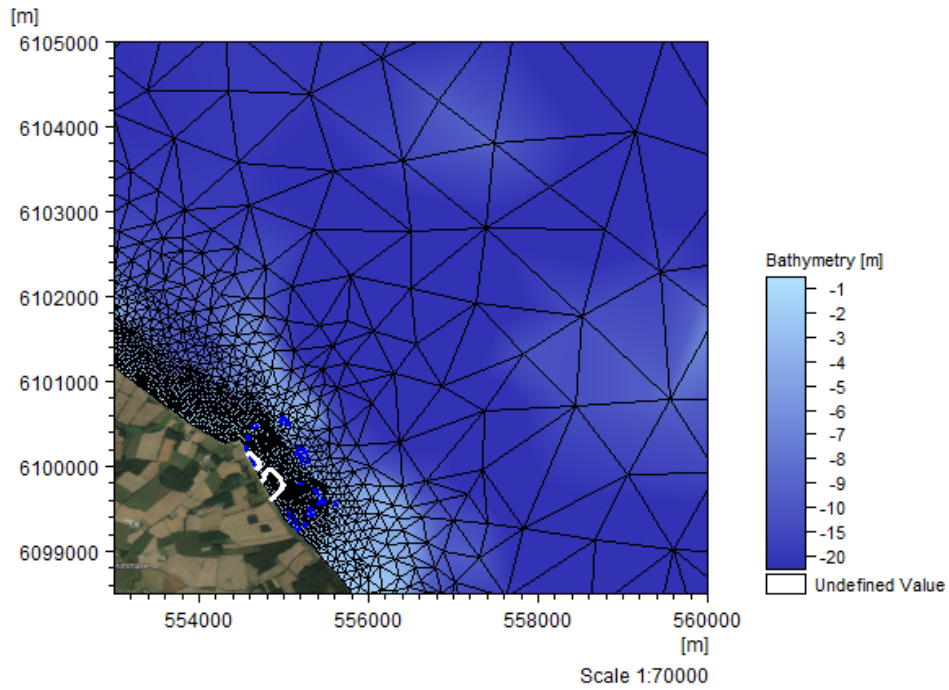


Figur 2-2: Vanddybder nær indsatsområderne interpoleret fra lokale pejlinger.

Modellen er diskretiseret som vist på figur 2-3 samt nær indsatsområderne på figur 2-4. For at balancere detaljegrad med beregningstid, anvendes større elementer jo længere de befinder sig fra indsatsområderne. De mindste elementer dækker arealer på maks. 1000 m².



Figur 2-3: Diskretisering for hele modelområdet. Baggrundsbillede fra (Google, 2023).



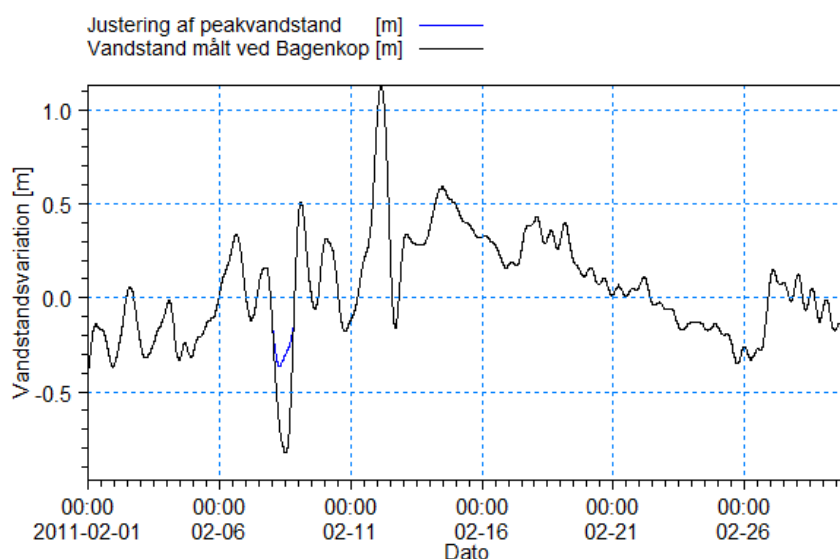
Figur 2-4: Modeldiskretisering nær indsatsområderne. Baggrundsbillede fra (Google, 2023).

2.2 Forcering af modellen

Modellen forceres med vind i hel modeldomænet samt målte vandstandsvariationer på hhv. nordlig (Bogense måler) og sydlig modelrand (Bagenkop måler), som beskrevet i (Rambøll, 2023).

I forbindelse med nærværende modellering af opsvining af grundvand nær kysten er randdata i en særlig lavvandet periode justeret for at undgå tørlægning af udsivningspunkterne. En sådan periode med meget lav vandstand kan medføre, at opsviningen sker på periodevis tørlagte arealer og først frigives til vandsøjlen når vandstanden stiger. Dette forhold er ikke inkluderet i modelberegningerne.

Justeringen er kun gennemført for en kortvarig periode for det scenarie, der repræsenterer forhold med store vandstandsvariationer og høje strømhastigheder. For simuleringen med rolige forhold bruges samme randbetingelse, som beskrevet i (Rambøll, 2023). Ydermere er lavvandssituationen kort sammenlignet med simuleringslængden, hvorfor effekten på resultaterne forventes at være lille.



Figur 2-5: Visualisering af vandstand målt ved Bagenkop (sort kurve) for perioden med høje strømhastigheder. Blå streg markerer hvor de målte data er justeret.

2.2.1 Udledningsdata

Opsivningen af forurenede grundvand er modelleret via 25 punktkilder i det sydlige indsatsområde og 7 i det nordlige område (jf. Figur 2-1). For hver kilde er defineret et vandflow og en koncentration. Forureningen består af vinylchlorid der antages opløst i porevand med parametre som havvand. Teoretisk set kan porevandet have en lavere salinitet end havvandet, hvilket vil lede til en opstigning igennem vandsøjlen, men da flowet fra kilderne er så lille, vil opblanding være tilnærmelsesvist momentan. Opstigning når således ikke at indtræffe før porevandets salinitet matcher havvandets. Der anvendes ikke henfald af stoffet.

I forbindelse med nærværende modellering af opsvining af grundvand nær kysten er opsummeret lokation, vandflow og koncentration for kilder i hhv. det nord- og sydlige indsatsområde. Fluxen af forurening fra porevandet til havvandsøjlen pr. år er ligeledes angivet.

Kilde #	X-koordinat (UTM32U)	Y-koordinat (UTM32U)	Vandflow [m ³ /t]	Koncentration [µg/ml]	Flux [g/år]
1	554837	6099678	0,35	6,849	20,743
2	554827	6099703	0,37	0,630	2,053
3	554816	6099726	0,38	1,584	5,270
4	554801	6099748	0,34	1,547	4,566
5	554791	6099768	0,23	1,042	2,088
6	554841	6099847	0,65	0,155	0,881
7	554831	6099893	0,32	0,321	0,891
8	554848	6099657	0,41	6,545	23,703
9	554850	6099795	0,39	0,381	1,304
10	554821	6099759	0,35	0,061	0,184
11	554839	6099770	0,30	0,077	0,204
12	554834	6099735	0,30	0,001	0,003
13	554848	6099710	0,29	0,024	0,061
14	554851	6099898	0,36	12,104	38,226
15	554852	6099747	0,28	0,015	0,037
16	554868	6099817	0,54	0,208	0,981
17	554857	6099778	0,23	1,043	2,094
18	554866	6099722	0,32	0,015	0,043
19	554876	6099788	0,38	0,076	0,252
20	554850	6099874	0,33	0,251	0,718
21	554913	6099829	0,31	0,301	0,825
22	554917	6099769	0,33	1,977	5,749
23	554899	6099774	0,37	0,048	0,158
24	554870	6099755	0,28	0,054	0,134
25	554859	6099689	0,36	1,295	4,065

Tabel 2-1: Lokation, vandflow, koncentration af vinylchlorid, samt flux af forureningen til havvandet for udledningsspunkterne i det sydlige indsatsområde.

Kilde #	X-koordinat (UTM32U)	Y-koordinat (UTM32U)	Vandflow [m ³ /t]	Koncentration [µg/ml]	Flux [g/år]
26	554648	6100034	0,38	3,753	12,535
27	554623	6100074	0,46	3,569	14,241
28	554610	6100095	0,32	5,113	14,156
29	554598	6100116	0,32	1,749	4,909
30	554660	6100013	0,45	1,282	5,008
31	554662	6100041	0,32	0,581	1,632
32	554678	6100050	0,32	1,406	3,911

Tabel 2-2: Lokation, vandflow, koncentration af vinylchlorid, samt flux af forureningen til havvandet for udledningsspunkterne i det nordlige indsatsområde.

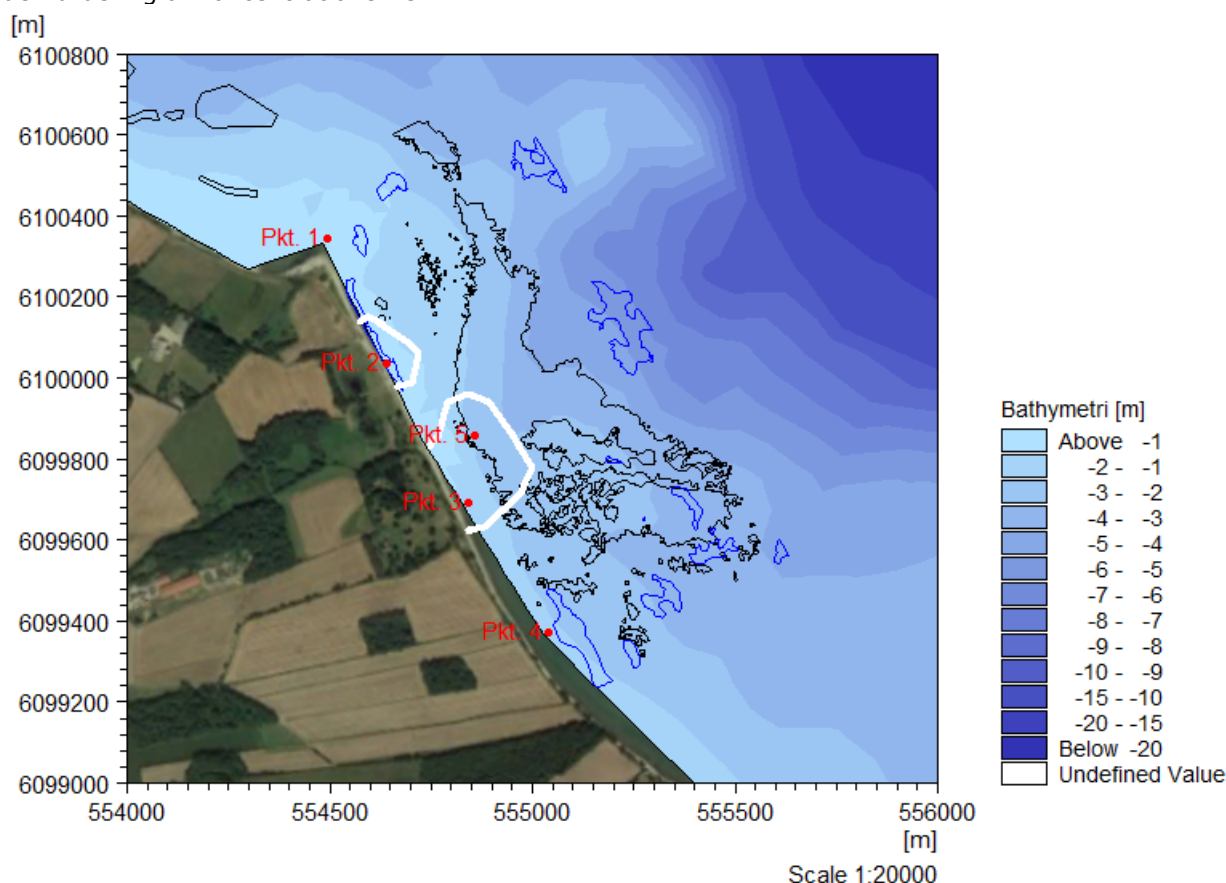
3 Resultater

Resultater for perioden med rolige forhold vises i afsnit 3.1 og for perioden med høj strømhastighed og stor vandstandsvariation i afsnit 3.2. Resultaterne præsenteres på to måder:

- Statistiske areal-plot af hhv. maksimale og gennemsnitlige dybdemidlede koncentrationer af vinylchlorid.
- Tidsserier af den dybdemidlede koncentration i udvalgte udtrækspunkter vist på Figur 3-1 præsenteres for at belyse koncentrationens dynamik i løbet af perioderne.

Modelberegningerne er gennemført i en model, hvor vandsøjlen er opdelt i hhv. en nedre og en øvre del. Der foreligger dermed dybdemidlede resultater for både den øvre og den nedre del af vandsøjlen, men de i rapporten præsenterede resultater er at betragte som værende repræsentative for det dybdemidlede koncentrationsniveau, der forekommer i hele vandsøjlen. Resultaterne er reelt fra den øvre del af vandsøjlen, hvor der forekommer en marginal større udbredelse, mens der for den nedre del lokalt er en marginalt højere koncentration.

Afvigelser mellem faktiske vanddybder og vanddybder antaget i modelberegningen vil påvirke det beregnede dybdemidlede koncentrationsniveau. Desuden er der i modellen et afskæringsniveau på 10 cm, hvilket medfører at dybder mindre end 10 cm antages som værende 10 cm, hvilket leder til en undervurdering af koncentrationerne.



Figur 3-1: Bathymetri for projektområdet. Ålegræsområde er angivet med sort omruds, stenrev med blå. Dataudtrækspunkter er angivet med rød skrift.

Tabel 3-1 viser lokationer for udtrækspunkterne. Udtrækspunkterne har en minimumafstand til kysten på ca. 10 m. Punkterne er ligeledes vist grafisk på relevante figurer i de følgende afsnit. Pkt. 1 ligger ca. 200 m nord for det nordlige område mens pkt. 4 ligger ca. 300 m syd for det sydlige.

Udtrækspunkt	X-koordinat (UTM32U)	Y-koordinat (UTM32U)	Vanddybde [m]
1	554495	6100342	0,6
2	554641	6100034	1,0
3	554842	6099691	1,3
4	555041	6099372	1,6
5	554859	6099857	2,2

Tabel 3-1: Lokation og lokal vanddybde for udtrækspunkterne til koncentrationstidsserier.

Der præsenteres i det følgende bl.a. statistiske plots af maks. og middelkoncentrationer. Bemærk, at disse plots er statistiske plots og dermed ikke et udtryk for et øjebliksbillede af vinylchloridkoncentrationen. Maksimalkoncentrationerne viser den maksimalt opnåede koncentration i det aktuelle område opnået til et vilkårligt tidspunkt i simuleringsperioden, mens middelkoncentrationen er det gennemsnitlige koncentrationsniveau i det aktuelle område baseret på hele simuleringsperioden.

3.1 Resultater for simuleringer med rolige forhold

En periode repræsenterende rolige forhold er simuleret for at afdække forureningskoncentrationen når den ikke bliver ført så hurtigt væk af strømmen og dermed har tid til at ophobe sig lokalt. Dette leder til højere koncentrationer, men et mindre påvirkningsområde.

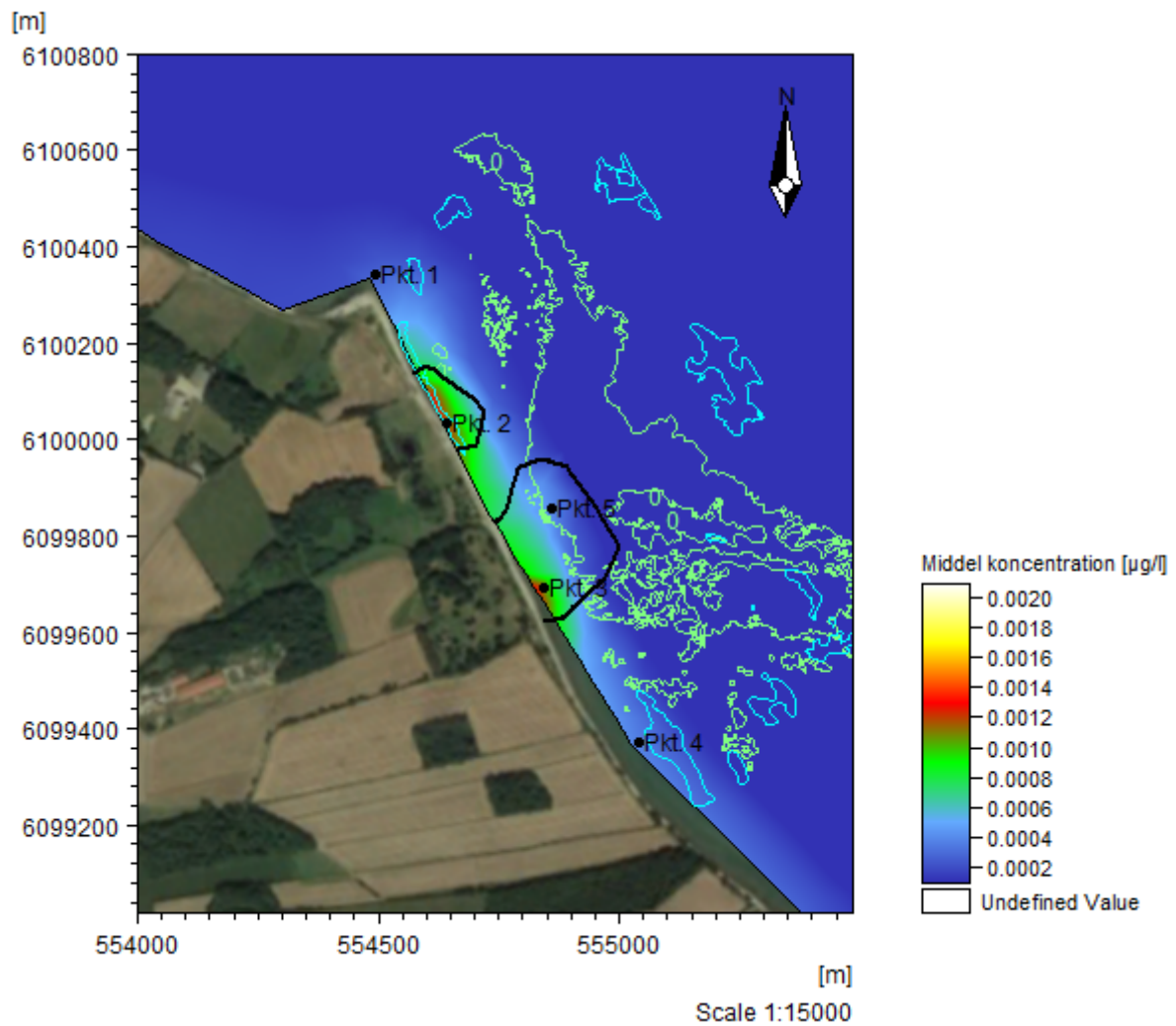
Valg af simulerede perioder er beskrevet nærmere i (Rambøll, 2023).

3.1.1 Maksimale og gennemsnitlige vinylchloridkoncentrationer

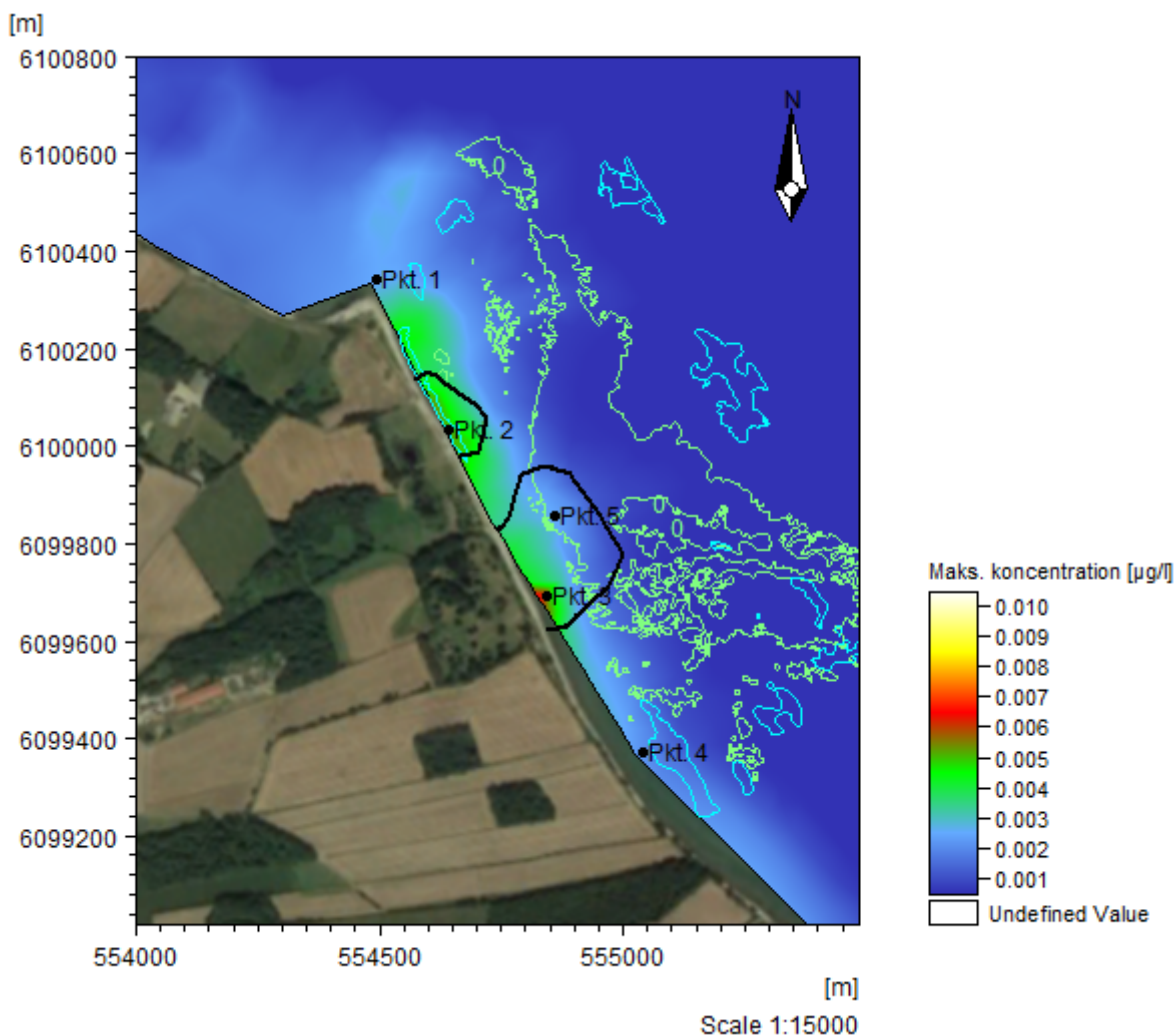
Figur 3-2 og Figur 3-3 viser hhv. middel- og maks. koncentrationen af vinylchlorid i projektområdet for opsivning i en periode med rolige strømforhold. Udtrækspunkter for tidsserier af koncentrationer er markeret med hver deres nummer (jf. Tabel 3-1).

Det fremgår, at der kystnært gennemsnitligt kan forekomme en dybdemidlet koncentration af vinylchlorid på op til ca. 0,0016 µg/l med peaks op mod 0,008 µg/l.

Der ses en høj maksikoncentration mellem den nordlige dæmning og pynten mod nord. Dette skyldes formentlig at der ved sydgående strøm dannes en hvirvel som ophober forureningen i stedet for at lede den sydpå.



Figur 3-2: Gennemsnitlig dybdemidlet koncentration af vinylchlorid i den simulerede periode, der repræsenterer rolige strøm- og vandstandsforhold. Grøn streg markerer ålegræsområder, cyan streg er stenrev. Udtrækspunkter for koncentrationstidsserier er ligeledes vist.



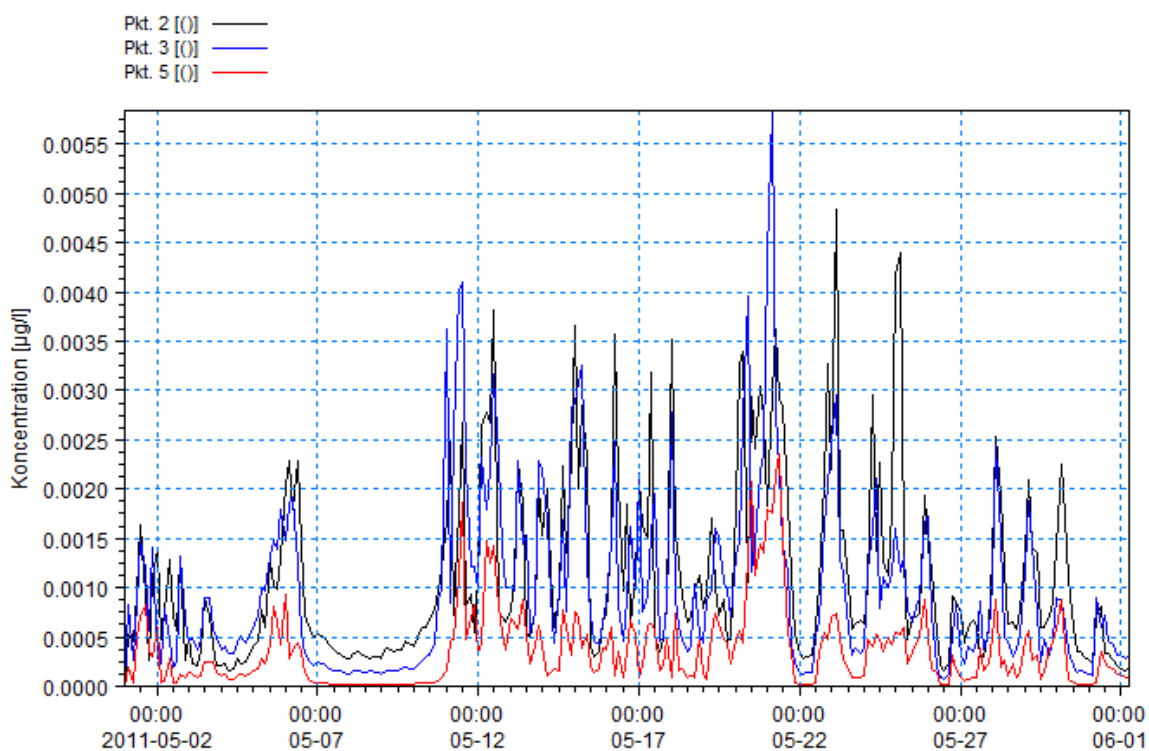
Figur 3-3: Maksimal dybdemidlet koncentration af vinylchlorid opnået i den simulerede periode, der repræsenterer rolige strøm- og vandstandsforhold. Grøn streg markerer ålegræsområder, cyan streg er stenrev. Udtrækspunkter for koncentrationstidsserier er ligeledes vist.

3.1.2 Tidsserier for vinylchloridkoncentrationer

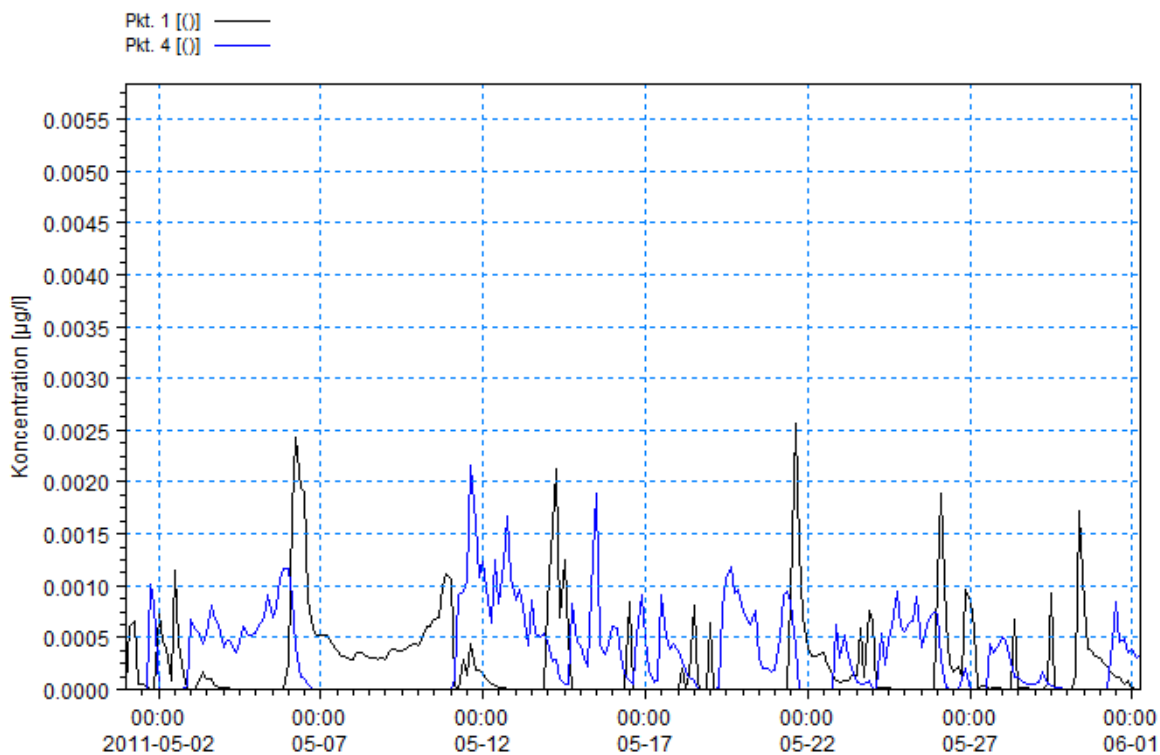
På figurerne i afsnit 3.1.1 er markeret 5 punkter, hvori tidsserier af vinylchloridkoncentration er trukket ud. Figur 3-4 viser forureningskoncentrationer i punkt 2, 3 og 5, der ligger indenfor indsatsområdet, mens Figur 3-5 viser forureningskoncentrationer i punkt 1 og 4, som ligger ved kysten hhv. nord og syd for indsatsområderne. Punkternes lokation og lokale vanddybde er angivet i Tabel 3-1.

Som forventeligt ses på Figur 3-4 at koncentrationen peaker i de samme tidsrum (når strømmen er i ro) og at peaks er større ved pkt. 2 og 3 som ligger i områder med lavere vanddybde (nærmest kysten), mens koncentrationen i pkt. 5 er signifikant lavere, hvilket skyldes, at det er dybdemidlede koncentrationer. Koncentrationerne udenfor indsatsområdet er vist på Figur 3-5, heraf fremgår det, at der generelt er en lavere koncentration her. Desuden ses det, at strømmen skiftevis er nord- og sydgående, idet koncentrationspeaksne er ude af fase med hinanden.

I perioden ca. d. 7/5 til 11/5 ses relativt lave koncentrationer for alle punkterne, hvilket skyldes at perioden er domineret af relativ kraftig og vedvarende strøm.



Figur 3-4: Tidsserier under rolige forhold for vinylchloridkoncentration i punkterne indenfor indsatsområderne (pkt. 2, 3 og 5, se f.eks. Figur 3-2).



Figur 3-5: Tidsserier under rolige forhold for vinylchloridkoncentration i punkterne nord og syd for indsatsområderne (pkt. 1 og 4, se f.eks. Figur 3-2).

3.2 Resultater for simuleret periode med høje strømhastigheder

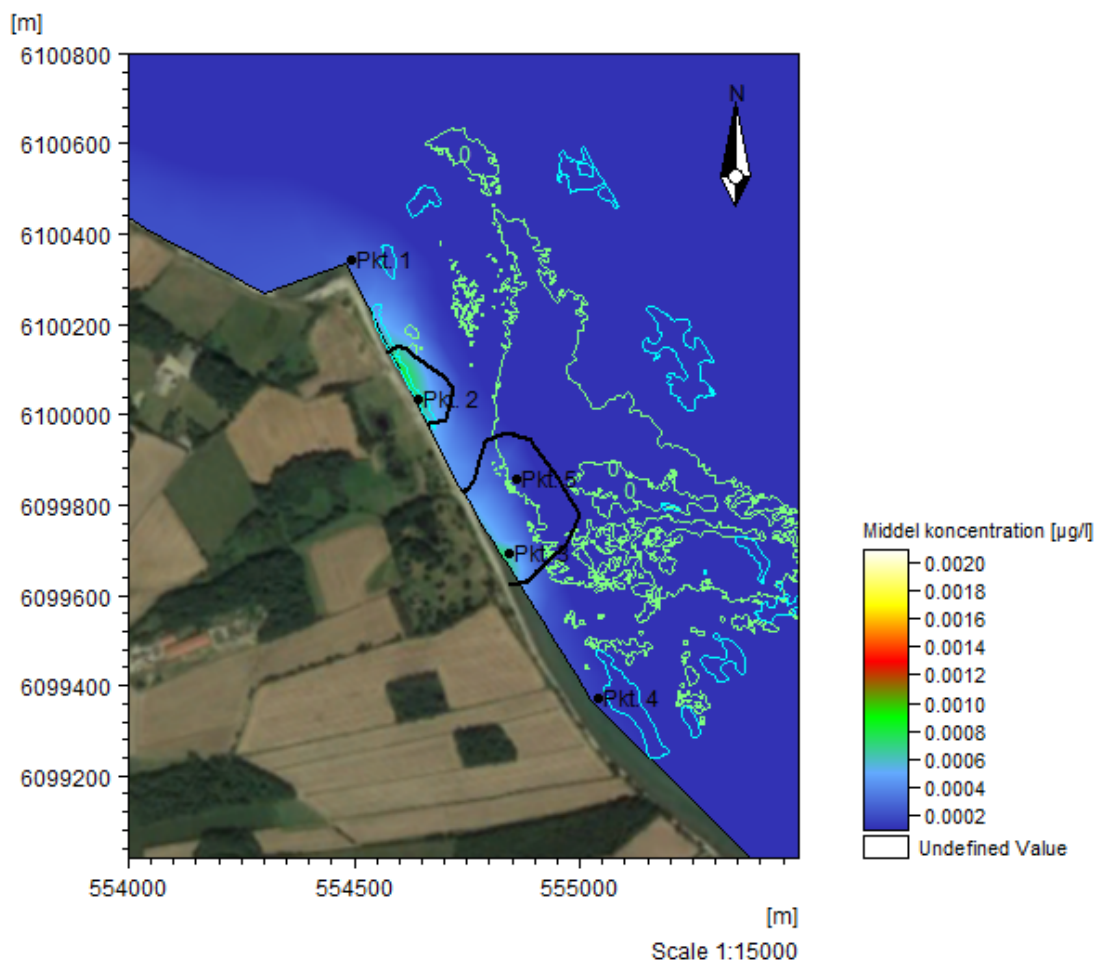
En periode med højere strømhastigheder er simuleret, idet der i sådan en periode typisk forekommer en lavere koncentration, men et større påvirket område, sammenlignet med rolige forhold.

Valg af simulerede perioder er beskrevet nærmere i (Rambøll, 2023).

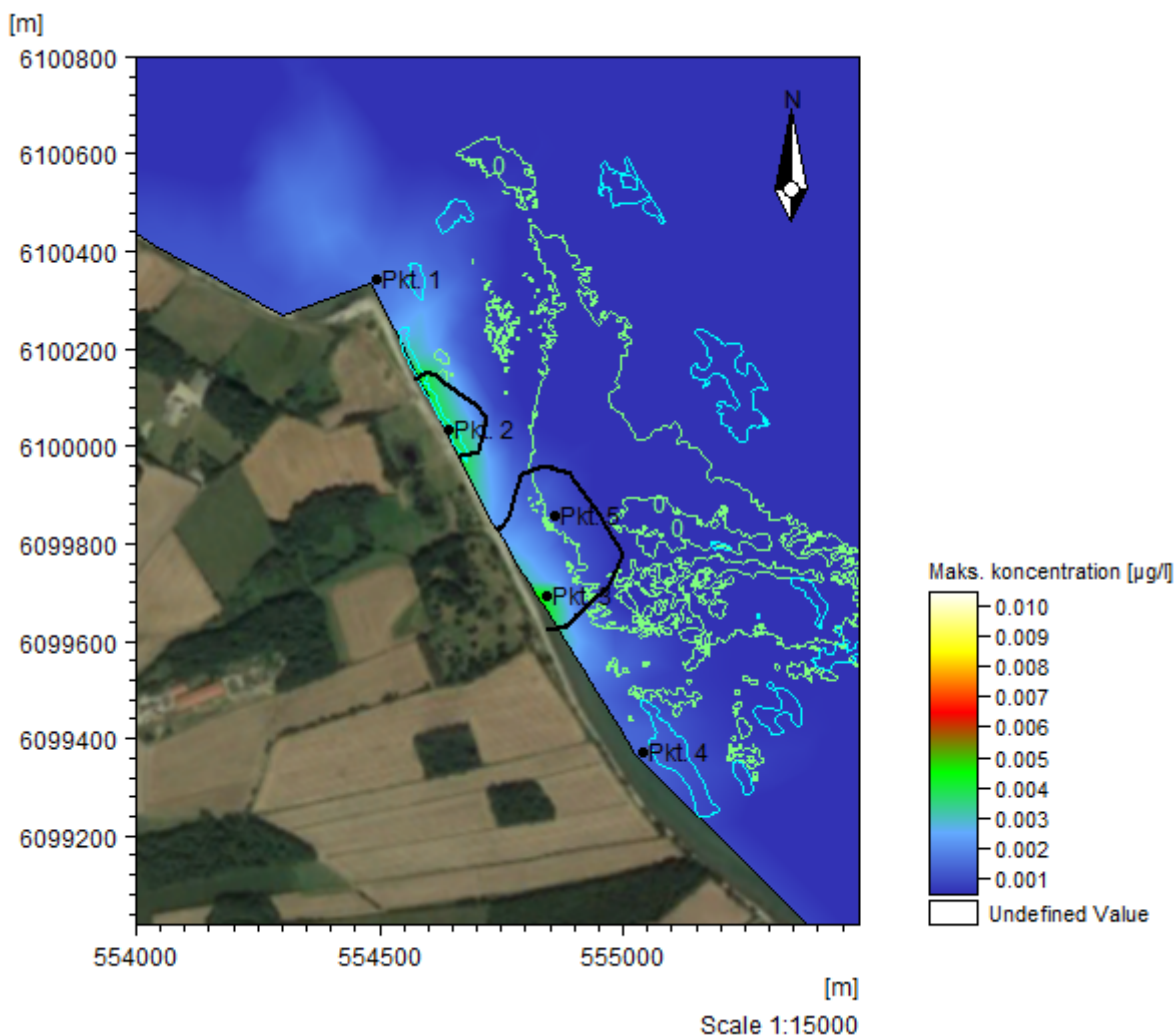
3.2.1 Maksimale og gennemsnitlige vinylchloridkoncentrationer

Figur 3-6 og Figur 3-7 viser hhv. middel- og maks. koncentrationer af vinylchloridkoncentrationen i projektområdet under en periode med høje strømhastigheder. Udtrækspunkter for tidsserier af koncentrationer er markeret med hver deres nummer (jf. Tabel 3-1).

Det fremgår, at der kystnært gennemsnitligt kan forekomme en dybdemidlet koncentration af vinylchlorid på op til ca. 0,001 $\mu\text{g/l}$ med peaks op mod 0,005 $\mu\text{g/l}$. Sammenholdt med resultaterne for rolige forhold ses som forventet lavere koncentrationer idet stoffet spredes til et større område.



Figur 3-6: Gennemsnitlig dybdemidlet koncentration af vinylchlorid simuleret for perioden med høje strømhastigheder. Grøn streg markerer ålegræsområder, cyan streg er stenrev. Udtrækspunkter for koncentrationstidsserier er ligeledes vist.



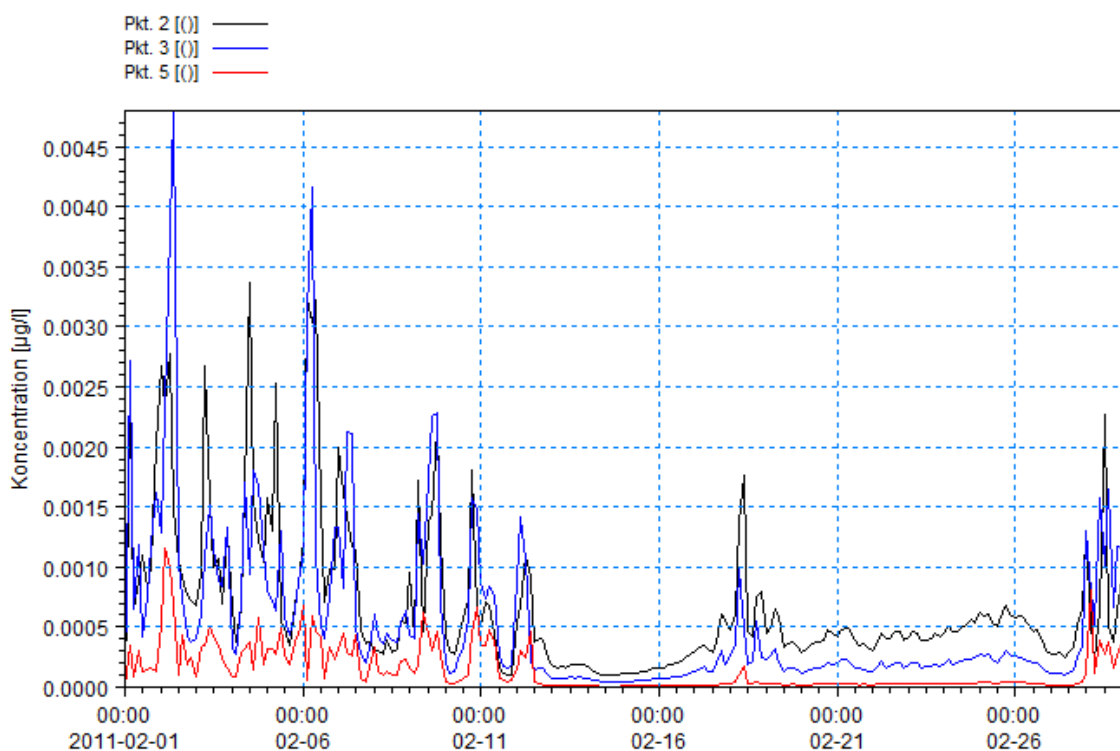
Figur 3-7: Maksimal dybdemidlet koncentration af vinylchlorid simuleret for perioden med høje strømhastigheder. Grøn streg markerer ålegræsområder, cyan streg er stenrev. Udtrækspunkter for koncentrationstidsserier er ligeledes vist.

3.2.2 Tidsserier for vinylchloridkoncentrationer

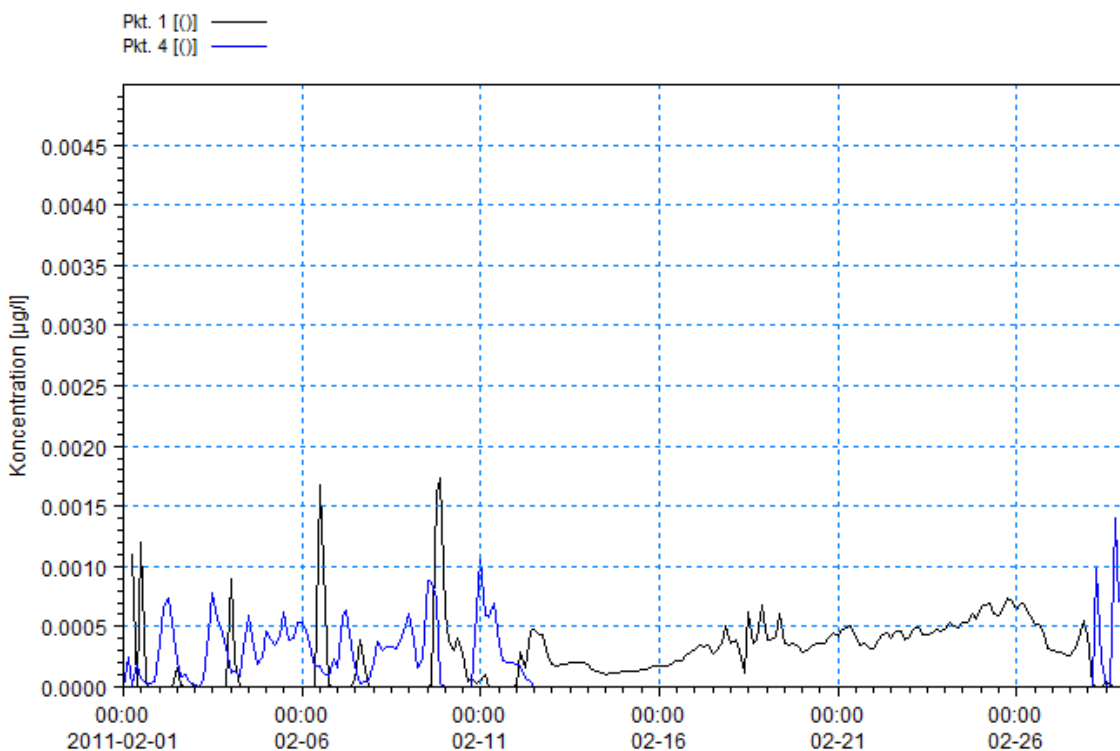
På figurerne i afsnit 3.2.1 er markeret 5 punkter, hvori tidsserier af vinylchloridkoncentration er trukket ud. Figur 3-8 viser forureningskoncentrationer for punkt 2, 3 og 5, der ligger indenfor indsatsområdet og derfor oplever størst forurening. Figur 3-9 viser forureningskoncentrationer for punkt 1 og 4, som ligger ved kysten hhv. nord og syd for indsatsområderne. Punkternes lokation og lokale vanddybde er angivet i Tabel 3-1.

De generelle tendenser er tilsvarende perioden med rolige forhold, men som forventet er de dybdemidlede koncentrationsniveauer lavere for denne periode med større vandstandsvariationer og strømhastigheder.

I perioderne ca. d. 13/2 til 18/2 og 19/2 til 28/2 ses relativt lave koncentrationer for alle punkterne uden kraftige peaks. Dette stemmer overens med at der i perioderne var relativt kraftig og vedvarende strøm.



Figur 3-8: Tidsserier for perioden med høje strømhastigheder for vinylchloridkoncentration i punkterne indenfor indsatsområderne (pkt. 2, 3 og 5, se f.eks. Figur 3-6).



Figur 3-9: Tidsserier for perioden med høje strømhastigheder for vinylchloridkoncentration i punkterne nord og syd for indsatsområderne (pkt. 1 og 4, se f.eks. Figur 3-6).

4 Diskussion af resultater

Modelberegningerne tager udgangspunkt i en række forudsætninger, og det er derfor vigtigt at understrege, at både de modellerede koncentrationsniveauer for vinylchlorid og udstrækningen af påvirkningsområderne alene er et udtryk for forventelige niveauer og tendenser og ikke et faktisk øvre niveau. Alle videre vurderinger skal derfor inkludere en vis robusthed ift. både koncentration og påvirket område.

De simulerede perioder er at betragte som repræsentative for årlige hhv. rolige forhold og årlige forhold med højere vandstandsvariationer og strømhastigheder. Perioderne er ikke udvalgt på baggrund af en statistisk analyse, og det er derfor sandsynligt, at der i en periode kan forekomme endnu mildere forhold og dermed en højere dybdemidlet koncentration af vinylchlorid.

Resultaterne er dybdemidlede hvorfor der kan forekomme f.eks. højere koncentrationer lokalt i vandsøjlen. Som en konsekvens heraf vil variation i vanddybden fra det simulerede have indflydelse på koncentrationsniveauet. I realiteten er det forurenede porevand mere fersk end havvandet og vil derfor teoretisk stige opad, men grundet det meget lille flow fra kilderne sker opblanding med havvandet formentlig momentant uden opstigning.

Som beskrevet i afsnit 2.2 kan der opstå lavvandssituationer, hvor en del af indsatsområdet tørlægges og det opsivende vand ikke frigives til havvandet momentant, men forsinket i form af enten tilstrømning over tørlagte områder eller ifm. øget vandstand. Disse situationer vil dog være kortvarige og forventes ikke at have stor indflydelse på det generelle billede af forureningens spredning i området.

5 Referencer

DHI. (2023). MIKE C-Map. <http://www.dhisoftware.com/Products/CoastAndSea/MIKECMAP.aspx>. Hentet fra MIKE C-Map.

Google. (2023). *Google Earth*.

Rambøll. (2023). *Oprensning af Forurening på Himmarn Strand - Bilagsrapport*.