



Frederikshavn OWF

Sedimentspild

FREDERIKSHAVN OWF APS

20. JANUAR 2021

Indhold

1	Indledning	4
2	Sammenfatning af undersøgelse	4
3	Metodebeskrivelse	5
4	Data	6
4.1	Installationsscenarier	6
4.2	Vanddybder	8
4.3	Sediment	9
4.4	Vind & lufttryk	11
4.5	Vandstand	12
5	Modelopsætning	13
5.1	Modelværktøj	13
5.2	Model domain	13
5.3	Beregningsperiode	14
5.4	Model verifikation	16
5.4.1	Sommer, maj 2017	16
5.4.2	Vinter, oktober 2017	17
6	Spildberegning	18
6.1	Sedimentkoncentration	18
6.1.1	Sommer	18
6.1.2	Vinter	21
6.2	Sedimentation	21
6.2.1	Sommer	22
6.2.2	Vinter	26

Appendix

Appendix 1 Partikelvandring – vinter

Appendix 2 Partikelvandring – sommer

Appendix 3 Sommer, varighed af 10 mm sedimentation

Appendix 4 Sommer, varighed af 30 mm sedimentation

Appendix 5 Sommer, varighed af 50 mm sedimentation

Appendix 6 Sommer, varighed af 10 mm sedimentation – ingen nedspuling ved rev

Appendix 7 Sommer, varighed af 30 mm sedimentation – ingen nedspuling ved rev

Appendix 8 Sommer , varighed af 50 mm sedimentation – ingen nedspuling ved rev

Appendix 9 Sommer, varighed af 10 mm sedimentation – nedgravning ved rev

Appendix 10 Sommer, varighed af 30 mm sedimentation – nedgravning ved rev

Appendix 11 Sommer , varighed af 50 mm sedimentation – nedgravning ved rev

Appendix 12 Vinter, varighed af 10 mm sedimentation

Appendix 13 Vinter, varighed af 30 mm sedimentation

Appendix 14 Vinter, varighed af 50 mm sedimentation



Projekt ID: 10407630
Ændret: 27-04-2021 16:09
Revision 03

Udarbejdet af TEB
Kontrolleret af SSC
Godkendt af RHO

1 Indledning

NIRAS er af European Energy A/S blevet hyret til at udføre supplerende sediment-spredningsberegninger for etableringen af Frederikshavn Offshore Windfarm for 5 gravitationsfundamenter, kablerne mellem møllerne samt ilandføringskablet.

Undersøgelsens formål er at beskrive koncentrationsniveauerne i vandfasen samt sedimentationstykkelser til brug for vurdering af eventuelle biologiske påvirkninger.

2 Sammenfatning af undersøgelse

Både de lokale og regionale forhold omkring Frederikshavn influerer på strømningforholdene i området for den planlagte offshore vindmøllepark, og dermed hvordan suspenderet sediment som følge af arbejdsaktiviteterne spredes og sedimenteres. Til at belyse dette er installationsprogrammet simuleret for både en sommer- og en vintersituation. Førstnævnte en periode med relative rolige strømforhold og sidstnævnte en periode med noget mere strøm. Altså henholdsvis en periode med relative lille sedimentspredning og en med mere sedimentspredning.

De betragtede spildrelateret aktiviteter er

- 1) Afretning af havbunden for installation af 5 gravitationsfundamenter. Deponeringen af materialet er ikke inkluderet.
- 2) Nedspuling af 2,9 km inter-array kabler mellem møllerne.
- 3) Installation af 4,6 km ilandføringskabel fra mølle 8 til ilandføringspunktet lige nord for Frederikshavn Havn.
 - a. Nedspuling på hele strækningen.
 - b. Som a., men overfladelagt fra 50 m før og efter stenrevet/boblerevet.
 - c. Som a., men nedgravet fra 50 m før og efter stenrevet/boblerevet.

For afretningen/afgravning af havbunden/kabelrende er der regnet med et spild på 5% og for nedspulingen af kabler et spild på 100% af de fineste sediment fraktioner dvs. fraktioner med en diameter mindre end 0,25 mm. Grovere fraktioner er vurderet til at bundfælde inden for arbejdsområdet dvs. +/- 25 m for fundamenterne og for kablerne inden for nogle få meter.

Herudover er der for sommersituationen suppleret med et installationsscenario, hvor ilandføringskablet overfladeliggendes eller nedgraves på strækningen, hvor kablet passerer hhv. et stenrev og et boblerevet.

Generelt er varigheden med suspenderet sediment koncentrationer over 10 mg/l kortere end 12 timer. Som forventet er der større spredning i vintersituationen, men til gengæld er fanerne smallere.

Om sommeren sedimenterer det suspenderet materiale sig i et bånd med en bredde på ca. 30 m, der snor sig langs kablet i en afstand af maksimum +/- 100 m, mens materialet i mølleområdet sedimenterer inden for 50 m og for inter-array kablet ligeledes i et bånd på ca. 30 m. Gennemsnitssedimentationen ligger på 2-10 mm med nogle få områder på 10-20 mm og enkelte på 20-50 mm.

For vinteren er der en tendens til færre områder med sedimenttykkelser på mellem 20 og 50 mm. Betydende sedimentationstykkelser dvs. mere end 5 mm, forekommer indenfor for ca. 100 m fra ilandføringskablet og ca. 50 m fra møllepositionerne og inter-array kablet. Der kan altså forventes et bånd med en bredde på ca. 50 m med en sedimentationstykkelse på mellem 5 og 20 mm langs ilandføringskablet og den linje, møllerne er placeret langs. Den aktuelle placering vil afhænge af det aktuelle vejr under installationen.

Ved at overfladeligge kablet fra ca. 50 m før til 50 m efter passagen af de to rev lang ilandføringskablet, vil en forøgelse af sedimentkoncentrationen og sedimentationen, grundet nedspulingen af kablet, stort set kunne undgås. Beregningen viser, at der ingen påvirkning vil være, men som tidligere nævnt vil det aktuelle strømningsmønster under installation i en vis grad kunne afvige fra dette. Det vurderes, at i en situation hvor strømmen skulle være parallel med kablet, vil kun den del af stenrevet, der ligger tættere på end 100 m af kunne påvirkes med 2-5 mm sediment.

3 Metodebeskrivelse

De relativt åbne forhold, der gør sig gældende for farvandet omkring Frederikshavn, gør, at der ikke blot opstilles en model for lokal området. Af denne årsag er der først opstillet en model af Nordsøen, Kattegat, de indre danske farvande og Østersøen til at give randbetingelser for en høj opløselig model af nærområdet. Som model til bestemmelse af de hydrauliske forhold er der benyttet MIKE21 HDFM og til sedimentspredning MIKE21 PA (DHI, u.d.).

Sidst nævnte model er benyttet til beregning af spredning af spild fra det opgravede materiale i forbindelse med forberedelse af havbunden for installation af vindmøllefundamenterne og nedspuling af kablerne mellem møllerne og kablet til land.

Randdata, opsætning af model og valg af beregningsperioder er beskrevet i hhv. afsnit 4 og 5.

4 Data

4.1 Installationsscenerier

De installationsarbejder, der involverer afgravning eller nedspuling, er

- Afgravning til gravitationsfundamenterne,
- Nedspuling af kablerne mellem møllerne og
- Nedspuling af kablet der forbinder møllerne med land.

For det endelige projekt er der fire projektforslag (projekt 1a, projekt 1b, projekt 1c samt projekt 2). For at gøre nærværende undersøgelse så dækkende som mulig, er det valgt at betragte det scenarie, der potentielt vil give anledning til den største frigivelse af sediment til vandsøjlen. Af Tabel 4.1 fremgår det, at scenarie 1a, er det scenarie, der vil kræve de største jordarbejder og dermed potentielt det største spild.

Tabel 4.1: Mulige mølle scenarier og tilhørende gravitationsfundamentsdimension samt længde på kabler med angivelse af brutto sedimentspild.

«Bottom diameter, base» øget med 2 x 5 m for kompensation af udgravning og erosionsbeskyttelse.

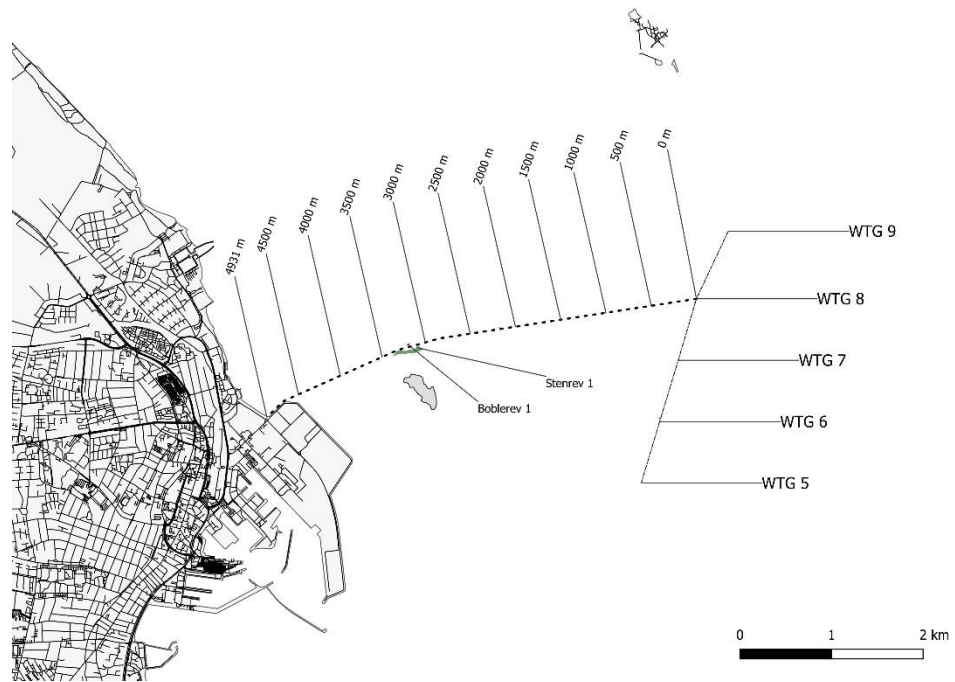
“Spill, gross cables” er for en kabelrende med en dybde på 1 m og en bredde på 0,5 m.

Item	Unit	Gravity			
		1a	1b	1c	2
European ID	-				
Description	-	Mølle nr. 8 og 9: 12 MW Mølle nr. 5, 6 og 7: 16 MW	Mølle nr. 8 og 9: 12 MW Mølle nr. 5 og 7: 16 MW	Mølle nr. 9: 12 MW Mølle nr. 5 og 7: 16 MW	Mølle nr. 5, 6, 7, 8 og 9: 5,6 MW
Capacity, total	MW	72	56	44	28
Capacity	MW/Unit	12	12	12	5,6
No.	#	2	2	1	5
Bottom diameter, base	m	40	40	40	30
Dredging depth	m	2	2	2	2
Vol. to be removed	m ³ /pos.	3927	3927	3927	2513
Capacity	MW/Unit	16	16	16	-
No.	#	3	2	2	-
Bottom diameter, base	m	50	50	50	-
Dredging/drilling depth	m	2	2	2	-
Vol. to be removed	m ³ /pos.	5655	5655	5655	-
No. to dredged	#	5	4	3	5
Total vol. foundation	m ³	24819	19164	15237	12566
Spill, gross foundation, 5%	m ³	1241	958	762	628
Length export cable	m	4639	4639	4639	4639
Length infield cable	m	2915	2915	2915	2915
Spill, gross cables, 100%	m ³	3777	3777	3777	3777
Spill, gross	m ³	5018	4735	4539	4405

På trods af, at antallet af møller varierer, er den samlede længde af kablerne mellem møllerne konstant, og på trods af, at mølle 8 ikke indgår i alle konfigurationerne, er dette også gældende for kablet til land.

Placeringen af møllerne, deres indbyrdes forbindelse samt ilandføringskablet er vist på Figur 4.1 sammen med det nærliggende stenrev og boblerev.

Figur 4.1: Park layout og kabelføring samt markering af hhv. nærvedliggende stenrev og boblerev.



Da det ikke er fastlagt på hvilken tid af året projektet skal installeres, er det valgt at betragte både en sommer- og en vintersituation for at belyse påvirkningen under forskellige vejrforhold. Dog er der i installationsprogrammet ikke indlagt eventuelle forsinkelser grundet dårligt vejr, da fartøjernes vejrligskriterierne ikke er kendt. Desuden er det vurderet, at en kortere installationsperiode er mere kritisk mht. forhøjet sedimentkoncentrationer i vandfasen og ligeledes med hensyn til den maksimale sedimentation, Figur 4.2.

Figur 4.2: Antaget installationsprogram eksklusive vejrlig.

Brun: Aktivitet med frigivelse af sediment til vandfasen

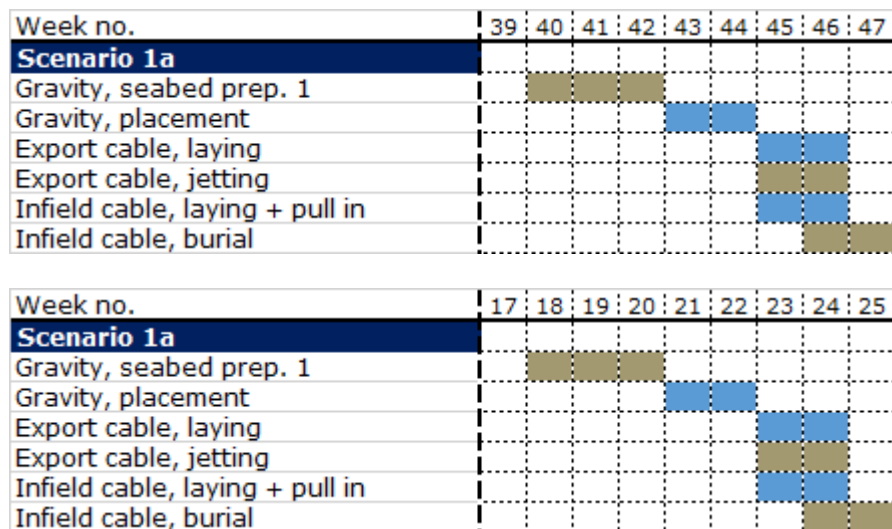
Afgravningskapacitet: 150m³/time

Kabeloverfladelægning: 300 m/time

Kabelnedspuling: 150 m/time

Kabelnedgravning: 50 m/time

Kabelrende tilbagefyldning: 50m/time



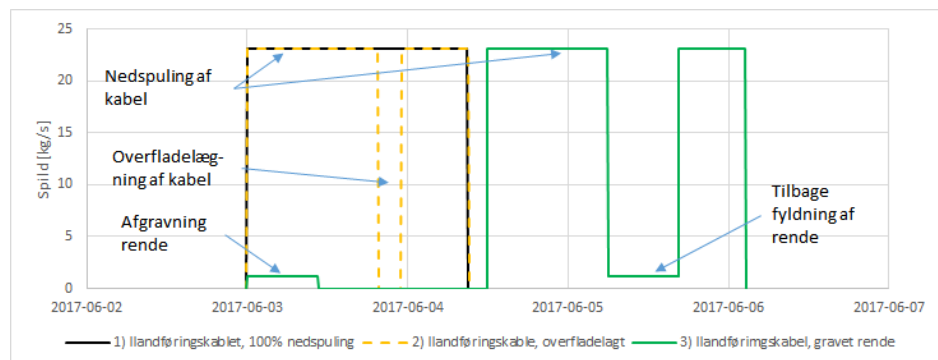
Installationen af ilandføringskablet er undersøgt for 3 installationsmetoder for vurdering af påvirkningen ved de to rev:

- 1) Nedspuling hele vejen fra land til mølle nr. 8.
- 2) Som 1), men overfladelagt fra 50 m før til 50 m efter stenrevet/boblerevet.
- 3) Som 1), men nedgravet fra 50 m før til 50 m efter stenrevet/boblerevet.

1) og 2) er udført inden for den samme tidsramme, mens 3) er udført ved at renden først er gravet, hvorefter kablet er overfladelagt på hele strækningen og derefter nedspulet og renden tilbagefyldt.

Spildet fra installationen af ilandføringskablet kommer af den grund til tidsmæssigt at forløbe anderledes for 3) end for 1) og 2) som illustreret i Figur 4.3. Spild fra nedspuling er sat til at forgå 1 m over bunden. Spild fra uddybning og tilbagefyldning af kabelrende er sat til at forgå 4 m over bunden, mens spildet fra afretning af bund til fundamenterne er sat på ved havoverfladen.

Figur 4.3: Kildestyrke for spild ved installation af ilandføringskablet.



4.2 Vanddybder

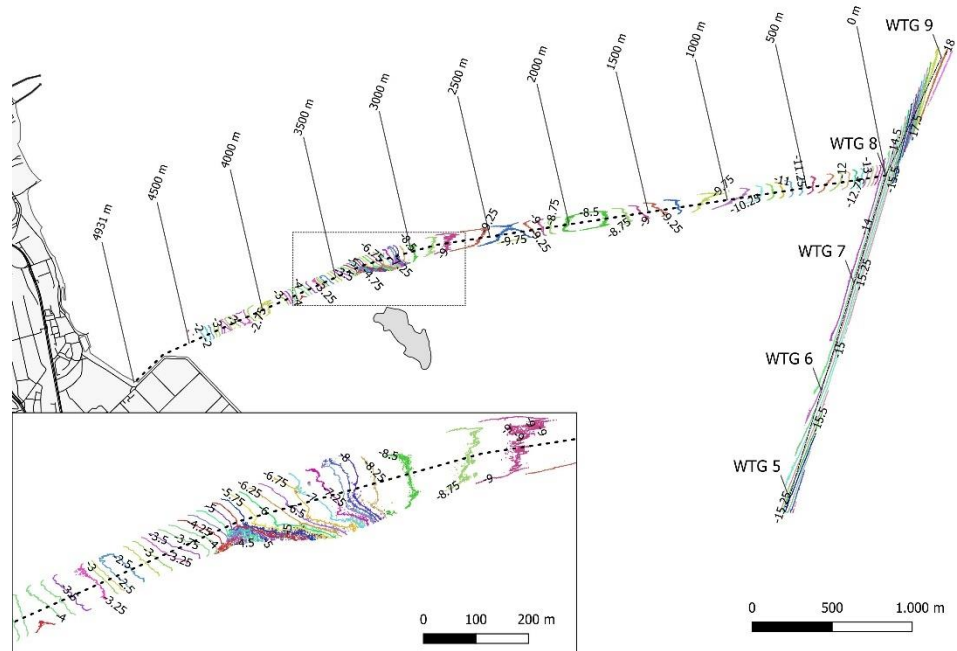
Bathymetrien i den opstillede model er tilpasset de lokale forhold i projektområdet. Til fastlæggelse af dybder og kystlinje er der anvendt følgende data:

- Opmåling af hhv. kablekorridor, møllepositioner og linjeføring for inter-array kabler, Figur 4.4.
- AIS data fra Miljøministeriet
- Søkort nr. 100 Kattegat fra Kort- og Matrikelstyrelsen
- Dybde data fra Farvandsvæsenets opmåling
- Kystlinje "OpenStreetMap"

For projektområdet gælder det, at vanddybden er stigende fra ilandføringspunktet til mølle 8, hvor kablet slutes til møllerne – gående fra ca. -2m lige nord for havnen til omkring -7 ved revet (markeret med en sort firkant på Figur 4.4). De næste 1500 m falder havbunden yderligere til knap -10 m for derefter de næste 500

m at stige til ca. -8,5 m. De sidste cirka 1700 m hen til WTG8 falder havbunden til ca. -14.5 m. Møllerne er placeret på en skrænt med et anlæg på ca. 1:70.

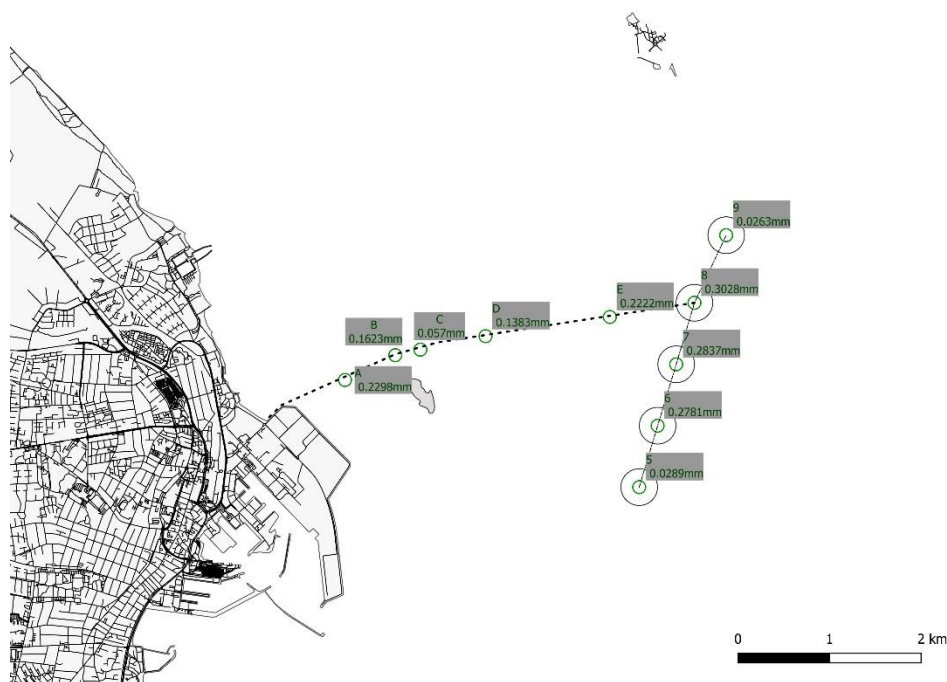
Figur 4.4: Opmålte dybder (DVR90) i projektområdet.



4.3 Sediment

I forbindelse med indsamlingen af supplerende materiale er der i august 2020 indsamlede nye sedimentprøver til analyse for kornstørrelsesfordelingen på en række udvalgt positionerne langs ilandføringskablet og på møllepositionerne, Figur 4.5.

Figur 4.5: Sedimentprøvepositioner august 2020 med angivelse af Prøve ID og middelnørrelse.



Koordinater på prøverne, middelnørrelse og en beskrivelse af den dominerende sedimenttype fremgår af Tabel 4.2. Af de 10 prøver er de 7 karakteriseret som sand, og de sidste tre som silt/ler.

Tabel 4.2: Oversigt af sedimentprøver august 2020.

Koordinater i UTM32N WGS84

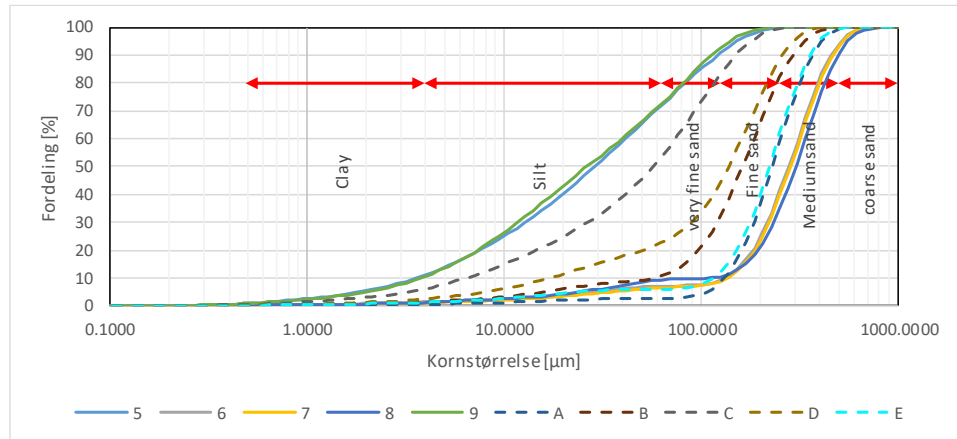
ID	X	Y	d50 [mm]	Dominerende sediment
5	597172	6367687	0.0289	Silt/ler
6	597373	6368357	0.2781	Sand
7	597576	6369027	0.2837	Sand
8	597775	6369698	0.3028	Sand
9	598122	6370435	0.0264	Silt/ler
A	593959	6368856	0.2298	Sand
B	594508	6369126	0.1623	Sand
C	594782	6369187	0.0570	Silt/ler
D	595494	6369334	0.1383	Sand
E	596851	6369543	0.2222	Sand

En mere detaljeret beskrivelse af kørnørrelsesfordelingen fremgår af Figur 4.6. Mølleposition 5 og 9, som er domineret af Silt, følger stort set samme fordeling. Tilsvarende er tilfældet for pos. 6, 7 og 8 dog med den forskel at sedimentet her domineres af Fint Sand. Variationen er større langs ilandføringskablet startende med Medium Sand ved pos. A til Fint Sand ved pos. B og herfra til Silt ved pos. C for igen at bliver grovere ud i mod møllerne; Fint Sand på pos. D og Medium Sand ved pos. E.

Figur 4.6: Akkumuleret kornstørrelsesfordeling.

Fuldtrukken linje: møllepositioner

Stiplet linje: positioner langs ilandføringskablet



Til brug for modelleringen er hver sedimentprøve opdelt i 5 fraktioner, hvor den groveste fraktion har en faldhastighed på 1,5 cm/s svarende til at når materiale slippes en meter over bunden vil de bundfælde i løbet af 66 sekundær. Med en baggrundsstrøm på 0,1 m/s vil det altså kunne transporteres ca. 6 meter. For fundamentene placeret på ca. 15 m vand er det tilsvarende tal ca. 100 m. De valgte fraktioner med faldhastighed og kriterier for deponering og erosion er vist i Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Modelleret sedimentfraktioner med tilhørende modelparameter (DHI/IOW Consortium, 2013).

Fraktion	sand	meget fint sand/groft silt	medium silt	fint silt	meget fint silt/ler
d [mm] fra	0.250	0.094	0.032	0.016	0.008
d [mm] til	0.094	0.032	0.016	0.008	0.000
Ws [mm/s]	15.00	2.92	0.56	0.07	0.03
Kritisk forskydende bundspænding, deponering [N/m ²]	0.36	0.30	0.07	0.06	0.05
Kritisk forskydende bundspænding, erosion [N/m ²]	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

4.4 Vind & lufttryk

Det European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF, har på timebasis re-analyseret den globale atmosfære og overflade parameter fra 1 januar 1979 til dagsdato i 60 niveauer og horisontal udbredelse på 0,25x0,25 grader. Til brug for nærende undersøgelse er der udtrukket vinden 10 m over niveau. Vinden er givet som en øjebliksvind midlet over arealet af 0,25x0,25 grader, hvilket erfaringsmæssigt svarer til en 10 minutter middelvind.

Data er til rådighed på formen:

- Vindhastighed, øst [m/s]

- Vindhastighed, nord [m/s]
- Tryk [Pa]

4.5 Vandstand

Modellen opererer med 3 åbne rande; en i den engelske kanal og to i den nordlige del af Nordsøen. Alle rande er defineret som vandstandsrande, hvor vandstanden langs randen er generet med et værktøj i MIKE (DHI, u.d.), som ud fra tidevandskoefficienterne kan bestemme vandstanden i et vilkårligt punkt.

5 Modelopsætning

5.1 Modelværktøj

Der er anvendt to typer af model:

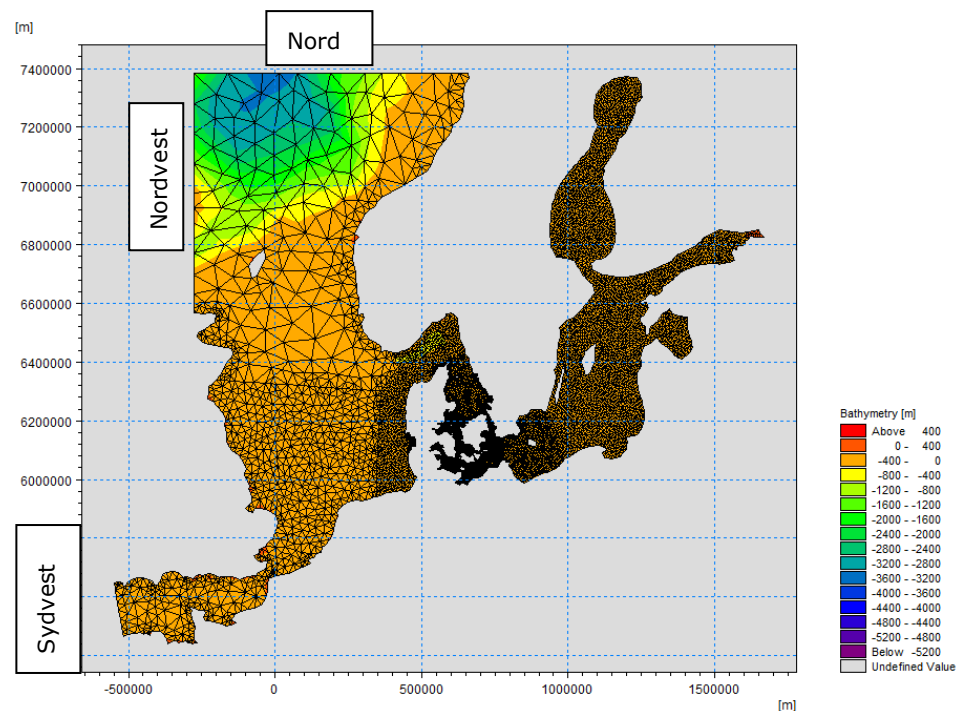
- 1) En hydraulisk model, MIKE21 HD & SW FM (DHI, u.d.), der ud fra input omkring vandstand og salt på de åbne rande og intern mht. vind og lufttryk kan beregne vandstand, strøm og bølger i modelområdet.
- 2) En sedimenttransportmodel, MIKE 21 PA (DHI, u.d.), som bruger strømbilledet fra ovennævnte hydrauliske model til at transportere sedimentet i kombination med de sedimentkarakteristiske parameter i form af faldhastighed, resuspension (kritiskbundforskydningspænding) og flokkuleringsparameter.

5.2 Model domain

Modellen er af hensyn til beregningstiden opdelt i to. En regional model dækkende Nordsøen, Kattegat, de indre Danske farvande og Østersøen, Figur 5.1, hvorfra vandstand og strøm er udtrukket på randene til den lokale model, Figur 5.2.

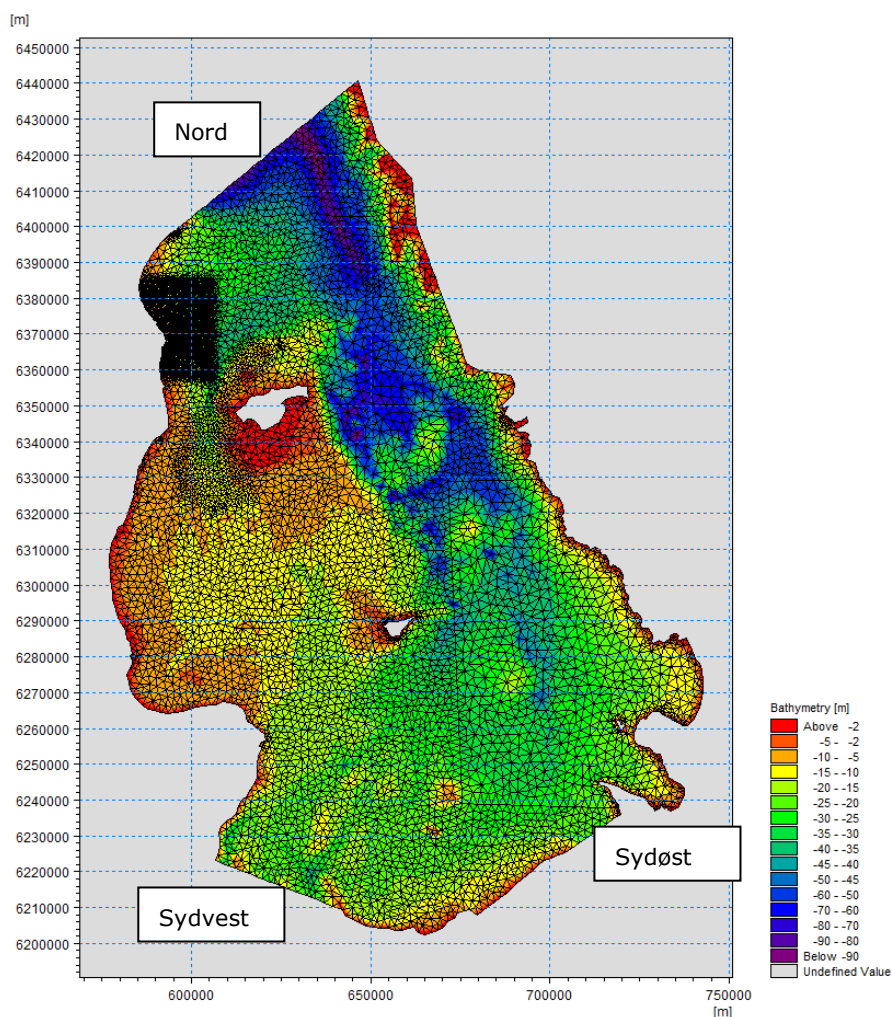
Vandstand og strøm er i den regionale model drevet af det astronomiske tidevand på de tre åbne rande og internt af vinden over modelområdet.

Figur 5.1: Regional model med dybder og beregningsnet med markering af de tre åbne rande mod Atlanterhavet.



Som nævnt ovenfor er den lokale model på randene drevet af input fra den regionale model og internt af vindfelter fra ECMWF (ECMWF, Climate Data Store, n.d.) på samme måde som den regionale model.

Figur 5.2: Lokal model med dybder og beregningsnet med markering af de tre rande mod den regionale model.



5.3 Beregningsperiode

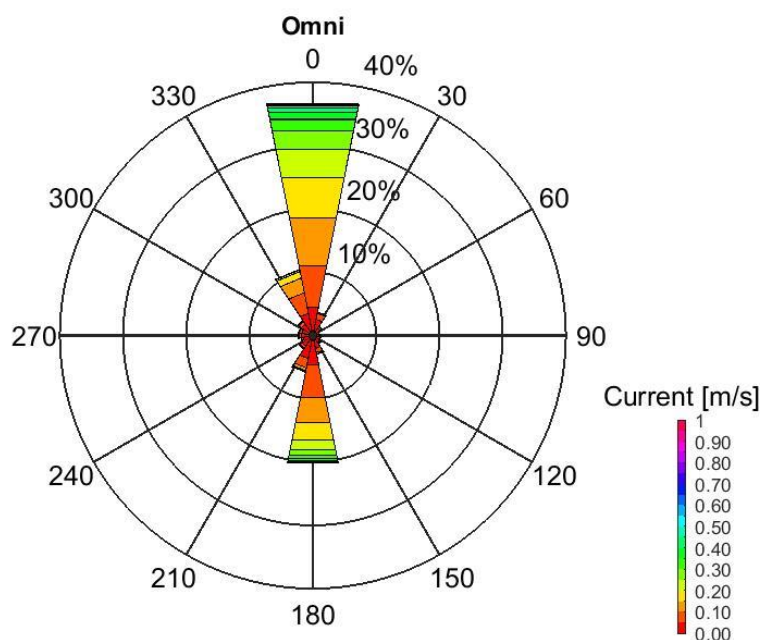
Spredningen af sediment er primært styret af strømmen, dvs. hastighed og retning som er afgørende for koncentrationen og sedimentationen. Høj strømhastighed giver en større spredning og lavere koncentration samt tilsvarende sedimentationstykkelser, hvor det modsatte vil være tilfældet med lav strømhastighed. Ligeledes vil hyppige skift i strømrretningen have betydning for både koncentration og sedimentationstykkelser. Som allerede nævnt undersøges spredningen for en sommer og vinterperiode for at vurdere spredningen i forholdsvis stille periode (sommer) og en periode med kraftigere strøm (vinter).

Umiddelbart er strømmen koncentreret til at være hovedsageligt nordgående eller sydgående og afviger kun i mindre grad fra disse to hovedretninger, Tabel 5.1 og Figur 5.3.

Table 5.1: Position 8, fordeling af dybdemidlet strømhastighed vs. strømretning i middel for årene 2008 til 2018.

Dir [Degree]/Current [m/s]	[0.00;0.10]	[0.10;0.20]	[0.20;0.30]	[0.30;0.40]	[0.40;0.50]	[0.50;0.60]	[0.60;0.70]	[0.70;0.80]	[0.80;0.90]	Sum
11.25+/-11.25	4.07	6.7	2.09	0.2	0.03	0.02	0	0.01	0	13.12
33.75+/-11.25	1.72	0.37	0	0	0	0	0	0	0	2.1
56.25+/-11.25	0.97	0.21	0.01	0	0	0	0	0	0	1.18
78.75+/-11.25	0.69	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0.72
101.25+/-11.25	0.76	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.85
123.75+/-11.25	0.96	0.17	0	0	0	0	0	0	0	1.13
146.25+/-11.25	1.44	0.44	0.02	0	0	0	0	0	0	1.9
168.75+/-11.25	3.48	4.3	1.75	0.67	0.27	0.09	0.03	0	0	10.59
191.25+/-11.25	5.06	7	2.9	0.79	0.15	0.03	0.01	0	0	15.94
213.75+/-11.25	2.93	0.95	0.06	0	0	0	0	0	0	3.94
236.25+/-11.25	1.71	0.41	0.01	0	0	0	0	0	0	2.13
258.75+/-11.25	2.01	0.39	0.01	0	0	0	0	0	0	2.41
281.25+/-11.25	2.03	0.41	0.01	0	0	0	0	0	0	2.45
303.75+/-11.25	1.97	0.5	0.02	0	0	0	0	0	0	2.49
326.25+/-11.25	2.68	1.83	0.11	0	0	0	0	0	0	4.62
348.75+/-11.25	4.2	12.99	10.21	4.61	1.74	0.52	0.12	0.02	0.01	34.42
Omni	36.67	36.79	17.22	6.28	2.19	0.65	0.17	0.02	0.01	0

Figur 5.3: Position 8, Strømrose middel for årene 2008-2018.



Som et alternativ til strømningrosen kan transportmønstreet vurderes ud fra vandringsen af partikel frigivet på samme position som den vist strømrose. Dette er gjort ved at frigive en sky af partikler med en levetid på 24 timer, hver gang strømningshastigheden er over 0,1 m/s. Resultatet fremgår af Appendix 1 og Appendix 2 og viser vandringsen for månederne maj og oktober for årene 2009 til

2018. Dette resulterer i et mere nuanceret billede. Den overordnede vandring er rigtig nok orienteret nord/syd, men herudover er der også en ikke ubetydelig transport mod hhv. nordøst og sydøst.

Den årlige variation er minimal og vurderes at være uden betydning for nærværende studie. I det følgende er det valgt at bruge hhv. maj og oktober 2017 til vurdering af spredningen af sediment for de planlagte installationsaktiviteter, der involverer jordarbejder.

5.4 Model verifikation

To perioder betragtes i spildberegningerne. De valgte perioder er som tidligere nævnt hhv. maj/juni og oktober/november 2017, hvorfor det til verifikation af den hydrauliske model er valgt at fokusere på netop disse to perioder.

Begge perioder er verificeret ved en sammenligning af den observeret og simuleret vandstand i Frederikshavn Havn.

I Frederikshavn Havn er der placeret to vandstandsmålere; hhv. en radar og en trykmåler, ved kajen i det yderste bassin modsat indsejlingen til havnen.

5.4.1 Sommer, maj 2017

Observeret og modelleret vandstand er vist i Figur 5.4, hvor modellen generelt fanger både de daglige tidevandsbevægelserne og de mere overordnede bevægelser givet af de regionale vejrforhold.

Sammenholdes data for den primære måler med den modelleret vandstand er der en bias på 0,00 m og en korrelationskoefficient på 0,86. Begge hvad der betragtes som værende acceptabelt til god overensstemmelse.

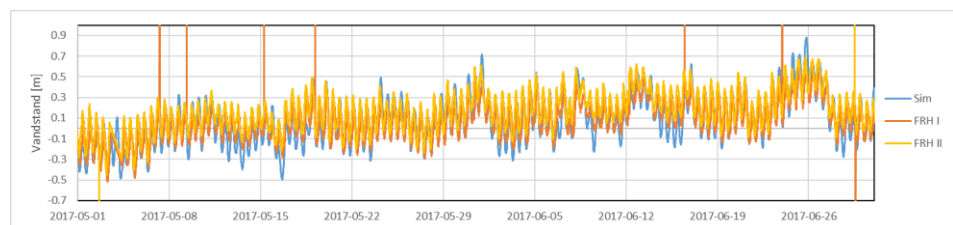
Bias udtrykker forskellen i middelvandstanden, mens korrelationskoefficienter udtrykker hvor god overensstemmelse der er mellem de enkelte værdier dvs. observeret versus målt, hvor 1 er 100% overensstemmelse, mens 0 er ingen overensstemmelse.

Figur 5.4: Frederikshavn Havn, observeret vs. modelleret vandstand maj 2017.

Orange: Frederikshavn måler II

Gul: Frederikshavn måler I

Blå: Modelleret



5.4.2 Vinter, oktober 2017

Observeret og modelleret vandstand er vist i Figur 5.5, hvor modellen generelt fanger både de daglige tidevandsbevægelserne og de mere overordnet bevægelser givet af de regionale vejrforhold.

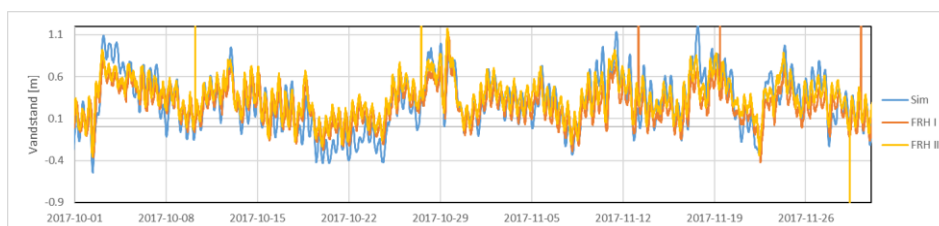
Sammenholdes data for den primære måler med den modelleret vandstand er der en bias på 0,03 m og en korrelationskoefficient på 0,87. Begge hvad der betragtes som værende acceptabelt til god overensstemmelse.

Figur 5.5: : Frederikshavn Havn, observeret vs. modelleret vandstand oktober 2017.

Orange: Frederikshavn måler II

Gul: Frederikshavn måler I

Blå: Modelleret



6 Spildberegning

Installationsarbejderne dækker to typer af aktivitet med et sedimentspild vurderet til

- 1) 5% spild i vandsøjlen under opgravning til fundamenter påsat modellen ved vandoverfladen. Den anvendte spildprocent er vurderet til at være en rimelig antagelse, da denne værdi for graveaktiviteterne ved hhv. etableringen af Storebæltsbroen og Øresundsbroen blev dokumenteret til at kunne overholdes (Gray, 2006) og
- 2) 100% spild ved nedspuling af kabler forstået således, at de fine fraktioner bringes i suspension 1 m over havbunden, mens de grovere fraktioner antages at sedimentere inden for bredden af nedspulingsområdet (kabelrenden).

Resultatet er præsenteret som følger:

- Varighed i timer for suspenderet sediment koncentrationer over 10 mg/l
- 24 timer og 1 uges maksimum sedimentation i mm
- Varighed af 10 mm sedimentation
- Varighed af 30 mm sedimentation
- Varighed af 50 mm sedimentation

Sedimentkoncentrationer og sedimentdeposition er bestemt for en sommer- og vintersituation, med afretning af bunden til gravitationsfundamenterne samt nedspuling af hhv. array-kabler og ilandføringskablet. Herudover er der suppleret med beregninger for samme sommerperiode, hvor ilandføringskablet enten er overfladelagt eller nedgravet i en kabelrende mellem kilometer punkt (KP) 3,0 og 3,5. Disse beregninger er udført for at vise muligheder for at minimere mængden af sedimentspild omkring Stenrev 1 og Boblerev 1.

6.1 Sedimentkoncentration

Sedimentkoncentrationen er præsenteret som det samlede antal timer med en koncentration over 10 mg/l. Timerne er summeret og angiver ikke nødvendigvis en sammenhængende periode. F.eks. vil arbejderne omkring fundamenterne omfatte både afgravning og efterfølgende nedspuling af kabler.

6.1.1 Sommer

For sommer-situationen er der betragtet 3 cases

- 1) En case hvor hele ilandføringskablet bliver nedspulet.
- 2) En case hvor ilandføringskablet ikke nedspules mellem KP 3,0 og 3,5.
- 3) En case hvor ilandføringskablet er nedgravet mellem KP 3,0 og 3,5.

2) er udført for at vurdere hvorvidt det er muligt at reducere mængden af sediment i området omkring stenrevet og boblerevet og 3) for vurdering af påvirkningen ved at nedgrave kablet i samme område.

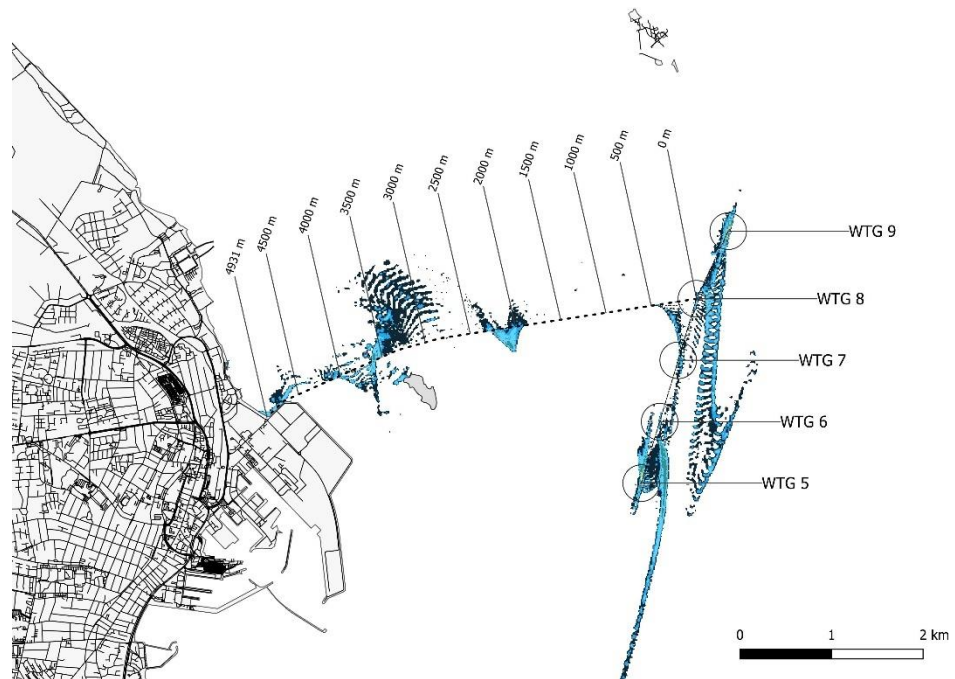
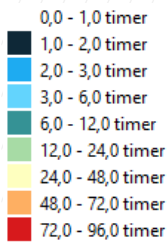
Kombinationen af tidevandsstrøm og de relative små spilmængder gør, at det spildte materiale transporteres i en nord- eller sydgående retning væk fra arbejdsområdet resulterende i, at koncentrationer på 10 mg/l og derover kun optræder

kortvarigt dvs. i mindre end 6 timer, Figur 6.1. Udbredelsen er begrænset til en afstand mindre end 1 km vinkelret på ilandføringskablet og ved fundamenterne til omkring 2 km. Kun meget tæt på møllerne vil koncentrationer over 10 mg/l kunne forekomme i længere tid; maksimalt 48 timer i en afstand af 50 m og på møllepositionen i maksimalt 96 timer.

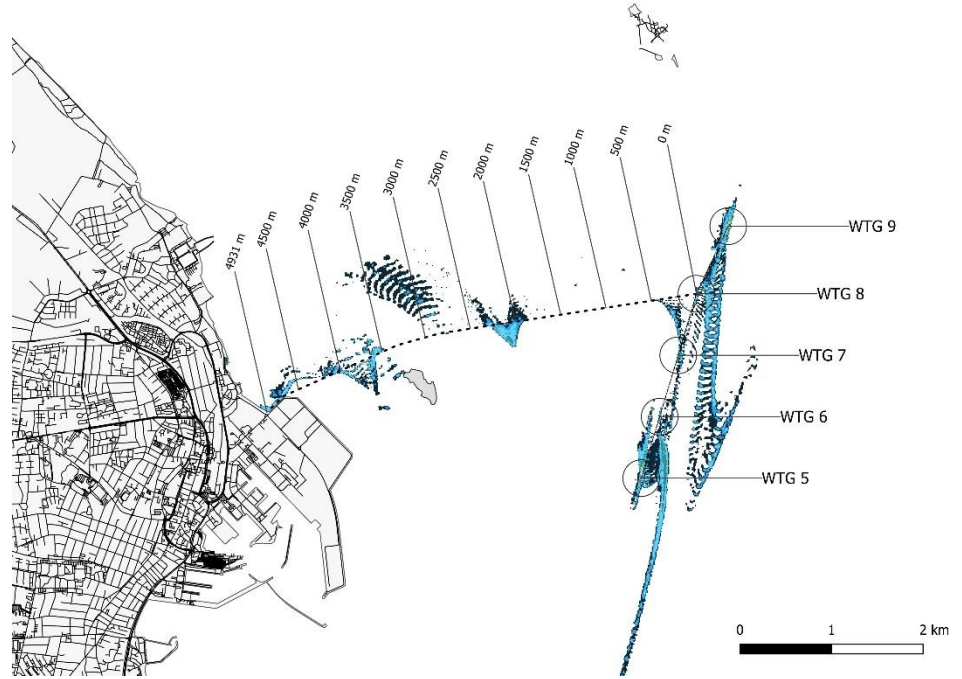
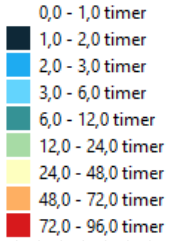
Koncentrationer afspejler tydeligt, at de grovere materialer ved WTG 6, 7 og 8 bundfælder noget hurtigere end de finere ved WTG 5 og 9. Samme billedet gør sig gældende langs kablet, hvor det fine materiale ved KP 3,5 giver anledning til en større fane.

Ved at overfladeligge kablet mellem KP 3,0 og 3,5 kan sedimentkoncentrationen i dette område nær kablet og dermed over de to rev bringes under 10 mg/l, Figur 6.2. Nedgraves kablet derimod vil koncentrationer på 10 mg/l kunne forekomme i 3 til 6 timer, Figur 6.3.

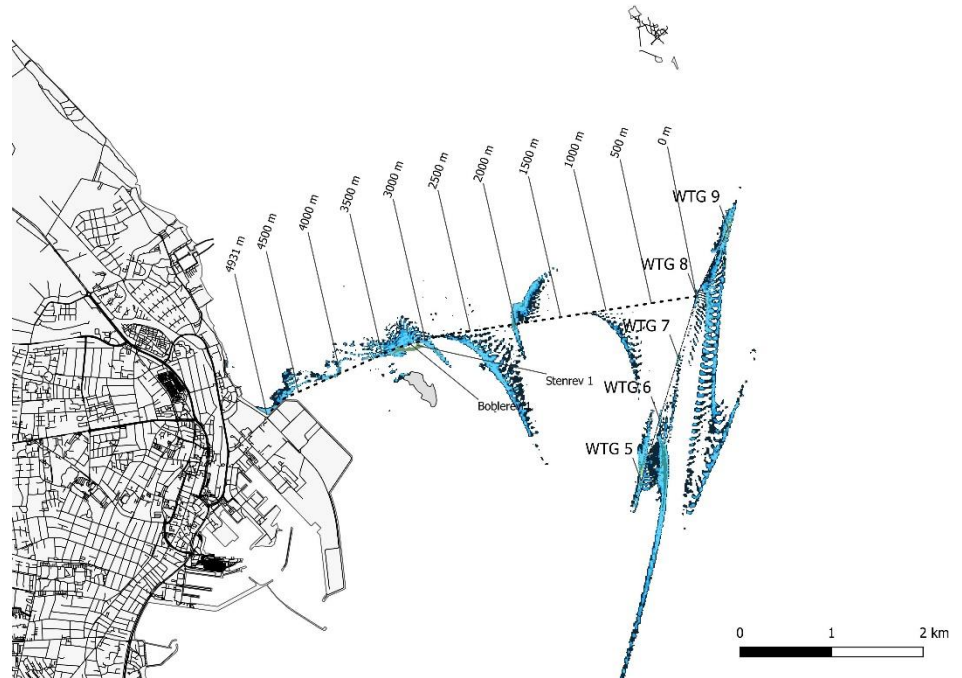
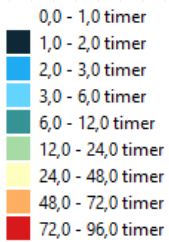
Figur 6.1: Varighed af suspenderet sediment over 10 mg/l – med nedspuling af hele ilandføringskablet.



Figur 6.2: Varighed af suspenderet sediment over 10 mg/l – med nedspuling af hele ilandføringskablet undtaget længden mellem 3000 og 3500 m.



Figur 6.3: Varighed af suspenderet sediment over 10 mg/l – med nedspuling af ilandføringskablet og nedgravning mellem 3000 og 3500 m.



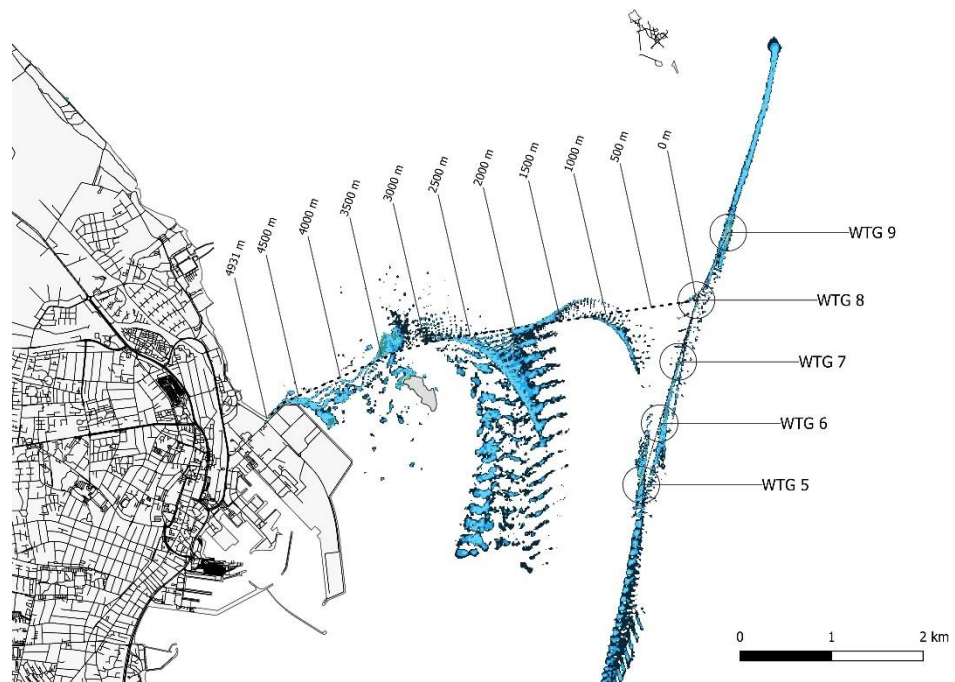
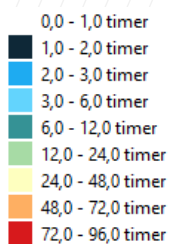
6.1.2 Vinter

De højere strømhastigheder og kraftigere bølgeklima bevirker, at sedimentet på møllepositionerne hurtigere transporteres fra arbejdsområdet, og at fanerne bliver noget smallere end om sommeren med en udbredelse på omkring 3 km parallelt med strømmen og ca. 100m vinkelret på, for 10 mg/l. Figur 6.4.

Langs ilandføringskablet ses der også noget større flytninger af det suspenderede sediment. Koncentration på 10 mg/l eller derover bringes ved KP 2,0 ca. 2,5 km mod syd og ligeledes ses der lidt større flytninger lige nord for Frederikshavn Havn.

Generelt er varigheden med suspenderet sediment koncentrationer over 10 mg/l kortere end 12 timer og dette kun for et mindre område ved WTG 5, WTG 9 og for ilandføringskablet mellem KP 3,0 og 4,5, mens varigheden maksimalt er 6 timer alle andre steder.

Figur 6.4: Varighed af suspenderet sediment over 10 mg/l.



6.2 Sedimentation

Sedimenteret materiale er præsenteret som hhv.:

- 24 timers maksimum-sedimentation og
- 1 uges maksimum-sedimentation.
- Varighed af 10 mm sedimentation (periode med minimum 10 mm overlægning med spildt sediment),
- Varighed af 30 mm sedimentation (periode med minimum 10 mm overlægning med spildt sediment),
- Varighed af 50 mm sedimentation (periode med minimum 10 mm overlægning med spildt sediment),

Dvs. den maksimale sedimentation med hhv. 24 timers og en uges varighed samt varighed af en overlejring af hhv. 10, 30 og 50 mm sediment.

6.2.1 Sommer

For sommer-situationen er der ligesom for suspenderet sediment præsenteret tre cases

- 1) En case hvor hele ilandføringskablet bliver nedspulet, Figur 6.5 og Figur 6.6.
- 2) En case hvor ilandføringskablet er overfladelagt mellem KP 3,0 og 3,5, og Figur 6.7 og Figur 6.8.
- 3) En case hvor ilandføringskablet er nedgravet mellem KP 3,0 og 3,5, Figur 6.9 Figur 6.10.

De nævnte figurer i dette afsnit viser den maksimale sedimentation med hhv. 24 timers og en uges varighed. Resultaterne for varighed af overlejringer på hhv. 10, 30 og 50 mm sediment er vedlagt i Appendix 3 - Appendix 14.

For alle cases sedimenteres de tungere fraktioner inden for en kortere afstand fra arbejdsområdet både langs ilandføringskablet, møllefundamenterne og inter-array kablerne. For førstnævnte i et bånd med en bredde af op til 50 m, der snor sig langs kablet i en afstand af maksimum +/- 100 m, mens materialet i mølleområdet sedimenterer inden for 50 m ligeledes i et bånd med en bredde op til 50 m.

Generelt er forskellen i sedimenttykkelse med en varighed på 24 og en uge minimal, hvilket er et udtryk for, at sedimentet ikke resuspenderes inden for den betragtede periode.

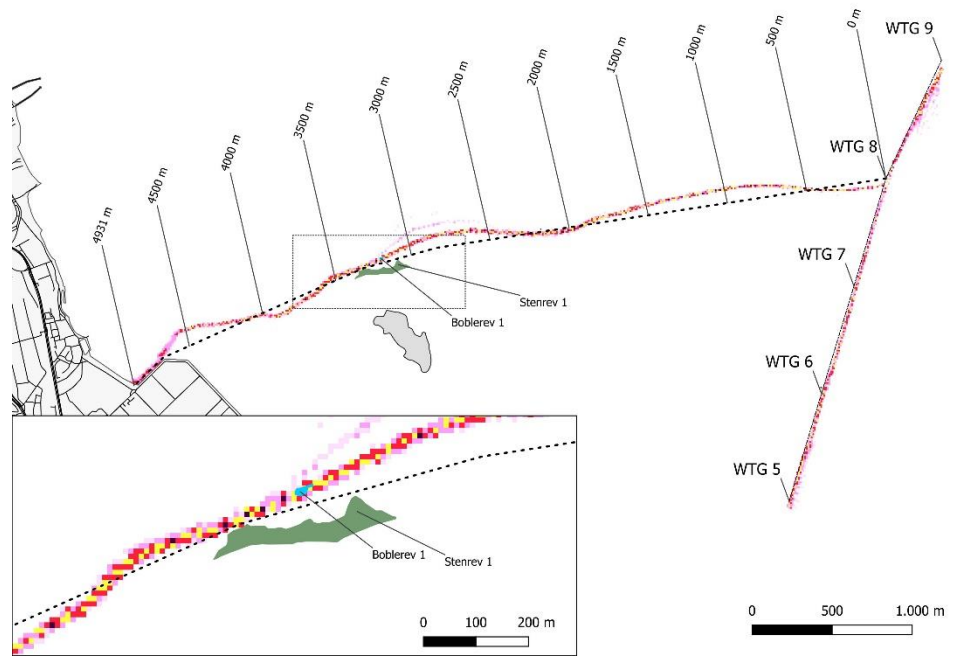
De maksimale sedimenttykkelser er mellem 20 til 50 mm i mindre områder, men ellers generelt under 20 mm. Det kan dermed ikke udelukkes, at mindre områder på hhv. stenrevet og boblerevet kan blive dækket med op til 50 mm sediment, hvis kablet nedspules omkring revene. Sedimentets placering og tykkelse vil afhænge af det aktuelle vejr og hvornår på tidevandsperioden kablet bliver nedspulet.

Ved at overfladeligge kablet fra ca. 50 m før til 50 m efter passagen af de to rev lang ilandføringskablet, vil en forøgelse af sedimentkoncentrationen og sedimentationen, grundet nedspulingen af kablet, stort set kunne undgås. Beregningen viser, at der ingen påvirkning vil være, men som tidligere nævnt vil det aktuelle strømningsmønster under installation i en vis grad kunne afvige fra det anvendte i modellen. Det vurderes, at i en situation hvor strømmen skulle være parallel med kablet, vil kun den del af stenrevet, der ligger tættere på end 100 m fra kablet kunne påvirkes med 2-5 mm sediment.

Nedgraves kablet, i stedet for at overfladeligge det og efterfølgende at beskytte med f.eks. betonmadrasser, vil der naturligvis blive spildt noget sediment, men ikke mere end at den maksimale aflejring på ovennævnte strækning vil være mindre end 5 mm.

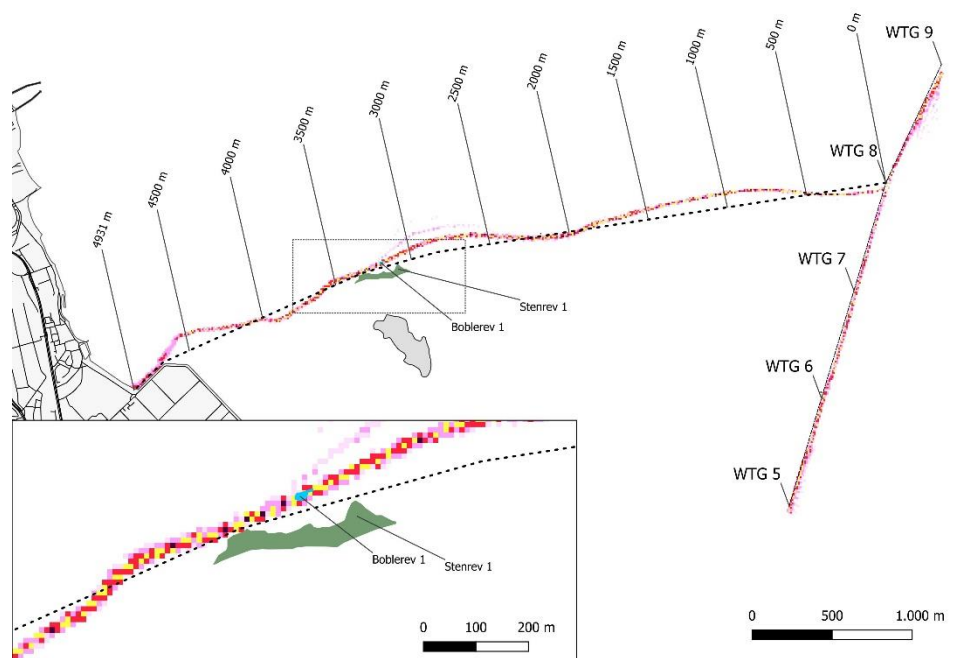
Figur 6.5: Maksimum sedimenttykkelse med en varighed over 24 timer - med nedspuling af hele ilandføringskablet.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



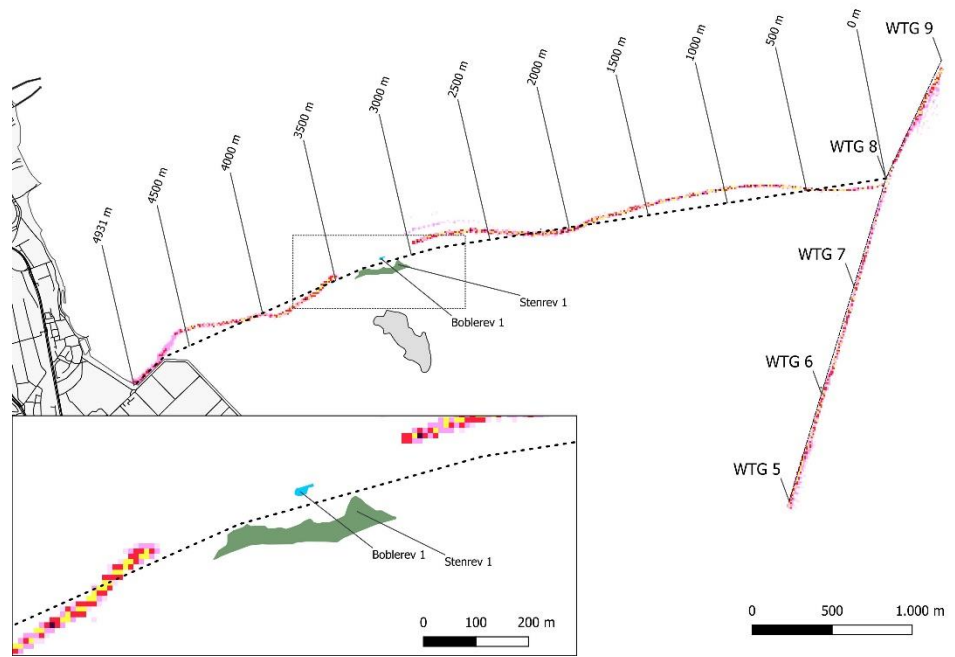
Figur 6.6: Maksimum sedimenttykkelse med en varighed over 1 uge - med nedspuling af hele ilandføringskablet.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



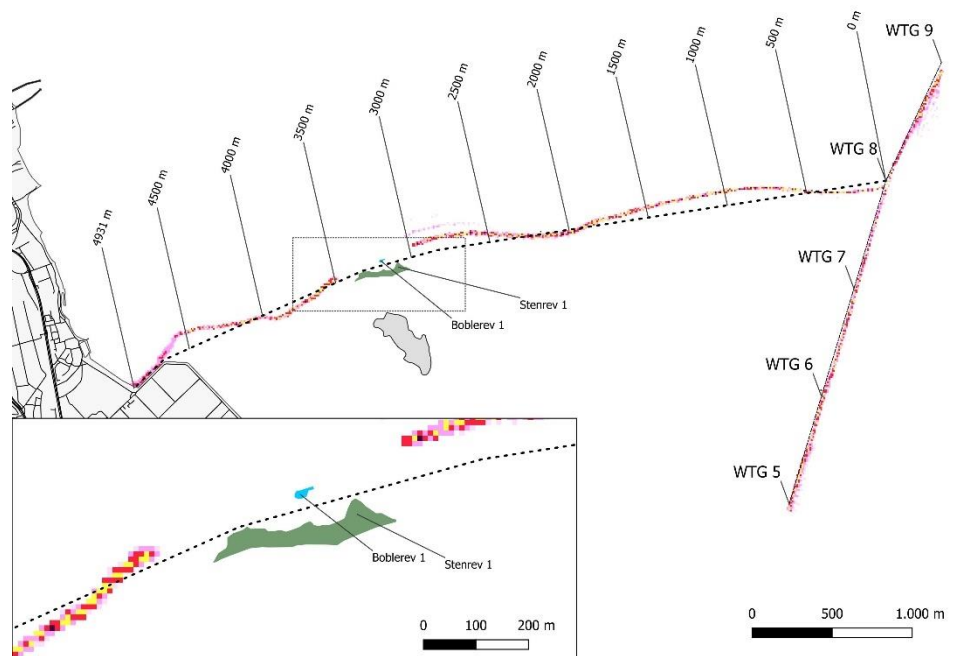
Figur 6.7: Maksimum sedimenttykkelse med en varighed over 24 timer - med nedspuling af hele ilandføringskablet undtagen længden mellem 3000 og 3500 m.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



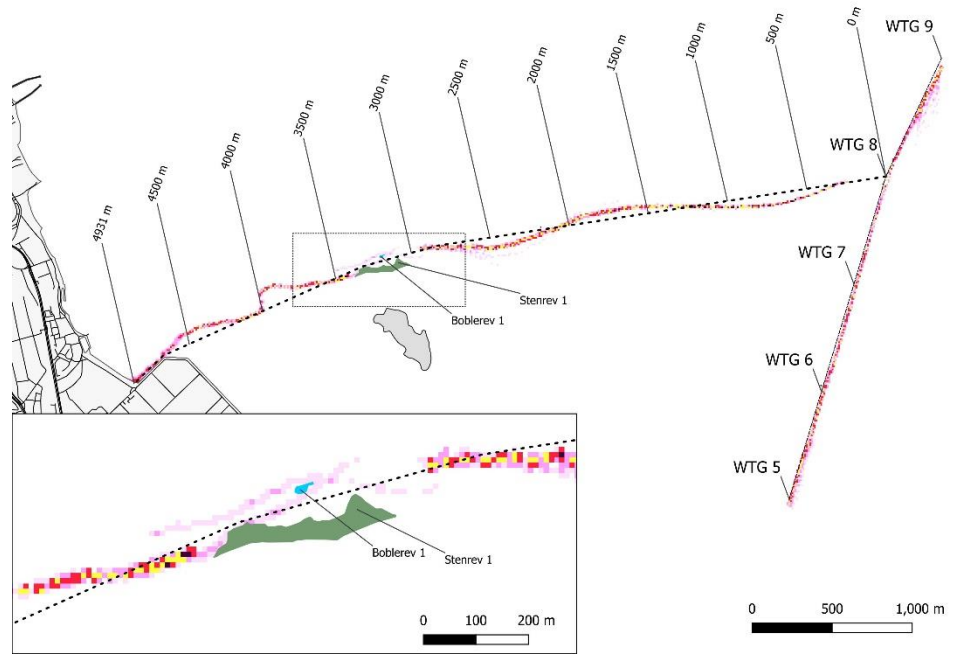
Figur 6.8: Maksimum sedimenttykkelse med en varighed over 1 uge - med nedspuling af hele ilandføringskablet undtagen længden mellem 3000 og 3500 m.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



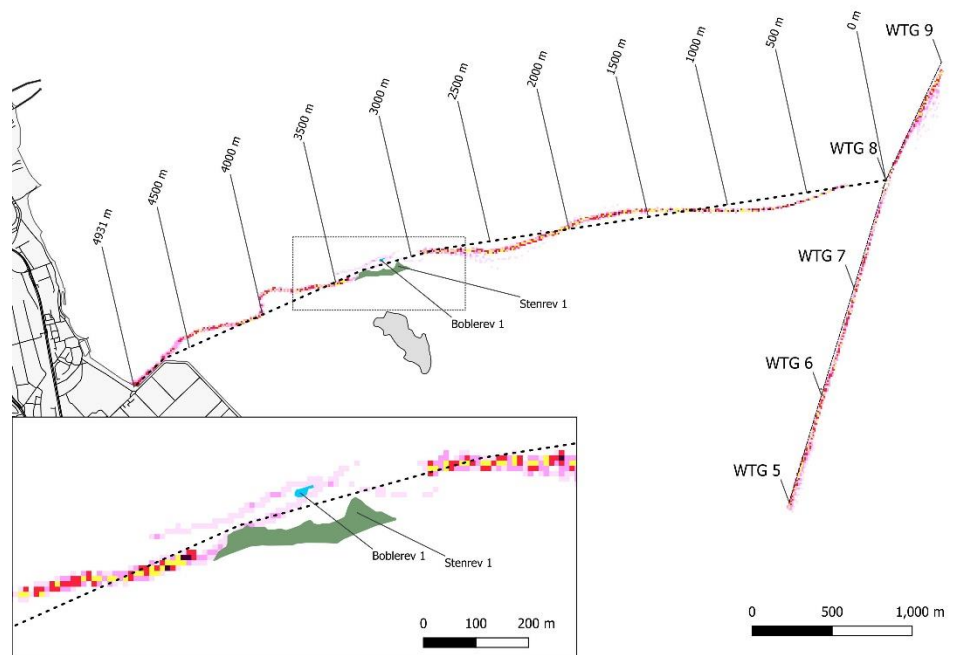
Figur 6.9: Maksimum sedimenttykkelse med en varighed over 24 timer - med nedspuling af ilandføringskablet og nedgravning mellem 3000 og 3500 m.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



Figur 6.10: Maksimum sedimenttykkelse med en varighed over 1 uge - med nedspuling af ilandføringskablet og nedgravning mellem 3000 og 3500 m.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



For mere end 4 uger forekommer der sedimentoverlejring på 10 mm (Appendix 3) langs både ilandføringskablet og inter-array kablerne. Ved 30 mm (Appendix 4) er påvirkningsområdet reduceret til mellem KP 3,0 og 3,5, dvs. netop strækningen med boblerev og stenrev, samt en strækningen mellem KP 0 og KP 1,4. For begge strækninger er der varigheder på over 4 uger. Øges den betragtede overlejring til 50 mm (Appendix 5) er det påvirkede område reduceret til en strækning på ca. 150 m ved KP 0,5 med varighed på mellem en time til over 4 uger.

For situationen, hvor ilandføringskablet overfladeliggendes eller nedgraves langs boblerevet og stenrevet er der ikke konstateret sedimentation på over 10 mm.

Varigheder for en sedimentation på hhv. 10 mm, 30 mm og 50 mm, når ilandføringskablet overfladeliggendes eller nedgraves langs boblerevet og stenrevet, er vist i Appendix 6, Appendix 7, Appendix 8, Appendix 9, Appendix 10 og Appendix 11.

6.2.2 Vinter

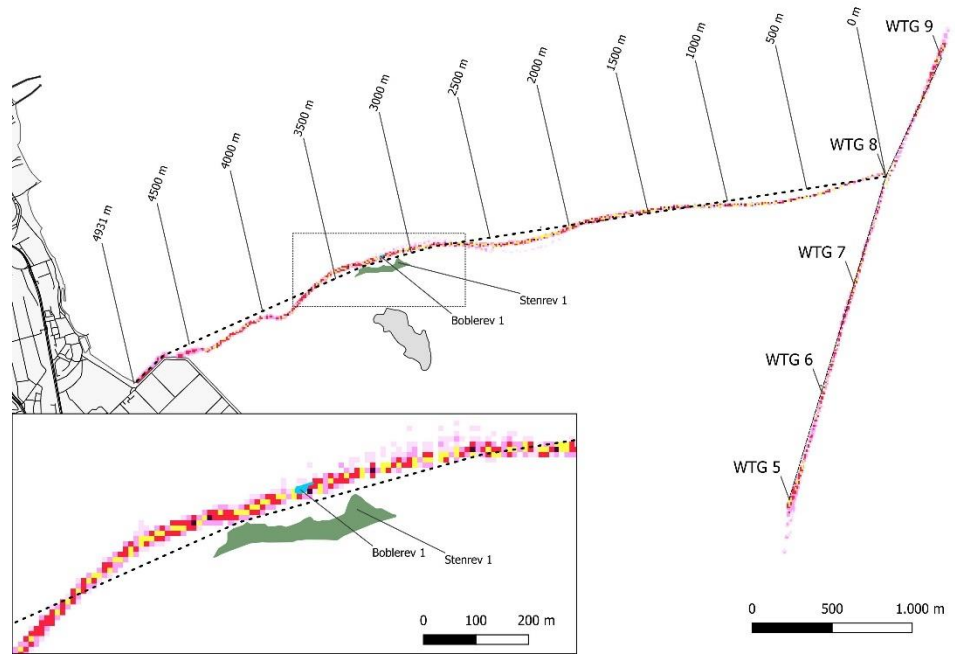
Vinter-situationen mht. sedimentation afviger ikke væsentligt fra sommer-situationen, dog er der tendens til færre områder med sedimenttykkelser på mellem 20 og 50 mm. Sedimentet bundfælder inden for samme afstand dvs. maksimum 100 m fra ilandføringskablet og ca. 50 m fra møllepositionerne og inter-array kablet, Figur 6.11 og Figur 6.12. Der kan altså forventes et bånd med en bredde på ca. 50 m med en sedimentationstykkelse på mellem 5 og 20 mm langs ilandføringskablet og den linje, møllerne er placeret langs.

Generelt er forskellen i sedimenttykkelse med en varighed på 24 og en uge minimal, hvilket er et udtryk for, at sedimentet ikke resuspenderes inden for den betragtede periode.

Effekten af at hhv. overfladeliggende eller at nedgrave kablet på strækningen 50 m før og efter stenrevet og boblerevet for sommersituationen vurderes at være den samme for en vintersituation.

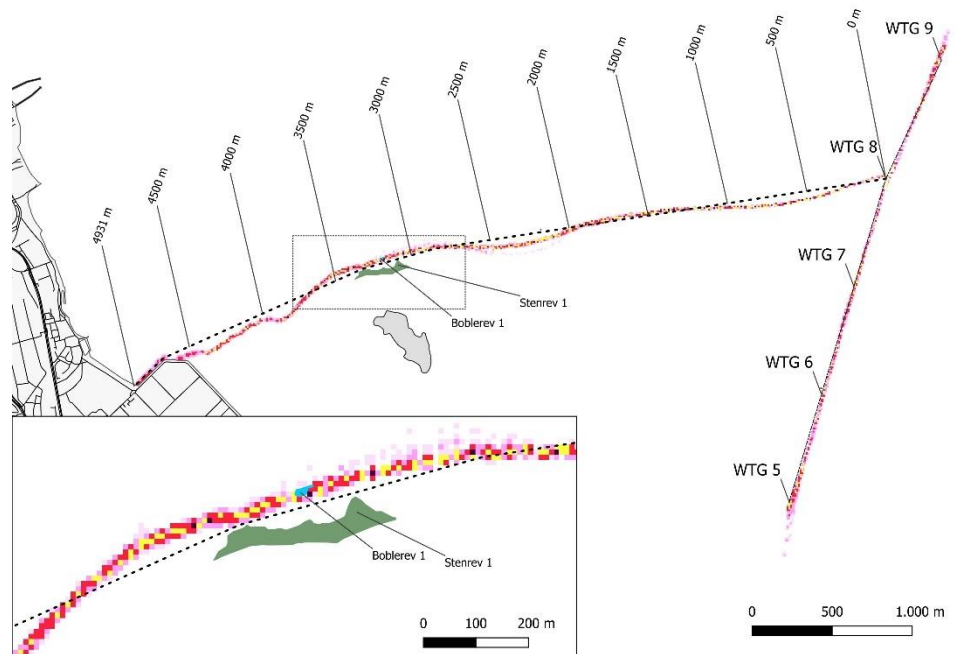
Figur 6.11: Maksimum sediment med en varighed over 24 timer - med nedspuling af hele ilandføringskablet.

- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm



Figur 6.12: Maksimum sediment med en varighed over 1 uge - med nedspuling af hele ilandføringskablet.

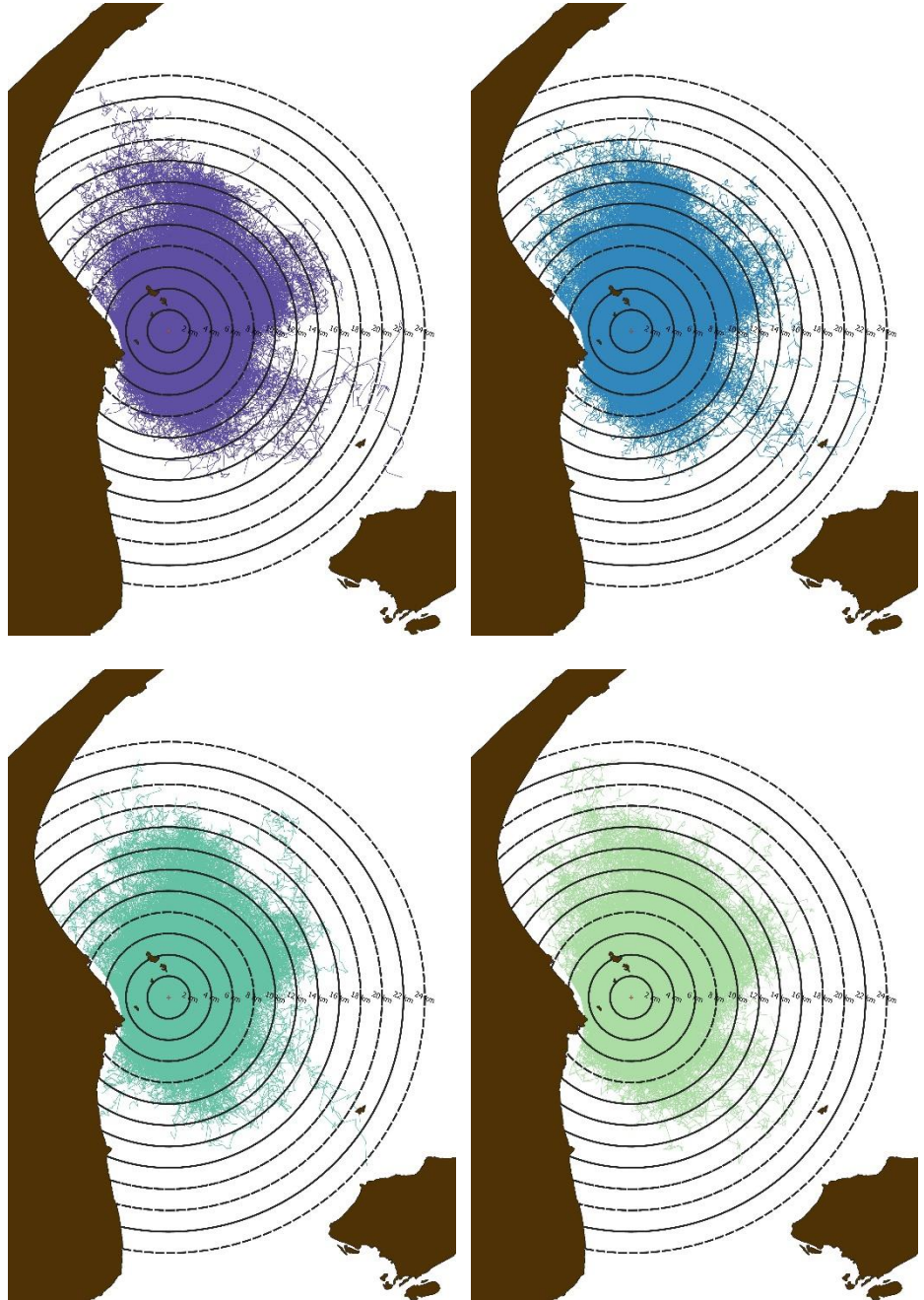
- <= 1,0mm
- 1,0 - 2,0mm
- 2,0 - 5,0mm
- 5,0 - 10,0mm
- 10,0 - 20,0mm
- 20,0 - 50,0mm

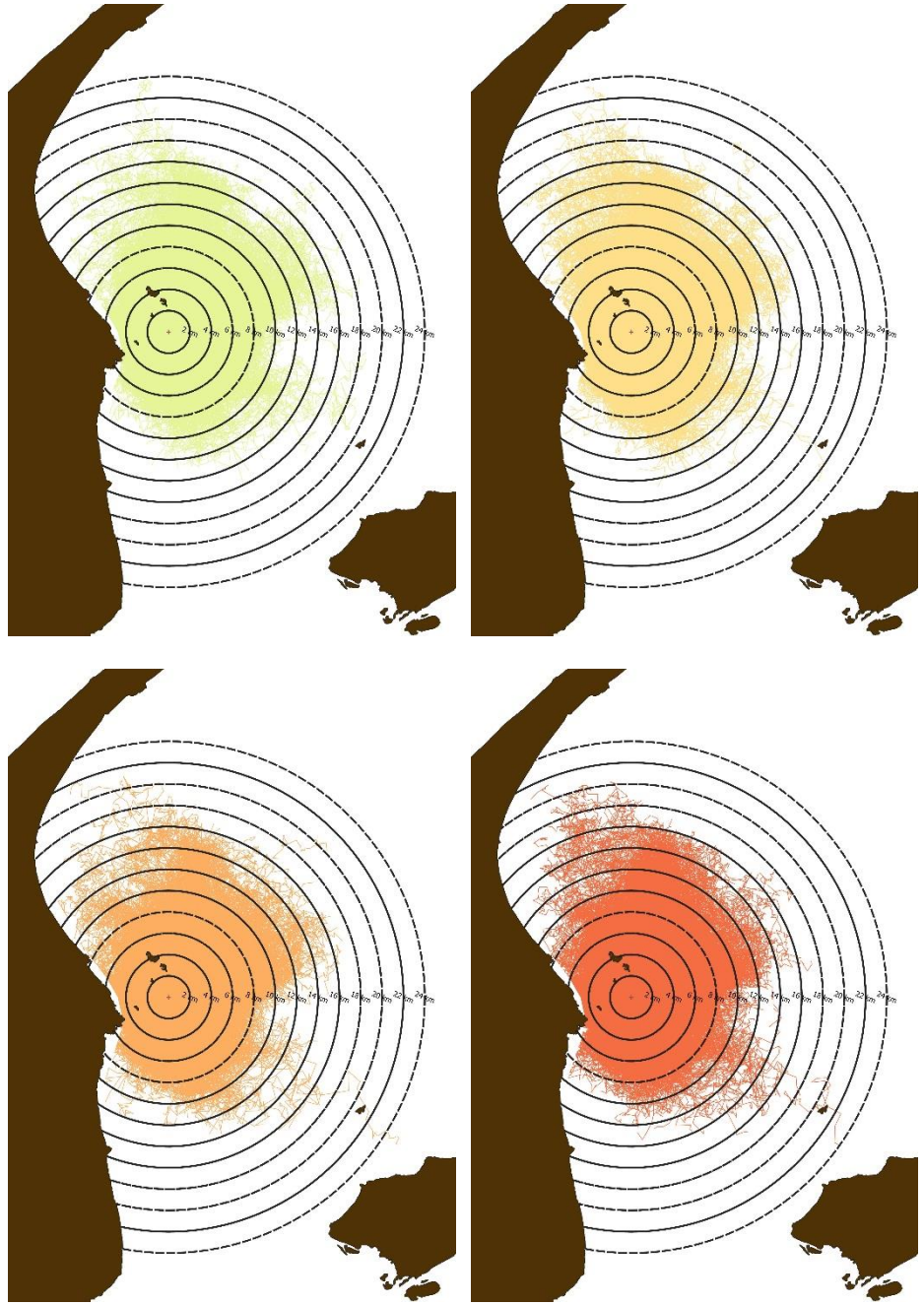


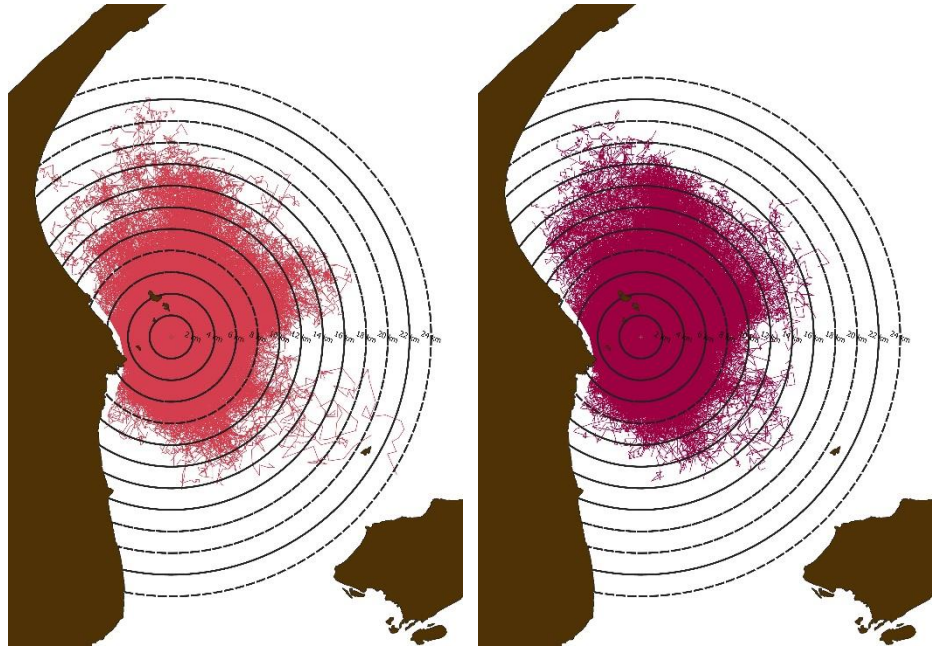
Betragtes derimod varigheden af en sedimentoverlejring på 10 mm, Appendix 12 , er der smalt bånd parallelt med ilandføringskablet og inter-array kablet, som er

påvirket i mere end 4 uger. For 30 mm (Appendix 13) er påvirkningen med varighed længere end 4 uger reduceret til et lille område ved KP 4,0, boblerevet og strækningen mellem KP 0 og KP 1,5. Ved 50 mm (Appendix 14) overlejring er dette reduceret til en strækning på ca. 150 m ved KP 0,5 med varighed på mellem en time til over 4 uger.

Appendix 1 Partikelvandring – vinter

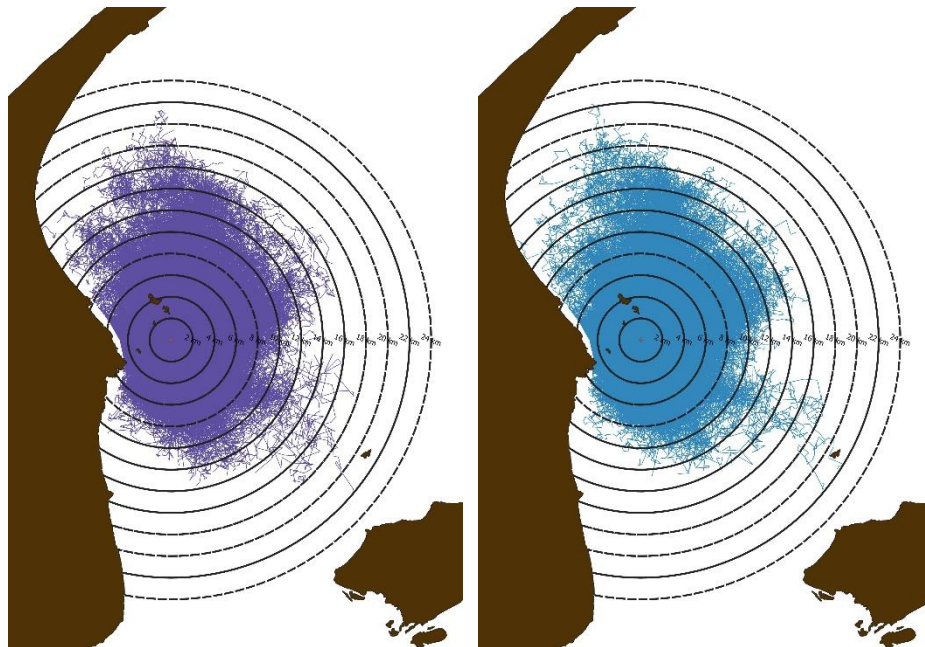




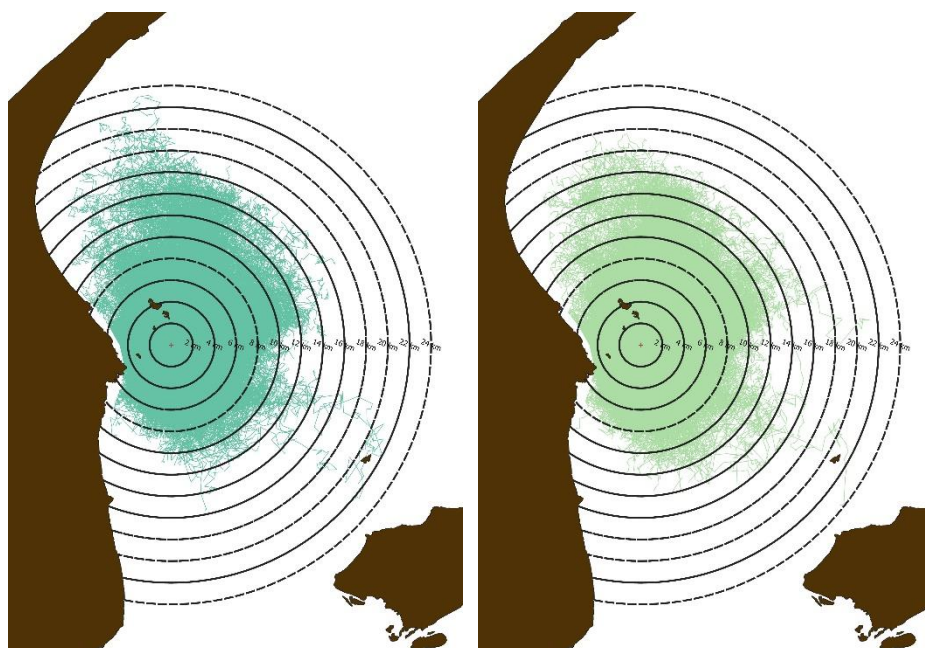


Appendix 2 Partikelvandring – sommer

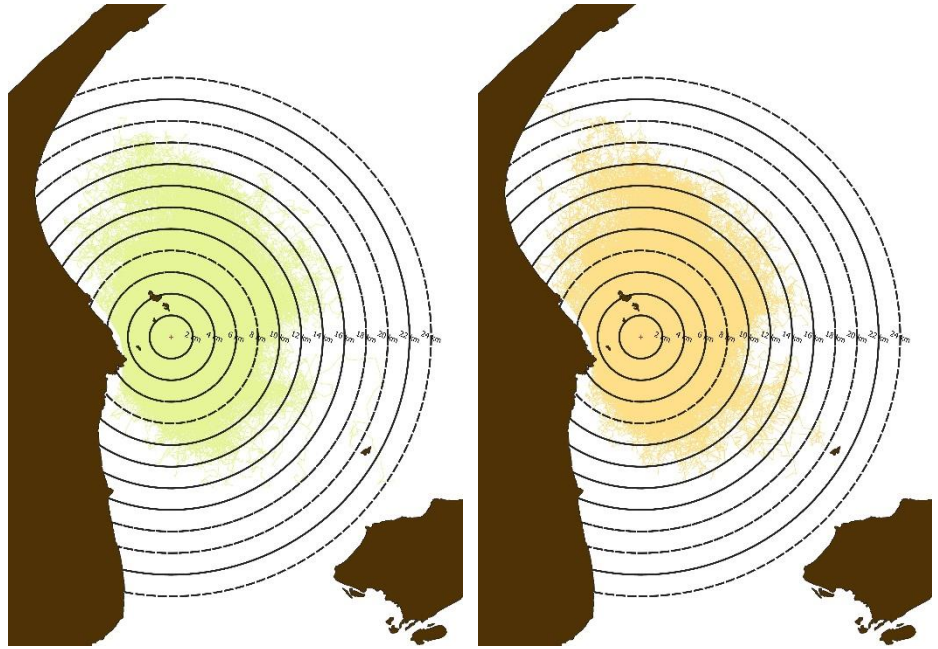
2009 & 2010



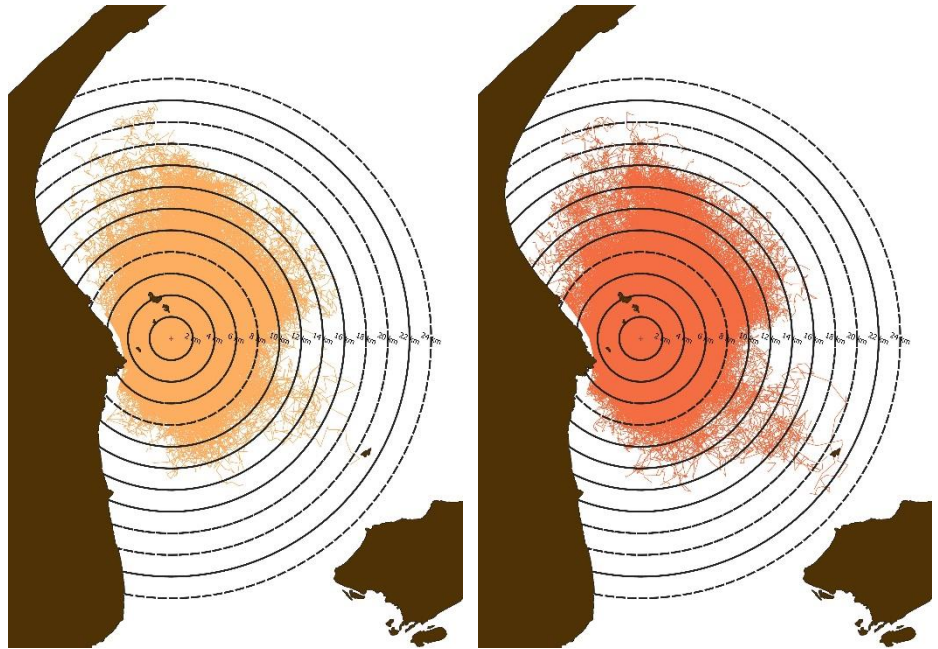
2011 & 2012



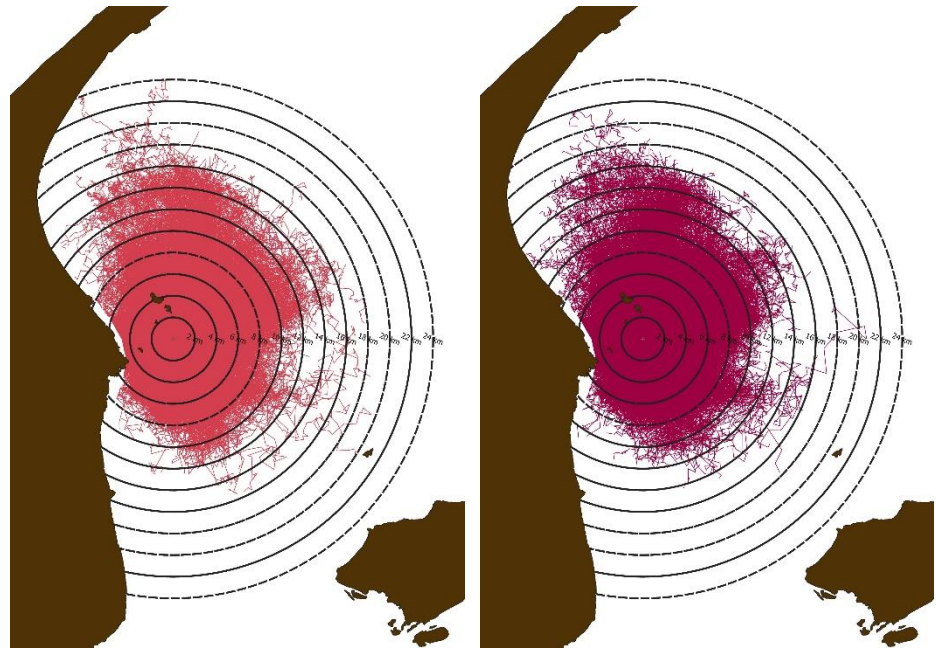
2013 & 2014



2015 & 2016

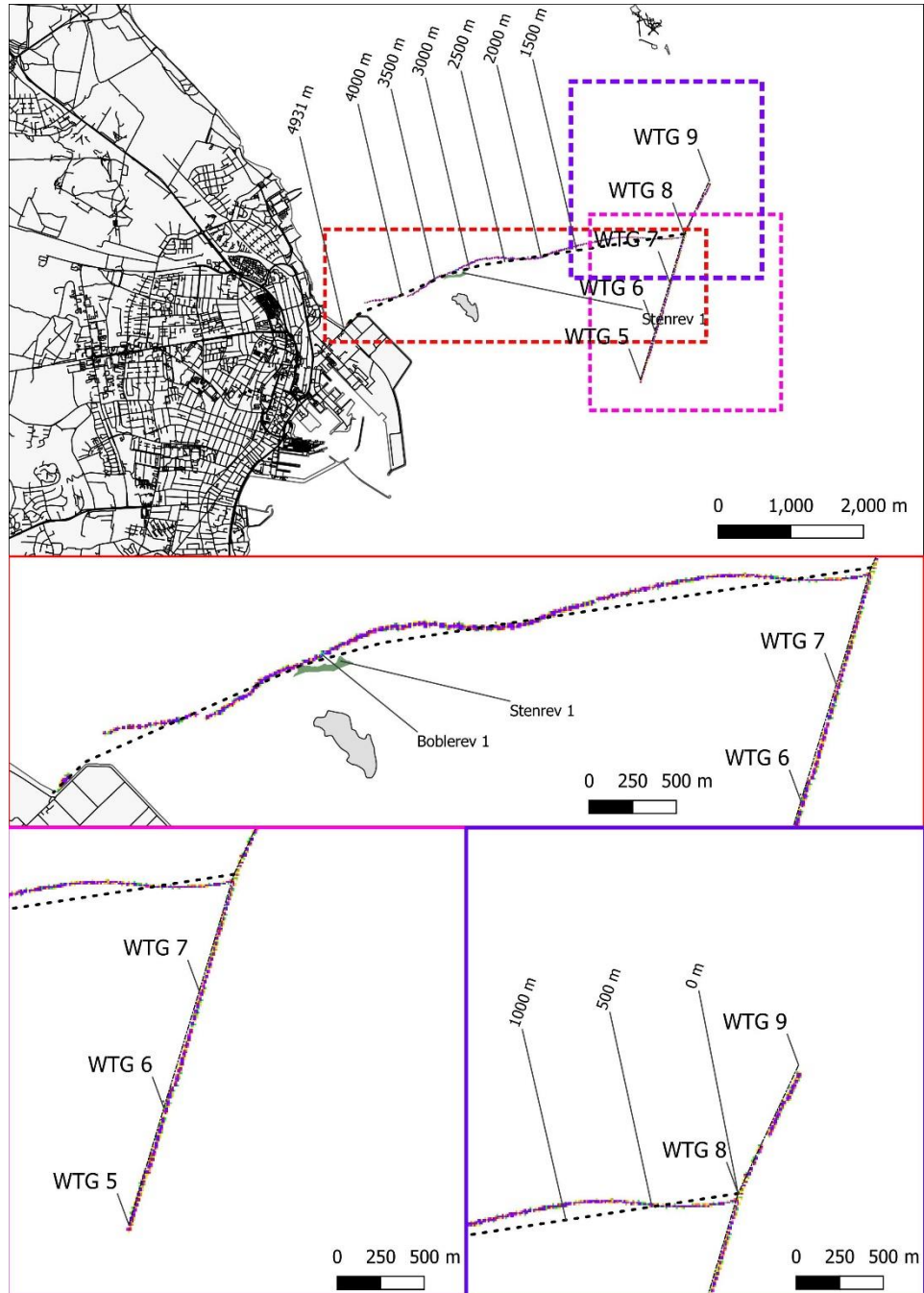


2017 & 2018



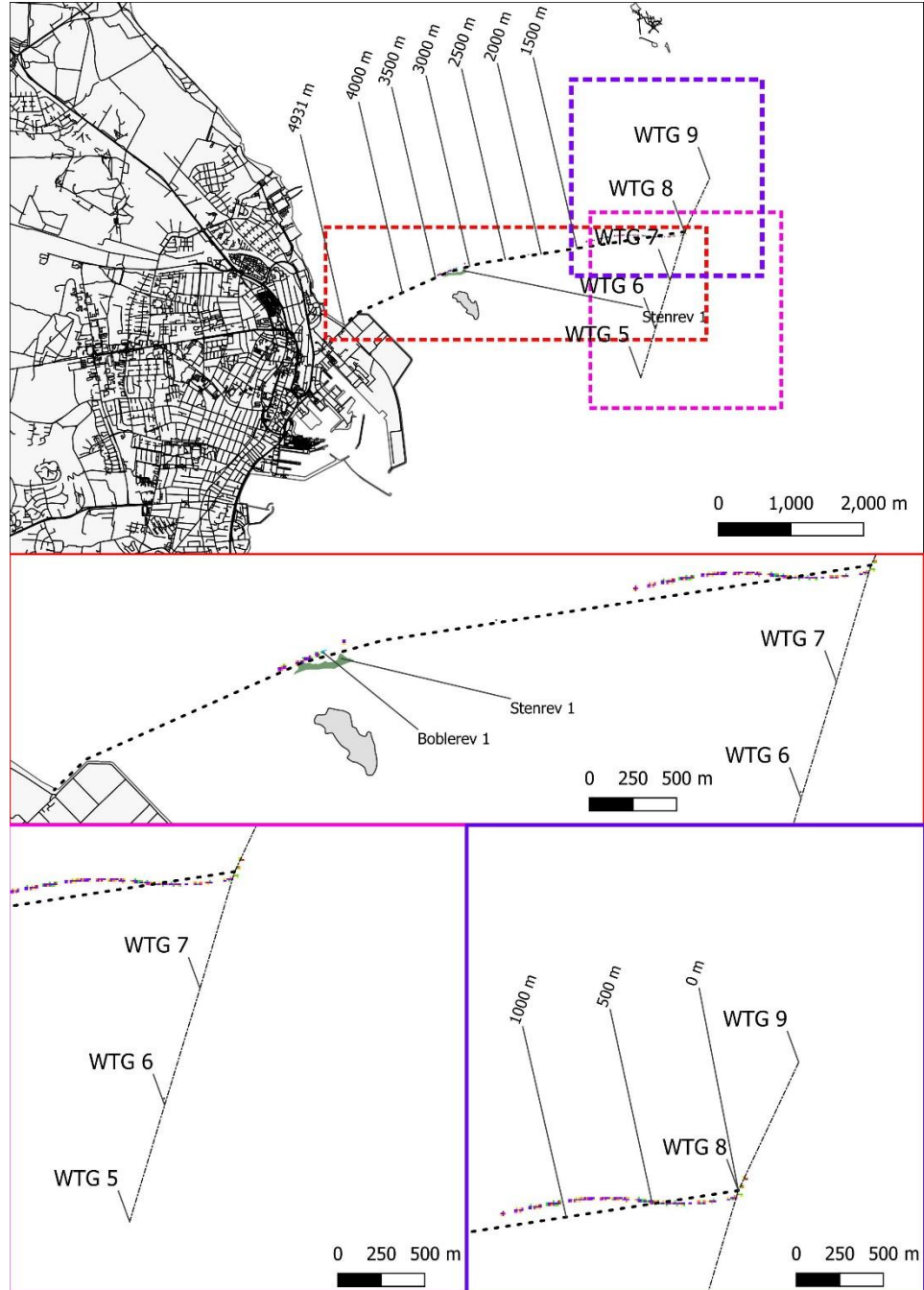
Appendix 3 Sommer, varighed af 10 mm sedimentation

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



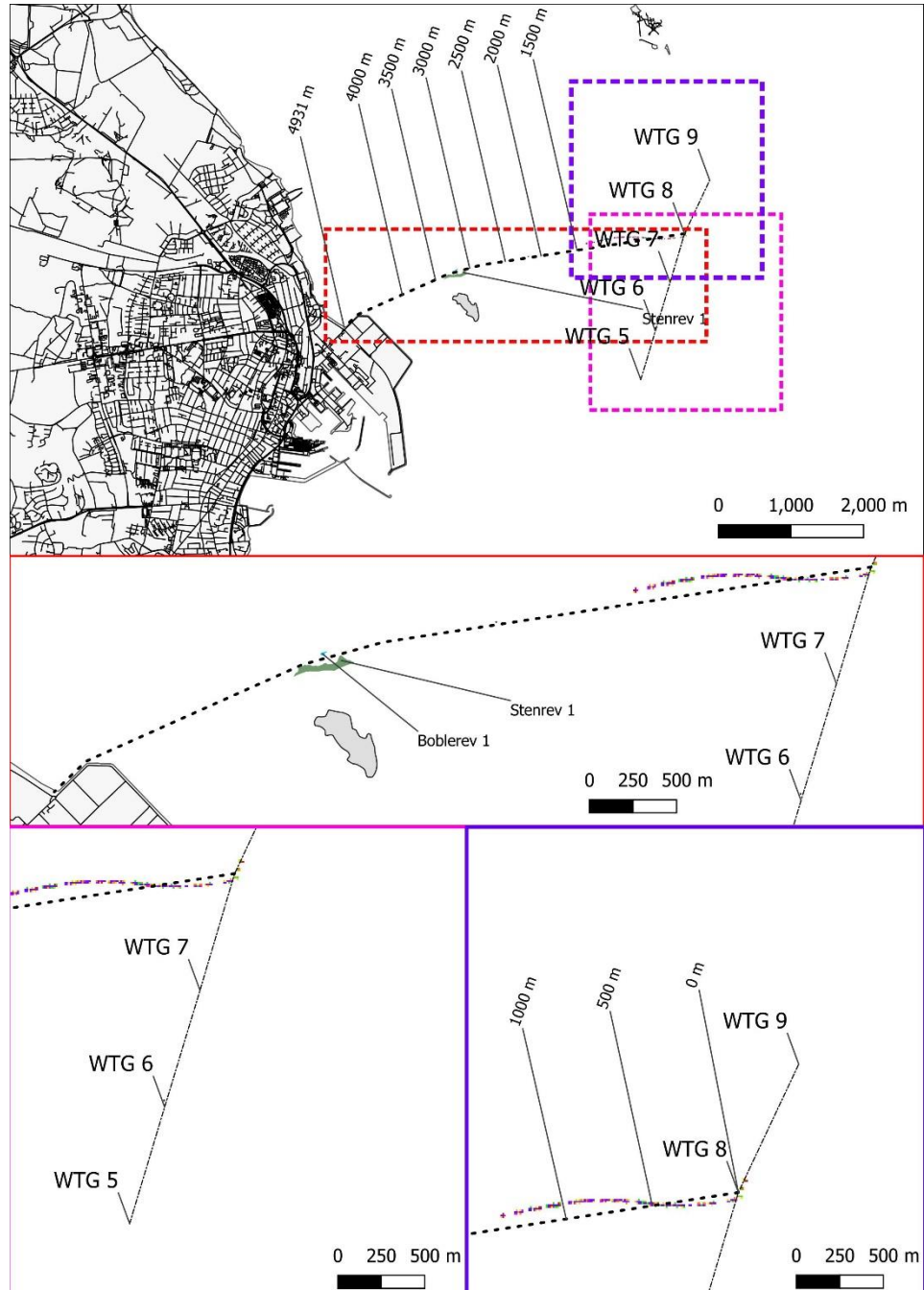
Appendix 4 Sommer, varighed af 30 mm sedimentation

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



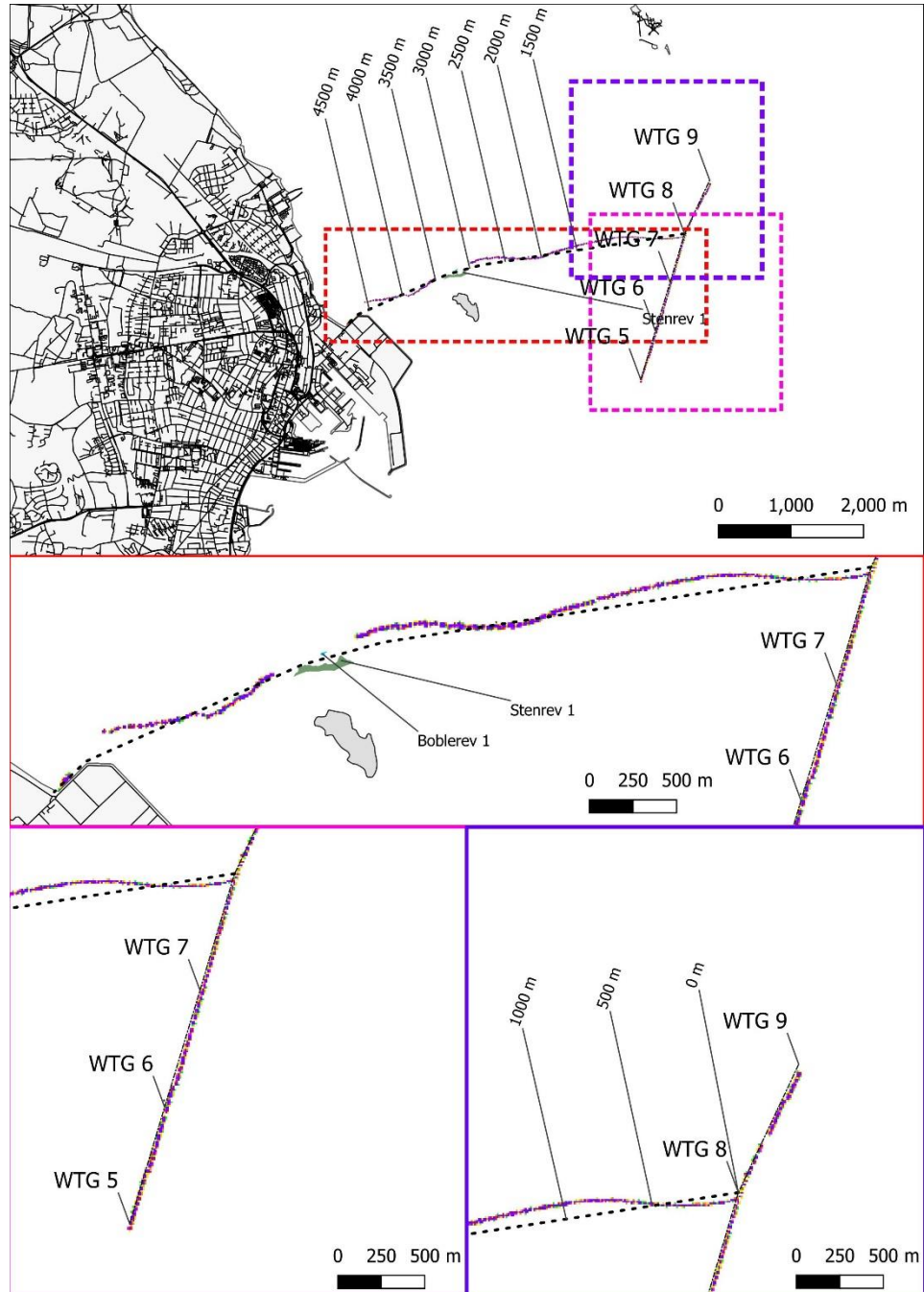
Appendix 5 Sommer, varighed af 50 mm sedimentation

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



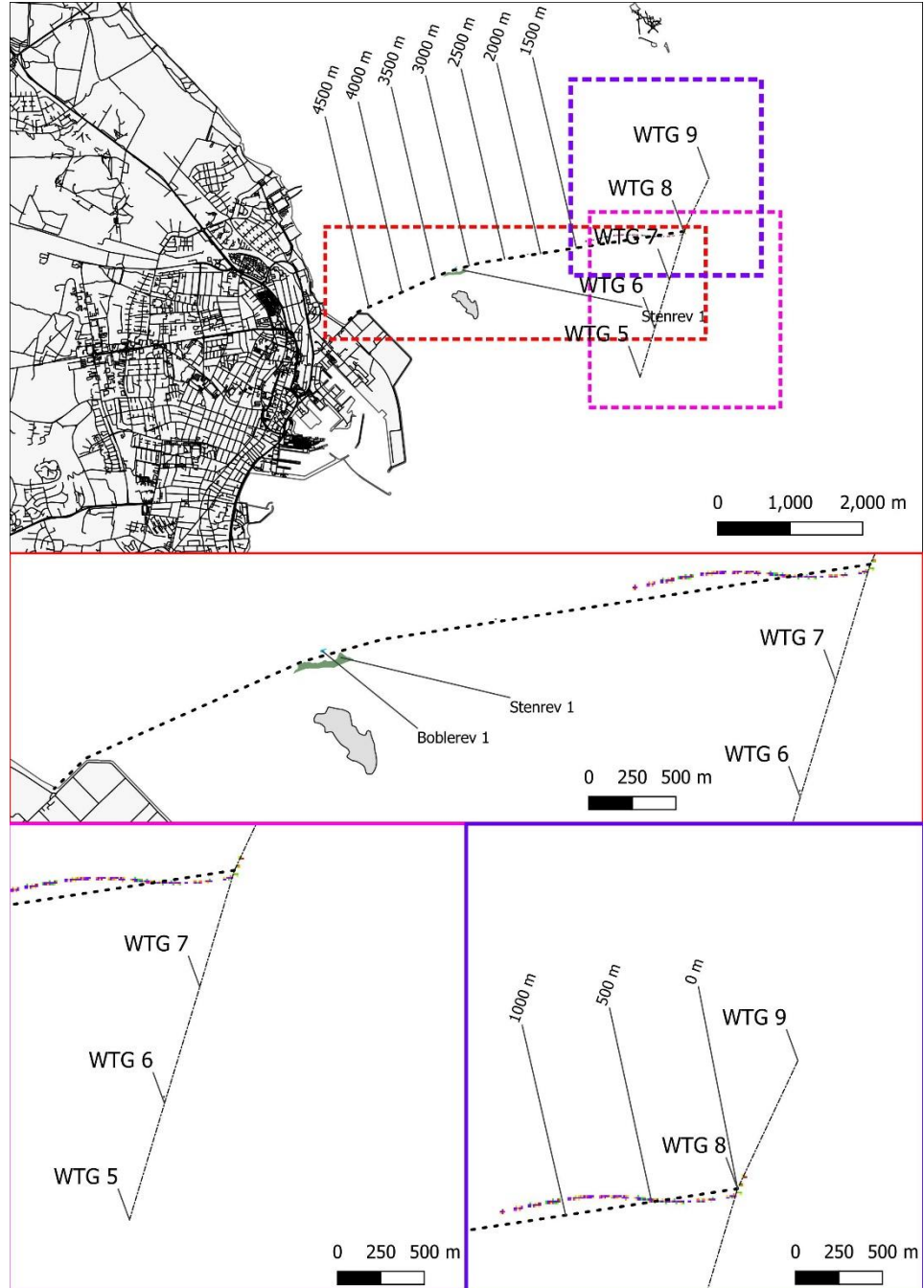
Appendix 6 Sommer, varighed af 10 mm sedimentation – ingen nedspuling ved rev

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



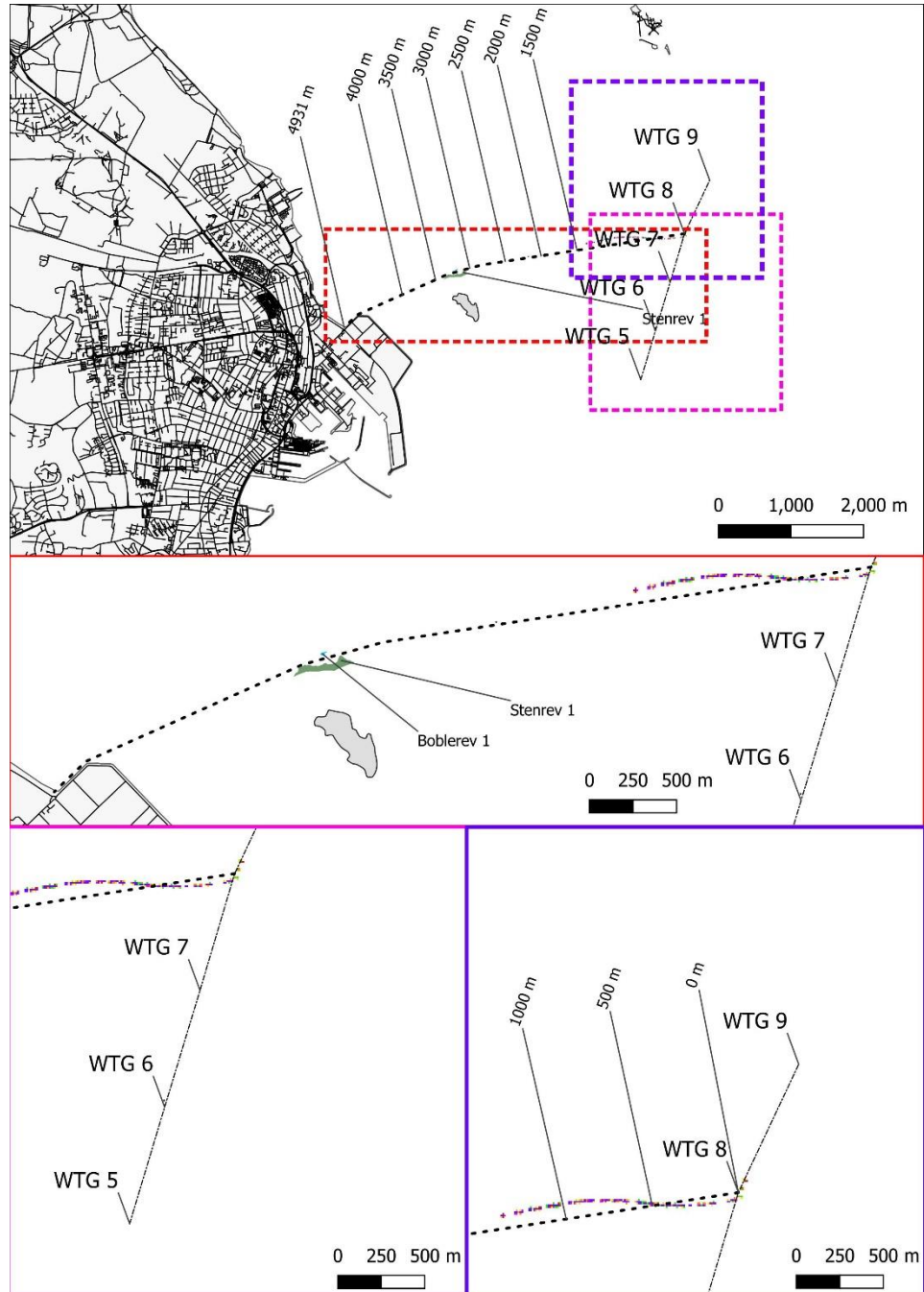
Appendix 7 Sommer, varighed af 30 mm sedimentation – ingen nedspuling ved rev

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



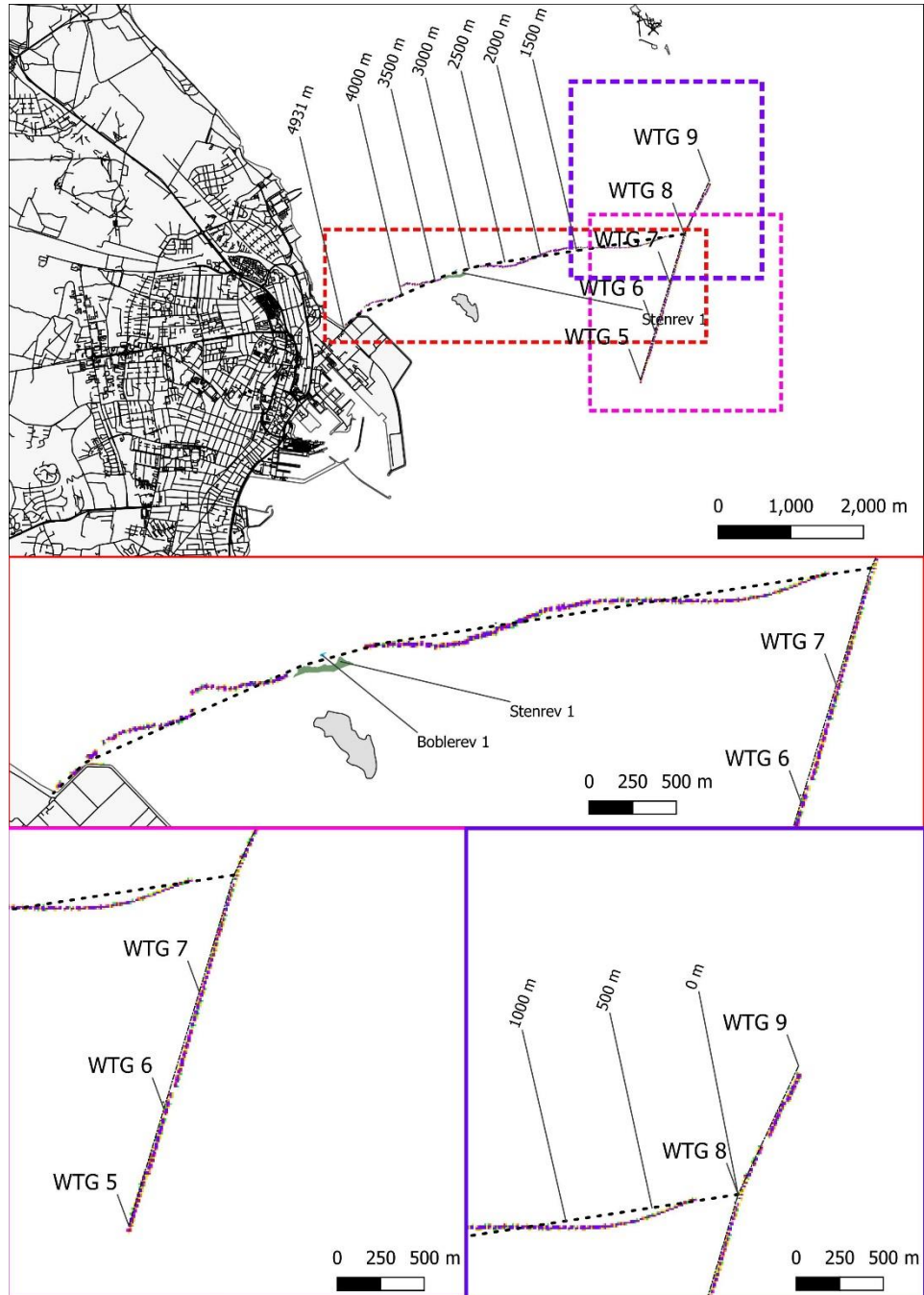
Appendix 8 Sommer , varighed af 50 mm sedimentation – ingen nedspuling ved rev

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



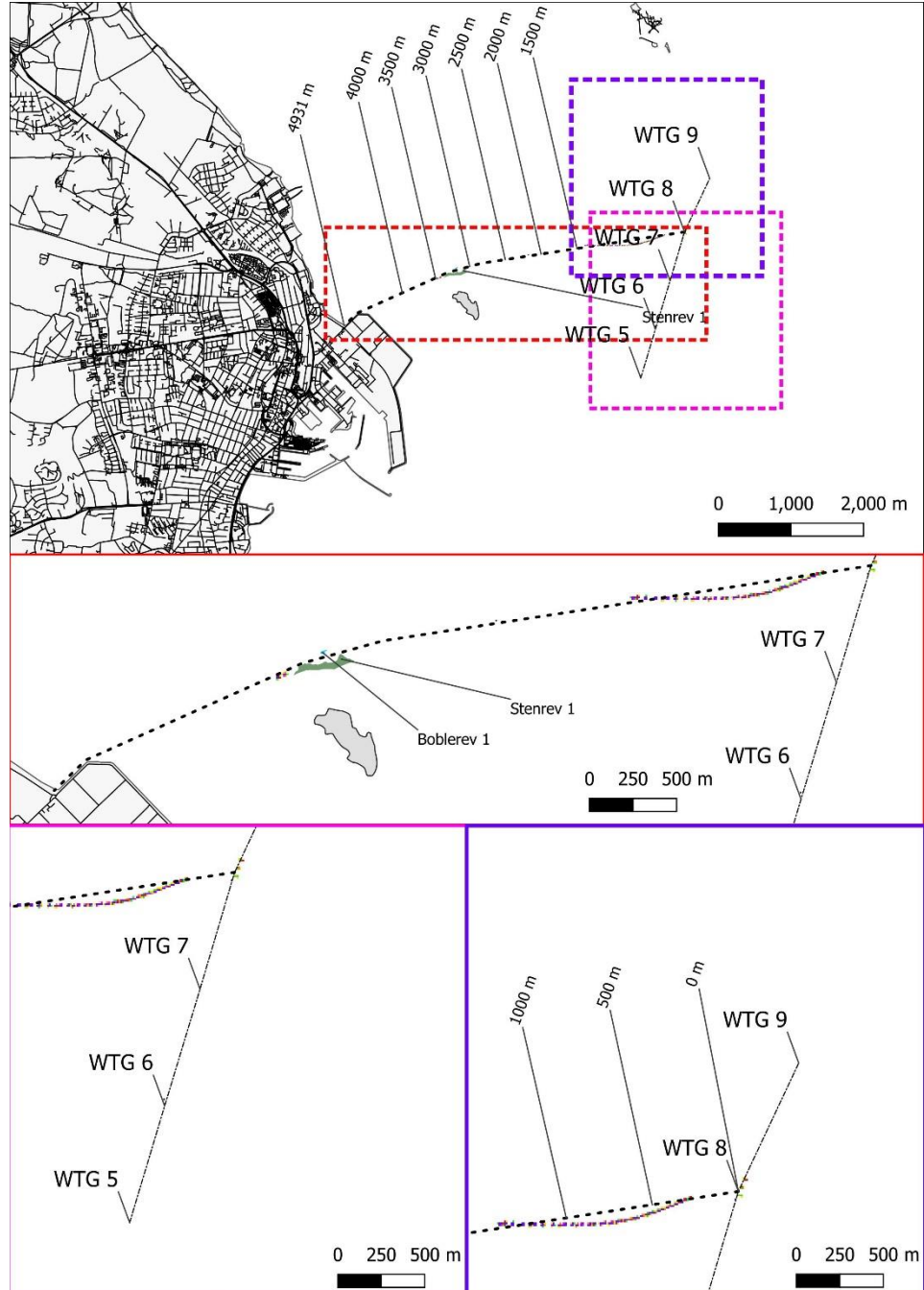
Appendix 9 Sommer, varighed af 10 mm sedimentation – nedgravning ved rev

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



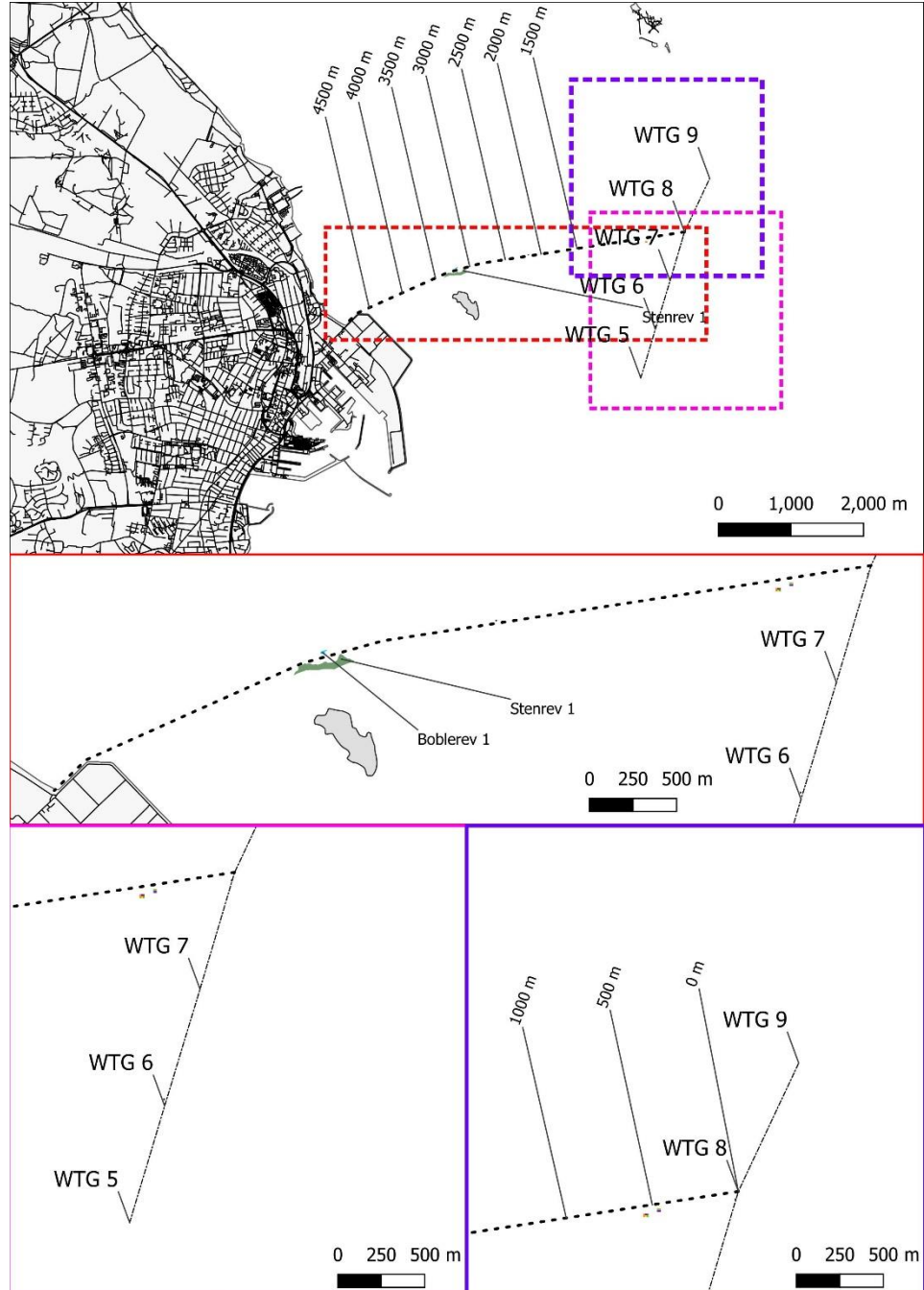
Appendix 10 Sommer, varighed af 30 mm sedimentation – nedgravning ved rev

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



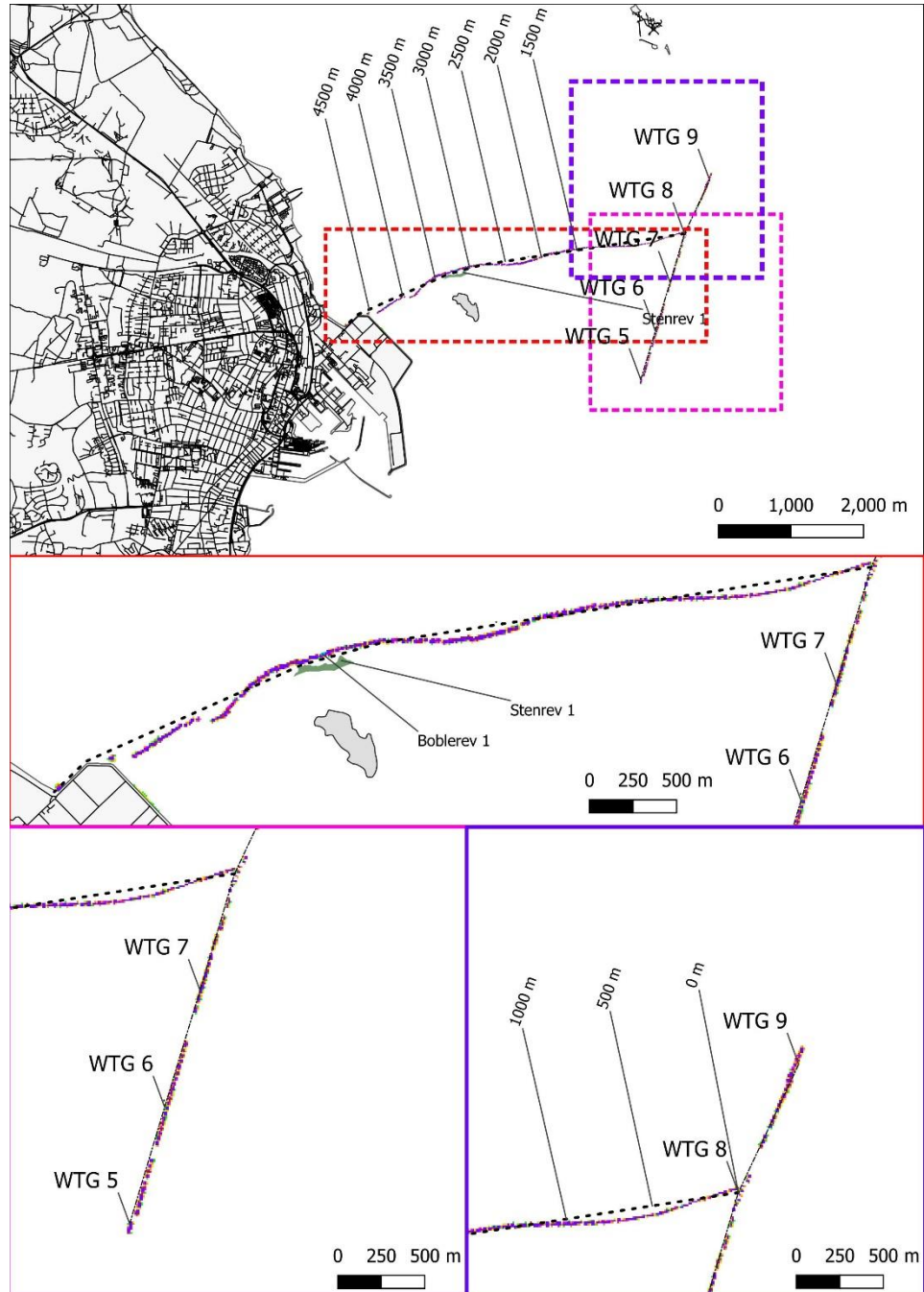
Appendix 11 Sommer , varighed af 50 mm sedimentation – nedgravning ved rev

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



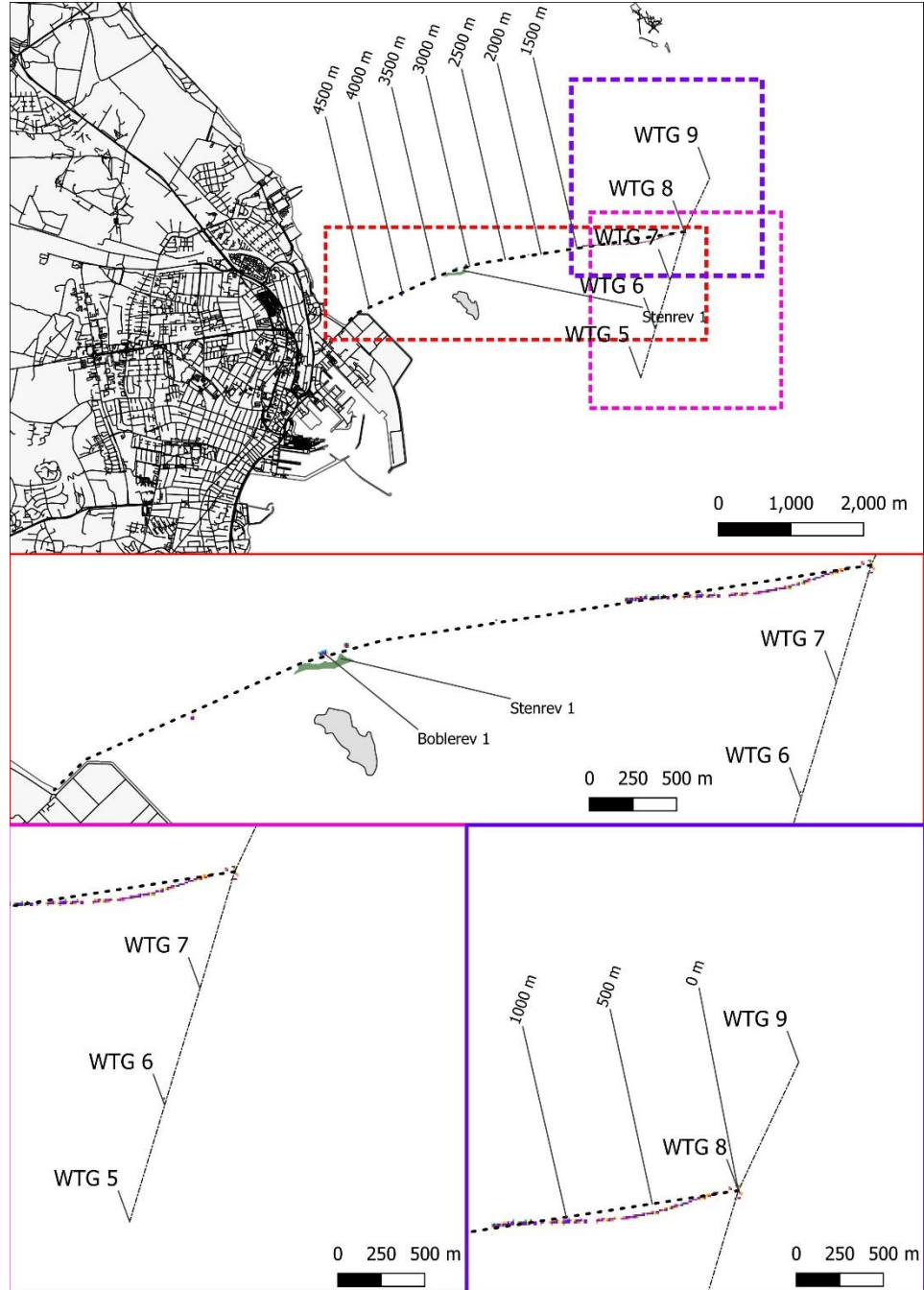
Appendix 12 Vinter, varighed af 10 mm sedimentation

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



Appendix 13 Vinter, varighed af 30 mm sedimentation

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger



Appendix 14 Vinter, varighed af 50 mm sedimentation

- <= 1 time
- 1 time - 1 dag
- 1 - 2 dage
- 2 dage - 1 uge
- 1 - 2 uger
- 2 - 3 uger
- 3 - 4 uger
- > 4 uger

