

Nordhavnstunnel VVM Redegørelse

Hydraulik, badevand og vandkvalitet

Teknisk rapport, 2016



Vejdirektoratet, København

Rapport

Maj 2016

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas
for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse



Vejdirektoratet, København

Rapport

Maj 2016

Nordhavnstunnel

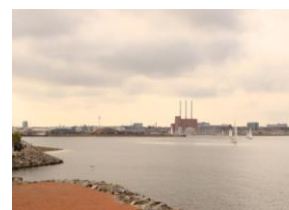
VVM Redegørelse

Hydraulik, badevand og vandkvalitet

Teknisk rapport, 2016

Udarbejdet for
Repræsenteret ved

Vejdirektoratet, København
Ole Kirk, Strategichef



Projektleder	Jesper Goodley Dannisøe / Bo Brahtz Christensen
Kvalitetsansvarlig	Ian Sehested Hansen

Projektnummer	11817808
Godkendelsesdato	20.05.2016
Revision	2, endelig
Klassifikation	Begrænset

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Introduktion	1
2	Metoder og forhold.....	2
2.1	Erstatningshavne	2
2.2	Reference beregning (0-alternativ)	4
2.3	Scenarier	5
2.4	Scenarier med in-situ tunnel uden etapeopdeling	5
2.5	Scenarier med in-situ tunnel med etapeopdeling	5
2.6	Scenarier med væsentlig sedimentspredning.....	6
2.7	Scenarier med etablering af erstatningshavne ved Prøvestenen	6
2.8	Scenarier med permanente påvirkninger	7
2.9	Data brugt i modellerne.....	7
2.9.1	Udledninger fra regnvandsbetingede udløb.....	7
2.9.2	Svanemølleværket – kølevand	12
2.9.3	Badevandsdata	13
2.9.4	Vandkvalitetsdata.....	14
3	Resultater.....	15
3.1	Referencetilstanden	15
3.1.1	Salt og temperatur	15
3.1.2	Opholdstid	17
3.1.3	Badevandskvalitet	21
3.1.4	Vandkvalitet.....	22
3.2	Påvirkninger fra etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling, samt erstatningshavne	24
3.2.1	Opholdstider	24
3.2.2	Temperatur.....	25
3.2.3	Salinitet	28
3.2.4	Badevandskvalitet	30
3.2.5	Vandkvalitet.....	34
3.3	Afværgeforanstaltninger ved temperaturstigninger i lukket havn	45
3.3.1	Udskiftning af varmt overfladevand med køligere bundvand.....	46
3.4	Påvirkninger fra etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og erstatningshavne	62
3.4.1	Opholdstid	62
3.4.2	Temperatur forhold ved in-situ tunnel med etapeopdeling	66
3.4.3	Salinitetsforhold ved in-situ tunnel med etapeopdeling	69
3.4.4	Badevandskvalitet	70
3.4.5	Vandkvalitet.....	73
3.5	Sænketunnel løsning	79
3.5.1	Temperaturændringer	80
3.5.2	Salinitetsændringer	82
3.5.3	Badevandskvalitet	83
3.5.4	Vandkvalitet.....	85
3.6	Påvirkninger fra sedimentspredning	91
3.6.1	Cut-and-Cover.....	91
3.6.1.1	Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten	93
3.6.1.2	Erstatningshavn Svaneknoppen Lille	96
3.6.2	Sænketunnel	98
3.6.2.1	Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten	101
3.6.2.2	Erstatningshavn Svaneknoppen Lille	104
3.6.3	Sedimentspredning ved etablering af erstatningshavn Lille ved Prøvestenen	108
3.6.4	Sedimentspredning ved etablering af erstatningshavn Stor ved Prøvestenen.....	113

3.7	Lyssvækkelse	117
3.7.1	Cut-and-Cover	117
3.7.1.1	Lysdæmpning i Svanemøllebugten med erstatningshavn ved Prøvestenen	118
3.7.1.2	Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	119
3.7.2	Sænketunnel.....	120
3.7.2.1	Uden erstatningshavne i Svanemøllebugten.....	120
3.7.2.2	Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	121
3.7.3	Lyssvækkelse ved Prøvestenen med erstatningshavn Lille	123
3.7.4	Lyssvækkelse ved Prøvestenen med erstatningshavn Stor.....	125
3.8	Spredning af miljøfremmede stoffer ved afgravning af havneslam	126
3.8.1	Cut-and-cover	129
3.8.1.1	Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten.....	129
3.8.1.2	Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	132
3.8.2	Sænketunnel og miljøfremmede stoffer.....	135
3.8.2.1	Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten.....	135
3.8.2.2	Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	138
4	Permanente påvirkninger	142
4.1	Opholdstid i den permanente situation	142
4.2	Temperaturforhold i den permanente situation.....	144
4.3	Salinitet i den permanente situation.....	146
4.4	Badevandskvalitet i den permanente situation	147
4.5	Vandkvalitet i den permanente situation.....	149
5	Diskussion	156
6	Referencer.....	161

FIGURER

Figur 1-1	Principskitse for Nordhavnstunnelens planlagte linjeføring gennem Svanemøllehavn og Kalkbrænderihavn. Den orange farve viser arbejdsområdet for Nordhavnstunnelen. Se også figur 3-74.	1
Figur 2-1	Nuværende og 2 af de foreslået erstatningsmarine, Svaneknoppen Stor (midten, 1500 pladser) og Svaneknoppen Lille (højre, 600 pladser).....	3
Figur 2-2	Erstatningshavnene placeret på selve Nordhavnsområdet, Færgehavn Nord (venstre, 600 pladser) og Nordhavn Nord (højre, 1500 pladser).....	3
Figur 2-3	Kombineret havne- og graveplan for Lille prøvesten (lyseblåt, gult og lilla område) og Stor Prøvesten (samme som Lille plus det grønne område).....	4
Figur 2-4	Udledningpunkter for overløbs- og regnvand i modelområdet, samt zoom af Svanemøllebugten og havnen med dens udledningpunkter.	8
Figur 2-5	Oversigt over regnvandsbetingede udledninger fra Københavns Kommune, juni-september 2011. (CF016 = Nordhavn Nord udløb og CF018 = Tuborg Havn udløb)	9
Figur 2-6	Oversigt over regnvandsbetingede udledninger fra Lynetten og fra Gentofte kommune, juni-september 2011.	10
Figur 2-7	Oversigt over regnvandsbetingede udledninger fra Gentofte Kommune, juni-september 2011.	11
Figur 2-8	Svanemølleværkets kølevandsindtag. Opstalt.	12
Figur 2-9	Svanemølleværkets kølevandsindtag. Plantegning.....	13
Figur 3-1	Tre måneders middelsalinitet ved havoverflade (øverst) og bund (nederst) for eksisterende forhold.	15
Figur 3-2	Tre måneders middeltemperatur ved havoverflade (øverst) og bund (nederst) for eksisterende forhold.	16
Figur 3-3	Akkumuleret varighed af perioder med vandtemperaturer over 20 °C.....	17

Figur 3-4	Kort over Kalkbrænderi/Svanemøllehavnen med angivelse af de tre punkter, hvor der udledes sporstoffer for at beregne opholdstider i havnen (Google Earth).....	18
Figur 3-5	Sporstoffortynding af det udlagte initialfelt til t = 0 timer, t = 12 timer, t = 24 timer og t = 48 timer ved henholdsvis overflade og bund.	19
Figur 3-6	Tidslig udvikling af sporstofkoncentrationen fra initialfeltsanalysen.	20
Figur 3-7	Sporstoffortyndingen for de tre punktudledning.	20
Figur 3-8	Referencetilstand: Antal timer i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer), hvor enten kriteriet for E. coli eller Enterokokker er overskredet.	22
Figur 3-9	Middel-koncentrationen af ilt i mg/l i bundlaget over perioden 15. juni – 15. september.....	23
Figur 3-10	Total N i mg/l. Gennemsnittet af middelkoncentrationen i hele vandsøjlen, 15. juni – 15. september.	23
Figur 3-11	Total P i mg/l. Gennemsnittet af middelkoncentrationen i hele vandsøjlen, 15. juni – 15. september.	24
Figur 3-12	Differensplots for in-situ tunnel uden etapeopdeling : Ændringer i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer) i varighed i timer med en temperatur på over 20 °C for: erstatningshavn ved Prøvestenen (øverst), Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i kombination (næstøverst), Nordhavn Nord (næstnederst) og Svaneknoppen Stor (nederst).	26
Figur 3-13	Differensplots for in-situ tunnel uden etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Temperaturændringer af 3-måneders middeltemperatur ved lukket havn for: erstatningshavn ved Prøvestenen (øverst), Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i kombination (næstøverst), Nordhavn Nord (næstnederst) og Svaneknoppen Stor (nederst).	27
Figur 3-14	Differensplots for in-situ tunnel uden etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Ændringer i middelsaliniteten for 3 måneders perioden for: erstatningshavn ved Prøvestenen (øverst), Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i kombination (næstøverst), Nordhavn Nord (næstnederst) og Svaneknoppen Stor (nederst).	29
Figur 3-15	Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.	31
Figur 3-16	Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling og kombi erstatningshavn Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.	32
Figur 3-17	Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling og med erstatningshavn Nordhavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.	33
Figur 3-18	Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling og erstatningshavn Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.	34
Figur 3-19	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	35
Figur 3-20	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	36
Figur 3-21	Lukket havn. Tidsserier for to punkter inde i havnen og et uden for havnen for ilt i bundlaget, for vertikal middel for hhv. Total-N og Total-P i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	37

Figur 3-22	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling . Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).....	38
Figur 3-23	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling og med etablering af kombi løsningen med Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	39
Figur 3-24	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling , samt kombi løsning med Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	40
Figur 3-25	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling , samt kombi løsning med Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	41
Figur 3-26	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling og med etablering af Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	42
Figur 3-27	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling , samt etablering af Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	43
Figur 3-28	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling , samt etablering af Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	44
Figur 3-29	Sammenligning af vandstand i Svanemøllehavnen for eksisterende forhold (reference) og ved lukning af havnen (uden etapeopdeling), når der pumpes med en konstant rate på 36 l/s.	45
Figur 3-30	Tilløbshydrografen til den lukkede del af havnen og sammensat af bidrag fra CFO16, UØ14.1, UØ15 og UØ17.	46
Figur 3-31	Tilløbshydrografen til den lukkede del af havnen og sammensat af bidrag fra CFO16, UØ14.1, UØ15 og UØ17 for perioden 2000-2014.	46
Figur 3-32	Placering af pumpe ind og udløb. IOR: Recirkulationsvandsindtag ved overflade, UOR: Recirkulationvandsudløb ved overflade, IOO: Indtag af overskudsvand ved overflade, UOO: Udløb af overskudsvand ved overflade, UBR: Recirkulationsudløb ved bund og IBR: Recirkulationsvandindtag ved bund.	47
Figur 3-33	Modellerede vandtemperaturer i kote -2,5 m ved kølevandsindtaget i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m ³ /s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m ³ /s.	47
Figur 3-34	Modellerede vandtemperaturer i kote -0,5 m ved kølevandsudløbet i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m ³ /s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m ³ /s.	48
Figur 3-35	Modelleret salinitet i kote -2,5 m ved kølevandsindtaget i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m ³ /s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m ³ /s.	48
Figur 3-36	Modelleret salinitet i kote -0,5 m ved kølevandsudløbet i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af	

	overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m ³ /s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m ³ /s.	49
Figur 3-37	Temperatur: 3-måneders middeltemperatur i overfladelag uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	50
Figur 3-38	Temperatur: 3-måneders middeltemperatur i bundlag uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	51
Figur 3-39	Temperatur: Ændring i 3-måneders middeltemperatur i overfladelag uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	52
Figur 3-40	Temperatur: Ændring i 3-måneders middeltemperatur i bundlaget uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenarie 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenarie 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	53
Figur 3-41	Temperatur: Varighed af tid, hvor temperaturen i overfladelaget er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk ændret farveskala for afværgescenariet 2!	54
Figur 3-42	Temperatur: Varighed af tid, hvor temperaturen i bundlag er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk den ændrede farveskala for afværgescenariet 2!	55
Figur 3-43	Temperatur: Ændring i varighed af tid, hvor temperaturen i overfladelag er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk den ændrede farveskala for afværgescenariet 2!	56
Figur 3-44	Temperatur: Ændring i varighed af tid, hvor temperaturen i bundlag er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk den ændrede farveskala for afværgescenariet 2!	57
Figur 3-45	Salinitet: 3-måneders middelsalinitet i overfladelag uden afværgeforanstaltning (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	58
Figur 3-46	Salinitet: 3-måneders middelsalinitet i bundlag uden afværgeforanstaltning (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	59
Figur 3-47	Salinitet: Ændring i 3-måneders middelsalinitet i overfladelag uden afværgeforanstaltning (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	60
Figur 3-48	Salinitet: Ændring i 3-måneders middelsalinitet i bundlag uden afværgeforanstaltning (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m ³ /s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m ³ /s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).	61
Figur 3-49	Ændring i opholdstider i den etape-opdelte byggeproces, hvor der er indsnævret sejløb og tærskel under sejløbet, uden erstatningshavn . Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er ændringerne ved indskrænket dybde og indsejling.	63
Figur 3-50	Ændring i opholdstider i den etape-opdelte byggeproces, hvor der er indskrænket sejløb og tærskel under sejløbet og med erstatningshavnen Svaneknoppen Lille . Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er ændringerne ved indskrænket dybde og indsejling.	64
Figur 3-51	Ændring i opholdstider i den etape-opdelte byggeproces, hvor der er indskrænket sejløb og tærskel under sejløbet og med erstatningshavnen Færgen Nord . Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er ændringerne ved indskrænket dybde og indsejling.	66

Figur 3-52	3-månededers middeltemperatur referencetilstand med erstatningshavn ved Prøvestenen og indsnævret indsejling og tærskel. Øverst fra toplaget, nederst fra bundlaget i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).....	67
Figur 3-53	Differensplots mellem referencetilstand og scenarier: Ændringer i varighed i timer med en temperatur på over 20 °C ved etapeopdelt udførelse af havnetunnel. Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Midt: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. Nederst: Erstatningshavn Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).....	68
Figur 3-54	Differensplots mellem referencetilstand og scenarier: Temperaturændringer af 3-måneders middeltemperatur ved etapeopdelt udførelse af havnetunnel. Øverst: erstatningshavn Prøvestenen. Midt: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. Nederst: Erstatningshavn Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).....	69
Figur 3-55	Differensplots mellem referencetilstand og scenarier: Ændringer i 3-måneders middel salinitet ved etapeopdelt udførelse af havnetunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Referencetilstand øverst. Midt: Svaneknoppen Lille, nederst Færgehavn Nord.	70
Figur 3-56	Ændringer i antal timer med overskridelse af badevandskriterierne mellem den eksisterende situation (øverst) og in-situ-tunnel med etapeopdeling (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.	71
Figur 3-57	Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og erstatningshavn Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.....	72
Figur 3-58	Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og erstatningshavn Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.....	73
Figur 3-59	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	74
Figur 3-60	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	75
Figur 3-61	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	76
Figur 3-62	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	77
Figur 3-63	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	78
Figur 3-64	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	79
Figur 3-65	Differensplots mellem referencetilstand og scenarier i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Temperaturændringer af 3-måneders middeltemperatur ved udførelses med sænkettunnelløsning . Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Nederst: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	80
Figur 3-66	Differensplots mellem referencetilstand og scenarier i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Ændringer i varighed i timer med en temperatur på over 20 °C ved	

	udførelses med sænketunnelløsning . Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Nederst: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	81
Figur 3-67	Differensplots mellem referencetilstand og scenarier i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Ændringer i 3-måneders middel salinitet ved udførelses med sænketunnelløsning . Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Nederst: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.....	82
Figur 3-68	Badevandskvalitet: Sænketunnelløsning uden erstatningshavn i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.	83
Figur 3-69	Badevandskvalitet: Sænketunnelløsning med erstatningshavn Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.....	84
Figur 3-70	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af sænketunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	85
Figur 3-71	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af sænketunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	86
Figur 3-72	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af sænketunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	87
Figur 3-73	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af sænketunnel og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	88
Figur 3-74	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af sænketunnel og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.....	89
Figur 3-75	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af sænketunnel og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.....	90
Figur 3-76	Gravearbejder og mængder som udføres vådt.....	91
Figur 3-77	Havnesediment: Gravespild i form af lerpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af Cut-and-Cover graveperioden.	92
Figur 3-78	Havnesediment: Gravespild i form af siltpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af Cut-and-Cover graveperioden.	93
Figur 3-79	Havnesediment: Sum af finkornet gravespild frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af cut-and-cover graveperioden.	93
Figur 3-80	Estimeret sedimentaflejring i kg/m ² forårsaget af cut-and-cover gravearbejdet i havneslam.....	94
Figur 3-81	Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m ³	94
Figur 3-82	Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l	95
Figur 3-83	Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l	95
Figur 3-84	Estimeret sedimentaflejring forårsaget af cut-and-cover havneslam gravearbejdet, samt etablering af Svaneknoppen Lille.....	96
Figur 3-85	Estimerede aflejringstykkelser for cut-and-cover gravearbejdet med havneslam, under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m ³ , samt etablering af Svaneknoppen Lille	96
Figur 3-86	Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l , samt etablering af Svaneknoppen Lille	97

Figur 3-87	Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l , samt etablering af Svaneknoppen Lille .	97
Figur 3-88	Gravearbejder og mængder som udføres vådt ved sænketunnelløsningen.	98
Figur 3-89	Sænketunnel: Gravespild i form af lerpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.	100
Figur 3-90	Sænketunnel: Gravespild i form af siltpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.	100
Figur 3-91	Sænketunnel: Sum af finkornet gravespild frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af graveperioden.	100
Figur 3-92	Sænketunnel: Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m ³ .	101
Figur 3-93	Sænketunnel: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l .	101
Figur 3-94	Sænketunnel: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i overfladelaget er større end 2 mg/l .	102
Figur 3-95	Sænketunnel: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved havbunden er større end 2 mg/l .	102
Figur 3-96	Sænketunnel: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l .	103
Figur 3-97	Sænketunnel: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i overfladelaget er større end 10 mg/l .	103
Figur 3-98	Sænketunnel: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved havbunden er større end 10 mg/l .	104
Figur 3-99	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m ³ .	104
Figur 3-100	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l .	105
Figur 3-101	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i overfladelaget er større end 2 mg/l .	105
Figur 3-102	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved havbunden er større end 2 mg/l .	106
Figur 3-103	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l .	106
Figur 3-104	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i overfladelaget er større end 10 mg/l .	107
Figur 3-105	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved havbunden er større end 10 mg/l .	107
Figur 3-106	Graveplan for erstatningshavn Lille ved Prøvestenen.	108
Figur 3-107	Gravespild i form af lerpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.	109
Figur 3-108	Gravespild i form af siltpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.	109
Figur 3-109	Sum af finkornet gravespild frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af graveperioden.	110
Figur 3-110	Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen: Estimeret sedimentaflejring i kg/m ² fra gravespildet.	110
Figur 3-111	Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen: Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m ³ .	111
Figur 3-112	Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen: Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l .	111
Figur 3-113	Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen: Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l .	112
Figur 3-114	Graveplan for erstatningshavn Stor ved Prøvestenen.	113
Figur 3-115	Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Gravespild af lerpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.	114
Figur 3-116	Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Gravespild af siltpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.	115
Figur 3-117	Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Sum af finkornet gravespild frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af graveperioden.	115

Figur 3-118	Erstatningshavn Stor ved Prøvesten: Estimeret sedimentaflejring i kg/m ² fra gravespildet.....	116
Figur 3-119	Erstatningshavn Stor ved Prøvesten: Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m ³	116
Figur 3-120	Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l	116
Figur 3-121	Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l	117
Figur 3-122	Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen for modelleringsperioden på 14 dage (uden gravearbejde).....	118
Figur 3-123	Lysdæmpning ved bunden og erstatningshavn uden for Svanemøllebugten: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde	119
Figur 3-124	Lysdæmpning ved bunden og havn ved Prøvestenen: Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.	119
Figur 3-125	Lysdæmpning ved bunden og Svaneknoppen Lille: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde.	120
Figur 3-126	Lysdæmpning ved bunden og Svaneknoppen Lille: Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.	120
Figur 3-127	Sænketunnel og erstatningshavn uden for Svanemøllebugten: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde.	121
Figur 3-128	Sænketunnel og erstatningshavn uden for Svanemøllebugten: Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.	121
Figur 3-129	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde.	122
Figur 3-130	Sænketunnel og Svaneknoppen Lille: Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.	122
Figur 3-131	Prøvestenen: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen for modelleringsperioden uden gravearbejde	123
Figur 3-132	Prøvestenen: Erstatningshavn Lille: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde	124
Figur 3-133	Prøvestenen, Erstatningshavn Lille: Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.	124
Figur 3-134	Prøvestenen: Erstatningshavn Stor: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde	125
Figur 3-135	Prøvestenen, Erstatningshavn Stor: Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.	126
Figur 3-136	Prøvetagningspositioner i øvre sedimentlag.....	127
Figur 3-137	Spredning og aflejring af kobber, kviksløv og TBT bundet til cut-and-cover gravespildet. Erstatningshavn ved Prøvestenen. OBS: Ikke-lineære farveskalaer	130
Figur 3-138	Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksløv og TBT frigivet fra cut-and-cover gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. Erstatningshavn ved Prøvestenen. OBS: Ikke-lineær farveskala	131
Figur 3-139	Spredning og aflejring af kobber, kviksløv og TBT bundet til cut-and-cover gravespildet. Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. OBS: Ikke-lineære farveskalaer	133
Figur 3-140	Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksløv og TBT frigivet fra cut-and-cover gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. OBS: Ikke-lineær farveskala	134
Figur 3-141	Spredning og aflejring af kobber, kviksløv og TBT bundet til sænketunnel gravespildet. Erstatningshavn ved Prøvestenen. OBS: Ikke-lineære farveskalaer	136

Figur 3-142	Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksølv og TBT frigivet fra gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. Erstatningshavn ved Prøvestenen . OBS: Ikke-lineær farveskala.	137
Figur 3-143	Spredning og aflejring af kobber, kviksølv og TBT bundet til sænketunnel gravespildet. Erstatningshavn Svaneknoppen Lille . OBS: Ikke-lineære farveskalaer.	139
Figur 3-144	Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksølv og TBT frigivet fra gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. Erstatningshavn Svaneknoppen Lille . OBS: Ikke-lineær farveskala.	140
Figur 4-1	Ændring i opholdstider i den permanente situation, her med en tærskel . Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er i den permanente situation. ...	143
Figur 4-2	Ændring i opholdstider i den permanente situation, her med en tærskel og opfyldning . Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er i den permanente situation.	144
Figur 4-3	Differensplots: Ændringer i varighed i timer med en temperatur på over 20 °C for: tunneltærskel i kote -3,5 m hen over Kalkbrænderiløbet (øverst) og opfyld af Kalkbrænderiløbet syd for tunnelen til kote -3,5 m (nederst).	145
Figur 4-4	Differensplots: Ændringer i temperatur midlet over tre måneder for: tunneltærskel i kote -3,5 m hen over Kalkbrænderiløbet (øverst) og opfyld af Kalkbrænderiløbet syd for tunnelen til kote -3,5 m (nederst).	146
Figur 4-5	Differensplots: Ændringer i salinitet midlet over tre måneder for: tunneltærskel i kote -3,5 m henover Kalkbrænderiløbet (øverst) og opfyld af Kalkbrænderiløbet syd for tunnelen til kote -3,5 m (nederst).	147
Figur 4-6	Badevandskvalitet med tærskel . Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.	148
Figur 4-7	Badevandskvalitet med tærskel og opfyld af Kalkbrænderihavnen til kote -3,5 m. Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.	149
Figur 4-8	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget i den permanente tilstand med en tærskel på kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	150
Figur 4-9	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) i den permanente tilstand med en tærskel på kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	151
Figur 4-10	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) i den permanente tilstand med en tærskel på kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	152
Figur 4-11	Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget i den permanente tilstand med en tærskel, samt opfyldning af havnen til kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	153
Figur 4-12	Ændringer i Total-N koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) i den permanente tilstand med en tærskel, samt opfyldning af havnen til kote -3,5 m, samt. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	154
Figur 4-13	Ændringer i Total-P koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) i den permanente tilstand med en tærskel, samt opfyldning af havnen til kote -3,5 m, samt. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.	155
Figur C-6-1	Modelbatymetri for Københavns Havn modellen.	1
Figur C-6-2	Sammenligning af målte og simulerede vandstande for Københavns Havn.	2
Figur C-6-3	Målestationer for salt og temperatur.	3
Figur C-6-4	Sammenligning af modelleret vandtemperatur og historisk måletidsserie for station KBK 3005. Lyserøde punkter er profilmålinger, de fem kontinuerlige kurver er temperaturen udtrukket fra de fem lag i vertikal retning i modellen.	3
Figur C-6-5	Sammenligning af modelleret vandtemperatur og historisk måletidsserie for station KBK 3002. Modellerede vandtemperaturer er flyttet fra 2011 til 2007. Lyserøde punkter er målinger, de fem kontinuerlige kurver er temperaturen udtrukket fra de fem lag i modellen.	4

Figur C-6-6	Sammenligning af modelleret salinitet og historisk måletidsserie for station KBK 3005. Lyserøde punkter er målinger, de fem kontinuerte kurver er saliniteten udtrukket fra de fem lag i modellen.	5
Figur C-6-7	Sammenligning af modelleret salinitet og historisk måletidsserie for station KBK 3002. Modellerede salinitet er flyttet fra 2011 til 2007. Lyserøde punkter er målinger, de fem kontinuerte kurver er saliniteten udtrukket fra de fem lag i modellen.	6
Figur C-6-8	Dispersionsfaktorens betydning for fortynding af et udlagt sporstof i Svanemøllehavnen.	7
Figur C-6-9	Ændring i salinitet (3-måneders middel) ved overflade efter bygning af havnetunnelen. Øverst: VD = 0,1. Nederst VD = 0,0001.	8
Figur C-6-10	Ændring i salinitet (3-måneders middel) ved bund efter bygning af havnetunnelen. Øverst: VD = 0,1. Nederst VD = 0,0001.	9
Figur C-6-11	Nordhavn kalibreringsdata for ilt (DO) ved overfladen og sigtdybde (SD). Den stiplede røde kurve angiver den gennemsnitlige sæsonvariation for perioden 1996-2006, som modellen er kalibreret imod.	13
Figur C-6-12	Nordhavn kalibreringsdata for NH ₄ , klorofyl og NO _x ved overfladen. Den stiplede røde kurve angiver den gennemsnitlige sæsonvariation for perioden 1996-2006, som modellen er kalibreret imod.	14
Figur C-6-13	Nordhavn kalibreringsdata for PO ₄ , Total-N og Total-P ved overfladen. Den stiplede røde kurve angiver den gennemsnitlige sæsonvariation for perioden 1996-2006, som modellen er kalibreret imod.	15
Figur C-6-14	Nordhavn: Modelkalibrering for NH ₄ , klorofyl, NO ₂ -NO ₃ , C og Total-N. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.	16
Figur C-6-15	Nordhavn: Modelkalibrering for PO ₄ , ilt, Total-P og sigtdybde. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.	17
Figur C-6-16	Svanemøllebugten: Modelkalibrering for NH ₃ , klorofyl, NO ₂ -NO ₃ , C og Total-N. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.	18
Figur C-6-17	Svanemøllebugten: Modelkalibrering for PO ₄ , ilt, Total-P og sigtdybde. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.	19
Figur C-6-18	Øresund: Modelkalibrering for NH ₃ , klorofyl, NO ₂ -NO ₃ , C og Total-N. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.	20
Figur C-6-19	Øresund: Modelkalibrering for PO ₄ , ilt, Total-P og sigtdybde. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.	21

TABELLER

Tabel 2-1	Reference modeloversigt.	5
Tabel 2-2	Scenarie oversigt for in-situ tunnel uden etapeopdeling. A: anlægsfase.	5
Tabel 2-3	Scenarieoversigt for in-situ tunnel med etapeopdeling. A: anlægsfase.	6
Tabel 2-4	Scenarie med væsentlig sedimentspredning. Faserne er inddelt i: R: reference, A: anlægsfase.	6
Tabel 2-5	Scenarier med sedimentspredning og lysdæmpning.	6
Tabel 2-6	Scenarier med permanente påvirkninger. P = Permanent.	7
Tabel 2-7	Belastningstal fra regnvandsbetingede kilder i modelområdet. Alle tal er i mg/l.	12
Tabel 2-8	Bakteriologiske koncentrationer i forskellige spildevandskilder.	13
Tabel 2-9	Badevandskriterier, baseret på EU's badevandsdirektiv (Direktiv 2006/7/EC).	14
Tabel 2-10	Beregning af henfald for <i>E. coli</i>	14
Tabel 3-1	Beregnete opholdstider angivet i timer for den samlede mængde sporstof.	20
Tabel 3-2	Beregnete opholdstider (dT) i de tre punktudledning.	21
Tabel 3-3	Opholdstid (dT) for referencetilstanden (nuværende forhold) 15. juni-15. september 2011. Værdier angivet i timer.	21
Tabel 3-4	Akkumuleret varighed af perioder med vandtemperaturer over 20 °C i kote -2,5 m ved kølevandsindtag.	48
Tabel 3-5	Erstatningshavn ved Prøvestenen, indsnævret indsejlingsbredde og tunneltærskel. Referencetilstandens opholdstider angivet i parentes for hver gruppe.	62

Tabel 3-6	Svaneknoppen Lille, plus tunneltærskel. Referencetilstandens opholdstider angivet i parentes for hver gruppe.	64
Tabel 3-7	Færgehavn Nord Marina, plus tærskel. Referencetilstandens opholdstider angivet i parentes for hver gruppe.	65
Tabel 3-8	Rumvægt og sammensætning af havneslam materiale.	91
Tabel 3-9	Overordnet spildbudget for cut-and-cover løsningen.	92
Tabel 3-10	Tørdensitet og sammensætning for sænketunnelløsningen.	98
Tabel 3-11	Overordnet spildbudget for sænketunnelløsningen.	99
Tabel 3-12	Tørdensitet og sammensætning.	108
Tabel 3-13	Spildbudget for uddybningsarbejdet.	109
Tabel 3-14	Tørdensitet og sammensætning.	113
Tabel 3-15	Spildbudget.	114
Tabel 3-16	Indhold af miljøfremmede stoffer i prøver fra det øvre sedimentlag, samt om indhold i prøverne overstiger øverste aktionsniveau jfr. Klapvejledningen /10/.	127
Tabel 3-17	Frigivelsesrater for en række tungmetaller fundet på baggrund af eluatationsforsøg. Værdierne er angivet som procenter af den initiale metalmasse i sedimentprøverne.	128
Tabel 3-18	Korttidskvalitetskrav og aktionsniveauer for udledning af forurenende stoffer til det marine miljø /9/ /10/.	128
Tabel 3-19	Oversigt over belastning med kobber, kviksølv og TBT ud fra simuleringerne. Belastningen/m ² refererer til minimum og maksimum belastningen uden for havnen. Værdier givet med parentes under de tre stoffer refererer til nedre og øvre aktionsniveau. Grøn markering angiver overholdelse af kriterier, rød angiver overskridelser.	141
Tabel 4-1	Opholdstider i den permanente situation med tærskel . Referencetilstandens opholdstider er angivet i parentes.	142
Tabel 4-2	Opholdstider i den permanente situation med tærskel og opfyldning af Kalkbrænderiløbet. Referencetilstandens opholdstider er angivet i parentes.	143
Tabel 5-1	Referencetilstand og In-situ tunnel uden etapeopdeling i byggefasen.	156
Tabel 5-2	Oversigt over effekter ved anlæggelse af Nordhavnstunnelen med en etapeopdelt metode.	157
Tabel 5-3	Oversigt over påvirkninger ved anlæggelse af en sænketunnel.	158
Tabel 5-4	Oversigt over påvirkninger fra gravearbejde i relation til miljøfremmede stoffer i Svanemøllebugten.	158
Tabel 5-5	Oversigt over påvirkningerne i den permanente situation.	159
Tabel 5-6	Oversigt over påvirkninger fra gravearbejde i relation til sedimentspredning og lysdæmpning ved Prøvestenen.	159
Tabel C-6-1	Parametre og processer i "DHI Eutrophication Model 2", /7/.	10
Tabel C-6-2	Oversigt over kalibreringsstationer, -periode og -parametre for de 4 områder.	12

BILAG

BILAG A – Udledninger

Regnvandsbetingede udledninger 2011

BILAG B – Resultater

Supplerende resultater

BILAG C – Modelkalibrering

1 Introduktion

I 2015 blev DHI kontaktet af Vejdirektoratet og bedt om at komme med et oplæg til, hvordan man kunne lave hydrauliske og vandkvalitetsmæssige studier i forbindelse med anlæggelse af en tunnel mellem Svanemøllen og Nordhavnsområdet, den såkaldte Nordhavnstunnel. DHI blev anmodet om deltagelse, således at de allerede udviklede modeller for hele havneområdet og Øresund kunne indgå i løsning af opgaven.

På tidspunktet for indgåelse af aftalen med Vejdirektoratet var der fortsat en række uafklarede emner, hvorfor DHIs tilbud blev mere overordnet, og der er siden sket tilpasninger baseret på de valgte metoder til anlæg af tunnelen. Et af hovedproblemerne ved bygning af tunnelen er, at man periodisk helt eller delvist vil afspærre indsejlingen til Svanemølle- og Kalkbrænderihavnen, hvilket vil skabe nogle praktiske og mere fysiske problemer. Der er gennem projektførelsen kommet forslag om at anlægge en midlertidig havn, idet man uanset anlægelsesmetode under anlægsarbejdet vil fjerne eksisterende bådpladser for ca. 600 lystbåde i selve Svanemøllehavnen, og vælger man en løsning, der helt lukker havnen i en periode vil der være behov for at anlægge en stor midlertidig marina, der kan huse samtlige 1500 lystbåde fra hele havneområdet.

Anlægsarbejdet vil med stor sandsynlighed også påvirke vandkvalitets- og badevandsforholdene på Svanemøllestranden, idet bygning af midlertidige marinaer, alt efter hvilken løsning man vælger i selve Svanemøllebugten, vil ændre strømningsmønstret på den eksisterende strand. Tilsvarende vil der ske ændringer i de lokale strømforhold, hvis man bruger området syd for Prøvestenen som anlægsområde for en erstatningsmarina.



Figur 1-1 Principskitse for Nordhavnstunnelens planlagte linjeføring gennem Svanemøllehavn og Kalkbrænderihavn. Den orange farve viser arbejdsområdet for Nordhavnstunnelen. Se også figur 3-74.

2 Metoder og forhold

Valget af scenarier, der skal modelleres, er blevet bestemt af de mange forskellige løsningsmuligheder, der har været foreslået. Der er i princippet to hoved-retninger:

- Havnen holdes delvist åbent under hele anlægsperioden (in-situ med etapeopdeling), eller:
- Havnen afspærres i hele anlægsperioden (in-situ uden etapeopdeling).

Desuden kan etablering af tunnelen også gennemføres med brug af en sænketunnel, som periodisk vil afspærre hele havnen.

Valg af løsninger vil enten udløse behov for at etablere en stor erstatningsmarina for alle både i havnen (1500) eller etablering af en mindre marina (600 pladser), hvis havnen holdes delvist åben. Erstatningsmarinaerne kan placeres enten i selve Svanemøllebugten eller ved Prøvestenen.

Uanset løsning vil der efter etablering være ændringer i havnen, som er blevet vurderet i denne rapport. Når tunnelen er etableret vil den maksimale indsejlingsdybde til havnen være -3,5 m, således at tunnelen vil danne en tærskel ind til havnebassinet. For at kunne genbruge nogle af de materialer, der hhv. afgraves eller bruges til en byggedæmning under anlægsarbejdet er det foreslået, at opfylde sejløbet inde i havnen ind mod Kalkbrænderihavnen til kote -3,5 m. Dette vil medføre en væsentlig ændret vandvolumen i havnen og vil samtidig påvirke Svanemølleværkets nuværende kølevandsindtag, som ligger ned til kote -4 m.

For alle scenarier er der set på opholdstider i havnen for at vurdere ændringer i temperatur og vandkvalitet. Desuden er der i alle scenarier set på ændringer i badevandskvaliteten på den nuværende eller foreslåede nye strand i Svanemøllebugten.

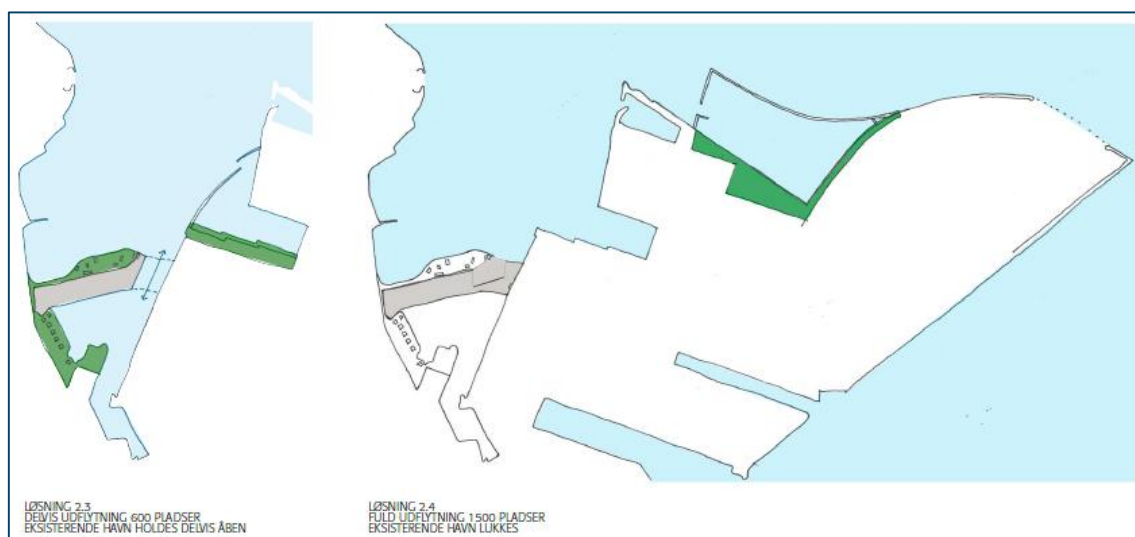
2.1 Erstatningshavne

Som nævnt ovenfor vil arbejdet med anlæggelse af Nordhavnstunnelen medføre, at der skal etableres en erstatningsmarina for de både, der under anlægsarbejdet mister deres pladser. Der er peget på 4 steder i Svanemøllebugten, hvor sådanne havne kan anlægges og placeringerne er vist i nedenstående figurer. Havneløsningerne Svaneknoppen Stor og Nordhavn Nord er store marinaer (1500 pladser), der anlægges, hvis havnen helt afspærres, mens Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord anlægges (600 pladser), hvis der fastholdes en passage ind til havnen under anlægsperioden /1/. Ud over de 4 viste forlag til erstatningshavne er der også tale om at anlægge af erstatningshavne ved Prøvestenen, Lille og Stor. Udformning og placering af disse vil ikke påvirke de hydrauliske forhold i Svanemøllebugten, men vurderes separat, da anlæggelse af disse potentielt kan påvirke forholdene ved Amager Strandpark.

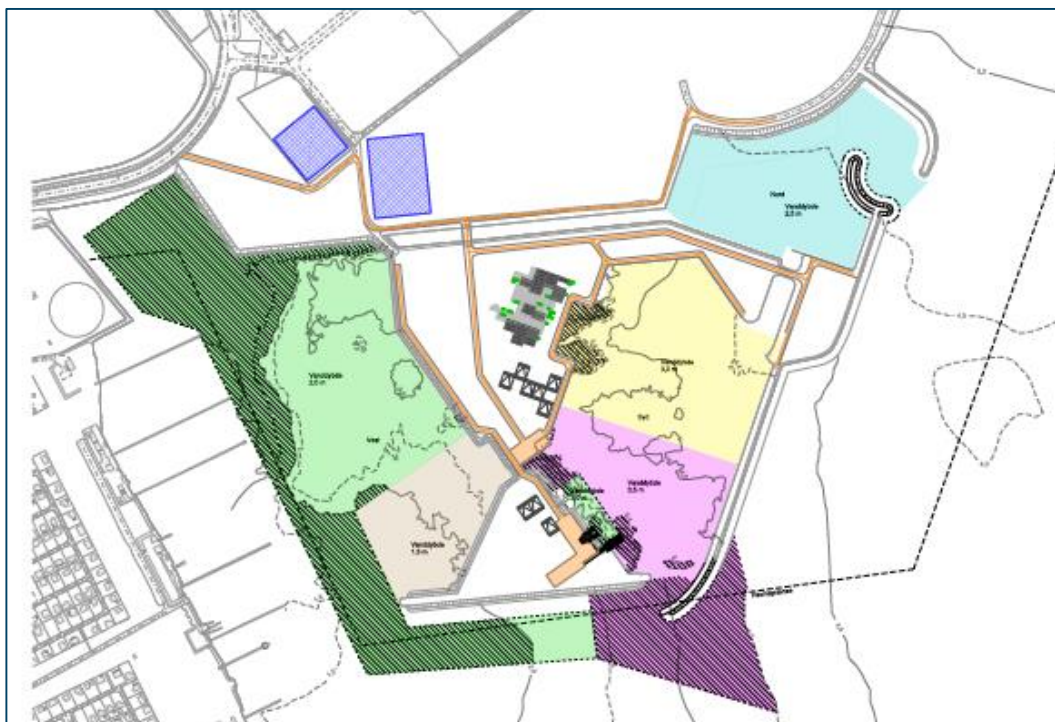
Ud over de 4 foreslåede erstatningshavne i Svanemøllebugten arbejdes der med en hybrid, som kombinerer Færgehavn Nord og Svaneknoppen Lille, svarende til en stor erstatningshavn.



Figur 2-1 Nuværende og 2 af de foreslået erstatningsmariner, Svane knoppen Stor (midten, 1500 pladser) og Svane knoppen Lille (højre, 600 pladser).



Figur 2-2 Erstatningshavnene placeret på selve Nordhavnsområdet, Færgehavn Nord (venstre, 600 pladser) og Nordhavn Nord (højre, 1500 pladser).



Figur 2-3 Kombineret havne- og graveplan for Lille prøvesten (lyseblåt, gult og lilla område) og Stor Prøvesten (samme som Lille plus det grønne område).

2.2 Reference beregning (0-alternativ)

For at skabe et sammenligningsgrundlag har DHI først gennemført en referencemodellering, som beskriver den nuværende tilstand i Svanemøllebugten og inde i havneafsnittene, samt for Prøvestensområdet. Referencetilstanden inkluderer alle de nuværende fysiske strukturer og belastningskilder, idet der dog er taget hensyn til, at en række af overløbskilderne til Københavns Havn inden den forventede anlægsperiode i 2019 vil være bygget om. Det drejer sig primært om de separatkloakeringsprojekter, der gennemføres i området og som vil reducere mængden af spildevand, som ledes til området, men som til gengæld vil blive erstattet af meget store vejvandsmængder, der i fremtiden skal afledes direkte til havnen. Dette vil påvirke forholdene for to områder. I selve Kalkbrænderihavnen vil der blive etableret et udløb ved Svanemølleværket, kaldet Østerbroledningen, og ved grænsen mod Gentofte kommune vil der ligeledes blive etableret en ny vejvandsudledning. Disse nye strukturer er således medtaget i modellens grundlag. Gentofte Kommune/Nordvand forventer også at bygge nye vejvandsledninger, som i lighed med de to fra Københavns Kommune vil udlede meget store vandmængder, men Nordvand har telefonisk oplyst, at disse ikke forventes bygget før efter anlæggelsen af Nordhavnstunnelen. I prøvestensområdet er der også en række regnbetingede udledningspunkter, men de fleste af disse forventes først bygget efter 2019, hvorfor de ikke er medtaget i modellen for det område.

Referencemodellen (1) dækker et helt år og det er valgt at se på 2011, da der foreligger gode modeldata, herunder flere udledninger i både Københavns Kommune og Gentofte Kommune. Da HOFOR har fået lavet et modelstudie af DHI af udledninger i havnen har den analyse medført, at man allerede har været inde og regne på konsekvenser ved anlæggelse af de to nye udledninger, som beskrevet ovenfor. Imidlertid inkluderede arbejdet for HOFOR ikke udledninger fra Gentofte Kommune, men de er med i referencemodellen. Afsnit 2.7.1 angiver de enkelte kilder og den styrke, de indgår med i modellen. Referencemodellen har også inkluderet studier af salt- og temperaturforhold i havnen, da Svanemølleværket har sit kølevandsindtag og udledning placeret i og uden for havnen. Referencemodellen vil således give mulighed for at vurdere ændringer i temperaturen i havnen under de forskellige scenarier.

Ud fra referencemodellen er der udvalgt en 3-måneders periode, 15. juni – 15. september, som så danner baggrund for samtlige scenariekørsler, og som også stort set dækker badesæsonen (0A). Modellen er initieret med en 5-dages opvarmningsperiode før 15. juni.

Tabel 2-1 Reference modeloversigt.

Nr.	Fase	Model	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevands-kvalitet	Sediment og miljøfremmede stoffer	Ilt og næringssalte
0	R	Reference (1 år)	X			X
0A	R	Reference (3 måneder)	X	X		X

2.3 Scenarier

I de efterfølgende afsnit beskrives de forskellige scenarier. For hovedparten af disse er der primært set på ændringer i Svanemøllebugten og ingen af disse vil kunne påvirke forholdene ved Prøvestenen. For bygning af erstatningshavne ved Prøvestenen er der lavet en særskilt afsnit, der udelukkende ser på påvirkninger i det område, idet det samme gør sig gældende, at anlægsaktiviteter ved Prøvestenen ikke påvirker forholdene i Svanemøllebugten.

2.4 Scenarier med in-situ tunnel uden etapeopdeling

Hvis man beslutter at lukke havnen totalt under anlægsfasen, vil dette skabe nogle fysiske og vandkvalitetsmæssige problemer, som belyses i disse scenarier. Såfremt der ikke etableres enten en rørforbindelse mellem den indre havn og Svanemøllebugten eller etableres en pumpestation, vil vandstanden i havnebassinet stige ganske væsentligt, både på grund af nedbør i selve bassinet og på grund af de tilledninger, der er fra hhv. spildevands- og vejvandsudledninger til havnen.

Tabel 2-2 Scenarie oversigt for in-situ tunnel uden etapeopdeling. A: anlægsfase.

Nr.	Fase	Model	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevands-kvalitet	Sediment og miljøfremmede stoffer	Ilt og næringssalte
1	A	In situ tunnel med opfyldning og uden etapeopdeling	X	X	X	X
2	A	In-situ tunnel samt Svaneknoppen Stor	X	X		X
3	A	In situ samt Færgehavn Nord og Svaneknoppen Lille	X	X		X
4	A	In-situ tunnel samt Nordhavn Nord	X	X		

2.5 Scenarier med in-situ tunnel med etapeopdeling

Med anlæggelse af Nordhavnstunnelen vil denne komme til at ligge i en dybde, der gør, at den fremtidige indsejlingsdybde til havnen vil ligge i kote -3,5 m og tunneltraceet vil således danne en tærskel mellem bugten og havnen. Desuden er der som nævnt ovenfor også scenarier, hvor Kalkbrænderiløbet inden for tærsklen fyldes op til kote -3,5 m. Ved etapeopdelingen vil der være en åbning ind til havnen, og der er i scenarierne regnet med en indsejlingsbredde på 50% af den eksisterende. Desuden er alle scenarier regnet med en tærskel med kote -3,5 m, idet dette må anses for "worst case" for vandskifte imellem havnen og Svanemøllebugten.

Tabel 2-3 Scenariooversigt for in-situ tunnel med etapeopdeling. A: anlægsfase.

Nr.	Fase	Model	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevands-kvalitet	Sediment og miljøfremmede stoffer	Ilt og næringssalte
5	A	In situ tunnel med opfyldning med etapeopdeling (Prøvesten-havn)	X	X	X	X
6	A	Med etablering af Svaneknoppen Lille	X	X	X	X
7	A	Med etablering af Færgehavn Nord	X	X		

2.6 Scenarier med væsentlig sedimentspredning

Ved anlæggelse af en sænketunnel vil der blive et spild ved opgravning af tunneltrace, alt efter anlægsmetode. Der er tale om en relativ kort graveperiode på 4,5 måneder. Sedimentspredning vil primært kunne påvirke flora og fauna i Svanemøllebugten, hvor der bl.a. er et større område dækket med Ålegræs.

Tabel 2-4 Scenarie med væsentlig sedimentspredning. Faserne er inddelt i: R: reference, A: anlægsfase.

Nr.	Fase	Model	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevands-kvalitet	Sediment og miljøfremmede stoffer	Ilt og nærings-salte
0A	R	Prøvestensmarina				
8	A	Sedimentspredning ved gravning til sænketunnel			X	
9	A	Sedimentspredning ved gravning til sænketunnel, samt Svaneknoppen Lille			X	

2.7 Scenarier med etablering af erstatningshavne ved Prøvestenen

Det er foreslået, at der kan etableres to typer erstatningshavne ved Prøvestenen, hhv. Lille, som kan rumme ca 600 både og Stor, som kan rumme alle 1500 både. Da der kun er tale om de lokale påvirkninger, og at disse ikke medfører ændringer i udledninger i området, er der kun set på sedimentspredning ved anlæg af havnene, samt hvordan sedimentspredningen påvirker lysets nedtrængning i vandsøjlen (lysdæmpning).

Tabel 2-5 Scenarier med sedimentspredning og lysdæmpning

Nr.	Fase	Model	Sediment	Lysdæmpning
12	A	Prøvestensmarina Stor	X	X
13	A	Prøvestensmarina Lille	X	X

2.8 Scenarier med permanente påvirkninger

Når etableringen af Nordhavnstunnelen er tilendebragt vil der efterfølgende være permanente ændringer af dybdeforholdene i Kalkbrænderihavnen. Der er gennemført scenarieberegninger for to muligheder, der begge indeholder den tærskel, der kommer, når tunnelen er etableret og dens dæklag kommer op i kote -3,5 m:

- Indsejlingsdybden til Kalkbrænderihavnen reduceres til kote -3,5 m hen over tunnel-tærsklen
- Indsejlingsdybden og dybden i hele Kalkbrænderihavnen reduceres til kote -3,5 m, da havnen opfyldes til samme kote.

Tabel 2-6 Scenarier med permanente påvirkninger. P = Permanent

Nr.	Fase	Model	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevands-kvalitet	Sediment og miljøfremmede stoffer	Ilt og næringssalte
10	P	Tunnel etableret og ny indsejlingskote på -3,5 m (tærskel)	X	X		X
11	P	Indsejling og havnebassin med kote -3,5m (tærskel og opfyld)	X	X		X

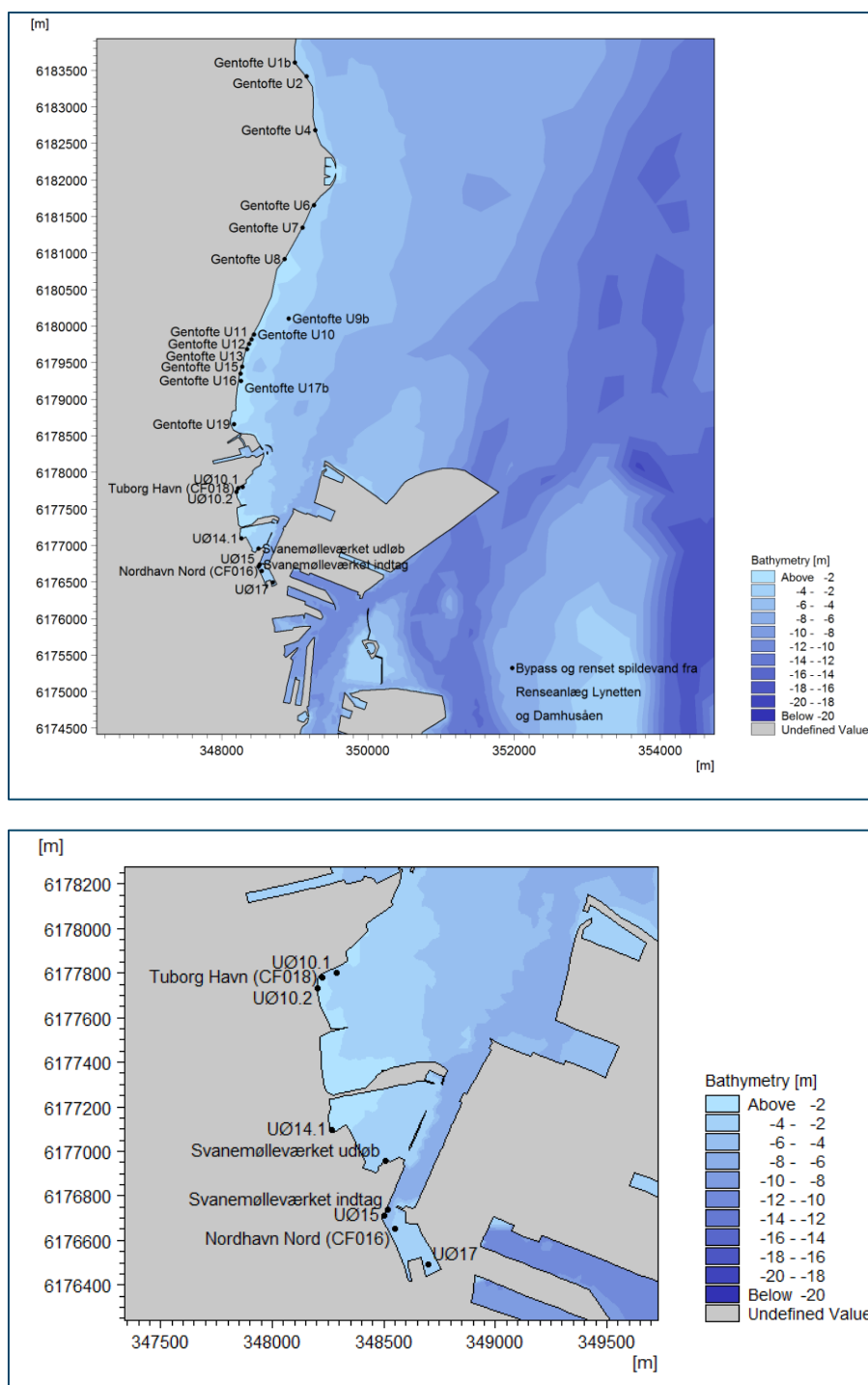
2.9 Data brugt i modellerne

Til studiet er der anvendt en hydrodynamisk 3D model bestående af 15.553 elementer horisontalt x 5 elementer vertikalt. Modelopløsningen varierer spatialt og bliver gradvist grovere længere væk fra fokusområdet. I fokusområdet (Svanemøllehavnen og Kalkbrænderiløbet) er den horisontale opløsning omkring 10 meter. En mere general beskrivelse af modellen kan findes i Bilag C.

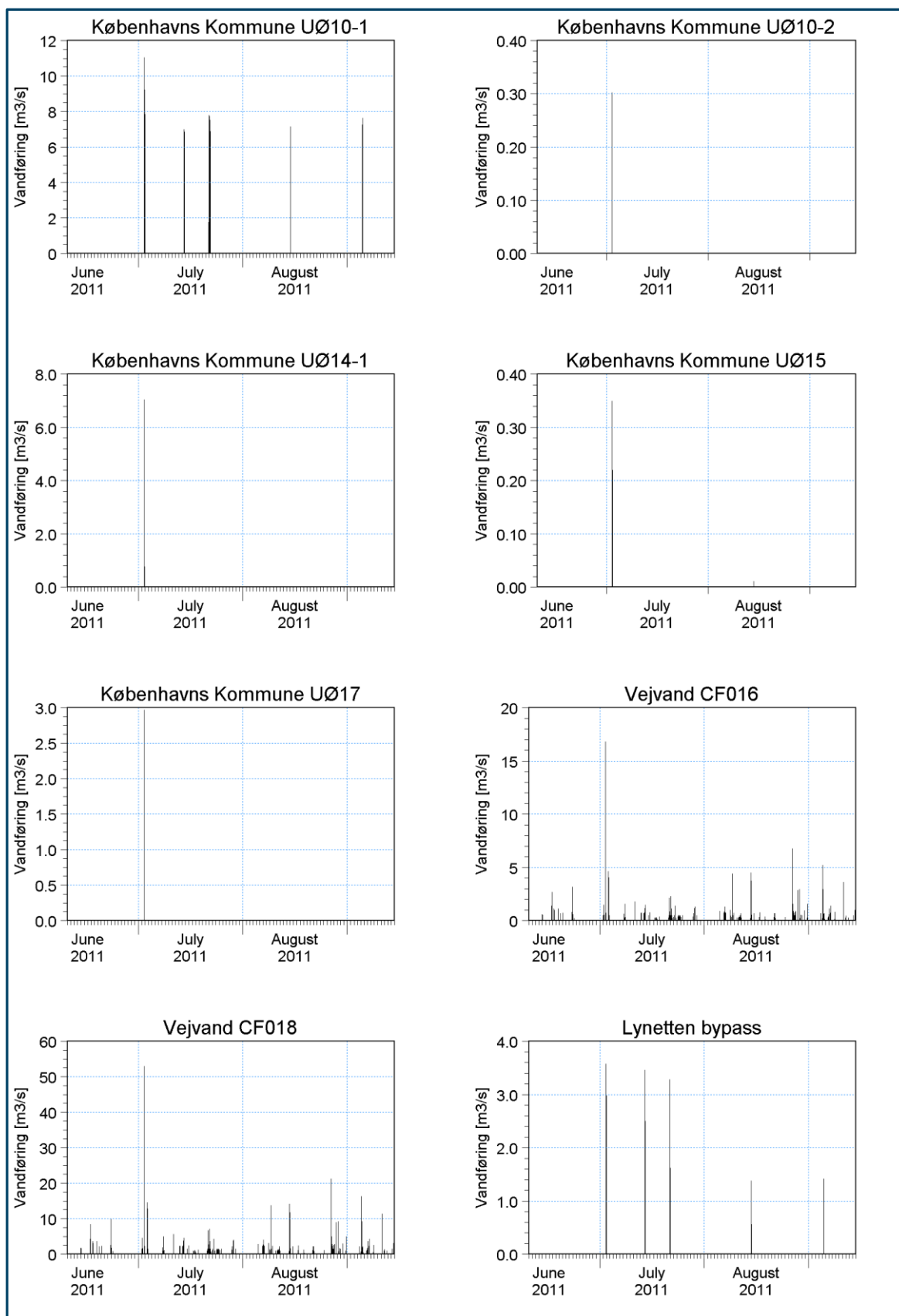
2.9.1 Udledninger fra regnvandsbetingede udløb

Som nævnt er der brugt udledningsdata fra 2011, hvor der for alle udledningspunkter er gode og repræsentative data. Ud fra tidsserierne er der valgt en 3-måneders periode i juni-august som repræsentativ for den periode, hvor DHI har set nærmere på badevands- og vandkvalitetsforholdene.

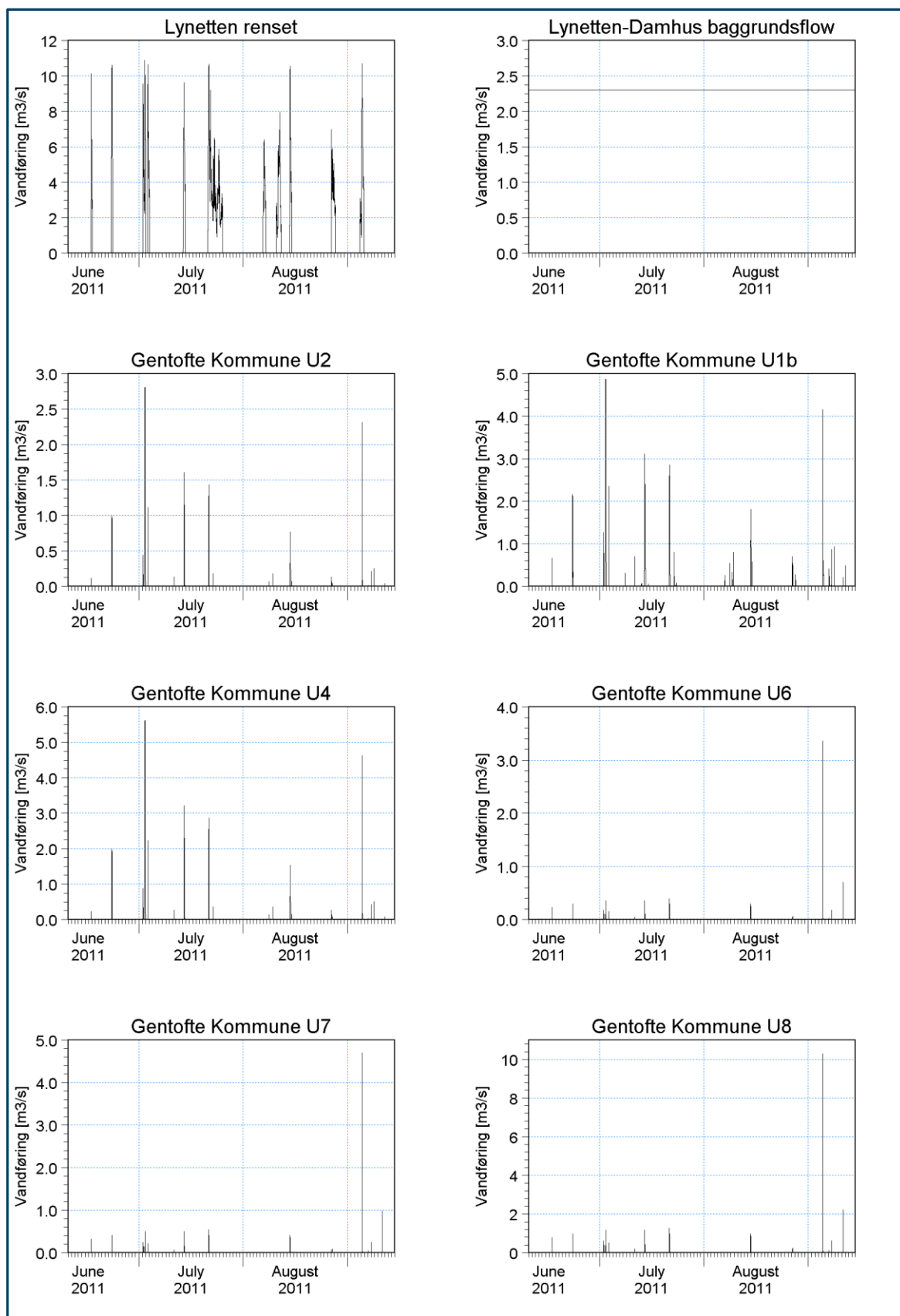
I figurerne herunder ses aflastningsmængderne fra de regnvandsbetingede udledninger til modelområdet for juni-september 2011. Hver delfigur har individuelle skaleringer, idet de varierer fra få litre til 50 m³/sekund. Figurer, der dækker afledninger fra hele 2011 er placeret i Bilag A. For modellering af påvirkninger ved Prøvestenen er regnbetingede udledninger ikke medtaget.



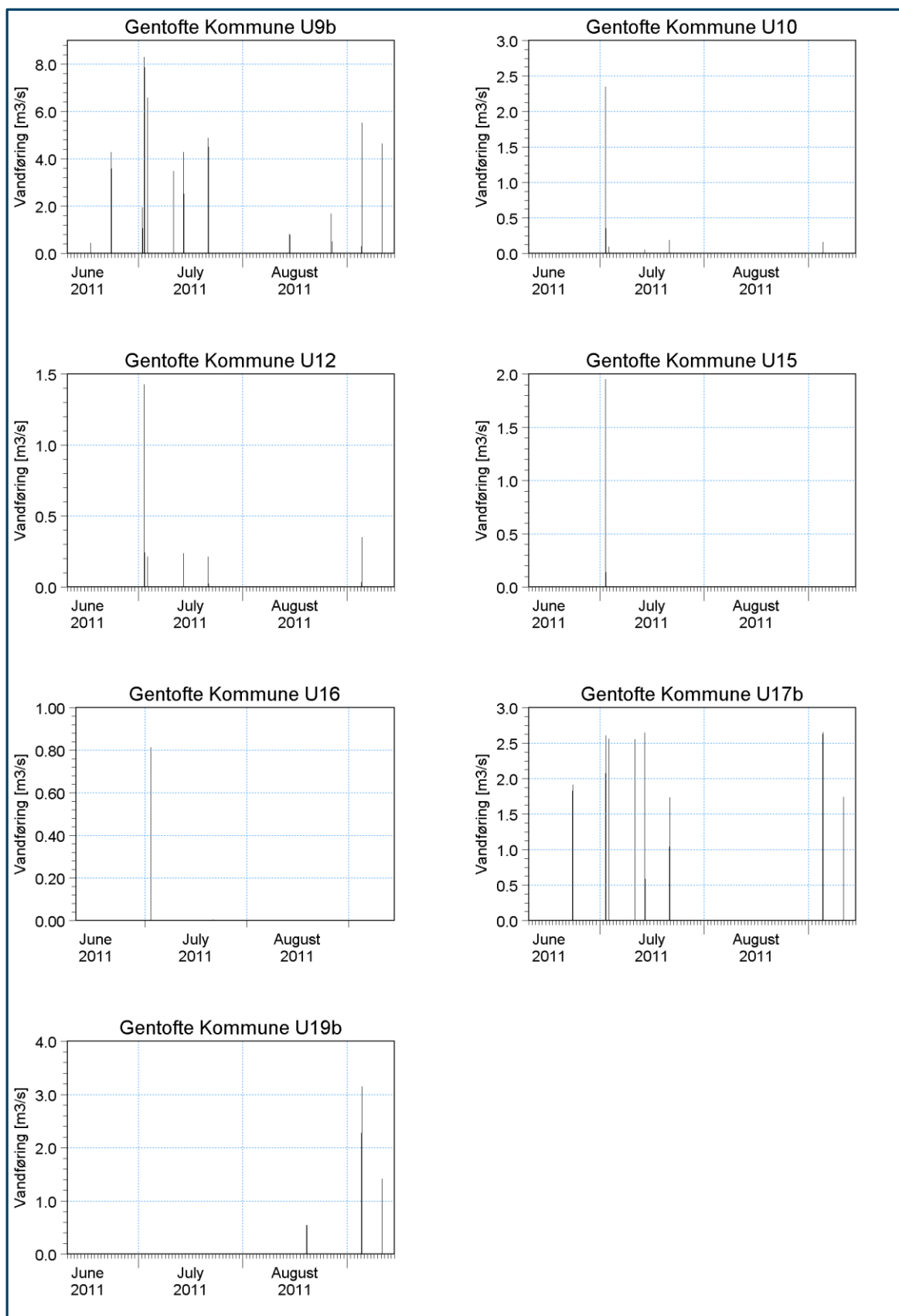
Figur 2-4 Udledningspunkter for overløbs- og regnvand i modelområdet, samt zoom af Svanemøllebugten og havnen med dens udledningspunkter.



Figur 2-5 Oversigt over regnvandsbetingede udløbninger fra Københavns Kommune, juni-september 2011. (CF016 = Nordhavn Nord udløb og CF018 = Tuborg Havn udløb)



Figur 2-6 Oversigt over regnvandsbetingede udledninger fra Lynetten og fra Gentofte kommune, juni-september 2011.



Figur 2-7 Oversigt over regnvandsbetingede udledninger fra Gentofte Kommune, juni-september 2011.

Den belastning, som er brugt til de regnvandsbetingede udledninger, samt fra Lynetten er angivet i nedenstående tabel. Værdierne bygger på erfaringstal fra andre undersøgelser, samt fra litteraturen.

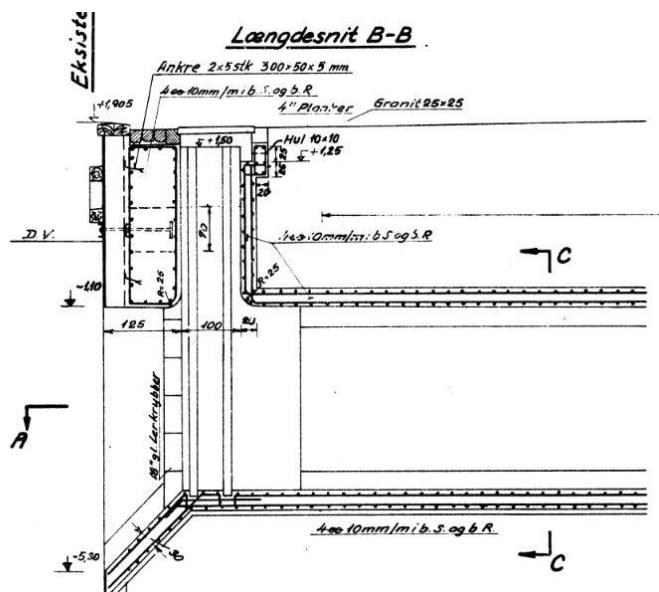
Tabel 2-7 Belastningstal fra regnvandsbetingede kilder i modelområdet. Alle tal er i mg/l.

	Overløb fra fælles- kloakering	Vejvand	Lynetten rensed spildevand
Detritus carbon (DC)	32	4,8	2,7
Detritus kvælstof (DN)	14	1,0	1,0
Detritus fosfor (DP)	1,5	0,23	0,30
Ammonium (NH ₄)	3,0	0,11	1,0
Nitrit og nitrat (NO _x)	0,21	0,62	3,1
Fosfat (PO ₄)	1,0	0,19	1,2
Opløst ilt (DO)	3	8	3
Uorganisk suspenderet stof (SSin)	50	250	5

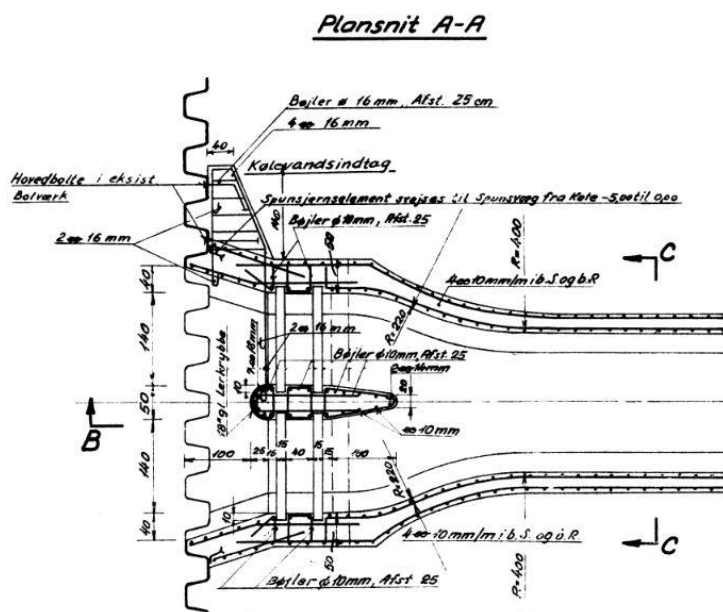
2.9.2 Svanemølleværket – kølevand

Svanemølleværket tager kølevand ind fra Kalkbrænderiløbet og returnerer via en udløbskanal i Svanemøllehavnen. DONG Energy har oplyst, at der med den nuværende drift cirkuleres 1.000 m³/time, som typisk opvarmes med 2 °C ved passagen gennem værket. Centralkøleanlægget er dimensioneret til 6.000 m³/time og en overtemperatur på 5 °C. DONG Energy har oplyst at det kun er nødvendigt at undersøge for den normale driftsfase under anlægsfasen af Nordhavnstunnelen. Anlægget er dimensioneret til en maksimal vandtemperatur på 20 °C. Det vil derfor blive undersøgt i hvor stor en del af tiden denne grænse er overskredet.

En tegning af indtagsværket er vist i Figur 2-9 og Figur 2-9. Indtagsskanalens dimensioner er 2,1 m x 2,9 m (bredde x højde). Bunden er placeret i kote -4,0 m, mens oversiden af indtagsskanalen er i kote -1,1 m.



Figur 2-8 Svanemølleværkets kølevandsindtag. Opstalt.



Figur 2-9 Svanemølleværkets kølevandsindtag. Plantegning.

2.9.3 Badevandsdata

For beregning af ændringer af badevandskvaliteten i Svanemøllebugten er der brugt udledningsdata fra 26 udledningspunkter, som er vist i nedenstående figur. Det dækker udledninger fra fælleskloakerede og separatkloakerede områder. Belastningstal på udledningerne er angivet i Tabel 2-8.

Tabel 2-8 Bakteriologiske koncentrationer i forskellige spildevandskilder

Udlednings koncentrationer	Enterokokker (antal/100ml)	E.coli (antal/100ml)
Spildevandskilder Svanemøllebugten, samt kystnære i Gentofte Kommune		
UØ10.1	170.000	1.000.000
UØ10.2	170.000	1.000.000
UØ14.1	170.000	1.000.000
UØ15	170.000	1.000.000
UØ17	170.000	1.000.000
Alle kilder i Gentofte Kommune	170.000	1.000.000
Spildevandskilder Øresund		
Lynetten-Damhus_baggrunds-flow_baseret-på-målinger.dfs0	14.800	75.000
Lynetten-ledning_rensed_Eq	14.800	75.000
Lynette-ledning_bypass_Eq.dfs0	170.000	1.000.000
Lynetten_Eq.dfs0 (nødoverløb)	391.000	2.300.000
Vejvandskilder		
Nordhavn Nord (kilde 16)	3000	5000
Tuborg Havn (kilde 18)	3000	5000

Vurderinger af overskridelser på badestrande er gennemført ved at sammenligne modelresultater med badevandskriterier som angivet herunder. Da EU direktivet baserer sig på statistiske analyser, er vurderingerne i de efterfølgende afsnit baseret på de faktiske kontrolværdier, angivet i Tabel 2-9.

Tabel 2-9 Badevandskriterier, baseret på EU's badevandsdirektiv (Direktiv 2006/7/EC)

TYPE	Variabel (cfu/100ml)	Udmærket	God
Marin	Intestinal Enterococci	100	200
Marin	Escherischia coli	250	500

Mens den hydrauliske model beregner spredning og fortynding, beregnes samtidig hvordan bakterierne henfalder. Henfaldet beregnes med DHIs procesmodel ECO Lab og er afhængigt af saltindhold, vandtemperatur og lyspåvirkningen.

Saltindhold og vandtemperatur beregnes i den hydrauliske model, mens lyspåvirkningen inkluderes som en del af henfaldet i ECO Lab. Derfor benyttes også modellerede solindstrålinger (fra meteorologisk model), samt en antagelse om sigtddyben.

Den benyttede henfaldsligning er beskrevet i Tabel 2-10 /2/. Til selve beregningen antages sigtddyben at være 0,5 m. Sigtdyben i Københavns Havn er typisk noget større. Når sigtdyben alligevel sættes lavt, bunder det i to antagelser: 1) beregningen bliver mere konservativ og 2) sigtdyben forventes at være noget mindre i forbindelse med overløb grundet udledning af partikler og opløst organisk materiale, end hvad der generelt måles i havnen.

Tabel 2-10 Beregning af henfald for *E. coli*

Henfaldsligning	$C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t}$ hvor $k = k_m + K_I \cdot I_I$	C = aktuel koncentration [ml^{-1}] C_0 = begyndelseskonzentration [ml^{-1}] I_I = aktuel lysindstråling i vandet [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] t = tiden [h]
Mørke	$k_m = a_T \cdot T - k_{m0}$	T = aktuel vandtemperatur [$^{\circ}\text{C}$] $a_T = 0,002425$ [$\text{h}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$] $k_{m0} = 0,00826$ [h^{-1}]
Lys	$K_I = S_m \cdot (b_T \cdot T + K_{I0}) / (a \cdot S_m - (a-1) \cdot S)$	T = aktuel vandtemperatur [$^{\circ}\text{C}$] S = aktuel salinitet [psu] $S_m = 34,5$ [psu] $a = 1,54$ [-] $b_T = 0,133 \cdot 10^{-3}$ [$\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$] $K_{I0} = 2,124 \cdot 10^{-3}$ [$\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]

2.9.4 Vandkvalitetsdata

Til kalibrering af modellen er der anvendt data fra en lang række kilder og dækkende perioden 1996-2003. Grundet huller i datadækningen er der udregnet månedsmiddelværdier på basis af de tilgængelige data. Kalibreringsplot og udvalgte data er vist i Bilag C.

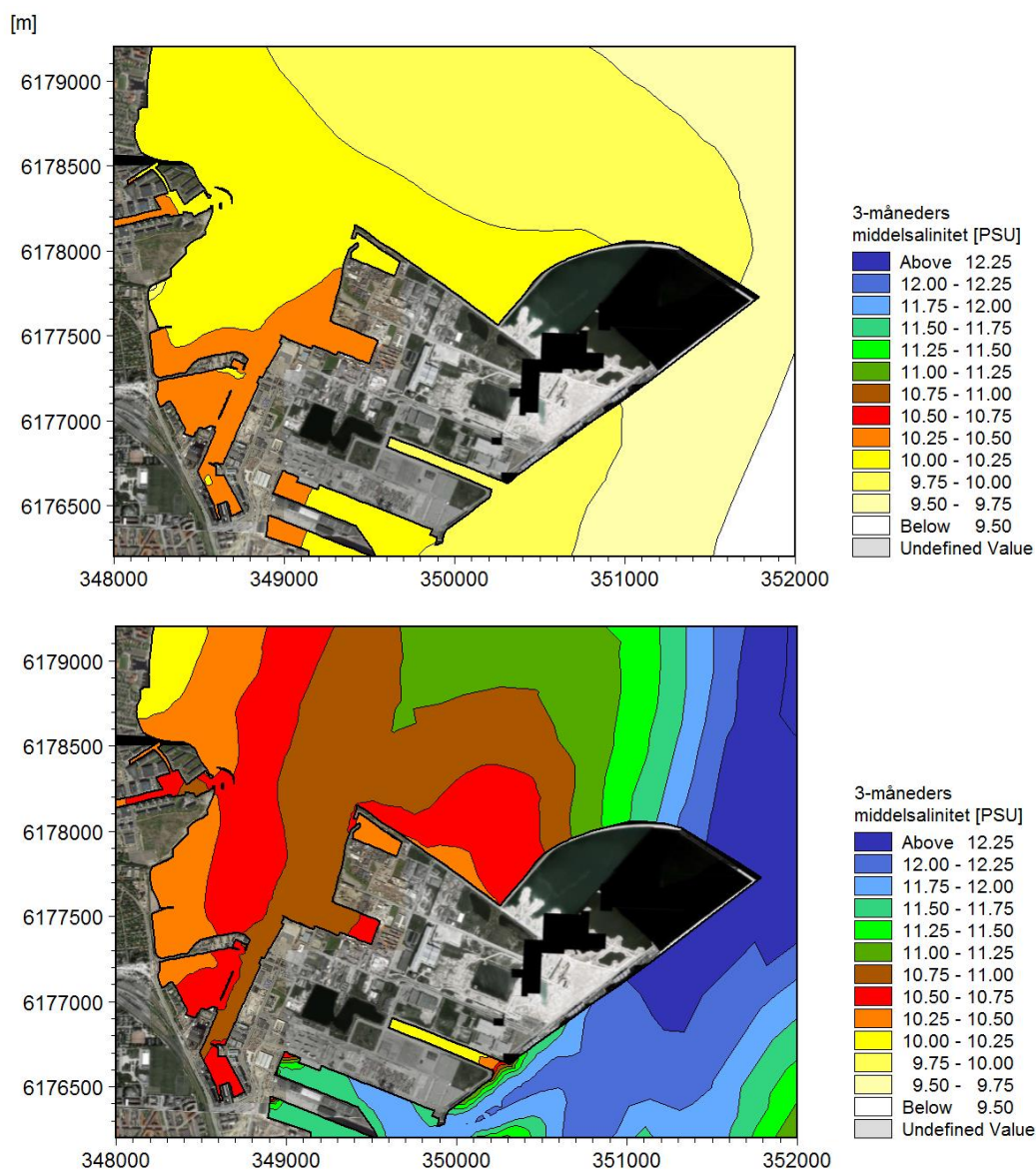
3 Resultater

Resultaterne fra de forskellige scenarier er præsenteret i dette kapitel. For hver scenarium er der kun præsenteret de resultater, der umiddelbart skal bruges i det videre arbejde, mens yderligere resultater er præsenteret i Bilag B. Resultaterne er præsenteret som afvigelser fra referencetilstanden og vist som kort og som tidsserier, hvor dette giver mening.

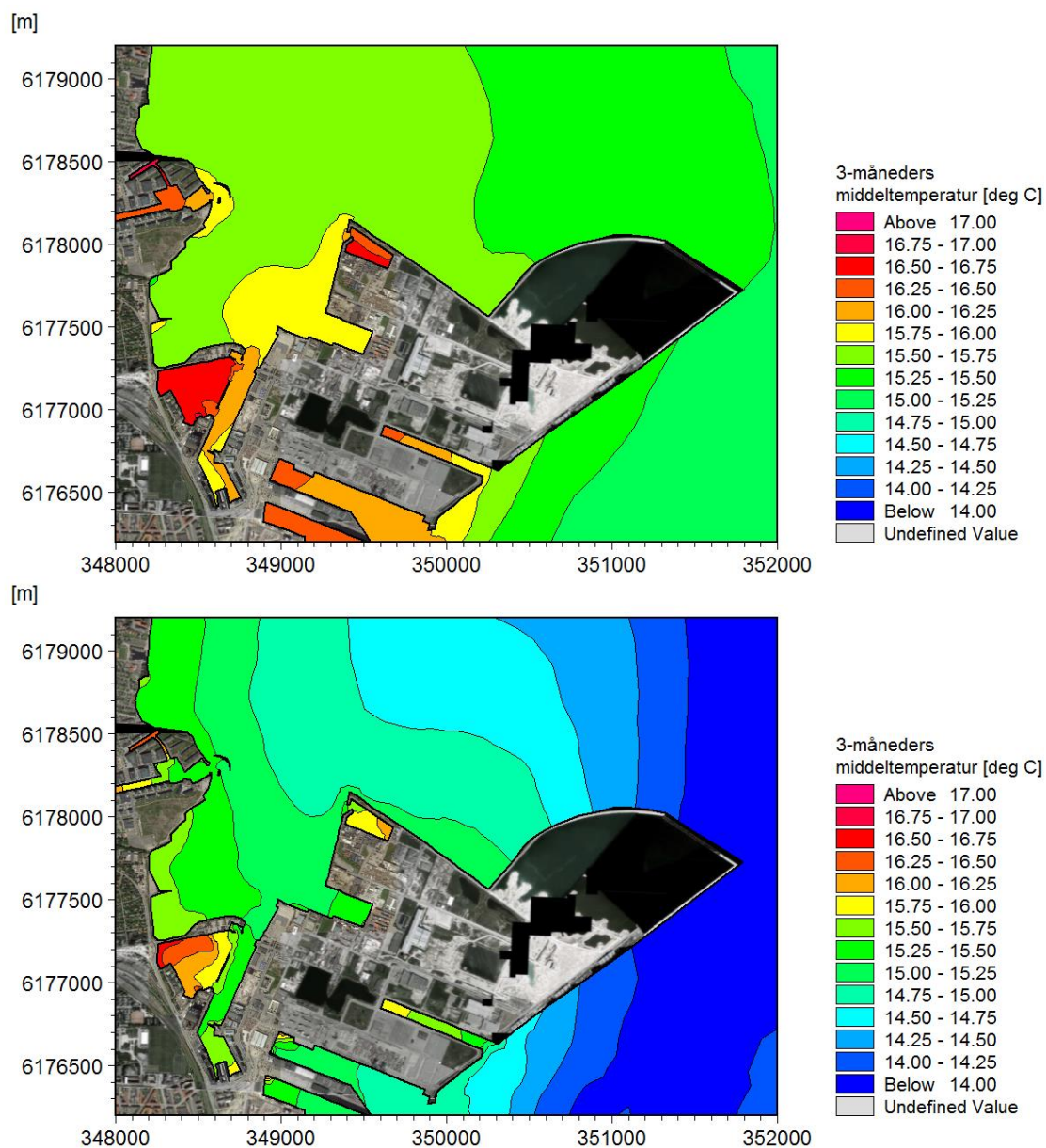
3.1 Referencetilstanden

3.1.1 Salt og temperatur

For referencetilstanden (eksisterende forhold) er 3-måneders middelværdier beregnet for salt og temperatur i henholdsvis det øverste vandlag og ved havbund. De beregnede felter er vist i Figur 3-1 og Figur 3-2.

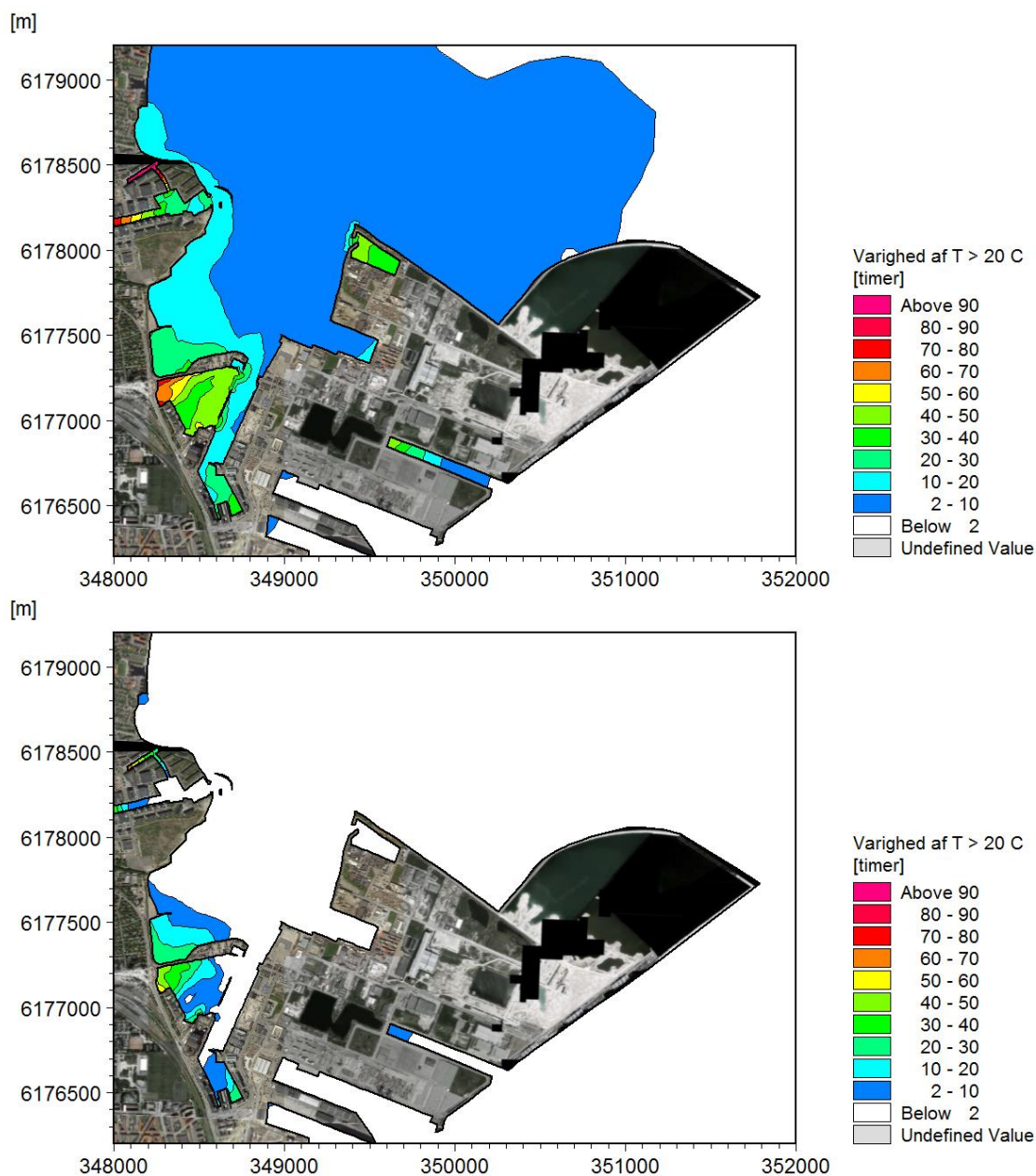


Figur 3-1 Tre måneders middelsalinitet ved havoverflade (øverst) og bund (nederst) for eksisterende forhold.



Figur 3-2 Tre måneders middeltemperatur ved havoverflade (øverst) og bund (nederst) for eksisterende forhold.

Kølevandtemperaturer over 20 °C anses at påvirke Svanemølleværkets virkningsgrad og er derfor i princippet uønsket. Figur 3-3 viser den beregnede akkumulerede varighed i løbet af sommerperiode juni-september 2011, hvor vandtemperaturen overstiger 20 °C ved henholdsvis overflade og bund.



Figur 3-3 Akkumuleret varighed af perioder med vandtemperaturer over 20 °C.

3.1.2 Opholdstid

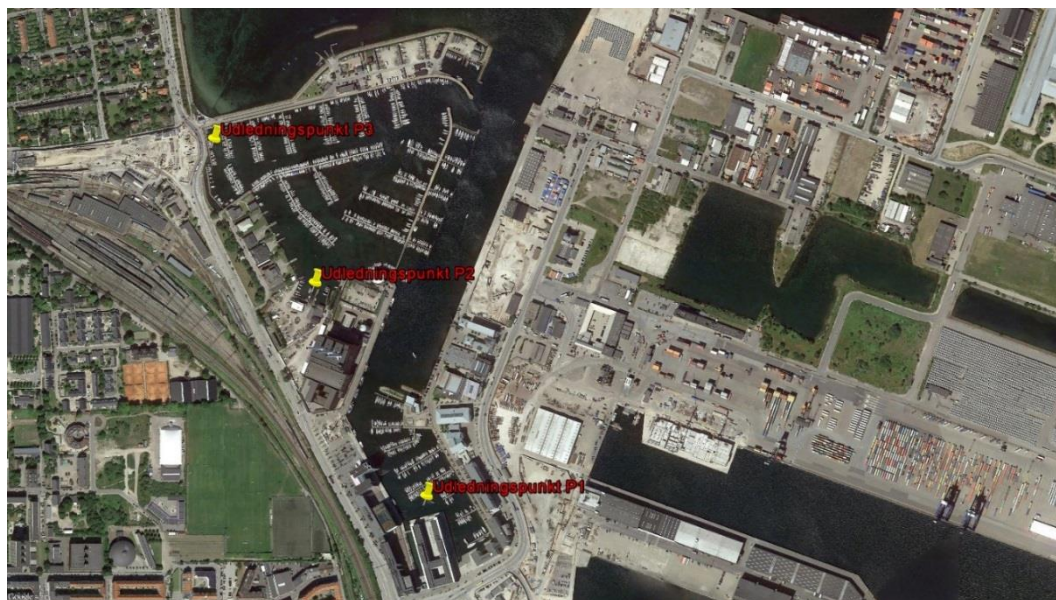
For at vurdere opholdstiderne, som er et udtryk for vandskiftet i havneområdet, er der udlagt 3 punkter, hvor der modelmæssigt sker en konstant udledning af en inert tracer. Opholdstiden beregnes på følgende måde:

$$dT = (\text{Akkumuleret tilført stofmængde} - \text{Akkumuleret tabt stofmængde}) / \text{raten}$$

hvormed stof tilføres kontinuert. Det akkumulerede tab af stof beregnes ved at se, hvad der tabes ud af havnen til Svanemøllebugten (altså gennem et snit mellem Svanemølleknoppen og Nordhavn).

Metoden giver mulighed for at beregne hvordan opholdstiden varierer over tid. Sporstofkilderne påvirker ikke hydrodynamikken, idet de er defineret således at der ikke udledes vand i den hydrodynamiske beregning/modellering, men kun i en advektions/dispersionsberegning af sporstoffet.

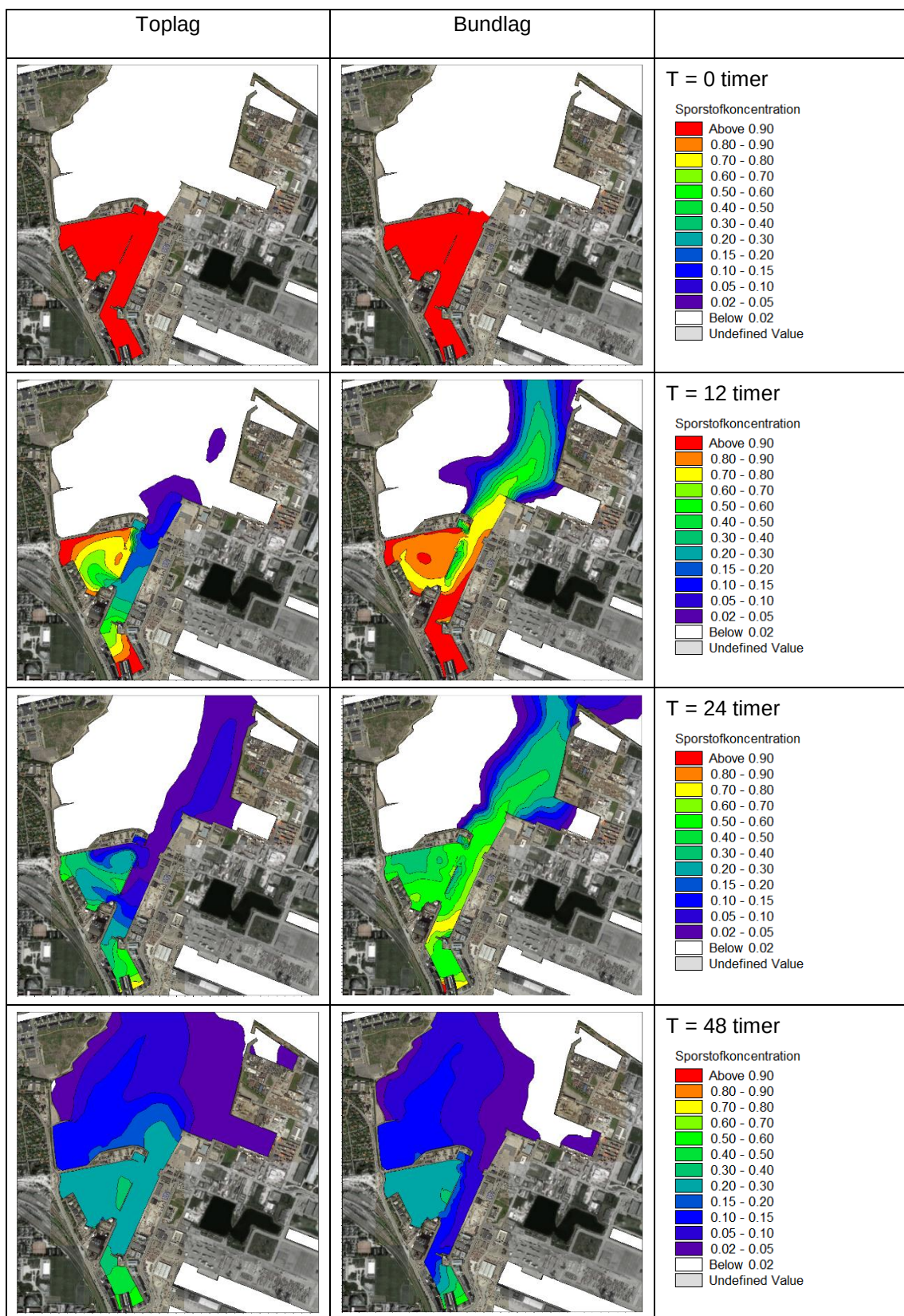
Kortet i Figur 3-4 viser de tre valgte udledningspunkter til analyse af opholdstider af vandvolumenet i Svanemøllehavnen og Kalkbrænderihavnen.



Figur 3-4 Kort over Kalkbrænderi/Svanemøllehavnen med angivelse af de tre punkter, hvor der udledes sporstoffer for at beregne opholdstider i havnen (Google Earth).

Da metoden afviger fra den klassiske initialfortyndingsberegning er der indledningsvis gennemført en initialfortyndingsberegning for referencetilstanden, således at det bliver lettere for læseren at forholde sig til de angivne værdier for mindste, middel og største opholdstid.

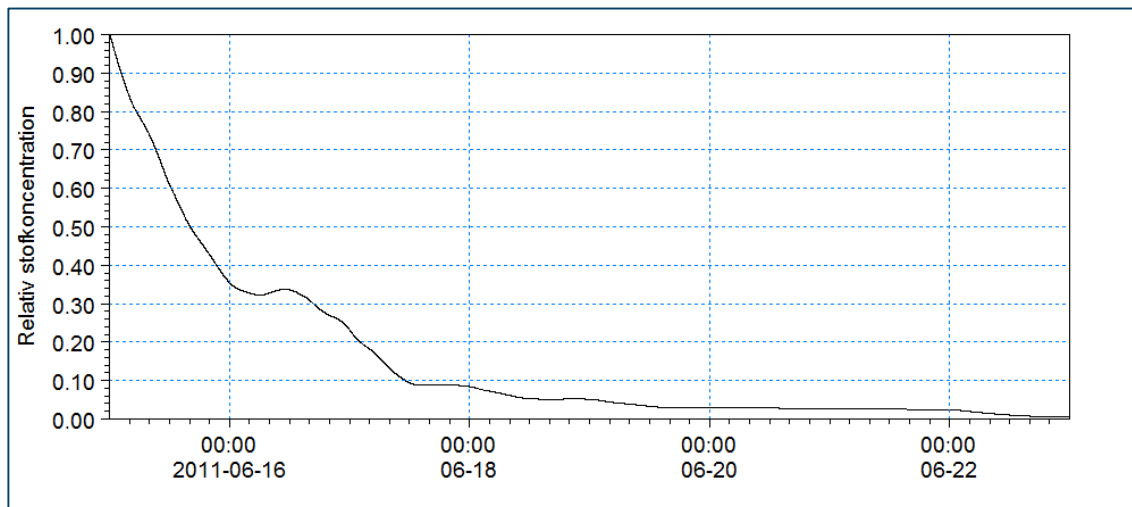
Til at illustrere den tidlige udvikling i fortyndingen af et initialfelt er der i Figur 3-5 vist en sekvens af top og bundlaget til forskellige tidspunkter.



Figur 3-5 Sporstoffortyning af det udlagte initialfelt til $t = 0$ timer, $t = 12$ timer, $t = 24$ timer og $t = 48$ timer ved henholdsvis overflade og bund.

Fortyningen af den udlagte stofmængde er beregnet og vist i Figur 3-6. Endvidere er der i

Tabel 3-1 opgivet en række opholdstidsfraktiler for den samlede udlagte mængde sporstof.



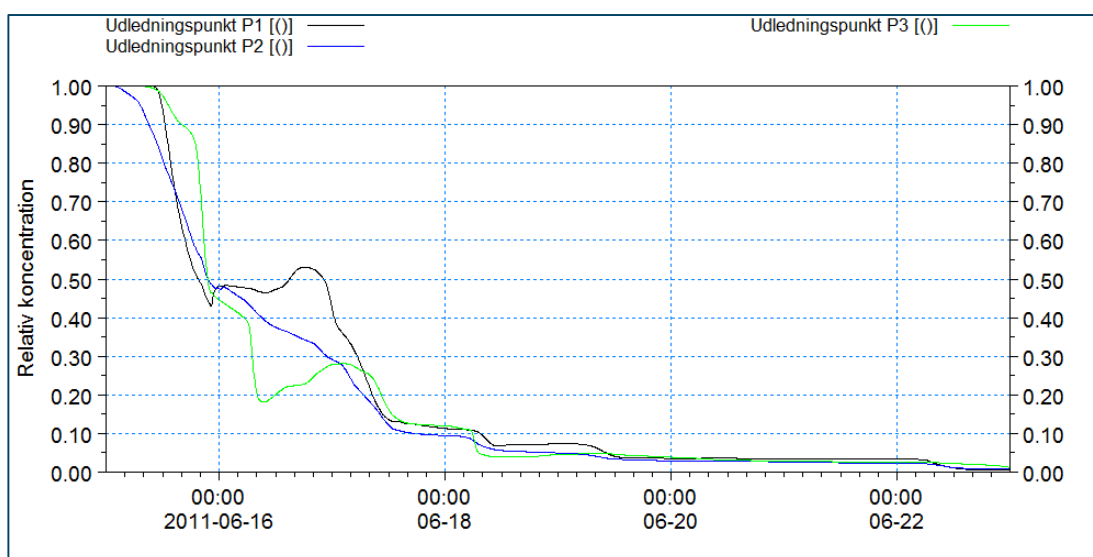
Figur 3-6 Tidslig udvikling af sporstofkoncentrationen fra initialfeltsanalysen.

Tabel 3-1 Beregnede opholdstider angivet i timer for den samlede mængde sporstof.

T _{10%}	T _{20%}	T _{30%}	T _{40%}	T _{50%}	T _{60%}	T _{70%}	T _{80%}	T _{90%}
2½	5½	9½	12½	16	22	40	50	59

Den tidlige fortynding i hver af de tre definerede udledningspunkter er ligeledes blevet udtrukket fra simuleringen. Disse tidsserier er plottet og vist i Figur 3-7. Endvidere er T50% og T90% angivet i

Tabel 3-2.



Figur 3-7 Sporstoffortyndingen for de tre punktudledning.

Tabel 3-2 Beregnede opholdstider (dT) i de tre punktudledning.

Fortyndingsfrakti	P1 [timer]	P2 [timer]	P3 [timer]
T _{50%}	46	22	22
T _{90%}	80	65	78

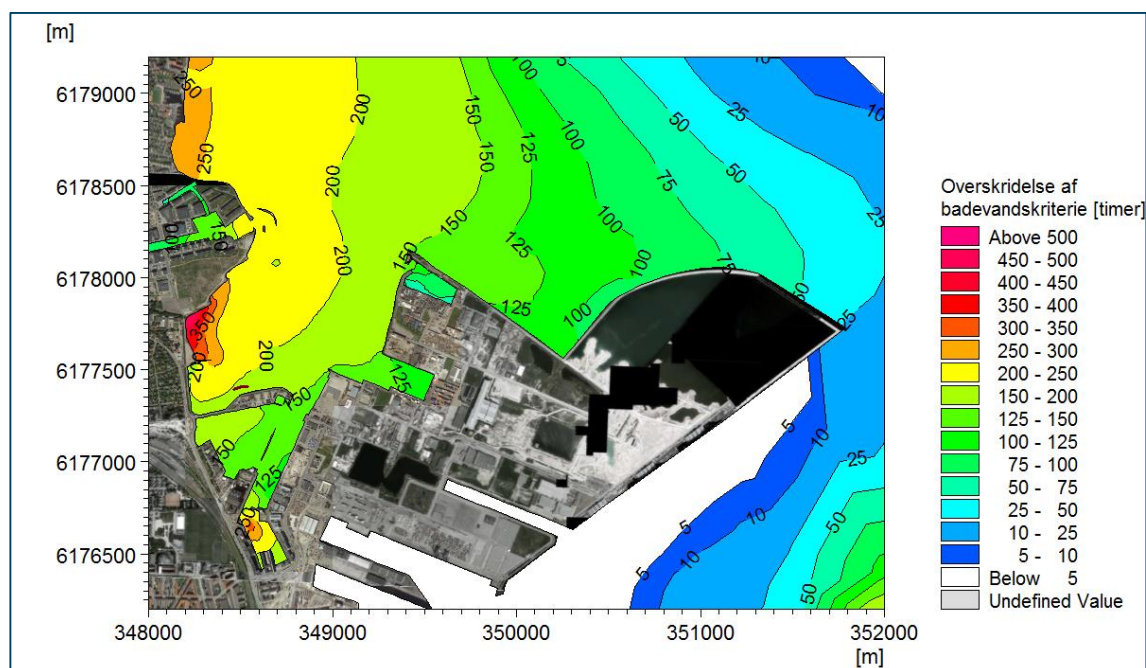
For at kunne identificere hvordan havnetunnelprojektet vil påvirke opholdstiden set i forhold til referencetilstanden (som angiver situationen før anlægsarbejderne), er der i nedenstående tabel angivet mindste, middel og største opholdstid for de tre punktudledninger, samt den samlede udledning fra de tre kilder. Tabel 3-3 angiver således opholdstiderne i referencetilstanden, som bruges til sammenligning med alle efterfølgende scenarier. Det ses i Tabel 3-3, at middellopholdstiden er identisk med den fundne værdi for T_{90%}, som angiver hvor lang tid der går før 90% af den udlagte stofmængde er tabt fra udledningsområdet, og at de største opholdstider overstiger T_{90%}. De nedenfor angivne opholdstider ses derfor at være særdeles egnede til at belyse systemets opholdstider, såvel som projektets indvirkning herpå.

Tabel 3-3 Opholdstid (dT) for referencetilstanden (nuværende forhold) 15. juni-15. september 2011. Værdier angivet i timer.

Sporstofudledningspunkt	Mindste opholdstid	Middel opholdstid	Største opholdstid
P1	8	59	133
P2	5	57	110
P3	16	60	113
P1 + P2 + P3	13	61	114

3.1.3 Badevandskvalitet

Badevandsanalysen som funktion af de forskellige anlægsmuligheder er alle gennemført som en modellering af sommermåneder 15. juni-15. september, svarende til den officielle badevandsperiode. Beregningerne svarer til 2208 timer og resultaterne vises som overskridelser over hele perioden, og et plot, som viser differencen mellem referencetilstanden og scenariet, samt tidsserier, der viser variationerne over de tre valgte måneder. Som det fremgår er der i den nuværende tilstand (2011 scenarium) til over 350 timer med overskridelse af badevandskriterierne

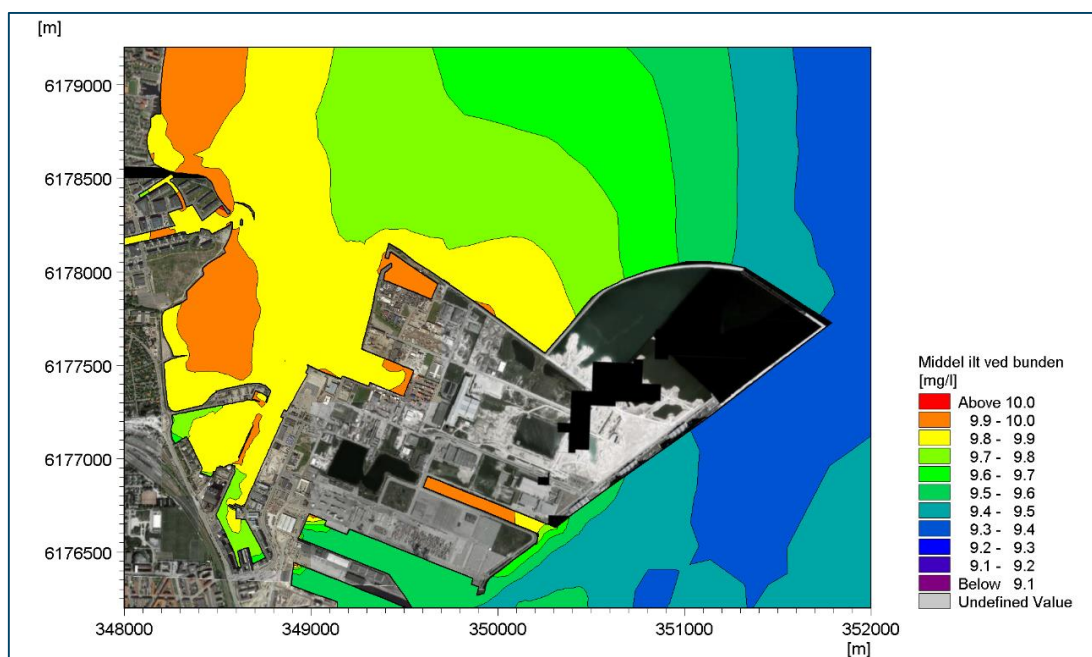


Figur 3-8 Referencetilstand: Antal timer i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer), hvor enten kriteriet for E. coli eller Enterokokker er overskredet.

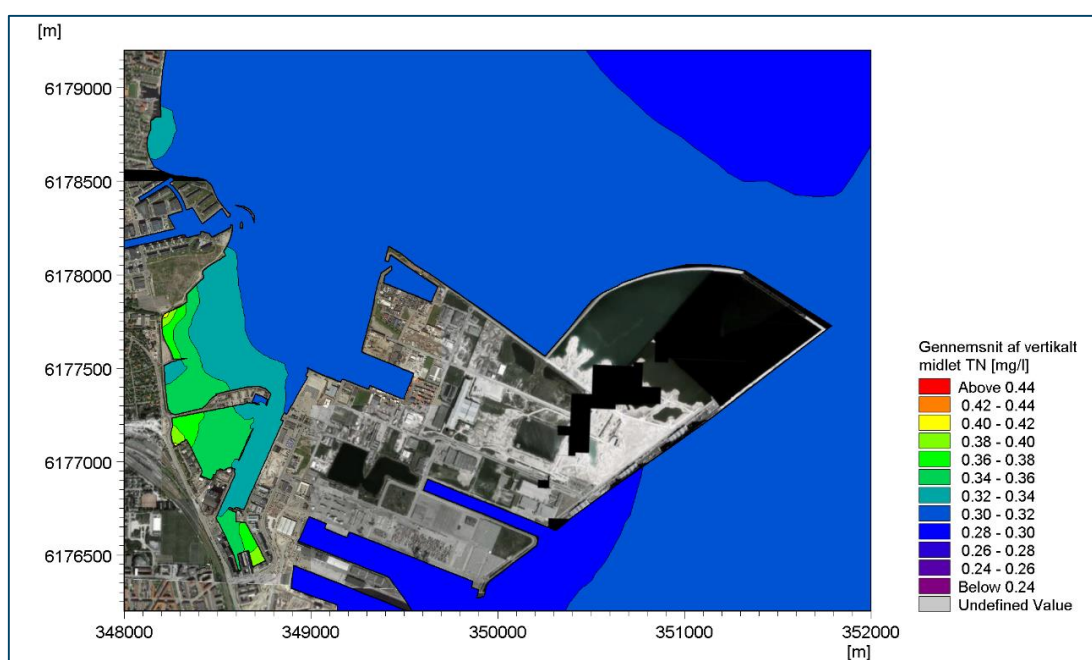
3.1.4 Vandkvalitet

I den nuværende situation varierer vandkvaliteten i forhold til de nuværende kilder, samt den hydrodynamik, som påvirker modelområdet. Vandkvaliteten har DHI valgt at vise ved at se på middelkoncentrationen af ilt i bundlaget, samt gennemsnittet af middelkoncentrationen over vandsøjlen for Total N og Total P. For de tre variable vises resultaterne for månederne juni-september.

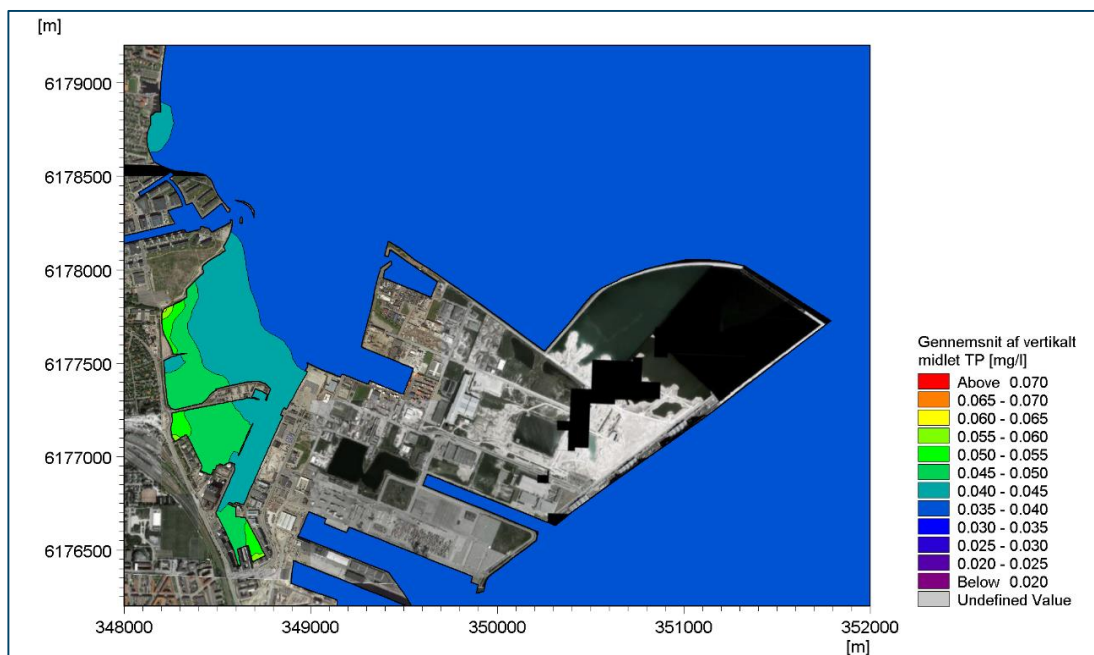
For ilt ses på gennemsnitskoncentrationen i bundlaget, da dette typisk vil have den største påvirkning på den bundlevende flora og fauna. Ved lave iltforhold vil pelagiske arter typisk søge væk, hvilket ikke er muligt for flere arter af makrozoobenthos.



Figur 3-9 Middel-koncentrationen af ilt i mg/l i bundlaget over perioden 15. juni – 15. september.



Figur 3-10 Total N i mg/l. Gennemsnittet af middelkoncentrationen i hele vandsøjlen, 15. juni – 15. september.



Figur 3-11 Total P i mg/l. Gennemsnittet af middelkoncentrationen i hele vandsøjlen, 15. juni – 15. september.

3.2 Påvirkninger fra etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling, samt erstatningshavne

Ved en anlægsløsning, som ikke har en etapeopdeling, vil havnen være permanent lukket i anlægsperioden og der vil være behov for at anlægge en af de to store erstatningshavne Svaneknoppen Stor eller Nordhavn Nord. Desuden foreslås også en kombination, som inkluderer anlæggelse af både Færgehavn Nord og Svaneknoppen Lille. Ved anlæggelse af Svaneknoppen Stor vil den eksisterende strand i Svanemøllebugten blive lukket og det er foreslået at den flyttes ud på den nordlige pier i den nye erstatningshavn. De største ændringer vil ske for vandet i havnen, da den ikke længere står i forbindelse med bugten. Dette vil have konsekvenser for opholdstider, salinitet, temperatur og vandkvalitet. Temperaturændringerne vil have direkte konsekvenser for Svanemølleværkets muligheder for at køle, idet der vil være stigende temperaturer over sommeren.

Følgende scenarier er præsenteret her:

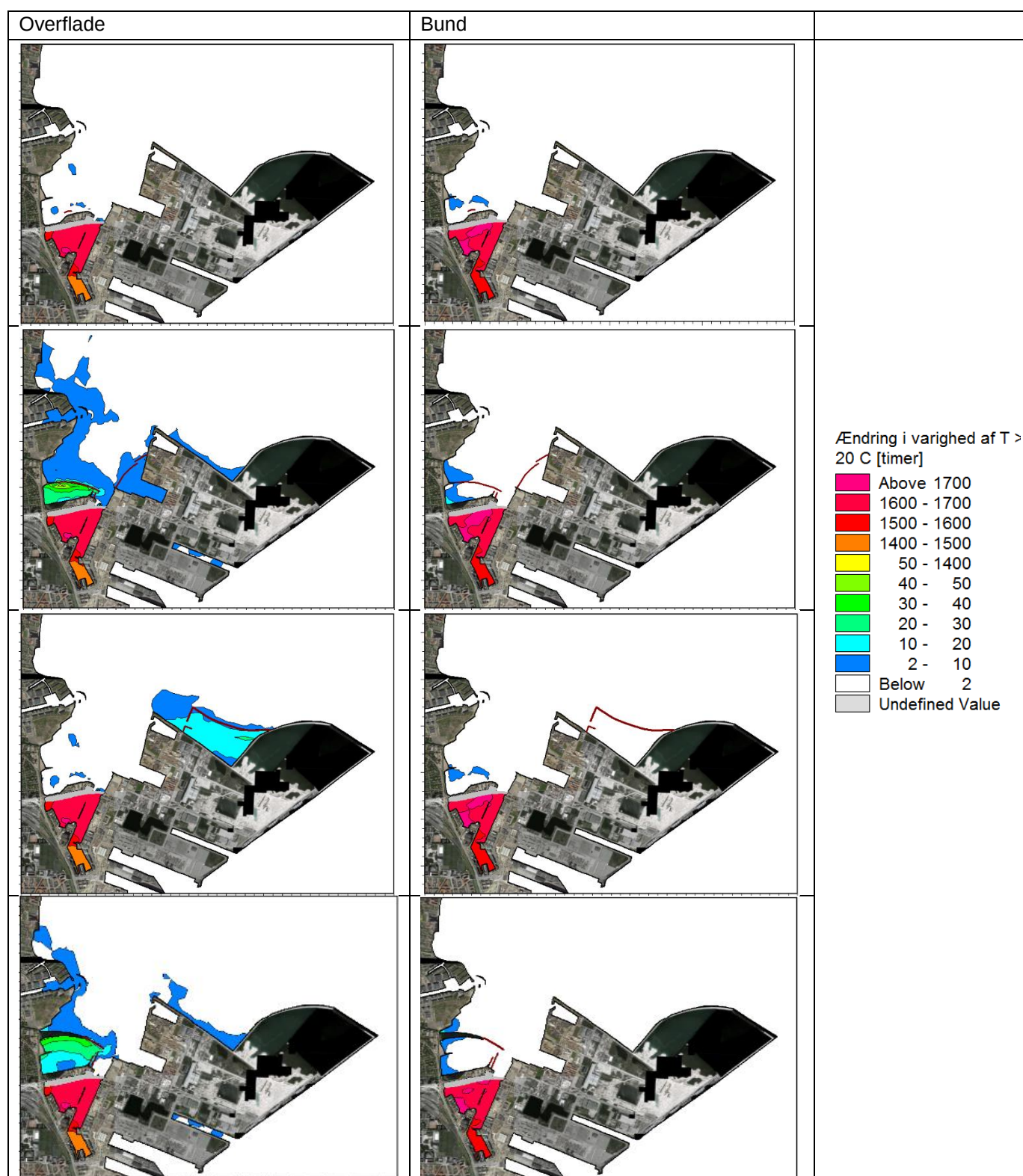
1. In situ tunnel med lukning af havnen (uden etapeopdeling)
2. Nr 1 plus etablering af Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord
3. Nr 1 plus etablering af Nordhavn Nord
4. Nr 1 plus etablering af Svaneknoppen Stor

3.2.1 Opholdstider

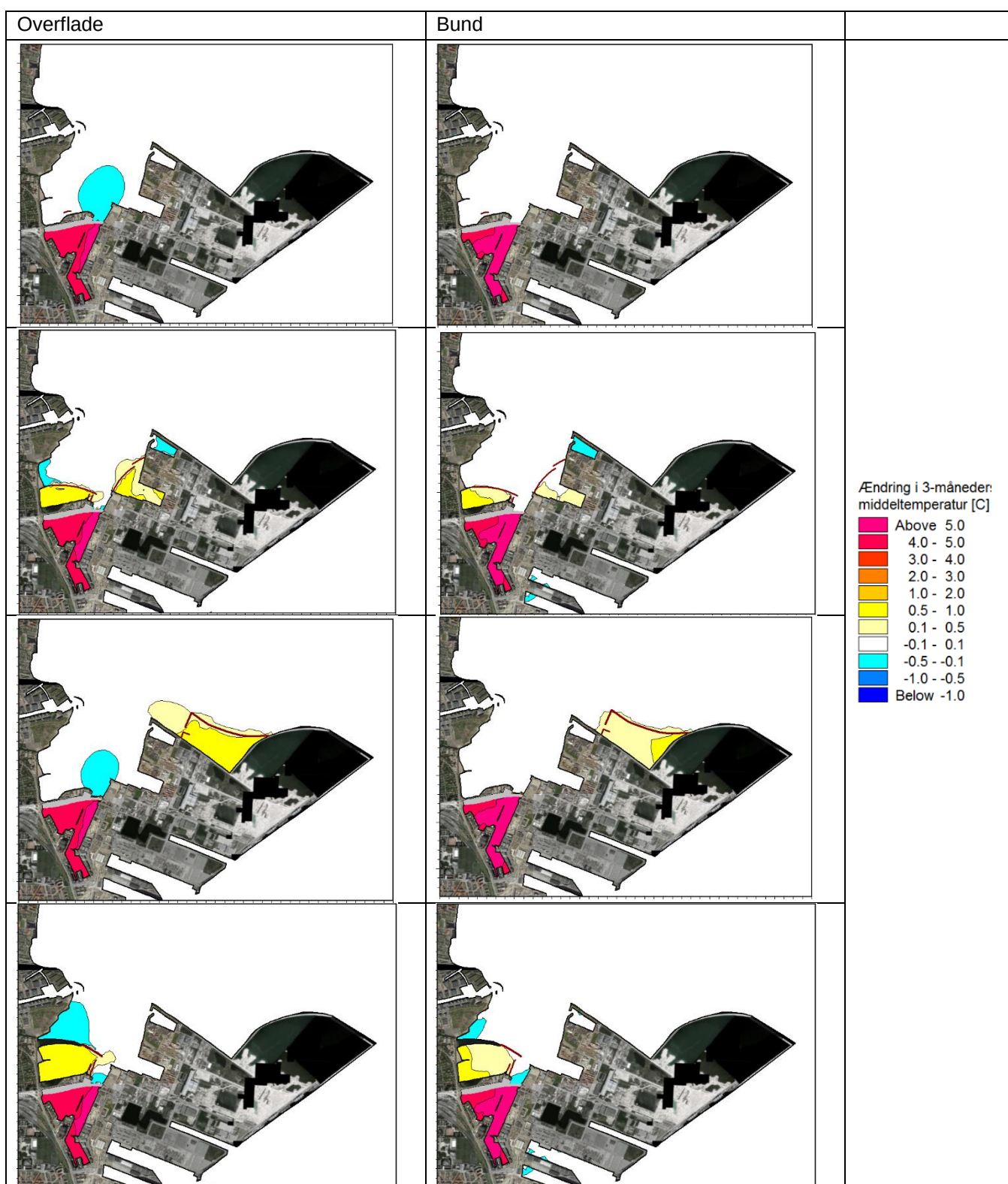
Da der ved denne anlægsmetode er en helt afspærret havn giver det ikke umiddelbart mening at tale om opholdstid, idet den i princippet svarer til den periode, hvor havnen er afspærret. Imidlertid vil det være nødvendigt at etablere afledning af vand fra havnen, idet udledninger og nedbør vil øge vandstanden i havnen betragteligt. Opholdstiden bliver derfor et resultat af nedbør, udløb og udpumpning og vil her ikke blive kvantificeret yderligere. Dette er yderligere beskrevet i afsnit 3.3.

3.2.2 Temperatur

I Kalkbrænderihavnen vil vandskiftet i princippet være nul, idet havnen vil være helt afspærret. Dette vil indvirke på temperaturforholdene. Ændringer i temperatur er gennemført for at kunne belyse, om forøget temperatur i havnens vand ville kunne påvirke Svanemølleværkets brug af havnens vand til kølevandsformål. Værket har både indtag og udledning inde i havnen og det er derfor vurderet om de fortsat kan skaffe vand af en passende temperatur til køleformål. De enkelte basisplot er vist i Bilag B (B.1.1.1).



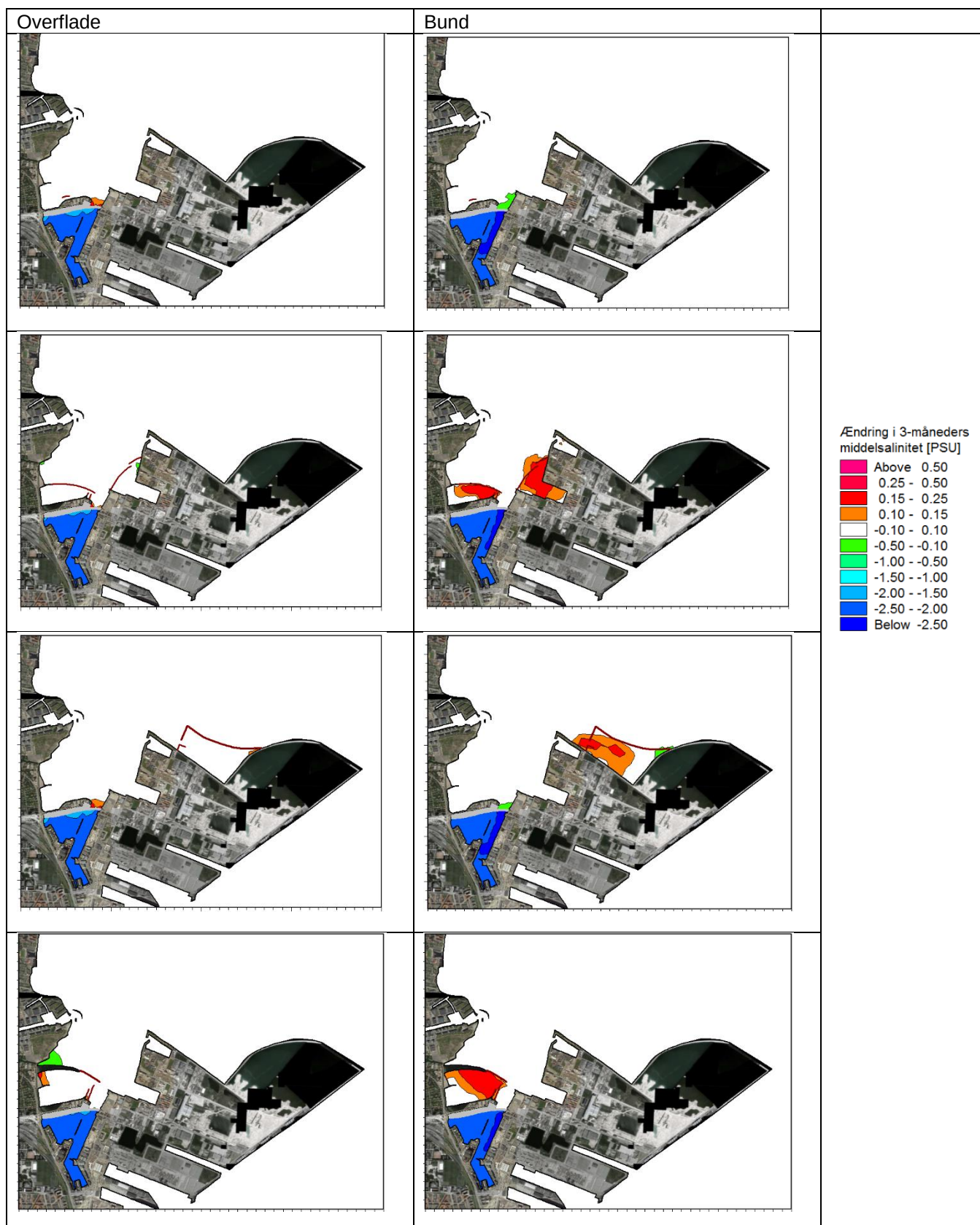
Figur 3-12 Differensplots for **in-situ tunnel uden etapeopdeling**: Ændringer i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer) i varighed i timer med en **temperatur** på over 20 °C for: erstatningshavn ved Prøvestenen (øverst), Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i kombination (næstøverst), Nordhavn Nord (næstnederst) og Svaneknoppen Stor (nederst).



Figur 3-13 Differensplots for **in-situ tunnel uden etapeopdeling** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): **Temperaturændringer** af 3-måneders middeltemperatur ved lukket havn for: erstatningshavn ved Prøvestenen (øverst), Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i kombination (næstøverst), Nordhavn Nord (næstnederst) og Svaneknoppen Stor (nederst).

3.2.3 Salinitet

Ved lukning af Kalkbrænderi/Svanemøllehavnen vil vandskiftet inde i havnen naturligvis være nul, idet der uden afværgeforanstaltninger vil ske en fortynding af havvandet med det tilledte vand fra overløbs- og regnvandsledninger. Salinitetsforholdene uden for havnen vil også ændres lidt, primært fordi der ikke tilføres ferskvand fra havnens udledninger. Nedenstående figurer viser disse ændringer for hhv. bund- og overfladelagene som differensplots midlet over en tre måneders periode. De enkelte basisplot er vist i Bilag B (B.1.1.2). Med en stigende ferskning af havnens vand vil dette kunne påvirke den sparsomme biologi, der findes inde i havnen, idet det primært er ændringer i bundlagets salinitet, der påvirkes mest.



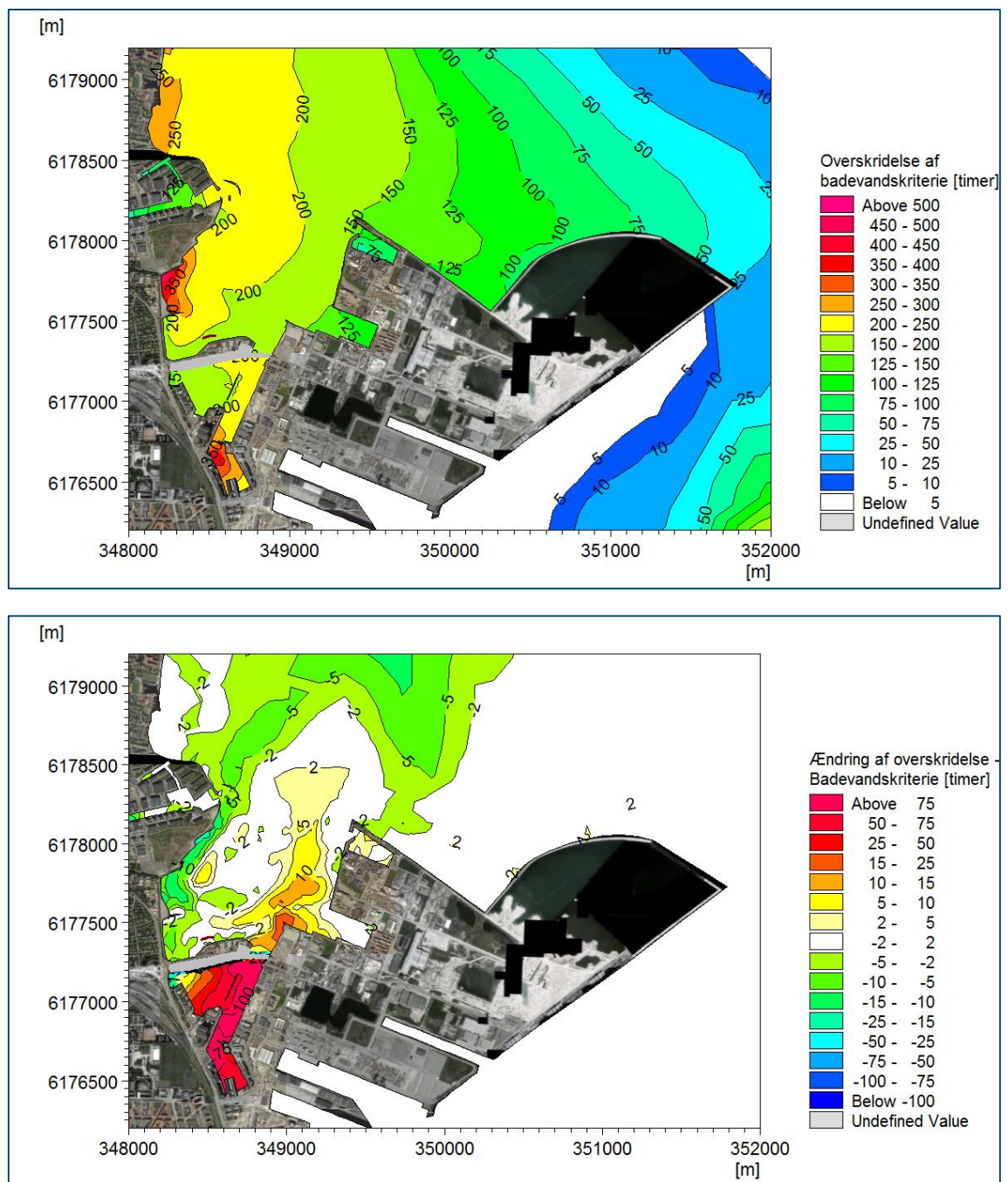
Figur 3-14 Differensplots for **in-situ tunnel uden etapeopdeling** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Ændringer i **middelsaliniteten** for 3 måneders perioden for: erstatningshavn ved Prøvestenen (øverst), Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i kombination (næst-øverst), Nordhavn Nord (næstnederst) og Svaneknoppen Stor (nederst).

3.2.4 Badevandskvalitet

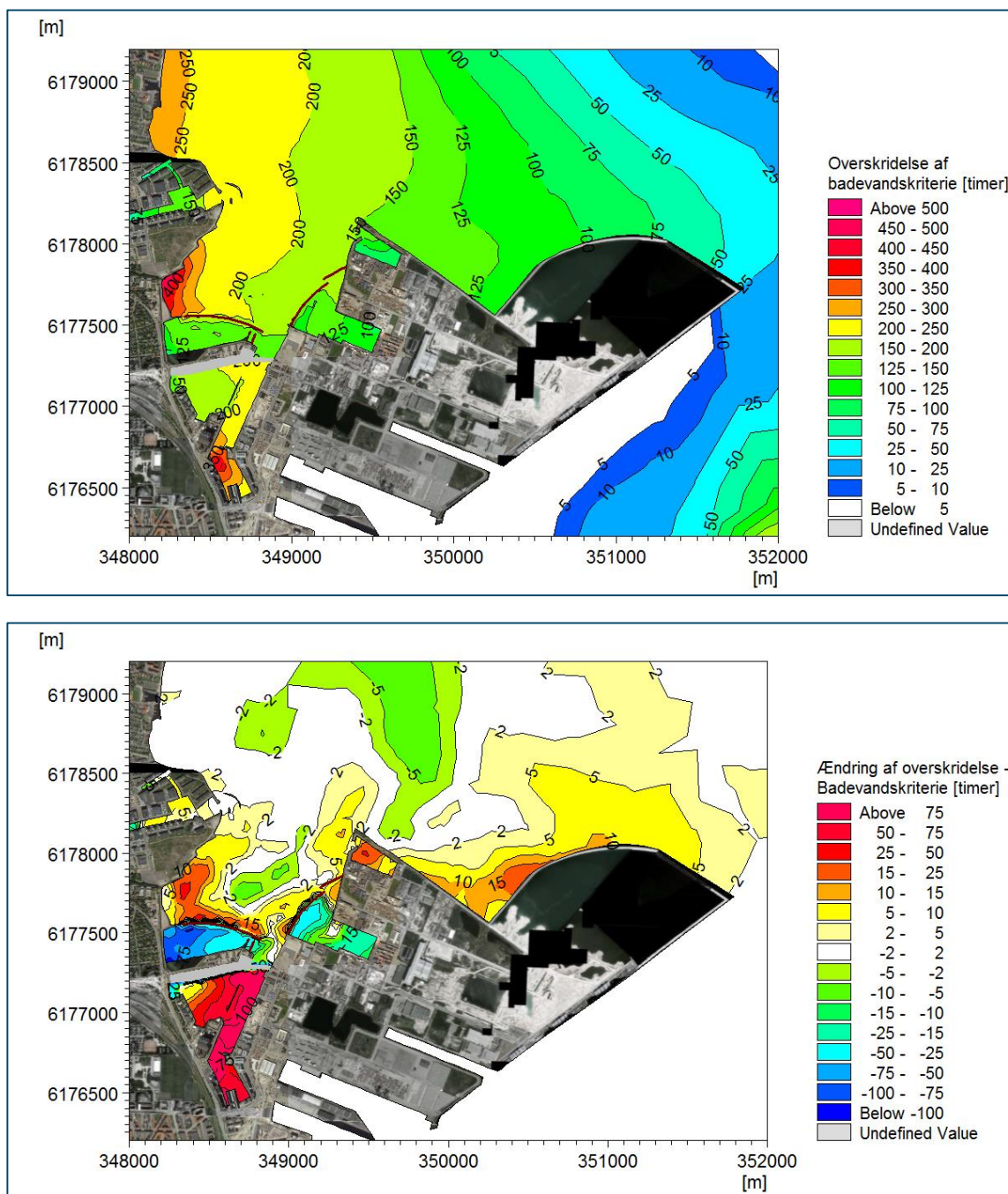
Svanemøllestranden har særdeles stor rekreativ værdi for borgerne i området og derfor er det af stor vigtighed at se på eventuelle ændringer af kvaliteten på stranden under forskellige udbygningsmodeller.

For hvert alternativ er der vist ændringer i badevandskvaliteten, udtrykt ved antal timer, hvor badevandskvaliteten ikke er opfyldt. Som det fremgår af Figur 3-8 er der allerede i den nuværende situation mange timer i sæsonen, hvor badevandskriterierne overskrides (over 350 timer i sommeren for model-året). Det skal dog tilføjes, at den valgte modelleringsperiode indeholder det meget kraftige skybrud i juni 2011, som oversvømmede store dele af København.

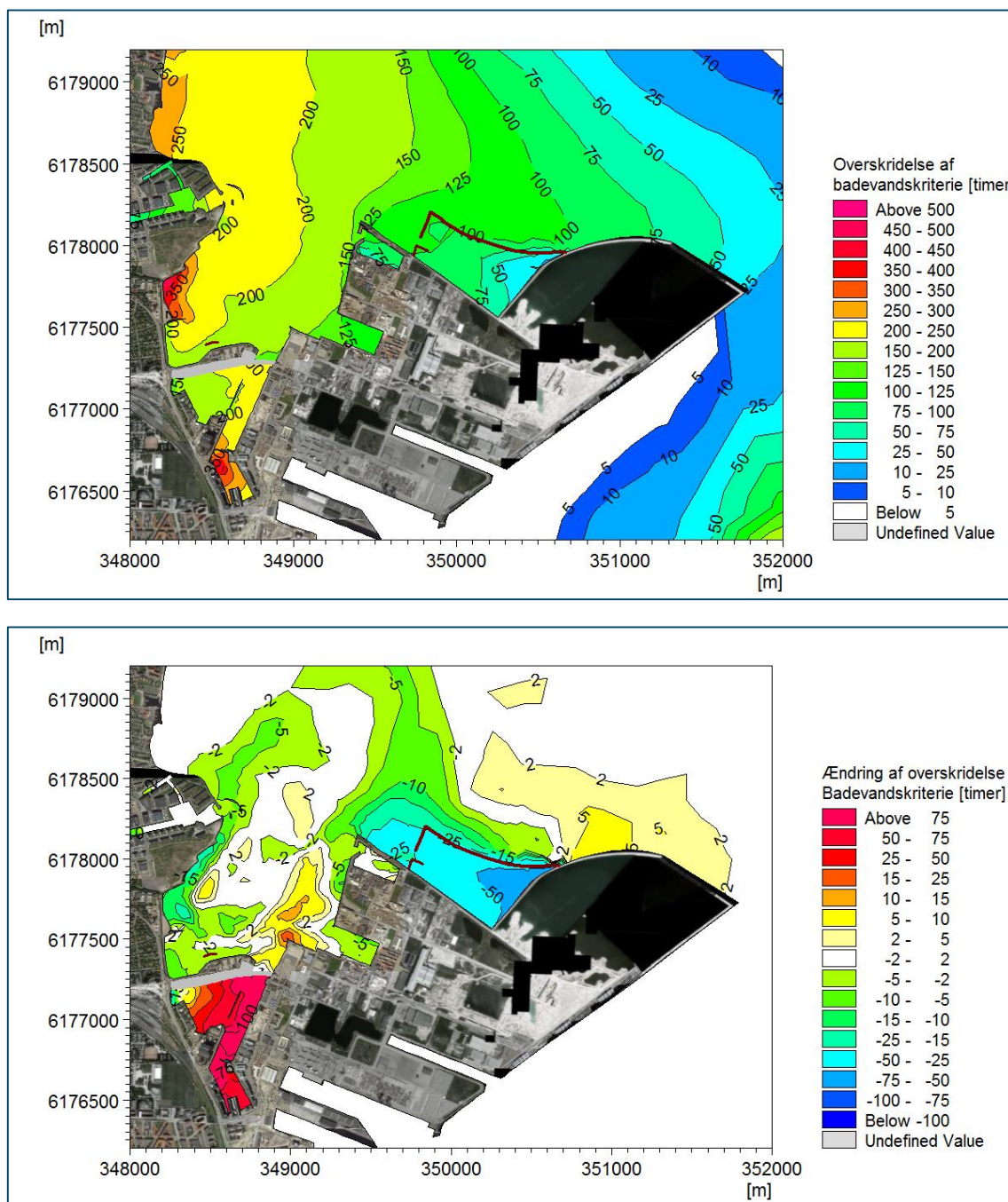
Etablering af erstatningshavnen Nordhavn Nord giver de mindste positive ændringer i antal timer med overskridelser af badevandskriterierne, mens anlæggelse af Svaneknoppen Stor vil give meget store negative ændringer i timer med overskridelse, da den nye mole forhindrer en opblanding af spildevand fra udledningerne i Svanemøllebugten.



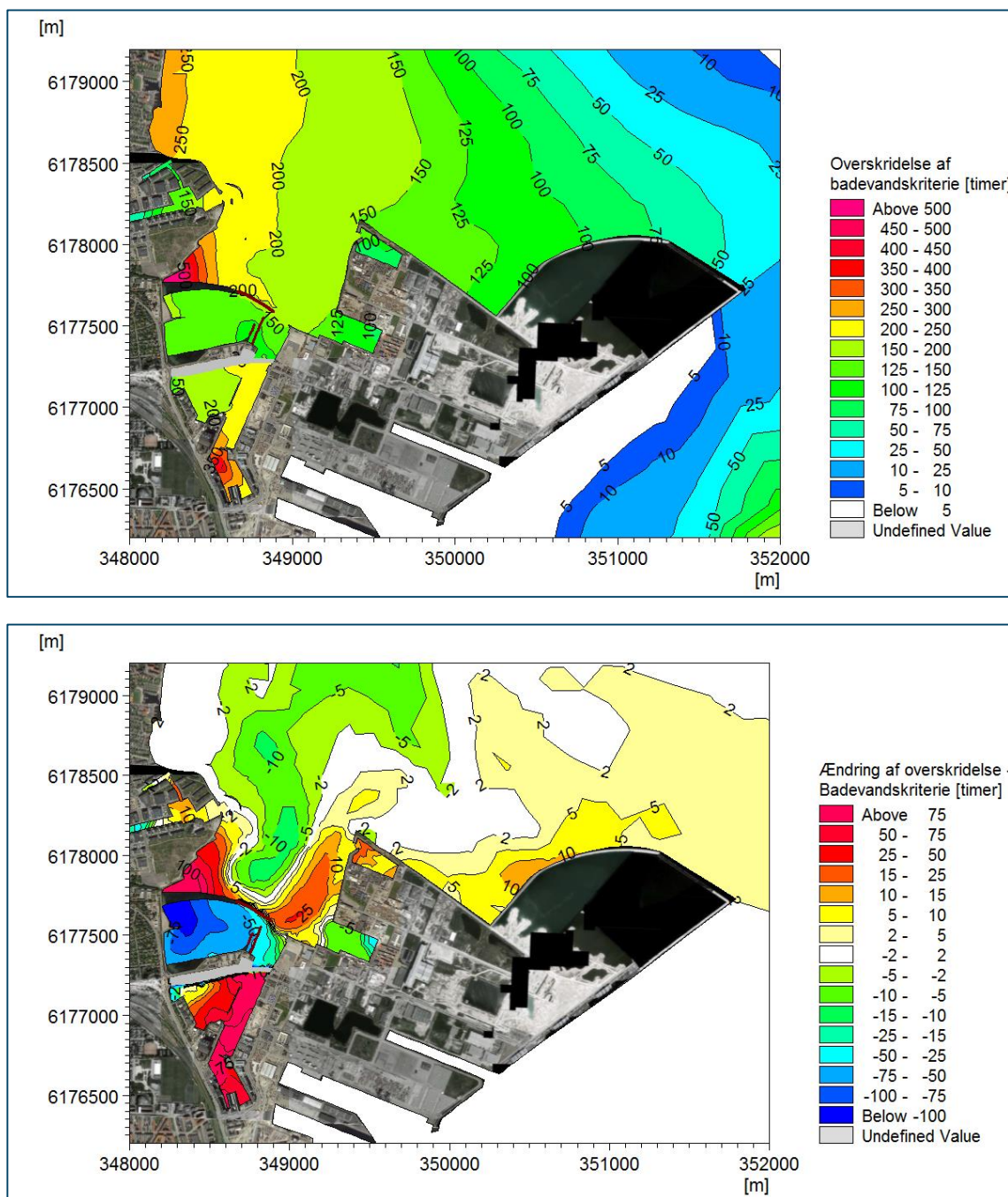
Figur 3-15 Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.



Figur 3-16 Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** og kombi erstatningshavn Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.



Figur 3-17 Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** og med erstatningshavn Nordhavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser



Figur 3-18 Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** og erstatningshavn Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser

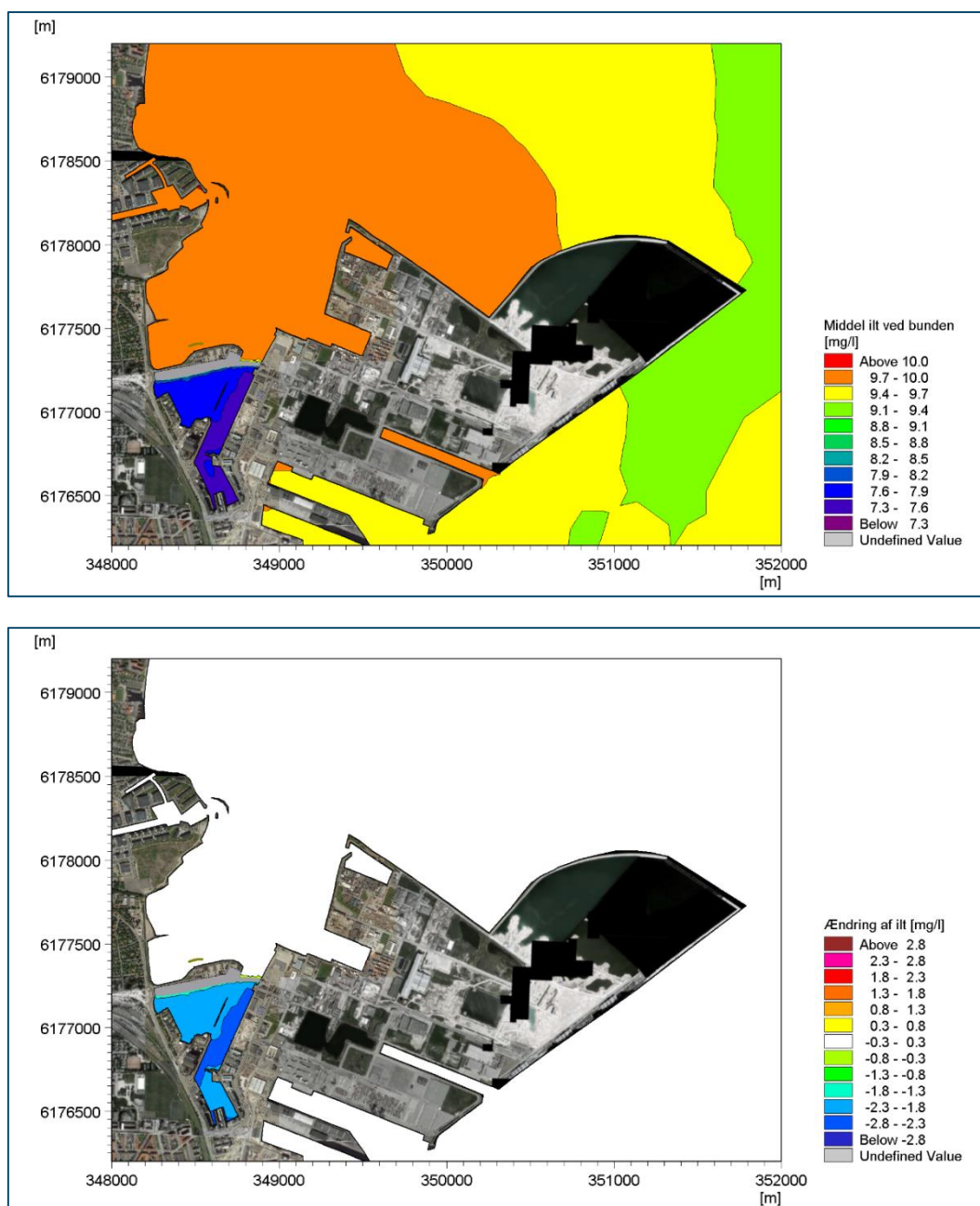
3.2.5 Vandkvalitet

I alle scenarier er der kun negative ændringer på vandkvaliteten i den lukkede havn, hvor der sker et fald i iltkoncentrationen og en lille stigning i koncentrationen af Total-N og Total-P.

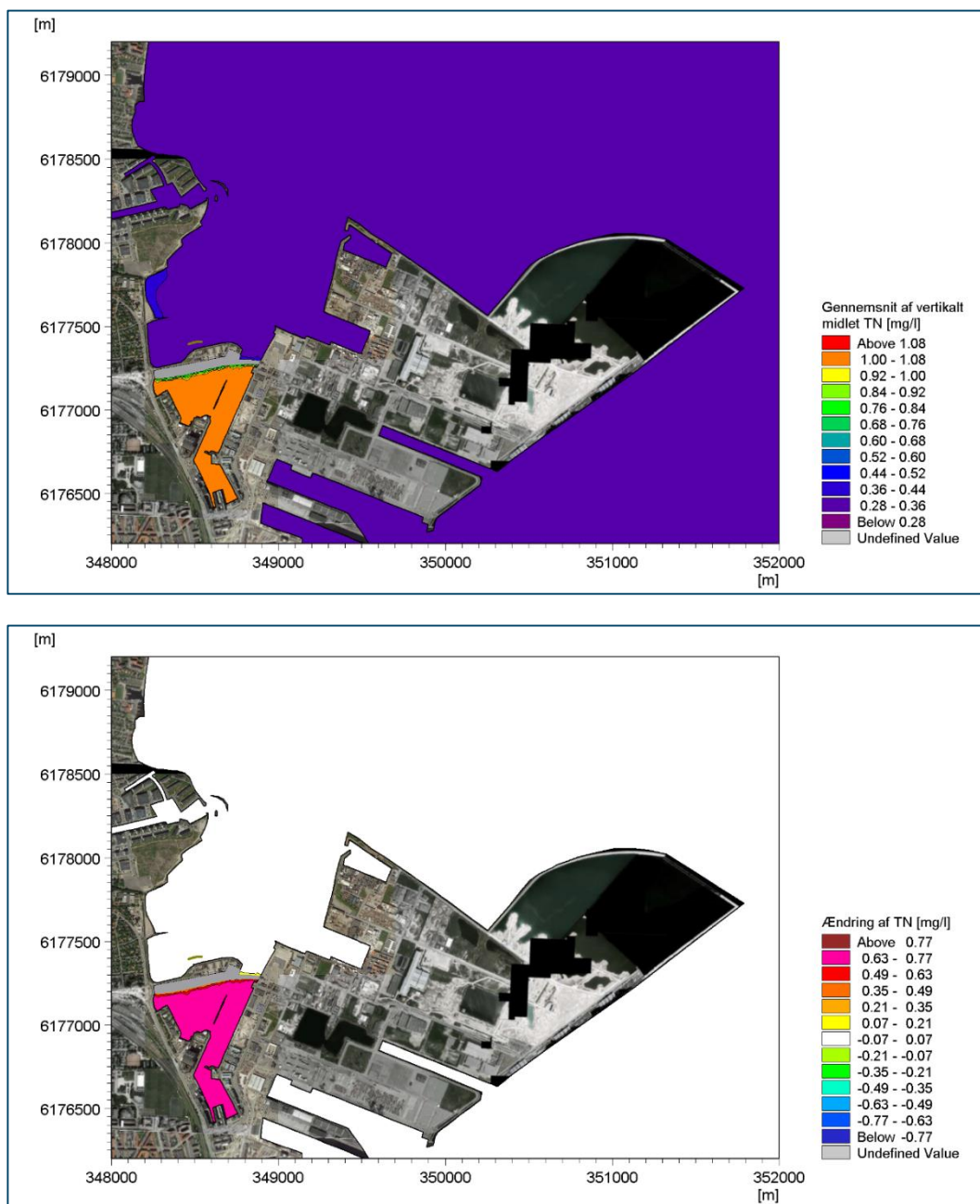
Iltten falder i alle scenarier med mellem 1,8 – 2,3 mg/l, naturligvis uanset hvilken erstatningshavn, der bygges og disse havne giver ikke ændringer i iltforholdene i Svanemøllebugten.

Total-N stiger med 0,63- 0,77 mg/l, mens Total-P stiger med 0,14-0,17 mg/l.

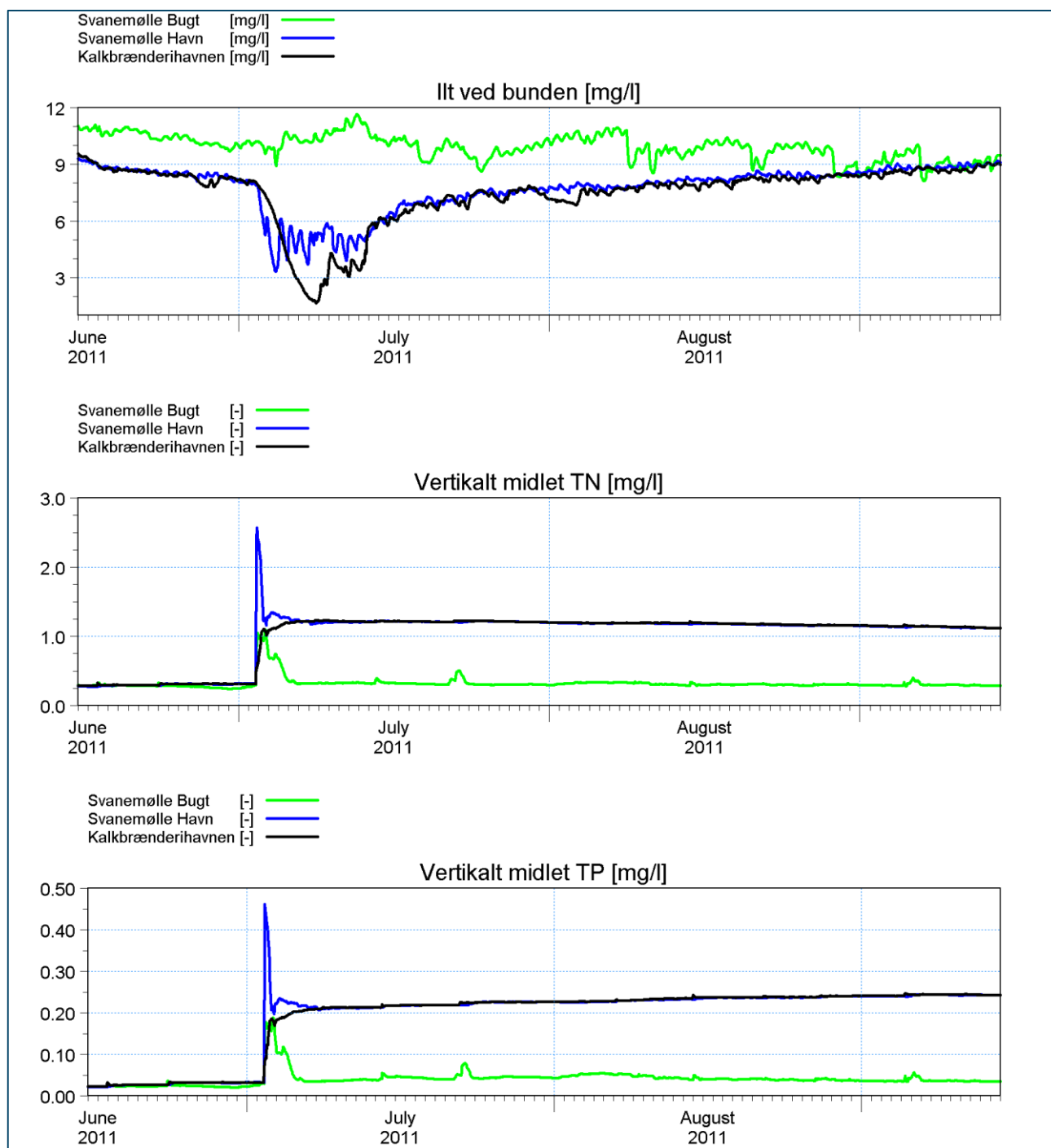
Alle ændringer inde i den lukkede havn forventes ikke at påvirke den generelle vandkvalitet i nævneværdig grad. For at kunne illustrere ændringer inde i havnen er der valgt en skalering, der ikke viser de meget begrænsede ændringer ude i Svanemøllebugten. For at illustrere det tidsmæssige forløb er der i Figur 3-21 vist tidsserier for to punkter inde i den lukkede havn (uden erstatningshavne) og et punkt ude i Svanemøllebugten. Her ses at der tidsligt er store variationer i koncentrationerne, men at de primært er styret af det meget store regnvejr i juni 2011.



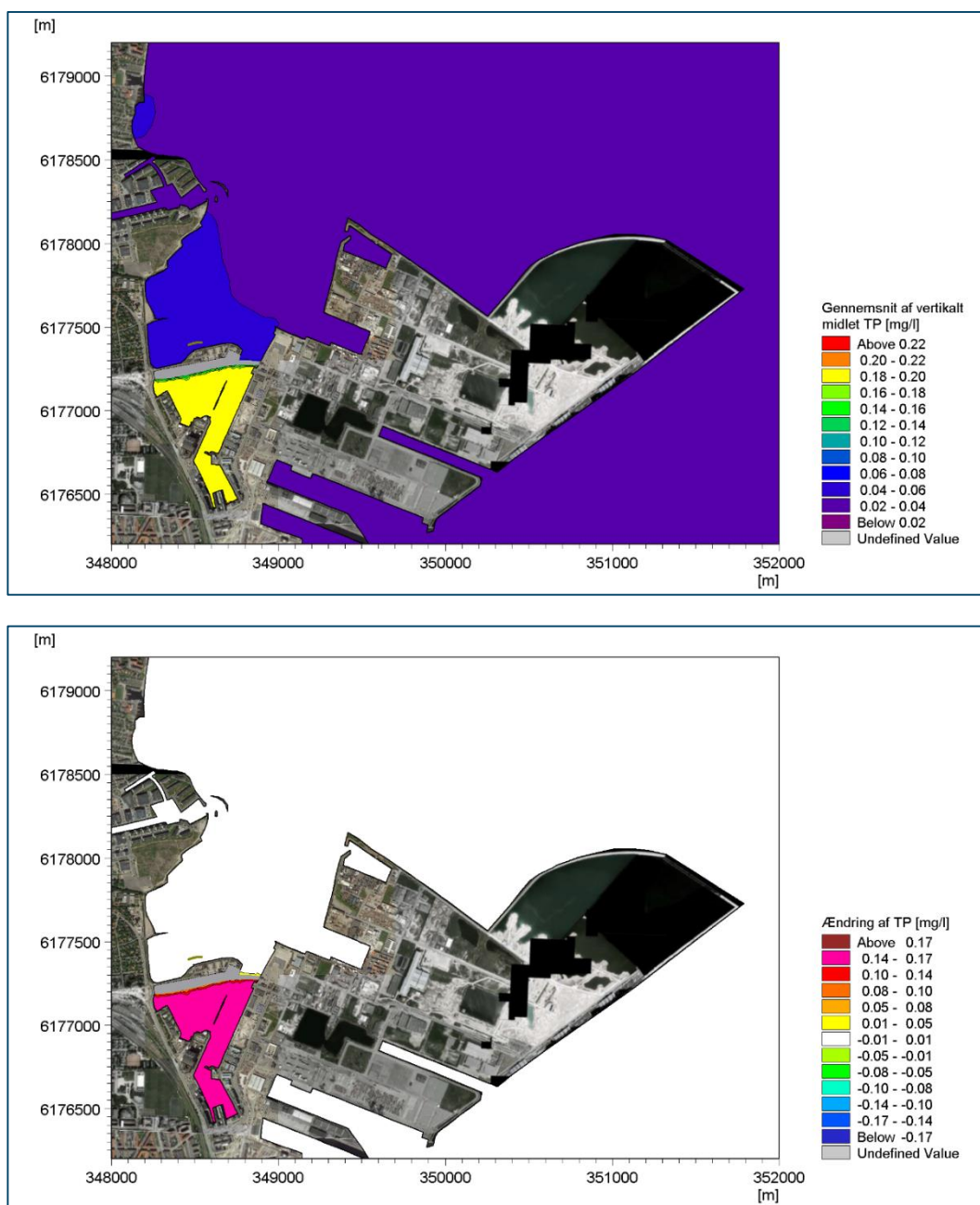
Figur 3-19 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel uden etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



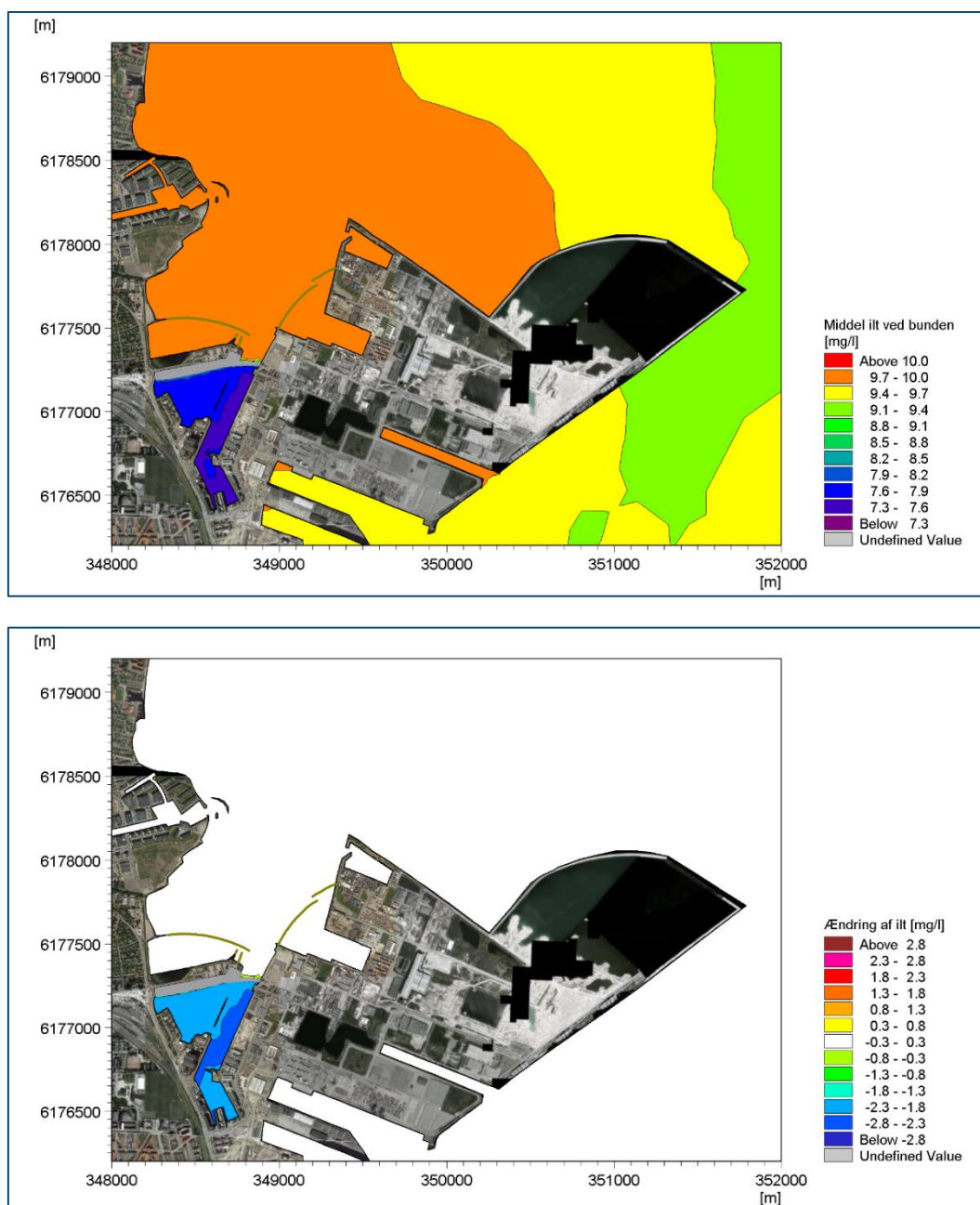
Figur 3-20 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



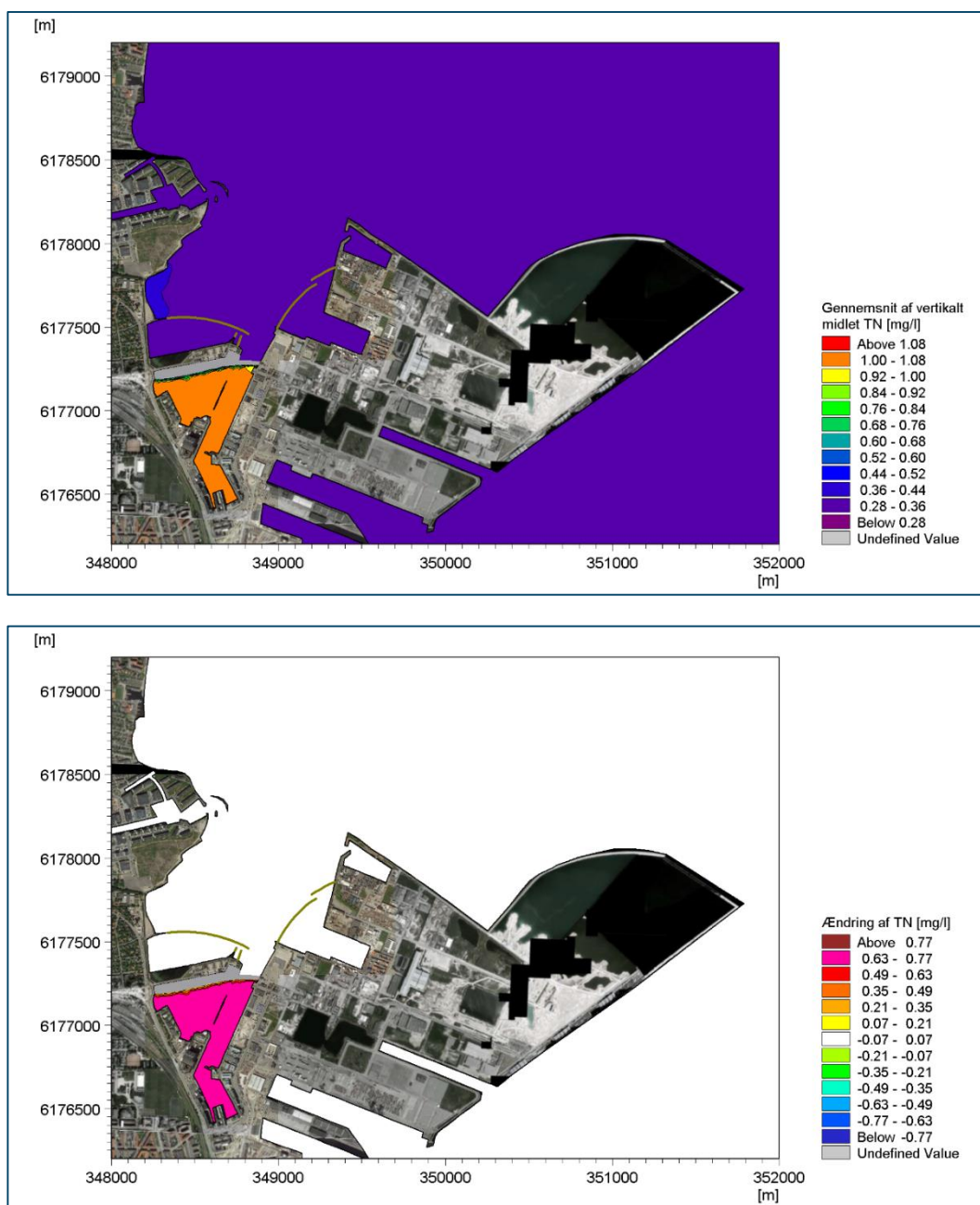
Figur 3-21 Lukket havn. Tidsserier for to punkter inde i havnen og et uden for havnen for ilt i bundlaget, for vertikal middel for hhv. Total-N og Total-P i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



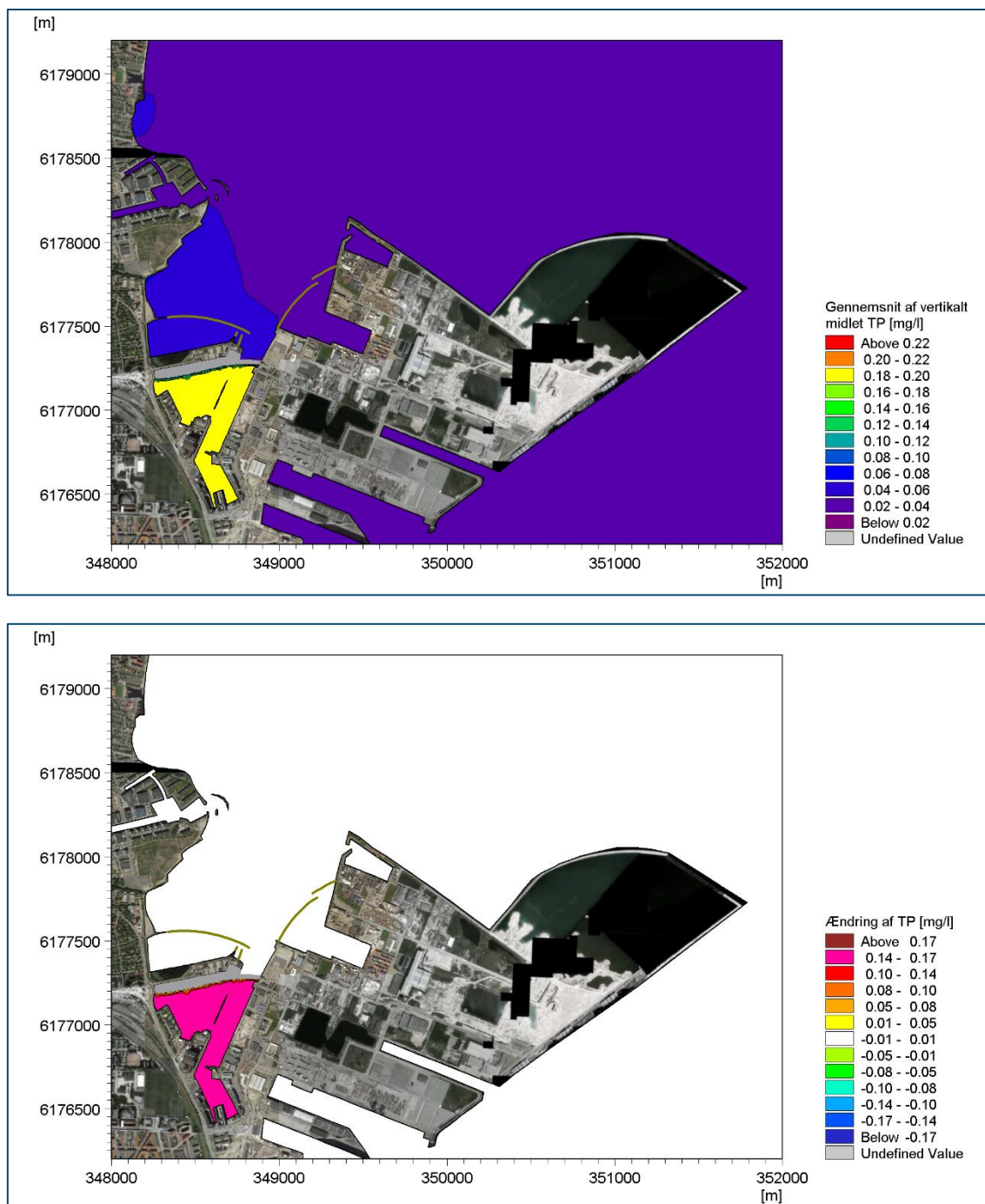
Figur 3-22 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling**. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



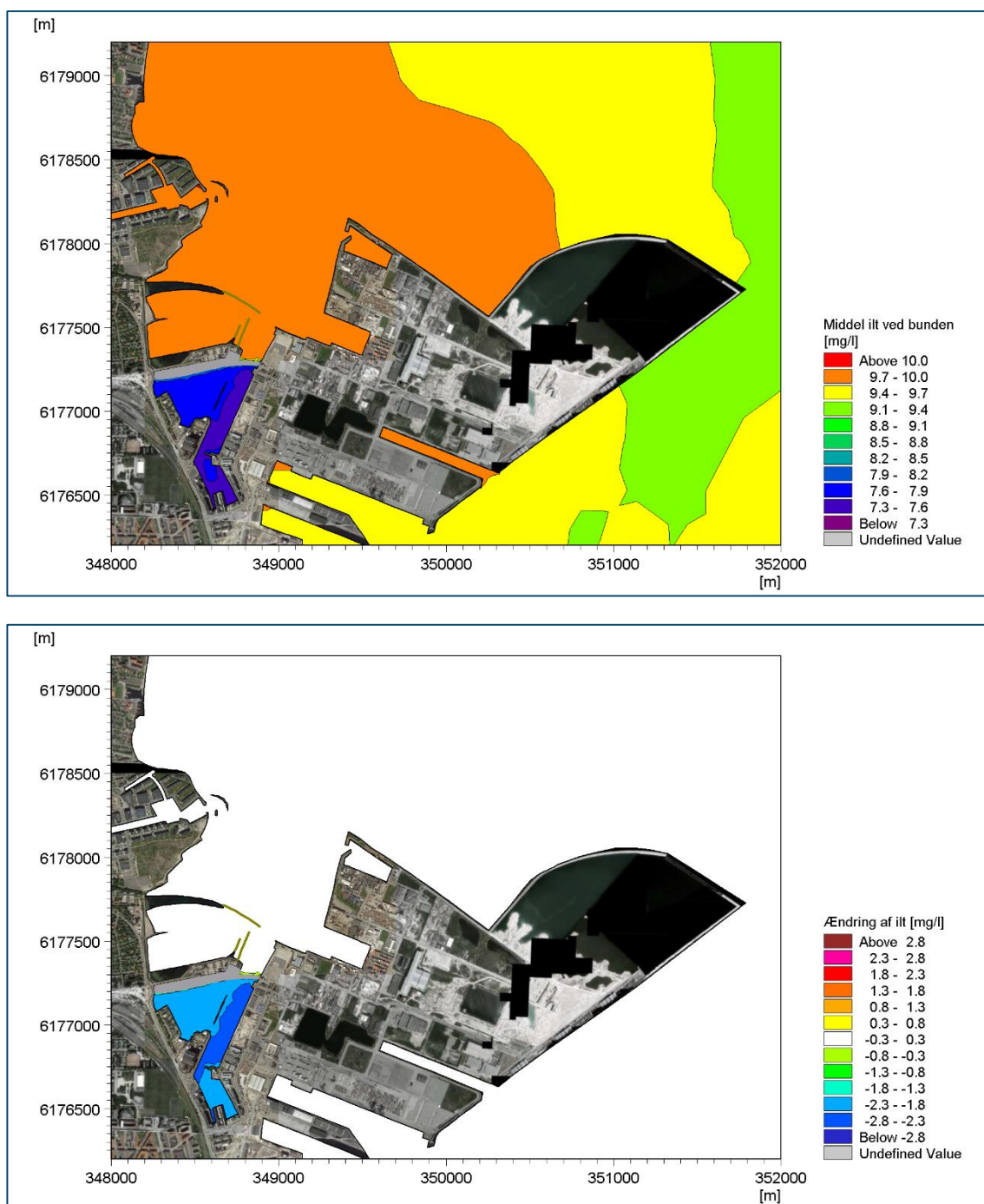
Figur 3-23 Ændringer i **iltkoncentrationen** i bundlaget ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** og med etablering af kombi løsningen med Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



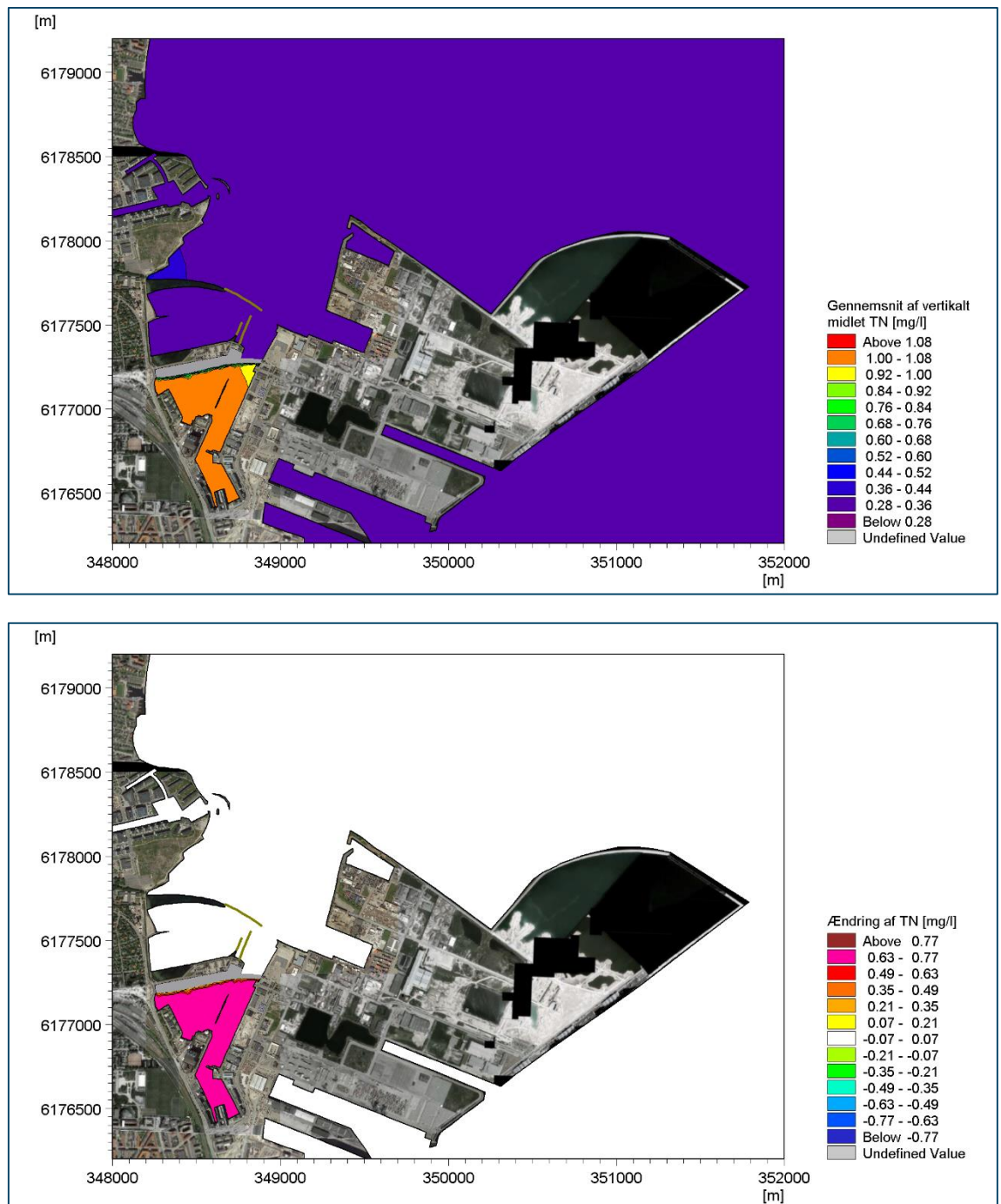
Figur 3-24 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling**, samt kombi løsning med Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



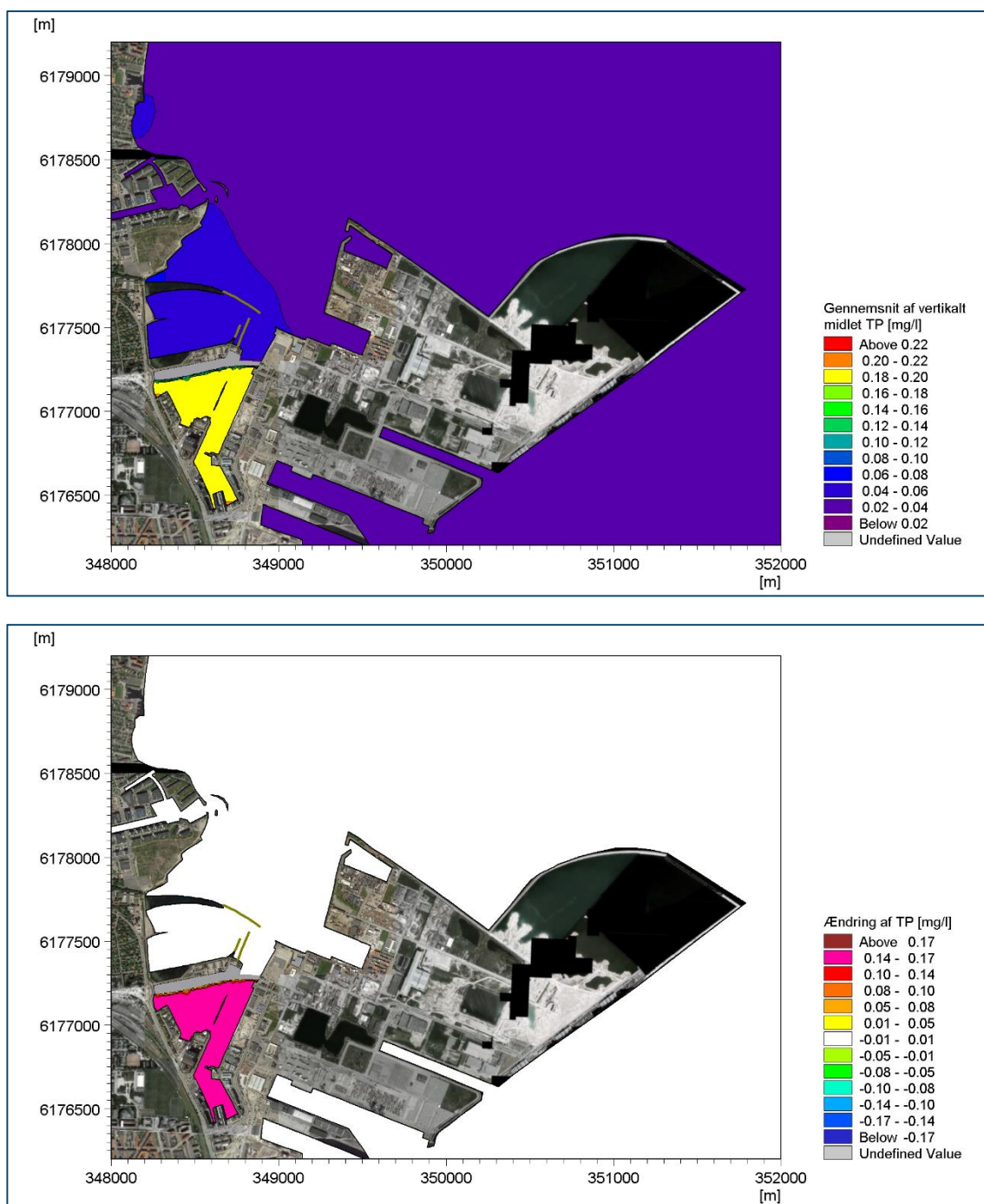
Figur 3-25 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling**, samt kombi løsning med Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 3-26 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling** og med etablering af Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 3-27 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling**, samt etablering af Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.

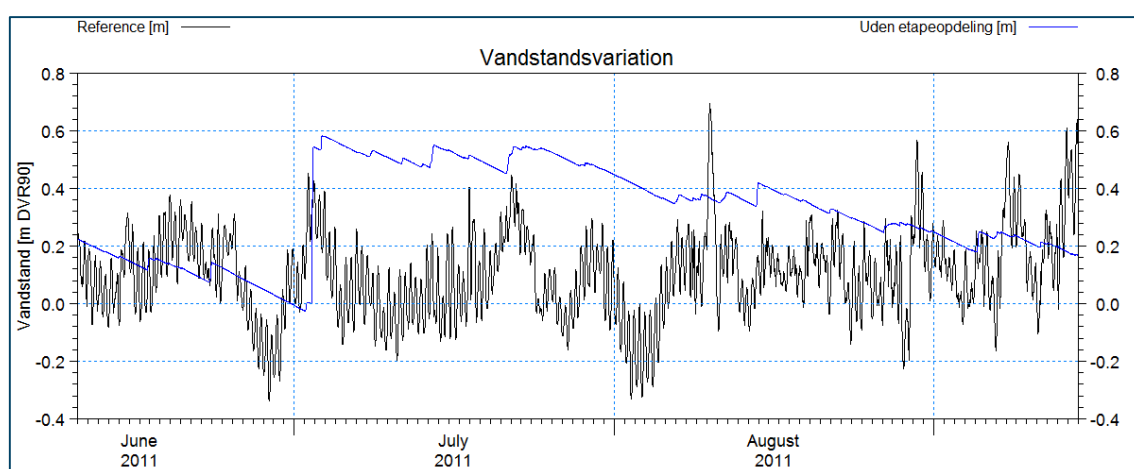


Figur 3-28 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel uden etapeopdeling**, samt etablering af Svaneknoppen Stor i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.

3.3 Afværgеforanstaltninger ved temperaturstigninger i lukket havn

Modelberegningerne har vist, at der er en væsentlig stigning i varigheden, hvor vandtemperaturer kommer over 20 °C i den lukkede havn i sommerperioden. Dette kan have en betydning for kølevandsprocesserne på Svanemølleværket og kræve, at der køres en større mængde vand gennem kølesystemet for at kompensere for den forhøjede temperatur i tilgangsvandet.

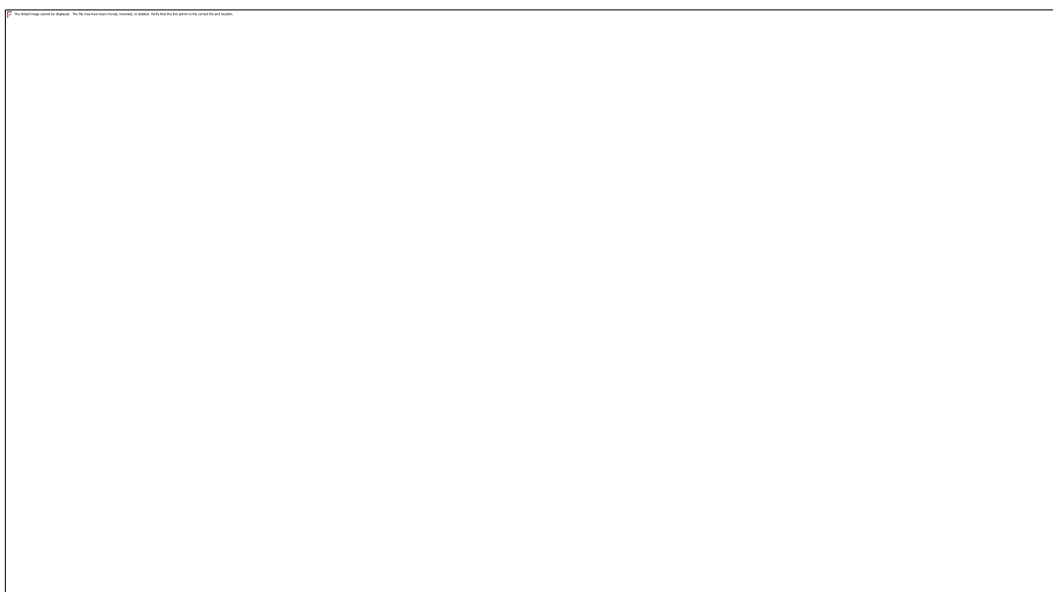
For at nedsætte perioderne med vandtemperaturer højere end 20 °C i havnebassinet er der gennemført et scenarium, hvor der indpumpes køligt bundvand ude fra Svanemøllebugten og tilsvarende udpumpes varmt overfladevand væk fra havnen. For scenarierne er det desuden forudsat, at der er en konstant residualudpumpning af vand fra havnen for at sikre, at der ikke sker en utilsigtet vandstandsstigning i havnen. Den konstante udpumpning af overskudsvand svarer til 36 l/s.



Figur 3-29 Sammenligning af **vandstand** i Svanemøllehavnen for eksisterende forhold (reference) og ved lukning af havnen (**uden etapeopdeling**), når der pumpes med en konstant rate på 36 l/s.

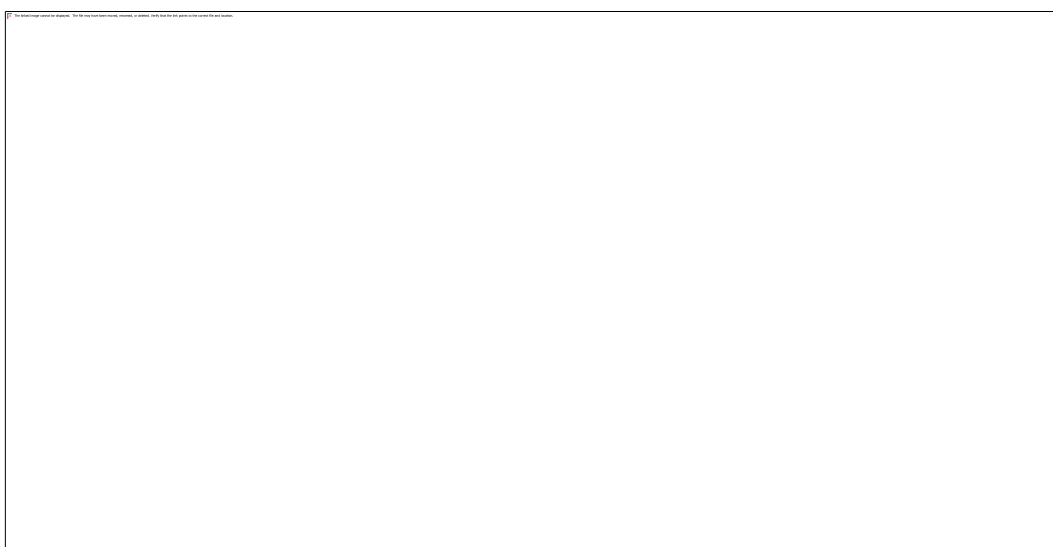
Det ses at udledninger relateret til den voldsomme regnhændelse i starten af juli 2011, som førte til oversvømmelser flere steder i København, kun forøger vandstanden i den lukkede del af havnen med omkring 60 cm. Selv udledninger relateret til voldsomme regnskyl kan derfor ikke forventes at føre til kritiske vandstande i den lukkede del af havnen, når blot der foretages en løbende beskeden udpumpning af overskudsvandet.

Der kan blive stillet krav om at vandstandsniveauet skal kunne bringes tilbage til normalniveau indenfor en kortere tidshorisont (for eksempel X døgn). For at kunne estimere en nødvendig pumpekapacitet er det derfor nødvendigt at beregne hvor meget vand der potentielt tilledes havnen i forbindelse med kraftige regnskyl. For regnvejrshændelsen i 2. juli 2011 er det tilførte bidrag fra de fire udløb inde i havnen (CFO16, UØ14.1, UØ15 og UØ17) beregnet og vist i Figur 3-30. Tilførslen af vand sker i løbet af 3-4 timer og ender op i en samlet mængde på **108.000 m³**.



Figur 3-30 Tilløbshydrografen til den lukkede del af havnen og sammensat af bidrag fra CFO16, UØ14.1, UØ15 og UØ17.

Hændelsen d. 2. juli 2011 var meget ekstrem som den ses af Figur 3-31, som viser tilløbshydrografen for perioden 2000-2014. For hændelsen med den næsthøjeste peak vandføring (juni 2008), finder man for eksempel at der tilføres 16.100 m³.

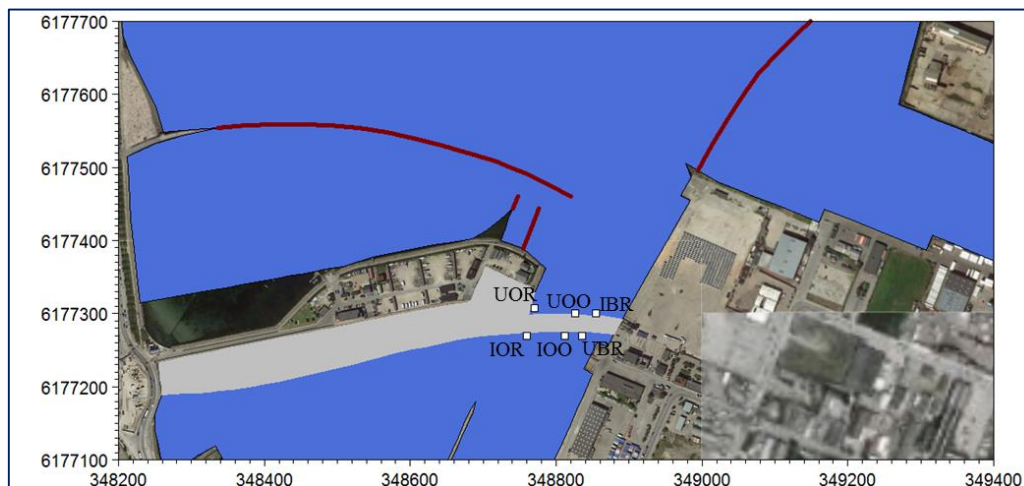


Figur 3-31 Tilløbshydrografen til den lukkede del af havnen og sammensat af bidrag fra CFO16, UØ14.1, UØ15 og UØ17 for perioden 2000-2014.

3.3.1 Udskiftning af varmt overfladevand med køligere bundvand

Der er regnet på to afværgescenarier. I det første scenarium udpumpes der overskudsvand med en konstant rate på 36 l/s (vandstandsregulering), kombineret med en vandudskiftning på 1 m³/s (temperaturregulering). I det andet scenarium er vandudskiftningsraten forøget til 2 m³/s. For at opnå en optimal kølevirkning udpumpes der overfladevand fra den vestlige del af Kalkbrænderiløbet, idet det varmeste overfladevand i sommermånederne vil befinde sig i Svanemøllehavnen på grund af den lavere vanddybde. Salint og køligt bundvand ind- og udpumpes i den østlige side, således at der opstår et svagt densitet og impulsdrevet residualflow i Kalkbrænderiløbet,

som sender køligere vand i retning mod Svanemølleværkets vandindtag, hvor vandtemperaturen optimalt set ikke må overstige 20 °C. Placeringen af pumpeindtag og udløb er vist i Figur 3-32.

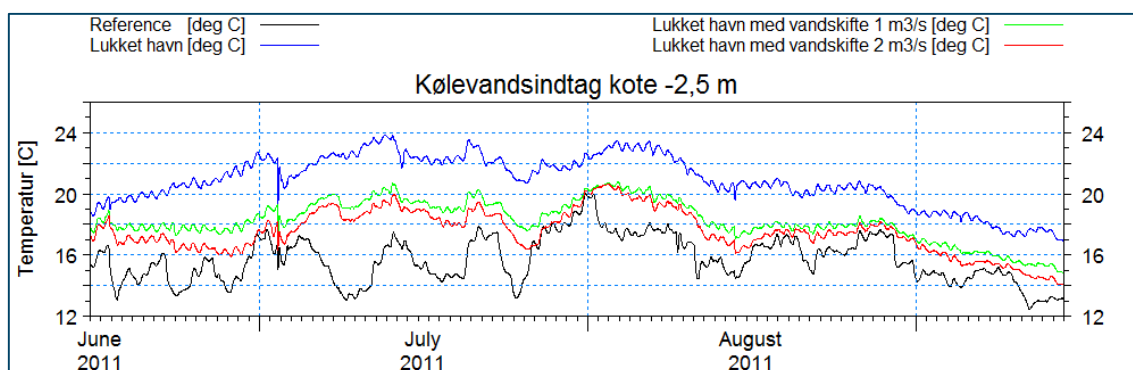


Figur 3-32 Placering af pumpe ind og udløb. IOR: Recirkulationsvandsindtag ved overflade, UOR: Recirkulationvandsudløb ved overflade, IOO: Indtag af overskudsvand ved overflade, UOO: Udløb af overskudsvand ved overflade, UBR: Recirkulationsudløb ved bund og IOR: Recirkulationsvandsindtag ved bund.

Afværgescenarierne er beregnet for kombinationen med lukning af havnen og midlertidige marinaer nord for Svaneknoppen og i Færgehavn Nord. Til at belyse hvordan Svanemølleværkets kølevand påvirkes, er der udtrukket tidsserier af temperatur og salinitet ved henholdsvis indtag (kote -2,5 m) og udløb (kote -0,5 m).

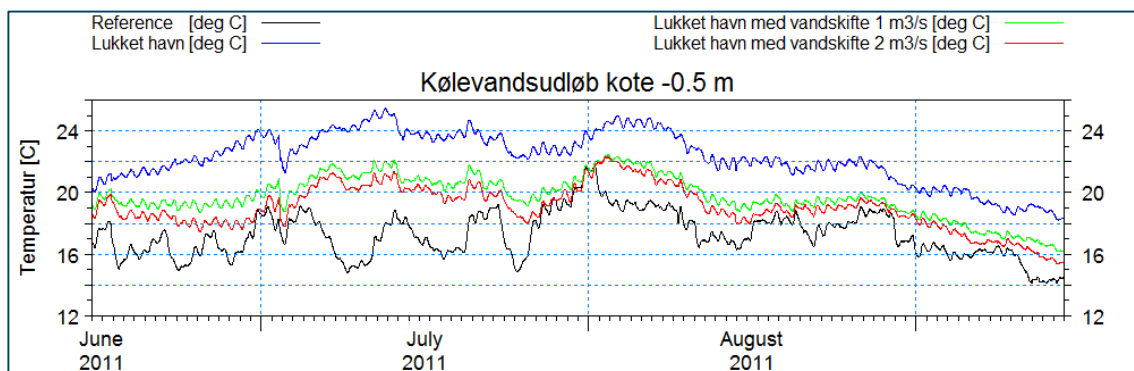
Figur 3-33 og Figur 3-34 viser vandtemperaturen ved henholdsvis indtag og udløb. Det ses at vandtemperaturen ved indtaget kun kortvarigt er oppe at strejfe de 20 °C med de nuværende forhold, mens den ved udførelse uden etapeopdeling og udpumpning af overskudsvand må forventes at være oversteget i det meste af sommerperioden juni-august. Vælges der at recirkulere med 1 m³/s opnås en signifikant reduktion af vandtemperaturen, således at vandtemperaturen på 20 °C kun overstiges i kortere perioder. Forøges recirkulationen til 2 m³/s bliver varigheden af overskridelsen endnu kortere, men det ses at effekten på vandtemperaturen er stærkt aftagende. Varigheden af vandtemperaturer over 20 °C ved kølevandsindtaget er angivet i

Tabel 3-4 for hvert af de fire scenarier. Uden for sommermånederne vil recirkulationsraten kunne reduceres markant, da afkøling til atmosfæren vil gøre det svært at overstige vandtemperaturer på over 20 °C ved indtaget.



Figur 3-33 Modellerede vandtemperaturer i kote -2,5 m ved kølevandsindtaget i perioden 15. juni - 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af

overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m³/s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m³/s.

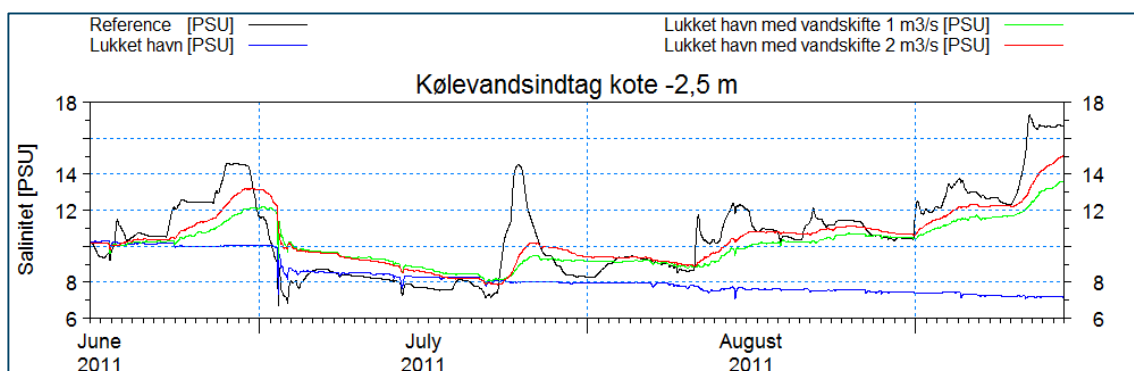


Figur 3-34 Modellerede vandtemperaturer i kote -0,5 m ved kølevandsudløbet i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m³/s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m³/s.

Tabel 3-4 Akkumuleret varighed af perioder med vandtemperaturer over 20 °C i kote -2,5 m ved kølevandsindtag.

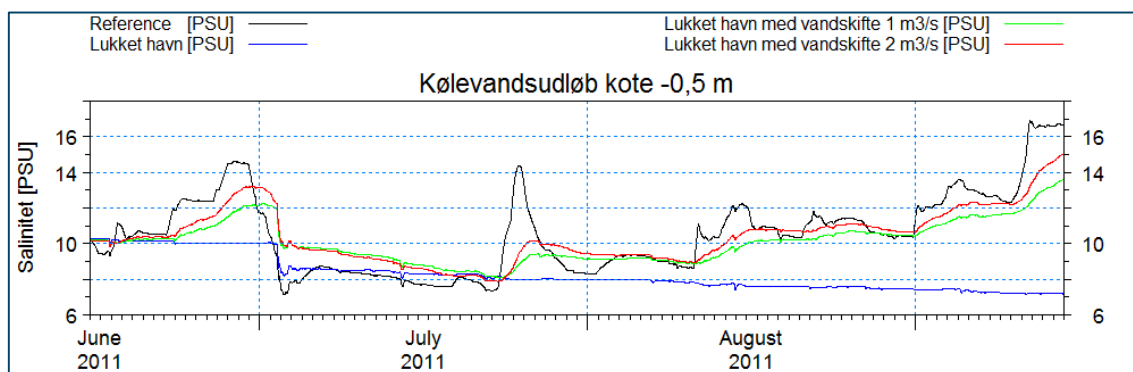
Scenarie	Varighed [timer]
Reference	2
Lukket havn	1622,5
Lukket havn med vandskifte 1 m ³ /s	227
Lukket havn med vandskifte 2 m ³ /s	84,5

Tilsvarende plots er vist for saliniteten i Figur 3-35 og Figur 3-36. Det ses at saliniteten varierer mellem 7-17 PSU i den eksisterende situation. Såfremt der kun udpumpes overskudsvand vil salinitet i den lukkede havn gradvist nærme sig nul på grund af regnvandsudledningerne inde i den lukkede havn. Det ses endvidere at recirkulationsraten på 1 m³/s er rigelig til at opretholde salinitetsniveauet i den lukkede del af havnen.



Figur 3-35 Modelleret salinitet i kote -2,5 m ved kølevandsindtaget i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: Uden etapeopdeling og kun ud-

pumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m³/s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m³/s.

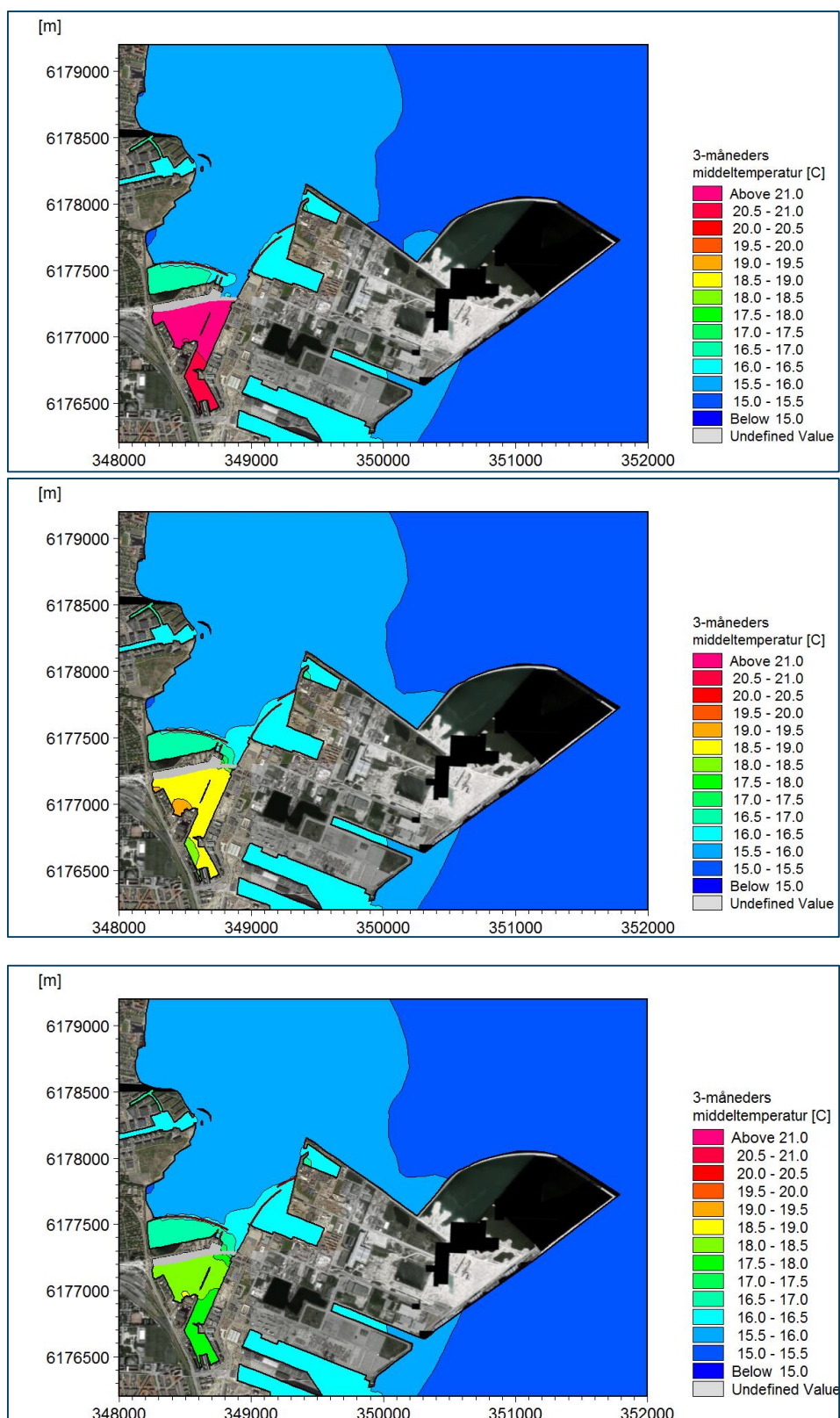


Figur 3-36 Modelleret **salinitet** i kote -0,5 m ved kølevandsudløbet i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Sort kurve: Nuværende forhold. Blå kurve: **Uden etapeopdeling** og kun udpumpning af overskudsvand. Grøn kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 1 m³/s. Rød kurve: Uden etapeopdeling, udpumpning af overskudsvand og recirkulationsrate på 2 m³/s.

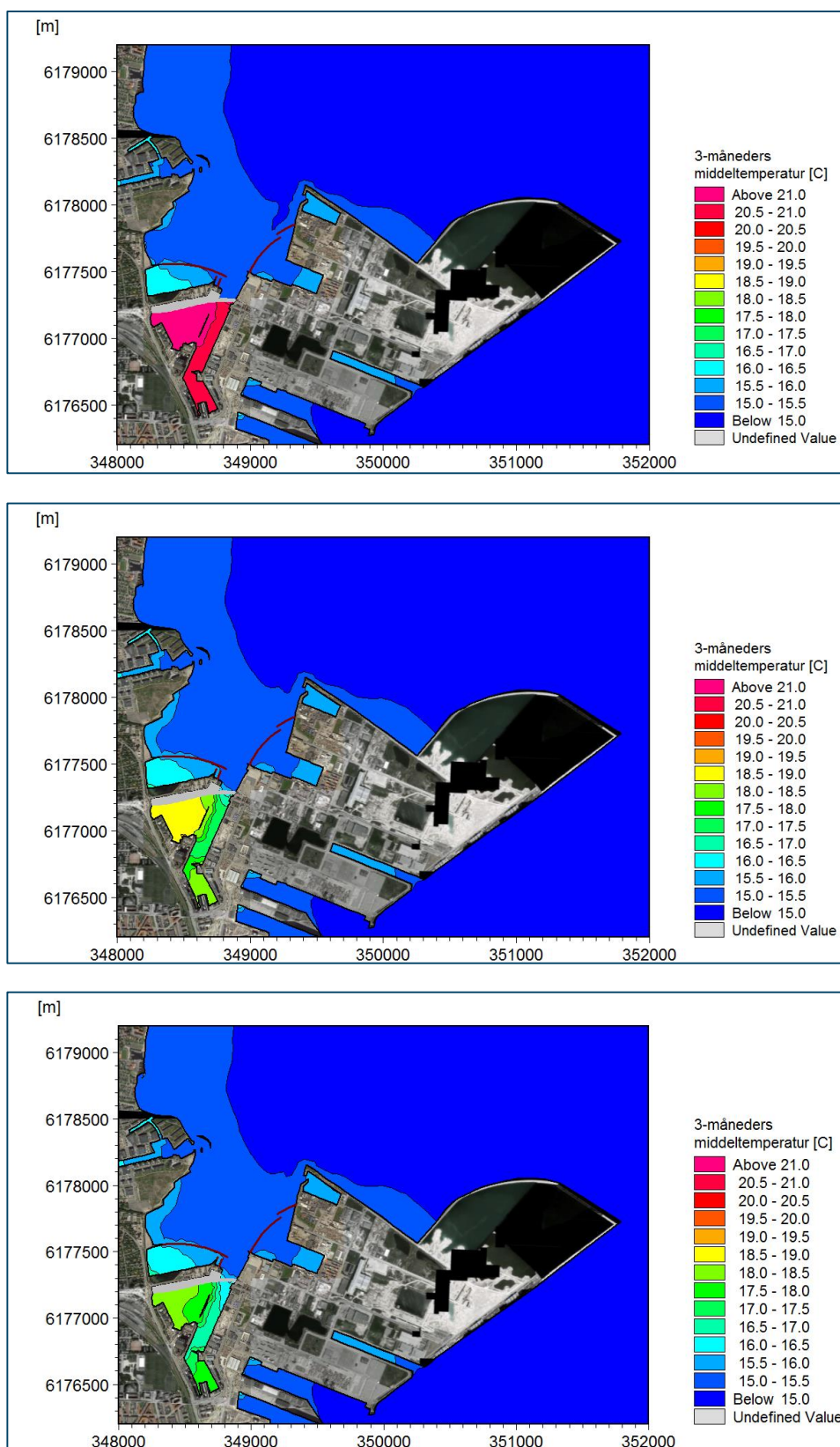
I nedenstående plots vises 3 måneders middeltemperatur og middelsalinitet ved henholdsvis vandoverflade (Figur 3-37 og Figur 3-45) og bund (Figur 3-38 og Figur 3-46) for basis-scenariet, hvor havnen er lukket og der kun udpumpes overskudsvand, samt for de to afværgescenarier. Alle beregningerne er udført for en konstellation med en lille marina ved Svaneknoppen og en marina i Færgehavn Nord. Det ses at lukningen af havnen fører til en kraftig opvarmning af den indesluttede vandmasse i sommermånederne. Ligeledes reduceres saliniteten i takt med at der tilføres ferskt overfladevand.

Figur 3-39 og Figur 3-40 viser ændringer i middeltemperaturen ved henholdsvis overflade og bund, set i forhold til reference situationen (nuværende forhold). Det ses at udskiftning af varmt overfladevand med køligere bundvand (recirkulation af 1 m³/s og 2 m³/s) reducerer opvarmningen mærkbart. Tilsvarende plots er vist for saliniteten i Figur 3-47 og Figur 3-48, hvor det ses at strategien med at udskifte overfladevand med bundvand sikrer, at der opretholdes et salinitetsniveau, svarende til forholdene uden for havnen.

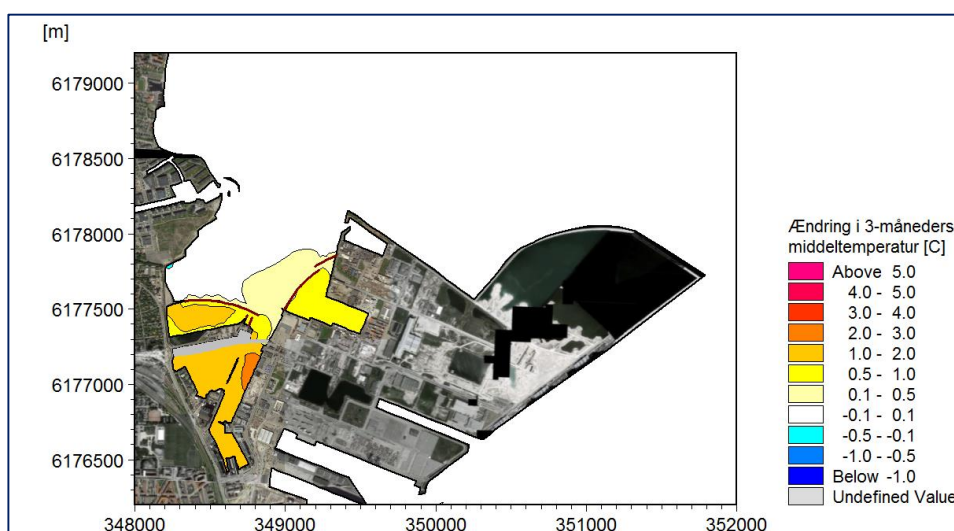
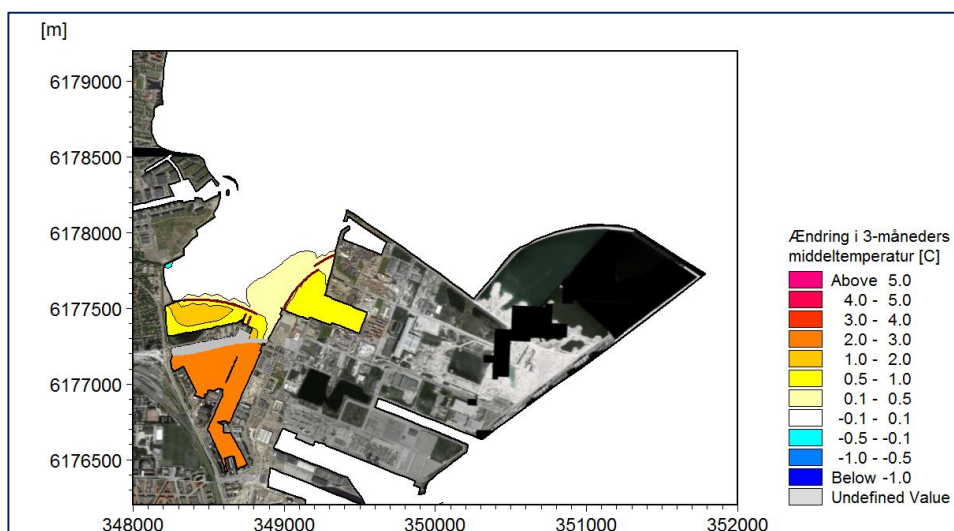
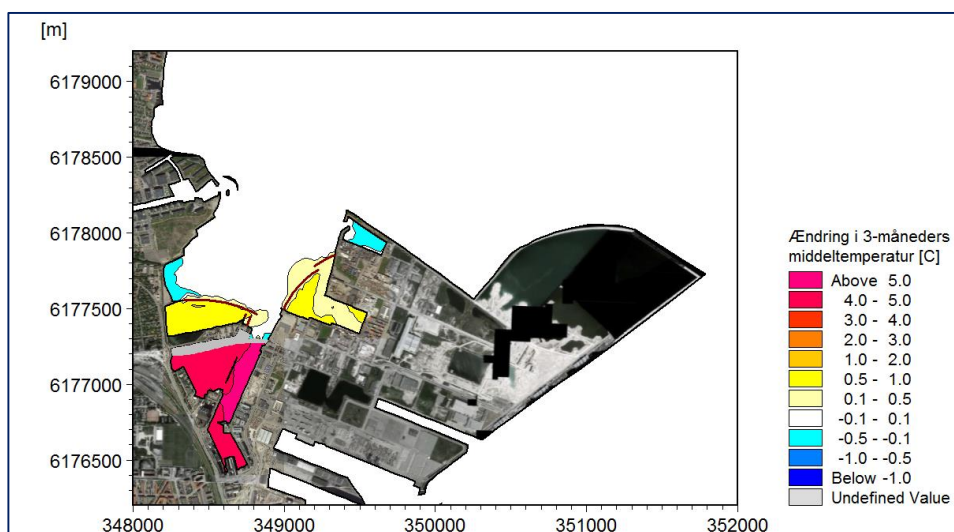
Vandtemperaturer på over 20 °C anses at have en kritisk reducerende effekt på kølevandets virkning. I Figur 3-41 og Figur 3-42 er plots af den akkumulerede varighed af perioder med vandtemperaturer højere end 20 °C vist ved henholdsvis overflade og bund. Det ses at en lukning af havnen uden et vandskifte vil betyde, at kølevandstemperaturen ved indtaget vil overstige den kritiske temperatur i det meste af sommerperioden. Et vandskifte på 1 m³/s vil kraftigt reducere effekten på opvarmningen, mens mereffekten af at udskifte 2 m³/s er mere beskeden. Ændringen i varighed med vandtemperaturer over 20 °C er vist i Figur 3-41 og Figur 3-42.



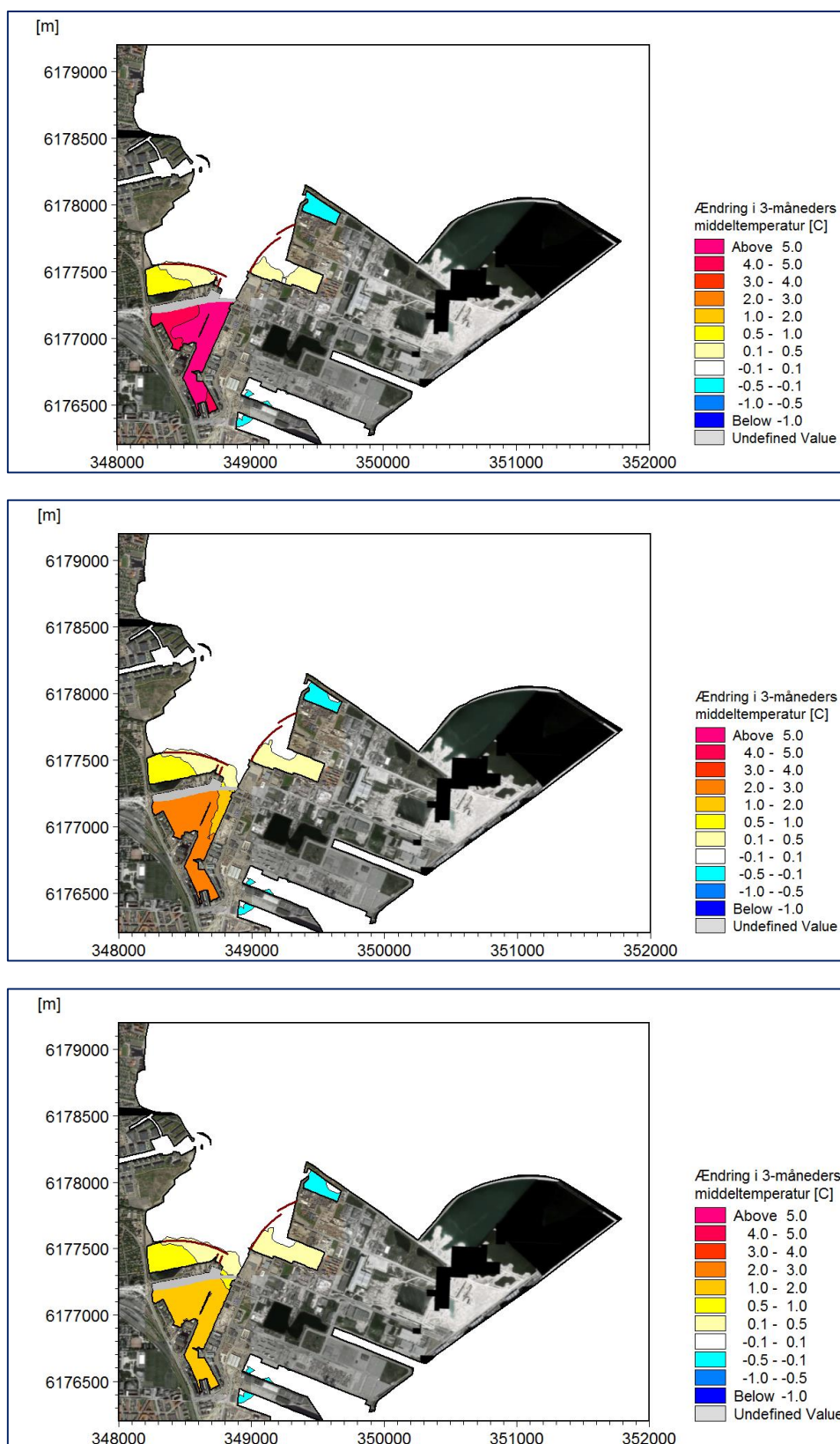
Figur 3-37 **Temperatur:** 3-måneders middeltemperatur i **overfladelag** uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



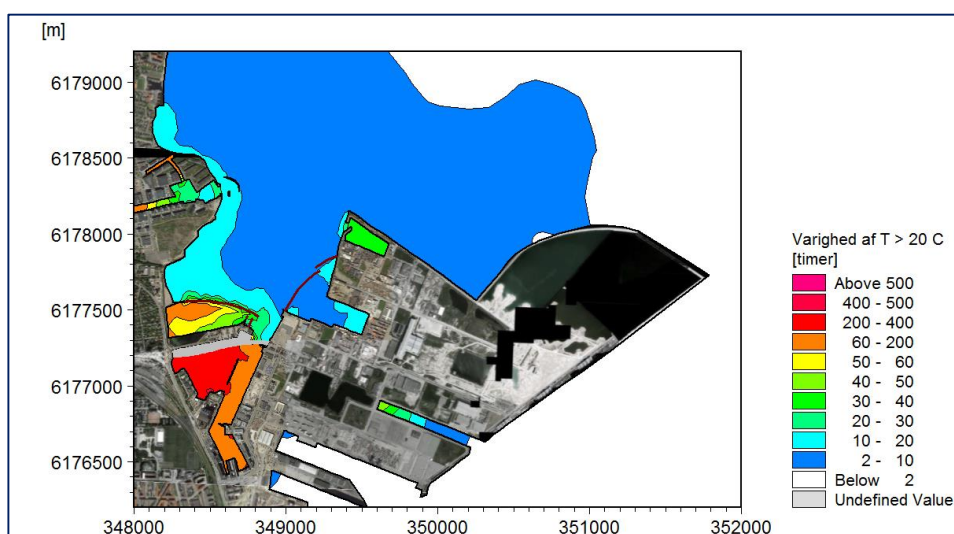
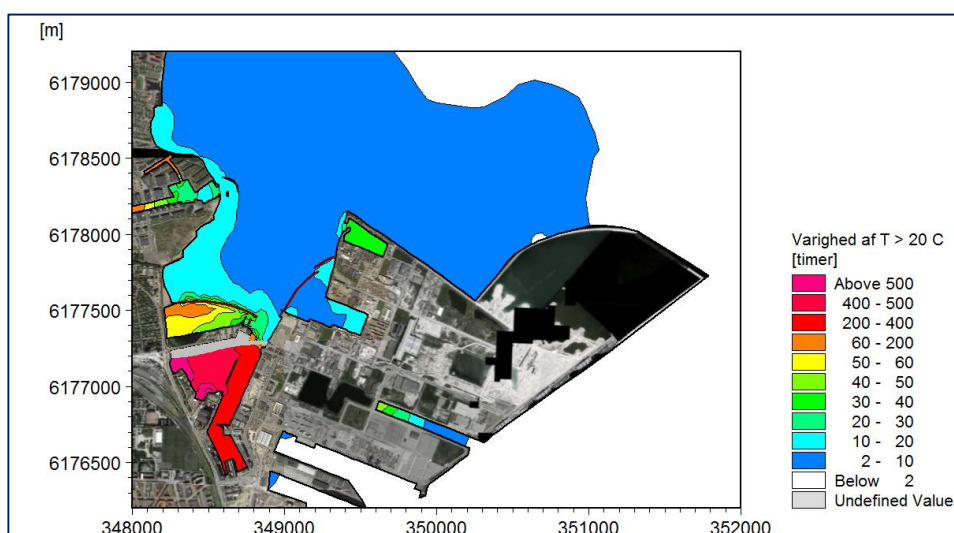
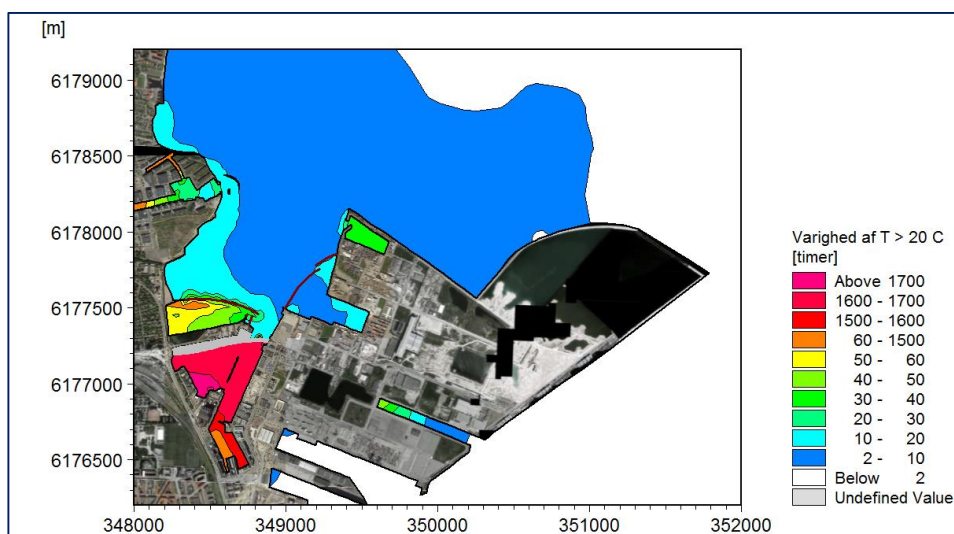
Figur 3-38 **Temperatur:** 3-måneders middeltemperatur i **bundlag** uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



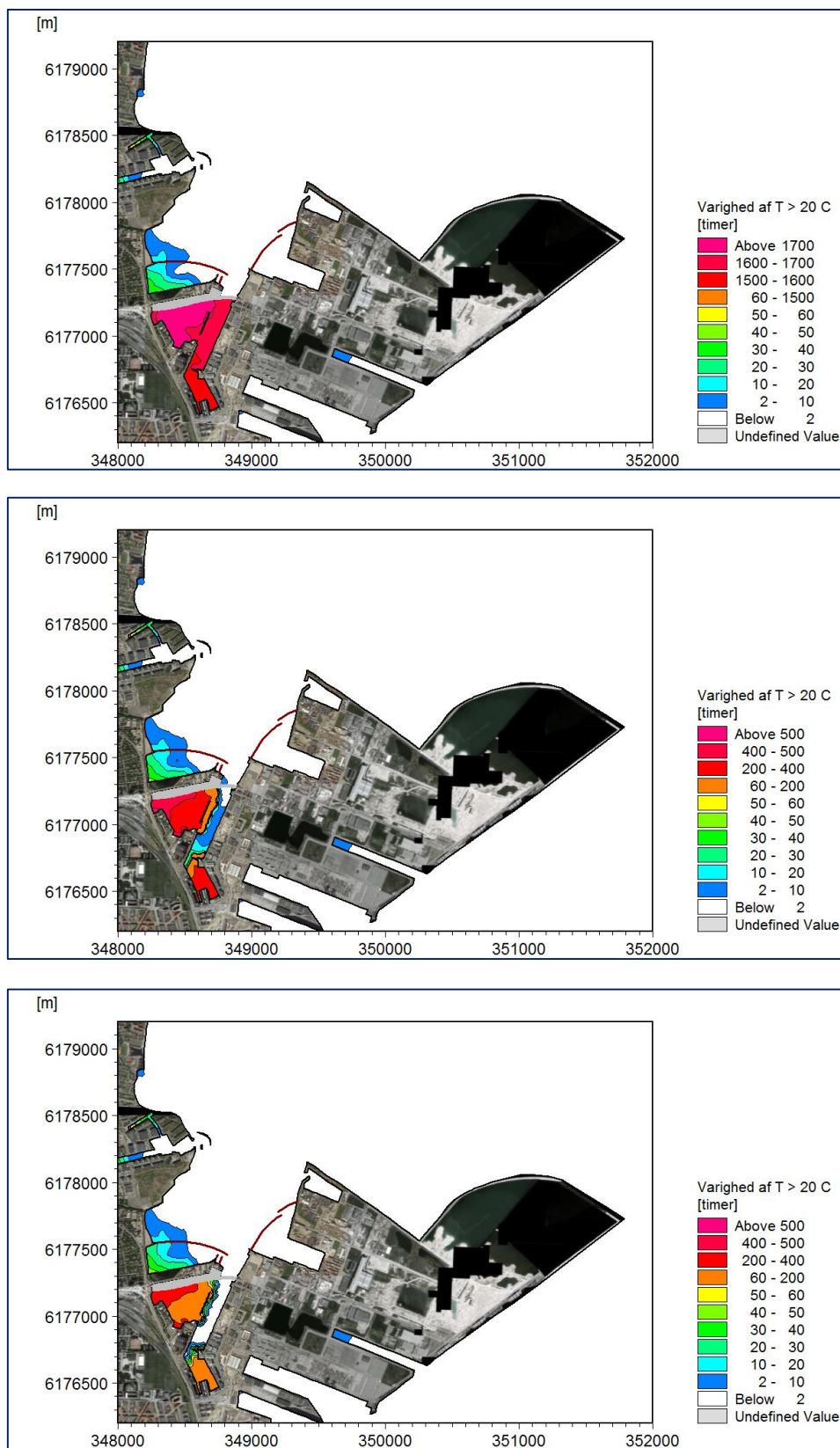
Figur 3-39 **Temperatur:** Ændring i 3-måneders middeltemperatur i **overfladelag** uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



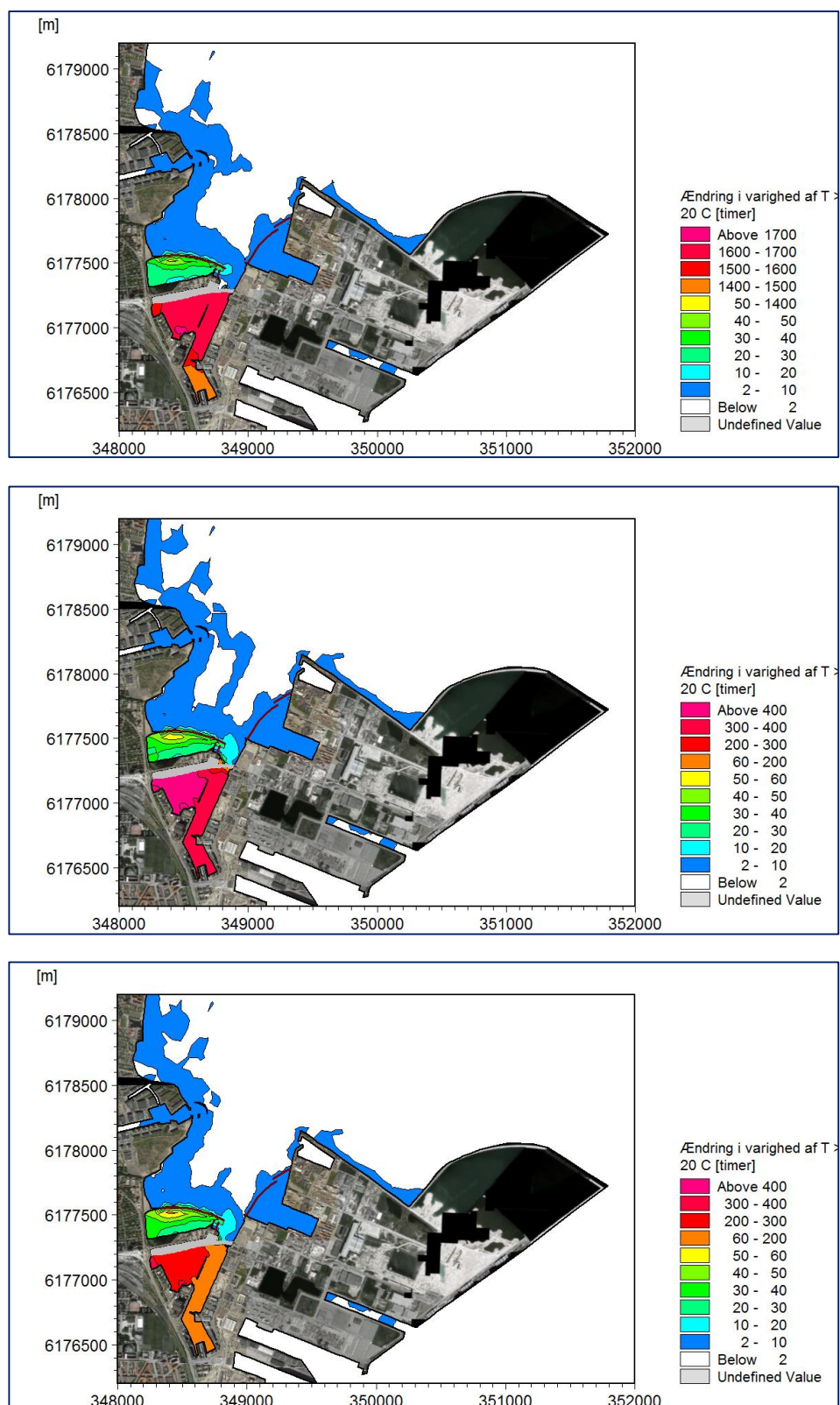
Figur 3-40 **Temperatur:** Ændring i 3-måneders middeltemperatur i **bundlaget** uden afværgesforanstaltninger (øverst), afværgescenarie 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværgescenarie 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



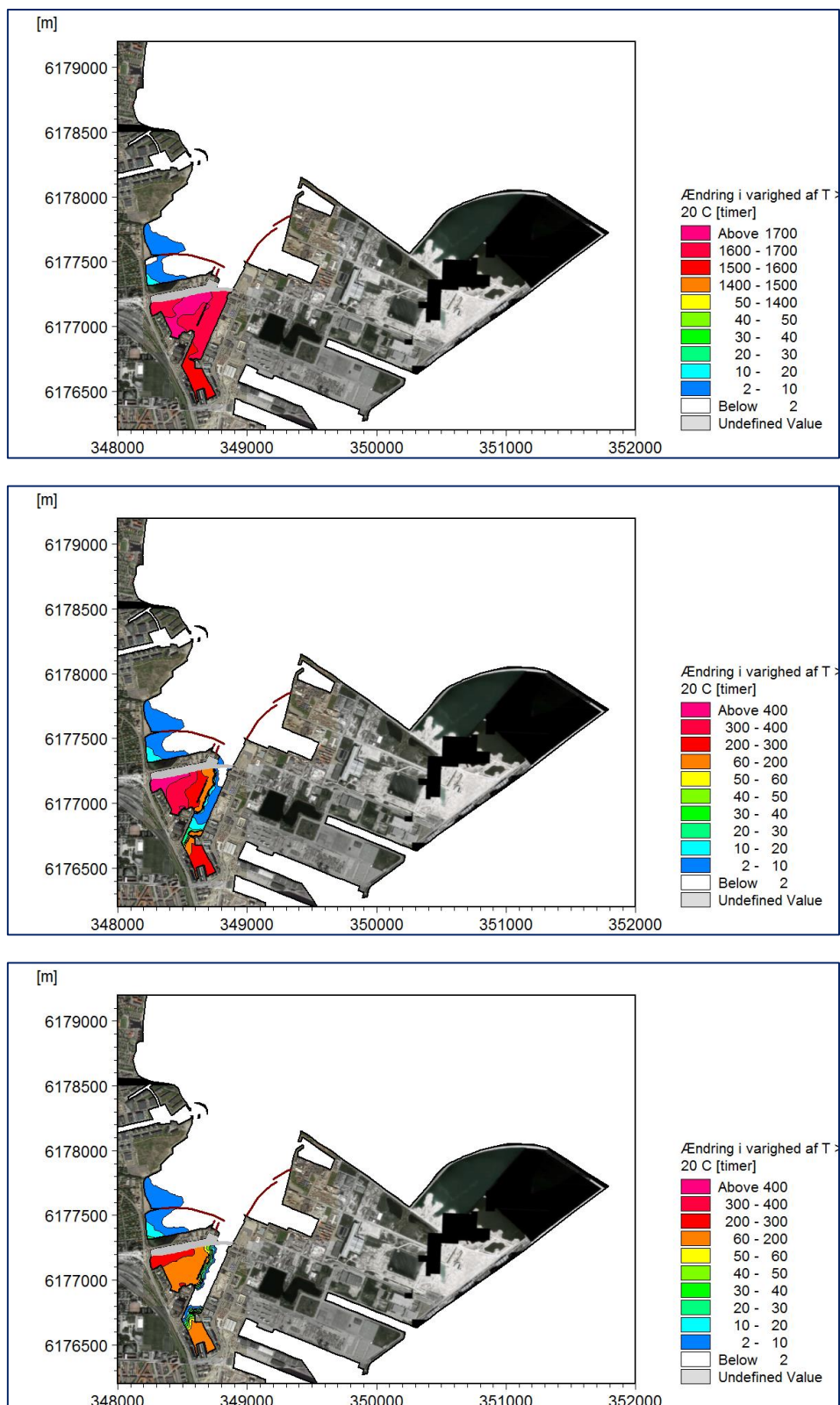
Figur 3-41 **Temperatur:** Varighed af tid, hvor temperaturen i **overfladelaget** er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni - 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk ændret farveskala for afværge scenarierne!



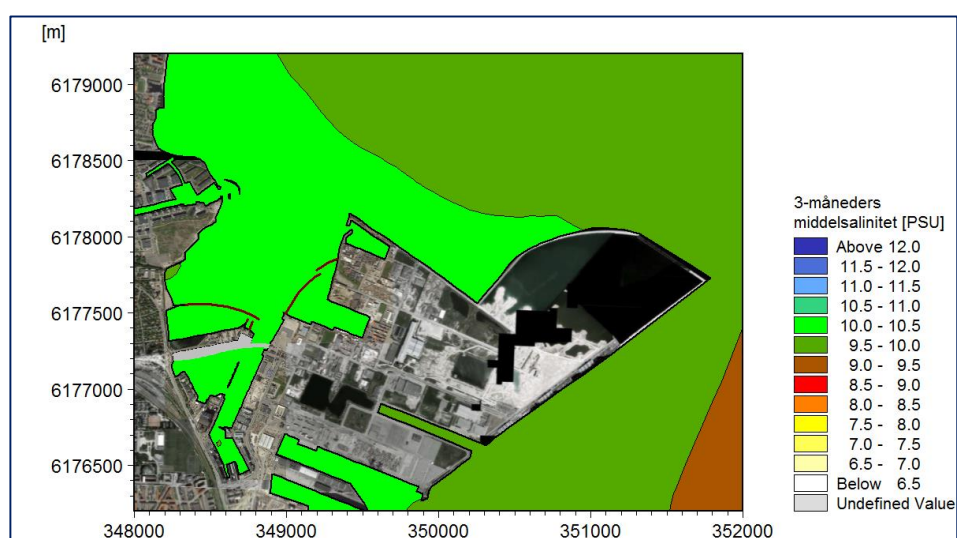
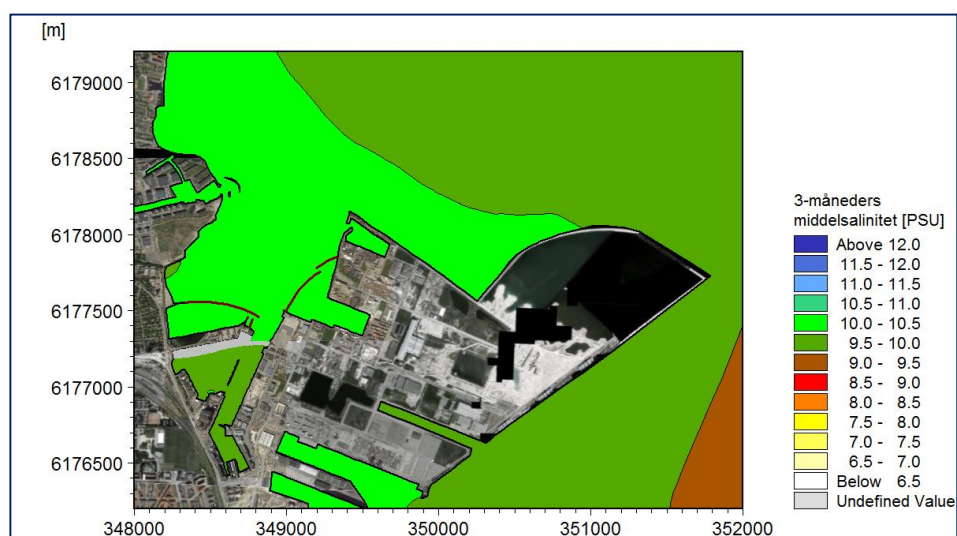
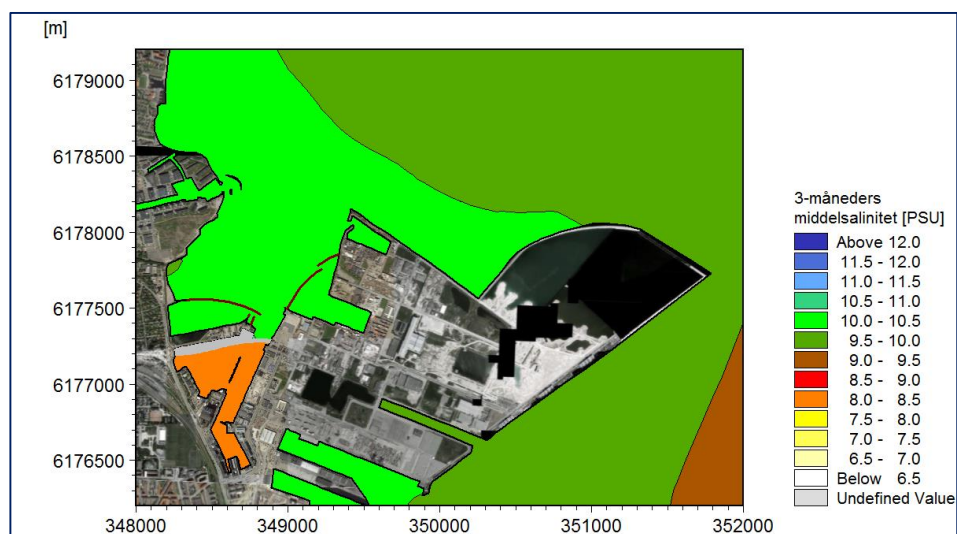
Figur 3-42 **Temperatur:** Varighed af tid, hvor temperaturen i **bundlag** er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværgescenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværgescenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk den ændrede farveskala for afværgescenarierne!



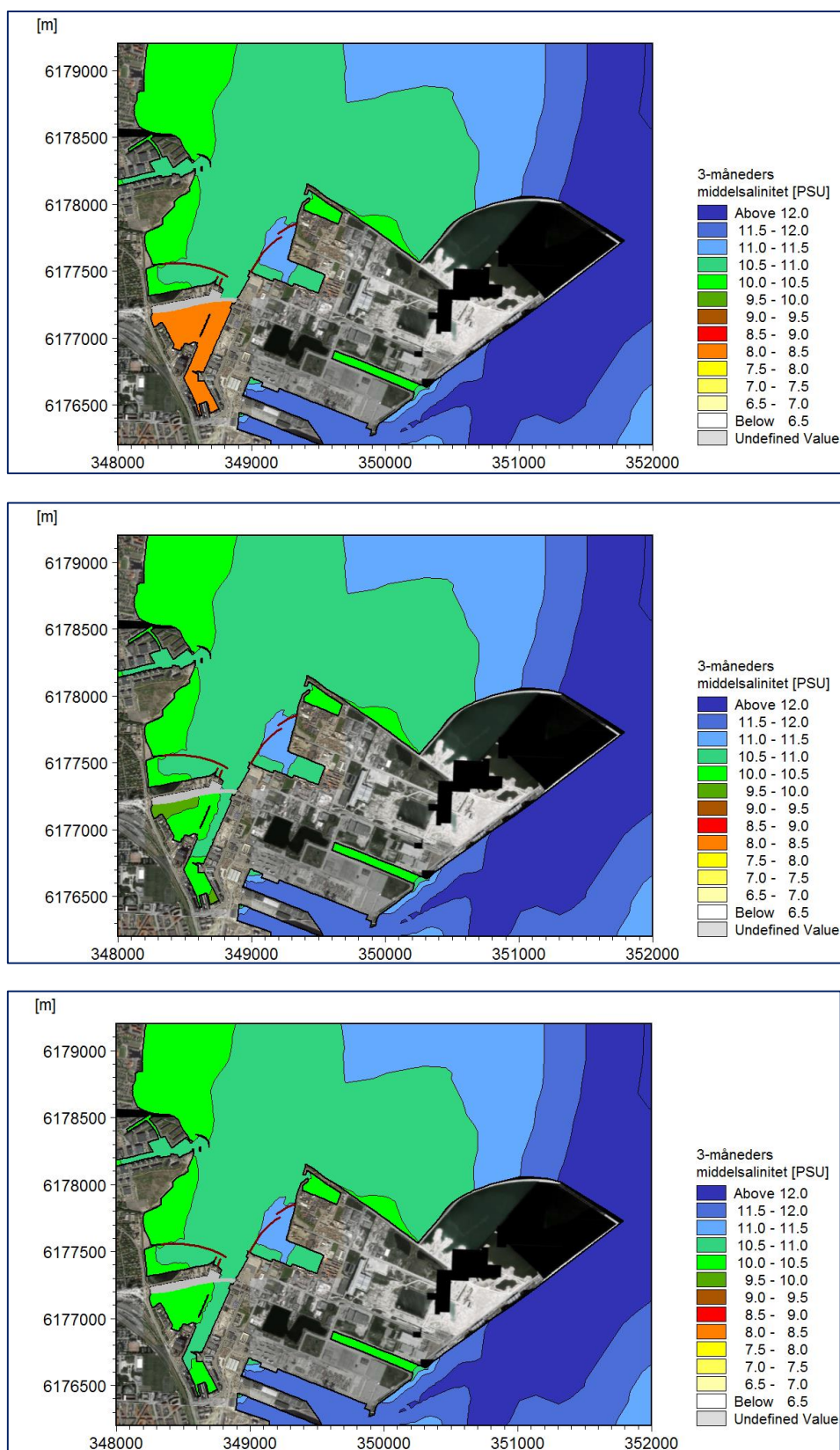
Figur 3-43 **Temperatur:** Ændring i varighed af tid, hvor temperaturen i **overfladelag** er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk den ændrede farveskala for afværge scenarierne!



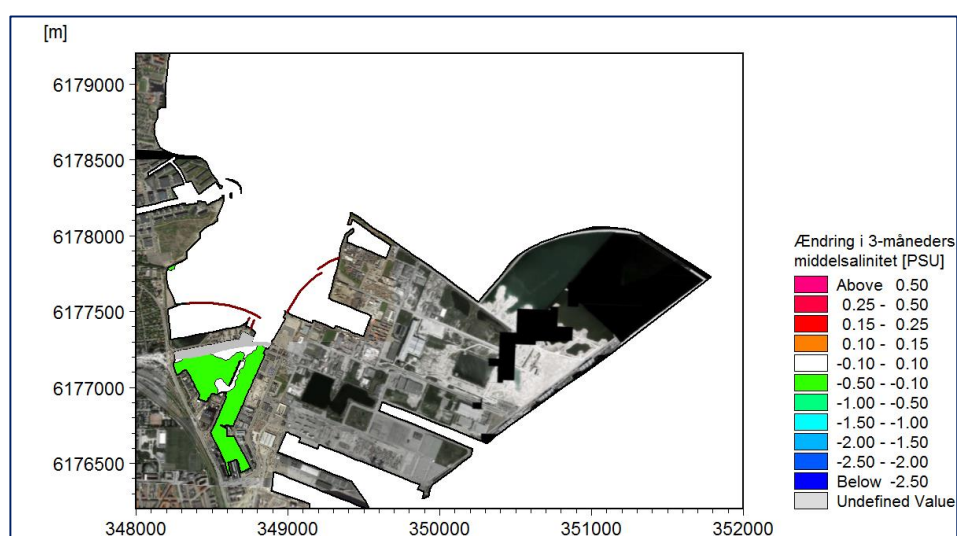
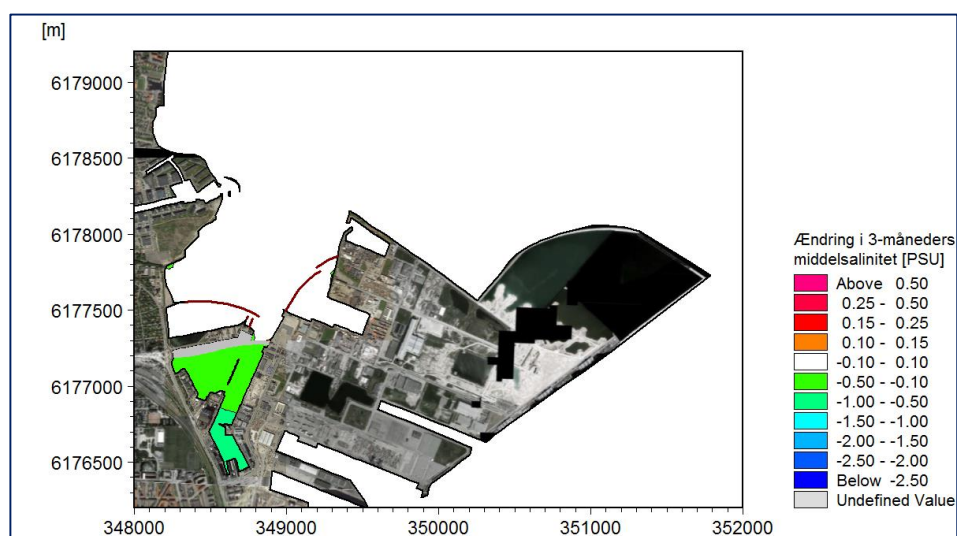
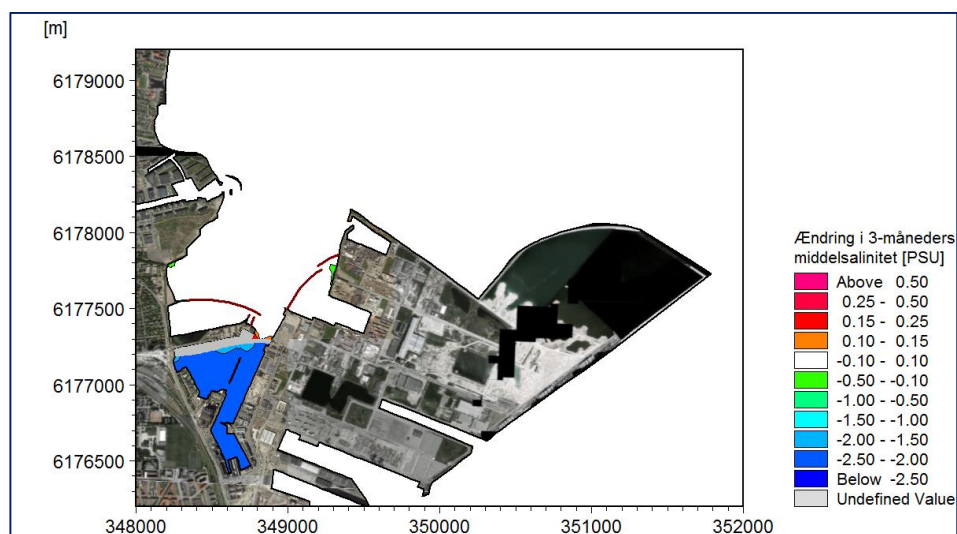
Figur 3-44 **Temperatur:** Ændring i varighed af tid, hvor temperaturen i **bundlag** er højere end 20 °C uden afværgeforanstaltninger (øverst), afværagescenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværagescenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Bemærk den ændrede farveskala for afværagescenariet!



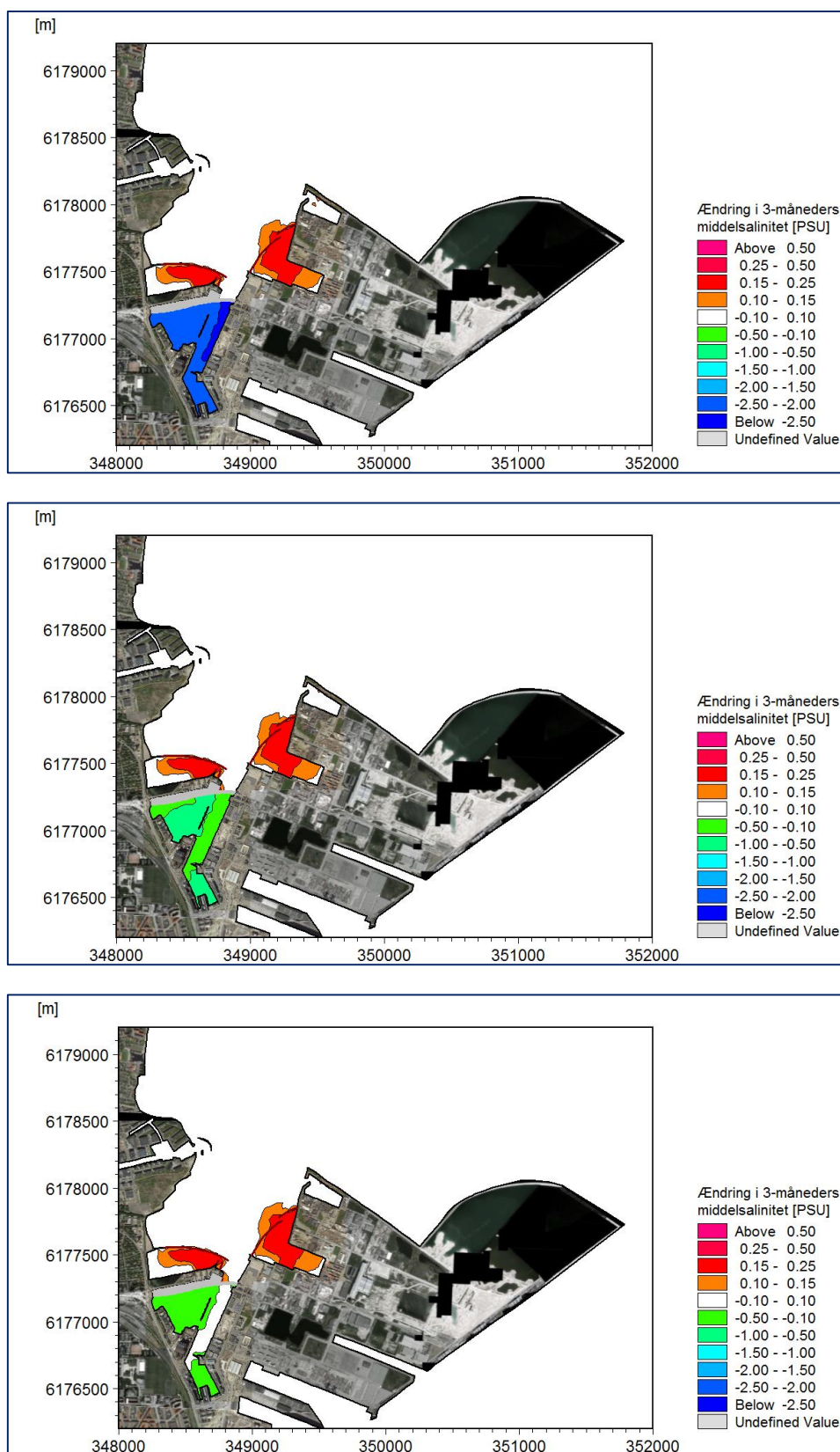
Figur 3-45 **Salinitet:** 3-måneders middelsalinitet i **overfladelag** uden afværgeforanstaltning (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



Figur 3-46 Salinitet: 3-måneders middelsalinitet i **bundlag** uden afværgeforanstaltning (øverst), afværge-scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge-scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



Figur 3-47 **Salinitet:** Ændring i 3-måneders middelsalinitet i **overfladelag** uden afværgeforanstaltning (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



Figur 3-48 **Salinitet:** Ændring i 3-måneders middelsalinitet i **bundlag** uden afværgeforanstaltning (øverst), afværge scenariet 1 – udskiftning af 1 m³/s (midt) og afværge scenariet 2 – udskiftning af 2 m³/s (nederst) i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).

3.4 Påvirkninger fra etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og erstatningshavne

I dette afsnit ses på konsekvenserne ved at etablere en in-situ tunnel med en etape opdeling. Herved er der fortsat adgang til havnen og der er kun behov for at etablere erstatningshavne, som kan rumme 600 både (erstatningshavnene Prøvestenen, Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord). Da man planlægger at bygge havnen etapeopdelt vil der således i halvdelen af anlægsperioden være en tærskel ind til havnen, når byggeprocessen har etableret den første del af tunnelen og omlægger sejlrenden ind over den nyanlagte tunnel. Scenarierne er baseret på perioden med tærskel og indsnævret indsejlingsbredde.

Følgende scenarier er præsenteret her:

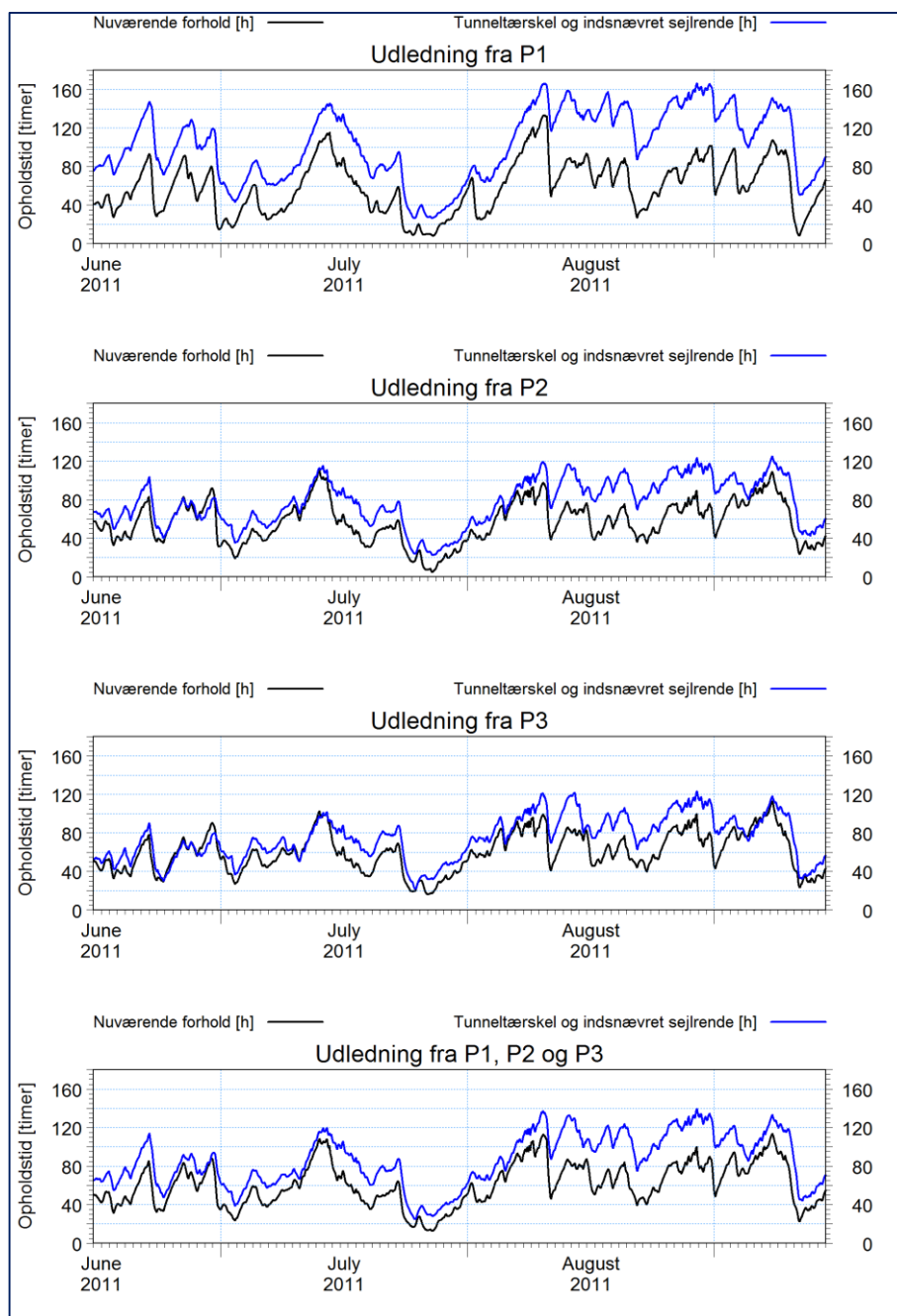
5. In-situ tunnel med etapeopdeling (indsnævret indsejlingsbredde og tunneltærskel, Prøvestenen)
6. Nr 5 plus etablering af Svaneknoppen Lille
7. Nr 5 plus etablering af Færgehavn Nord marina

3.4.1 Opholdstid

Ved etapeopdelingen skal der etableres erstatningshavne og med indsnævret sejløb, samt tærskel over den byggede tunnel (Worst case) vil vandskiftet i havnen ændre sig. Figur 3-49 viser ændringerne i opholdstiderne i de tre valgte havneafsnit uden etablering af erstatningshavne. Det ses, at der vil være en forøget opholdstid på mellem 20-60 timer. Figur 3-50 og Figur 3-51 viser tilsvarende tidsserier fra de tre punkter for etablering af erstatningshavnen Svaneknoppen Lille og for Færgehavn Nord. Der er klart forøgede opholdstider ved etableringen, som primært skyldes den indsnævrede sejlrende og den tærskel, der opstår, når den anden etape af byggeriet går i gang.

Tabel 3-5 Erstatningshavn ved Prøvestenen, indsnævret indsejlingsbredde og tunneltærskel. Referencetilstandens opholdstider angivet i parentes for hver gruppe.

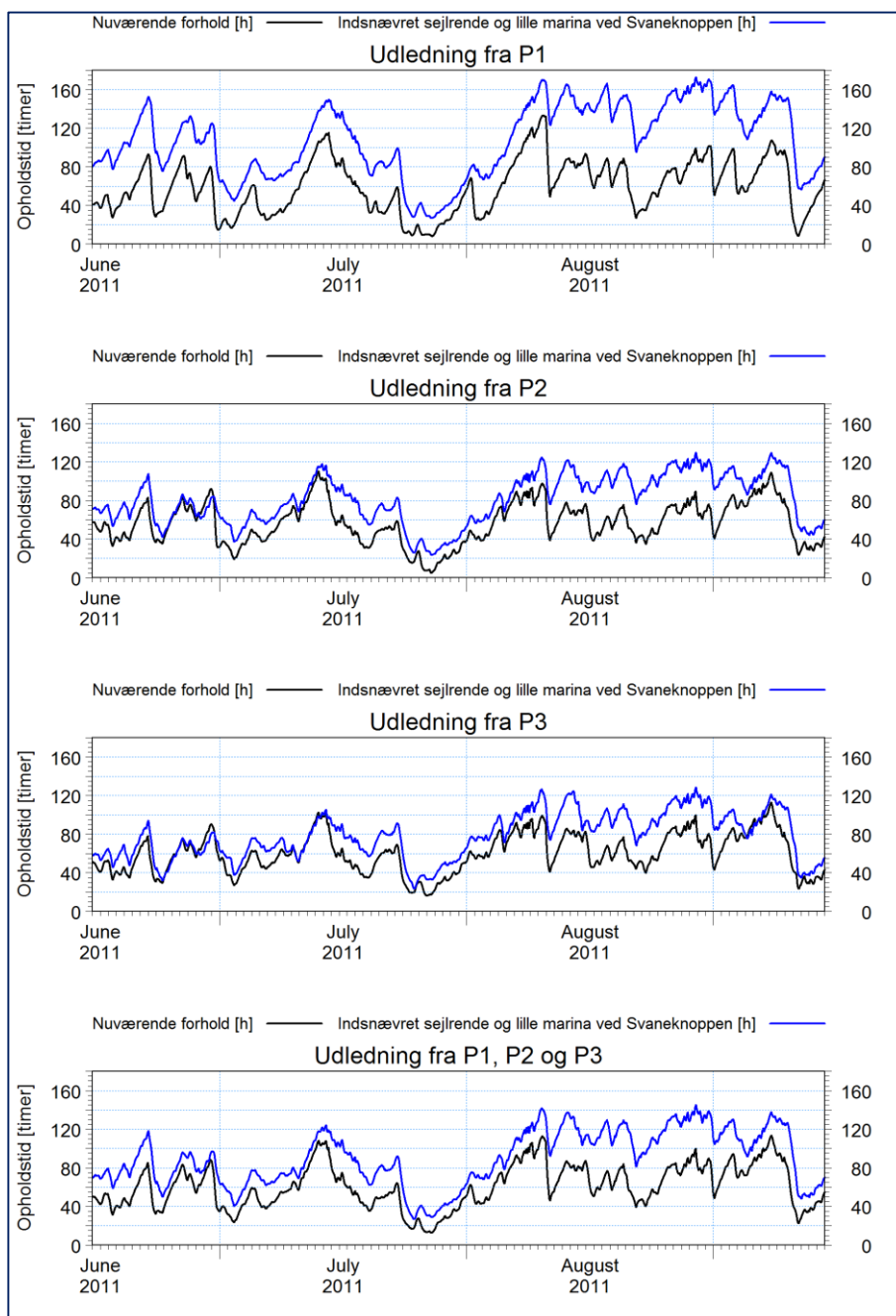
Sporstofudledningspunkt	Mindste opholdstid	Middel opholdstid	Største opholdstid
P1	26 (8)	103 (59)	173 (133)
P2	22 (5)	77 (57)	125 (110)
P3	22 (16)	78 (60)	123 (113)
P1 + P2 + P3	25 (13)	86 (61)	139 (114)



Figur 3-49 Ændring i opholdstider i den **etape-opdelte** byggeproces, hvor der er indsnævret sejløb og **tærskel** under sejløbet, **uden erstatningshavn**. Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er ændringerne ved indskrænket dybde og indsejling.

Tabel 3-6 Svane knoppen Lille, plus tunneltærskel. Referencetilstandens opholdstider angivet i parentes for hver gruppe.

Sporstofudlednings-punkt	Mindste opholdstid	Middel opholdstid	Største opholdstid
P1	27 (8)	108 (59)	173 (133)
P2	24 (5)	81 (57)	130 (110)
P3	22 (16)	78 (60)	128 (113)
P1 + P2 + P3	27 (13)	90 (61)	145 (114)

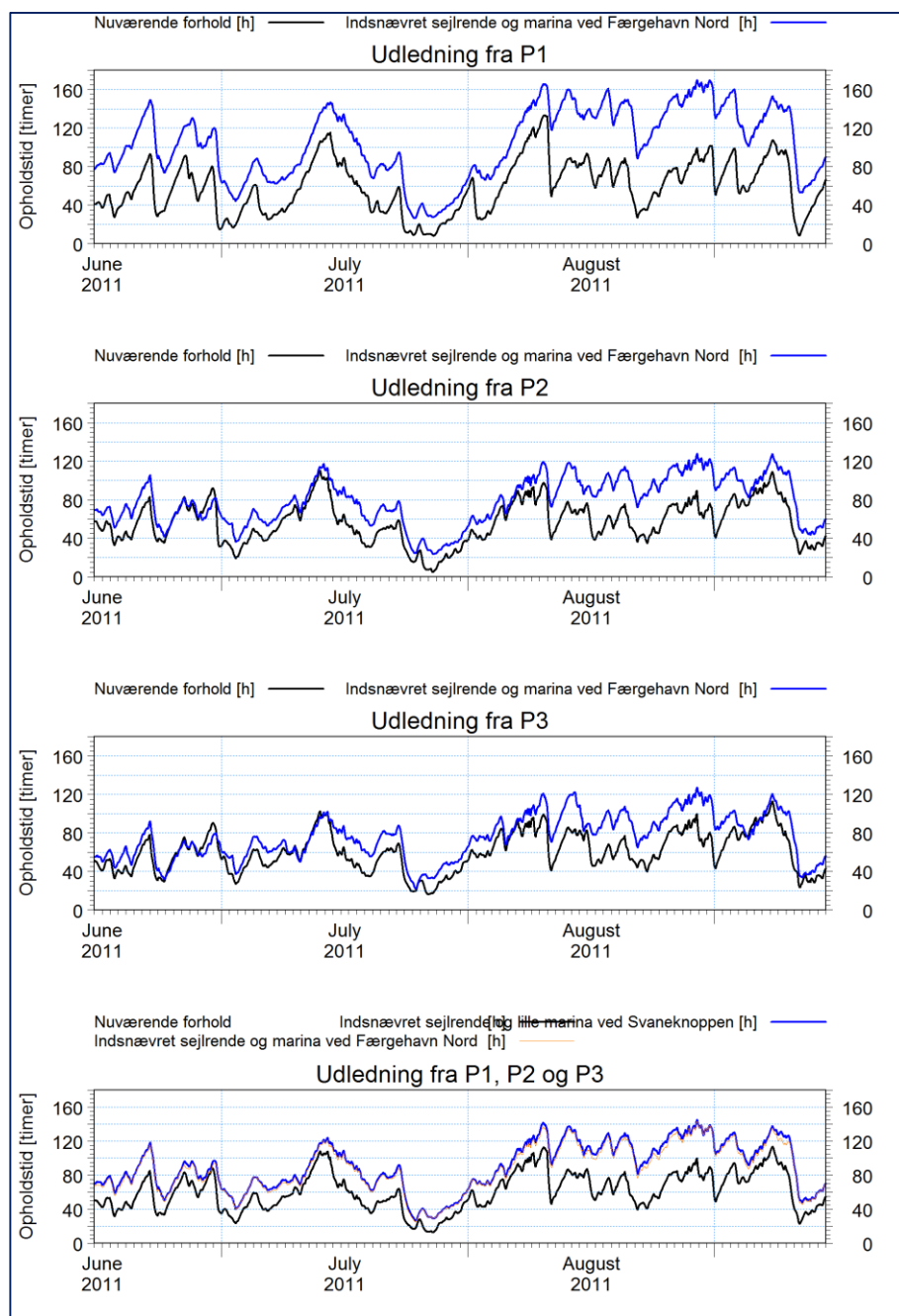


Figur 3-50 Ændring i opholdstider i den etape-opdelte byggeproces, hvor der er indskrænket sejløb og tærskel under sejløbet og med erstatningshavnen Svane knoppen Lille. Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er ændringerne ved indskrænket dybde og indsejling.

Ved etablering af en erstatningshavn ved Færgehavn Nord er der tilsvarende ændringer i opholdstiderne i havnen, hvilket indikerer, at opholdstiderne primært er styret af indsnævringen af sejløb, samt tærskel-påvirkningen. Dette fremgår af Tabel 3-7 og de efterfølgende figurer.

Tabel 3-7 Færgehavn Nord Marina, plus tærskel. Referencetilstandens opholdstider angivet i parentes for hver gruppe

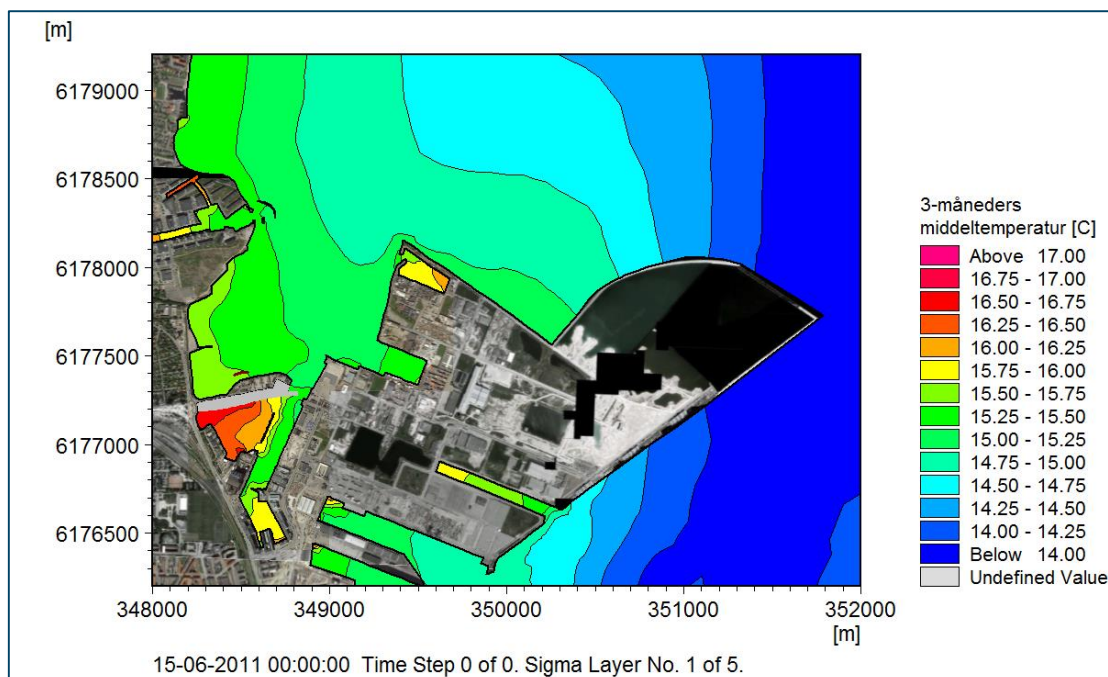
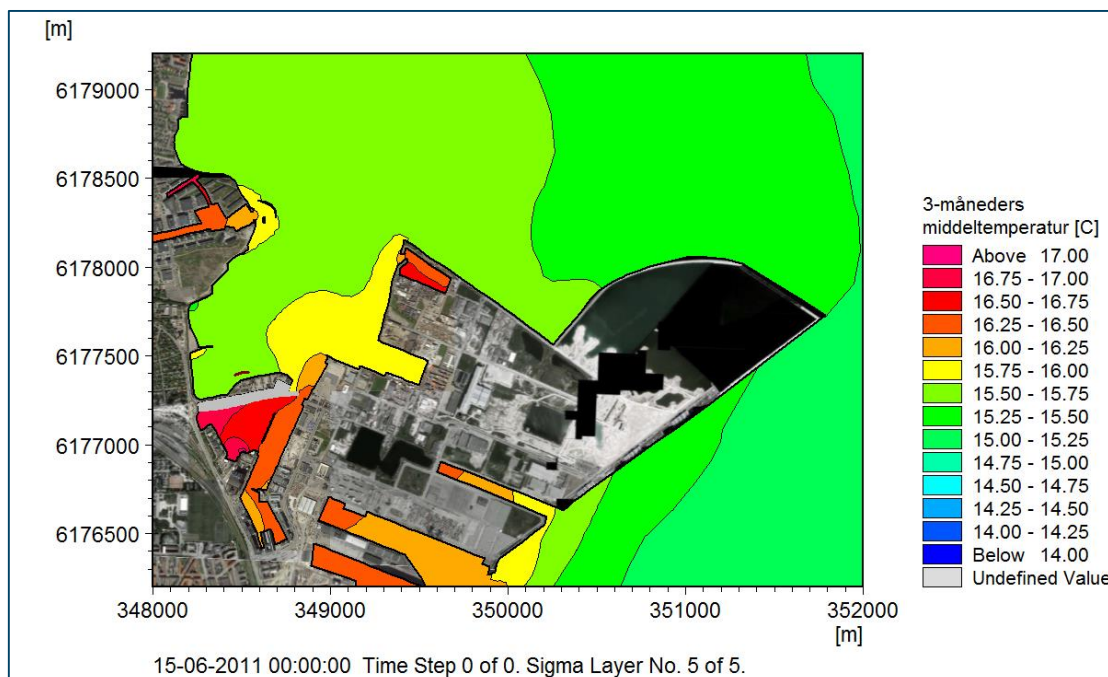
Sporstofudledningspunkt	Mindste opholdstid	Middel opholdstid	Største opholdstid
P1	26 (8)	105 (59)	170 (133)
P2	23 (5)	79 (57)	128 (110)
P3	23 (16)	76 (60)	127 (113)
P1 + P2 + P3	25 (13)	87 (61)	143 (114)



Figur 3-51 Ændring i opholdstider i den **etape-opdelte** byggeproces, hvor der er indskrænket sejløb og **tærskel** under sejløbet og med erstatningshavnen **Færgehavn Nord**. Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er ændringerne ved indskrænket dybde og indsejling.

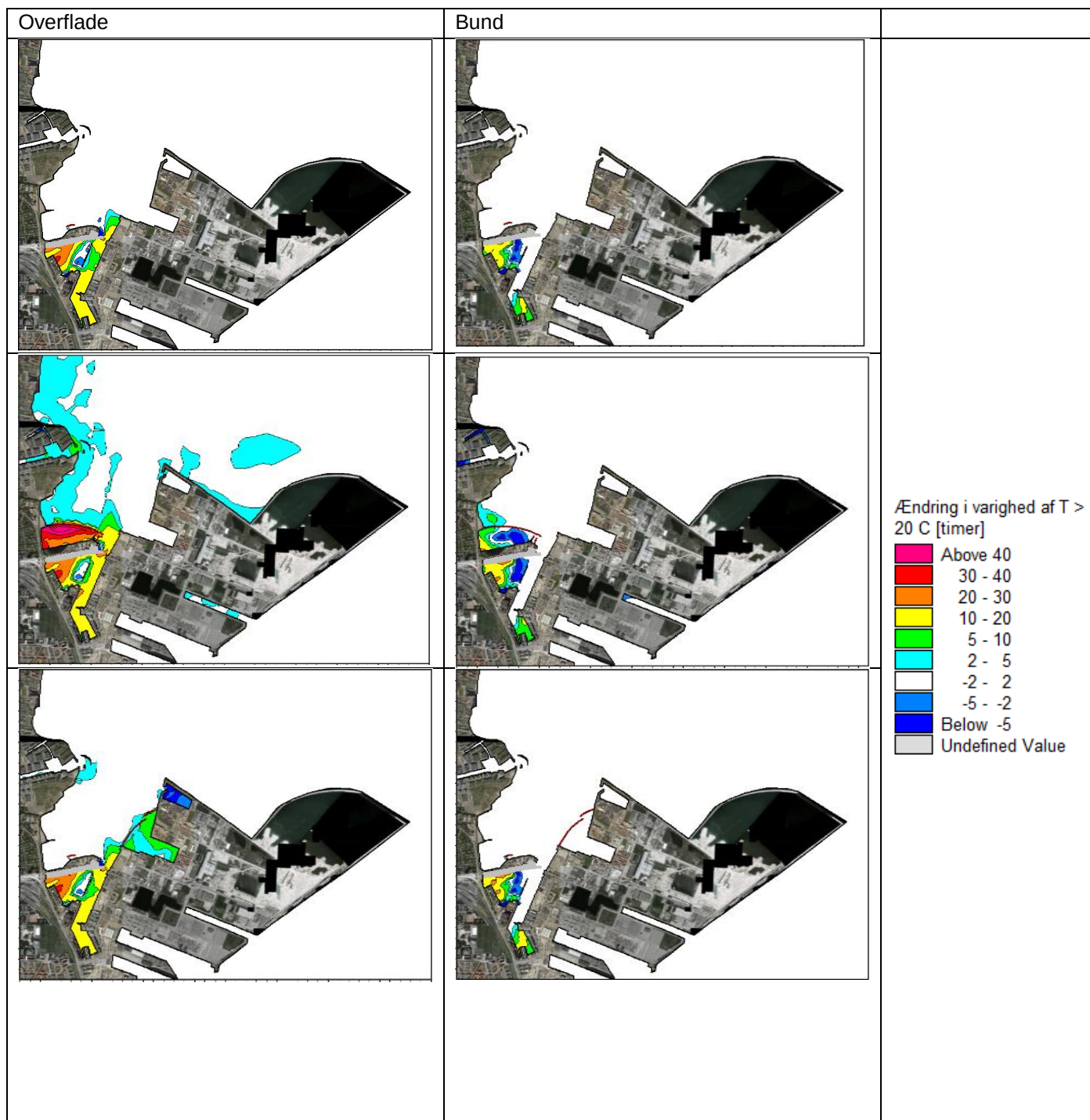
3.4.2 Temperatur forhold ved in-situ tunnel med etapeopdeling

Ved anlæggelse af Nordhavnstunnelen in-situ med etapeopdeling ændres temperatur og salinitetsforhold, da opholdstiderne også ændres. Desuden sker der en udledning til havnen fra regnvandsbetingede udløb, som er med til at reducere saliniteten i havnen. For hver af de to erstatningshavne er der vist differensplots på hhv. ændringer i 3-måneders middeltemperaturen og ændringer i varighed af periode, hvor vandtemperaturen er over 20°C, hvilket har en indflydelse på køleforholdene på Svanemølleværket.

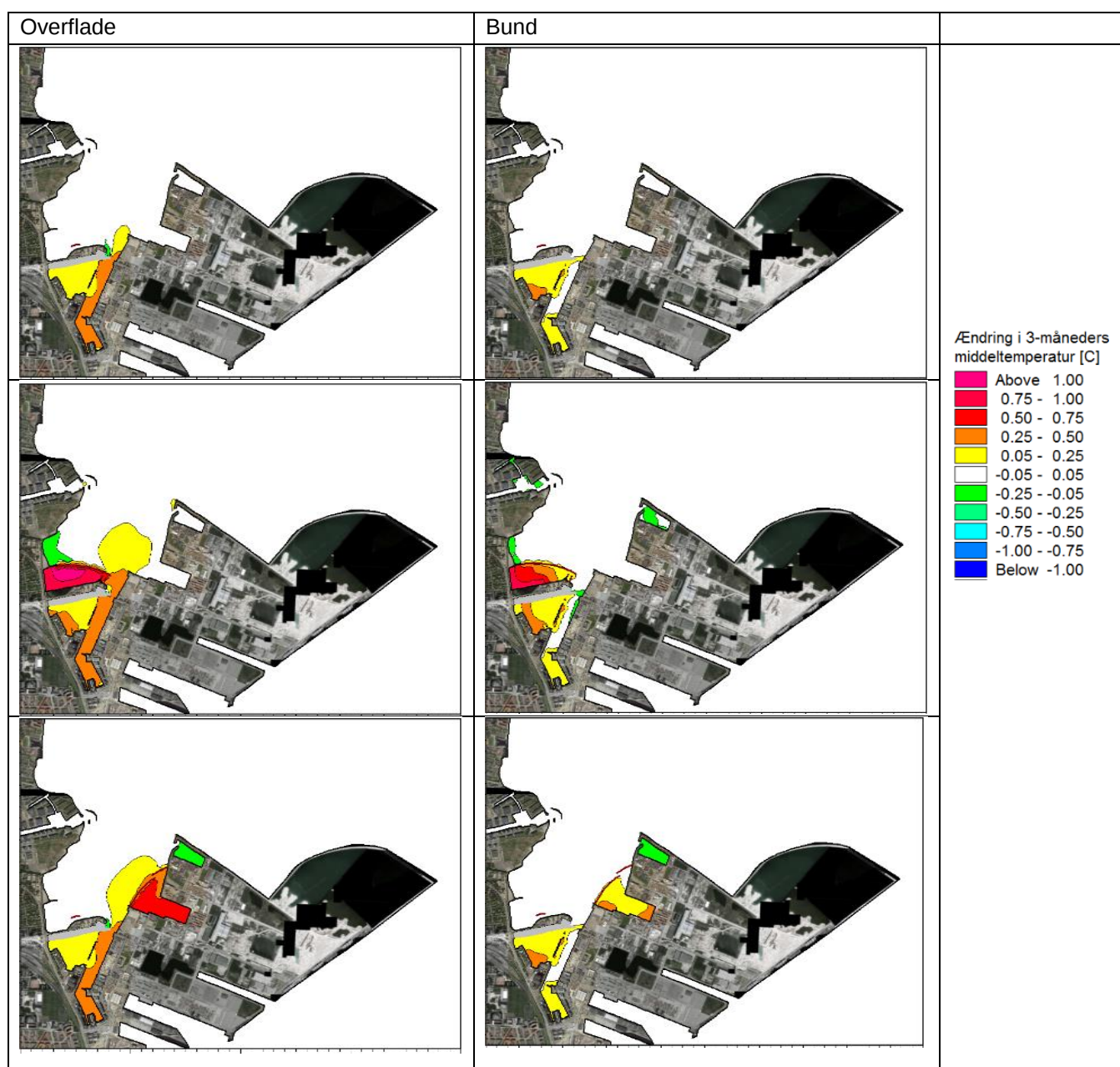


Figur 3-52 3-måneders middeltemperatur referencetilstand med erstatningshavn ved Prøvestenen og indsnævret indsejling og tærskel. Øverst fra toplaget, nederst fra bundlaget i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).

Ved etablering af Svaneknoppen Lille kan der konstateres en ændring af temperaturforholdene, når der sammenlignes med referencetilstanden. Ved anlæggelse af Færgehavn Nord som erstatningshavn er forholdene lidt bedre end ved anlæggelsen af Svaneknoppen Lille. Middeltemperaturen for de tre modellerede sommermåneder er vist i Bilag B, B.1.1.3



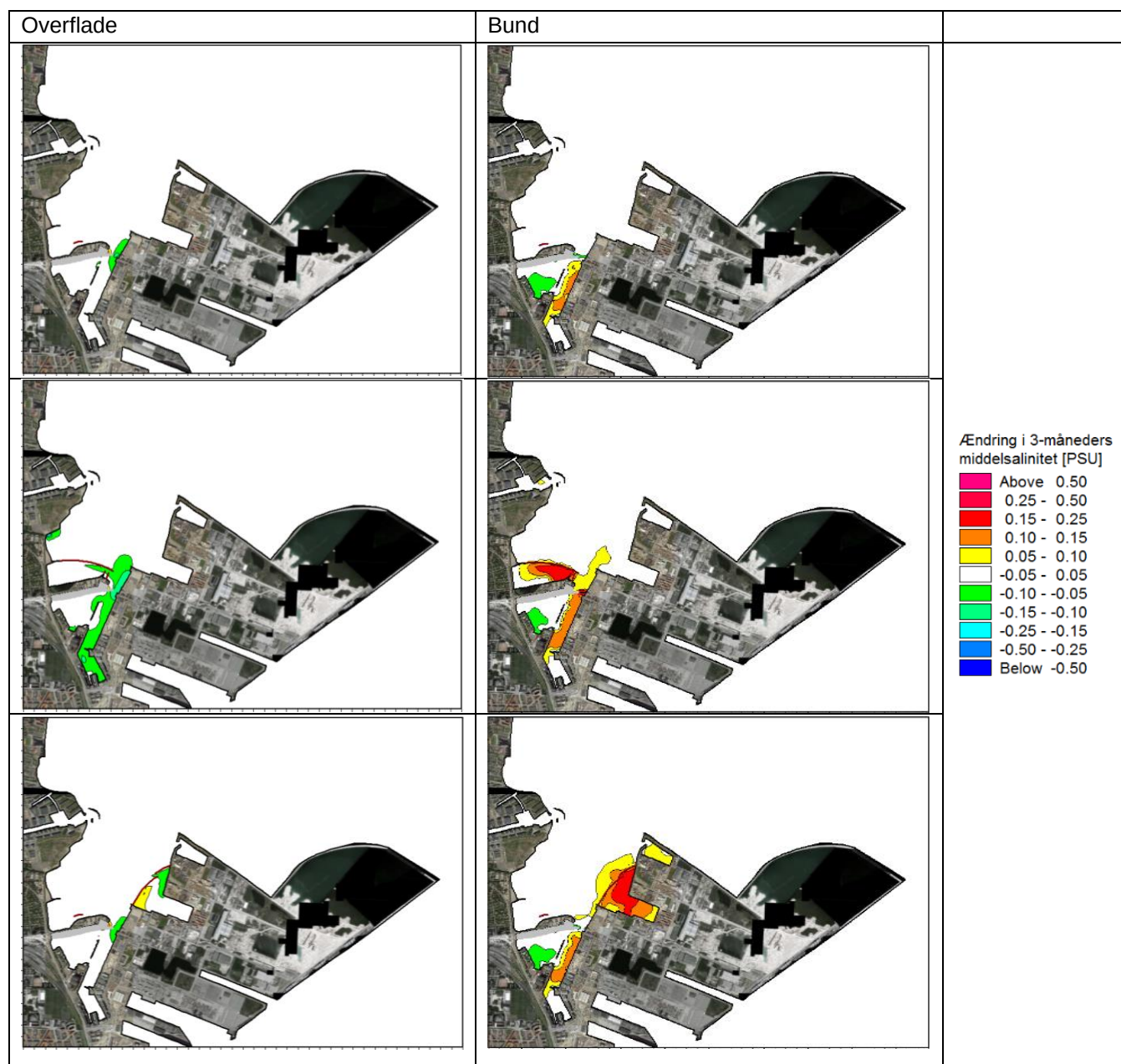
Figur 3-53 Differensplots mellem referencetilstand og scenarier: Ændringer i varighed i timer med en temperatur på over 20 °C ved **etapeopdelt udførelse** af havnetunnel. Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Midt: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. Nederst: Erstatningshavn Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).



Figur 3-54 Differensplots mellem referencetilstand og scenarier: **Temperaturændringer** af 3-måneders middeltemperatur ved **etapeopdelt udførelse** af havnetunnel. Øverst: erstatningshavn Prøvestenen. Midt: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. Nederst: Erstatningshavn Færgehavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).

3.4.3 Salinitetsforhold ved in-situ tunnel med etapeopdeling

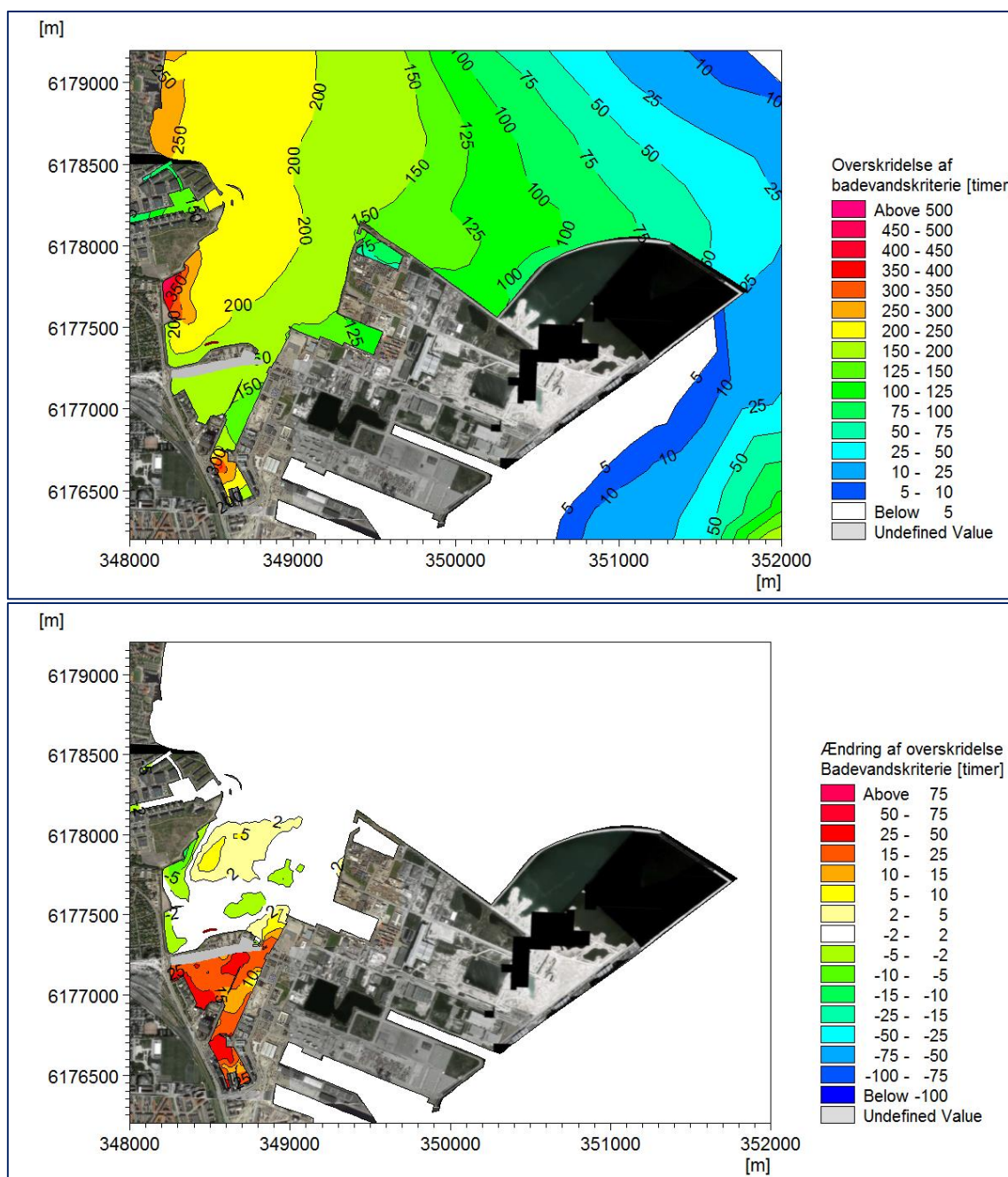
Salinitetsforholdene i havnebassinet er betinget af tilstrømning af salt bundvand, idet der sker en periodisk udledning af ferskt vand fra regnvandsbetingede kilder. Ved etablering af en in-situ tunnel med etapeopdeling vil der i anlægsperioden opstå en tærskel i indsejlingen, som med en kote på -3,5 m vil reducere indstrømning af salt bundvand til havnen. Dette vil ændre salinitetsforholdene i havnen. Umiddelbart vil tærsklen holde tungere og mere salint bundvand tilbage, hvilket også ses i nedenstående figurer. Tilbageholdelseseffekten synes størst ved anlæggelse af Svaneknoppen Lille marina. Månedsmiddelsaliniteten for de tre måneder er vist i Bilag B, B.1.1.4.



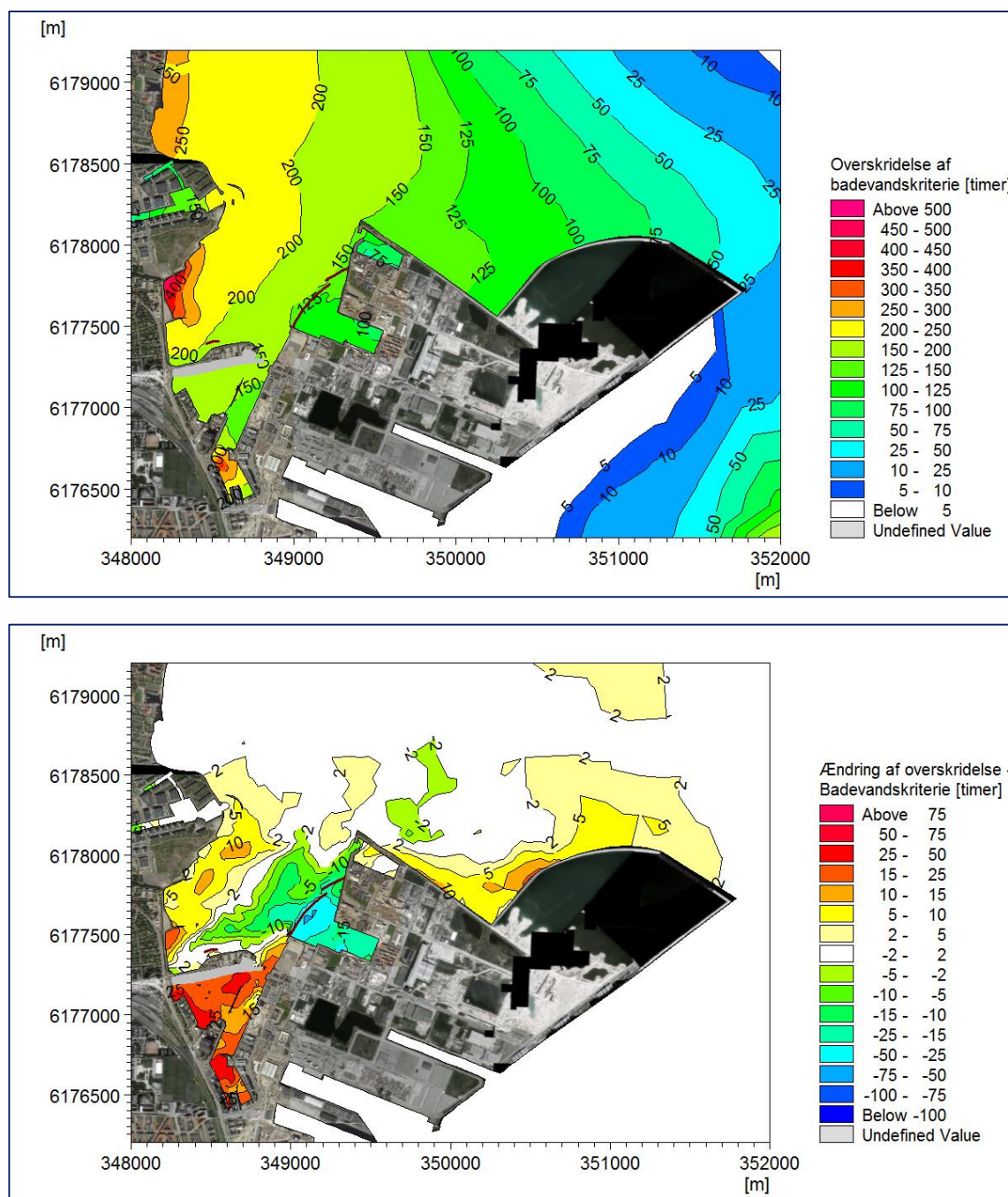
Figur 3-55 Differensplots mellem referencetilstand og scenarier: Ændringer i 3-måneders middel salinitet ved **etapeopdelt udførelse** af havnetunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Referencetilstand øverst. Midt: Svaneknoppen Lille, nederst Færgehavn Nord.

3.4.4 Badevandskvalitet

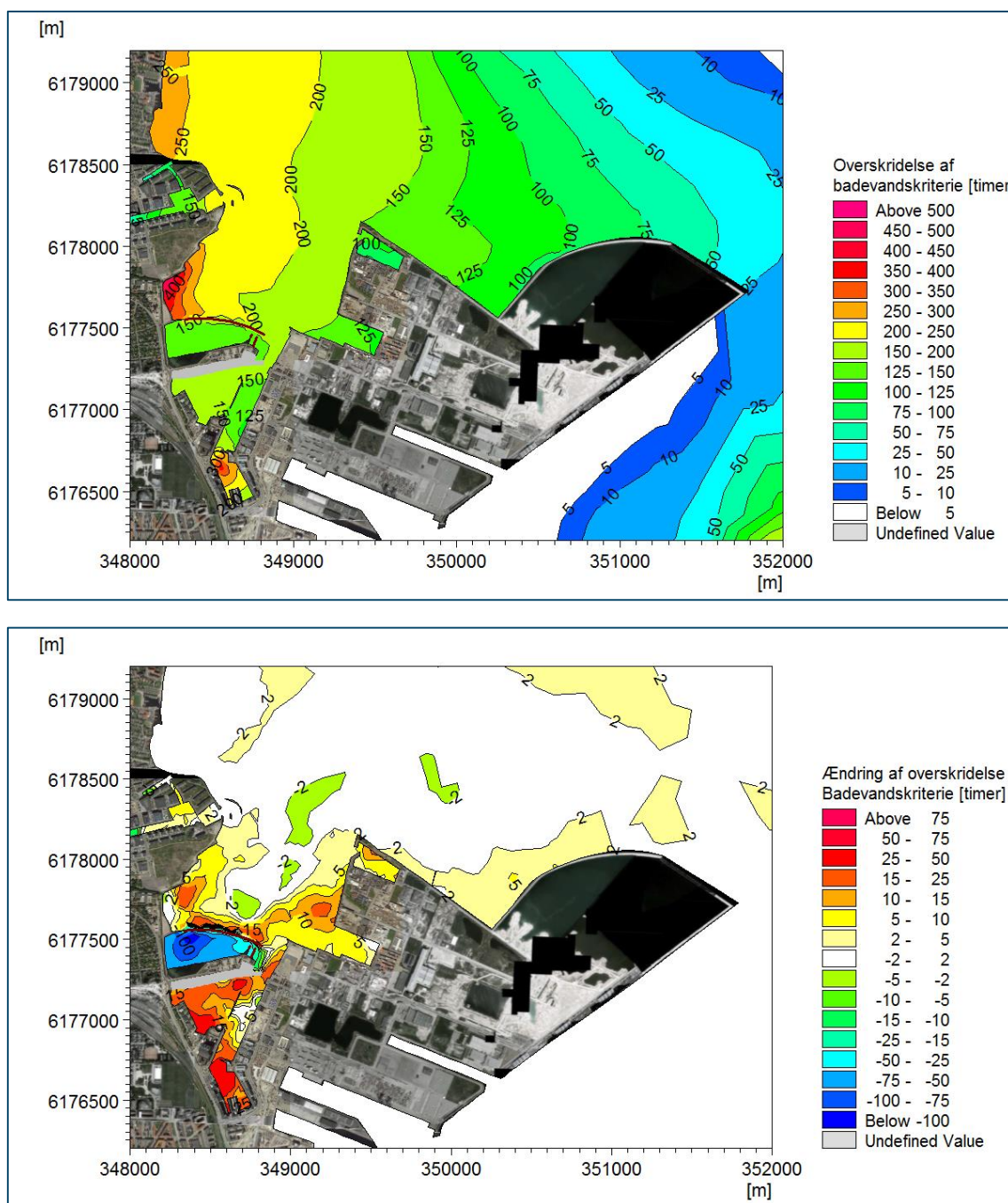
Etablering af erstatningshavne samt anlæggelse af en in-situ tunnel med etapeopdeling og erstatningshavn i Svanemøllebugten vil give ændringer i badevandskvaliteten på Svanemøllestranden. For erstatningshavn Svaneknoppen Lille er der tale om en øgning på 5-25 timer med overskridelser af badevandskvaliteten, mens der kun sker en øgning med 5-10 timer en anlæggelse af erstatningshavn Færgehavn Nord.



Figur 3-56 Ændringer i antal timer med **overskridelse** af badevandskriterierne mellem den eksisterende situation (øverst) og **in-situ-tunnel med etapeopdeling** (nederst) i perioden 15. juni-15. september (i alt 2208 timer). I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.



Figur 3-57 Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling og erstatningshavn Færgeshavn Nord i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser.

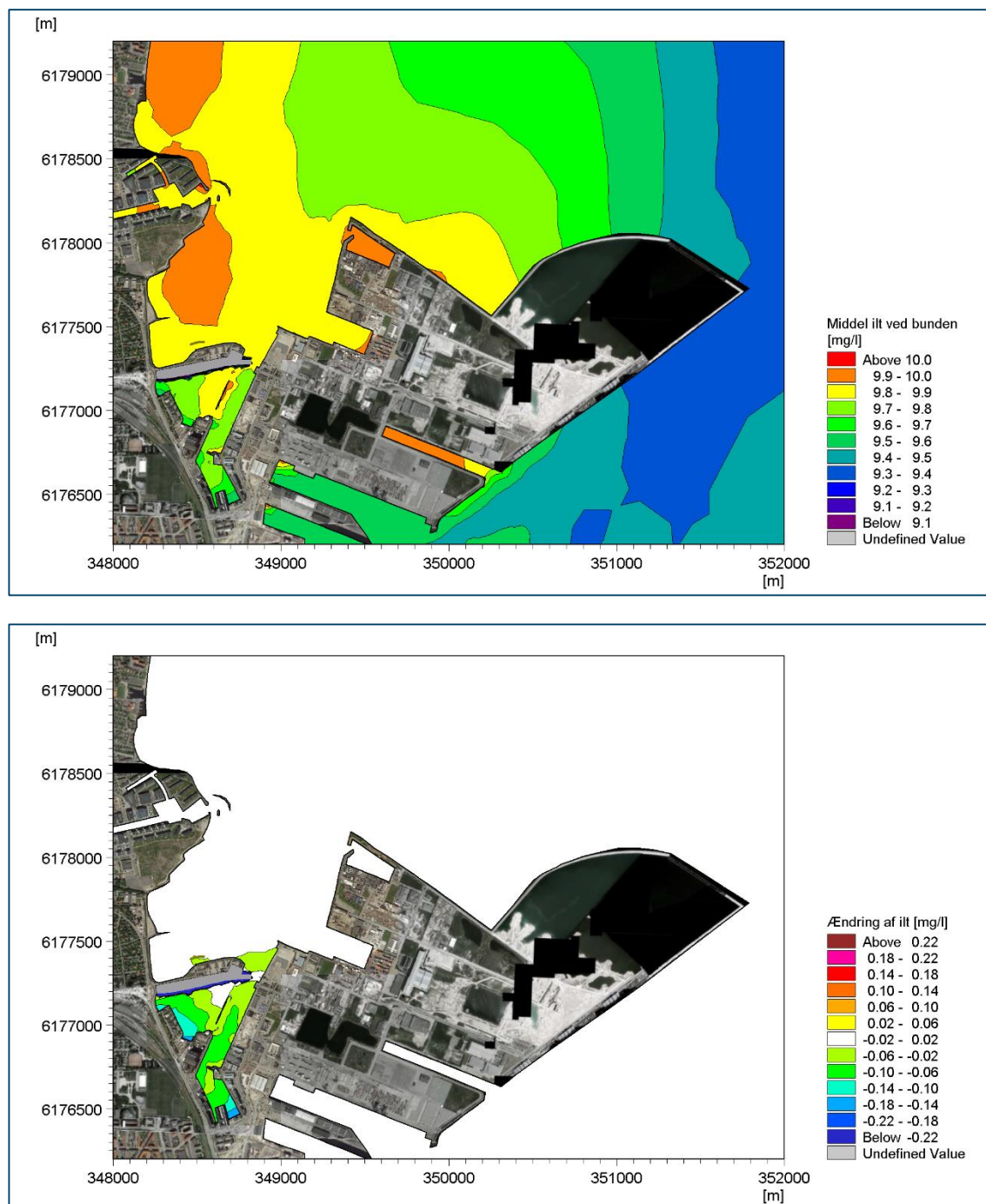


Figur 3-58 Ændringer i badevandskvaliteten på Svanemølle strand ved etablering af **in-situ tunnel med etapeopdeling** og erstatningshavn **Svaneknoppen Lille** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst overskridelsesperioder og nederst differens til referencetilstand. I nedre plot angiver positive værdier forøgelse i perioder med overskridelser

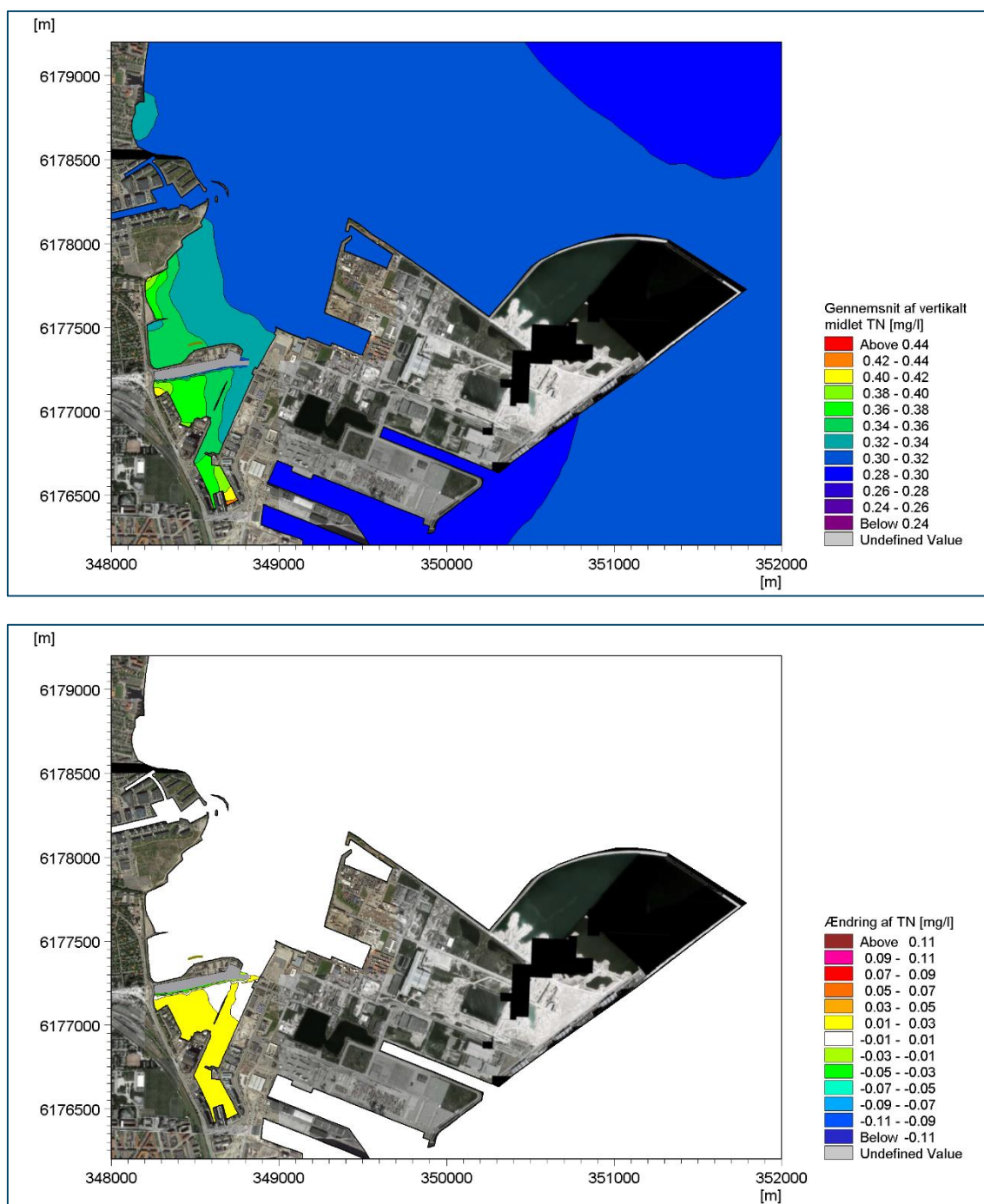
3.4.5 Vandkvalitet

Ved den etapeopdelte bygning af Nordhavnstunnelen er samtlige scenarier kørt med et reduceret tværsnit af indsejlingen og med en tærskel på kote -3,5 m, idet denne situation anses som værende den mest kritiske i etapeopdelingen. Der er ikke kørt vandkvalitetsberegninger for etablering af Færgehavn Nord, da den anses for at give særdeles ringe påvirkning på den indre havn og resten af Svanemøllebugten.

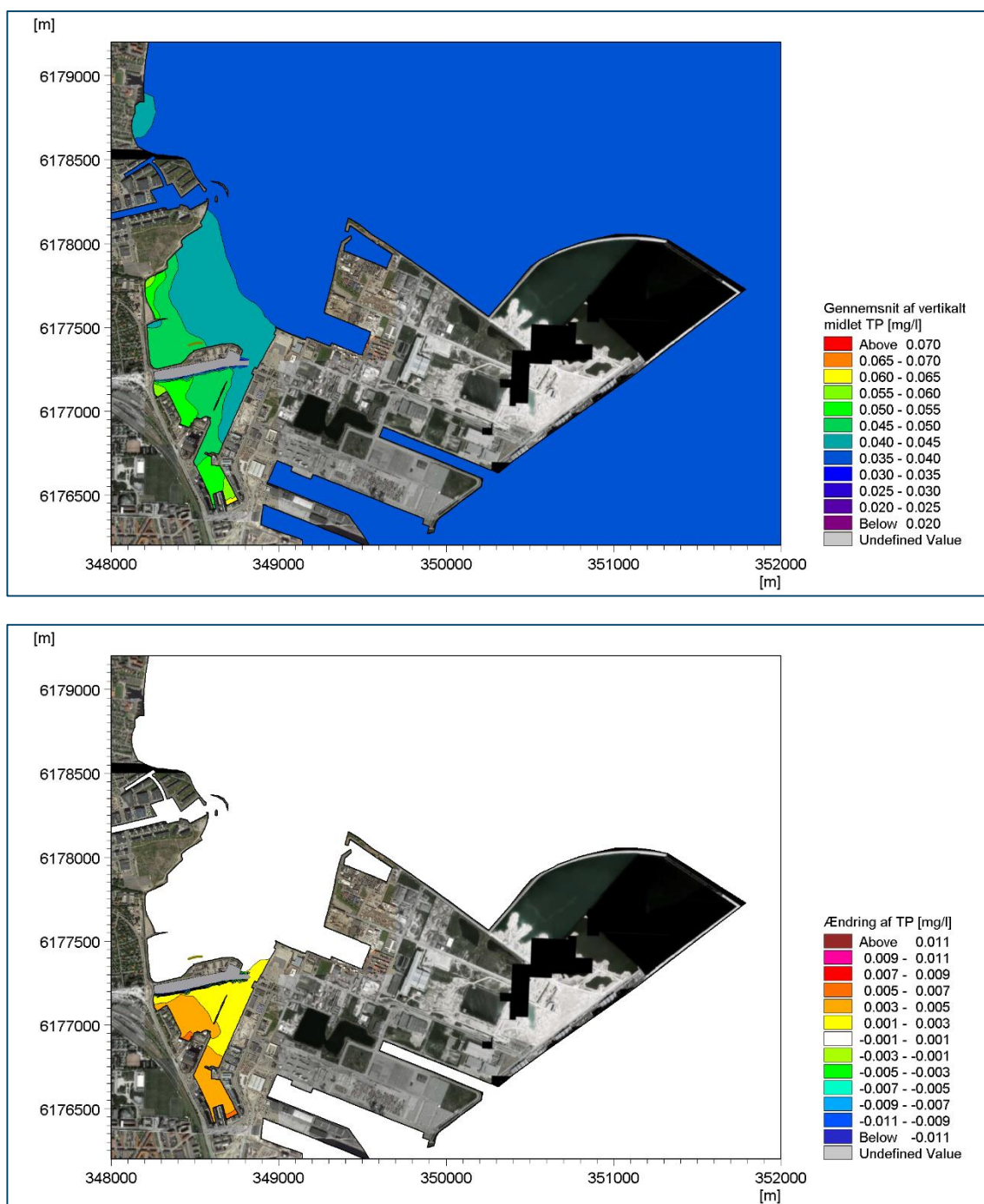
Tærsklen i havneindløbet vil påvirke vandskiftet og også nedsætte hastigheden, hvorved udledninger inde i havnen transporteres ud af havnen. Iltkoncentrationen inde i havnen viser et fald på mellem 0 og 0,14 mg/l, mens Total-N stiger med 0,01-0,03 mg/l. Total-P stiger med mellem 0,001 til 0,007 mg/l. Samlet set forventes ændringerne ikke at ville påvirke de generelle livsvilkår for flora og fauna i havnen, uanset type af erstatningshavn.



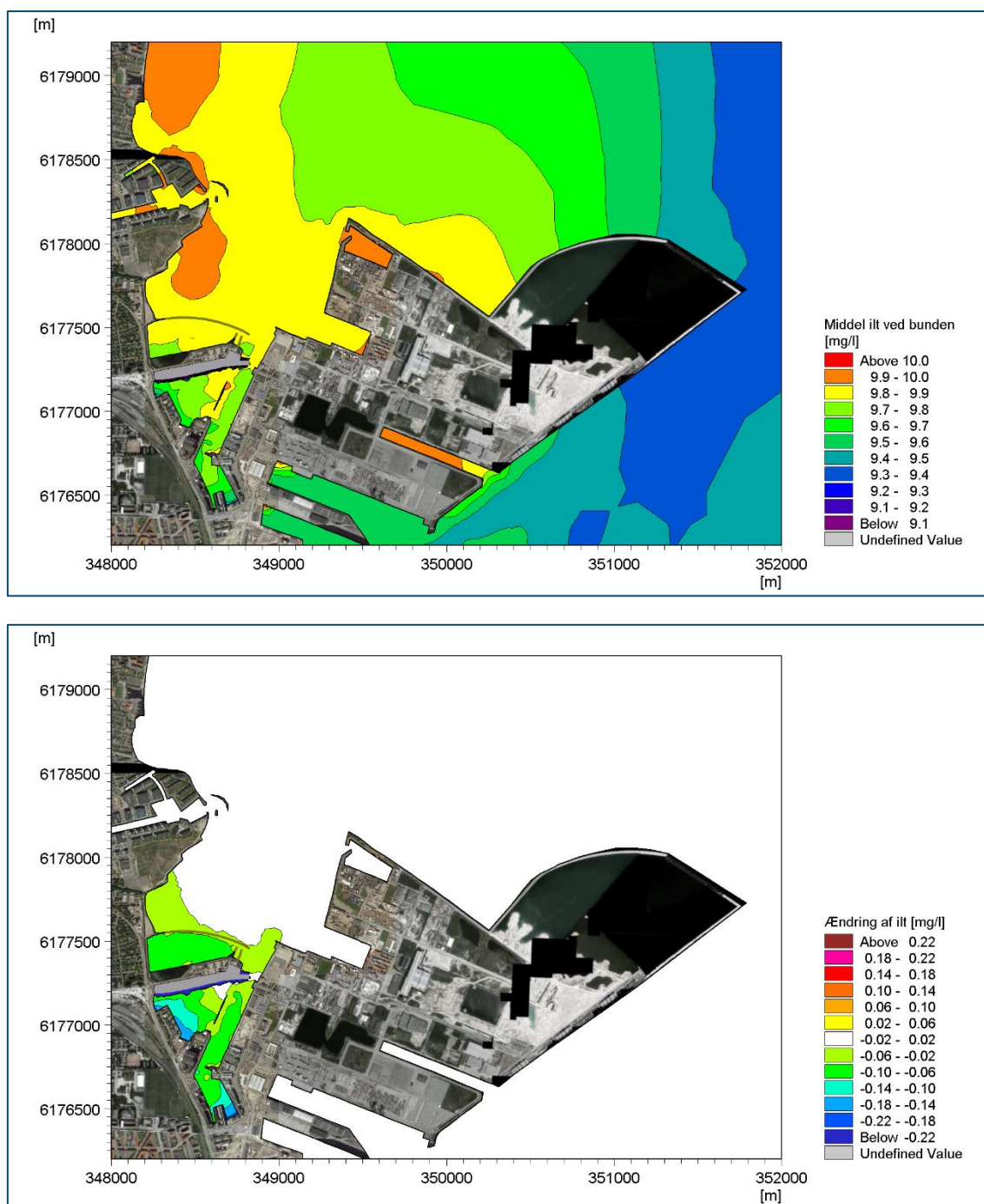
Figur 3-59 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af in-situ tunnel med etapeopdeling i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



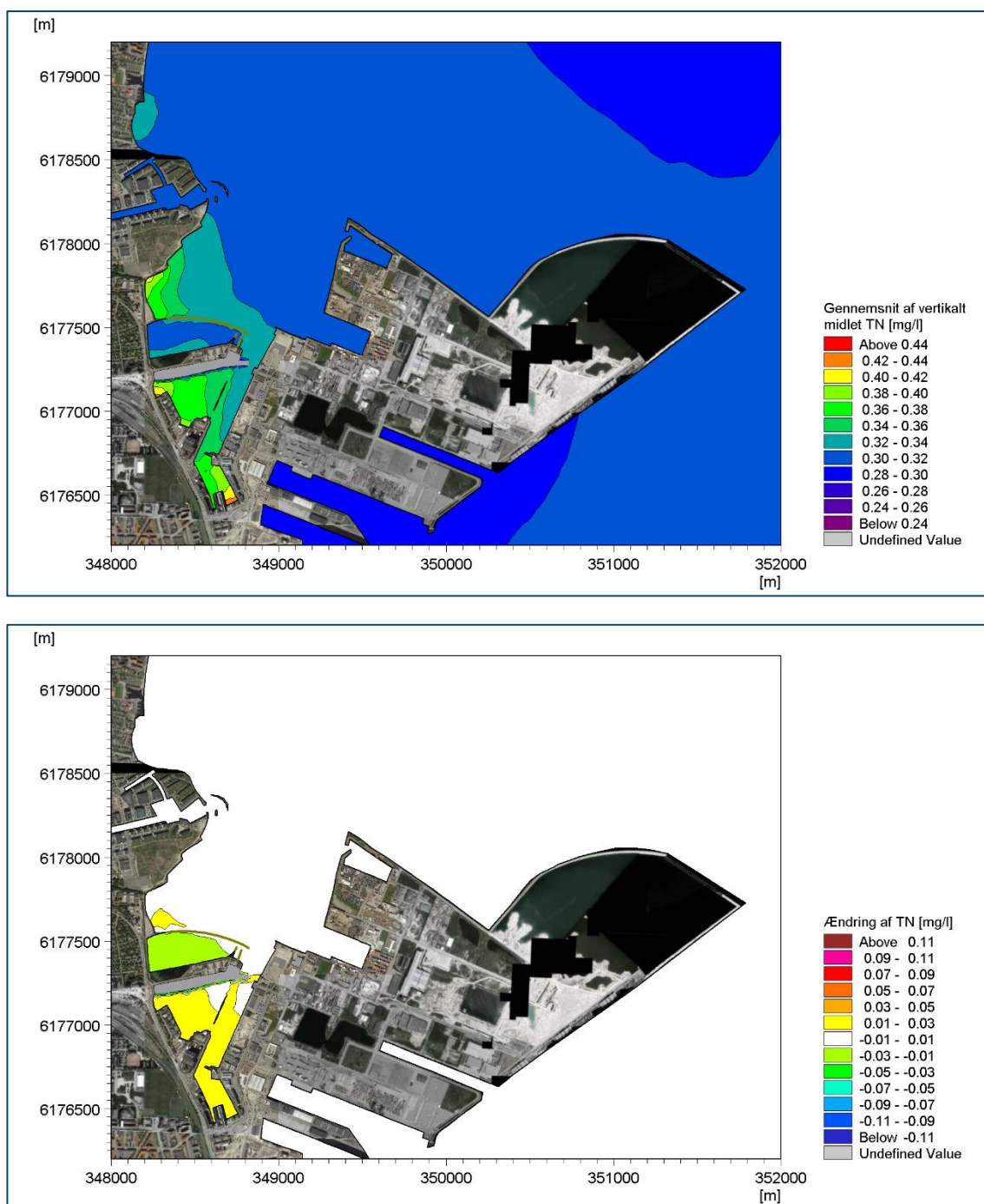
Figur 3-60 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middeldkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel med etapeopdeling** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



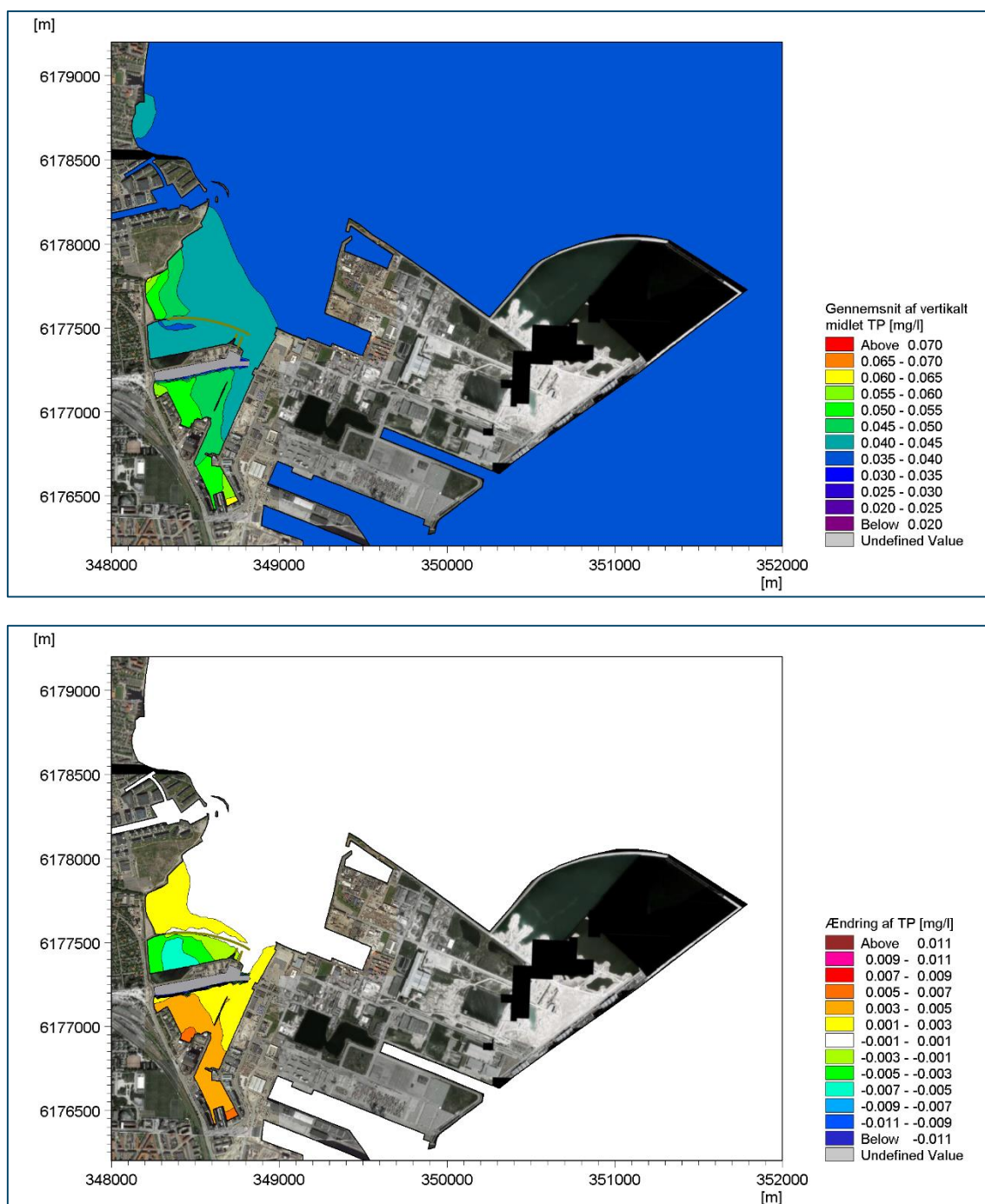
Figur 3-61 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel med etapeopdeling** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 3-62 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af **in-situ tunnel med etapeopdeling** og etablering af **Svaneknoppen Lille** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 3-63 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middelkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel med etapeopdeling** og etablering af **Svaneknoppen Lille** i perioden 15. juni-15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 3-64 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af **in-situ tunnel med etapeopdeling** og etablering af **Svaneknoppen Lille** i perioden 15. juni-15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.

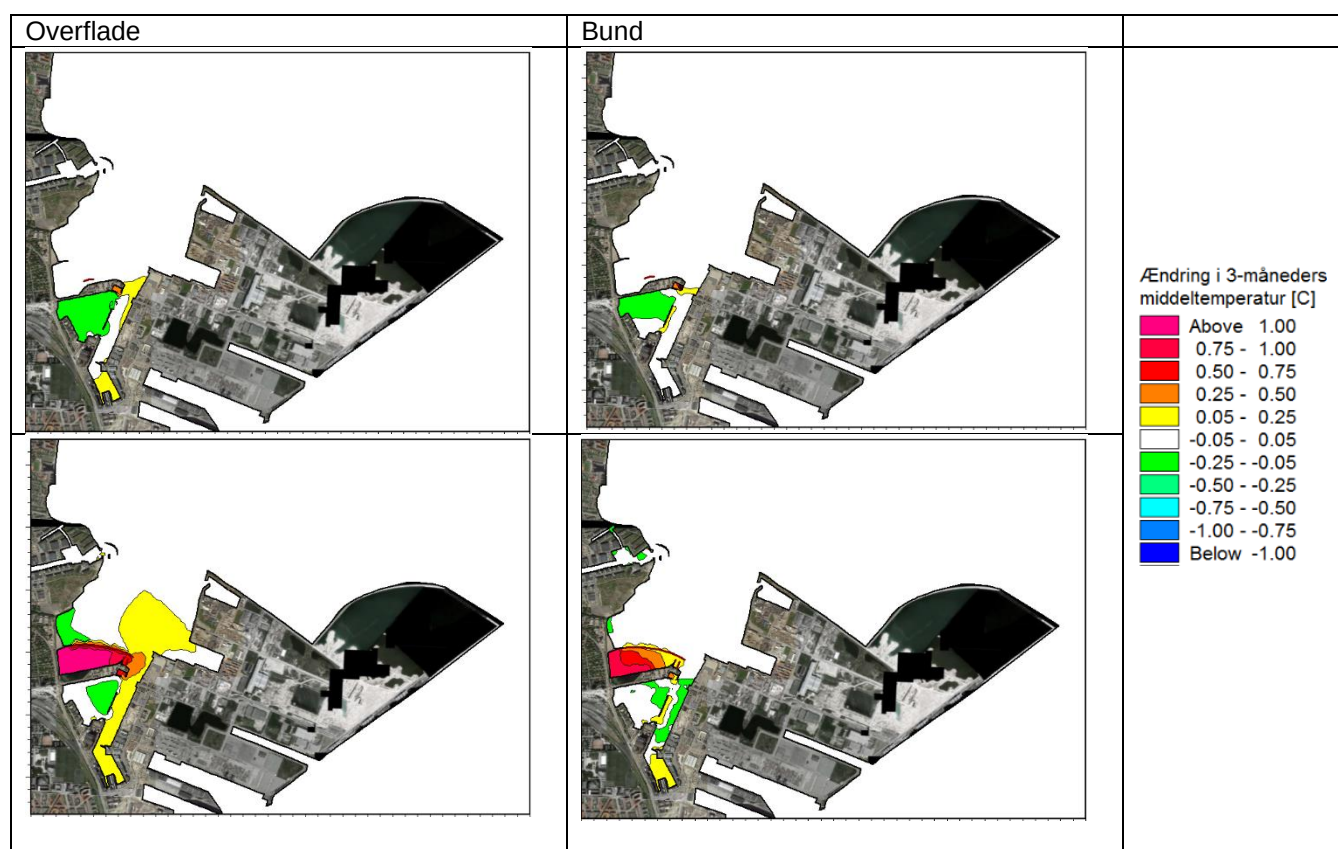
3.5 Sænketunnel løsning

Ved valget af en sænkettunnelløsning vil der i en kortere periode være en påvirkning af gennemstrømningen ud og ind af Kalkbrænderihavnen. Der er regnet på to scenarier, hvor det første er etablering af en sænketunnel uden erstatningshavn og med en tærskel og det andet er med

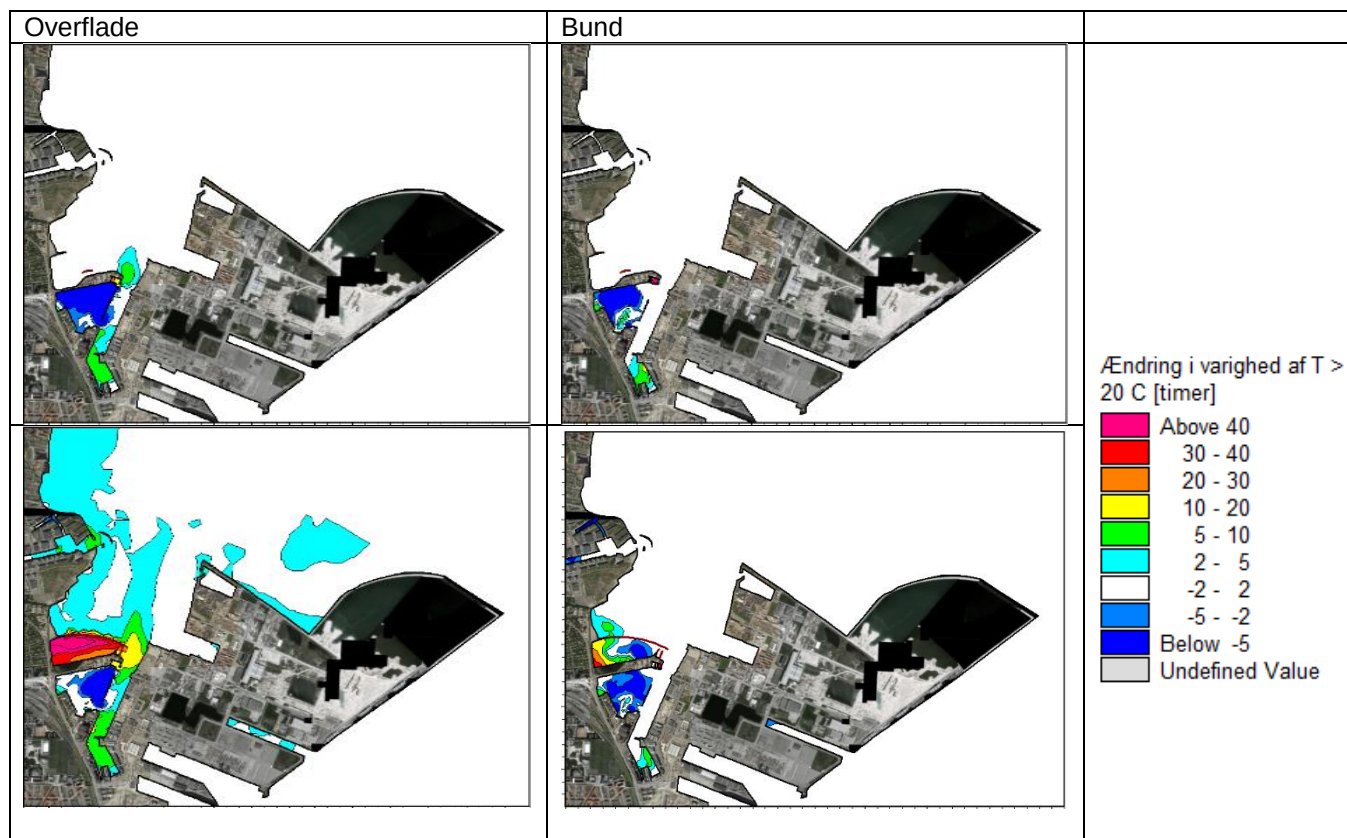
etablering af Svaneknoppen Lille og en tærskel. Scenariet adskiller sig fra den fremtidige permanente situation ved at molerne i arbejdsområdet, som adskiller Svanemøllehavnen og Kalkbrænderiløbet, er fjernet.

3.5.1 Temperaturændringer

I udførelsesfasen bliver vandskiftet svækket som følge af den tærskel som tunnelen udgør henover Kalkbrænderiløbet. Men omvendt forbedres vandskiftet ind i Svanemøllehavnen som følge af at en række moler er afkortet. Effekten på middeltemperaturen bliver derfor meget beskedent, som det fremgår af Figur 3-67. Effekterne bliver lidt kraftigere hvis der etableres erstatningshavn Svaneknoppen Lille. Størst effekt ses inde i erstatningshavnen hvor vandet er mere stillestående og der for lettere opvarmes i en sommerperiode. I de øvrige områder er ændringerne så små at de kan karakteriseres som ikke detekterbare.



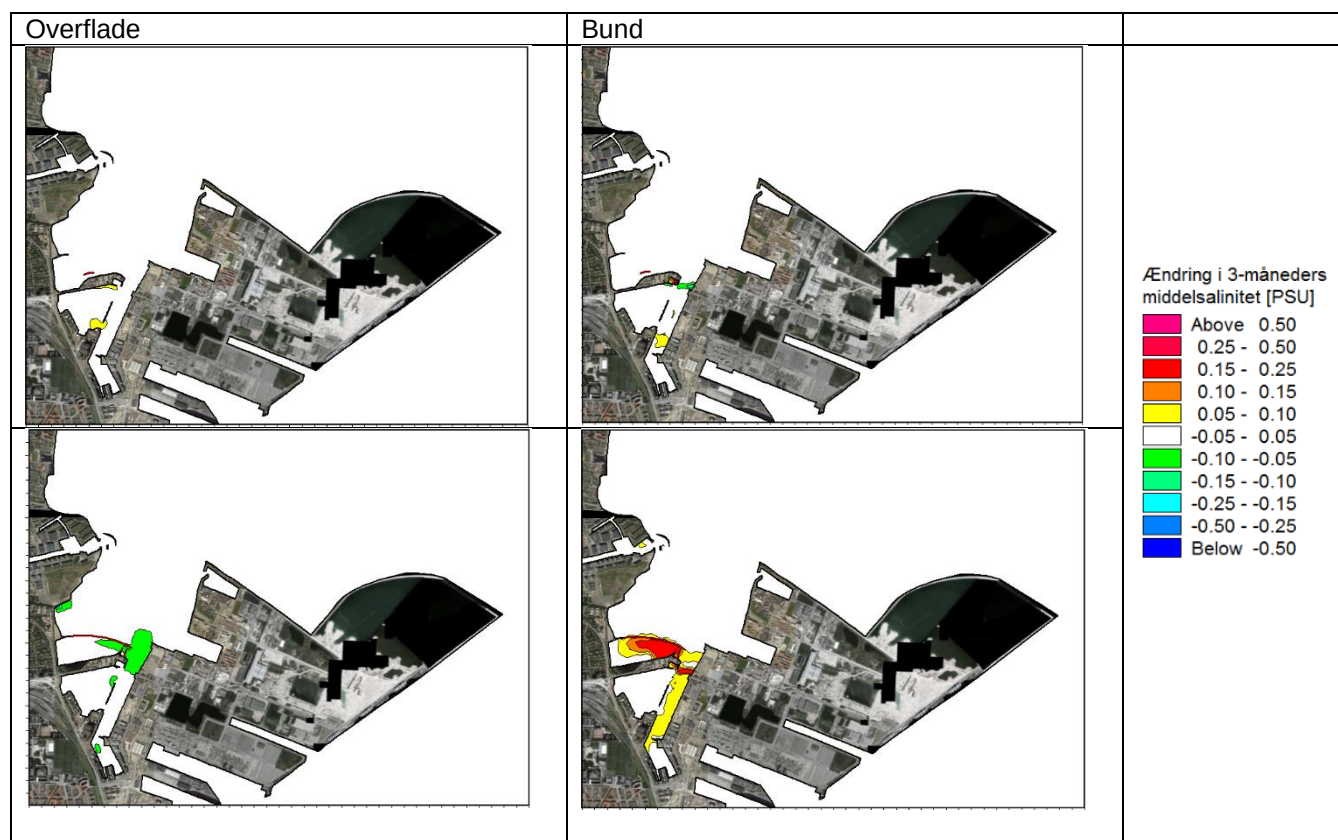
Figur 3-65 Differensplots mellem referencetilstand og scenarier i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): **Temperaturændringer** af 3-måneders middeltemperatur ved udførelses med **sænkettunnelløsning**. Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Nederst: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.



Figur 3-66 Differensplots mellem referencetilstand og scenarier i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Ændringer i varighed i timer med en **temperatur** på over 20 °C ved udførelses med **sænkettunnelløsning**. Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Nederst: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.

3.5.2 Salinitetsændringer

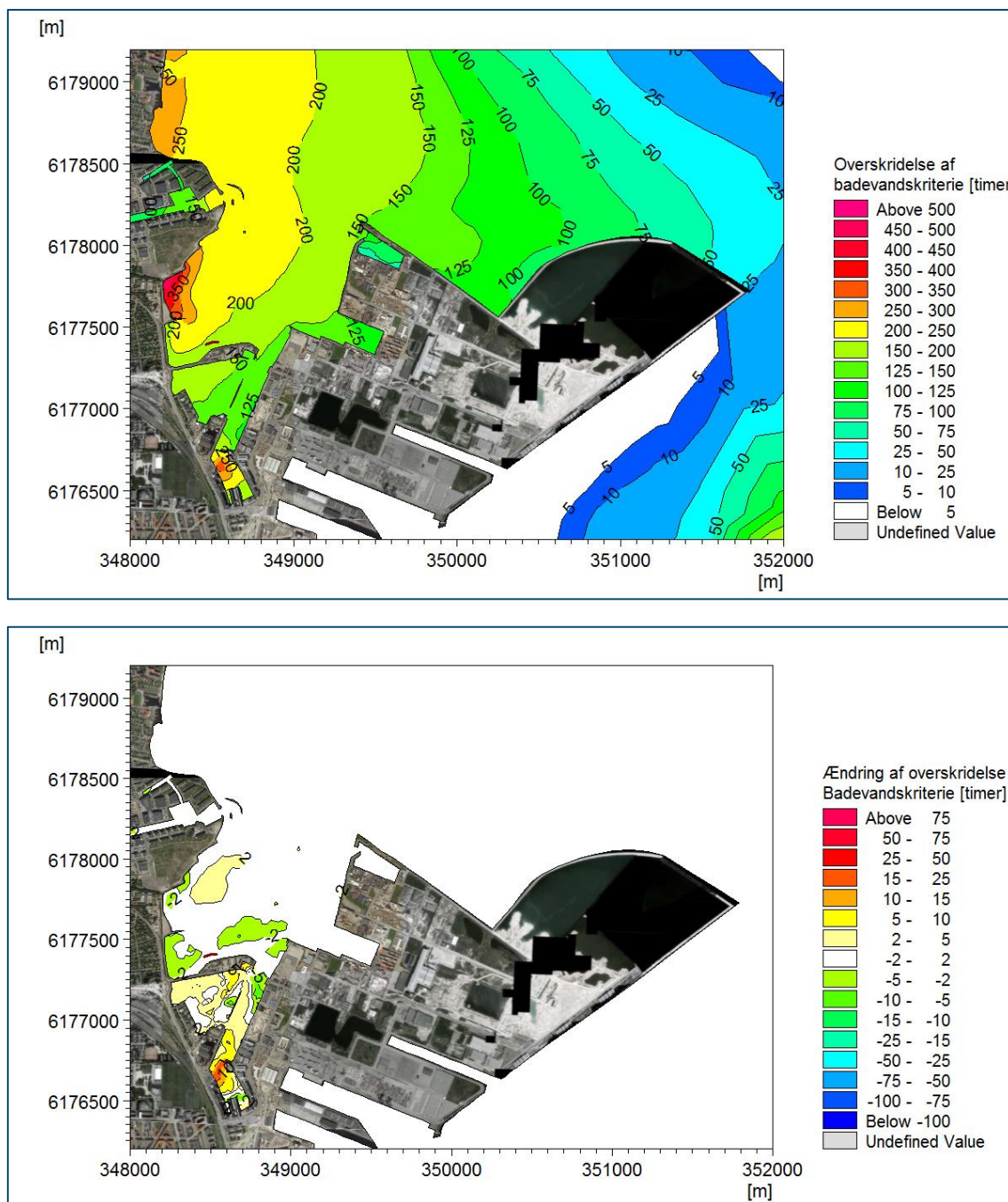
I udførelsesfasen bliver vandskiftet svækket som følge af den tærskel som tunnelen udgør henover Kalkbrænderiløbet. Men omvendt forbedres vandskiftet ind i Svanemøllehavnen som følge af at en række moler er afkortet. Effekten på salinitetsniveauet bliver derfor meget beskeden, som det fremgår af Figur 3-67. Effekterne bliver lidt kraftigere hvis der etableres erstatningshavn Svaneknoppen Lille. Men i begge tilfælde at ændringerne så små at de kan karakteriseres som ikke detekterbare.



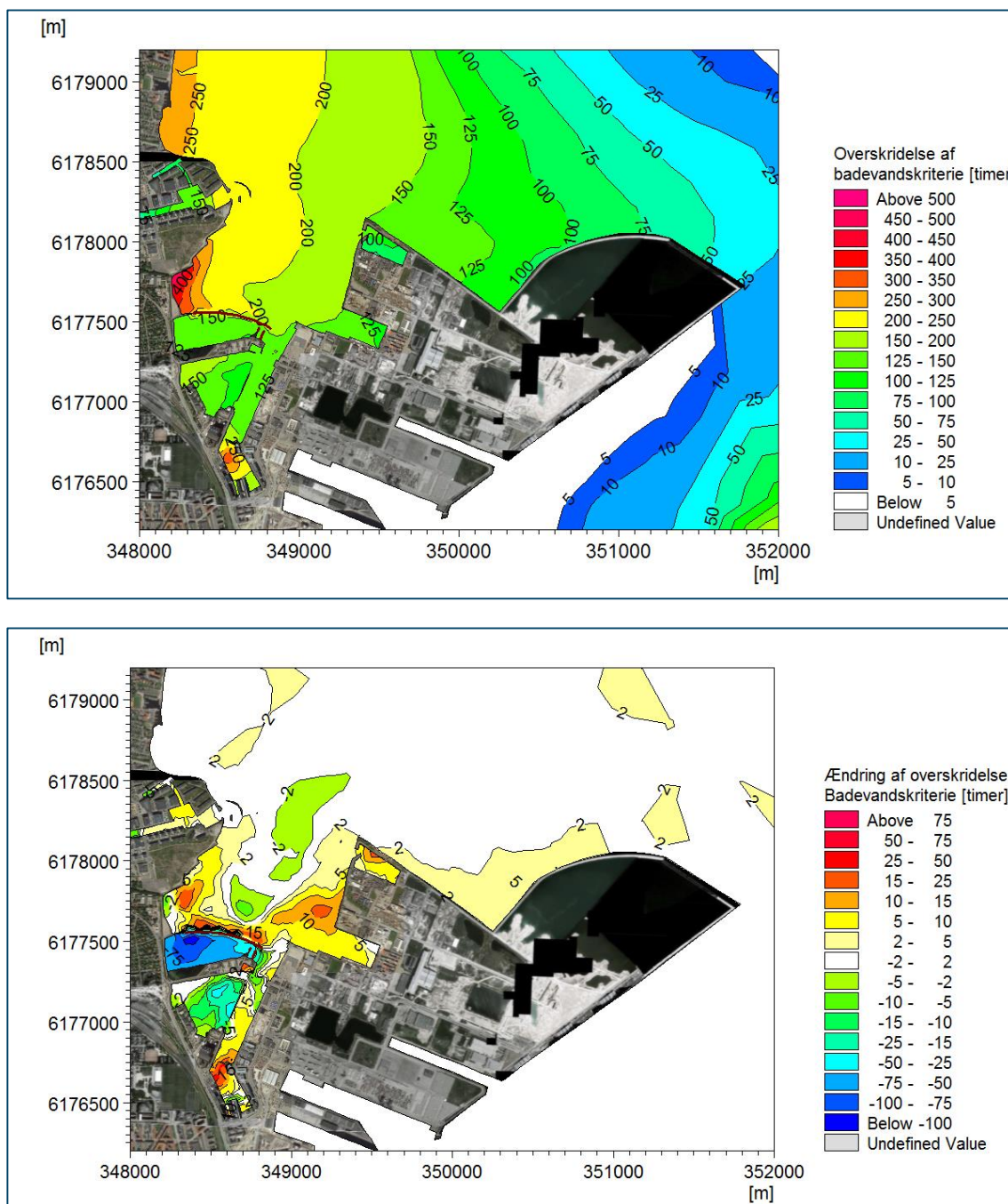
Figur 3-67 Differensplots mellem referencetilstand og scenarier i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer): Ændringer i 3-måneders middel salinitet ved udførelses med **sænkettunnelløsning**. Øverst: Erstatningshavn Prøvestenen. Nederst: Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.

3.5.3 Badevandskvalitet

Ved etablering af en sænketunnel vil tærskleffekten, samt bygning af en erstatningshavn, have en indflydelse på badevandskvaliteten i Svanemøllebugten. Hvis der ikke etableres en erstatningshavn er effekten positiv og vil medføre forbedret badevandskvalitet i bugten, da tærsklen vil reducere/forsinke udledninger inde fra havnen. Hvis man etablerer Svaneknoppen Lille, vil det medføre, at udledningerne i selve Svanemøllebugten ikke så let kan spredes og der vil derfor ske en øget ophobning af fortyndet spildevand i bugten og ved badestranden (Figur 3-69). Her vil overskridelsesperioden stige med 10-25 timer.



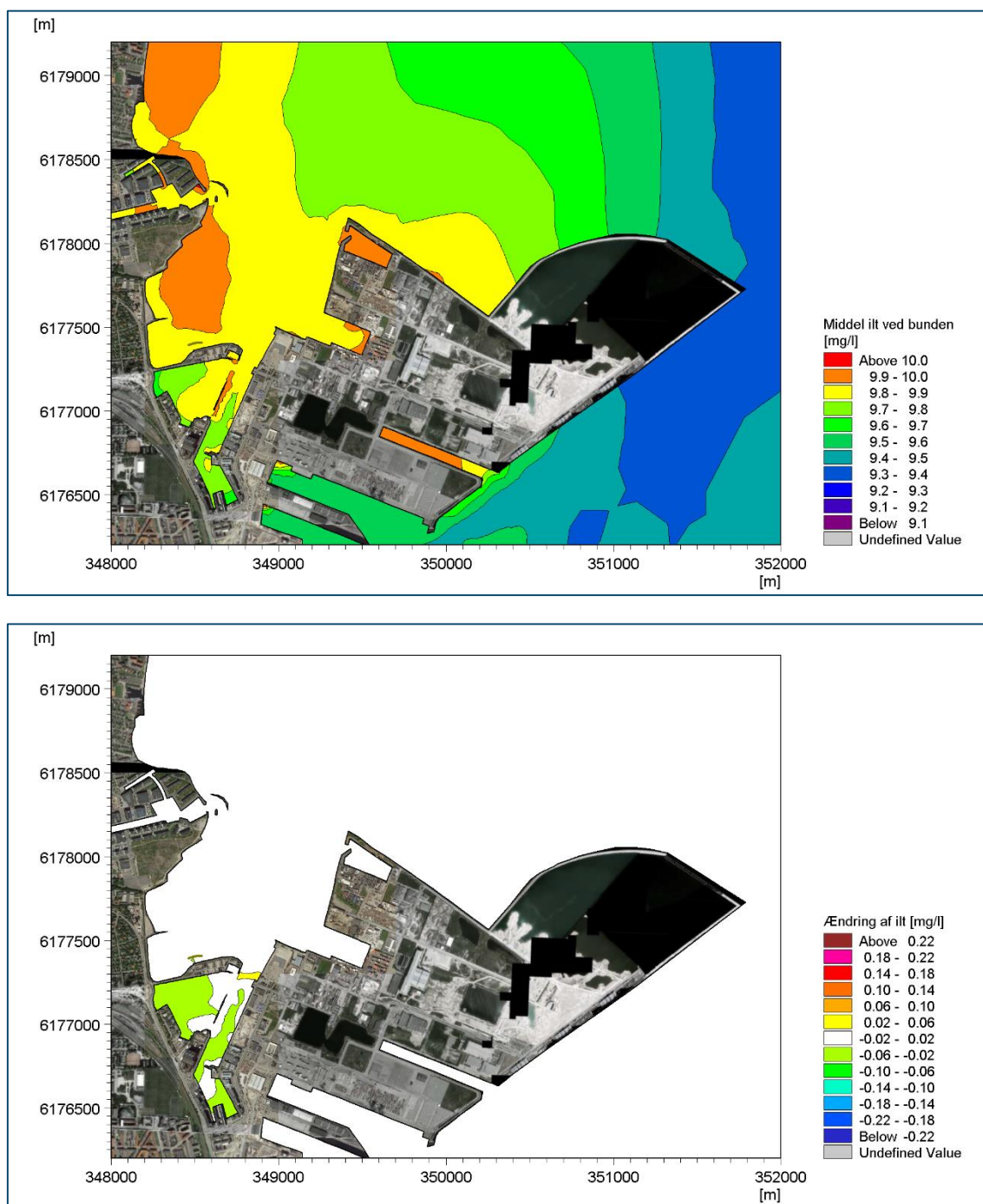
Figur 3-68 **Badevandskvalitet: Sænkettunnelløsning uden erstatningshavn i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer).** Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.



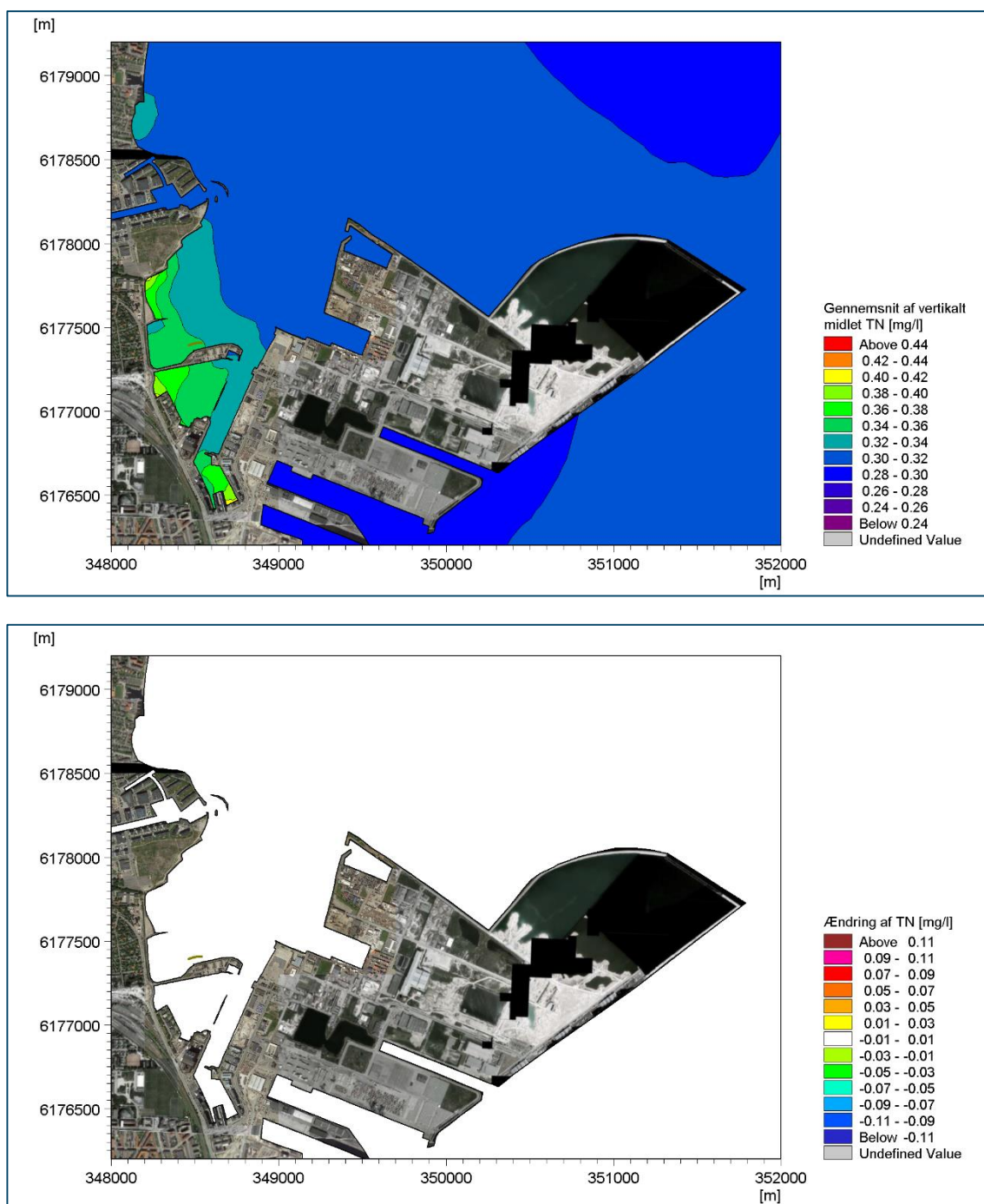
Figur 3-69 **Badevandskvalitet: Sænketunnelløsning** med erstatningshavn **Svaneknoppen Lille** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.

3.5.4 Vandkvalitet

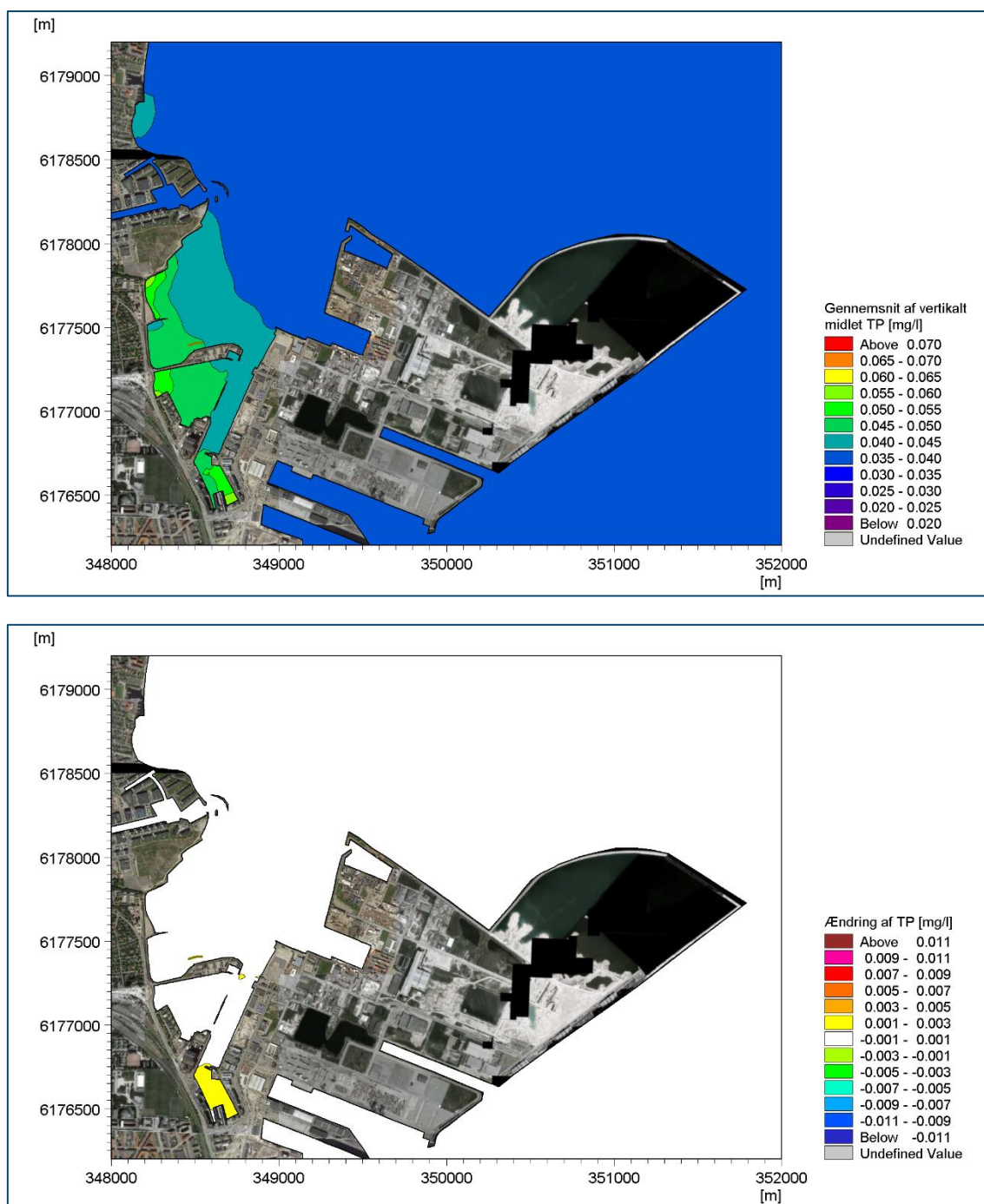
I situationen med anlæggelse af en sænketunnel er der to scenarier med hhv., en tærskel og en kombination af en tærskel og etablering af Svaneknoppen Lille. For begge løsninger sker der meget begrænsede ændringer i hhv. ilt og næringssalte inde i havnen, mest udtalt ved etablering af Svaneknoppen Lille, da den reducerer vandskiftet i havnen.



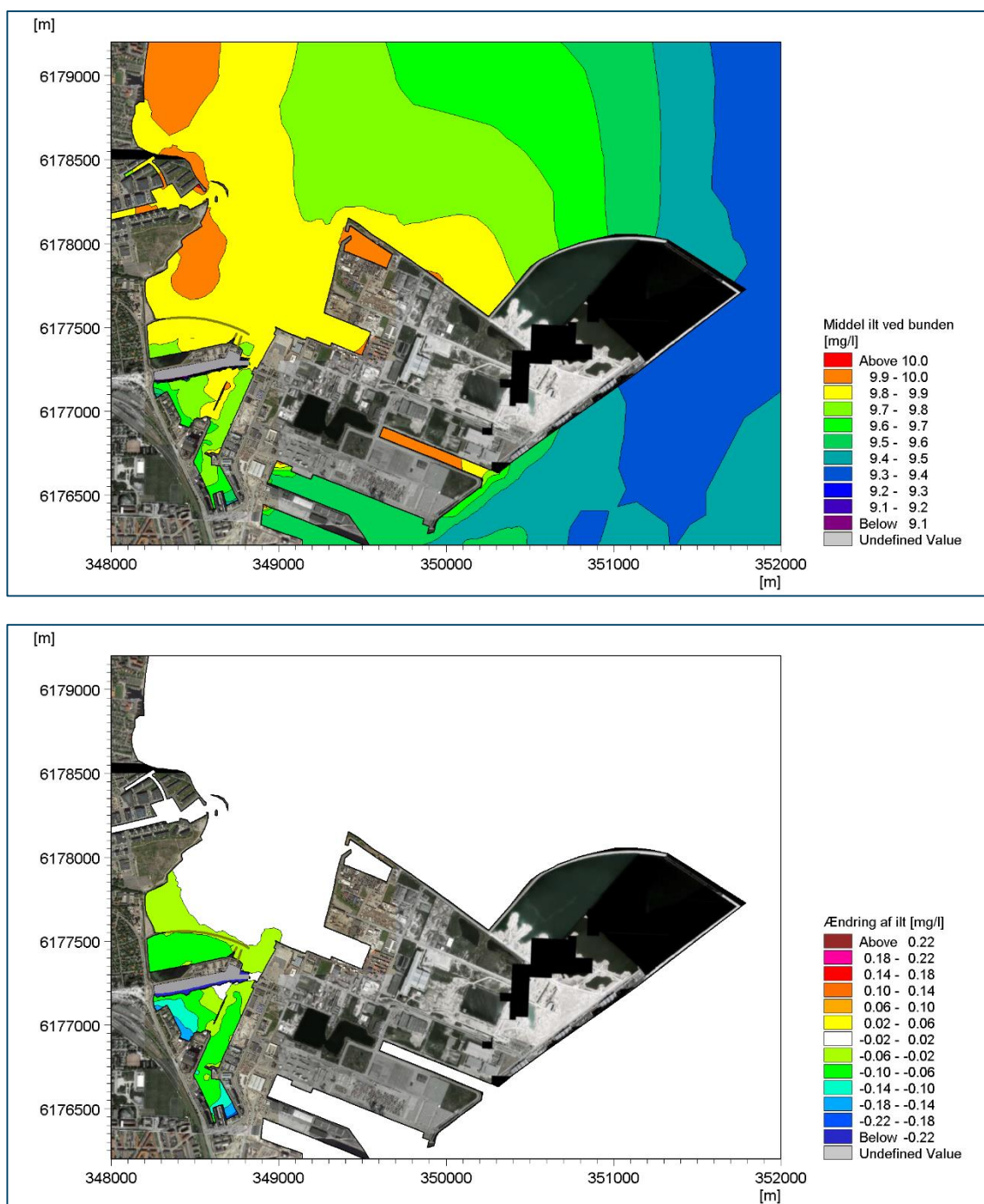
Figur 3-70 Ændringer i **iltkoncentrationen** i bundlaget ved etablering af **sænketunnel** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



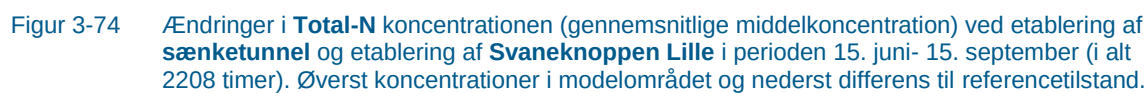
Figur 3-71 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middeldkoncentration) ved etablering af sænketunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.

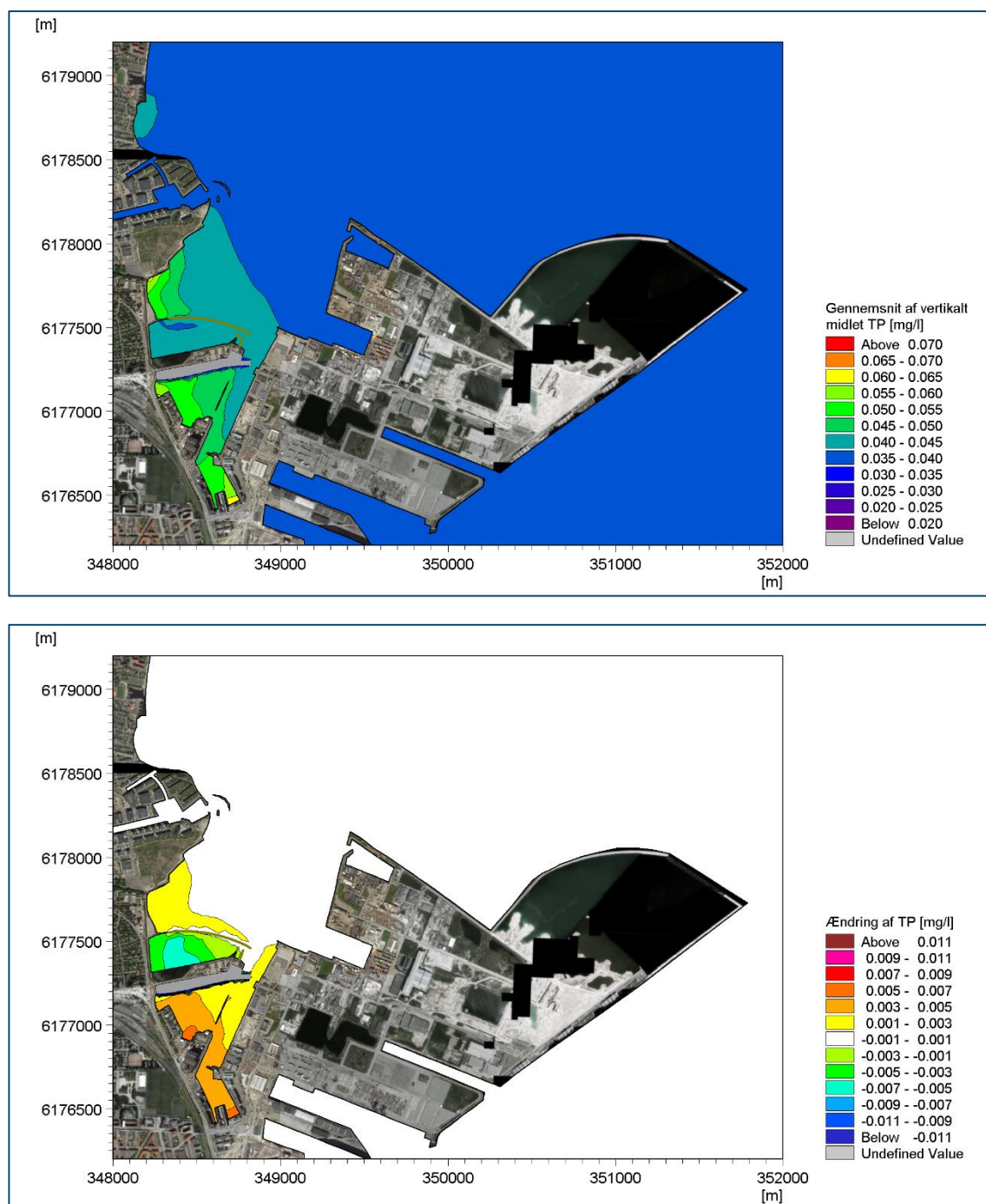


Figur 3-72 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af sænketunnel i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 3-73 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget ved etablering af sænketunnel og etablering af Svaneknoppen Lille i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.





Figur 3-75 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelfkoncentration) ved etablering af sænketunnel og etablering af **Svaneknoppen Lille** i perioden 15. juni- 15. september (i alt 2208 timer). Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.

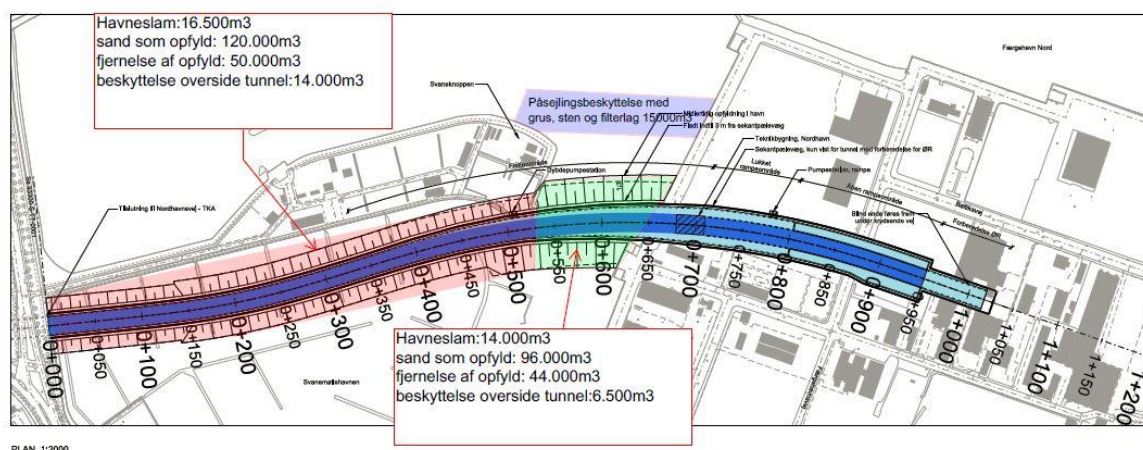
3.6 Påvirkninger fra sedimentspredning

Størstedelen af anlægsmetoderne benytter sig af tør udgravning og undgår derved et sediment-spild og tilhørende effekter på vandmiljøet. Helt undgåes kan det dog ikke. Med en cut-and-cover løsning fjernes det øverst sedimentlag (havneslam) ved hjælp af våd udgravning, mens underliggende lag udgraves tørt. Med en sænkettunnelløsning udgraves alle mængderne vådt. I denne sektion er påvirkningerne fra sedimentspredning beskrevet for de to anlægsmetoder.

3.6.1 Cut-and-Cover

Cut-and-cover dækker både gravearbejder ved en etape-opdeling og uden etapeopdeling. I begge tilfælde er der tale om afgravning af havnesediment over 14 dage, som vil spredes i området. Det dækker således ikke selve afgravningen under havnesedimenterne, som udgraves tørt.

De berørte områder og gravemængder for cut-and-cover løsningen er vist i Figur 3-76.



Figur 3-76 Gravearbejder og mængder som udføres vådt.

Det anvendte sand og beskyttelse til oversiden af tunnelen vurderes at være af en sådan beskaffenhed at spild kun vil bundfældes helt lokalt og derfor ikke har nogen miljømæssige konsekvenser. Det er derfor alene spildet fra afgravningen af havneslamlaget, som vil kunne spredes og påvirke vandmiljøet.

For havneslammet er der i Tabel 3-8 indikeret antagelser om tørdensitet og sammensætning. Antagelserne er baseret på beskrivelsen af tre sedimentprøver i Svanemøllehavnen og Kalkbrænderihavnen:

- Prøve S5 på 1,5 m vanddybde: Første 10 cm siltet, sandet med vegetationsrester. Resten er gråt ler med sand
- Prøve S6 på 2,3 m vanddybde: Silt med en smule vegetation på toppen, stiv leret silt med sand
- Prøve S9 på 6,7 m vanddybde: Grønsort, sandet, pluttet

Tabel 3-8 Rumvægt og sammensætning af havneslam materiale.

Sediment	Tørdensitet [t/m^3]	Lerfraktion [% < 2 μm]	Silt og ler fraktion [% < 63 μm]
Havneslam	1,5	30	50

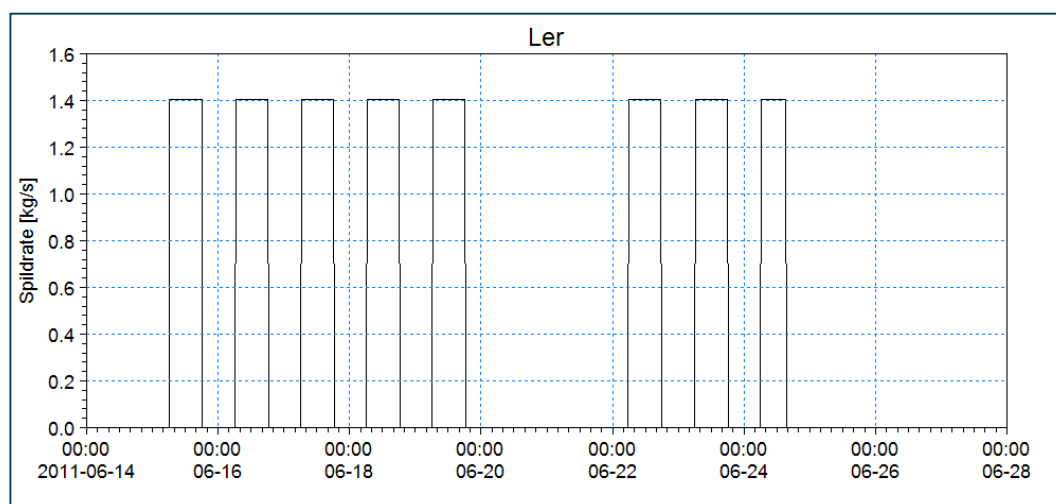
Gravearbejdet udføres med skovl (backhoe). Spildprocenten vil afhænge af skovlens størrelse. Jo større skovl, des mindre spild. Spildprocenten for gravearbejdet er skønnet til 3% og fastlagt med udgangspunkt i CIRIA C547, /8/. Gravespildet fordeles i simuleringerne jævnt over hele vandsøjlen. Desuden flyttes spildpunktet løbende for at afspejle hvor i området der graves. Gravearbejdet forudsættes udført med en produktionsrate på 4500 m³ pr. dag. Der graves 12 timer om dagen, fem dage om ugen.

Det overordnede spildbudget for gravearbejdet er angivet i Tabel 3-9, mens gravespildraterne for de finkornede fraktioner (ler og silt) i løbet af graveperioden er vist i Figur 3-77, Figur 3-78 og Figur 3-79. Gravespildet modelleres med to fraktioner, en for ler og en for silt. De to fraktioner er karakteriseret ved deres faldhastigheder, som er skønnet til:

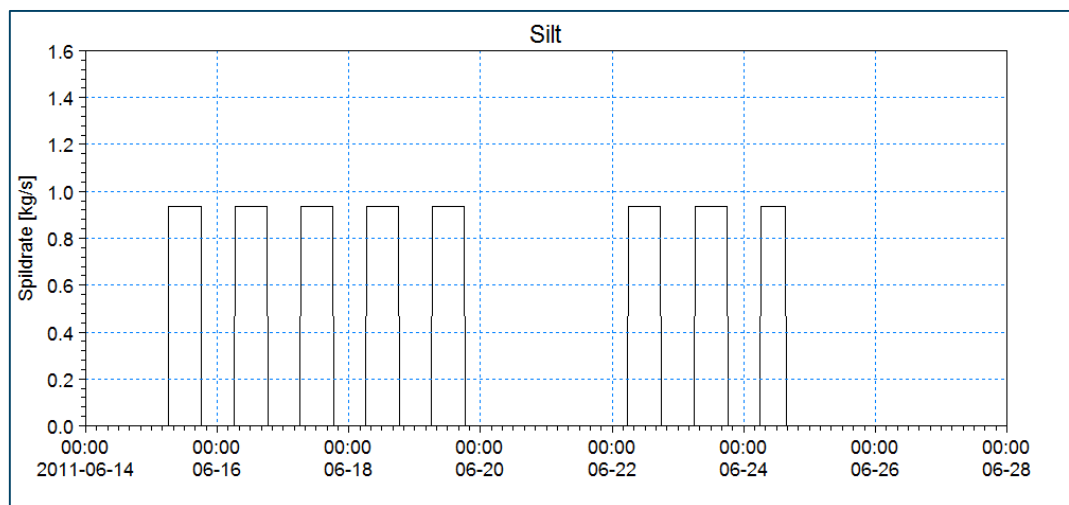
- $W_{s,ler} = 0,05 \text{ mm/s}$
- $W_{s,silt} = 0,5 \text{ mm/s}$

Tabel 3-9 Overordnet spildbudget for cut-and-cover løsningen.

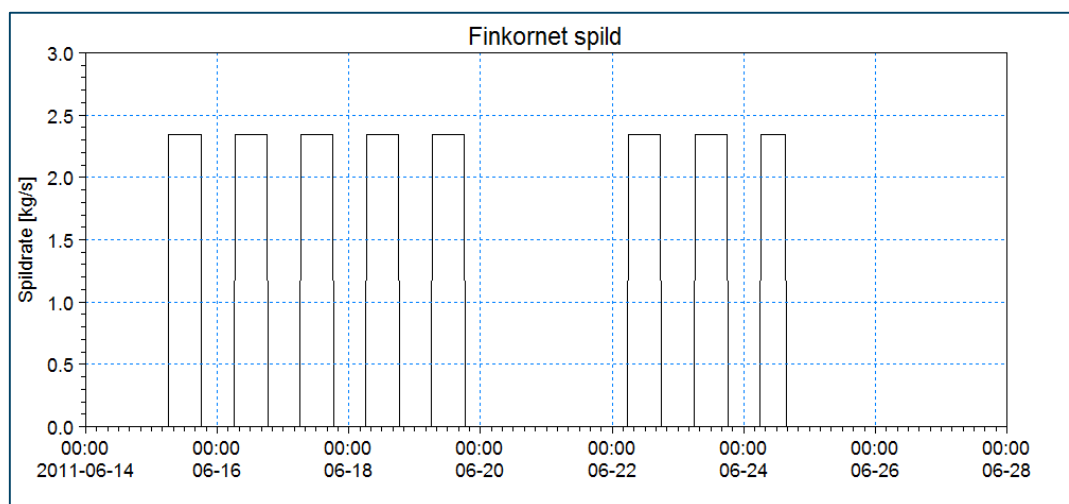
Område	Tørrumvægt [t/m ³]	Mængde [m ³]	Masse [tons]	Sedimentspild [tons]	Lerspild [tons]	Siltspild [tons]
Havneslam vest	1,5	16.500	24.750	743	223	149
Havneslam øst	1,5	14.000	21.000	630	189	126
Total		30.500	45.750	1.373	412	275



Figur 3-77 **Havnesediment:** Gravespild i form af **lerpartikler** frigjort til vandsøjlen i løbet af Cut-and-Cover graveperioden.



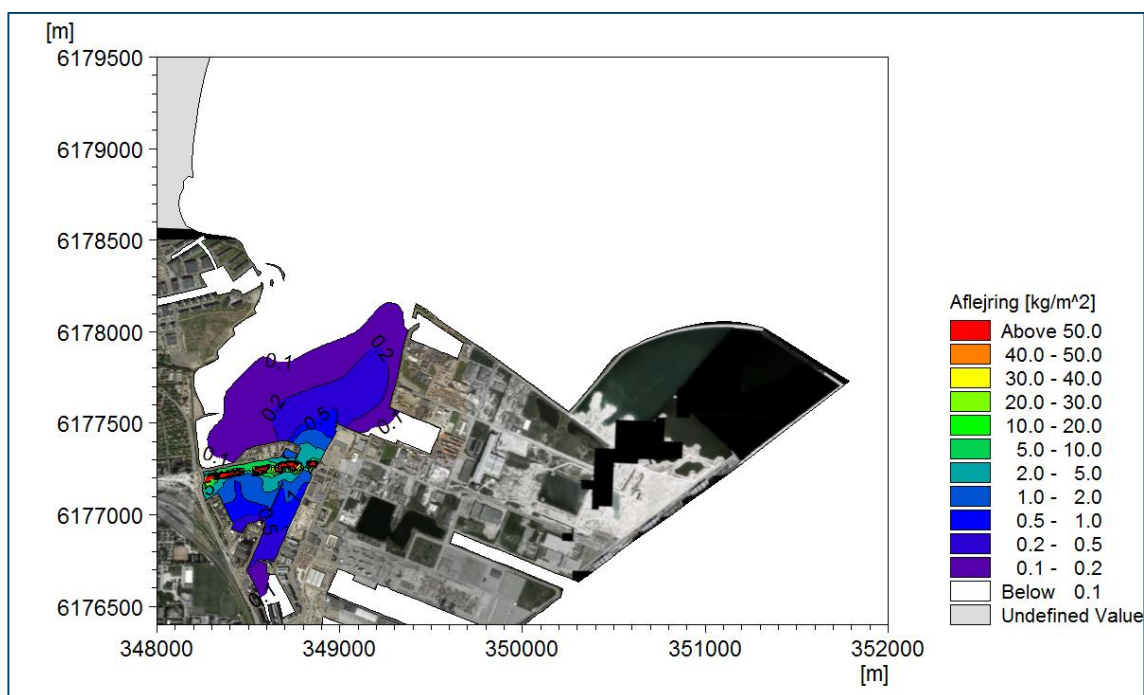
Figur 3-78 **Havnesediment:** Gravespild i form af **siltpartikler** frigjort til vandsøjlen i løbet af Cut-and-Cover graveperioden.



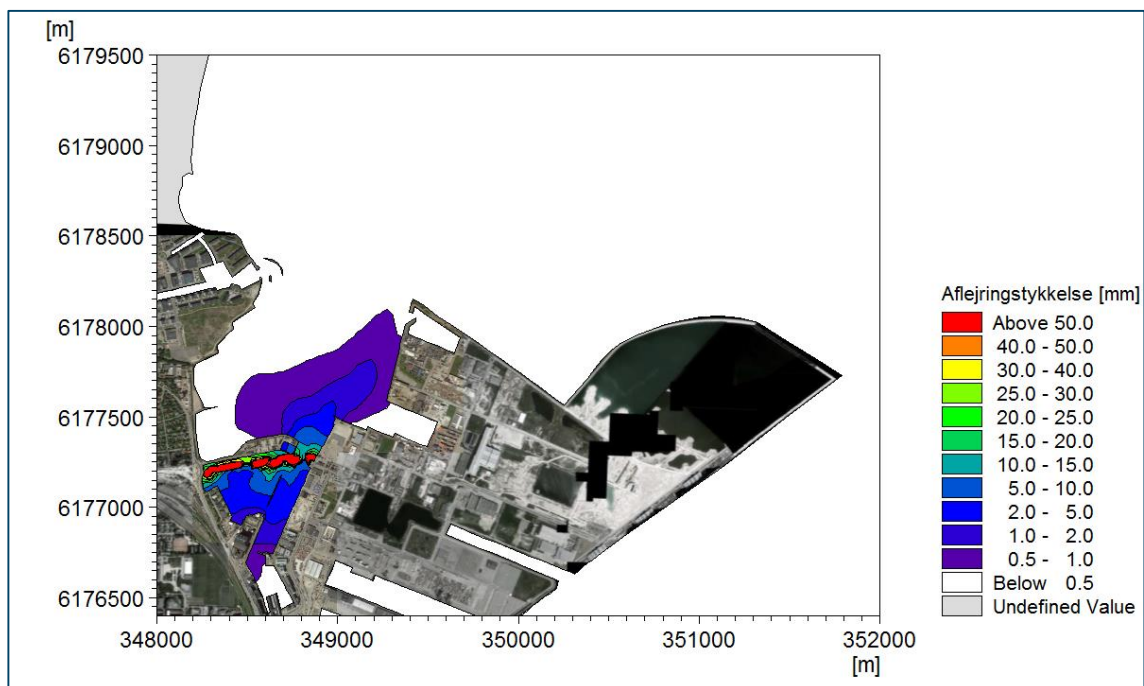
Figur 3-79 **Havnesediment:** Sum af finkornet gravespild frigjort til vandsøjlen (**1er plus silt**) i løbet af cut-and-cover graveperioden.

3.6.1.1 Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten

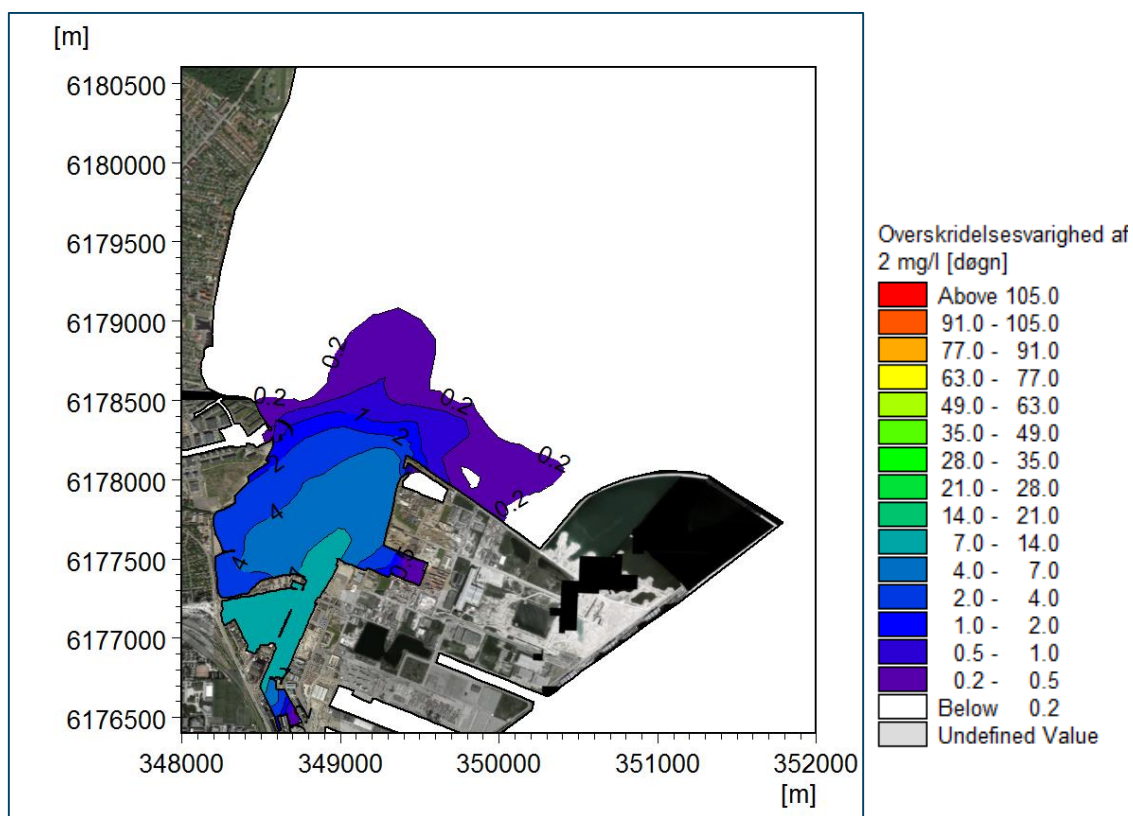
Ved afgravning af havnesedimenter vil der ske en spredning i nærområdet. Der er tale om en begrænset graveperiode på cirka 14 dage og som det ses af nedenstående er der primært tale om større sedimentkoncentrationer og aflejring i umiddelbar nærhed af graveområdet. For hvert scenarium er der vist den forventede aflejningsmængde i kg/m², samt forventet udbredelse af områder med henholdsvis 2 og 10 mg/l finkornet sediment i vandsøjlen (dybdemidlet). I dette scenarium er der kun anlagt en erstatningshavn uden for Nordhavnsområdet, hvorfor en erstatningshavn ikke vil have indflydelse på spredning og aflejring.



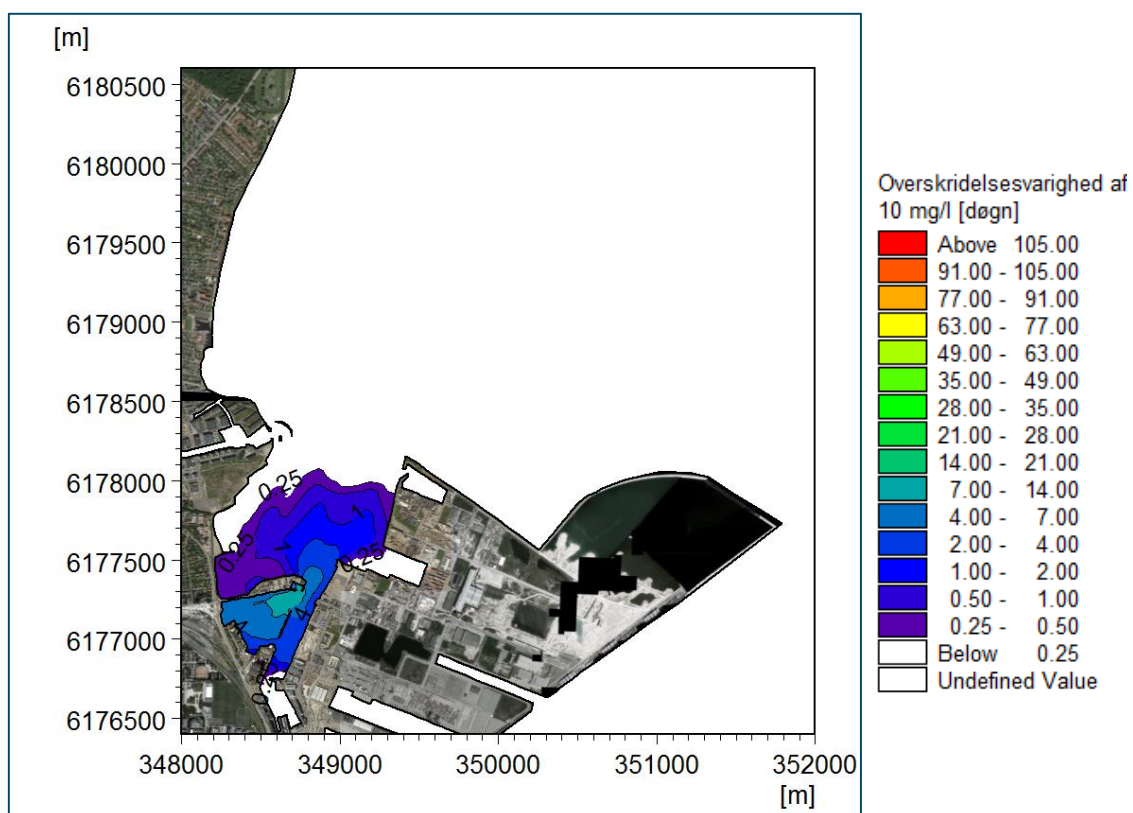
Figur 3-80 Estimeret sedimentaflejrings i kg/m² forårsaget af cut-and-cover gravearbejdet i havneslam.



Figur 3-81 Estimerede aflejringsstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m³.



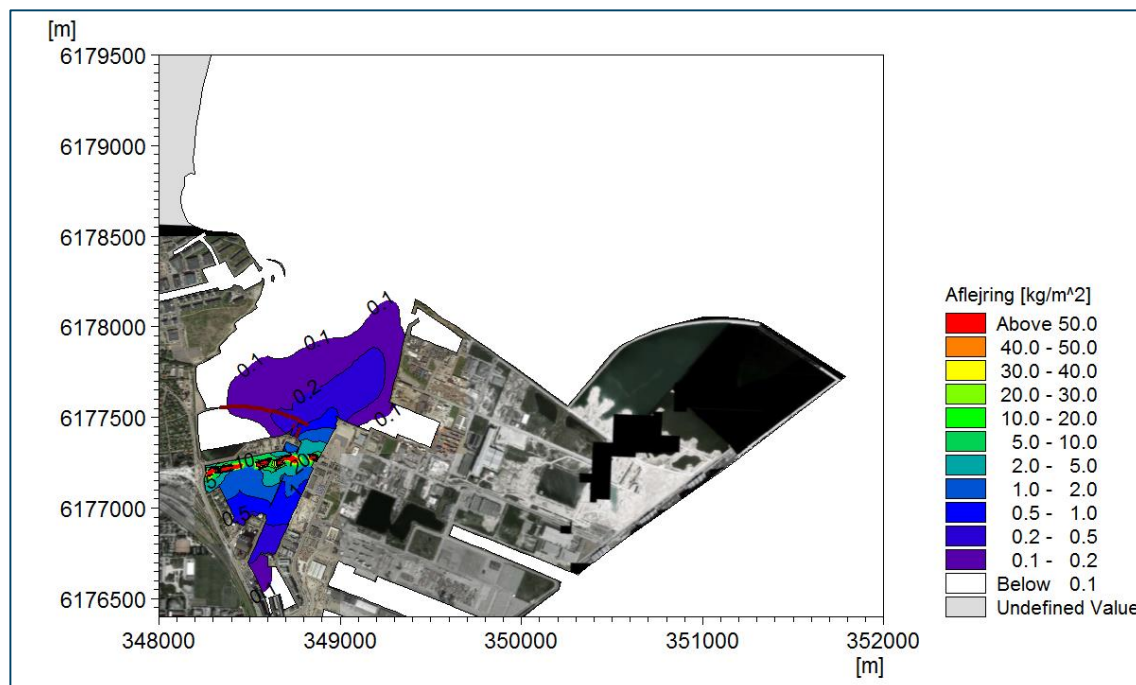
Figur 3-82 Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l.



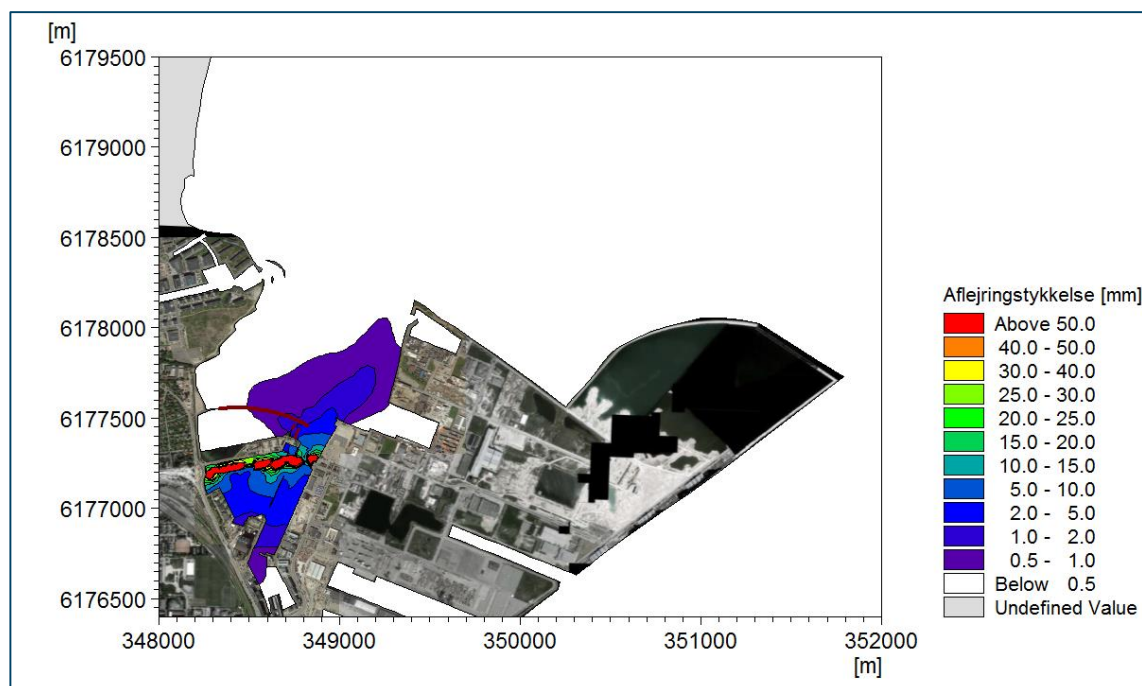
Figur 3-83 Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l.

3.6.1.2 Erstatningshavn Svaneknoppen Lille

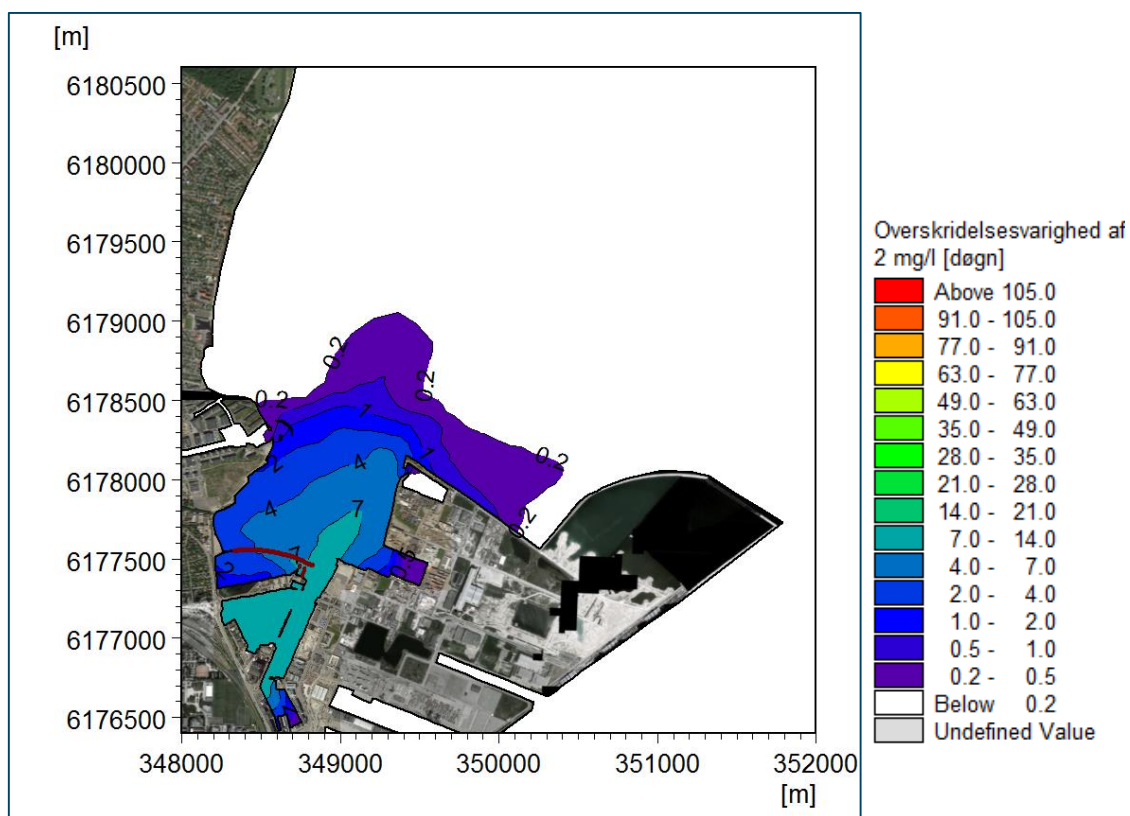
Tilsvarende plots og beregninger er udført for anlæggelse af en lille marina ved Svaneknoppen. Det ses at marinaen har en meget lille effekt på sedimentspredningen, hvilket for så vidt er logisk, da den er placeret på læsiden af Svaneknoppen, set i forhold til gravearbejdet.



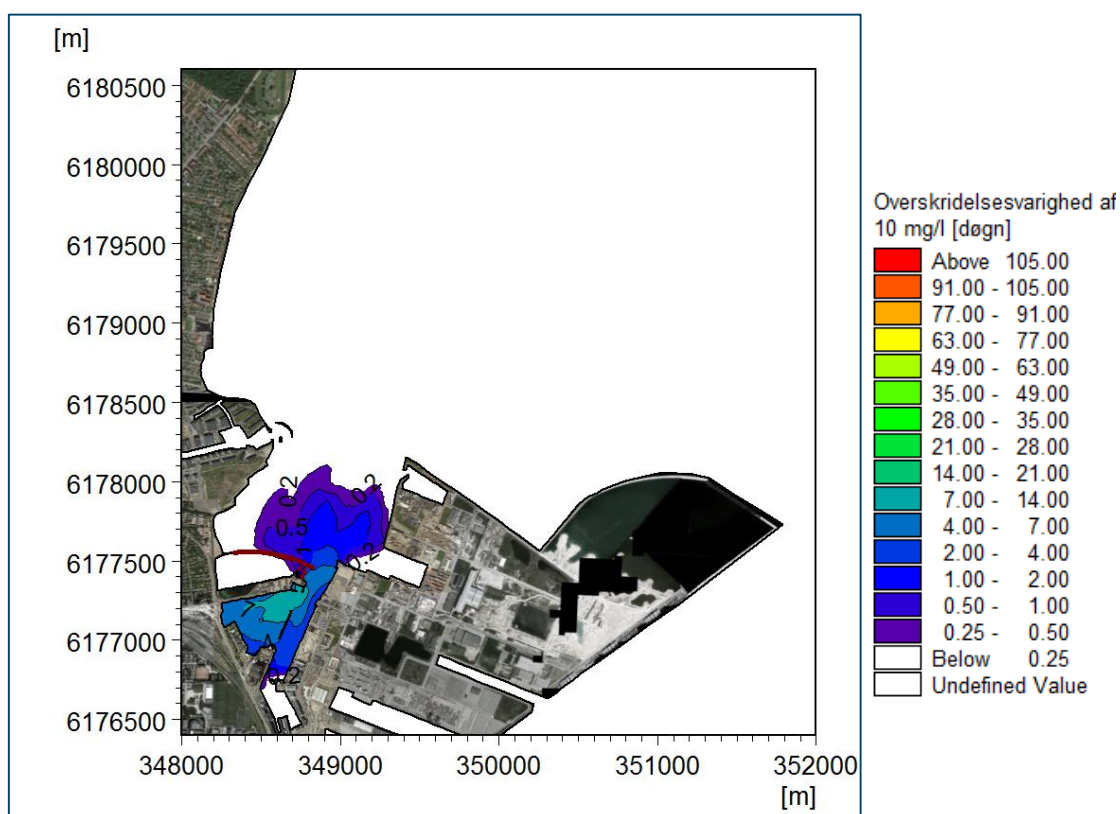
Figur 3-84 Estimeret sedimentaflejrings forårsaget af cut-and-cover havneslam gravearbejdet, samt etablering af Svaneknoppen Lille.



Figur 3-85 Estimerede aflejringsstykkelser for cut-and-cover gravearbejdet med havneslam, under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m³, samt etablering af Svaneknoppen Lille.



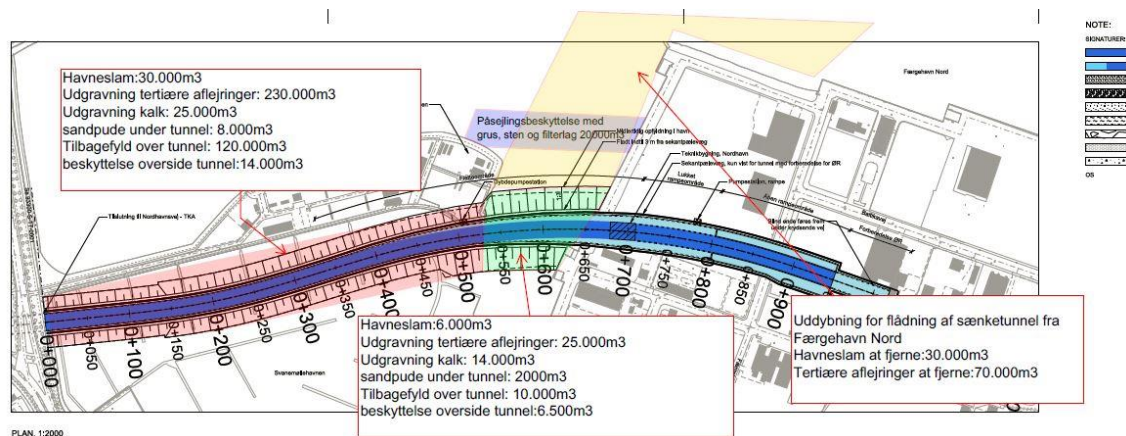
Figur 3-86 Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l, samt etablering af **Svaneknoppen Lille**.



Figur 3-87 Varighed under cut-and-cover gravearbejdet af havneslam, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l, samt etablering af **Svaneknoppen Lille**.

3.6.2 Sænketunnel

Ved sænketunnelløsningen skal der graves i selve tunneltraceet, samt i området fra Færgehavn Nord, hvor tunnelelementerne forventes produceret og hen til selve tunneltraceet. De berørte områder og gravemængder for løsningen er vist i Figur 3-88.



Figur 3-88 Gravearbejder og mængder som udføres vådt ved sænketunnelløsningen.

Det anvendte sand og beskyttelse til oversiden af tunnelen vurderes at være af en sådan beskaffenhed, at spild kun vil bundfældes helt lokalt og derfor ikke har nogen miljømæssige konsekvenser. Det er derfor alene spildet fra afgravningen af havneslamlaget, de tertiære aflejringer og kalken, som vil kunne spredes og påvirke vandmiljøet. Det tertiære lag består af en sammensætning af moræneler, grønsand, sand og grus. Følgende sammensætning er antaget: moræneler 62%, grønsand 33% og sand/grus 5%. Gravespildet fra det tertiære lag simuleres som om det er homogent sammensat med ovenstående fordeling. Sammensætningen af havneslammet er som beskrevet for cut-and-cover løsningen. De angivne værdier for kalken er valgt på baggrund af erfaringer fra målinger ved gravning i kalklag i den Persiske Golf og Øresund.

Tabel 3-10 Tørdensitet og sammensætning for sænketunnelløsningen

Sediment	Tørdensitet [t/m³]	Lerfraktion [% < 2µm]	Silt og ler fraktion [% < 63µm]
Havneslam	1,5	30	50
Moræneler	2,0	30	50
Grønsand	1,8	10	30
Sand/grus	1,8	0	5
Kalk	2,0	1	5

Gravearbejdet udføres med skovl (backhoe). Spildprocenten vil afhænge af skovlens størrelse. Jo større skovl, des mindre spild. Spildprocenten for gravearbejdet er skønnet til 3% og fastlagt med udgangspunkt i CIRIA C547, /8/. Gravespildet fordeles i simuleringerne jævnt over hele vandsøjlen. Desuden flyttes spildpunktet løbende for at afspejle hvor i området der graves. Gravearbejdet forudsættes udført med en produktionsrate på 4500 m³ pr. dag. Der graves 12 timer om dagen, fem dage om ugen.

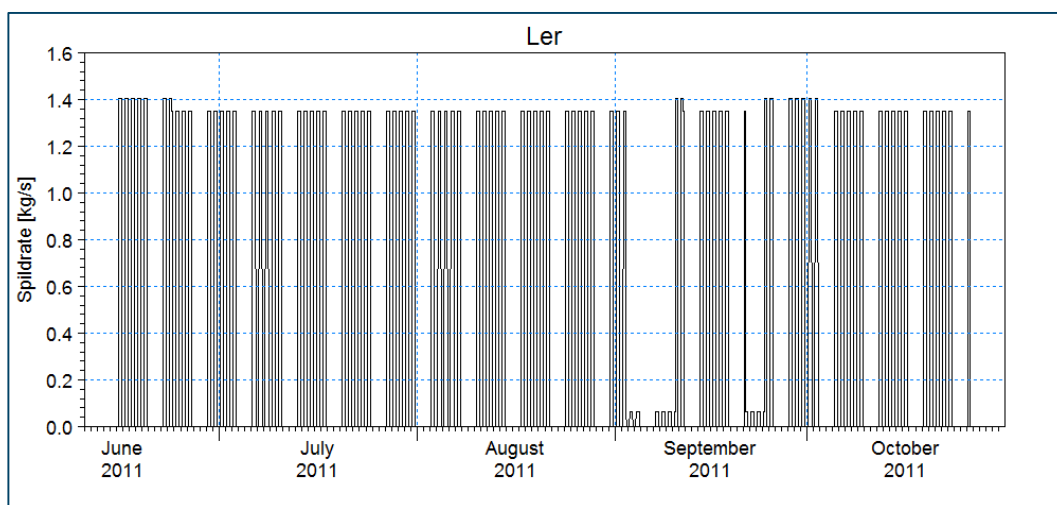
Det overordnede spildbudget for gravearbejdet er angivet i Tabel 3-11, mens gravespildraterne for de finkornede fraktioner (ler og silt) i løbet af graveperioden er vist i Figur 3-89, Figur 3-90 og

Figur 3-91. Gravespildet modelleres ved hjælp af to fraktioner, en for ler og en for silt. De to fraktioner er karakteriseret ved deres faldhastigheder, som er skønnet til:

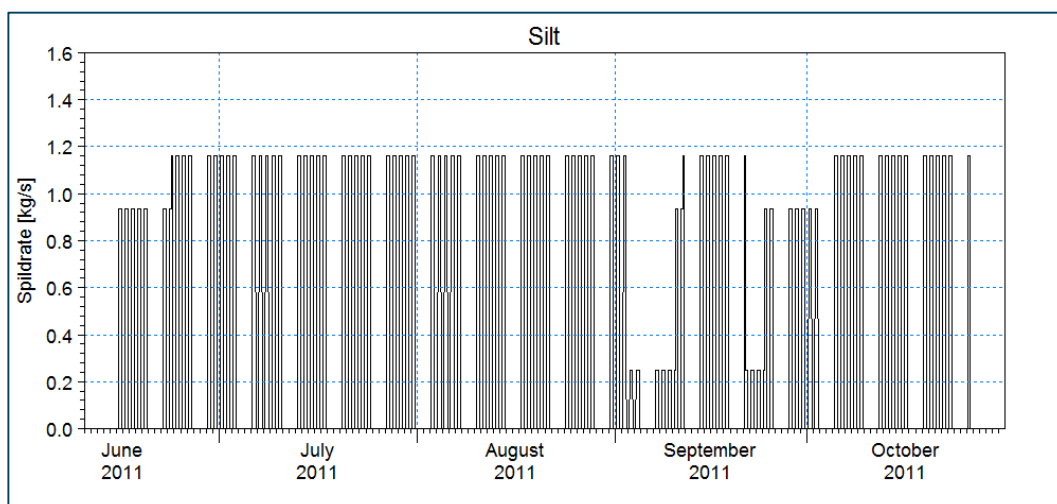
- $W_{s,ler} = 0,05 \text{ mm/s}$
- $W_{s,silt} = 0,5 \text{ mm/s}$

Tabel 3-11 Overordnet spildbudget for sænketunnelløsningen.

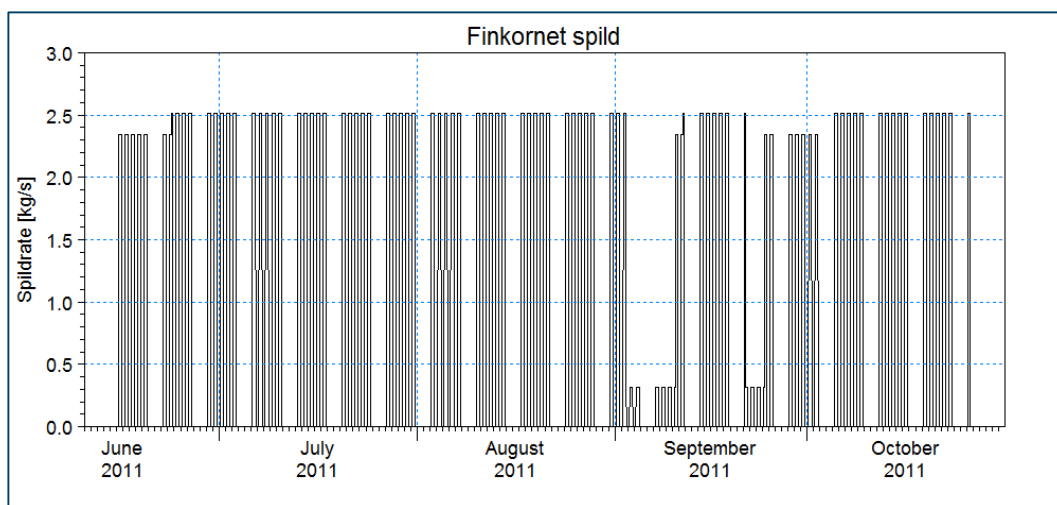
Område	Tørrumvægt [t/m ³]	Mængde [m ³]	Masse [tons]	Sedimentspild [tons]	Lerspild [tons]	Siltspild [tons]
Havneslam vest	1,5	30.000	45.000	1.350	405	270
Moræneler vest	2,0	142.600	285.200	8.556	2.567	1.711
Grønsand vest	1,8	75.900	136.620	4.099	410	820
Sand/Grus vest	1,8	11.500	20.700	621	0	31
Kalk vest	2,0	25.000	50.000	1.500	15	60
Havneslam øst	1,5	6.000	9.000	270	81	54
Moræneler øst	2,0	15.500	31.000	930	279	186
Grønsand øst	1,8	8.250	14.850	446	45	89
Sand/grus øst	1,8	1.250	2.250	67,5	0	3,4
Kalk øst	2,0	14.000	28.000	840	8,4	34
Havneslam sejlrende	1,5	30.000	45.000	1.350	405	270
Moræneler sejlrende	2,0	43.400	86.800	2.604	781	521
Grønsand sejlrende	1,8	23.100	41.580	1.247	125	249
Sand/grus sejlrende	1,8	3.500	6.300	189	0	9,45
Total		430.000	802.300	24.069,5	5.121,4	4.307,85



Figur 3-89 **Sænketunnel:** Gravespild i form af **lerpartikler** frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.



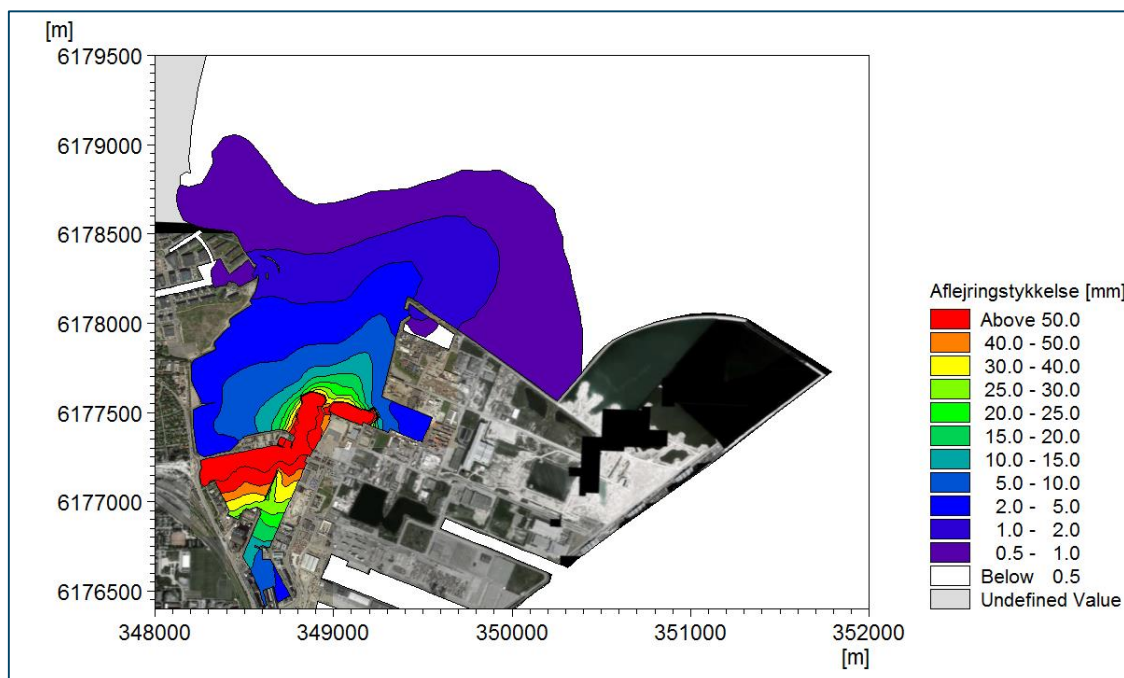
Figur 3-90 **Sænketunnel:** Gravespild i form af **siltpartikler** frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.



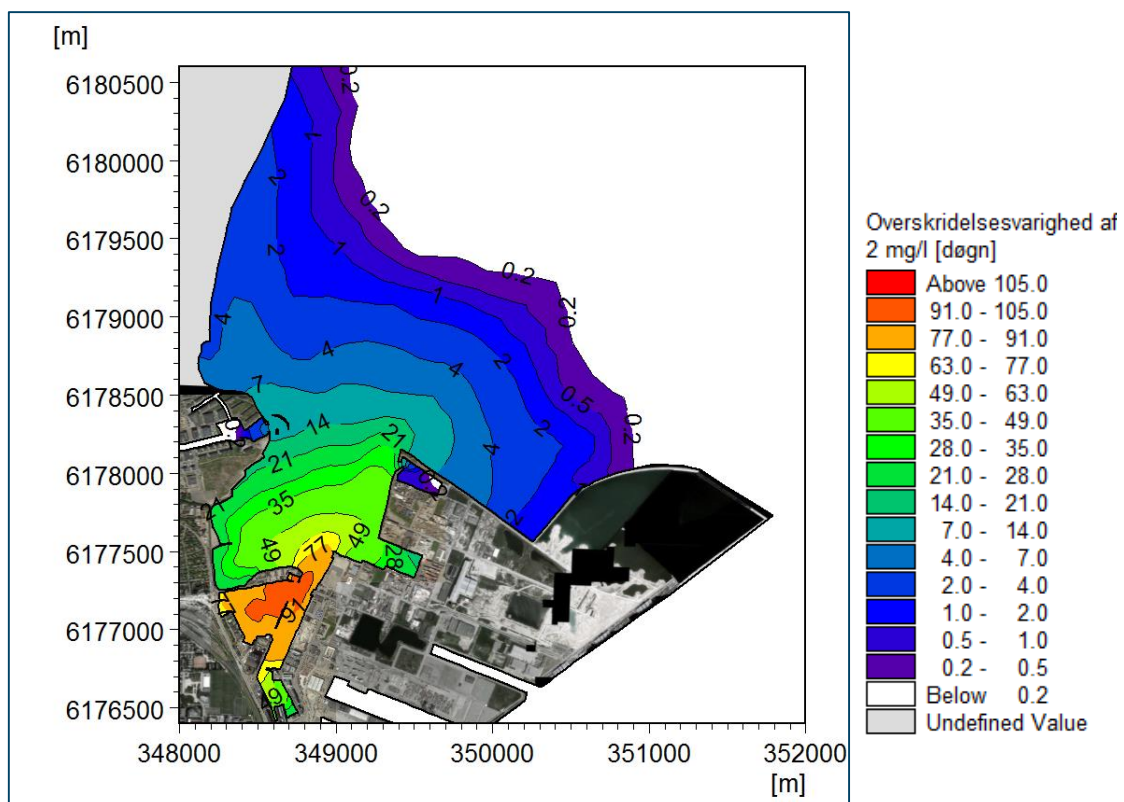
Figur 3-91 **Sænketunnel:** Sum af **finkornet gravespild** frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af graveperioden.

3.6.2.1 Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten

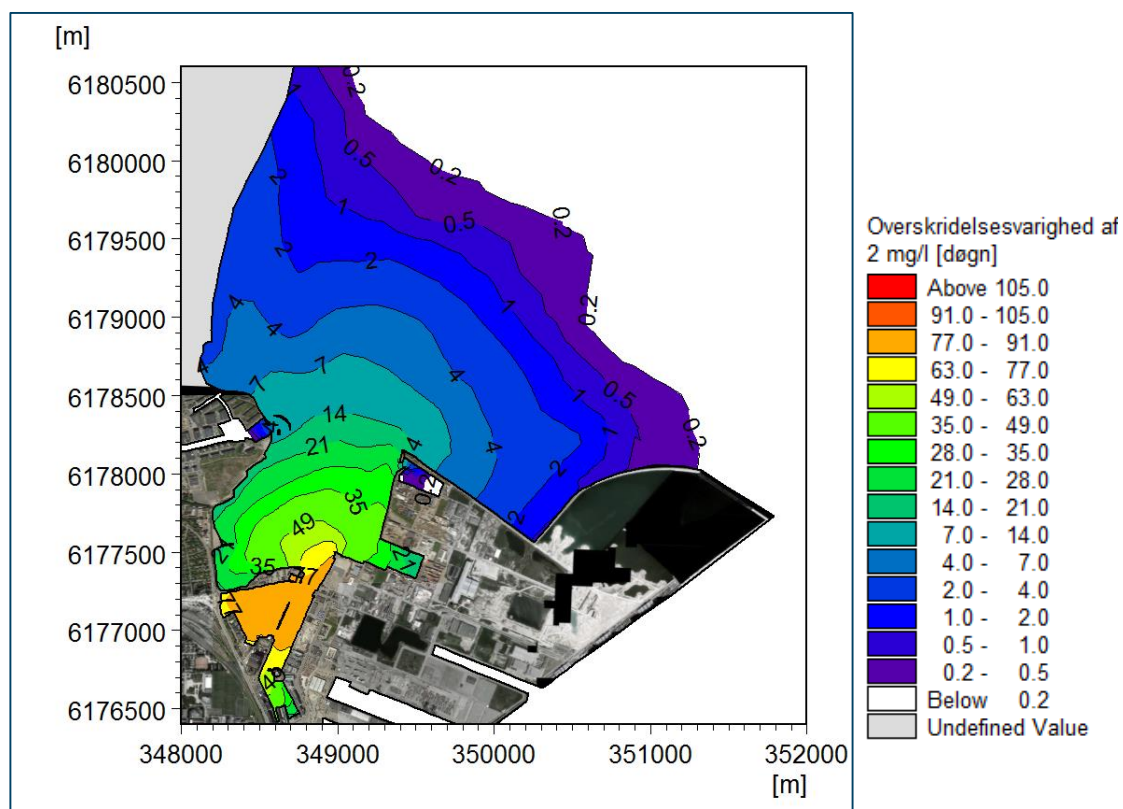
Ved anlæggelse af en erstatningshavn ved Prøvestenen vil der ikke være fysiske ændringer af moler og lignende i Svanemøllebugten. Spredningen vil således ske uhindret i området.



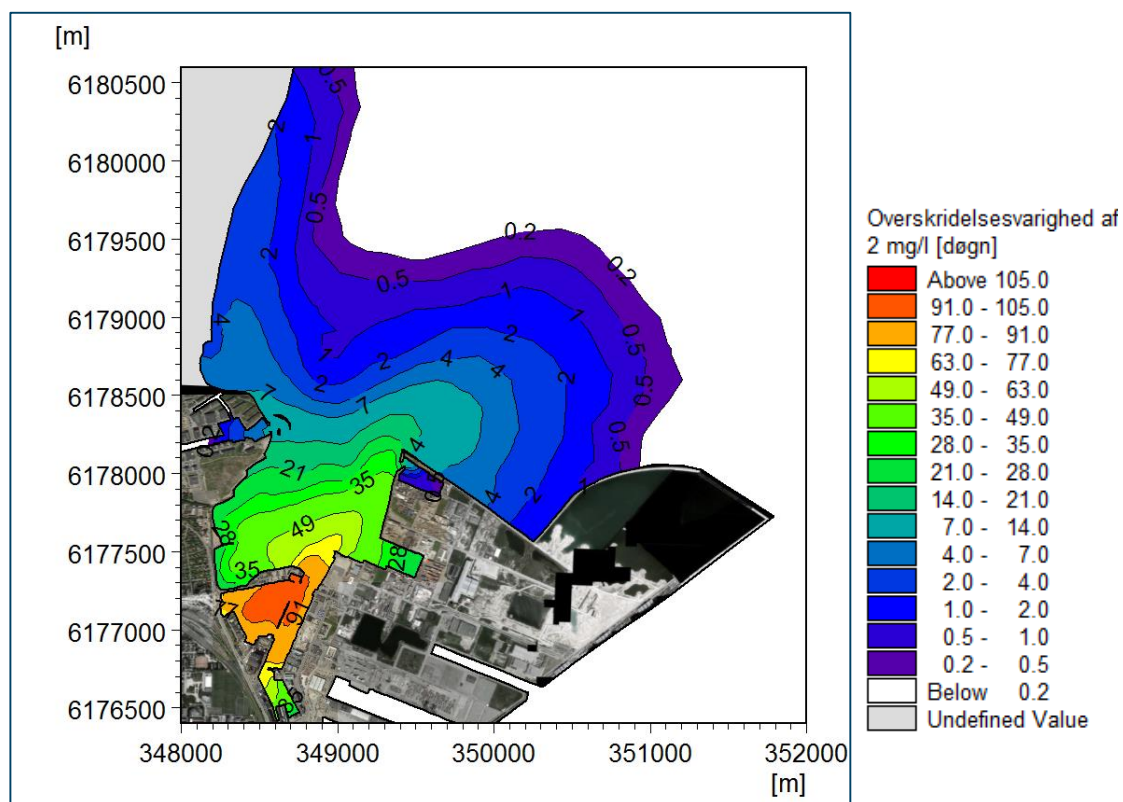
Figur 3-92 **Sænketunnel:** Estimerede aflejringsstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m³.



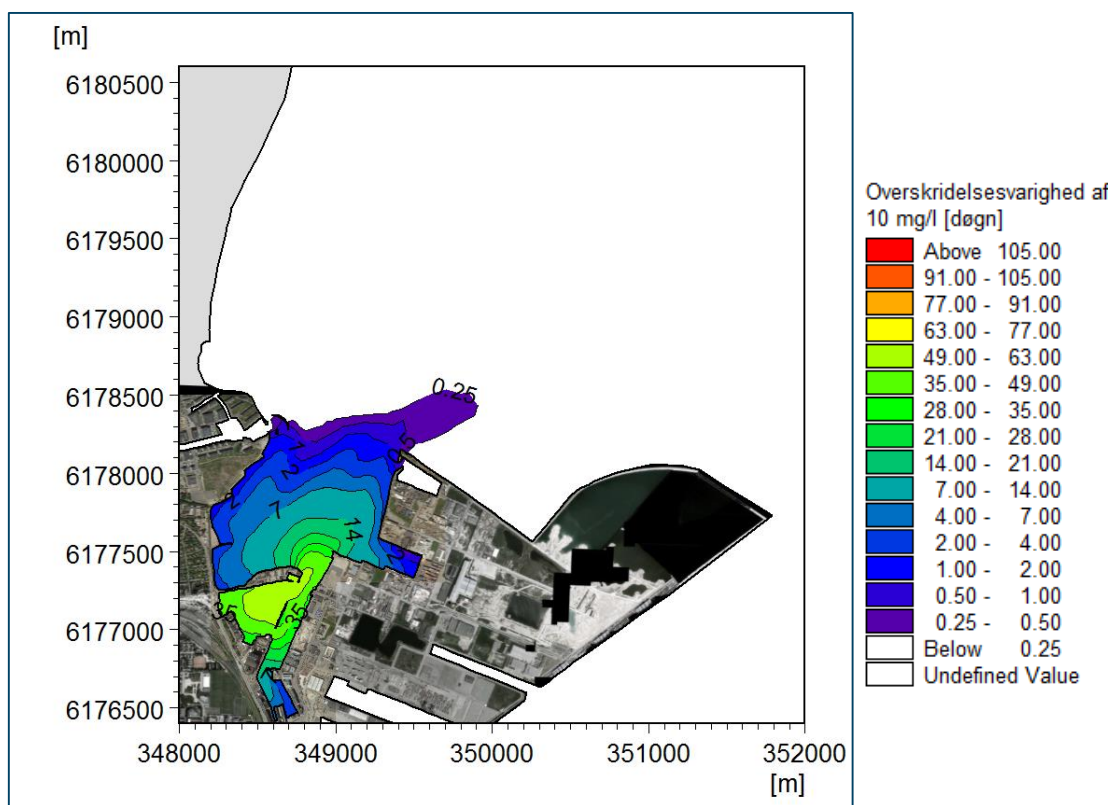
Figur 3-93 **Sænketunnel:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybde-midlet) er større end 2 mg/l.



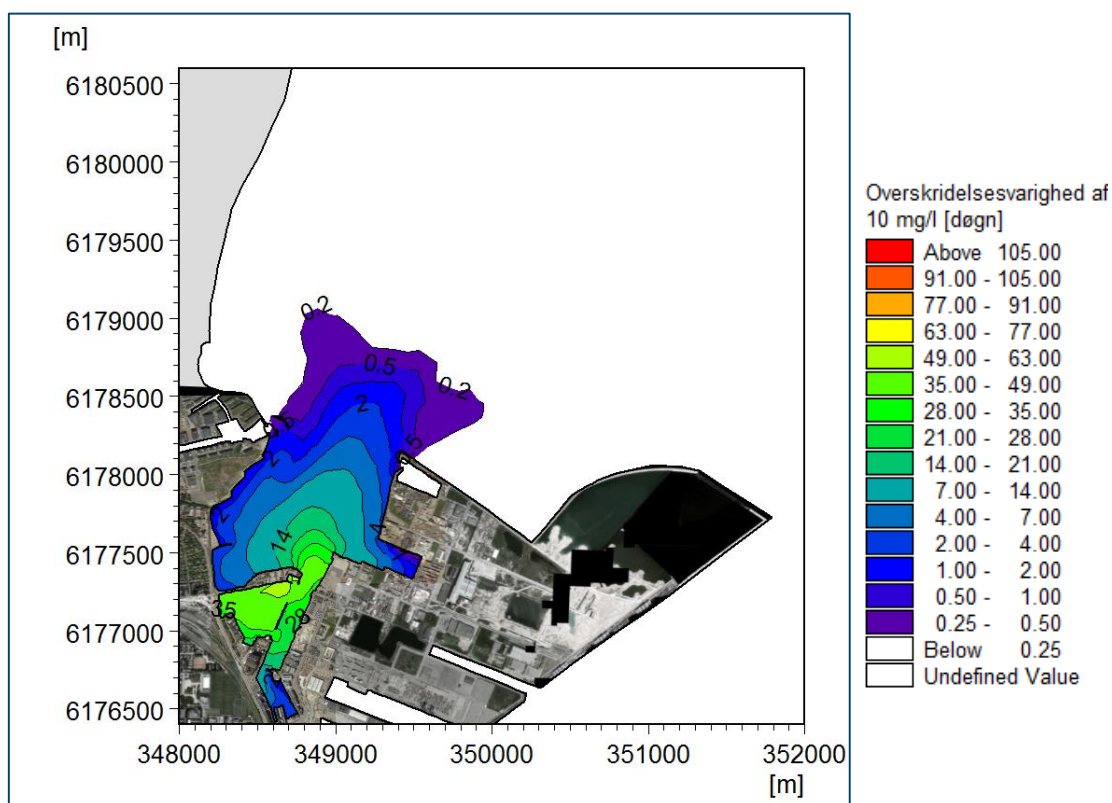
Figur 3-94 **Sænkettunnel:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i **overfladelaget** er større end 2 mg/l.



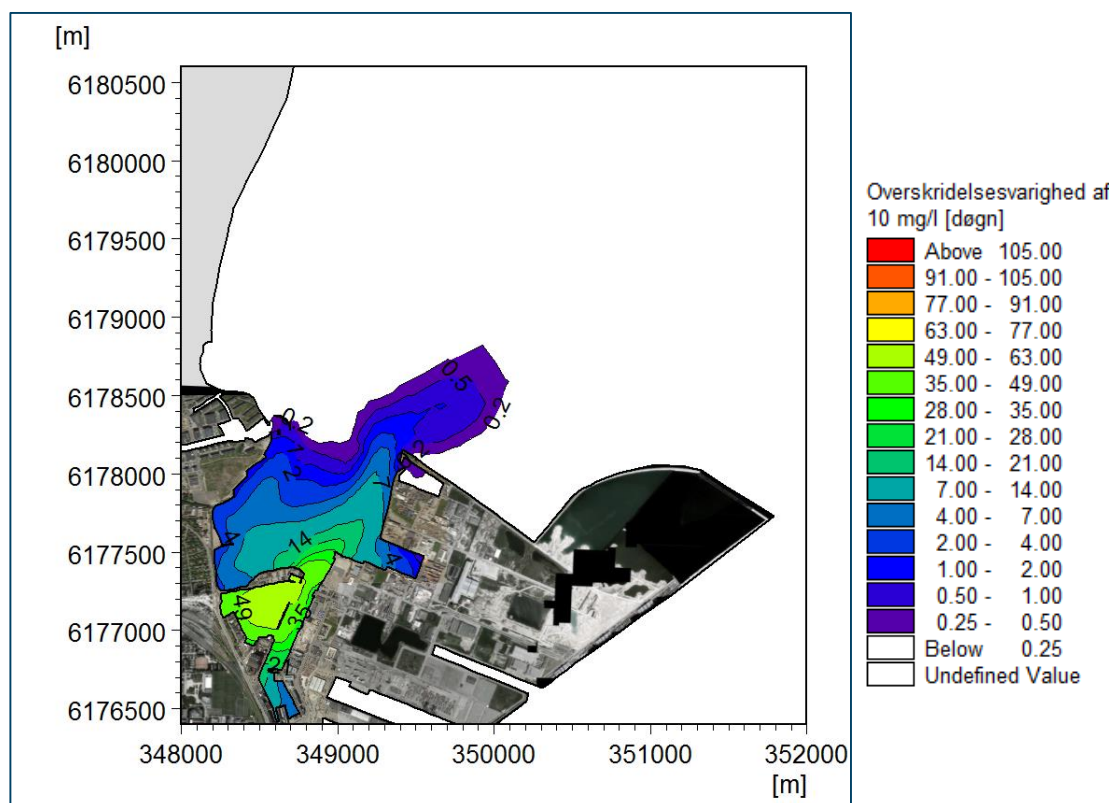
Figur 3-95 **Sænkettunnel:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved **havbunden** er større end 2 mg/l.



Figur 3-96 **Sænketunnel:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (**dybde-midlet**) er større end 10 mg/l.



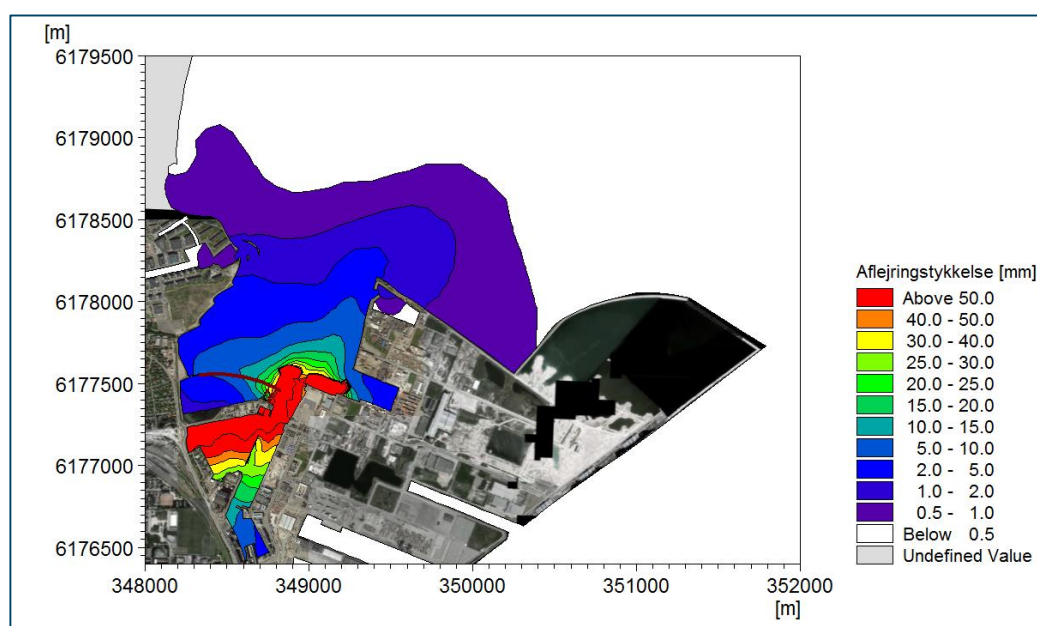
Figur 3-97 **Sænketunnel:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i **overfladelaget** er større end 10 mg/l.



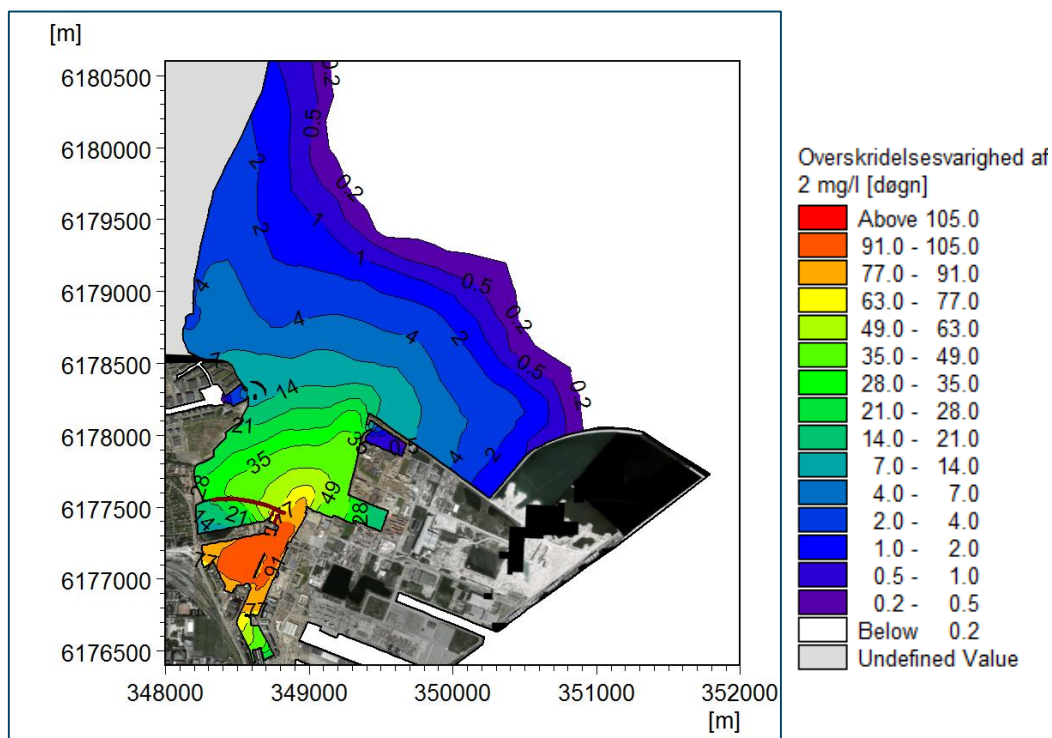
Figur 3-98 **Sænkettunnel:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved havbunden er større end 10 mg/l.

3.6.2.2 Erstatningshavn Svaneknoppen Lille

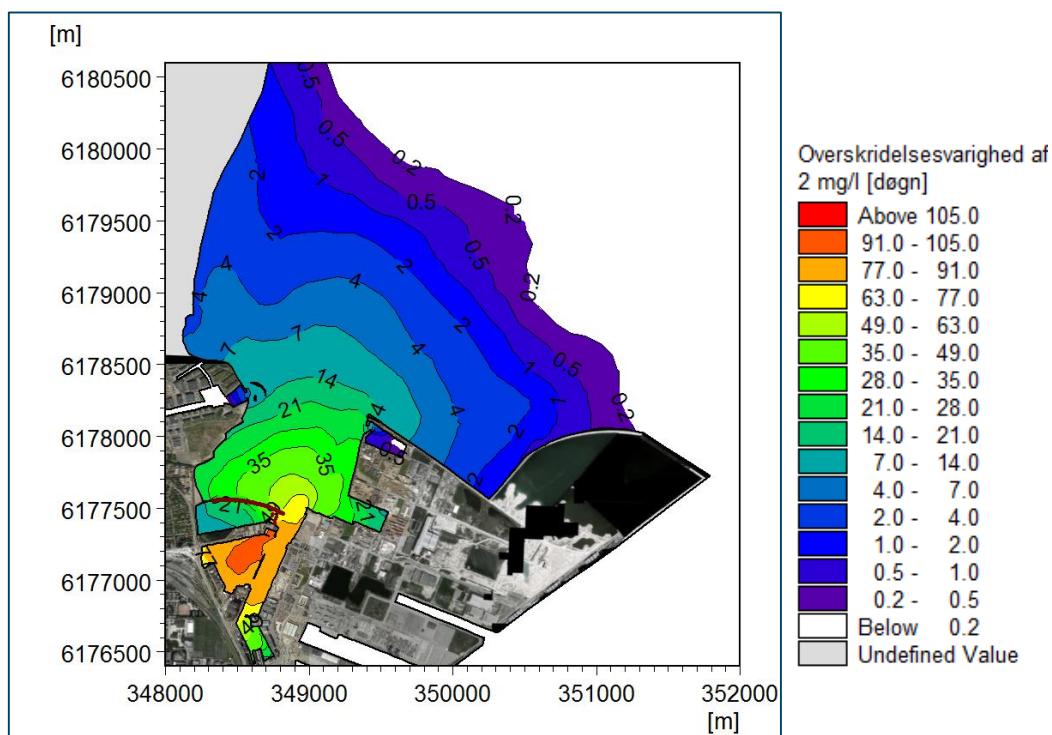
Hvis erstatningshavnen Svaneknoppen Lille anlægges, ses der ikke ændringer i den forventede aflejringstykkel fra sænkettunnelarbejdet i forhold til scenariet, hvor der ikke anlægges en erstatningshavn i Svanemøllebugten.



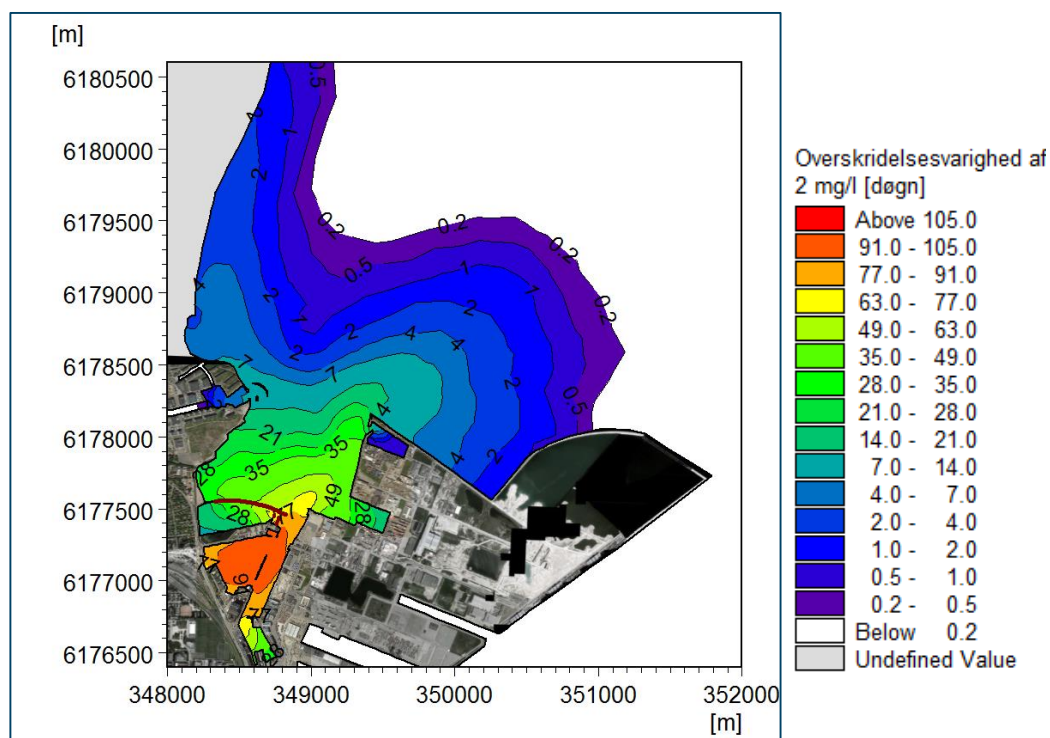
Figur 3-99 **Sænkettunnel og Svaneknoppen Lille:** Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m³.



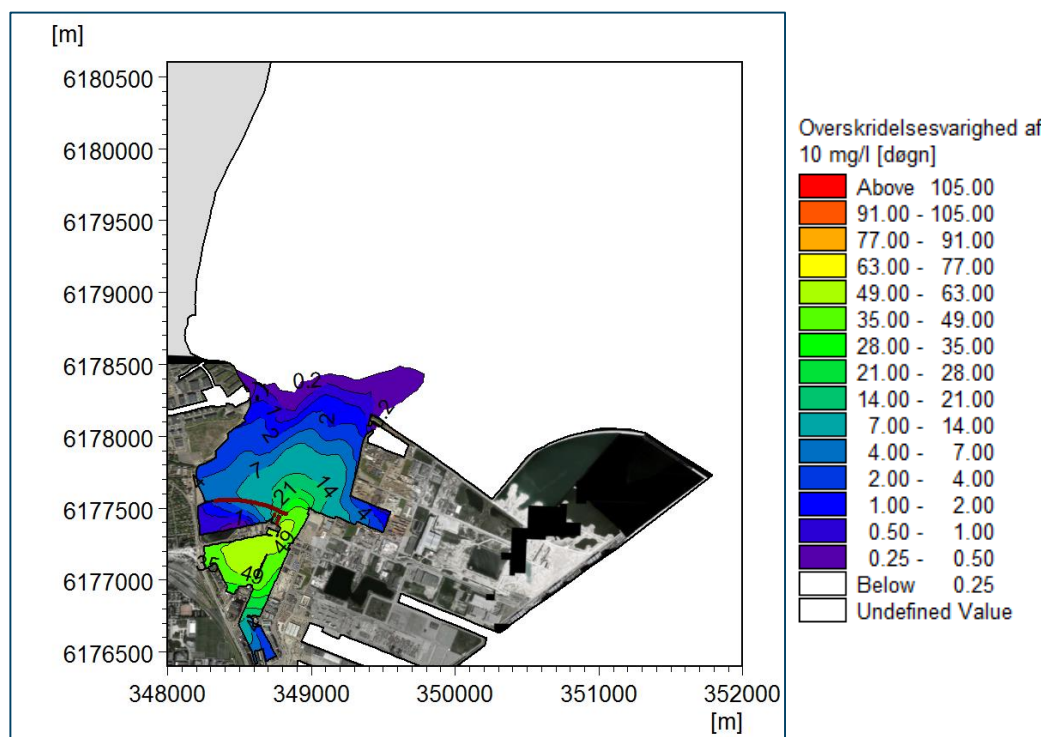
Figur 3-100 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l.



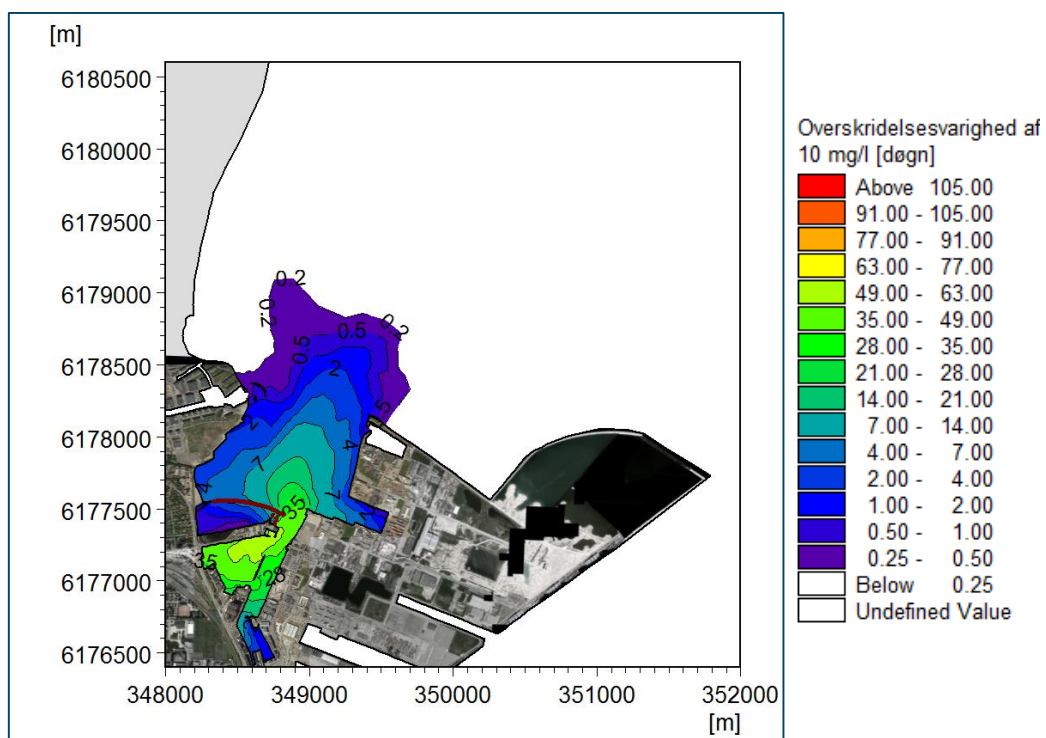
Figur 3-101 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i overfladelaget er større end 2 mg/l.



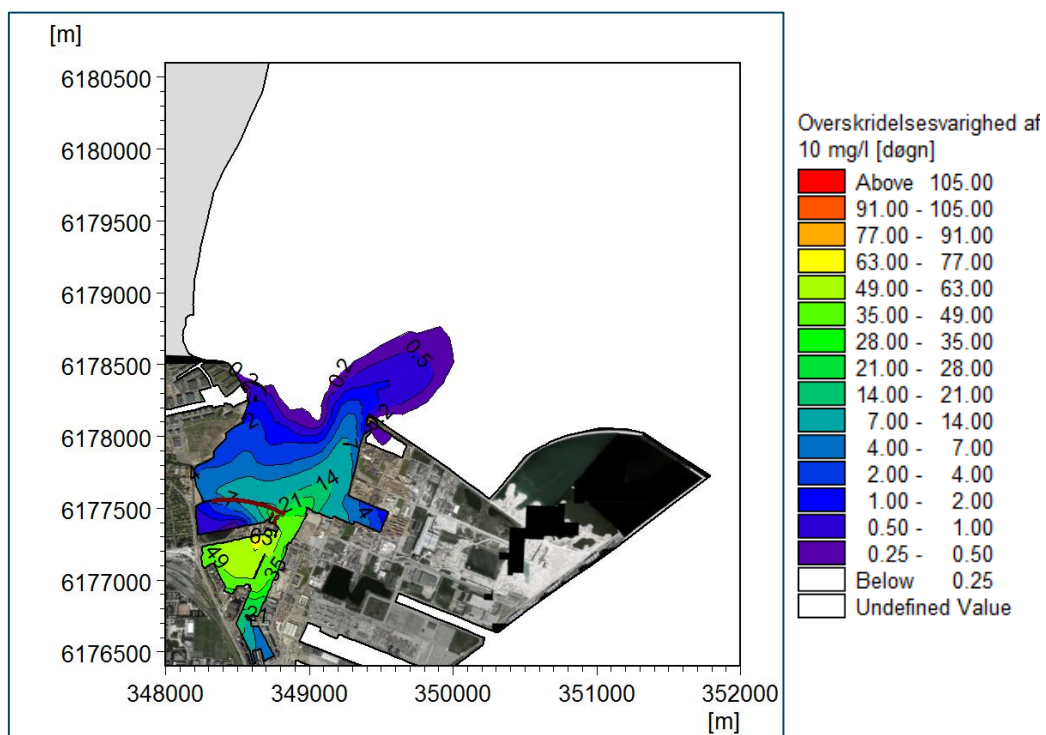
Figur 3-102 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved **havbunden** er større end **2 mg/l**.



Figur 3-103 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (**dybdemidlet**) er større end **10 mg/l**.



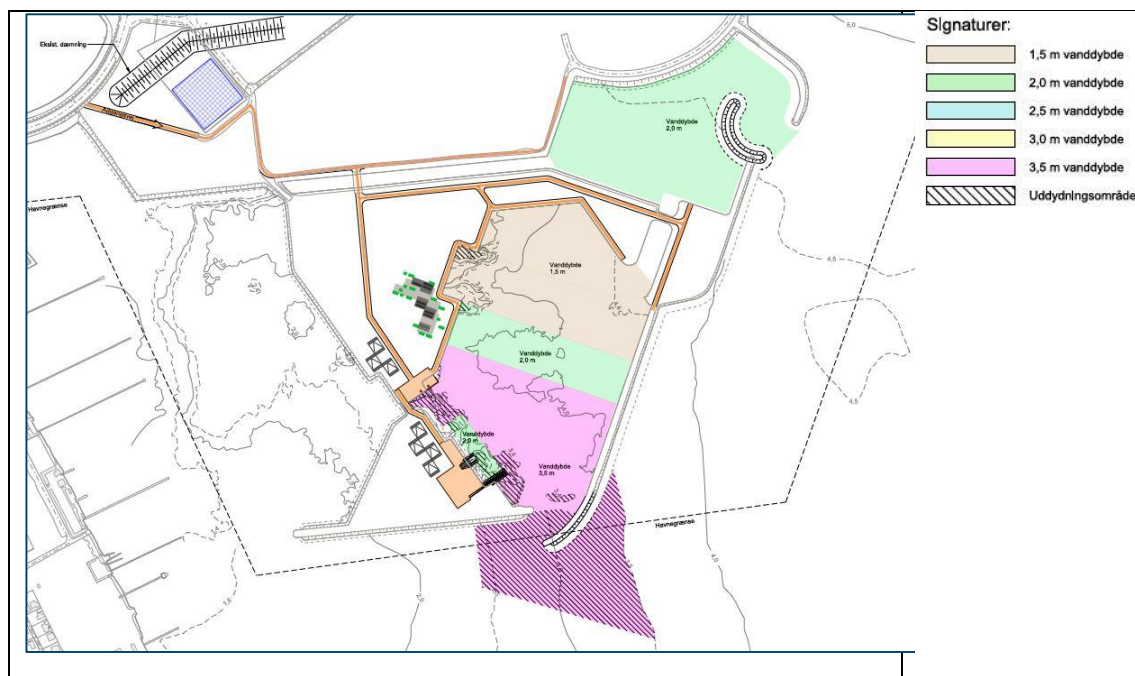
Figur 3-104 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration i **overfladelaget** er større end 10 mg/l.



Figur 3-105 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed under gravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration ved **havbunden** er større end 10 mg/l.

3.6.3 Sedimentspredning ved etablering af erstatningshavn Lille ved Prøvestenen

Ved brug af området syd for Prøvestenen til etablering af erstatningshavne skal der uddybes før anlæggene kan tages i brug som erstatningshavn. Figur 3-106 viser områderne, hvor uddybning er nødvendig (skraverede områder) for at etablere erstatningshavn Lille ved Prøvestenen.



Figur 3-106 Graveplan for erstatningshavn Lille ved Prøvestenen.

Der er begrænset information til rådighed om gravematerialets sammensætning. I de seks boreprofiler fra de to bassiner (boringer udført i 2004) er de øverste 1-2 meter bedømt som værende fyldmateriale bestående af sandet grus, leret sand og siltet/sandet ler. På denne baggrund er der skønnet en sammensætning af finkornet materiale (ler og silt), som angivet i Tabel 3-12.

Tabel 3-12 Tørdensitet og sammensætning.

Sediment	Tørdensitet [t/m ³]	Lerfraktion [% < 2µm]	Silt og ler fraktion [% < 63µm]
Fyld	1,8	20	40

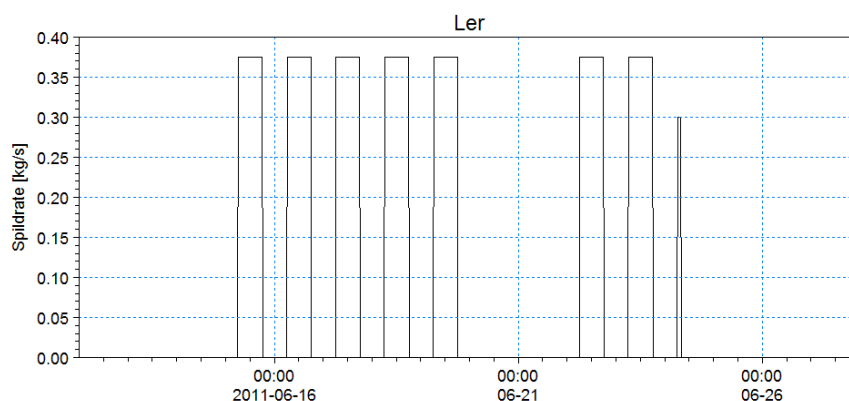
Det overordnede spildbudget for uddybningsgravearbejdet til etablering af erstatningshavn Lille ved Prøvestenen er angivet i Tabel 3-13, mens gravespildraterne for de finkornede fraktioner (ler og silt) i løbet af graveperioden er vist i Figur 3-107, Figur 3-108 og Figur 3-109. Gravespillet modelleres ved hjælp af to fraktioner, en for ler og en for silt. De to fraktioner er karakteriseret ved deres faldhastigheder, som er skønnet til:

- $W_{s,ler} = 0,05 \text{ mm/s}$
- $W_{s,silt} = 0,5 \text{ mm/s}$

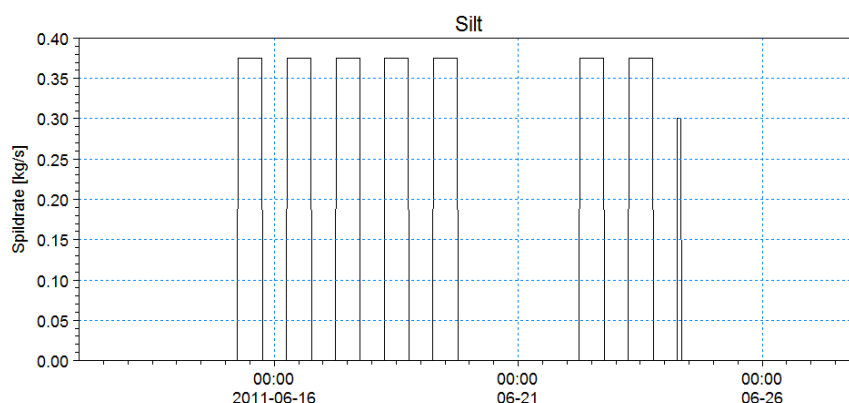
Tabel 3-13 Spildbudget for uddybningsarbejdet.

Område	Tørrumvægt [t/m ³]	Mængde [m ³]	Masse [tons]	Sedimentspild [tons]	Lerspild [tons]	Siltspild [tons]
Uddybning til 1,5 m	1,8	100	180	5,4	1,08	1,08
Uddybning til 2 m	1,8	100	180	5,4	1,08	1,08
Uddybning til 3,5 m	1,8	10.500	18.900	567	113,4	113,4
Total		10.700	19.260	577,8	115,56	115,56

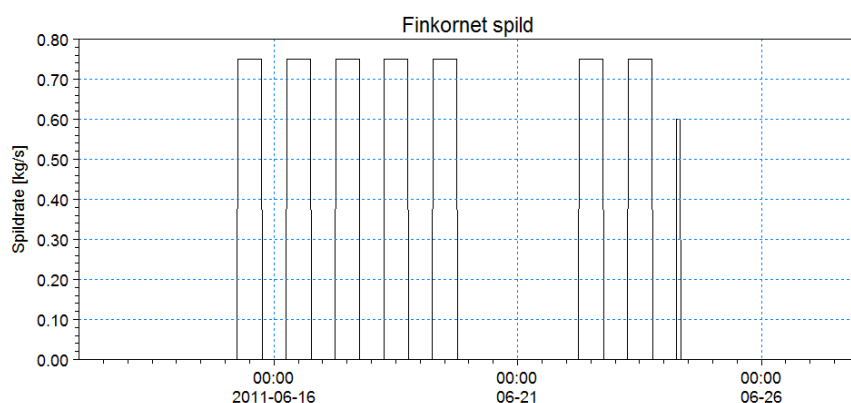
Gravearbejdet udføres med skovl (backhoe). Spildprocenten vil afhænge af skovlens størrelse. Jo større skovl, des mindre spild. Spildprocenten for gravearbejdet er skønnet til 3% og fastlagt med udgangspunkt i CIRIA C547, /8/. Gravespildet fordeles i simuleringerne jævnt over hele vandsøjlen. Desuden flyttes spildpunktet løbende for at afspejle hvor i området der graves. Gravearbejdet forudsættes udført med en produktionsrate på 1500 m³ pr. dag. Der graves 12 timer om dagen, fem dage om ugen. Uddybningsarbejdet udføres i løbet af 8 gravedage. Spildraterne ses at være forholdsvis beskedne.



Figur 3-107 Gravespild i form af lerpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.

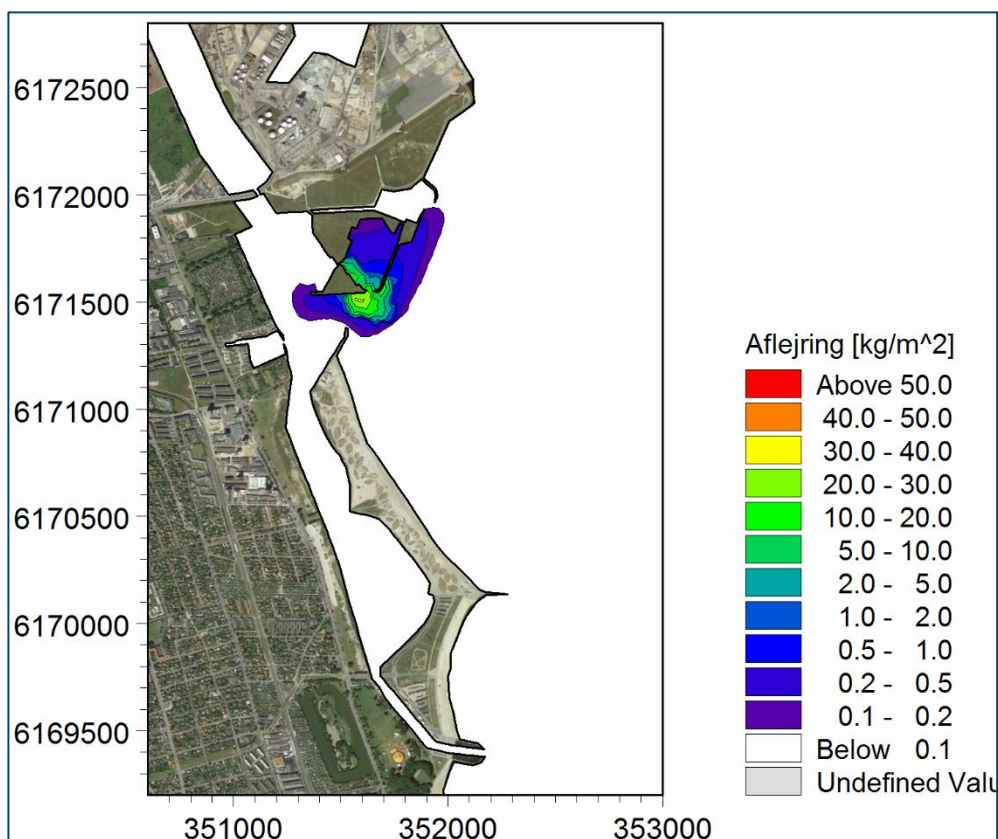


Figur 3-108 Gravespild i form af siltpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.

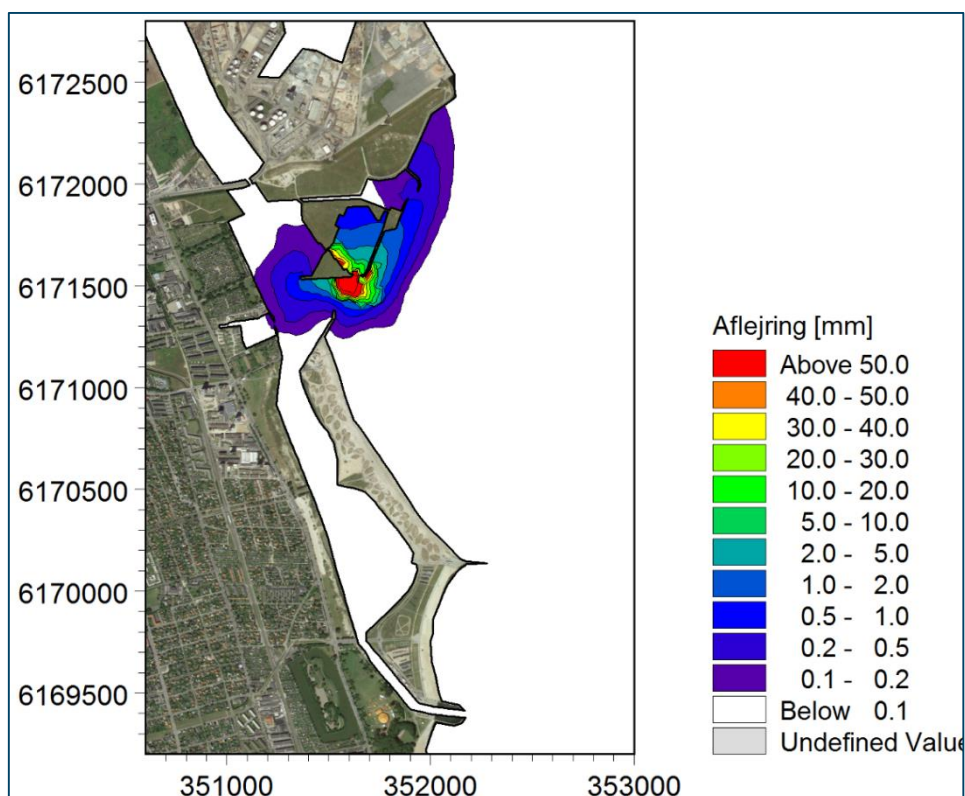


Figur 3-109 Sum af **finkornet gravespild** frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af graveperioden.

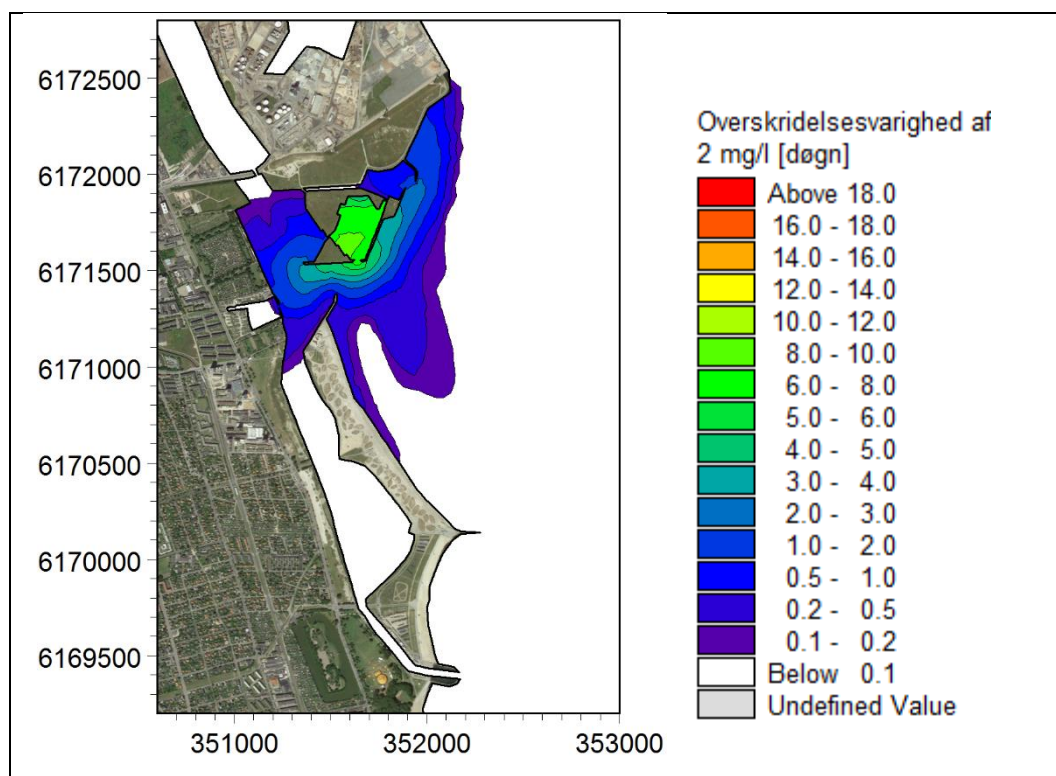
I forbindelse med uddybningen vil der ske en spredning i nærområdet. Der er tale om en begrænset graveperiode på cirka 10 dage (8 gravedage) og som det ses af nedenstående er der primært tale om større sedimentkoncentrationer og aflejring i umiddelbar nærhed af graveområdet. Aflejningsmængde er angivet både som tykkelser i mm og som masse per areal (kg/m^2). Sedimentfanens forventede udbredelse er vurderet ved at se på hvor lang tid sedimentkoncentrationerne af finkornet sediment i vandsøjlen (dybdemidlet) overskrider henholdsvis 2 og 10 mg/l.



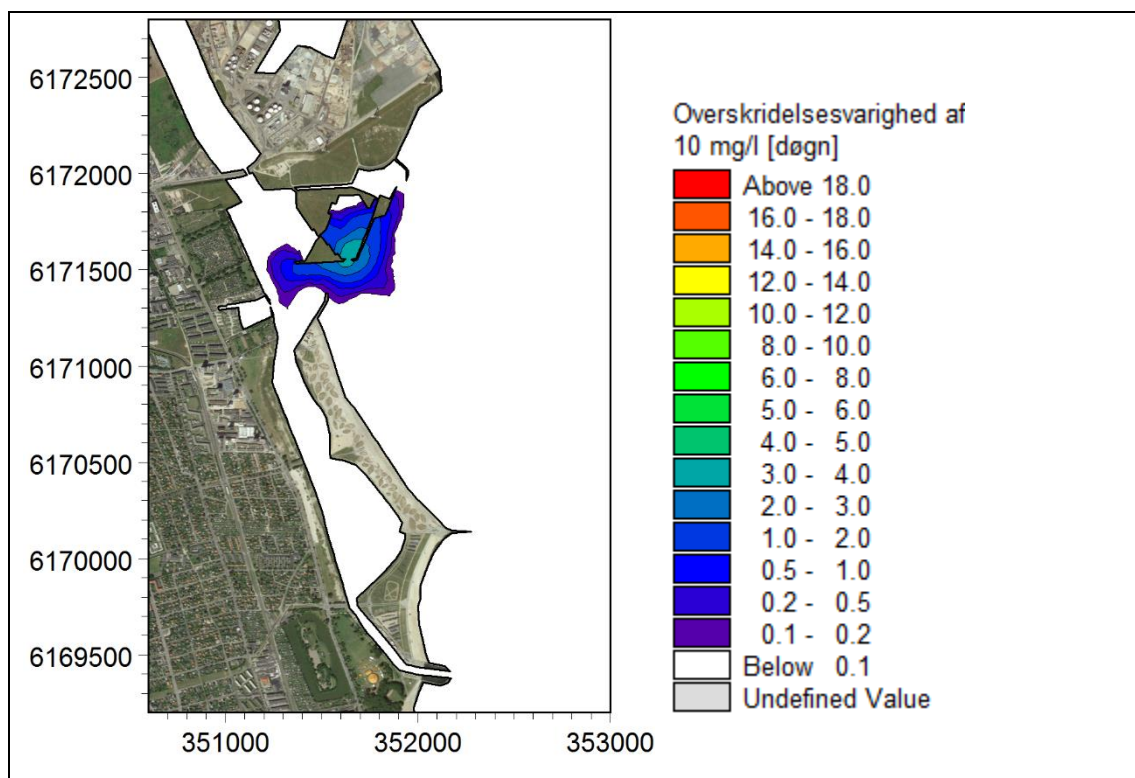
Figur 3-110 **Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen:** Estimeret sedimentaflejring i kg/m^2 fra gravespildet.



Figur 3-111 **Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen:** Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m³.



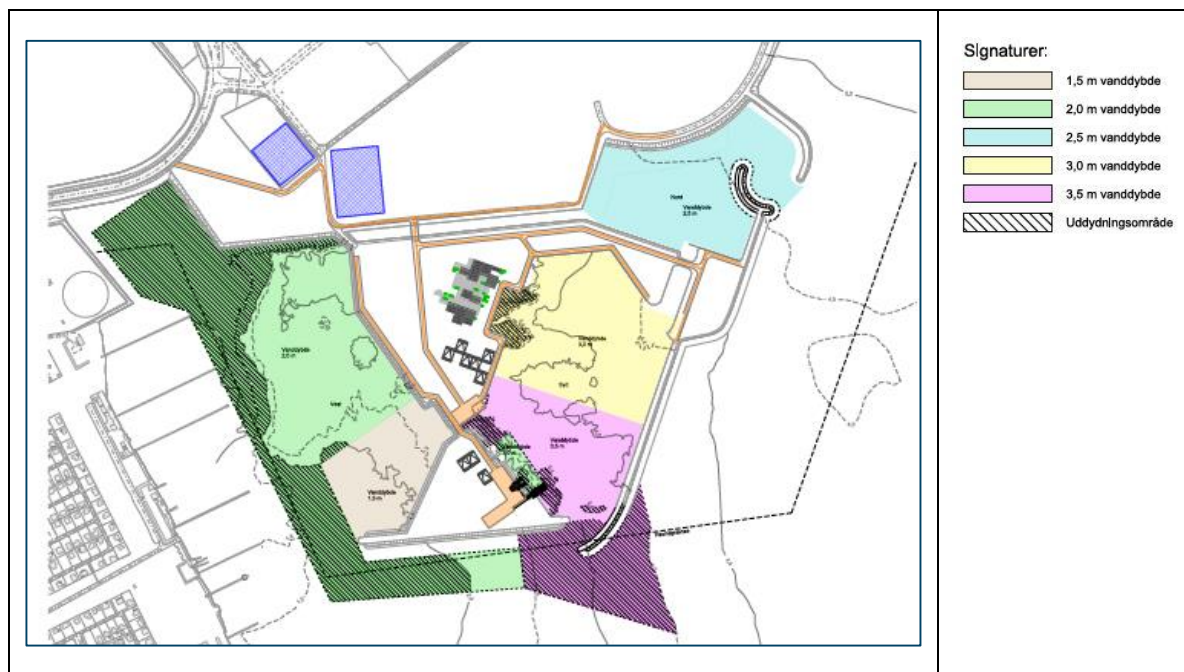
Figur 3-112 **Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen:** Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l.



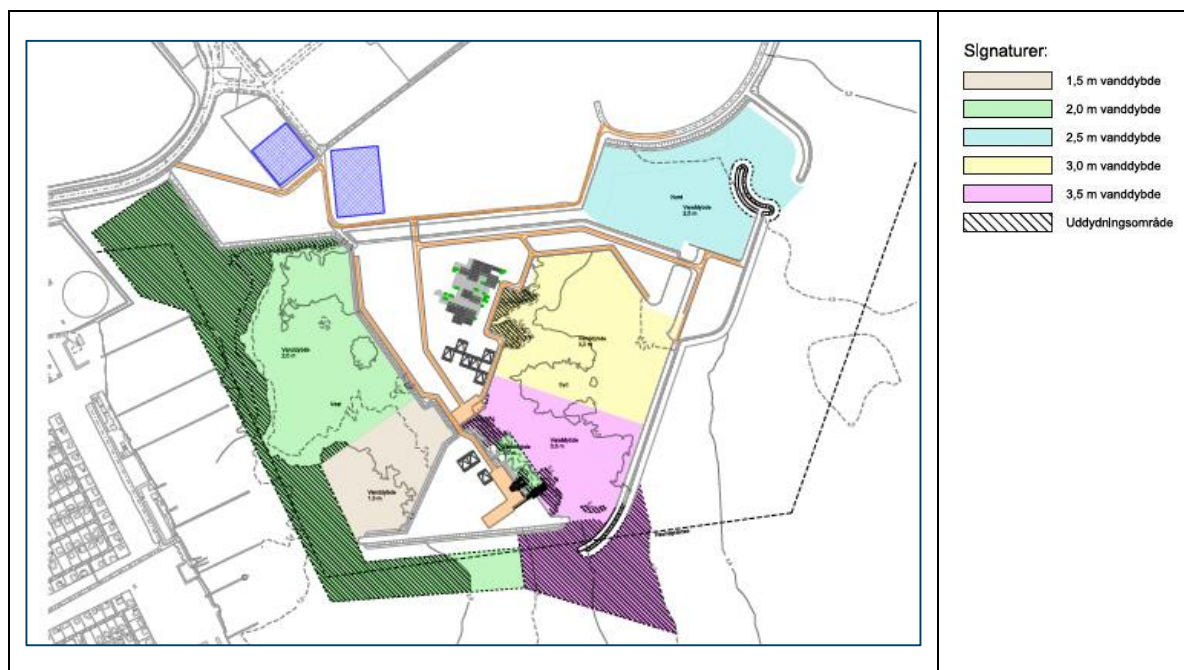
Figur 3-113 **Erstatningshavn Lille ved Prøvestenen:** Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end **10 mg/l**.

3.6.4 Sedimentspredning ved etablering af erstatningshavn Stor ved Prøvestenen

Ved brug af området syd for Prøvestenen til etablering af erstatningshavn Stor skal der yderligere uddybes før anlæggene kan tages i brug.



Figur 3-114 viser områderne, hvor uddybning er nødvendig (skraverede områder) for at etablere erstatningshavn Stor ved Prøvestenen.



Figur 3-114 Graveplan for erstatningshavn Stor ved Prøvestenen.

Der er den samme begrænset information til rådighed om gravematerialets sammensætning som ved etablering af erstatningshavn Lille og i den vestlige del af graveområdet er der ingen information. I de seks boreprofiler fra de to eksisterende bassiner (boringer udført i 2004) er de øverste 1-2 meter bedømt som værende fyldmateriale bestående af sandet grus, leret sand og

siltet/sandet ler. På denne baggrund er der skønnet en sammensætning af finkornet materiale (ler og silt), som angivet i Tabel 3-14.

Tabel 3-14 Tørdensitet og sammensætning.

Sediment	Tørdensitet [t/m ³]	Lerfraktion [% < 2µm]	Silt og ler fraktion [% < 63µm]
Fyld	1,8	20	40

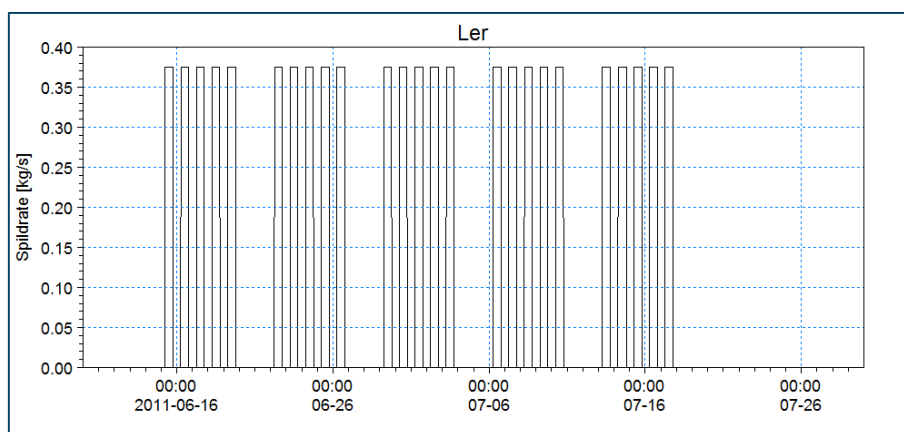
Det overordnede spildbudget for uddybningsgravearbejdet til etablering af erstatningshavn Stor ved Prøvestenen er angivet i Tabel 3-15, mens gravespildraterne for de finkornede fraktioner (ler og silt) i løbet af graveperioden er vist i Figur 3-115, Figur 3-116 og Figur 3-117. Gravespildet modelleres ved hjælp af to fraktioner, en for ler og en for silt. De to fraktioner er karakteriseret ved deres faldhastigheder, som er skønnet til:

- $W_{s,ler} = 0,05 \text{ mm/s}$
- $W_{s,silt} = 0,5 \text{ mm/s}$

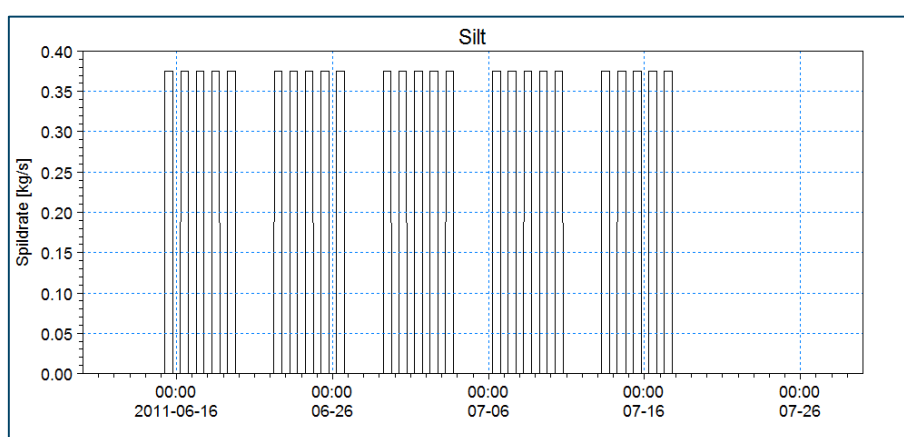
Tabel 3-15 Spildbudget

Område	Tørrumvægt [t/m ³]	Mængde [m ³]	Masse [tons]	Sedimentspild [tons]	Lerspild [tons]	Siltspild [tons]
Uddybning til 1,5 m	1,8	0	0	0	0	0
Uddybning til 2 m	1,8	26.100	46.980	1.409,4	281,9	281,9
Uddybning til 2,5 m	1,8	0	0	0	0	0
Uddybning til 3 m	1,8	1.400	2.520	75,6	15,1	15,1
Uddybning til 3,5 m	1,8	10.500	18.900	567	113,4	113,4
Total		38.000	68.400	2.052	410,4	410,4

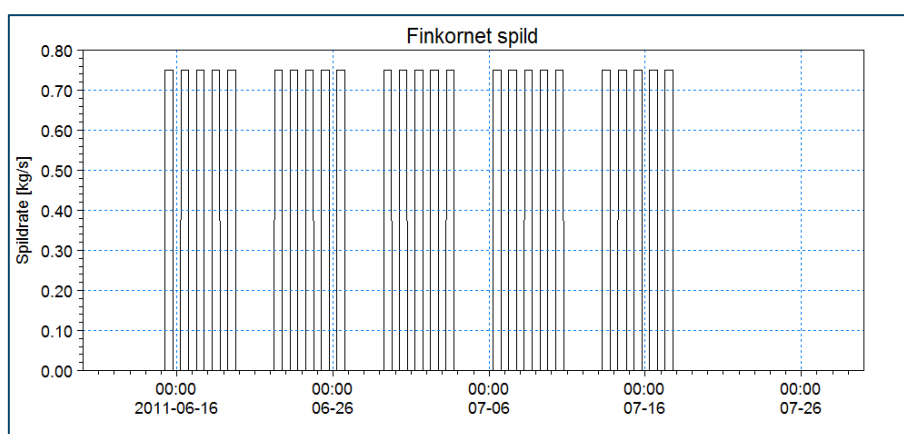
Gravearbejdet udføres med skovl (backhoe) og spildrater er beregnet på samme måde som ved erstatningshavn Lille, svarende til 3%. Gravearbejdet forudsættes udført med en produktionsrate på 1500 m³ pr. dag. Der graves 12 timer om dagen, fem dage om ugen. Dog med den undtagelse at der graves 13 timer de sidste tre døgn i graveperioden. Uddybningsarbejdet udføres i løbet af 25 gravedage. Spildraterne ses at være forholdsvis beskedne.



Figur 3-115 Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Gravespild af lerpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.



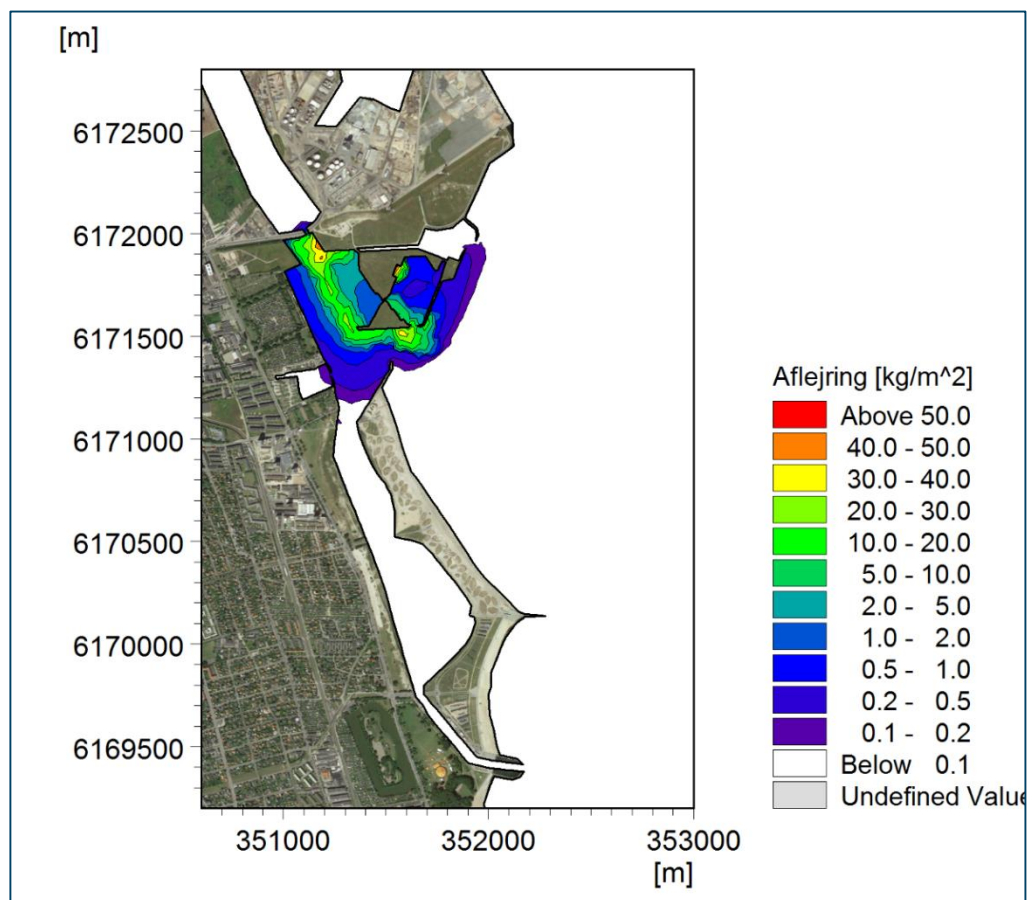
Figur 3-116 Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Gravespild af siltpartikler frigjort til vandsøjlen i løbet af graveperioden.



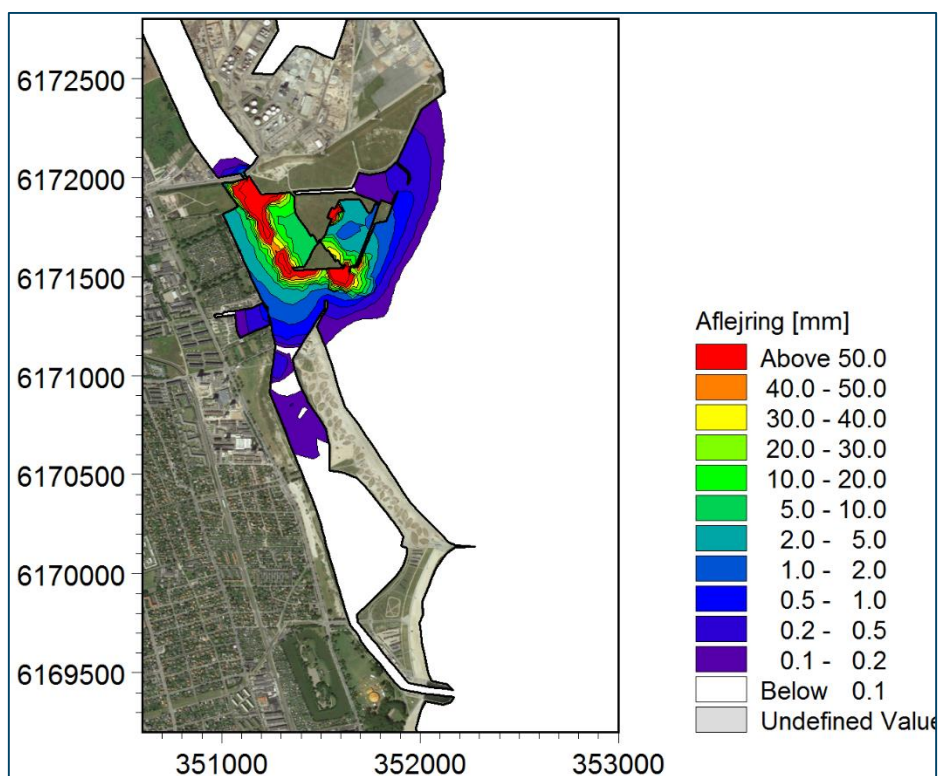
Figur 3-117 Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen: Sum af finkornet gravespild frigjort til vandsøjlen (ler plus silt) i løbet af graveperioden.

I forbindelse med uddybningen vil der ske en spredning i nærområdet. Der er tale om en begrænset graveperiode på cirka 35 dage (25 gravedage) og som det ses af nedenstående er der primært tale om større sedimentkoncentrationer og aflejring i umiddelbar nærhed af graveområdet. Aflejringsmængde er angivet både som tykkelser i mm og som masse per areal (kg/m^2). Sedimentfanens forventede udbredelse er vurderet ved at se på hvor lang tid sedimentkoncentrationerne af finkornet sediment i vandsøjlen (dybdemidlet) overskrider henholdsvis 2 og 10 mg/l.

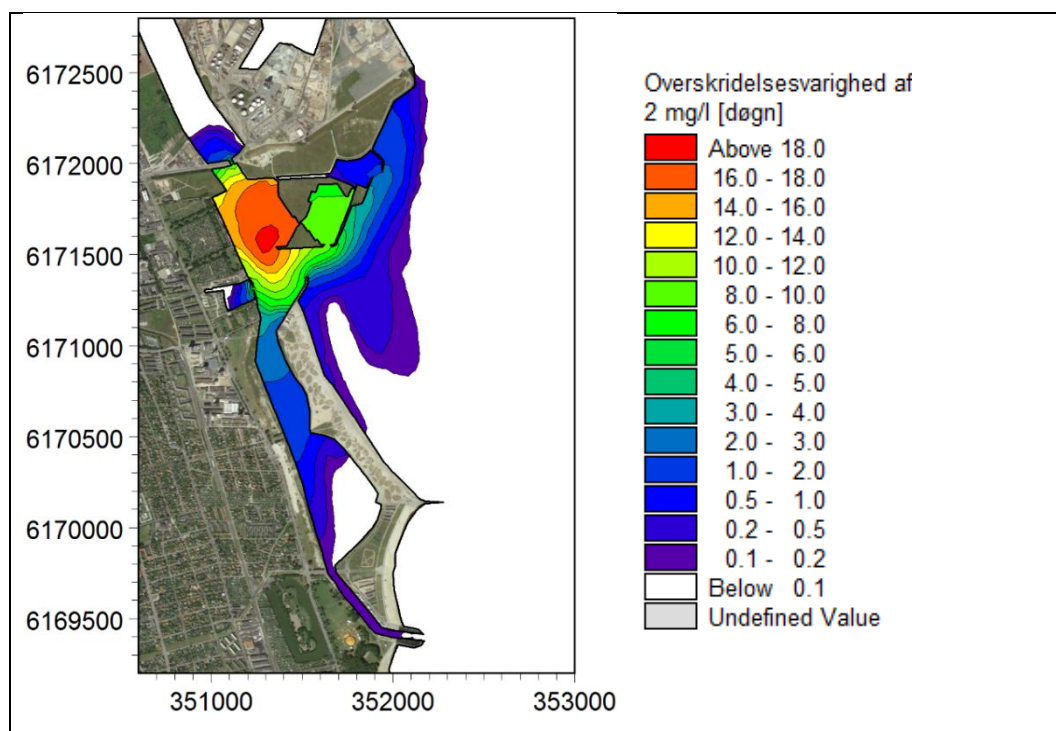
Der vil være kortvarige perioder af timer til dages varighed, hvor sedimentkoncentrationen vil være 2 mg/l ned langs Amager Strandpark.



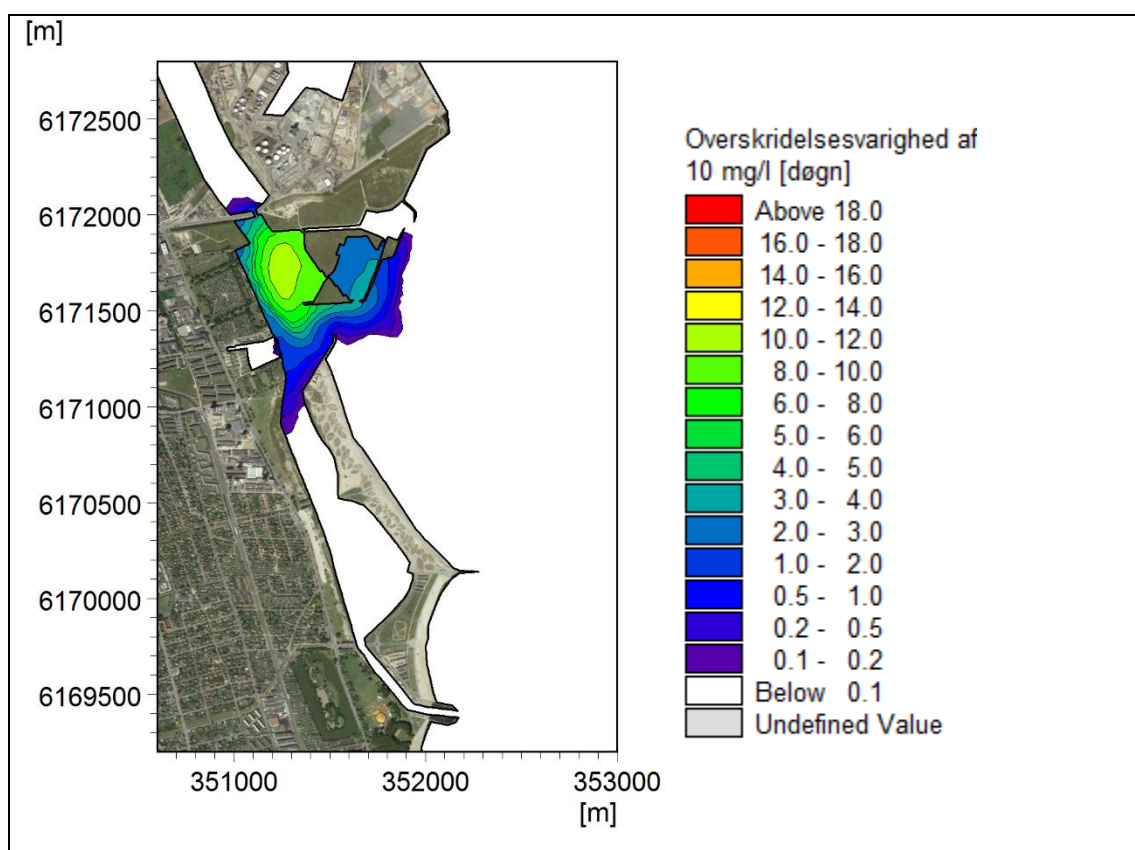
Figur 3-118 Erstatningshavn Stor ved Prøvesten: Estimeret sedimentaflejring i kg/m² fra gravespildet.



Figur 3-119 **Erstatningshavn Stor ved Prøvesten:** Estimerede aflejringstykkelser under antagelse af en tørstofdensitet på 250 kg/m³.



Figur 3-120 **Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen:** Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 2 mg/l.



Figur 3-121 **Erstatningshavn Stor ved Prøvestenen:** Varighed under uddybningsgravearbejdet, hvor suspenderet stofkoncentration (dybdemidlet) er større end 10 mg/l.

3.7 Lyssvækkelse

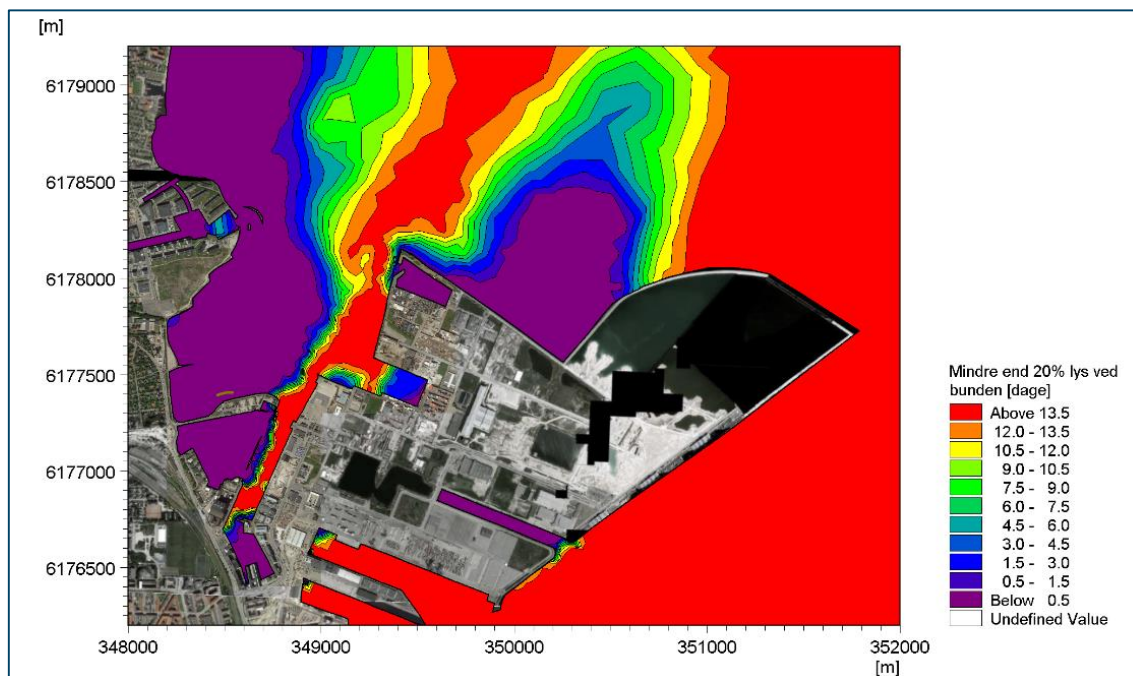
Lyssvækkelse bruges som en variabel til at vurdere, hvordan lysforholdene under en anlægsopgave ændres ved havbunden. Her er specielt Ålegræs meget afhængig af lystilførslen og ved reduceret lysmængde vil den i første omgang forsøge at forlænge bladene for at nå op i lyset, men denne proces medfører forøget energiforbrug til vækst og derved reduceret mulighed for at oplagre energi til vinteren. I dette afsnit er der lavet vurderinger på hvordan projektet vil have en indflydelse på mængden af suspenderet materiale i vandet, som vil lede til en reduktion af lys ved bunden. Store dele af modelområdet har grundet dybdeforhold allerede en lysmængde ved bunden, som er mindre end 20% af lyset ved overfladen.

3.7.1 Cut-and-Cover

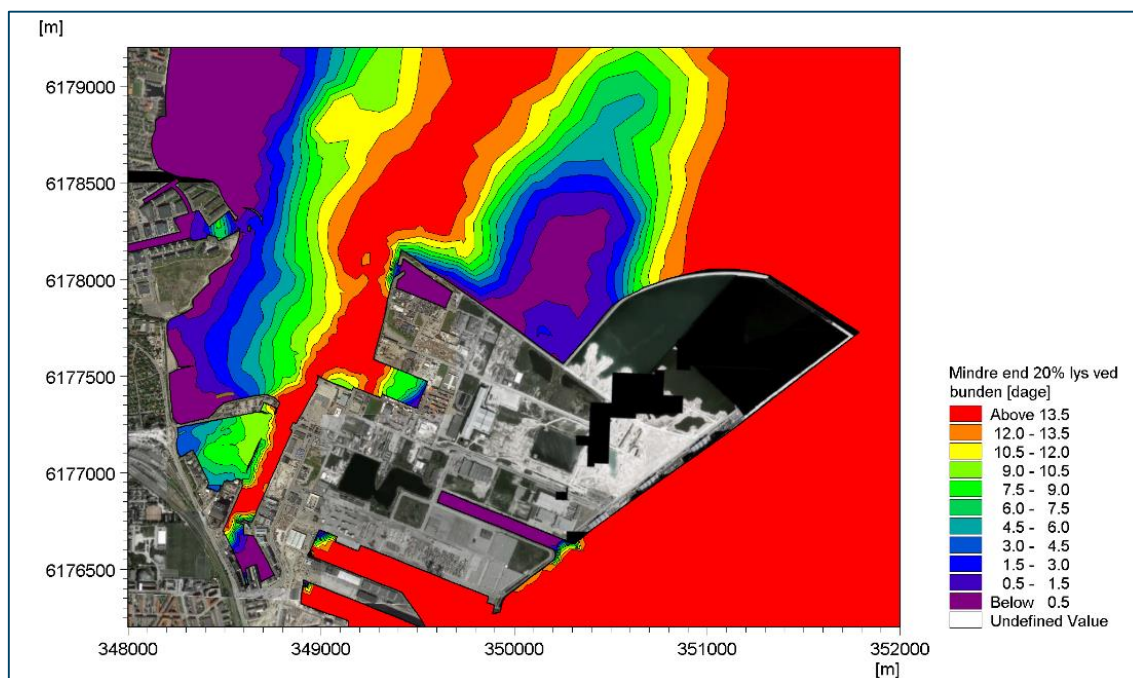
Cut-and-cover vurderingen dækker både gravearbejder ved en etape-opdeling og uden etape-opdeling. I begge tilfælde er der tale om afgravning af havnesediment, som vil spredes i området og have en dæmpende effekt på lysforholdene ved bunden. Graveperioden er på 10 døgn og analyseperioden 14 døgn. Sidstnævnte kan anvendes til at omsætte de fundne varigheder til lyssvækkelsesprocenter. Dybdeforholdene i Svanemøllebugten og Øresund er styrende for mængden af lys ved bunden og det er derfor vigtigt for forståelsen af de efterfølgende plots at vide, at der allerede uden gravearbejder er lysbegrænsninger i området. Nedenstående figur viser dette og bruges som sammenligningsgrundlag for de efterfølgende scenarier.

3.7.1.1 Lysdæmpning i Svanemøllebugten med erstatningshavn ved Prøvestenen

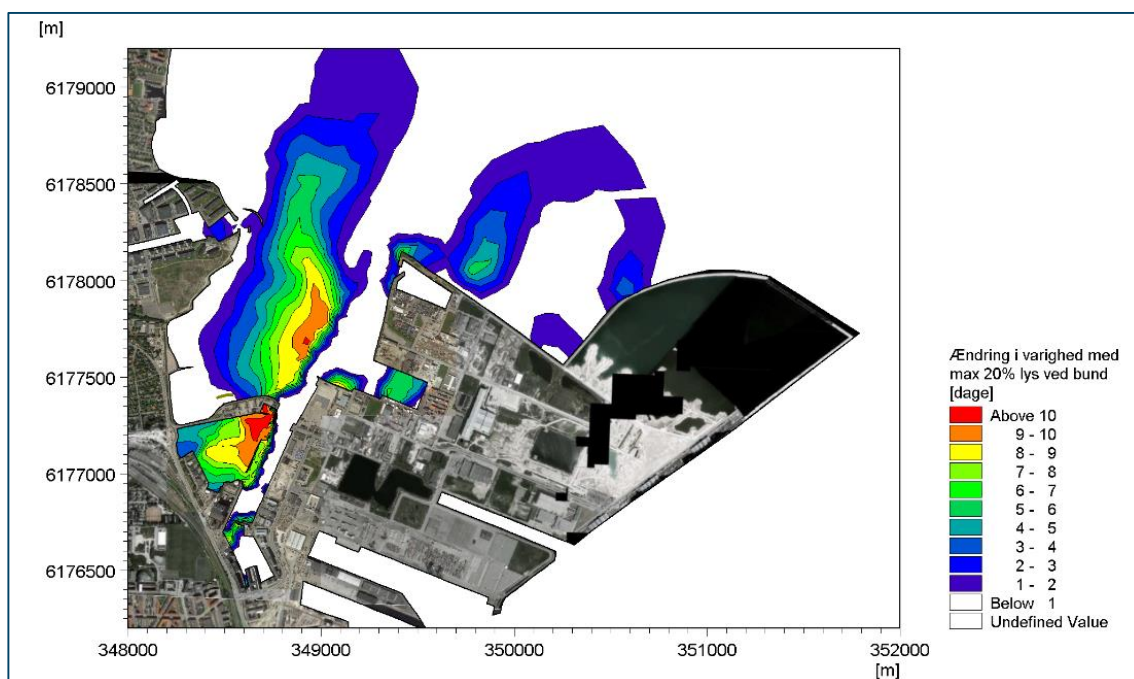
Resultaterne viser, at der ved gravearbejder vil ske en øget varighed af lysdæmpning i Svanemøllebugten og ved den nordlige del af Nordhavn, svarende til mellem 1 og 10 dage. I dette scenarium er der ikke etableret erstatningshavne i Svanemøllebugten, men ved Prøvestenen.



Figur 3-122 Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen for modelleringsperioden på 14 dage (**uden gravearbejde**).



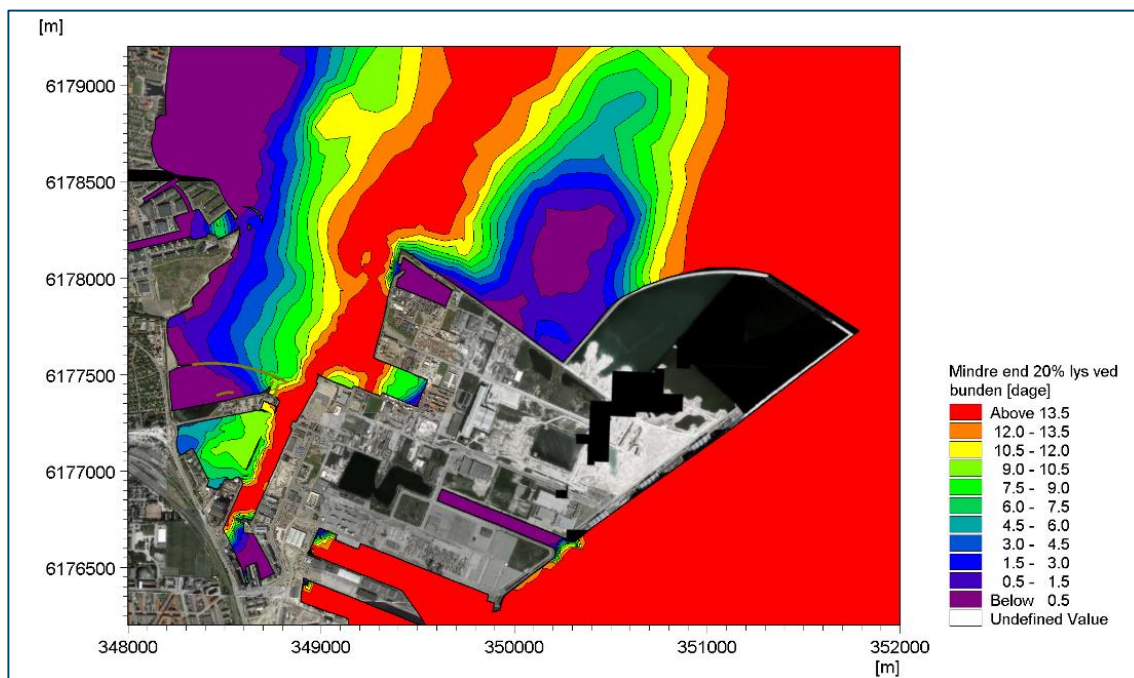
Figur 3-123 Lysdæmpning ved bunden og erstatningshavn uden for Svanemøllebugten: Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen **med gravearbejde**.



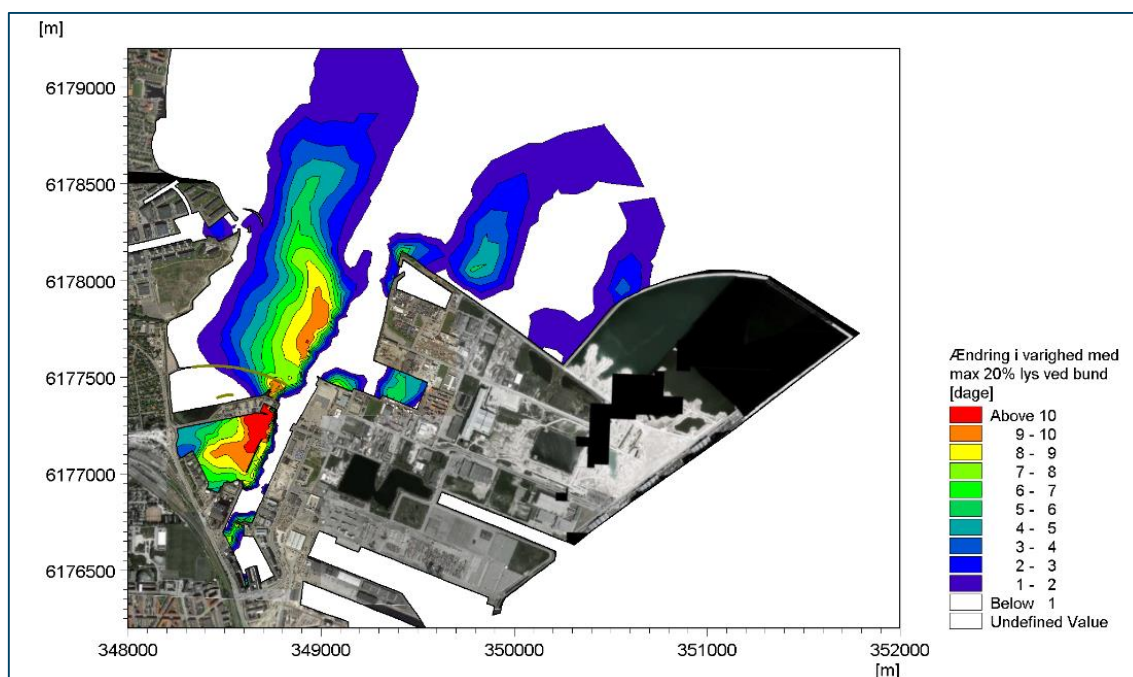
Figur 3-124 **Lyddæmpning ved bunden og havn ved Prøvestenen:** Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.

3.7.1.2 Erstatningshavn Svaneknoppen Lille

Ved anlæggelse af Svaneknoppen Lille ses ikke en væsentlig forskel til anlæggelse af Prøvestenen og påvirkningsområderne er stort set identiske, også med reducerede lysforhold mellem 1-10 dage i de samme områder som ved Prøvestenen.



Figur 3-125 **Lyddæmpning ved bunden og Svaneknoppen Lille:** Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde.



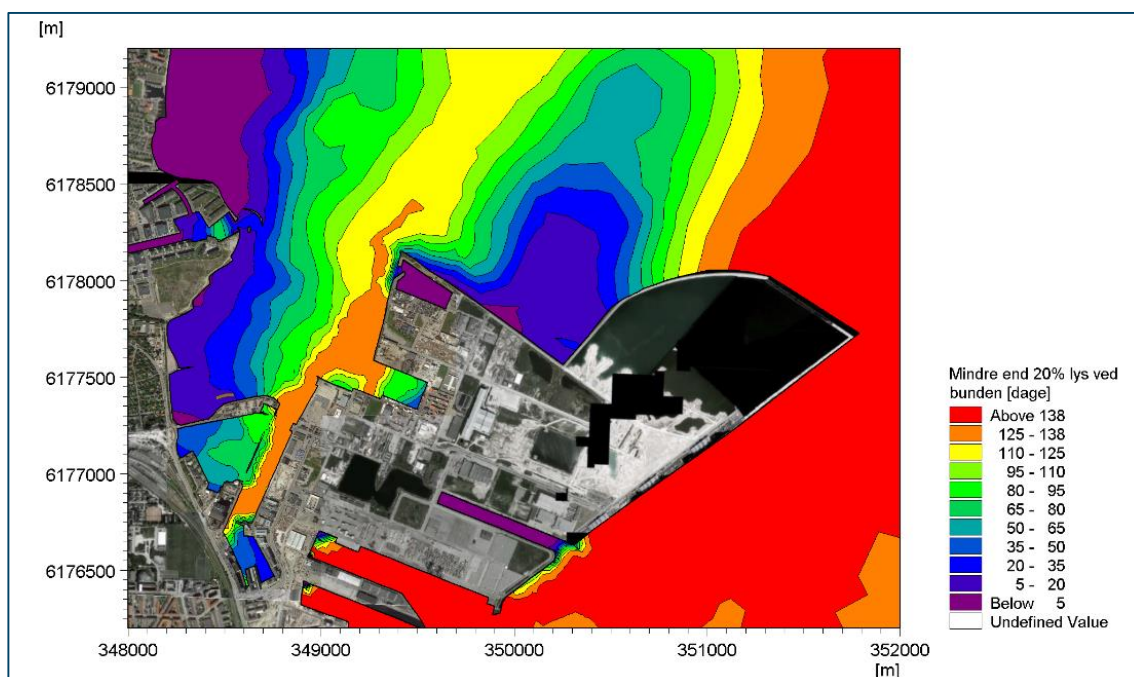
Figur 3-126 **Lysdæmpning ved bunden og Svaneknoppen Lille:** Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.

3.7.2 Sænketunnel

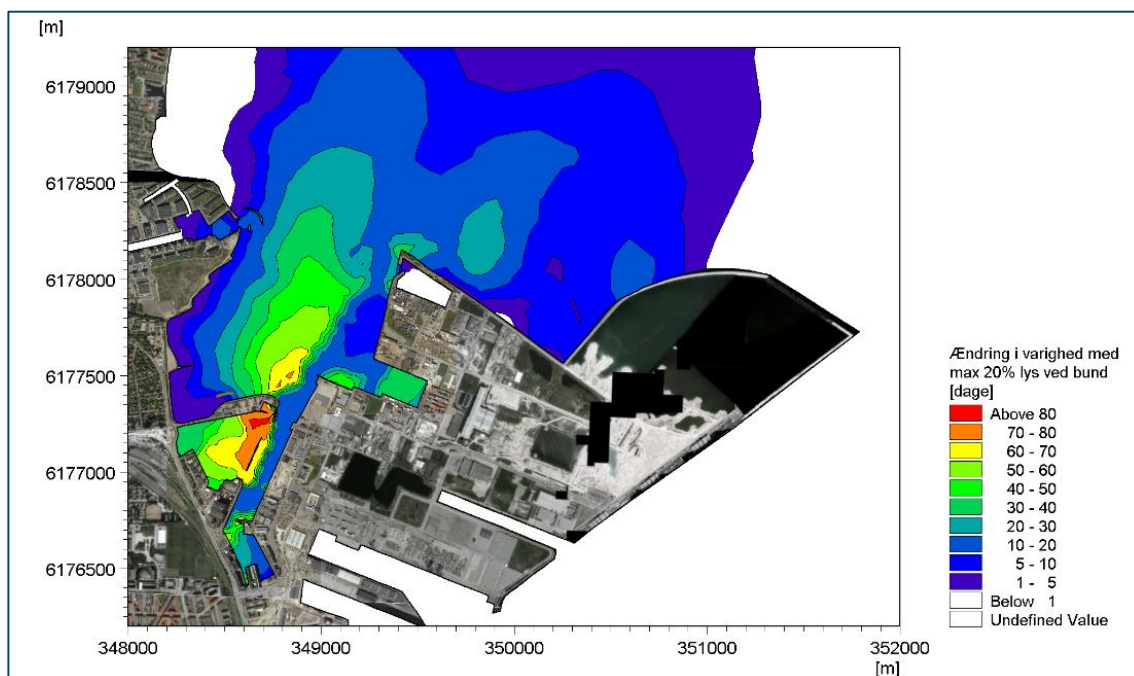
Ved sænkettunnelløsningen skal der graves i selve tunneltraceet, samt i området fra Færgehavn Nord, hvor tunnelelementerne forventes produceret og skal kunne bugseres hen til selve tunneltraceet. Gravemængder og periode er væsentligt større og længere end for cut-and-cover løsningen. Graveperioden er på 134 døgn og analyseperioden 139 døgn. Sidstnævnte kan anvendes til at omsætte de fundne varigheder til procent. I hvert scenarium er der brugt en referencetilstand, som fremgår af Figur 3-122. Det skal bemærkes, at der med en graveperiode på 4,5 måneder også sker lysdæmpningspåvirkninger fra regnvandsbetingede udledninger, men de samme regnvandsbetingede udledninger er også medtaget i beregningen uden gravearbejder.

3.7.2.1 Uden erstatningshavne i Svanemøllebugten

Med anlæggelse af sænketunnel med en erstatningshavn ved Prøvestenen vil gravearbejderne ved Svanemøllehavnen medføre negative ændringer i mængden af lys, der når bunden, svarende til 10-80 dage, hvor der vil være mindre end 20% lysdæmpning ved bunden.



Figur 3-127 **Sænketunnel og erstatningshavn uden for Svanemøllebugten:** Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde.

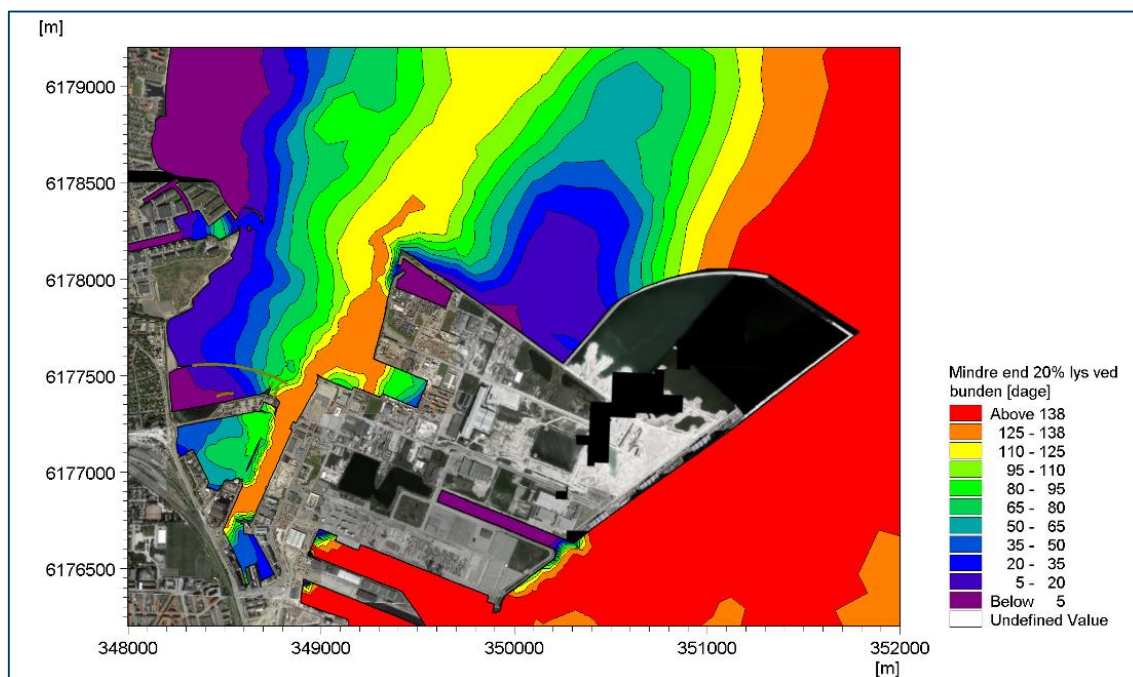


Figur 3-128 **Sænketunnel og erstatningshavn uden for Svanemøllebugten:** Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.

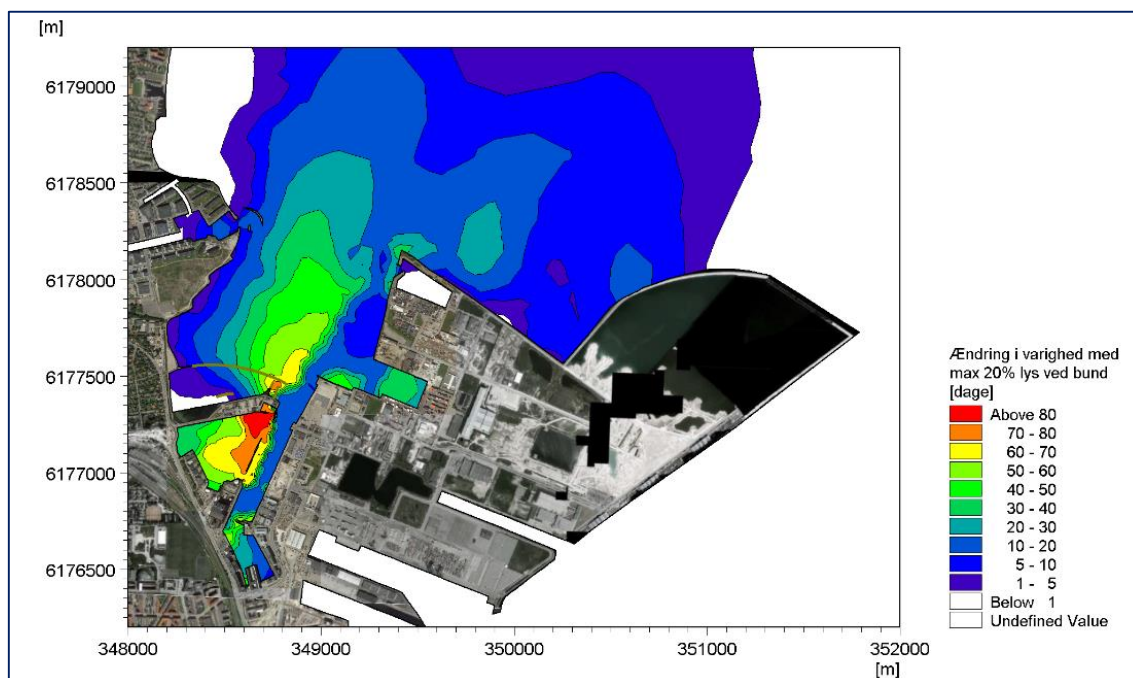
3.7.2.2 Erstatningshavn Svaneknoppen Lille

Etablering af Svaneknoppen Lille synes at være i stand til at reducere perioden med lysdæmpning under 20% i Svanemøllebugten marginalt, idet noget af det frigivne materiale fanges inde i

erstatningshavnen. Der er tale om en reduktion på 5-10 dage i forhold til en situation uden erstatningshavn i Svanemøllebugten.



Figur 3-129 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen med gravearbejde.

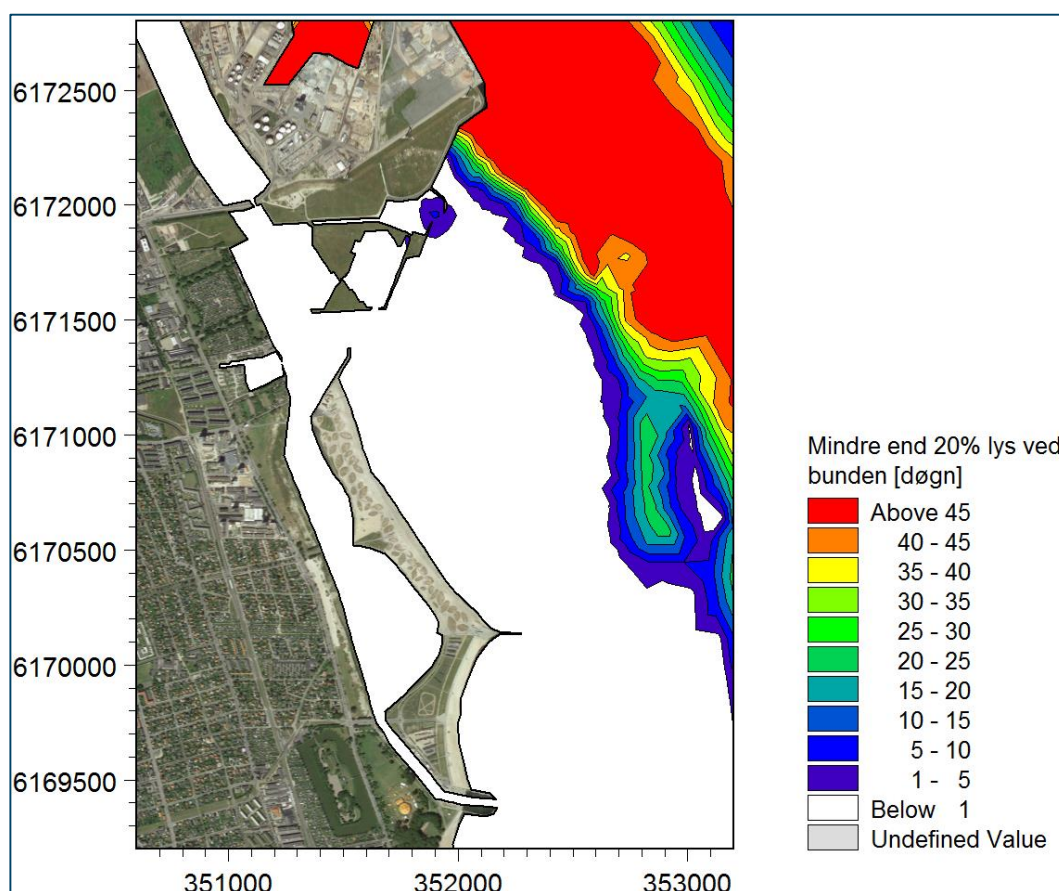


Figur 3-130 **Sænketunnel og Svaneknoppen Lille:** Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.

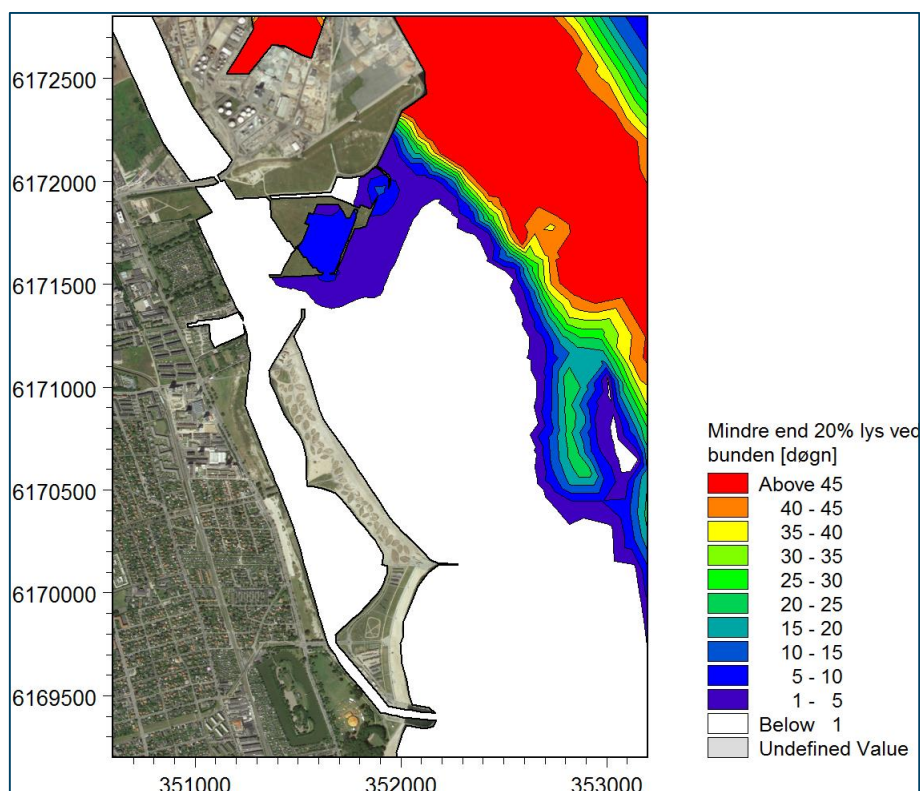
3.7.3 Lyssvækkelse ved Prøvestenen med erstatningshavn Lille

Gravearbejderne for at anlægge erstatningshavn Lille ved Prøvestenen medfører en meget begrænset aktivitet og der er derfor også begrænsede spilmængder, der kan transporteres rundt i området og forårsage en lyssvækkelse i vandsøjlen og derved svækkelse af det lys, der når bunden. Figur 3-131 viser den naturlige lyssvækkelse i området, når der ikke graves. Det fremgår, at sejlrendeområdet langs Prøvestenen har en dybde, der naturligt begrænser lysets nedtrængen til bunden. På de lavvandede områder inde langs sydsiden af Prøvestenen og ned langs begge sider af Amager Strandpark er der gode lysforhold.

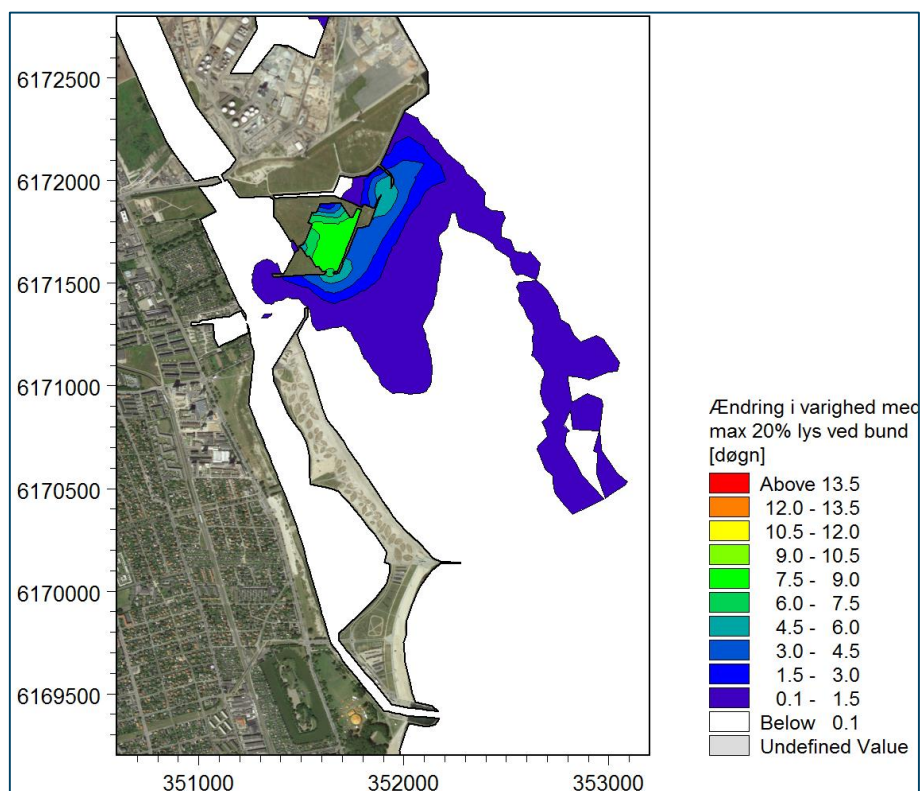
Ved gravearbejdet vil spildet primært ændre lyssvækkelsen negativt i og ved selve graveområdet, mens der vil ske en mindre svækkelse lige syd for gravearbejdet og ude langs skrænten ned mod den dybe sejlrende, se Figur 3-132 (spredning under gravearbejdet) og Figur 3-133 (differensen). Der er dog tale om meget begrænsede ændringer af få dages varighed under hele gravearbejdet.



Figur 3-131 **Prøvestenen:** Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen for modelleringsperioden **uden gravearbejde**.



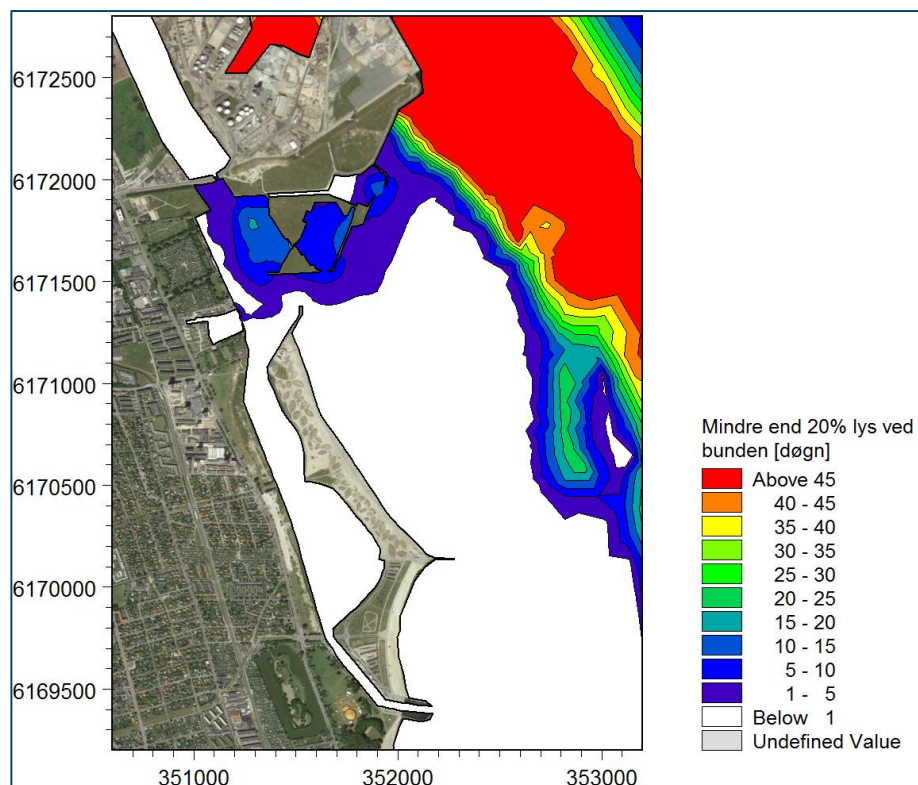
Figur 3-132 **Prøvestenen: Erstatningshavn Lille:** Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen **med gravearbejde**.



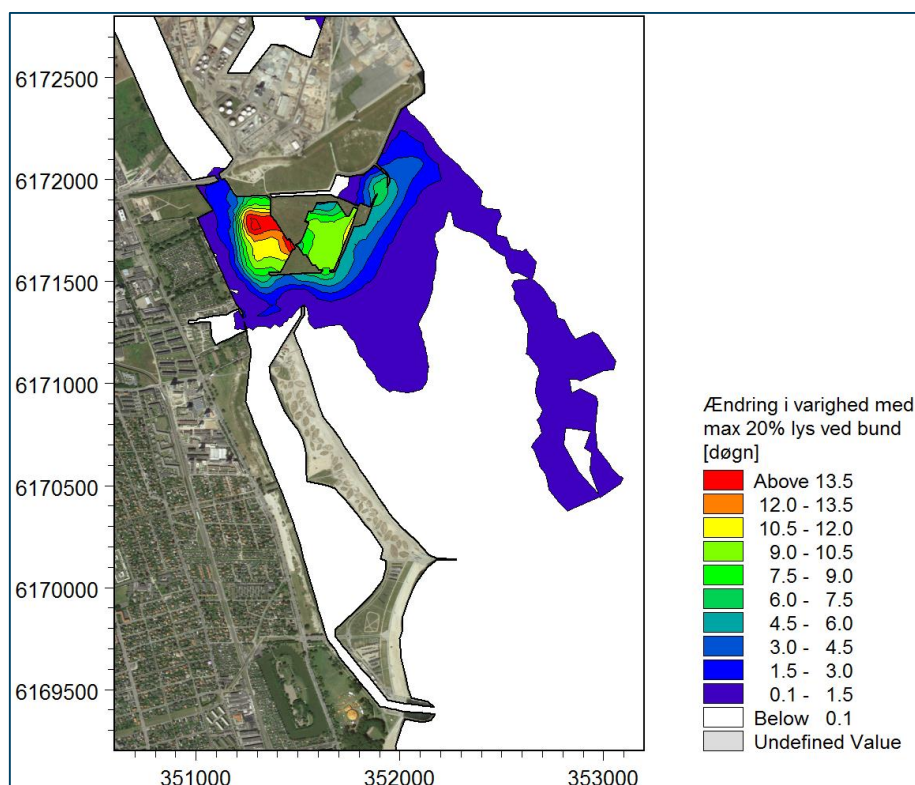
Figur 3-133 **Prøvestenen, Erstatningshavn Lille:** Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.

3.7.4 Lyssvækkelse ved Prøvestenen med erstatningshavn Stor

Gravearbejderne for at anlægge erstatningshavn Stor ved Prøvestenen medfører en noget større aktivitet end for erstatningshavn Lille. Spildmønstret er her i højere grad koncentreret om de indre områder ind mod Sundby (Figur 3-134 og Figur 3-135), da det er her de største mængder graves af. Strømforholdene i dette område er meget begrænsede, hvorfor det meste af spildet vil blive inde i området og derfor ikke påvirker området uden for væsentligt mere end ved gravning til den lille erstatningshavn.



Figur 3-134 **Prøvestenen: Erstatningshavn Stor:** Varighed af hvor længe lysintensiteten ved havbunden reduceres til mindre end 20 % af lysintensiteten ved havoverfladen **med gravearbejde.**



Figur 3-135 **Prøvestenen, Erstatningshavn Stor:** Ændring i varighed med maksimalt 20 % lys ved bunden som følge af gravearbejdet.

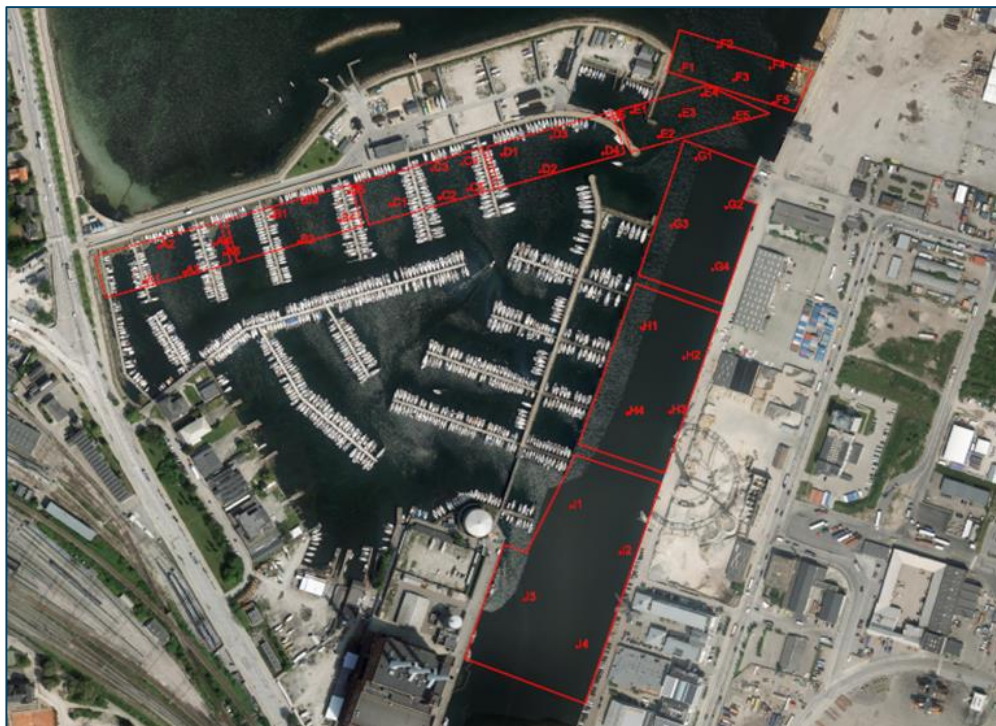
3.8 Spredning af miljøfremmede stoffer ved afgravning af havneslam

Det øvre sedimentlag (havneslammet) indeholder nogle miljøfremmede stoffer, som vil kunne spredes under gravearbejdet. Størstedelen af de miljøfremmede stoffer vil være bundet til sedimentet og spredes med dette, men en mindre del vil opløses i vandfasen og spredes som opløst stof uden en faldhastighed. Der er taget en række sedimentprøver i gravetraceet, som så er ind delt i felterne A, B, C, etc. (jf. Figur 3-136), hvori de er blevet analyseret som blandingsprøver inden for hvert felt. Gennemsnitsindholdet af miljøfremmede stoffer for felterne A-E danner grundlaget for den numerisk modellerede spredningsanalyse. Værdier for område F er ikke medtaget i beregningerne. Tre stoffer er vurderet mest kritiske og udvalgt til spredningsanalysen. De tre stoffer er: TBT (tributyltin), kviksølv og kobber. Data for de tre stoffer i sedimentprøverne er angivet i Tabel 3-16. Forureningen relaterer til det øvre sedimentlag. Der ses derfor kun på spredning ved afgravning af det øvre sedimentlag (havneslam).

Ved afgravningen opløses en del af stofferne til vandfasen, typisk 2-3%. I Tabel 3-17 er angivet frigivelsesrater fundet i en række forskellige referencer. Der er konservativt taget udgangspunkt i Cantwells værdier til analysen af TBT, kviksølv og kobber. Koncentrationerne af de opløste stoffer sammenholdes med det marine korttidskvalitetskrav /9/, således at det kan beregnes i hvor lang tid korttidskvalitetskravet vil være overskredet og i hvilken udstrækning. Analyserne udføres på baggrund af de vertikalt midlede koncentrationer af de opløste tungmetaller. De benyttede korttidskvalitetskrav for de tre stoffer er angivet i Tabel 3-18.

Ved sedimentation af materialet vil der være ske en tilførsel af de tre stoffer til havbunden. Med udgangspunkt i Naturstyrelsens klapvejledning /10/ er der i Tabel 3-18 angivet de aktionsniveauer, som vil være gældende, såfremt det sedimenterede materiale skulle opgraves. I de efterfølgende vurderinger er der regnet på en tørstofdensitet på ca. 250 kg/m³ af det sedimenterede materiale.

For etablering af erstatningshavne ved Prøvestenen forventes der ikke aflejringer af havneslam, da områderne i dag ikke anvendes til lyst- eller erhvervsbådstrafik. Derfor er der ikke gennemført modellering af spredning af miljøfremmede stoffer.



Figur 3-136 Prøvetagningspositioner i øvre sedimentlag.

Tabel 3-16 Indhold af miljøfremmede stoffer i prøver fra det øvre sedimentlag, samt om indhold i prøverne overstiger øverste aktionsniveau jfr. Klapvejledningen /10/.

Prøve	Tørstof (%)	Massefylde [g/ml]	Glødetab [mg/kg TS]	TBT [µg/kg TS]	Hg [mg/kg TS]	Cu [mg/kg TS]
A/øvre sediment	47,2	1,4	80.100	650	1,81	109
B/øvre sediment	49,9	1,38	73.600	430	1,3	88,9
C/øvre sediment	40,6	1,32	96.700	200	1,4	112
D/øvre sediment	35,3	1,26	115.000	230	1,8	123
E/øvre sediment	40,5	1,32	82.900	87	0,46	61,3
F/øvre sediment* ¹	54,8	1,48	50.000	33	0,23	34,9
Gennemsnit A-E	43	1	89.660	319	1,35	98,8
NST højt aktionsniveau				200	1	90

¹ Værdier for område F er ikke medtaget i beregningerne

Ud fra gennemsnitsværdierne i ovenstående tabel ses, at de øvre aktionsniveauer for de tre stoffer alle er overskredet (se tabel Tabel 3-18), såfremt der lander mere end godt 1 kg tørstof per m².

Tabel 3-17 Frigivelsesrater for en række tungmetaller fundet på baggrund af elutriationsforsøg. Værdierne er angivet som procenter af den initiale metalmasse i sedimentprøverne.²

	Fehmarn¹⁾ feasibility		Øresund²⁾	Calmano	Shipley et al. (2011)³⁾		Jones	Arup	Eggleston	NIRAS	Cantwell
	Average (±SD)			et al. (1994)	Anaerobic	Aerobic	(1981)	(2012)	(2012)	(2013)	(2008)n= 6
Cd	10.0 (±7.1)	1.20 (±0.6)	5.0		0.9	5	0.10	<0.45		<0.06	3.2 (±3.8)
Cr	0.07 (±0.09)	0.10 (±0.1)						0.05		<0.01	
Cu	0.11 (±0.09)	0.14 (±0.09)	1.0		0.06	0.07	0.002	0.07 (±0.04)	0.77	<0.004	2.3 (±3.3)
Ni	1.84 (±7.3)	4.8 (±4.1)			0.3	2.8	0.2 (±0.3)	0.3 (±0.12)		0.08	28 (±2.8)
Pb	0.1 (±0.05)	0.1 (±0.1)	0.7		0.03	0.01	0.01	0.03 (±0.01)		<0.01	2.3 (±5.3)
Zn	3.5 (±1.94)	3.9 (±2.4)	1.5		0.35	5.1	0.01	0.1 (±0.1)	0.10	<0.01	3.6 (±4.1)
Hg			1.5		0.6	9.0	0.004	0.8 (±0.8)		<0.15	2.4 (±3.5)
TBT										<0.002	3.2 (±3.8)

1) Only tests where conc. in elutriate was above DL included (Cd: 3 samples < DL; Cu: 1 sample <DL, Cr 1 sample < DL)
Hg: all 5 samples below DL)

2) Data from tests summarized in Feasibility report

3) Only data from aerobic exposure considered

Tabel 3-18 Korttidskvalitetskrav og aktionsniveauer for udledning af forurenende stoffer til det marine miljø /9/ /10/.

Stofnavn	Korttidskvalitetskrav (µg/l)	Nedre aktionsniveau: mg/kg tørstof	Øvre aktionsniveau mg/kg tørstof
Kobber	2	20	90
Kviksølv	0,07	0,25	1
TBT (tributyltin-kation)	0,0015	0,007	0,2

² Arup O & Partners (2009/2012) HZMB – HKBCF & HKLR. EIA Report. Chapter 7 Sediment Quality.

Calmano W, Hong J & U Förstner (1994) Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. Wat Sci Tech 28 (8/9): 223-235.

Cantwell MG, Burgess RM, & JW King (2008) Resuspension of contaminated field and formulated reference sediments Part I: Evaluation of metal release under controlled laboratory conditions. Chemosphere 73:1824–1831

COWI-Lahmeyer (1998). Fehmarn Belt Feasibility Study Coast-to-Coast. Investigation of Environmental Impact; Environmental Evaluation of Soils; Technical Note, Additional Activity November 1998.

Eggleston MR (2012) Impact of Sediment Resuspension Events on the Availability of Heavy Metals in Freshwater Sediments. MS Thesis University of Michigan. 91p.

Jones RA, Mariani GM & Lee GF (1981) Evaluation of the Significance of Sediment-Associated Contaminants to Water Quality," Proc. Am. Water Resources Assoc. Symposium, Utilizing Scientific Information in Environmental Quality Planning, AWRA, Minneapolis, MN, pp. 34-45

NIRAS (2013) Måde havnedeponi. Bilag 4. Udledning og fortynding af forurenende vand. Juni 2013.

Shipley HJ, Gao Y, Kan AT & MB Tomson (2011) Mobilization of trace metals and inorganic compounds during resuspension of anoxic sediments from Trepangier Bayou, Louisiana. J Environ Qual 40(2): 484-491

3.8.1 Cut-and-cover

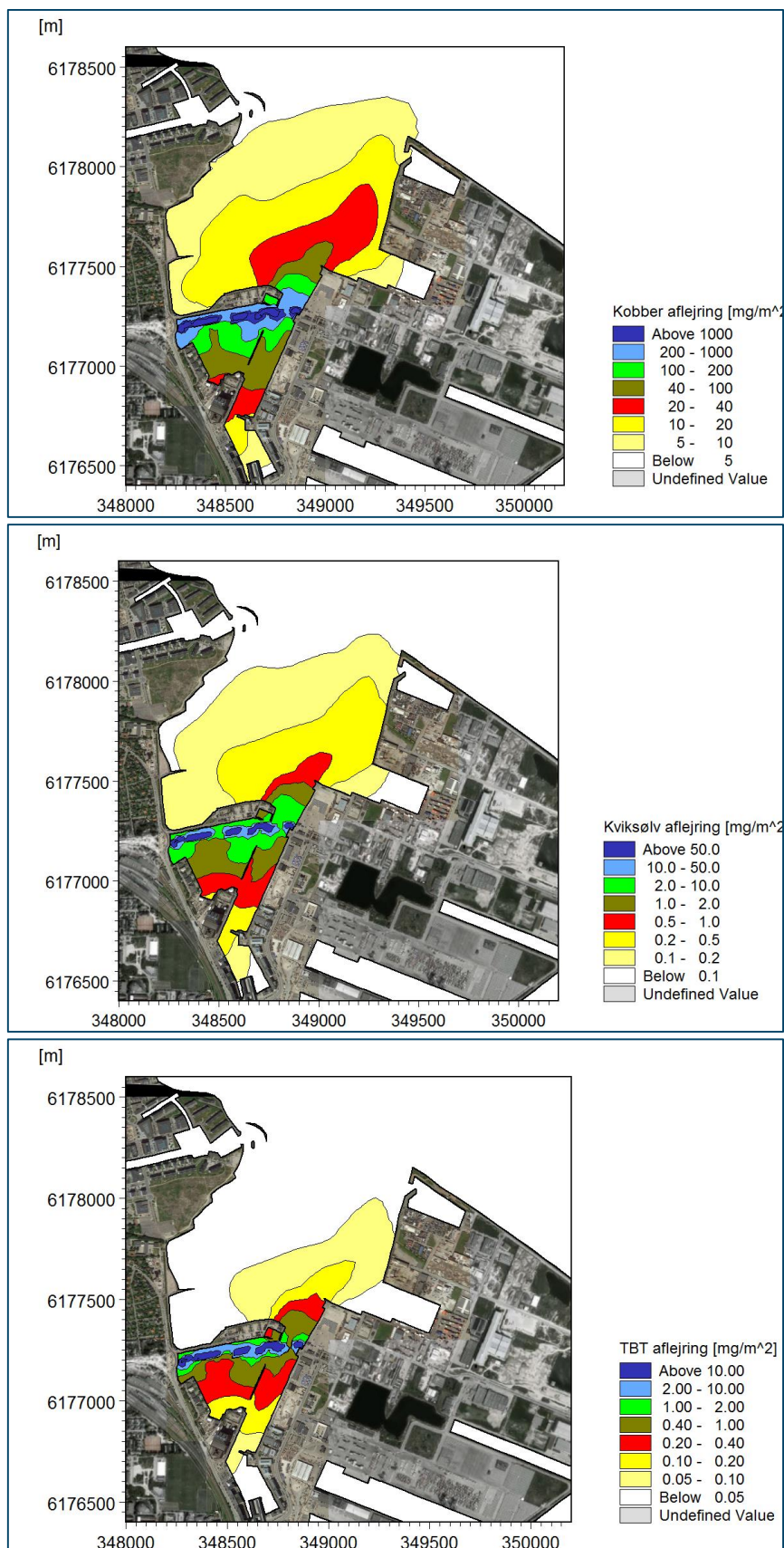
Cut-and-cover løsningen er karakteriseret ved, at der kun vil være et gravespild med miljøfremmede stoffer fra fjernelse af det øverste sedimentlag (havneslam). Spredningen af de miljøfremmede stoffer bundet til sedimentet kan derfor beregnes ved at skalere den beregnede sedimentspredning (aflejring). For de opløste tungmetaller gennemføres en ny spredningsberegning, men uden en faldhastighed for sedimentet (konservativ antagelse).

Spredningsberegningerne er gennemført for en situation med en erstatningshavn ved Prøvestenen og for en situation med etablering af en lille marina nord for Svaneknoppen.

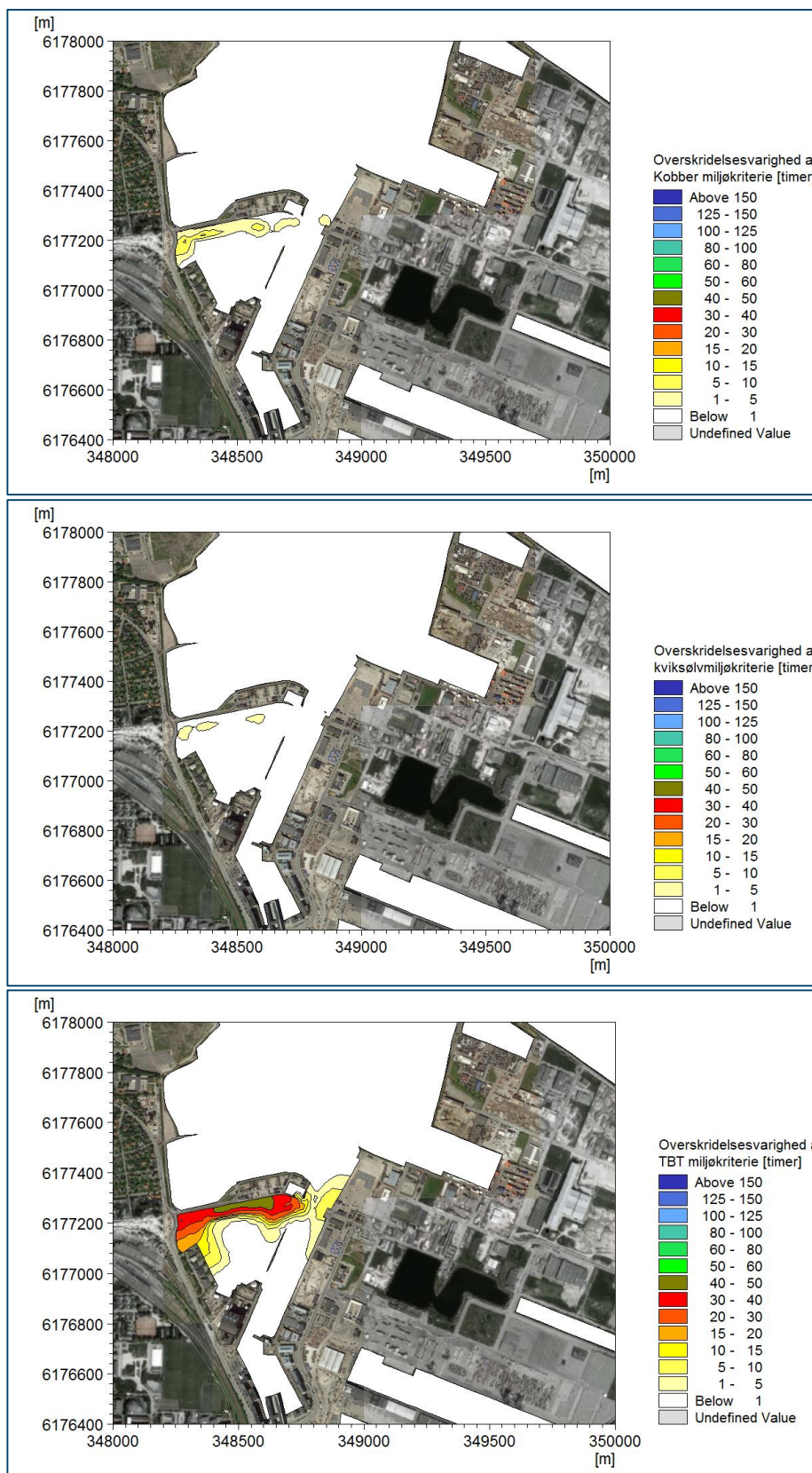
3.8.1.1 Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten

Aflejringskort for kobber, kviksølv og TBT er vist i Figur 3-137 for et scenarium, hvor der er etableret en marina ved Prøvestenen. Det ses at spredningen ud i Svanemøllebugten er forholdsvis begrænset. Hovedparten af de miljøfremmede stoffer aflejres i eller omkring gravetraceet. Der er i sedimentspredningsberegningen ikke taget hensyn til at 2-3 % af tungmetallerne vil kunne opløses i vandfasen.

Figur 3-138 viser i hvor stor en del af graveperioden korttidsmiljøkvalitetskravet kan forventes at være overskredet for hver af de tre stoffer. Det ses at kravet kun overskrides i selve arbejdsområdet.



Figur 3-137 Spredning og aflejring af kobber, kviksølv og TBT bundet til cut-and-cover gravespildet. Erstatningshavn ved Prøvestenen. OBS: Ikke-lineære farveskalaer.

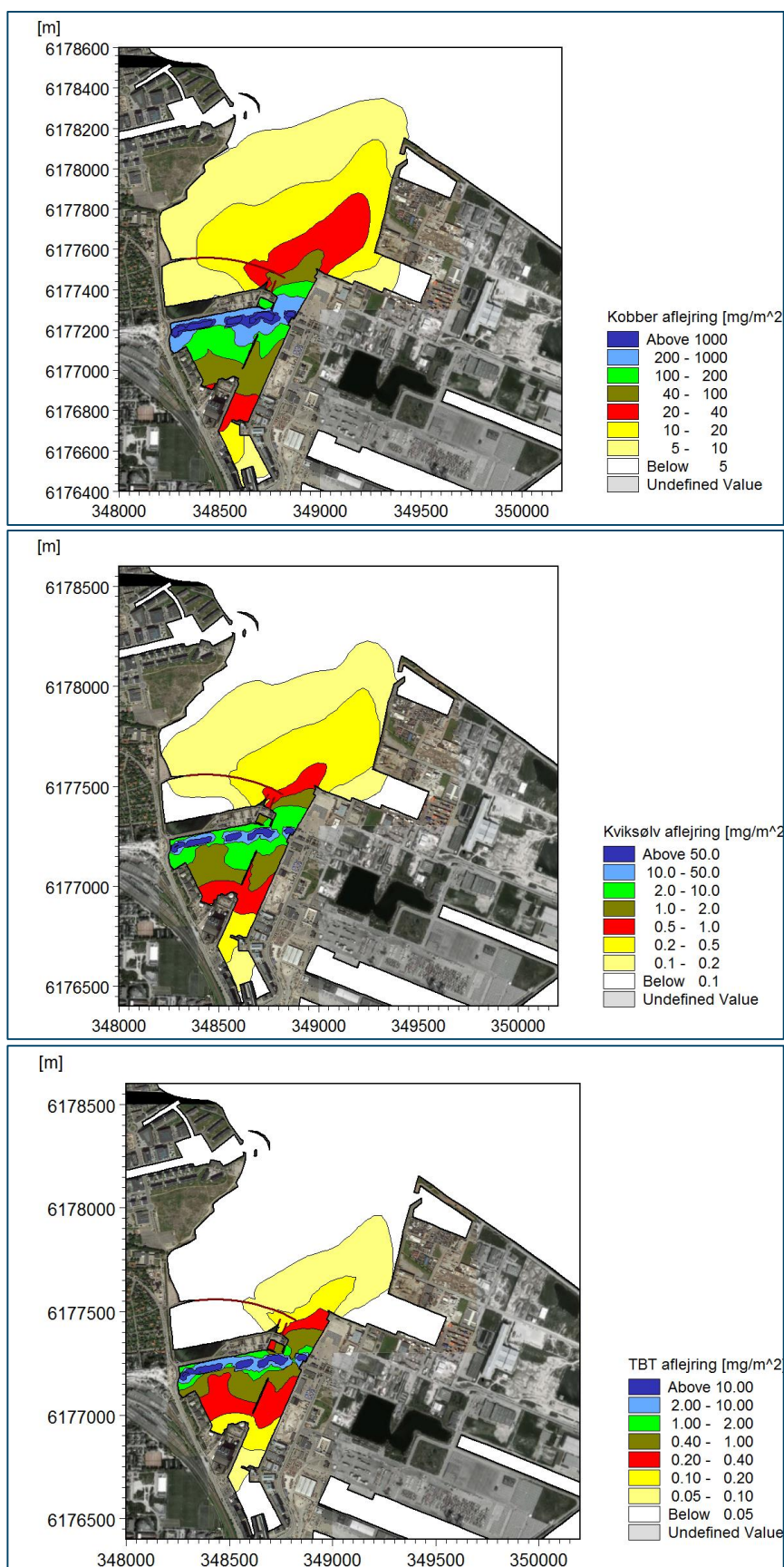


Figur 3-138 Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksølv og TBT frigivet fra cut-and-cover gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. **Erstatningshavn ved Prøvestenen.** OBS: Ikke-lineær farveskala.

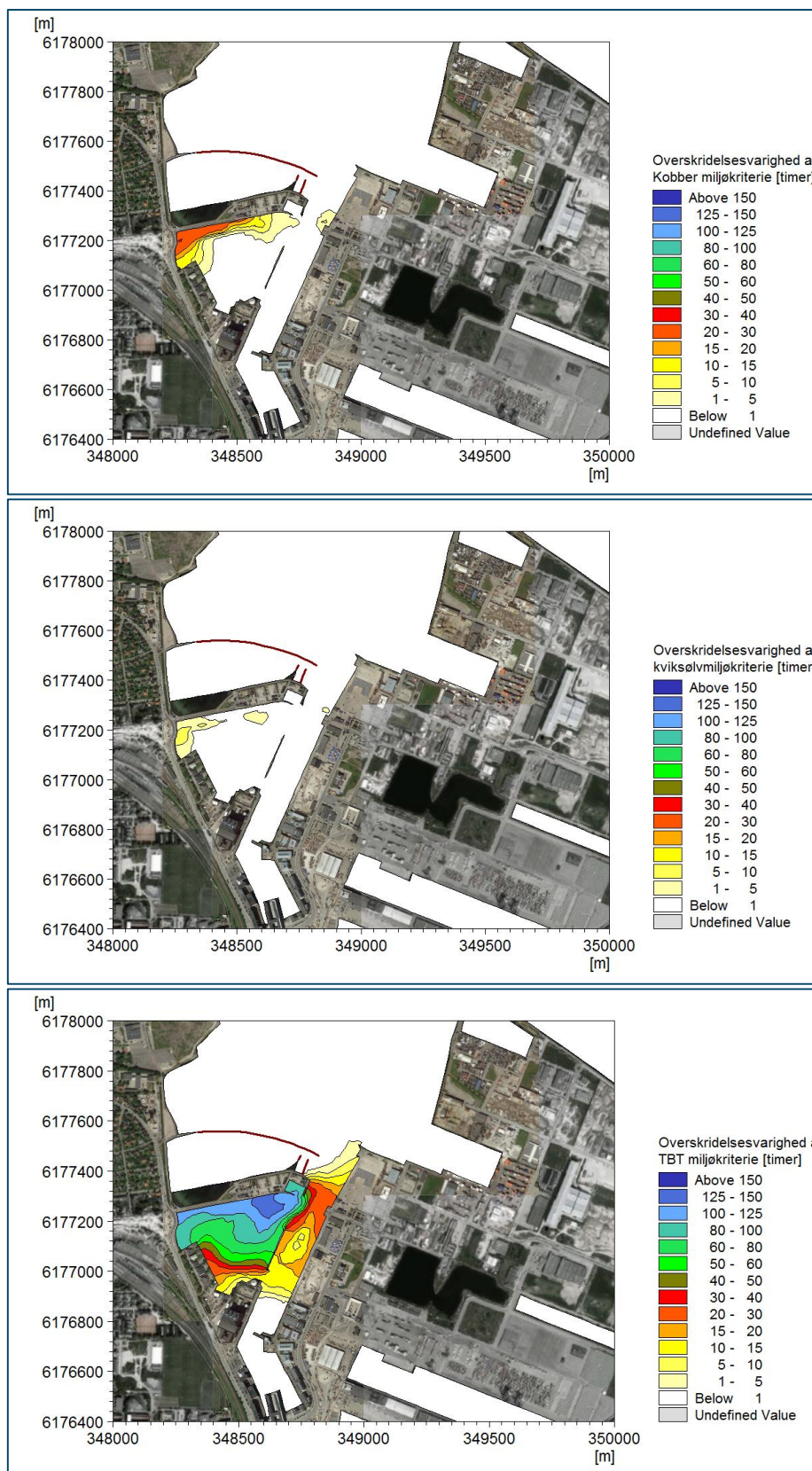
3.8.1.2 Erstatningshavn Svaneknoppen Lille

Aflejringskort for kobber, kviksølv og TBT er vist i Figur 3-139 med etablering af en lille marina nord for Svaneknoppen. Det ses at spredningen ud i Svanemøllebugten er forholdsvis begrænset. Hovedparten af de miljøfremmede stoffer aflejres i eller omkring gravetraceet. Der er i sedimentspredningsberegningen ikke taget hensyn til at 2-3 % af tungmetallerne vil kunne opløses i vandfasen.

Figur 3-140 viser i hvor stor en del af graveperioden korttidsmiljøkvalitetskravet kan forventes at være overskredet for hver af de tre stoffer. Det ses at kravet kun overskrides i den indre del af havnen. Varigheden af overskridelsen er større for dette scenarie, idet opholdstiderne (og dermed formindsket stoffortynding) i Svanemøllehavnen er forøgede i forhold til scenariet med en erstatningshavn ved Prøvestenen.



Figur 3-139 Spredning og aflejring af kobber, kviksølv og TBT bundet til cut-and-cover gravespildet. Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. OBS: Ikke-lineære farveskalaer.



Figur 3-140 Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksølv og TBT frigivet fra cut-and-cover gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. **Erstatningshavn Svanekeknoppen Lille**. OBS: Ikke-lineær farveskala.

3.8.2 Sænketunnel og miljøfremmede stoffer

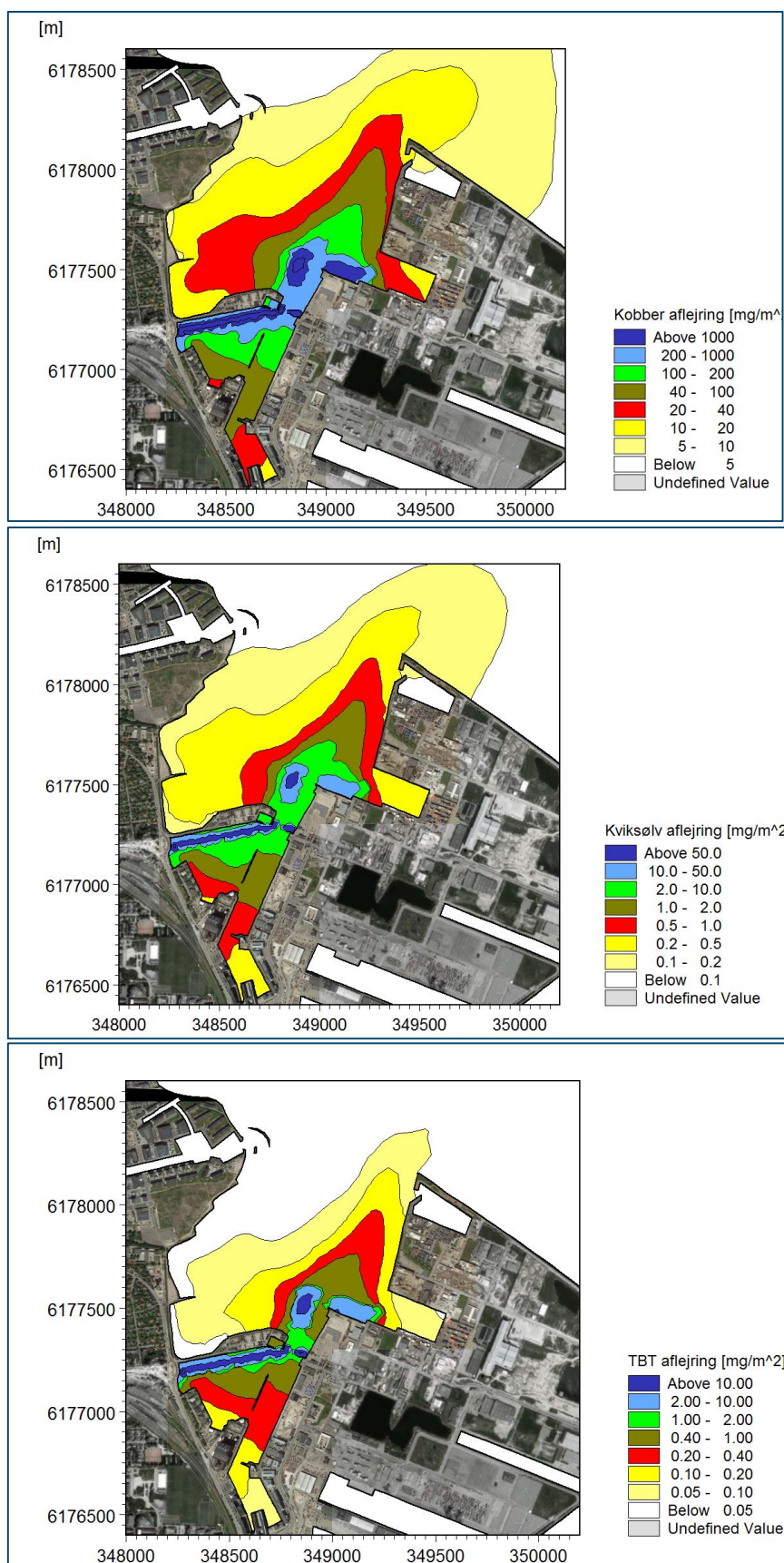
Sænketunnelløsningen er karakteriseret ved, at der også er et gravespild fra fjernelse af underliggende sedimentlag. Det er derfor nødvendigt at gennemføre en ny sedimentspredningsberegning, hvori der kun ses på afgravning af havneslam (øvre sedimentlag). I denne beregning er det antaget at det øverste sedimentlag afgraves i en sammenhængende cyklus før der fortsættes med de nedre sedimentlag. Som for cut-and-cover løsningen er spredningskortene af de miljøfremmede stoffer bundet til sedimentet beregnet ved at skalere den beregnede sedimentspredning (aflejring) fra det øvre sedimentlag. For de opløste tungmetaller gennemføres en analog spredningsberegning, men uden en faldhastighed for sedimentet.

Spredningsberegningerne er gennemført med hhv. en erstatningshavn ved Prøvestenen og en ved Svaneknoppen Lille.

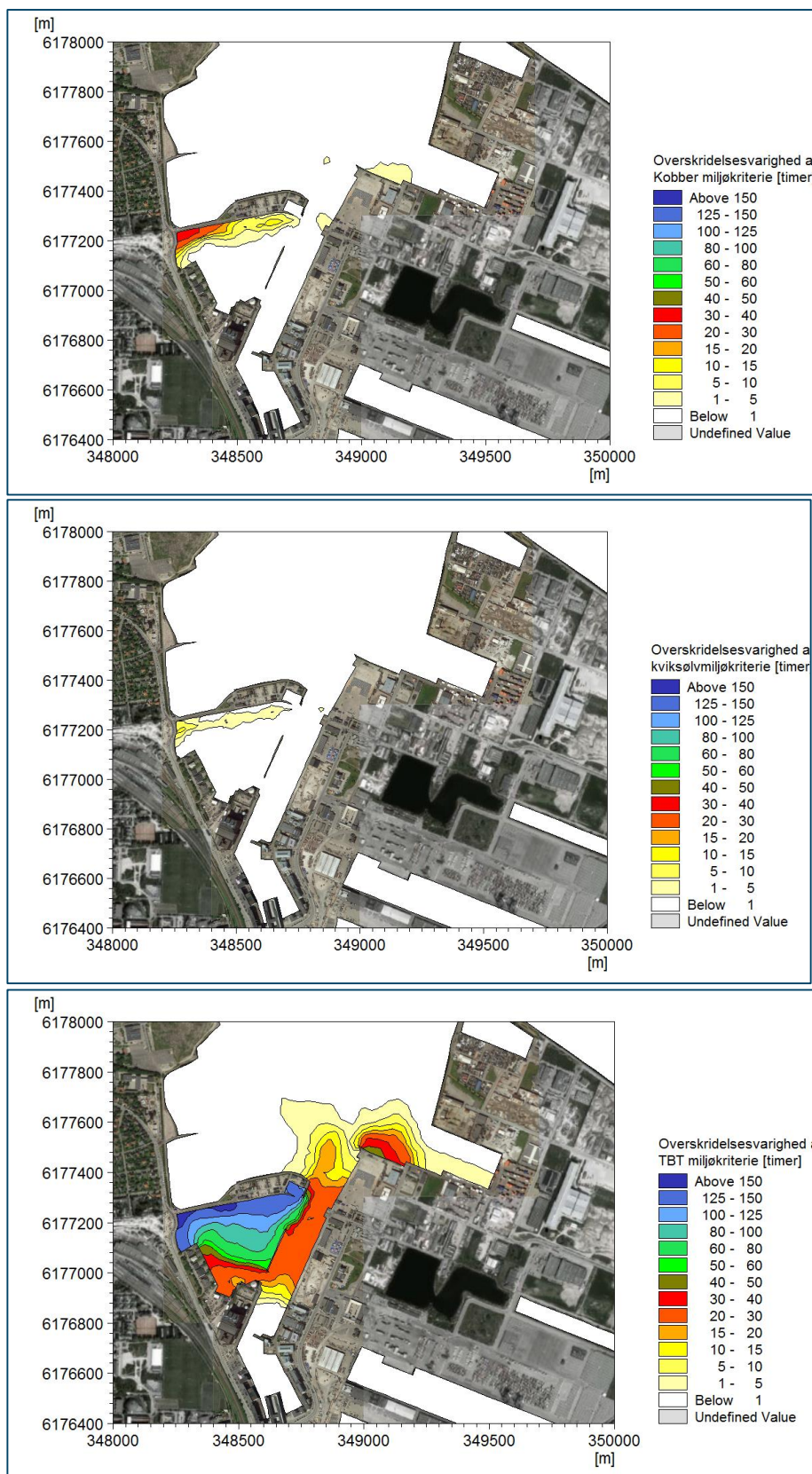
3.8.2.1 Erstatningshavn uden for Svanemøllebugten

Aflejringskort for kobber, kviksølv og TBT er vist i Figur 3-141, hvor erstatningsmarinaer er etableret ved Prøvestenen. Det ses at spredningen ud i Svanemøllebugten er forholdsvis begrænset, men større end for cut-and-cover løsningen. Hovedparten af de miljøfremmede stoffer aflejres også med denne løsning i eller omkring gravetraceet. Der er i sedimentspredningsberegningen ikke taget hensyn til at 2-3 % af tungmetallerne vil kunne opløses i vandfasen.

Figur 3-142 viser i hvor stor en del af graveperioden korttidsmiljøkvalitetskravet kan forventes at være overskredet for hver af de tre stoffer. Det ses at kravet kun overskrides i selve arbejdsområdet, som nu er udvidet til Færgehavn Nord og Kalkbrænderiløbet nord for Svaneknoppen.



Figur 3-141 Spredning og aflejring af kobber, kviksølv og TBT bundet til sænketunnel gravespildet. Erstatningshavn ved Prøvestenen. OBS: Ikke-lineære farveskalaer.

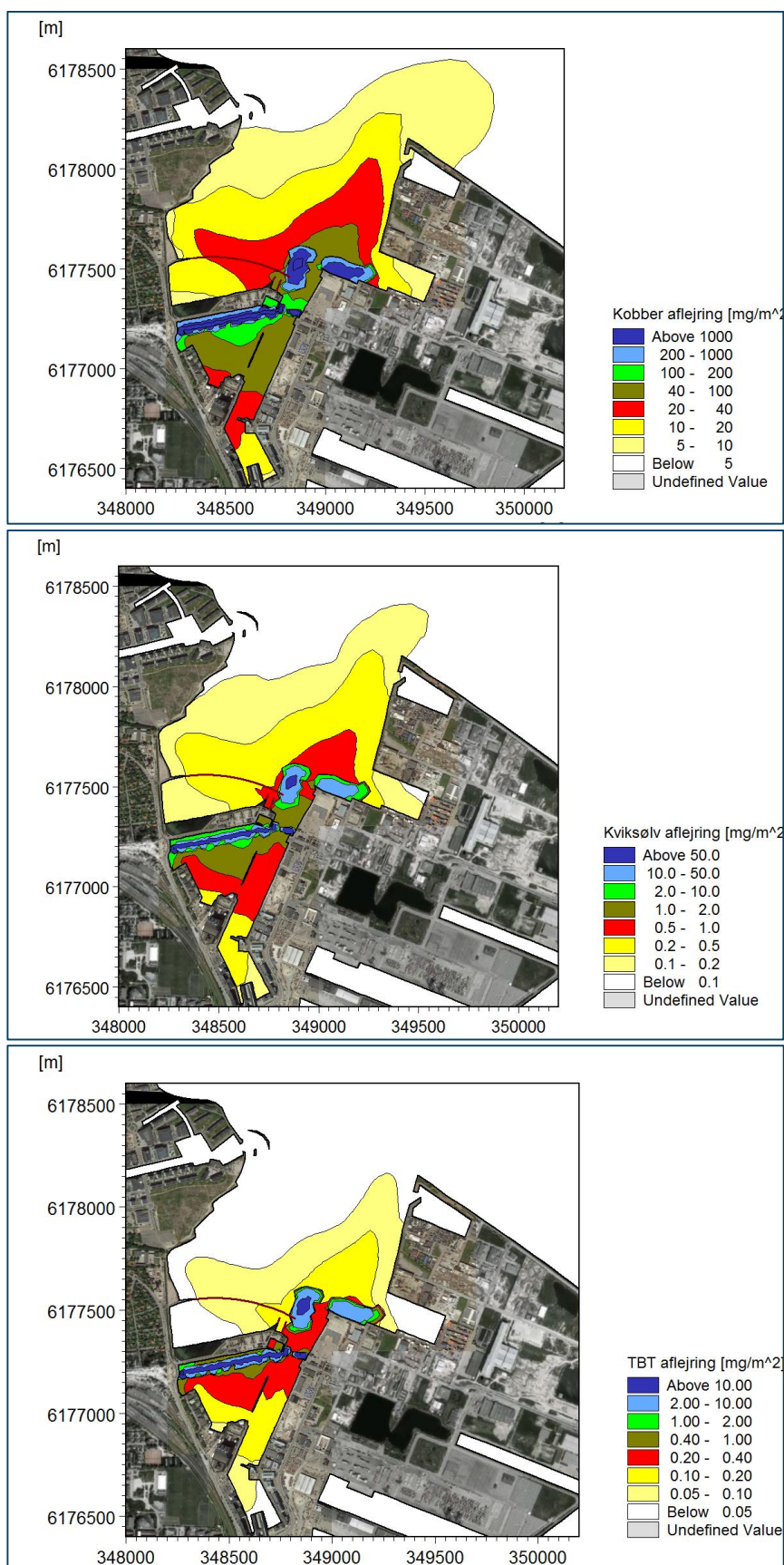


Figur 3-142 Akkumuleret varighed i timer hvor korttidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksølv og TBT frigivet fra gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. **Erstatningshavn ved Prøvestenen**. OBS: Ikke-lineær farveskala.

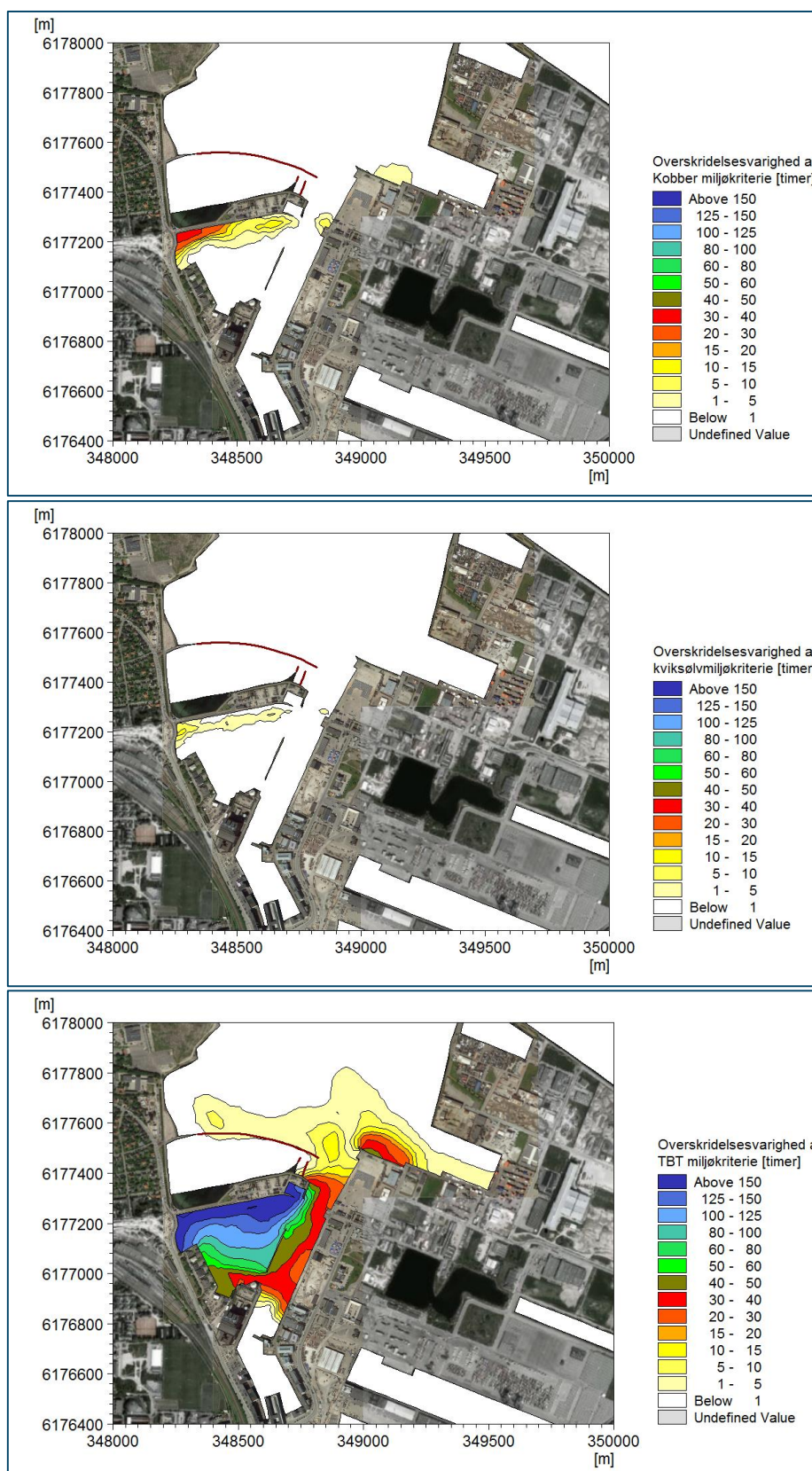
3.8.2.2 Erstatningshavn Svaneknoppen Lille

Aflejringskort for kobber, kviksølv og TBT er vist i Figur 3-143 med Svaneknoppen Lille. Det ses at spredningen ud i Svanemøllebugten er forholdsvis begrænset, men større end for cut-and-cover løsningen. Hovedparten af de miljøfremmede stoffer aflejres i eller omkring gravetraceet. Der er i sedimentspredningsberegningen ikke taget hensyn til at 2-3 % af tungmetallerne vil kunne opløses i vandfasen.

Figur 3-144 viser i hvor stor en del af graveperioden korttidsmiljøkvalitetskravet kan forventes at være overskredet for hver af de tre stoffer. Det ses at kravet kun overskrides i den indre del af havnen og den ydre del af graveområdet. Varigheden af overskridelsen er større for dette scenarie, idet opholdstiderne (og dermed reduceret stoffortynding) i Svanemøllehavnen er forøgede i forhold til scenariet med en erstatningshavn ved Prøvestenen.



Figur 3-143 Spredning og aflejring af kobber, kviksølv og TBT bundet til sænketunnel gravespildet. Erstatningshavn Svaneknoppen Lille. OBS: Ikke-lineære farveskalaer.



Figur 3-144 Akkumuleret varighed i timer hvor kortidsmiljøkvalitetskravet for kobber, kviksølv og TBT frigivet fra gravespildet og opløst i vandsøjlen er overskredet. **Erstatningshavn Svaneknoppen Lille.** OBS: Ikke-lineær farveskala.

Samlet set vil sedimentering i forbindelse med gravearbejderne være størst i umiddelbar nærhed af graveområderne, og det vil sige inde i havnen, samt ved og i sejltreenden ind til havnen.

Tungmetallerne kommer fra spildet fra afgravning af havneslammet og ikke fra afgravningen af de tertiære sedimenter, hvorfor større sedimentaflejringer ved sænketunnelløsningen samlet set vil få en lavere samlet belastning per kg tørstof.

I nedenstående Tabel 3-19 er der regnet på overholdelse af nedre og øvre aktionsniveau jfr. /10/. Der er taget udgangspunkt i den maksimale aflejringstykkelser (mest konservative), som kun optræder inde i og lige ved indsejlingen til havnen og altså i områder, hvor man typisk vil fjerne havnesediment. Cut-and-Cover scenarierne viste en aflejringstykkelser på op til 5 mm ude i bugten, mens tykkelse er ca. 50 mm ved en sænketunnel. Dette svarer til, at der ved sænketunnelen vil være ca. 5 mm med bundfældet havnesediment og 45 mm tertiære sedimenter. Tager man dette i betragtning vil der i princippet være lavere koncentrationer i sænketunnel-scenarierne, idet havneslammængden svarer til ca. 19 % af det afgravede materiale, som så overlejres/iblandes 81 % tertiære sedimenter, hvorved den samlede belastning pr m^2 , målt i hele den sedimenterede del i princippet falder med 80%. Der vil dog selv med denne beregningsmetode være områder tæt på graveområderne, hvor kravene er overskredet, uanset at de allerede er overskredet uden gravearbejdet, se Tabel 3-16.

Tabel 3-19 Oversigt over belastning med kobber, kviksølv og TBT ud fra simuleringerne. Belastningen/ m^2 refererer til minimum og maksimum belastningen uden for havnen. Værdier givet med parentes under de tre stoffer refererer til nedre og øvre aktionsniveau. Grøn markering angiver overholdelse af kriterier, rød angiver overskridelser.

Scenarium ³ (nedre og øvre aktionsniveau)	Belastning / m^2	Kobber mg/m^2 (20-90)	Kviksølv mg/m^2 (0,25-1)	TBT mg/m^2 (0,007-0,20)
Cut-and-cover m/ erstatnings-havn ved Prøvestenen	Min	5	0,1	0,05
	Max	200	10	1
Cut-and-cover m/ Svaneknoppen Lille	Min	5	0,1	0,05
	Max	200	2	0,4
Sænketunnel m/ erstatnings-havn ved Prøvestenen	Min	5	0,1	0,05
	Max	1000	50	10
Sænketunnel m/ Svaneknoppen Lille	Min	5	0,1	0,05
	Max	1000	50	10

³ Beregnet på basis af 250 kg tørstof / m^3

4 Permanente påvirkninger

Efter bygning af Nordhavnstunnelen vil der være to mulige scenarier som den permanente løsning:

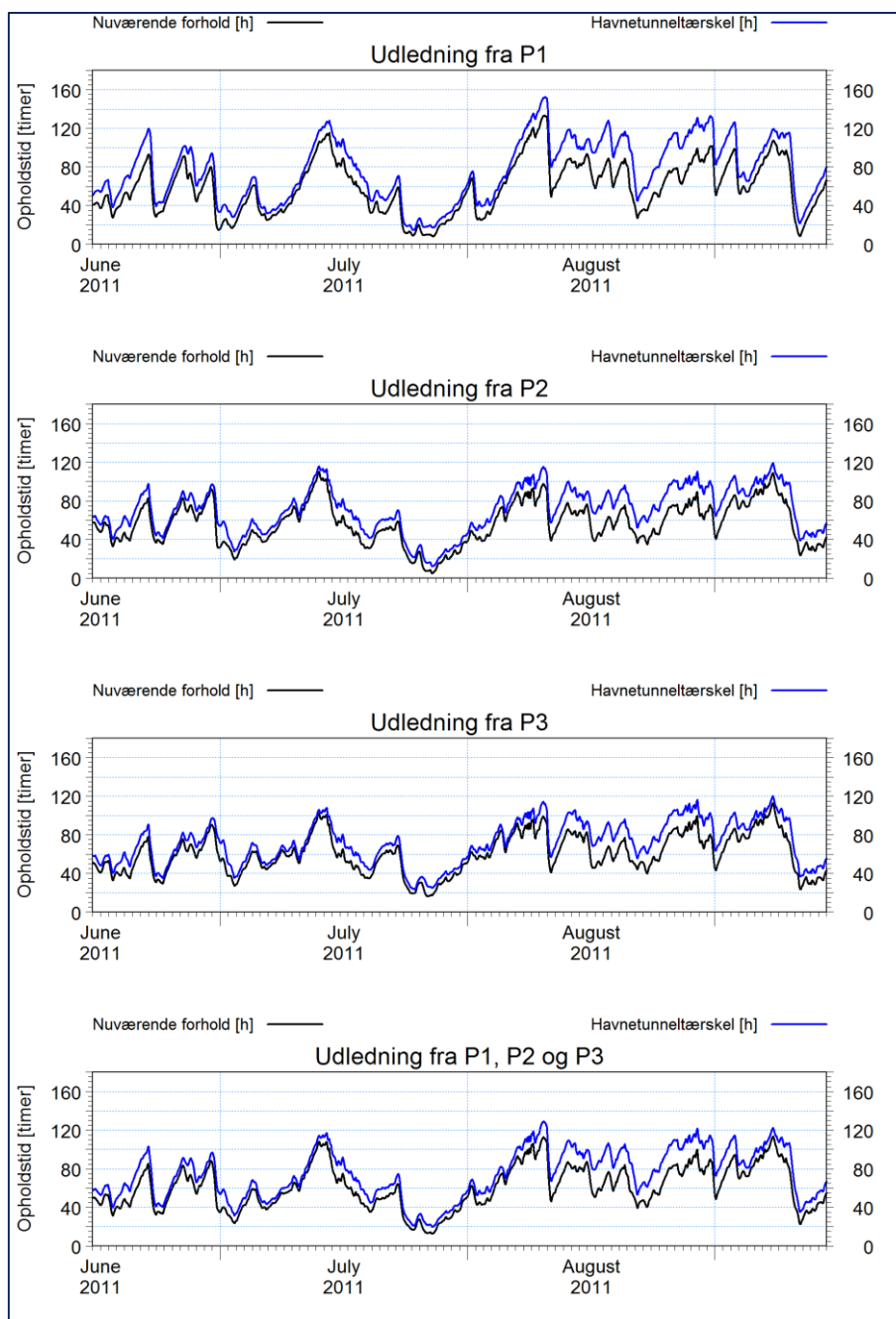
- Ændring i indsejlingsdybden fra ca. -6,5 m til -3,5 m over en tærskel i indsejlingen til havnen, samt fortsat -6,5 m dybde i Kalkbrænderihavnen.
- Ændring i indsejlingsdybden fra ca. -6,5 m til -3,5m over en tærskel i indsejlingen til havnen, samt opfyldning af Kalkbrænderihavnen til kote -3,5 m.

4.1 Opholdstid i den permanente situation

De to forskellige løsninger giver to forskellige ændringer i opholdstiden inde i havnen. I nedenstående figurer ses disse ændringer. De 3 punkter, der refereres til, kan ses på Figur 3-4.

Tabel 4-1 Opholdstider i den permanente situation med **tærskel**. Referencetilstandens opholdstider er angivet i parentes.

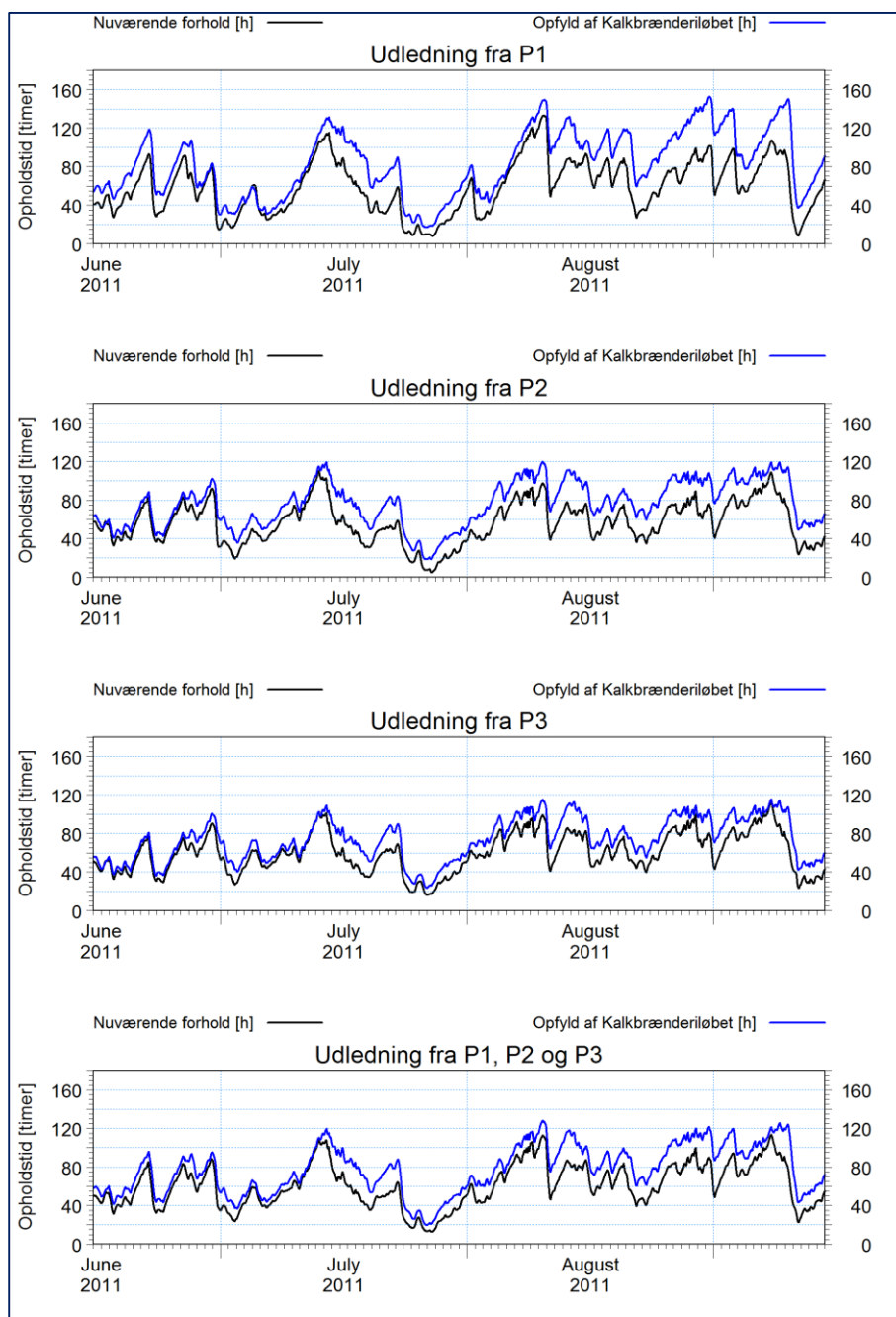
Sporstofudledningspunkt	Mindste opholdstid	Middel opholdstid	Største opholdstid
P1	15 (8)	77 (59)	152 (133)
P2	12 (5)	71 (57)	119 (110)
P3	24 (16)	72 (60)	120 (113)
P1 + P2 + P3	20 (13)	75 (61)	129 (114)



Figur 4-1 Ændring i opholdstider i den permanente situation, her med en **tærskel**. Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er i den permanente situation.

Tabel 4-2 Opholdstider i den permanente situation med **tærskel og opfyldning** af Kalkbrænderiløbet. Referencetilstandens opholdstider er angivet i parentes.

Sporstofudledningspunkt	Mindste opholdstid	Middel opholdstid	Største opholdstid
P1	17 (8)	83 (59)	153(133)
P2	18 (5)	76 (57)	120 (110)
P3	24 (16)	74 (60)	116 (113)
P1 + P2 + P3	20 (13)	78 (61)	128 (114)

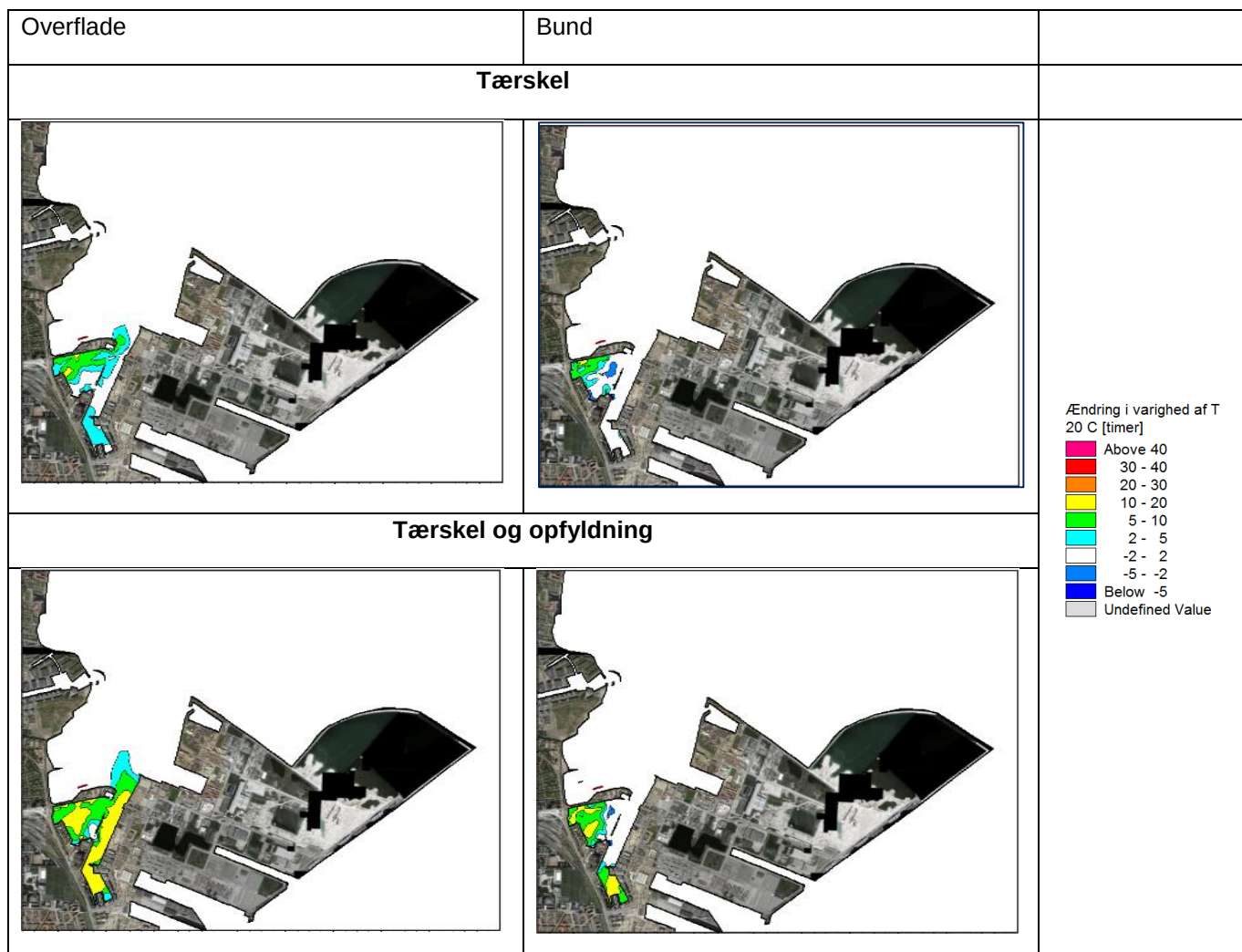


Figur 4-2 Ændring i opholdstider i den permanente situation, her med en **tærskel og opfyldning**. Den sorte kurve er referencetilstand (nuværende situation) og den blå kurve er i den permanente situation.

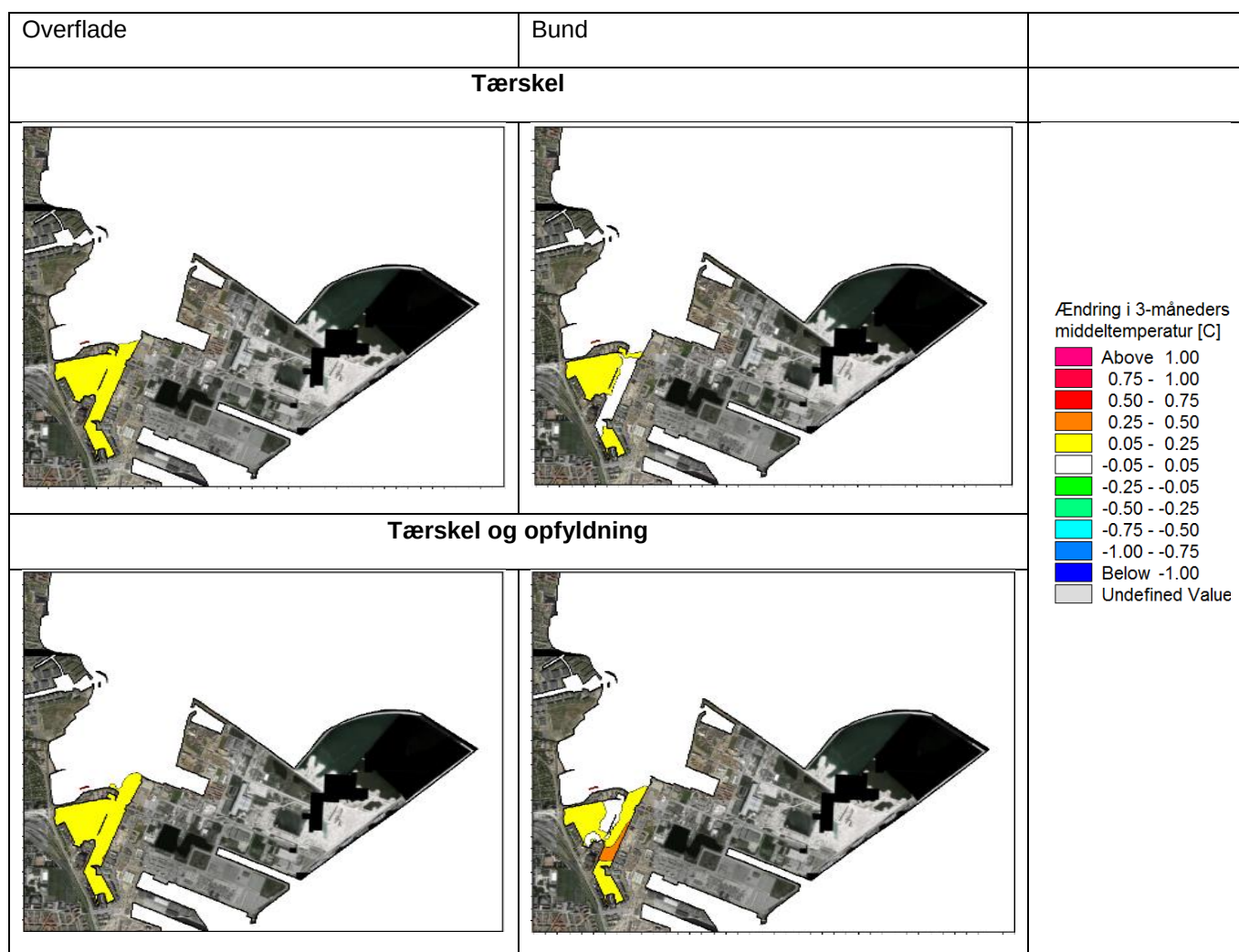
4.2 Temperaturforhold i den permanente situation

I den permanente situation er der en mindre forøgelse af temperaturen i havnen, som skyldes en nedsat vandudveksling med Svanemøllebugten. I figurene herunder (Figur 4-3 og Figur 4-4) ses ændringer i tid med temperaturer over 20 °C, som svarer til mellem 2-20 timer ekstra. Det er det samme antal timer, uanset om der er tærskel eller tærskel og opfyld, men udbredelsen af områder med forøget temperatur er større ved en løsning med tærskel og opfyldning. For tre-

månedersmiddeltemperaturen ændres denne med 0,2-0,5 °C, igen mest ved den kombinerede løsning.



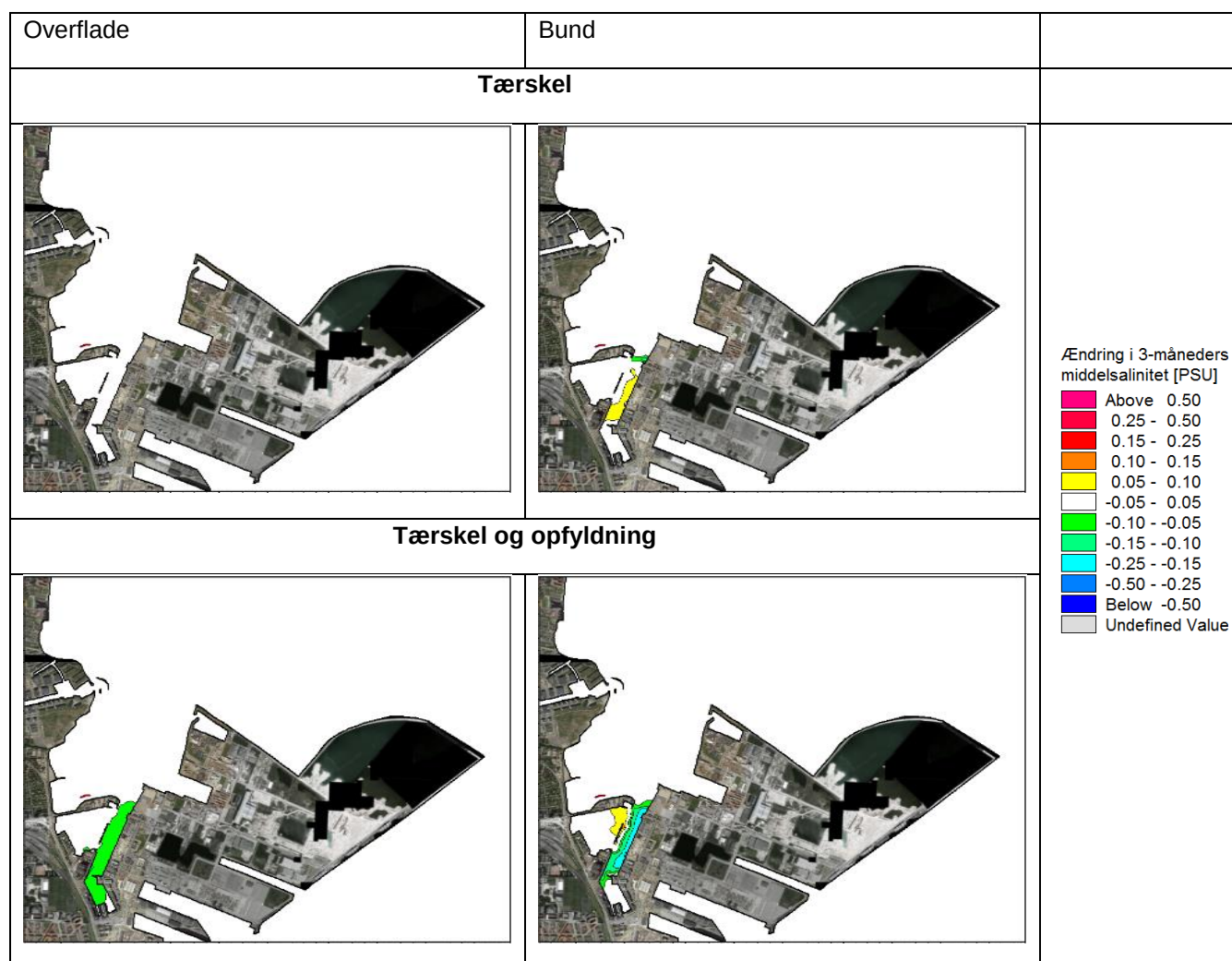
Figur 4-3 Differensplots: Ændringer i varighed i timer med en **temperatur** på over 20 °C for: tunneltærskel i kote -3,5 m hen over Kalkbrænderiløbet (øverst) og opfyld af Kalkbrænderiløbet syd for tunnelen til kote -3,5 m (nederst).



Figur 4-4 Differensplots: Ændringer i temperatur midlet over tre måneder for: tunneltærskel i kote -3,5 m hen over Kalkbrænderiløbet (øverst) og opfyld af Kalkbrænderiløbet syd for tunnelen til kote -3,5 m (nederst).

4.3 Salinitet i den permanente situation.

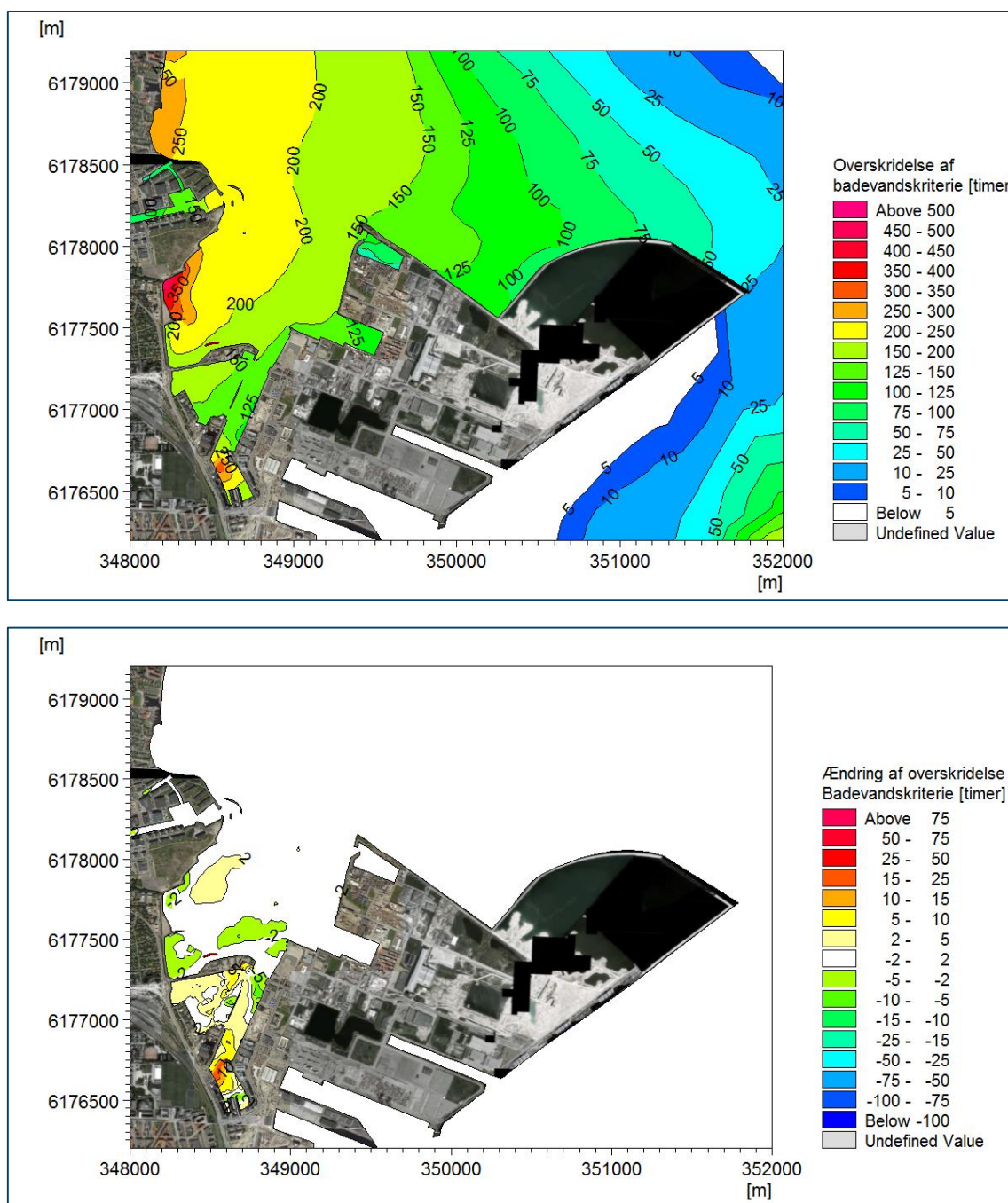
Salinitetsændringerne i havnen i den permanente situation ændrer sig ganske lidt, uanset løsning med hhv. tærskel og tærskel og opfyldning og der er kun tale om ændringer på mellem 0,1 til -0,25 psu, mest ved den kombinerede løsning.



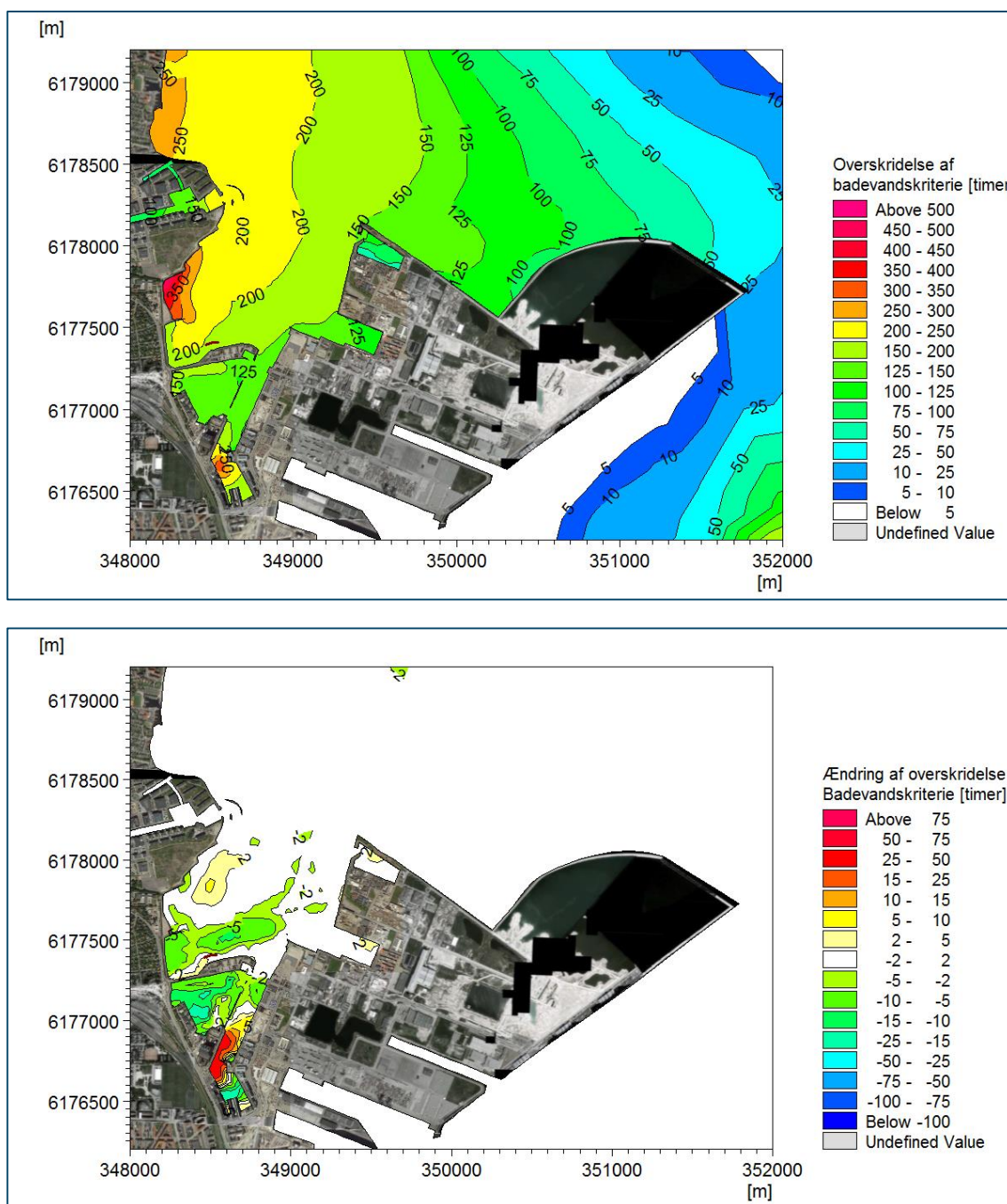
Figur 4-5 Differensplots: Ændringer i **salinitet** midlet over tre måneder for: tunneltærskel i kote -3,5 m henover Kalkbrænderiløbet (øverst) og opfyld af Kalkbrænderiløbet syd for tunnelen til kote -3,5 m (nederst).

4.4 Badevandskvalitet i den permanente situation

Badevandsforholdene vil ændre sig lidt i forhold til den nuværende situation, alt efter om man vælger den ene eller den anden af de to ovenfor beskrevne løsninger. Ved valg af en løsning kun med en tærskel vil badevandskriterierne i den permanente situation svare fuldstændig til situationen under anlæg af en sænketunnel, hvor der kan spores en meget lille positiv ændring svarende til 1-2 timers færre overskridelser i forhold til den nuværende situation, mens effekten på badevandskvaliteten ændres en anelse mere positivt ved etablering af både tærskel og opfyldning af havnen, svarende til 2-5 timers færre overskridelser. Det skyldes primært, at udledninger fra havnen, grundet en længere opholdstid, ikke kommer til at påvirke badevandskvaliteten i så høj grad som i den nuværende situation. De to forskellige scenarier er vist i de to figurer herunder.



Figur 4-6 Badevandskvalitet med **tærskel**. Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.

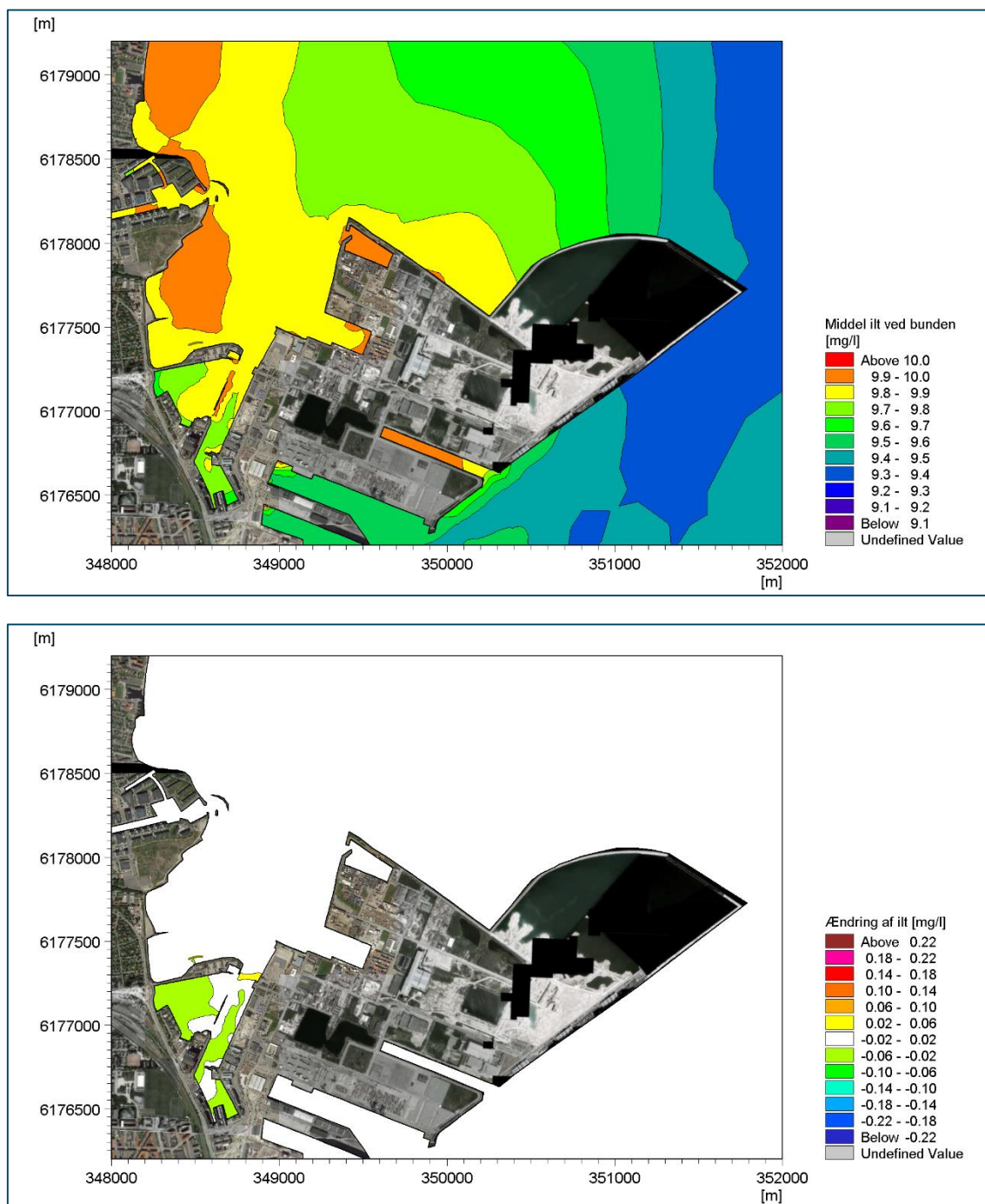


Figur 4-7 Badevandskvalitet med **tærskel og opfyld** af Kalkbrænderihavnen til kote -3,5 m. Øverst samlet varighed af overskridelser af badevandskriterierne og nederst ændringer i varighed i forhold til referencetilstand. Positive værdier angiver forøgelse af perioder med overskridelser.

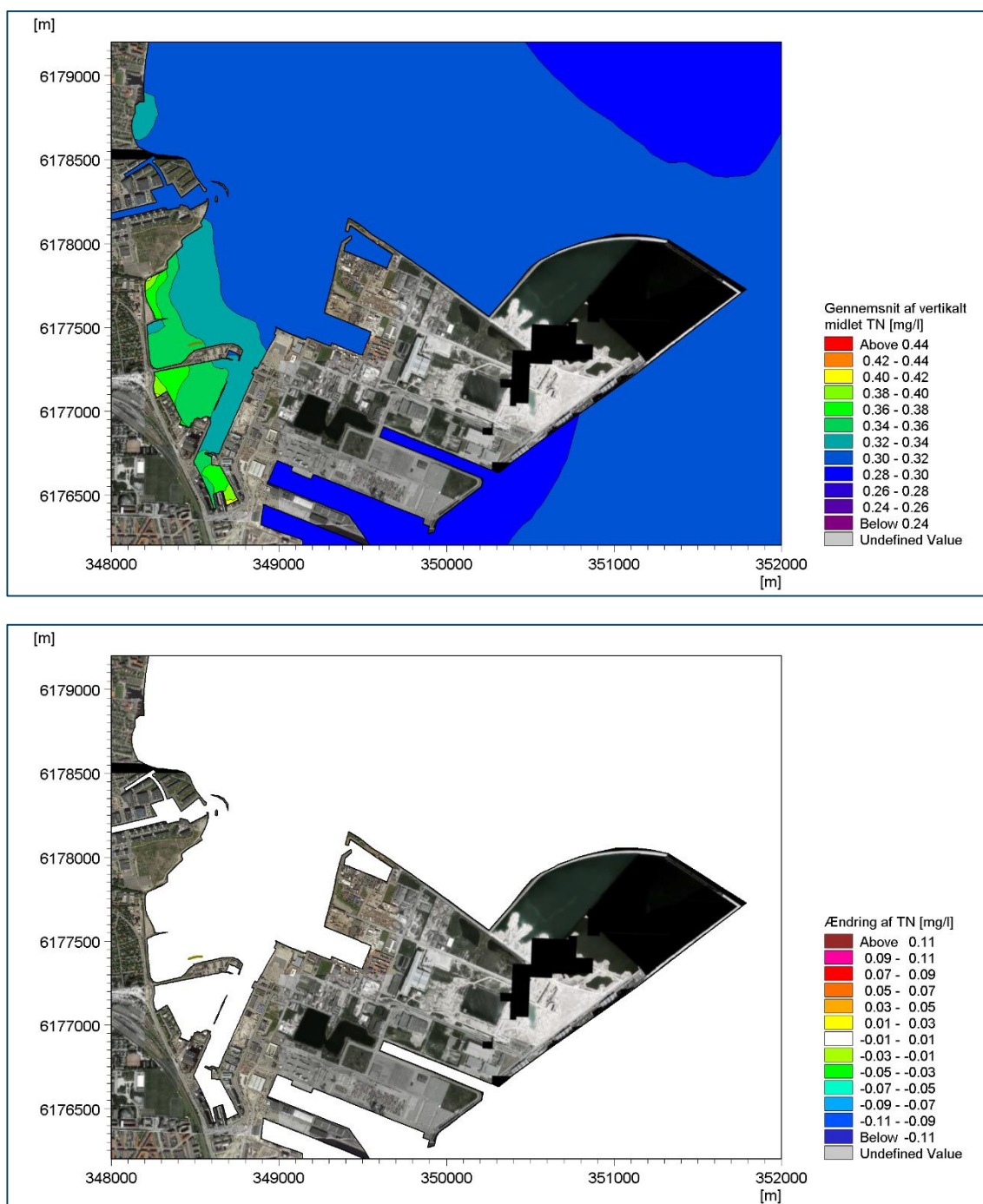
4.5 Vandkvalitet i den permanente situation

I den permanente tilstand vil der være ganske små vandkvalitetsændringer inde i havnen. Ilten i bundlaget vil falde med 0,02-0,04 mg/l ved en tærskel-løsning og til 0,02-0,1 mg/l ved både tærskel og opfyldning. For Total-N vil situationen være uændret ved etablering af en tærskel, mens der vil være en meget lille stigning ved både tærskel og opfyld på mellem 0,01- 0,02 mg/l. For

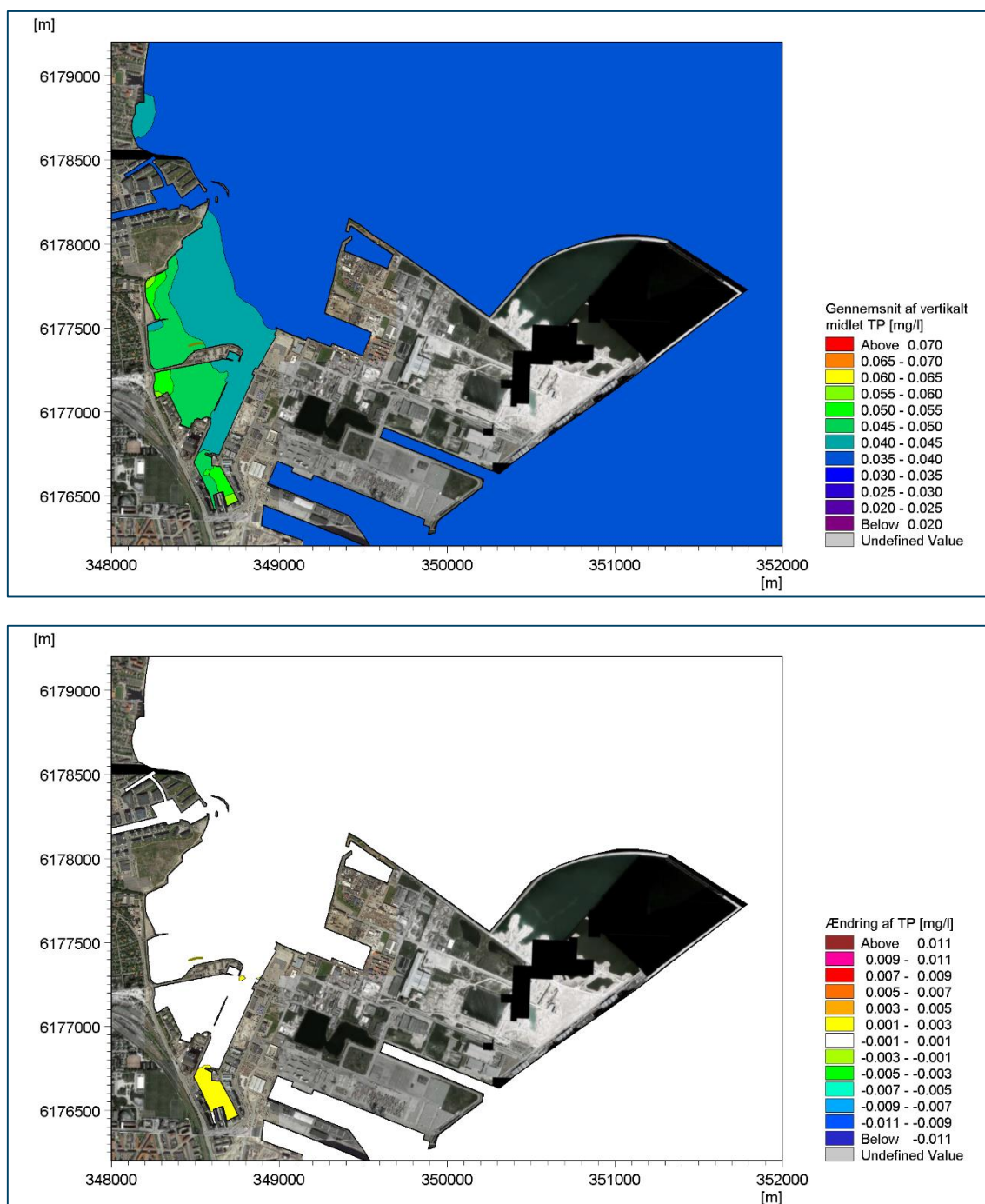
Total-P vil stigningen i begge situationer være på mellem 0,001-0,003 mg/l. Det forventes dog ikke at det vil være muligt at detektere disse ændringer.



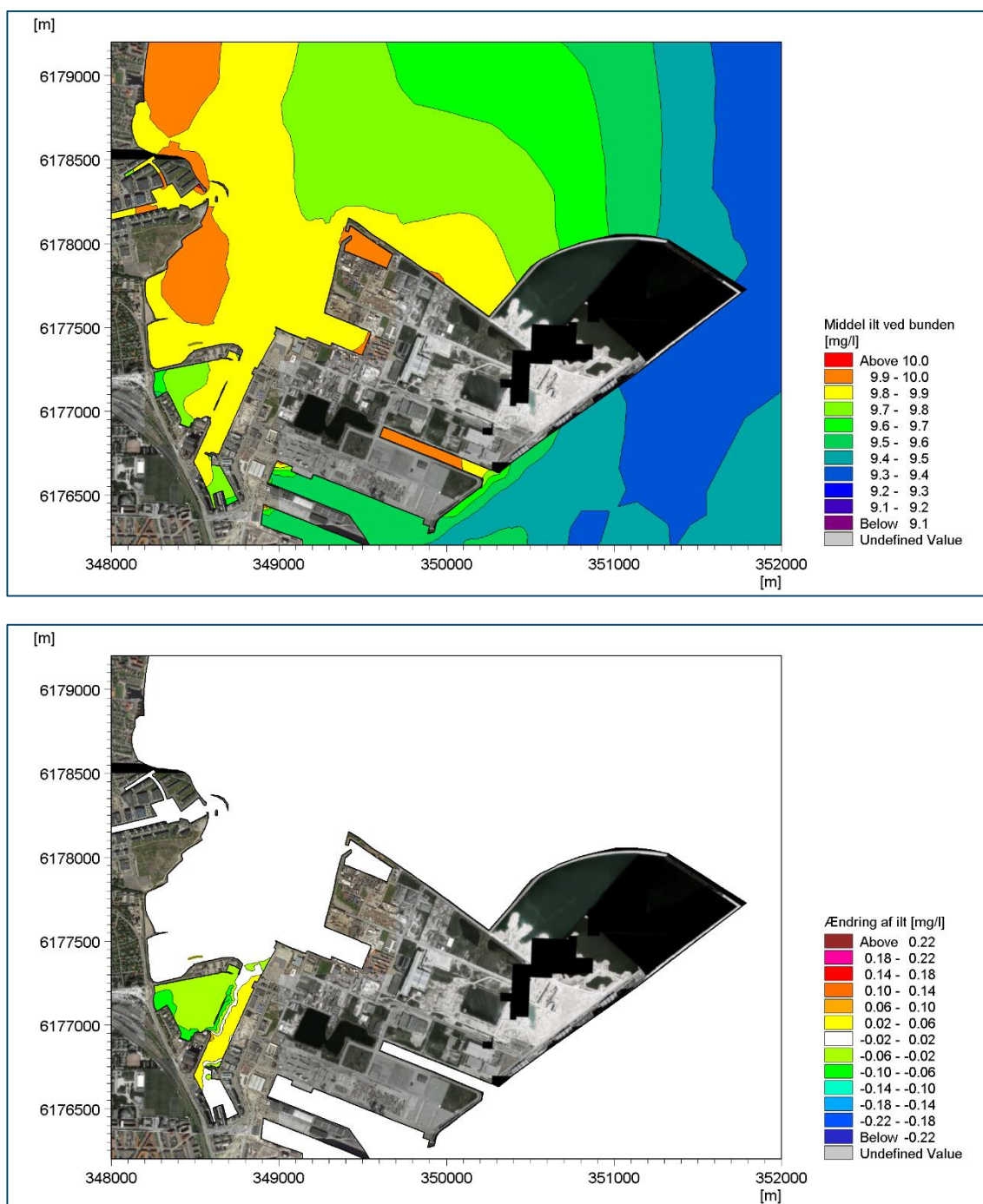
Figur 4-8 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget i den permanente tilstand med en tærskel på kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



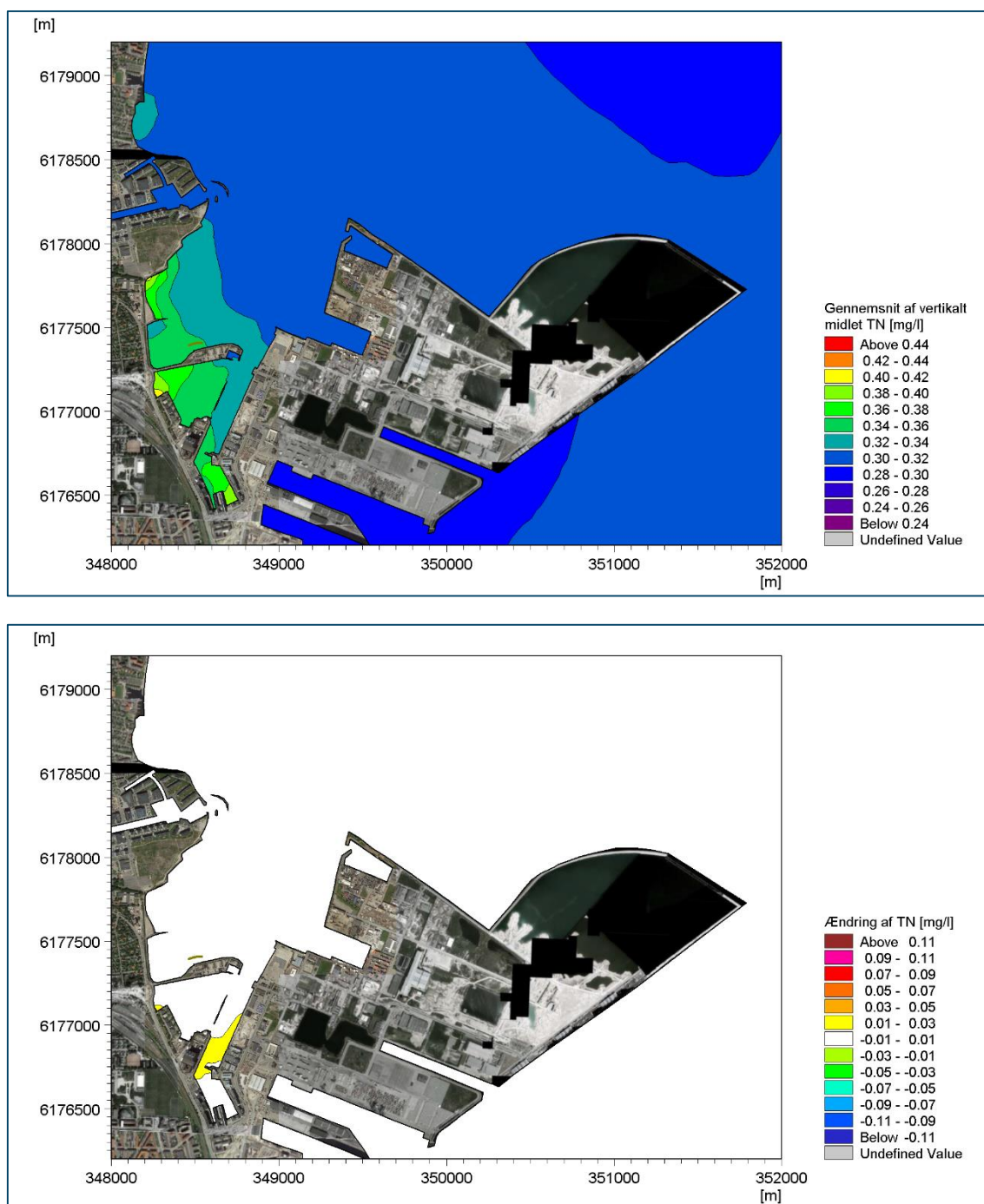
Figur 4-9 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middeldkoncentration) i den permanente tilstand med en **tærskel** på kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



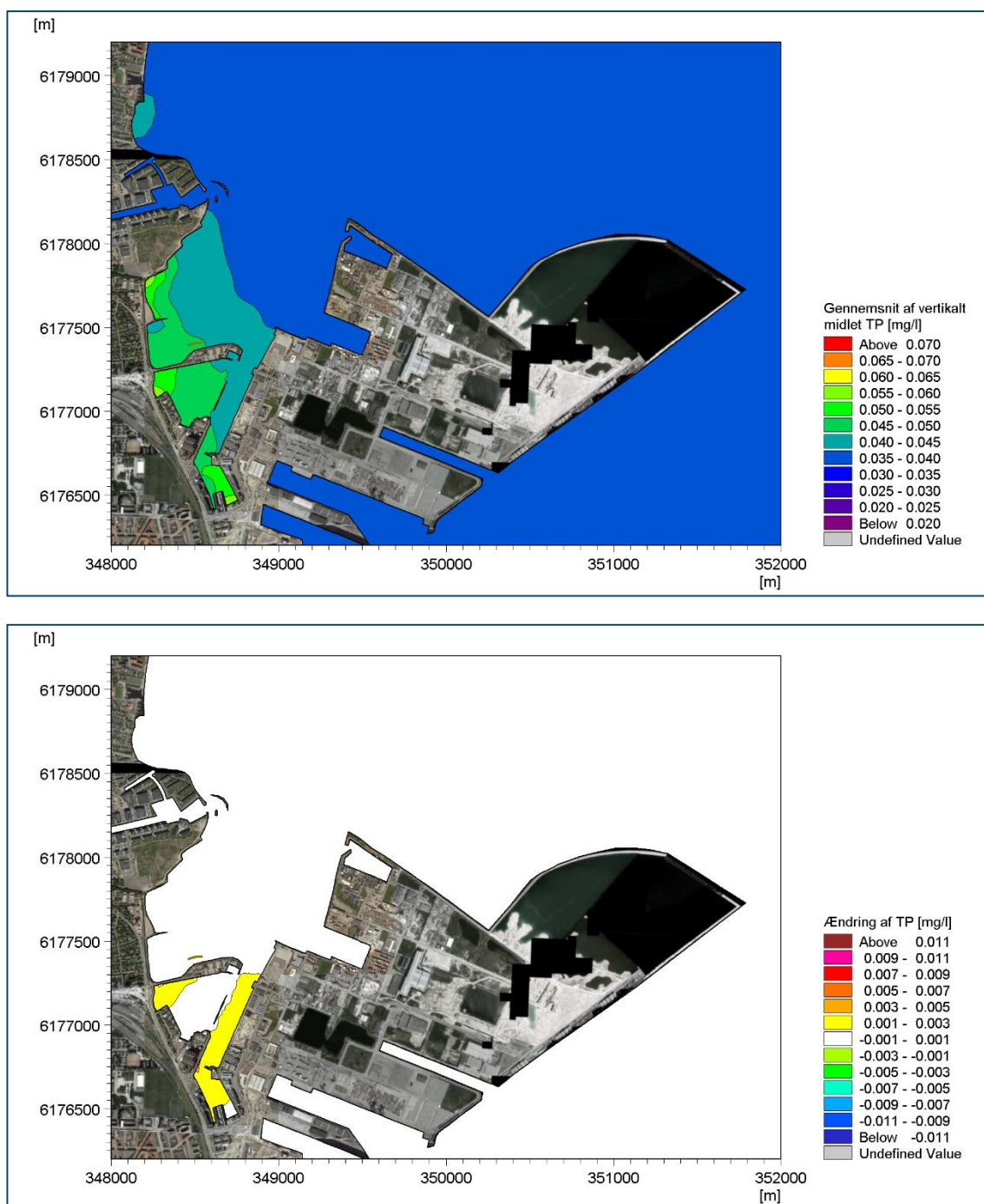
Figur 4-10 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelværdi) i den permanente tilstand med en **tærskel** på kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 4-11 Ændringer i iltkoncentrationen i bundlaget i den permanente tilstand med en tærskel, samt opfyldning af havnen til kote -3,5 m. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 4-12 Ændringer i **Total-N** koncentrationen (gennemsnitlige middeldkoncentration) i den permanente tilstand med en **tærskel, samt opfyldning** af havnen til kote -3,5 m, samt. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.



Figur 4-13 Ændringer i **Total-P** koncentrationen (gennemsnitlige middelværdi) i den permanente tilstand med en **tærskel, samt opfyldning** af havnen til kote -3,5 m, samt. Øverst koncentrationer i modelområdet og nederst differens til referencetilstand.

5 Diskussion

Analyserne af ændringerne i Svanemøllebugten, i havnen og ved Prøvestenen har vist en række påvirkninger, som her er samlet op for de forskellige løsningsmuligheder og tiltag i selvstændige tabeller. Fælles for alle undersøgelser er, at påvirkningerne på vandkvalitet, temperatur, salinitet og badevandskvalitet er relativt begrænsede, hvilket også er en konsekvens af, at selve projektet gennemføres inde i en havn, hvor de fysiske strukturer vil forhindre væsentlig spredning af effekter ud i selve bugten. Derfor er langt de fleste påvirkninger også koncentreret til selve havnen (både Svanemøllehavnen og Kalkbrænderihavnen). For alle de scenarier, hvor der vurderes i forhold til, at erstatningshavne etableres ved Prøvestenen, skal det opfattes således, at der ikke er nye havnestrukturer i Svanemøllebugten. De lokale påvirkninger ved etablering af erstatningshavn ved Prøvestenen er behandlet særskilt, idet anlægsaktiviteter i de to områder, Svanemøllebugten og området ved Prøvestenen, ikke påvirker hinanden.

For anlæggelse af Nordhavnstunnelen uden en etapeopdeling, hvilket svarer til at afspærre hele havnen i anlægsperioden, er samtlige effekter stort set begrænset til havnen, se Tabel 5-1. Den eneste umiddelbare effekt uden for havnen knytter sig til badevandskvaliteten på Svanemøllestranden, hvor de forskellige udbygninger af erstatningshavne i selve bugten vil nedbringe den naturlige fortynding og derved øge antallet af lukketimer på stranden. Ved anlæggelse af Svane knoppen Stor vil selve strande blive rykket mod nord og derved direkte ind i området for en af de større regnvandsbetingede udledninger fra Københavns Kommune.

Inde i selve havnen vil afspærringen betyde at vandskiftet helt skal styres af ind- og udpumpninger til havnen, kombineret med de regnvandsbetingede udledninger. Temperaturen i havneområdet vil stige til over 20 °C om sommeren, hvilket er en styringstemperatur for køling på Svane-mølleværket. Der vil derfor være behov for at indpumpe koldt bundvand og udpumpe varmt overfladevand for at holde temperaturen så lav som mulig i sommermånederne. Desuden skal der konstant udpumpes vand fra havnen for at undgå vandstandsstigninger fra hhv. nedbør og tilledninger.

Tabel 5-1 Referencetilstand og In-situ tunnel uden etapeopdeling i byggefasen

Scenarium	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevandskvalitet	Sediment og miljøfremmede stoffer	Ilt og næringssalte
In-situ tunnel med UDEN etape-opdeling				
Lukning af havn (og erstatningsmarina ved Prøvestenen)	Væsentlige ændringer inde i havnen, men ingen i bugt. Kræver afværgeforanstaltninger grundet temperaturstigninger i havnen	Små positive påvirkninger på Svanemølle-stranden, 2-5 timer mindre	Ingen ændringer i Svanemølle-bugten	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Med Færgehavn Nord og Svane knoppen Lille	Væsentlige ændringer inde i havnen, men ingen i bugt. Kræver afværgeforanstaltninger grundet temperaturstigninger i havnen	Negative påvirkninger på Svane-mølle-stranden, 5-25 timer ekstra	Ikke beregnet	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Med Nordhavn Nord	Væsentlige ændringer inde i havnen, men ingen i bugt. Kræver afværgeforanstaltninger grundet temperaturstigninger i havnen	Små positive påvirkninger på Svanemølle-stranden, 2-10 timer mindre	Ikke beregnet	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Med Svane knoppen Stor	Væsentlige ændringer inde i havnen, men ingen i bugt. Kræver afværgeforanstaltninger grundet temperaturstigninger i havnen	Meget store negative påvirkninger på Svanemølle-stranden, >100 timer ekstra	Ikke beregnet	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt

Ved anlæggelse af Nordhavnstunnel med en løsning, der indebærer en etapeopdeling, vil indsejlsbredden til havnen blive reduceret med ca. 50% og der vil også være en tærskel, når anden etape af bygningen af tunnelen gennemføres. Dette vil reducere vanddybden i byggetraceet til -3,5 m mod de nuværende -6,0 - -6,5 m. Ændringerne vil påvirke opholdstiden inde i havnen negativt og øge fx temperaturen i havnen, når der ikke sker den samme vandudskiftning som i dag, se Tabel 5-2. Det vil også påvirke vandkvaliteten, men dog begrænset. For badevandskvaliteten i Svanemøllebugten vil der i lighed med metoden uden etapeopdeling ske en lille forbedring, hvis erstatningshavnen bliver i Prøvestenen, mens anlæggelse af erstatningshavne i Svanemøllebugten vil medføre øget antal timer med forringet kvalitet. Dette skyldes i lighed med forholdene uden etapeopdeling, at der vil ske en nedsættelse af fortyndingen i Svanemøllebugten, når de naturlige vandbevægelser hæmmes af nye fysiske strukturer.

Afgravning af havneslam vil medføre en transport af sedimenter fra arbejdsområdet og ud i selve bugten, uanset at der kun er tale om en kort graveperiode på godt 14 dage. Der vil ske en forventet aflejring af op til 10 mm tættest ved havnen, stort set i den nuværende sejlrende, mens aflejringstykkelserne aftager længere ude i bugten til mellem 0 og 2 mm. Det suspenderede stof fra gravearbejderne vil medføre en øget koncentration i vandsøjlen med op til 7 døgn med mere end 2 mg/l og op til 4 døgn med op til 10 mg/l.

Tabel 5-2 Oversigt over effekter ved anlæggelse af Nordhavnstunnelen med en etapeopdelte metode.

Scenarium	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevandskvalitet	Sediment	Ilt og næringssalte
In-situ tunnel MED etape-opdeling				
Med opfyldning med etapeopdeling (Prøvesten-havn)	Øgning på 20-30 timer med højere temperatur. Minimale ændringer af salinitet	Overskridelsestid reduceret med 0 – 5 timer	Aflejring 0 – 10 mm uden for havn, 1-7 døgn med 2mg/l TSS og 0,25-4 døgn med 10 mg/l TSS	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Med etablering af Svaneknoppen Lille	Øgning på 10-20 timer med højere temperatur. Minimale ændringer af salinitet	Overskridelsestid øges med 5-25 timer	Aflejring 0 – 5 mm uden for havn, 1-7 døgn med 2mg/l TSS og 0,25-4 døgn med 10 mg/l TSS	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Med etablering af Færgehavn Nord	Øgning på 10-20 timer med højere temperatur. Minimale ændringer af salinitet	Overskridelsestid øges med 5-25 timer	Ikke undersøgt. Forventes lavere end Svaneknoppen Lille	Ikke undersøgt. Forventes lavere end Svaneknoppen Lille

Som et alternativ til de to ovenstående byggemetoder med og uden etapeopdelinger kunne en sænketunnel være en løsning. Ved denne løsning skal der afgraves betydelige mængder, ud over de havneslammængder, som indgår for den etapeopdelte metode, og afgravningen vil tage op til 4,5 måneder. Der skal også afgraves ud til Færgehavn Nord, hvor elementer til en sænketunnel tænkes produceret, se

Tabel 5-3. Ved gravning til sænketunnel vil de direkte sediment påvirkninger i Svanemøllebugten blive væsentligt større end ved afgravningen af havneslam og der vil være områder, som vil få en aflejringstykkelse på 50 mm, samt lange perioder med forhøjede koncentrationer af suspenderet materiale, gående fra 1-90 døgn med mere end 2 mg/l og mellem 28 og 35 døgn med mere end 10 mg/l, næsten uanset om man vælger den ene eller den anden erstatningshavns-løsning.

Badevandskvaliteten vil kun blive påvirket begrænset, hvis der udelukkende ses på de bakterielle forhold, men hvis afgravningerne sker hen over sommeren må man forvente perioder med meget uklart vand ved stranden.

Havnen vil være mere eller mindre afspærret i en periode, hvorfor det er nødvendigt at etablere en af de store erstatningshavne som Prøvestenen Stor eller kombinationen af Færgehavn Nord og Svaneknoppen Lille.

For vandtemperaturen og vandkvaliteten inde i havnen vil de negative ændringer være små.

Tabel 5-3 Oversigt over påvirkninger ved anlæggelse af en sænketunnel.

Scenarium	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevandskvalitet	Sediment	Ilt og næringssalte
Gravning til sænketunnel				
Gravning til sænketunnel, samt erstatningshavn ved Prøvestenen	Temperatur over 20 C stiger i indre havn med 5-10 timer. Minimale ændringer af salinitet	Overskridelsestid øges med 2 – 5 timer	Aflejring 0 – 50 mm uden for havn, 1-90 døgn med 2mg/l TSS og 1-35 døgn med 10 mg/l TSS	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Gravning til sænketunnel, samt Svaneknoppen Lille	Temperatur over 20 C stiger i indre havn med 5-10 timer. Minimale ændringer af salinitet	Overskridelsestid øges med 0 – 2 timer	Aflejring 0 – 50 mm uden for havn, 1-90 døgn med 2mg/l TSS og 1-28 døgn med 10 mg/l TSS	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt

Der er gennemført undersøgelser af de miljøfremmede stoffer i det sediment, som skal afgraves for hhv. en cut-and-cover løsning, som kun indebærer afgravning af havneslam og en sænketunnelløsning, som også indebærer afgravning af tertiære lag. Undersøgelserne tyder på, at det er metallerne kobber (Cu) og kviksølv (Hg), samt antifaulingstoffet Tributyltin (TBT), som er mest problematiske. Der er set på spredning af disse stoffer ud fra en kriterieoverskridelse i timer, jfr. lovgivning, samt en aflejringsmængde i bugten. Der er enkelte overskridelser af kortidskriterierne. For aflejring på bunden i Svanemøllebugten er værdierne for en sænketunnel naturligvis noget større, men tallene viser også, at den væsentligste forurening mængdemæssigt kommer fra havneslammet, hvilket også er forventeligt. Ved at vurdere værdierne i forhold til nedre og øvre aktionsniveau, som defineret i Klapvejledningen /10/, vil kravene for alle tre stoffer blive overskredet ved alle scenarierne for de områder, der ligger inde i havnen eller lige udenfor i sejlrenden. For områderne længere ude i bugten er der ikke samme overskridelser.

Tabel 5-4 Oversigt over påvirkninger fra gravearbejde i relation til miljøfremmede stoffer i Svanemøllebugten.

Scenarium	Miljøfremmede stoffer
Spredning af miljøfremmede stoffer	
Cut-and-cover tunnel (kun afgravning af havneslam) Erstatningshavn ved Prøvestenen	Kriterieoverskridelser (timer) og aflejring (mg/m ²) i bugten: Cu:0h 5-200 mg/m ² Hg:0h 0,1-10 mg/m ² TBT:0h 0,05-1 mg/m ²
Cut-and-cover tunnel (kun afgravning af havneslam) Svaneknoppen Lille	Kriterieoverskridelser (timer) og aflejring (mg/m ²) i bugten: Cu:0h 5-200 mg/m ² Hg:0h 0,1-2 mg/m ² TBT:15h 0,05-0,4 mg/m ²
Sænketunnel (havneslam plus tertiære lag) Erstatningshavn ved Prøvestenen	Kriterieoverskridelser (timer) og aflejring (mg/m ²) i bugten: Cu:0h 5->1000 mg/m ² Hg:0h 0,1->50 mg/m ² TBT:0-20h 0,05- >10 mg/m ²
Sænketunnel (havneslam plus tertiære lag) Svaneknoppen Lille	Kriterieoverskridelser (timer) og aflejring (mg/m ²) i bugten: Cu:0-5h 5->1000 mg/m ² Hg:0-5h 0,1->50 mg/m ² TBT:0-40h 0,05- >10 mg/m ²

I den permanente tilstand efter anlæggelse af havnetunnelen er der to løsningsmodeller, som adskiller sig fra hinanden. I den første vil havnen blive reetableret med et tærskel i indsejlingen til havnen på kote -3,5 m og i den anden vil der tilsvarende være en tærskel ud mod bugten, men det er foreslået at opfylde den indre del af havnen til kote -3,5 m, således at der ikke er en dyb rende mellem tærsklen og den inderste del af havnen. I den første løsning kunne der stå tungt salt vand i en lomme, mens dette ikke er tilfældet i den anden løsning.

For badevandskvaliteten vil ændringerne af havnens bundkoter betyde en lille forbedring på 2-5 timer, idet havnen i højere grad vil forsinke udledning af havvand blandet med regnvandsbetingede udledninger. For vandkvaliteten i havnen vil begge løsninger give marginalt forringede forhold for ilt og næringssalte, mens perioder med temperaturer over 20 °C vil øges med 2-20 timer.

Tabel 5-5 Oversigt over påvirkningerne i den permanente situation

Scenarium	Vandskifte, temperatur og salinitet	Badevandskvalitet	Ilt og næringssalte
Permanente påvirkninger			
Tunnel etableret og ny indsejlskote på -3,5 m (tærskel)	Forøget tid med temperatur over 20°C: 2-20 timer. Salinitetsændringer meget små	Overskridelsestid forbedret med 0 – 2 timer	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt
Indsejling og havnebassin med kote -3,5m (tærskel og opfyld)	Forøget tid med temperatur over 20°C: 2-20 timer. Salinitetsændringer meget små	Overskridelsestid forbedret med 5 –10 timer	Svagt forværrede ilt- og næringssalt forhold i havn, ingen ændringer i bugt

De lokale påvirkninger ved at etablere enten Prøvesten Lille eller Stor erstatningshavn er vurderet i nedenstående Tabel 5-6. I de modellerede scenarier er der meget begrænsede påvirkninger fra sedimentspredning og påvirkninger af lyssvækkelse fra anlægsarbejdet, hvilket nok primært skyldes, at det er et meget lavvandet område, som også ligger beskyttet strømmæssigt set, hvorfor spredning af spild fra gravearbejderne er begrænset. Effekterne på lyssvækkelse er også meget begrænsede. Da området ligger lige nord for Amager Strandpark er det også vurderet, at de meget begrænsede perioder med mere end 2 mg/l TSS af timer til få dages omfang næppe vil påvirke bademuligheder i Strandparken, men det bør overvejes, om anlægsarbejderne til erstatningshavne ved Prøvestenen kan lægges uden for den officielle badesæson om sommeren, uanset at der sker badning hele året på badeanstalten Helgoland.

Tabel 5-6 Oversigt over påvirkninger fra gravearbejde i relation til sedimentspredning og lysdæmpning ved Prøvestenen.

Scenarium	Sediment	Lysdæmpning
Gravning til erstatningshavne		
Prøvestenen Lille	Aflejring 0-2 mm uden for selve gravezonen, 0-4 døgn med 2 mg/l TSS og 1-3 døgn med 10 mg/l TSS	3-4 døgn med forøget lyssvækkelse i begrænsede områder
Prøvestenen Stor	Aflejring 0-5 mm uden for selve gravezonen, 1-12 døgn med 2 mg/l TSS og 1-6 døgn med 10 mg/l TSS	4-6 døgn med forøget lyssvækkelse i begrænsede områder

Samlet set vil bygning af en Nordhavnstunnel i byggefasen medføre begrænsede påvirkninger i selve havnen, bortset fra længere perioder med over 20 °C vand, hvilket kan påvirke køling af Svanemølleværket. Her kan forskellige afværgeforanstaltninger afbøde de værste påvirkninger på temperaturen. Hvad angår badevandskvaliteten på stranden i bugten vil alle løsninger som indebærer etablering af erstatningshavne i selve bugten medføre et øget antal timer med overskridelser af badevandskriterierne, gående fra få timer til mere end 100 timer, sidstnævnte kun hvis Svaneknoppen Stor opføres. For sidstnævnte gælder, at den for det første vil fjerne selve stranden og den mulige strand, som kunne lægges på nordsiden af en ny pier vil være særdeles kraftigt påvirket af udledninger stik nord for en ny strand.

Anlægges erstatningshavnene ved Prøvestenen vil gravearbejdet forventeligt kun medføre kortvarig forøgelse i sedimentindholdet i vandet og påvirkningen ud fra et badevandsmæssigt synspunkt vil være meget begrænset.

Vandkvaliteten i selve Svanemøllebugten vil kun i begrænset grad blive påvirket af de forskellige løsningsmodeller. Dog vil udgravning til en sænketunnel i lange perioder påvirke koncentrationen af suspenderet materiale i en sådan grad, at det kunne påvirke væksten af ålegræs i bugten.

I den permanente situation er der kun meget begrænsede påvirkninger i havnen og badevandskvaliteten i bugten forventes forbedret marginalt, da opholdstiden i havnen øges og derved reduceres hastigheden hvormed regnvandsbetingede udledninger kommer ud i selve Svanemøllebugten.

6 Referencer

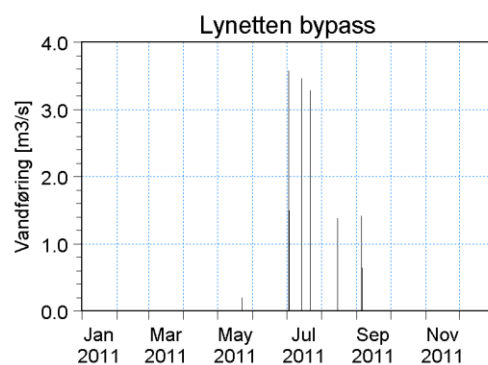
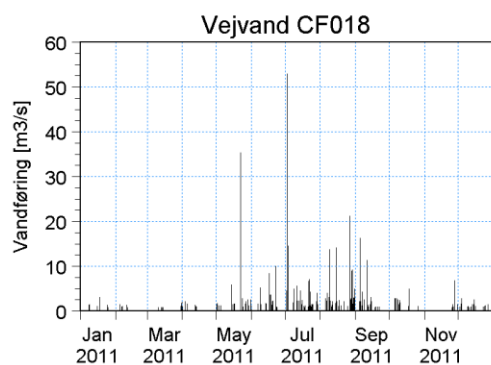
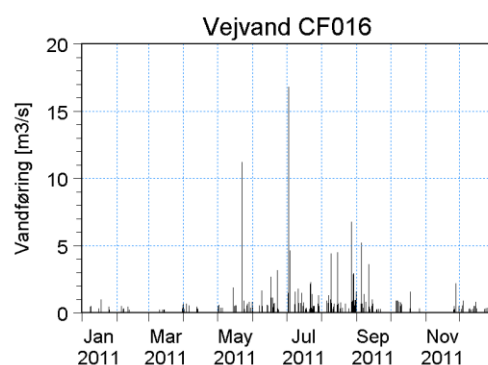
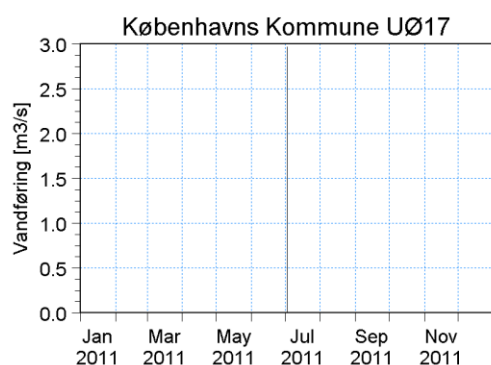
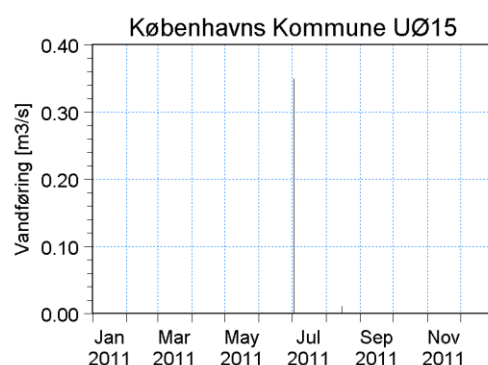
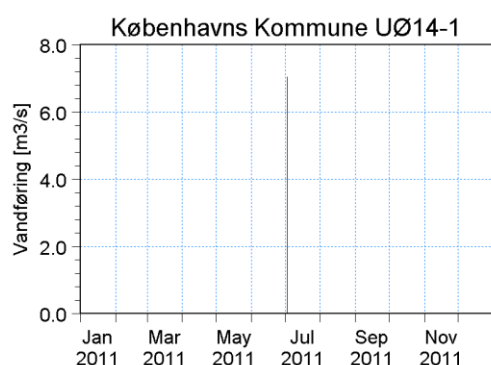
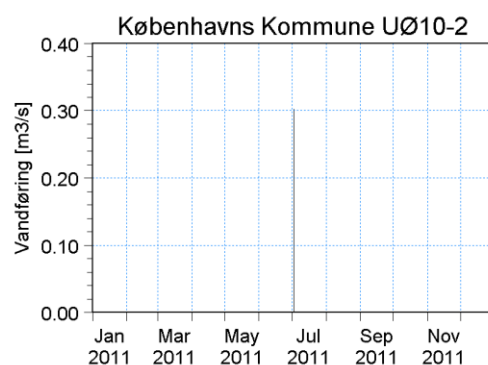
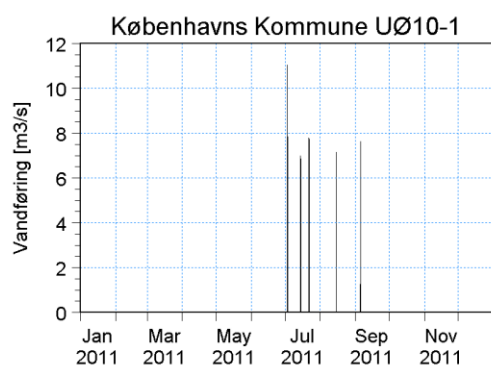
- /1/ Schønherr (2015): Nordhavnstunnel. Erstatningshavne, indledende programmering og skitsering.
- /2/ Miljøstyrelsen, Miljøprojekt 1101, 2006. Badevandsovervågning - Vurdering af badevandsprofiler og varslingsystemer. Anders Erichsen, Hanne Kaas, Jesper Dannisøe, Ole Mark og Claus Jørgensen
- /3/ DHI, »MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic Module, User Guide«, MIKE by DHI, Hørsholm, Denmark, 2014.
- /4/ DHI, »MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation«, MIKE by DHI, Hørsholm, Denmark, 2014.
- /5/ DHI, »ECO Lab, Short Scientific Description«, MIKE by DHI, Hørsholm, Denmark, 2014.
- /6/ DHI, »ECO Lab, 1D, 2D and 3D Water Quality and Ecological Modelling, User Guide«, MIKE by DHI, Hørsholm, Denmark, 2014.
- /7/ DHI, »DHI Eutrophication Model 2, ECO Lab Template, Scientific Description« MIKE by DHI, Hørsholm, Denmark, 2014.
- /8/ CIRIA C547, »Scoping the assesment of sediment plumes from dredging«, London 2000.
- /9/ Miljøministeriet, BEK nr. 1339 af 21/12/2011, »Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet«, Udskriftsdato: 29.april 2015.
- /10/ By- og Landskabsstyrelsen: Vejledning nr. 9702, Dumpning af optaget havbundsmaterialer – klapning, 20. oktober 2008.

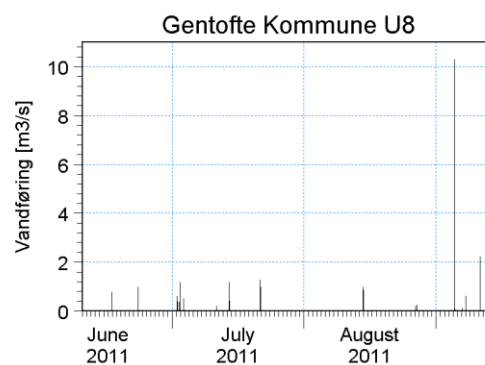
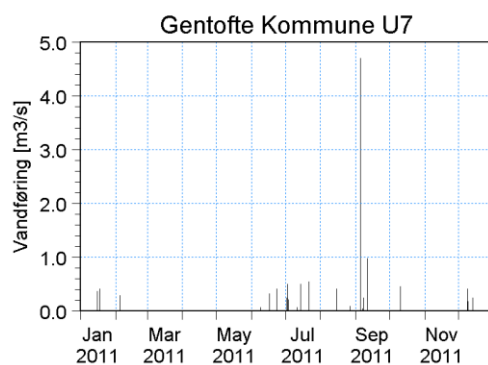
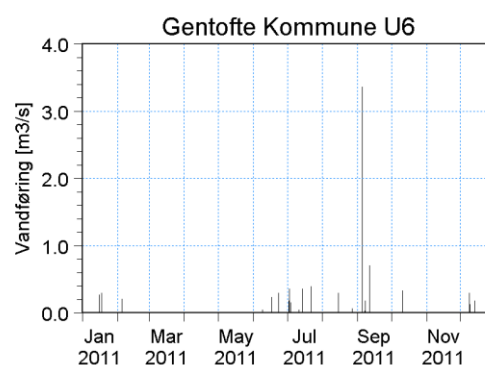
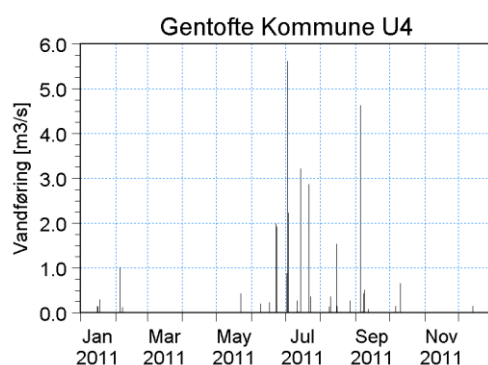
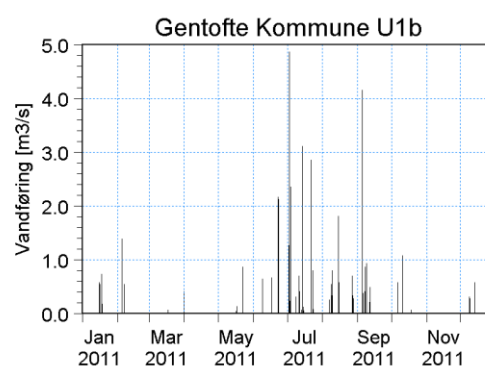
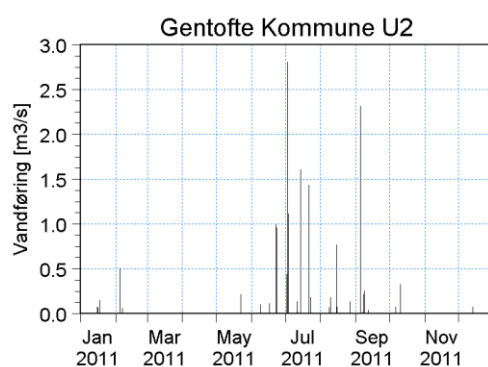
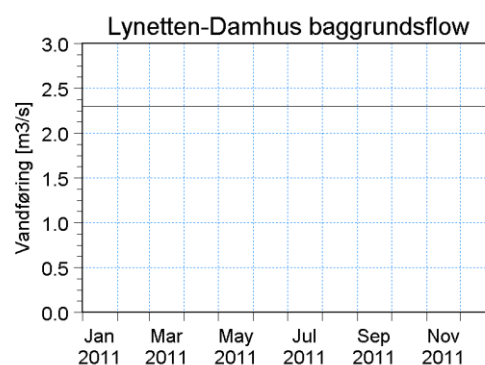
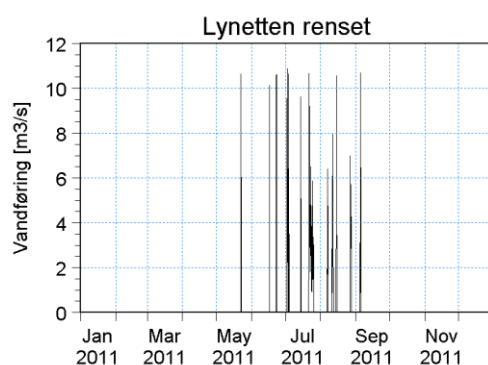
BILAG

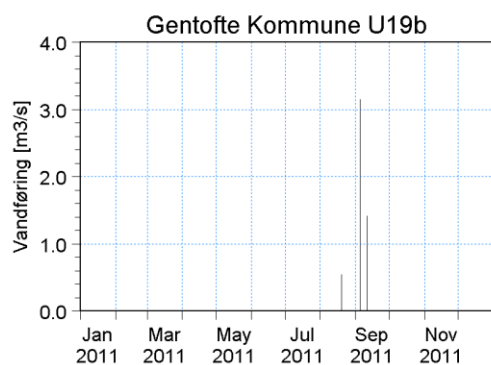
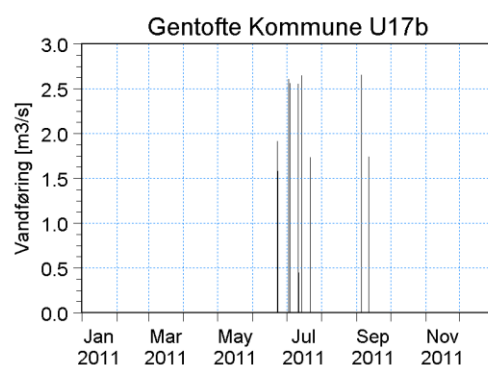
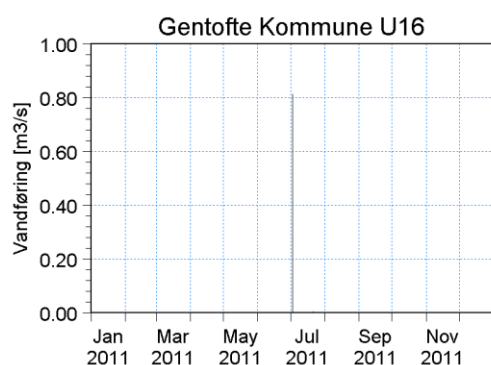
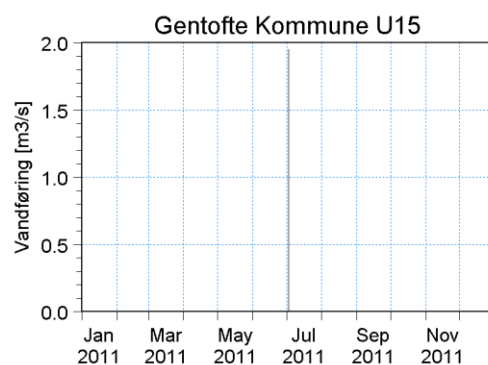
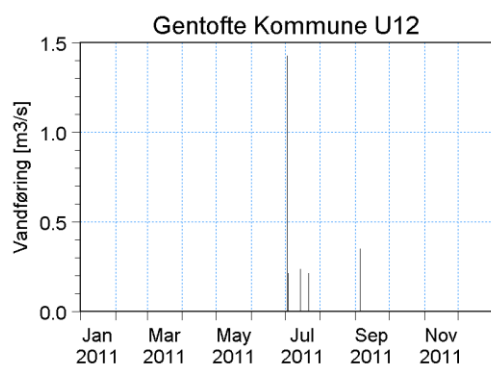
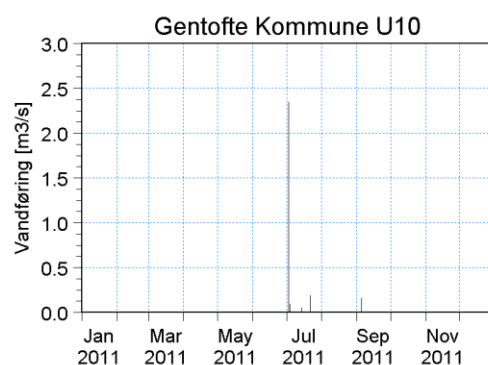
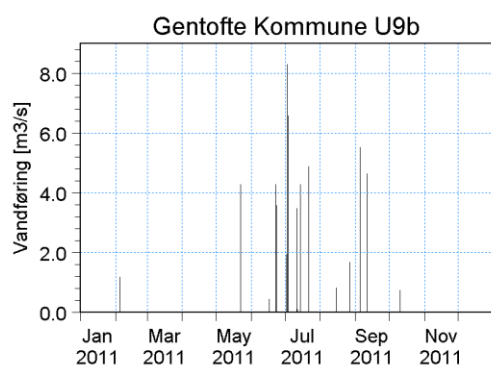
BILAG A – Udledninger

Regnvandsbetingede udledninger 2011

A Regnbetingede udledninger, årstidsserier







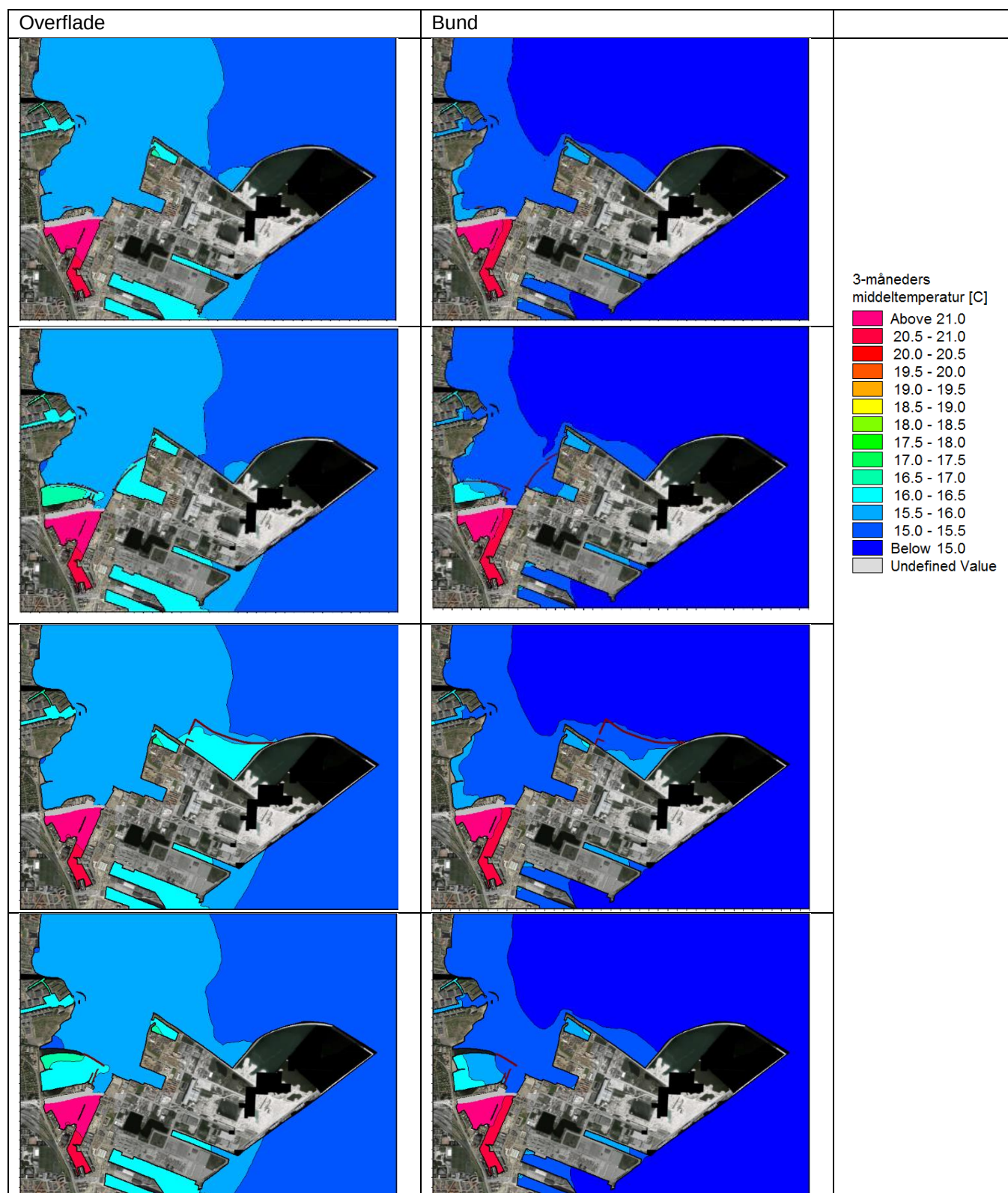
BILAG B – Resultater

Supplerende resultater

B Yderligere plots

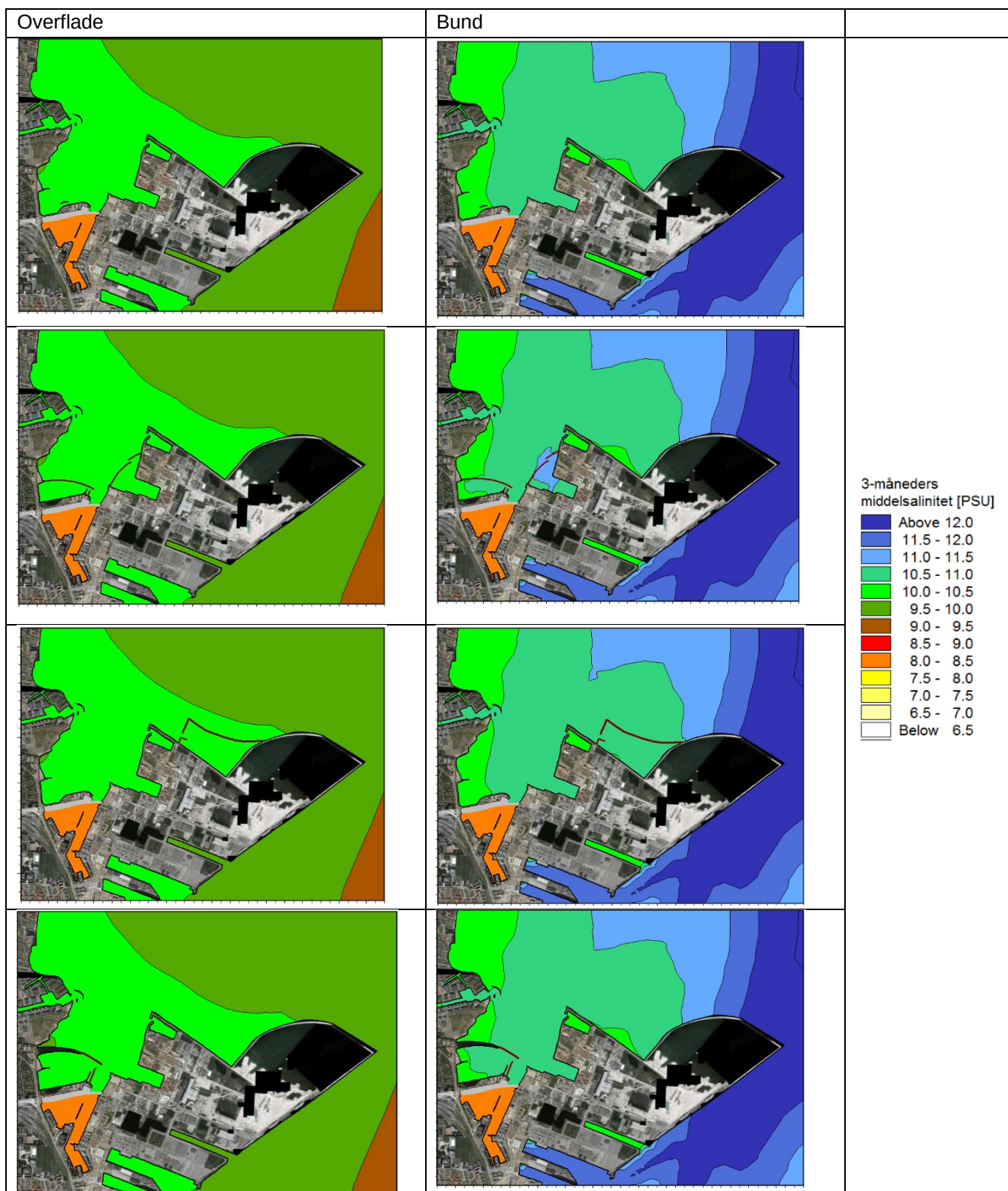
B.1.1.1 Temperatursændringer, uden etapeopdeling

Dette afsnit refererer til afsnit 3.2.2: 3-måneders middeltemperatur: Lukket havn: Referencetilstand, Kombi (Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord), Nordhavn Nord og Svaneknoppen Stor



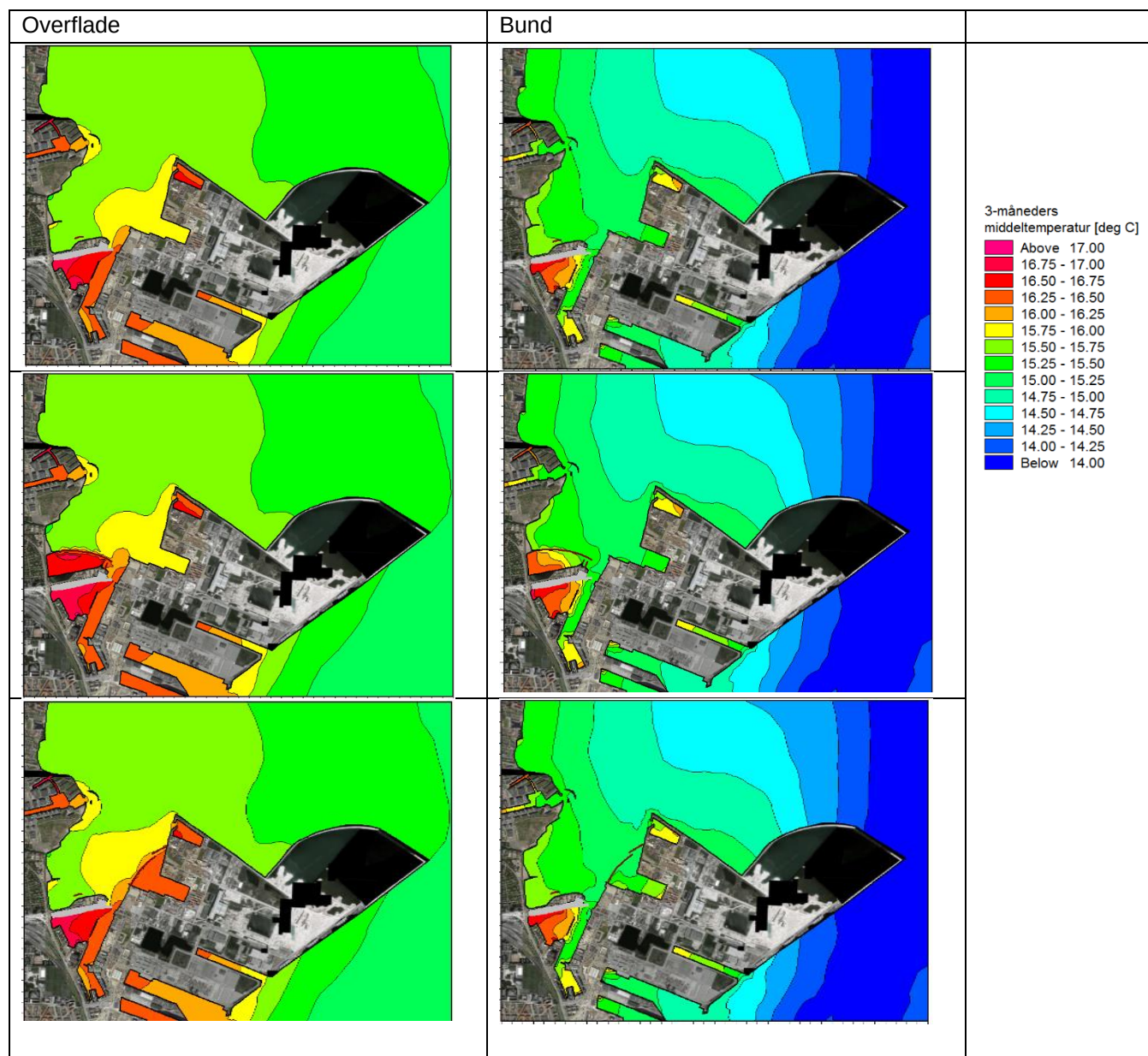
B.1.1.2 Salinitetsændringer uden etapeopdeling

Dette afsnit refererer til afsnit 3.2.3: 3-måneders middelsalinitet: Lukket havn: Referencetilstand, Kombi (Svaneknoppen Lille og Færgehavn Nord), Nordhavn Nord og Svaneknoppen Stor

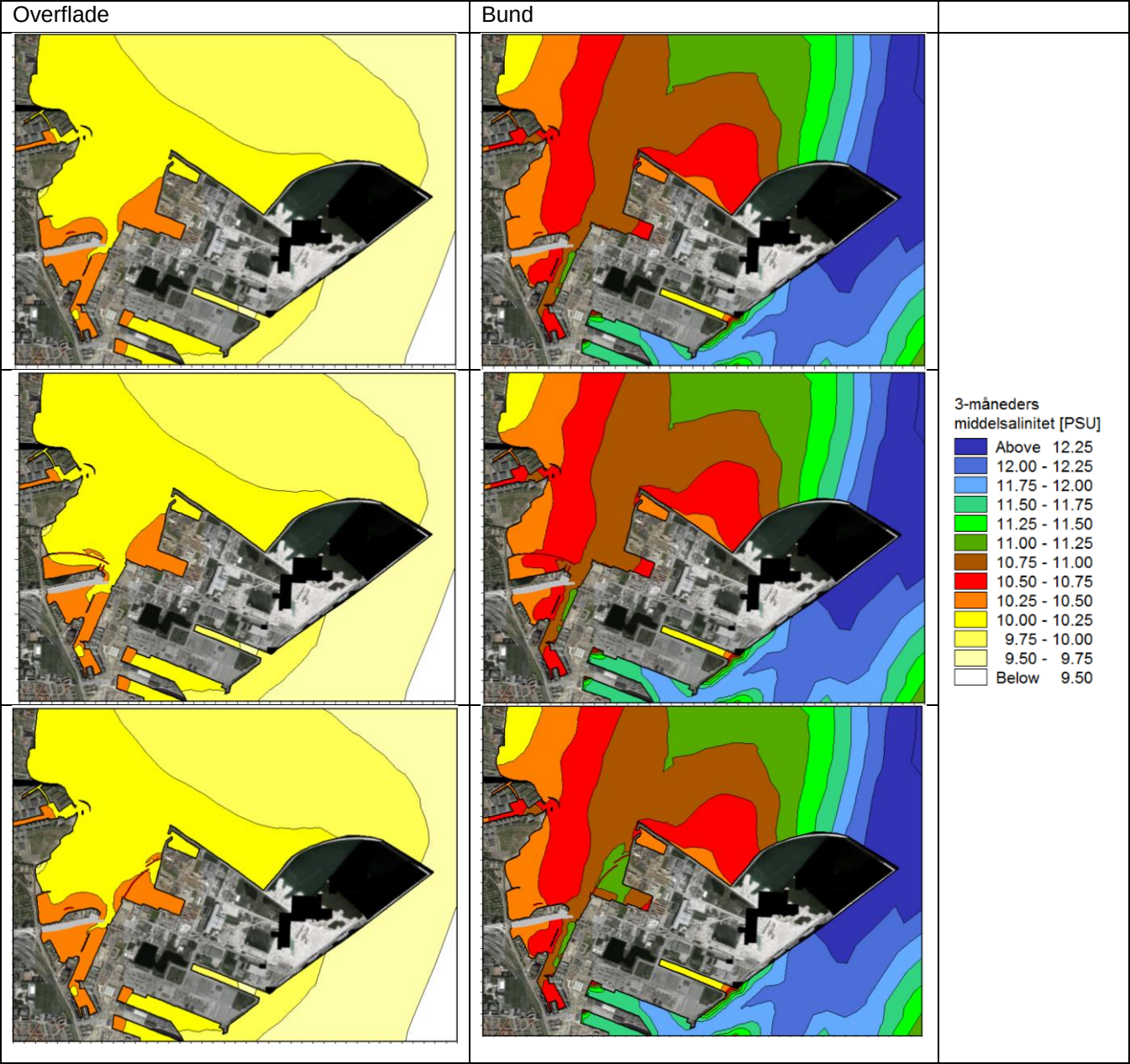


B.1.1.3 Temperatursændringer, med etapeopdeling

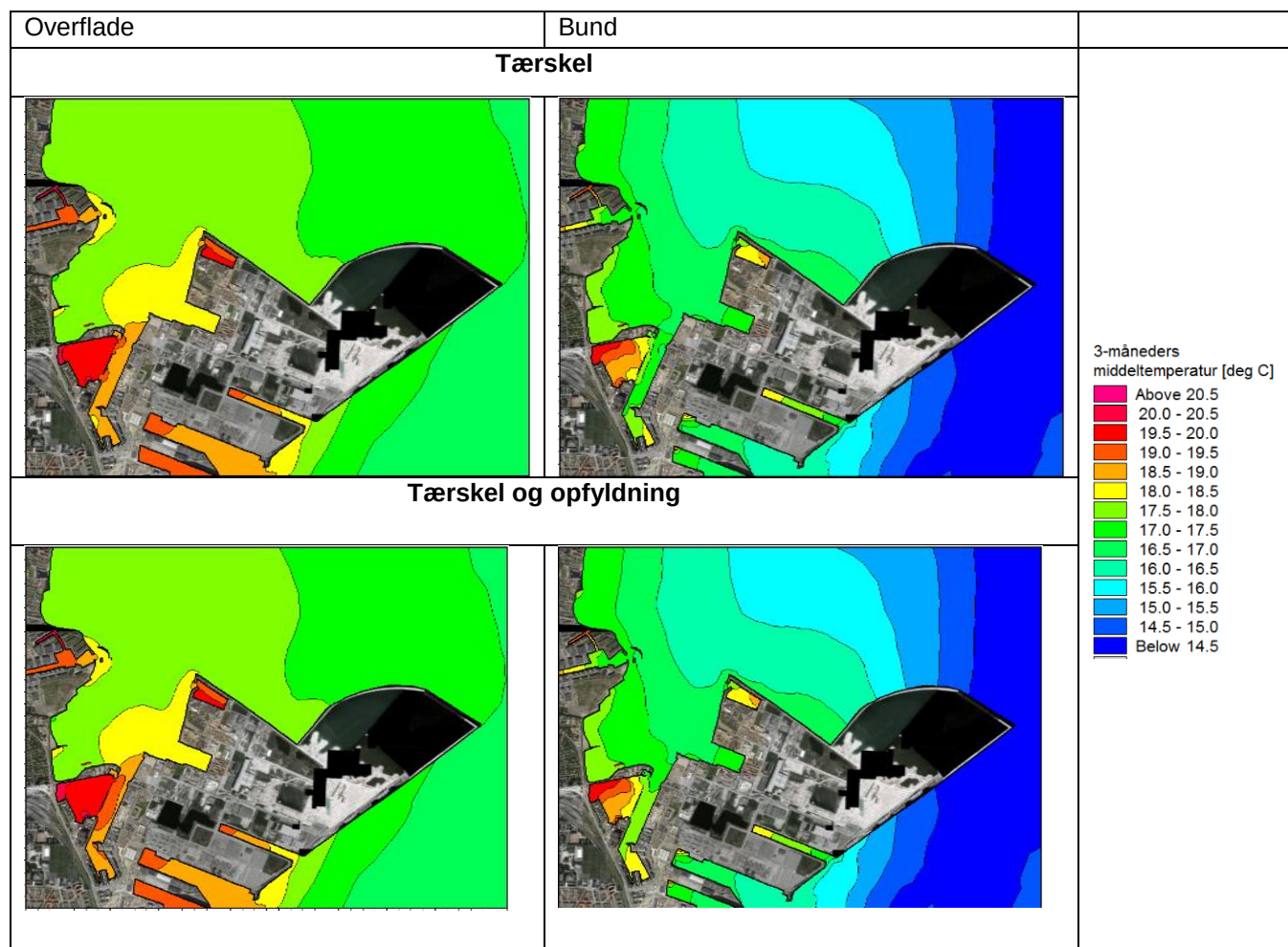
3-måneders middeltemperatur i modelområdet.

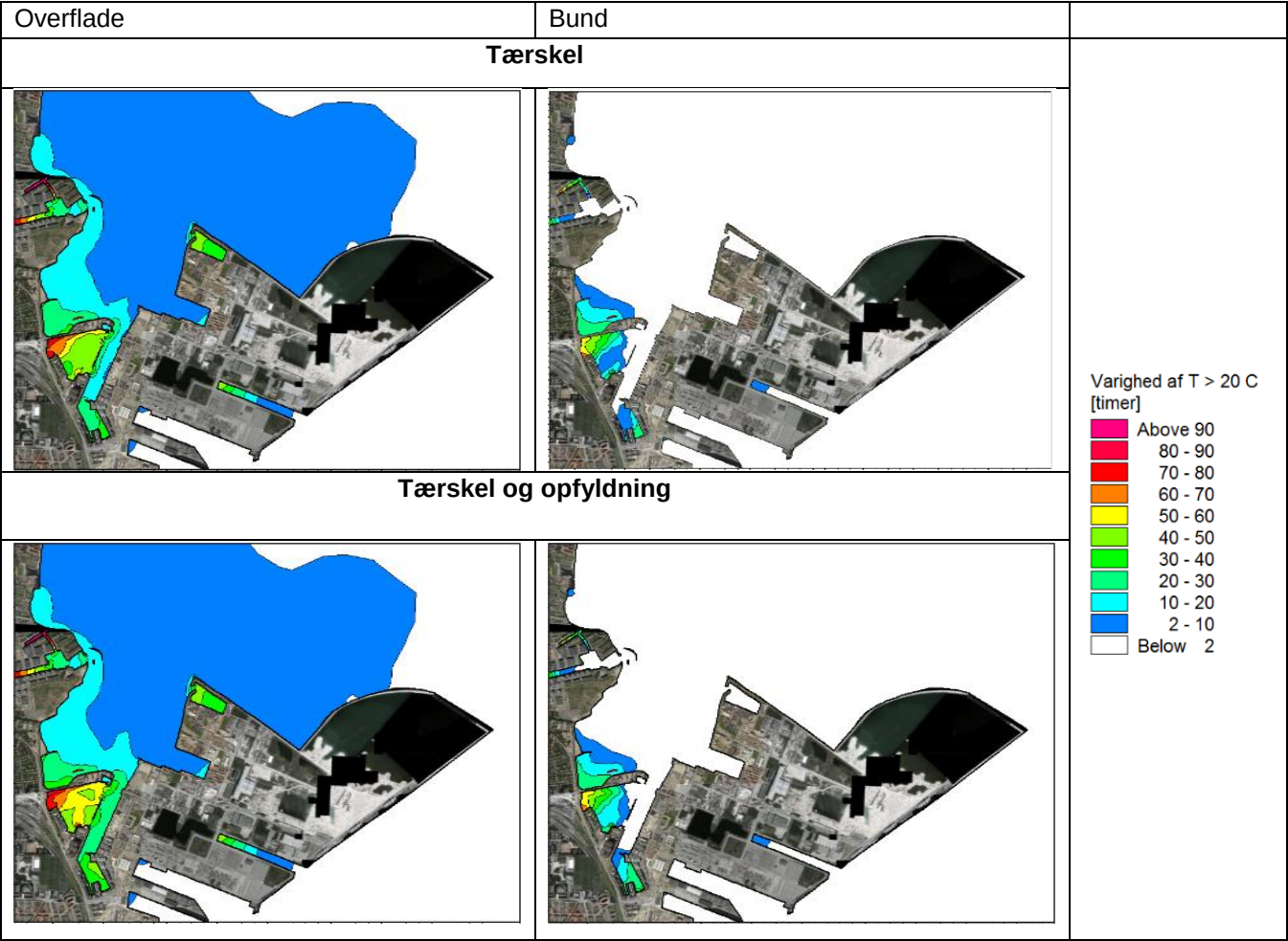


B.1.1.4 Salinitetsændringer med etapeopdeling

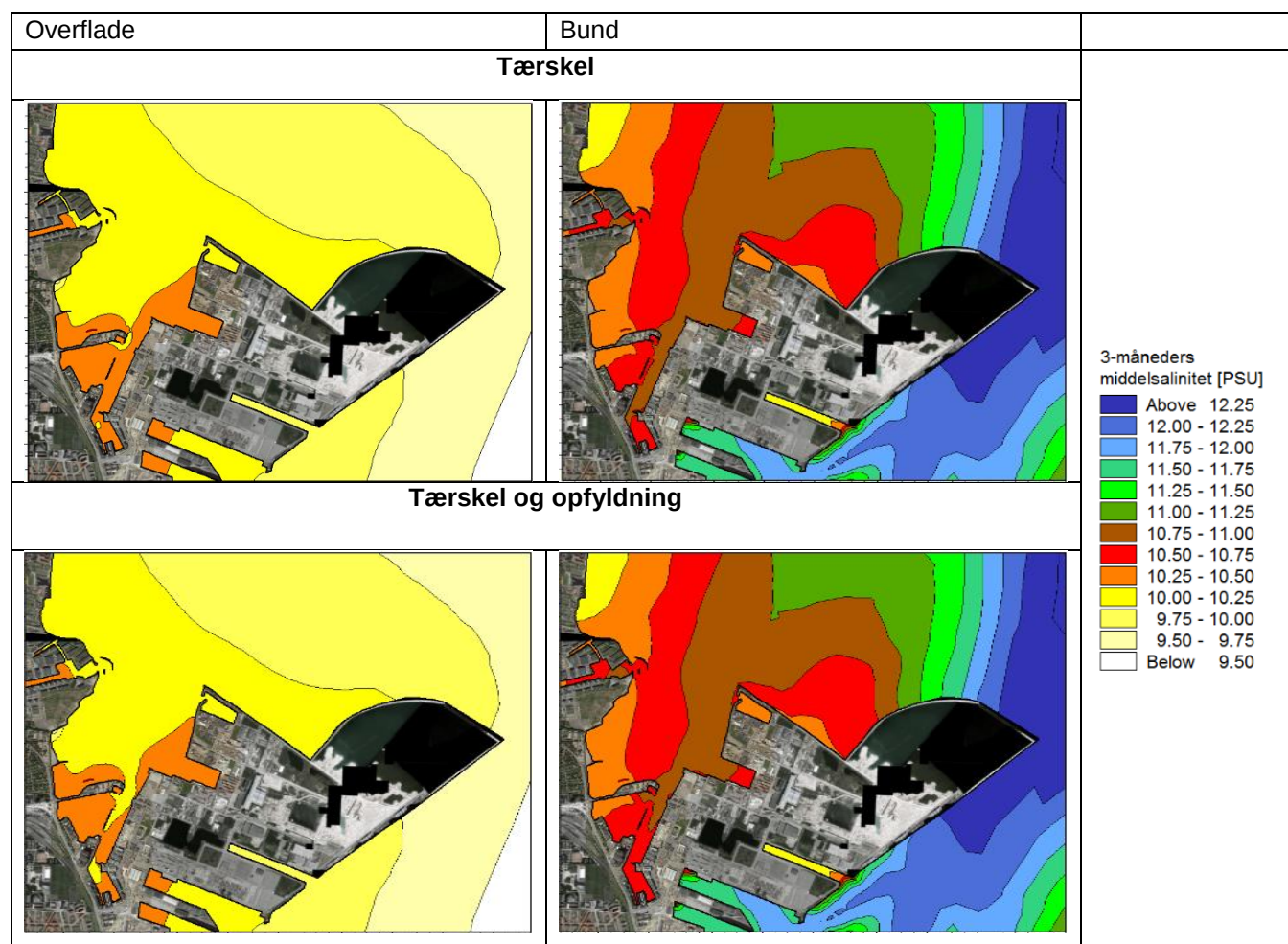


B.1.1.5 Temperaturændringer i den permanente situation





B.1.1.6 Salinitetsændringer i den permanente situation

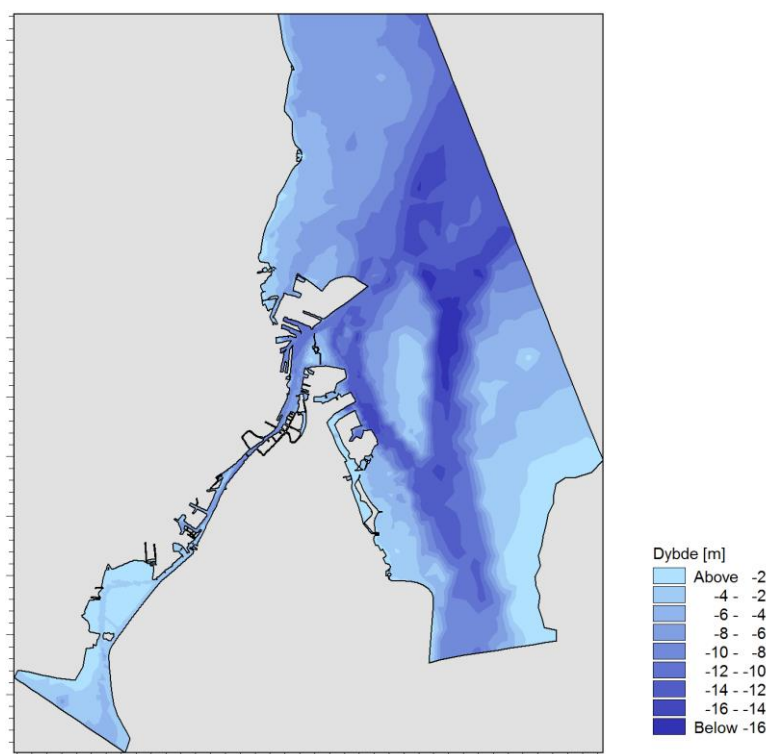


BILAG C – Modelkalibrering

C Modelopsætning

C.1 HD modellen

Modellen er baseret på den eksisterende badevandsmodel for Københavns Havn, som er modelgrundlaget for den operationelle badevandsvarsling (kbh.badevand.dk). Modellen fokuserer på Københavns Havn, men dækker også en mindre del af Øresund samt Kalveboderne og Svanemøllebugten. Modelopsætningen indeholder de nyeste ændringer i havneområdet, såsom udvidelsen af Nordhavn og den forbedrede beskrivelse af slusen.



Figur C-6-1 Modelbatymetri for Københavns Havn modellen

Den vertikale opløsning i modellen er sat til 5 lag (sigma koordinater med jævn fordeling af lagene over dybden).

HD modellen er baseret på DHIs 3-dimensionale hydrauliske model MIKE 3 FM, /3/ og /4/.

C.1.1 Rand- og meteorologidata

På de åbne rande mod Øresund og Køge Bugt pålægges HD modellen randdata af salt, temperatur og vandstand. Som randdata anvendes modeldata fra andre større modeller kørt i DHI Vandudsigten.

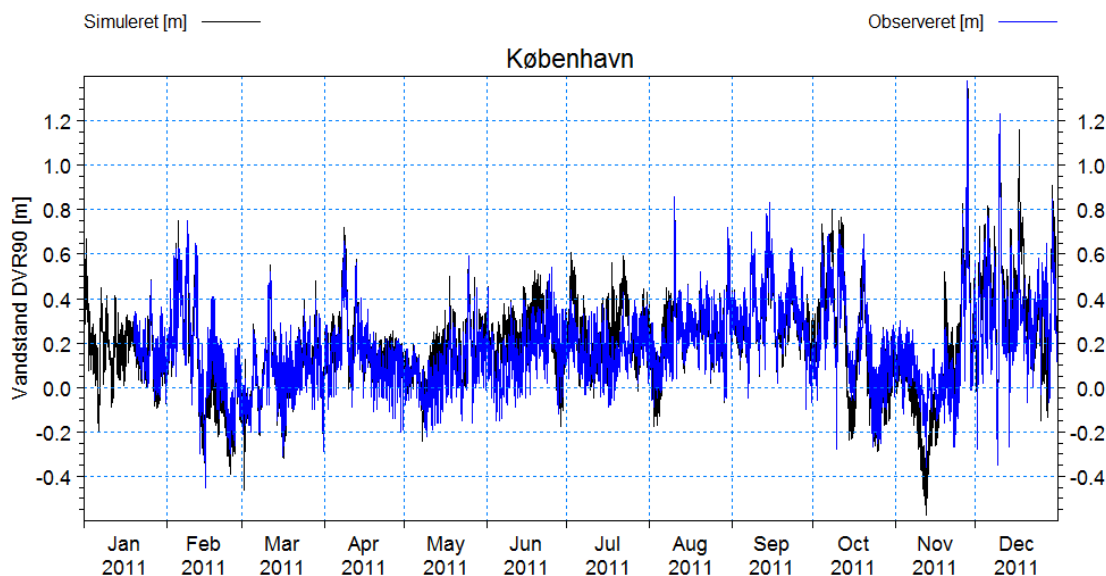
Ved havoverfladen forceres HD modellen med meteorologiske modeldata fra StormGeo (stormgeo.com). I forceringen indgår følgende parametre; vind, lufttemperatur, lufttryk, nedbør, skydække og luftfugtighed.

C.1.2 Kalibrering

Der er ikke foretaget nogen egentlig kalibrering af modellen, idet modelstudiet er baseret på en modelopsætning, som har været anvendt i adskillige studier af forhold i Københavns Havn. Desuden er der ikke brugbare hydrografidata til rådighed i Svanemøllebugten, som ville kunne bruges til en kalibrering af de lokale forhold. I stedet er der lavet en verifikation af modellen ved at sammenligne målt og modelleret salt og vandtemperatur igennem vandsøjlen i to målestationer, samt målt og modelleret vandstand i København. Desuden er der lavet sensitivitetstest af den vertikale dispersions betydning for opblanding af salt, temperatur og opholdstider.

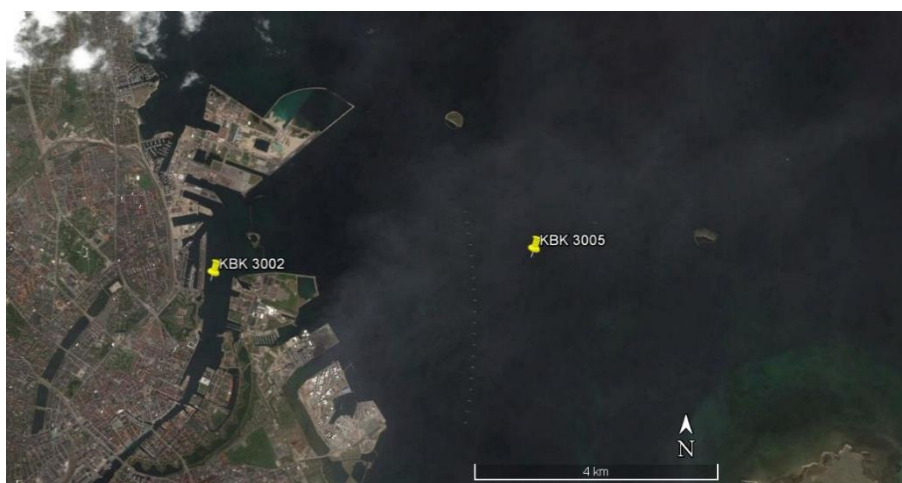
Modellen i dette studier er primært tilpasset, således at interesseområdet (Svanemøllehavnen, Kalkbrænderiløbet og Svanemøllebugten) er væsentlig finere opløst end i den operationelle varslingsmodel for badevand. Endvidere er de forskellige løsningsforslag indbygget i de benyttede beregningsnet og batymetrier.

Vandstanden i København er primært påvirket af en svag tidevandsvariation overlejret af vandsandsvariationer fremkaldt af vejsystemspassager (lavtryk). De kraftigste vandstandsvariationer forekommer derfor typisk i vinterhalvåret, som det også fremgår af Figur C-6-2 nedenfor. Den valgte modelperiode på tre måneder i scenariekørslerne sikrer derfor, at denne dynamik er tilstrækkelig repræsenteret.

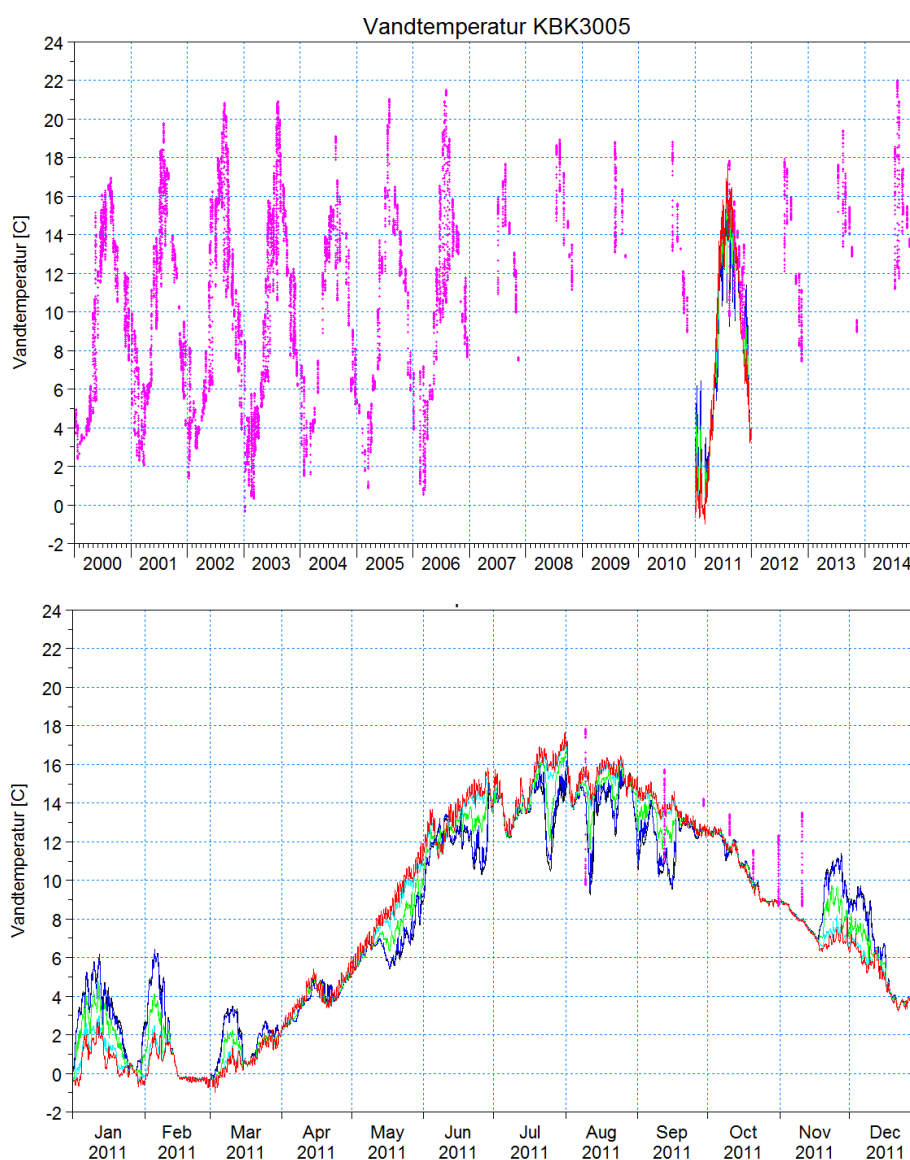


Figur C-6-2 Sammenligning af målte og simulerede vandstande for Københavns Havn.

Salt og temperaturvariationer er verificeret ved at sammenligne med data fra målestationerne KBK 3002 og KBK 3005. Deres placeringer er indikeret på kortet i Figur C-6-3. Vanddybden ved KBK 3002 er cirka 9,5 m og 17,5 m ved KBK 3005. Salt og temperaturmålingerne er taget for hver 20 cm over vertikalen. Måleserien for KBK 3002 dækker kun perioden 2000-2006 (begge år inkluderet), og kan derfor kun bruges til at verificere at modellen har den rigtige sæsonvariation og trends i forhold til modelleringsåret 2011. Figur C-6-4 og Figur C-6-5 viser målte og modellerede vandtemperaturer i de to stationer. Det ses at modellen fanger den observerede årsvariation og variationen over vanddybden.

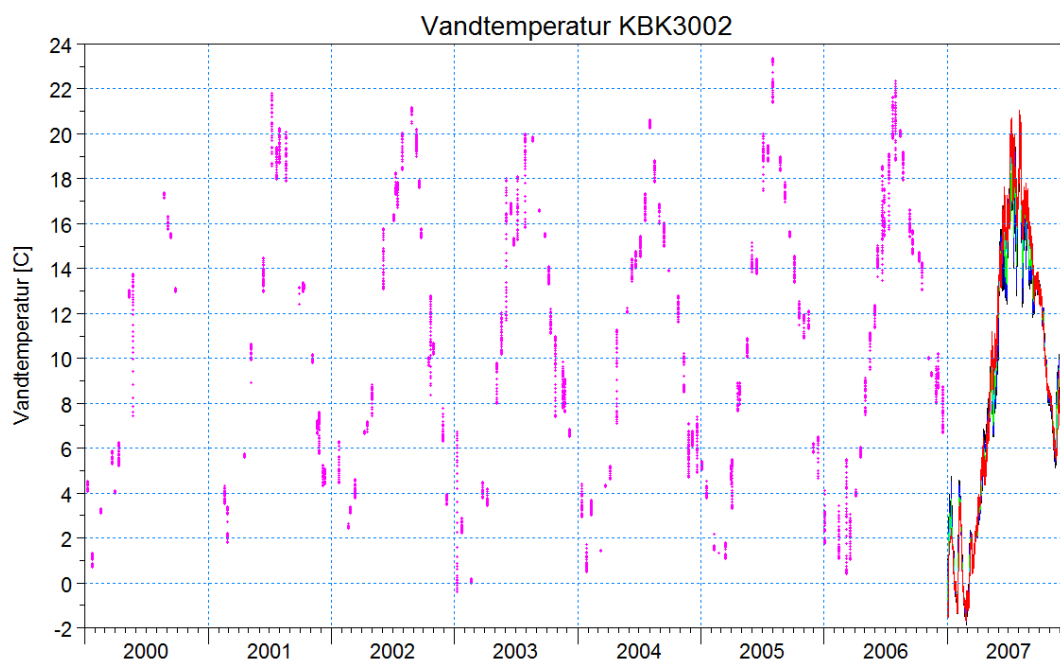


Figur C-6-3 Målestationer for salt og temperatur

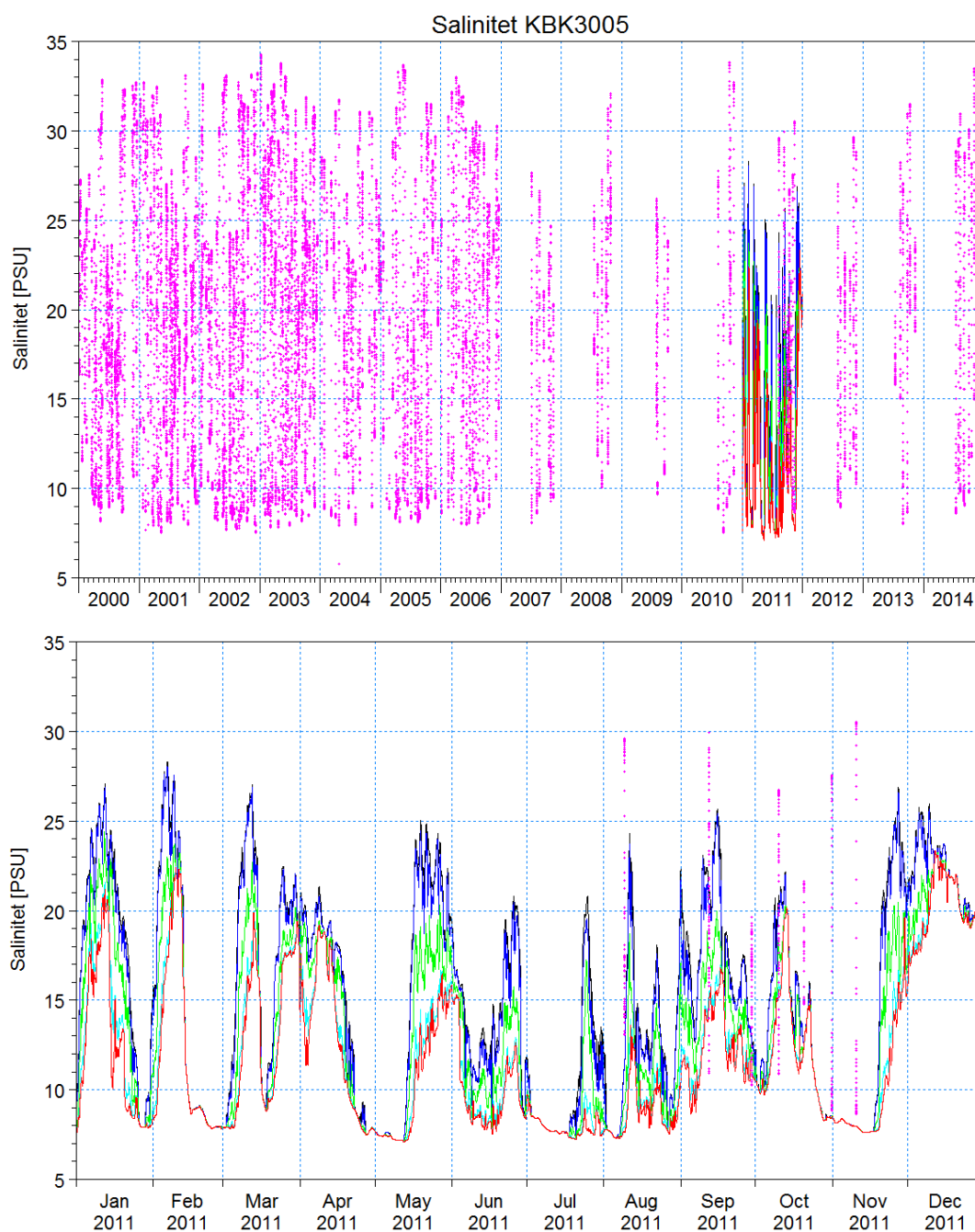


Figur C-6-4 Sammenligning af modelleret vandtemperatur og historisk måletidsserie for station KBK 3005. Lyserøde punkter er profilmålinger, de fem kuntuerte kurver er temperaturen udtrukket fra de fem lag i vertikal retning i modellen.

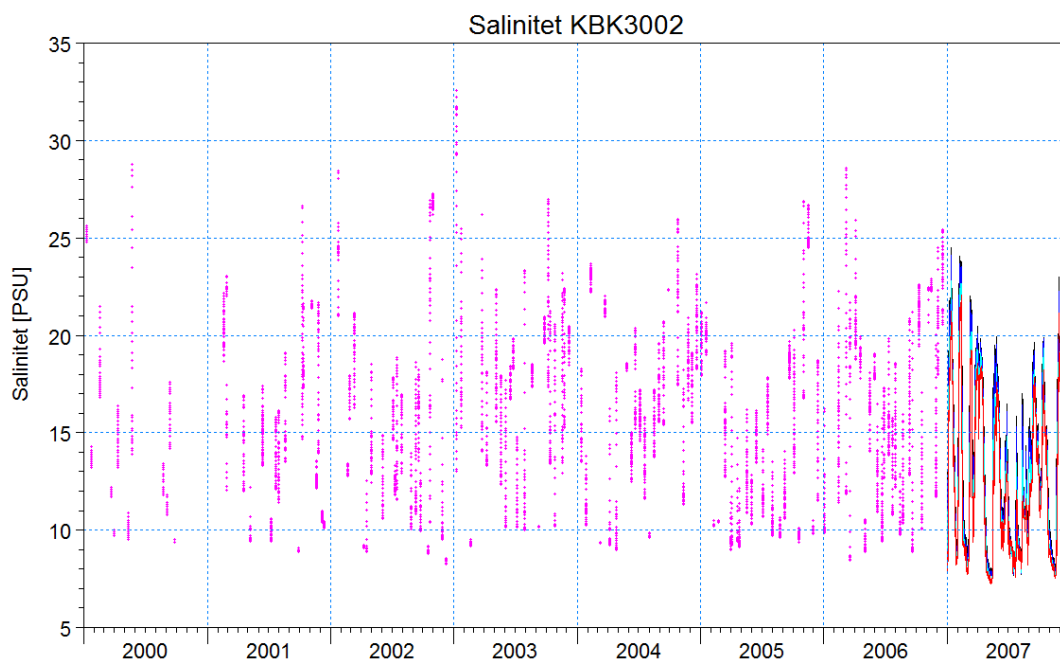
Figur C-6-6 og Figur C-6-7 viser den målt og modelleret salinitet i de to stationer. Det ses at modellen fanger sæsonvariationen i salinitet og variationen over dybden med rimelig nøjagtighed. At den modellerede maksimale salinitet er lidt lavere end de observerede hænger sammen med at der kun benytte fem lag vertikalt i modellen. Den lavere salinitet i sommerhalvåret relaterer til en forøget afstrømning af regnvand og svagere saltvandsindbrud som følge af mere rolige vejrforhold.



Figur C-6-5 Sammenligning af modelleret vandtemperatur og historisk måletidsserie for station KBK 3002. Modellerede vandtemperaturer er flyttet fra 2011 til 2007. Lyserøde punkter er målinger, de fem kontinuerede kurver er temperaturen udtrykt fra de fem lag i modellen.



Figur C-6-6 Sammenligning af modelleret salinitet og historisk måletidsserie for station KBK 3005. Lyserøde punkter er målinger, de fem kontinuerede kurver er saliniteten udtrukket fra de fem lag i modellen.

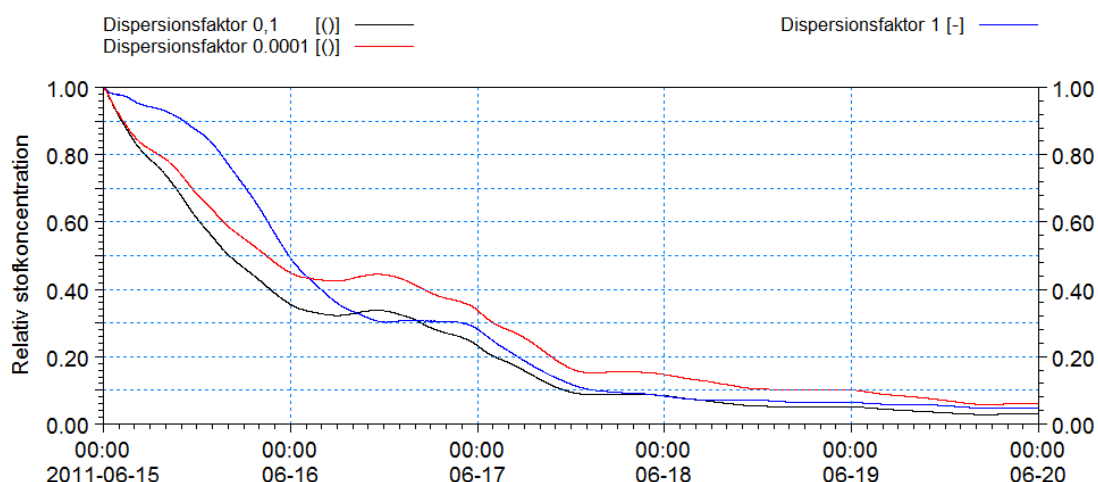


Figur C-6-7 Sammenligning af modelleret salinitet og historisk måletidsserie for station KBK 3002. Modellerede salinitet er flyttet fra 2011 til 2007. Lysrøde punkter er målinger, de fem kontinuerlige kurver er saliniteten udtrykt fra de fem lag i modellen.

C.1.3 Sensitivitet

Modelresultaterne er til en vis grad følsomme overfor hvordan en række parametre er fastsat i modellen. En ændret parameterkonfiguration vil derfor resultere i lidt ændrede absolutte værdier (vandstand, strømhastigheder, salinitet og temperatur), men næppe i nogen trends. Det vigtigste i et VVM-studie er derfor at sikre at alle modelberegninger udføres på samme konsistente grundlag (samme parameterkonfiguration og ydre påvirkning), idet de relative påvirkninger og identificerede forskelle, herved vil være behæftet med en meget lille usikkerhed. En parameter som har en særlig betydning for modelresultaterne er den vertikale dispersionsfaktor for salt og temperatur, idet den er styrende for opblandingen. I den benyttede modelopsætning er dispersionsfaktoren sat til 0,1. Dette skal ses i forhold til et fluid uden lagdeling, hvor dispersionsfaktoren vil være 1. Jo mere der skues ned for dispersionsfaktoren, jo kraftige en lagdeling vil der kunne opretholdes (variation over dybden). Ændringer som kan have lidt betydning for strømningscirkulationen i Kalkbrænderiløbet og Svanemøllehavnen. I den første sensitivitetsanalyse er der derfor set på hvilken betydning den vertikale dispersionsfaktor har for opholdstiden.

Følgende tre dispersionsfaktorer er undersøgt 1, 0,1 og 0,0001. Af Figur C-6-8 fremgår det at forløbet af kurven med dispersionsfaktor 0,1 og 0,0001 er ens. Den primære forskel er den længere tidsskala for fortyndingen, når dispersionsfaktoren er 0,0001. Her findes nemlig at opholdstiden $T_{90\%}$ bliver cirka 1,5 døgn længere end for de to øvrige. Fælles for dem alle er dog at opholdstiden er af så kort varighed, at man ikke vil forvente problemer med vandkvalitet i nogen af tilfældene.

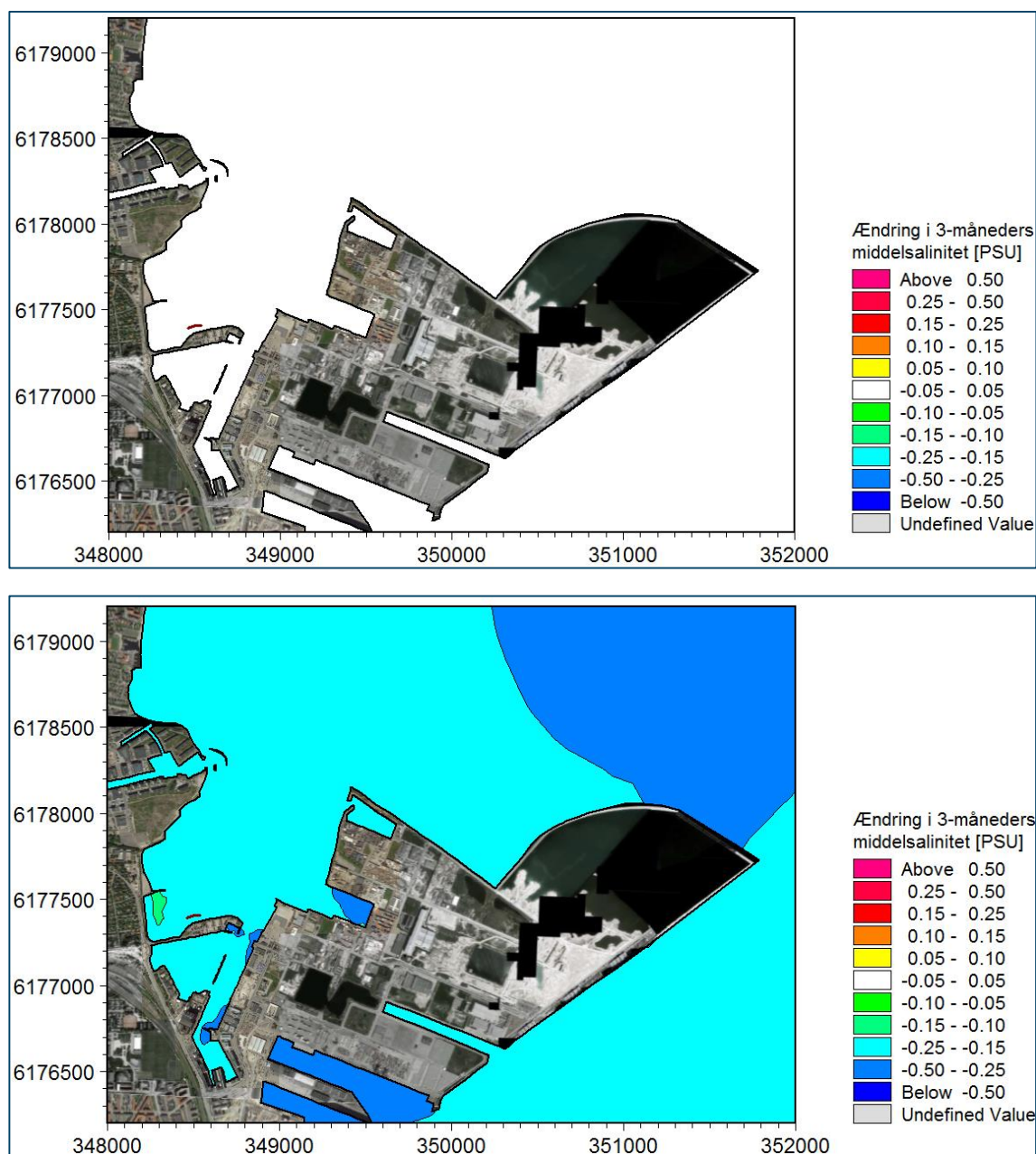


Figur C-6-8 Dispersionsfaktorens betydning for fortynding af et udlagt sporstof i Svanemøllehavnen.

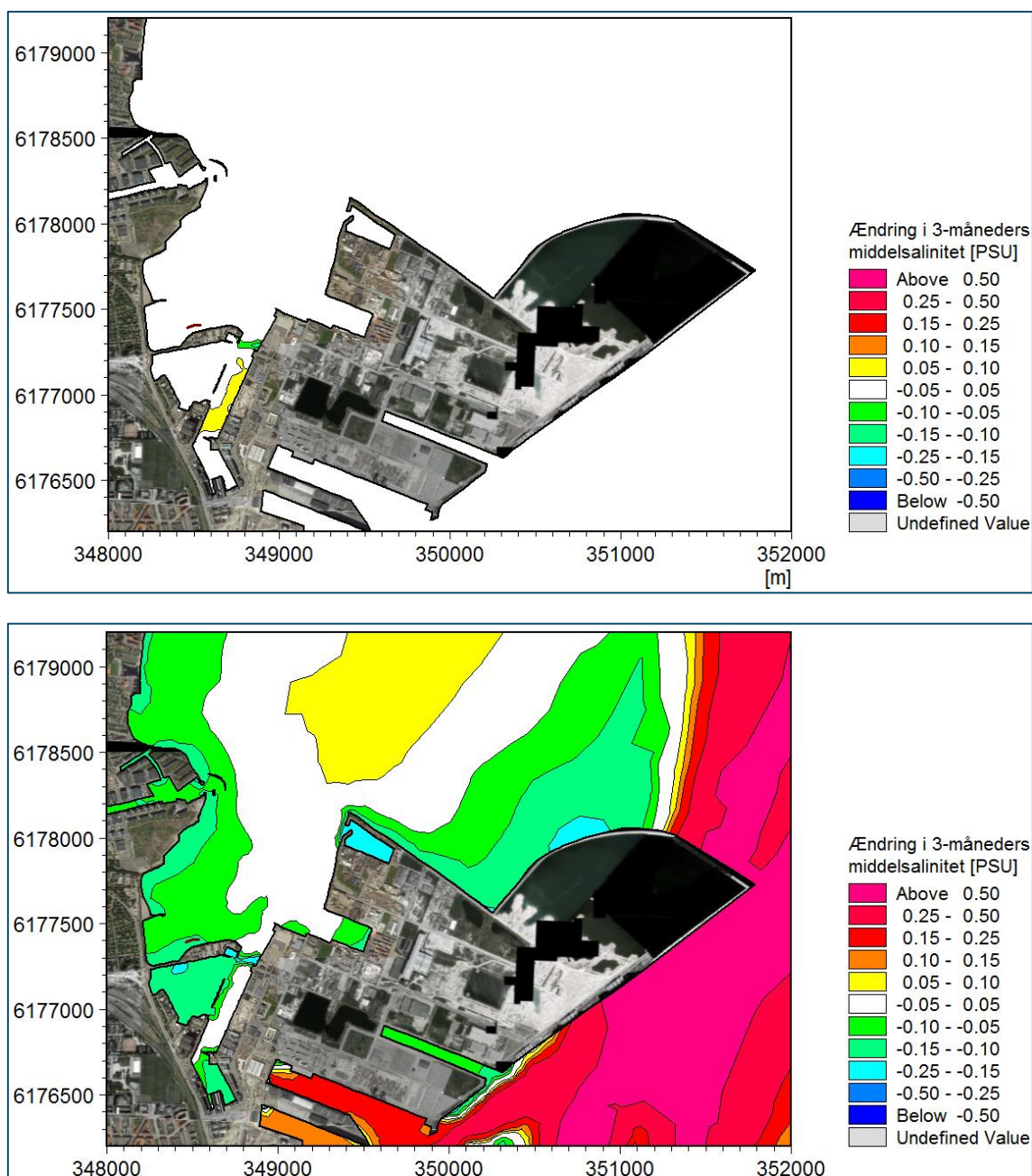
Brug af dispersionsfaktoren 0,1 medfører en kraftigere fortynding end for 0,0001. Miljøpåvirkningen fra spredningen af et gravespild i Svanemøllehavnen og Kalkbrænderiløbet vil derfor blive vurderet kraftigere end hvis den lave dispersionsfaktor var benyttet. Samme gør sig gældende for spredningen af miljøfarlige stoffer frigjort i forbindelse med gravearbejdet.

En bekymring går på om der vil kunne danne sig en saltvandslomme i den indre del af Kalkbrænderiløbet, som følge af den tærskel havnetunnelen vil danne henover indsejlingen. I dette tilfælde kan det umiddelbart vurderes som værende ikke konservativt at bruge dispersionsfaktoren 0,1. Der er derfor lavet en parallelberegning til at vurdere, hvor meget forholdene vil kunne ændres, såfremt der ikke er nogen vertikal dispersion (VD). Ændringerne er vurderet i forhold til baseline situationen hvor $VD = 0,1$.

Det ses at brug af en meget lille vertikal dispersionsfaktor resulterer i en generel reduktion af saliniteten i overladelaget i hele Svanemøllebugten og lidt højere salinitet ved bunden i de dybe render ude i Øresund. En effekt som også ville gøre sig gældende i baselinekørslen, såfremt den var afviklet med samme dispersionsfaktor. Samlet set er ændringerne i salinitet små (i forhold til et konsistent baseline) og derfor meget lidt følsomme for valget af dispersionsfaktor.



Figur C-6-9 Ændring i salinitet (3-måneders middel) ved overflade efter bygning af havnetunnelen.
Øverst: VD = 0,1. Nederst VD = 0,0001.



Figur C-6-10 Ændring i salinitet (3-måneders middel) ved bund efter bygning af havnetunnelen. Øverst: VD = 0,1. Nederst VD = 0,0001.

C.2 Eutrofieringsmodellen

Eutrofieringsmodellen er baseret på DHI's ECO Lab model, som er en integreret del af MIKE 3. Modellen integrerer de fysiske forhold med de biologiske dynamiske processer. Modellen er et procesmodul, og den overordnede beskrivelse af modellen findes i /5/ og /6/. Dertil anvendes

DHI's standard template; "DHI Eutrophication Model 2", /7/, som udgangspunkt for opgaven. Modellen beskriver spredning og omsætning af standard eutrofieringsparametre (Tabel C-6-1).

Tabel C-6-1 Parametre og processer i "DHI Eutrophication Model 2", /7/

Parametre	Processer
Fytoplankton C (PC, mg/l)	+ produktion fytoplankton C - respiration fytoplankton C - græsning fytoplankton C - dødelighed (henfald) fytoplankton C - sedimentation fytoplankton C
Fytoplankton N (PN, mg/l)	+ optag af fytoplankton NH₄ + optag af fytoplankton NO₃ - respiration fytoplankton N - græsning fytoplankton N - dødelighed (henfald) fytoplankton N - sedimentation fytoplankton N
Fytoplankton P (PP, mg/l)	+ optag af fytoplankton PO₄ - respiration fytoplankton P - græsning fytoplankton P - dødelighed (henfald) fytoplankton P - sedimentation fytoplankton P
Klorofyl-a (CH, mg/l)	+ produktion fytoplankton klorofyl - dødelighed (henfald) fytoplankton klorofyl - sedimentation fytoplankton klorofyl
Zooplankton C (ZC, mg/l)	+ produktion zooplankton C - dødelighed zooplankton C - sedimentation zooplankton C
Detritus C (DC, mg/l)	+ død (henfald) af fytoplankton + udskillelse fra zooplankton C - respiration detritus C - sedimentation detritus C + død af zooplankton C
Detritus N (DN, mg/l)	+ død af fytoplankton + udskillelse fra zooplankton N - respiration detritus N - sedimentation detritus N + død af zooplankton N

Detritus P (DP, mg/l)	+ død af fytoplankton + udskillelse fra zooplankton P - respiration detritus P - sedimentation detritus P + død af zooplankton P
Total ammonium (NH, mg/l)	+ død af fytoplankton til ammonium + respiration fytoplankton N + respiration detritus N + respiration af zooplankton N + udskillelse af NH₄ fra sediment - optag af NH₄ i fytoplankton - nitrifikation i vand
Nitrit og nitrat (NO _x , mg/l)	+ nitrifikation i vand + udskillelse af NO₃ fra sediment - optag af NO₃ i fytoplankton - denitrifikation i vand ved lavt iltindhold - denitrifikation i sediment
Fosfat (PO ₄ , mg/l)	+ død af fytoplankton til fosfat + respiration af fytoplankton P + respiration af detritus P + respiration af zooplankton P + respiration af sediment P - optag af fytoplankton fosfor
Iltkoncentration (DO, mg/l)	+ iltproduktion fra fytoplankton - iltrespiration af fytoplankton - iltforbrug detritus respiration (nedbrydning) - iltforbrug zooplankton respiration - iltforbrug sediment +/- genluftning (reareation) - iltforbrug ved fytoplankton død - iltforbrug ved nitrifikation
Uorganisk suspenderet stof (SS _{in} , mg/l)	- sedimentation af uorganisk suspenderet stof

C.2.1 Rand- og meteorologidata

På de åbne rande mod Øresund og Køge Bugt pålægges eutrofieringsmodellen randdata for hver af de 13 parametre, dvs. for fytoplankton C, N og P, detritus C, N og P, klorofyl-a,

zooplankton, total ammonium, nitrit og nitrat, fosfat og opløst ilt. Uorganisk suspenderet stof beskriver afløb fra vejvand og der er derfor ingen koncentration på randede. Data hentes fra modelresultater fra andre større modeller kørt i DHI Vandudsigten.

Ud over de meteorologiske parametre nævnt under HD modellen, afsnit C.1.1, drives eutrofieringsmodellen også med solindstråling ved havoverfladen. Data er ligeledes her meteorologiske modeldata fra StormGeo (stormgeo.com).

C.2.2 Kalibrering af eutrofieringsmodellen

Til kalibrering af eutrofieringsmodellen er der brugt konstanterne, som er baseret på erfaringer og litteraturværdier beskrevet i /7/. For enkelte af kalibreringskonstanterne er der sket justeringer, som er specifikke for dette projekt for at opnå bedst mulige beskrivelse af forholdene i området.

Til kalibreringen er der anvendt profilmålinger hentet fra Danmarks Miljøportal (arealinformation.miljøportal.dk/distribution). Kalibreringen er sket i fire områder; Svanemøllebugten, Nordhavn, Øresund og Kalveboderne. I Tabel C-6-2 ses en oversigt over anvendte kalibreringsstationer, -perioder og -parametre for områderne.

Tabel C-6-2 Oversigt over kalibreringsstationer, -periode og -parametre for de 4 områder

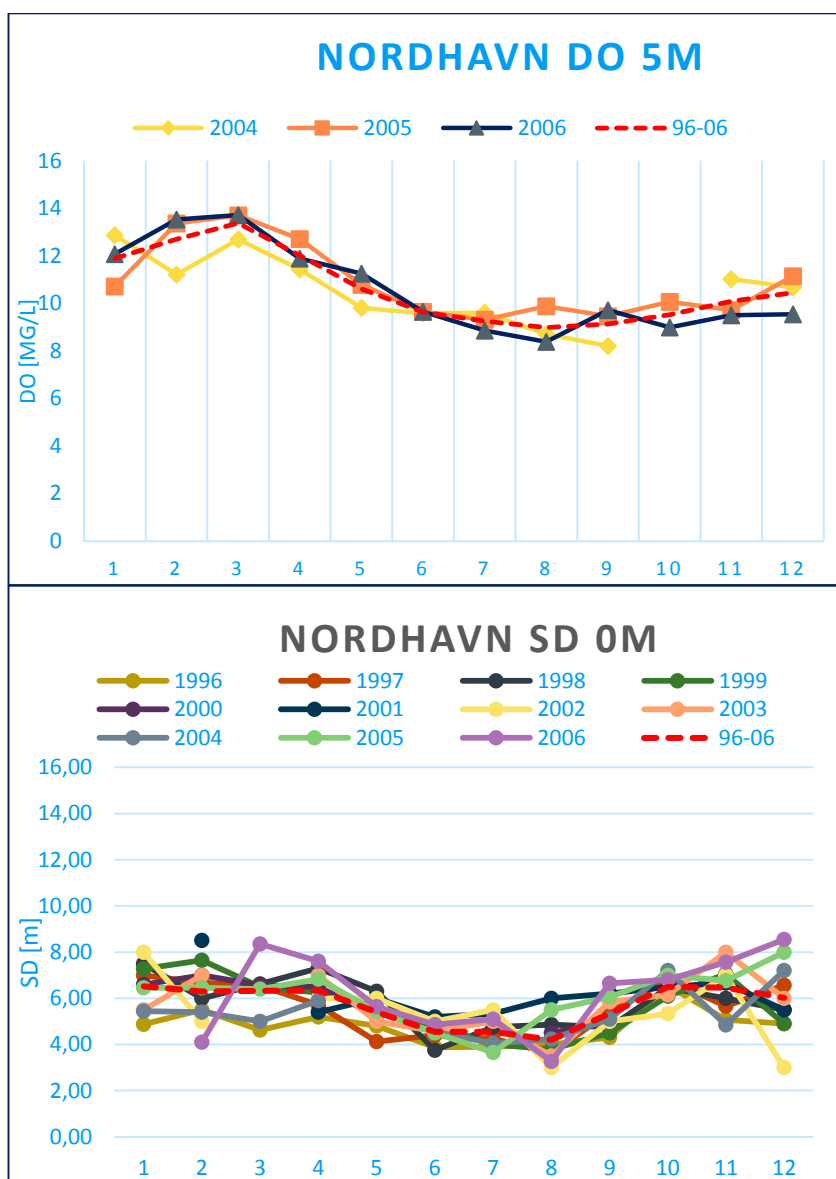
	Kalibreringsstationer	Data anvendt i perioden	Parametre
Svanemøllebugten	KBK3006	1992-1993	NH ₄ , CH, NO _x , PO ₄ , TN, TP, sigtdybde
Nordhavn	KBK3002	1996-2006	NH ₄ , CH, NO _x , PO ₄ , TN, TP, sigtdybde, DO
Øresund	KBK3005	1996-2014	NH ₄ , CH, NO _x , PO ₄ , TN, TP, sigtdybde, DO
Kalveboderne	KBK3001, KBK3021, KBK3022 og KBH2050	1996-2007	NH ₄ , CH, NO _x , PO ₄ , TN, TP, sigtdybde, DO

For områderne Nordhavn, Øresund og Kalveboderne er der generelt god datadækning, der fokuseres på målinger i perioden 1996 til 2014, idet data fra tidligere år for nogle parametre vurderes at have væsentlig anderledes karakteristika. Datadækningen i Svanemøllebugten derimod er sparsom, der eksisterer kun målinger fra 2 år; 1992 og 1993. For at sikre at der ikke kalibreres imod et forkert niveau pga. de aldrende målinger, kalibreres der for Svanemølle Bugten også mod målinger fra Nordhavn.

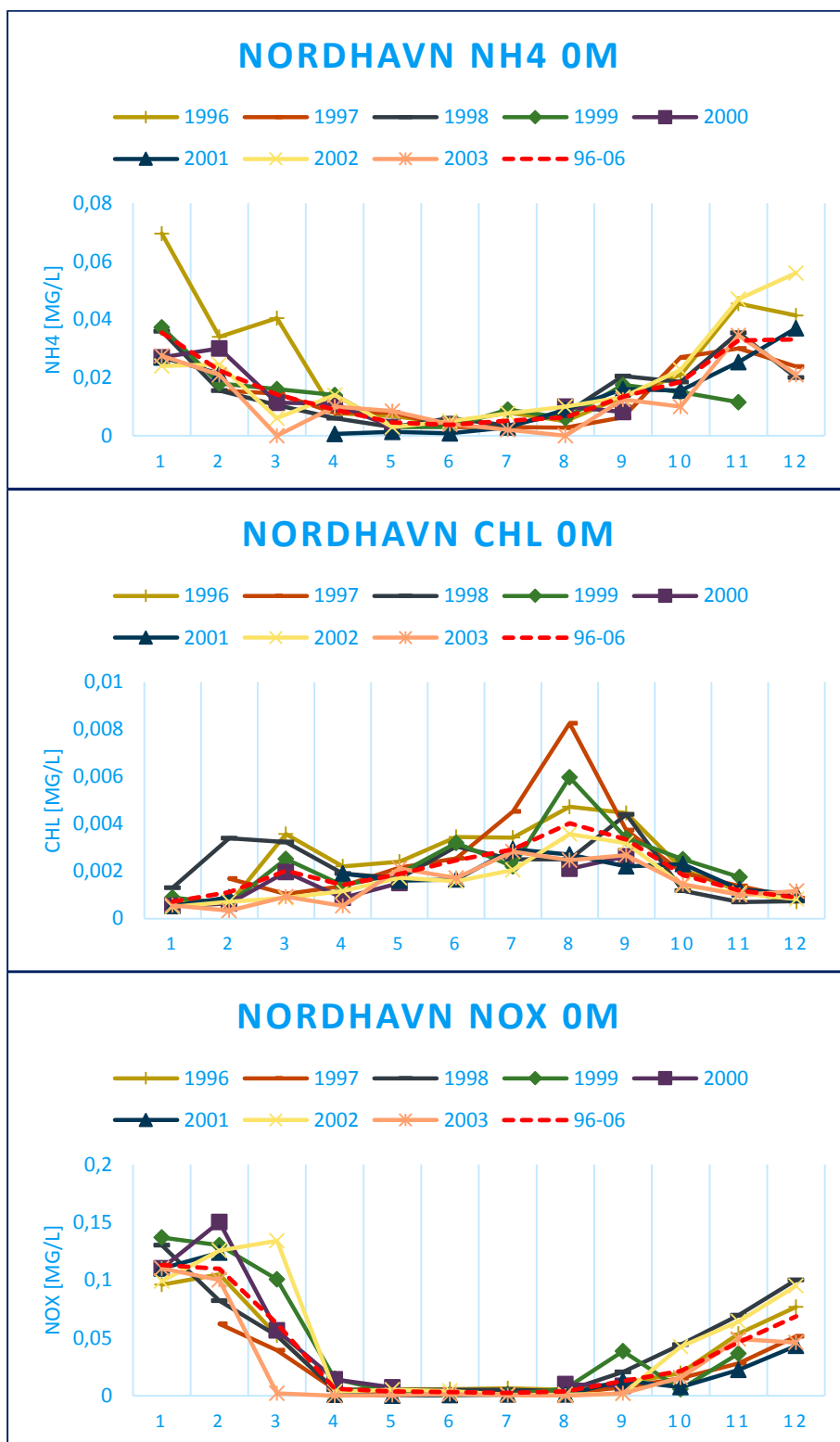
C.2.2.1 Kalibreringsdata fra Nordhavn

Herunder er vist et eksempel på de anvendte kalibreringsdata. Eksemplet er fra Nordhavnsområdet repræsenteret ved stationen KBK3002, hvorfra data er vist for overfladen. For hvert år er der beregnet månedlige gennemsnitsværdier, som efterfølgende, såfremt der eksisterer data, er midlet over perioden 1996-2006. De resulterende gennemsnitlige sæsonvariationer er anvendt som kalibreringsgrundlag for modellen.

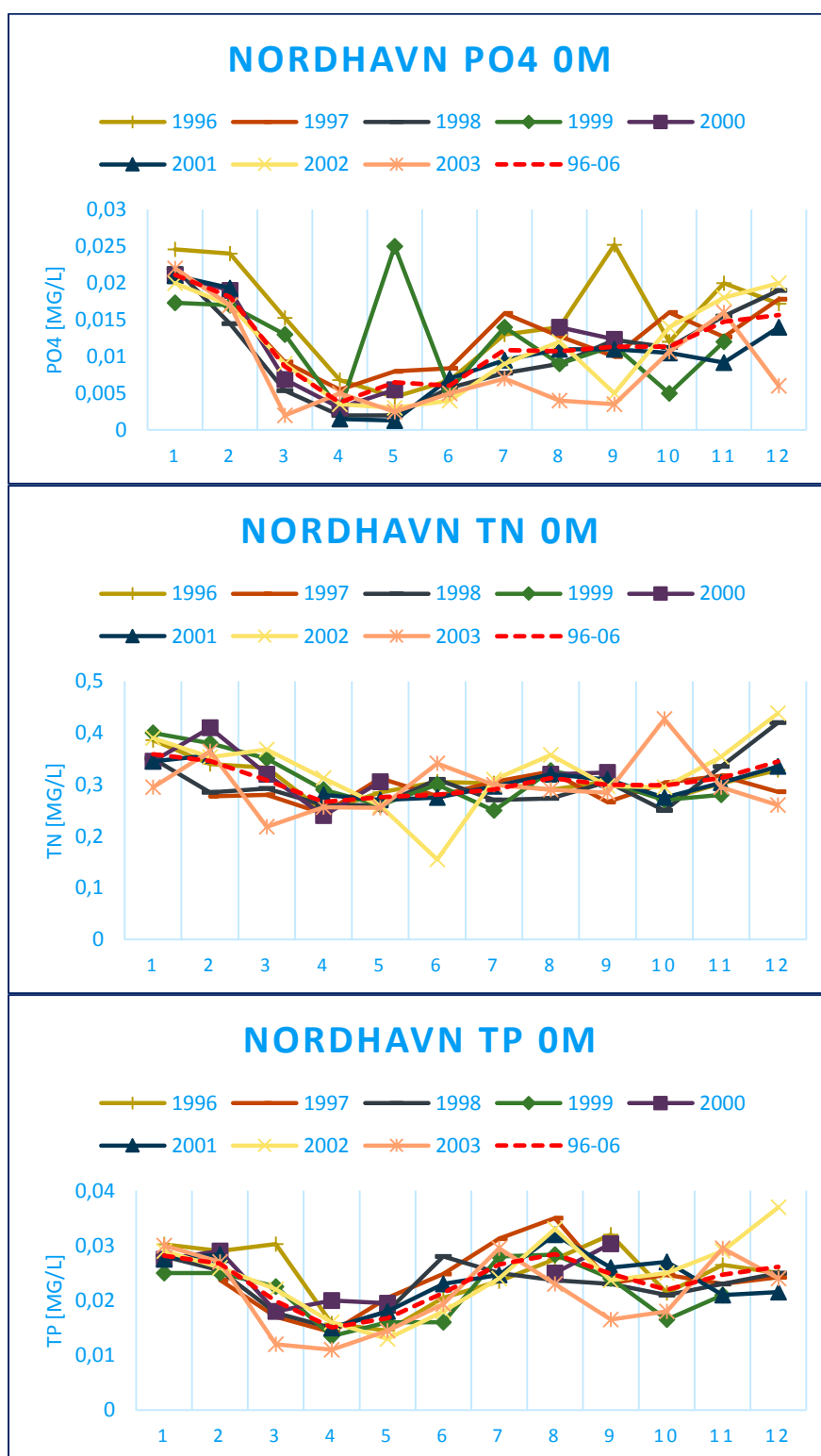
Spredningen fra 'årskurve' til 'årskurve' viser variabiliteten mellem årene for de forskellige parametre.



Figur C-6-11 Nordhavn kalibreringsdata for ilt (DO) ved overfladen og sigtdybde (SD). Den stiplede røde kurve angiver den gennemsnitlige sæsonvariation for perioden 1996-2006, som modellen er kalibreret imod.



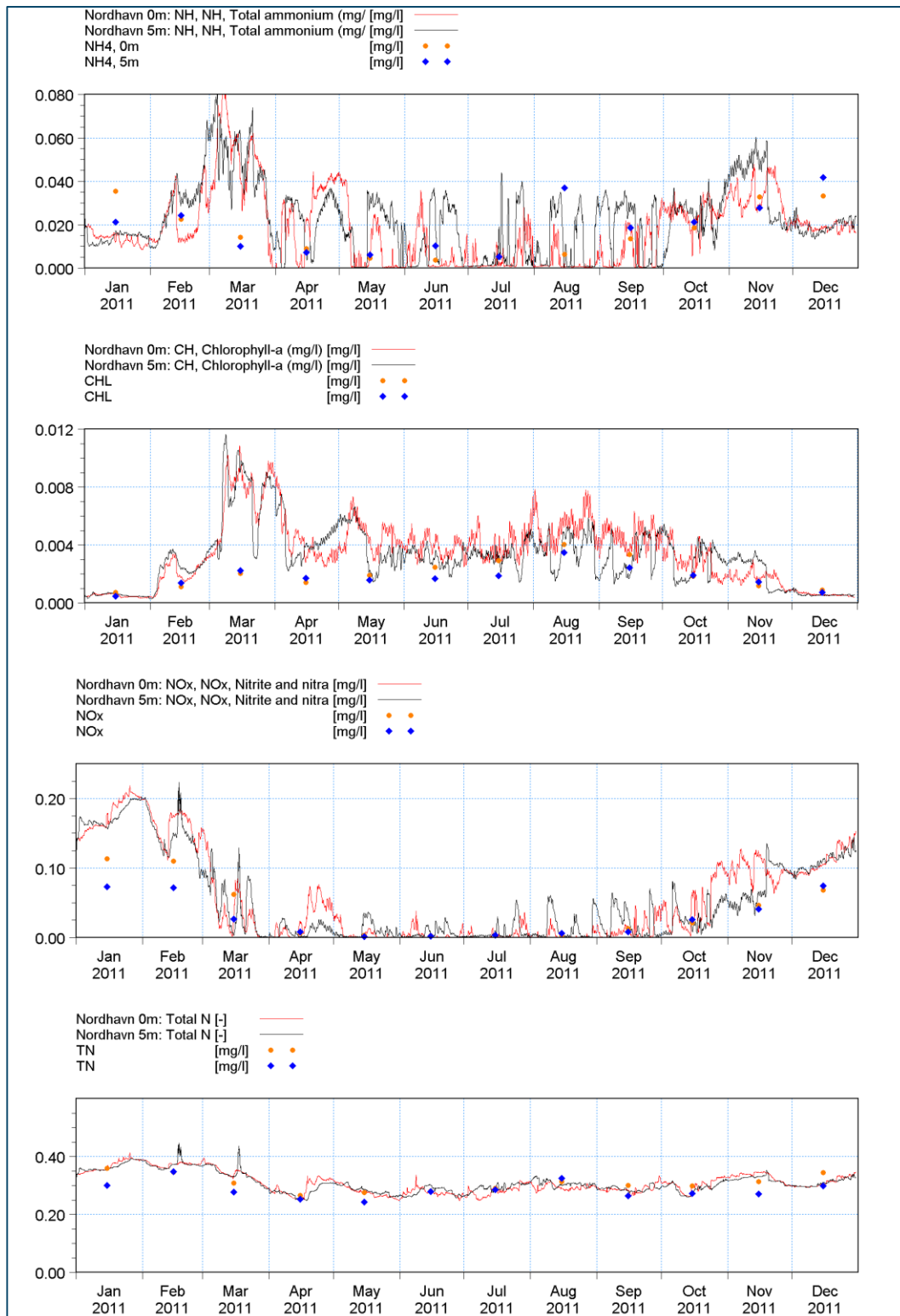
Figur C-6-12 Nordhavn kalibreringsdata for NH₄, klorofyl og NO_x ved overfladen. Den stiplede røde kurve angiver den gennemsnitlige sæsonvariation for perioden 1996-2006, som modellen er kalibreret imod.



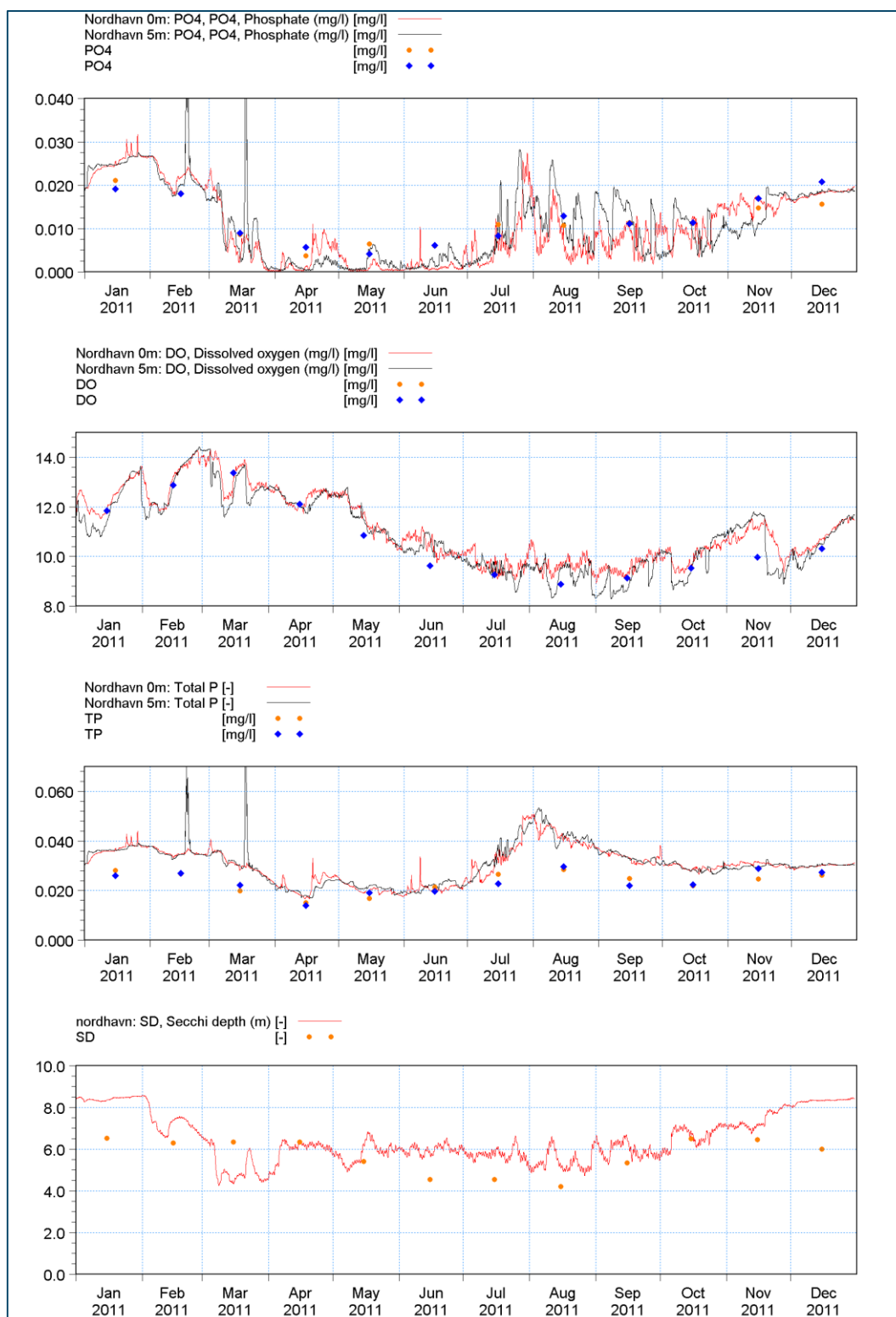
Figur C-6-13 Nordhavn kalibreringsdata for PO₄, Total-N og Total-P ved overfladen. Den stiplede røde kurve angiver den gennemsnitlige sæsonvariation for perioden 1996-2006, som modellen er kalibreret imod.

C.2.2.2 Kalibreringsplots

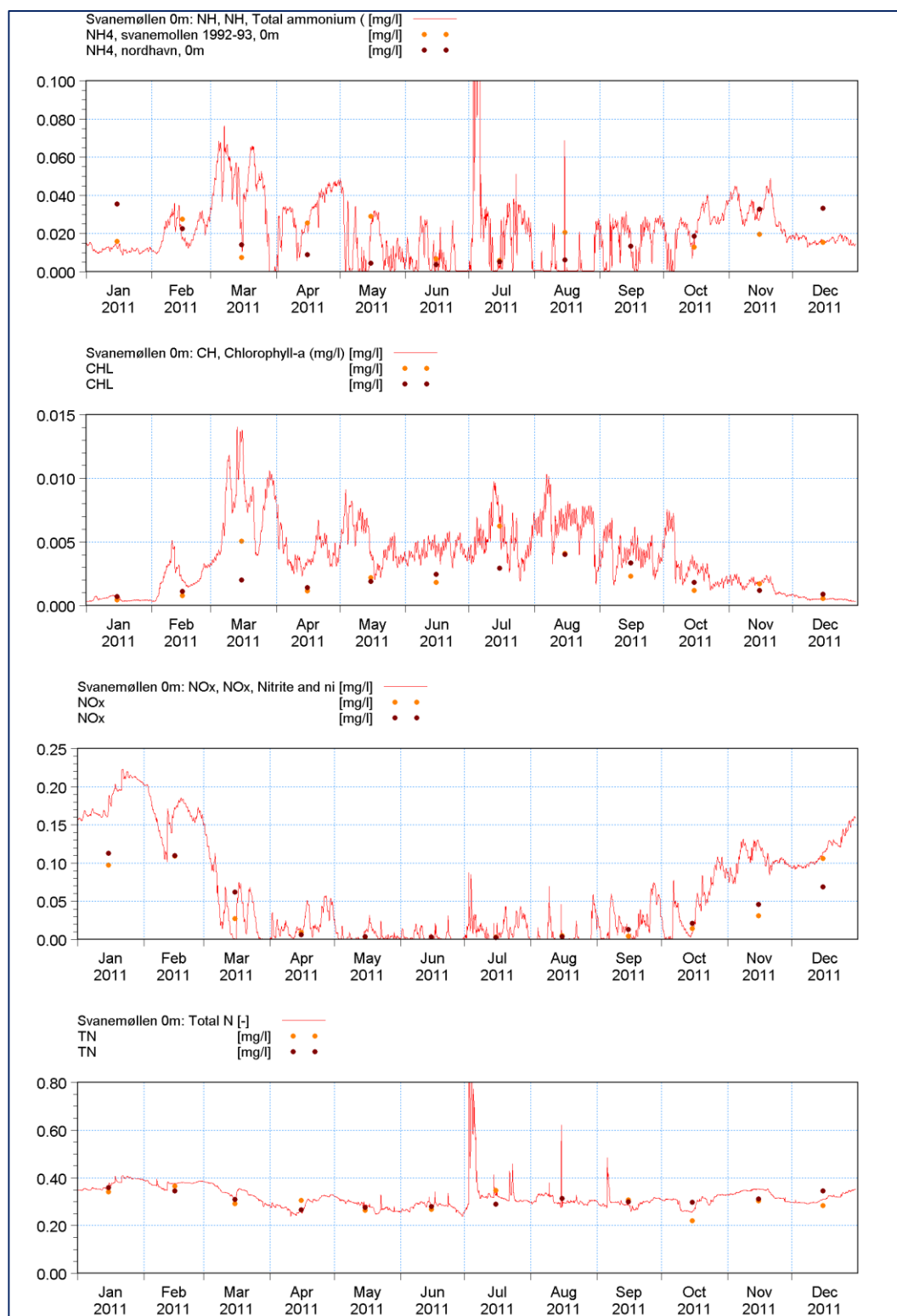
Herunder er vist kalibreringsplots fra de tre væsentligste områder: Nordhavn, Svanemøllebugten og Øresund.



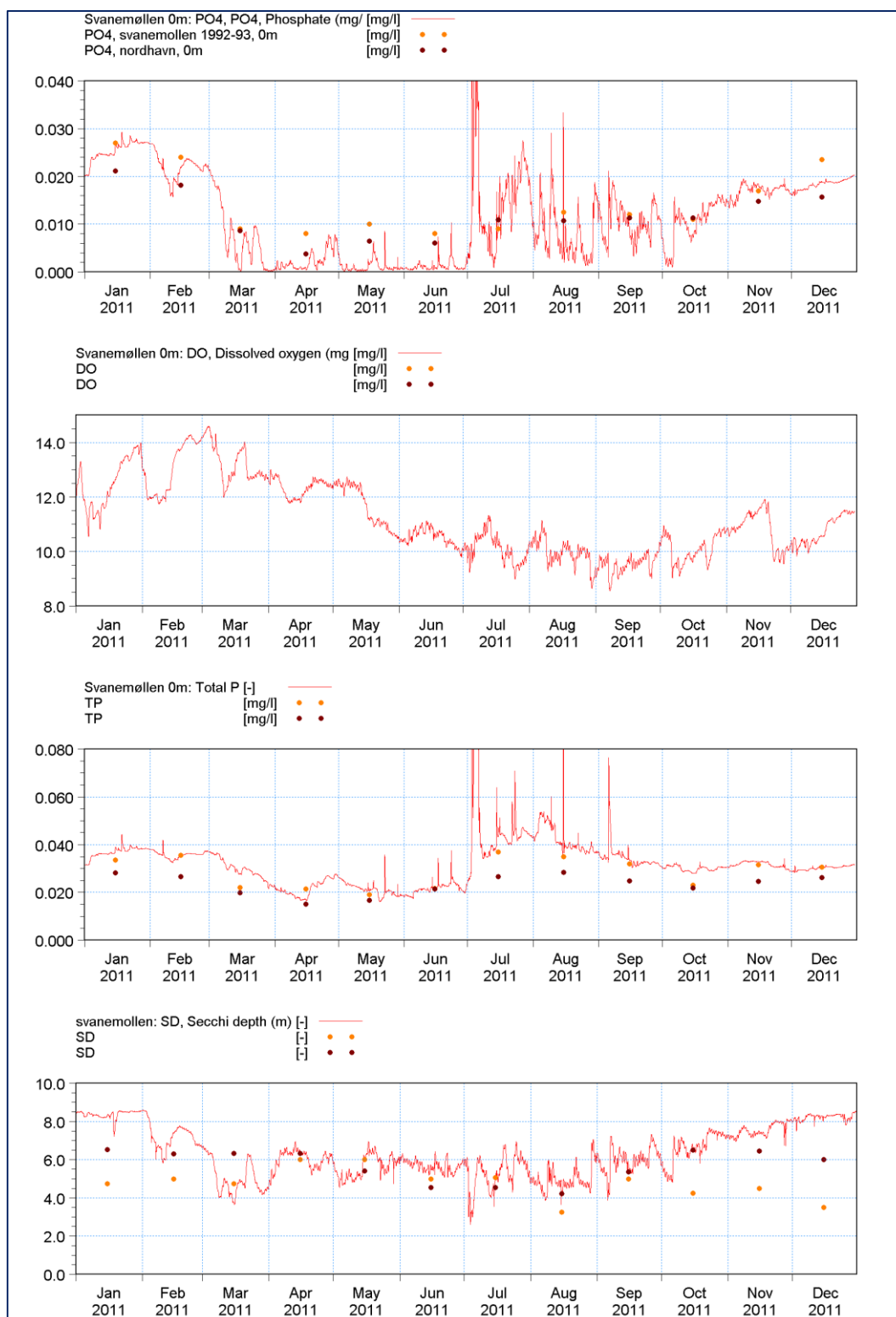
Figur C-6-14 Nordhavn: Modelkalibrering for NH₄, klorofyl, NO₂-NO₃, C og Total-N. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.



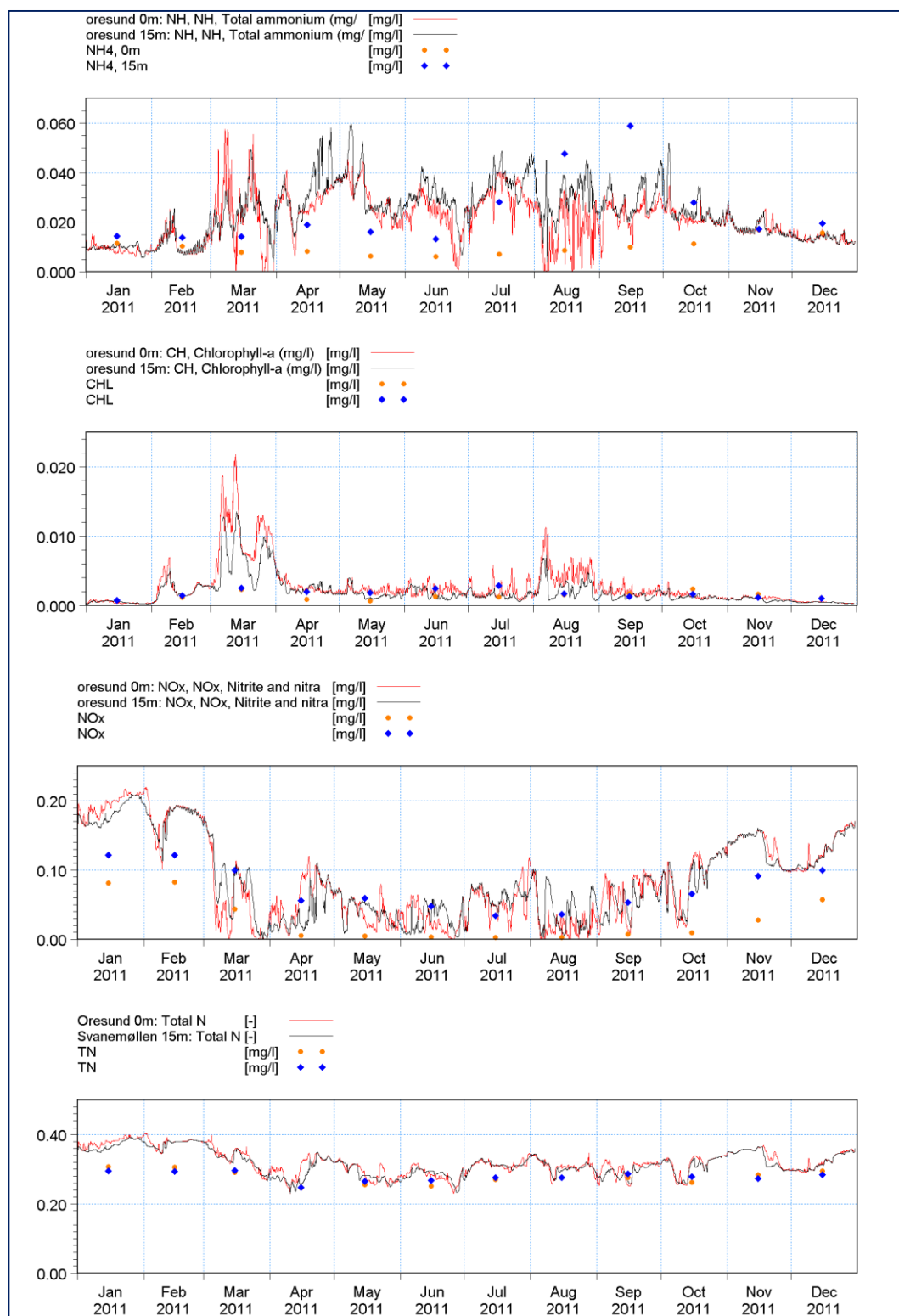
Figur C-6-15 Nordhavn: Modelkalibrering for PO₄, ilt, Total-P og sigtdybde. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.



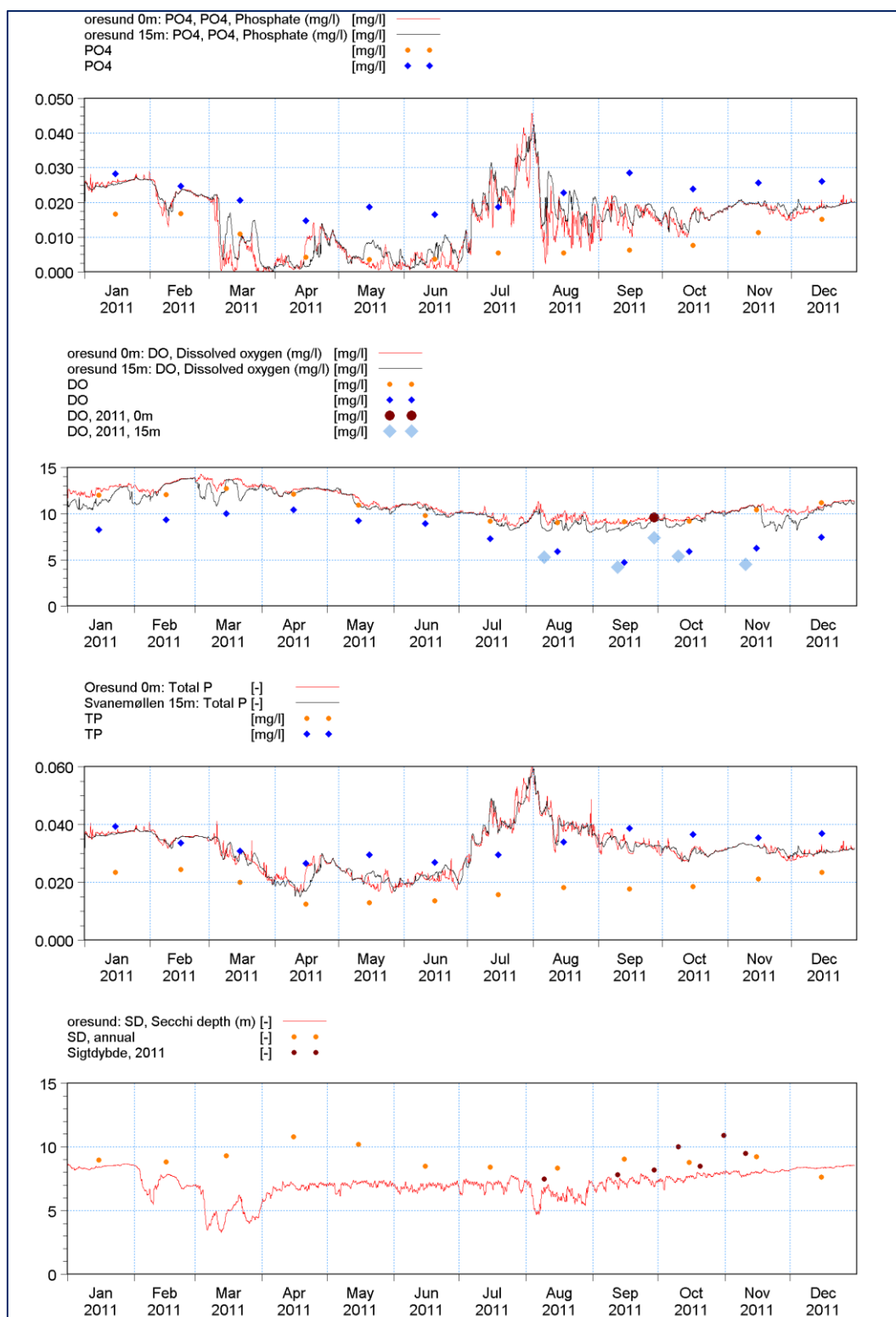
Figur C-6-16 Svanemøllebugten: Modelkalibrering for NH₃, klorofyl, NO₂-NO₃, C og Total-N. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.



Figur C-6-17 Svanemøllebugten: Modelkalibrering for PO₄, ilt, Total-P og sigtdybde. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.



Figur C-6-18 Øresund: Modelkalibrering for NH₃, klorofyl, NO₂-NO₃, C og Total-N. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.



Figur C-6-19 Øresund: Modelkalibrering for PO₄, ilt, Total-P og sigtdybde. Punkterne er den gennemsnitlige sæsonvariation baseret på målinger som beskrevet ovenfor.