MIKROKLIKLIMATISK ANALYSE

SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN - FORÅRSJÆVNDØGN (21. MARTS)



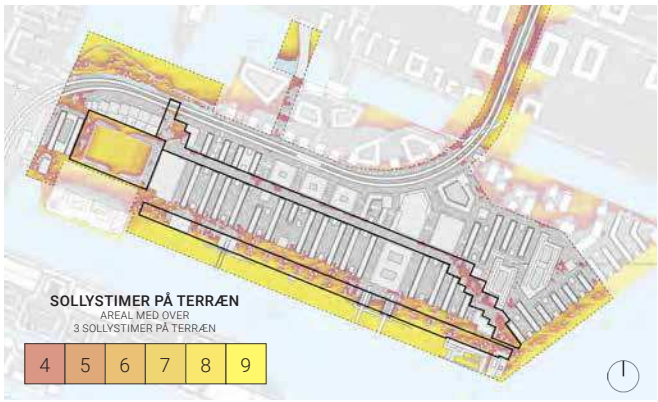
POTENTIELLE SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN
ANTAL SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN (KLAR HIMMEL).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BEGRÆNSET SOLEKSPONERING		LAV SOLEKSPONERING		HØJ SOLEKSPONERING		MEGET HØJ SOLEKSPONERING			

Ved jævndøgn er der et gennemsnitligt antal potentielle sollystimer for året. Denne dato er dermed en god designmæssig indikator for soleksponeringen ved Levantkaj.

Anbefaling: På baggrund af analysen bør områder med høj soleksponering langs den sydlige og sydøstlige havnefront udnyttes til ophold. Dertil de vestlige arealer til boldbane og havneareal, som også vil have høj soleksponering. Udadvendte stueetager kan med fordel placeres i tilknytning til disse områder, for at skabe et mere livligt bymiljø. For at optimere solforholdene i den øst/vestgående gade, kan træer flyttes til primært den den sydlige side af gaden.

51% af projektområdets samlede byrumsareal i delområde I-III vil blive eksponeret for **mindst 3 timers** direkte sollys ved jævndøgn (klar himmel).



SOC1.1.1.2: Der kan opnås **10 DGNB-point**, hvis der er ≥ 3 timers sol på mindst 50% af alle vigtige opholdssteder.

SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN - SOMMERSOLHVERV (21. JUNI)



POTENTIELLE SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN
ANTAL SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN (KLAR HIMMEL).

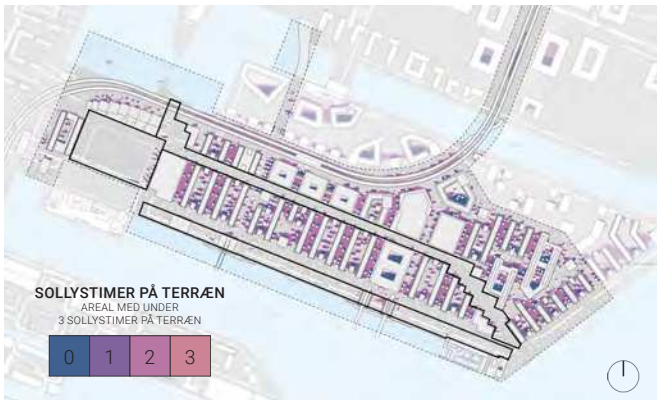
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BEGRÆNSET SOLEKSPONERING		LAV SOLEKSPONERING		HØJ SOLEKSPONERING		MEGET HØJ SOLEKSPONERING			

Ved sommersolhverv står solen højest på himlen og giver flest potentielle sollystimer. Kombineret med høje lufttemperaturer medfører dette en risiko for overophedning og dermed behov for skyggemuligheder ved opholdsarealer med høj soleksponering.

Anbefaling: Træerne sikrer områder med skygge i byrummene, som der kan være behov for i sommerperioden langs kajkanten, og i periferien af boldbanen.

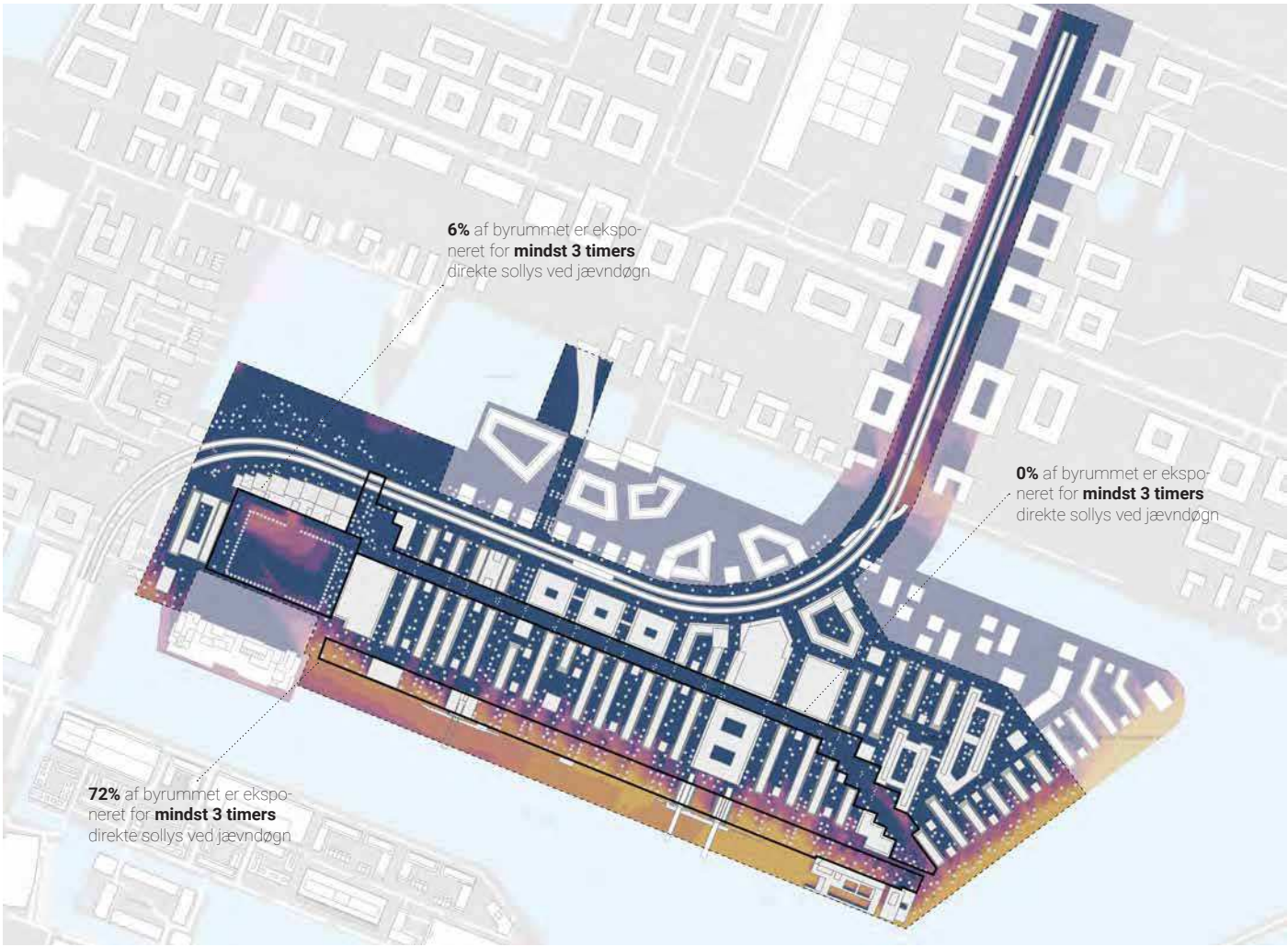
Mellem bygningerne er der mindre behov for ekstra skyggegivere, og træer bør derfor være løvfældende for at sikre soleksponeringen i vinterhalvåret.

21% af projektområdets samlede byrumsareal i delområde I-III vil blive eksponeret for **under 3 timers** direkte sollys ved sommersolhverv (klar himmel).



SOC1.1.1.3: Der kan opnås **5 DGNB-point**, hvis der placeres skyggegivere i mindst 10% af alle vigtige opholdssteder.

SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN - VINTERSOLHVERV (21. DECEMBER)



POTENTIELLE SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN
ANTAL SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN (KLAR HIMMEL).

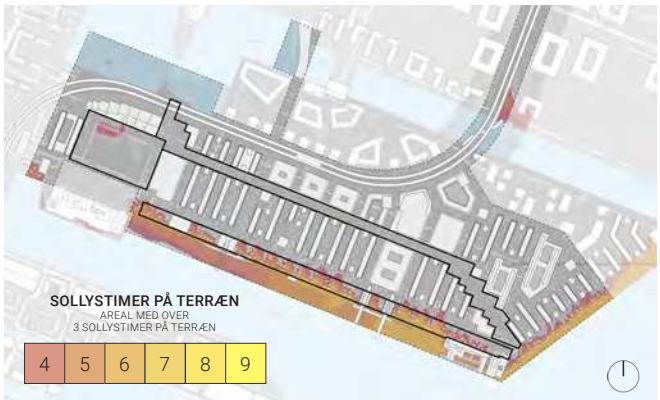
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BEGRÆNSET SOLEKSPONERING		LAV SOLEKSPONERING		HØJ SOLEKSPONERING		MEGET HØJ SOLEKSPONERING			

Ved vintersolhverv har solen sin sydligste position på himlen, og dermed færrest potentielle sollystimer.

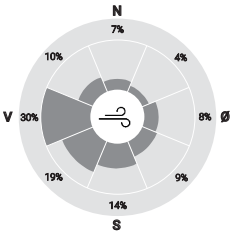
Grundet den høje tætte bebyggelse vil både gader og gårdrum have lav soleksponering på denne tid af året. Her vil der være begrænset incitament til udendørs ophold.

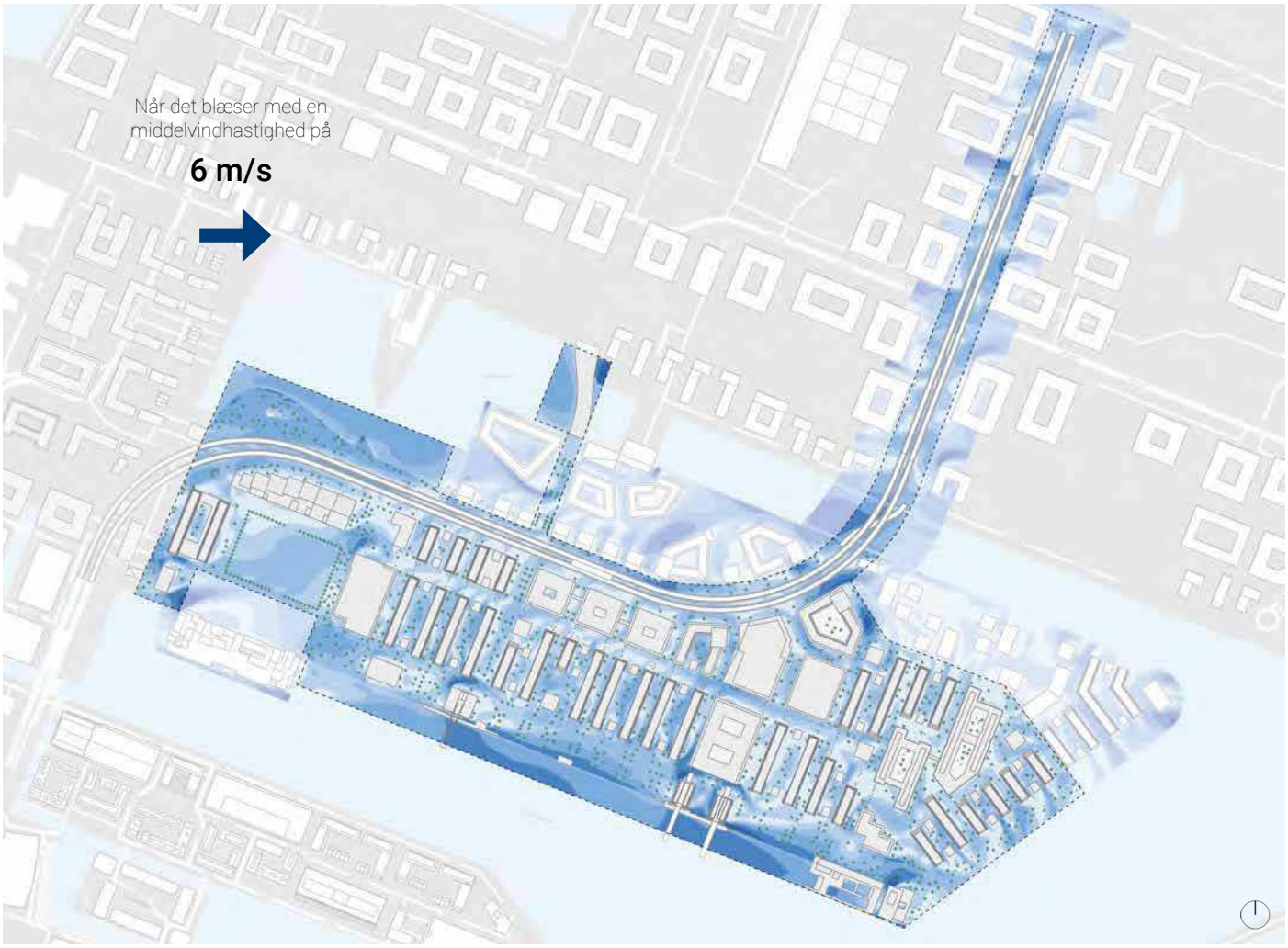
Anbefaling: Den nordvestlige del af boldbanearealet, samt størstedelen af sydlige og sydøstlige havneareal har god sollyseksponering om vinteren, og kan med fordel rumme funktioner i byrum og stueetager, der også er relevante i vintersæsonen. Disse arealer bør også tænkes i relation til vindforholdene, og placeres hvor der er mest læ for vinden.

18% af projektområdets samlede byrumsareal vil blive eksponeret for **mindst 3 timers** direkte sollys ved vintersolhverv (klar himmel).



VIND PÅ TERRÆN - VEST





VIND PÅ TERRÆN

VINDHASTIGHED [M/S] 1.75 METER OVER TERRÆN
VIND FRA VEST (270 GRADER FRA NORD) MED 6 M/S

0	1	2	3	4	5	6	7

VINDSTILLE RØG STIGER LODRET TIL VEJRS

LET BRISE VINDEN KAN MÆRKES I ANSIGTET

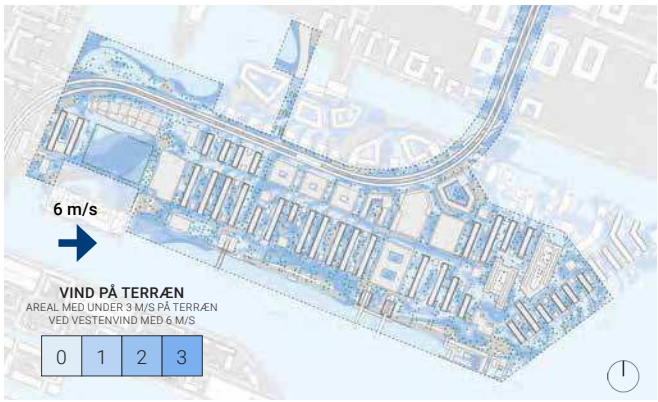
MODERAT BRISE STØV OG BLADE BEVÆGER SIG

Vestenvind er den mest hyppige vindretning i området og forekommer omkring 3,5 måned sammenlagt i løbet af årets timer. Vindforholdene ved denne vindretning vil derfor have en betydelig effekt på komforten i byområdet.

Det er primært i de åbne havnenære arealer der er særligt vindfølsomt, samt ved større bygninger og kystnære adgange til bebyggelsen. I de indre gader, er der relativt fornuftige vindforhold.

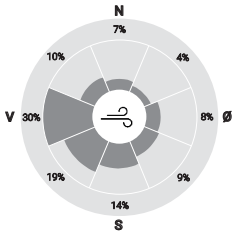
Anbefaling: Den tætte bebyggelse med mange åbne karréstrukturer i et låst grid fører til et mønster for vindforholdene i Levantkaj. Ved høje og store bygninger, sker der typisk større vindgener omkring bygningen. Her kan podier, udhæng samt klynger af træer ud for bygningshjørner og -facader mitigere vindgenerne.

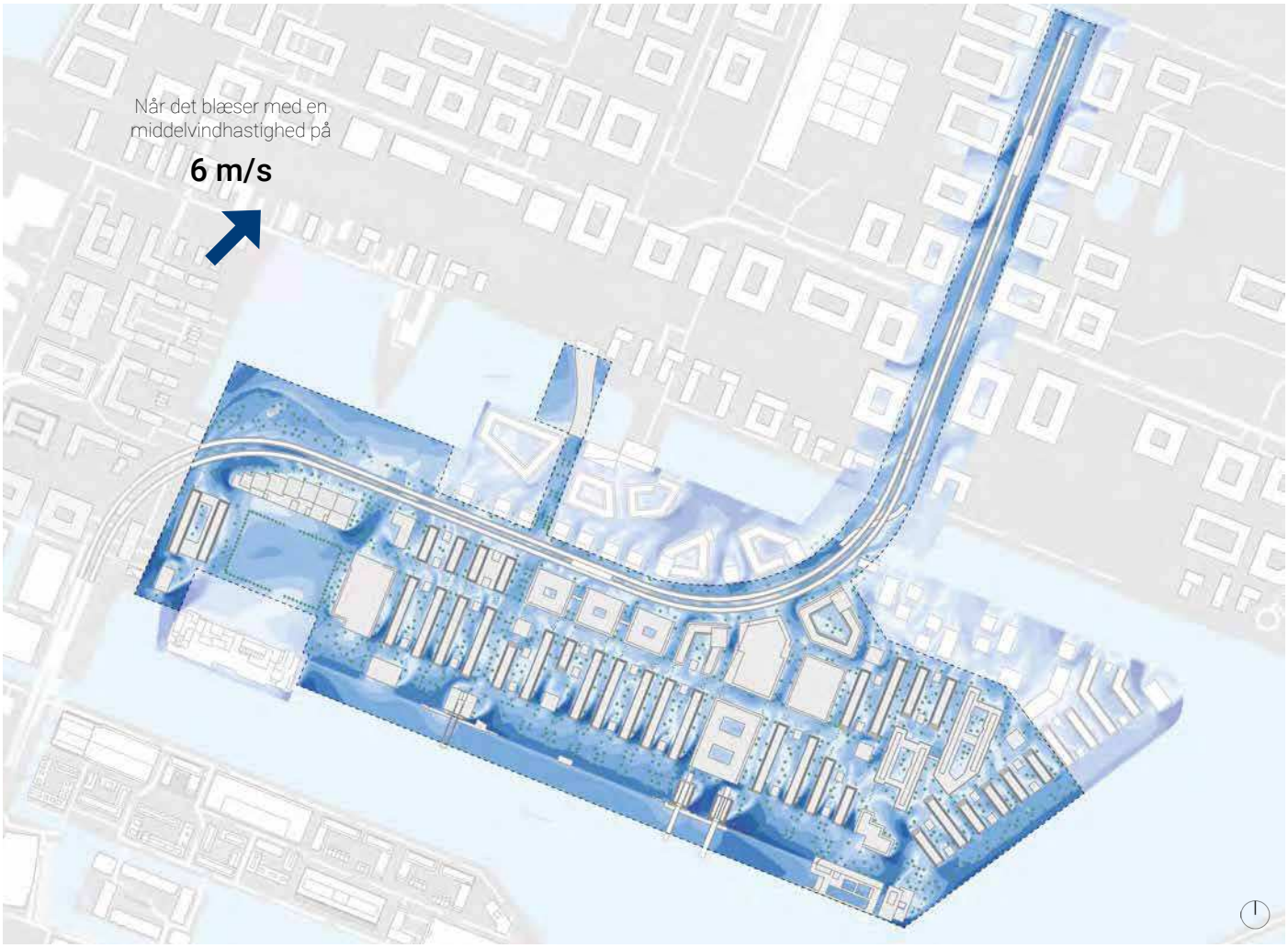
Andel af projektområdets samlede byrumsareal med vindhastigheder under **3 m/s** ved vindforhold med vestenvind på 6 m/s.



SOC1.1.2.1: Der kan opnås **10 DGNB-point**, ved simulering af dominerende vindretning og optimering af design derefter.

VIND PÅ TERRÆN - SYDVEST





VIND PÅ TERRÆN

VINDHASTIGHED [M/S] 1.75 METER OVER TERRÆN
VIND FRA SYDVEST (225 GRADER FRA NORD) MED 6 M/S

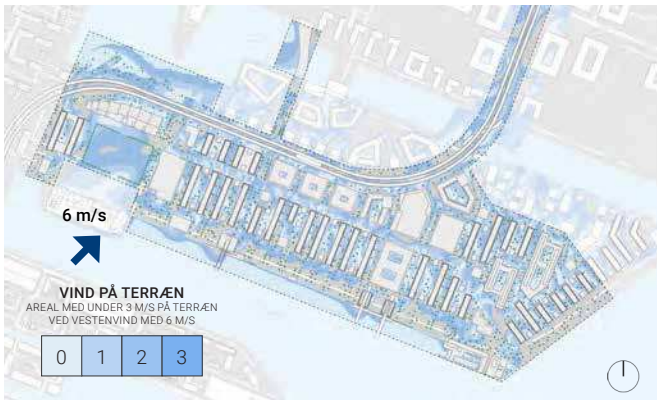
0	1	2	3	4	5	6	7

VINDSTILLE RØG STIGER LODRET TIL VEJRS

LET BRISE VINDEN KAN MÆRKES I ANSIGTET

MODERAT BRISE STØV OG BLADE BEVÆGER SIG

Andel af projektområdets samlede byrumsareal med vindhastigheder under **3 m/s** ved vindforhold med sydvestenvind på 6 m/s.

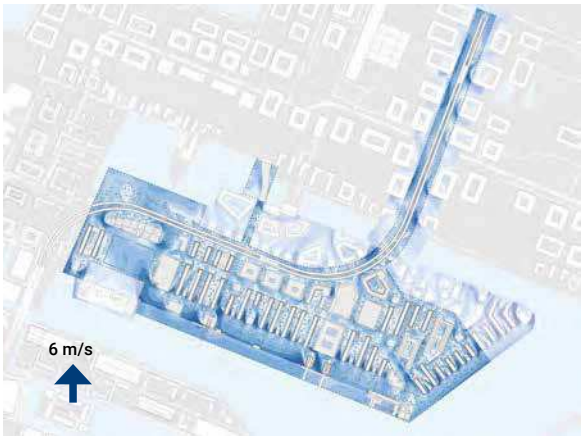


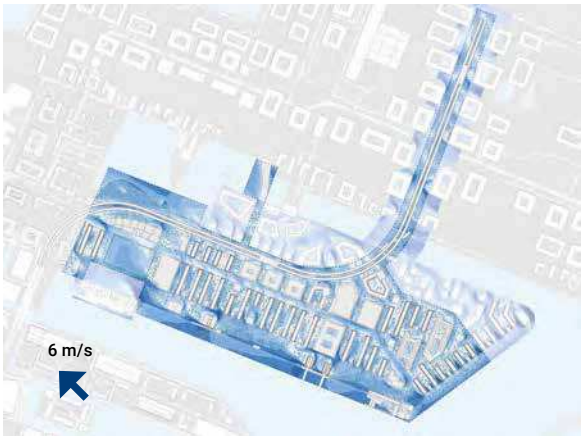
Vind fra sydvest er den anden mest hyppige vindretning i området og forekommer cirka 19% af årets timer. Ligesom ved vestenvinden vil vind turbulens og accelerationer ved denne vindretning vil have en betydelig effekt på komforten i byområdets, primære kystvendte arealer og omkring større, høje bygningskroppe.

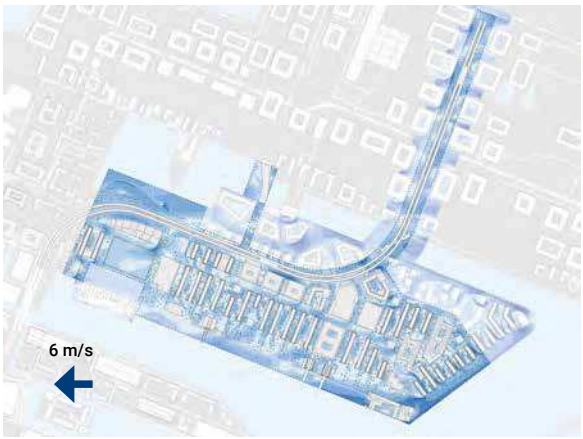
Anbefaling: Ved sydvestenvinden ses der tydelige hjørne-effekter omkring sydvendte hjørner og højere vindhastigheder langs østlige facader ved sydlige indgange til bebyggelsen i Levantkaj. Her bør overvejes at blive arbejdes med facadeforskydninger -rughed eller -afrundinger, klynger af vegetation eller andet som kan formilde vindgenerne her. I de åbne havnearealer kan landskabselementer og vegetation også mitigere vindgener.

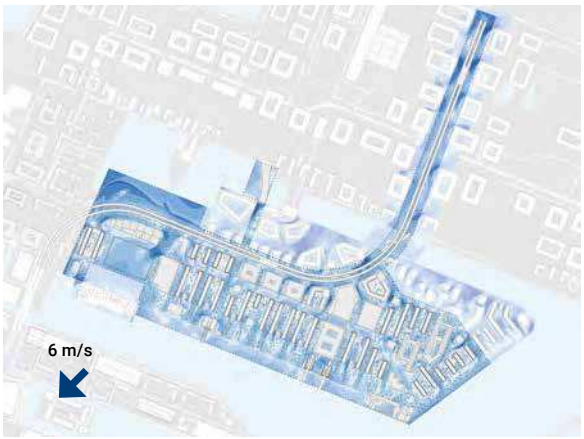
SOC1.1.2.1: Der kan opnås **10 DGNB-point**, ved simulering af dominerende vindretning og optimering af design derefter.

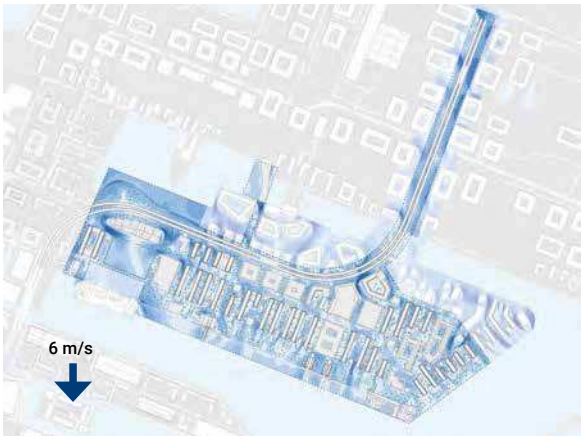
VIND PÅ TERRÆN - ØVRIGE VINDRETNINGER

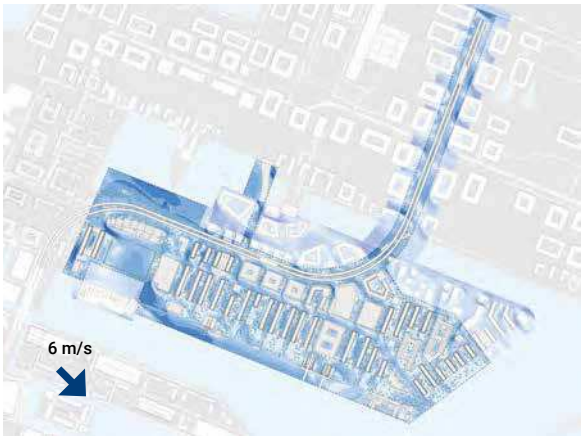












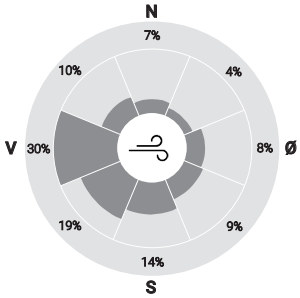
VIND PÅ TERRÆN
VINDHASTIGHED [M/S] 1.75 METER OVER TERRÆN
VED EN HASTIGHED PÅ 6 M/S

0	1	2	3	4	5	6	7

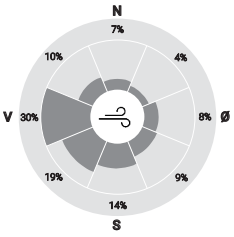
VINDSTILLE
RØG STIGER LODRET TIL VEJRS

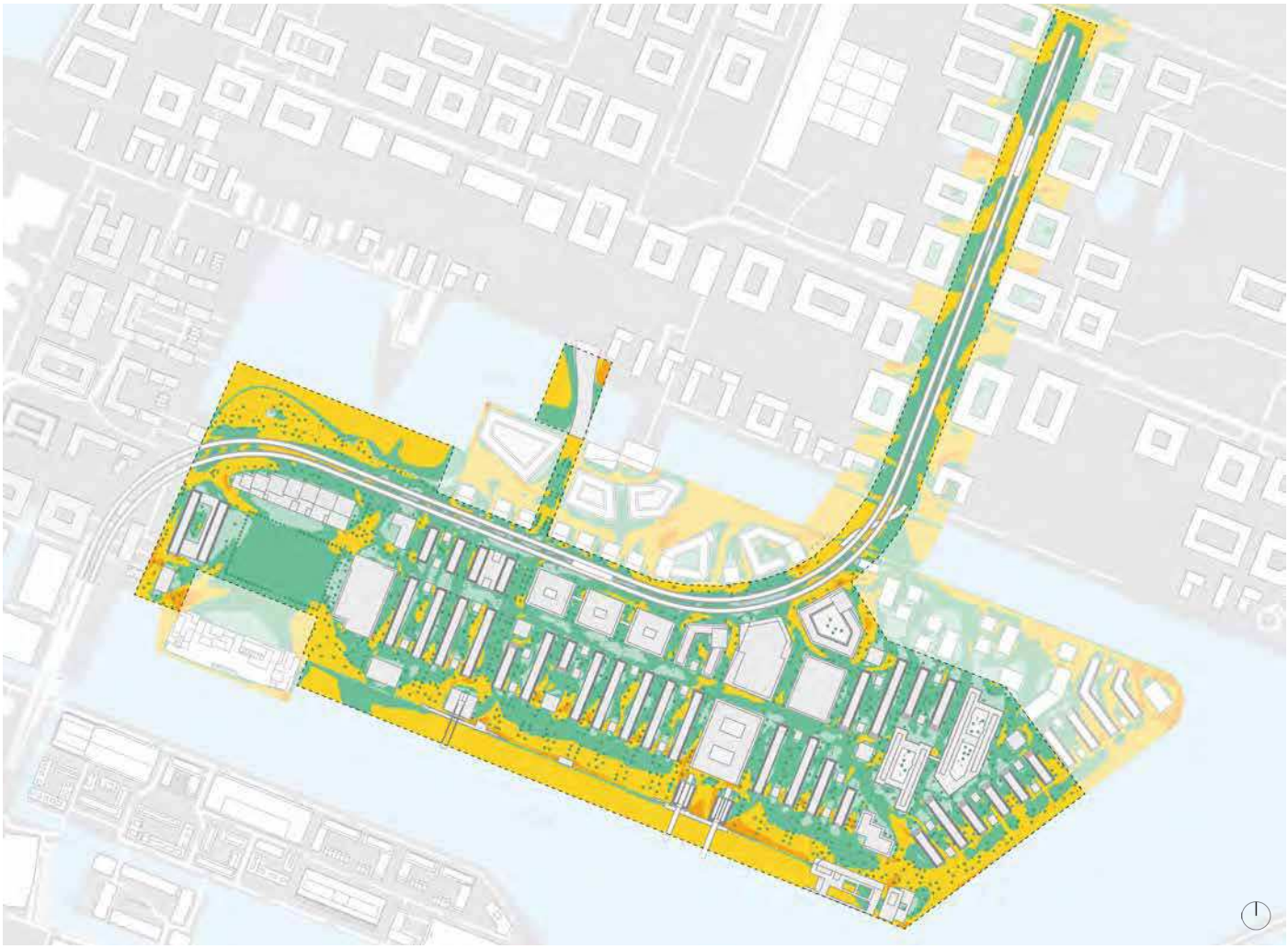
LET BRISE
VINDEN KAN MÆRKES I ANSIGTET

MODERAT BRISE
STØV OG BLADE BEVÆGER SIG



VINDKOMFORT - LAWSON LDDC





VINDKOMFORT

LAWSON LDDC VINDKOMFORTKATEGORISERING 1.75 METER OVER TERRÆN, BASERET PÅ ÅRLIG VINDSTATISTIK

A	B	C	D	E
> 2,5 m/s < 5% af tiden	> 4 m/s < 5% af tiden	> 6 m/s < 5% af tiden	> 8 m/s < 5% af tiden	> 8 m/s > 5% af tiden
EGNET TIL **AT SIDDE NED**	EGNET TIL **AT STÅ OP**	EGNET TIL **LANGSOM GANG**	EGNET TIL **HURTIG GANG**	**UKOMFORTABELT**

Vindkomfortkategoriseringen er nyttig til at programmere aktivitetsniveauer og funktioner ud fra. Analysen er baseret på simuleringerne fra otte vindretninger, vægtet efter deres hyppighed, hvor de dominerende retninger, vest og sydvest, tilsammen udgør 49% af hyppigheden. For at forbedre forholdene er det derfor vigtigst at adressere vindgenerne ved disse vindretninger.

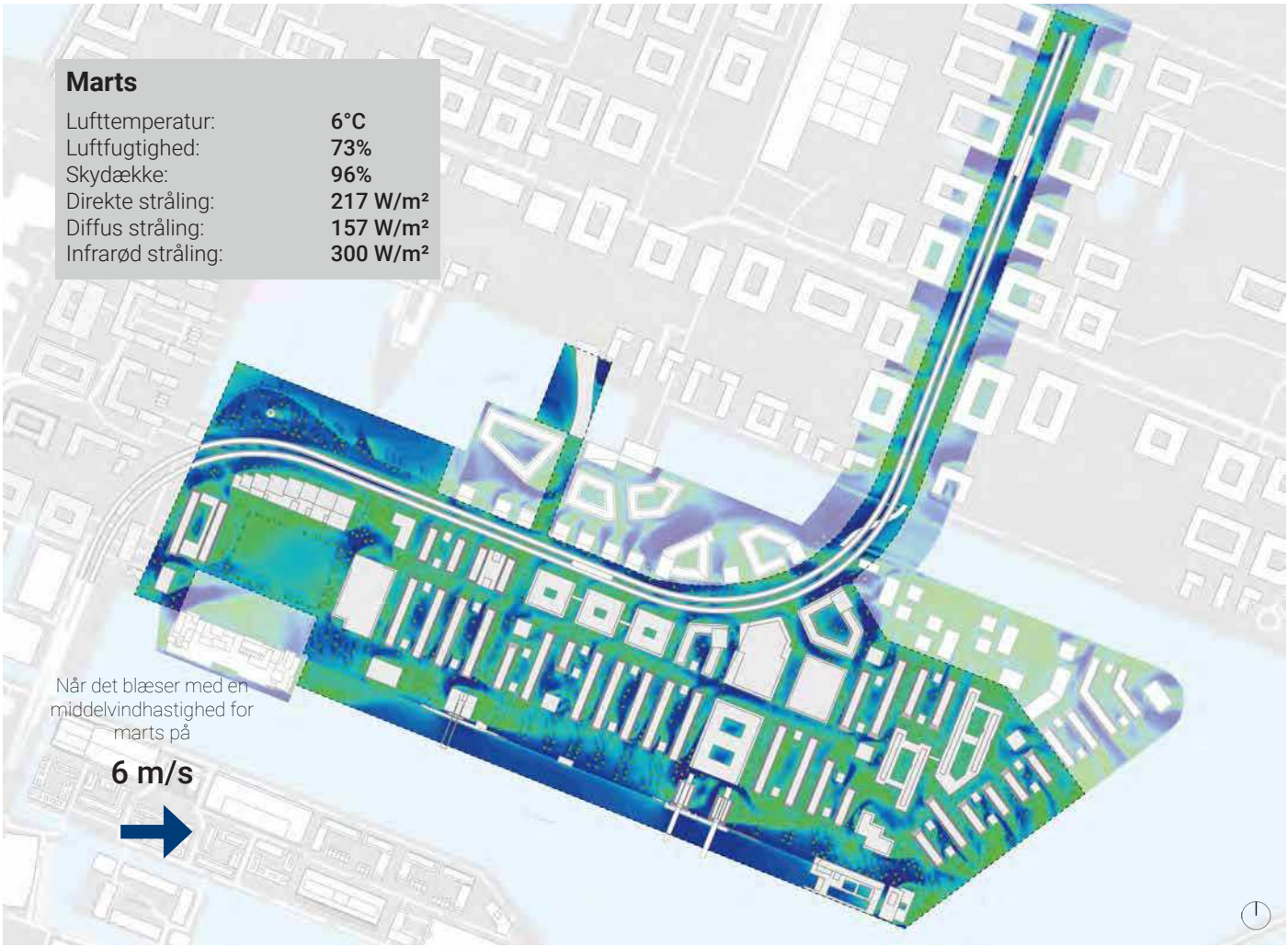
Anbefaling: Vindforholdene i de indre gader i bebyggelsen, samt i de åbne karréers gårdrum er generelt med gode læforhold. Ligeledes omkring sydlige gavle ud til havnefronten. De arealer egner sig til ophold. Vindgener sker typisk i åbne arealer, omkring bygningshjørner og parallelle gadeforløb, hvor flere træer, byrumsinventar, krumspring og afrunder i bygningsfacader kan medvirke til at forbedre vindforhold lokalt.

Andel af projektområdets samlede byrumsareal med vindforhold der **egner sig til ophold (kategori A og B)** baseret på Lawson LDDC vindkomfortkriteriet.



SOC1.1.2.2: Der kan opnås **30 DGNB-point**, ved simulering af vindkomfort og redegørelse for sammenhæng med funktion.

OPLEVET TEMPERATUR -
GENNEMSNITLIG MARTSDAG KL. 12.00



OPLEVET TEMPERATUR

UTCI [°C] KOMBINERER VIND, LUFTTEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG STRÅLING (TYPISK KLIMA)

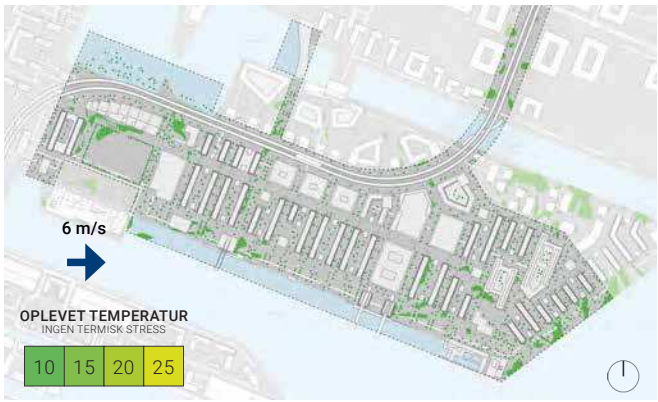
-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25

MODERAT KULDESTRESS — INGEN TERMISK STRESS

Denne simulering illustrer en gennemsnitlig martsdag kl. 12 med vind fra vest, som er den mest almindelige vindretning for måneden. I marts har vinden stor betydning for den termiske komfort, da lufttemperaturerne er lave, og vindhastighederne typisk er højere end om sommeren. De termisk komfortable områder findes derfor i læ, og kan i kombination med soleksponering være velegnede til ophold.

Anbefaling: I ydersæsonen (forårs- eller efterårsdag) klokken 12 kan de bedste termiske forhold generelt opleves langs østvendte facader, hvor der både er soleksponering og ofte læ fra vinden. Disse arealer egner sig til opholdsarealer med tilhørende funktioner, som egner sig til brug i første halvdel af dagens lyse timer.

Andel af projektområdets samlede byrumsareal der opleves som **termisk komfortabelt** (9 - 26°C) ved en gennemsnitlig martsdag kl 12 med vestenvind på 6 m/s.



SOC1.1.3.1: Der kan opnås **20 DGNB-point**, ved undersøgelse af UTCI for 21. marts og 21. juni for alle vigtige opholdssteder.

OPLEVET TEMPERATUR -
ALTERNATIV MARTSDAG KL. 12.00 (Vindretning fra SV)

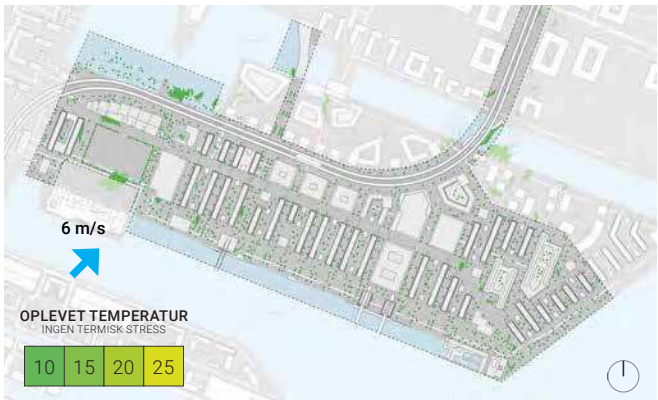


OPLEVET TEMPERATUR

UTCI [°C] KOMBINERER VIND, LUFTTEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG STRÅLING (TYPISK KLIMA)

-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
		MODERAT KULDESTRESS			INGEN TERMISK STRESS			

Andel af projektområdets samlede byrumsareal der opleves som **termisk komfortabelt** (9 - 26°C) ved en gennemsnitlig martsdag kl 12 med sydvestenvind på 6 m/s.



Da vinden har stor betydning for den termiske komfort i ydersæsonen, kan vindretningen drastisk ændre de oplevede temperaturer i området.

I denne simulering er vindretningen ændret til sydvest, som er den næsthyppigste retning i marts. Ved at sammenligne simuleringerne for de to vindretninger kan man identificere områder, hvor termisk komfort oftere vil opleves i ydersæsonen.

Anbefaling: Når vinden kommer fra sydvest en dag klokken 12 i på en forårs- eller efterårsdag, vil der være færre arealer, der opleves termisk komfort i. Det er fortsat langs østvendte facader, men kortere strækninger, der opleves komfortable.

SOC1.1.3.1: Der kan opnås **20 DGNB-point**, ved undersøgelse af UTCI for 21. marts og 21. juni for alle vigtige opholdssteder.

OPLEVET TEMPERATUR -
GENNEMSNITLIG JUNIDAG KL. 12.00



OPLEVET TEMPERATUR

UTCI [°C] KOMBINERER VIND, LUFTTEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG STRÅLING (TYPISK KLIMA)

-5	0	5	10	15	20	25	30	35

MODERAT KULDESTRESS — INGEN TERMISK STRESS — MODERAT VARME STRESS

Den direkte solstråling har særlig stor betydning for de oplevede temperaturer. I sommerperioden skaber intens soleksponering kombineret med høj lufttemperatur en risiko for overophedning. Denne simulering illustrerer en gennemsnitlig junidag kl. 12, hvor solen står højt på himlen, og det direkte strålingsbidrag derfor er betydeligt.

Anbefaling: Generelt opleves området som komfortabelt på en gennemsnitlig junidag kl. 12. Størstedelen af Levantkaj fremgår som termisk komfortabelt ud fra de givne forudsætninger. Kun pletvist er der små arealer, som kan opleves for varme (termisk varmestress) når vejrforholdene er som givet en junidag kl. 12. I praksis vil vandet have en termostateffekt der reducerer overophedning, hvilket ikke indgår i simuleringen.

Andel af projektområdets samlede byrumsareal der opleves som **termisk komfortabelt** (9 - 26°C) ved en gennemsnitlig junidag kl 12 med en lufttemperatur på 18°C.



SOC1.1.3.1: Der kan opnås **20 DGNB-point**, ved undersøgelse af UTCI for 21. marts og 21. juni for alle vigtige opholdssteder.

OPLEVET TEMPERATUR -
ALTERNATIV JUNIDAG KL. 12.00 (Lufttemperatur på 25°C)



OPLEVET TEMPERATUR

UTCI [°C] KOMBINERER VIND, LUFTTEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED OG STRÅLING (TYPISK KLIMA)

-5	0	5	10	15	20	25	30	35

MODERAT KULDESTRESS — INGEN TERMISK STRESS — MODERAT VARME STRESS

Med klimaforandringerne kan vi forvente en stigning i lufttemperaturer, hvilket vil få negative konsekvenser for de oplevede temperaturer, særligt i byerne. For at illustrere dette er lufttemperaturen i denne simulering øget fra en gennemsnitsværdi på 18°C til 25°C. Derved vil overophedning med oplevede temperaturer over 26°C forekomme i store dele af Levantkaj.

Anbefaling: Ved en højere lufttemperatur, som i hyppigere grad kan forekomme i fremtiden, vil store dele af Levantkaj opleves varmt (termisk varmestress). Her ses det, at der på en junidag kl. 12 med givne vejrmæssige forudsætninger, vil være relativt mange steder i Levantkaj, hvor der kan opleves termisk komfort - dette primært i de smalle gårdrum, hvor der ikke er direkte sollys. Der bør programmeres arealer i disse rum til disse dage.

Andel af projektområdets samlede byrumsareal der opleves som **termisk komfortabelt** (9 - 26°C) ved en gennemsnitlig junidag kl 12 med en lufttemperatur på 25°C.



SOC1.1.3.1: Der kan opnås **20 DGNB-point**, ved undersøgelse af UTCI for 21. marts og 21. juni for alle vigtige opholdssteder.

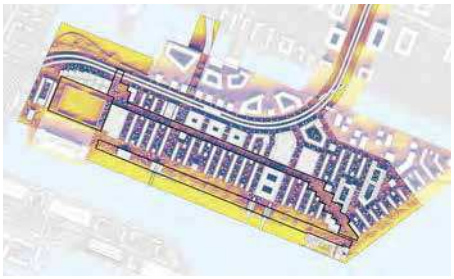
MIKROKLIMATISKE ANBEFALINGER

OVERORDNEDE VURDERINGER

Levantkaj er præget af en havnenær placering og tæt bebyggelse, der skaber store variationer i vindforhold og soleksponering i området. Dette gør det særligt vigtigt at tilpasse programmeringen til de mikroklimatiske forhold, da gode betingelser for stillesiddende ophold og en længere komfortabel brugssæson kræver både læ og sollys. I periferien særligt mod syd og øst er der rig mulighed for direkte soleksponering, mens vindhastighederne her er højere og nogen steder skaber vindgener. Derimod skaber den tætte bebyggelse fine læområder i gårdrum og i dele af de indre gadeforløb, hvor der til gengæld er relativt begrænsede sollysforhold pga. det tætte og repetitive bygningsgrid. Der er potentiale for at forbedre mikroklimaet ved at på delområdeniveau vurdere mikroklimaet ifm. planlægning af bebyggelsens udformning, orientering og placering.

Ved at betragte analyseresultater for sol og vind side om side, er det muligt at udpege arealer som har både god sol- og vindforhold, taget forskellige årstider i betragtning. For skuldersæsonen i forår og efterår kan det ofte føles køligt selvom lufttemperaturerne er blevet lidt højere og dagene lidt længere. Her kan områder med mange sollystimer og læ for vinden føles behagelige og være udslagsgivende ift. at folk opholder sig længere tid udendørs. Her bør programmeringen tage højde for dette, når arealer planlægges. For sommerdage kan de samme forhold gælde, men ved ekstremt varme sommerdage kan det blive relevant at programmere opholdsrum, hvor der kan søges skygge fra solen, eller et frisk vindpust kan opleves. Vegetation er med til at forbedre vindforhold i nogen grad, men kan ikke skabe vindkomfort, hvis der i forvejen er meget ringe vindforhold. Vegetationen bidrager med skygge som kan være komfortabelt på varme dage.

Sammenligning af analyseresultater relevant for programmering af funktioner i skuldersæsonen (forår og efterår)



POTENTIELLE SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN
ANTAL SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN VED FORÅRSJÆVNDØGN D. 21. MARTS (KLAR HIMMEL).

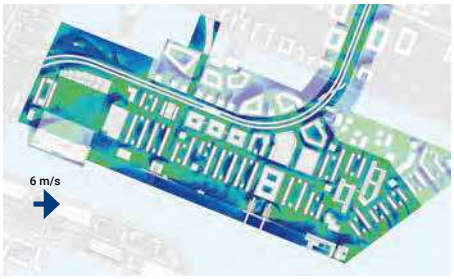
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

BEGRÆNSET SOLEKSPONERING · LAV SOLEKSPONERING · HØJ SOLEKSPONERING · MEGET HØJ SOLEKSPONERING



VINDKOMFORT
LAWSON LDDC VINDKOMFORTKATEGORISERING 1.75 METER OVER TERRÆN, BASERET PÅ ÅRLIG VINDSTATISTIK

A	B	C	D	E
EGNET TIL AT SIDDE NED	EGNET TIL AT STÅ OP	EGNET TIL LANGSOM GANG	EGNET TIL HURTIG GANG	UKOMFORTABELT

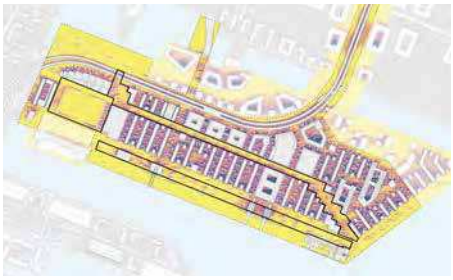


OPLEVET TEMPERATUR EN MARTSDAG KL. 12
UTCI [°C] KOMBINERER GENNEMSNITLIGE VÆRDIER FOR VIND, TEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED, STRÅLING

-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25

MODERAT KULDESTRESS · INGEN TERMISK STRESS

Sammenligning af analyseresultater relevant for programmering af funktioner i de varme måneder (sommer)



POTENTIELLE SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN
ANTAL SOLLYSTIMER PÅ TERRÆN VED SOMMERSOLHVERV D. 21. JUNI (KLAR HIMMEL).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

BEGRÆNSET SOLEKSPONERING · LAV SOLEKSPONERING · HØJ SOLEKSPONERING · MEGET HØJ SOLEKSPONERING



VINDKOMFORT
LAWSON LDDC VINDKOMFORTKATEGORISERING 1.75 METER OVER TERRÆN, BASERET PÅ ÅRLIG VINDSTATISTIK

A	B	C	D	E
EGNET TIL AT SIDDE NED	EGNET TIL AT STÅ OP	EGNET TIL LANGSOM GANG	EGNET TIL HURTIG GANG	UKOMFORTABELT



OPLEVET TEMPERATUR EN JUNIDAG KL. 12
UTCI [°C] KOMBINERER GENNEMSNITLIGE VÆRDIER FOR VIND, TEMPERATUR, LUFTFUGTIGHED, STRÅLING

-5	0	5	10	15	20	25	30	35

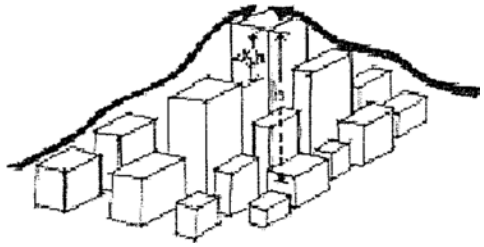
MODERAT KULDESTRESS · INGEN TERMISK STRESS · MODERAT VARME STRESS

OVERORDNEDE ANBEFALINGER

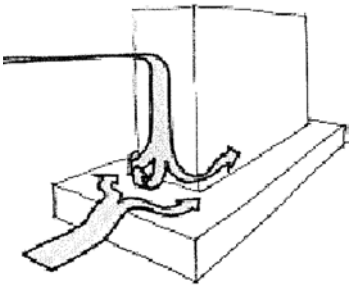
Vind- og sollysforhold varierer på tværs af Levantkaj, hvor bygningsplaceringer og -udformninger er relativt veldefinerede. Dette betyder at de overordnede mikroklimatiske tendenser i Levantkaj er givet og ikke kan præges i særlig høj grad. Dog stemmer overordnede mikroklimatiske mønstre godt overens med bydelens grundlæggende tilgang til planlægning af funktionen af gader, gårdrum, pladser m.v. Derfor beror anbefalinger til optimering af mikroklimaet primært på hvordan bygningskroppe og facader kan bidrage til bedre vindforhold, samt hvordan landskabselementer og vegetation kan bidrage til læzoner i offentlige udearealer.

Generelle anbefalinger til hvordan bygninger, vegetation og læskærme kan tilpasses for at forbedre mikroklimaet lokalt:

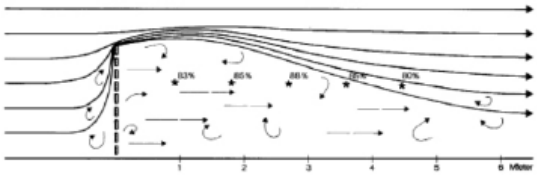
Undgå store skalaspring mellem bygninger (maks. 2 etagers spring). Det giver færre nedfaldsvinde. Forsøg at nedtrappe byggeriet gradvist.



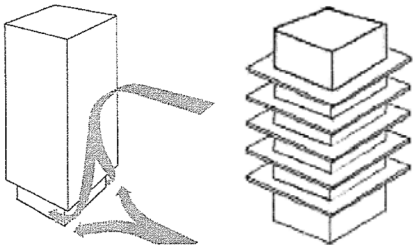
Undgå høje fritstående bygninger. Overvej at arbejde med podier, som kan hindre nedfaldsvinde i gadeniveau. Bygninger bygget på et podium kan være med til at modvirke effekten af downwash i gadeplan og dermed forbedre vindkomforten for fodgængere.



Arbejd med læskærme på tagflader, altaner eller i byrummene til at skabe læzoner. En hulprocent i læskærmen på 30-40% vil skabe bedste potentiale for læzoner, udkig og mindre vindtryk på læskærmen.



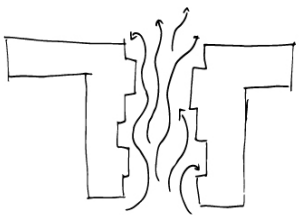
For høje bygninger kan gadeniveau trækkes under bygningen for at forbedre komfort. Kan også give læ ved regnvejr. Det anbefales at facaden i gadeniveau trækkes mindst 3 meter ind i forhold til overliggende etage. Balkoner kan reducere vindhastigheder op til 40%.



Placér træer lige ud for bygningshjørner, hvor der sker hjørneffekter. Placér træer ud for bygningsfacader, hvor der sker nedfaldsvinde, fx ved højere bygninger, hvor der ikke kan arbejdes med podier eller indtrukkede stueetager.



Arbejd med fremspring, relief og facadevariationer i så vidt muligt omfang, især i parallelle gadeforløb for at begrænse vindgener og skabe små lælommer til ophold.



Kilde: Bennett, J. (2007). Wind Design Guide. BBSC 433 - Architectural Aerodynamics.

ANBEFALINGER TIL OPTIMERING AF MIKROKLIMA

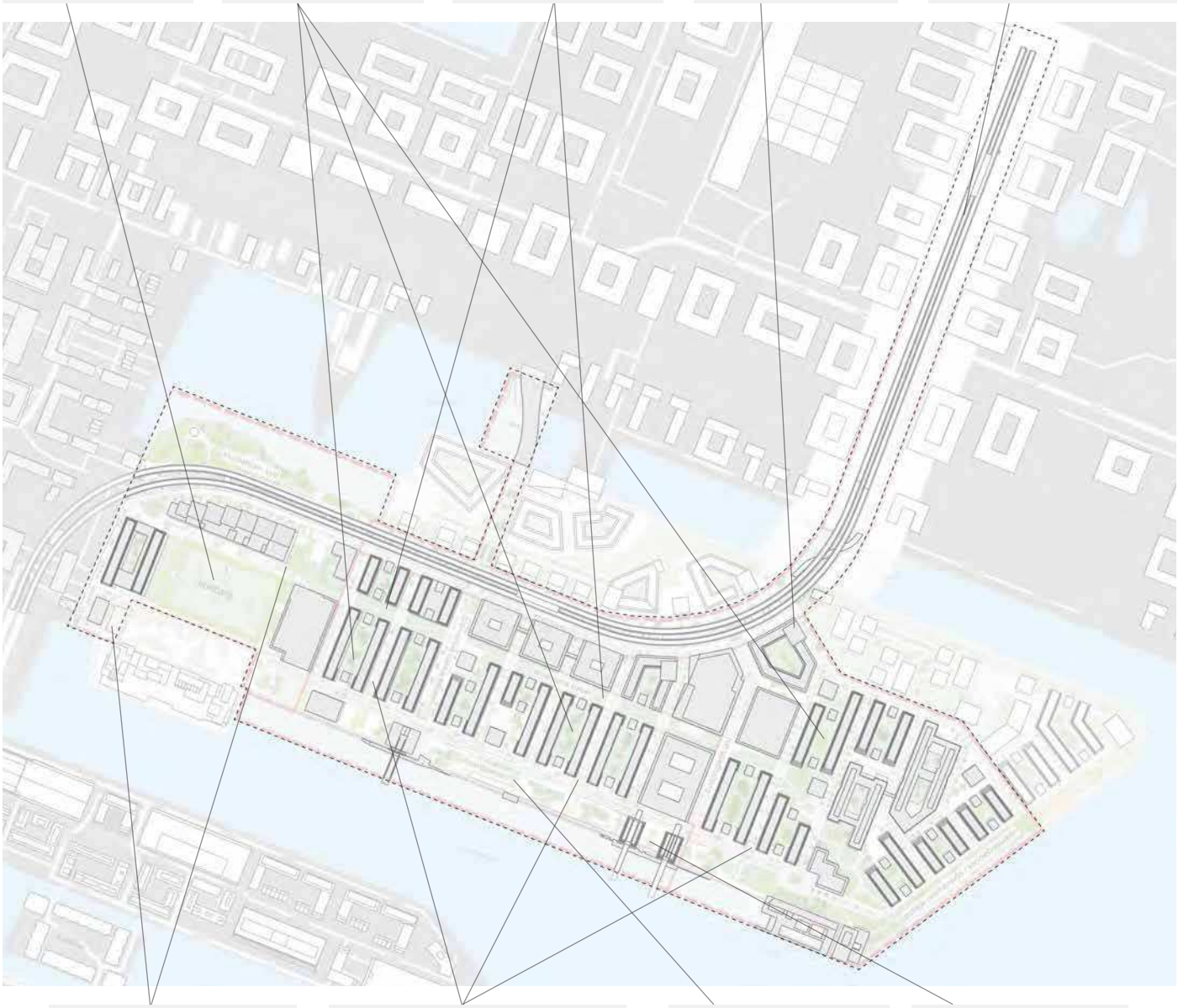
Boldbane: Det fremhævede boldbaneareal har generelt fine vindbetingelser og ligger relativt godt skærmet mellem større bygninger på hver side. Det er mest i hjørnerne der vil være vindgener. Tilskuerløsninger bør derfor tænkes i forbindelse med bygningsfacader - vestlige del af den sydvendte facade lige nord for boldbanen giver bedste betingelser på tværs af døgnets timer henover året.

Gårdrum: Generelt er gårdrummene indikeret som smalle gårdrum der primært breder sig i nord-syd-gående retning. Der er generelt fine vindforhold i gårdrummene, men sollysbetingelserne er begrænsede. Bygningsstrukturen i Levantkaj ligger op til, at udendørs ophold primært foregår i de offentlige rum, og ikke i gårdrum. Gårdrum kan dog være rigtig gode opholdsrum på særligt varme sommerdage, hvor der kan søges skygge fra solen.

Levantens haver: De øst-vestgående passager har umiddelbart gode vindforhold, og egner sig fint til ophold og udadvendte funktioner. I den nordlige del af forløbet er der også relativt fine sollysforhold henover året, så udadvendte funktioner bør primært placeres her. Vegetation er med til at mitigere vindgener der periodevist kan opstå, og samtidigt bidrage til bedre luftkvalitet og udkig, samt skygge på de varme sommerdage.

Højhus: Ved højhusbebyggelsen sker en større hjørneeffekt ved nordlige hjørne samt nedfaldsvinde, idet særligt dominerende vestenvind skal omkring et stort bygningsvolumen. Afrunding af nordlige hjørne kan begrænse effekten. derudover kan podier eller udhæng begrænse effekten af nedfaldsvinde i gadeniveau. Forholdene bør overvejes grundigt inden der planlægges udadvendte funktioner i denne bebyggelse.

Metrobanen: Det fremgår af analyserne at vindmiljøet omkring højbanen i høj grad defineres af bygningskonteksten, hvor bygningskroppe kan være læskabende helt ind under metroens tracé. Der er derimod mere vind der, hvor der løber øst-vestgående passager på tværs af metroen. Dette ses særligt ved metrostop Nordhavn C, hvor der er et ringe vindmiljø omkring stoppet, samt i forbindelserne dertil fra både sydvest og -øst. Der er dog flere steder langs metrobanen og tæt på metrostop, hvor der opstår zoner med læ og sol, som egner sig funktioner med ophold.



Vestlige ankomstkomster: Bygningsvolumen nordvest for Den Internationale Skole vil i sammenhæng til skolen skabe et ofte vindblæst areal mellem disse bygninger, da både syd- og vestlige vinde skal passere denne tragt. Tættere klynger af vegetation ved bygningshjørner og åbningen mellem bygningerne kan begrænse vindgener, som primært bør være tiltænkt som et transitareal, man passerer igennem.

Sydlige ankomstpunkter: Ved de sydlige indgange til områdebebyggelsen, sker en acceleration af vinden omkring hjørner og ind i de nord-syd-gående gadeforløb. Vegetationen afhælper en anelse, men der bør arbejdes med at placere større klynger af træer ud for de udsatte bygningshjørner og facader for at begrænse vindgenerne. Syd for mange af bygningsgavlene er der dog fine sol- og vindforhold, så her kan der med fordel placeres opholdsorienterede funktioner, dog med afstand til bygningshjørnerne.

Levantparken: Havnefronten egner sig bedst til gåture eller kortere ophold, hvor man kan skærme sig mellem træer, forhøjninger i landskabet, læskærme eller andet. Det vil skabe bedre betingelser for ophold, hvis landskabet på den måde kan understøtte komfort, ved at give afskærmningsmuligheder, men mulighed for at blive eksponeret for solen.

Containerkranerne: Containerkran står op i landskabet og kan skabe nogle vindgener omkring sig pga. større nedfalds- og hjørnevinde, især ved de to østligste kraner, hvor der er et stort bygningsvolumen lige op til. Her bør rummet mellem kranene programmeres varsomt ift. opholdsfunktioner, som primært bør placeres nordøst for den østlige af de to kraner.

aaen
engineering

Februar 2026

Vurdering af den urbane varmeø-effekt

Levantkaj, Nordhavn



Vurdering af den urbane varmeø-effekt på Levantkaj, Nordhavn

Kortfattet sammenfatning

Byudviklingen på Levantkaj vil ændre områdets mikroklimatiske forhold i takt med, at det åbne havnenære industriareal omdannes til et tæt, højt bykvarter. Den urbane varmeø-effekt (UHI) er et fænomen, hvor byområder bliver varmere end deres omgivelser som følge af varmeakkumulation i materialer og reduceret ventilation. I København er forskellen typisk 3–5 °C, men kan lokalt være højere i tætte byrum.

Samlet vurdering

Den planlagte udvikling vurderes at medføre en **moderat påvirkning af den urbane varmeø-effekt (UHI)** sammenlignet med nulscenariet. Påvirkningen vurderes dog ikke at være væsentlig, da området fortsat har lavt udgangspunkt for UHI pga. sin kystnære beliggenhed og gode ventilationsforhold.

Vurderede faktorer	Ændring ift. nulscenarie	UHI-påvirkning
Nærhed til havnens vandarealer	Uændret	Ubetydelig
Bygningshøjde og tæthed	Øget	Moderat til høj negativ
Materialers termiske egenskaber	Øget overfladeareal, høj masse	Moderat negativ
Grønne arealer fjernet	Begrænset	Lav negativ
Vegetation i byrum (grønne elementer)	Øges	Moderat positiv
Ventilation	Forholdsvis god	Lav negativ

Anbefalinger til den videre planlægning

- → Krav til lyse, reflekterende tage og belægninger (høj albedo)
- → Begrønning af facader, tage og kajkanter
- → Øget beplantning og trædækning i gaderum
- → Anvendelse af permeable og lyse overflader
- → Sikring af ventilationskorridorer i bystrukturen

Indarbejdelse af disse elementer vil understøtte en robust og klimatilpasset byudvikling med begrænset varmeø-effekt.

Vurdering af den urbane varmeø-effekt

Levantkaj, Nordhavn

Februar 2026
Udarbejdet af Aaen Engineering for By & Havn

1. Formål

Notatet vurderer den forventede påvirkning af den urbane varmeø-effekt (Urban Heat Island, UHI) som følge af byudviklingen på Levantkaj. Vurderingen indgår som del af miljøvurderingen for området og belyser, hvordan planens fysiske karakteristika påvirke den urbane varmeø-effekt i forhold til nulscenariet (eksisterende forhold) for Levantkaj.

2. Hvad er den urbane varmeø-effekt (UHI)

Den urbane varmeø-effekten opstår, når byområder oplever højere temperaturer end deres omgivelser. I København kan temperaturforskellen typisk udgøre 3–5 °C, og i ekstreme tilfælde – eksempelvis i smalle gader omgivet af høje bygninger – op til 12 °C. Forskellen er mest udtalt om natten, hvor byens materialer langsomt afgiver den varme, de har opsamlet i løbet af dagen. De mest væsentlige årsager er:

- → Materialers termiske egenskaber – asfalt, beton og murværk absorberer og lagrer varme.
- → Reduceret vegetation – mindre fordampningskøling og skygge.
- → Bymæssig tæthed og canyon-effekt – varme fanges, og luftskifte mindskes.
- → Antropogen (menneskeskabt) varme – fra fx trafik og tekniske anlæg.

Den urbane varmeø-effekt kan forstærke menneskers varmestress under hedebølger og forværre luftkvalitet ved at hindre ventilering af forurenet luft.

3. Forudsætninger for vurdering

Vurderingen er baseret på CFD-analyser af mikroklima (vind og solforhold, se bilag) kombineret med generel viden om den urbane varmeø-effekten. Den anvendte CFD-model er ikke termisk og kan derfor ikke kvantificere temperaturer, men kan anvendes til at:

- → Identificere ventilation og vindfordeling
- → Vurdere skygge- og eksponeringsforhold
- → Indikere potentielle områder for varmeakkumulation.

For egentlig termisk modellering, forudsætter det anvendelse af mere avancerede computersimuleringer. I praksis kan det overvejes at evaluere på den egentlige urbane varmeø-effekt ved at i fremtiden foretage temperaturmålinger i Levantkaj og sammenstille det med referencemålinger.

4. Vurdering af fysiske forhold

4.1 Nærhed til havnens vandarealer

Levantkaj er omkranset af havnebassiner, hvilket generelt har en kølende og stabiliserende effekt. Levantkaj åbner sig op mod Øresund mod syd og øst, i mere begrænset omfang til indre havnebassiner mod nord og vest. Vandets høje varmekapacitet betyder, at det kan optage store mængder varme uden betydelig temperaturstigning, og det virker derved som termostat i lokalområdet. Denne situation gælder dog både i nulscenariet og i planscenariet, hvorfor byudviklingen ikke ændrer effekten væsentligt.

Vurdering:

- → Ændring i forhold til nulscenarie: **Ubetydelig**
- → Effekt på UHI: **Neutral**
- → Begrundelse: **Vandet bidrager fortsat til lavt urban varmeø-potentiale, men planens realisering ændrer ikke de termiske basisforhold.**

4.2 Overgang fra åbent industriareal til tæt og høj bebyggelse

Området transformeres fra åbne havne- og industriarealer til et tæt, højt bykvarter med ca. 550.000 m² bebyggelse. Denne ændring øger den samlede termiske masse og reducerer udsyn til himmelrummet (sky view factor, SVF), hvilket hæmmer varmeudstråling og øger risiko for varmeakkumulation.

Bygningernes nord/syd-orientering mindsker solindfald på sydvendte facader, men øger det på øst/vestvendte-facader, særligt i morgen- og aftentimer. Samlet set reduceres solbelastningen dog i sommerperioden. Ventilationsforholdene vurderes som gode, idet området er gennemskåret af åbne gadeforløb i både øst-/vestgående og nord-/sydgående retning, hvilket tillader luftgennemstrømning. Køleeffekten fra havet forstærkes ved vind fra nordøst.

Vurdering:

- → Ændring i forhold til nulscenarie: **Negativ**
- → Effekt på UHI: **Moderat til høj**
- → Begrundelse: **Øget tæthed og termisk masse medfører større varmeakkumulation trods god ventilation.**

4.3 Materialers termiske og refleksive egenskaber

I nulscenariet består området primært af mørke, hårde overflader som asfalt, beton og grus. I planscenariet introduceres en markant større mængde af bygnings- og overfladearealer, herunder tage og facader, som i væsentlig grad vil kunne absorbere og lagre varme. Selvom planen kan indeholde lyse eller grønne elementer, vil det samlede areal af varmeabsorberende materialer stige betydeligt, hvilket øger varmeakkumulationen i området.

Vurdering:

- → Ændring i forhold til nulscenarie: **Negativ**
- → Effekt på UHI: **Moderat**
- → Begrundelse: **Det samlede varmeoptag stiger som følge af øget overfladeareal, selv med potentielt højere albedo end i dag.**

4.4 Grønne arealer som fjernes

De eksisterende grønne områder i den nordøstlige del af Levantkaj og omkring Nordhavnstunnelen vil i nogen grad blive reduceret. Vegetationen består primært af lav, spontan flora, hvilket giver begrænset køleeffekt i dag. Tabet af grønne overflader reducerer dog lokal fugtighed og fordampningskøling.

Vurdering:

- → Ændring i forhold til nulscenarie: **Negativ**
- → Effekt på UHI: **Lav**
- → Begrundelse: **Begrænset grøntab med primært lokal betydning.**

4.5 Grønne elementer i bebyggelsen

Lokalplanen fastlægger en høj grad af begrønning i form af træer, grønne belægninger, gårdhaver og beplantning langs promenaderne. Vegetation har en dokumenteret kølende virkning gennem evaporation og skygge. Træer kan lokalt reducere vindhastighed, men moderat beplantning forbedrer generelt mikroklimaet uden at hæmme ventilation væsentligt.

Vurdering:

- → Ændring i forhold til nulscenarie: **Positiv**
- → Effekt på UHI: **Moderat**
- → Begrundelse: **Grønne elementer tilføres i langt højere grad end i dag og bidrager til lokal afkøling.**

4.6 Ventilation og luftcirkulation

Levantkaj er planlagt med åbne gadeforløb og gårdrum i både øst/vest- og nord/syd-retning, hvilket fremmer luftcirkulation. Vindforhold langs Levant Boulevard, metroforløb og åbne promenadearealer understøtter naturlig ventilation. God ventilation reducerer varmeakkumulation i byrum og mindsker temperaturstigninger i sommerperioder. Trods de gode ventilationsforhold reducerer bebyggelsen luftgennemstrømningen sammenlignet med nulscenariet, hvor området er åbent og uden højere bygninger.

Vurdering:

- → Ændring i forhold til nulscenarie: **Negativ**
- → Effekt på UHI: **Lav**
- → Begrundelse: **Bebyggelsen begrænser luftgennemstrømning sammenlignet med nulscenariet, selvom ventilationen gennem området stadig vurderes fornuftig.**

5. Samlet vurdering og indikatorer

Den planlagte udvikling vurderes at medføre en **moderat påvirkning af den urbane varmeø-effekt (UHI)** sammenlignet med nulscenariet. Påvirkningen vurderes dog ikke at være væsentlig, da området fortsat har lavt udgangspunkt for UHI pga. sin kystnære beliggenhed og gode ventilationsforhold.

Nedenstående tabel opsummerer ændringer i forhold til nulscenariet og deres forventede betydning for UHI-effekten.

Vurderede faktorer	Ændring ift. nulscenarie	UHI-påvirkning
Nærhed til havnens vandarealer	Uændret	Ubetydelig
Bygningshøjde og tæthed	Øget	Moderat til høj negativ
Materialers termiske egenskaber	Øget overfladeareal, høj masse	Moderat negativ
Grønne arealer fjernet	Begrænset	Lav negativ
Vegetation i byrum (grønne elementer)	Øges	Moderat positiv
Ventilation	Forholdsvis god	Lav negativ

6. Klimamæssig perspektivering

Med forventede stigende temperaturer og flere hedebølger som følge af klimaforandringer, bliver den urbane varmeø-effekt en vigtig faktor i byplanlægningen. Tæt bystruktur kombineret med mørke og tunge materialer med høj termisk kapacitet kan øge temperaturer og risiko for varmestress, samt øge energiforbrug til køling.

7. Anbefalinger til den videre planlægning

- → Beplantning og skygge: **Øg andelen af træer og grønne elementer i gaderum og på pladser. Skab variation i træhøjde og -placering for både ventilation og skygge.**
- → Materialevalg: **Anvend lyse og reflekterende tage, facader og belægninger. Overvej brug af højreflekterende eller permeabel asfalt på veje og stier.**
- → Grønne og permeable overflader: **Etabler grønne tage og facader. Brug permeable belægninger i byrum for at fremme fordampning.**
- → Bystruktur: **Bevar og styrk ventilationskorridorer langs større vej- og metroforløb. Overvej variation i bygningshøjder for at forbedre luftcirkulation.**
- → Planmæssige retningslinjer: **Indfør bestemmelser om lyse tage, grønne facader og beplantning i byrum som retningslinjer for reduktion af den urbane varmeø-effekt.**

8. Referencer

- → Oke, T.R. (1987): Boundary Layer Climates.
- → Santamouris, M. (2015): Analyzing the Heat Island Magnitude and Mitigation Strategies.
- → Kleerekoper, L. (2016): Urban Heat: Designing the Urban Microclimate.
- → Københavns Kommune (2021): Klimatilpasning København – Urban Heat Islands.

9. Bilag

- → Mikroklimarapport_Levantkaj_11.12.2025_Scenarie A
- → Mikroklimarapport_Levantkaj_11.12.2025_Scenarie AB
- → Mikroklimarapport_Levantkaj_11.02.2026_Scenarie A inkl. træer
- → Mikroklimarapport_Levantkaj_11.02.2026_Scenarie B inkl. træer

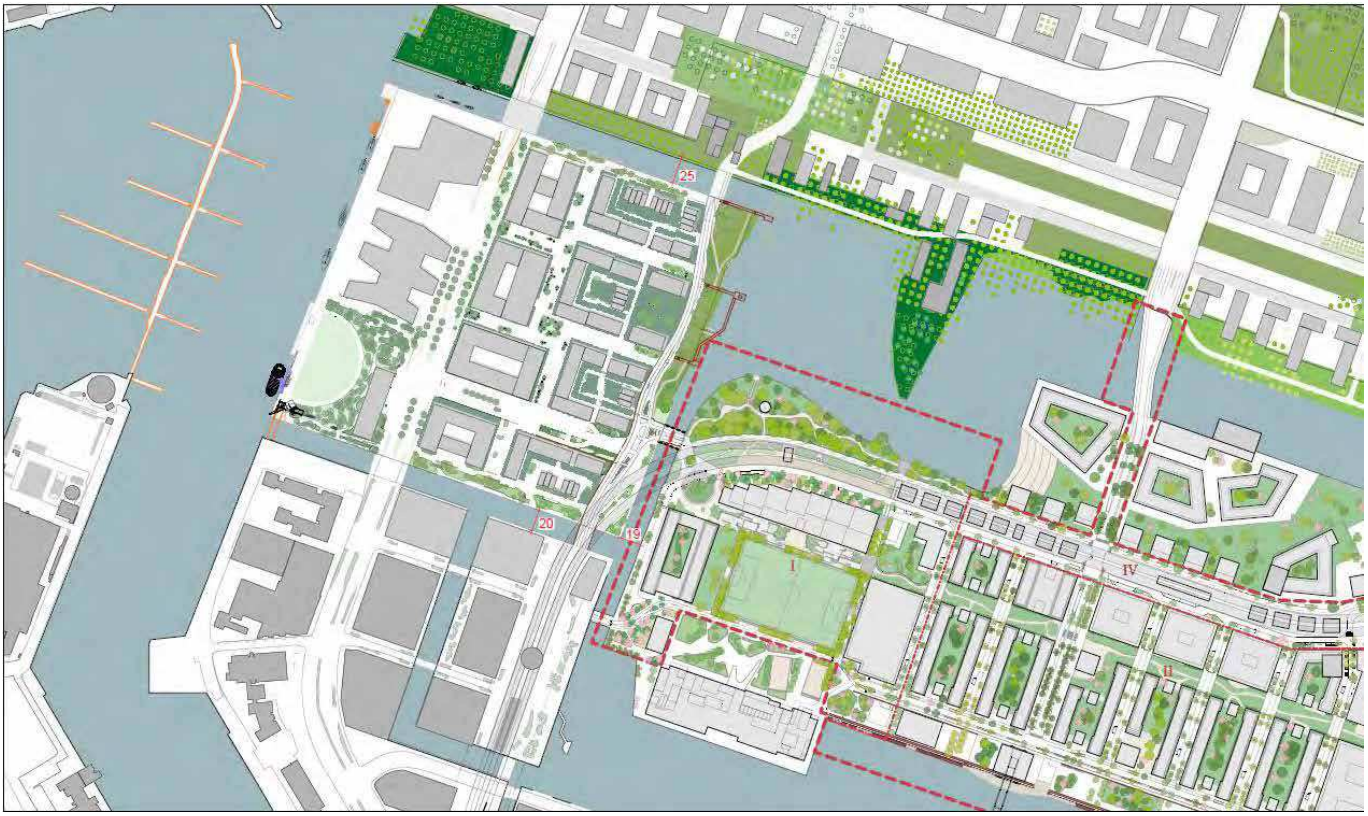
Nye kanaler til Skudehavnen

Konsekvensvurdering af ændret kanalforløb i områdeplanen for Levantkaj

Rapport
Projektnr. 11833473

18-02-2026

Udarbejdet for Udviklingsselskabet By & Havn I/S



Nye kanaler til Skudehavnen

Konsekvensvurdering af ændret kanalforløb i områdeplanen for Levantkaj

Rapport
Projektnr. 11833473

Udarbejdet for: Udviklingsselskabet By & Havn I/S
Repræsenteret ved: Jonathan Lyngsø

Godkendt af


Kontaktperson: Bo Brahtz Christensen
Projektleder: Bo Brahtz Christensen
Kvalitetsansvarlig: Sten Esbjørn Kristensen
Udarbejdet af: Anika Scholl, Martin Taaning og Bo Brahtz Christensen

Projektnr.: 11833473
Godkendt af: Sanne Lina Niemann
Godkendelsesdato: 18-02-2026
Revision: Endelig version 1.0

Klassifikation: **Begrænset:** Dette dokument er tilgængeligt for personer ansat i DHI-koncernen men må ikke deles med andre udenfor DHI-koncernen uden kundens forhåndsgodkendelse.

Filnavn: 11833473-Nye kanaler Skudehavnen-rev1.docx

DHI A/S • Agern Allé 5 • DK-2970 Hørsholm • Denmark
Telefon: +45 4516 9200 • dhi@dhigroup.com • www.dhigroup.com • CVR-nr.: 36466871

Indholdsfortegnelse

1 Sammenfatning og konklusion 8

1.1 Gennemstrømning af Skudehavnen 8
1.2 Strømhastigheder i Skudehavnen 12
1.3 Påvirkning af badevandskvalitet 15
1.4 Risiko for ophvirvling 18
1.4.1 Risikovurdering med afsæt i strømhastigheder og Hjulstrøm-Sundborgs diagram 18
1.4.2 Modelleret sedimentspredning 20
1.5 Spredning af miljøfremmede stoffer til omkringliggende vandområde 24
1.5.1 Overordnet betragtning 26

2 Introduktion 27

2.1 Baggrund 27
2.2 Formål 28
2.3 Metode 28
2.3.1 Udløbskilder 30
2.3.2 Modelperioder 31
2.3.3 Gennemstrømning og strømhastigheder 31
2.3.4 Badevandskvalitet 31
2.3.5 Risiko for ophvirvling 32
2.3.6 Spredning af miljøfremmede stoffer 33

3 Baggrundsdata 35

3.1 Pejlinger 35
3.2 Lynetteholm 36
3.3 Kemiske analyser af blødbundssedimentet 37
3.3.1 Miljøkvalitetskrav 41
3.3.2 Naturlig baggrund og IFF-koncentrationer 41
3.3.3 Udrystningsforsøg 44

4 Opsætning af model 45

4.1 Bakteriehenfaldsmodel 47
4.2 Bakteriekoncentrationer 47

5 Gennemstrømning og strømhastigheder 48

5.1 Vandføringsanalyser 48
5.2 Gennemstrømning af Skudehavnen i sommerperiode 50
5.3 Gennemstrømning af Skudehavnen i vinterperiode 54
5.4 Strømhastigheder 59
5.4.1 Strømhastigheder i sommerperioden 60
5.4.2 Strømhastigheder i vinterperioden 66

6 Badevandskvalitet 72

6.1 Overskridelse af bakteriekoncentrationer i nærområdet 72

7 Risiko for ophvirvling 79

7.1 Risiko for ophvirvling med afsæt i Hjulstøm-Sundborgs diagram 79
7.1.1 Overskridelse af strømevalueringskriterie i sommer- og vinterperiode 79
7.1.2 Følsomhedsanalyse 82
7.2 Sedimentspredning 87
7.2.1 Resuspension 88
7.2.2 Maksimum sedimentkoncentrationer 89
7.2.3 Bundændringer som følge af erosion 92

7.2.4 Spredning til omkringliggende vandområde 96
8 Spredning af miljøfremmede stoffer 98
8.1 Screening af stoffer 98
8.1.1 Statistiske kort og farvepaletter 99
8.2 Spredning i sommerperiode 99
8.2.1 Stoffer som vurderes med afsæt i filtrerede prøver (vandopløst) 99
8.2.2 Stoffer som vurderes med afsæt i totalkoncentrationer 103
8.3 Spredning i vinterperiode 107
8.3.1 Stoffer som vurderes med afsæt i filtrerede prøver (vandopløst) 107
8.3.2 Stoffer som vurderes med afsæt i totalkoncentrationer 111
8.4 Spredning af miljøfremmede stoffer til omkringliggende vandområder 115
9 Referencer 119

Figurer

Figur 1.1 Gennemstrømning af Skudehavnen (baseline) med angivelse af drift og kraftigste ind- og udstrømningshændelse. 9
Figur 1.2 Gennemstrømning af Skudehavnen (masterplan) med angivelse af drift og kraftigste ind- og udstrømningshændelse. 10
Figur 1.3 Gennemstrømning af Skudehavnen (revideret masterplan) med angivelse af drift og kraftigste ind- og udstrømningshændelse. 11
Figur 1.4 Maksimum strømhastighed i overfladelaget i sommerperiode. 13
Figur 1.5 Maksimum strømhastighed i overfladelaget i vinterperiode. 14
Figur 1.6 Relative overskridelsesvarigheder af 100 Enterokokker/100ml i badevandssæsonen 2017. 16
Figur 1.7 Relative overskridelsesvarigheder af 250 E. coli/100ml i badevandssæsonen 2017. . 17
Figur 1.8 Relativ overskridelsesvarighed af kritisk strømhastighed (0,2 m/s) for resuspension af blødbundssedimenter (masterplan). 19
Figur 1.9 Relativ overskridelsesvarighed af kritiske strømhastigheder for resuspension af blødbundssedimenter (masterplan) i sommerperiode. 20
Figur 1.10 Maksimum sedimentkoncentration for revideret masterplan i sommerperioden. 21
Figur 1.11 Bundændring for revideret masterplan layout med konservativt valgt antagelse om bundruhed. 22
Figur 1.12 Kanalsnittenes nummerering og placering. 23
Figur 1.13 Maksimumkoncentration af vandopløst Kobber fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie (1,52 µg/l) i sommerperiode. 24
Figur 1.14 Maksimumkoncentration af Benzo(ghi)perylen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 25
Figur 2.1 Masterplan for området omkring Skudehavnen med 3 nye kanalforbindelser. 27
Figur 2.2 Revideret masterplan for området omkring Skudehavnen med 2 nye kanalforbindelser. 28
Figur 2.3 Udstrækning af Københavnsmodellen, som udgør basis for de til studiet etablerede modeller. 29
Figur 2.4 Overløb og udløb som er indeholdt i badevandsmodelleringen. 30
Figur 2.5 Hjulstrøms-Sundborgs diagram med Wenthworth-Krumbein graderingsskala og angivelse af områder for depositions-, transport- og erosionsregime. 33
Figur 2.6 Oversigtskort med prøvetagningsstationer, fra ref. /2/. 33
Figur 3.1 Pejlinger af Skudehavnen med reference til DVR90. 35
Figur 3.2 Pejlinger af Skudeløbet og af mundingen i Kronløbet med reference til DVR90. 35

Figur 3.3 Samlet batymetrisk modelgrundlag og udstrækning af model (blå linjer). 36
Figur 3.4 Lynetteholm perimeteren som påvirker de lokale strømforhold i Yderhavnen. 37
Figur 3.5 Seismisk fastlæggelse af blødbundssedimentets lagtykkelse, fra ref. /2/. 38
Figur 3.6 Eksempel på målte vandstandsvariationer i sidebassin forårsaget af færgepassage. 38
Figur 3.7 Søkort af Yderhavnen fra 1897. 39
Figur 3.8 Stationer i Østlig Ringvej studiet anvendt til fastlæggelse af IFF-koncentrationer. 42
Figur 4.1 Beregningsnet og batymetri i området omkring Skudehavnen. Baseline (øverst), masterplan (midterst) og revideret masterplan (nederst). 46
Figur 4.2 Det vertikale beregningsnet illustreret gennem et tværsnit fra ydre del af Kronløbet gennem Skudeløbet, Skudehavnen, ny kanal mod Kalkbrænderiløbet og ud gennem Kalkbrænderiløbet. 47
Figur 5.1 Tværsnit for gennemstrømning for baseline (øverste figur), masterplan (midterste figur) og revideret masterplan (nederste figur). 49
Figur 5.2 Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for baseline. 50
Figur 5.3 Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst). 51
Figur 5.4 Vandføringer i snit 2 i den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen. 52
Figur 5.5 Vandføringer i snit 3 i den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst). 52
Figur 5.6 Vandføringer i snit 4 i den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst). 53
Figur 5.7 Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for baseline. 55
Figur 5.8 Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst). 55
Figur 5.9 Vandføringer i snit 2 i den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen. 56
Figur 5.10 Vandføringer i snit 3 i den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst). 57
Figur 5.11 Vandføringer i snit 4 i den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst). 58
Figur 5.12 Middelstrømhastighed i sommerperiode baseret på dybdemidlet strøm. 61
Figur 5.13 Middelstrømhastighed baseret på højeste strømhastighed i vandsøjlen. 62
Figur 5.14 Maksimum strømhastighed i sommerperiode baseret på dybdemidlet strøm. 63
Figur 5.15 Maksimum strømhastighed i overfladelaget i sommerperiode. 64
Figur 5.16 Maksimum strømhastighed i bundlaget i sommerperiode. 65
Figur 5.17 Middelstrømhastighed i vinterperiode baseret på dybdemidlet strøm. 67
Figur 5.18 Middelstrømhastighed baseret på højeste strømhastighed i vandsøjlen i vinterperioden. 68
Figur 5.19 Maksimum strømhastighed i vinterperiode baseret på dybdemidlet strøm. 69
Figur 5.20 Maksimum strømhastighed i overfladelaget i vinterperiode. 70
Figur 5.21 Maksimum strømhastighed i bundlaget i vinterperiode. 71
Figur 6.1 Relative overskridelsesvarigheder af 100 Enterokokker/100ml i badevandssæsonen 2017. 74
Figur 6.2 Relative overskridelsesvarigheder af 250 E. coli/100ml i badevandssæsonen 2017. . 75
Figur 6.3 Bakteriekoncentrationer ved Svanemøllen Strand (sort kurve) og Sandkaj badezone (blå kurve). 76
Figur 6.4 Relative overskridelsesvarigheder af 200 Enterokokker/100ml i badevandssæsonen 2017. 77
Figur 6.5 Relative overskridelsesvarigheder af 500 E. coli/100 ml i badevandssæsonen 2017. 78
Figur 7.1 Relativ overskridelsesvarighed af kritisk strømhastighed (0,2 m/s) for resuspension af blødbundssedimenter i sommerperiode. 80

Figur 7.2 Relativ overskridelsesvarighed af kritisk strømhastighed (0,2 m/s) for resuspension af blødbundssedimenter i vinterperiode. 81
Figur 7.3 Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,15 m/s) i sommerperiode. 83
Figur 7.4 Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,10 m/s) i sommerperiode. 84
Figur 7.5 Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,15 m/s) i vinterperiode. 85
Figur 7.6 Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,10 m/s) i vinterperiode. 86
Figur 7.7 Beregnet maksimum *skin friction* i sommerperiode. 87
Figur 7.8 Beregnet maksimum *skin friction* i vinterperiode. 88
Figur 7.9 Maksimum sedimentkoncentration for masterplan i sommerperioden. 89
Figur 7.10 Maksimum sedimentkoncentration for revideret masterplan i sommerperioden. 90
Figur 7.11 Maksimum sedimentkoncentration for masterplan i vinterperioden. 91
Figur 7.12 Maksimum sedimentkoncentration revideret masterplan i vinterperioden. 92
Figur 7.13 Bundændring i sommerperiode (3,5 måneder) med masterplan layout. 93
Figur 7.14 Bundændring i sommerperiode (3,5 måneder) med revideret masterplan layout. 94
Figur 7.15 Bundændring i vinterperiode (4 måneder) med masterplan layout. 95
Figur 7.16 Bundændring i vinterperiode (4 måneder) med revideret masterplan layout. 96
Figur 7.17 Kanalsnittenes nummerering og placering. 97
Figur 8.1 Maksimumkoncentration af vandopløst kobber fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 100
Figur 8.2 Maksimumkoncentration af vandopløst zink fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 101
Figur 8.3 Maksimumkoncentration af vandopløst kviksølv fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 102
Figur 8.4 Maksimumkoncentration af vandopløst bly fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 103
Figur 8.5 Maksimumkoncentration af benzo(ghi)perylen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 104
Figur 8.6 Maksimumkoncentration af chrysen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 105
Figur 8.7 Maksimumkoncentration af TBT fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 106
Figur 8.8 Maksimumkoncentration af benz(a)anthracen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 107
Figur 8.9 Maksimumkoncentration af vandopløst kobber fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 108
Figur 8.10 Maksimumkoncentration af vandopløst zink fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 109
Figur 8.11 Maksimumkoncentration af vandopløst kviksølv fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 110
Figur 8.12 Maksimumkoncentration af vandopløst bly fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 111
Figur 8.13 Maksimumkoncentration af benzo(ghi)perylen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 112
Figur 8.14 Maksimumkoncentration af chrysen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 113
Figur 8.15 Maksimumkoncentration af TBT fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 114
Figur 8.16 Maksimumkoncentration af benz(a)anthracen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie. 115

Tabeller

Tabel 1.1 Kumulerede bypassmængder udledt via U1 og U2 i badevandssæsonerne 2016-2020. 15

Tabel 1.2 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 100 Enterokokker/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone. 17
Tabel 1.3 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 250 E. coli/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone. 18
Tabel 1.4 Kumuleret spredning af blødbundsediment fra Skudehavnen opgjort i [kg]. 24
Tabel 1.5 Kumuleret årlig spredning af miljøfremmede stoffer opgjort i gram til omkringliggende vandområde. 26
Tabel 3.1 Målte koncentrationer af miljøfremmede stoffer i blødbundssediment, ref. /2/ og /5/. . 40
Tabel 3.2 Gældende maksimumkvalitetskrav. 41
Tabel 3.3 Anvendt naturlig baggrundskoncentration. 42
Tabel 3.4 Anvendte IFF-koncentrationer. 43
Tabel 3.5 Miljøkvalitetskrav for ophvirvlet blødbundssediment. 43
Tabel 3.6 Frigivelsesprocenter fastlagt ved udrystningsforsøg for en række metaller efter 24 timer, ref. /7/. 44
Tabel 4.1 Bakteriekoncentrationer for renset spildevand, bypass og overløb. 47
Tabel 5.1 Middelvandføring, max ind- og udstrømning for sommerperioden. 54
Tabel 5.2 Middelvandføring, max ind- og udstrømning for vinterperioden. 59
Tabel 6.1 Kumuleret bypassmængde udledt via U1 og U2 i badevandssæsonerne 2016-2020. 72
Tabel 6.2 Kumuleret overløbsmængde udledt via U14.1 i badevandssæsonerne 2016-2020. ... 73
Tabel 6.3 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 100 Enterokokker/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone. 74
Tabel 6.4 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 250 E. coli/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone. 75
Tabel 6.5 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 200 Enterokokker/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone. 77
Tabel 6.6 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 500 E. coli/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone. 78
Tabel 7.1 Kumuleret spredning af blødbundsediment fra Skudehavnen opgjort i [kg]. 97
Tabel 8.1 Fastlæggelse af stoffer med størst risiko for overskridelse af miljøkriterie. 98
Tabel 8.2 Definition af anvendt farvepalette til vurdering af overholdelse af gældende miljøkrav. 99
Tabel 8.3 Kumuleret årlig spredning af miljøfremmede stoffer opgjort i gram til omkringliggende vandområde. 116
Tabel 8.4 Kumuleret årlig spredning af miljøfremmede stoffer opgjort i gram til omkringliggende vandområde. 117
Tabel 8.5 Udledningskoncentrationer fra renseanlæg, ref. /9/ (Tabel 7.2). 117
Tabel 8.6 Udledt vandmængde angivet som promille af årlig udledning, som modsvarer tilført stofmængde fra Skudehavnen. 118

1 Sammenfatning og konklusion

Åbningen af Skudehavnen i form af en række nye gravede tilslutningskanaler bevirker, at området går fra at være et sidebassin til Kronløbet til et område med mulighed for gennemstrømning og markant kraftigere strømningsdynamik. Påvirkningen af Skudehavnen og det omkringliggende område, samt kanalernes betydning, er undersøgt ved hjælp af en række hydrodynamiske og hydromorfologiske modelberegninger og analyser for masterplan layout (3 nye kanaltilslutninger) og revideret masterplan layout (2 nye kanaltilslutninger).

De fra modelstudiet dragne konklusioner og hovedresultater herfra er gennemgået i det følgende. Hovedkonklusionen er, at den miljømæssige påvirkning af de nye tilslutningskanaler er marginal og at der ikke er fundet nogen betydende forskelle på de to undersøgte masterplaner i forhold til gennemstrømning, badevandskvalitet, risiko for ophvirvling og spredning af blødbundssediment og dertil knyttet spredning af miljøfremmede stoffer. Det vil derfor være tilstrækkeligt, i alle fremadrettede planarbejder, kun at arbejde videre med det reviderede masterplan layout.

1.1 Gennemstrømning af Skudehavnen

Hovedkonklusion: Der er ingen signifikante eller betydende forskelle i gennemstrømningen af Skudehavnen i den reviderede masterplan sammenholdt med masterplanen, hvorfor en beslutning om ikke at etablere den østlige kanal mellem Orientkaj og Skudehavnen godt kan forsvares, når der alene vurderes med afsæt i gennemstrømningen af Skudehavnen.

Gennemstrømningen af Skudehavnen er undersøgt for en sommerperiode (1. juni – 15.september 2019) og en vinterperiode (1. november 2019 – 1. marts 2020) for baseline (nuværende udformning uden kanaler), masterplan (med 3 nye kanaltilslutninger) og en revideret masterplan (med 2 nye kanaltilslutninger). Strømningen i kanalerne varierer med de meteorologiske forhold (vind og de heraf drevne vandstandsvariationer) og tidevand, som er de to mest betydende faktorer for opbygning af strømdrivende vandspejlsforskelle.

Gennemstrømningen af Skudehavnen kan beskrives ved hjælp af en drift, som angiver middelvandføringen og dens retning i den periode, der betragtes. I den følgende beskrivelse er driften angivet med fortegn, hvor en negativ drift er udtryk for en nettotransport af vand i kanalen rettet mod Skudehavnen og omvendt for en positiv drift. Systemets strømningsdynamik kan beskrives ved hjælp af en vandføringsspredning (standardafvigelse), samt den maksimale ind- og udstrømning i henholdsvis sommerperioden og vinterperioden.

Figur 1.1 viser tre af de definerede gennemstrømningsmål for baseline i henholdsvis sommer- og vinterperioden. Der er ingen drift (gennemstrømning), da Skudehavnen er et lukket sidebassin til Kronløbet. Vandføringsspredningen baseret på den totale vandføring i et snit lige vest for Skagerrakdæmningen er 0,60 m^3/s i sommerperioden og 0,73 m^3/s i vinterperioden. Der er dermed en lidt kraftigere dynamik i vinterperioden, men dynamikken er helt generelt svag, tværsnittets bredde og vanddybde taget i betragtning. Indstrømningen til Skudehavnen er marginalt kraftigere end udstrømningen, hvilket afspejles i en maksimumindstrømning for sommerperioden på 2,43 m^3/s og 3,02 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning på 1,98 m^3/s for sommerperioden og 2,99 m^3/s for vinterperioden.

Dynamikken i baseline er dog kraftigere end hvad tallene ovenfor afspejler, idet der i forbindelse med ændringer af saltholdighed i Kronløbet dannes densitetsdrevne strømme i Skudeløbet, som resulterer i situationer med modsatrettet strøm ved bund og overflade. Ses der i stedet på de to modsatrettede driftskomponenter, hvis sum giver den totale vandføring, finder man en indstrømning på 5,43 m^3/s for sommerperioden og 5,52 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning på 3,07 m^3/s i sommerperioden og 3,35 m^3/s i vinterperioden. Det ses derfor, at kraftig indstrømning er relateret til indtrængning af en tung bundstrøm med en samtidig forekommende modsatrettet returstrøm af lettere vand i overfladen. Ved udstrømning er denne effekt langt mindre udtalt. Ovenstående dynamik forklarer, hvorfor finkornet og ofte kontamineret sediment aflejres i Havneløbets sidebassiner fremfor i Havneløbet.



Figur 1.1 **Gennemstrømning af Skudehavnen (baseline) med angivelse af drift og kraftigste ind- og udstrømningshændelse.**
Øverst: Sommerperiode, Nederst: vinterperiode. Vandføringsspredning: 0,60 m^3/s (sommerperiode), 0.73 m^3/s (vinterperiode).

Med de i masterplanen gennemgående kanaler tilsluttet Kalkbrænderihavnen og Orientbassinet bliver den densitetsdrevne strømning langt mindre betydende, idet strømmen i langt højere grad drives af vandspejlsforskelle og opfører sig mere i lighed med en kanalstrømning. Figur 1.2 viser gennemstrømningsmål for masterplanen i henholdsvis sommer- og vinterperioden. Kanaltilslutningerne bevirker, at der er en drift i Skudeløbet rettet mod Kronløbet på 3,07 m^3/s i sommerperioden og 1,89 m^3/s i vinterperioden. Vandføringsspredningen er 6,04 m^3/s i sommerperioden og 6,01 m^3/s i vinterperioden, hvilket afspejler en betydeligt kraftigere strømningsdynamik end i baseline. I modsætning til baseline er udstrømningshændelser i Skudeløbet nu kraftigere end indstrømningshændelser. Maksimumindstrømning for sommerperioden er 11,46 m^3/s og 15,98 m^3/s for vinterperioden mod 22,18 m^3/s for maksimumudstrømning i sommerperioden og 27,07 m^3/s i vinterperioden. I den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen er der en drift på 0,19 m^3/s rettet mod Orientbassinet i sommerperioden

og 0,71 m^3/s rettet mod Skudehavnen i vinterperioden. Driftens retning ser dermed ud til at være sæsonafhængig. Vandføringsspredningen er 1,37 m^3/s i sommerperioden og 2,10 m^3/s i vinterperioden. Ind- og udstrømningshændelser er nogenlunde lige kraftige. Maksimumindstrømning for sommerperioden er 5,93 m^3/s og 9,30 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning 5,77 m^3/s for sommerperioden og 8,55 m^3/s for vinterperioden.



Figur 1.2 **Gennemstrømning af Skudehavnen (masterplan) med angivelse af drift og kraftigste ind- og udstrømningshændelse.**
Øverst: Sommerperiode, Nederst: vinterperiode. Vandføringsspredninger i de forskellige kanaler: Skudeløbet: 6,04 m^3/s (sommerperiode), 6,01 m^3/s (vinterperiode), østlig kanal 1,37 m^3/s (sommerperiode), 2,10 m^3/s (vinterperiode), vestlig kanal 1,28 m^3/s (sommerperiode), 1,73 m^3/s (vinterperiode) og nordlig kanal 6,28 m^3/s (sommerperiode), 6,59 m^3/s (vinterperiode).

I den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen er der en drift på 1,05 m^3/s i sommerperioden og 1,39 m^3/s i vinterperioden, begge rettet mod Skudehavnen. Vandføringsspredningen er 1,28 m^3/s i sommerperioden og 1,73 m^3/s i vinterperioden. Indstrømningshændelser er kraftigere end

udstrømningshændelser. Maksimumindstrømning for sommerperioden er 5,91 m^3/s og 8,86 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning 3,09 m^3/s for sommerperioden og 5,31 m^3/s for vinterperioden.

I den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er der en drift på 2,21 m^3/s i sommerperioden rettet mod Skudehavnen og 0,21 m^3/s i vinterperioden rettet mod Kalkbrænderihavnen. Vandføringsspredningen er 6,28 m^3/s i sommerperioden og 6,59 m^3/s i vinterperioden og dermed på niveau med Skudeløbet på trods af et noget mindre kanaltværsnit. Indstrømningshændelser er kraftigere end udstrømningshændelser. Maksimumindstrømning for sommerperioden er 22,94 m^3/s og 31,31 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning 16,43 m^3/s for sommerperioden og 19,89 m^3/s for vinterperioden.



Figur 1.3 **Gennemstrømning af Skudehavnen (revideret masterplan) med angivelse af drift og kraftigste ind- og udstrømningshændelse.**

Øverst: Sommerperiode, Nederst: vinterperiode. Vandføringsspredninger i de forskellige kanaler: Skudeløbet: 6,54 m^3/s (sommerperiode), 6,43 m^3/s (vinterperiode), vestlig kanal 1,38 m^3/s (sommerperiode), 1,96 m^3/s (vinterperiode) og nordlig kanal 5,87 m^3/s (sommerperiode), 6,15 m^3/s (vinterperiode).

Gennemstrømningen i den reviderede masterplan afviger kun i mindre grad fra masterplanen. Figur 1.3 viser gennemstrømningsmål for den reviderede masterplan i henholdsvis sommer- og vinterperioden. Kanaltilslutningerne bevirker, at der er en drift i Skudeløbet rettet mod Kronløbet på 3,27 m^3/s i sommerperioden og 1,49 m^3/s i vinterperioden. Vandføringsspredningen er 6,54 m^3/s i sommerperioden og 6,43 m^3/s i vinterperioden, hvilket afspejler en lidt kraftigere dynamik end i masterplanen. Som i masterplanen er udstrømningshændelser kraftigere end indstrømningshændelser. Maksimum-indstrømning for sommerperioden er 12,56 m^3/s og 16,08 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning 26,04 m^3/s for sommerperioden og 34,01 m^3/s for vinterperioden.

I den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen er der en drift på 1,10 m^3/s i sommerperioden og 1,53 m^3/s i vinterperioden begge rettet mod Skudehavnen. Vandføringsspredningen er 1,38 m^3/s i sommerperioden og 1,96 m^3/s i vinterperioden. Indstrømningshændelser er kraftigere end udstrømningshændelser. Maksimumindstrømning for sommerperioden er 7,06 m^3/s og 10,66 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning 3,63 m^3/s for sommerperioden og 5,83 m^3/s for vinterperioden. I den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er der en drift på 2,18 m^3/s i sommerperioden rettet mod Skudehavnen og 0,05 m^3/s i vinterperioden rettet mod Kalkbrænderihavnen. Det ligner derfor, at der er en sæsonvariation. Vandføringsspredningen er 5,87 m^3/s i sommerperioden og 6,15 m^3/s i vinterperioden og dermed på niveau med Skudeløbet på trods af et noget mindre kanaltværsnit. Indstrømningshændelser er kraftigere end udstrømningshændelser. Maksimumindstrømning for sommerperioden er 22,03 m^3/s og 30,25 m^3/s for vinterperioden og maksimumudstrømning 15,61 m^3/s for sommerperioden og 18,51 m^3/s for vinterperioden.

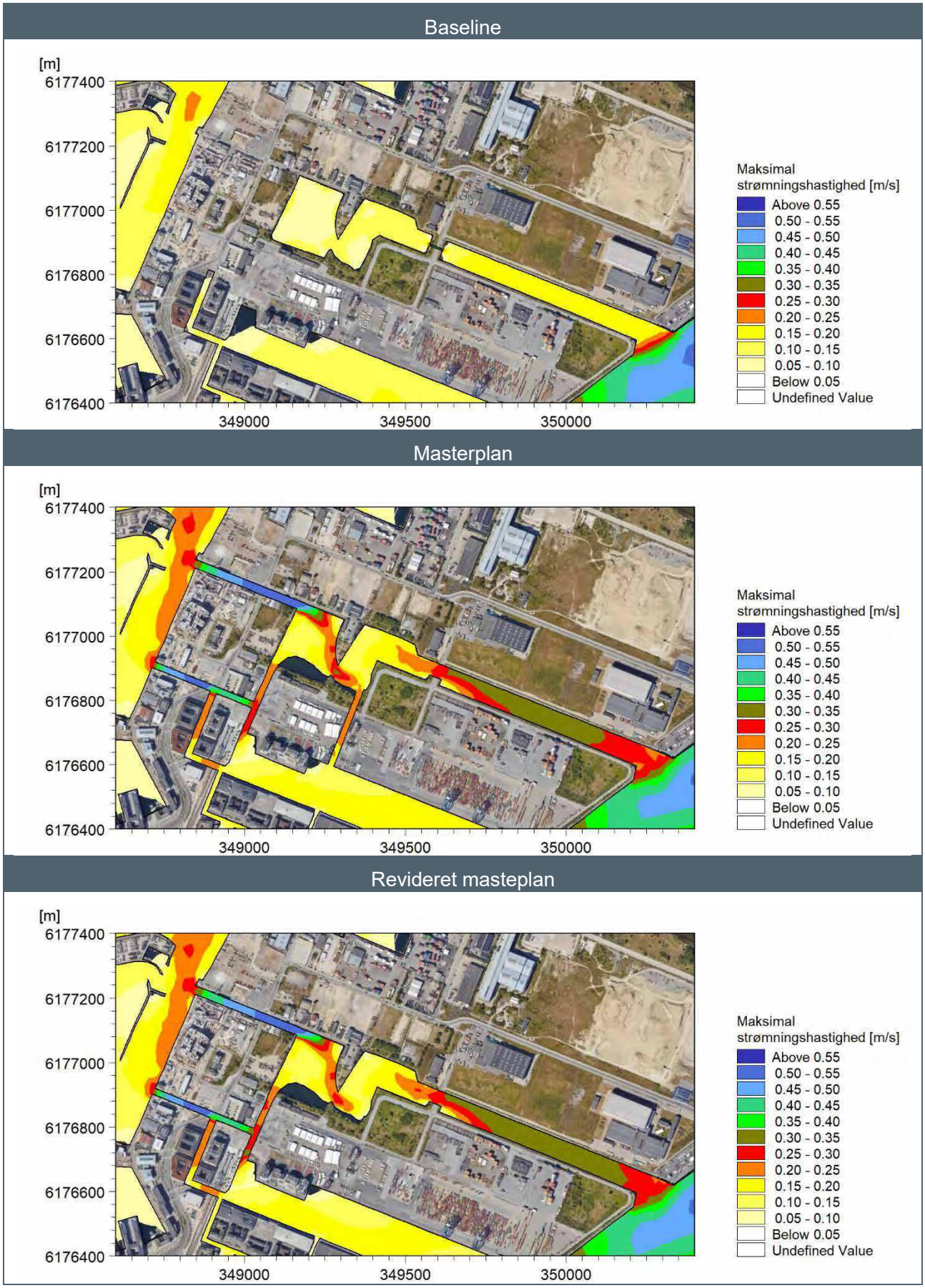
1.2 Strømhastigheder i Skudehavnen

Hovedkonklusion: Der er ingen signifikante forskelle i strømhastigheder i Skudehavnen i den reviderede masterplan sammenholdt med masterplanen, hvorfor en beslutning om ikke at etablere den østlige kanal mellem Orientkaj og Skudehavnen godt kan forsvares, når der alene vurderes med afsæt i strømhastigheder og strømforløb i Skudehavnen.

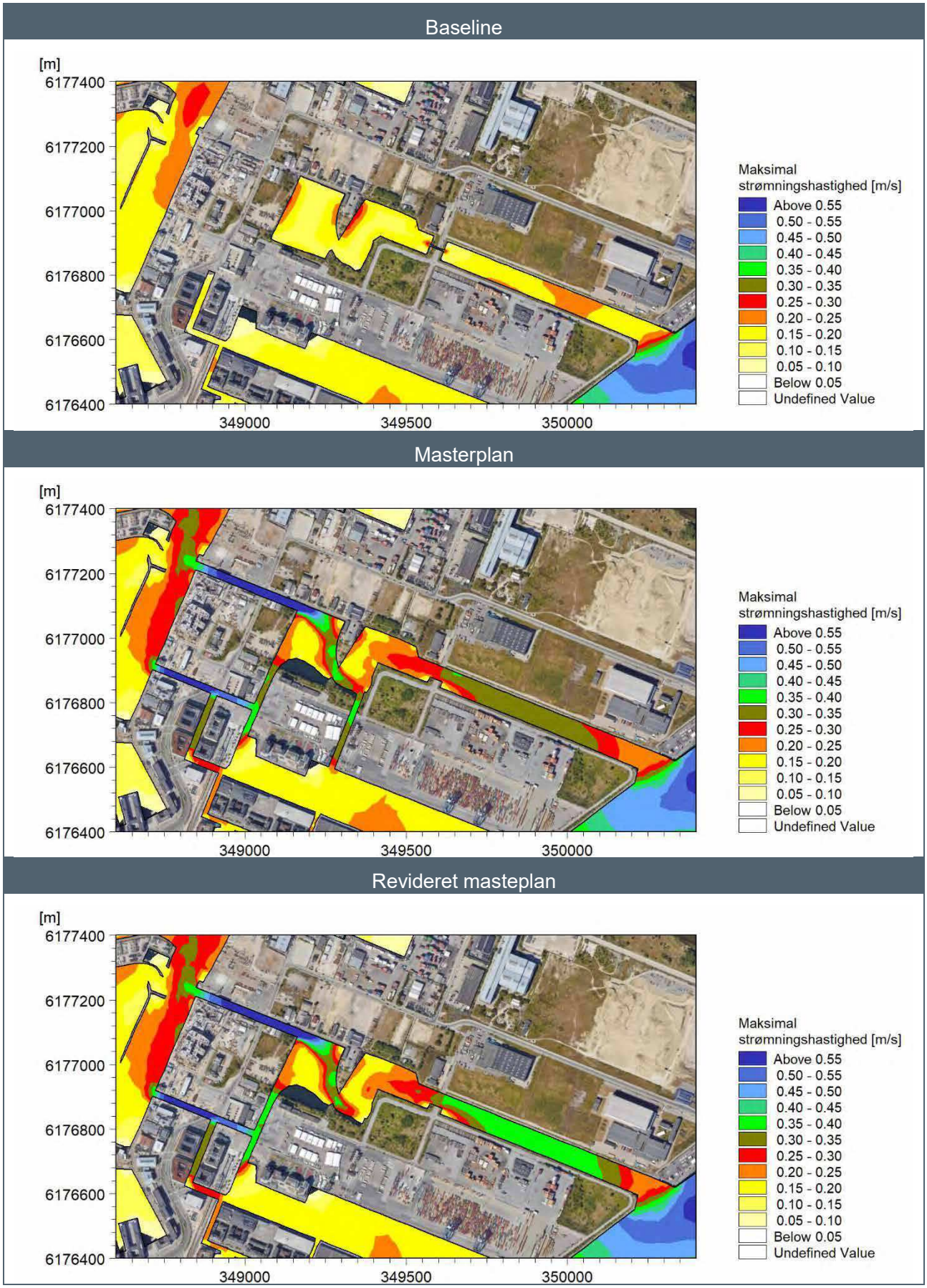
De kraftigste strømme optræder typisk i forbindelse med indsnævrede strømningstværsnit og på lokaliteter, hvor der kan opbygges en betydende vandstandsgradient. De gravede tilslutningskanaler udgør indsnævrede tværsnit, men der er stor forskel på, hvor let der kan opbygges en betydende drivende vandstandsgradient i de forskellige kanaler. Skudeløbets bredde og dybde er noget større end de nye gravede kanaler og Skudeløbet vil derfor primært være bestemmende for vandstanden i Skudehavnen. Kanalerne med udmunding i Orientbassinet er forbundet til Kronløbet ligesom Skudeløbet, hvorfor vandstandsgradienten i disse kanaler vil være mere begrænset, hvilket også giver sig udslag i lavere strømhastigheder. Vandstanden i Kalkbrænderihavnen er mere uafhængig af vandstanden i Kronløbet og der kan derfor lettere opbygges en større vandstandsgradient i kanaltilslutningerne med forbindelse til Kalkbrænderihavnen. Det vil derfor være i disse kanaler og kanalsektioner, at de kraftigste strømme forekommer. I Skudehavnen er vanddybder og tværsnitsbredder større end i kanalerne, hvorfor strømhastighederne vil være mere afdæmpede her. Kanalernes ind- og udstrømning i Skudehavnen giver anledning til, at der dannes nogle strømkorridorer og formes nogle horisontale cirkulationsstrømme, hvorfor der vil være større forskelle på strømhastighederne inde Skudehavnen.

Strømhastigheder er af betydning for badesikkerhed og sejlads i kanalerne. På disse lokaliteter er det især overfladehastighederne, som er af interesse. Omvendt har strømhastigheder ved bunden betydning for, om bundsedimentet vil kunne ophvirvles og spredes til omkringliggende vandområder.

De kraftigste strømhastigheder vil typisk forekomme ved vandoverfladen. Det er derfor valgt at præsentere de maksimale strømhastigheder i overfladelaget for henholdsvis sommerperioden og vinterperioden. Figur 1.4 viser maksimumstrømmen i sommerperioden. Det ses, at strømhastighederne ikke overstiger 0,2 m/s i Skudeløbet og Skudehavnen i baseline. Strømhastighederne aftager i retning mod vest, som følge af, at tidevandsprismet (eller opfyldningsprismet) mindskes. I masterplanen og den reviderede masterplan, stiger overfladestrømmen i Skudeløbet til op mod 0,35 m/s. I den østlige og vestlige kanal, som begge forbinder Orientbassinet med Skudehavnen, holder overfladestrømmen sig under 0,3 m/s. I den nordlige tværgående kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen når overfladestrømmen op omkring 0,55 m/s. I Skudehavnen er der strømkorridorer med overfladestrømhastigheder op til 0,3 m/s og områder med svage cirkulationsstrømme, hvor overfladestrømmen ikke overstiger 0,2 m/s.



Figur 1.4 **Maksimum strømhastighed i overfladelaget i sommerperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 1.5 **Maksimum strømhastighed i overfladelaget i vinterperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.

I vinterperioden (se Figur 1.5) er overfladestrømmen større på grund af den kraftigere vindpåvirkning, som særligt mærkes ved overfladen. Overfladestrømmen når lokalt op på næsten 0,3 m/s inde i Skudehavnen i baseline på grund af vindpåvirkning. I masterplanen og den reviderede masterplan, stiger overfladestrømmen i Skudeløbet til op mod 0,4 m/s. I den østlige og vestlige kanal, som begge forbinder Orientbassinet med Skudehavnen, holder overfladestrømmen sig under 0,4 m/s. I den nordlige tværgående kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen når overfladestrømmen op omkring 0,7 m/s. I Skudehavnen er der strømkorridorer med overfladestrømhastigheder op til 0,4 m/s og områder med svage cirkulationsstrømme, hvor overfladestrømmen ikke overstiger 0,2 m/s. Mønsteret er sammenfaldende med mønsteret for sommerperioden, men overfladestrømhastighederne er større.

1.3 Påvirkning af badevandskvalitet

Hovedkonklusion: Der er ingen signifikante forskelle i badevandskvaliteten i den reviderede masterplan sammenholdt med masterplanen, hvorfor en beslutning om ikke at etablere den østlige kanal mellem Orientkaj og Skudehavnen godt kan forsvares, når der alene vurderes med afsæt i badevandskvaliteten i Skudehavnen og Orientbassinet og samt de to nærmest beliggende badesteder.

Etableringen af nye gravede kanalforbindelser mellem Skudehavnen, Kalkbrænderihavnen og Orientbassinet åbner op for en gennemstrømning. En gennemstrømning, som potentielt vil kunne føre til forringet badevandskvalitet, idet vand fra overløb tilført Svanemøllehavnen (U14.1) hermed vil kunne spredes til både Skudehavn og Orientbassin.

Etableringen af kanaler har ingen påvirkning på antallet af overløb, deres placering og tilførte vandmængder og bakterier (Enterokokker og E. coli). Da der ikke er tale om ændringer i udledningsmængder eller deres udledningspunkter, men alene en ændret gennemstrømning af Skudehavnen, vurderes det som udgangspunkt tilstrækkeligt at analysere en enkelt badevandssæson med mange overløbshændelser. Til analysen er det valgt at tage udgangspunkt i 2017, da dette år har den største kumulerede bypassudledning fra U1 (Renseanlæg Lynetten) og U2 (Renseanlæg Damhusåen) i perioden 2016-2020, jf. Tabel 1.1. De høje bypassmængder fra de to rensningsanlæg i 2017 er udtryk for, at dette år også vil indeholde store udledninger fra havnens og Gentofte kommunes mange overløb. Det valgte år er derfor ikke repræsentativt i forhold til at vurdere badevandskvaliteten kvalitativt, idet denne vurderes med afsæt i 4 efterfølgende badevandssæsoner. Men det valgte år er velegnet til at vurdere, om de nye kanalforbindelser har en betydning for badevandskvaliteten i området omkring Skudehavnen.

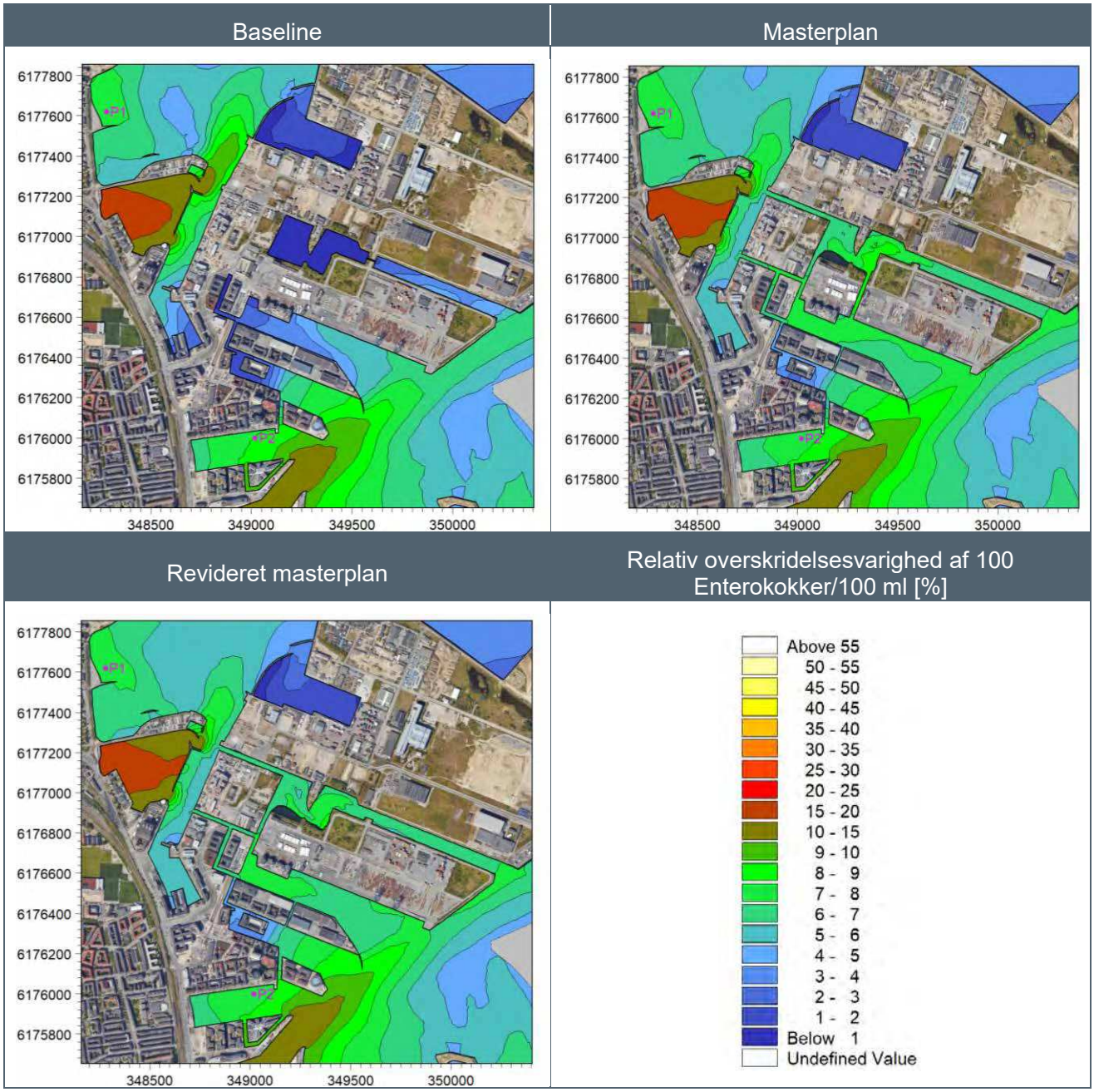
Tabel 1.1 Kumulerede bypassmængder udledt via U1 og U2 i badevandssæsonerne 2016-2020.

Badevandssæson	U1 [m^3]	U2 [m^3]
2016	341.870	483.238
2017	**935.921**	**1.379.794**
2018	83.642	472.696
2019	173.261	615.061
2020	120.970	422.278

Badevandskvalitet klassificeres med en kvalitativ skala, hvor den bedste tilstand betegnes udmærket. Denne tilstand opnås, når bakteriekoncentrationerne af Enterokokker og E. coli holder sig under henholdsvis 100 Enterokokker/100 ml og 250 E. coli/100 ml i 95% af tiden. Disse to tærskelværdier, og de relative varigheder med overskridelse heraf, er anvendt til at vurdere de nye tilslutningskanalers betydning for badevandskvaliteten. Figur 1.6 og Figur 1.7 viser konturplot for relative overskridelsesvarigheder af henholdsvis 100 Enterokokker/100 ml og 250 E. coli/100 ml i den modellerede badevandssæson (2017) for baseline, masterplan og revideret masterplan. Det ses, at kanalerne fører til øgede overskridelses-varigheder i Skudehavnen og Orientbassinet. De relative overskridelsesvarigheder i Skudehavnen går fra at være under 1% i baseline til under 9 % i masterplan og under 8% i den reviderede masterplan. I Orientbassinets indre del går overskridelsesvarigheden fra at være under 5% i baseline til under 8% i både masterplan og revideret masterplan. Badevandskvaliteten vil derfor ændres fra udmærket til god, hvis vurderingen alene skulle baseres på 2017 badevandssæsonen. Plottene viser med al tydelighed, at det i

høj grad er udledningen fra U14.1 i Svanemøllehavnen, som spredes til de to områder via de nye kanaler. Når der vurderes over 4 badevandssæsoner, vil udledningen fra U14.1 være mindre og dermed påvirke Skudehavnen og Orientbassinet i mindre grad. Det vurderes derfor, at kanalerne vil resultere i øgede overskridelsesvarigheder af de to bakterietærskelværdier, men ikke i så stor grad, at det vil føre til en ændret badevandsklassifikation i de to områder. Badevandskvaliteten i Skudehavnen og Orientbassinet må derfor forventes, at kunne klassificeres som udmærket for både baseline forhold og med forhold som i de to masterplaner.

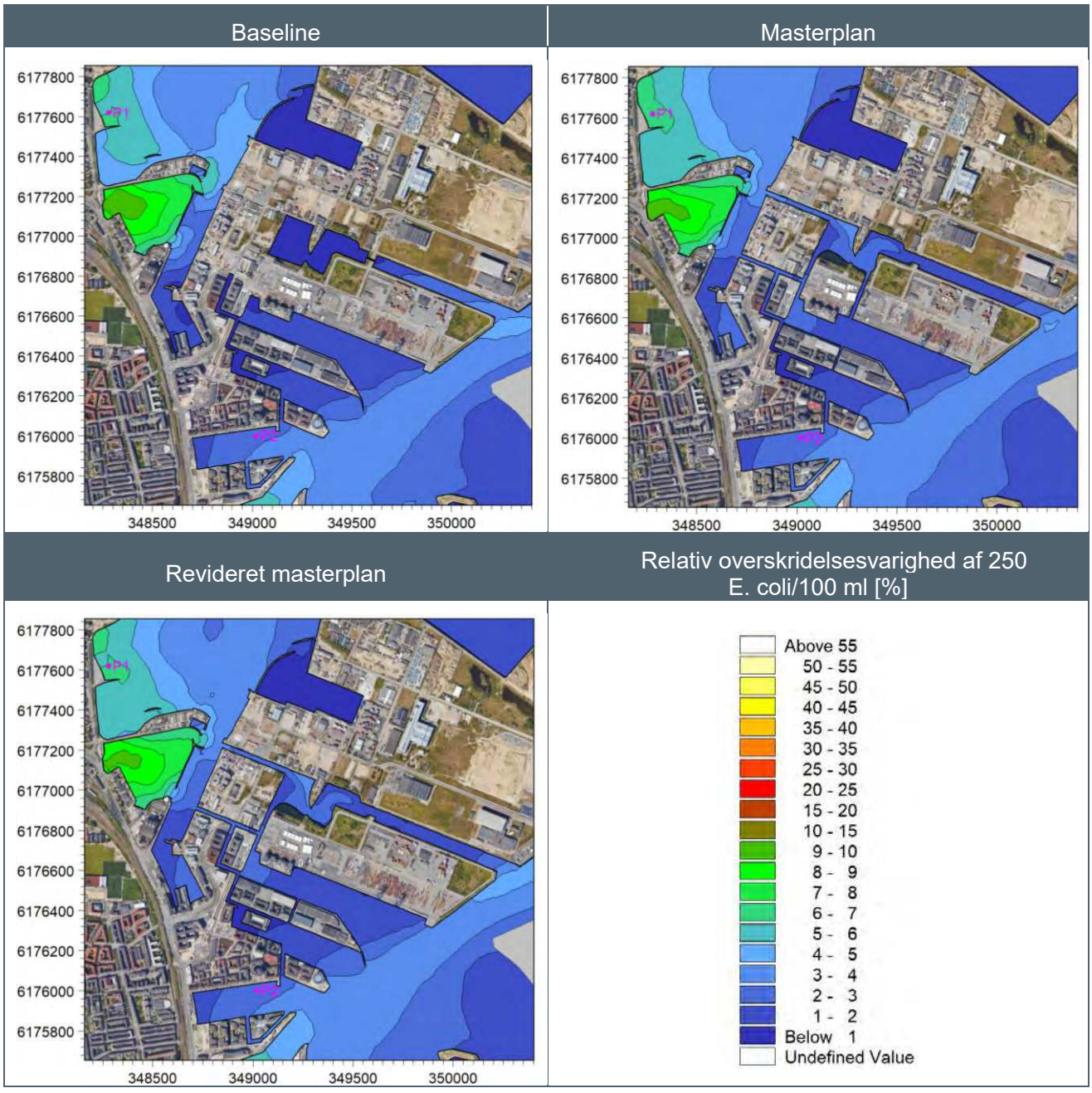
Skudehavnen og Orientbassinet udgør ikke badevandszoner i dag. Det er derfor mere relevant at se på påvirkningen af de to nærmest beliggende badevandszoner; Svanemøllen Strand og Sandkaj badezone. I Tabel 1.2 og Tabel 1.3 er antallet af hændelser angivet, hvor tærskelværdien på henholdsvis 100 Enterokokker/100 ml og 250 E. coli/100 ml er overskredet, samt de tilhørende relative overskridelsesvarigheder i procent af tiden (badevandssæsonen 2017), hvor tærskelværdien er overskredet. Det ses af tabellen, at der ikke er nogle betydende ændringer i overskridelsesvarighederne på nogen af de to badesteder, hvorfor det kan konkluderes, at kanalerne ikke vil føre til en ændret badevandsklassifikation på disse eller nogle af havnens øvrige badesteder.



Figur 1.6 Relative overskridelsesvarigheder af 100 Enterokokker/100ml i badevandssæsonen 2017.

Tabel 1.2 **Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 100 Enterokokker/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone.**

Scenarie	Lokalitet	Overskridelsesvarighed [%]	Antal hændelser
Baseline	Svanemøllen strand	7,71	9
Masterplan	Svanemøllen strand	7,94	10
Revideret masterplan	Svanemøllen strand	7,55	10
Baseline	Sandkaj badezone	8,05	8
Masterplan	Sandkaj badezone	7,51	8
Revideret masterplan	Sandkaj badezone	7,51	8



Figur 1.7 **Relative overskridelsesvarigheder af 250 E. coli/100ml i badevandssæsonen 2017.**
Øverst venstre: baseline, øverst højre: masterplan og nederst venstre: revideret masterplan.

Tabel 1.3 Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 250 E. coli/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone.

Scenarie	Lokalitet	Overskridelsesvarighed [%]	Antal hændelser
Baseline	Svanemøllen strand	5,90	9
Masterplan	Svanemøllen strand	6,35	10
Revideret masterplan	Svanemøllen strand	6,01	10
Baseline	Sandkaj badezone	2,76	4
Masterplan	Sandkaj badezone	2,43	4
Revideret masterplan	Sandkaj badezone	2,36	4

1.4 Risiko for ophvirvling

Overfladesedimentet i Skudehavnen og til dels også i Skudeløbet består af kontaminerede blødbundssedimenter, som vil kunne spredes til de nærliggende vandområder i forbindelse med ophvirvling forårsaget af hændelser med kraftig gennemstrømning via de planlagte kanalforbindelser.

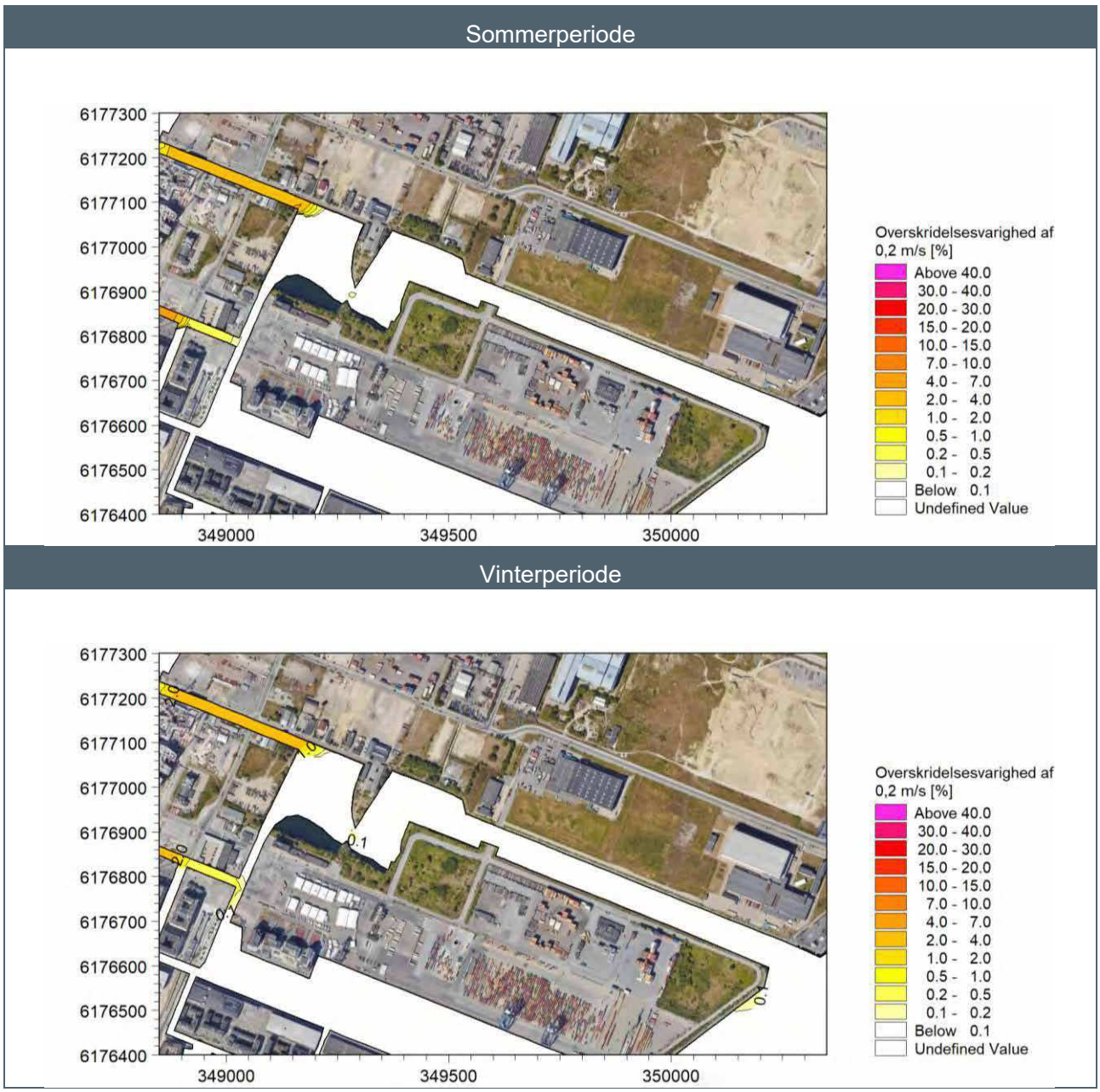
Kriteriet for resuspension og den dertil knyttede sedimentspredning til omkringliggende områder er behæftet med en usikkerhed, som er vigtig at inddrage i en risikovurdering. Der er derfor anvendt forskellige metoder og følsomhedsanalyser til at afdække risikoen i masterplanen og den reviderede masterplan.

Den første metode til afdækning af risiko for ophvirvling af forurenet blødbundssediment i Skudehavnen vurderes med afsæt i strømhastigheder og Hjulstrøm-Sundborgs diagram (se Figur 2.5). Den anden metode baserer sig på en egentlig sedimenttransportbeskrivelse af blødbundssediment, som medtager effekten af resuspension, aflejring og advektion og dispersion af sedimentet i vandsøjlen.

1.4.1 Risikovurdering med afsæt i strømhastigheder og Hjulstrøm-Sundborgs diagram

Hovedkonklusion: Der er ingen signifikante forskelle i risikoen for ophvirvling af blødbundssediment (vurderet med afsæt i Hjulstrøm-Sundborgs diagram) i den reviderede masterplan sammenholdt med masterplanen, hvorfor en beslutning om ikke at etablere den østlige kanal mellem Orientkaj og Skudehavnen godt kan forsvares, når der alene vurderes med afsæt i overskridelse af kritiske strømhastigheder i Skudehavnen og Skudeløbet.

Den nødvendige kraftpåvirkning (strømhastighed), der skal til for at mobilisere blødbundsedimentet afhænger af bundsedimentets beskaffenhed og konsolideringsgrad. Når bundmaterialet er ukonsolideret og har en sammensætning af finsand eller finere (ler og silt), er der ifølge diagrammet ingen forskel på, hvor let sedimentet bringes i suspension. Diagrammet (se Figur 2.5) angiver en kritisk strømhastighed lige under 0,2 m/s for ophvirvling af bunden (resuspension), men angiver også, at der skal en strømhastighed over 0,4 m/s til, før der sker en betydende transport (spredning) af ler og silt. Strømhastigheden i diagrammet er relateret til den dybdemidlede strømhastighed. I en risikovurdering for ophvirvling af forurenet bundsediment i Skudehavnen er det derfor relevant at klarlægge i hvilke områder og hvor ofte den kritiske strømhastighed på 0,2 m/s overskrides. Til fastlæggelse af dette er der lavet statistiske analyser af sommersimuleringerne med en varighed på 3,5 måneder (1. juni 2019 – 15. september 2019, 106 dage) og vintersimuleringerne som dækker 4 måneder (1. november 2019 – 1. marts 2020, 121 dage). Der er ingen signifikante forskelle i resultaterne for masterplan og revideret masterplan, så det er her valgt kun at vise resultater for den reviderede masterplan.



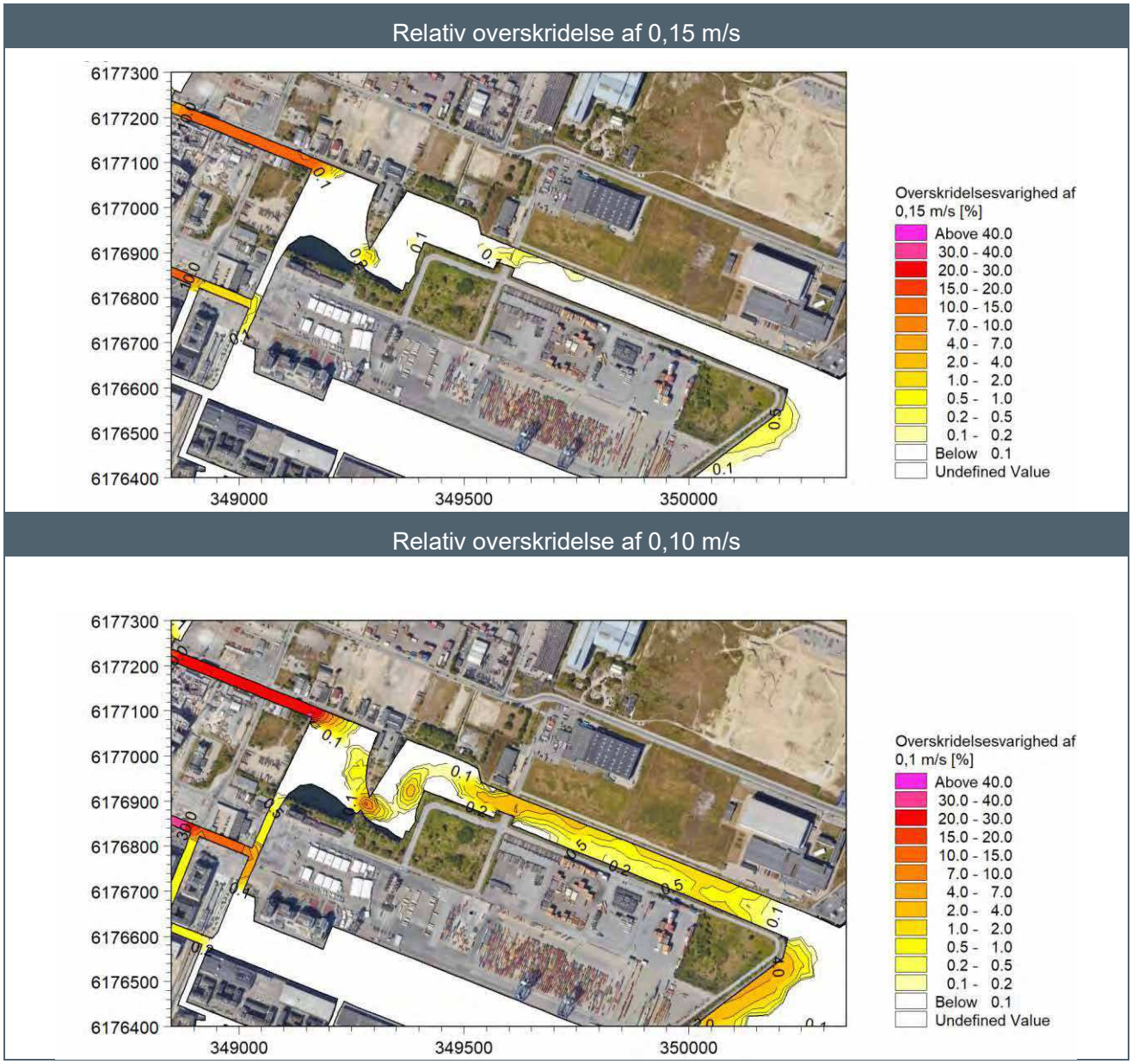
Figur 1.8 **Relativ overskridelsesvarighed af kritisk strømhastighed (0,2 m/s) for resuspension af blødbundssedimenter (masterplan).**
Øverst: Sommerperiode og nederst: Vinterperiode.

De relative overskridelsesvarigheder af strømhastigheder over 0,2 m/s, vist i Figur 1.8, kan omregnes til absolut tid ved at multiplicere med de ovenfor angivne modelperioders længder. Konturplottene viser, at der er en påvirkning på to lokaliteter i Skudehavnen; 1) Ved overgangen fra den nordvestlige kanal og ind i Skudehavnen. Vanddybden er mindre i kanalen (2,5 m) end i Skudehavnen (4 m) og strømningen vil derfor i nogen grad være relateret til den øvre del af vandsøjlen og derfor påvirke bunden i mindre grad. 2) Ved indsnævringen inde i Skudehavnen. Her er der i sommerperioden en overskridelse på op til 0,1% svarende til en overskridelsesvarighed på omkring 2,5 timer. Påvirkningen er marginalt stærkere i masterplanen, men helt generelt er påvirkningen i begge tilfælde så lille, at det kan vurderes, at der med afsæt i Hjulstrøm-Sundborgs diagram, ikke vil ske betydende spredning af sediment til omkringliggende vandområder i sommer- og vinterperioden.

Modellerede størrelser vil altid indeholde et element af usikkerhed, hvilket er vigtigt at inddrage i risikovurderingen. Det har for eksempel betydning, hvis modellens strømhastigheder er underestimerede eller at blødbundssedimentet i Skudehavnen kan mobiliseres lettere end, hvad Hjulstrøm-Sundborgs diagram foreskriver. For at afdække dette er der i det følgende udført en følsomhedsanalyse, som ser på

overskridelsesvarigheder af strømhastighederne 0,15 m/s og 0,1 m/s i de to modellerede perioder. Figur 1.9 viser de relative overskridelsesvarigheder i sommerperioden for de to tærskelværdier. For 0,15 m/s kriteriet er det fortsat kun i de samme to områder, der er overskridelser, men med længere varigheder. Ved indsnævringen i Skudehavnen er der en overskridelse af strømkriteriet i op til 2% af tiden.

Med strømkriteriet på 0,10 m/s kriteriet er der en påvirkning i store del af området. Overskridelserne er dog mindre kritiske, end hvad farverne giver indtryk af, idet den anvendte skala er ikke-lineær. Med dette kriterie vil der ske en ophvirvling i kortere perioder og potentielt en spredning til de omkringliggende vandområder. Kriteriet på 0,1 m/s svarer til, at modellens strømhastigheder i Skudehavnen og Skudeløbet skulle være undervurderet med en faktor 2, hvilket på ingen måde er realistisk.



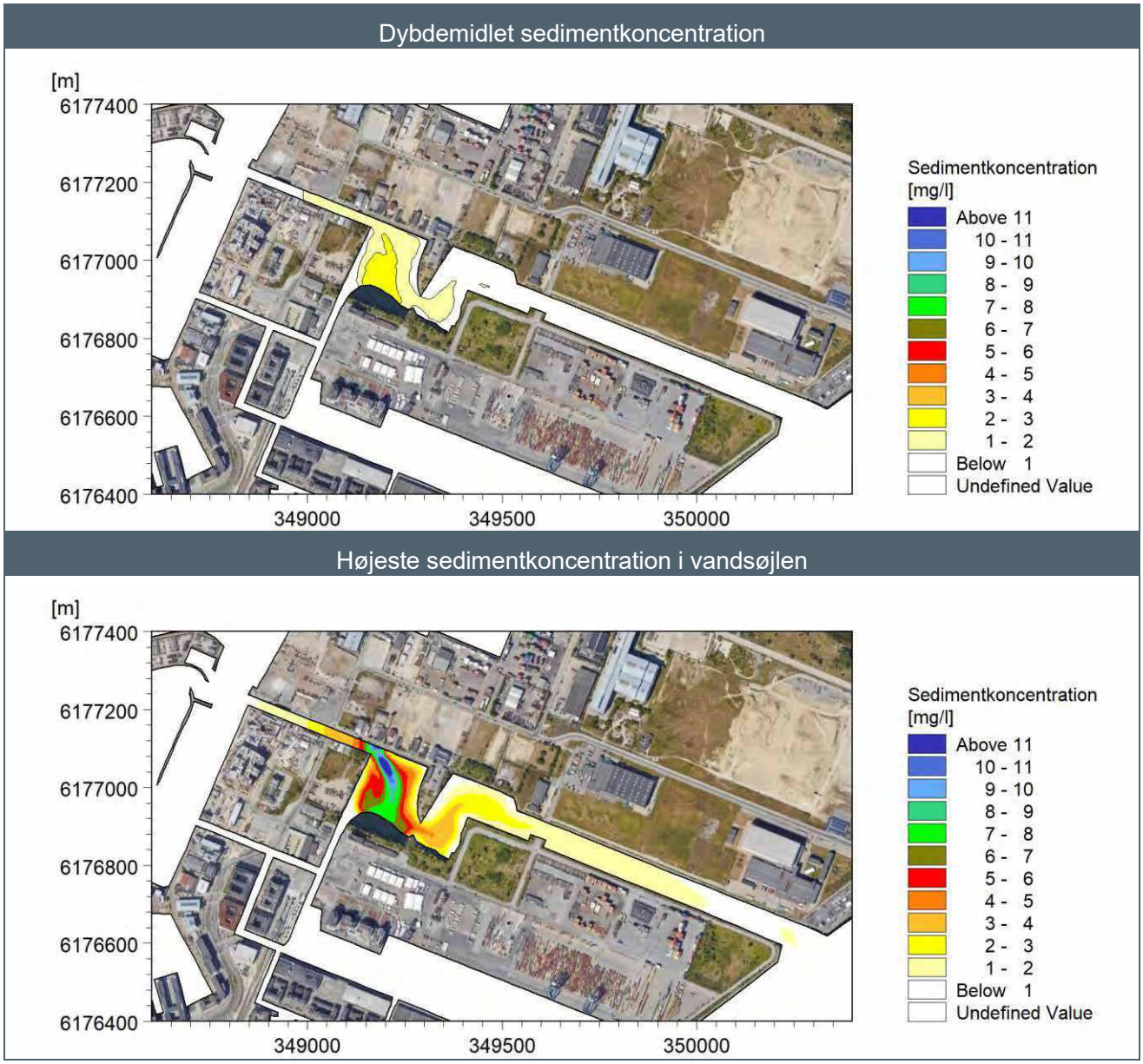
Figur 1.9 **Relativ overskridelsesvarighed af kritiske strømhastigheder for resuspension af blødbundssedimenter (masterplan) i sommerperiode.**
Øverst: 0,15 m/s og nederst: 0,10 m/s.

1.4.2 Modelleret sedimentspredning

Hovedkonklusion: Den beregnede sedimentspredning er ganske beskeden, periodernes længde taget i betragtning. Der er ingen signifikante forskelle i sedimentspredning af blødbundssediment som følge af ophvirvling i den reviderede masterplan sammenholdt med masterplanen, hvorfor en beslutning om ikke at

etablere den østlige kanal mellem Orientkaj og Skudehavnen godt kan forsvares, når der alene vurderes med afsæt de beskedne mængder

I sedimenttransportmodellering af finkornet sediment er den styrende faktor relateret til den af blødbundssedimentet oplevede bundforskydningsspænding, som på engelsk betegnes *skin friction*. En bund med kohæsive blødbundssedimenter vil forblive immobil indtil den oplevede bundforskydningsspænding overstiger den kritiske tærskelværdi for erosion. Tærskelværdien afhænger dels af, hvor godt sedimentet er konsolideret, men også af sedimentets sammensætning og hvor stift det er sammenbundet. *Skin friction* bidraget afhænger af den lokale bundruhed K_N, som skabes af sedimentkornene på bunden. For en turbulent strømning vil K_N typisk svare til 2,5 gange korndiameteren. For blødbundssedimenter domineret af silt og lerpartikler vil en bundruhed på 1 mm typisk udgøre en repræsentativ værdi. For den her udførte risikovurdering er det imidlertid valgt også at anvende en bundruhed på 5 mm, da denne antagelse er mere konservativ og resulterer i en kraftigere påvirkning af bunden.

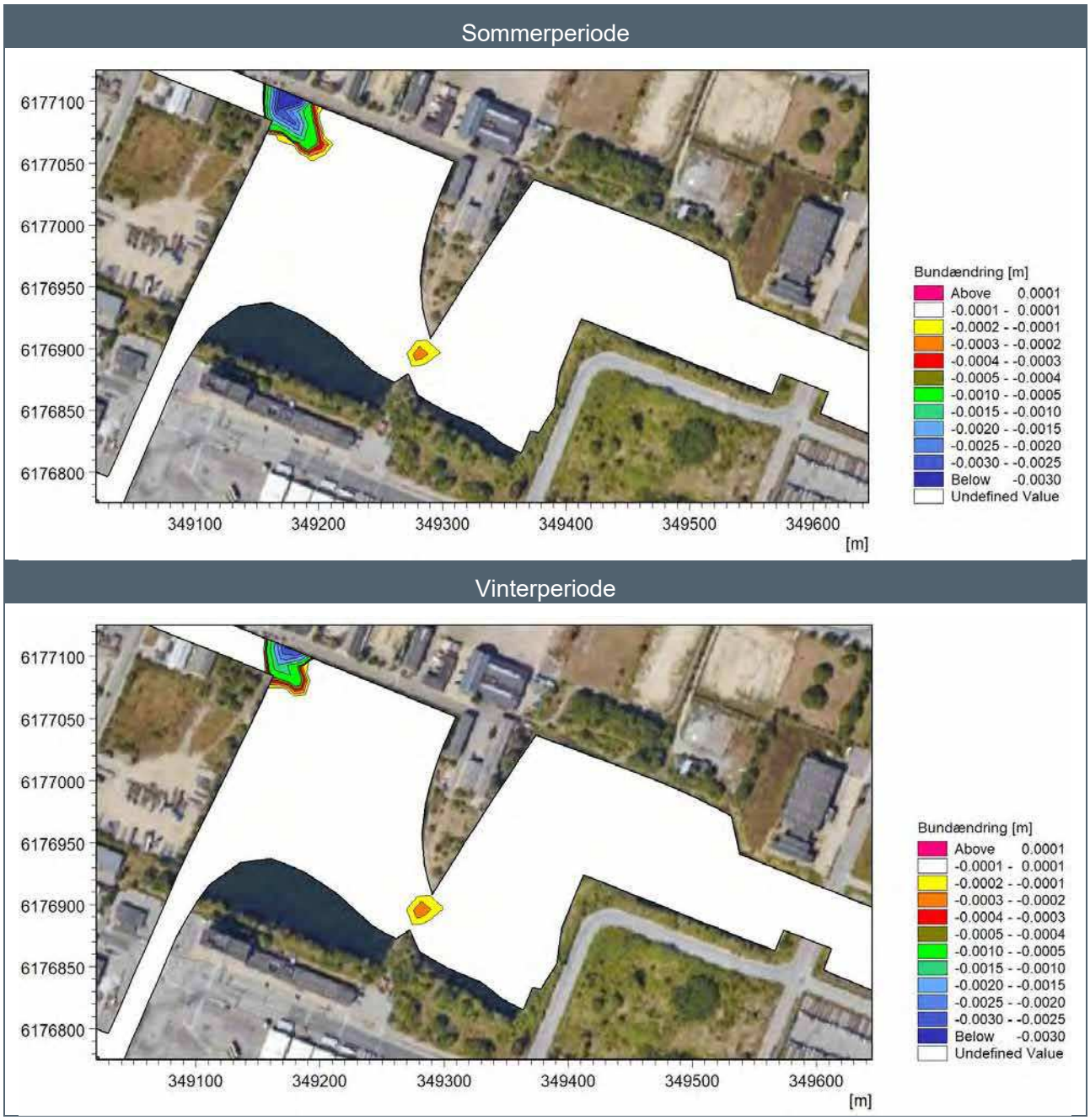


Figur 1.10 Maksimum sedimentkoncentration for revideret masterplan i sommerperioden.
Øverst: Dybdemidlet, Nederst: Største sedimentkoncentration i vandsøjlen.

Blødbundmaterialet består primært af finkornet sediment domineret af silt og ler. Når blødbundmaterialet ophvirvles, vil det derfor falde langsomt ud af vandsøjlen. Da sedimentet ophvirvles fra bunden og har en faldhastighed i vandsøjlen, vil sedimentkoncentrationen variere over dybden. Erosion af blødbundsedimentet er alene relateret til områderne ved overgangen til kanalen, som forbinder Skudehavnen og

Kalkbrænderihavnen og indsnævringen inde i Skudehavnen. I disse to områder vil der derfor være højere sedimentkoncentrationer ved bunden, mens det længere væk vil være bedre opblandet i vandsøjlen. Uden for erosionsområderne vil det ophvirvlede sediment langsomt aflejres. En del af det ophvirvlede sediment vil derfor blive aflejret i Skudehavnen og Skudeløbet i områder, hvorfra det ikke vil kunne mobiliseres.

Figur 1.10 viser maksimumkoncentrationer for den reviderede masterplan i den modellerede sommerperiode. Koncentrationsniveauerne er stort set ens masterplanerne imellem, hvilket skyldes at kanalforbindelserne til Orientbassinet er af mindre betydning end Skudeløbet og kanalforbindelsen til Kalkbrænderihavnen. De maksimale dybdemidlede sedimentkoncentrationer når ikke over 3 mg/l, hvilket betyder, at der ikke vil kunne ses en synlig sedimentfane. Maksimumkoncentrationen i vandsøjlen, når helt lokalt op på 19 mg/l i masterplan layoutet og 18 mg/l i det reviderede masterplan layout. Niveauerne er lidt mindre i vinterperioden. Sedimentkoncentrationsniveauerne er stort set ens masterplanerne imellem, hvilket skyldes, at kanalforbindelserne til Orientbassinet er af mindre betydning end Skudeløbet og kanalforbindelsen til Kalkbrænderihavnen.



Figur 1.11 Bundændring for revideret masterplan layout med konservativt valgt antagelse om bundruhed.
Øverst: Sommerperiode, nederst: Vinterperiode.

Figur 1.11 viser den reviderede masterplans bundændringer i løbet af sommerperioden (3,5 måneder) og vinterperioden (4 måneder) med antagelse om en bundruhed på 5 mm. Det ses, at der er erosion i overgangen til kanalen med forbindelse til Kalkbrænderihavnen, samt ved indsnævringen inde i Skudehavnen. Med disse antagelser er der i sommerperioden en erosion på op til 4 mm ved overgangen til kanalen og op til 0,3 mm ved indsnævringen. I vinterperioden er der en erosion på op til 2,5 mm ved overgangen til kanalen og op til 0,3 mm ved indsnævringen. Påvirkningen er dermed mindre end i sommerperioden, hvor lagdelingseffekter er kraftigere. De beregnede bundændringer er baseret på en antagelse om, at det eroderede blødbundsmateriale har en tørdensitet 450 kg/m^3. Denne tørdensitet repræsenterer ukonsolideret materiale med et relativt højt vandindhold. Valgt tørdensitet er uden betydning for, hvor meget masse der eroderes.

I de udførte sedimentspredningsberegninger er der fundet en meget svag erosion af blødbundssedimentet på to lokaliteter i Skudehavnen. I beregningerne baseret på en realistisk bundruhed (1 mm) og lav kritisk forskydningsspænding for erosion er der fundet en meget lille påvirkning, mens den er lidt større i beregningerne, hvor der er antaget en konservativ bundruhed (5 mm). Sedimentspredningen til de omkringliggende vandområder sker gennem de 4 (masterplan) eller 3 (revideret masterplan) kanalforbindelser (tværsnit) navngivet i Figur 1.12.



Figur 1.12 Kanalsnittenes nummerering og placering.

Sedimentspredningen via de forskellige kanalforbindelser er estimeret ved hjælp af modelberegninger. Resultatet af denne analyse er sammenfattet i Tabel 1.4. Tabellen viser, at spredningen er meget begrænset i modelleringerne baseret på en realistisk valgt bundruhed, men 14-20 gange større i modelleringerne med en konservativt valgt bundruhed. Det ses af tabellen, at spredning primært sker via Skudeløbet og den nordvestlige kanal, som forbinder Skudehavnen og Kalkbrænderihavnen. Spredningen er størst i sommerperioden. I sommerperioden sker spredningen primært til Kronløbet via Skudeløbet, mens den største spredning i vinterperioden sker til Kalkbrænderihavnen via den nordvestlige kanalforbindelse.

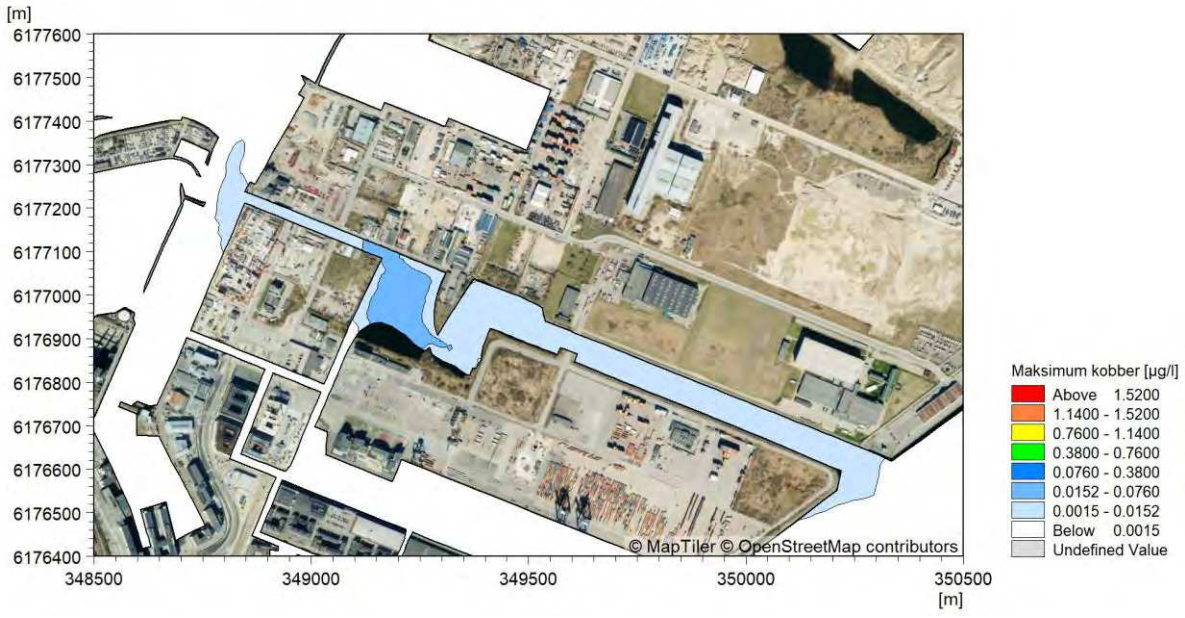
Tabel 1.4 **Kumuleret spredning af blødbundsediment fra Skudehavnen opgjort i [kg].**
MP: Masterplan, RP: Revideret masterplan, S: Sommerperiode (3,5 måneder), V: Vinterperiode (4 måneder).

Konfiguration	Snit 1 [kg]	Snit 2 [kg]	Snit 3 [kg]	Snit 4 [kg]	Snit 1-4 [kg]
MP-S K_N = 1 mm	31,4	4,0	-0,3	1,3	**36,7**
MP-S K_N = 5 mm	575,7	61,4	0,4	71,9	**709,4**
RP-S K_N = 1 mm	45,8	-	0,0	3,4	**49,1**
RP-S K_N = 5 mm	673,6	-	1,0	90,1	**764,7**
MP-V K_N = 1 mm	9,4	0,1	-0,0	18,8	**28,2**
MP-V K_N = 5 mm	177,0	6,0	-0,3	212,5	**395,3**
RP-V K_N = 1 mm	0,9	-	-0,1	28,1	**29,0**
RP-V K_N = 5 mm	176,8	-	-0,5	311,5	**487,9**

1.5 Spredning af miljøfremmede stoffer til omkringliggende vandområde

Hovedkonklusion: Der er ingen signifikante forskelle i spredningen af miljøfremmede stoffer, som følge af ophvirvling, i den reviderede masterplan sammenholdt med masterplanen, hvorfor en beslutning om ikke at etablere den østlige kanal mellem Orientkaj og Skudehavnen godt kan forsvares, når der alene vurderes med afsæt de beskedne stofmængder.

Ophvirvling af det kontaminerede blødbundssediment i forbindelse med gennemstrømning vil medføre en spredning af de i sedimentet bundne miljøfremmede stoffer til det omkringliggende vandområde. Spørgsmålet er i hvilket omfang og om ophvirvling fører til en overskridelse af gældende miljøkvalitetskrav (maksimum) angivet i Bek. 1668, ref. /6/. Forureningsniveauet for en række miljøfremmede stoffer er beskrevet i ref. /2/ og /5/, og disse data udgør grundlaget for de fundne estimater. Målingerne omfatter 12 tungmetaller, TBT, 9 PAH'er, 7 PCB'er og 4 kulbrinter. Det er ikke alle stofferne, som der er et miljøkvalitetskrav for i vandfasen. Enkelte af stofferne er derfor udeladt i de her foretagne analyser.

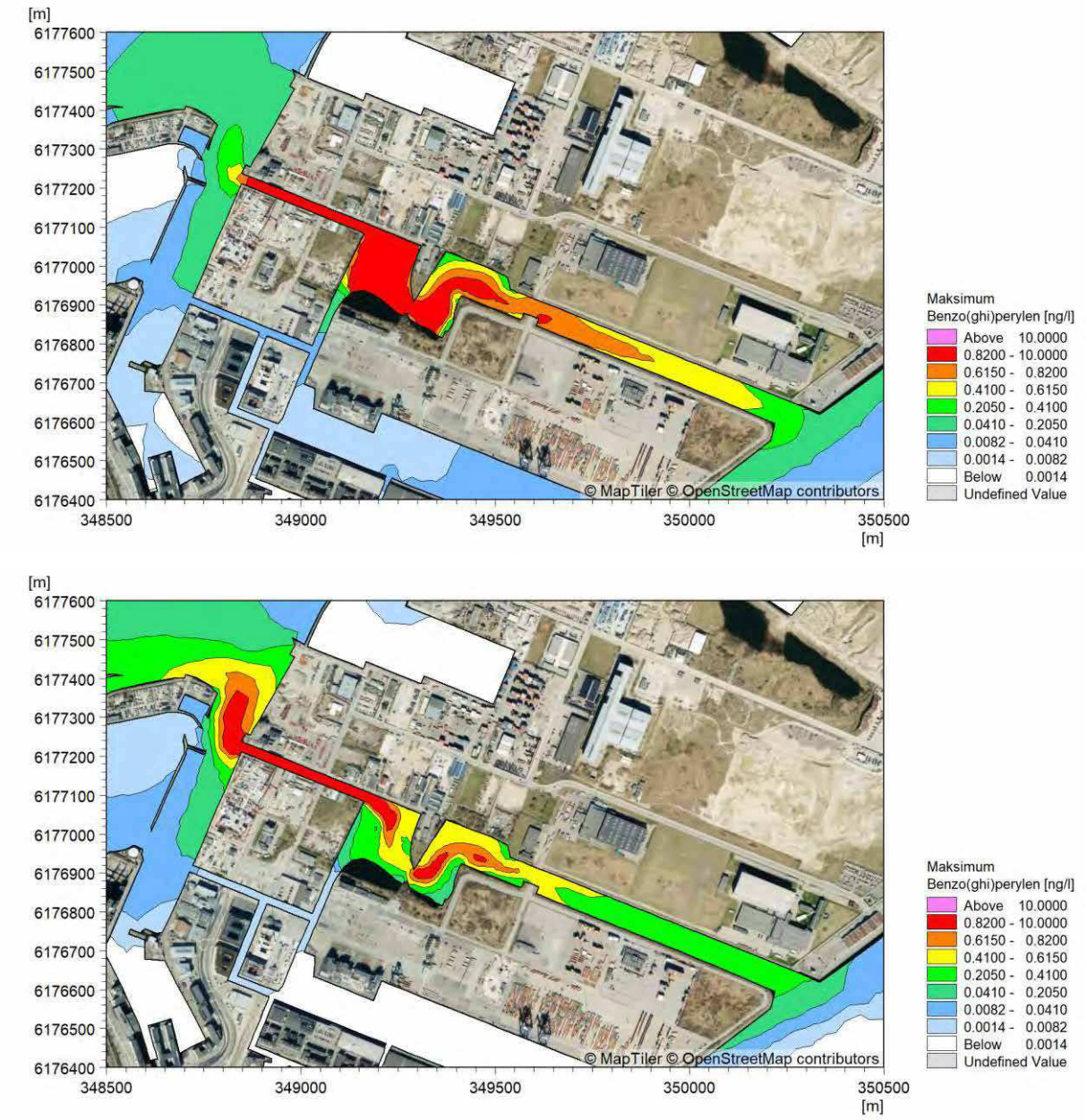


Figur 1.13 **Maksimumkoncentration af vandopløst Kobber fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie (1,52 µg/l) i sommerperiode.**

Med afsæt i miljøkrav og målte koncentrationer i koncentrationer i blødbundssedimentet er der lavet en screening og rangering af de forskellige stoffer i forhold til en risiko for overskridelse af miljøkravet.

Rangeringen blev opdelt på tungmetaller, hvor miljøkravet går på filtrerede prøver (vandopløst) og øvrige miljøfremmede stoffer, som vurderes på totalkoncentrationer.

Maksimumkoncentrationer for de miljøfremmede stoffer blev fastlagt ved skalering af de fundne maksimumsedimentkoncentrationer. Screeningen fandt, at de 4 mest kritiske tungmetaller er: Kobber, Zink, Kviksølv og Bly, mens den for de øvrige stoffer er: Benzo(ghi)perylen, Chrysen, TBT og Benz(a)anthracen. For tungmetallerne blev der ikke fundet nogen overskridelse af miljøkravet på noget tidspunkt. Figur 1.13 viser maksimumkoncentrationen af kobber for sommerperioden med revideret masterplan layout. Den røde farve angiver overskridelse af miljøkriteriet og det ses derfor, at kobberkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 5% af miljøkravet (gælder for begge undersøgte konfigurationer). Der er dermed ingen risiko for overskridelse af miljøkravet.



Figur 1.14 Maksimumkoncentration af Benzo(ghi)perylen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.
Øverst: Sommerperiode, nederst: Vinterperiode.

For de to PAH'er Benzo(ghi)perylen og Chrysen overskrides miljøkriteriet, men de fastsatte kriterier er lavere end laboratoriernes detektionsgrænse. En overskridelse vil derfor ikke kunne påvises i praksis, idet maksimumkoncentrationerne ikke overskrider detektionsgrænsen for begge stoffer (10 ng/l). Figur 1.14 viser Benzo(ghi)perylen maksimumkoncentrationer i sommerperioden (øverst) og vinterperioden (nederst). Det ses, at der er en overskridelse af miljøkravet i det omkringliggende vandområde (Kalkbrænderihavnen),

men overskridelsen er ikke stor nok til at kunne påvises. Et tilsvarende billede gør sig gældende for Chrysen. For de øvrige stoffer er der ingen overskridelse af miljøkvalitetskravet.

Der er beregnet en forventet årlig spredning af de miljøfremmede stoffer opgjort for tilførsel til henholdsvis Kalkbrænderihavnen og Kronløbet, samt hele vandområdet. Tabel 1.5 viser de estimerede mængder med afsæt i konservative antagelser i forhold til bundruhed (overvurderer med stor sandsynlighed erosionsmængderne) og koncentration af miljøfremmede stoffer i det ophvirvlede sediment. Det ses af tabellen, at der er en marginalt større spredning til det omkringliggende vandområde i den reviderede masterplan. Årsagen til dette er den for dette layout lidt kraftigere drift rettet mod Kalkbrænderihavnen, som kombineret med en kortere transportafstand fra områder med potentiel ophvirvling end til Kronløbet fører til en lidt større spredning til det omkringliggende vandområde. De fundne mængder som kan forventes spredt til det omkringliggende vandområde i løbet af et kalenderår, er med begge forudsætninger små og mindre end hvad der vil kunne tilføres vandområdet ved en enkelt overløbshændelse i havnen. Det vurderes derfor, at spredningen af miljøfremmede stoffer er marginal og uden betydning for vandområdets kemiske tilstand. Forureningen er bundet til sedimentet og vil derfor ved ophvirvling spredes og aflejres i så tynde lag over et så stort område, at det ikke vil kunne resultere i en målbar koncentrationsforøgelse i overfladesedimentet i vandområdet. Med overfladesedimentet menes der her de øverste 4 cm.

Tabel 1.5 Kumuleret årlig spredning af miljøfremmede stoffer opgjort i gram til omkringliggende vandområde.
Estimater med konservativt valgt bundruhed. M: Masterplan, RM: Revideret masterplan.

Stof	Enhed	Vandområdet		Stof	Enhed	Vandområdet	
		M	RM			M	RM
Antimon (Sb)	**[g]**	**4,0**	**4,7**	**Zink (Zn)**	**[g]**	**787,6**	**935,7**
Arsen (As)	**[g]**	**14,5**	**17,3**	**TBT-kation**	**[g]**	**0,3**	**0,3**
Barium (Ba)	**[g]**	**4,0**	**4,7**	**Phenanthren**	**[g]**	**0,6**	**0,7**
Bly (Pb)	**[g]**	**350,2**	**416,0**	**Anthracen**	**[g]**	**0,2**	**0,3**
Cadmium (Cd)	**[g]**	**2,9**	**3,5**	**Fluoranthen**	**[g]**	**3,2**	**3,8**
Krom (Cr)	**[g]**	**43,6**	**51,8**	**Pyren**	**[g]**	**4,2**	**5,0**
Kobber (Cu)	**[g]**	**499,5**	**593,4**	**Benz(a)anthracen**	**[g]**	**1,6**	**1,9**
Kviksølv (Hg)	**[g]**	**2,0**	**2,4**	**Chrysen**	**[g]**	**1,3**	**1,5**
Molybdæn (Mb)	**[g]**	**9,3**	**11,0**	**Benz(a)pyren**	**[g]**	**1,6**	**1,9**
Nikkel (Ni)	**[g]**	**31,7**	**37,7**	**Benzo(ghi)perylen**	**[g]**	**1,3**	**1,6**
Selen (Se)	**[g]**	**5,3**	**6,3**	**PCB (sum af 7)**	**[g]**	**<0,1**	**<0,1**

1.5.1 Overordnet betragtning

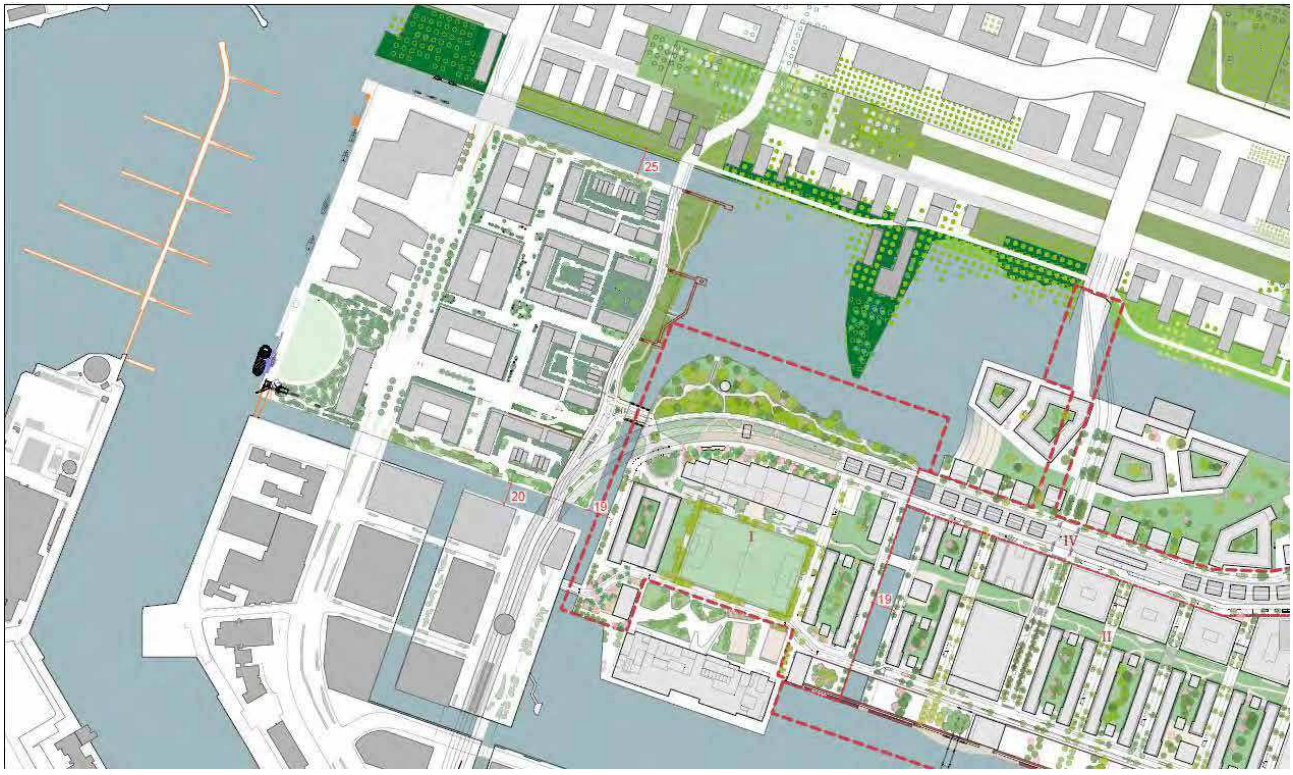
Renseanlæggene Damhusåen og Lynetten, samt overløb i havnen, tilfører løbende eller med mellemrum miljøfremmede stoffer til vandområdet. Skudehavnen vil selv efter etablering af de gennemgående kanaler fremstå som et depositionsområde grundet de lave strømhastigheder, mens kanalerne vil være at betragte som transportområder grundet de højere strømhastigheder. Man må derfor forvente, at den i forrige afsnit beregnede spredning til det omkringliggende vandområde af miljøfremmede stoffer bundet til finpartikulært stof, let kan overgås af en tilførsel fra de nævnte kilder. Altså med andre ord, at der fortsat vil være en nettoakkumulation af miljøfremmede stoffer fremfor en nettospredning til det omkringliggende vandområde. Dette er ikke muligt at kvantificere, men ikke desto mindre relevant at have med i sin miljøvurdering af masterplanerne.

2 Introduktion

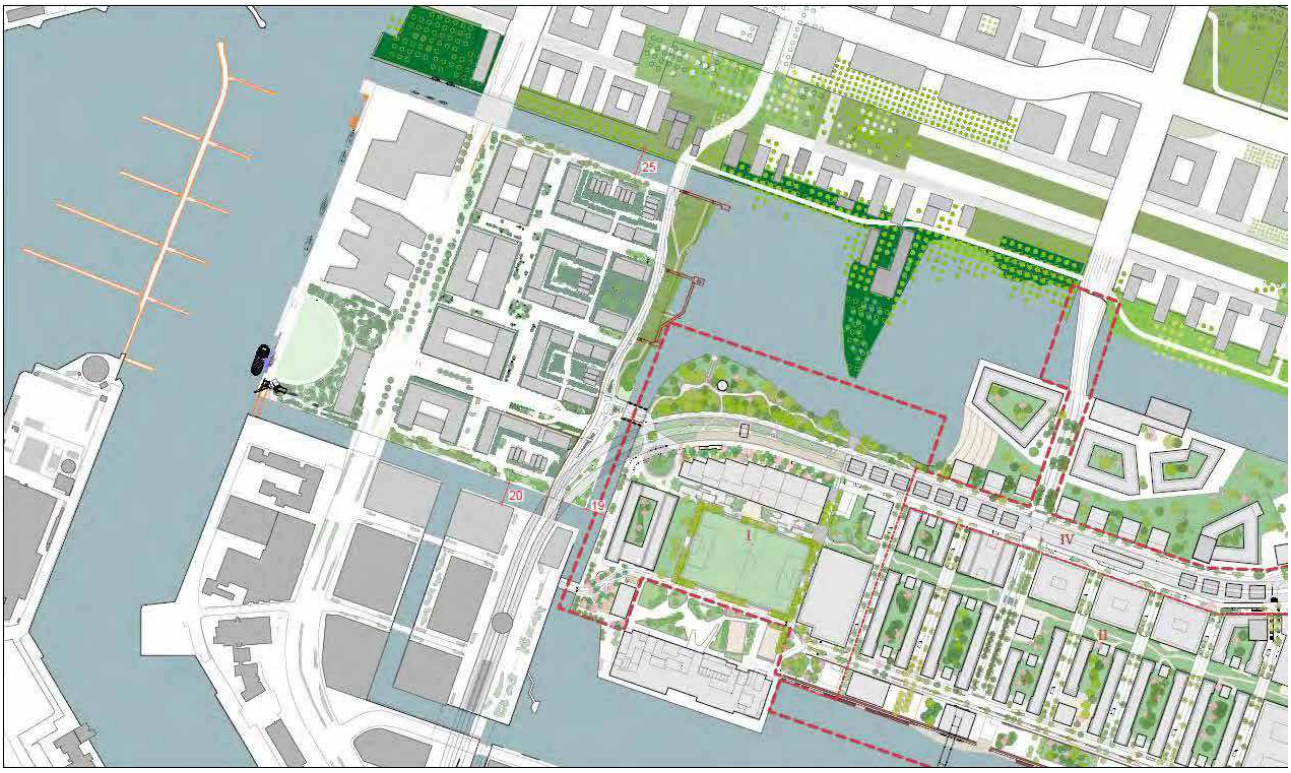
Skudehavnen er i dag kun forbundet med Kronløbet via Skudeløbet og fungerer derfor som et sidebassin uden en egentlig gennemstrømning. I Lokalplanen for området i Nordhavn etableres der en række nye gravede kanaler, som tillader en gennemstrømning mellem Kalkbrænderihavnen og Havneløbet via Skudehavnen. Vandskiftet i Skudehavnen er i dag yderligere begrænset af dæmningen over Skudeløbet ved Skagerraksvej, hvor vandudvekslingen sker gennem et stort rør.

2.1 Baggrund

I forbindelse med områdeplanen for Levantkaj er der et ønske om at afvige fra det i masterplanen definerede kanalforløb. By & Havn har derfor brug for en konsekvensvurdering, som belyser de nuværende forhold (baseline), masterplanens forhold med 3 nye kanalforbindelser til Skudehavnen, og et revideret forslag, hvor den mest østlige Levantkaj kanal sløjfes, så der kun etableres 2 nye kanalforbindelser til Skudehavnen. Figur 2.1 viser masterplanen for området med 3 nye kanalforbindelser til Skudehavnen og tilsvarende viser Figur 2.2 den reviderede masterplan for området med 2 nye kanalforbindelser. I masterplanen fjernes dæmningen over Skudeløbet ved Skagerrakvej, sådan at bundniveauet bringes ned til samme niveau, som i Skudeløbet øst for dæmningen. Kanalen mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen har en bredde på 25 m og en vanddybde på 2,5 m. Kanalerne mellem Orientbassinet og Skudehavnen har en bredde på 19 m og en vanddybde på 2,5 m. Den vestlige kanal er forbundet med Kalkbrænderiløbet via en sidekanal med en bredde på 20 m og vanddybde på 2,5 m. I masterplanerne er der planlagt et mindre opfyld i den sydvestlige og mest lavvandede del af Skudehavnen.



Figur 2.1 Masterplan for området omkring Skudehavnen med 3 nye kanalforbindelser.



Figur 2.2 Revideret masterplan for området omkring Skudehavnen med 2 nye kanalforbindelser.

2.2 Formål

By og Havn ønsker at få belyst og konsekvensvurderet følgende med afsæt i baseline forhold, forhold med 3 nye kanalforbindelser til Skudehavnen (masterplan) og forhold med 2 nye kanalforbindelser til Skudehavnen (revideret masterplan):

1. Vandudvekslingen og gennemstrømningen af Skudehavnen og forbundne kanaler
2. En screening af badevandskvaliteten og ændringer heraf i forhold til baseline
3. Risiko for ophvirvling af forurenet bundsediment i Skudehavnen
4. Vurdering af spredning og frigivelse af miljøfremmede stoffer til omkringliggende vandmiljø

2.3 Metode

Der tages afsæt i DHI's Københavns 3D-model, som tidligere er blevet anvendt i Lynetteholm projektet til at vurdere badevandsforholdene i København, ref. /1/ og /3/. Modellens udstrækning er indikeret på Figur 2.3. Modellen tilpasses fokusområdet (området omkring Skudehavnen) og der etableres 3 sæt modelbatymetrier og beregningsnet for:

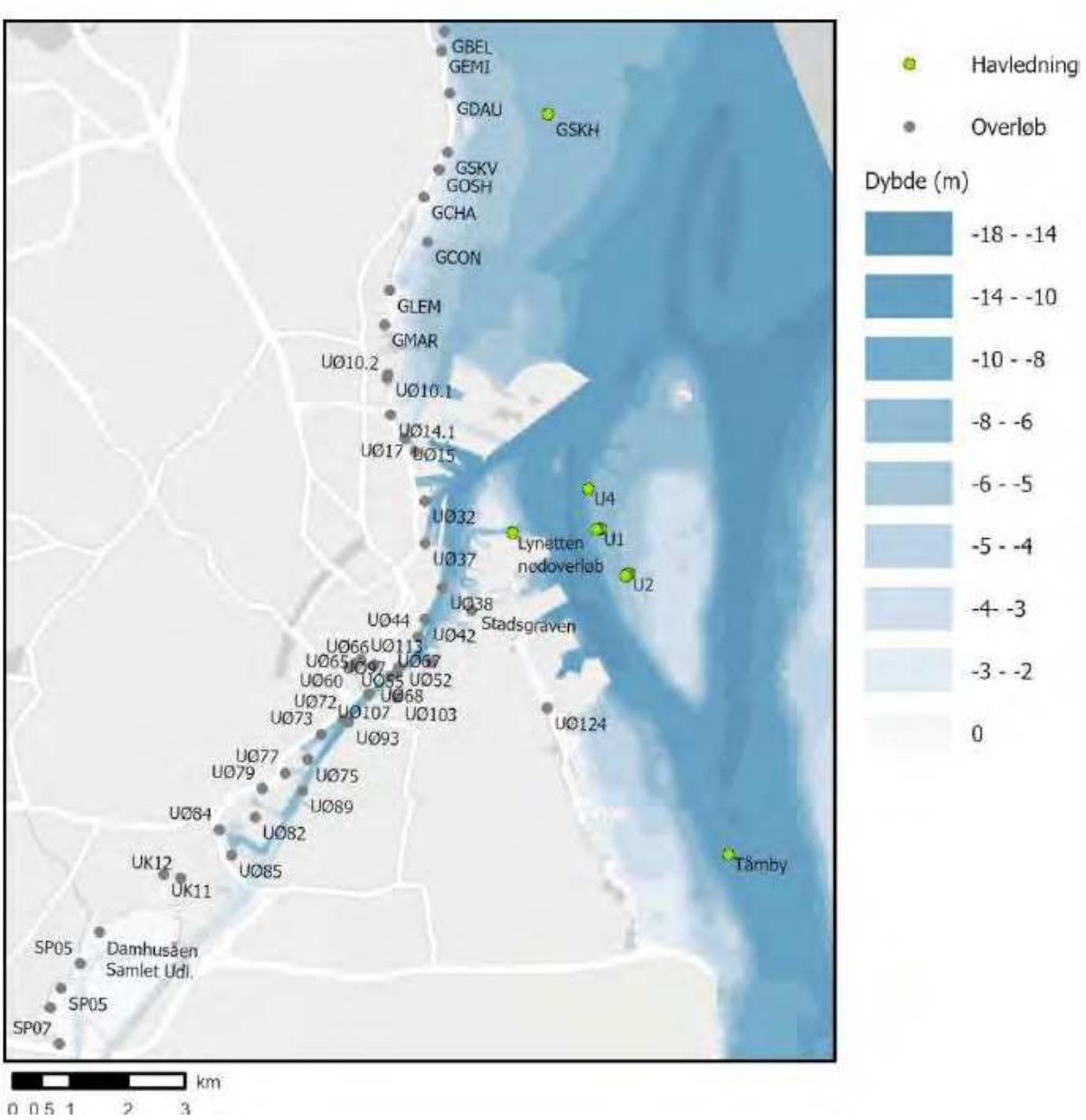
- Baseline (eksisterende forhold)
- Masterplan (med 3 nye kanalforbindelser til Skudehavnen)
- Revideret masterplan (med 2 nye kanalforbindelser til Skudehavnen)

I analysen for vandudveksling og gennemstrømning undersøges dette uden bidrag fra udledninger og overløb, mens disse medtages i analysen for badevandskvalitet, hvor de er af afgørende betydning for vurderingerne. Udledninger og overløb i Gentofte og Københavns kommune er indikeret på Figur 2.4. U4 ledningens afkast, som er beliggende indenfor Lynetteholms perimeter, flyttes til et udledningspunkt i Kronløbet ved Levantkaj, samtidig med at antallet af overløbshændelser reduceres, idet der bygges et 14.000 m^3 stort tilbageholdelsesbassin.

Risiko for ophvirvling af bundsediment i Skudehavnen og spredning af miljøfremmede stoffer til omkringliggende vandområde analyseres på samme modelgrundlag som vandudveksling og gennemstrømning.



Figur 2.3 **Udstrækning af Københavnsmodellen, som udgør basis for de til studiet etablerede modeller.**



Figur 2.4 Overløb og udløb som er indeholdt i badevandsmodelleringen.

2.3.1 Udløbskilder

I modelberegningerne indgår tre typer udløbskilder:

- Lynetten nødoverløb, U1 og U2 (renset og bypass) og Tårnby Renseanlæg (bypass)
- Overløb til den nordlige og sydlige del af Københavns Havn (inklusive U4)
- Udledning fra Stadsgraven ved Minebådsgrav/Margretheholm

Kildedata sendes online til DHI som en del af den daglige badevandsvarsling og samles i en database med høj tidsopløsning (hvert 5. minut). Data bliver løbende kvalitetssikret, og eventuelle huller i data (især data for renset spildevand) erstattes med langtidsmiddelværdier. Kildedata til modelsimuleringerne består af:

- Overløbsdata for udledning til Københavns Havn og Kalveboderne, Svanemøllebugten og Øresund ved Prøvestenen og Amager Strandpark fra HOFOR.
- Flowdata for udledning af renset spildevand og bypass-vand fra Renseanlæg Lynetten og Renseanlæg Damhusåen fra HOFOR.
- Overløbsdata for Damhusåen fra HOFOR.
- Overløbsdata for overløb og udledninger langs Gentoftes kyst fra Novafos.

- Udledningsdata for bypass for Tårnby renseanlæg (baseret på udledningstilladelse og DMI nedbørsdata).

Den samlede direkte udledning fra Damhusåen til Kalveboderne (åen og evt. overløb til åen) beregnes med en selvstændig model, hvor data fra modellen indgår i modelberegningerne.

Udledning fra Stadsgraven til havnen er beregnet på baggrund af data fra Københavns Kommune.

Udløbsmængder fra Tårnby Renseanlæg for modelperioden 2017-2020 er baseret på udledningstilladelse dateret 20/07/1999 med 41 overløbshændelser årligt, ref. /4/, da det ikke har været muligt at få adgang til de faktiske overløbstidsserier. Overløbshændelserne er beregnet ud fra nedbørdata (DMI), hvor nedbørsmængder på mere end 4,7 mm resulterer i en overløbshændelse og gennemsnitligt 41 hændelser per år i den 4-årige modelperiode 2017-2020. Den maksimale mængde udledning for de enkelte hændelser er skaleret med en faktor 0,076, sådan at det årlige bypass-volumen passer med det i udledningstilladelsen oplyste på 151.503 m^3 pr. år.

I analyserne tages der udgangspunkt i de historiske udledninger med undtagelse af U4, som flyttes til Kronløbet, hvor det udleder sjældnere, som følge af tilbageholdelsestanke med en bassinkapacitet på 14.000 m^3. HOFOR er i gang med en række tiltag i form af skybrudstunneller (Strandboulevard, Kalvebod Brygge og Valby skybrudstunneler), som vil reducere overløbsmængderne som tilføres havnen. Strandboulevard skybrudstunnel er indviet, mens de to øvrige forventes færdige i 2026 og 2028. Effekterne af disse tiltag er ikke indeholdt i de her udførte analyser.

2.3.2 Modelperioder

De hydrografiske forhold undersøges for en vinter- og en sommerperiode. Vinterperioden er valgt så den dækker 4 kalendermåneder (1. november – 1. marts), mens sommerperioden dækker 3,5 kalendermåneder (1. juni – 15. september), svarende til Københavns Kommunes officielle badevandssæson. Perioderne udvælges fra perioden 2017-2020, hvor der er randdata fra ref. /1/ til rådighed for modellen.

Til analyse af vandudveksling, gennemstrømning og risiko for ophvirvling af bundsediment i Skudehavnen er der valgt følgende to perioder:

- Vinter: 1. november 2019 – 1. marts 2020
- Sommer: 1. juni 2019 – 15. september 2019

Til analysen af badevandskvalitet og påvirkning af denne er der valgt følgende periode:

- Sommer: 1. juni 2017 – 15. september 2017

Perioden er valgt, da den indeholder flere overløbshændelsen end i de øvrige badevandssæsoner i perioden med rand- og drivdata til modellen.

2.3.3 Gennemstrømning og strømhastigheder

Gennemstrømningen af Skudehavnen vurderes ved at se på vandføringen og vandudvekslingen i de 3 (2) kanalforbindelser, samt Skudeløbet. Da der i en række situationer kan være modsatrettet strømning i Skudeløbet ved overflade og bund (særligt i baseline), udtrækkes der ikke kun totalvandføringer, men også de to modsatrettede driftskomponenter, hvis sum giver totalvandføringen. Desuden laves der en række statistiske analyser af strømforholdene, hvor maksimum og middelhastigheder fastlægges for hver af de 3 kanalkonfigurationer.

Strømhastigheder er af betydning for badesikkerhed og sejlads i kanalerne. På disse lokaliteter er det især overfladehastighederne, som er af interesse. Fokus på strømhastigheder vil være særligt rettet mod forholdene ved bunden, da disse er af betydning for ophvirvling af bundsediment.

2.3.4 Badevandskvalitet

Badevandskvalitet vurderes normalt på baggrund af 4 badevandssæsoner. Da der ikke er tale om ændringer i udledningsmængder eller deres udledningspunkter, men alene en ændret gennemstrømning af Skudehavnen, vurderes det som udgangspunkt tilstrækkeligt at analysere en enkelt badevandssæson

med mange overløbshændelser (2017). Beskrivelsen af overløb tager udgangspunkt i data fra DHIs Lynetteholm studie af badevand september 2024, ref. /1/.

Som grundlag for vurderingen af udledningernes effekt på badevandskvaliteten benyttes grænseværdierne i **"Bekendtgørelse om badevand og badeområder (917/2016)"**. I bekendtgørelsen opereres med 4 klassificeringer. For de marine områder gælder nedenstående:

- ***Udmærket*** **badevandskvalitet:** Både Enterokokker og *E. coli* skal være under 100 Enterokokker/100ml, henholdsvis 250 *E. coli*/100ml i mere end 95% af tiden.
- ***God*** **badevandskvalitet:** Både Enterokokker og *E. coli* skal være under 200 Enterokokker/100ml, henholdsvis 500 *E. coli*/100ml i mere end 95% af tiden.
- ***Tilfredsstillende*** **badevandskvalitet:** Både Enterokokker og *E. coli* skal være under 185 Enterokokker/100ml, henholdsvis 500 *E. coli*/100ml i mere end 90% af tiden.
- ***Ringe*** **badevandskvalitet:** Hvis de mikrobielle (*E. coli* og Enterokokker) målinger er ringere end kravværdierne til *Tilfredsstillende* badevandskvalitet.

I konsekvensvurderingen ses der særligt på, om de nye kanaler kan føre til forringede badevandsforhold ved Svanemøllestranden og Sandkaj badezone. Dette gøres ved, at se på om antallet af hændelser og varigheder med overskridelse i løbet af en badevandssæson ændres på de 2 lokaliteter. Vurderingen foretages med udgangspunkt i bakteriekoncentrationer i overfladelaget.

I tillæg til ovenstående laves der for hver af de 3 undersøgte Skudehavnskonfigurationer en række konturkort visende relative overskridelsesvarigheder af følgende grænseværdier:

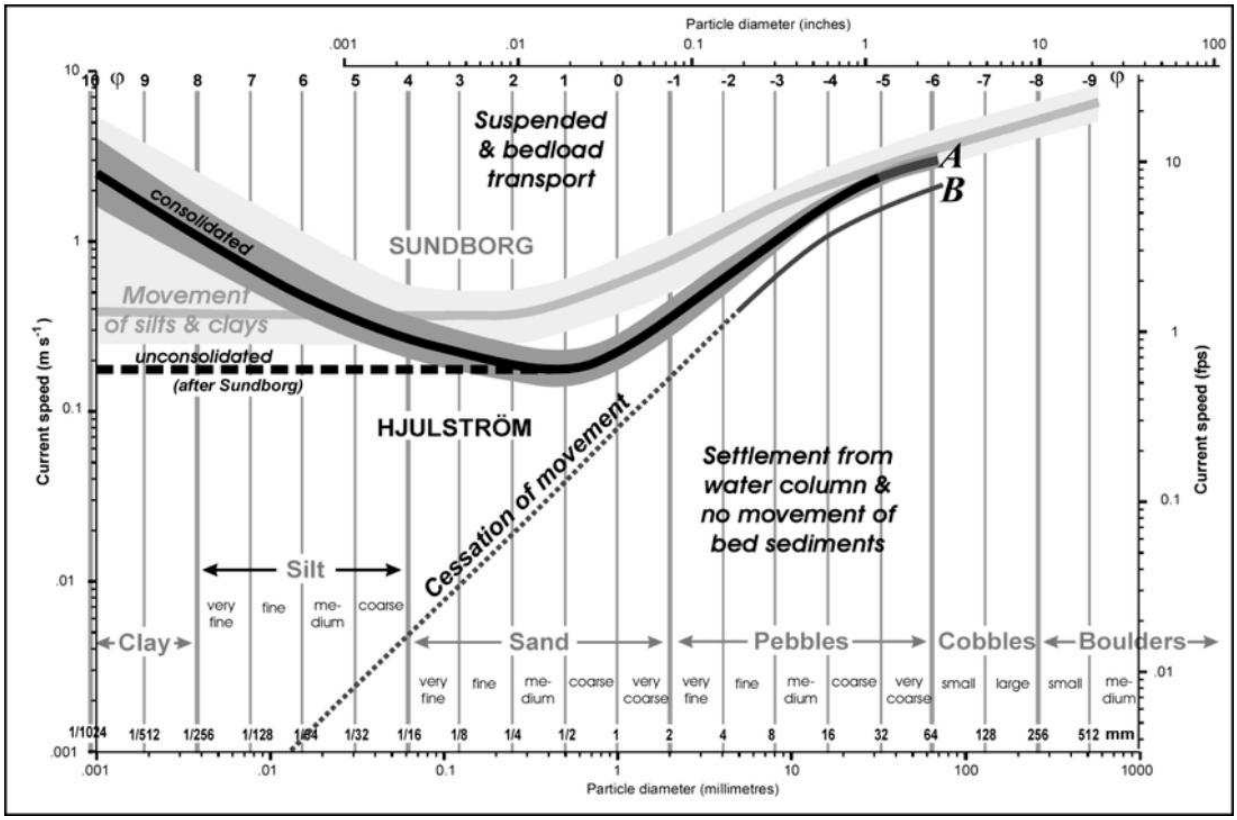
- Relative overskridelsesvarigheder med overskridelse af 100 Enterokokker/100 ml
- Relative overskridelsesvarigheder med overskridelse af 250 E. coli/100 ml
- Relative overskridelsesvarigheder med overskridelse af 200 Enterokokker/100 ml
- Relative overskridelsesvarigheder med overskridelse af 500 E. coli/100 ml

Kortene sammenlignes og bruges til at vurdere kanalernes betydning for badevandskvaliteten mere generelt i området omkring Skudehavnen.

2.3.5 Risiko for ophvirvling

Bundsedimentets evne til at gå i suspension afhænger af dets sammensætning og konsolidering. Da viden om bundsedimentets præcise sammensætning ofte er sparsom, kan man i stedet anvende bundforskydningsspændingerne til at vurdere risikoen for erosion. Ligeledes kan man anvende viden om strømhastigheder i samspil med Hjulstrøms diagrams regimer til at vurdere områdetype (depositionsområde, transportområde eller erosionsområde). Til denne analyse tages der udgangspunkt i strømanalyserne beskrevet i afsnit 1.2. Hjulstrøm-Sundborgs diagram, som er vist i Figur 2.5, angiver regimet med udgangspunkt i sedimentkornstørrelse og strømhastighed (dybdemidlet). Med afsæt i dette skal strømhastigheden overstige ~0,2 m/s for, at der er risiko for erosion af bundsedimentet.

Som supplement til Hjulstrøm-Sundborg diagramanalyserne afvikles der modelkørsler med procesmodulet til beskrivelse af spredning af finkornet sediment. Procesmodulet kan beregne bundforskydnings-spændingen relateret til *skin friction*, som er den påvirkning, sedimentet på bunden oplever. I forlængelse af denne analyse, inkluderes resuspension og transport af finkornet sediment i modelleringen med henblik på at beskrive, hvortil sedimentet vil kunne spredes og i hvilket omfang. I Orbicon rapporten (WSP) fra 2016, ref. /2/, er der kort som indikerer lagtykkelser af overfladelaget med blød bund og forurenet sediment, se Figur 3.5. Risikoen for ophvirvling og spredning af kontamineret sediment til omkringliggende vandområder undersøges med afsæt i et blødbundslag med en tykkelse på 0,3 m i Skudehavnen og den inderste halvdel af Skudeløbet. Eventuelle erosionsområder kan derefter sammenholdes med blødbundstykkelserne. Spredningen kan vurderes med afsæt i erosions- og aflejringskort, samt opgørelser over de kumulerede transporter af sediment, som føres igennem de forskellige konfigurationers kanaler.



Figur 2.5 **Hjulstrøms-Sundborgs diagram med Wenthworth-Krumbein graderingsskala og angivelse af områder for depositions-, transport- og erosionsregime.**

2.3.6 Spredning af miljøfremmede stoffer

En spredning af miljøfremmede stoffer fra Skudehavnen og Skudeløbet vil kun finde sted, hvis bundsedimentet ophvirvles. Bundsedimentets forureningsniveau varierer i området og påvirkningsgraden afhænger derfor af, hvor i området der kan finde ophvirvling sted. Blødbundsedimentets forurening i området er kendt og fastlagt med afsæt i 14 prøvetagningsstationer med positioner som vist i Figur 2.6. Forureningsniveauet er beskrevet i ref. /2/ og /5/ for 12 tungmetaller, TBT, 9 PAH'er, 7 PCB'er og 4 kulbrinter. Koncentrationsniveauer i blødbundssedimentet er beskrevet i Kapitel 3.3.



Figur 2.6 **Oversigtskort med prøvetagningsstationer, fra ref. /2/.**

Forureningsniveau og miljøkriterier sammenholdes for at rangordne stofferne efter risiko for overskridelse af miljøkriteriet defineret ved BEK nr. 1668, ref. /6/, som trådte i kraft lige før årsskiftet. For tungmetallerne er miljøkriteriet defineret med afsæt i filtrede prøver, svarende til vandopløst stof, mens det for de øvrige

stoffer er for ufiltrerede prøver, hvor sedimentet indgår (totalkoncentrationer). Det er derfor nødvendigt at anvende forskellige beregningskoncepter for tungmetallerne og de øvrige stoffer.

Mængden af stof fra tungmetaller, som frigives fra sedimentet ved ophvirvling til vandfasen, kan beskrives med udgangspunkt i udrystningsforsøg udført af SDU (Syd Dansk Universitet) på meget forurenede gytjesedimenter, ref. /7/. Fra disse forsøg er der fastlagt en procentvis frigivelse (efter 24 timer), som beskriver, hvad der overføres fra sedimentet til vandfasen. Det frigivne stof opfører sig som en passiv tracer og vil derfor ikke have en faldhastighed efter frigivelse til vandfasen. Det fortynder derfor i praksis hurtigt væk fra området, hvor det ophvirvles. Processen kan modelleres med sedimentspredningsmodulet, men det er i stedet valgt at bruge sedimentspredningsberegningerne direkte kombineret med en mere konservativ metode, hvor der skaleres på maksimumsedimentkoncentrationen i vandsøjlen med det enkelte tungmetals forureningsniveau og en konservativ valgt frigivelsesprocent. Samme metode anvendes for de stoffer, hvor miljøkravet går på en total koncentration, men uden skalering med en frigivelsesprocent.

I vurderingen af de miljøfremmede stoffer frigivet til/i vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling, ses der på om de beregnede koncentrationstilførsler (C_{MFS}) medfører, at maksimummiljøkriteriet overskrides. Denne vurdering laves ved at kompensere for naturlig baggrundskoncentration (NBK) og IFF-koncentration, sådan at maksimummiljøkravet (MMK) overskrides hvis:

$$C_{MFS} > MMK_{MFS} + NBK_{MFS} - IFFK_{MFS}$$

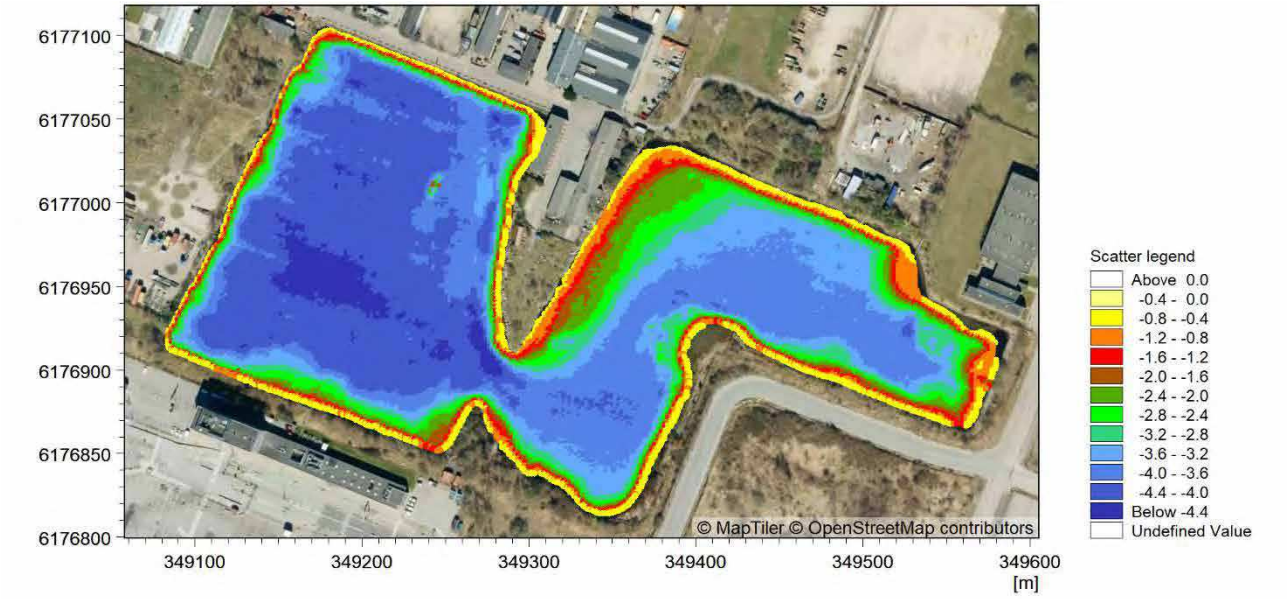
Maksimummiljøkriterier, naturlige baggrundskoncentrationer, IFF-koncentrationer og det kompenserede miljøkvalitetskrav, som der vurderes på, er ligeledes beskrevet i Kapitel 3.3.

3 Baggrundsdata

Modelleringen bygger på den hydrauliske model anvendt i ref. /1/. Nye data er alene relateret til planer for Skudehavnsområdet (kanalforløb og opfyldningsområde), samt pejlinger af Skudeløbet og Skudehavnen.

3.1 Pejlinger

Til brug for konsekvensvurderingen er der modtaget pejlinger af Skudehavnen, som vist i Figur 3.1. Det ses, at vanddybderne er størst i den indre del af Skudehavnen, hvor vanddybderne typisk er lidt større end 4 meter. I den ydre del af Skudehavnen er der større variationer i vanddybden. Her er de største vanddybder lidt mindre end 4 meter.



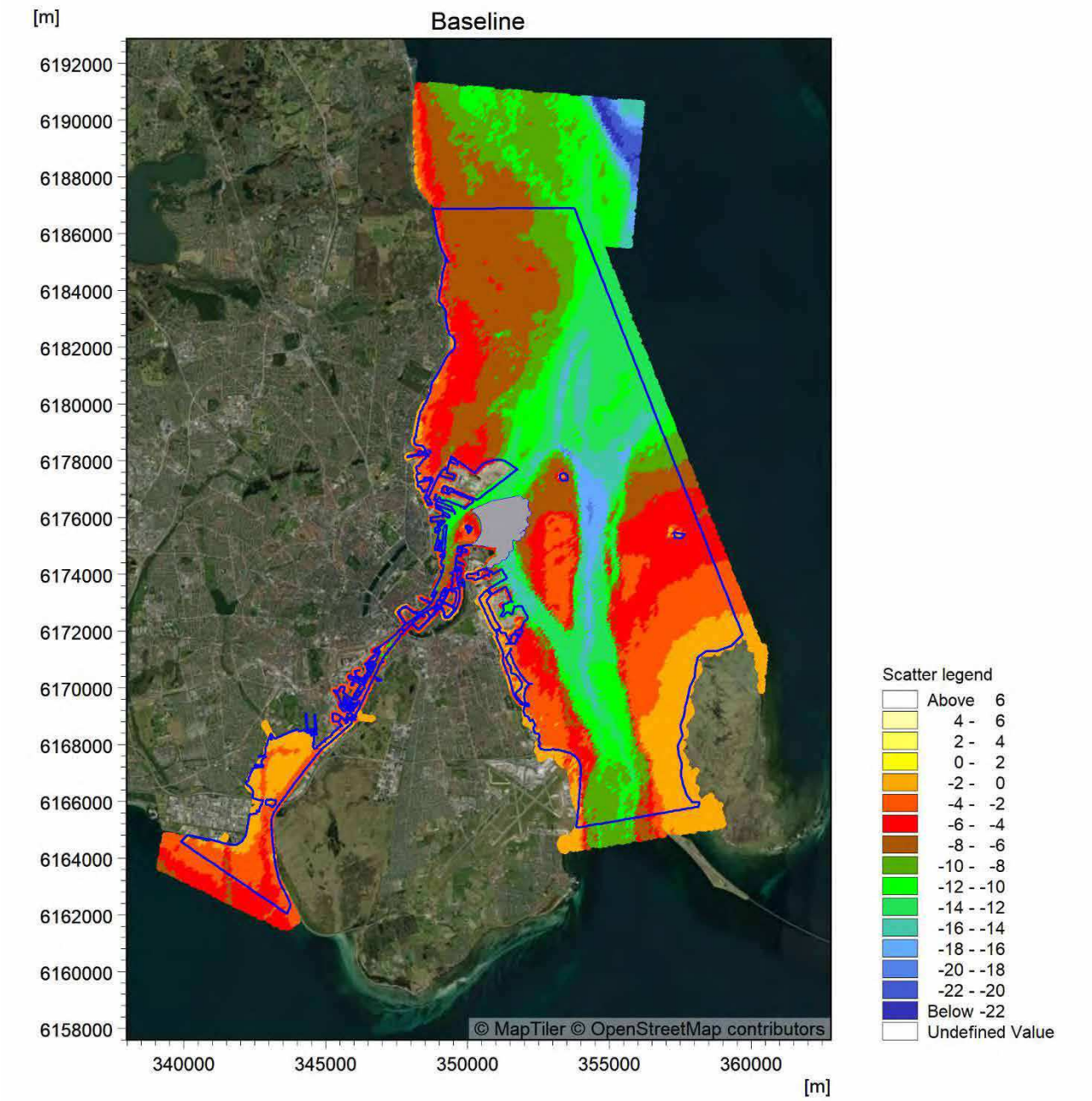
Figur 3.1 Pejlinger af Skudehavnen med reference til DVR90.



Figur 3.2 Pejlinger af Skudeløbet og af mundingen i Kronløbet med reference til DVR90.

Pejlinger af Skudeløbet og af mundingen i Kronløbet er til rådighed fra tidligere studier. Disse data er vist i Figur 3.2. Farveskalaen er valgt med henblik på at vise dybderne i Skudeløbet fremfor Kronløbet, hvor dybden er omkring 11 m.

Det samlede batymetriske grundlag (pejlinger) til etablering af modelbatymetri er vist i Figur 3.3 nedenfor.

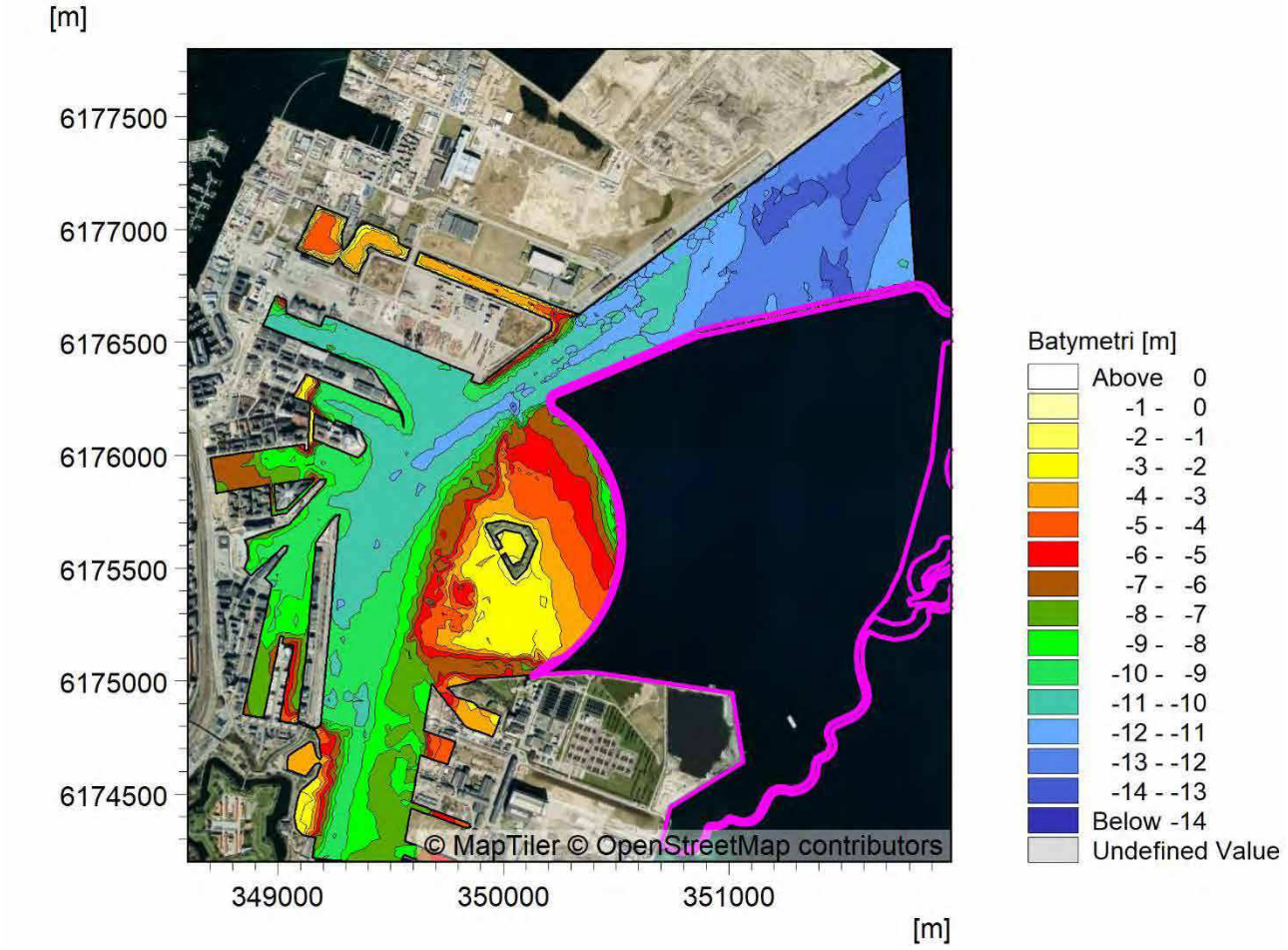


Figur 3.3 Samlet batymetrisk modelgrundlag og udstrækning af model (blå linjer).

3.2 Lynetteholm

Forholdene i området ændres ikke alene af de nye kanalforbindelser til Skudehavnen. Færdiggørelsen af Lynetteholms perimeter ændrer også på strømforholdene i Kronløbet. Fase 2 perimeteren forventes færdigetableret i sommeren 2026 og vil derfor være en realitet, før der etableres nye kanalforbindelser til Skudehavnen. Lynetteholm vil derfor blive indbygget i de modelkonfigurationer, som lægges til grund for konsekvensvurderingen. I Figur 3.4 er omridset af Lynetteholm vist sammen med en lokal batymetri af

Yderhavnen. I det viste er Kronløbet udrettet ved at fjerne en udkragning ved Levantkajen og ligeledes er Trekroners to bølgebrydere fjernet ned til omkringliggende havbundsniveau, da Lynetteholm har den samme afskærmende effekt på indkommende bølger. Den inderste del af den nordlige bølgebryder er dog bevaret i området omkring Gamle Trekroner, som udgøres af sænkede orlogsskibe på havbunden.

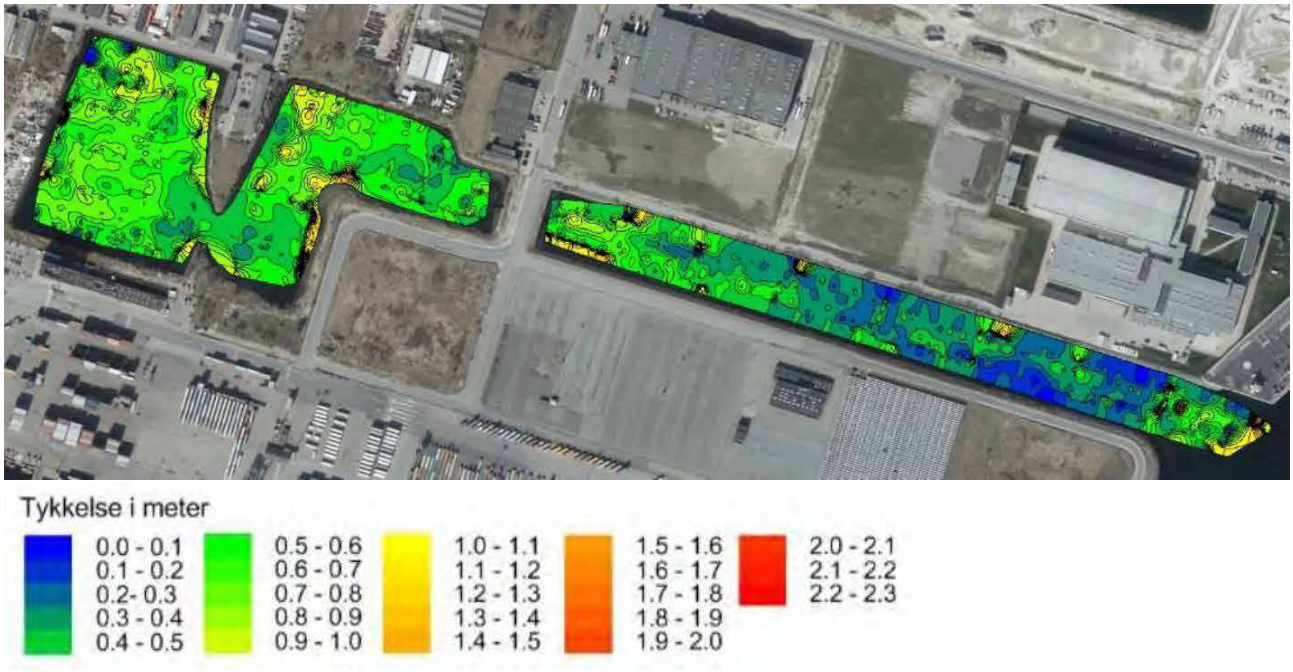


Figur 3.4 Lynetteholm perimeteren som påvirker de lokale strømforhold i Yderhavnen.

3.3 Kemiske analyser af blødbundssedimentet

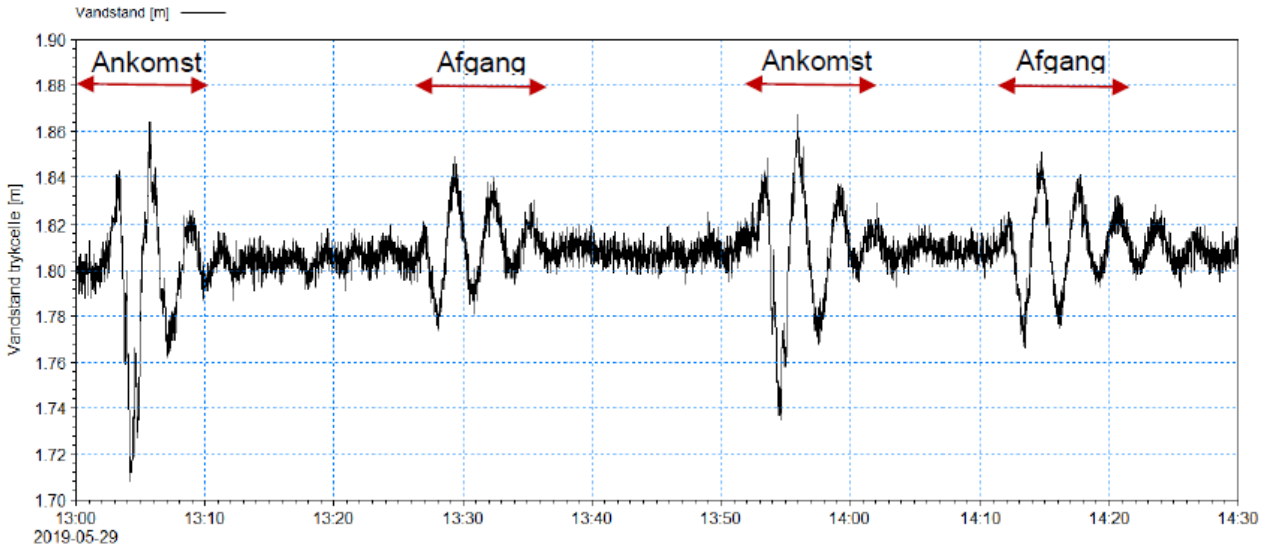
Blødbundssedimentets lagtykkelse og forureningsgrad i Skudehavnen og Skudeløbet er fastlagt i ref. /2/ og /5/. Blødbundslagtykkelsen er fastlagt ud fra en seismisk tolkning, som estimerer afstanden ned til den hårdere moræne. De herved estimerede lagtykkelser er vist i Figur 3.5.

Kortets seismiske tolkning viser, at tykkelserne generelt er størst i Skudehavnen (0,5-0,8 m) og mere begrænset i Skudeløbet (typisk < 0,3 m) med størst tykkelse i den vestlige del. Dette hænger fint sammen med den vandprismerelaterede svækkelse af strømmen relateret til vandstandsvariationer skabt af tidevand og skibspassagers Bernoullieffekt omkring skibet. Vandstanden i Skudehavnen og Skudeløbet vil i forbindelse med skibspassage typisk opleve en svag vandstandsstigning skabt af en foran-løbende bølge, som efterfølges af et massivt sug. Dette sug kan forklares teoretisk ud fra den såkaldte Bernoullieffekt omkring skibet (grundet dets fart), hvor vandstanden og skibet trækkes ned og sluttelig genererer et kraftigt skvulp skabt af den af skibet medrivende vandmasse. Skibets propeller og turbulensen omkring skibet vil ofte føre til en ophvirvling af bundsedimentet i havneløbet, som dermed føres ind i de lukkede sidebassiner efter skibets passage.



Figur 3.5 Seismisk fastlæggelse af blødbundssedimentets lagtykkelse, fra ref. /2/.

Figur 3.6 viser et eksempel på målte vandstandsvariationer i en lystbådehavn forårsaget af en forbi sejlende færge, som må forventes at have lighed med den nuværende dynamik i Skudeløbet. Vandstandsvariationerne frembragt af skibspassage kan, som det fremgår af figuren, være signifikante, og er ydermere af kortperiodisk karakter (modsat tidevand). De kan derfor let være mere bidragende til den opbygning af kontamineret blødbundssediment, som ses i Skudehavnen i dag, end tidevand og vind- og vejrsystemsbetingede vandstandsvariationer.



Figur 3.6 Eksempel på målte vandstandsvariationer i sidebassin forårsaget af færgepassage.

Den densitetsdrevne udveksling vurderes dog fortsat som den vigtigste mekanisme til at bringe det finkornede sediment helt i ind i Skudehavnen, idet strømningen ikke svækkes på samme måde, som ved opfyldningen af vandprismet. Tykkelseskortet vist i Figur 3.5 er dermed i fin overensstemmelse med det man ville forvente i forhold til de styrende fysiske mekanismer for tilførsel af blødbundssediment.

Figur 3.7 viser et søkort fra området fra 1897 fra før de første opfyldninger af Nordhavn fandt sted. Hele Nordhavn udgøres i dag af et opfyldsområde og havbunden har dermed tidligere været eksponeret for bølger og strøm, som ikke tillader aflejring af blødbundssedimenter. De kontaminerede blødbundssedimenter i Skudehavnen og Skudeløbet er dermed blevet tilført gradvist over årene.

Blødbundssediment har et højt indhold af finkornet sediment og organisk materiale, hvortil miljøfremmede stoffer i overvejende grad bindes, idet partiklernes overfladeareal i forhold til volumen er større end for grovere sediment. Forureningen vil dermed ikke kun være relateret til overfladelaget, men i stedet være at finde i hele laget med aflejret blødbundssediment.



Figur 3.7 Søkort af Yderhavnen fra 1897.

I Tabel 3.1 er der angivet målte koncentrationer på blandingsprøver fra de 14 prøvetagningsstationer i Skudehavnen og Skudeløbet, jf. Figur 2.6. Blandingsprøverne må forventes at afspejle et repræsentativt forureningsniveau, idet blødbundslaget er en tilført aflejring. Det er derfor denne forurening, som lægges til grund i analysen af risikoen for spredning af miljøfremmede stoffer.

Tabel 3.1 Målte koncentrationer af miljøfremmede stoffer i blødbundssediment, ref. /2/ og /5/.

		Skudehavnen									Skudeløbet				
Station		Sk_01	Sk_02	Sk_03	Sk_04	Sk_05	Sk_06	Sk_07	Sk_08	Sk_09	Sk_10	Sk_11	Sk_12	Sk_13	Sk_14
TS	%	30,8	47	44,8	50,4	47,2	57,1	60,8	57,4	61,9	55,7	69,4	62,8	66,3	68,7
Glødetab	%	2,46	5,07	3,03	2,83	2,86	3,59	2,66	2,51	2,69	3,2	2,44	1,91	1,54	1,63
Metaller															
Antimon (Sb)	mg/kg TS	<1	3	4	3	2	3	2	2	2	2	1	2	2	1
Arsen (As)	mg/kg TS	11	4	12	11	5	3	0,6	1	2	5	5	4	4	3
Barium (Ba)	mg/kg TS	1	1	6	4	3	2	<1	2	<1	4	3	3	2	5
Bly (Pb)	mg/kg TS	265	72	200	166	117	76	17	46	32	96	61	82	49	38
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	2,2	1,2	3,6	2,7	0,93	0,35	0,07	0,26	0,13	0,51	0,34	0,46	0,43	0,19
Chrom (Cr)	mg/kg TS	33	21	45	38	23	12	1,8	11	3,8	27	14	21	12	16
Kobber (Cu)	mg/kg TS	378	56	209	110	89	46	8,2	26	15	69	39	57	32	26
Kviksølv (Hg)	mg/kg TS	1,5	2,7	3,8	2,3	1,2	0,57	0,1	0,4	0,24	0,92	0,51	0,73	0,53	0,26
Molybdæn (Mb)	mg/kg TS	7	<0,3	1	0,5	<0,3	0,8	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3	<0,3
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	24	9,4	26	25	17	10	1,8	8,4	4,1	20	11	16	10	12
Selen (Se)	mg/kg TS	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2
Zink (Zn)	mg/kg TS	596	210	484	498	223	155	36	101	61	208	149	164	97	92
Organotinforbindelser															
TBT cation	µg/kg TS	12100	60	189	90,1	191	175	14,6	22,1	18,6	43,7	17,6	16,5	26,2	21
PAH'er															
Phenanthren	mg/kg TS	0,44	0,61	0,5	0,28	0,23	0,27	0,5	0,23	0,2	0,4	0,24	0,2	0,15	0,17
Anthracen	mg/kg TS	0,16	0,28	0,21	0,12	0,1	0,11	0,16	0,09	0,08	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04
Fluoranthen	mg/kg TS	2,4	5,8	4,4	2,3	2,4	2,4	1,8	1,9	1,5	2,2	1,2	1,3	1,1	0,93
Pyren	mg/kg TS	3,2	5,4	4,2	2,7	2,3	2,9	2	2,2	1,7	2,1	1,2	1,4	1,2	0,84
Benz(a)anthracen	mg/kg TS	1,2	2,2	1,7	0,77	1,2	0,87	0,6	0,61	0,52	0,73	0,41	0,46	0,4	0,29
Chrysen	mg/kg TS	0,98	1,7	1,7	0,62	0,72	0,73	0,54	0,5	0,43	0,89	0,39	0,4	0,35	0,27
Benz(a)pyren	mg/kg TS	1,2	2,2	1,9	1,2	1,2	1,2	0,91	0,89	0,69	0,9	0,5	0,55	0,47	0,33
Benzo(ghi)perylen	mg/kg TS	0,99	1,6	1,6	1	0,9	1	0,71	0,7	0,59	0,74	0,41	0,47	0,43	0,3
PCB'er															
PCB (sum af 7)	µg/kg TS	1,2	<0,007	<0,007	0,22	0,13	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007

3.3.1 Miljøkvalitetskrav

Effekterne af en ophvirvling af kontamineret blødbundssediment og de herved frigivne stoffer, skal vurderes i forhold til de enkelte maksimummiljøkvalitetskrav angivet i Bek. 1668, ref. /6/, idet en eventuel ophvirvling kun vil forekomme sporadisk. Tabel 3.2 angiver de gældende maksimumkvalitetskrav for de stoffer, som er målt i blødbundssedimentet og angivet i Tabel 3.1. Bemærk at kvalitetskravet for stofferne i venstre side er angivet i µg/l, mens de i højre side er angivet som ng/l.

Tabel 3.2 Gældende maksimumkvalitetskrav.

Stof	Kvalitetskrav [µg/l]	Stof	Kvalitetskrav [ng/l]
Antimon (Sb)	177	TBT-kation	1,5
Arsen (As)	1,1	Pyren	40
Barium (Ba)	145	Benz(a)anthracen	10
Bly (Pb)	14	Chrysen	1,4
Cadmium (Cd)	0,45	Benz(a)pyren	27
Chrom (Cr)	85	Benzo(ghi)perylen	0,82
Kobber (Cu)	2		
Kviksølv (Hg)	0,07		
Molybdæn (Mb)	587		
Nikkel (Ni)	34		
Selen (Se)	31		
Zink (Zn)	8,4		
PCB	0,16		
Phenathren	6,26		
Anthracen	0,1		
Flouranthen	0,12		

Miljøkvalitetskravet for TBT-kation, chrysen og benzo(ghi)perylen er lavere end detektionsgrænsen (10 ng/l) og en overskridelse af miljøkravet kan dermed være vanskelig at fastslå med afsæt i målinger.

3.3.2 Naturlig baggrund og IFF-koncentrationer

For en række af metallerne må det i Tabel 3.2 angivne miljøkvalitetskrav korrigeres med et bidrag fra naturlig baggrund og de i vandområdet i forvejen forekommende koncentrationer (IFFK). De her benyttede koncentrationer er fastlagt med afsæt i månedlige målinger på 5 stationer i Øresund gennem et år (december 2023 til november 2024). Måleprogrammet blev etableret i forbindelse med Østlig Ringvej projektet. De 5 stationers geografiske beliggenhed er vist på Figur 3.8. Ved Oceankaj, Amager Strandpark og Dragør Badeanlæg er vandprøver taget som overfladeprøver, mens vandprøverne fra Marin øst og vest er blandingsprøver med bidrag fra lige over bund, midt i vandsøjlen og ved overfladen. Naturlig baggrundskoncentration er fastlagt som 10% fraktil. Yderligere detaljer om målte værdier og analyserne heraf, som fastlægger naturlige baggrundskoncentrationer og IFF-koncentrationer findes i ref. /8/. For stoffer hvor IFFK er mindre end stoffets detektionsgrænse, er IFF-koncentrationen sat til nul. I øvrige tilfælde er IFF-koncentration fastlagt på baggrund af middelværdi.

For 6 af metallerne er der bidrag fra en naturlig baggrundskoncentration. Disse er angivet i Tabel 3.3. Der blev ikke målt for antimon og molybdæn, men disse stoffer anses ikke som værende kritiske sammenholdt med de øvrige stoffer.



Figur 3.8 **Stationer i Østlig Ringvej studiet anvendt til fastlæggelse af IFF-koncentrationer.**

Tabel 3.3 **Anvendt naturlig baggrundskoncentration.**

Stof	Naturlig baggrundskoncentration [µg/l]
Arsen	0,92
Barium	11
Kobber	0,25
Selen	0,015
Zink	0,6

I Tabel 3.4 er de anvendte IFF-koncentrationer angivet. Der er ikke værdier for antimon og molybdæn. For stoffer, hvor der er fundet en middelkoncentration under detektionsgrænsen, er IFF-koncentrationen sat til nul.

Tabel 3.4 Anvendte IFF-koncentrationer.

Stof	IFF [µg/l]	Stof	IFF [µg/l]
Arsen (As)	1,11	TBT	0 (<0,01)
Barium (Ba)	14,5	Phenathren	0 (<0,01)
Bly (Pb)	0 (<0,2)	Anthracen	0 (<0,01)
Cadmium (Cd)	0 (<0,1)	Flouranthen	0 (<0,01)
Krom (Cr)	0 (<0,5)	Pyren	0 (<0,01)
Kobber (Cu)	0,73	Benz(a)anthracen	0 (<0,01)
Kviksølv (Hg)	0,0043	Chrysen	0 (<0,01)
Nikkel (Ni)	0,19	Benz(a)pyren	0 (<0,01)
Selen (Se)	0,03	Benzo(ghi)perylen	0 (<0,01)
Zink (Zn)	2,9	PCB	0 (<0,01)

Miljøpåvirkningen fra ophvirvlet sediment kan nu vurderes med afsæt i maksimumkvalitetskrav korrigeret for naturlig baggrundskoncentration og IFF-koncentration, som beskrevet i afsnit 2.3.6. Da der i modelleringen alene ses på koncentrationsbidraget fra ophvirvlet sediment, bliver det krav, som der skal vurderes på, som angivet i Tabel 3.5. Bemærk, at kvalitetskravet for stofferne i venstre side er angivet i µg/l, mens de i højre side er angivet som ng/l.

Tabel 3.5 Miljøkvalitetskrav for ophvirvlet blødbundssediment.

Stof	Kvalitetskrav [µg/l]	Stof	Kvalitetskrav [ng/l]
Antimon (Sb)	177	TBT	1,5
Arsen (As)	0,91	Pyren	40
Barium (Ba)	141,5	Benz(a)anthracen	10
Bly (Pb)	14	Chrysen	1,4
Cadmium (Cd)	0,45	Benz(a)pyren	27
Chrom (Cr)	85	Benzo(ghi)perylen	0,82
Kobber (Cu)	1,52		
Kviksølv (Hg)	0,0657		
Molybdæn (Mb)	587		
Nikkel (Ni)	33,81		
Selen (Se)	30,985		
Zink (Zn)	6,1		
PCB	0,16		
Phenathren	6,26		
Anthracen	0,1		
Flouranthen	0,12		

3.3.3 Udrystningsforsøg

Miljøkvalitetskravet for metaller går på filtrerede prøver (opløste koncentrationer) og dermed ikke på den del som er bundet i sedimentet. Tungmetaller er i hovedreglen hårdt bundet til sedimentet og det er dermed kun en begrænset mængde, som vil kunne frigives fra sedimentet i de relativt korte perioder, hvor der forekommer ophvirvling. Estimater for dette er fastlagt ved udrystningsforsøg af sammenlignelige sedimenter i ref. /7/. Frigivelsesprocenter efter 24 timer for en række tungmetaller er angivet i Tabel 3.6. Værdierne er fundet med afsæt i 11 sedimentprøver og 3 replikater, hvorfra der er beregnet en middelværdi og spredning. Prøver hvor der blev målt mere tungmetal i slutprøverne (i sedimentet) end ved start, er udeladt i beregning af middelværdi og spredning. Summen af gennemsnit + standardafvigelsen indikerer præcisionen på frigivelsesprocenterne for tungmetaller.

Tabel 3.6 Frigivelsesprocenter fastlagt ved udrystningsforsøg for en række metaller efter 24 timer, ref. /7/.

Metal	Middel [%]	Spredning [%]	Middel + spredning [%]
Arsen (As)	0,217	0,194	0,411
Barium (Ba)	0,262	0,197	0,456
Bly (Pb)	0,385	0,238	0,622
Cadmium (Cd)	0,294	0,106	0,400
Krom (Cr)	0,182	0,129	0,311
Kobber (Cu)	0,242	0,224	0,465
Kviksølv (Hg)	0,444	0,267	0,711
Nikkel (Ni)	0,267	0,186	0,453
Zink (Zn)	0,379	0,221	0,465

Tabellen viser, at der ikke kan forventes at blive frigivet mere end 1% af de sedimentbundne metaller indenfor den tidsskala, hvor der vil være ophvirvlet sediment i vandsøjlen.

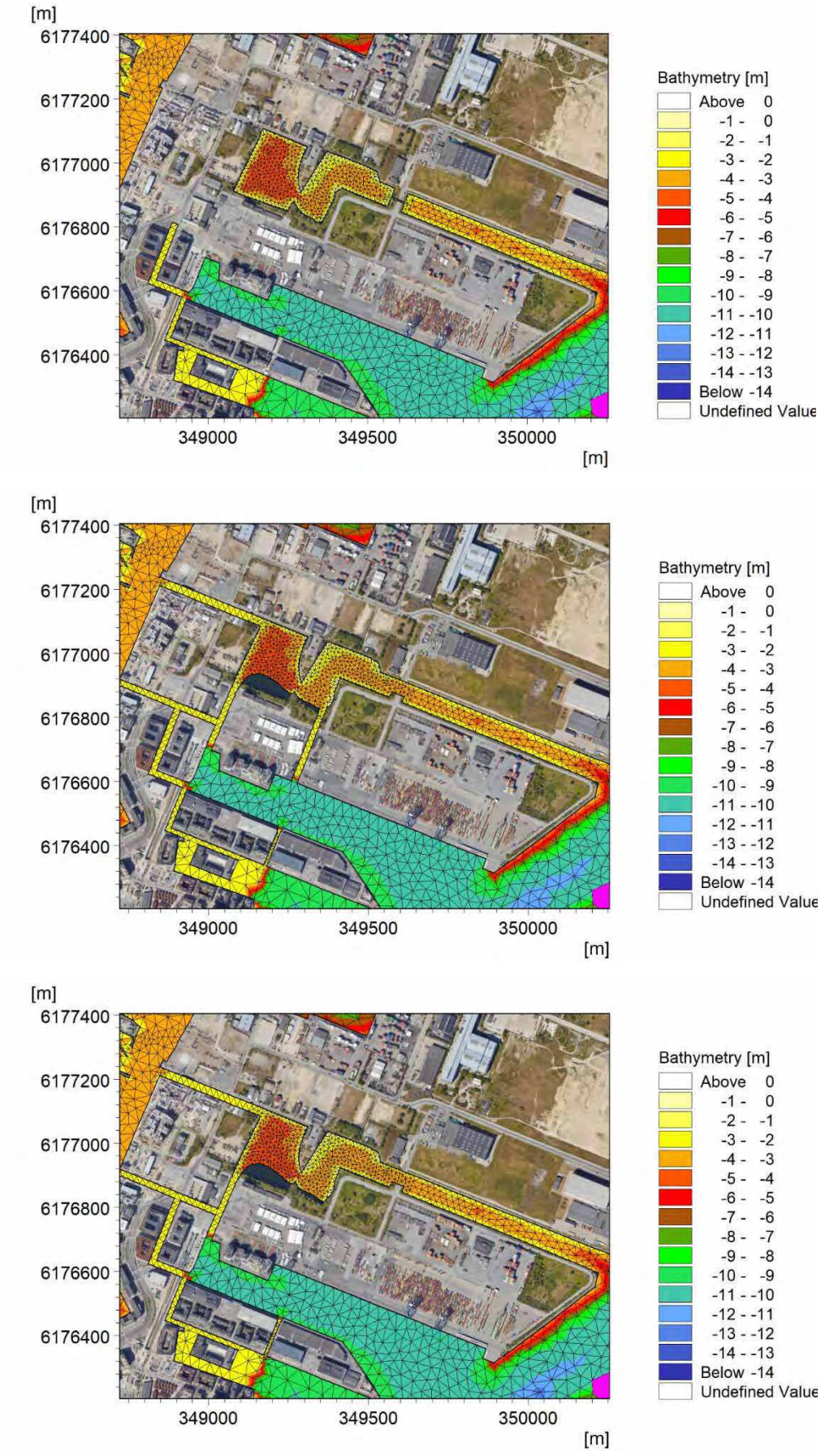
4 Opsætning af model

DHI's Københavns 3D-model, som beskrevet i kapitel 2.3, danner grundlag for de hydrodynamiske undersøgelser i denne rapport. Modellen er opbygget med et fleksibelt beregningsnet, som tillader en høj opløsning af interesseområdet og en grovere opløsning af områderne længere væk. Modellen er tilpasset fokusområdet, hvor beregningsnettet er forfinet i og omkring Skudehavnen, se Figur 4.1 der viser lokalt udsnit af beregningsnet og batymetri for de tre konfigurationer. Derudover er der anvendt opdaterede batymetridata i fokusområdet, som vist i kapitel 3. For baseline er det valgt at modellere rørføringen mellem Skudeløbet og Skudehavnen, som en åben kanal, da en rørbeskrivelse ikke kan beskrive lagdelingseffekter (densitetsdrevet strøm). For Masterplan og revideret Masterplan har Skudeløbet en bred kanal hele vejen ind til Skudehavnen.

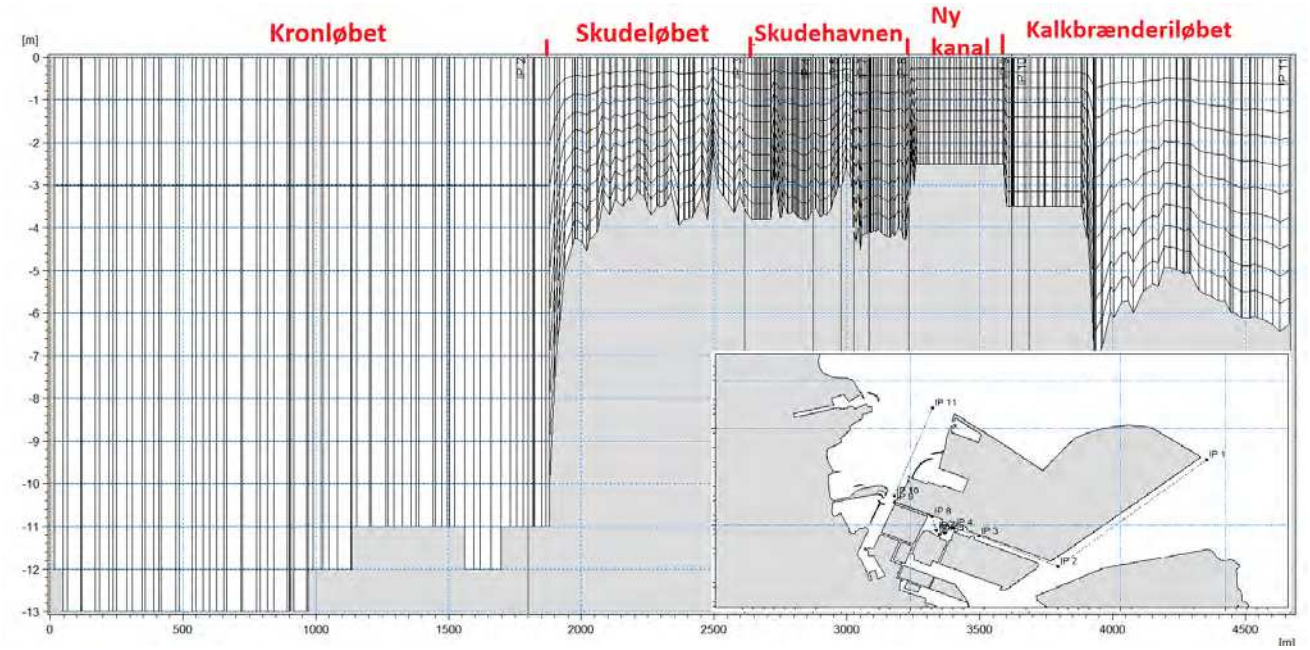
Modellens fleksible beregningsnet udgøres af omkring 26.000 elementer, hvor den fineste horisontale opløsning er i Skudehavnen på cirka 10 meter.

Modellen består af 18 vertikale lag, heraf 10 sigma lag (med sigma-dybde på 10m) og 8 z-lag (1 meters opløsning). Hvilket betyder, at modellen som minimum har 10 vertikale lag underordnet vanddybden. Områder i domænet med vanddybder større end 10 meter kan have op til 18 vertikale lag med en opløsning på 1m. Det vertikale beregningsnet er illustreret gennem et tværsnit fra ydre del af Kronløbet gennem Skudehavnen og ud af Kalkbrænderiløbet, se Figur 4.2. Det ses, at for Skudeløbet, Skudehavnen og nye kanaler, hvor vanddybden typisk er 2,5 meter, vil den vertikale opløsning være mindre end en halv meter. I modsætning til for eksempel Kronløbet, hvor vanddybden er minimum 10 meter, er den vertikale opløsning 1 meter.

Modellen forceres atmosfærisk ved hjælp af StormGeo vind (atmosfærisk lufttryk og vindkomposanter), der har en stedlig opløsning på 0,1°. Derudover forceres modellen med randdata af vandstand og strøm fra DHI's regionale Østersømodel (DKBS2), se ref. /1/.



Figur 4.1 **Beregningsnet og batymetri i området omkring Skudehavnen. Baseline (øverst), masterplan (midterst) og revideret masterplan (nederst).**



Figur 4.2 **Det vertikale beregningsnet illustreret gennem et tværsnit fra ydre del af Kronløbet gennem Skudeløbet, Skudehavnen, ny kanal mod Kalkbrænderiløbet og ud gennem Kalkbrænderiløbet.**

4.1 Bakteriehenfaldsmodel

Hvor den hydrodynamiske model (HD) beregner spredning og fortynding, beregner DHI's procesmodul MIKE ECOLab, hvordan bakterierne henfalder, afhængigt af saltholdighed, vandtemperatur og lyspåvirkning.

Saltholdighed og vandtemperatur beregnes i den hydrodynamiske model, mens lyspåvirkning inkluderes som en tvangsfunktion og dermed indgår i MIKE ECOLab modelleringen. Der benyttes modellerede solindstrålinger (baseret på CFRS skydække data), samt en antagelse om sigtdybde.

Den benyttede henfaldsligning, lysindstråling og sigtdybde er uændret i forhold til ref. /1/.

4.2 Bakteriekoncentrationer

De anvendte bakteriekoncentrationer til modelleringen af badevandskvaliteten fremgår af Tabel 3-6. Der skelnes mellem renset spildevand fra U1 og U2's kontinuerte udledninger (75.000 *E. coli* pr. 100 ml og 14.800 Enterokokker pr. 100 ml), bypassvand fra U1, U2 og Tårnby bypassudledninger, samt Lynetten nødoverløb (2.300.000 E. coli pr. 100 ml og 391.000 Enterokokker pr. 100 ml) og overløbsvand fra havneoverløbene (1.000.000 E. coli pr. 100 ml og 170.000 Enterokokker pr. 100 ml). Bakteriekoncentrationerne er angivet i tabellen nedenfor (Tabel 3-6).

Tabel 4.1 **Bakteriekoncentrationer for renset spildevand, bypass og overløb.**

Udledning	Type	E. coli/100 ml	Enterokokker/100 ml
U1, U2 og Tårnby	Renset	75.000	14.800
	Bypass og nødoverløb	2.300.000	391.000
Øvrige udledninger	Overløb	1.000.000	170.000

Koncentrationerne er erfaringstal fra Badevandsvarslingen i Københavns Havn 2002-2020. Det vil sige, at de i praksis har vist sig at være velvalgte i den daglige varsling af badevandskvaliteten i Københavns Havn. Ikke desto mindre må de aktuelle bakteriekoncentrationer forventes at variere en del, ikke bare fra kilde til kilde, men også i løbet af en udløbshændelse og i løbet af døgnet for det rensede spildevand.

5 Gennemstrømning og strømhastigheder

Resultater fra baseline og de to undersøgte masterplan scenarier for gennemstrømning og strømhastigheder er præsenteret i dette kapitel.

Under stille vejrforhold bestemmes strømforholdene i Øresund af tidevandet og tilførslen af ferskvand fra floder og vandløb til Østersøen. I stille perioder er der derfor skiftende rolige strømforhold, men dog med overvejende nordgående strøm pga. nettoudstrømningen af brakvand fra Østersøen. I perioder med urolige vejrforhold har de regionale vind og lufttrykforhold omkring Østersøen og Kattegat stor indvirkning på vandudvekslingen gennem Øresund. Vindens påvirkning bevirker, at der stuver vand op i enten den vestlige Østersø eller Kattegat afhængig af vindretningen. Kraftige vinde fra retninger mellem vest og nordøst giver således anledning til højvande i den sydlige del af Kattegat og i Øresund nord for Drogdentærsklen, mens kraftige vinde fra sydøst giver anledning til lavvande i Øresund. Forskellen i vandstanden nord og syd for Drogdentærsklen bestemmer den dominerende strømretning i Øresund. Regionale kraftige vinde med retninger mellem sydvest og nordnordvest giver anledning til, at der presses vand fra Nordsøen ind i Kattegat, som dermed skaber grundlaget for sydgående strøm i Øresund. Kraftige vinde med retninger mellem nordøst og syd giver anledning til, at der stuves vand op i den vestlige del af Østersøen og presses vand ud af Kattegat med en nordgående strøm som resultat. Herudover har den lokale vindpåvirkning også betydning for den lokale overfladestrøm i delområder af Øresund og vandstandsniveauet i Kronløbet og Kalkbrænderihavnen.

Gennemstrømning og strømhastigheder er undersøgt for henholdsvis en sommerperiode og vinterperiode. Sommerperioder vil typisk være karakteriseret ved svagere vindforhold end vinterperioder og dermed en svagere dynamik. Omvendt er lagdeling mere udtalt i sommerperioder grundet en svagere opblanding.

5.1 Vandføringsanalyser

Dynamikken i Svanemøllehavnen, Orientbassinet, Kronløbsbassinet og Skudehavnen er i dag kun styret af vandstandsvariationer og densitetsforskelle ved åbningen ind til områderne, samt af det vand som eventuelt tilføres via overløb. Øresund er et gennemstrømningsområde, hvor densitetsforskelle mellem Havneløbet og sidebassiner opbygges i takt med at vandet i Kronløbet har ophav i Østersøen (brakvand med saltholdighed 6-10 PSU) eller Kattegat (saltvand med saltholdighed 25-30 PSU). Denne dynamik vil påvirkes med etablering af de nye gennemgående kanaler på grund af udvekslingen mellem Orientbassinet og Kalkbrænderiløbet, samt kanaltilslutningen med Skudehavnen. Den ændrede dynamik vil primært kunne føles i de nye kanaler, idet strømningstværsnitarealet er mange gange større i Kalkbrænderiløbet, Kronløbsbassinet og Orientbassinet end i kanalerne. Hele området vil blive påvirket af, at der åbnes op for en nettocirkulation af vand, som der ikke er mulighed for i dag.

Til at belyse kanalernes indvirkning på de hydrauliske forhold, er vandføringen og gennemstrømningen beregnet i 4 snit, som vist i Figur 5.1. De 4 snit er defineret ved:

- Snit 1: Skudeløbets vestlige ende
- Snit 2: Østlig kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen
- Snit 3: Vestlig kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen
- Snit 4: Nordlig kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen

Antallet af kanalforbindelser varierer mellem de undersøgte scenarier. Vandføring og gennemstrømning er derfor beregnet for:

- Baseline: snit 1
- Masterplan: snit 1-4
- Revideret masterplan: snit 1, 3 og 4

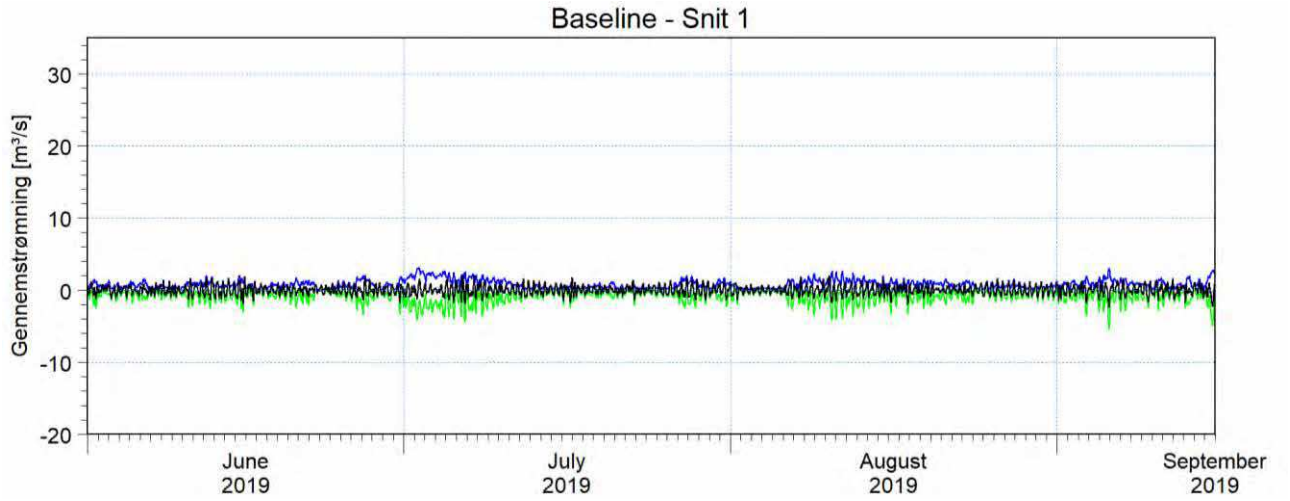


Figur 5.1 **Tværsnit for gennemstrømning for baseline (øverste figur), masterplan (midterste figur) og revideret masterplan (nederste figur).**

De gennemgående kanaler åbner op for en udveksling og cirkulation gennem Skudehavnen, som ikke er mulig i dag. Da de gennemgående kanalers gennemstrømningsareal er væsentligt mindre end bassinernes og løbenes vil vandføringerne fluktuere med tidevandet hen over døgnet overlejret effekterne af mere langperiodiske vandstandsvariationer i Øresund, som er betinget af vejrsystemers passage. Udledninger ved overløb vil også kunne påvirke vandføringerne kortvarigt. Med etablering af kanalerne bliver forskelle i vandstandsniveauet i Kalkbrænderihavnen, Orientbassinet, Skudehavnen og Kronløbet af betydning for dynamikken og styrende for cirkulationen.

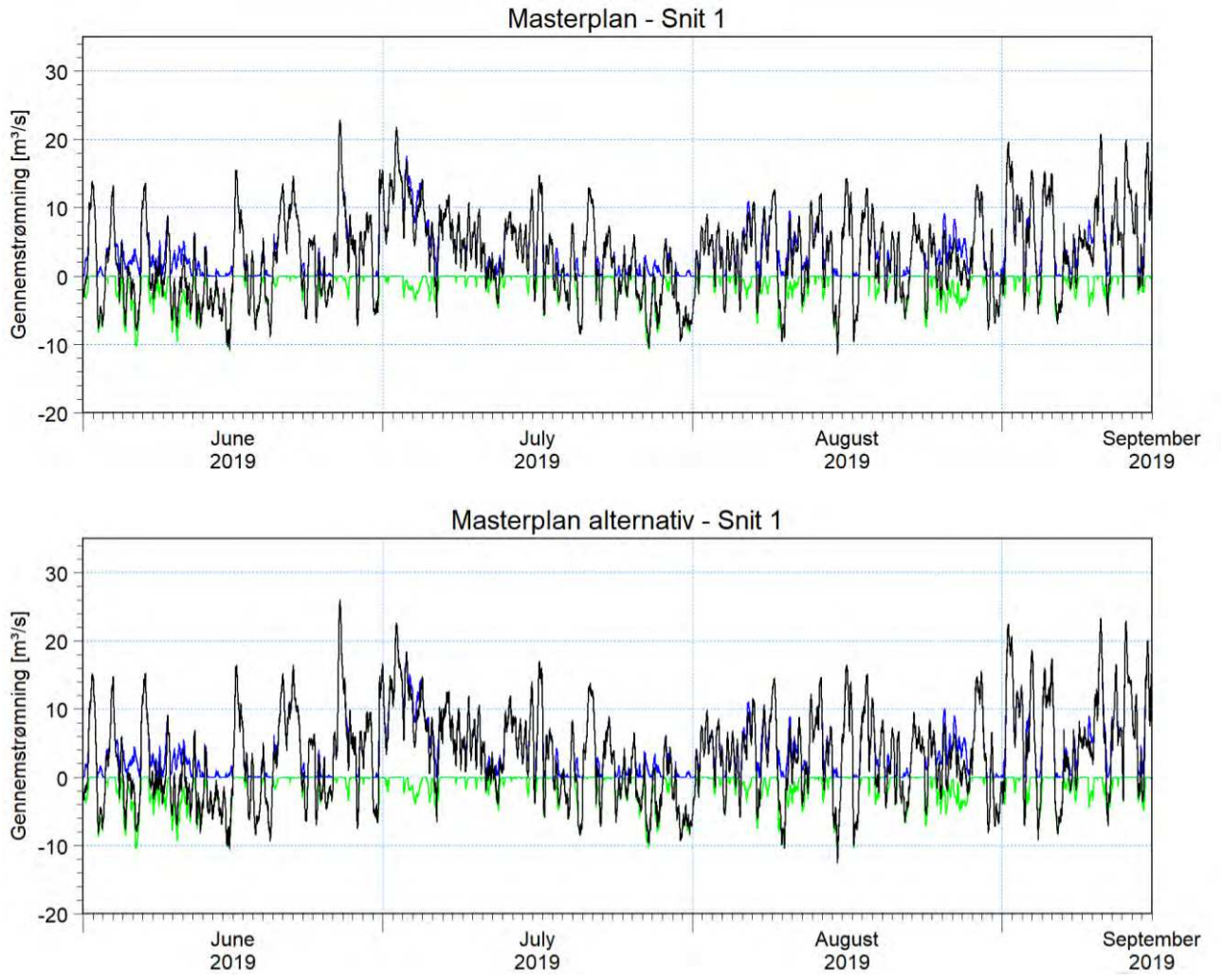
5.2 Gennemstrømning af Skudehavnen i sommerperiode

I baseline udgør Skudeløbet den eneste forbindelse til Skudehavnen, som dermed fungerer som en blindtarm uden gennemstrømning. Udvekslingen af vand drives af opfyldning eller tømning af vandprisme i Skudehavnen og Skudeløbet, som følge af ændringer af vandstand i Kronløbet, samt densitetsdreven cirkulation, som følge af forskelle i saltholdighed i Kronløbet og Skudehavnen. Saltholdigheden i Kronløbet ændres i takt med, om der er udstrømning fra Østersøen (brakvand) eller indstrømning til Østersøen (saltvand). Når der er mere saltholdigt vand i Kronløbet end i Skudeløbet/Skudehavnen, presses der en tung bundstrøm ind i Skudeløbet, samtidig med, at det lettere vand løber ud i overfladen. Figur 5.2 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter for baseline i snit 1 i den modellerede sommerperiode. Skalaen er valgt, så den er sammenfaldende med de to scenarier. Det ses, at driftskomponenterne i visse perioder er kraftigere end den totale vandføring.



Figur 5.2 **Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for baseline.**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Kronløbet.

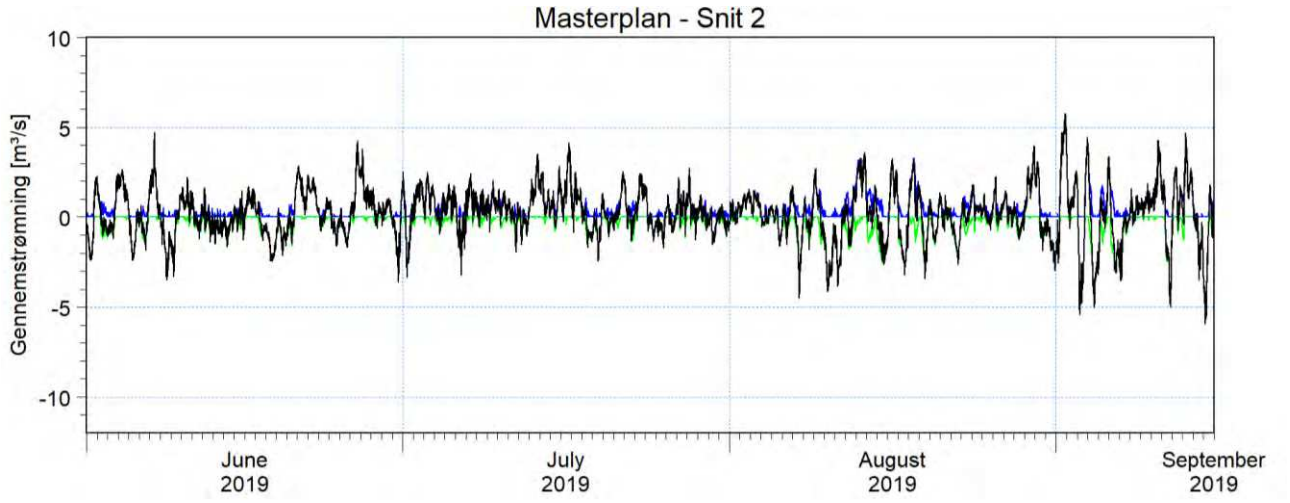
De tilsvarende vandføringer er vist i Figur 5.3 for masterplanen og den reviderede masterplan. Det ses, at den totale vandføring i Skudeløbet er betragtelig større end for baseline, som følge af gennemstrømning. Det ses også af de to driftskomponenter, at densitetsdrevne effekter er mindre betydende end i baseline. Der er dog fortsat situationer med densitetsdrevet udveksling mellem Kronløbet og Skudehavnen. Endelig ses det, at dynamikken i Skudeløbet i de 2 masterplaner er meget tæt på at være den samme med kun mindre forskelle i gennemstrømningen. Tidsserierne viser, at der er en nettodrift af vand rettet væk fra Skudehavnen mod Kronløbet og at Skudeløbet dermed har stor betydning for gennemstrømningen af Skudehavnen.



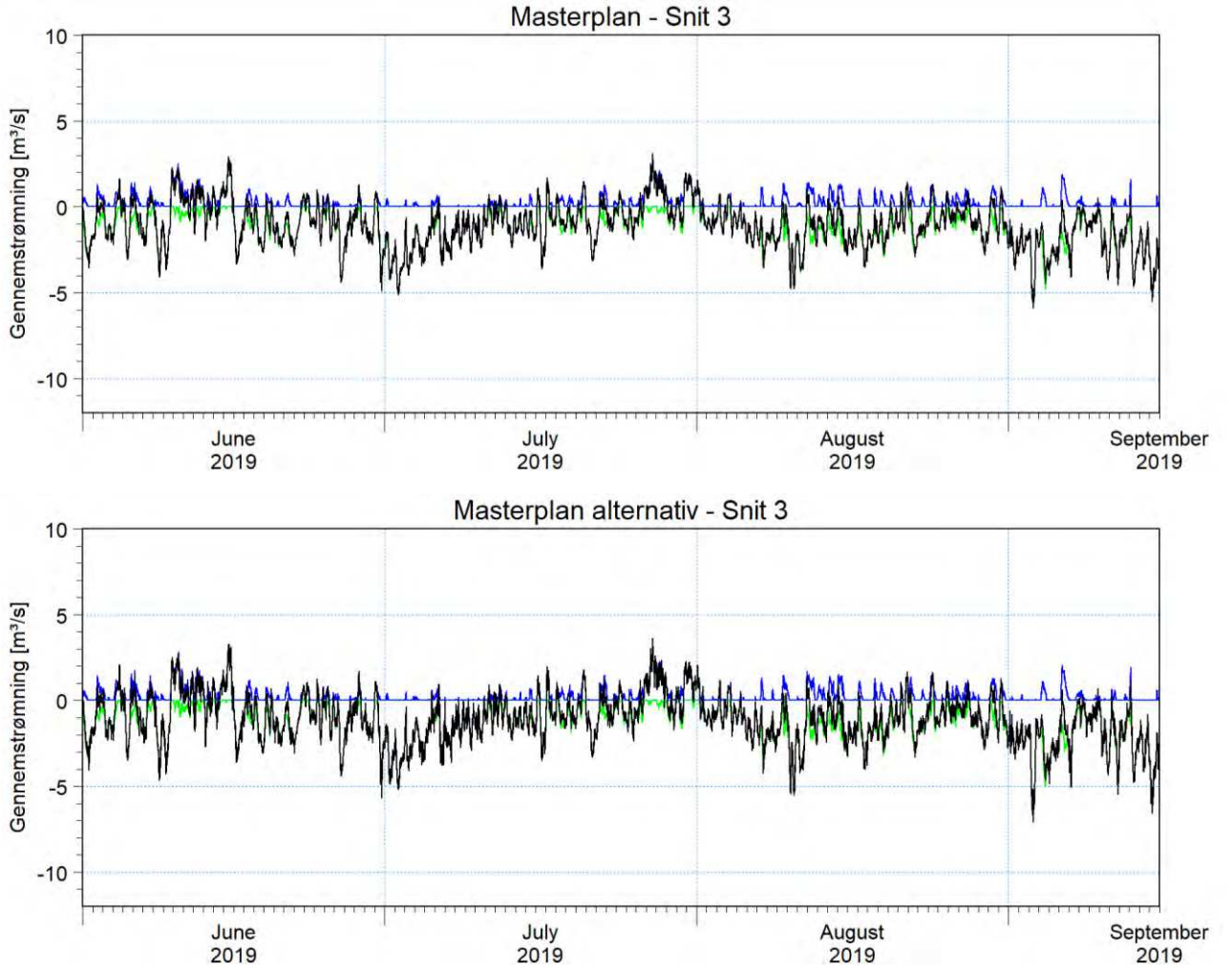
Figur 5.3 **Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst).**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Kronløbet.

Den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen findes kun i masterplanen. Figur 5.4 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter i snit 2. Vandføringen er markant mindre end i Skudeløbet, hvorfor kanalen vil være af mindre betydning for gennemstrømningen af Skudehavnen. Middel-vandføringen for hele sommerperioden er tæt på at være nul, hvilket indikerer, at kanalen ikke har stor betydning for gennemstrømningen af Skudehavnen. Det ses ligeledes af de to driftskomponenter, at densitetsdrevet udveksling mellem Orientbassinet og Skudehavnen er svagere end i Skudeløbet, hvilket skyldes kanalens lavere vanddybde.

Den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen findes både i masterplan og den reviderede masterplan. Figur 5.5 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter i snit 3. Tidsserierne viser, at der er en nettodrift af vand rettet mod Skudehavnen og at kanalen dermed har betydning for gennemstrømning af Skudehavnen. Kanalen er indirekte forbundet med Kalkbrænderihavnen via en tværkanal. Den oplevede drift i kanalen skyldes derfor primært en tilførsel af vand fra Kalkbrænderihavnen. Dynamikken i den vestlige kanal i de 2 masterplaner er meget tæt på at være den samme med kun mindre forskelle i gennemstrømningen. Endelig ses det af de to driftskomponenter, at densitetsdrevet udveksling mellem Orientbassinet/Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er relativ svag i forhold til den vandstandsgradientdrevne strømning, hvilket skyldes kanalens lave vanddybde.

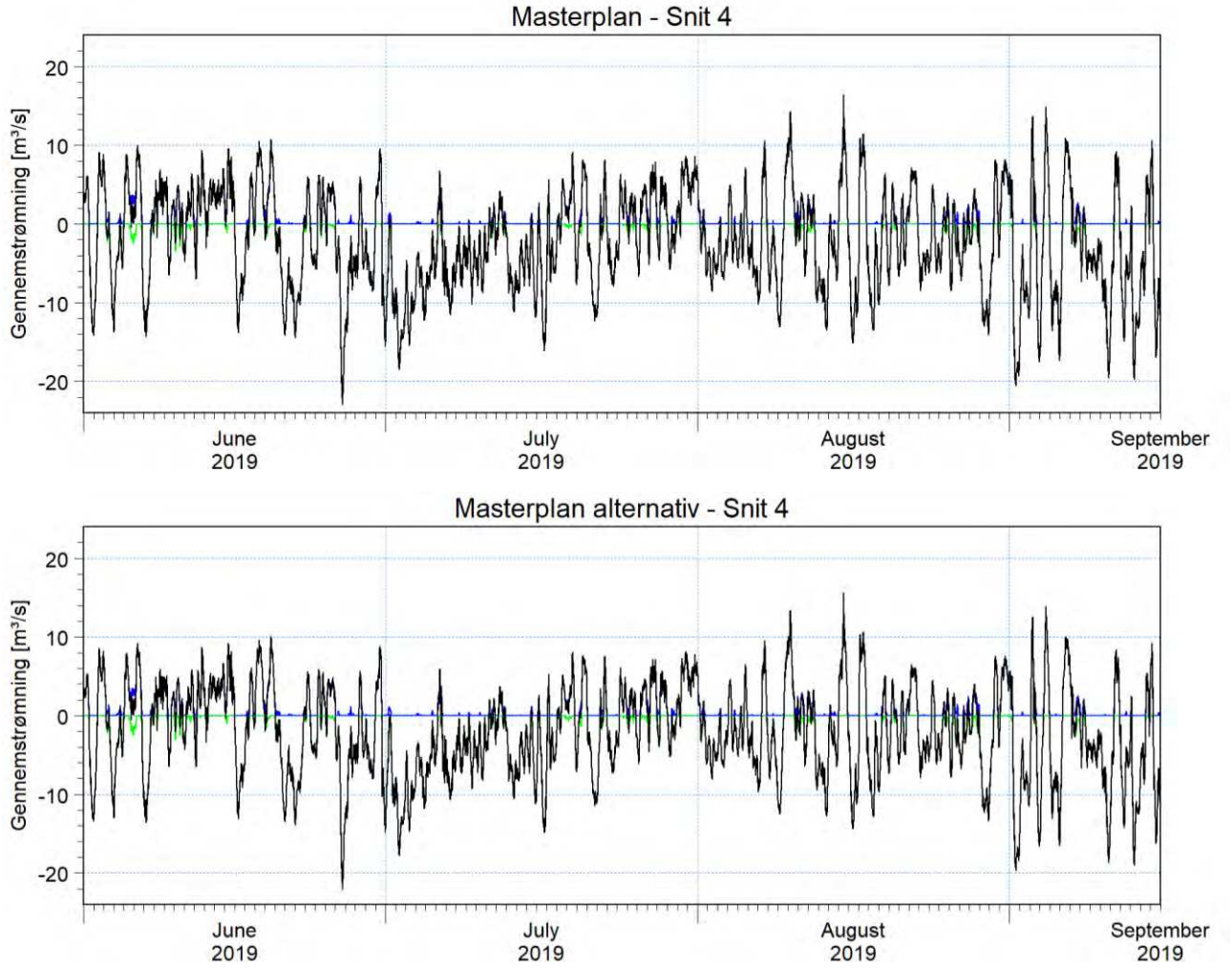


Figur 5.4 **Vandføringer i snit 2 i den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen.**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Orientbassinet.



Figur 5.5 **Vandføringer i snit 3 i den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst).**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Orientbassinet.

Den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen findes både i masterplan og den reviderede masterplan. Figur 5.6 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter i snit 4. Tidsserierne viser, at der er en tydelig nettodrift af vand rettet fra Kalkbrænderihavnen mod Skudehavnen og at kanalen dermed er af signifikant betydning for gennemstrømning af Skudehavnen. Dynamikken i den nordlige kanal i de 2 masterplaner er meget tæt på at være den samme med kun mindre forskelle i gennemstrømningen. Endelig ses det af de to driftskomponenter, at densitetsdrevet udveksling mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er meget svag i forhold til den vandstandsgradientdrevne strømning, hvilket skyldes kanalens lave vanddybde, samt de beskedne vanddybder i Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen.



Figur 5.6 **Vandføringer i snit 4 i den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst).**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Kalkbrænderihavnen.

Tabel 5.1 angiver en række statistiske mål for den totale vandføring i de 4 undersøgte tværsnit. De statistiske mål omfatter middelvandføring, spredning, største udstrømning og største indstrømning fra/til Skudehavnen i de enkelte kanaler og scenarier. Middelvandføringen er angivet med fortegn og er udtryk for en drift i systemet. Negative middelværdier er udtryk for en nettoindstrømning til Skudehavnen gennem den pågældende kanal, mens positive middelværdier er udtryk for en nettoudstrømning. Spredningen er et udtryk for den oplevede dynamik i kanalen, jo højere værdi, desto kraftigere dynamik. Tabellen viser, at der ikke er nogen drift i Skudeløbet i baseline (den beregnede middelvandføring på 0,01 m^3/s skyldes, at vandstanden i Skudehavnen står lidt lavere i slutningen af simuleringen end ved begyndelsen). I masterplanen og den reviderede masterplan er der en signifikant drift rettet fra

Skudehavnen mod Kronløbet. Driften er 6,5% kraftigere i den reviderede masterplan sammenlignet med masterplanen. Dynamikken i Skudeløbet er også lidt kraftigere, vurderet med udgangspunkt i spredning og maksimumudstrømning og -indstrømning. Udstrømningsevents ses at være noget kraftigere end indstrømningsevents.

I den østlige kanal (snit 2) mellem Orientbassinet og Skudehavnen er middelvandføringen tæt på nul. Der er kun en meget svag drift rettet fra Skudeløbet mod Orientbassinet. Udstrømningsevents og indstrømningsevents ses at være lige kraftige. Spredningen og maksimum ud- og indstrømning er markant mindre end i Skudeløbet. Kanalen ses derfor at være af beskeden betydning for gennemstrømning af Skudehavnen.

I den vestlige kanal (snit 3) mellem Orientbassinet/Kalkbrænderihavnen og Skudeløbet er der en drift rettet mod Skudehavnen, som er svagt kraftigere i den reviderede masteplan. Spredningsmålet angiver, at der er en relativ svag dynamik i kanalen. Indstrømningsevents ses at være kraftigere end udstrømningsevents.

I den nordlige kanal (snit 4) mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er der en drift rettet mod Skudehavnen, som er næsten ens i masterplan og revideret masterplan. Spredningsmålet og maksimum ind- og udstrømning angiver, at der er en lidt kraftigere dynamik i kanalen i masterplan. Ligeledes ses Indstrømningsevents at være kraftigere end udstrømningsevents. Kanalen har stor betydning for gennemstrømningen af Skudehavnen.

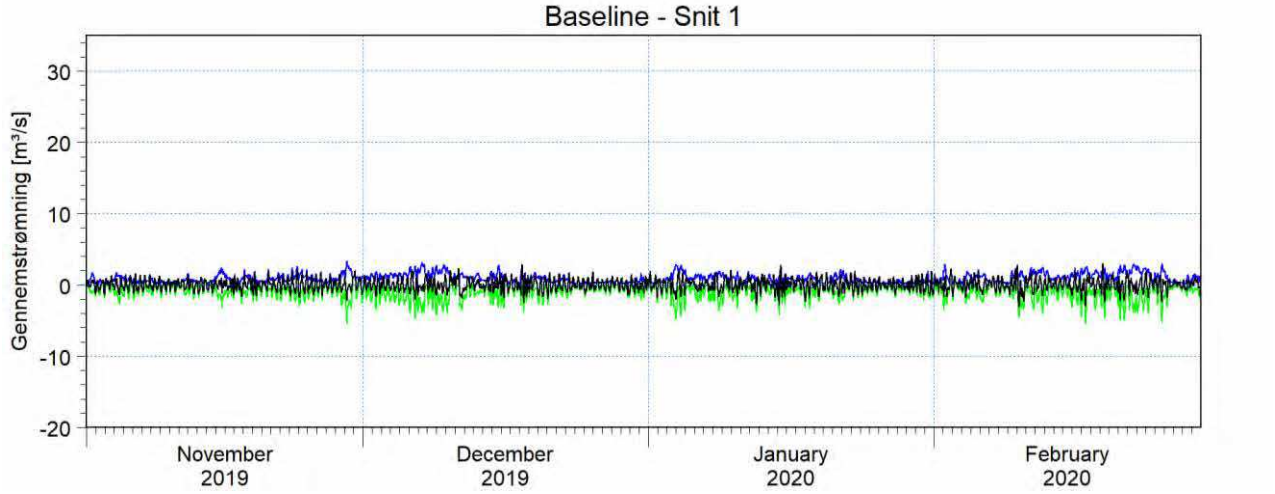
Tabel 5.1 Middelvandføring, max ind- og udstrømning for sommerperioden.
Negative værdier af middelvandføring svarer til vandføring ind i Skudehavnen.

Sommer	Middelvandføring [m^3/s]	Spredning [m^3/s]	Max udstrømning [m^3/s]	Max indstrømning [m^3/s]
Baseline – Snit 1	-0,01	0,60	1,98	2,43
Masterplan – Snit 1	3,07	6,04	22,88	11,46
Rev. masterplan – Snit 1	3,27	6,54	26,04	12,56
Masterplan – Snit 2	0,19	1,37	5,77	5,93
Masterplan – Snit 3	-1,05	1,28	3,09	5,91
Rev masterplan – Snit 3	-1,10	1,38	3,63	7,06
Masterplan – Snit 4	-2,21	6,28	16,43	22,94
Rev. masterplan – Snit 4	-2,18	5,87	15,61	22,03

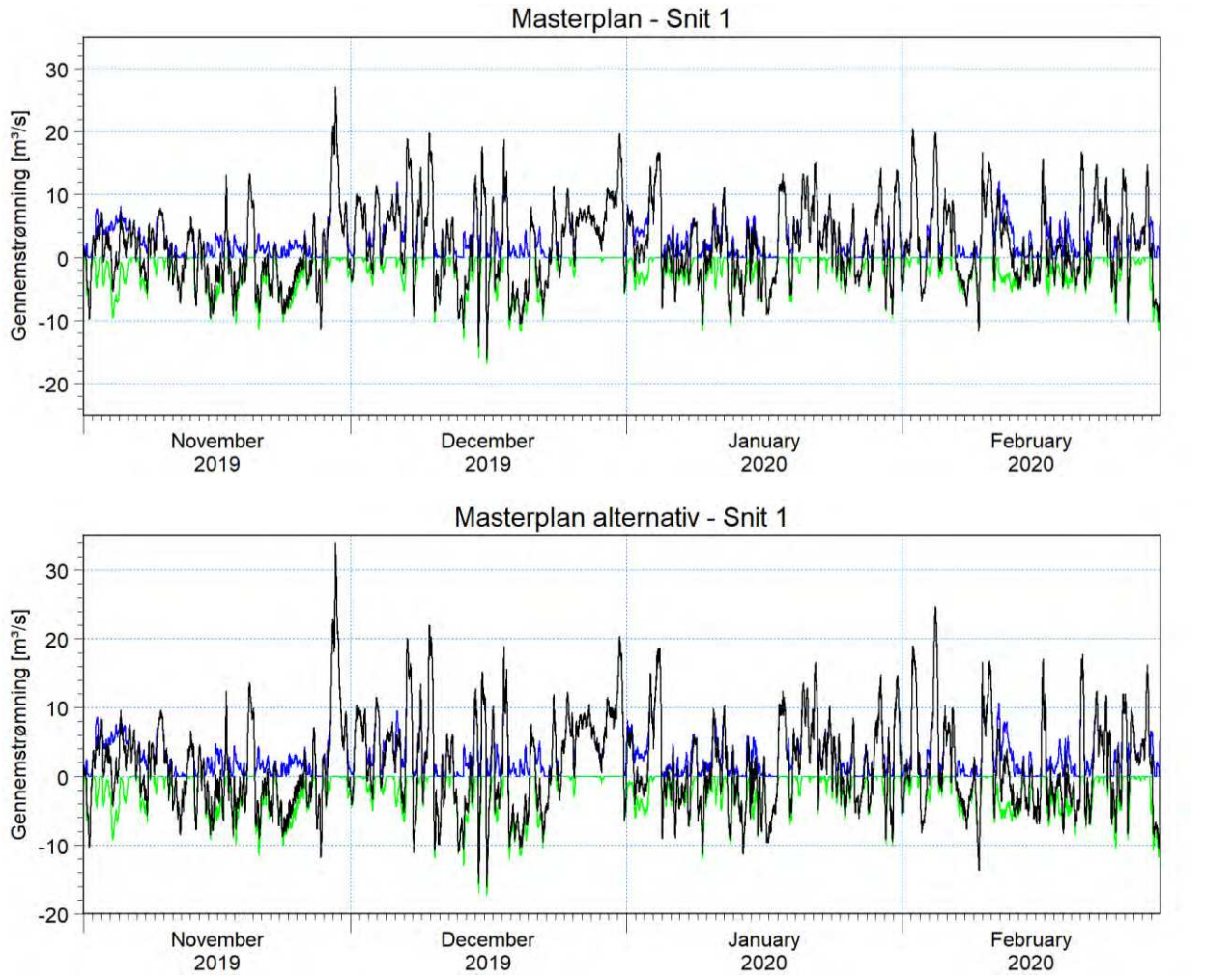
5.3 Gennemstrømning af Skudehavnen i vinterperiode

I vinterhalvåret er der typisk større vandstandsvariationer end i sommerperioden, som følge af den kraftigere vindpåvirkning i form af dybere lavtrykspassager. De kraftigere vindstuvninger bevirker også, at gennemstrømningshændelser i Øresund flytter større vandvolumener mellem Østersøen og Kattegat, hvorfor der typisk vil være kraftigere skift i overfladevandets saltholdighed end i sommerperioden. En variation som har betydning for den densitetsdrevne vandudskiftning i Skudehavnen/Skudeløbet og Havneløbets sidebassiner.

Figur 5.7 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter for baseline i snit 1 i den modellerede vinterperiode. Skalaen er valgt, så den er sammenfaldende med de to masterplan scenarier. Det ses, at driftskomponenterne i visse perioder er kraftigere end den totale vandføring og at dynamikken er kraftigere end i sommerperioden.



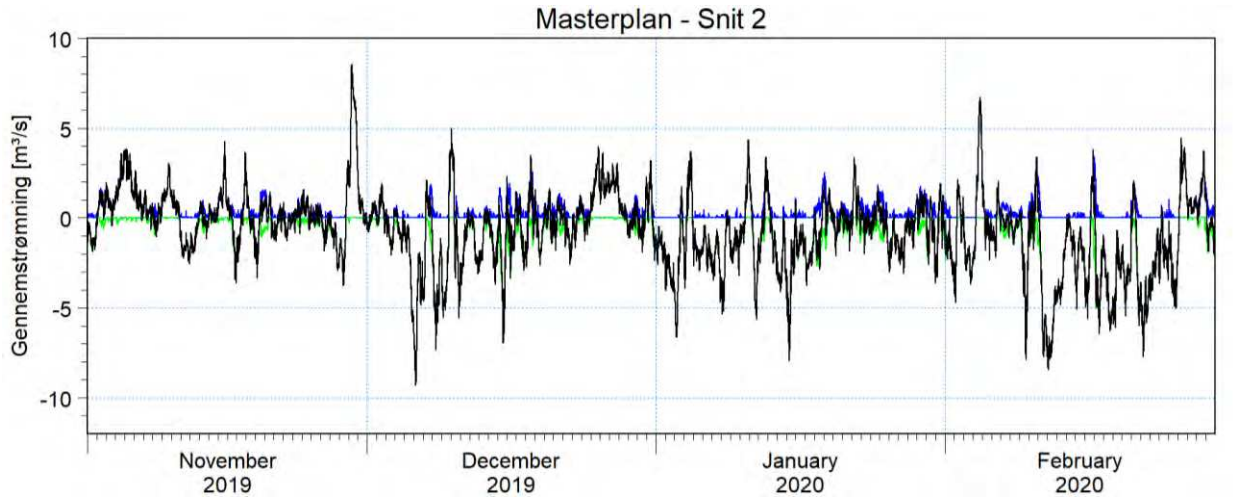
Figur 5.7 **Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for baseline.**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Kronløbet.



Figur 5.8 **Vandføringer i snit 1 Skudeløbet for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst).**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Kronløbet.

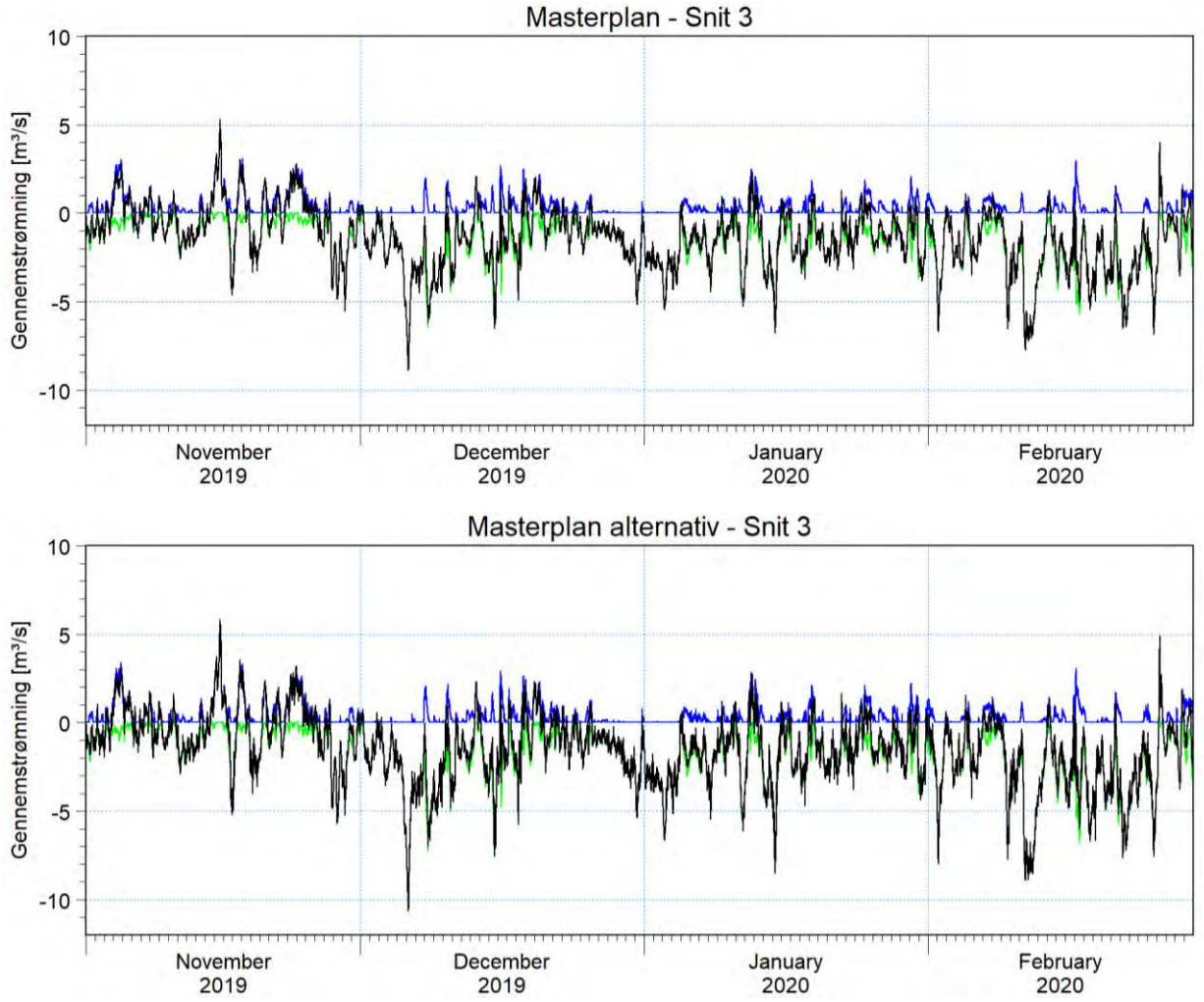
De tilsvarende vandføringer er vist i Figur 5.8 for masterplanen og den reviderede masterplan. Det ses, at den totale vandføring i Skudeløbet er betragtelig større end for baseline, som følge af gennemstrømning. Det ses også, at de kraftigste gennemstrømningshændelser er kraftigere end i sommerperioden. Som i sommerperioden ses det af de to driftskomponenter, at densitetsdrevne effekter er mindre betydende end i baseline. Der er dog fortsat situationer med densitetsdrevet udveksling mellem Kronløbet og Skudehavnen. Endelig ses det, at dynamikken i Skudeløbet i de 2 masterplaner er meget tæt på at være den samme med kun mindre forskelle i gennemstrømningen, men dog lidt kraftigere for den reviderede masterplan. Tidsserierne viser, at der er en nettodrift af vand rettet væk fra Skudehavnen mod Kronløbet, men at driften er svagere end i sommerperioden.

Den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen findes kun i masterplanen. Figur 5.9 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter i snit 2. Vandføringen er markant mindre end i Skudeløbet, hvorfor kanalen vil være af mindre betydning for gennemstrømningen af Skudehavnen. Middelvandføringen for hele vinterperioden har en svag drift rettet mod Skudehavnen, særligt i februar er tendensen tydelig. Det ses af de to driftskomponenter, at densitetsdrevet udveksling mellem Orientbassinet og Skudehavnen er svagere end i Skudeløbet, hvilket skyldes kanalens lavere vanddybde.



Figur 5.9 **Vandføringer i snit 2 i den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen.** Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Orientbassinet.

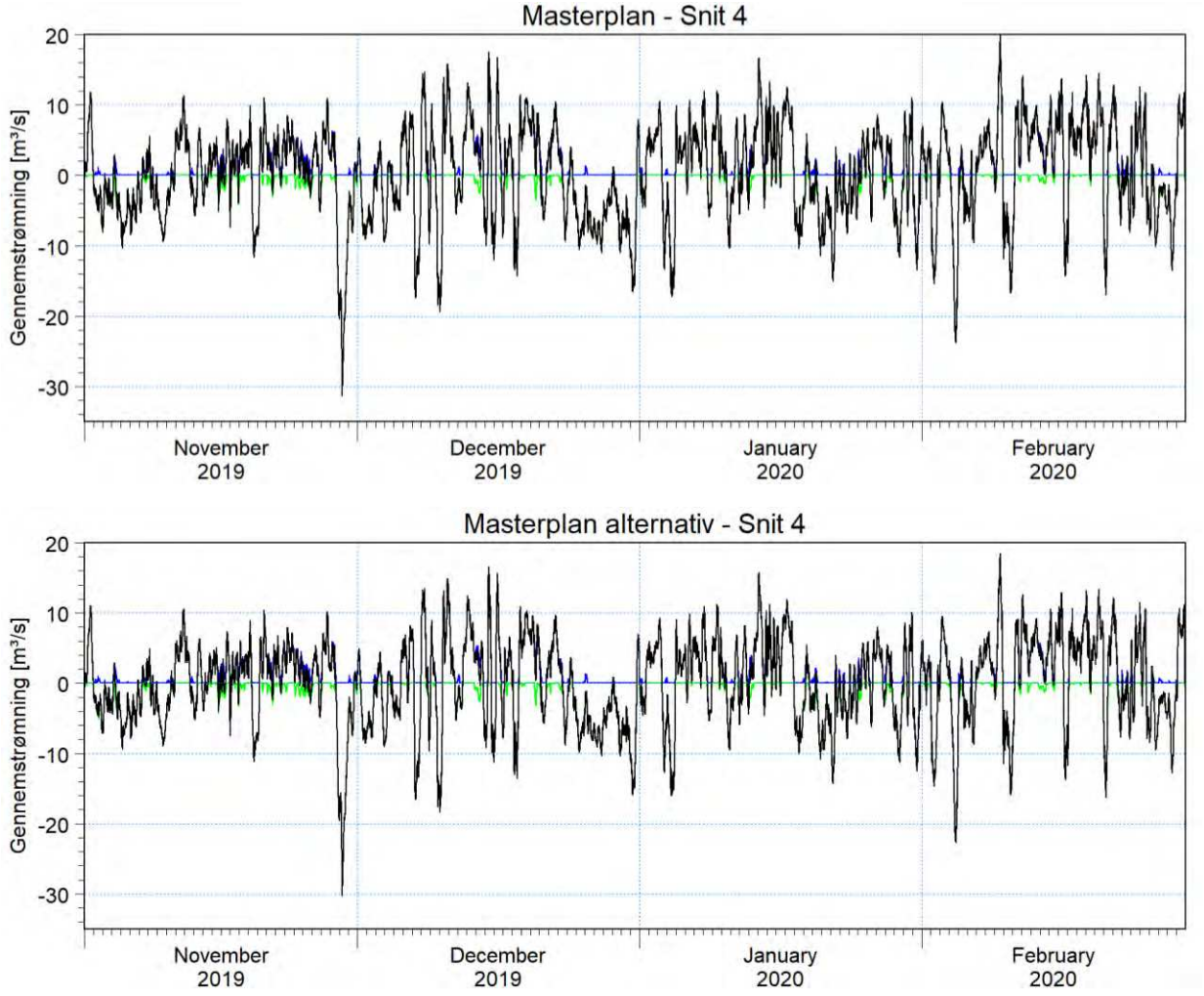
Den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen findes både i masterplan og den reviderede masterplan. Figur 5.10 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter i snit 3. Tidsserierne viser, at der er en nettodrift af vand rettet mod Skudehavnen og at kanalen dermed har betydning for gennemstrømning af Skudehavnen. Kanalen er indirekte forbundet med Kalkbrænderihavnen via en tværkanal. Den oplevede drift i kanalen skyldes derfor primært en tilførsel af vand fra Kalkbrænderihavnen. Dynamikken i den vestlige kanal i de 2 masterplaner er meget tæt på at være den samme med kun mindre forskelle i gennemstrømningen. Den er dog lidt kraftigere i den reviderede masterplan. Driften er en smule kraftigere end i sommerperioden. Endelig ses det af de to driftskomponenter, at densitetsdrevet udveksling mellem Orientbassinet/Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er relativ svag i forhold til den vandstandsgradientdrevne strømning, hvilket skyldes kanalens lave vanddybde.



Figur 5.10 Vandføringer i snit 3 i den vestlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst).

Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Orientbassinet.

Den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen findes både i masterplan og den reviderede masterplan. Figur 5.11 viser den totale vandføring og de to driftskomponenter i snit 4. Tidsserierne viser en kraftig dynamik, men ingen tydelig nettodrift af vandtransport i kanalen. I modsætning til sommerperioden er der en meget svag nettodrift rettet fra Skudehavnen mod Kalkbrænderihavnen. Dynamikken er meget kraftig og næsten på niveau med Skudeløbet på trods af et noget mindre strømningstværsnit. Kanalen er derfor af signifikant betydning for gennemstrømning af Skudehavnen. Dynamikken i den nordlige kanal i de 2 masterplaner er meget tæt på at være den samme med kun mindre forskelle i gennemstrømningen. Endelig ses det af de to driftskomponenter, at densitetsdrevet udveksling mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er meget svag i forhold til den vandstandsgradientdrevne strømning, hvilket skyldes kanalens lave vanddybde, samt de beskedne vanddybder i Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen.



Figur 5.11 **Vandføringer i snit 4 i den nordlige kanal mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen for masterplan (øverst) og revideret masterplan (nederst).**
Positive værdier angiver strømning væk fra Skudehavnen. Sort kurve: total vandføring, grøn kurve: driftskomponent rettet mod Skudehavnen, og blå kurve: driftskomponent rettet mod Kalkbrænderihavnen.

Tabel 5.2 angiver en række statistiske mål for den totale vandføring i de 4 undersøgte tværsnit. De statistiske mål omfatter middelvandføring, spredning, største udstrømning og største indstrømning fra/til Skudehavnen i de enkelte kanaler og scenarier. Middelvandføringen er angivet med fortegn og er udtryk for en drift i systemet. Negative middelværdier er udtryk for en nettoindstrømning til Skudehavnen gennem den pågældende kanal, mens positive middelværdier er udtryk for en nettoudstrømning. Spredningen er et udtryk for den oplevede dynamik i kanalen, jo højere værdi, desto kraftigere dynamik. Tabellen viser, at der ikke er nogen drift i Skudeløbet i baseline. I masterplanen og den reviderede masterplan er der en signifikant drift rettet fra Skudehavnen mod Kronløbet, men den er noget svagere end i sommerperioden. Driften er i modsætning til sommerperioden svagere i den reviderede masterplan sammenlignet med masterplanen. Der er dermed ikke en entydig trend. Omvendt er dynamikken i Skudeløbet kraftigere for den reviderede masterplan, vurderet med udgangspunkt i spredning og maksimumudstrømning og -indstrømning, hvilket også var tilfældet for sommerperioden. Udstrømningsevents ses at være noget kraftigere end indstrømningsevents.

I den østlige kanal (snit 2) mellem Orientbassinet og Skudehavnen er middelvandføringen relativ beskeden med en meget svag drift rettet fra Orientbassinet mod Skudehavnen. Udstrømningsevents og indstrømningsevents ses at være næsten lige kraftige. Spredningen og maksimum ud- og indstrømning er markant mindre end i Skudeløbet, men kraftigere end i sommerperioden. Sammenlignet med de

statistiske mål for de øvrige kanalforbindelser, ses kanalen kun at have en beskeden betydning for gennemstrømning af Skudehavnen.

I den vestlige kanal (snit 3) mellem Orientbassinet/Kalkbrænderihavnen og Skudeløbet er der en drift rettet mod Skudehavnen, som er svagt kraftigere i den reviderede masteplan. Spredningsmålet angiver, at der er en relativ svag dynamik i kanalen. Indstrømningsevents ses at være kraftigere end udstrømningsevents. Driften og dynamikken i kanalen er kraftigere end i sommerperioden.

I den nordlige kanal (snit 4) mellem Kalkbrænderihavnen og Skudehavnen er der en svag drift rettet mod Kalkbrænderihavnen, som er næsten ens i masterplan og revideret masteplan. Driften er modsat rettet driften i sommerperioden. Dynamikken er på niveau med forholdene i Skudeløbet, men vil opleves noget voldsommere grundet det mindre kanaltværsnit. Spredningsmålet og maksimum ind- og udstrømning angiver, at der er en lidt kraftigere dynamik i kanalen i masterplan. Ligeledes ses Indstrømningsevents at være kraftigere end udstrømningsevents. Kanalen har stor betydning for gennemstrømningen af Skudehavnen.

Tabel 5.2 Middelvandføring, max ind- og udstrømning for vinterperioden.
Negative værdier af middelvandføring svarer til vandføring ind i Skudehavnen.

Vinter	Middelvandføring [m^3/s]	Spredning [m^3/s]	Max udstrømning [m^3/s]	Max indstrømning [m^3/s]
Baseline – Snit 1	0,00	0,77	2,99	3,02
Masterplan – Snit 1	1,89	6,01	27,07	15,98
Rev. masterplan – Snit 1	1,49	6,43	34,01	16,08
Masterplan – Snit 2	-0,71	2,10	8,55	9,30
Masterplan – Snit 3	-1,39	1,73	5,31	8,86
Rev. masterplan – Snit 3	-1,53	1,96	5,83	10,66
Masterplan – Snit 4	0,21	6,59	19,89	31,31
Rev. masterplan – Snit 4	0,05	6,15	18,51	30,25

Med etablering af de nye kanaler vil der ske en markant ændring af gennemstrømningsforholdene, idet Skudehavnen går fra at være et sidebassin til et gennemstrømmet bassin. Der er kun mindre forskelle imellem masterplanen og den reviderede masterplan, og sløjfningen af den østlige kanal mellem Orientbassinet og Skudehavnen er derfor ikke af væsentlig betydning i forhold til oplevede strømme og gennemstrømning af Skudehavnen.

5.4 Strømhastigheder

De kraftigste strømme optræder typisk i forbindelse med indsnævrede tværsnit og på lokaliteter, hvor der kan opbygges en betydende vandstandsgradient. De gravede tilslutningskanaler udgør indsnævrede tværsnit, men der er stor forskel på, hvor let der kan opbygges en betydende drivende vandstandsgradient. Skudeløbets bredde og dybde er noget større end de nye gravede kanaler og Skudeløbet vil derfor være bestemmende for vandstanden i Skudehavnen. Kanalerne med udmunding i Orientbassinet er forbundet til Kronløbet ligesom Skudeløbet, hvorfor vandstandsgradienten i disse kanaler vil være begrænset, hvilket også giver sig udslag i strømhastighederne. Vandstanden i Kalkbrænderihavnen er mere uafhængig af vandstanden i Kronløbet og der kan derfor opbygges en kraftigere vandstandsgradient i kanaltilslutningerne med forbindelse til Kalkbrænderihavnen. Det vil derfor være i disse kanaler og kanalsektioner, at de kraftigste strømme forekommer. I Skudehavnen er vanddybder og bredder større end i kanalerne, hvorfor strømhastighederne vil være mere afdæmpede

her. Kanalernes ind- og udstrømning giver anledning til, at der formes nogle strømkorridorer og horisontale cirkulationsstrømme og at der derfor vil være forskelle på strømhastighederne inde Skudehavnen.

Strømhastigheder er af betydning for badesikkerhed og sejlads i kanalerne. På disse lokaliteter er det især overfladehastighederne, som er af interesse. Omvendt har strømhastigheder i Skudehavnen ved bunden betydning for, om bundsedimentet vil kunne ophvirvles og spredes til omkringliggende vandområder.

Analysen af strømhastigheder opdeles i analyser af en sommerperiode og en vinterperiode helt analogt med gennemstrømningsanalysen.

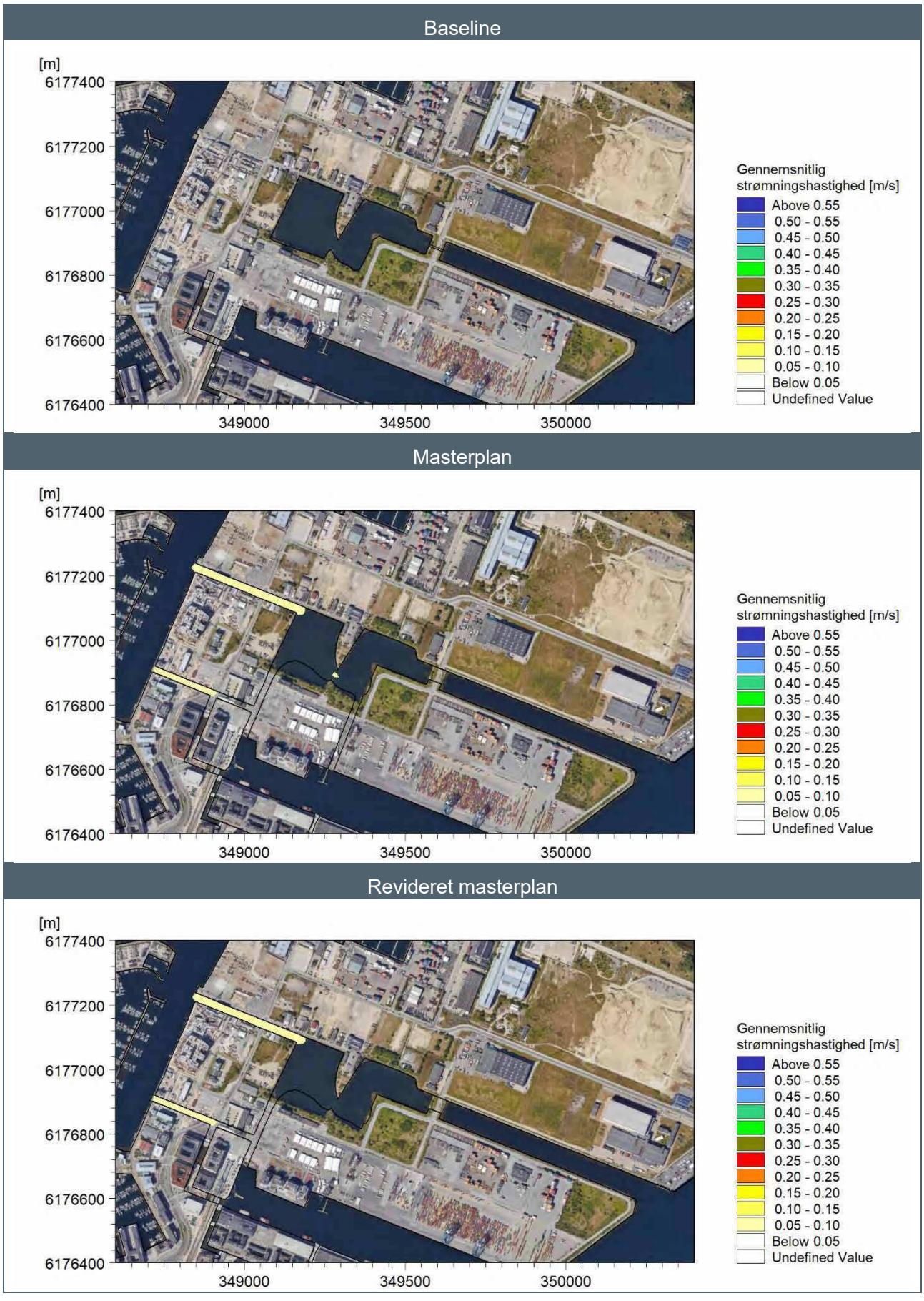
5.4.1 Strømhastigheder i sommerperioden

Strømhastigheder kan vises på mange måder ved hjælp af forskellige statistiske mål. Den dybdemidlede strømhastighed er uden fortegn og retning, og når den tidsmidles over hele sommerperioden afspejler den dermed alene områder, hvor der opleves en mærkbar dynamik. Den dybdemidlede strøm opfanger dog ikke den dynamik, som relaterer til en densitetsdrevet udveksling med modsatrettet strøm ved bund og vandoverflade. Den faktisk oplevede dynamik med udgangspunkt i dette mål, vil derfor være undervurderet i de tilfælde, hvor densitetsdrevne strømme er af betydning. Den dybdemidlede middelstrøm i sommerperioden er beregnet for baseline, masterplan og revideret masterplan og optegnet i form af strømkonturplot i Figur 5.12. Det ses, helt som forventet, at der ikke er nogen områder i baseline med betydende dynamik, idet der ikke er nogen gennemstrømning i sidebassinerne og tværsnittet i Kronløbet er så bredt og dybt, at middelstrømhastigheden bliver lille. De eneste steder, hvor der opleves en egentlig dynamik, er i de to kanaler, som er forbundet med Kalkbrænderihavnen og hvori der kan opbygges en betydende drivende vandspejlsgradient.

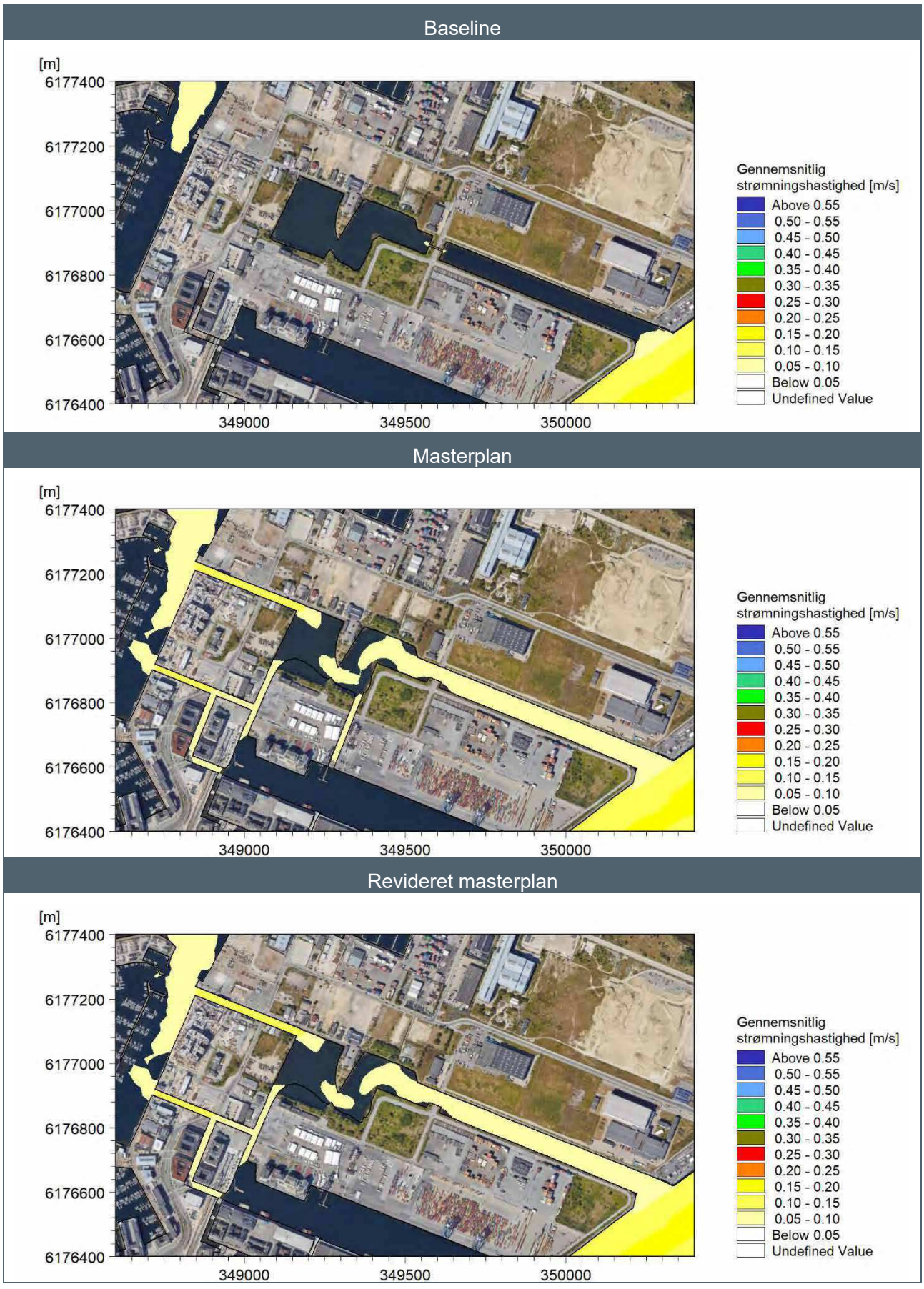
Beregner man i stedet middelstrømhastigheden på baggrund af den til ethvert tidspunkt størst forekommende strømhastighed i vandsøjlen, får man inkluderet effekten af den densitetsdrevne strøm. Resultatet af denne analyse er vist i Figur 5.13. Dynamikken ses baseret på dette mål fortsat at være ganske svag i Skudehavnen og Skudeløbet for baseline, men der er en dynamik i alle kanalerne og den lavvandede del af Skudehavnen i masterplanen og den reviderede masterplan, som følge af gennemstrømning. Med dette mål, ses der også at være en dynamik i Kronløbet og Kalkbrænderiløbet, hvor lagdelingseffekter har en betydning for strømcirkulationen.

Maksimumstrømhastigheden optræder kun kortvarigt og det er derfor i forbindelse med sejladsforhold eller badesikkerhed mere relevant at se på, hvor ofte og i hvor lang tid en given strømhastighed kan forventes overskredet. Tilsvarende i forbindelse med risiko for ophvirvling. Der er dog ikke forhåndsdefineret nogle krav, så de her viste analyser er alene på maksimumstrømhastigheder. Figur 5.14 viser dybdemidlede maksimumstrømhastigheder i sommerperioden. I baseline er maksimum-strømhastighederne små, hvilket relaterer til, at større vandstandsændringer sker over en tidsskala på flere timer, samtidig med at opfyldningsprismet er beskedent. I masterplan scenarierne er det primært i de tværgående kanaler med tilslutning til Kalkbrænderihavnen, at der optræder kraftige strømhastigheder og særligt i den nordligste kanal. Det ses, at maksimumstrømhastigheden i denne kanal er kraftigere i masterplanen end i den reviderede masterplan. Det ses også, at der er et større område i den sydvestlige del af Skudehavnen, hvor der næsten ikke er nogen strøm i på trods af kanaltilslutningerne.

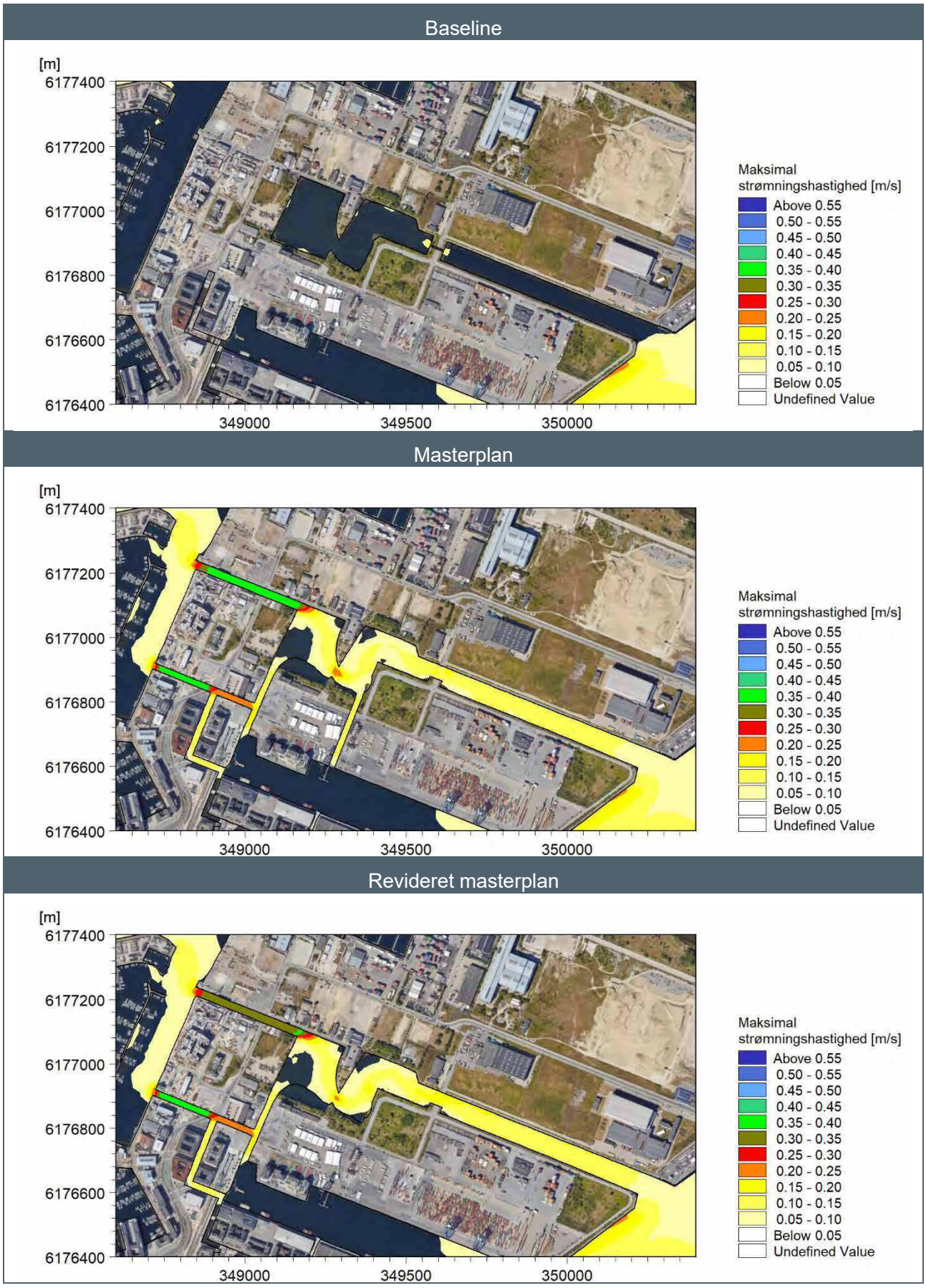
Overfladestrømmen er af betydning for sejlads og badesikkerhed. Figur 5.15 viser maksimumstrøm-hastigheder for overfladelaget. Billedet er meget analogt det dybdemidlede billede, men hastighederne er højere. En tilsvarende analyse er lavet for bundstrømmen og vist i Figur 5.16. Dette kort viser (baseret på sommerperioden), at der vil være områder i Skudehavnen, hvor dynamikken ved bunden vil være så svag, at der ikke vil kunne finde en ophvirvling af bundsediment sted.



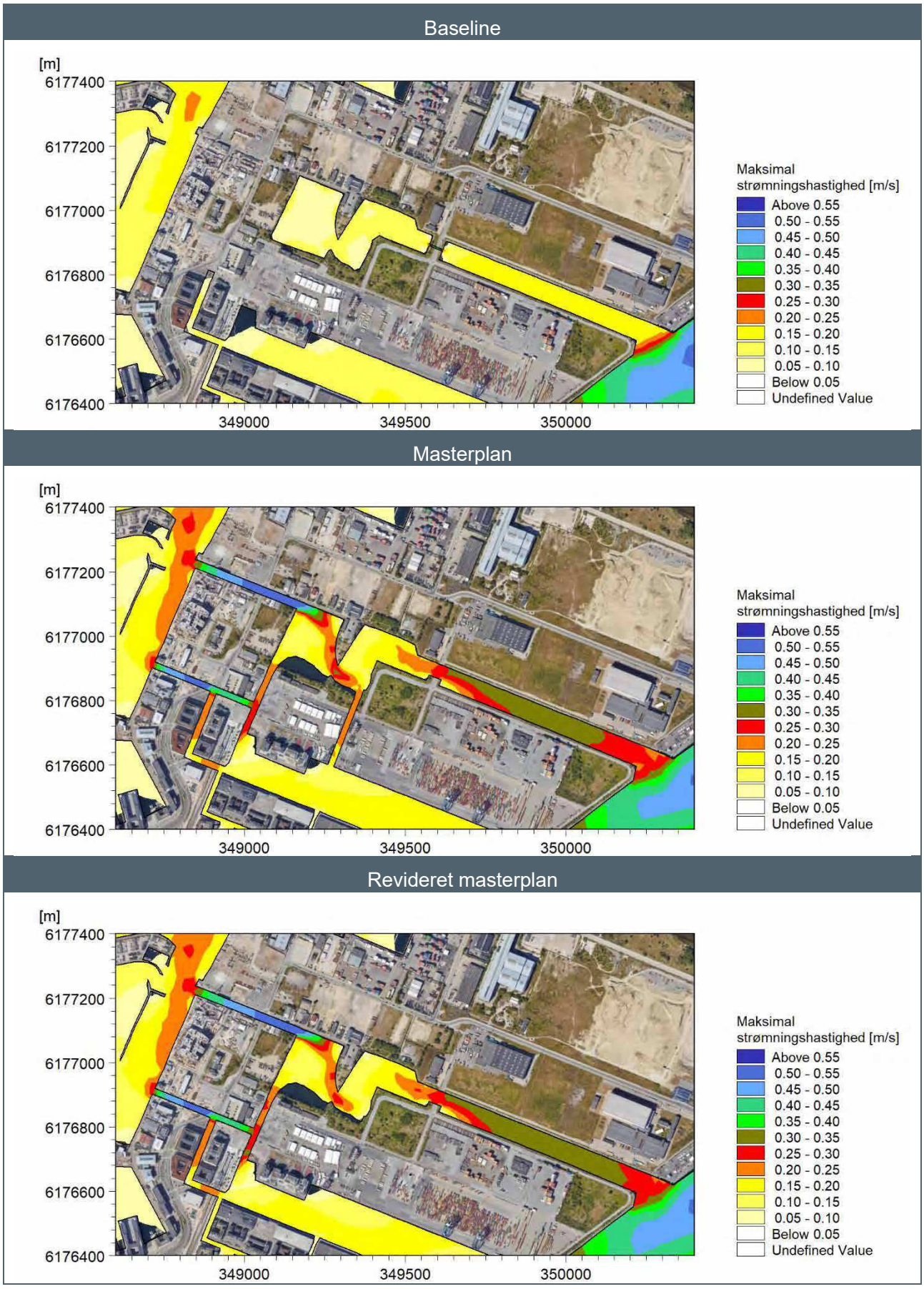
Figur 5.12 **Middelstrømhastighed i sommerperiode baseret på dybdemidlet strøm.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



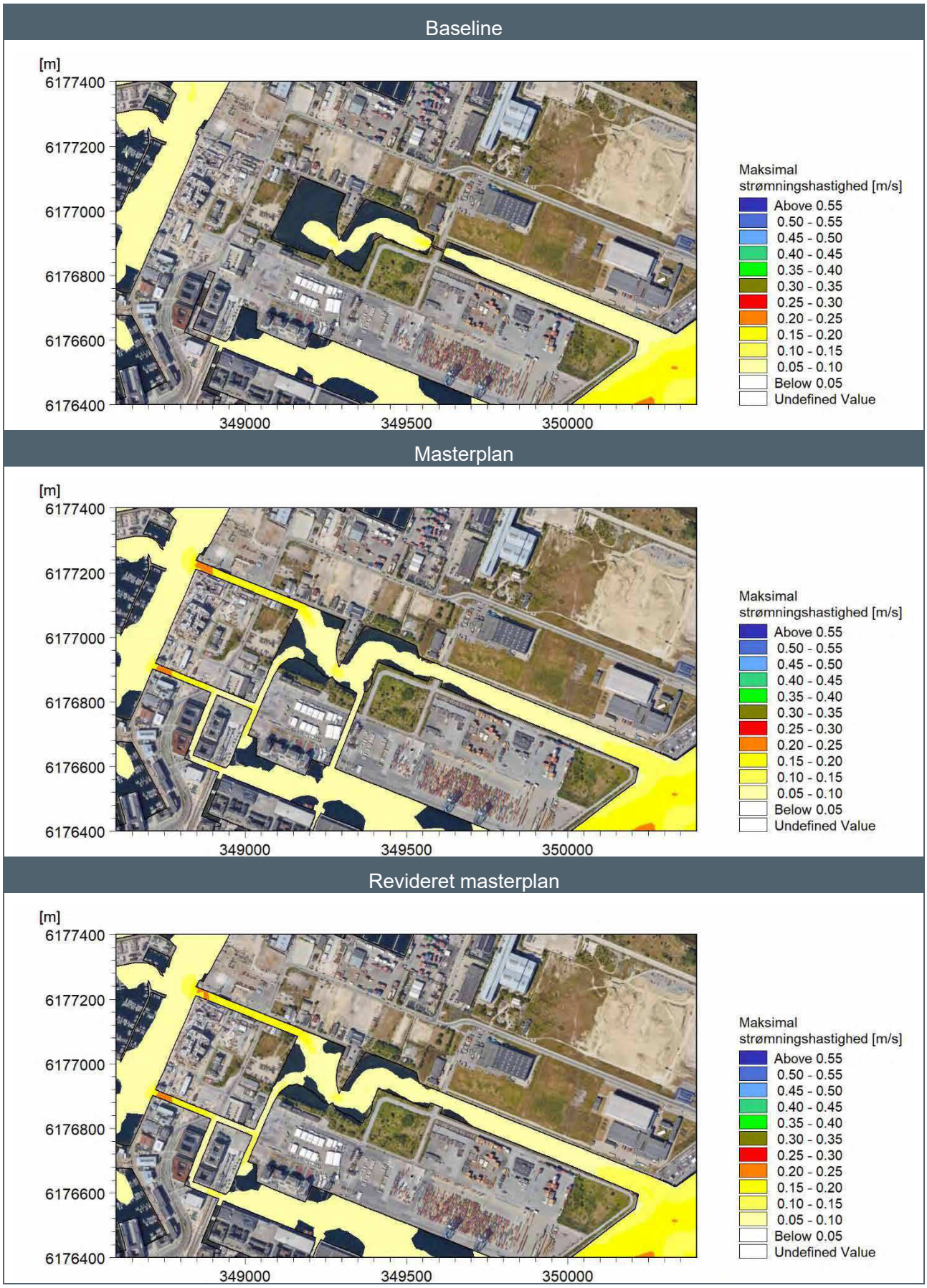
Figur 5.13 **Middelstrømhastighed baseret på højeste strømhastighed i vandsøjlen.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan



Figur 5.14 **Maksimum strømhastighed i sommerperiode baseret på dybdemidlet strøm.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 5.15 **Maksimum strømhastighed i overfladelaget i sommerperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 5.16 **Maksimum strømhastighed i bundlaget i sommerperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.

5.4.2 Strømhastigheder i vinterperioden

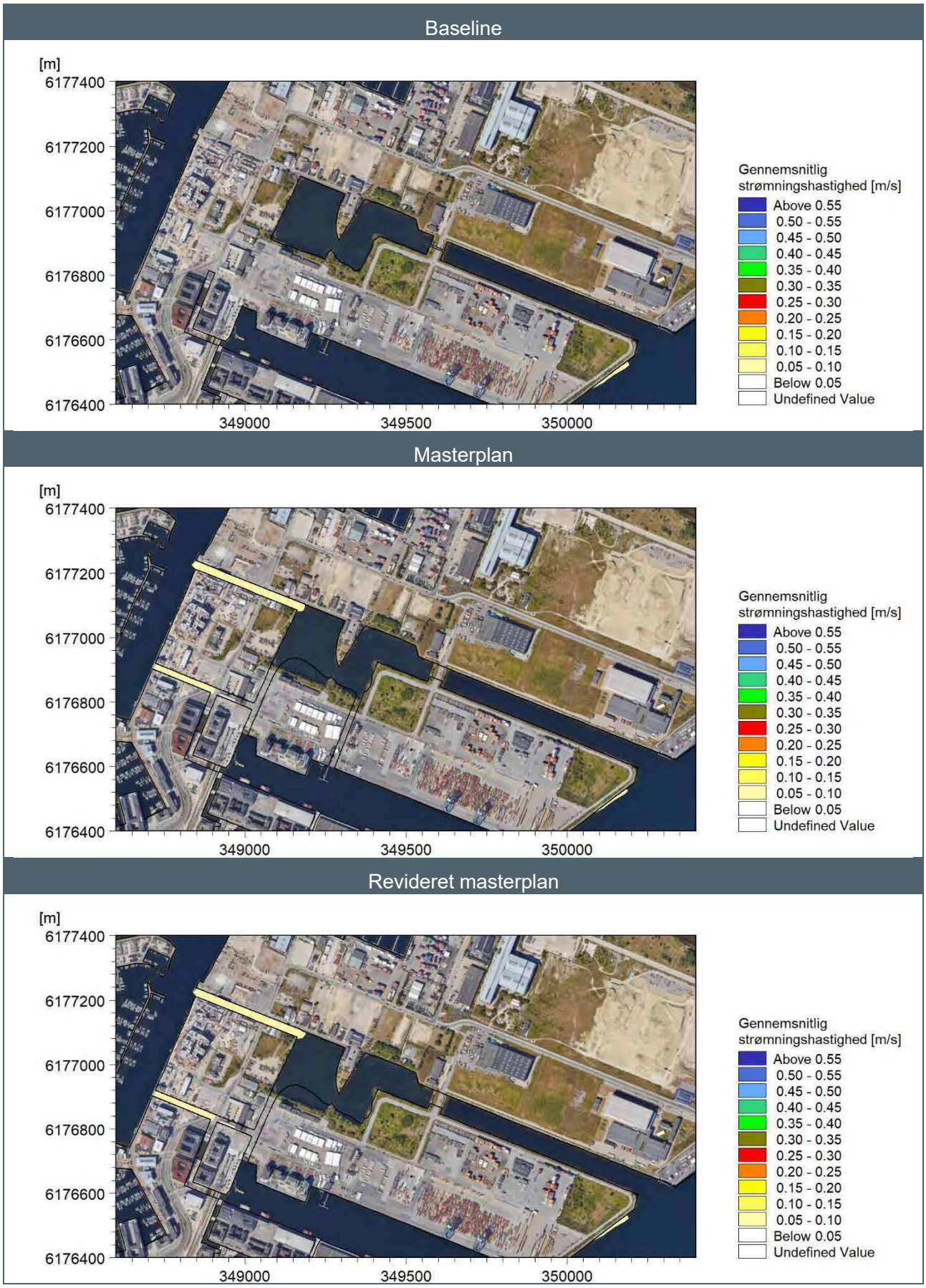
Gennemstrømningsanalysen viste, at der er en kraftigere dynamik i vinterperioden. Ligeledes er gennemstrømningsmønsteret en smule anderledes. I dette afsnit præsenteres de præcis samme strømanalyser, som der blev lavet for sommerperioden.

Den dybdemidlede middelstrøm i vinterperioden er beregnet for baseline, masterplan og revideret masterplan og optegnet i form af strømkonturplot i Figur 5.17. Det ses, helt som forventet og som for sommerperioden, at der ikke er nogen områder i baseline med betydende dynamik, idet der ikke er nogen gennemstrømning i sidebassinerne og tværsnittet i Kronløbet er så bredt og dybt, at middelstrømhastigheden bliver lille. De eneste steder, hvor der opleves en egentlig dynamik, er i de to kanaler, som er forbundet med Kalkbrænderihavnen og hvori der kan opbygges en betydende drivende vandspejlsgradient.

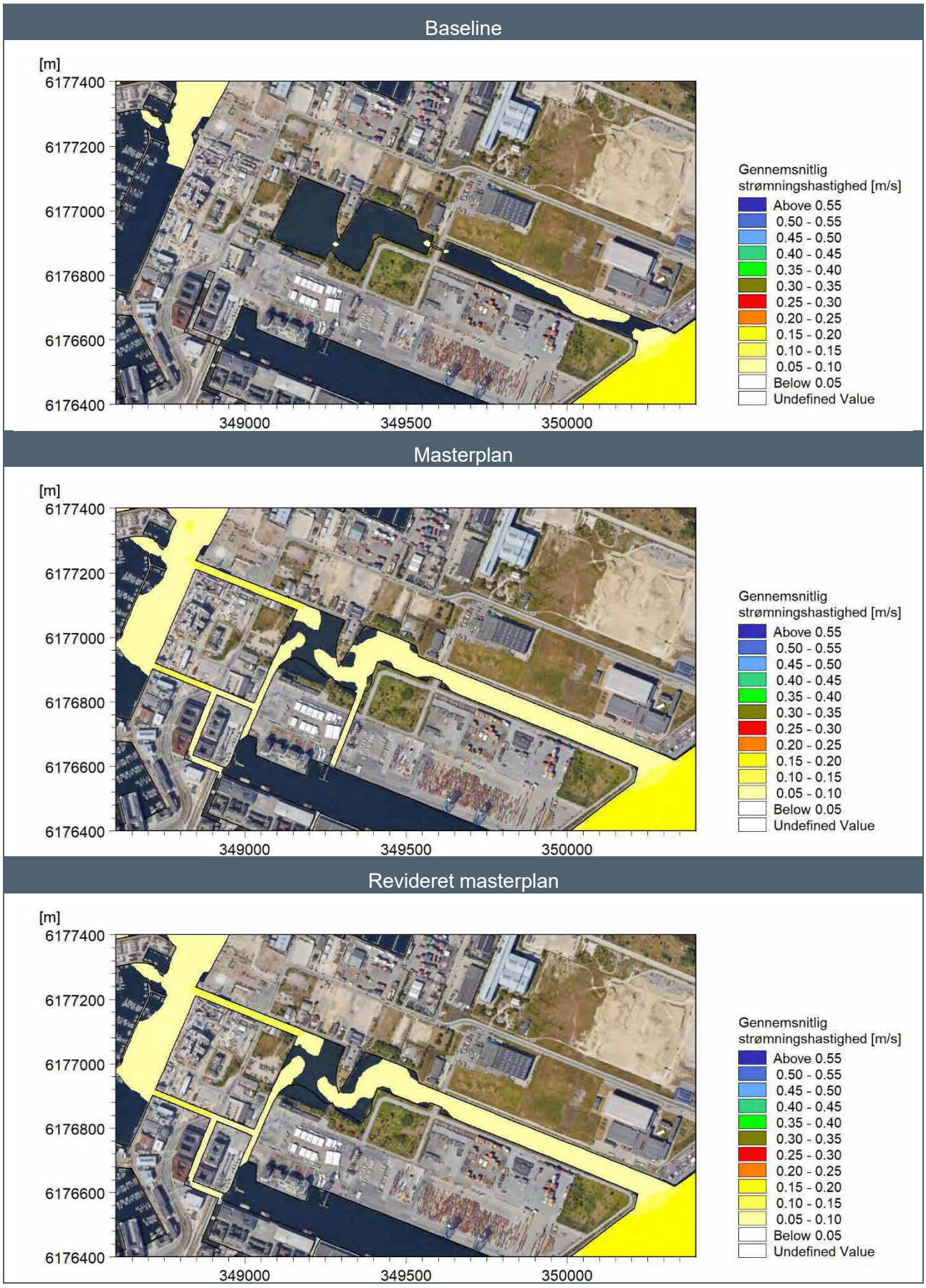
Beregner man i stedet middelstrømhastigheden på baggrund af den til ethvert tidspunkt størst forekommende strømhastighed i vandsøjlen, får man inkluderet effekten af den densitetsdrevne strøm. Resultatet af denne analyse er vist i Figur 5.18 for vinterperioden. Dynamikken ses baseret på dette mål fortsat at være ganske svag i Skudehavnen og Skudeløbet for baseline, men der er en dynamik i alle kanalerne og den lavvandede del af Skudehavnen i masterplanen og den reviderede masterplan, som følge af gennemstrømning. Med dette mål, ses der også at være en dynamik i Kronløbet og Kalkbrænderiløbet, hvor lagdelingseffekter har en betydning for strømcirkulationen. Generelt afspejler figurerne en lidt kraftigere dynamik i vinterperioden end i sommerperioden.

Maksimumstrømhastigheden optræder kun kortvarigt og det er derfor i forbindelse med sejladsforhold eller badesikkerhed mere relevant at se på, hvor ofte og i hvor lang tid en given strømhastighed kan forventes overskredet. Tilsvarende i forbindelse med risiko for ophvirvling. Der er dog ikke forhåndsdefineret nogle krav, så de her viste analyser er alene på maksimumstrømhastigheder. Figur 5.19 viser dybdemidlede maksimumstrømhastigheder i sommerperioden. I baseline er maksimum-strømhastighederne små, hvilket relaterer til at større vandstandsændringer sker over en tidsskala på flere timer, samtidig med at opfyldningsprismet er beskedent, men dog større end i sommerperioden. I masterplan scenarierne er det primært i de tværgående kanaler med tilslutning til Kalkbrænderihavnen, at der optræder kraftige strømhastigheder og særligt i den nordligste kanal. Det ses, at maksimumstrømhastigheden i denne kanal er kraftigere i masterplanen end i den reviderede masterplan. Det ses også, at der er et større område i den sydvestlige del af Skudehavnen, hvor der næsten ikke er nogen strøm i på trods af kanaltilslutningerne. Omvendt er der enkelte områder, hvor bundsedimentet vil kunne ophvirvles kortvarigt.

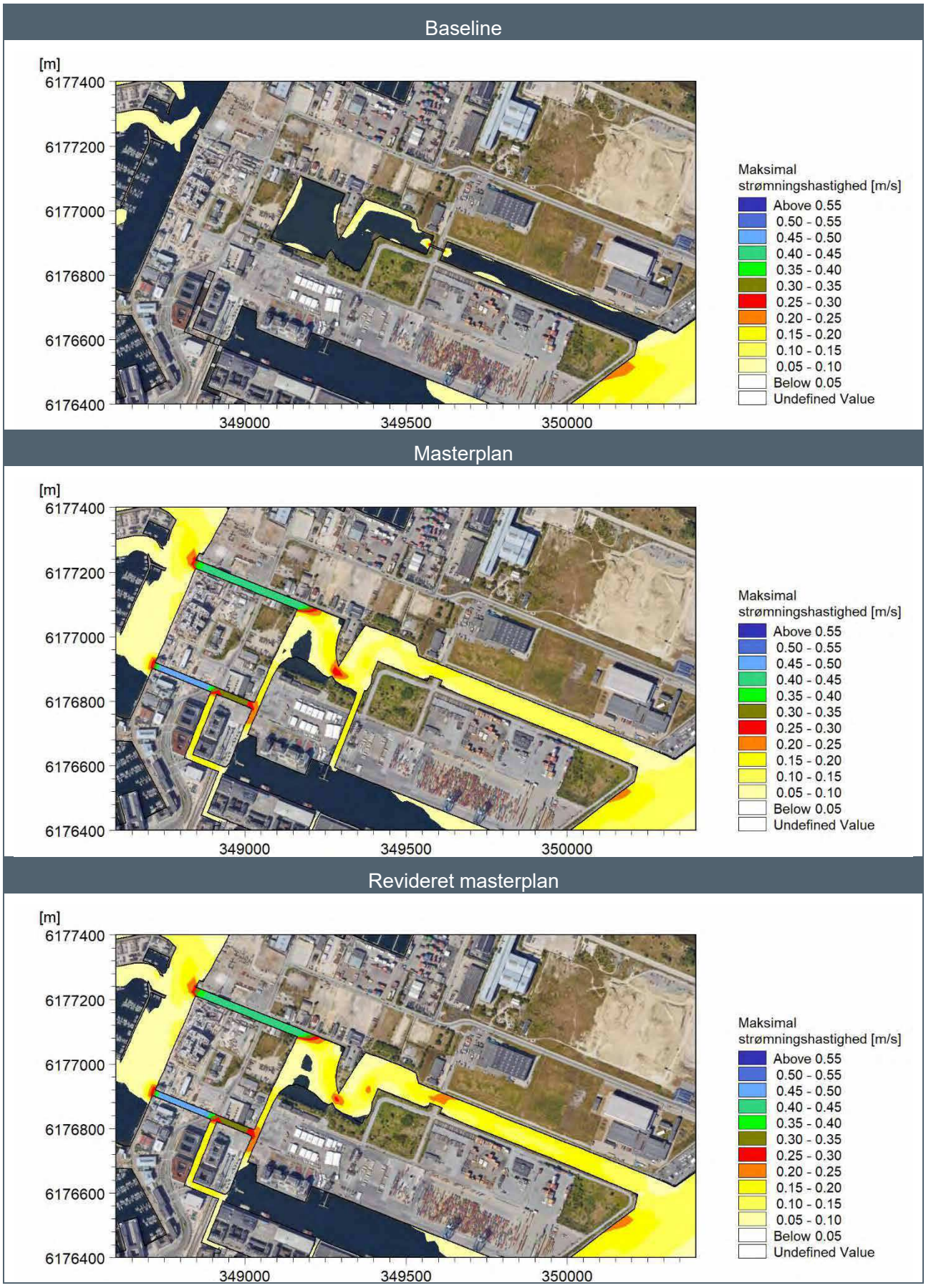
Overladestrømmen er af betydning for sejlads og badesikkerhed. Figur 5.20 viser maksimumstrøm-hastigheder for overfladelaget. Billedet er meget analogt det dybdemidlede billede, men hastighederne er højere. I tværkanalerne med tilslutning til Kalkbrænderihavnen, når overfladestrømmen op over 0,7 m/s. En tilsvarende analyse er lavet for bundstrømmen og vist i Figur 5.21. Dette kort viser (baseret på sommerperioden), at der vil være områder i Skudehavnen, hvor dynamikken ved bunden vil være så svag, at der ikke vil kunne finde en ophvirvling af bundsediment sted.



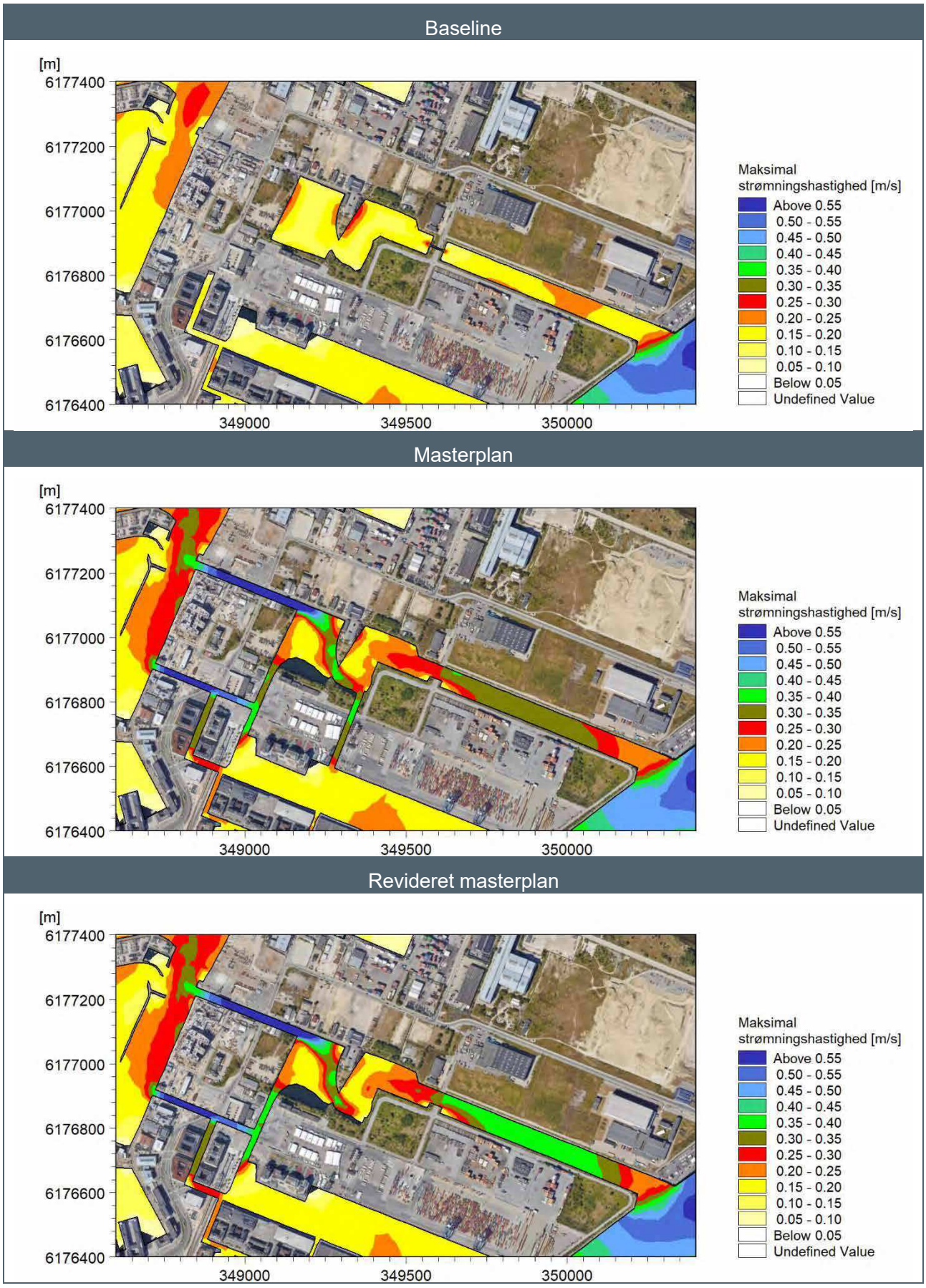
Figur 5.17 **Middelstrømhastighed i vinterperiode baseret på dybdemidlet strøm.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



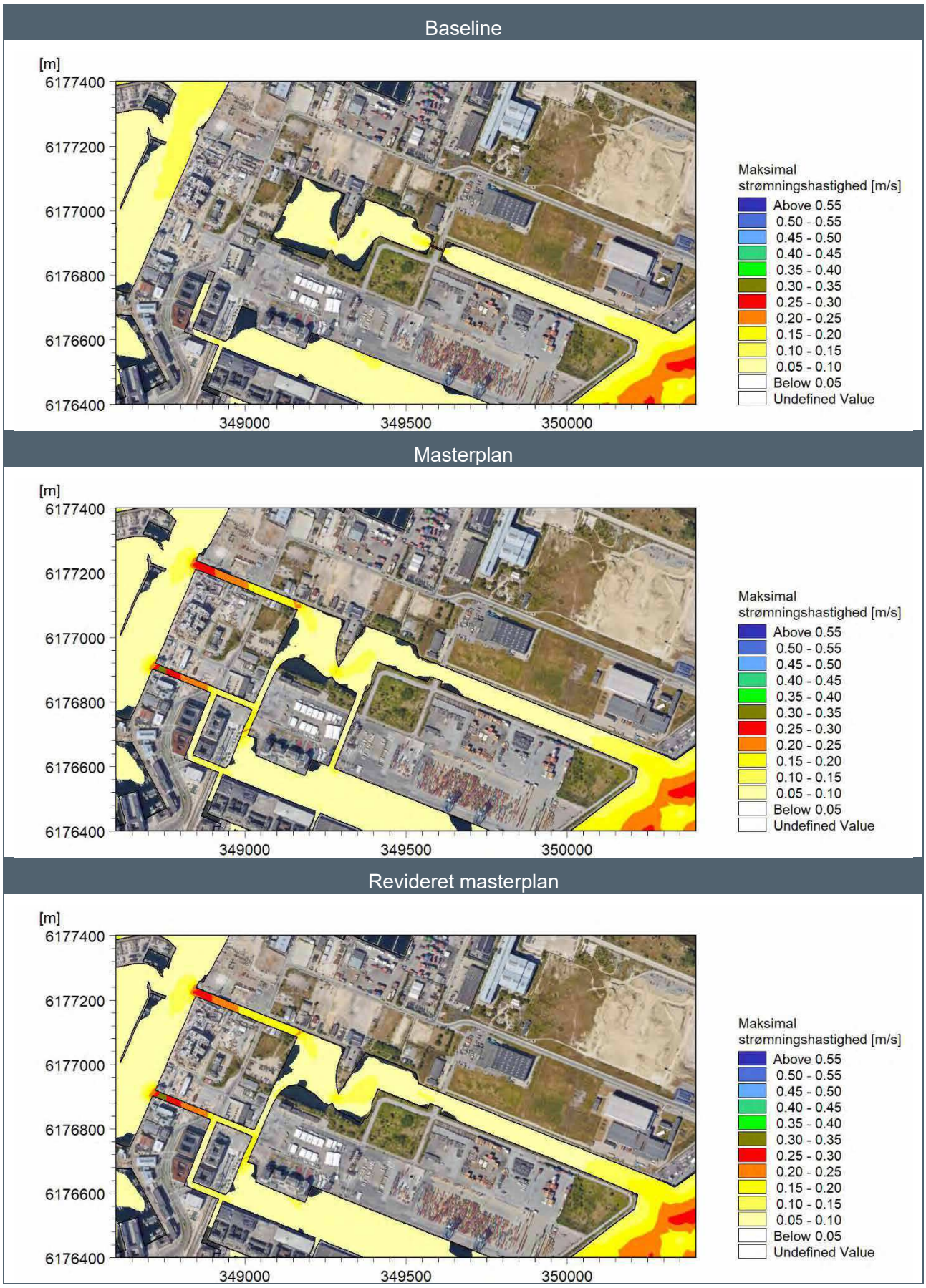
Figur 5.18 **Middelstrømhastighed baseret på højeste strømhastighed i vandsøjlen i vinterperioden.** Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan



Figur 5.19 **Maksimum strømhastighed i vinterperiode baseret på dybdemidlet strøm.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 5.20 **Maksimum strømhastighed i overfladelaget i vinterperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 5.21 **Maksimum strømhastighed i bundlaget i vinterperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.

6 Badevandskvalitet

Badevandskvalitet vurderes normalt på baggrund af 4 badevandssæsoner. Da der ikke er tale om ændringer i udledningsmængder eller deres udledningspunkter, men alene en ændret gennemstrømning af Skudehavnen, vurderes det som udgangspunkt tilstrækkeligt at analysere en enkelt badevandssæson med mange overløbshændelser (2017). Vurderingen er foretaget ved at se på de kumulerede mængder af bypass udledt fra U1 (Renseanlæg Lynetten) og U2 (Renseanlæg Damhusåen). De kumulerede bypassmængder i badevandssæsonerne 2016-2020 er beregnet på baggrund af udledningstidsserierne og angivet i Tabel 6.1. Det ses, at der er en større bypassudledning fra U2 end for U1 på trods af, at der udledes mere vand gennem U1 (renset spildevand). For begge udledninger ses badesæsonen i 2017, at være det år med den største bypassudledning fra begge udledninger (U1 og U2). Det vil derfor forventeligt også være det år med flest overløb i havnen, hvorfor det er mest velegnet til at vurdere de nye kanalers betydning for badevandskvaliteten i området omkring Skudehavnen.

Tabel 6.1 Kumuleret bypassmængde udledt via U1 og U2 i badevandssæsonerne 2016-2020.

Badevandssæson	U1 [m^3]	U2 [m^3]
2016	341.870	483.238
2017	**935.921**	**1.379.794**
2018	83.642	472.696
2019	173.261	615.061
2020	120.970	422.278

Badevandskvalitet vurderes med afsæt i overskridelsesvarigheder af en række tærskelværdier for bakteriekoncentrationer af E-coli og Enterokokker. Disse tærskelværdier anvendes i det følgende til at vurdere de nye kanalers betydning for badevandskvaliteten i området generelt og specifikt for badevandsforhold ved Svanemøllestranden og Sandkaj badezone, som er de nærmest beliggende badesteder.

6.1 Overskridelse af bakteriekoncentrationer i nærområdet

For at opnå udmærket badevandskvalitet skal bakteriekoncentration af både Enterokokker og E-coli være under 100 Enterokokker/100 ml, henholdsvis 250 E. coli/100 ml i mere end 95% af tiden set over 4 badevandssæsoner. I praksis evalueres badevandskvaliteten på en given lokalitet med afsæt i vandprøver taget hen over de seneste 4 badevandssæsoner på en række prædefinerede tidspunkter, mens den i modelleringen beregnes på baggrund af varigheder med overskridelse til alle tidspunkter i den fulde badevandssæson (1. juni -15. september).

Figur 6.1 sammenligner de relative varigheder med overskridelse af en bakteriekoncentration på 100 Enterokokker/100 ml for baseline, masterplan og revideret masterplan ved hjælp af konturplot. Overskridelsesvarighederne må i alle tilfælde forventes at være højere, end når der ses samlet på 4 badevandssæsoner, idet bakterietilførslen fra overløb er væsentlig større i 2017 end i de øvrige år i perioden 2016-2020. Det ses, at de nye gravede kanaler fører til øget varighed med overskridelse (af 100 Enterokokker/100 ml) i Skudehavnen og Orientbassinet. De relative overskridelsesvarigheder i Skudehavnen går fra at være under 1% til under 9 % i masterplan og under 8% i den reviderede masterplan. I Orientbassinets indre del går overskridelsesvarigheden fra at være under 5% i baseline til under 8% i både masterplan og revideret masterplan. Badevandskvaliteten vil derfor ændres fra udmærket til god, hvis vurderingen alene skulle baseres på 2017 badevandssæsonen. Plottene viser med al tydelighed, at udledningen fra U14.1 i Svanemøllehavnen har en lokal kraftig påvirkning. De kumulerede mængder fra denne udledning, kan derfor benyttes til at vurdere, om der er en grund til at forvente en egentlig ændring af badevandskvalitetens tilstand i Skudehavnen og Orientbassinet ved

etablering af de nye gravede kanaler. De kumulerede mængder fra U14.1 er angivet i Tabel 6.2. Det ses, at overløbsmængden i 2017 er højere end i de øvrige år og cirka 65% højere end middel for perioden 2016-2020. Da påvirkningen fra overløbet er ikke-lineær, må man forvente, at overskridelses-varighederne for en 4-årig badevandssæson periode vil falde kraftigere end ved en lineær nedskalering med faktor 1,65. Der er derfor ingen grund til at forvente, at kanalerne vil kunne føre til en ændret badevandsklassifikation af forholdene i Orientbassinet og Skudehavnen.

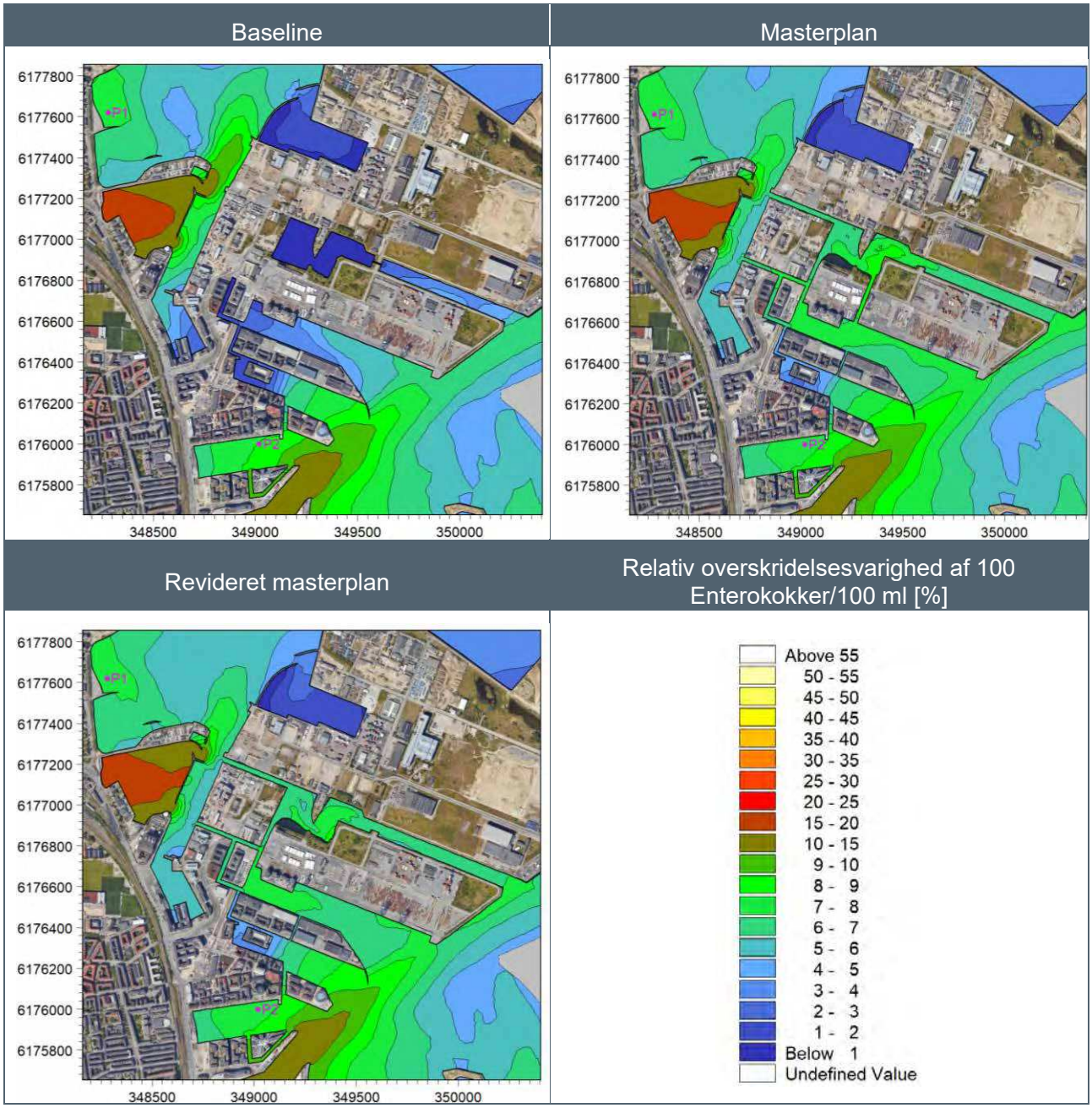
Tabel 6.2 Kumuleret overløbsmængde udledt via U14.1 i badevandssæsonerne 2016-2020.

Badevandssæson	U14.1 [m^3]	Ratio
2016	7.656	4,71
2017	**36.080**	**1**
2018	14.626	2,47
2019	29.751	1,21
2020	21.499	1,68
2016-2020	21.922	1,65

Skudehavnen og Orientbassinet udgør ikke en badevandszone i dag. Det er derfor mere relevant at se på påvirkningen af de to nærmest beliggende badevandszoner; Svanemøllen Strand og Sandkaj badezone. Der er derfor udtrukket tidsserier af bakteriekoncentrationer i overfladelaget på disse 2 lokaliteter for baseline, masterplan og revideret masterplan, som vist i Figur 6.3. I plottene er der anvendt en logaritmisk akse for bakteriekoncentrationerne, så det bliver lettere at aflæse bakterie-koncentrationerne i området, hvor kurverne skærer relevante tærskelværdier, som også er optegnet. Plottene i venstre side af figuren viser udviklingen i bakteriekoncentrationen af Enterokokker, mens plottene i højre side er for E. coli. I Tabel 6.3 er informationen fra Enterokker tidsserierne kondenseret til angivelse af antal hændelser, hvor tærskelværdien på 100 Enterokokker/100 ml er overskredet, samt relative overskridelsesvarigheder i procent af tiden (badevandssæsonen 2017), hvor tærskelværdien er overskredet. Det ses af tabellen, at der ved Svanemøllen Strand optræder en enkelt hændelse mere i begge de to undersøgte masterplaner, mens antallet af hændelser er uændret ved Sandkaj badezone. Dette giver sig dog ikke udslag i overskridelsesvarighederne, hvor det ses, at den korteste overskridelse ved både Svanemøllen Strand og Sandkaj badezone, er for den reviderede masterplan med 2 nye gravede kanaler.

Figur 6.2 sammenligner med konturplot de relative varigheder med overskridelse af en bakterie-koncentration på 250 E. coli/100 ml for baseline, masterplan og revideret masterplan, som udgør den anden tærskelværdi for vurdering af udmærket badevandskvalitet. Det ses, at overskridelses-varighederne i alle tilfælde er mindre end for Enterokokker, da nedbrydningen i overfladelaget sker hurtigere. Det ses, at de nye gravede kanaler fører til øget varighed med overskridelse (af 250 E. coli/100 ml) i Skudehavnen og Orientbassinet. De relative overskridelsesvarigheder i Skudehavnen går fra at være under 1% til under 4 % i både masterplan og revideret masterplan. I Orientbassinets indre del går overskridelsesvarigheden fra at være under 2% i baseline til under 3% i både masterplan og revideret masterplan. Badevandskvaliteten vil derfor forblive uændret og kunne kategoriseres som udmærket, selvom vurderingen alene baseres på 2017 badevandssæsonen med afsæt i E. coli tærskelværdien.

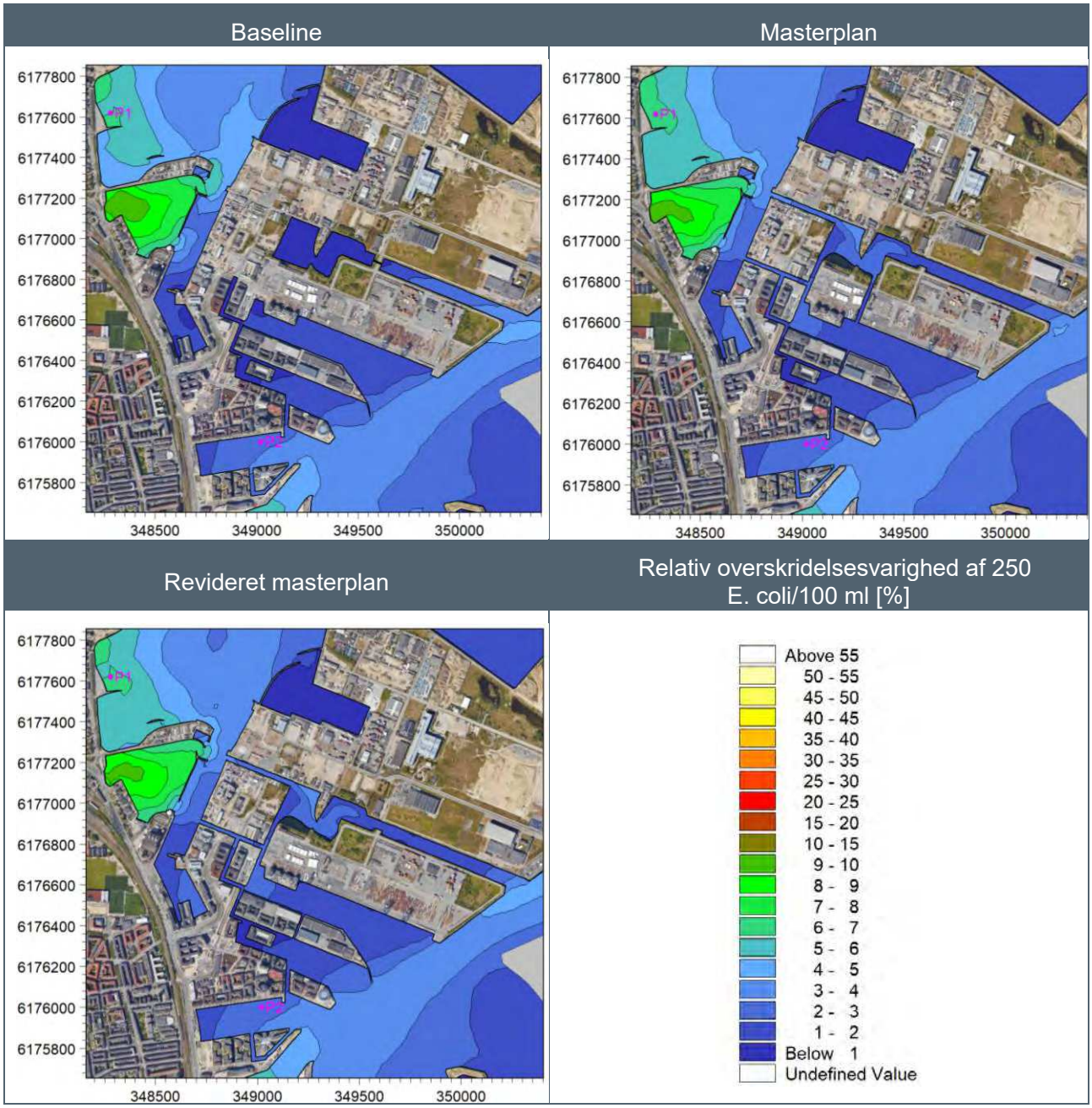
Forholdene ved Svanemøllen Strand og Sandkaj badezone kan vurderes med afsæt i data angivet i Tabel 6.4 og tidsserier af bakteriekoncentrationer for E. coli vist i Figur 6.3. Heraf ses, at antallet af hændelser ved Svanemøllen Strand er som for Enterokokker, mens der ved Sandkaj badezone kun optræder det halve antal hændelser. Overskridelsesvarighederne ved Svanemøllen Strand er en smule mindre for baseline end for de to undersøgte masterplaner, mens det modsatte gør sig gældende ved Sandkaj badezone. På begge lokaliteter er overskridelsesvarighederne lidt større i masterplan end i den reviderede masterplan. Forskellene mellem baseline og masterplaner er så små, at de ikke vil føre til en ændring af badevandsklassifikationen på de to badelokaliteter.



Figur 6.1 **Relative overskridelsesvarigheder af 100 Enterokokker/100ml i badevandssæsonen 2017.**
Øverst venstre: baseline, øverst højre: masterplan og nederst venstre: revideret masterplan.

Tabel 6.3 **Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 100 Enterokokker/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone.**

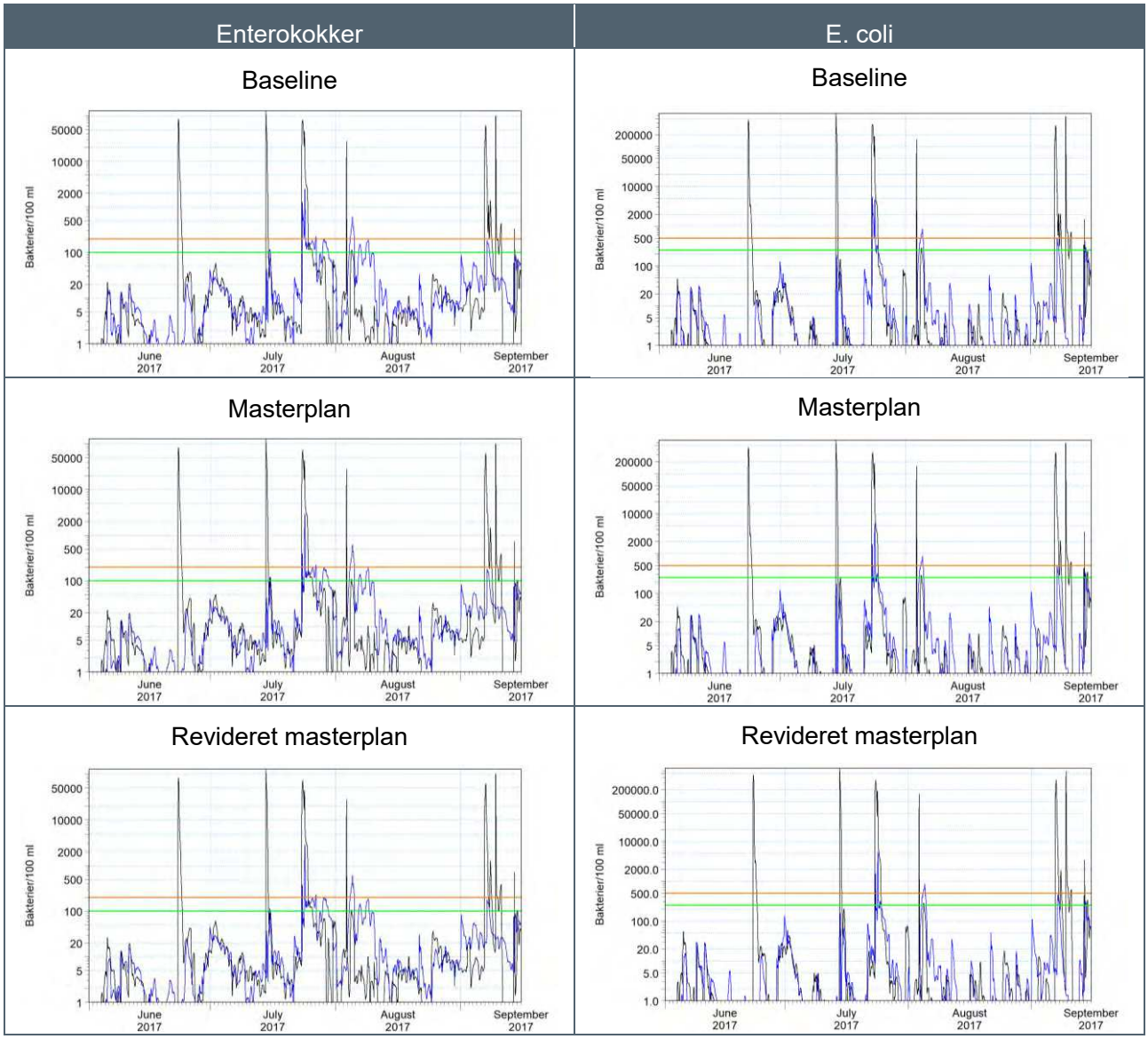
Scenarie	Lokalitet	Overskridelsesvarighed [%]	Antal hændelser
Baseline	Svanemøllen strand	7,71	9
Masterplan	Svanemøllen strand	7,94	10
Revideret masterplan	Svanemøllen strand	7,55	10
Baseline	Sandkaj badezone	8,05	8
Masterplan	Sandkaj badezone	7,51	8
Revideret masterplan	Sandkaj badezone	7,51	8



Figur 6.2 **Relative overskridelsesvarigheder af 250 E. coli/100ml i badevandssæsonen 2017.** Øverst venstre: baseline, øverst højre: masterplan og nederst venstre: revideret masterplan.

Tabel 6.4 **Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 250 E. coli/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone.**

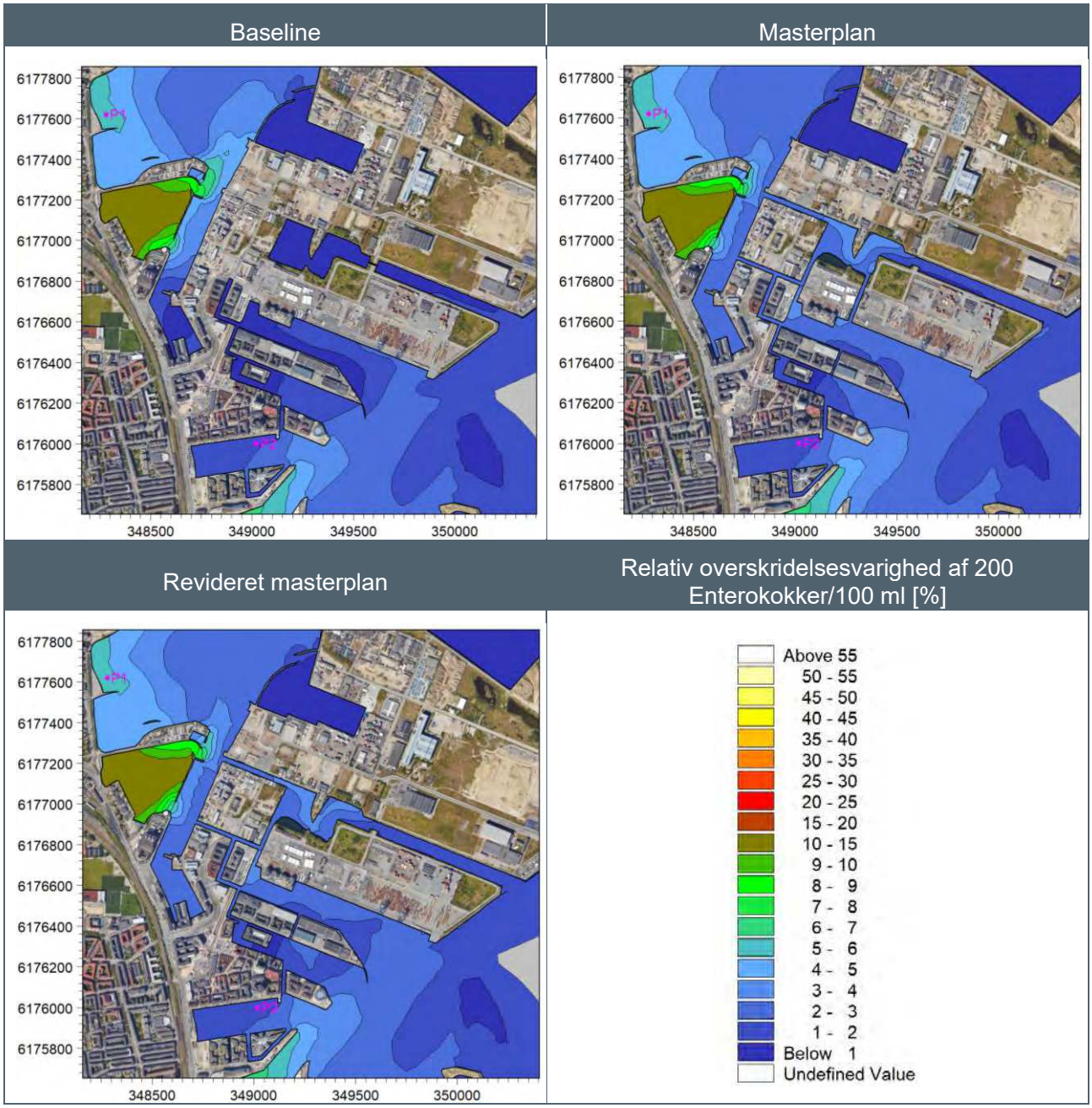
Scenarie	Lokalitet	Overskridelsesvarighed [%]	Antal hændelser
Baseline	Svanemøllen strand	5,90	9
Masterplan	Svanemøllen strand	6,35	10
Revideret masterplan	Svanemøllen strand	6,01	10
Baseline	Sandkaj badezone	2,76	4
Masterplan	Sandkaj badezone	2,43	4
Revideret masterplan	Sandkaj badezone	2,36	4



Figur 6.3 **Bakteriekoncentrationer ved Svanemøllen Strand (sort kurve) og Sandkaj badezone (blå kurve).**
Grønne kurver: tærskelværdier til evaluering af udmærket badevandskvalitet. Røde kurver: tærskelværdier til evaluering af god badevandskvalitet.

Figur 6.4 og Figur 6.5 sammenligner med konturplot de relative varigheder med overskridelse af en bakteriekoncentration på henholdsvis 200 Enterokokker/100 ml og 500 E. coli/100 ml for baseline, masterplan og revideret masterplan. De to tærskelværdier udgør grundlaget i evalueringskriteriet for god badevandskvalitet. Det ses som forventet, at de relative overskridelsesvarigheder er mindre end i de to figurer, som tog afsæt i evalueringskriterierne for udmærket badevandskvalitet. De nye tilslutningskanaler til Skudehavnen fører kun til en meget lille stigning i overskridelsesvarighederne med overskridelse af tærskelværdien for de to bakteriekoncentrationer.

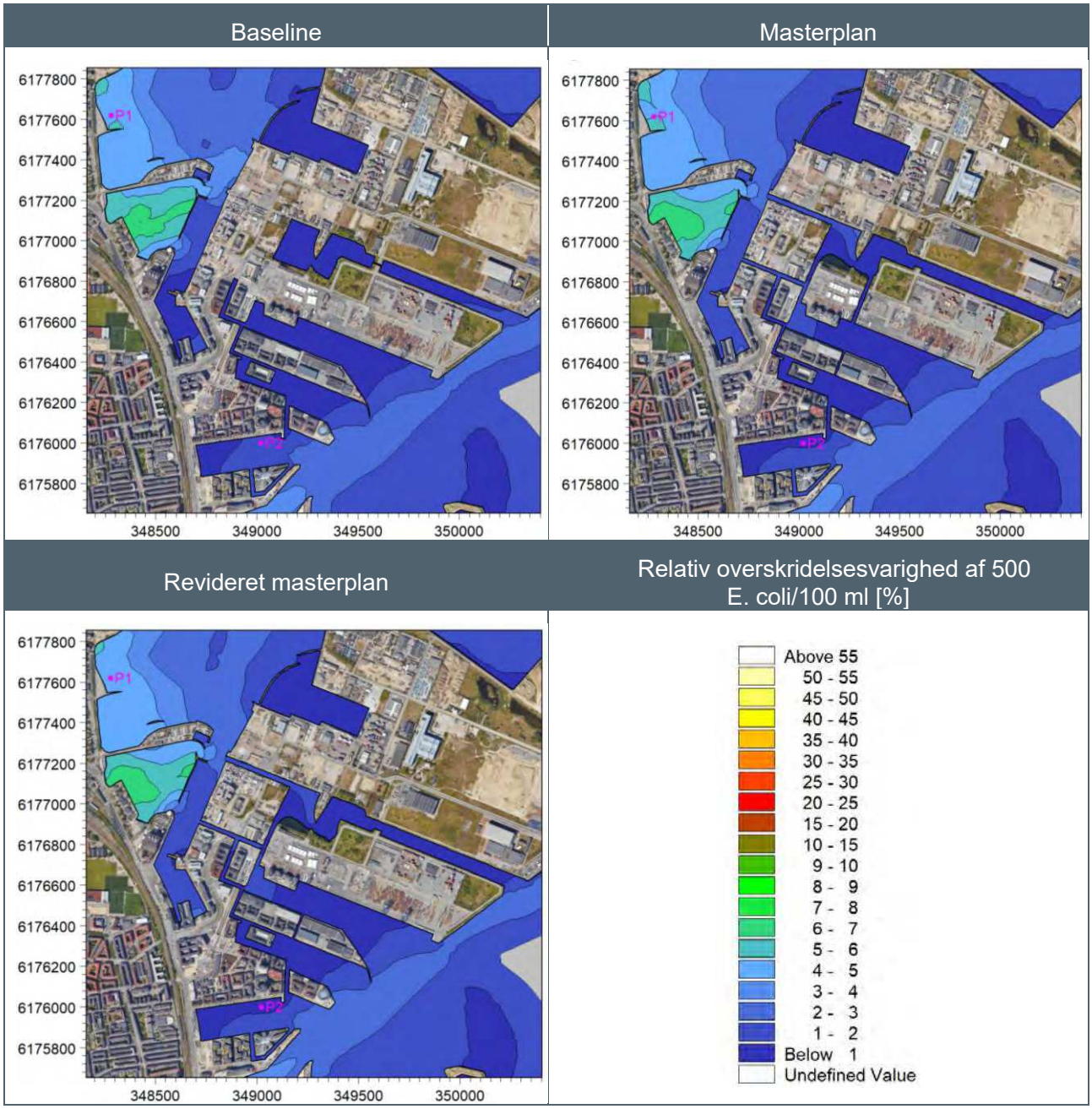
Tabel 6.5 og Tabel 6.6 indeholder kondenseret information om antallet af hændelser med overskridelse af de to tærskelværdier, samt relativ overskridelsesvarighed i procent på de to nærmeste badevands-lokaliteter; Svanemøllen Strand og Sandkaj badezone. Antallet af hændelser er ens ved Svanemøllen Strand, mens der er en hændelse mere med Enterokokker ved Sandkaj badezone i den reviderede masterplan sammenholdt med baseline og masterplan, uden at det dog giver sig udslag i de relative overskridelsesvarigheder. Der er kun mindre forskelle i overskridelsesvarighederne og ingen klare trends.



Figur 6.4 **Relative overskridelsesvarigheder af 200 Enterokokker/100ml i badevandssæsonen 2017.**
Øverst venstre: baseline, øverst højre: masterplan og nederst venstre: revideret masterplan.

Tabel 6.5 **Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 200 Enterokokker/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone.**

Scenarie	Lokalitet	Overskridelsesvarighed [%]	Antal hændelser
Baseline	Svanemøllen strand	4,89	8
Masterplan	Svanemøllen strand	5,19	8
Revideret masterplan	Svanemøllen strand	4,93	8
Baseline	Sandkaj badezone	1,78	3
Masterplan	Sandkaj badezone	1,33	3
Revideret masterplan	Sandkaj badezone	1,41	4



Figur 6.5 **Relative overskridelsesvarigheder af 500 E. coli/100 ml i badevandssæsonen 2017.** Øverst venstre: baseline, øverst højre: masterplan og nederst venstre: revideret masterplan.

Tabel 6.6 **Antal hændelser og varigheder med overskridelse af 500 E. coli/100 ml ved Svanemøllen strand og Sandkaj badezone.**

Scenarie	Lokalitet	Overskridelsesvarighed [%]	Antal hændelser
Baseline	Svanemøllen strand	4,82	8
Masterplan	Svanemøllen strand	5,00	8
Revideret masterplan	Svanemøllen strand	4,81	8
Baseline	Sandkaj badezone	1,26	2
Masterplan	Sandkaj badezone	0,83	2
Revideret masterplan	Sandkaj badezone	0,71	2

7 Risiko for ophvirvling

Risiko for ophvirvling af forurenet blødbundssediment i Skudehavnen vurderes med afsæt i strømhastigheder og en egentlig sedimenttransportbeskrivelse, som medtager effekten af resuspension og advektion og dispersion af sedimentet i vandsøjlen.

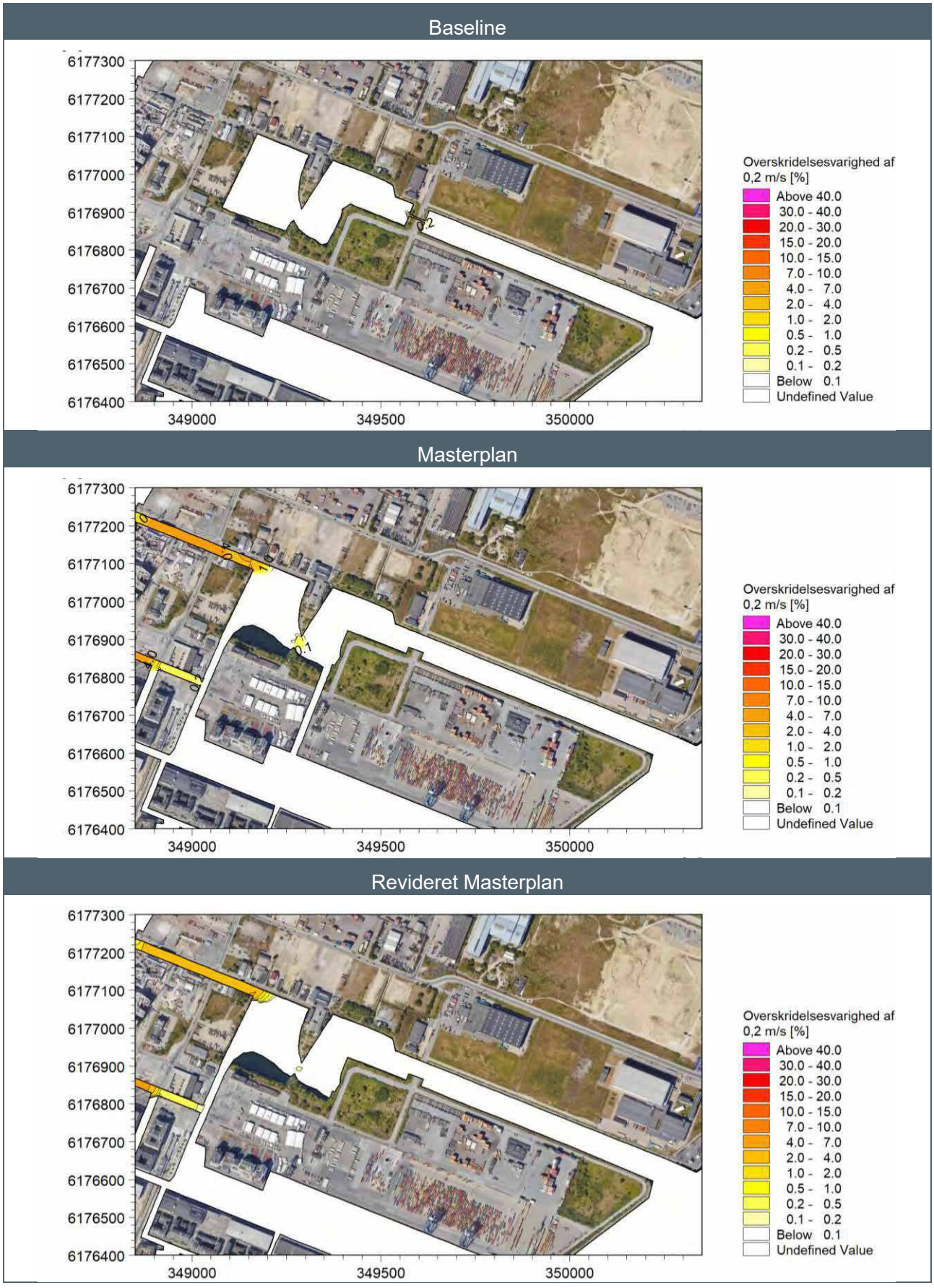
7.1 Risiko for ophvirvling med afsæt i Hjulstøm-Sundborgs diagram

Den nødvendige kraftpåvirkning (strømhastighed), der skal til for at mobilisere bundsedimentet afhænger af bundsedimentets beskaffenhed og konsolideringsgrad. I ref. /2/ betegnes sedimentet som blødbunds-materiale, hvilket betyder, at det er sammensat af finkornet sediment (ler og silt partikler) og dårligt konsolideret. Den ringe konsolidering bevirker, at materialet må forventes at kunne bringes lettere i suspension, end hvis det havde været konsolideret, jf. Hjulstrøm-Sundborgs diagram vist i Figur 2.5. Når bundmaterialet er ukonsolideret og har en sammensætning af finsand eller finere (ler og silt), er der ifølge diagrammet ingen forskel på, hvor let sedimentet bringes i suspension. Diagrammet angiver en kritisk strømhastighed lige under 0,2 m/s for erosion af bunden (resuspension), men angiver også, at der skal en strømhastighed over 0,4 m/s til, før der sker en betydende transport af ler og silt. Strømhastigheden i diagrammet er relateret til den dybdemidlede strømhastighed. I en risikovurdering for ophvirvling af forurenet bundsediment i Skudehavnen er det derfor relevant at klarlægge, i hvilke områder og hvor ofte den kritiske strømhastighed på 0,2 m/s overskrides.

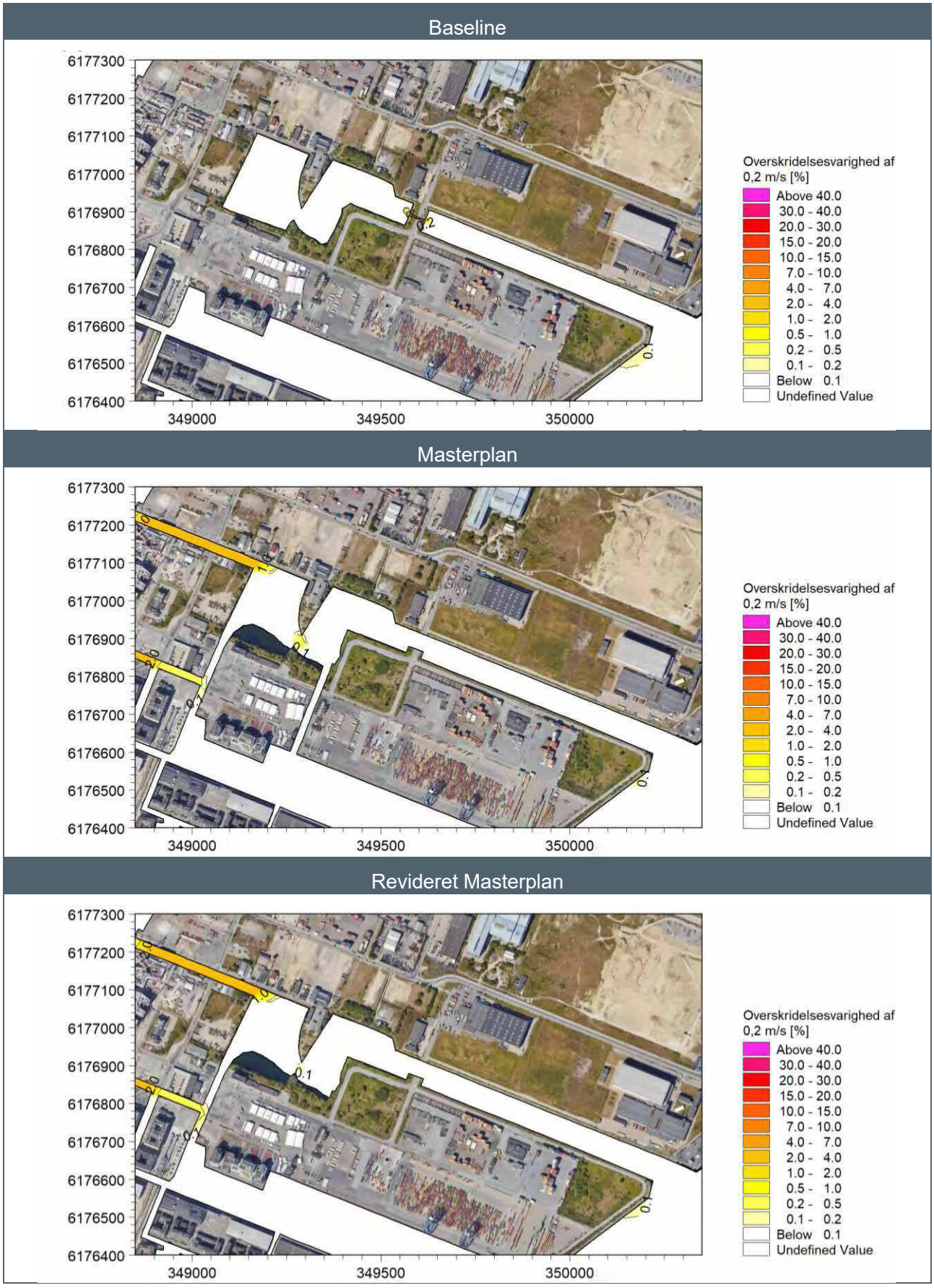
7.1.1 Overskridelse af strømevalueringskriterie i sommer- og vinterperiode

Med udgangspunkt i de udførte modelleringer af strømhastighederne i Skudehavnen og Skudeløbet er det undersøgt, hvor ofte den kritiske strømhastighed på 0,2 m/s overskrides i henholdsvis en sommer- og vinterperiode. Sommersimuleringen dækker en periode på 3,5 måneder (1. juni 2019 – 15. september 2019, 106 dage), mens vintersimuleringen dækker 4 måneder (1. november 2019 – 1. marts 2020, 121 dage). I Figur 7.1 er de relative overskridelsesvarigheder af den kritiske strømhastighed vist med konturplot for baseline, masterplan og revideret masterplan i sommerperioden. De relative overskridelsesvarigheder kan omregnes til absolut tid ved at multiplicere med de ovenfor angivne modelperioders længde. Det ses, at det kun er helt lokalt omkring den rørlagte underføring i Skagerraksvej dæmningen, at der meget kortvarigt kan finde en overskridelse sted med de nuværende forhold. Dette bekræfter som forventet, at Skudehavnen og Skudeløbet med de nuværende forhold udgør et aflejringsområde. I masterplanen og den reviderede masterplan er der overskridelse af den kritiske strømhastighed i op mod 10% af tiden i de gravede kanaler tilsluttet Kalkbrænderihavnen. Bundmaterialet i disse kanaler vil være konsolideret og rent i forhold til blødbundsmaterialerne i Skudehavnen. Bundsedimentet vil derfor være sværere at mobilisere og ikke bidrage til en spredning af kontamineret sediment til omkringliggende vandområder. Overskridelserne i disse kanaler er dermed ikke kritiske. Der er en påvirkning i overgangen fra kanalen og ind i Skudehavnen, men vanddybden er mindre i kanalen end i Skudehavnen og strømningen vil derfor være relateret til den øvre del af vandsøjlen og dermed kun påvirke bunden i mindre grad. I indsnævringen i Skudehavnen er der en overskridelse på op til 0,2% svarende til en overskridelsesvarighed på omkring 5 timer. Påvirkningen er en anelse svagere i den reviderede masterplan, men helt generelt er påvirkningen i begge tilfælde så lille, at det kan vurderes med afsæt i diagrammet, at der ikke vil ske betydende spredning af forurenet sediment til omkringliggende vandområder i sommerperioden.

I Figur 7.2 er tilsvarende plots vist for vinterperioden. Mønsteret er meget det samme, som for sommerperioden, og konklusionen er derfor, at der ikke vil ske betydende ophvirvling og spredning af forurenet sediment til omkringliggende vandområder i vinterperioden. Samlet kan det derfor vurderes med afsæt i fundne overskridelsesvarigheder, at ændringerne i strøm, relateret de nye kanaltilslutninger, kun fører til lokal ophvirvling og en beskeden spredning af forurenet sediment til de omkringliggende vandområder.



Figur 7.1 **Relativ overskridelsesvarighed af kritisk strømhastighed (0,2 m/s) for resuspension af blødbundssedimenter i sommerperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 7.2 **Relativ overskridelsesvarighed af kritisk strømhastighed (0,2 m/s) for resuspension af blødbundssedimenter i vinterperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.

7.1.2 Følsomhedsanalyse

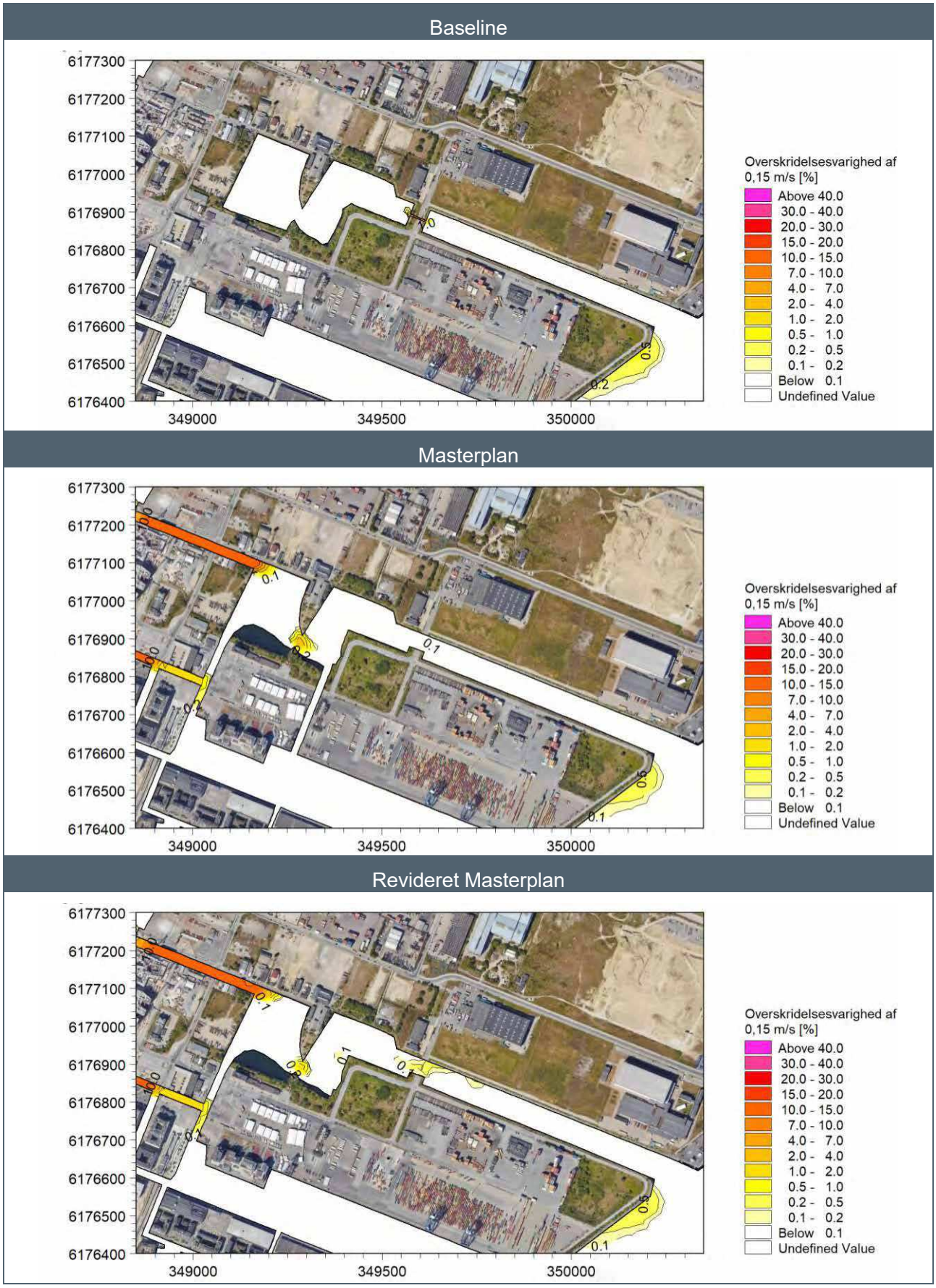
Evalueringen af overskridelsesvarigheder af kritiske strømhastigheder, som kan bevirke ophvirvling, erosion og spredning af kontamineret blødbundssedimenter i Skudehavnen og Skudeløbet, fandt med afsæt i Hjulstrøm-Sundborgs diagram, at der kun vil være en beskeden risiko med et kanalforløb, som defineret i både masterplanen og den reviderede masterplan.

Modellerede størrelser vil altid indeholde et element af usikkerhed, hvilket er vigtigt at inddrage i en risikovurdering. Det har for eksempel betydning, hvis modellens strømhastigheder er underestimerede eller at blødbundssedimentet i Skudehavnen kan mobiliseres lettere end, hvad Hjulstrøm-Sundborgs diagram foreskriver. For at afdække dette er der i det følgende udført en følsomhedsanalyse, som ser på overskridelsesvarigheder af strømhastighederne 0,15 m/s og 0,1 m/s i de to modellerede perioder.

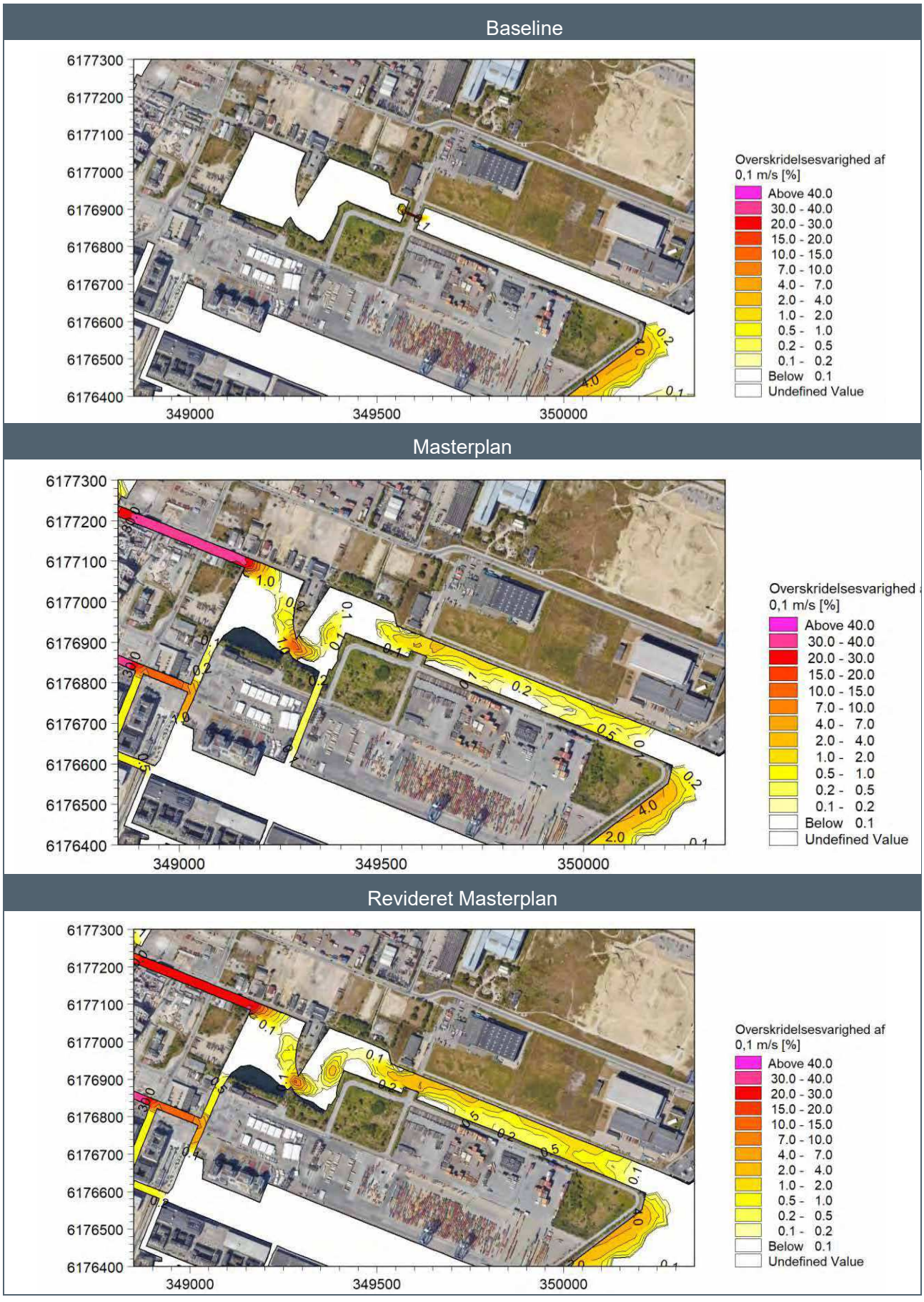
Figur 7.3 viser relative varigheder med overskridelse af 0,15 m/s i sommerperioden for baseline, masterplan og revideret masterplan. For baseline er det fortsat kun omkring rørføringen under Skagerraksvej dæmningen, at der er overskridelser. For masterplanen er det forsat kun i indsnævringen i Skudehavnen, at der er en overskridelse af strømkriteriet, men nu med en lidt større varighed (< 2%). Der er også en svag overskridelse (~0,1 %) i Skudeløbet i området ved den fjernede vejdæmning. Her må man dog forventede at bundsedimentet er både konsolideret og ikke-kontamineret. I den reviderede masterplan er påvirkningen i indsnævringen en anelse mindre end i masterplanen, men større i området med den fjernede vejdæmning. Det ændrede anvendte kriterie ses derfor ikke at give anledning til at ændre på konklusionen om, at blødbundssedimentet i Skudehavnen og Skudeløbet vil forblive immobilt i hovedparten af området.

I Figur 7.4 er den tilsvarende analyse lavet med udgangspunkt i et strømkriterie på 0,1 m/s. Dette kriterie har ingen indvirkning på dynamikken i baseline, hvor det fortsat kun er ved rørføringen under Skagerraksvej, at der er overskridelser. I de to masterplaner er der overskridelser i både Skudeløbet og Skudehavnen. Overskridelserne er begrænsede, idet den anvendte skala er ikke-lineær, men med dette anvendte kriterie vil der ske en mindre ophvirvling i kortere perioder og en mindre spredning til de omkringliggende vandområder. Kriteriet på 0,1 m/s svarer til, at modellens strømhastigheder i Skudehavn og Skudeløb skulle være undervurderet med en faktor 2, hvilket på ingen måde er realistisk. Følsomhedsanalysen giver derfor ingen anledning til at ændre på den tidligere dragne konklusion om blødbundssedimentets immobilitet i hovedparten af området.

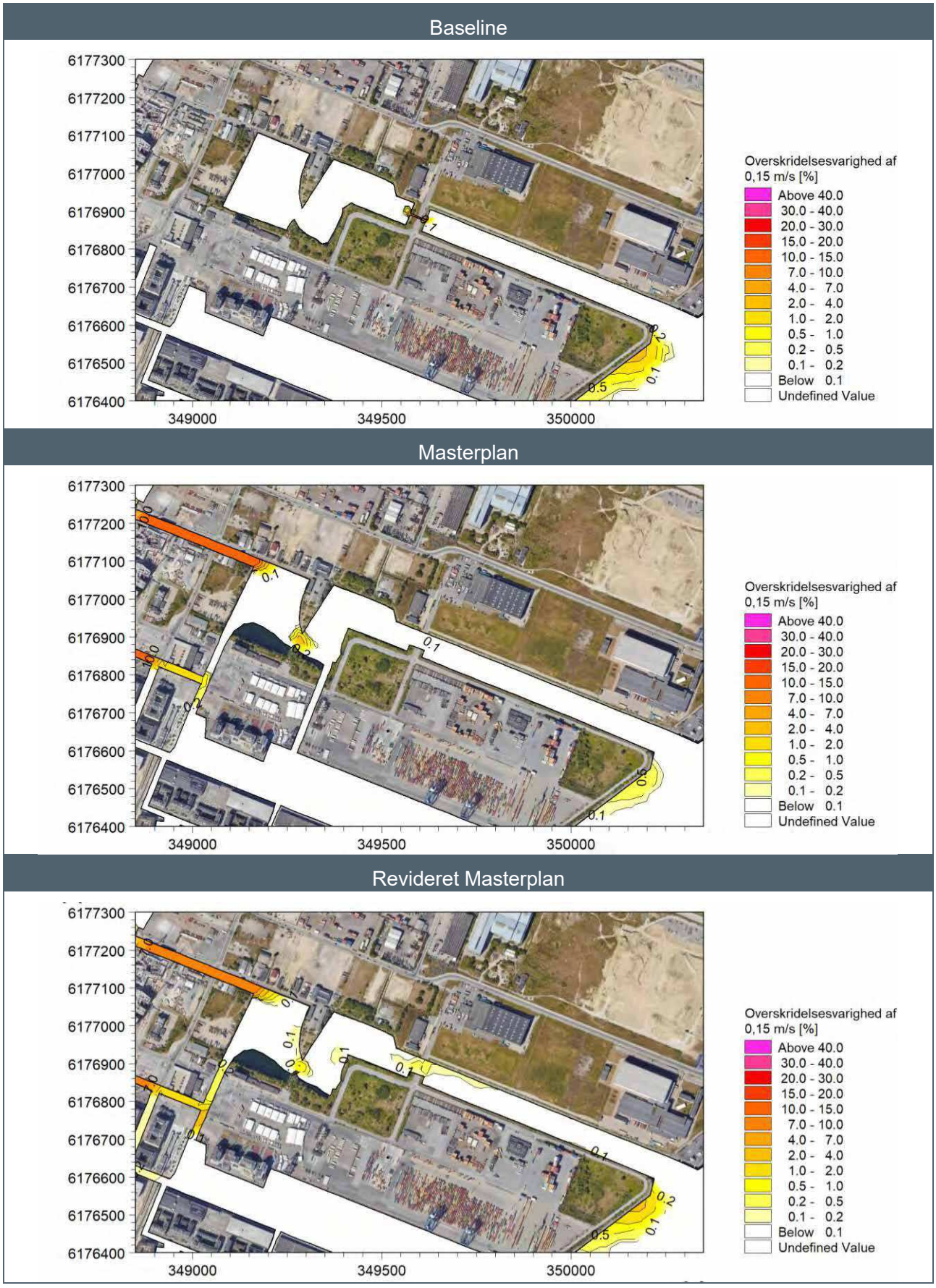
I Figur 7.5 og Figur 7.6 er der lavet tilsvarende analyser for den modellerede vinterperiode. Billedet i vinterperioden er stort set det samme som for sommerperioden, hvorfor de udførte følsomhedsanalyser ikke giver anledning til at ændre på den tidligere dragne konklusion om, at de to masterplaners kanalforløb kun vil føre til sporadisk og begrænset ophvirvling og spredning af blødbundssedimenter i Skudeløbet og Skudehavnen til de omkringliggende vandområder.



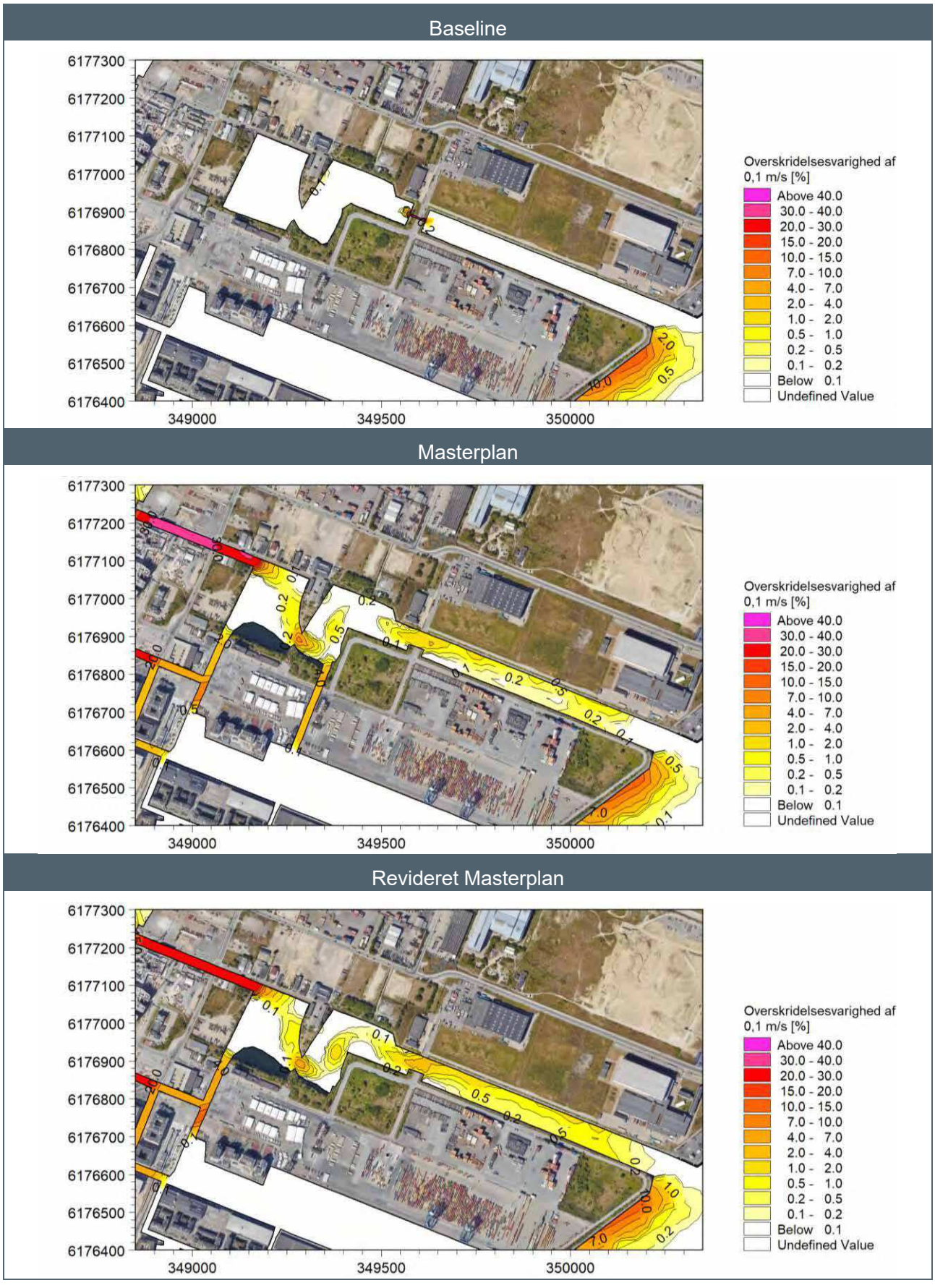
Figur 7.3 **Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,15 m/s) i sommerperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 7.4 **Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,10 m/s) i sommerperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



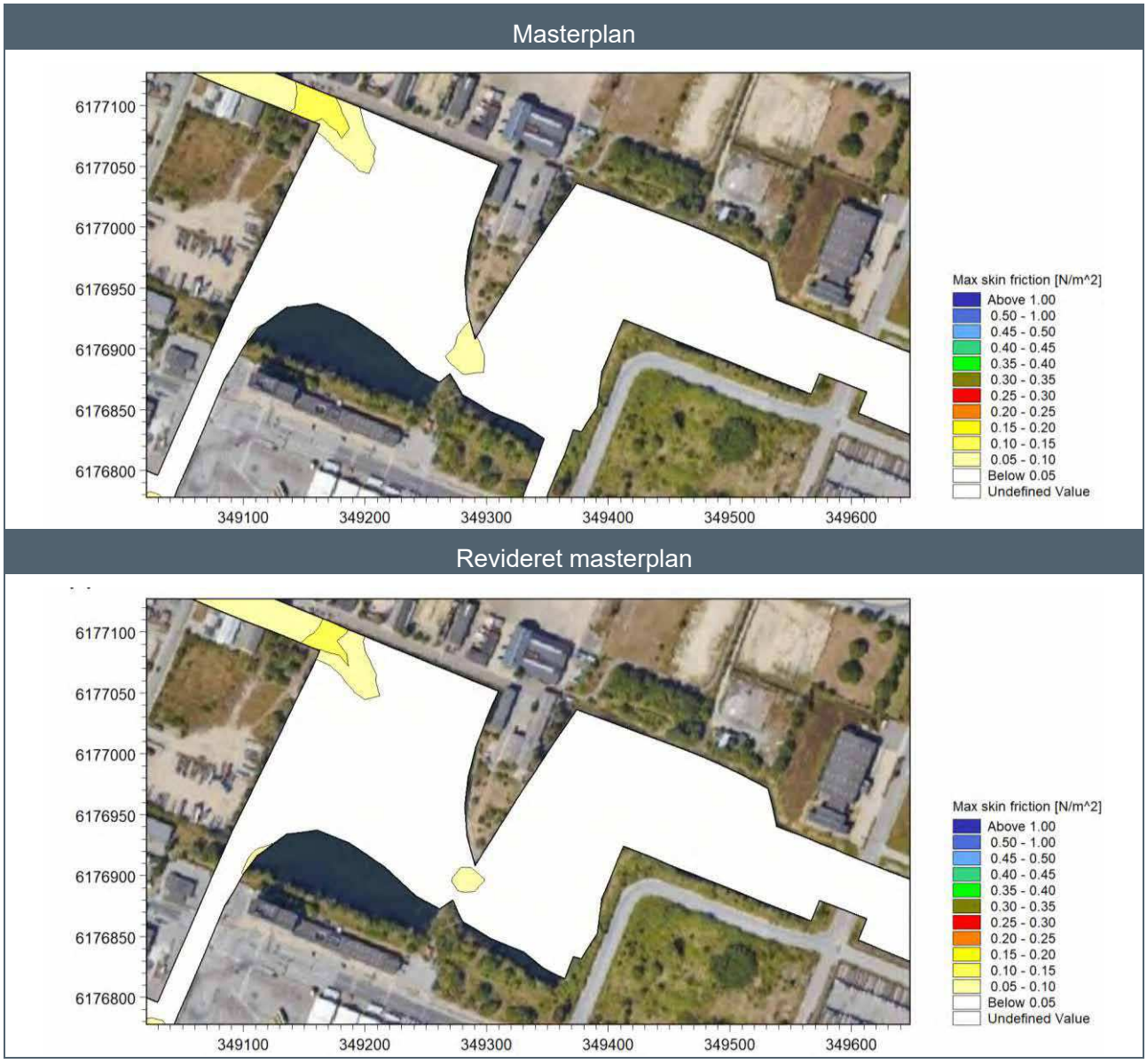
Figur 7.5 **Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,15 m/s) i vinterperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.



Figur 7.6 **Relativ overskridelsesvarighed af strømhastighed 0,10 m/s) i vinterperiode.**
Øverst: baseline, midt: masterplan og nederst: revideret masterplan.

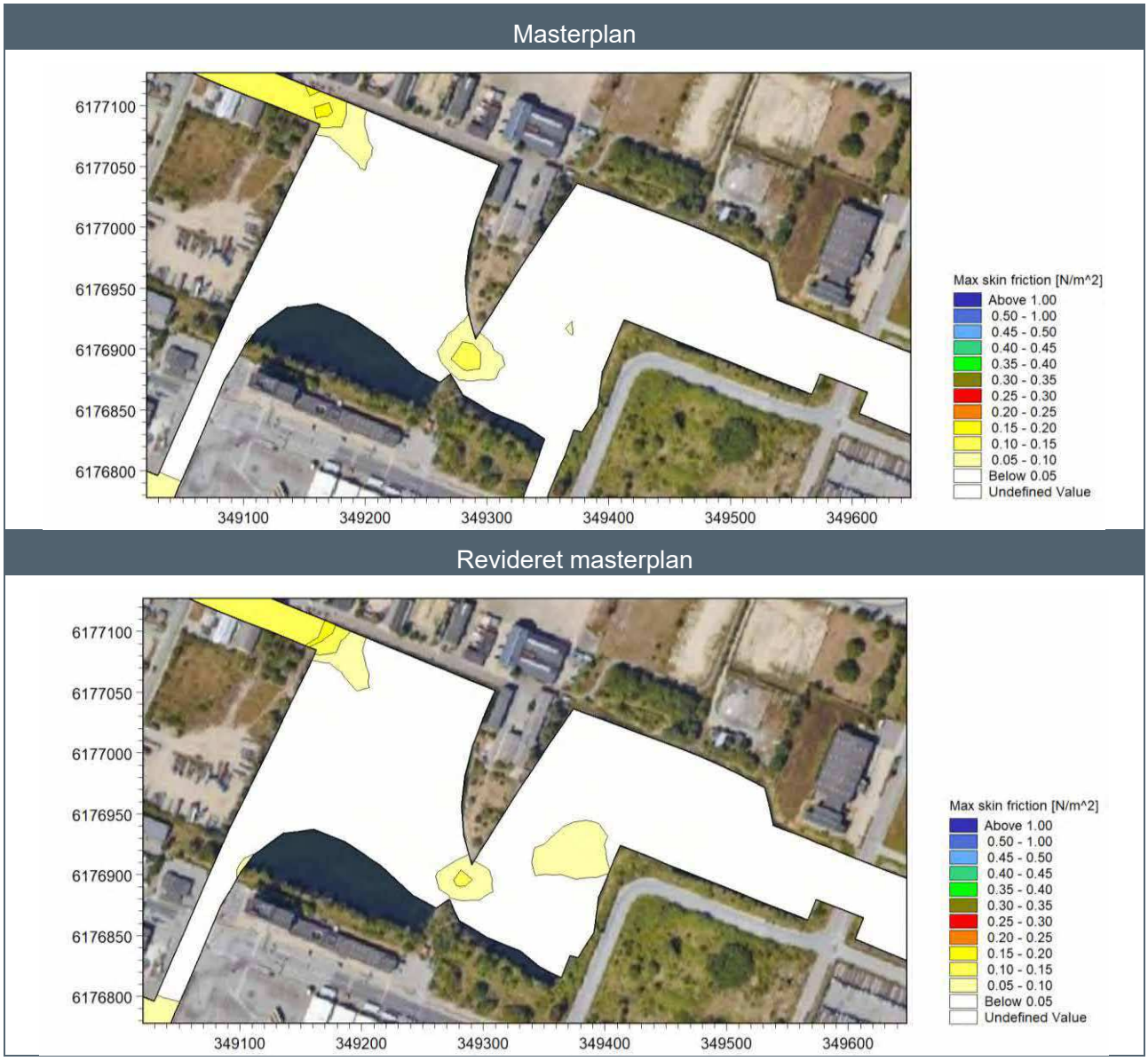
7.2 Sedimentspredning

Analysen, som tog afsæt i Hjulstrøm-Sundborgs diagram og strømhastigheder i Skudehavnen og Skudeløbet, fandt, at der ikke er en betydende risiko for ophvirvling og sedimentspredning til de omkringliggende vandområder. I sedimenttransportmodellering af finkornet sediment er den styrende faktor relateret til den af blødbundssedimentet oplevede bundforskydningsspænding, som på engelsk betegnes *skin friction*. En bund med kohæsive blødbundssedimenter vil forblive immobil, indtil den oplevede bundforskydningsspænding overstiger den kritiske tærskelværdi for erosion. Tærskelværdien afhænger dels af, hvor godt sedimentet er konsolideret, men også af hvor stift sedimentet er sammenbundet. *Skin friction* bidraget afhænger af den lokale bundruhed K_N, som skabes af sedimentkornene på bunden. For en turbulent strømning vil K_N typisk svare til 2,5 gange mediankorndiameteren. For blødbundssedimenter domineret af silt og lerpartikler vil en bundruhed på 1 mm typisk udgøre en fornuftig værdi. For den her udførte risikovurdering er det imidlertid valgt også at anvende en bundruhed på 5 mm, da denne antagelse er mere konservativ og resulterer i en kraftigere påvirkning af bunden. Med afsæt i bundruheden på 5 mm er der beregnet en maksimum-bundforskydningsspænding for både sommerperiode og vinterperiode.



Figur 7.7 Beregnet maksimum *skin friction* i sommerperiode.

Figur 7.7 viser konturplot af de højeste forekommende bundforskydningsspændinger baseret på en konservativt valgt bundruhed (K_N = 0,5 mm) for henholdsvis masterplan og revideret masterplan i sommerperioden. Konturplottene viser i lighed med strømanalyserne, at risikoen for ophvirvling er størst ved indsnævringen i Skudehavnen samt i overgangen til kanalen, som er forbundet til Kalkbrænderihavnen. Niveauerne er en anelse kraftigere i masterplan layoutet end i den reviderede masterplan. Niveauerne optræder kun kortvarigt og erosionsevnen vil være meget begrænset i begge tilfælde. Figur 7.8 viser tilsvarende konturplots for vinterperioden. I vinterperioden er bundforskydningsspændingerne lidt højere end i sommerperioden. Niveauerne er dog stadig så beskedne, at erosionsevnen vil være meget begrænset og kun relateret til begrænsede områder.



Figur 7.8 Beregnet maksimum *skin friction* i vinterperiode.

7.2.1 Resuspension

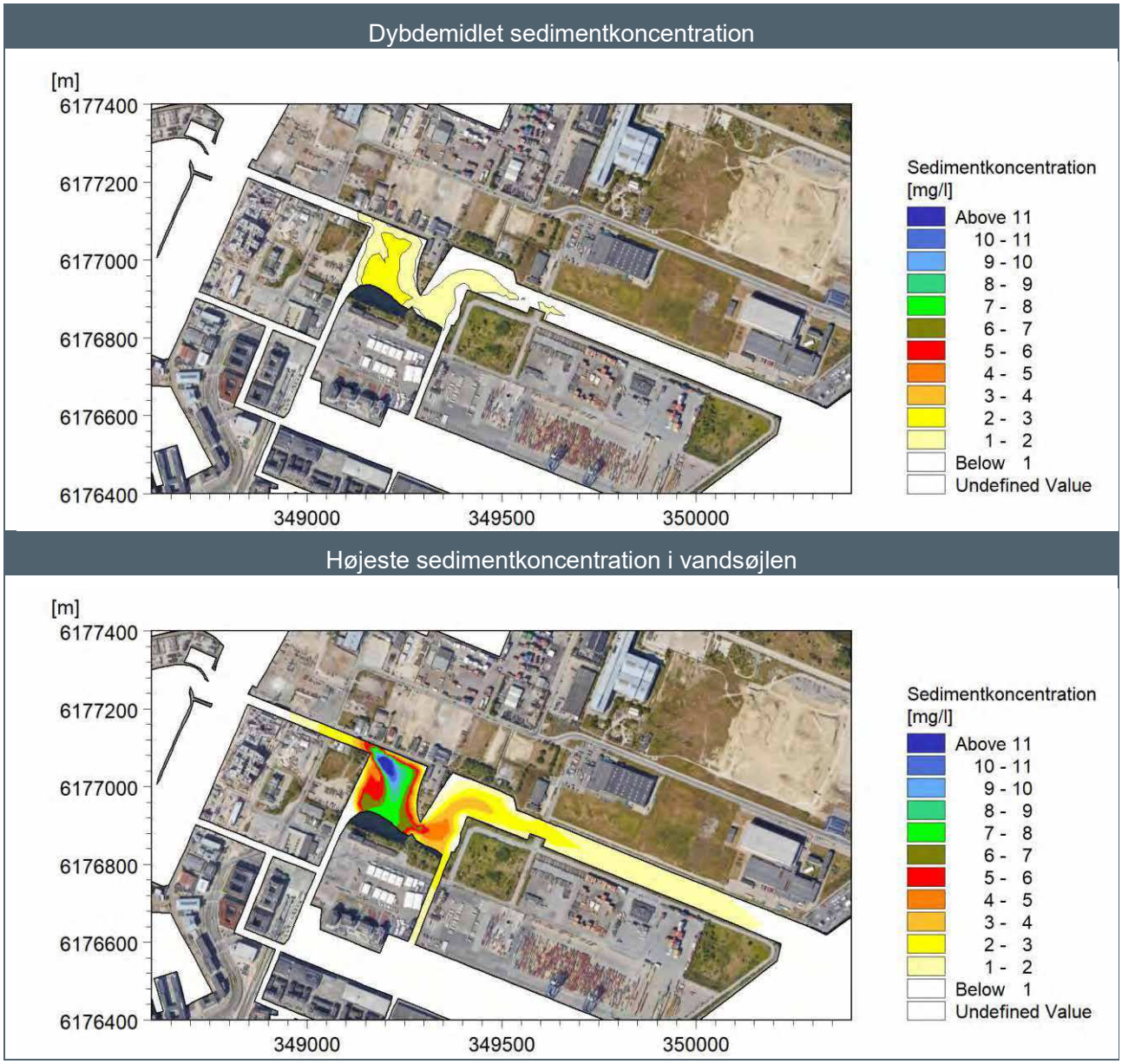
Blødbundssedimentet vil kunne eroderes og bringes i suspension, når bundforskydningsspændingen bliver så stor, at den kan bryde bundlaget og hvirvle bundsedimentet op. Da materialet må forventes at være dårligt konsolideret, er det valgt at anvende en lav værdi for den kritiske forskydningsspænding τ_{ce} (0,07 N/m^2), som kriterie for hvornår bundsedimentet bringes i suspension. I erosionsbeskrivelse er der anvendt Parchure og Mehtas beskrivelse (1995) for blødbundssediment:

$$E = E_0 \exp\left(\alpha\sqrt{\tau_b - \tau_{ce}}\right)$$

hvor E er erosionsraten, E_0 er en erosionskoefficient, som erfaringsmæssigt er omkring 10 mg/m^2/s og koefficienten α = 8,3. τ_b er bundforskydningsspændingen, som skal være større end den kritiske værdi, før der finder erosion og opslæmning i vandsøjlen sted. Det ses af formlen, at der er en eksponentiel udvikling i erosionsraten i takt med, at bundforskydningsspændingen overstiger den kritiske tærskelværdi for erosion.

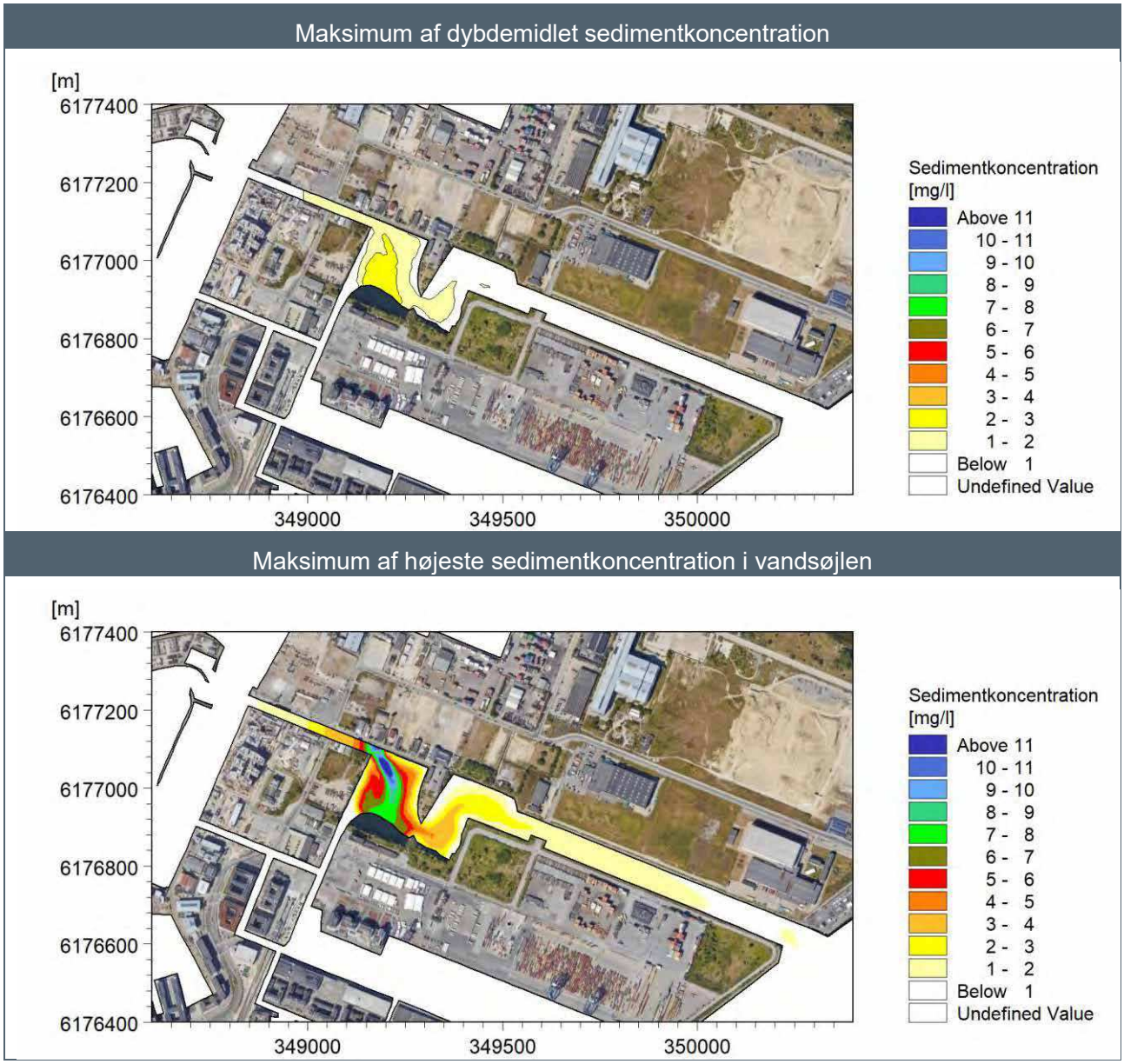
7.2.2 Maksimum sedimentkoncentrationer

Blødbundsmateriale består primært af finkornet sediment domineret af silt og ler. Når materialet ophvirvles, vil det derfor falde langsomt ud af vandsøjlen. I de her udførte beregninger er der antaget en faldhastighed på 0,1 mm/s svarende til faldhastigheder for finkornet silt. Da sedimentet ophvirvles fra bunden og har en faldhastighed i vandsøjlen, vil sedimentkoncentrationen variere over dybden. I de her præsenterede analyser er der udført to statistiske analyser, hvor maksimum sedimentkoncentrationer er fundet som den største koncentration over dybden og som dybdemidlet koncentration.



Figur 7.9 **Maksimum sedimentkoncentration for masterplan i sommerperioden.**
Øverst: Dybdemidlet, Nederst: Største sedimentkoncentration i vandsøjlen.

De i dette afsnit viste konturplot af maksimum sedimentkoncentrationer er alene for modelleringer med en konservativt valgt bundruhed (K_N = 5 mm). I modelleringen med en realistisk bundruhed (K_N = 1 mm) er sedimentkoncentrationerne noget lavere. Maksimum konturplot er ikke et øjebliksbillede, men repræsenterer de værste forhold på den enkelte lokalitet igennem sommer- eller vinterperioden. Erosion af blødbundssedimentet er alene relateret til områderne ved overgangen til kanalen, som forbinder Skudehavnen og Kalkbrænderihavnen og indsnævringen inde i Skudehavnen. I disse to områder vil der derfor være høje sedimentkoncentrationer ved bunden, mens det længere væk vil være bedre opblandet i vandsøjlen. Uden for erosionsområderne vil det ophvirvlede sediment langsomt aflejres. En del af det ophvirvlede sediment vil derfor blive aflejret i Skudehavnen og Skudeløbet i områder, hvorfra det ikke vil kunne mobiliseres.

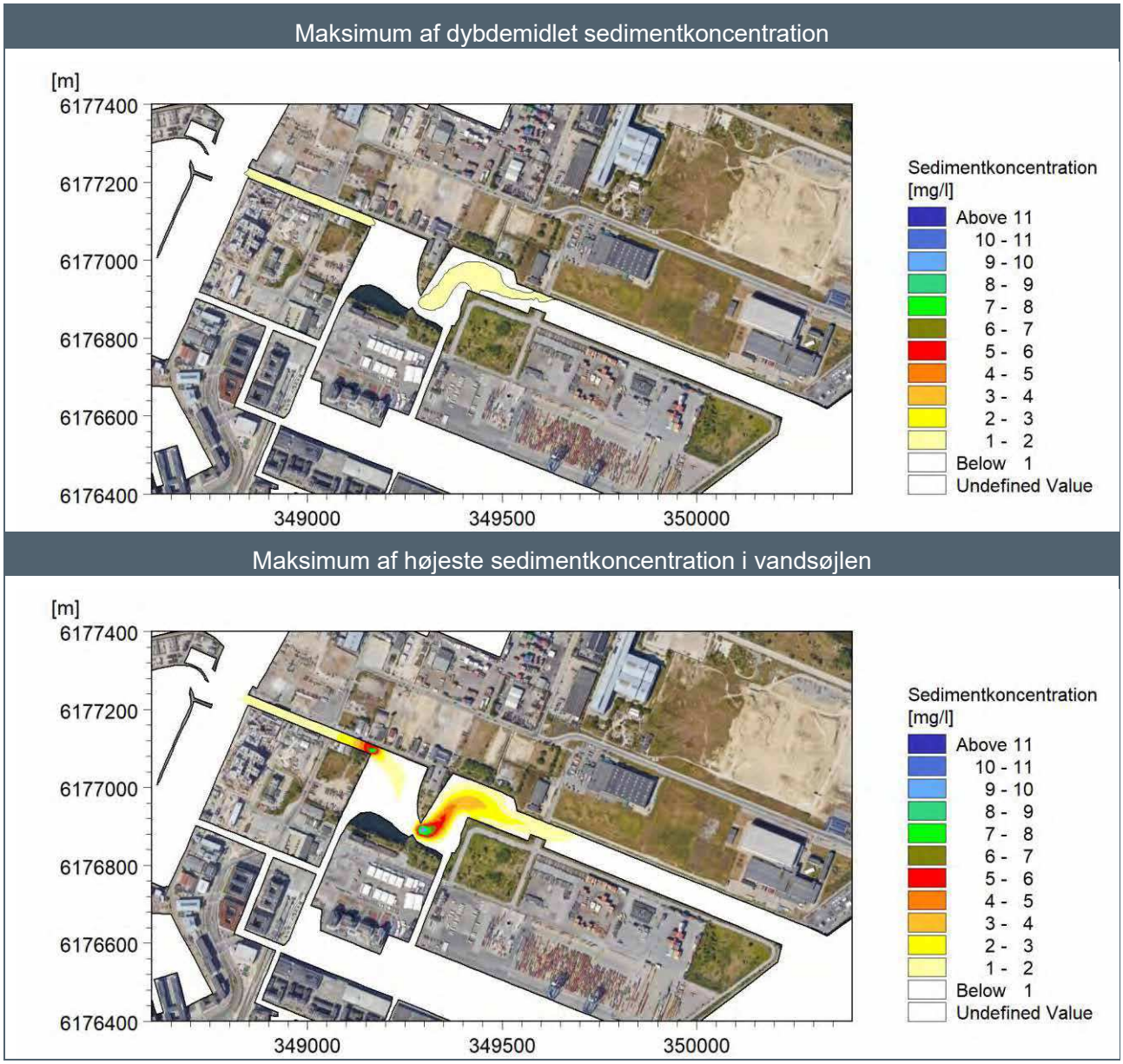


Figur 7.10 Maksimum sedimentkoncentration for revideret masterplan i sommerperioden.
Øverst: Dybdemidlet, Nederst: Største sedimentkoncentration i vandsøjlen.

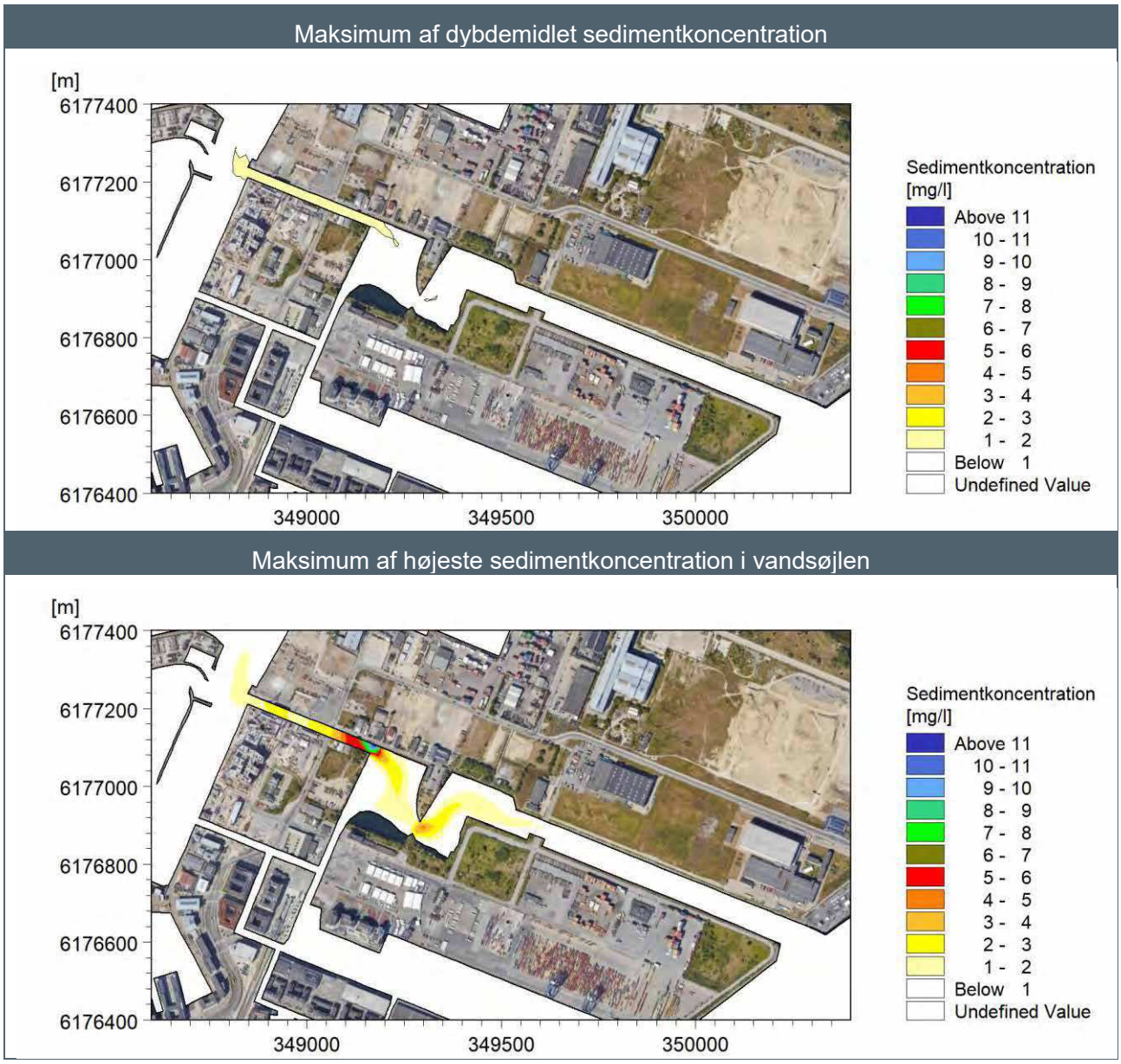
Figur 7.9 og Figur 7.10 viser maksimumkoncentrationer for henholdsvis masterplan og revideret masterplan i den modellerede sommerperiode. Koncentrationsniveauerne er stort set ens masterplanerne imellem, hvilket skyldes at kanalforbindelserne til Orientbassinet er af mindre betydning end Skudeløbet og kanalforbindelsen til Kalkbrænderihavnen. De maksimale dybdemidlede

sedimentkoncentrationer når ikke over 3 mg/l, hvilket betyder, at der ikke vil kunne ses en synlig sedimentfane. Maksimumkoncentrationen i vandsøjlen, når helt lokalt op på 19 mg/l i masterplan layoutet og 18 mg/l i det reviderede masterplan layout.

Figur 7.11 og Figur 7.12 viser de tilsvarende konturplot for vinterperioden, hvor påvirkningen er mindre. De dybdemidlede sedimentkoncentrationer overstiger på intet tidspunkt 2 mg/l, hvorfor der ikke vil være synlige sedimentfaner på noget tidspunkt. Maksimumkoncentrationen i vandsøjlen, når helt lokalt op på 12 mg/l i masterplan layoutet og 14 mg/l i det reviderede masterplan layout. I masterplan layoutet er der dog højere koncentrationer ved indsnævringen inde i Skudehavnen end i den reviderede masterplan.



Figur 7.11 Maksimum sedimentkoncentration for masterplan i vinterperioden.
Øverst: Dybdemidlet, Nederst: Største sedimentkoncentration i vandsøjlen.



Figur 7.12 **Maksimum sedimentkoncentration revideret masterplan i vinterperioden.**
Øverst: Dybdemidlet, Nederst: Største sedimentkoncentration i vandsøjlen.

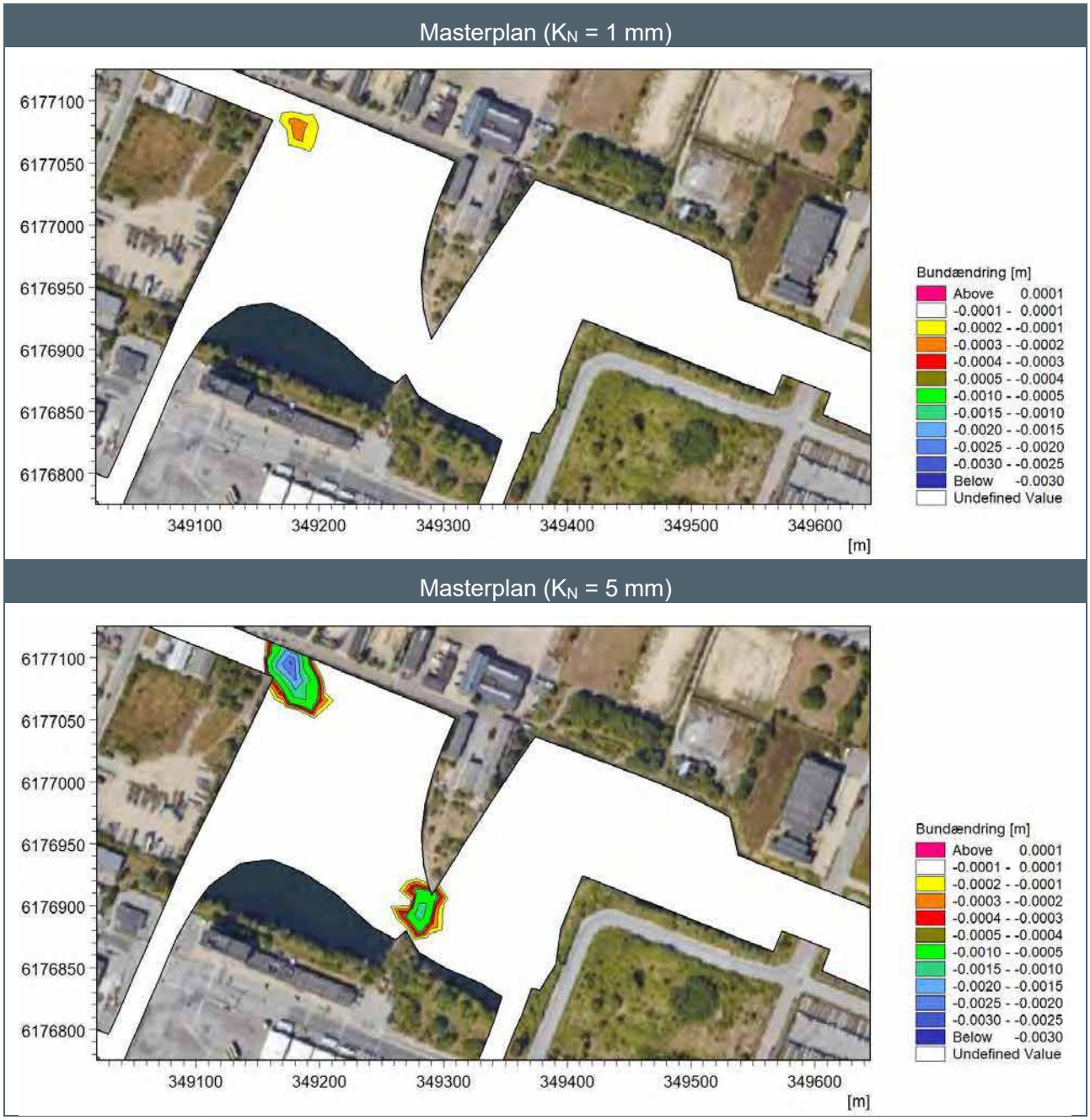
7.2.3 Bundændringer som følge af erosion

Med afsæt i den valgte erosionsbeskrivelse beskrevet i afsnit 7.2.1 er der gennemført modelberegninger for sommer- og vinterperioderne med henholdsvis en realistisk bundruhedsantagelse og en konservativ antagelse. De herved fundne bundændringer er beskrevet i det følgende for masterplan og revideret masterplan layout. Bundændringerne er baseret på en antagelse om, at det eroderede blødbundsmateriale har en tørdensitet 450 kg/m^3. Denne tørdensitet repræsenterer ukonsolideret materiale med et relativt højt vandindhold.

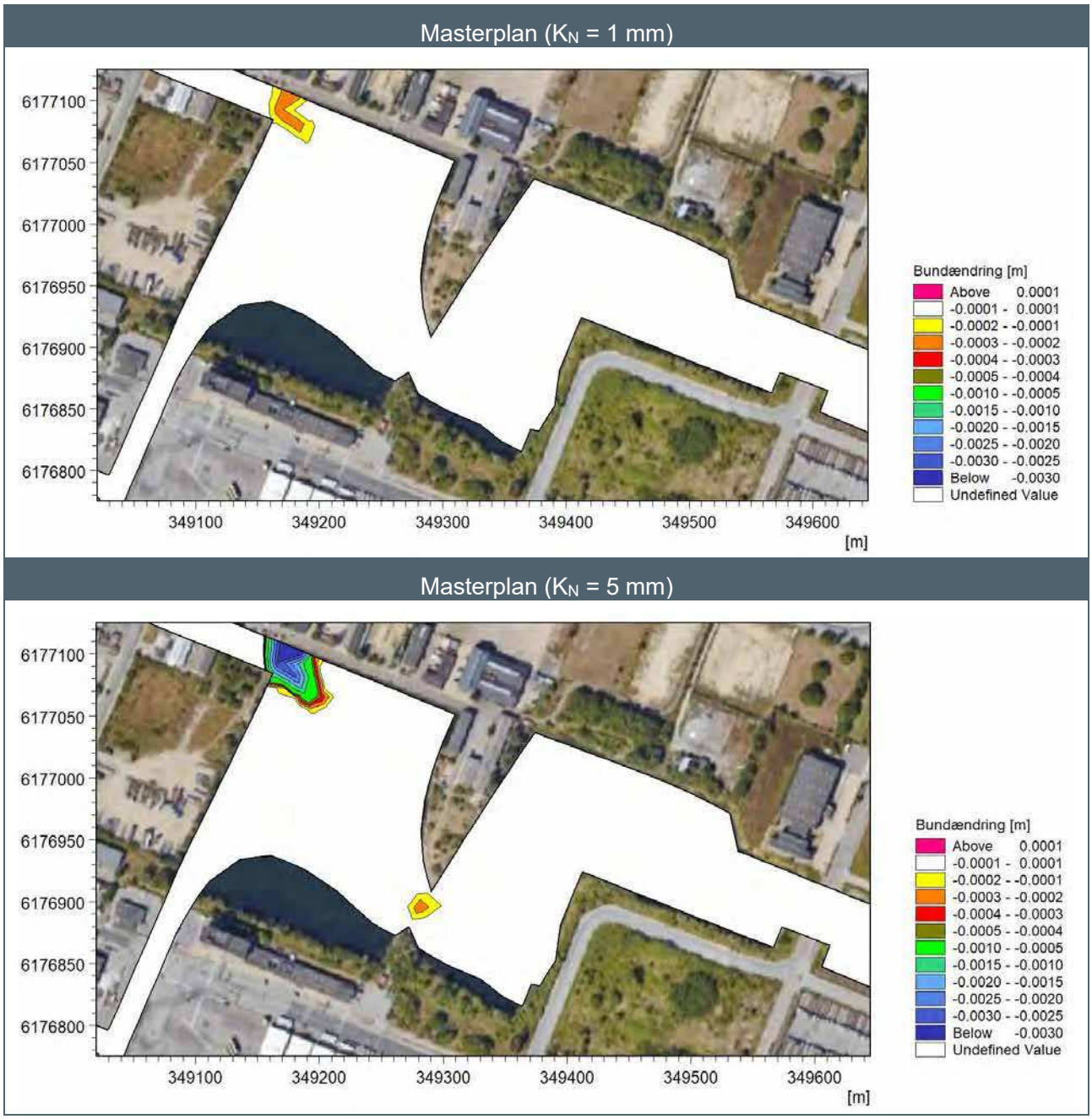
Figur 7.13 viser bundændringer i løbet af den 3,5 måneder lange sommerperiode med masterplan layout for de to forskellige antagelser om bundruhed. I modelleringen baseret på en realistisk bundruhed og en lav tærskelværdi for erosion, er der en meget beskeden erosion i området i overgangen til den nordlige forbindelseskanal, som forbinder Skudehavnen med Kalkbrænderihavnen. Den beregnede erosion er mindre end 0,3 mm svarende til ingen erosion. I simuleringen med en konservativt valgt bundruhed er påvirkningen lidt kraftigere. Der er erosion i overgangen til kanalen med forbindelse til

Kalkbrænderihavnen, samt ved indsnævringen inde i Skudehavnen. Med disse antagelser er der en erosion på op til 3 mm ved overgangen til kanalen og op til 1,5 mm ved indsnævringen.

Figur 7.14 viser bundændringer for samme periode med revideret masterplan layout. De fundne erosionsmønstre er meget lig det, som er fundet for masterplan layoutet. I simuleringen med en realistisk bundruhed er der erosion i området med overgang til kanalen til Kalkbrænderihavnen på op til 0,3 mm og ingen erosion ved indsnævringen i Skudehavnen. I simuleringen med en konservativt valgt bundruhed er der erosion på op til 4 mm i overgangen til kanalen og op til 0,3 mm ved indsnævringen i Skudehavnen. Den fjernede kanal i den reviderede masterplan resulterer dermed i en noget svagere erosionspåvirkning ved indsnævringen, men lidt kraftigere erosionspåvirkning ved overgangen til kanalen, som forbinder Skudehavnen og Kalkbrænderihavnen.



Figur 7.13 Bundændring i sommerperiode (3,5 måneder) med masterplan layout.
Øverst: Realistisk bundruhed, nederst: Konservativ valgt bundruhed.

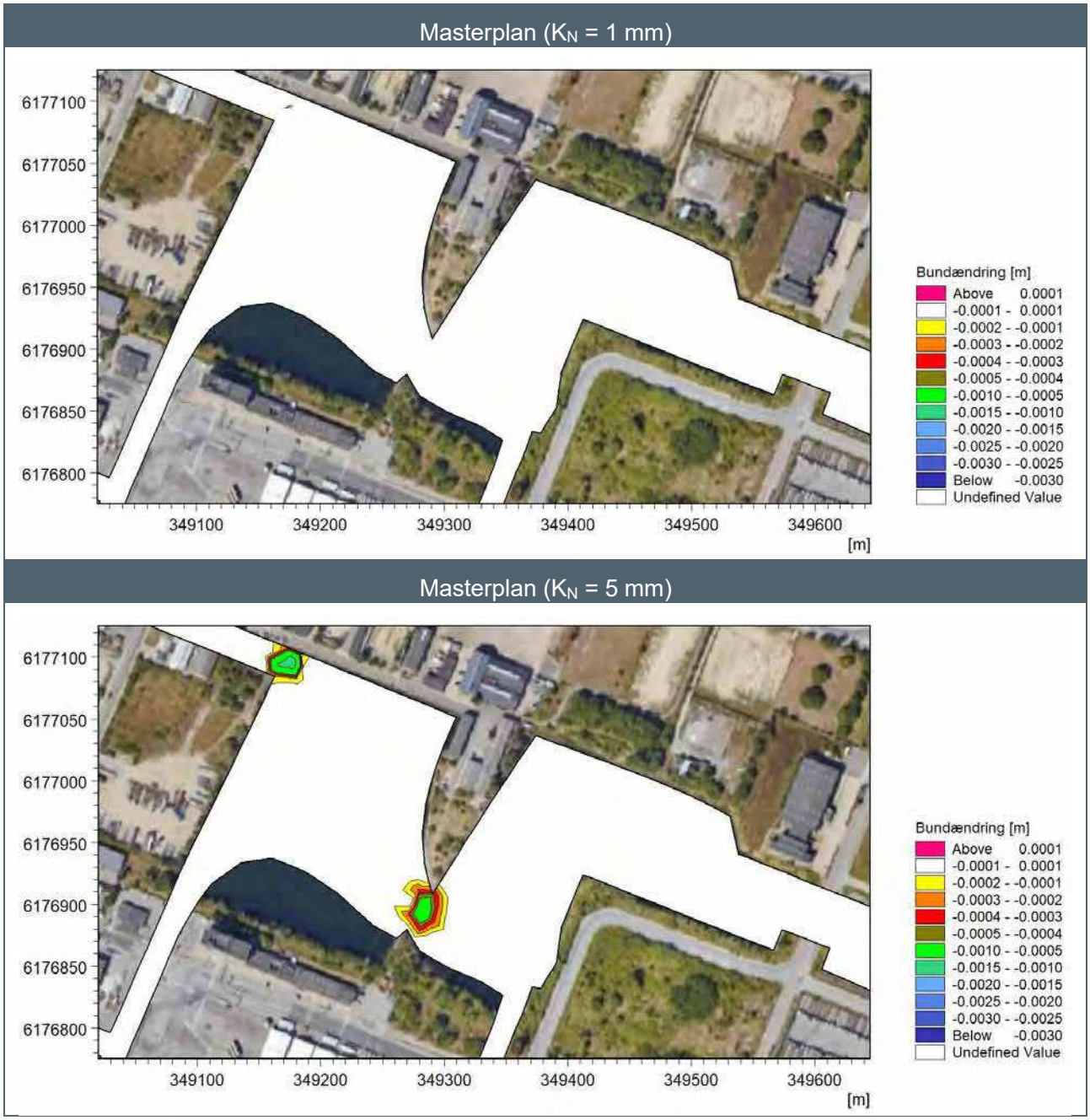


Figur 7.14 **Bundændring i sommerperiode (3,5 måneder) med revideret masterplan layout.**
Øverst: Realistisk bundruhed, nederst: Konservativ valgt bundruhed.

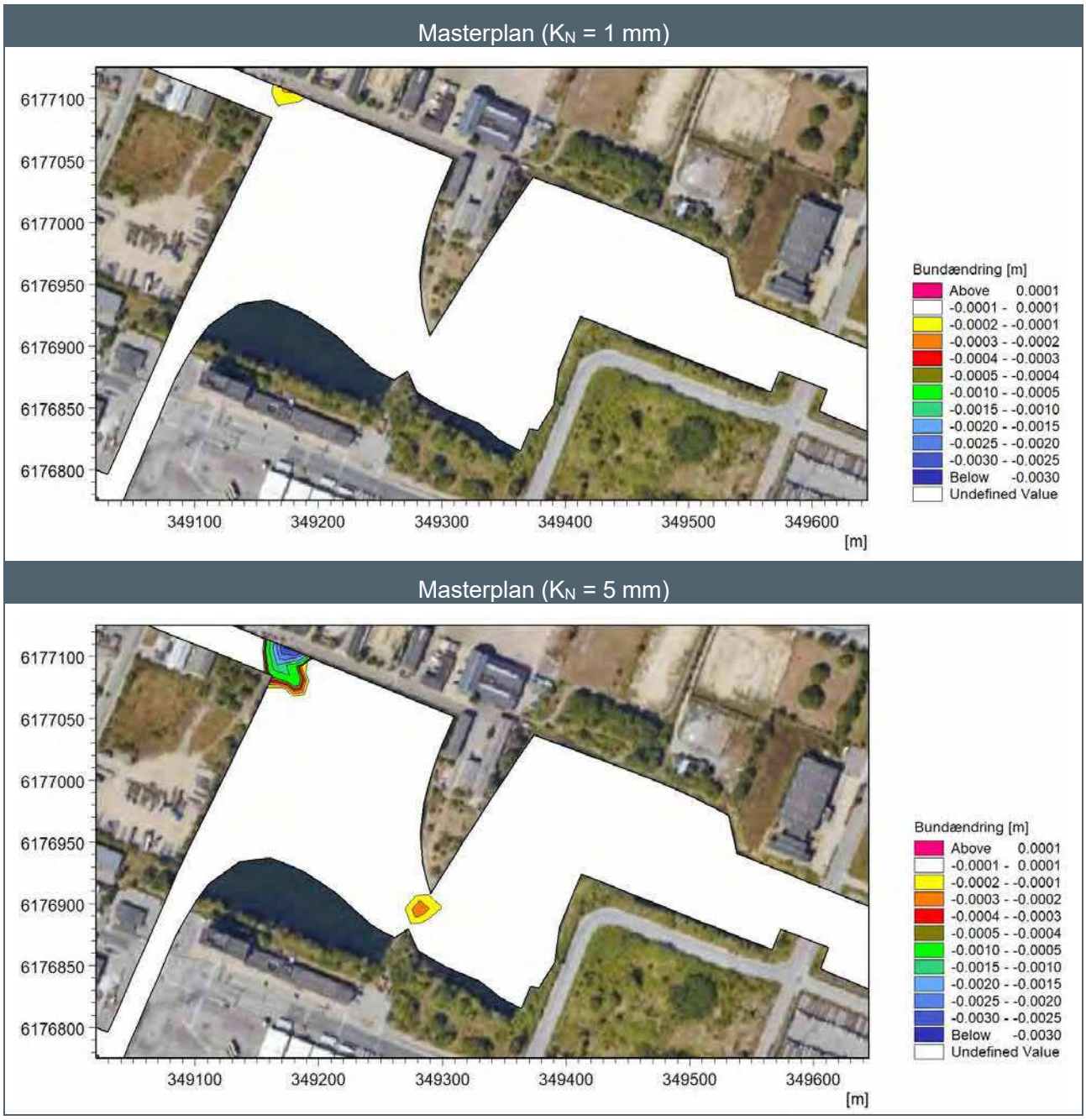
Figur 7.15 viser bundændringer i løbet af den 4 måneder lange vinterperiode med masterplan layout for de to forskellige antagelser om bundruhed. I modelleringen baseret på en realistisk bundruhed og en lav tærskelværdi for erosion, er der en næsten usynlig erosion i området i overgangen til den nordlige forbindelseskanal, som forbinder Skudehavnen med Kalkbrænderihavnen. Den beregnede erosion er mindre end 0,1 mm svarende til ingen erosion. I simuleringen med en konservativt valgt bundruhed er påvirkningen lidt kraftigere. Der er erosion i overgangen til kanalen med forbindelse til Kalkbrænderihavnen, samt ved indsnævringen i Skudehavnen. Med disse antagelser er der en erosion på op til 1,5 mm ved overgangen til kanalen og op til 1 mm ved indsnævringen. Påvirkningen er dermed mindre end i sommerperioden, hvor lagdelingseffekter er større.

Figur 7.16 viser bundændringer for samme periode med revideret masterplan layout. De fundne erosionsmønstre er meget lig det, som er fundet for masterplan layoutet. I simuleringen med en realistisk bundruhed er der erosion i området med overgang til kanalen til Kalkbrænderihavnen på op til ~0,2 mm

og ingen erosion ved indsnævringen i Skudehavnen. I simuleringen med en konservativt valgt bundruhed er der erosion på op til 2,5 mm i overgangen til kanalen og op til 0,3 mm ved indsnævringen i Skudehavnen. Den fjernede kanal i den reviderede masterplan resulterer dermed i en noget svagere erosionspåvirkning ved indsnævringen, men lidt kraftigere erosionspåvirkning ved overgangen til kanalen som forbinder Skudehavnen og Kalkbrænderihavnen. Påvirkningen er dermed mindre end i sommerperioden, hvor lagdelingseffekter er større.



Figur 7.15 Bundændring i vinterperiode (4 måneder) med masterplan layout.
Øverst: Realistisk bundruhed, nederst: Konservativ valgt bundruhed.



Figur 7.16 Bundændring i vinterperiode (4 måneder) med revideret masterplan layout.
Øverst: Realistisk bundruhed, nederst: Konservativ valgt bundruhed.

7.2.4 Spredning til omkringliggende vandområde

I sedimentspredningsberegningerne er der fundet en meget svag erosion af blødbundssedimentet på to lokaliteter i Skudehavnen. I beregningerne baseret på en realistisk bundruhed og lav kritisk forskydningsspænding for erosion er der fundet en meget lille påvirkning, mens den er lidt større i beregningerne, hvor der er antaget en konservativ bundruhed. Sedimentspredningen til de omkringliggende vandområder sker gennem de 4 (masterplan) eller 3 (revideret masterplan) kanaler navngivet i Figur 7.17.



Figur 7.17 Kanalsnittenes nummerering og placering.

Med afsæt i modelberegninger er sedimentspredningen via de forskellige kanalforbindelser estimeret. Resultatet af denne analyse er sammenfattet i Tabel 7.1. Tabellen viser, at spredningen er meget begrænset i modelleringerne baseret på en realistisk bundruhed og 14-20 gange større i modelleringerne med en konservativt valgt bundruhed. Det ses, at spredning primært sker via Skudeløbet og den nordlige kanal som forbinder Skudehavnen og Kalkbrænderihavnen. Spredningen er størst i sommerperioden. I sommerperioden sker spredningen primært til Kronløbet via Skudeløbet, mens den største spredning i vinterperioden sker til Kalkbrænderihavnen via den nordvestlige kanalforbindelse.

Tabel 7.1 Kumuleret spredning af blødbundsediment fra Skudehavnen opgjort i [kg].
MP: Masterplan, RP: Revideret masterplan, S: Sommerperiode, V: Vinterperiode.

Konfiguration	Snit 1 [kg]	Snit 2 [kg]	Snit 3 [kg]	Snit 4 [kg]	Snit 1-4 [kg]
MP-S K_N = 1 mm	31,4	4,0	-0,3	1,3	**36,7**
MP-S K_N = 5 mm	575,7	61,4	0,4	71,9	**709,4**
RP-S K_N = 1 mm	45,8	-	0,0	3,4	**49,1**
RP-S K_N = 5 mm	673,6	-	1,0	90,1	**764,7**
MP-V K_N = 1 mm	9,4	0,1	-0,0	18,8	**28,2**
MP-V K_N = 5 mm	177,0	6,0	-0,3	212,5	**395,3**
RP-V K_N = 1 mm	0,9	-	-0,1	28,1	**29,0**
RP-V K_N = 5 mm	176,8	-	-0,5	311,5	**487,9**

8 Spredning af miljøfremmede stoffer

Risikoanalysen for ophvirvling og spredning af blødbundsediment fandt en lille risiko med meget begrænset sedimentspredning. Ophvirvling kan kun finde sted i begrænsede områder og ikke særlig ofte. I dette afsnit er der beregnet en spredning af de miljøfremmede stoffer med afsæt i de udførte sedimentspredningsberegninger. Der er ligeledes lavet en vurdering af risikoen for overskridelse af maksimumkvalitetskravet angivet i Bek. 1668, ref. /6/, for de stoffer, som via en screening er fundet mest kritiske. Denne vurdering er kun udført for de sedimentspredningsberegninger, som er baseret på meget konservative antagelser.

8.1 Screening af stoffer

Sedimentspredningsberegningerne viser, at risikoen for ophvirvling alene er relateret til området ved overgangen til den nordlige kanal, som forbinder Skudehavnen og Kalkbrænderihavnen, samt ved indsnævringen inde i Skudehavnen. Med dette in mente er det derfor alene relevant at se på de målte forureningsniveauer i stationerne Sk_01, Sk_05 og Sk_06. For at sikre et konservativt estimat anvendes den størst målte værdi i de efterfølgende beregninger. Eneste undtagelse er for TBT, hvor den målte koncentration afviger fra alle øvrige målinger med mere end en faktor 63, hvorfor den betragtes som en outlier og ikke-repræsentativ til brug for vurderingen. Tabel 8.1 angiver resultatet af screeningen med en rangering af de mest kritiske stoffer.

Tabel 8.1 Fastlæggelse af stoffer med størst risiko for overskridelse af miljøkriterie.

Station		Sk_01	Sk_05	Sk_06	**Maks**	Screeningsfaktor	Rang
Metaller							
Antimon (Sb)	mg/kg TS	<1	2	3	**3**	0,017	11
Arsen (As)	mg/kg TS	11	5	3	**11**	12,09	5
Barium (Ba)	mg/kg TS	1	3	2	**3**	0,021	10
Bly (Pb)	mg/kg TS	265	117	76	**265**	18,93	4
Cadmium (Cd)	mg/kg TS	2,2	0,93	0,35	**2,2**	4,89	6
Chrom (Cr)	mg/kg TS	33	23	12	**33**	0,39	8
Kobber (Cu)	mg/kg TS	378	89	46	**378**	248,7	1
Kviksølv (Hg)	mg/kg TS	1,5	1,2	0,57	**1,5**	22,83	3
Molybdæn (Mb)	mg/kg TS	7	<0,3	0,8	**7**	0,012	12
Nikkel (Ni)	mg/kg TS	24	17	10	**24**	0,71	7
Selen (Se)	mg/kg TS	4	4	4	**4**	0,13	9
Zink (Zn)	mg/kg TS	596	223	155	**596**	97,7	2
Organotinforbindelser							
TBT-kation	µg/kg TS	12.100	191	175	**191**	127,3	3
PAH'er							
Phenanthren	mg/kg TS	0,44	0,23	0,27	**0,44**	0,070	9
Anthracen	mg/kg TS	0,16	0,1	0,11	**0,16**	1,6	8
Fluoranthen	mg/kg TS	2,4	2,4	2,4	**2,4**	20	7
Pyren	mg/kg TS	3,2	2,3	2,9	**3,2**	80	5
Benz(a)anthracen	mg/kg TS	1,2	1,2	0,87	**1,2**	120	4
Chrysen	mg/kg TS	0,98	0,72	0,73	**0,98**	700	2
Benz(a)pyren	mg/kg TS	1,2	1,2	1,2	**1,2**	44,4	6
Benzo(ghi)perylen	mg/kg TS	0,99	0,9	1	**1**	1.220	1
PCB'er							
PCB (sum af 7)	µg/kg TS	1,2	0,13	<0,007	**1,2**	0,0075	10

Screeningsfaktoren er forholdet mellem forureningen i sedimentet og miljøkvalitetskravet angivet i Tabel 3.5. Analysen og rangeringen er opdelt på metaller og øvrige stoffer, idet miljøkriteriet for metallerne går på filtrede prøver (opløst stof), mens de øvrige vurderes på totalkoncentrationer. Det ses for metallerne, at de 4 mest kritiske stoffer i rangeret rækkefølge er: Kobber, Zink, Kviksølv og Bly, mens det for de øvrige stoffer er: Benzo(ghi)perylen, Chrysen, TBT cation og Benz(a)anthracen.

8.1.1 Statistiske kort og farvepaletter

De i det følgende viste statistiske kort er beregnet for den fulde sommerperiode 1. juni 2019 – 15. september 2019 og vinterperioden 1. november 2019 – 1. marts 2020 med afsæt i sedimentspredningsberegningerne med mest ophvirvling. Maksimumkoncentrationerne viser således den højeste koncentration opnået i hver lokation i de to sæsoner. Til hjælp for vurderingen er der defineret en farvepalette, hvor rød farve angiver overskridelse af det miljømæssige kvalitetskrav for tilførsel af pågældende stof ved ophvirvling, mens de øvrige farver angiver en procentdel af dette miljøkriterie. Den præcise definition af farvepaletten fremgår af Tabel 8.2

Tabel 8.2 **Definition af anvendt farvepalette til vurdering af overholdelse af gældende miljøkrav.** Eksempel for kobber med miljøkriterie 2 µg/l, naturlig baggrund 0,25 µg/l og IFF-koncentration 0,73 µg/l.

Niveau	Maksimum kobber [µg/l]
>100% af MMK	Above 1.5200
75-100% af MMK	1.1400 - 1.5200
50-75% af MMK	0.7600 - 1.1400
25-50% af MMK	0.3800 - 0.7600
5-25% af MMK	0.0760 - 0.3800
1-5% af MMK	0.0152 - 0.0760
0,1-1% af MMK	0.0015 - 0.0152
<0,1% af MMK	Below 0.0015

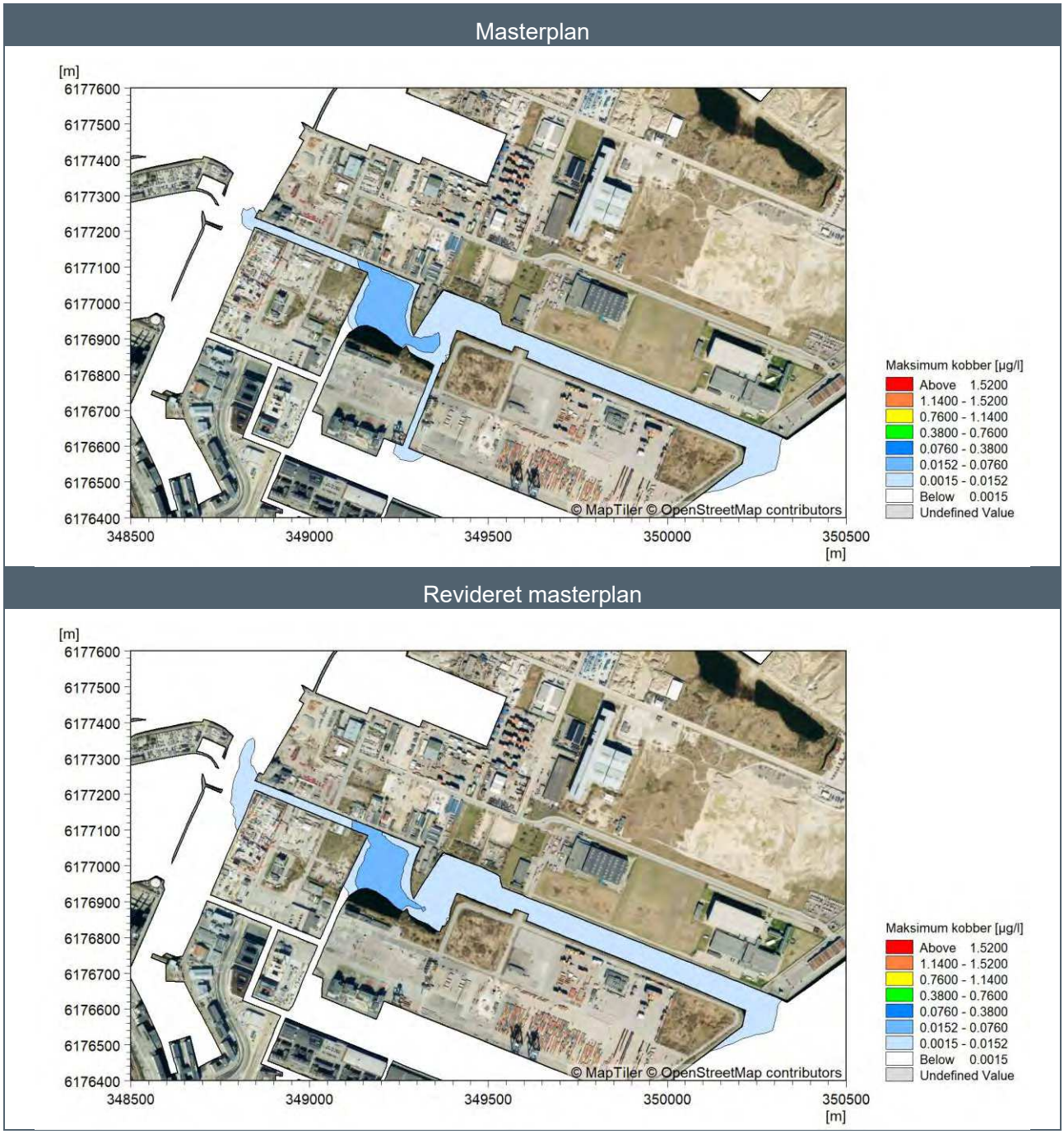
8.2 Spredning i sommerperiode

I de følgende afsnit er maksimumkoncentrationer sammenholdt med maksimummiljøkravet i sommerperioden for 4 metaller, TBT og 3 PAH'er til brug for vurdering af overholdelse af gældende miljøkrav.

8.2.1 Stoffer som vurderes med afsæt i filtrerede prøver (vandopløst)

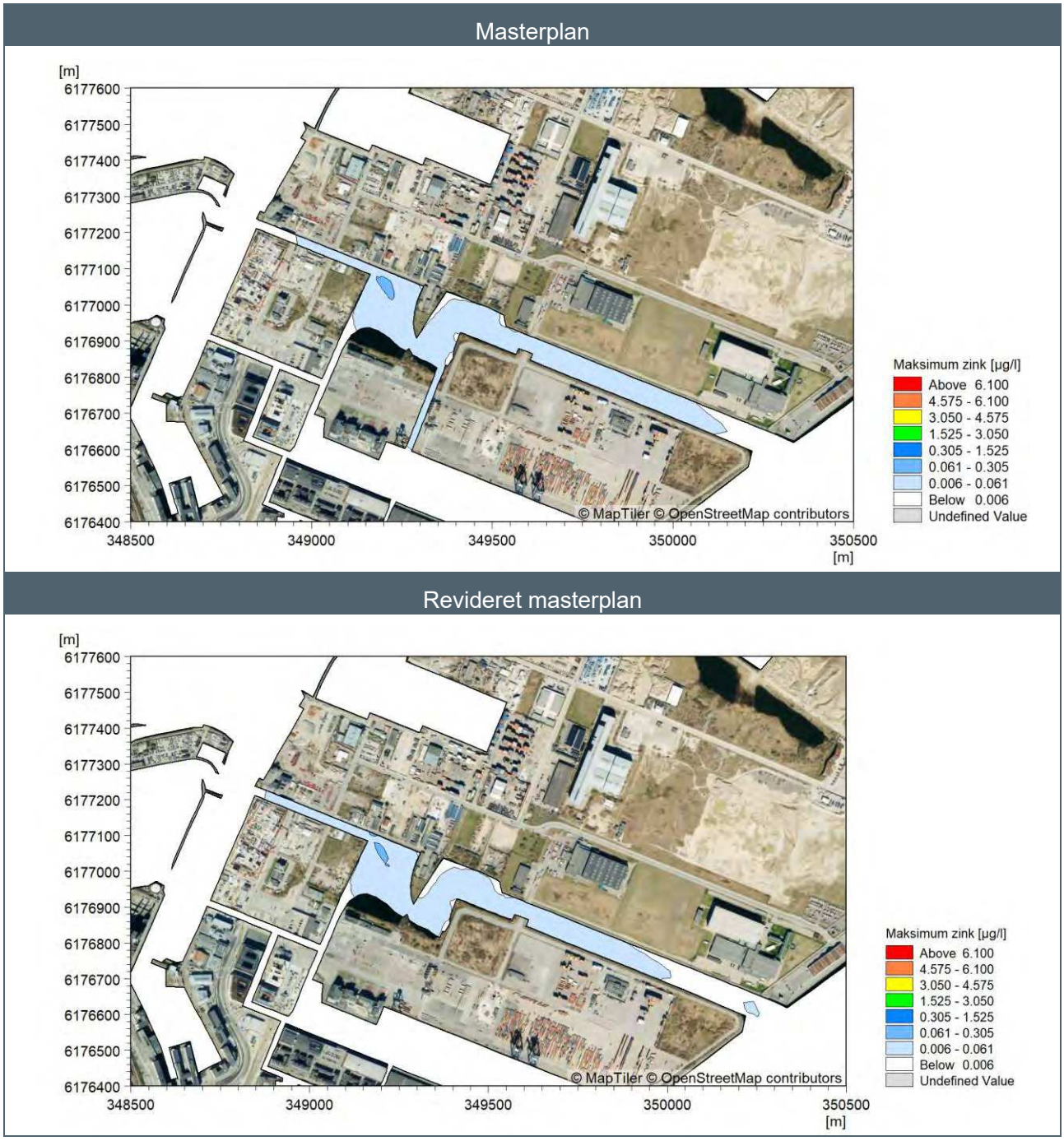
Maksimumkoncentrationerne for de enkelte metaller er alene fastlagt ved skalering af maksimumkoncentrationer af sedimentet i vandsøjlen og ikke en egentlig spredningsberegning, som vandopløst stof med antagelse om en momentan tilførsel i forbindelse med ophvirvling. I stedet er koncentrationen fastlagt ved skalering med stofkoncentrationen i sedimentet og en antagelse om, at 1% af stoffet er opløst og 99% bundet til sedimentet.

Maksimumkravet for vandopløst kobber tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 1,52 µg/l og er fundet som miljøkravet 2 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,25 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,73 µg/l. Figur 8.1 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at kobberkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 5% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



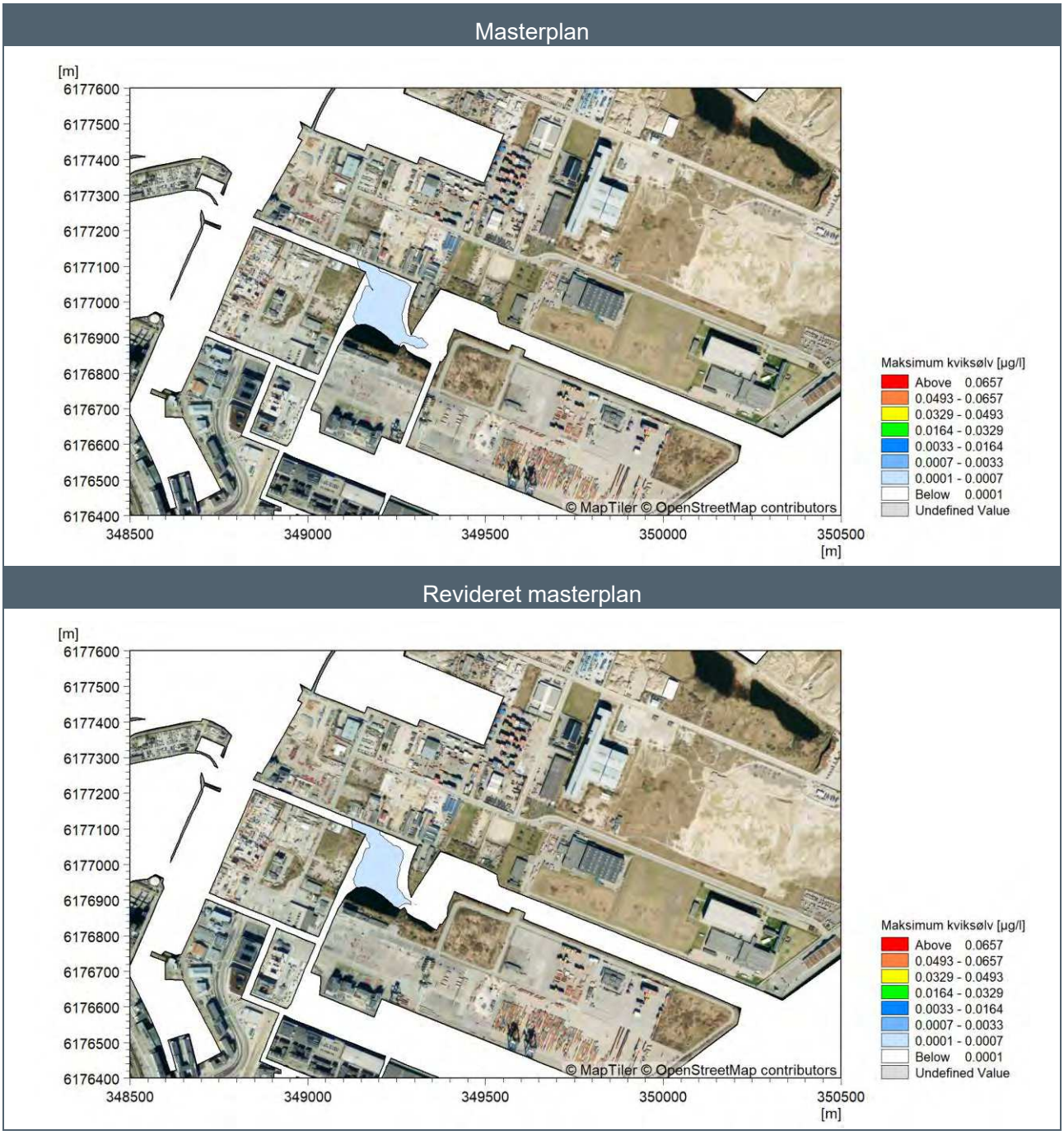
Figur 8.1 Maksimumkoncentration af vandopløst kobber fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for vandopløst zink tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 6,1 µg/l og er fundet som miljøkravet 8,4 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,6 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 2,9 µg/l. Figur 8.2 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at zinkkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 5% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



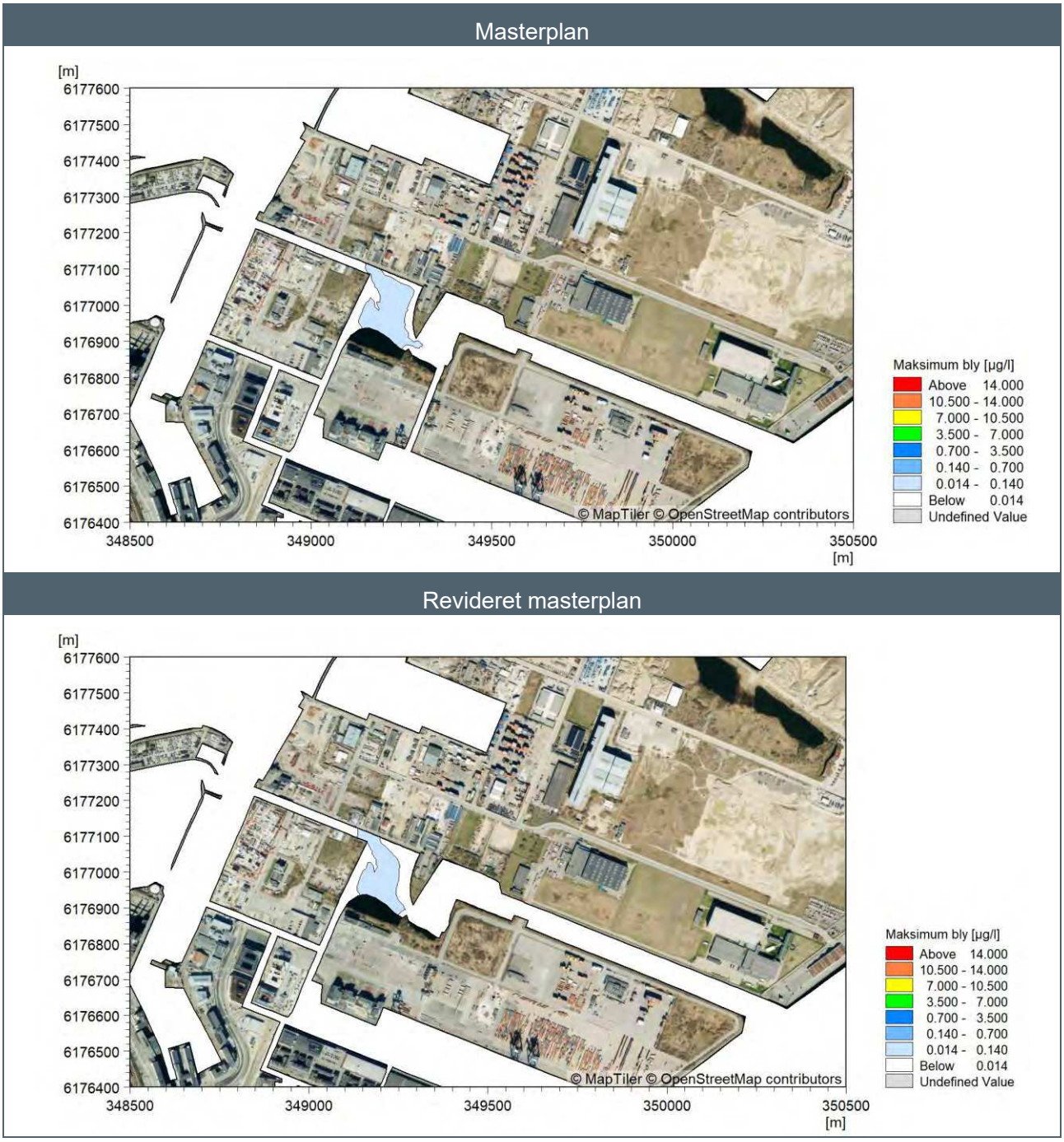
Figur 8.2 Maksimumkoncentration af vandopløst zink fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for vandopløst kviksølv tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 0,0657 µg/l og er fundet som miljøkravet 0,07 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,0 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0043 µg/l. Figur 8.3 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at kviksølvkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 1% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.3 Maksimumkoncentration af vandopløst kviksølv fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for vandopløst bly tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 14 µg/l og er fundet som miljøkravet 14 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,0 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,00 µg/l. Figur 8.4 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at blykoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 1% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



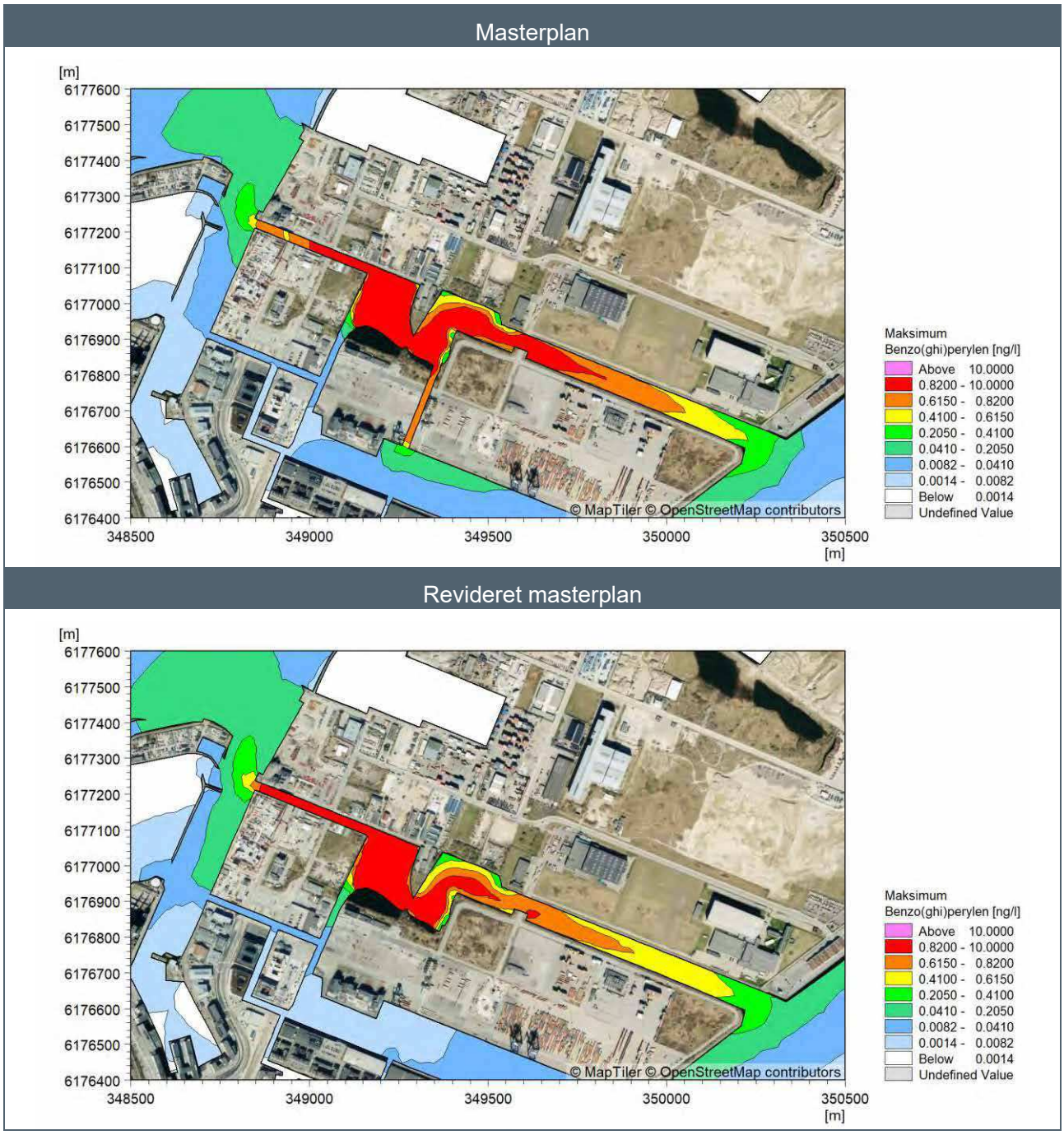
Figur 8.4 Maksimumkoncentration af vandopløst bly fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

8.2.2 Stoffer som vurderes med afsæt i totalkoncentrationer

Maksimumkoncentrationerne for de 3 PAH'er og TBT-kation er alene fastlagt ved skalering af maksimumkoncentrationer (dybdemidlet) af sedimentet i vandsøjlen med antagelse om at stofferne forbliver bundet til sedimentet.

Maksimumkravet for benzo(ghi)perylen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 0,82 ng/l og er fundet som miljøkravet 0,82 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.5 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Da miljøkvalitetskravet er mindre end detektionsgrænsen (10 ng/l), er der tilføjet en ekstra farveskala (pink), som viser om maksimumkoncentrationen overskrider detektionsgrænsen. Det ses, at benzo(ghi)perylen koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra

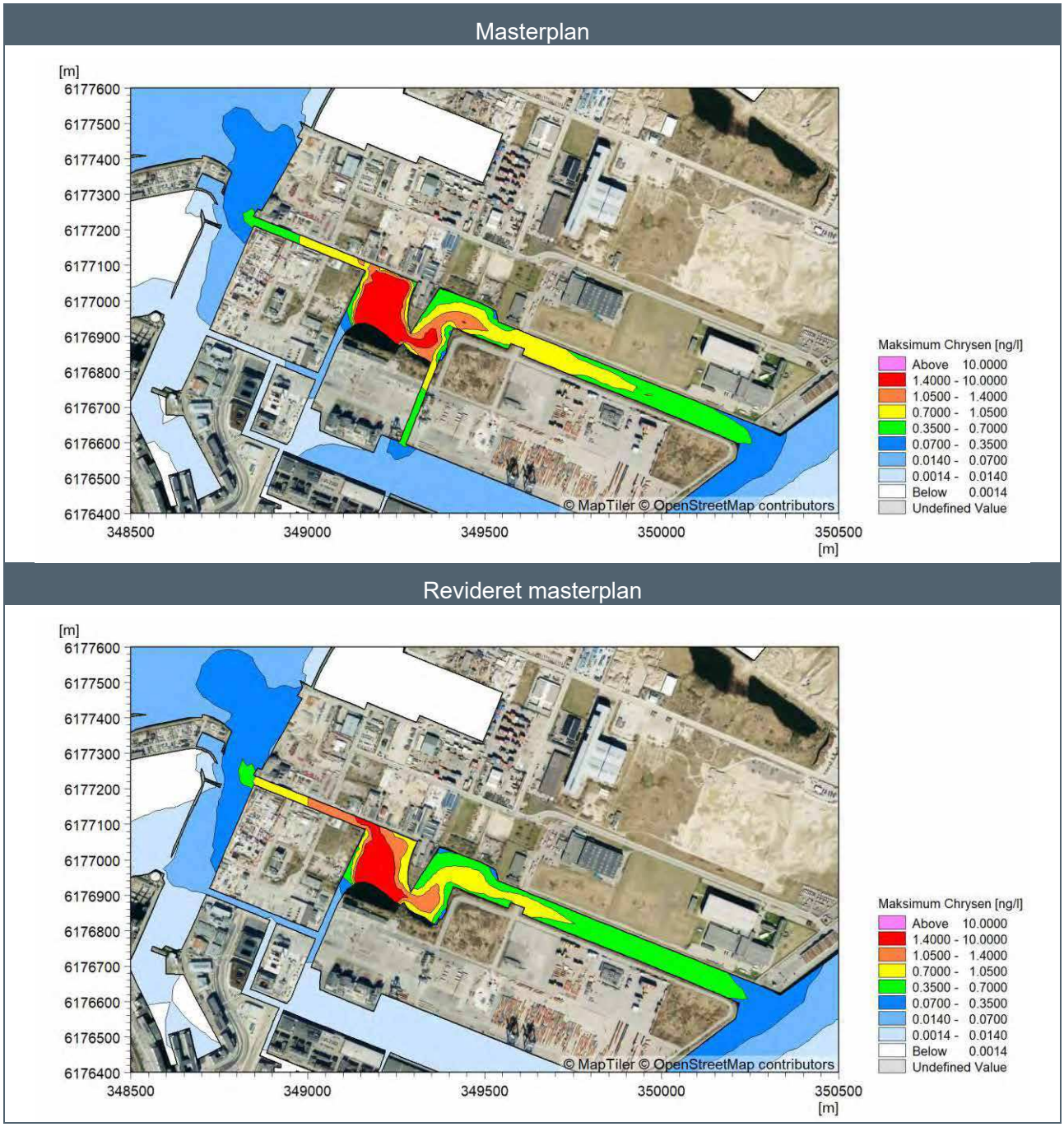
blødbundssedimentet overstiger miljøkvalitetskravet i begge undersøgte konfigurationer, men at koncentrationerne er under detektionsgrænsen og dermed ikke vil kunne påvises. Der er ingen overskridelse af miljøkvalitetskravet udenfor Skudehavnen, Skudeløbet og de nye gravede tilslutningskanaler.



Figur 8.5 Maksimumkoncentration af benzo(ghi)perylen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

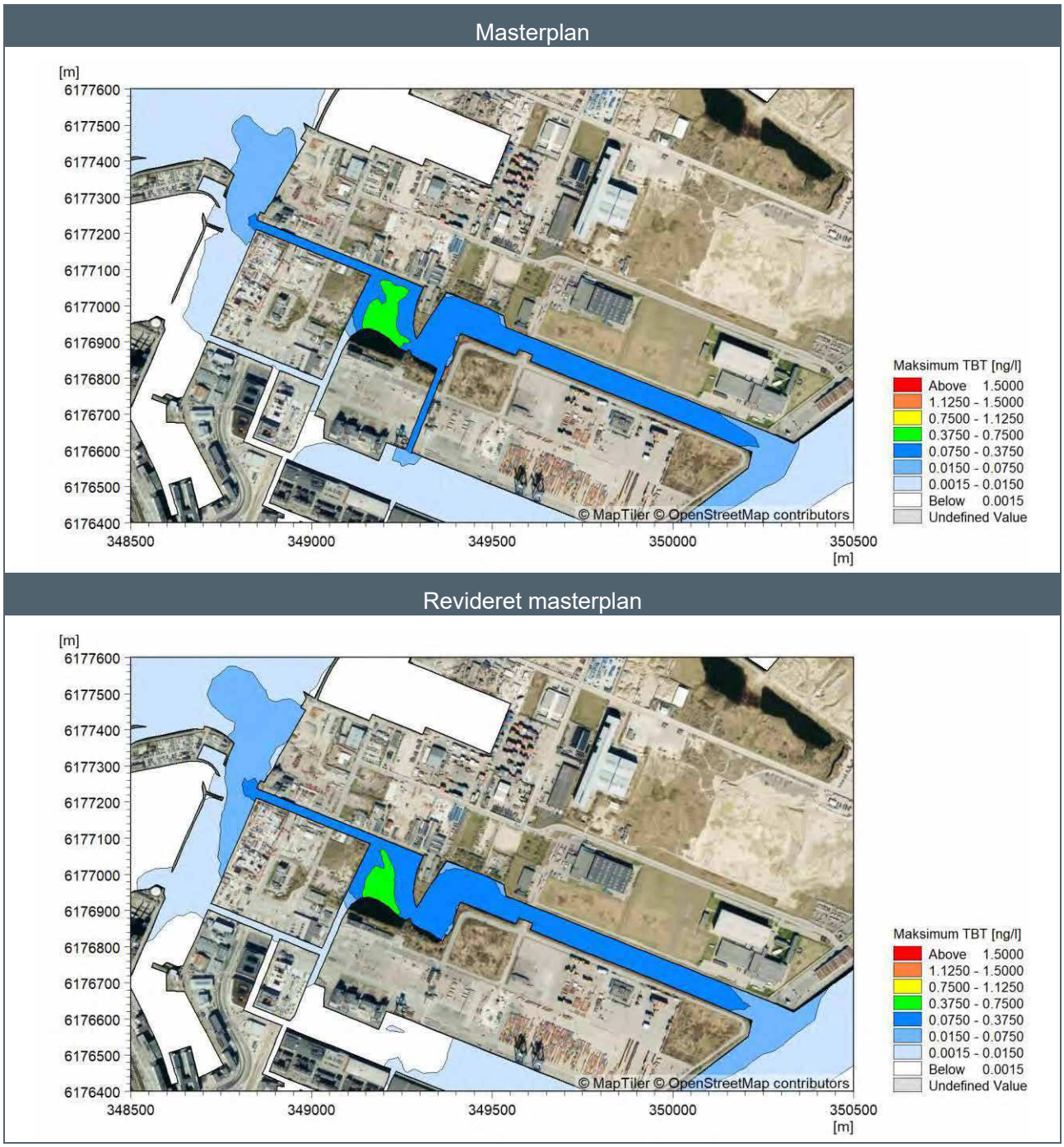
Maksimumkravet for chrysen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 1,4 ng/l og er fundet som miljøkravet 1,4 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.6 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Da miljøkvalitetskravet er mindre end detektionsgrænsen (10 ng/l), er der tilføjet en ekstra farveskala (pink), som viser om maksimumkoncentrationen overskrider detektionsgrænsen. Det ses, at chrysen koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet overstiger miljøkvalitetskravet i begge undersøgte konfigurationer, men at koncentrationerne er under

detektionsgrænsen og dermed ikke vil kunne påvises. Der er ingen overskridelse af miljøkvalitetskravet udenfor Skudehavnen.



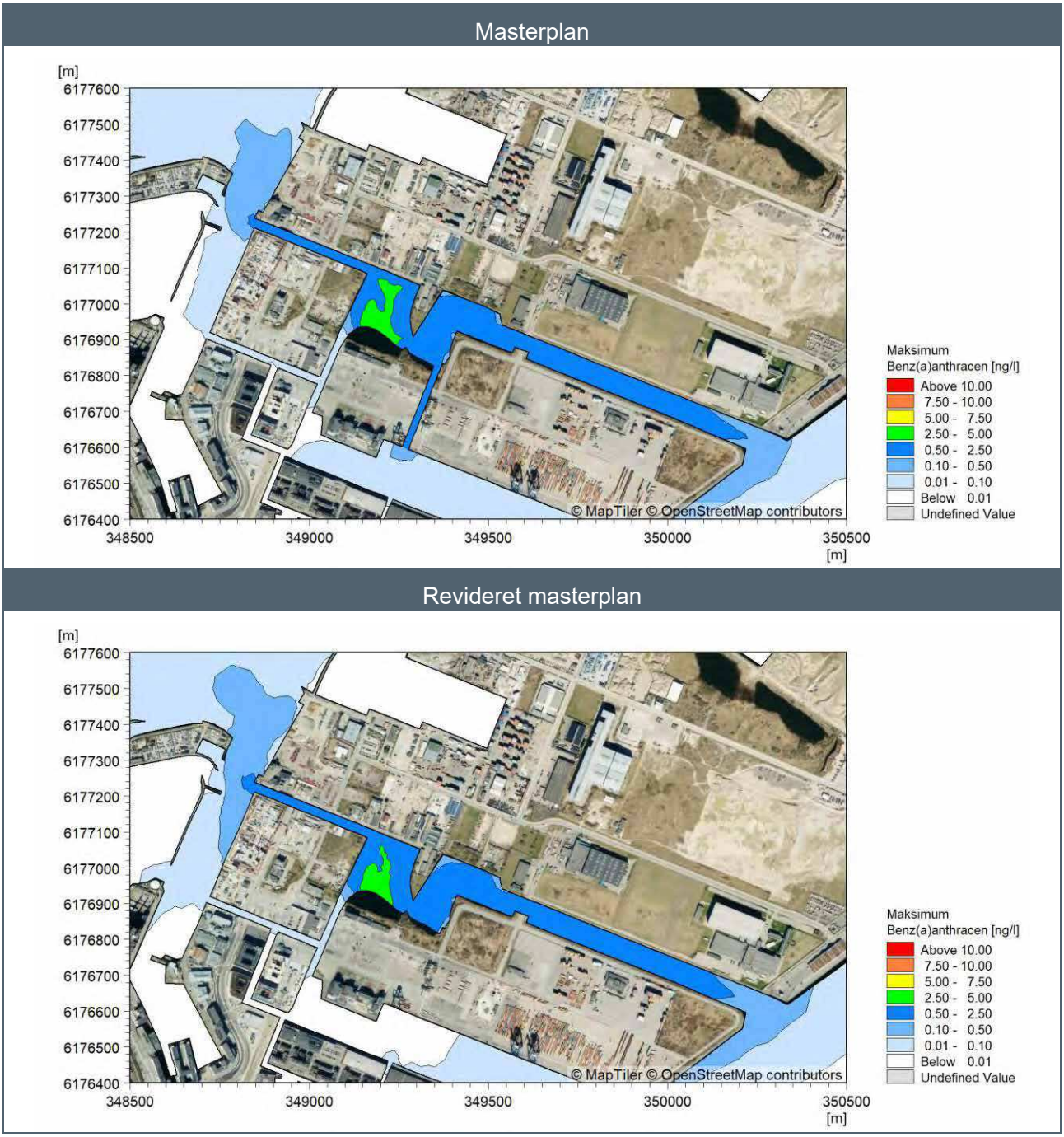
Figur 8.6 Maksimumkoncentration af chrysen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for TBT-kation i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 1,5 ng/l og er fundet som miljøkravet 1,5 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.7 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Der er ikke tilføjet en ekstra farveskala (pink), selvom miljøkvalitetskravet er mindre end detektionsgrænsen (10 ng/l), idet der ikke er en overskridelse af miljøkvalitetskravet for TBT-kation. Det ses, at TBT-kation koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 50% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.7 Maksimumkoncentration af TBT fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for benz(a)anthracen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 10 ng/l og er fundet som miljøkravet 10 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.8 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 3,5 måneder lange sommerperiode for masterplan og revideret masterplan. Der er ikke tilføjet en ekstra farveskala (pink), idet der ikke er en overskridelse af miljøkvalitetskravet for benz(a)anthrcen. Det ses, at benz(a)anthracen koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 50% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.8 Maksimumkoncentration af benz(a)anthracen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

8.3 Spredning i vinterperiode

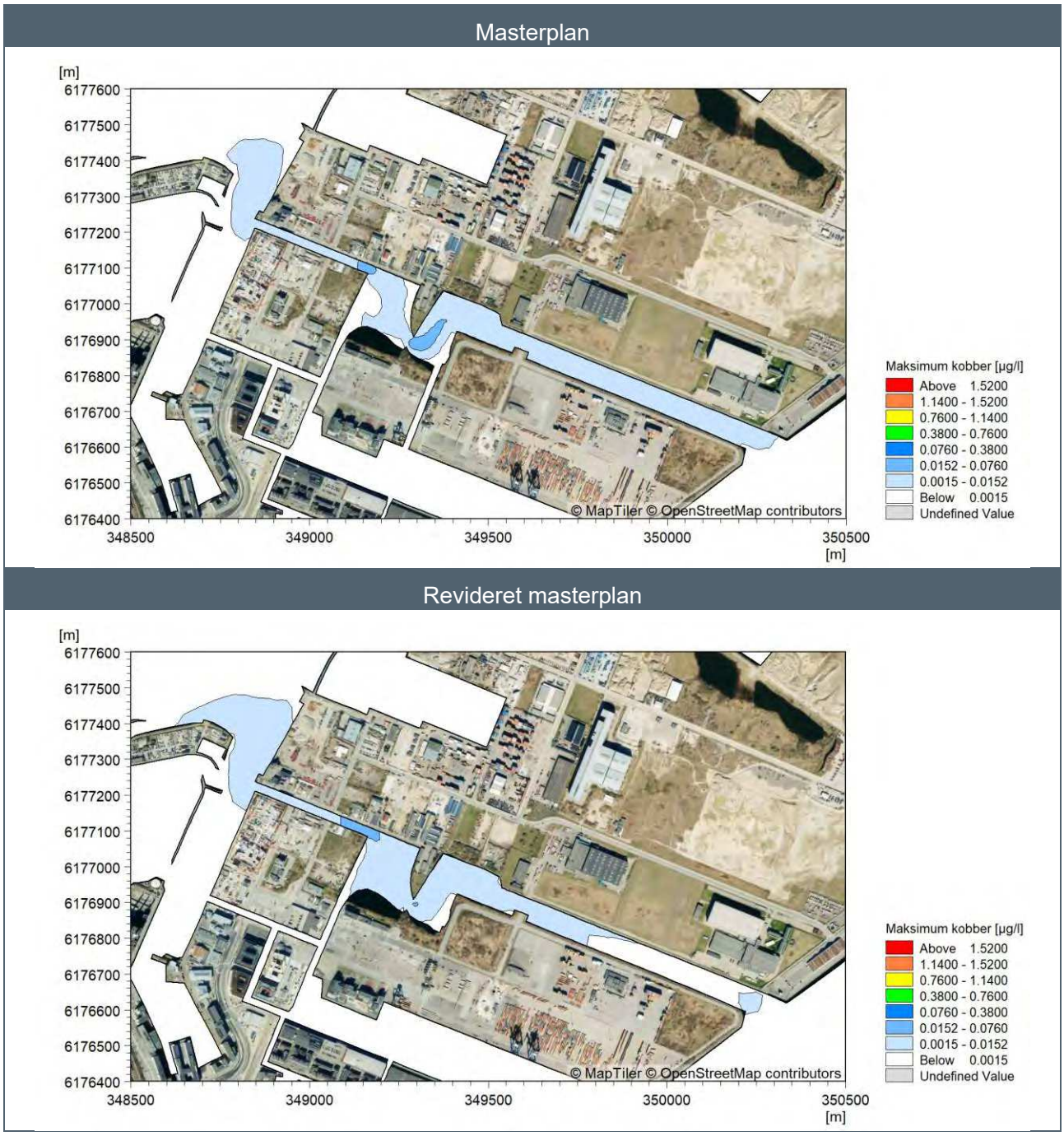
I de følgende afsnit er maksimumkoncentrationer sammenholdt med maksimummiljøkravet i vinterperioden for 4 metaller, TBT og 3 PAH'er til brug for vurdering af overholdelse af gældende miljøkrav.

8.3.1 Stoffer som vurderes med afsæt i filtrerede prøver (vandopløst)

Maksimumkoncentrationerne for de enkelte metaller er alene fastlagt ved skalering af maksimumkoncentrationer af sedimentet i vandsøjlen og ikke en egentlig spredningsberegning, som vandopløst stof med antagelse om en momentan tilførsel i forbindelse med ophvirvling. I stedet er

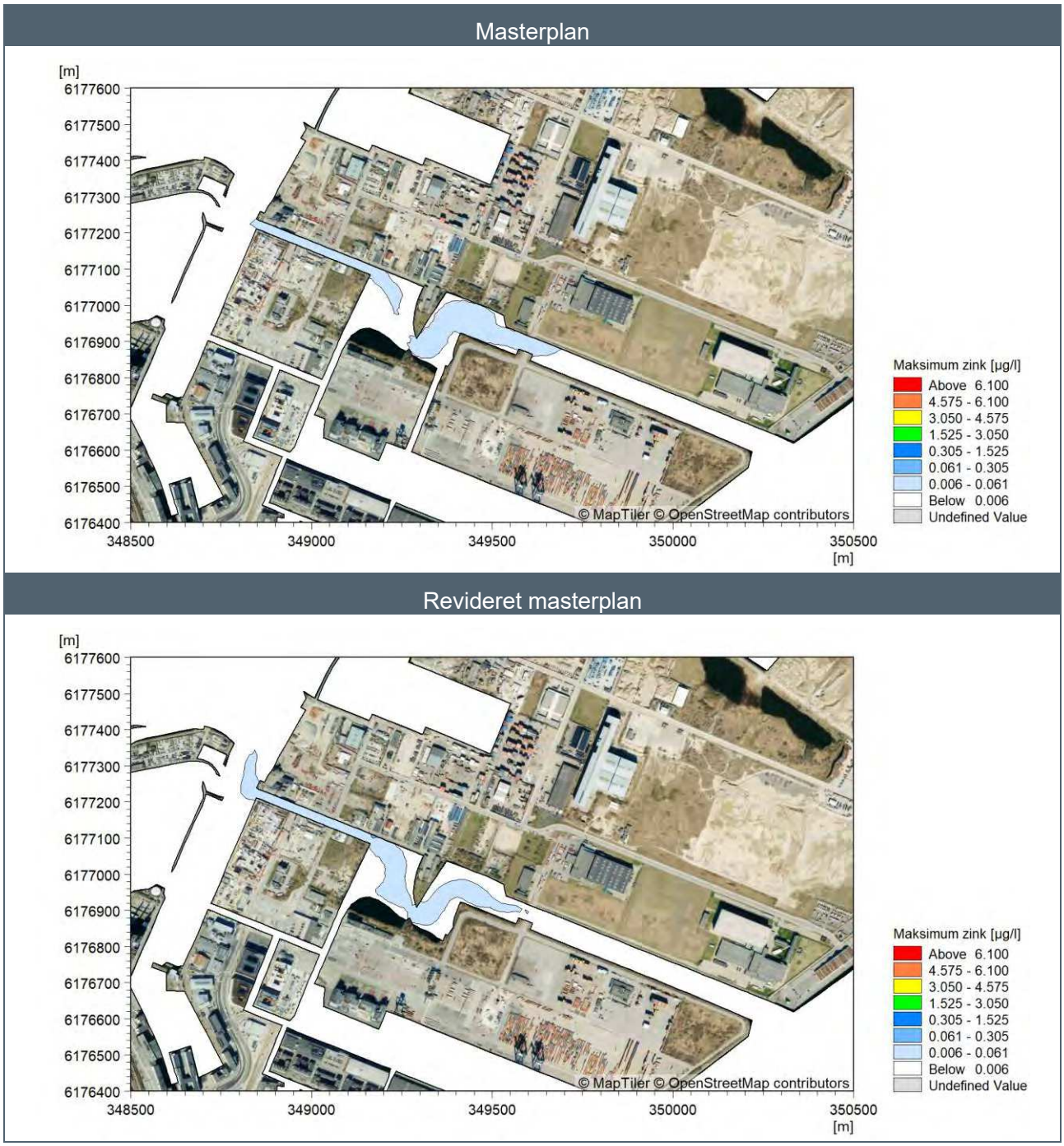
koncentrationen fastlagt ved skalering med stofkoncentrationen i sedimentet og en antagelse om, at 1% af stoffet er opløst og 99% bundet til sedimentet.

Maksimumkravet for vandopløst kobber tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 1,52 µg/l og er fundet som miljøkravet 2 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,25 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,73 µg/l. Figur 8.9 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at kobberkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 5% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.9 Maksimumkoncentration af vandopløst kobber fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

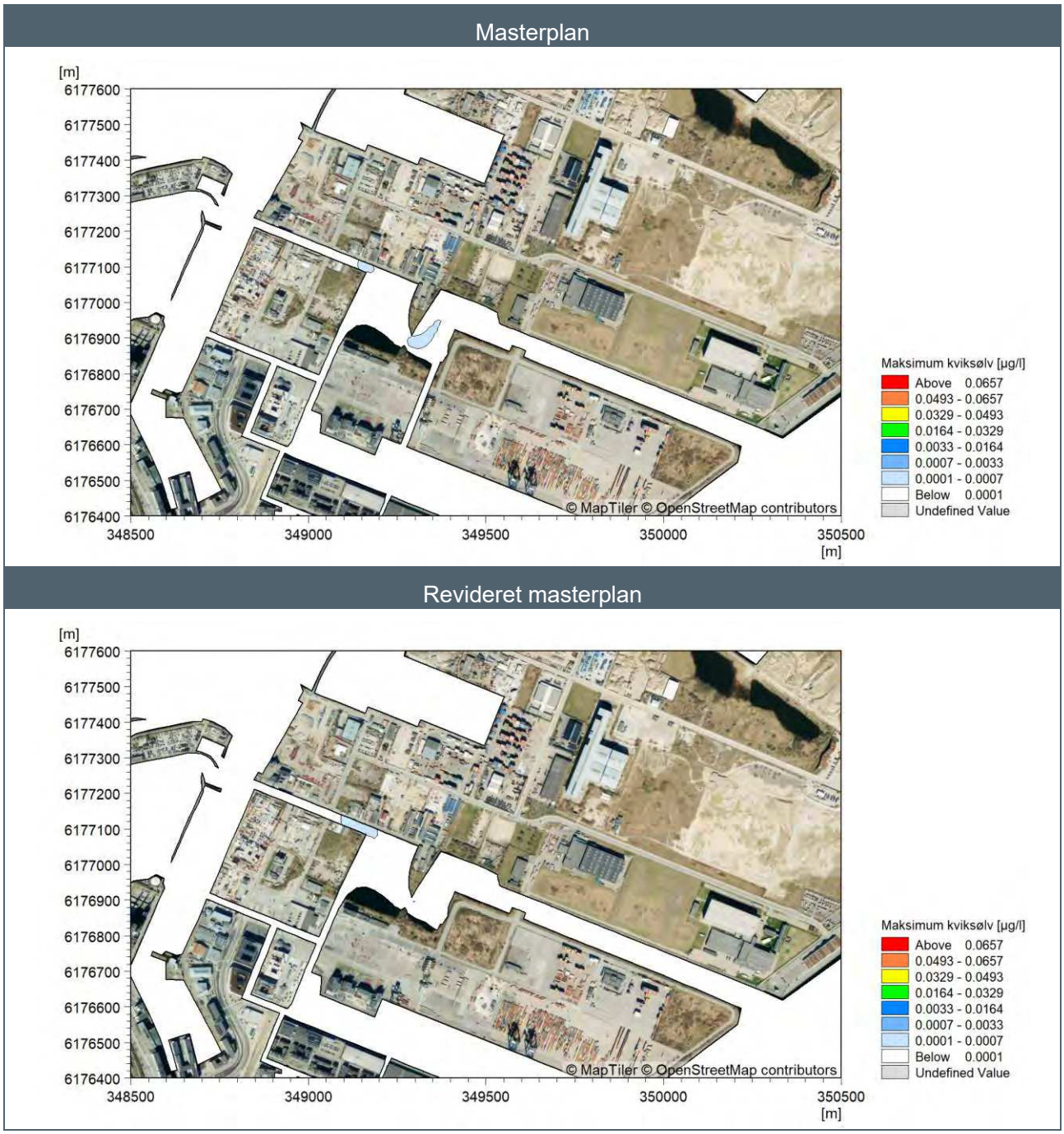
Maksimumkravet for vandopløst zink tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 6,1 µg/l og er fundet som miljøkravet 8,4 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,6 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 2,9 µg/l. Figur 8.10 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at zinkkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 1% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.10 Maksimumkoncentration af vandopløst zink fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for vandopløst kviksølv tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 0,0657 µg/l og er fundet som miljøkravet 0,07 µg/l plus bidrag fra naturlig

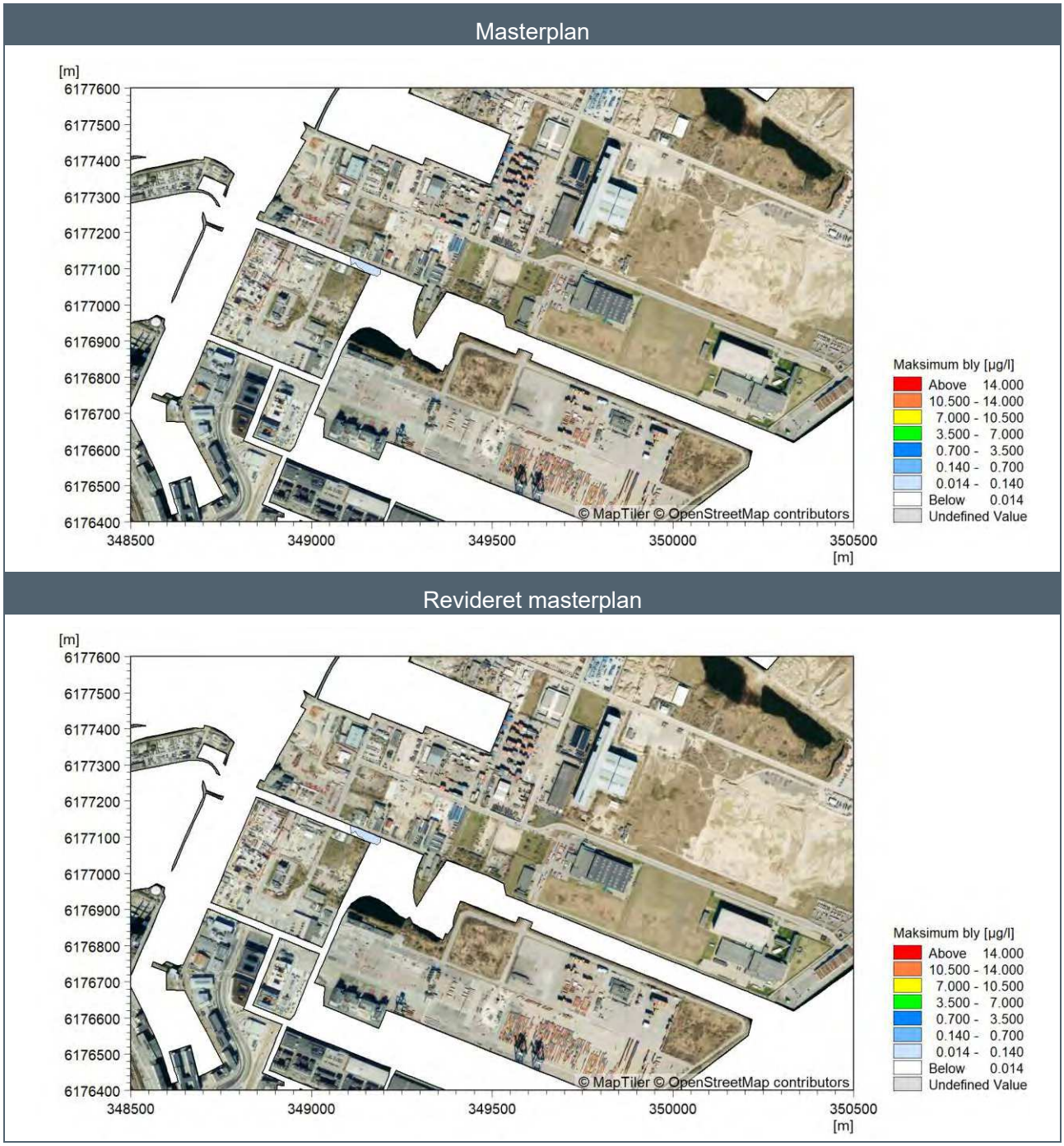
baggrund 0,0 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0043 µg/l. Figur 8.11 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret masterplan. Det ses, at kviksølvkoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 1% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.11 Maksimumkoncentration af vandopløst kviksølv fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for vandopløst bly tilført vandsøjlen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 14 µg/l og er fundet som miljøkravet 14 µg/l plus bidrag fra naturlig baggrund 0,0 µg/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,00 µg/l. Figur 8.12 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret masterplan.

Det ses, at blykoncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 1% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



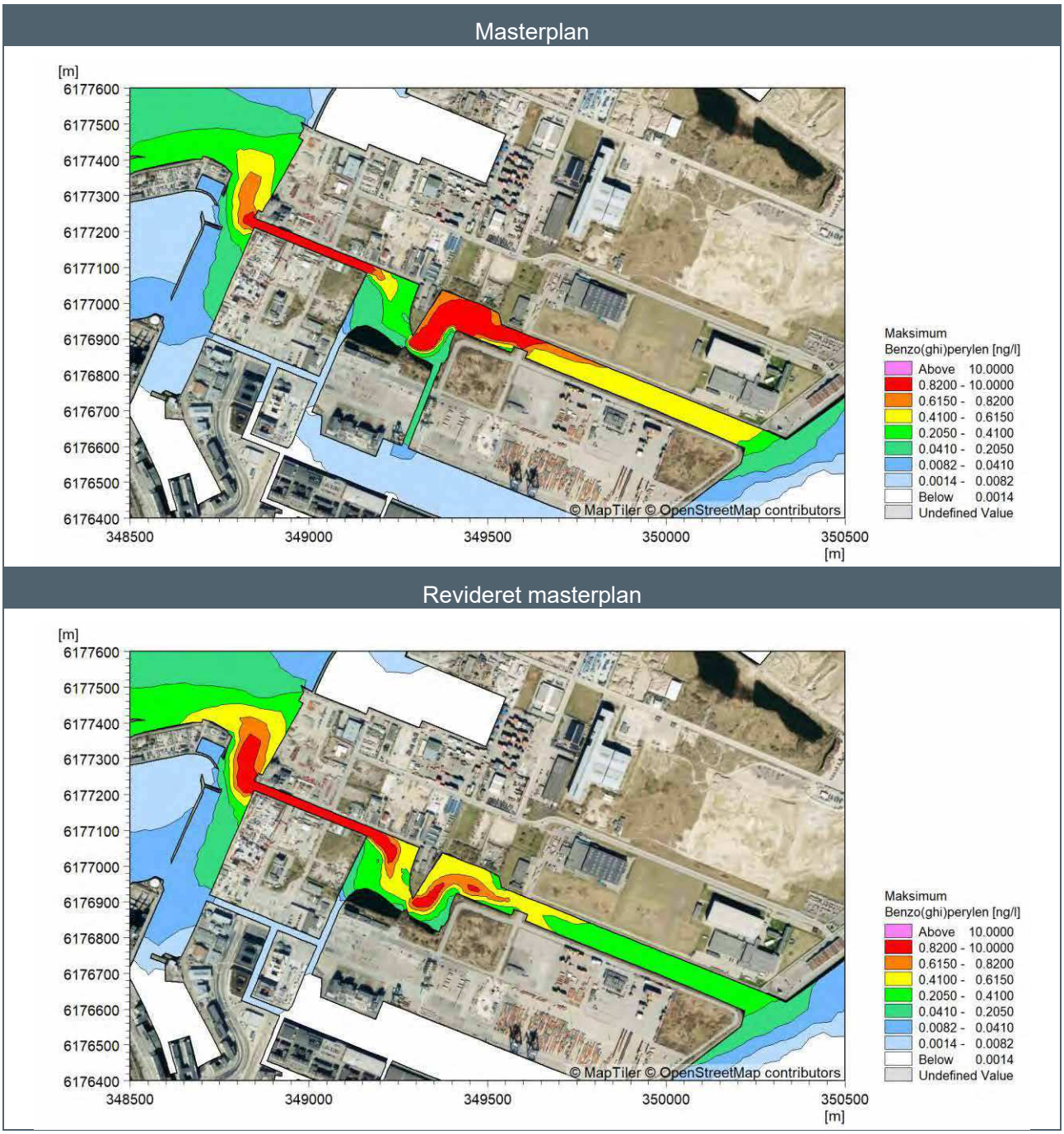
Figur 8.12 Maksimumkoncentration af vandopløst bly fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

8.3.2 Stoffer som vurderes med afsæt i totalkoncentrationer

Maksimumkoncentrationerne for de 3 PAH'er og TBT-kation er alene fastlagt ved skalering af maksimumkoncentrationer (dybdemidlet) af sedimentet i vandsøjlen med antagelse om, at stofferne forbliver bundet til sedimentet.

Maksimumkravet for benzo(ghi)perylen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 0,82 ng/l og er fundet som miljøkravet 0,82 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.13 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og

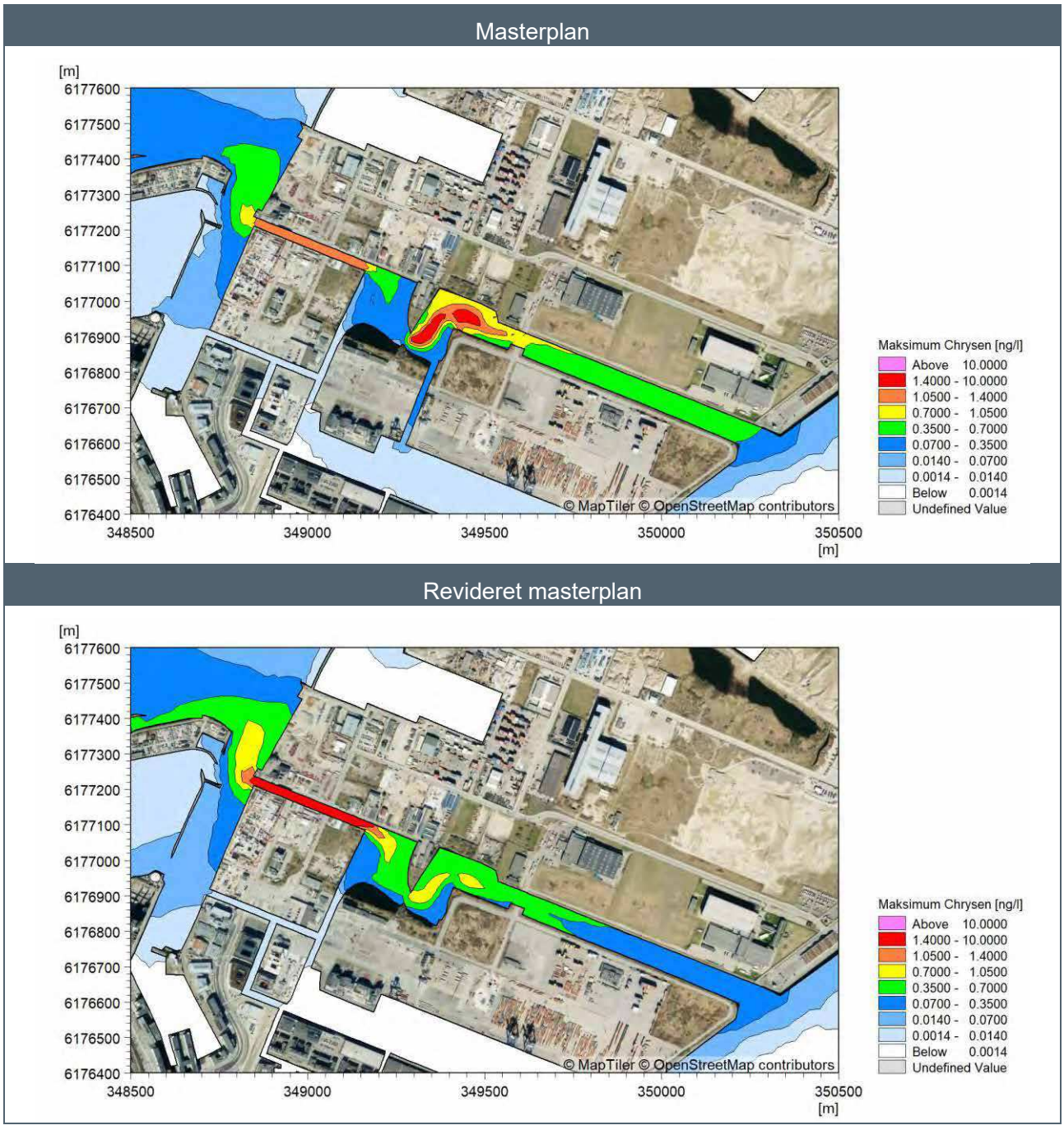
revideret masterplan. Da miljøkvalitetskravet er mindre end detektionsgrænsen (10 ng/l), er der tilføjet en ekstra farveskala (pink), som viser om maksimumkoncentrationen overskrider detektionsgrænsen. Det ses, at benzo(ghi)perylen koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet overstiger miljøkvalitetskravet i begge undersøgte konfigurationer, men at koncentrationerne er under detektionsgrænsen og dermed ikke vil kunne påvises. Det ses, at der er en mindre overskridelse i Kalkbrænderihavnen i området ud for den nordlige kanaltilslutning til Skudehavnen. Området med overskridelse i Kalkbrænderihavnen er størst for den reviderede masterplan.



Figur 8.13 Maksimumkoncentration af benzo(ghi)perylen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for chrysen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 1,4 ng/l og er fundet som miljøkravet 1,4 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.14 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret

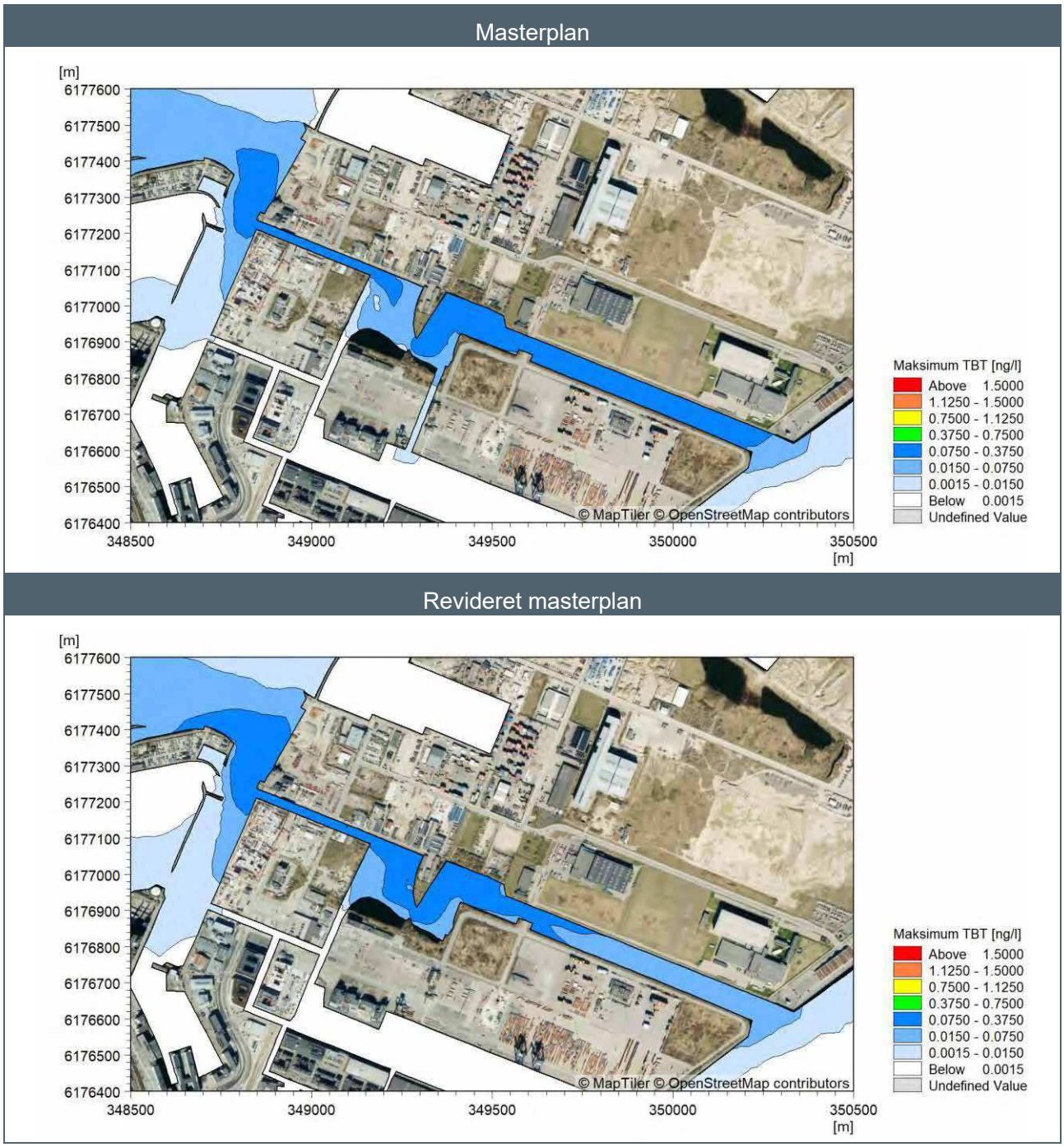
masterplan. Da miljøkvalitetskravet er mindre end detektionsgrænsen (10 ng/l), er der tilføjet en ekstra farveskala (pink), som viser om maksimumkoncentrationen overskrider detektionsgrænsen. Det ses, at chrysen koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet overstiger miljøkvalitetskravet i begge undersøgte konfigurationer, men at koncentrationerne er under detektionsgrænsen og dermed ikke vil kunne påvises. I masterplanen er der overskridelse i den østlige del af Skudehavnen, mens det for den reviderede masterplan er i den nordlige tilslutningskanal. Der er ingen overskridelser i de omkringliggende vandområder.



Figur 8.14 Maksimumkoncentration af chrysen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for TBT-kation i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 1,5 ng/l og er fundet som miljøkravet 1,5 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.15 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret

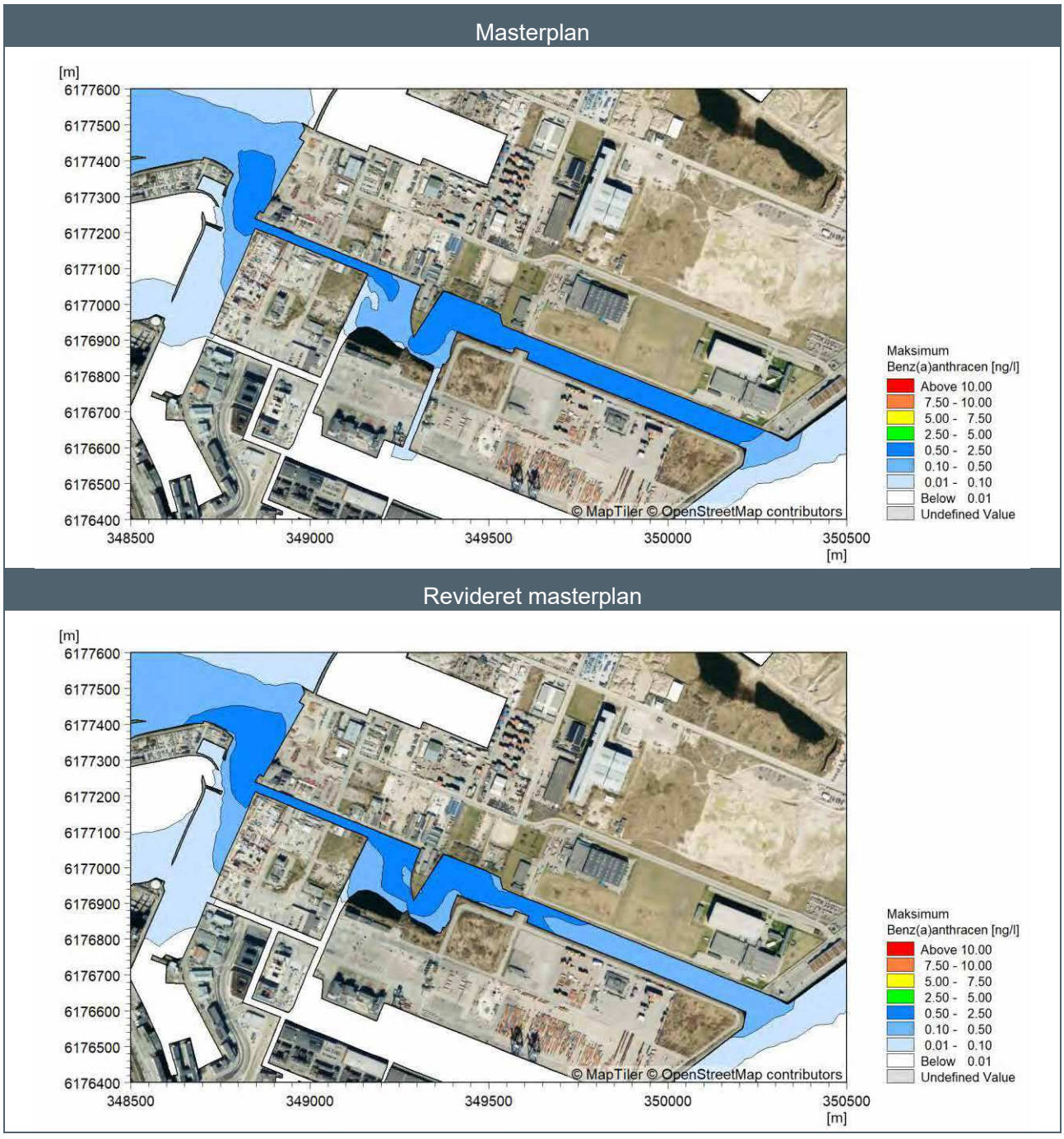
masterplan. Der er ikke tilføjet en ekstra farveskala (pink), selvom miljøkvalitetskravet er mindre end detektionsgrænsen (10 ng/l), idet der ikke er en overskridelse af miljøkvalitetskravet for TBT-kation. Det ses, at TBT-kation koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 25% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.15 Maksimumkoncentration af TBT fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

Maksimumkravet for benz(a)anthracen i forbindelse med ophvirvling af blødbundssedimentet er 10 ng/l og er fundet som miljøkravet 10 ng/l minus bidrag fra IFF-koncentration 0,0 µg/l. Figur 8.16 viser de højeste vandopløste koncentrationer i vandsøjlen i den 4 måneder lange vinterperiode for masterplan og revideret masterplan. Der er ikke tilføjet en ekstra farveskala (pink), da miljøkvalitetskravet er identisk

med detektionsgrænsen (10 ng/l), idet der ikke er en overskridelse af miljøkvalitetskravet for benz(a)anthracen. Det ses, at benz(a)anthracen koncentrationerne i vandsøjlen tilført fra blødbundssedimentet på intet tidspunkt overstiger 25% af miljøkravet i de to undersøgte konfigurationer. Der er dermed ingen risiko for overskridelse.



Figur 8.16 Maksimumkoncentration af benz(a)anthracen fra ophvirvling vurderet mod miljøkriterie.

8.4 Spredning af miljøfremmede stoffer til omkringliggende vandområder

Med afsæt i de i kapitel 7 beskrevne modelberegninger for sedimentspredningen til omkringliggende vandområder kan der laves en tilsvarende vurdering for de miljøfremmede stoffer. De angivne mængder er konservative estimater i den forstand, at der er taget udgangspunkt i det højeste forureningsniveau, som optræder i de områder, hvor der kan ske ophvirvling. I sedimentspredningsanalysen blev der set på,

hvor meget der blev spredt fra Skudehavnen, idet der kun var en ophvirvling af blødbundssedimentet i dette område. For spredningen af de miljøfremmede stoffer ses der på hvor meget, der forlader Skudeløbet ved overgangen til Kronløbet og via de nye tilslutningskanaler til Skudehavnen. Spredningen fra vinter- og sommersimuleringerne er omregnet til en kumuleret årlig spredning ved at skalere med en faktor 12/7,5. En forventet årlig spredning af de miljøfremmede stoffer er opgjort for tilførsel til henholdsvis Kalkbrænderihavnen og Kronløbet, samt hele vandområdet i Tabel 8.3 og Tabel 8.4. Estimaterne i Tabel 8.3 er fundet med brug af konservative forudsætninger for bundruhed og forureningskoncentrationer i det ophvirvlede sediment. Estimaterne i Tabel 8.4 er fundet med en realistisk valgt bundruhed og konservative valgte forureningskoncentrationer. De fundne mængder som kan forventes spredt til det omkringliggende vandområde i løbet af et kalenderår, er med begge forudsætninger små og mindre end, hvad der vil kunne tilføres vandområdet ved en enkelt overløbshændelse i havnen. Det vurderes derfor, at spredningen af miljøfremmede stoffer er marginal og uden betydning for vandområdets kemiske tilstand. Forureningen er bundet til sedimentet og vil derfor ved ophvirvling spredes og aflejres i så tynde lag over et stort område, at det ikke vil kunne resultere i en målbar koncentrationsforøgelse i overfladesedimentet i vandområdet. Med overfladesedimentet menes der her de øverste 4 cm.

Tabel 8.3 Kumuleret årlig spredning af miljøfremmede stoffer opgjort i gram til omkringliggende vandområde.
Estimater med konservativt valgt bundruhed. M: Masterplan, RM: Revideret masterplan.

Stof	Enhed	Kronløbet		Kalkbrænderihavnen		Vandområdet	
		M	RM	M	RM	M	RM
Antimon (Sb)	[g]	2,6	2,8	1,4	1,9	**4,0**	**4,7**
Arsen (As)	[g]	9,5	10,2	5,0	7,1	**14,5**	**17,3**
Barium (Ba)	[g]	2,6	2,8	1,4	1,9	**4,0**	**4,7**
Bly (Pb)	[g]	229,6	245,8	120,6	170,3	**350,2**	**416,0**
Cadmium (Cd)	[g]	1,9	2,0	1,0	1,4	**2,9**	**3,5**
Krom (Cr)	[g]	28,6	30,6	15,0	21,2	**43,6**	**51,8**
Kobber (Cu)	[g]	327,5	350,5	172,0	242,9	**499,5**	**593,4**
Kviksølv (Hg)	[g]	1,3	1,4	0,7	1,0	**2,0**	**2,4**
Molybdæn (Mb)	[g]	6,1	6,5	3,2	4,5	**9,3**	**11,0**
Nikkel (Ni)	[g]	20,8	22,3	10,9	15,4	**31,7**	**37,7**
Selen (Se)	[g]	3,5	3,7	1,8	2,6	**5,3**	**6,3**
Zink (Zn)	[g]	516,4	552,7	271,2	383,0	**787,6**	**935,7**
TBT-kation	[g]	0,2	0,2	0,1	0,1	**0,3**	**0,3**
Phenanthren	[g]	0,4	0,4	0,2	0,3	**0,6**	**0,7**
Anthracen	[g]	0,1	0,1	0,1	0,1	**0,2**	**0,3**
Fluoranthen	[g]	2,1	2,2	1,1	1,5	**3,2**	**3,8**
Pyren	[g]	2,8	3,0	1,5	2,1	**4,2**	**5,0**
Benz(a)anthracen	[g]	1,0	1,1	0,5	0,8	**1,6**	**1,9**
Chrysen	[g]	0,8	0,9	0,4	0,6	**1,3**	**1,5**
Benz(a)pyren	[g]	1,0	1,1	0,5	0,8	**1,6**	**1,9**
Benzo(ghi)perylen	[g]	0,9	0,9	0,5	0,6	**1,3**	**1,6**
PCB (sum af 7)	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	**<0,1**	**<0,1**

Tabel 8.4 Kumuleret årlig spredning af miljøfremmede stoffer opgjort i gram til omkringliggende vandområde.
Estimater med realistisk valgt bundruhed. M: Masterplan, RM: Revideret masterplan.

Stof	Enhed	Kronløbet		Kalkbrænderihavnen		Vandområdet	
		M	RM	M	RM	M	RM
Antimon (Sb)	[g]	0,1	0,1	0,1	0,2	**0,2**	**0,3**
Arsen (As)	[g]	0,5	0,5	0,4	0,6	**0,9**	**1,1**
Barium (Ba)	[g]	0,1	0,1	0,1	0,2	**0,2**	**0,3**
Bly (Pb)	[g]	12,1	12,2	8,5	13,3	**20,6**	**25,6**
Cadmium (Cd)	[g]	0,1	0,1	0,1	0,1	**0,2**	**0,2**
Krom (Cr)	[g]	1,5	1,5	1,1	1,7	**2,6**	**3,2**
Kobber (Cu)	[g]	17,2	17,4	12,1	19,0	**29,3**	**36,5**
Kviksølv (Hg)	[g]	0,1	0,1	<0,1	0,1	**0,1**	**0,1**
Molybdæn (Mb)	[g]	0,3	0,3	0,2	0,4	**0,5**	**0,7**
Nikkel (Ni)	[g]	1,1	1,1	0,8	1,2	**1,9**	**2,3**
Selen (Se)	[g]	0,2	0,2	0,1	0,2	**0,3**	**0,4**
Zink (Zn)	[g]	27,2	27,5	19,1	30,0	**46,3**	**57,5**
TBT-kation	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	**<0,1**	**<0,1**
Phenanthren	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	**<0,1**	**<0,1**
Anthracen	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	**<0,1**	**<0,1**
Fluoranthen	[g]	0,1	0,1	0,1	0,1	**0,2**	**0,2**
Pyren	[g]	0,1	0,1	0,1	0,2	**0,2**	**0,3**
Benz(a)anthracen	[g]	0,1	0,1	<0,1	0,1	**0,1**	**0,1**
Chrysen	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	**0,1**	**0,1**
Benz(a)pyren	[g]	0,1	0,1	<0,1	0,1	**0,1**	**0,1**
Benzo(ghi)perylen	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	**0,1**	**0,1**
PCB (sum af 7)	[g]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	**<0,1**	**<0,1**

Den estimerede kumulerede årlige spredning kan for en række af stofferne sammenlignes med, hvad der udledes fra Renseanlæg Lynetten (RL) og Renseanlæg Damhusåen (RD), i form af renset spildevand eller bypass. Tabel 8.5 angiver de i udledningstilladelsen angivne udledningskoncentrationer.

Tabel 8.5 Udledningskoncentrationer fra renseanlæg, ref. /9/ (Tabel 7.2).

Stof	RD renset [µg/l]	RD bypass [µg/l]	RL renset [µg/l]	RL bypass [µg/l]
Barium	20	23	27	52,5
Bly	1,4	2,2	3,1	2,7
Kobber	6	6,3	11	16
Pyren	0,01	0,13	0,01	0,15
TBT	0,004	0,001	0,004	0,003
Zink	30	23	75	71

Mængden af renset udløbsvand fra Renseanlæg Damhusåen var i henhold til indberetningerne til PULS gennemsnitligt 27 mio. m^3/år i perioden 2007-2017, ref. /11/, og for Renseanlæg Lynetten 61 mio. m^3/år i middel for samme periode, ref. /10/. I Tabel 8.6 er det beregnet, hvor stor en del af den gennemsnitlige årlige udledning fra de to renseanlæg, der skal til for at tilføre sammen mængde, som i de scenarier med størst spredning (revideret masterplan med konservativ valgt bundruhed). Det er uklart om tungmetalkoncentrationer i Tabel 8.5 baserer sig på filtrerede prøver, men hovedparten af det som spredes fra Skudehavnen vil forblive sedimentbundet og ikke være opløst i vandfasen. Det ses af tabellen, at spredningen i Tabel 8.6 for alle stoffer udgør mindre end 1% af det som tilføres med renset spildevand fra Renseanlæg Lynetten på årsbasis.

Tabel 8.6 Udledt vandmængde angivet som promille af årlig udledning, som modsvarer tilført stofmængde fra Skudehavnen.

Stof	RD renset [‰]	RL renset [‰]
Barium	0,009	0,003
Bly	11,0	2,2
Kobber	3,66	0,884
Pyren	18,6	8,2
TBT	1,16	0,21
Zink	2,78	1,23

Renseanlæggene Damhusåen og Lynetten, samt overløb i havnen, tilfører løbende eller med mellemrum miljøfremmede stoffer til vandområdet. Skudehavnen vil selv efter etablering af de gennemgående kanaler fremstå som et depositionsområde, grundet de lave strømhastigheder, mens kanaler vil være at betragte som transportområder, grundet de højere strømhastigheder. Man må derfor forvente, at den beregnede spredning af miljøfremmede stoffer til vandområdet, bundet til finpartikulært stof, let kan overgås af en tilførsel fra de nævnte kilder. Altså med andre ord, at der vil være en fortsat nettoakkumulation af miljøfremmede stoffer, fremfor en spredning til det omkringliggende vandområde. Dette er ikke muligt at kvantificere, men ikke desto mindre relevant at have med i sin miljøvurdering af masterplanerne.

9 Referencer

/1/ Anlæg af Lynetteholm. Overgangsfasen inden udflytning af Lynettens udledning (U1). Badevandskvalitet. Udarbejdet for By & Havn af DHI, september 2024.

/2/ Skudehavnen og Skudeløbet. Sedimentanalyser og geofysisk Undersøgelse. Udarbejdet for By & Havn af Orbicon 18. april 2016.

/3/ Anlæg af Lynetteholm. Overgangsfasen inden udflytning af Lynettens udledning (U1). Badevandskvalitet og vandkvalitet. Udarbejdet for By & Havn af DHI, april 2022.

/4/ Københavns Amt. Udledningstilladelse for Tårnby Renseanlæg og baggrundsnotat, januar 1999.

/5/ Screening af mulighed for rekreativ brug af Skudehavnen i Københavns Nordhavn. Udarbejdet for By & Havn af Orbicon 15. november 2016.

/6/ BEK nr 1668 af 08/12/2025. Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. Ministeriet for Grøn Trepart.

/7/ Udrystningsforsøg på sedimentkerner fra Øresund i forbindelse med anlæg af Østlig Ringvej, april 2025. Udarbejdet for Sund & Bælt, COWI og DHI.

/8/ ØSTLIG RINGVEJ MILJØ og MKV Påvirkning af Marine vandområder i henhold til vandramme-direktivet – anlægsarbejder og udledninger. BILAG A – Målinger af Miljøfarlige forurenende og andre stoffer – Vandfase 2025. Udarbejdet for Sund & Bælt af COWI, 2025 Dokumentnummer OR-MI02-REP-GENE-HYG-002.

/9/ Bilagsrapport, Udledningstilladelse, Renseanlæg Damhusåen, Sagsnummer: 2021-0340933, Justeret på baggrund af vilkårsændring 1, 25. oktober 2021.

/10/ Udledningstilladelse, Renseanlæg Lynetten, Sagsnummer: 2021-0340930, med præciseringer og vilkårsændringer 1 og 2, 25. oktober 2021.

/11/ Udledningstilladelse, Renseanlæg Damhusåen, Sagsnummer: 2021-0340933, med præciseringer og vilkårsændring 1, 25. oktober 2021.