

## 8. GEOLOGI OG GRUNDVAND

Dette kapitel beskriver eksisterende forhold for geologi og grundvand inden for Lynetteholms projektområde samt i de direkte tilgrænsende områder mod syd, Refshaleøen og Margretheholm, inkl. Kraftværkshalvøen.

### 8.1 Metode

#### 8.1.1 Metode til beskrivelse af den aktuelle miljøstatus

Beskrivelsen af den aktuelle status for geologi er baseret på den foreløbige rapportering af geofysiske kortlægning af interesseområdet udført af COWI /44/, /45/, og afrapporteringen af fase 1 af de geotekniske forundersøgelser /46/, rapportering af de samlede geotekniske forundersøgelser /47/, rapport vedrørende håndtering af gytje /48/ samt GIS-tabeller for den endelige geologiske model for Lynetteholm /49/. Desuden er der inddraget viden fra eksisterende beskrivelser og tolkninger af Københavns geologi, bl.a. DGF-Bulletin 19, Ingeniørgeologiske forhold i København /50/ samt boredata fra Jupiterdatabasen /51/.

Beskrivelsen af den aktuelle status for grundvand er ud over de ovennævnte referencer baseret på opslag i Jupiterdatabasen /51/, opslag i Miljøportalen /52/ og opslag i Miljøstyrelsens MiljøGIS for Vandområdeplan 2015-2021 /53/.

Datagrundlaget for eksisterende forhold vurderes at være tilstrækkeligt.

#### 8.1.2 Metode til vurdering af påvirkninger

I Tabel 8-1 er kilder til potentielle påvirkninger af geologi og grundvand angivet for anlægs- og driftsfasen.

**Tabel 8-1 Kilder, som vurderes at kunne give anledning til påvirkning i anlægs- og driftsfasen.**

| Kilder til potentielle påvirkninger af geologi og grundvand | Anlægsfase | Driftsfasen |
|---|------------|-------------|
| Etablering af perimeter                                     | x          |             |
| Fysiske forstyrrelser på havbunden                          | x          |             |
| Opfyldning med jord   |            | x           |
| Drift af anlæg på land                                      |            | x           |

Miljøvurderingen i dette kapitel fokuserer på følgende forhold:

Det vurderes, om spunsning eller gravning kan påvirke de geologiske lag, samt om opfyldningen på grund af geologien i området skal indrettes på en særlig måde for at undgå, at der kan ske udsivning af vand fra området til havet via opfyldningens bund.

Desuden vurderes på baggrund af viden om forurenende lokaliteter på Refshaleøen som nævnt i kapitel 13 Forurenede jord samt grundvand i området beskrevet i dette kapitel, om eventuelle forureningskortlagte arealer i og ved projektområde kan blive påvirket under anlæg og drift, samt hvilke konsekvenser det evt. kan få for grundvandet.

### 8.2 Eksisterende forhold

#### 8.2.1 Geologisk ramme

De geologiske lag, som opbygger undergrunden i projektområdet, kan aldersmæssigt inddeles i tre: Tiderne før istiderne (Prækvartær), istiderne (Kvartær) og tiden efter seneste istid

(Postglacial, Holocæn). Udenfor den planlagte placering af Lynetteholm er bl.a. Refshaleøen, Kraftværksøen og Margretheholm anlagt i form af opfyld med bl.a. losseplads- og havneopfyld.

#### *Prækvartære aflejringer*

De prækvartære aflejringer i og omkring projektområdet udgøres af kalk fra Danien (65-62 mio. år), samt kalk, mergel og ler fra Selandien (62-59 mio. år). Kalklagene er i varierende grad opsprækket. Opsprækningen giver kalklagene egenskaber som grundvandsmagasin, hvor magasinegenskaberne afhænger af graden af opsprækning.

#### *Kvartære aflejringer*

Den kvartære lagpakke er primært opbygget af gletscheraflejringer i form af moræneler samt smeltevandsaflejringer aflejret af gletschernes smeltevand. I Københavnsområdet ses typisk en lagpakke med tre lag af sandede og grusede smeltevandsaflejringer adskilt af to lag af moræneler. Regionalt er denne lagpakke ca. 35 m tyk, men inden for projektområdet er den væsentligt tyndere og der ses generelt en stor variation i lagpakkens opbygning og i tykkelsen af de enkelte lag.

Sand- og gruslag udgør grundvandsmagasiner, mens moræneler og andre lerlag bremser op- eller nedsivning af vand og eventuelle forureningskomponenter. De konkrete hydrauliske egenskaber afhænger af kornstørrelsesfordeling, forekomst af sprækker m.v.

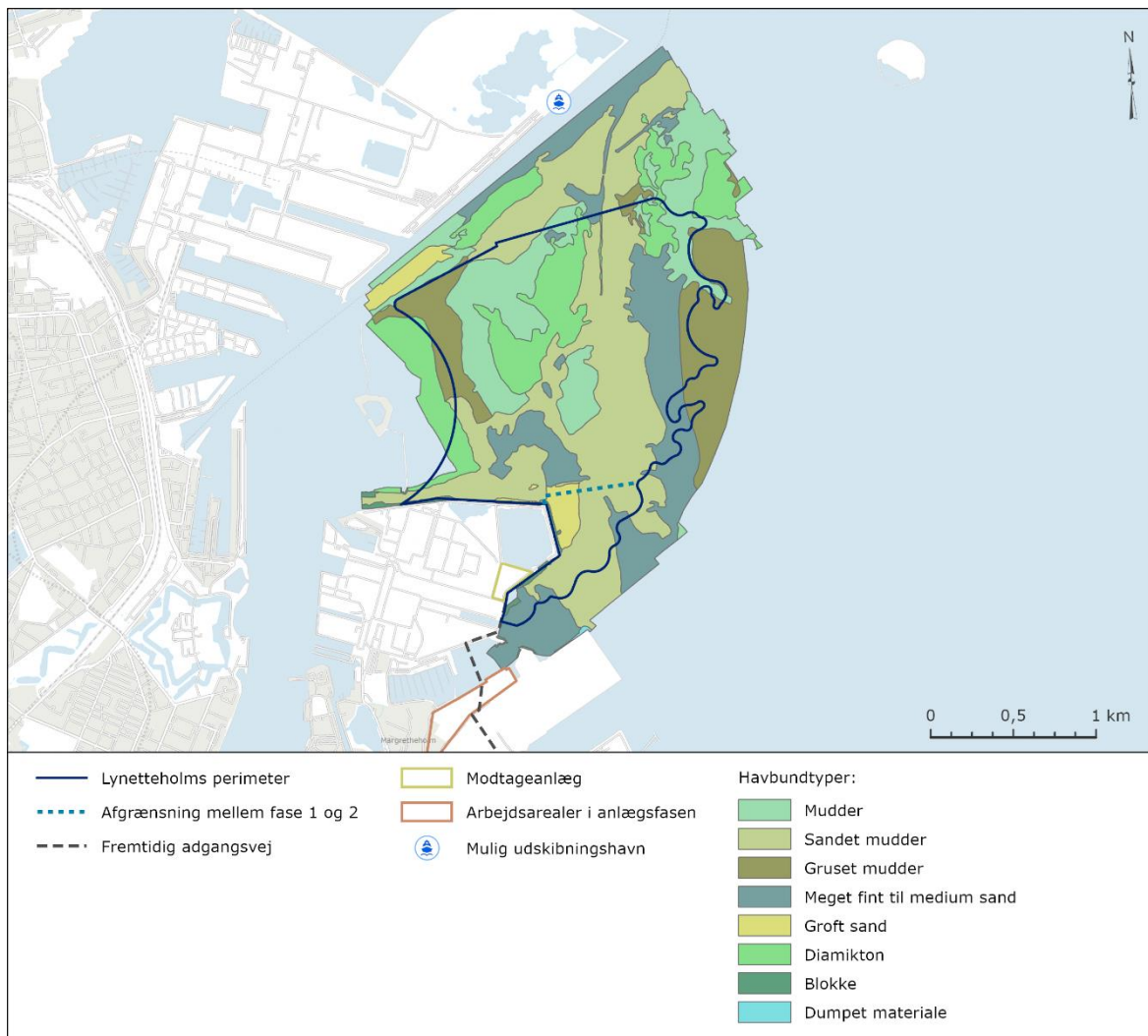
#### *Postglaciale aflejringer*

Efter den sidste istid er der i lavninger blev aflejret ferskvandslag i form af tørv og gytje, og gennem de sidste ca. 8.000 år er der aflejret marint sand, marin gytje, leret gytje og sandet gytje i de havdækkede områder.

De postglaciale aflejringer har geoteknisk betydning på grund af en generelt dårlig bæreevne men de finkornede aflejringer kan hvis de bliver liggende i området bremse op- eller nedsivning af vand og eventuelle forureningskomponenter. De konkrete hydrauliske egenskaber afhænger bl.a. af kornstørrelsesfordeling og indhold og form af organisk materiale.

### **8.2.2 Havbund og jordbund**

Som et led i forundersøgelserne er der inden for projektområdet på grundlag af en geofysisk kortlægning og geotekniske borer og udarbejdet et havbundskort, der viser den omtrentlige udstrækning af de aflejringer, som træffes på den nuværende havbund /45/, /46/, /49/, se Figur 8-1. Kortet viser, at der i de dybe områder, blandt andet i Kongeløbet, primært træffes jordarter beskrevet som mudder og sandet mudder, mens der i højereliggende områder primært træffes moræneler (beskrevet som diamikton og gruset mudder) og sand. Havbundens topografi fremgår af Figur 8-1.



**Figur 8-1 Havbundskort for projektområdet /45//46//49/.**

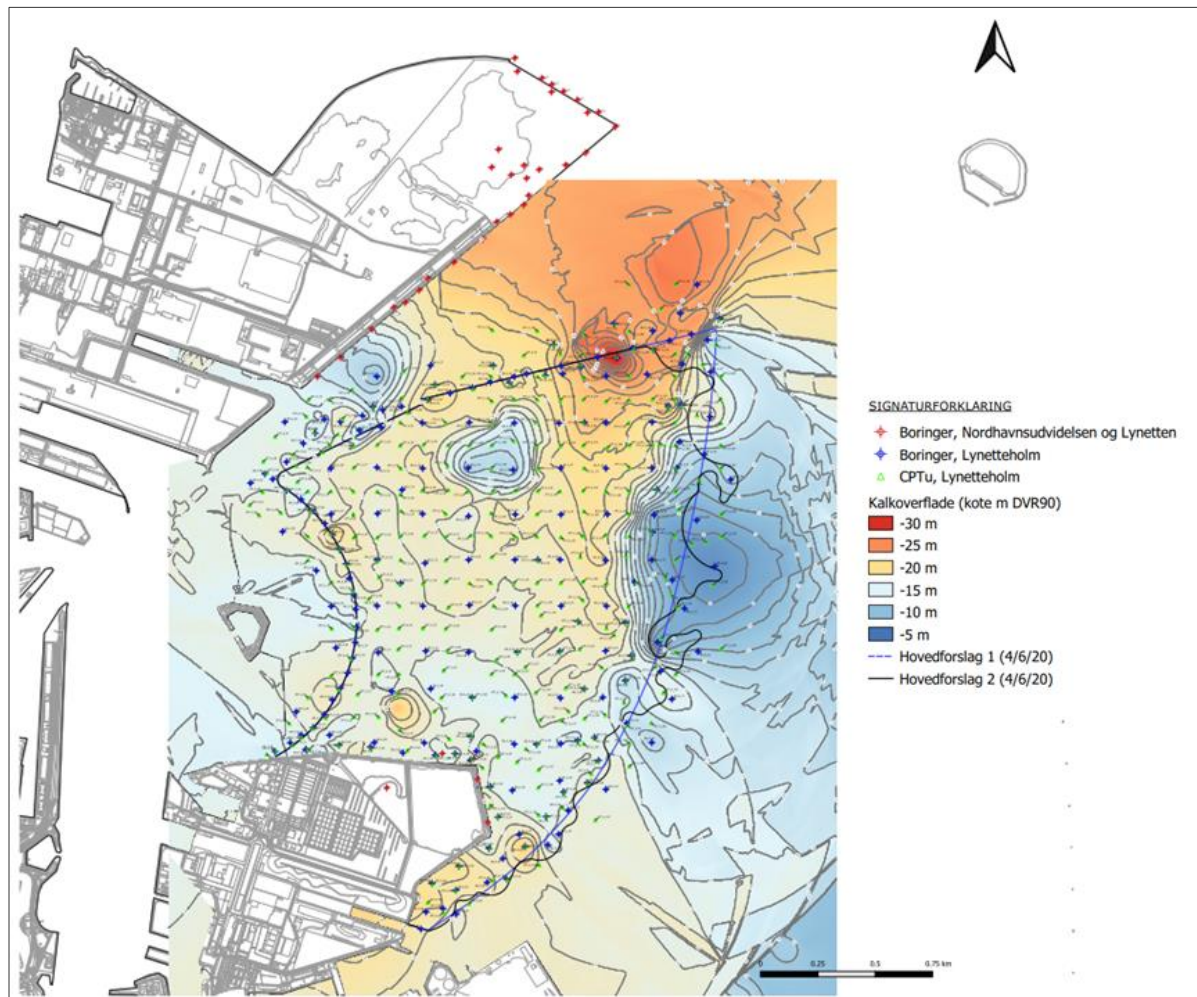
På landjorden er jordarter i én meters dybde kortlagt af GEUS. Kortlægningen dækker ikke de nærmest tilgrænsende områder Refshaleøen og Margretheholm, herunder projektets adgangsvej. Dette skyldes blandt andet, at disse områder er kunstigt anlagte områder, som er etableret ved opfyld. Opfyldningen og dermed også øverste jordlag består af lossepladsfyld og havneopfyld og indeholder indpumpet sand, byggematerialer, by-affald m.v. Boringer i Jupiterdatabasen viser, at bunden af fyldlagene i store dele af området ligger omkring kote -2 m DVR /51/.

### 8.2.3 Undergrundens sammensætning og opbygning

Undergrundens sammensætning og opbygning har betydning i forhold til at forhindre eller forsinke spredning af en eventuel forurening.

På grundlag af forundersøgelsernes geotekniske borerer sammenholdt med de geofysiske undersøgelser er der udarbejdet en geologisk model ( /47/, /49/) og på grundlag heraf kort over henholdsvis dybden til kalkoverfladen, Figur 8-2, tykkelsen af postglaciale aflejringer, Figur 8-3, tykkelsen af kvartære og prækvartære lerlag, Figur 8-4. og zonerings af projektområdet i forhold til sammensætningen af dæklagene over kalken, Figur 8-5. Desuden er der udarbejdet geologiske profilsnit til illustration af områdets geologiske opbygning /47/, et eksempel er vist i Figur 8-6

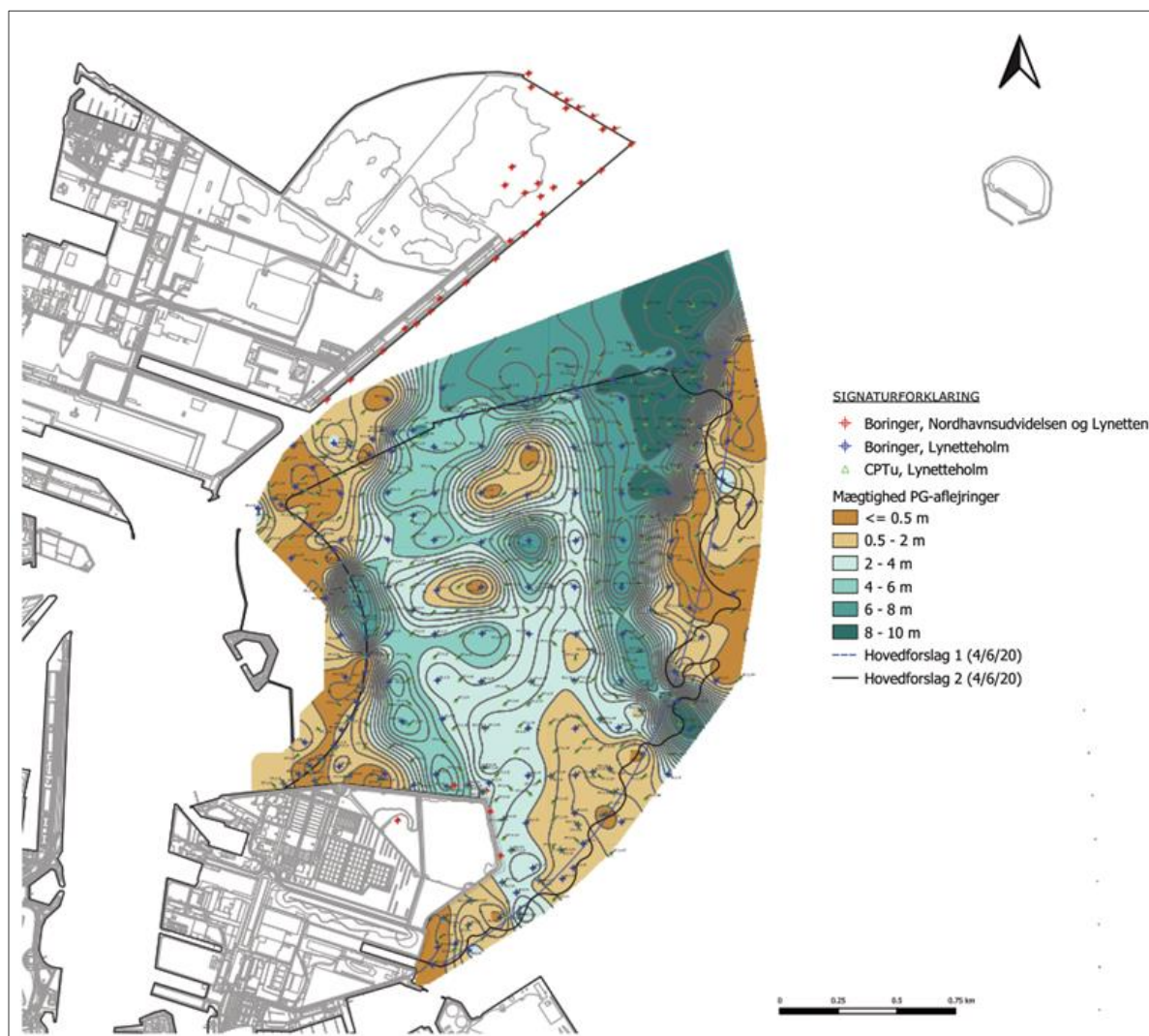
Figur 8-2 viser, at der er en betydelig topografisk variation på kalkoverfladen. Kalkoverfladens topografi har en stor indflydelse på den nutidige havbundstopografi, således er der en dal i kalkoverfladen under Kongeløbet og højtliggende kalkoverflade blandt andet under Middelgrunden. Inden for projektområdet ligger kalkoverfladen dybest i Lynetteholms nordøstlige hjørne og højest ikke langt derfra under den østlige perimeter.



**Figur 8-2 Kalkoverfladens kote i projektområdet /47/.**

Tykkelsen af postglaciale aflejringer har stor geoteknisk betydning på grund af disse aflejringers dårlige bæreevne, men som ovenfor nævnt kan disse aflejringer, hvis de bliver liggende i området, bremse op- eller nedsivning af vand og eventuelle forureningskomponenter.

Som det fremgår af Figur 8-3, varierer tykkelsen af postglaciale aflejringer inden for projektområdet mellem 0 m og mere end 9 m, med den største tykkelse i Kongeløbet og med tykkelser over 2 m i størstedelen af projektområdet. Hovedparten af de postglaciale aflejringer udgøres af gytje. Der er dog i en del boringer omkring 1 m postglacialt sand, lige som der i mange boringer er tynde lag af postglacial tørv under gytjen.

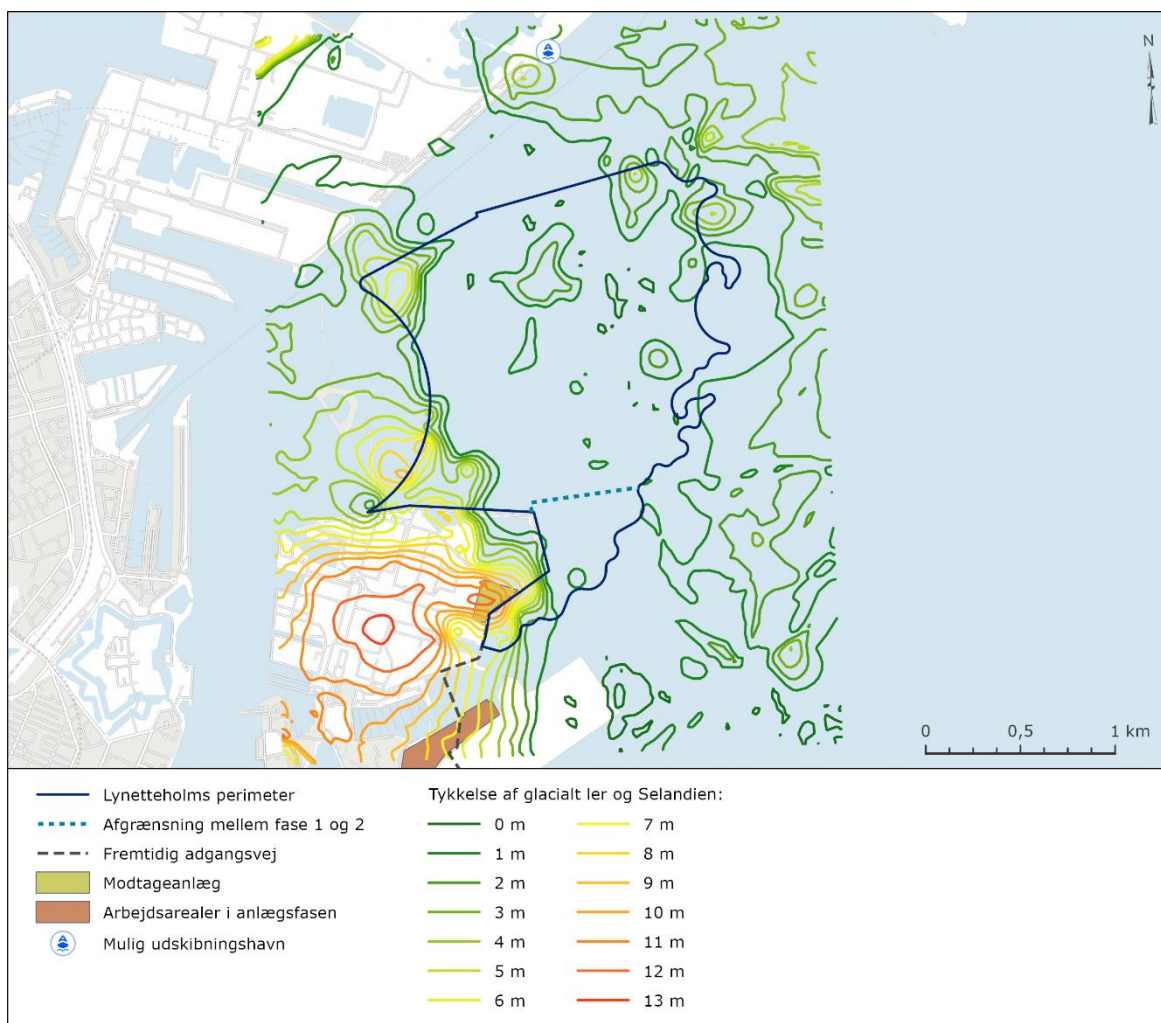


**Figur 8-3 Tykkelse af postglaciale aflejringer i projektområdet /47//48/.**

Glaciale og prækvartære lerlag har bedre geotekniske egenskaber end postglaciale aflejringer og kan ligesom de postglaciale aflejringer bremse op- eller nedsivning af vand og eventuelle forureningskomponenter. Tykkelsen af disse lerlag har derfor betydning for spredning af eventuelle forureningskomponenter.

Som det fremgår af Figur 8-4, er tykkelsen af glaciale og prækvartære lerlag i store dele af projektområdet under 1 m. I alle projektområdets hjørner stiger tykkelsen imidlertid til ca. 5 m.





**Figur 8-4 Tykkelse af kvartære og prækvartære lerlag i projektområdet /46/.**

For at kunne danne et overblik over den geologiske opbygning af dæklagene over kalken inden for projektområdet har COWI udarbejdet kortet i Figur 8-5 og følgende tilhørende beskrivelse /46/:

#### *Vestlige del af Lynetteholm*

I den vestlige del af Lynetteholm træffes primært istidsaflejringer af smeltevandssand og -grus med indslag af moræneler og smeltevandsler. I tidligere udførte borerer langs den sydlige perimeter bliver indslagene af moræneler større. Under de glacielle aflejringer træffes Selandien aflejringer af sand og ler over flint og kalksten fra Danien.

#### *Midterste del af Lynetteholm*

I den midterste og største del af Lynetteholm træffes postglacielle gytje til stor dybde. I flere borerer er der indslag på omkring én meter af postglaciell sand. Under gytje-horisonten træffes i en del af borererne et tyndt lag af tørv fulgt af grus af postglaciell, senglaciell eller glaciell oprindelse over kalken. I andre borerer ligger gytjen direkte på kalken. Inden for område G2 er der også delområder, hvor gytjen tynder ud eller helt mangler på grund af tykkere glacielle lag.

### Østlige del af Lynetteholm

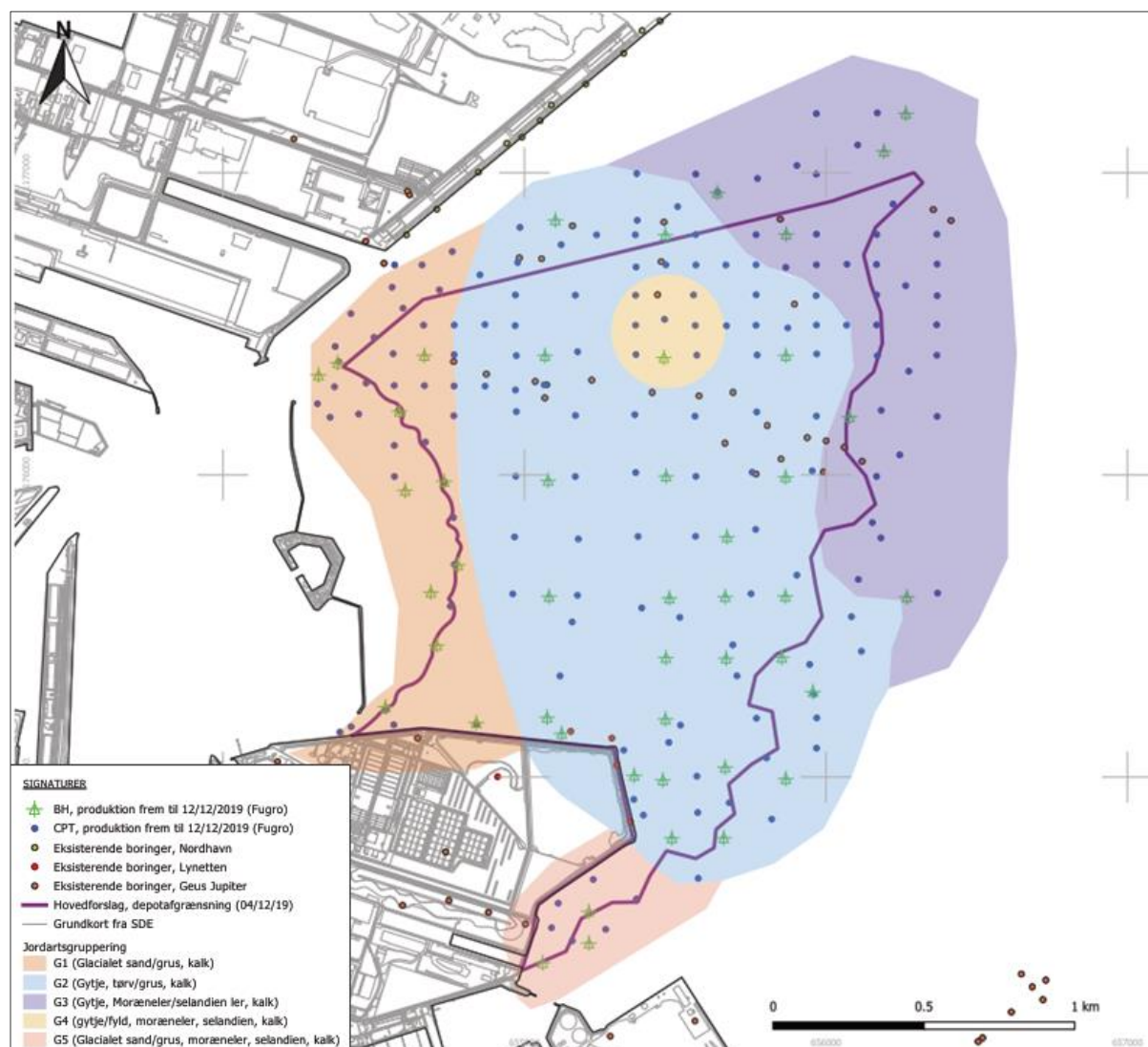
I den østlige del af Lynetteholm træffes øverst postglaciale gytjeflejringer til stedvist stor dybde over blandede glaciale aflejringer af smeltevandsgrus, -ler, morænesand og moræneler. Under de glaciale aflejringer træffes kalk.

### *Middelpulten*

I området omkring Middelpulten, der er en forhøjning i havbunden, træffes øverst fyldaflejringer af ler og grus over glaciale aflejringer af moræneler, morænegrus samt en blanding af sten, flint og kalk. Herunder træffes kalk.

### *Sydlig del af Lynetteholm*

I den sydlige del af Lynetteholm træffes primært glaciale moræneler med indslag af smeltevandssand og morænesand. I den nederste del af de glaciale aflejringer træffes generelt for alle nye borer et lag af morænegrus. Under de glaciale aflejringer træffes kalk.

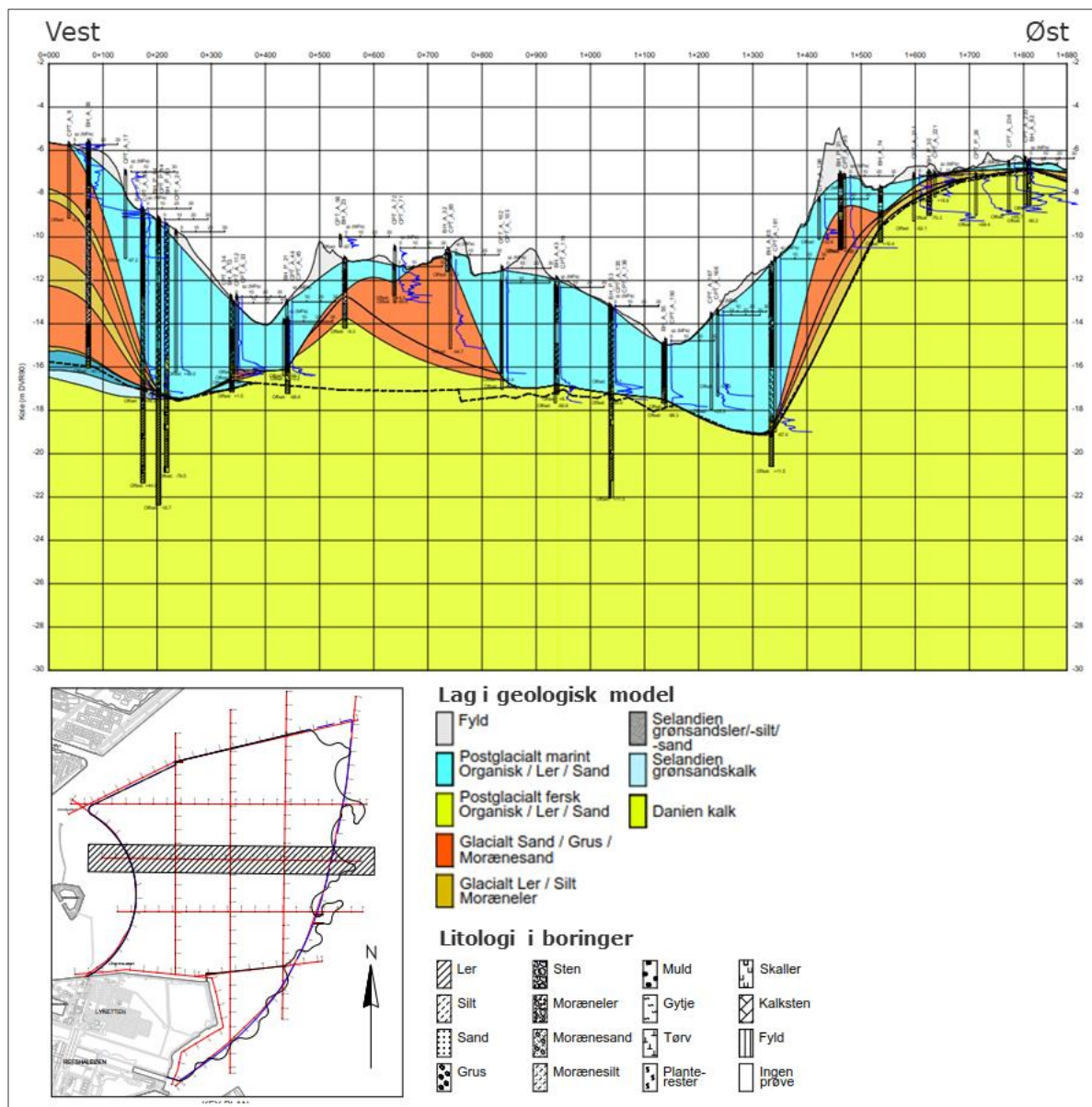


**Figur 8-5 Sammensætning af dæklagene over kalkmagasinet inden for projektområdet /46/.**

I de tilgrænsende områder Refshaleøen og Margretheholm viser boredata i Jupiterdatabasen /51/, at kalkoverfladen bølgler mellem kote ca. -10 m DVR og kote ca. -20 m DVR. Som ovenfor nævnt udgøres de øverste jordlag ned til kote ca. -2 m af losseplads- og havneopfyld. Under fyldlagene

ses der i nogle boringer postglaciale marine aflejringer, der i de fleste tilfælde er under 2 m tykke. Den kvartære lagpakke indeholder et eller to lag af smeltevandssand/-grus, der mellemlægges og i det fleste tilfælde overlægges af moræneler.

Den rumlige geologiske opbygning illustreres også af det geologiske snit, der er vist i Figur 8-6. I snittet ses tydeligt dominansen af istidsaflejringer, især sand, over kalken længst mod vest (område G1) og den højtliggende kalkoverflade længst mod øst (område G3). I de centrale dele af projektområdet (område G2) ses relativt tykke lag af gytje over lange strækninger, men der ses også et område, hvor gytjen tynder ud, og kalken udelukkende overlægges af glacialt sand.



Figur 8-6 Geologisk snit gennem undergrunden under Lynetteholm / 47/. Profillets placering fremgår af kortet under profilet.

### 8.2.4 Jordarternes hydrauliske egenskaber

Jordlagenes, særligt lerede jordlags hydrauliske egenskaber har betydning for nedsivning til grundvand og udsivning til recipient af eventuelt forurenset vand. Der er i forbindelse med de



geotekniske forundersøgelser udført laboratoriebestemmelse af permeabiliteten af gytje med to forskellige metoder. Ved oedometer-test er den vertikale permeabilitet bestemt for 6 prøver. Resultatet af forsøgene er en vertikal permeabilitet på mellem  $1,1E-10$  og  $1,5E-9$  m/s. I forbindelse med triaxial-test er den gennemsnitlige permeabilitet bestemt for 3 prøver. Resultatet af forsøgene er en gennemsnitspermeabilitet på mellem  $6,3E-11$  og  $8,1E-11$  m/s /47/. De målte permeabiliteter kan karakteriseres som meget lave og viser, at gytjen har en stærkt vandbremsende effekt.

Lynetteholm vil blive reguleret som et nyttiggørelsesanlæg og ikke et deponeringsanlæg, men til sammenligning er deponeringsbekendtgørelsen kravene til en geologisk barriere under deponier for mineralisk affald, blandet affald og farligt affald en tykkelse på mindst 2 m og en permeabilitet på højst  $1E-9$  m/s /54/. Dette krav til permeabilitet er opfyldt i 8 ud af 9 laboratoriebestemmelser.

Der foreligger ingen bestemmelser af øvrige jordlags hydrauliske egenskaber.

### **8.2.5 Grundvand**

#### *Planforhold*

I projektområdet findes der grundvandsmagasiner i kalken (København Kalk og Lellinge Grønsandskalk) og i lag af smeltevandssand. Da området i dag er dækket af hav, er der ingen grundvandsinteresser i området.

På land er der i vandområdeplanerne, der er en udmøntning af EU's Vandrammedirektiv og Miljømålsloven, udpeget, tilstandsvurderet og målsat grundvandsforekomster. I det mod projektområdet tilgrænsende område på Refshaleøen er grundvandsforekomsten DK\_2\_4\_12\_406 udpeget som en regional grundvandsforekomst i kalkmagasinet. Grundvandsforekomsten er vurderet til at have god kemisk tilstand og kvantitativ tilstand og dermed også god samlet tilstand /53/. Der er ingen analysedata i Jupiterdatabasen, der kan bekræfte kalkmagasinets og dermed grundvandsforekomstens kemiske tilstand på Refshaleøen. De første boringer med analyser længere mod syd viser alle et stærkt saltbelastet magasin med overskridelse af drikkevandskriterierne for både klorid og natrium.

Syd for Refshaleøen er der ud over grundvandsforekomst DK\_2\_4\_12\_406 i kalkmagasinet også udpeget grundvandsforekomsten DK\_2\_12\_352, der er en regional grundvandsforekomst i sandmagasinerne KS2 og KS3. Grundvandsforekomsten er vurderet at have dårlig kemisk tilstand på grund af dårlig tilstand i forhold til klorid, sulfat og klorerede opløsningsmidler. Det vurderes, at alle de nødvendige forbedringer af grundvandsforekomstens tilstand ikke med rimelighed kan opnås inden vandområdeplanernes tidsfrist for opnåelse af god tilstand, 22. december 2021, som følge af, at de naturlige forhold ikke muliggør en forbedring af grundvandsforekomstens tilstand inden dette tidspunkt /53/.

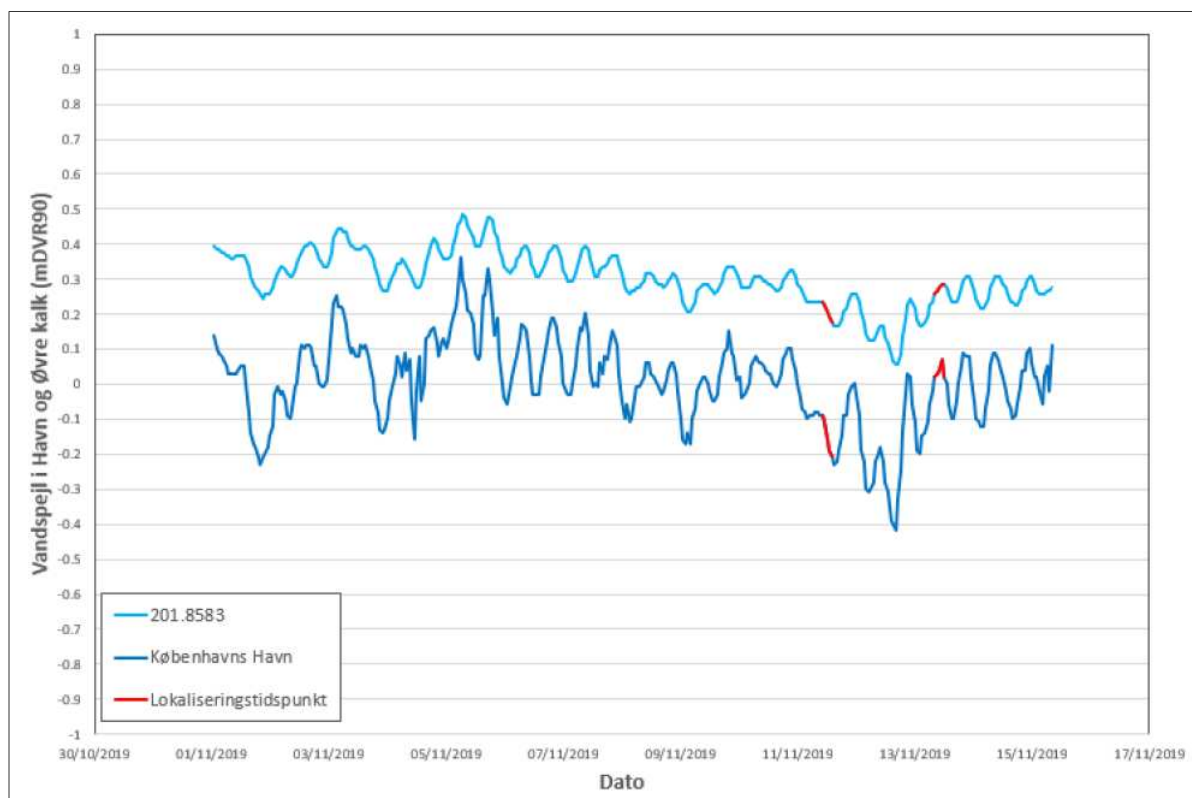
I henhold til Vandforsyningsloven skal Miljøministeren kortlægge og udpege drikkevandsressourcer, herunder udpege områder med drikkevandsinteresser (OD) og områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD). Der er ikke udpeget områder med drikkevandsinteresser eller områder med særlige drikkevandsinteresser i de områder, der grænser op til projektområdet /52/. Jf. Jupiterdatabasen er der ingen anlæg med aktiv tilladelse til indvinding af grundvand til drikkevand i områderne, der grænser op til projektområdet /51/.

#### *Grundvandets potentiale og strømning*

Der er i forbindelse med forundersøgelserne udført en række pejlinger af grundvandspotentialet i det primære kalkmagasin, og på baggrund af disse pejlinger og eksisterende potentialekort for

kalkmagasinet er der udarbejdet et potentialekort for området /46/. Inde i land er grundvandstrykket højere end ude i Øresund, herunder i projektområdet. Som følge heraf forventes der at være en permanent strøm af grundvand fra land ud mod Øresund. Inde i land står grundvandspotentialiet i kalken over kote +0 m DVR, mens det under havnen og havet ligger omkring kote 0 m.

Grundvandspotentialiet i kalken følger ændringer i vandstanden i havnen. I Figur 8-7 ses tidsserier for vandspejlet i Københavns Havn og i kalkmagasinet (Øvre København Kalk) i en boring på Langelinie, vest for projektområdet. Som det fremgår af figuren, følger ændringerne i grundvandspotentialiet nøje ændringerne i vandspejlet i havnen, om end der ses en beskedne forsinkelse og en dæmpning. Sammenhængen indikerer, at der i området findes delområder med omtrent direkte hydraulisk kontakt mellem havnen og kalkmagasinet. Dette betyder, at eventuelle forureningskomponenter, der transporteres til kalken, med stor sandsynlighed vil blive transporteret videre til havnen.



Figur 8-7. Vandspejl i Københavns Havn og i den Øvre København Kalk, der udgør det primære magasin i området (boring 201.8583, der er beliggende på Langelinie, vest for projektområdet).

### 8.3 Vurdering af påvirkninger i anlægsfasen

#### 8.3.1 Påvirkning af geologiske lag under havbunden

De øverste geologiske lag under havbunden består i størstedelen af projektområdet af postglaciale aflejringer, blandt andet gytje. På grund af disse aflejringers dårlige bæreevne skal de udskiftet med marint sand under perimeterkonstruktionerne /48/. Langs perimeteren er der udtaget miljøprøver i de postglaciale aflejringer med henblik på at afgøre, hvordan de opgravede lag skal håndteres. Forurenede jordlag forventes deponeret i Lynettedepotet, mens rene jordlag forventes klappet på en anvist klappads. Klappning af postglaciale aflejringer/gytje er beskrevet i kapitel 31 Klappning af havbundsmateriale.

De dybere geologiske lag vil ikke blive udskiftet ved anlæg af perimeterkonstruktionerne. Ved perimeterkonstruktioner med spunsvæg vil de geologiske lag blive gennemskåret af spunsvæggen ned til få meter under toppen af kalken.

### **8.3.2 Påvirkning af grundvand**

I kapitel 13 Forurenede jord er de forurenede grunde på land beskrevet. Flere af de forurenede grunde grænser direkte op til den sydlige perimeter. Det vurderes, at etablering af den sydlige perimeter ikke vil føre til en ændret infiltration af regnvand eller nedvaskning af forureningskomponenter på de forurenede grunde. Dermed vurderes det, at etablering af den sydlige perimeter ikke vil påvirke grundvand fra de forurenede grunde. Det er en forudsætning for dette, at der ikke i forbindelse med etableringen af de sydlige perimeter foretages grundvandssænkning, hvor sænkningstragten strækker sig ind under (dele af) de forurenede grunde. Projektet indeholder ikke planer om at udføre grundvandssænkning.

Både modtageanlægget på Refshaleøen og arbejdshavnen på Kraftværkshalvøen etableres på arealer, der er områdeklassificerede og grænser op til forureningskortlagte arealer. Ved etableringen af modtageanlægget etableres passende barrierer til at minimere risiko for ny forurening fra tilført materiale, herunder f.eks. befæstede arealer med afledning til sandfang og olieudskillere, perkolatopsamling under karteringsplads og spildbakker under brændstofoplag. Som følge af etableringen af disse barrierer forventes infiltrationen af nedbør fra terræn til grundvandet at blive mindsket, og en eventuel nuværende nedvaskning af forureningskomponenter til grundvandet vil således blive mindsket, således at der lokalt kan opstå en lille, positiv miljøeffekt. Under forudsætning af, at arbejdshavnen etableres, indrettes og driftes således, at der tages højde for evt. potentielt forurenende aktiviteter, vurderes byggepladsen ikke at få betydning for områdets grundvand. Etableringen af adgangsvejen vurderes ligeledes ikke at få betydning for områdets grundvand.

Udskibningshavnen i Nordhavn planlægges etableret på det areal, som er reserveret til den fjerde krydstogtterminal. Under forudsætning af, at udskibningshavnen etableres, indrettes og driftes således, at der tages højde for evt. potentielt forurenende aktiviteter, vurderes byggepladsen ikke at få betydning for områdets grundvand.

## **8.4 Vurdering af påvirkninger i driftsfasen**

### **8.4.1 Påvirkning af geologiske lag under havbunden**

Inden for perimeteren vil de postglaciale aflejringer ikke blive udskiftet /48/. Lagene vil blive kompakteret og konsolideret i takt med opfyldning med jord under driftsfasen. Under forudsætning af, at opfyldningen tilrettelægges, så der ikke opstår risiko for stabilitetsbrud /48/, vil der ikke ske yderligere påvirkninger af de postglaciale aflejringer.

De dybere geologiske lag vil ikke blive påvirket under driftsfasen. Det vurderes herunder, at kompaktering af postglaciale aflejringer og tilførsel af fyldlag ikke vil have betydning for sprækker eller sætninger i de dybere geologiske lag eller for disse lags stabilitet.

### **8.4.2 Risiko for udsivning gennem havbunden**

I de områder, der opfyldes med forurenede jord, vil porevandet i fyldlagene udvaske forureningskomponenter fra den forurenede jord. I takt med at halvøen fyldes op, vil grundvandsspejlet i fyldlagene blive etableret i et niveau over havniveau, og der vil derved opstå en udadrettet og en nedadrettet trykgradient. Trykgradienten vil bevirke, at porevand fra

fyldlagene vil strømme ud gennem perimeteren til havet eller ned til grundvandsmagasinerne i kvartære sandlag og i kalken. Fra grundvandsmagasinerne vil vandet strømme videre ud i havet. I forhold til nedadrettet strømning til grundvandsmagasinerne vil postglaciale lag af gytje, hvor gytjen har en vis tykkelse, og hvor gytjen har en lav hydraulisk ledningsevne, fungere som en naturlig membran, der forhindrer eller stærkt begrænser strømningen. Som beskrevet i afsnit 8.2.4 har gytjen stærkt vandbremsende hydrauliske egenskaber.

Tykkelsen af postglaciale aflejringer varierer mellem 0 og mere end 9 m. De tynde kvartære lerlag, der i dele af området ligger under de postglaciale aflejringer, vurderes ikke at bidrage væsentligt til en naturlig barriere. I områderne med tynd eller ingen gytje vurderes der derfor ikke at eksistere en naturlig barriere, der kan forhindre nedsivning af eventuelt forurenede porevand til grundvandsmagasinerne og videre strømning af dette vand til havet. Områder med tynd eller ingen gytje fremgår af Figur 8-3. Der er områder med tynd eller ingen gytje langs den vestlige perimeter og langs dele af den østlige perimeter. I den indre del af Lynetteholm er der i store områder relativt tykke lag af gytje, men der er, som det fremgår af Figur 8-3, og som det også ses i det geologiske snit i Figur 8-6, også delområder med tynd eller ingen gytje.

Hvorvidt en nedsivning påvirker havet er vurderet i kapitlet 12 Vandkvalitet.

#### **8.4.3 Påvirkning af grundvand**

Opbygningen af det nye landområde Lynetteholm og den deraf følgende etablering af et lokalt grundvandsspejl over havniveau vurderes ikke at ville påvirke grundvandsspejlet i de tilgrænsende landområder Refshaleøen og Kraftværkshalvøen. Der vurderes derfor ikke at ske en ændring i de eksisterende strømningsmønstre i grundvandet i disse områder, og derfor heller ikke at ske en ændret mobilisering af forureningskomponenter fra eksisterende forurenede lokaliteter.

Driften af modtageanlægget på Refshaleøen vurderes ikke at påvirke grundvandet. Driften vil ikke i væsentlig grad påvirke grundvandsspejlet i området og således ikke føre til ændrede strømningsmønstre i grundvandet eller ændret mobilisering af forureningskomponenter fra eksisterende forurenede lokaliteter. Under forudsætning af, at modtageanlægget er etableret med barrierer til at minimere risiko for ny forurening fra tilført forurenede jord, herunder f.eks. befæstede arealer med afledning til sandfang og olieudskillere, perkolatopsamling under karteringsplads og spildebakker under brændstofoplag, vil der ikke ske en påvirkning af grundvandet som følge af ny forurening fra modtageanlægget. I tilfælde af driftsuheld, som forårsager en forurening af jordlag på arealet forventes det, at en sådan hændelse hurtigt håndteres, og at forureningen minimeres og fjernes. Herved minimeres også en eventuel påvirkning af grundvandet under modtageanlægget.

Under forudsætning af, at udskibningshavnen i Nordhavn er etableret med barriere til at minimere risiko for forurening fra mellemdeponering af jord eller fra eventuelle uheld og spild under driften, vurderes udskibningshavnen ikke at påvirke grundvandet.

#### **8.5 Afværgeforanstaltninger**

For at undgå ny forurening i grundvand under modtageområdet på Margretheholm skal modtageanlægget etableres med befæstede belægning med afledning til sandfang og olieudskillere samt spildebakker under brændstofoplag. Udskibningshavnen i Nordhavn skal med tilsvarende afværgeforanstaltninger.

#### **8.6 Overvågning**

Der vurderes ikke at være behov for overvågning af hensyn til geologi og grundvand.



## 8.7 Kumulative påvirkninger

Der er ikke kendskab til projekter, som vil bidrage til kumulativ påvirkning af geologi og grundvand.

## 8.8 Sammenfattende vurdering

I Tabel 8-2 er givet en sammenfattende vurdering af de vurderede miljøpåvirkninger i hhv. anlægs- og driftsfasen. Det vurderes, at projektet i anlægsfasen lokalt vil få stor påvirkning af de geologiske lag i form af afgravning af postglaciale aflejringer i perimeteren. Denne påvirkning er vedvarende men vurderes at være af lille betydning, da der er tale om en påvirkning af vidt udbredte geologiske lag i et lille område. I driftsfasen vurderes projektet lokalt at få nogen påvirkning af de geologiske lag i form af kompaktion og konsolidering af postglaciale aflejringer inden for perimeteren. Denne påvirkning er vedvarende men vurderes at være af lille betydning.

Projektet vurderes at medføre en lokal påvirkning af grundvandet under Lynetteholm og af havet. Da grundvandets kvalitet under Lynetteholm forventes at være præget af blandt andet højt indhold af klorid, vurderes betydningen af påvirkning af grundvandet at være lille. Påvirkningen af havet er vurderet i kapitel 12 Vandkvalitet.

Det vurderes, at projektet vil have lille eller ingen påvirkning af grundvandet i de tilgrænsende områder på Refshaleøen og Margretheholm inkl. Kraftværkshalvøen. Det vurderes ligeledes, at projektet vil have ingen eller lille påvirkning på grundvandet i området omkring udskebningshavnen i Nordhavn.

**Tabel 8-2. Sammenfattende vurdering af påvirkningen af geologi og grundvand.**

| Miljøpåvirkning                       | Sårbarhed | Påvirkningens størrelse |                       |            | Betydning |
|---------------------------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------|-----------|
|                                       |           | Intensitet              | Geografisk udbredelse | Varighed   |           |
| <b>Anlægsfasen</b>                    |           |                         |                       |            |           |
| Påvirkning af geologiske lag          | Lav       | Stor                    | Lokal                 | Vedvarende | Lille     |
| Påvirkning af grundvand               | Lav       | Lille                   | Lokal                 | Kort       | Lille     |
| <b>Driftsfasen</b>                    |           |                         |                       |            |           |
| Påvirkning af geologiske lag          | Lav       | Mellem                  | Lokal                 | Vedvarende | Lille     |
| Risiko for udsivning gennem havbunden | -         | Mellem                  | Lokal                 | Lang       | Lille     |
| Påvirkning af grundvand               | Lav       | Lille                   | Lokal                 | Lang       | Lille     |

## 9. SEDIMENT

### 9.1 Metode

#### 9.1.1 Metode til beskrivelse af den aktuelle miljøstatus

Beskrivelsen af sedimentforholdene indenfor projektområdet og nærliggende områder er foretaget på baggrund af resultater fra de geofysiske, geotekniske og miljøtekniske undersøgelser som blev udført i 2019 – 2020, herunder /55/ - /60/.

Desuden er anvendt resultater fra GEUS over havbundens overfladesedimenter /61/, resultater fra rapporten fra sedimentundersøgelser udført i Københavns Havn 2014 /62/, VVM for vindmøllepark på Middelgrunden /63/, samt statusbeskrivelse for Middelgrunden som anvendt dumpningsområde/klapplads /64/.

Datagrundlaget for eksisterende forhold vurderes at være godt.

#### 9.1.2 Metode til vurdering af påvirkninger

I Tabel 9-1 er relevante kilder til miljøpåvirkninger på sedimentforhold angivet for anlægs- og driftsfasen.

**Tabel 9-1 Kilder, som vurderes at kunne give anledning til potentielle påvirkninger af sediment.**

| Kilder til potentielle påvirkninger af sediment | Anlægsfase | Driftsfasen |
|---|------------|-------------|
| Arealinddragelse til havs                       | X          |             |
| Etablering af perimeter                         | X          |             |
| Fysisk forstyrrelse på havbunden                | X          | X           |
| Sedimentation på havbund                        | X          | X           |

Den anvendte viden og data om sediment vurderes at være god, men der er vurderet et behov for overvågning under anlæg og drift af Lynetteholmen for at kunne dokumentere påvirkninger.

Til vurdering af påvirkningerne af sedimentet er anvendt oplysninger vedrørende følgende forhold:

- Anlægsaktiviteterne som beskrevet i projektbeskrivelsen i kapitel 3.
- Resultaterne fra matematisk modellering af spredningen af sediment, forurenende stoffer, næringsstoffer, samt re-sedimentation under opgravning af blød bund langs perimeteren i anlægsfasen, samt resultater fra modellering af udledningen/udsivningen af overskudsvand under opfyldning af Lynetteholm med ren/forurennet jord /58/.

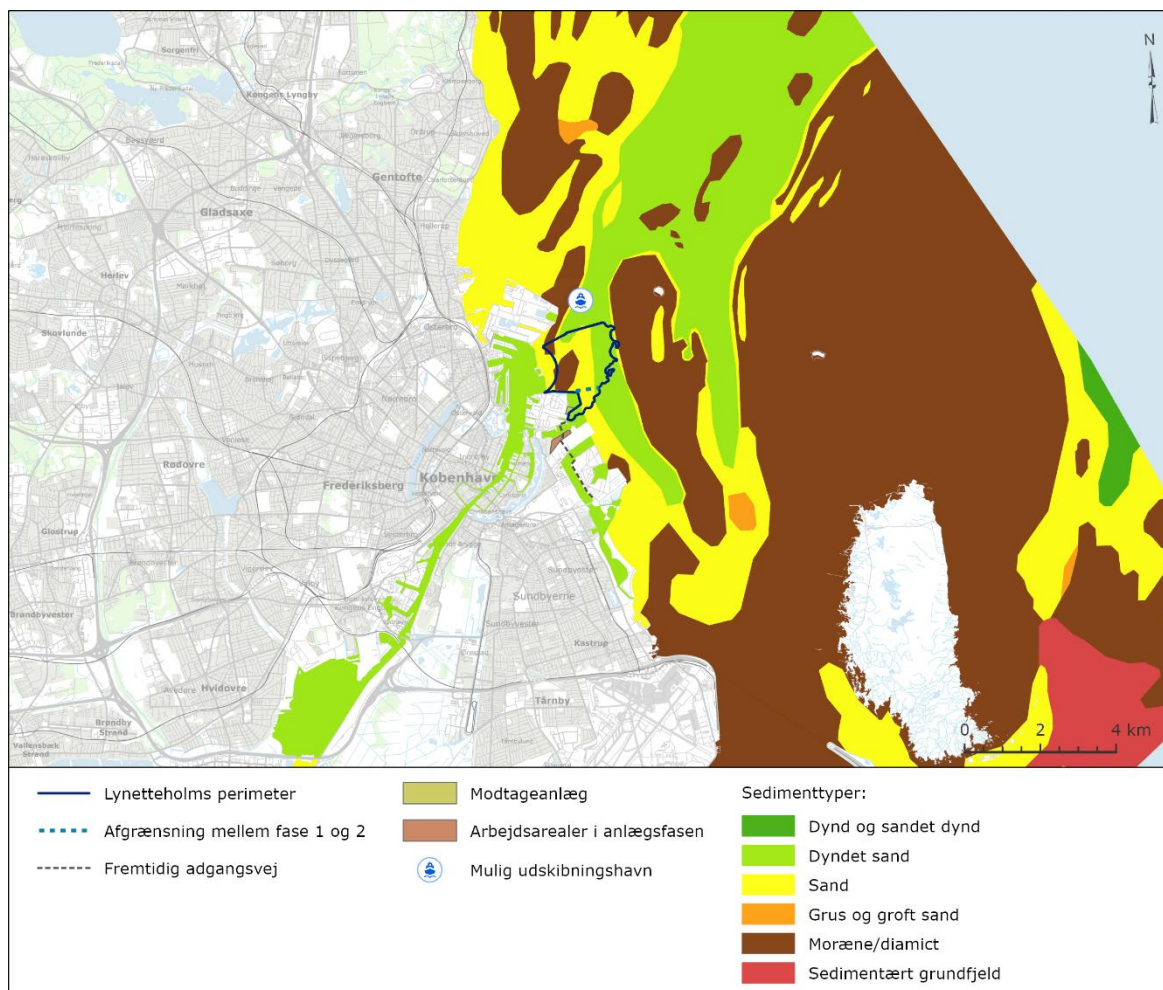
### 9.2 Den aktuelle miljøstatus

#### 9.2.1 Overfladesediment generelt

Havbundens overfladesedimenter for projektområdet og omkringliggende områder er vist på Figur 9-1, og udgøres (ned til omkring 0,5 meters dybde), af /61/:

- Dyndet sand for de dybere områder (Hollænderdybet øst for Middelgrunden, i Kongedybet vest for Middelgrunden, samt nord/nordøst for middelgrunden), og i indre dele af havneområdet.
- Moræneler på generelt lavere vanddybder (Middelgrunden, og mindre områder omkring Trekroner i Yderhavnen, udfør Nordhavn og Prøvestenen.

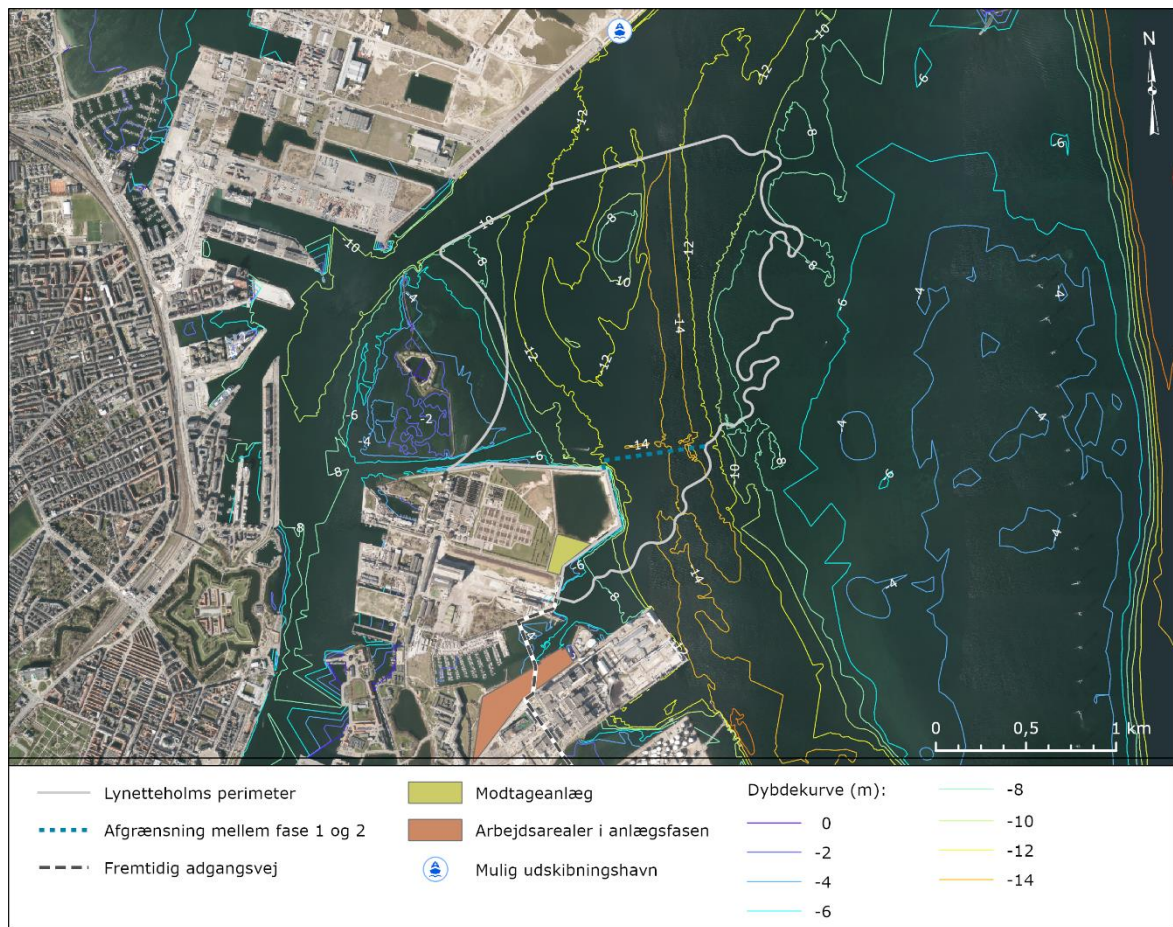
- Sand på lavere vanddybder generelt nær kysten.



Figur 9-1 Havbundssedimenter for projektområdet og nærområde til projektområdet /61/.

### 9.2.2 Overfladesedimentet indenfor projektområdet

Overfladesedimentet indenfor projektområdet, som angivet på figur 8-1, udgøres som beskrevet i geologi afsnittet i de dybe områder, herunder Kongedybet, af gytje og sandet gytje, mens der i højereliggende områder primært forekommer moræneler og sand. Dybdeforholdene indenfor projektområdet er vist på Figur 9-2.



Figur 9-2 Dybdeforholdene indenfor projektområdet.

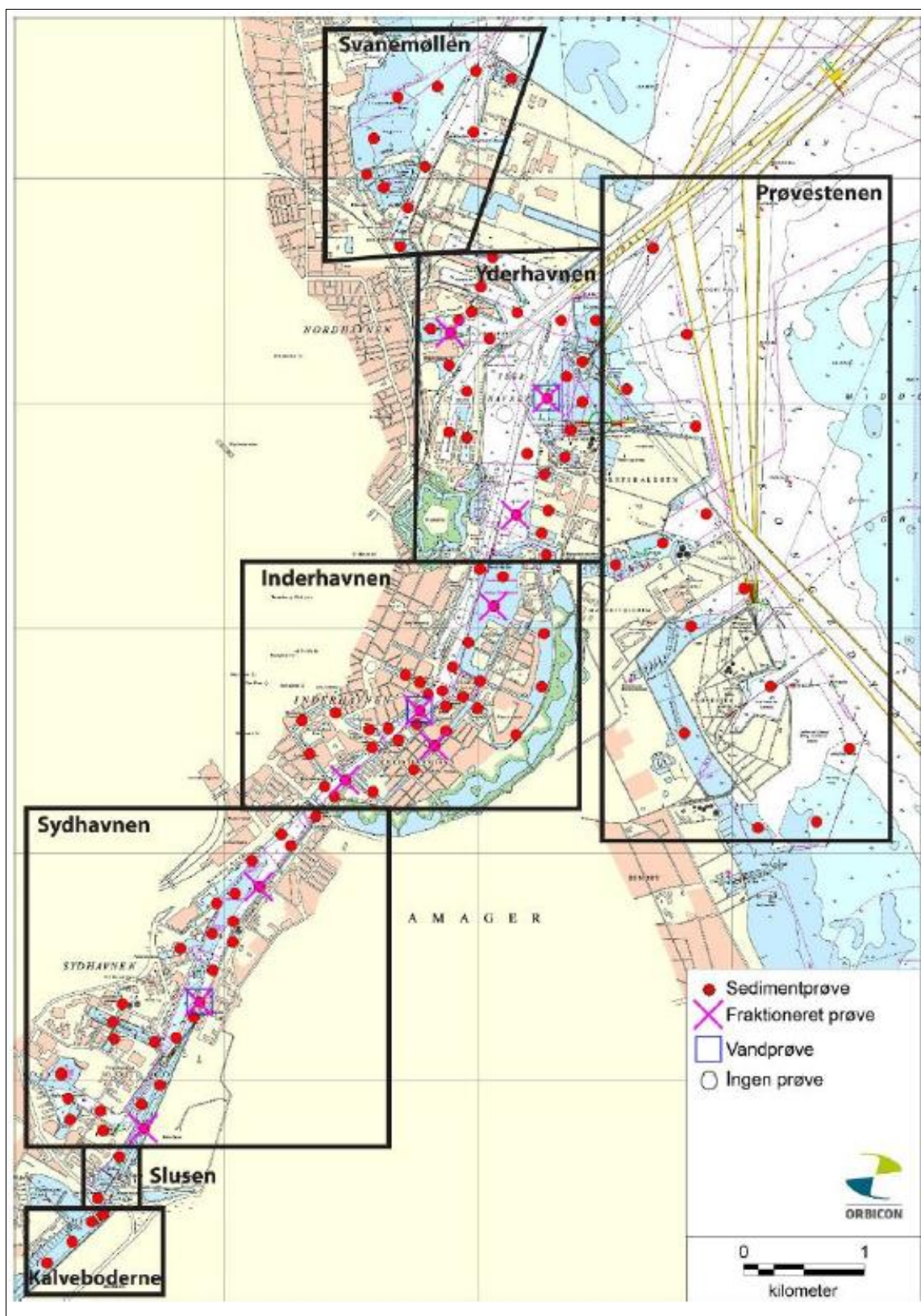
### 9.2.3 Sedimentforurening

Sedimentforurening er beskrevet i havneområdet, ved Middelgrunden og i projektområdet.

#### Havneområdet

Forureningen af overfladesedimentet indenfor og umiddelbart udenfor havneområdet blev undersøgt i 2014 på i alt 122 stationer som vist på Figur 9-3. Ved undersøgelsen blev der analyseret for sedimentets indhold af metaller (Arsen (As), Barium (Ba), Bly (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kobber (Cu), Kviksølv (Hg), Nikkel (Ni) og Zink (Zn), kulbrinter (C6-C10, C10-C25, C25-C35), samt analyseret for tørstof og glødetab /62/. Prøverne blev generelt udtaget ned til mellem 20 – 45 cm dybde, hvor større sten og intakt moræne og uforstyrrede bundlag af ler blev frasorteret, før blandprøve af prøverester blev analyseret.





Figur 9-3 Oversigt over stationer, hvor der blev udtaget sedimentprøver til analyse for glødetab, indhold af metaller og kulbrinter i 2014, samt inddeling af havnen i delområder.

Resultaterne fra undersøgelsen blev opgjort både i henhold til klapvejledningens opdeling i nedre og øvre aktionsniveau, og inddelt i jordklasser i henhold til jordplan Sjælland. Opdelingen i aktionsniveauer jf. klapvejledningen i Klasse A, B og C. Klasse A: Koncentration (mg/TS) mindre end nedre aktionsniveau, Klasse B: Koncentration (mg/TS) mellem nedre og øvre aktionsniveau, Klasse C: Koncentration (mg/TS) større end øvre aktionsniveau. Sediment forurenet med koncentrationer i klasse C skal som udgangspunkt deponeres på land /65/.

På baggrund af undersøgelsen kan der konkluderes følgende for delområderne Yderhavnen og Prøvestenen, som er beliggende nærmest til projektområdet:

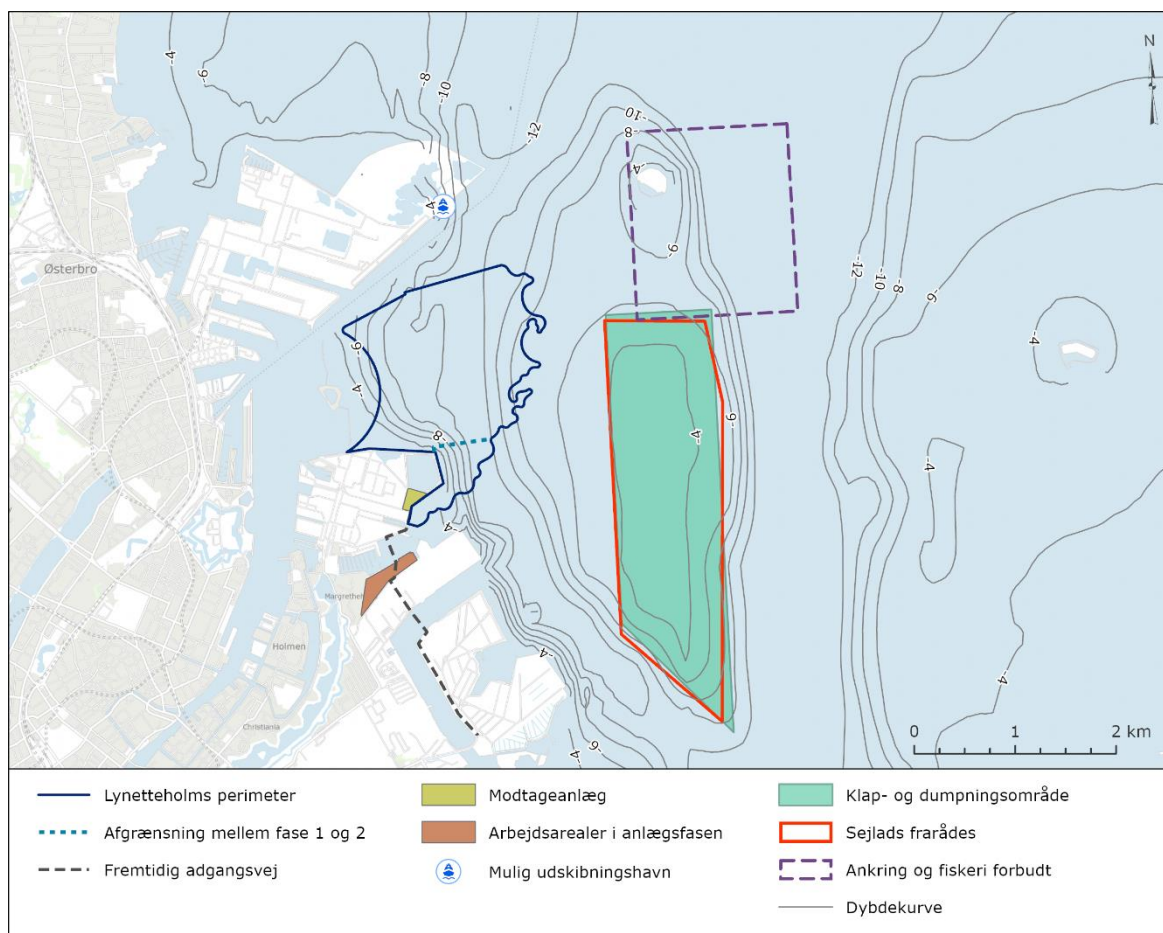
- Koncentrationen af nikkel (Ni), krom (Cr), arsen (As) i sedimentet er mindre end nedre aktionsniveau.
- Koncentrationen af bly (Pb), cadmium (Cd), zink (Zn) i sedimentet er mindre end, eller beliggende mellem nedre og øvre aktionsniveau med enkelte stationer i kanaler/bassiner over øvre aktionsniveau.
- Koncentrationen af kobber (Cu) ligger mellem nedre og øvre aktionsniveau i åbne vandflader, og over øvre aktionsniveau i kanaler/bassiner.
- Koncentration af kviksølv (Hg) er generelt over øvre aktionsniveau.

**Tabel 9-2 Aktionsniveau (koncentration) for tungmetaller i sediment i henhold til klapvejledningen /65/.**

| Stof          | Klasse A             | Klasse B  | Klasse C            |
|---------------|----------------------|-----------|---------------------|
|               | <Nedre aktionsniveau |           | >Øvre aktionsniveau |
| Nikkel (Ni)   | <30                  | 30 - 60   | >60                 |
| Krom (Cr)     | <50                  | 50 - 270  | >270                |
| Arsen (As)    | <20                  | 20 - 60   | >60                 |
| Bly (Pb)      | <40                  | 40 - 200  | >200                |
| Cadmium (Cd)  | <0,4                 | 0,4 - 2,5 | >2,5                |
| Zink (Zn)     | <130                 | 130 - 500 | >500                |
| Kobber (Cu)   | <20                  | 20 - 90   | >90                 |
| Kviksølv (Hg) | <0,25                | 0,25 - 1  | >1                  |

#### *Middelgrunden*

Middelgrunden har gennem mere end hundrede år været anvendt som losseplads for bl.a. havneslam og uddybningsmateriale fra Københavns Havn. Således blev der ved udbygningsarbejderne ved Levantkajen klappet betonklodser/dragere, samt fra uddybningen af Amagerværkets havn og sejløb sand og ler, som efter arbejdernes udførelse ragede op over havoverfladen. Derudover skønnes det, at der frem til 1990'erne er klappet mindst 1,6 million m<sup>3</sup> fyld af fortrinsvej (støbe)sand, ler og slam på Middelgrunden. Klappning af forurenet havneslam ophørte i 1984. Således er det skønnet, at der er dumpet 3 – 8 t kviksølv på Middelgrunden (kviksølvholdigt havneslam fra Soyakagefabrikken), samt "store mængder af bly, kobber og zink, samt små mængder cadmium og nikkel" /64/. Placeringen af klappladser/dumpningsområde er angivet på Figur 9-4 og er baseret på koordinater angivet i /64/.



**Figur 9-4 Tidligere klap- og dumpningsområde på Middelgrunden /64/.**

Der er i 1990'erne udført en række undersøgelser for at afklare forureningsgraden indenfor klapnings- /dumpningsområdet. Resultaterne herfra er beskrevet i /64/ og viser en stor variation i sedimentets indhold af metaller og sedimentets sammensætning. i /64/ er det konkluderet at: *"Middelgrunden ikke er et stabilt sedimentationsområde"*, og at: *"... enkelte områder på Middelgrunden er forurenet med tungmetallerne bly, kobber, kviksølv og zink. Resten af området virker upåvirket og er ikke tungmetalforurenet. Hovedparten af den deponerede kviksølv mængde vurderes at være forsvundet fra området og ikke overlejret med nyt og renere sediment. Det samme vil formodentlig ske med det tilbageblevne forurenede sediment"*.

Ved undersøgelsen på Middelgrunden som blev udført i marts 2020 /59/ blev udført analyse for sedimenternes indhold af miljøfremmede stoffer (metaller og organiske forureninger). Bunden var præget af stor bølge- og strømaktivitet, som direkte kunne aflæses på bølge- strømribber på de sandede overflader. Indholdet af metaller i sedimentet var generelt lavt. Gennemsnitsværdien for kviksølv var på 0,08 mg/kg TS, med 3 ud af 28 prøver med koncentration større end 0,01 mg/kg TS, op til 0,43 mg/kg TS. Koncentrationer for metaller, bromerede flammehæmmere, polyaromatiske kulbrinter (PAH<sub>16</sub> EPA, polyklorerede bifenyler (PCB<sub>7</sub> EU) var generelt lave/under detektionsgrænsen. For organiske tinforbindelser blev der målt indhold af TBT i omkring 40% af prøverne, med højeste indhold på 7,7 µg/kg TS /59/



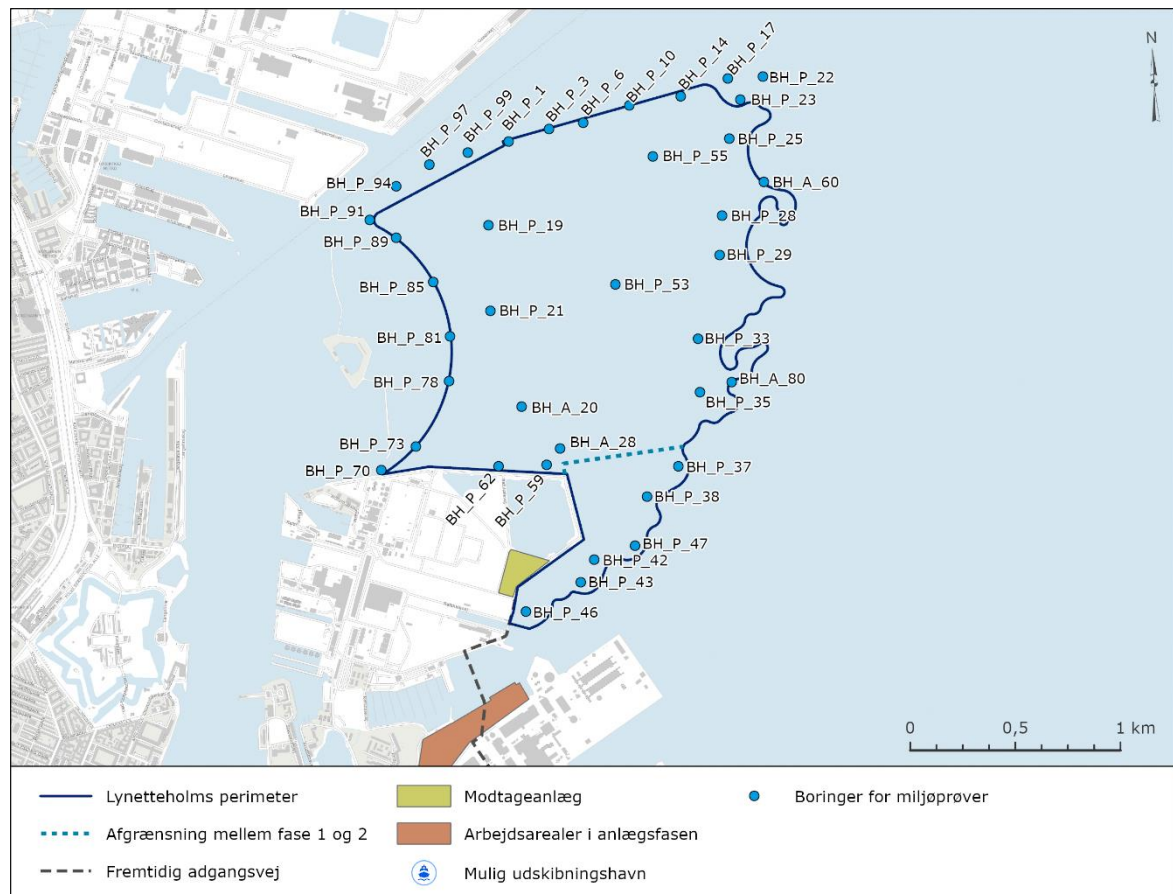
### Projektområdet Lynetteholm

I selve projektområdet for Lynetteholm er der udført undersøgelser i 2019 og 2020.

I 2019 blev der udtaget 46 sedimentprøver fra 30 positioner /60/. Prøverne blev udtaget overfladenært med hhv. haps i 0-5 cm) og kajakrør i 20-35 cm dybde. Sediments indehold af miljøfremmede stoffer viste god sammenhæng til tidligere undersøgelser. Der var en stor forskel på koncentrationen i sedimentoverfladen og i laget under, hvor der i de dybeste prøver (20-25 cm) var et betydeligt højere indehold af miljøfremmede stoffer end overfladen. Resultaterne fra DHI's undersøgelser gennemgås herunder i sammenhæng med de efterfølgende gennemførte marine miljøundersøgelser.

For at opnå en grundig basis for projektet blev der i foråret 2020 af COWI/Fugro, som del af det geotekniske boreprogram, gennemført en undersøgelse af sedimentets gytjeaflejringer ned til den underliggende kalk /56/. Boringerne blev gennemført som kerneboringer.

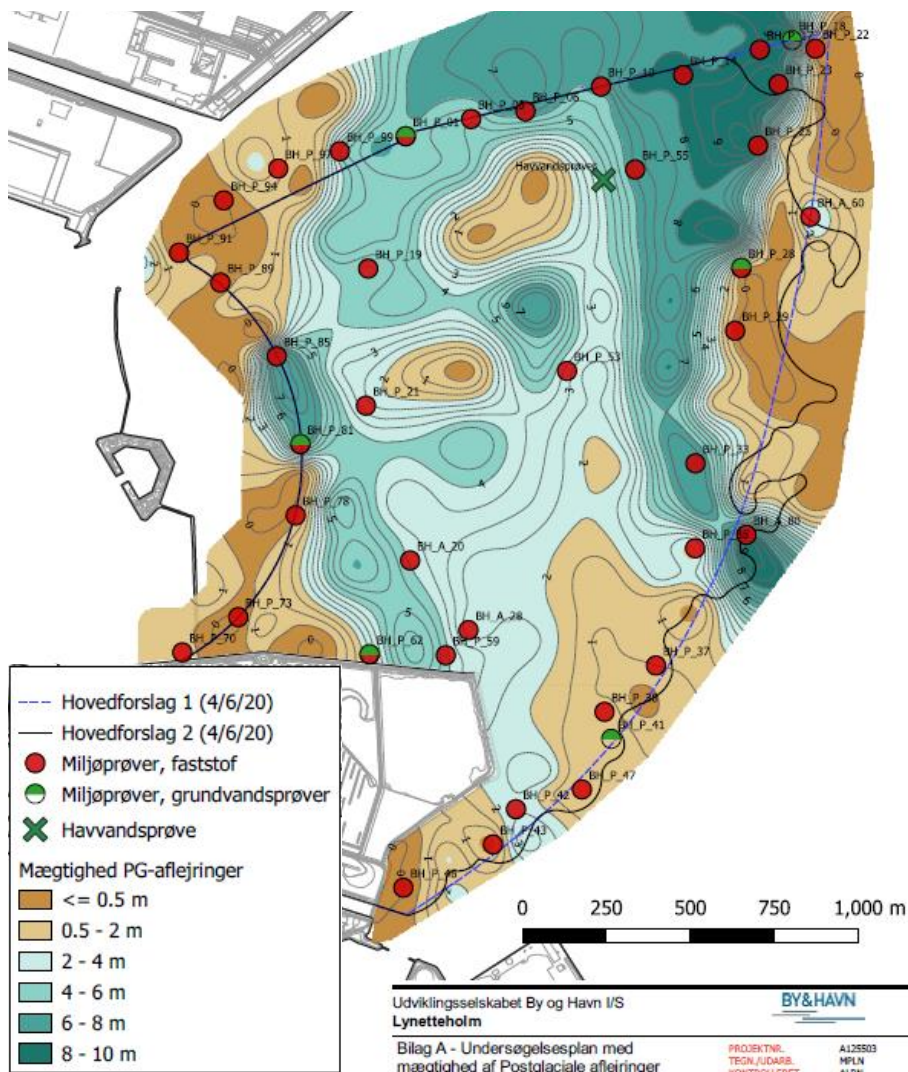
Undersøgelsesresultaterne skal bruges som basis til kortlægning af konsekvenserne ved etablering af områdets perimeter og ved etablering af selve arealet. Der er udført 42 boringer, se Figur 9-5. Der er udtaget sedimentprøver fra 39 boringer og vandprøver fra kalken i 6 boringer.



Figur 9-5 Undersøgellesområdet ved Lynetteholm

Som udgangspunkt var planen at udtage miljøprøver ned til 2,0-2,2 m og lagre prøver fra større dybde. Enkelte steder var dette ikke muligt pga. materialets beskaffenhed og/eller begrænsede mægtigheder af fyldet over kalken. De postglaciale aflejringer varierer i tykkelser fra 0 til 10,2 m, se Figur 9-6.





Figur 9-6 Mægtigheden af postglaciale aflejringer /56/.

I COWI's miljøkemirapport (/56/) er sedimentdataene gennemgået i forhold til klapvejledningen /65/. I 20 ud af 39 borer er nederste prøve under nedre aktionsniveau, fordelt med følgende antal og dybde:

- 1 prøve i 0,0-0,2 m.u.t.
- 2 prøver i 0,2-0,4 m.u.t.
- 1 prøve i 0,6-0,8 m.u.t.
- 7 prøver i 1,0-1,2 m.u.t.
- 9 prøver i 2,2-2,2 m.u.t.

I 14 borer ligger forureningsniveauet i nederste prøve mellem nedre og øvre aktionsniveau, mens der i 5 borer er forurenede over øvre aktionsniveau i den nederste prøve. I 2 borer af de 5 forurenede var det ikke muligt af afgrænse den vertikale udbredelse pga. et tyndt fyldlag. Tykkelsen af de forurenede sedimentaflejringer i forhold klapvejledningens øvre aktionsniveau er vist i Figur 9-7. Langs hele den østlige perimeter ses overskridelser i de øverste lag, typisk til maksimalt 0,4 m. Centralt i området, mod nord og enkelte steder mod øst er afgrænsningsdybden derimod dybere (1-2 m). Forureningen over øvre aktionsniveau skyldes primært indholdet af tungmetallerne bly, cadmium, kobber, kviksølv og zink, samt i få tilfælde pga. PAH, PCB, TBT og arsen.



Figur 9-7 Tykkelse af sediment som overskrider øvre aktionsgrænse jf. klapvejledningen /65/.

De undersøgte parametre er opsummeret i Tabel 9-3, hvor analysedata fra 160 sedimentprøver er opstillet. Det er valgt at vise medianen for parametrene, fordi den midterste værdi for dataserierne vurderes bedst at anføre en repræsentativ værdi for det store dataset. Medianen påvirkes ikke af dilemmaet fra gennemsnitsberegninger, hvor man ofte vælger at påføre værdier data under detektionsgrænsen en værdi. I Tabel 9-3 er også listet værdien for 95%-percentilen, som er en repræsentant for de højeste værdier i dataserierne. Den maksimale fundne værdi er udeladt, fordi der i miljøkemisk sammenhæng er risiko for at denne værdi kan være påvirket af fejlkilder eller særligt meget lokale forhold, som ikke har betydning for den samlede miljøvurdering.

For en del af analyserne er værdierne under detektionsgrænserne. Dette gælder særligt for de lettere kulbrinter, PCB, TBT, Antimon og i mindre grad for tungere kulbrinter, PAH'er og Kviksølv.

Som basis for udvælgelse af kritiske parametre for videre vurderinger er set på parametre udpeget kritiske i forhold til sediment MKK i Tabel 9-3 og som er vurderet kritiske i forhold indhold i vandfasen (kapitel 12):

- PAH'er: Anthracen, Pyren, Benz(a)pyren og Naphthalen.
- Metaller: Kviksølv, Kobber, Zink, Bly og Cadmium.

Tabel 9-3 Koncentration af parametre i sedimentet /56/.

| Parameter                            | Enhed    | Median   | 95%-<br>percentil | Kriterier <sup>1</sup>         | Andel over<br>kriterier <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|----------|----------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Antal prøver (n)                     | -        | 160      |                   |                                |                                      |
| Tørstof                              | %        | 58       | 89                |                                |                                      |
| Glødetab                             | % af TS  | 5,2      | 12                |                                |                                      |
| TOC                                  |          | 2,1      | 5,6               |                                |                                      |
| Total N (nitrogen)                   | mg/kg TS | 1800     | 4205              |                                |                                      |
| Total P (fosfor)                     |          | 645      | 1205              |                                |                                      |
| Kulbrinter >C5-C10                   | mg/kg TS | <1       | 7,3               |                                |                                      |
| Kulbrinter >C10-C15                  |          | <5       | 85                |                                |                                      |
| Kulbrinter >C15-C20                  |          | 6,0      | 201               |                                |                                      |
| Kulbrinter >C20-C35                  |          | 39       | 891               |                                |                                      |
| Totalkulbrinter >C5-C35              |          | 51       | 1210              |                                |                                      |
| Naphthalen                           | mg/kg TS | 0,028    | 0,39              | <b>0,138</b>                   | 26 %                                 |
| Acenaphthylen                        |          | 0,038    | 0,89              |                                |                                      |
| Acenaphten                           |          | 0,013    | 0,29              |                                |                                      |
| Phenanthren                          |          | 0,16     | 2,8               |                                |                                      |
| Anthracen                            |          | 0,076    | 1,4               | <b>0,0048</b>                  | 63 %                                 |
| Fluoren                              |          | 0,028    | 0,47              |                                |                                      |
| Fluoranthren                         |          | 0,016    | 3,3               |                                |                                      |
| Pyren                                |          | 0,33     | 2,9               |                                |                                      |
| Benzo(a)anthracen                    |          | 0,11     | 1,6               |                                |                                      |
| Chrysen                              |          | 0,15     | 1,6               |                                |                                      |
| Benzo(b+j)fluoranthren               |          | 0,13     | 1,7               |                                |                                      |
| Benzo(k)fluoranthren                 |          | 0,09     | 1,1               |                                |                                      |
| Benz(a)pyren                         |          | 0,14     | 1,5               |                                |                                      |
| Indeno(1,2,3-cd)pyren                |          | 0,094    | 1,2               |                                |                                      |
| Dibenzo(a,h)anthracen                |          | 0,027    | 0,43              |                                |                                      |
| Benzo(ghi)perylene                   |          | 0,11     | 1,3               |                                |                                      |
| Sum af PAH'er (9 stk.) <sup>5</sup>  |          | 1,5      | 18                | 30                             | 3,1 %                                |
| Sum af PAH'er (16 stk.) <sup>5</sup> |          | 2,1      | 23                |                                |                                      |
| Bly                                  |          | mg/kg TS | 30                | 323                            | 200/ <b>163</b>                      |
| Cadmium                              | 0,73     |          | 6,4               | 2,5/ <b>3,8</b> <sup>3,4</sup> | 29 %                                 |
| Chrom, total                         | 20       |          | 61                | 270                            | 0 %                                  |
| Kobber                               | 31       |          | 171               | 90                             | 26 %                                 |
| Kviksølv                             | 0,22     |          | 2,9               | 1                              | 34 %                                 |
| Nikkel                               | 14       |          | 32                | 60                             | 0 %                                  |
| Zink                                 | 95       |          | 582               | 500                            | 11 %                                 |
| Arsen                                | 7,1      |          | 19                | 60                             | 0 %                                  |
| Barium                               | 48       |          | 211               |                                |                                      |
| Molybdæn                             | 2,0      |          | 6,0               |                                |                                      |

|                          |          |        |      |     |       |
|--------------------------|----------|--------|------|-----|-------|
| Antimon                  |          | <1     | <1   |     |       |
| Selen                    |          | 3,8    | 7,5  |     |       |
| Sum af 7 PCB             | mg/kg TS | <0,007 | 0,14 | 0,2 | 3,1 % |
| Tributyltin-cation (TBT) | µg/kg TS | <1     | 135  | 200 | 1,9 % |

1: Øvre aktionsniveau jf. klapvejledningen /65/ og med **fed tekst** kriterier fra bekendtgørelse om miljømål, nr. 1625 /66/.

2: Angivet som procentandel af de udførte analyser som er over det lavest af de anførte kriterier.

3: Kvalitetskrav gældende for den biotilgængelige koncentration af stoffet. Gælder ikke i kombination med note 4 /66/.

4: Kvalitetskravet er denne koncentration af stoffet tilføjet den naturlige baggrundskoncentration. Gælder ikke i kombination med note 3 /66/.

5: Sum 9 PAH'er inkludere: Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benz(a)pyren, Indeno(1,2,3-cd)pyren og Benzo(ghi)perylene. Sum 16 PAH'er inkluderer i tillæg: Naphthalen, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen og Dibenzo(a,h)anthracen.

I Tabel 9-4 er vist medianværdier for analyseresultaterne fra 2019 /60/ og 2020 /56/ fordelt over prøvedybderne. Antal prøver per dybde er anført øverst. Det dybeste prøvepunkt i forbindelse med 2019 undersøgelsen udgøres kun af 5 prøver, og dermed er de anførte medianværdier ikke statistisk robuste. Værdier for denne dybde afviger for nogle parametre, men dette tillægges primært statistisk usikkerhed. Fra de øvrige prøvedybder indgår 18 til 38 sedimentprøver. Data i tabellen følger tendensen tidligere illustreret ved Figur 9-7, hvor den kraftigste forurening ses øverst i fyldelaget. Der ses mest markante fald i indholdet for følgende parametre og ved disse dybder:

- >0,2 m: TBT
- >0,4 m: Kulbrinter, Bly, Kobber og Zink
- >0,8 m: PAH'er og Kviksølv.



Tabel 9-4 Mediankoncentrationer vs. dybde i sedimentet.

| Parameter                            | Enhed       | DHI (m) / 60/ |          | COWI (m) / 56/ |         |         |         |         | Kriterie <sup>1</sup> |
|--------------------------------------|-------------|---------------|----------|----------------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|
|                                      |             | 0,025         | 0,2-0,35 | 0,0-0,2        | 0,2-0,4 | 0,6-0,8 | 1,0-1,2 | 2,0-2,2 |                       |
| Antal prøver                         |             | 29            | 5        | 38             | 38      | 18      | 36      | 30      |                       |
| Tørstof                              | %           |               |          | 52             | 60      | 56      | 63      | 58      |                       |
| Glødetab                             | % af        | 7,2           | 10       | 6,0            | 5,5     | 5,3     | 5,2     | 4,8     |                       |
| TOC                                  | TS          | 2,8           | 4,5      | 2,9            | 2,4     | 2,2     | 1,7     | 1,9     |                       |
| Total N (nitrogen)                   |             | 2800          | 3000     | 2150           | 1850    | 1850    | 1650    | 1200    |                       |
| Total P (fosfor)                     |             | 591           | 670      | 660            | 645     | 705     | 575     | 625     |                       |
| Totalkulbrinter >C5-C35              |             |               |          | 93,5           | 320     | <20     | 23      | <20     |                       |
| Naphthalen                           |             |               |          | 0,055          | 0,072   | 0,043   | <0,01   | <0,01   | <b>0,138</b>          |
| Phenanthren                          |             |               |          | 0,22           | 0,45    | 0,23    | 0,018   | <0,01   |                       |
| Anthracen                            |             |               |          | 0,12           | 0,24    | 0,12    | 0,011   | <0,01   | <b>0,0048</b>         |
| Fluoranthen                          |             |               |          | 0,17           | 0,044   | 0,019   | 0,0065  | <0,01   |                       |
| Pyren                                |             |               |          | 0,49           | 0,73    | 0,41    | 0,052   | <0,01   |                       |
| Benzo(a)anthracen                    |             |               |          | 0,23           | 0,36    | 0,13    | 0,015   | <0,01   |                       |
| Chrysen                              |             |               |          | 0,29           | 0,40    | 0,16    | 0,022   | <0,01   |                       |
| Benz(a)pyren                         |             |               |          | 0,25           | 0,29    | 0,14    | 0,024   | <0,01   |                       |
| Sum af PAH'er (9 stk.) <sup>2</sup>  | mg/kg<br>TS |               |          | 2,7            | 3,35    | 1,65    | 0,21    | <0,01   | <b>30</b>             |
| Sum af PAH'er (16 stk.) <sup>2</sup> |             | 3,2           | 7,3      | 3,7            | 4,5     | 2,0     | 0,24    | 0,012   |                       |
| Bly                                  |             | 27            | 116      | 74             | 81      | 30      | 16      | 16      | <b>200/163</b>        |
| Cadmium                              |             | 0,51          | 2,9      | 1,5            | 1,8     | 1,3     | 0,48    | 0,31    | <b>2,5/3,8</b>        |
| Chrom, total                         |             | 19            | 39       | 20             | 19      | 25      | 14      | 22      | 270                   |
| Kobber                               |             | 22            | 90       | 56             | 59      | 21      | 16      | 12      | 90                    |
| Kviksølv                             |             | 0,22          | 2,3      | 0,75           | 0,89    | 0,80    | 0,045   | 0,020   | 1                     |
| Nikkel                               |             | 10            | 19       | 15             | 14      | 19      | 14      | 14      | 60                    |
| Zink                                 |             | 88            | 295      | 175            | 155     | 115     | 77      | 72      | 500                   |
| Arsen                                |             | 3,4           | 9,0      | 6,9            | 8,1     | 11      | 6,4     | 5,9     | 60                    |
| Barium                               |             |               |          | 71             | 86      | 65      | 35      | 38      |                       |
| Selen                                |             |               |          | 3,9            | 3,7     | 6,2     | 3,7     | 3,8     |                       |

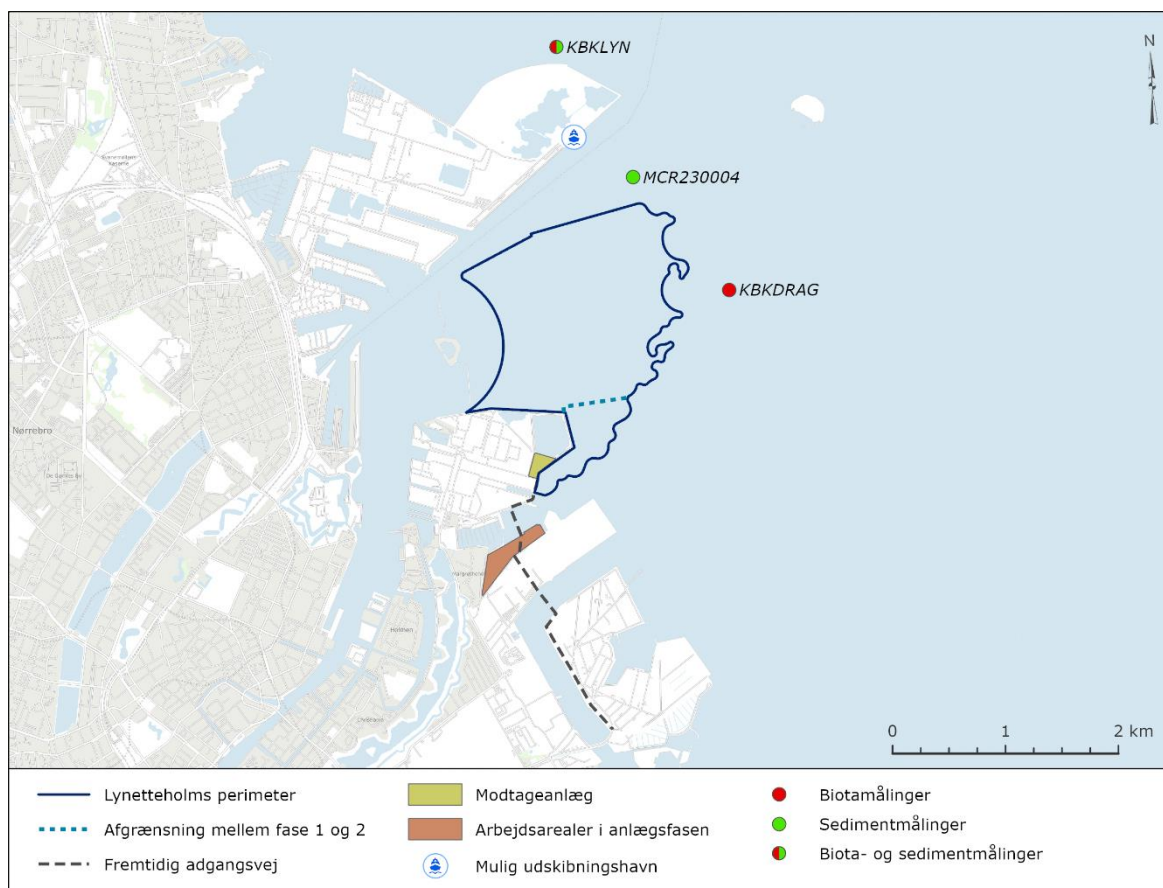
1: Øvre aktionsniveau jf. klapvejledningen /65/ og med **fed tekst** kriterier fra bekendtgørelse om miljømål, nr. 1625 /66/.

2: Sum 9 PAH'er inkluderer: Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benz(a)pyren, Indeno(1,2,3-cd)pyren og Benzo(ghi)perylene. Sum 16 PAH'er inkluderer i tillæg: Naphthalen, Acenaphthylene, Acenaphthen, Fluoren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen og Dibenz(a,h)anthracen

### **Eksisterende forhold koncentration (IFF) for forureninger i overfladesediment**

Koncentrationer af forureninger i overfladesedimenter i området er udover undersøgelserne fra 2019 og 2020 præsenteret i Tabel 9-4, også undersøgt ved andre undersøgelser indenfor projektområdet og i tilstødende områder såsom Middelgrunden. Som baggrundsværdier for overfladesedimentet i lokalområdet findes således data fra:

- 2011, Novana stationer placeret lige nord for Lynetteholmen, se Figur 9-8 /69/
- 2014, Udvalgte data fra yderhavnen fra sedimentundersøgelse i Københavns Havn /62/
- 2020, Monitoring på Middelgrunden /59/



**Figur 9-8 Placering af Novana station for sediment- og biota (*Mytilus edulis*) analyser for indhold af forurenende stoffer.**

Baggrundsværdierne fra de to NOVANA stationer er i Tabel 9-5 opstillet sammen med data fra overfladeprøverne undersøgt på Lynetteholmen i 2020 /56/. Generelt ligger niveauerne højest på Lynetteholmen og lavest på Middelgrunden, som er et lavvandet område mere eller mindre påvirket af bølger og strøm. På Middelgrunden ligger særligt PAH'erne og kviksølv noget lavere end i området vest for dette. Data for stationerne i 2014 dækker delvist Lynetteholmen og her ses også forureningsniveauer tættest på 2020 undersøgelserne.

**Table 9-5 Background concentrations (median values) for surface sediment compared with 2020 investigations at Lynetteholmen.**

| <b>Background concentrations for metals and organic substances in surface sediment for areas near and around Lynetteholm</b> |             |                                      |                                   |   |                                       |  |
|--|-------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| <b>Parameter</b>   | <b>Unit</b> | <b>Novana<br/>MCR230004<br/>/69/</b> | <b>Novana<br/>KBKLYN<br/>/70/</b> | <b>Middel-<br/>grunden<sup>1</sup><br/>/59/</b> | <b>KH 2014<sup>1,2</sup><br/>/62/</b> | <b>Lynetteholm<br/>2020<sup>1,3</sup> /56/</b> |
| Antal prøver   | n           | 1                                    | 1                                 | 28  | 9                                     | 38   |
| Tørstof  | %           | 32                                   | 76                                | -   | 73                                    | 52   |
| TOC  | %           | -                                    | 0,34                              | 0,52  | -                                     | 6,0  |
| Glødetab   | % af<br>TS  | 9,9                                  | 1,5                               | 1,8   | 1,8                                   | 2,9  |
| Total N (nitrogen)   | mg/kg       | -                                    | -                                 | <0,5  | -                                     | 2150   |
| Total P (fosfor)   | TS          | -                                    | -                                 | 370   | -                                     | 660  |
| Naphthalen   | mg/kg<br>TS | 0,063                                | 0,0065                            | 0,013   | -                                     | 0,055  |
| Anthracen  |             | 0,041                                | -                                 | 0,011   | -                                     | 0,12   |
| Fluoranthren   |             | 0,34                                 | 0,045                             | 0,065   | -                                     | 0,17   |
| Pyren  |             | 0,34                                 | 0,037                             | 0,048   | -                                     | 0,49   |
| Benzo(a)anthracen  |             | 0,078                                | 0,023                             | 0,026   | -                                     | 0,23   |
| Chrysen  |             | 0,098                                | 0,024                             | 0,025   | -                                     | 0,29   |
| Benz(a)pyren   |             | 0,19                                 | 0,024                             | 0,033   | -                                     | 0,25   |
| Sum PAH'er (9 stk.) <sup>4</sup>   |             | 1,7                                  | 0,22                              | 0,29  | -                                     | 2,7  |
| Sum PAH'er (16 stk.) <sup>4</sup>  |             | 2,2                                  | 0,29                              | 0,40  | -                                     | 3,7  |
| Bly  |             | 14                                   | 14                                | 7,2   | 16                                    | 74   |
| Cadmium  |             | 0,46                                 | 0,10                              | 0,22  | 0,22                                  | 1,5  |
| Chrom, total   |             | 14                                   | 22                                | 6,7   | 15                                    | 20   |
| Kobber   |             | 11                                   | 6,1                               | 6,1   | 19                                    | 56   |
| Kviksølv   |             | 0,27                                 | 0,069                             | 0,049   | 0,41                                  | 0,75   |
| Nikkel   |             | 6,2                                  | 6,6                               | 4,2   | 9,5                                   | 15   |
| Zink   |             | 34                                   | 24                                | 27  | 50                                    | 175  |
| Arsen  |             | 2,3                                  | 5,5                               | 1,9   | 5,3                                   | 6,9  |
| Barium   |             | -                                    | -                                 | -   | 28                                    | 71   |

1: Som medianværdier

2: Udvalgte stationer i området ved Lynetteholmen fra sedimentundersøgelse i Københavns Havn 2014.

3: Overfladeprøver (38 stk.) fra 0,0-0,2 m.u.t. på Lynetteholmen /56/.

4: Sum 9 PAH'er inkludere: Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benz(a)pyren, Indeno(1,2,3-cd)pyren og Benzo(ghi)perylene. Sum 16 PAH'er inkluderer i tillæg: Naphthalen, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren og Dibenz(a,h)anthracen.

### 9.3 Vurdering af påvirkninger i anlægsfasen

Aktiviteterne i anlægsfasen som vurderes at kunne give anledning til påvirkning af sedimentforholdene er listet i Tabel 9-1, og er vurderet at resultere i følgende påvirkninger:

- Tab af havbundsareal
- Ændring af sedimentforhold fra fysisk forstyrrelse af havbunden
- Påvirkning af sedimentkvalitet (sammensætning) fra sedimentation på havbund
- Påvirkning af sedimentkvalitet (forureninger) fra sedimentation på havbund
- Påvirkning af sedimentkvalitet med tilførsel af næringsstoffer
- Påvirkning af sedimentkvalitet ved tilførsel af iltforbrugende stoffer.

#### 9.3.1 Tab af havbundsareal

Ved anlæg af Lynetteholm vil et havbundsareal (fodafttryk) på i alt 296 ha nord/nordøst for Refshaleøen, ved færdiggørelse af perimeterkonstruktionen, udgå af det marine havbundsområde for Øresund.

Anlægsaktiviteterne for etablering af perimeteren vil som angivet i projektbeskrivelsen (Kapitel 3) foregå i to faser, og direkte berøre et samlet areal på nuværende havbund langs perimeteren på 0,602 km<sup>2</sup>.

Derudover vil der ske ændring ("ny" havbund) af bundforhold mht. dybdeforhold, og hermed sedimentforhold fra "vandlinjen" og ned til eksisterende havbund for område langs perimeteren hvor der etableres stenbeskyttelse og kystlandskab.

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentet, som har høj sårbarhed overfor påvirkningen "tab af havbundsareal" at være af lokal udbredelse, vedvarende, og af stor intensitet. På baggrund af det begrænsede havbundsareal som påvirkes vurderes den overordnede betydning af påvirkningen af sedimentforholdene at være lille.

#### 9.3.2 Ændring af sedimentforhold fra fysisk forstyrrelse af havbunden

De fysiske forstyrrelser på havbunden vil udover de ovenfor nævnte permanente påvirkninger skyldes arbejder på havbunden i forbindelse med:

- Omlægning af eksisterende spildevands- og overløbsledninger på/i havbunden.
- Fjernelse af bølgebrydere og sydlig fyr ved Trekroner.
- Udretning af kaj på Levantkaj.

De ovenfor nævnte aktiviteter vil medføre påvirkninger af sedimentforholdene, herunder ændringer i sedimentsammensætning, samt ændringer mht. til dybdeforhold. Påvirkningen af sedimentforholdene vurderes at være begrænset til arealerne hvor anlægsarbejderne udføres, mens påvirkningerne (re-sedimentation af suspenderet materiale ) udenfor anlægsområderne vurderes at være små. Dette skal bl.a. ses på baggrund af, at anlægsarbejder indenfor et givet område/strækning vil være kortvarig, ligesom mængden af sediment som vil blive bragt i suspension, og som re-sedimenteres vurderes at være begrænset.

Yderligere sedimentforstyrrelse kan forårsages af opankring eller brugen af Jack-up pramme mv. Disse påvirkninger er vurderet stærkt lokale og i meget mindre skala end de ovenfor nævnte påvirkninger, og reetablering af havbunden til eksisterende forhold vurderes at ske indenfor en relativ kort og begrænset tidsperiode.

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentet, som har mellem sårbarhed overfor påvirkningen, "ændring af sedimentforhold fra fysisk forstyrrelse af havbunden", at være af lokal udbredelse, kort til lang varighed, samt af middel intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.

### **9.3.3 Påvirkning af sedimentkvalitet (sammensætning) fra sedimentation på havbund**

Under opgravning af "blød bund" på i alt 1.326.719 tons TS /58/, for anlæg af perimeteren for Lynetteholm (samt i mindre grad/omfang fra øvrige anlægsaktiviteter), vil der ske spild, og spredning af sediment til omgivelserne, samt efterfølgende sedimentation/re-sedimentation af suspenderet materiale, som vil medføre påvirkninger af sedimentforholdene, herunder ændringer mht. sedimentsammensætning for overfladesedimentet, omkring området hvor Lynetteholm etableres.

Idet spild under opgravning af "blød bund" for anlæg af perimeteren udgør den væsentligste kilde til påvirkning af sedimentforholdene er der i ref. /58/ udført hydrodynamisk modellering af spredning/sedimentation af sediment der spildes, for både forurenede (12.327 tons TS) og uforurenede sediment (43.950 tons TS) /58/. Forudsætningerne til grund for modelleringen er beskrevet nærmere i kapitel 12 "Vandkvalitet" og i baggrundsrapporten fra DHI /58/. Det fremgår af /58/ at man som modelår har valgt hele året 2018.

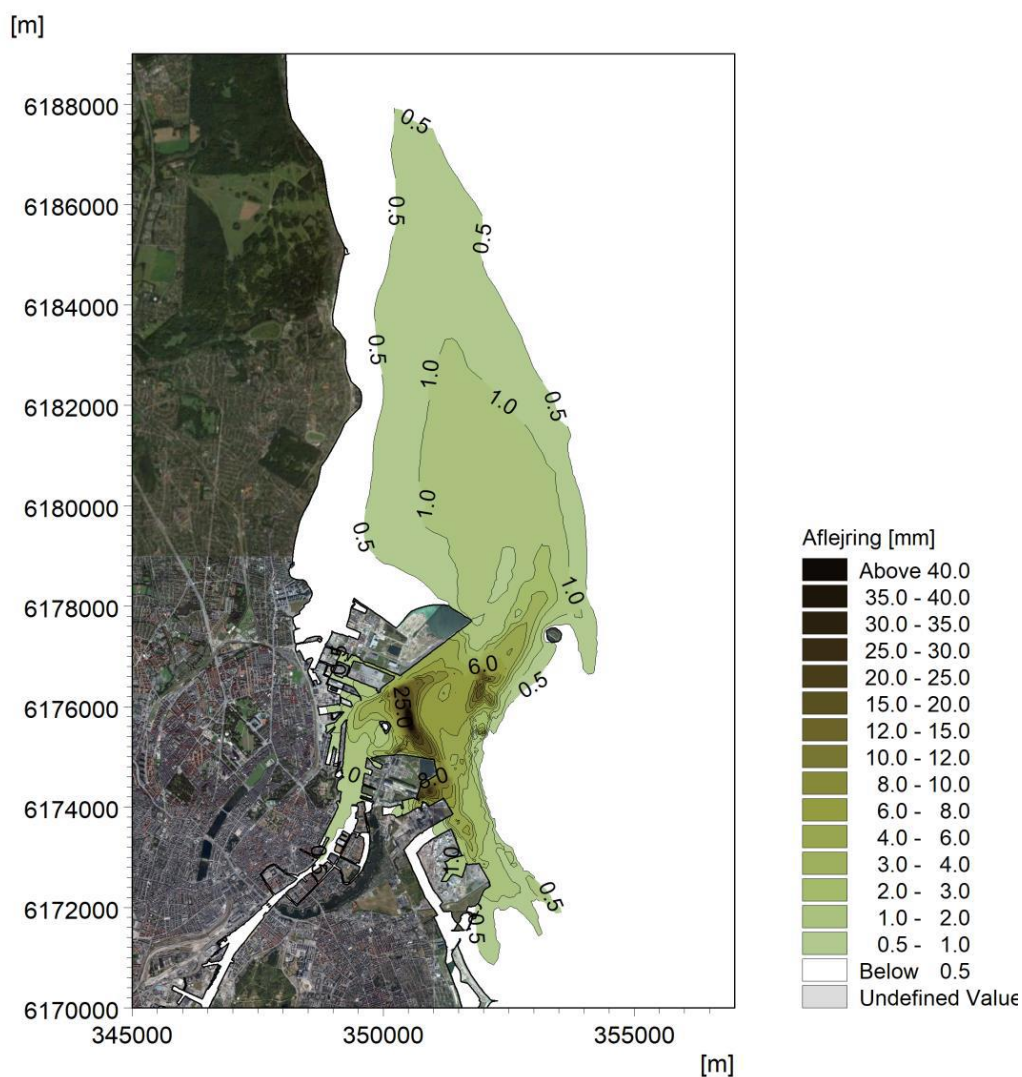
Den grovkornede fraktion af sediment der spildes under opgravningen af sediment langs perimeteren for Lynetteholm vil aflejres umiddelbart omkring perimeteren, mens den finkornede fraktion (<40 µm) af sediment der spildes, vil blive spredt over et større område med strømmen og først blive aflejret i læområder hvor strømmen er lav.

Således er der beregnet et spild af finkornet materiale ved opgravningen af "blød bund", med spild på 56.277 tons (heraf 10.982 tons indenfor perimeteren).

Et aflejningskort for gravespildet er vist i Figur 9-9. De angivne tykkelser er under antagelse af en tordensitet på 400 kg/m<sup>3</sup>, hvilket er hvad man typisk vil forvente at finde for meget finkornet sediment, som er aflejret indenfor en periode på 1-6 måneder.

Af Figur 9-9 fremgår, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning. Ligeledes er der tendens til svag aflejring i Kronløbet, Yderhavnen og Kongedybet. Desuden er der svag aflejring fra den nordgående sedimentfane i et område af større udstrækning nord for Nordhavnsopfyldningen. De påvirkede arealer er angivet i Tabel 9-6 for varierende aflejringstykkelser (1, 5, 10, 20 og 50 mm sediment). Arealerne er opgivet som hektar med og uden bidrag fra området indenfor den fremtidige perimeter.





Figur 9-9 Aflejringstykkelser beregnet under forudsætning af tørdensitet på 400 kg/m<sup>3</sup> /58/.

Tabel 9-6 Påvirket areal (ha) med aflejring fra afgravning af ren og forurenat sediment/"blød bund" /58/.

| Påvirket areal (ha) med aflejring fra afgravning af sediment/"blød bund" langs perimenter for Lynetteholm |  |      |       |       |       |
|---|--|------|-------|-------|-------|
| Areal med aflejring   | Areal (ha) for forskellige aflejringstykkelser |      |       |       |       |
|   | 1 mm   | 5 mm | 10 mm | 20 mm | 50 mm |
| Totalt areal  | 2.070  | 409  | 113   | 25    | 2,8   |
| Udenfor perimenter  | 1.789  | 166  | 31    | 5,1   | 0,2   |

Således fremgår af Figur 9-9 og Tabel 9-6 at arealet med spild udenfor perimenteren med aflejringstykkelser >5 mm er på <166 ha og begrænset til nærområdet omkring perimenteren.

Det samlede finkornede sedimentspild udgør 56.277 tons, hvoraf 10.982 tons, svarende til at 16,3 %, aflejres indenfor projektforslagets perimenter

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentet, som har mellem sårbarhed overfor påvirkningen, "påvirkning af sedimentkvalitet (sammensætning) fra sedimentation på havbund",

at være af lokal udbredelse, lang varighed, samt af lille intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.

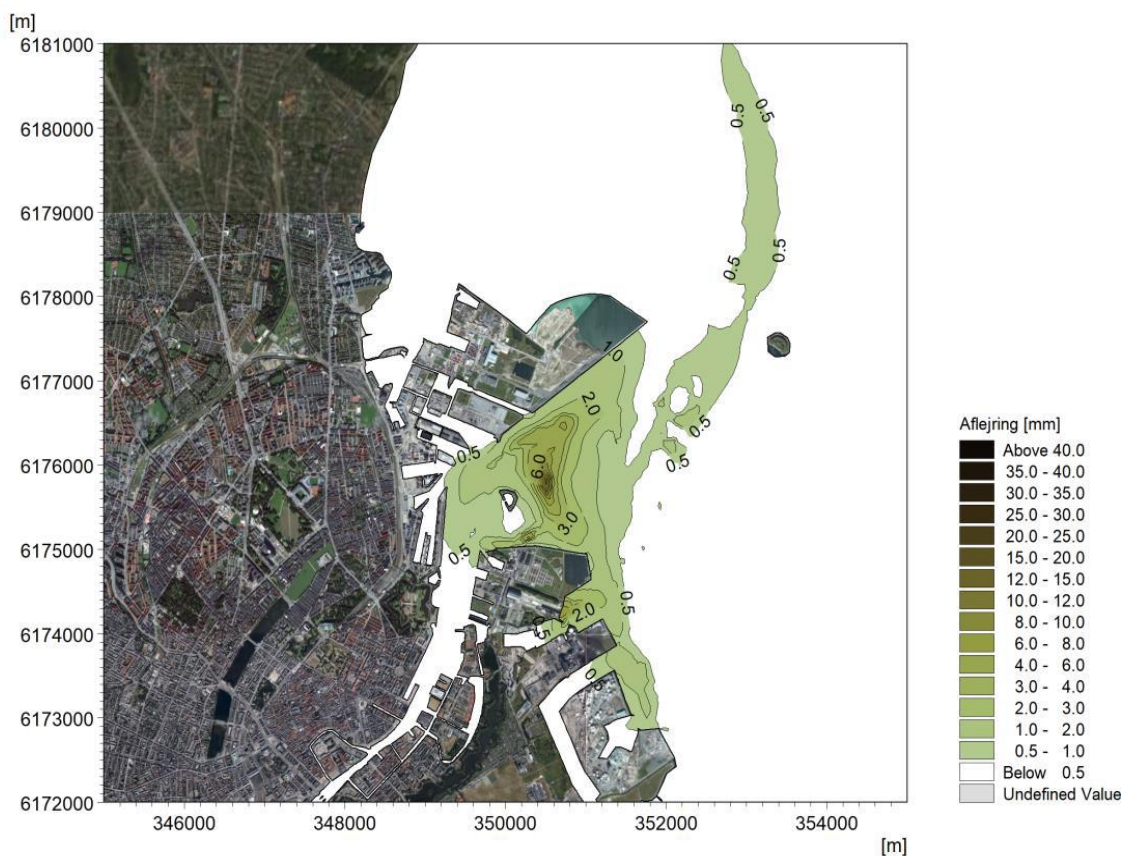
### 9.3.4 Påvirkning af sedimentkvalitet (forureningsgrad) fra sedimentation på havbund

Den forurenede del af sedimentet som efter opgravning er planlagt at blive deponeret i Lynettens sedimentdeponi, udgør kun en mindre del af den samlede gravemængde. Forurenede sediment er beliggende i de øvre sedimentlag og vil således blive afgravet først.

Opgravet sediment, hvor koncentrationerne af forurenede stoffer er under aktionsniveau B i henhold til /65/, og som er godkendt af Miljøstyrelsen til klappning på havet, vil blive sejlet til klappning på godkendt klappingsplads på havet. Opgravet sediment som ikke kan godkendes til klappning på havet dvs. sediment med koncentration større end eller lig med ( $\geq$ ) aktionsniveau B, eller hvor særlige forhold gør sig gældende, vil som udgangspunkt, efter godkendelse heraf, blive deponeret på land på godkendt deponeringsplads/modtageanlæg /65/.

Graveperioden for opgravningen af forurenede sediment er 767 timer, og det samlede spild af forurenede sediment er 12.327 tons TS, hvoraf 1.998 tons TS aflejres indenfor perimeteren /58/.

Et aflejningskort med angivelse af tykkelser ( $\text{mm}/\text{m}^2$ ) for gravespildet af det forurenede sediment er vist i Figur 9-10. Aflejningskortet viser, at der er en tendens til aflejring i området lige øst for Trekroner, som følge af strømlærvirkning og i åbningen ind til Magrethehavnen og ud for Prøvestenen /58/. Tilsvarende fremgår det, at aflejring af sediment  $>5$  mm vil foregå umiddelbart omkring hvor opgravning udføres, hvor en stor andel af sedimentet som sedimenterer vil blive aflejret indenfor perimeteren.



Figur 9-10 Aflejringstykkelser (mm) beregnet under forudsætning af tørdensitet på 400 kg/m<sup>3</sup> /58/.

Arealet (ha) med aflejring af 1, 5, 10, 20 og 50 mm forurenede sediment/"blød bund" fra opgravning af forurenede sediment langs perimetere er vist i Tabel 9-7.

**Tabel 9-7 Påvirket areal (ha) med aflejring fra opgravning af forurenede sediment/"blød bund" /58/.**

| Påvirket areal (ha) med aflejringer af forurenede sediment fra opgravning af "blød bund" langs perimeter for Lynetteholm |  |      |       |       |       |
|--|--|------|-------|-------|-------|
| Areal med aflejring  | Areal (ha) for forskellige aflejringstykkelser |      |       |       |       |
|  | 1 mm   | 5 mm | 10 mm | 20 mm | 50 mm |
| Totalt areal   | 332  | 25   | 3,3   | 0,1   | 0,0   |
| Udenfor perimeter  | 183  | 5,5  | 1,2   | 0,0   | 0,0   |

Af Tabel 9-7 fremgår det, at arealet udenfor perimetere hvor den aflejrings tykkelse med forurenede sediment vil være >5 mm er lille, kun op til 5,5 ha.

Overordnet vurderes påvirkningen af de eksisterende sedimentforhold fra aflejringen af sediment med anden fysisk-kemisk sammensætning at blive lille. Dette skal ses på baggrund af at bioturbation med omlejring og opblanding af de øvre sedimentlag, de relativt lave vanddybder med vejrbetinget re-suspension af overfladesedimentet, i løbet af en relativt kort periode vil resultere i udligning af forskelle mellem eksisterende havbund, og det aflejrings sediment /74/ - /77/.

Som anført tidligere vil aflejret forurenede sediment, blive overlejret/opblandet med spild af rent sediment som opgraves efterfølgende. Således vil den rene sediment som spildes udgøre omkring 80% af det samlede sediment spild for opgravningen langs perimetere.

#### 9.3.4.1 Påvirkning af havbund med tungmetaller og organiske stoffer

Ved opgravningen af forurenede sediment langs perimetere for Lynetteholm er der på baggrund af mediankoncentrationen for 160 prøver fra sedimentlag som skal opgraves beregnet det totale spild af en række kritiske tungmetaller /58/ som angivet i Tabel 9-8.

**Tabel 9-8 Spild af tungmetaller og organiske forurenere ved opgravning af forurenede sediment langs perimetere for Lynetteholm /58/.**

| Metaller      | Spild af metaller fra opgravning af forurenede sediment <sup>1</sup><br>(kg) | Sedimentkvalitetskriterier<br>(MKK <sub>Sediment</sub> )<br>(mg/kg TS) |
|---------------|--|--|
| Kviksølv (Hg) | 2,71   | -  |
| Zink (Zn)     | 1.171  | -  |
| Kobber (Cu)   | 376  | -  |
| Bly (Pb)      | 370  | 163  |
| Cadmium (Cd)  | 9,00   | 3,8 <sup>2,3</sup>   |
| Arsen (As)    | 87,5   | -  |
| Nikkel (Ni)   | 173  | -  |
| Barium (Ba)   | 592  | -  |
| Selen (Se)    | 46,8   | -  |
| Krom (Cr)     | 247  | -  |

1: Total spild beregnet ud fra mediankoncentrationer jf. Tabel 9-3.

2: Gælder den biotilgængelige koncentration af stoffet, gælder ikke i kombination med note 3 /66/.

3: Gælder denne koncentration tilføjet naturlig baggrundskoncentration. Gælder ikke i kombination med note 2 /66/.

Tilsvarende er der foretaget beregning for spild af kritiske organiske stoffer jf. Tabel 9-3, herunder stofferne anthracen, pyren og benz(a)pyren, se Tabel 9-9. Der er derudover registreret relativt høje indhold (dog lavere end for benz(a)pyren) for benz(b+j+k)fluoranthren, benz(g,h,i)pyrelen og indeno(1,2,3-cd)pyren. For disse prioriterede stoffer gælder det samme generelle vand-kvalitetskrav på 0,00017 µg/l, samt samme biota-kvalitetskrav på 5 µg/kg vådvægt /66/ som for benz(a)pyren, hvis toksicitet disse stoffer er baseret på, se /66/. Således foretages ingen særskilt vurdering for disse prioriterede stoffer idet vurderingen for disse sammenfattes med vurderingen for benz(a)pyren.

**Tabel 9-9. Spild af kritiske organiske forureninger ved opgravning af forurenede sediment langs perimetere for Lynetteholm.**

| Organiske stoffer        | Total spild fra opgravning af forurenede sediment (kg) | Sedimentkvalitetskriterier (MKK <sub>sediment</sub> ) (mg/kg TS) |
|--------------------------|--|--|
| Anthracen                | 0,937  | 0,0048 <sup>1</sup>  |
| Pyren                    | 0,407  | 0,665 <sup>2</sup>   |
| Benz(a)pyren             | 1,73   | 0,430 <sup>2</sup>   |
| - Benz(b+j) fluoranthren | 1,60   | -  |
| - Benz(k) fluoranthren   | 1,11   | -  |
| - Benz(g,h,i)pyrelen     | 1,36   | -  |
| - Indeno(1,2,3-cd)pyren  | 1,16   | -  |
| Naphthalen               | 0,345  | 0,138 <sup>1</sup>   |
| Phenanthren              | 1,97   | 0,240 <sup>2</sup>   |
| Benz(a)anthracen         | 1,36   | 0,261 <sup>2</sup>   |
| Chrysen                  | 1,85   | 0,384 <sup>2</sup>   |

1: Ref. /66/ (BEK nr 1625 af 19/12/2017).  
2: Ref. /73/ (NOAA)

### Spredning og sedimentation af tungmetaller på havbunden

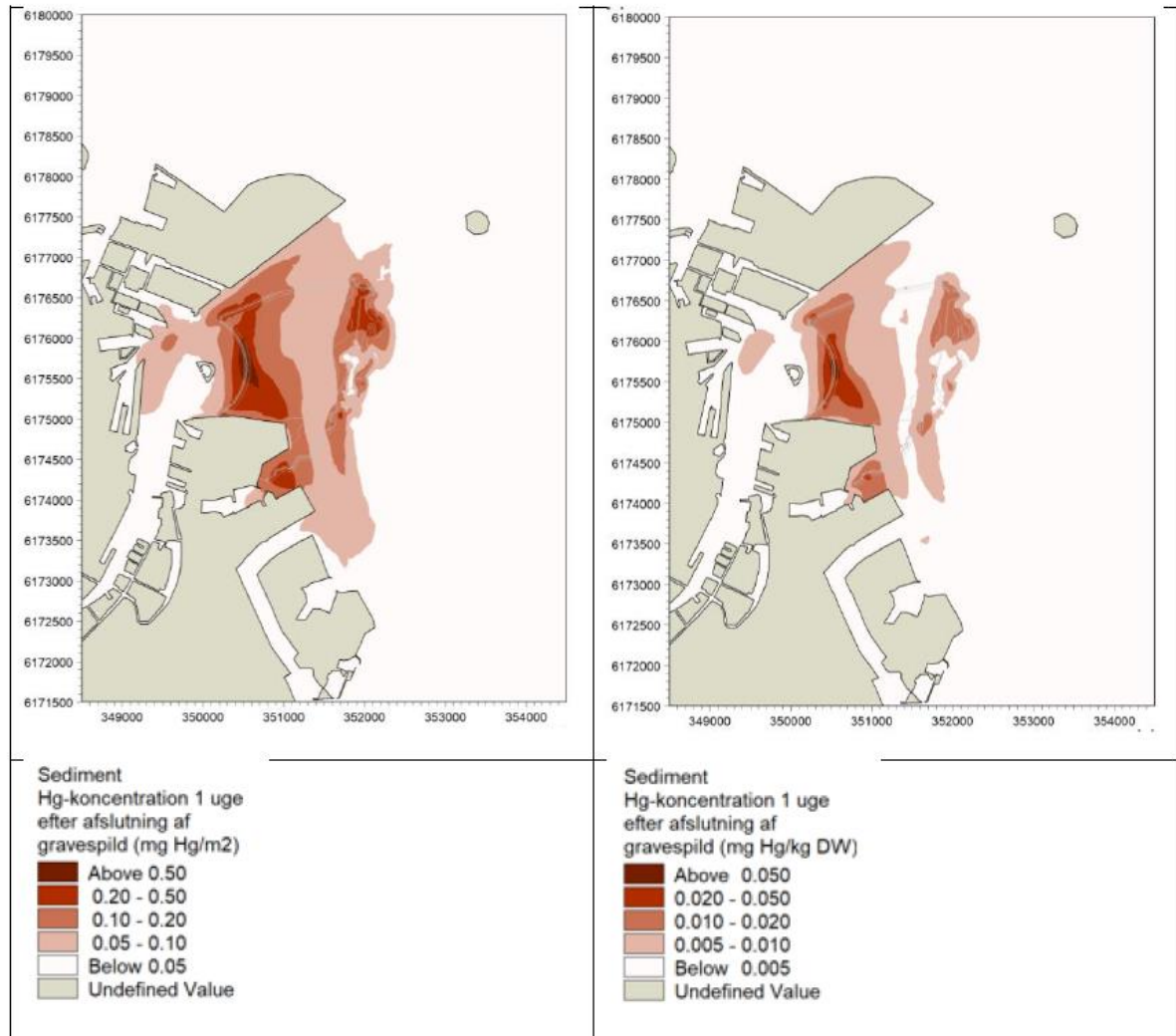
Spredning og sedimentation af tungmetaller er udført af DHI ved anvendelse af en sub-model (HM-model) der beskriver tungmetallets transport i vandfasen og sedimentation på havbunden. En nærmere beskrivelse af model og forudsætninger for beregninger findes i ref. /58/. Beregningerne udført er baseret på massebetragtninger og korrelationer mellem overfladetilførelser og resulterende sedimentkoncentrationer. Denne tilnærmelse er diskuteret herunder efter at resultaterne fra /58/ er præsenteret.

Perioden for opgravning af forurenede sediment hvorefter der udføres opgravning af det rene sediment, tager som anført tidligere omkring én måned /58/. Spredningen af sedimentet i vandfasen, samt påvirkningen heraf er nærmere beskrevet i Kapitel 12 "Vandkvalitet". Nedenfor er beskrevet resultaterne fra /58/ vedrørende spredningen og fordelingen af tungmetaller i sedimentet 1 uge efter opgravningen af forurenede sediment er afsluttet. Som eksempler er vist fordelingen af kviksølv, kobber, zink, samt cadmium og bly, hvor der for cadmium og bly er sedimentkvalitetskriterier (SKK) jf. ref. /66/, se Figur 9-15 .

#### Kviksølv

På Figur 9-11 er deposition af kviksølv én uge efter afslutning af opgravningen af forurenede sediment vist. Heraf fremgår at forøgelsen i koncentration af kviksølv i sedimentet generelt vil være ≤0,02 mg Hg/kg TS udenfor området for Lynetteholm, samt at forøgelse af kviksølv

koncentrationen i sedimentet på >0,02 mg Hg/kg TS næsten udelukkende er begrænset til området umiddelbart øst for Trekroner indenfor Lynetteholm.



**Figur 9-11 Sedimentdeposition fra gravespild i mg kviksølv/m<sup>2</sup> (venstre), og mg kviksølv/kg TS (højre) én uge efter afslutning af gravearbejdet /58/.**

For Kviksølv vil gravearbejderne frigive 2,7 kg og bidrage til hhv. en forhøjet sedimentkoncentration og vandopløst koncentration. En del af kviksølvet i vandsøjlen vil først sedimentere langt fra graveområdet.

I målingerne fra Lynetteholm-området blev median-koncentrationen i havnens sedimenter i 2019 målt til 0,27 mg Hg/kg TS (+/-0.17), hvilket vil svare til cirka 4,3 mg/m<sup>2</sup> /60/, mens der er blevet målt 0,069 mg Hg/kg TS, svarende til 1,1 mg Hg/m<sup>2</sup> ved NOVANA stationen KBKLYN i 2008. Miljøstyrelsen undersøgte i 1986 havnesedimenter og fandt her, at Københavns Havn havde den højeste koncentration af kviksølv i dansk havområde, sandsynligvis på grund af udledninger fra Sojakagefabrikken. Her blev målt 6,1 mg/kg TS (97,6 mg/m<sup>2</sup>), så koncentrationen fundet ved Lynetteholmen ligger under fundet fra 1986, men er stadig på et højt niveau /58/.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 0,8 mg Hg/m<sup>2</sup> (0,050 mg Hg/kg TS), som svarer til cirka 70% af baggrundsbelastning på cirka 1,6 mg/m<sup>2</sup>.

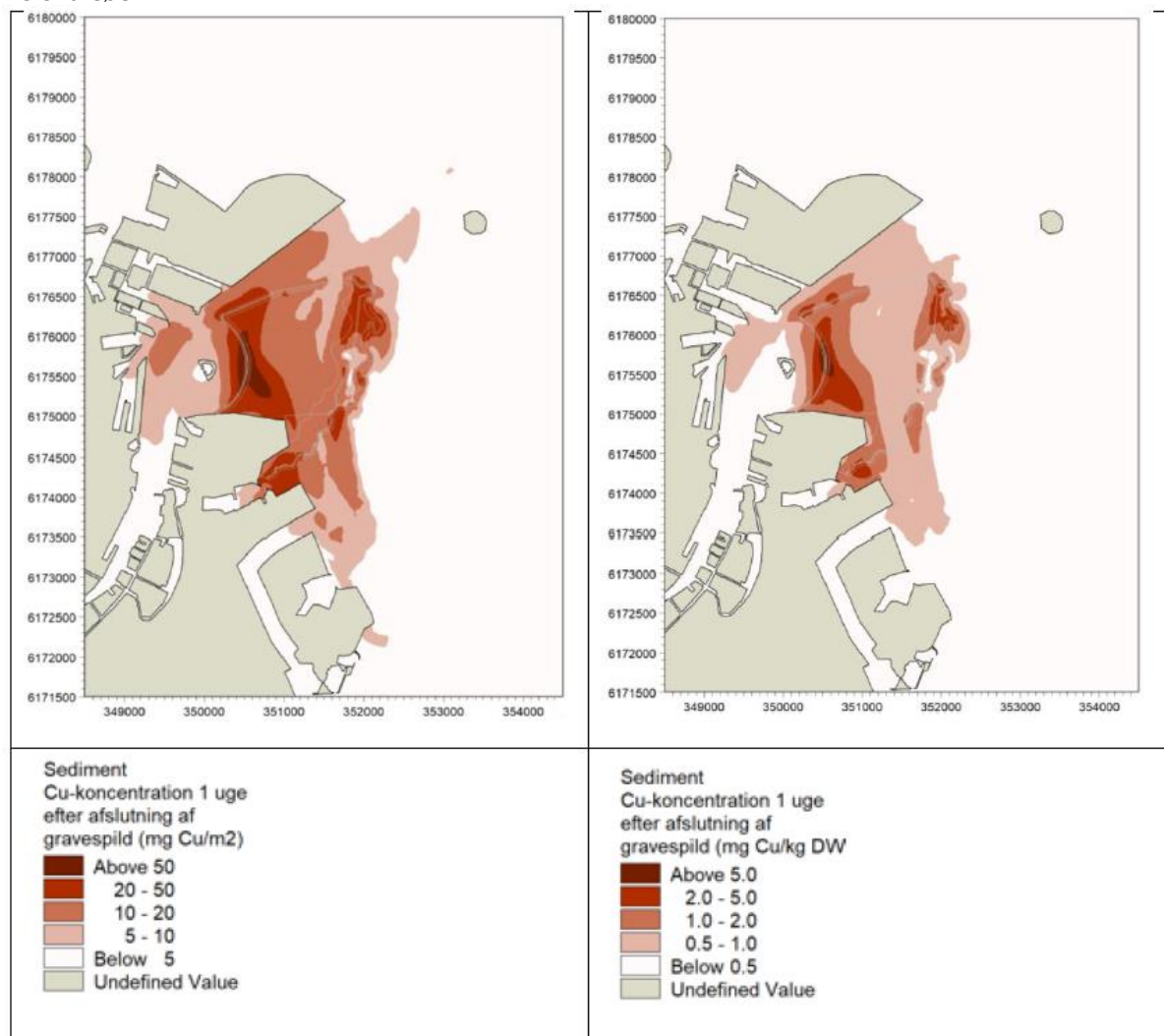


Efter afgravning af det lettere forurenede sediment under 2 m dybde, vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 0,16 mg Hg/m<sup>2</sup>, hvilket er cirka 15% i forhold til baggrundsbelastningen (KBKLYN), eller ca. 1,4% i forhold til den seneste undersøgelse i 2020 hvor median koncentration var 0,75 mg Hg/kg TS for de øverste 0-0,2 m for området ved Lynetteholm, se Tabel 9-4 /56/.

Der er ingen danske anbefalinger eller lovgivningsmæssige begrænsninger i tungmetalindholdet i havsedimenter, men NOAA har i nogle litteraturstudier anbefalet en grænse på 0,5 mg/kg tørstof som en "Effect range, Low", hvilket svarer til 8 mg/m<sup>2</sup> /73/. Der er således tale om at sedimentkoncentrationen efter afslutning af gravearbejdet vil ligge under de anbefalede niveauer. Det skal fremhæves, at områderne med mest forurenede deposition ligger i selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket /58/.

### Kobber

På Figur 9-12 er deposition af kobber én uge efter afslutning af opgravningen af forurenede sediment vist. Heraf fremgår at forøgelsen i koncentration af kobber i sedimentet generelt vil være ≤2 mg Cu/kg TS udenfor arealet for Lynetteholm, samt at forøgelse af kobber koncentrationen i sedimentet på >2 mg Cu/kg TS, som primært er begrænset til området øst for Trekroner umiddelbart udenfor/indenfor Lynetteholm, samt til mindre område umiddelbart syd for Refshaleøen.



Figur 9-12 Sediment deposition fra gravespild i mg kobber/m<sup>2</sup> (venstre), og mg kobber/kg TS (højre) én uge efter afslutning af gravearbejdet /58/.

I alt vil gravearbejderne frigive mellem 376 kg kobber, som vil spredes i havneområdet og i Øresund. En del vil lægge sig på havbunden og øge den eksisterende koncentration af kobber, og en del vil forblive længere i vandsøjlen, indtil det binder sig til suspenderet stof og efterfølgende sedimenterer i eller uden for Øresund.

I den tidligere undersøgelse af sedimentkemien i Lynetteholm-området blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 22,3 mg Cu/kg TS (+/-11,67), hvilket svarer til cirka 356 mg Cu/m<sup>2</sup>. Miljøstyrelsen undersøgte i 1999 forskellige bundmalinger og fandt her 25-50 mg Cu/kg TS i Århus Bugt, så koncentrationen fundet i Københavns Havn ligger under fundet fra Århusbugten. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 97,6 mg Cu/m<sup>2</sup> svarende til 6,1 mg Cu/kg TS /58/.

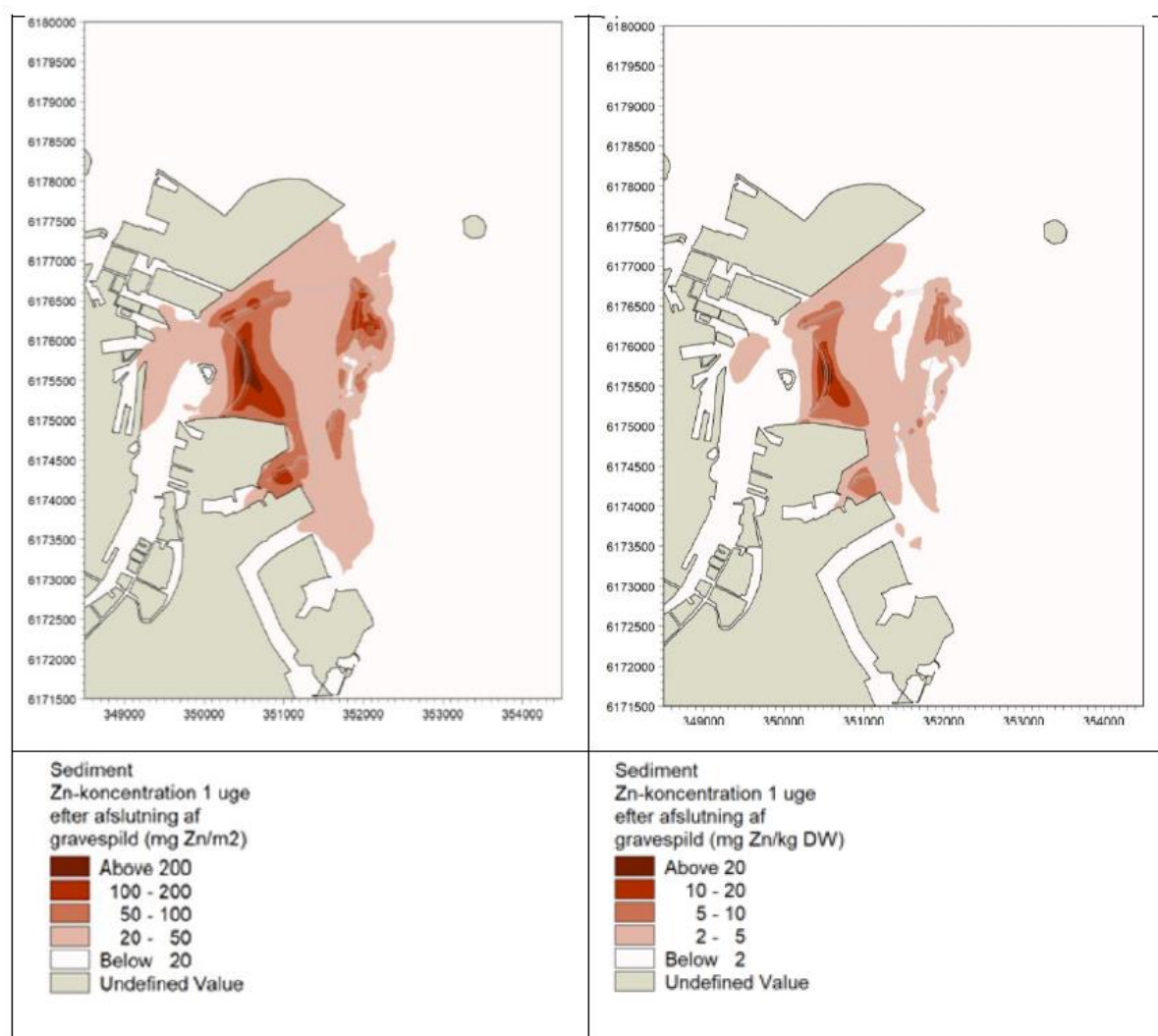
Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 106 mg/m<sup>2</sup>, som er en forøgelse på 8,4 mg/m<sup>2</sup> af baggrundsbelastning på 97,6 mg/m<sup>2</sup>.

Efter afgravning af sediment under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 126 mg Cu/m<sup>2</sup>, hvilket er 20 mg/m<sup>2</sup> højere end belastningen fra de forurenede sedimenter og derfor er der en samlet tilvækst på 28,4 mg Cu/m<sup>2</sup> (1,8 mg Cu/kg TS) i forhold til baggrundsbelastningen (KBKLYN) på 97,6 mg Cu/m<sup>2</sup> (6,1 mg Cu/kg TS). Sammenlignes med mediankoncentrationen for de øverste 0-0,2 m (se tabel 9-4) for Lynetteholmområdet som er på 54 mg Cu/kg TS vurderes påvirkningen af sedimentkoncentrationen i relation til IFF-koncentrationen på 6,1 mg Cu/kg TS for KBKLYN ubetydelig.

Der er ingen danske anbefalinger eller lovgivningsmæssige begrænsninger i tungmetalindholdet i havsedimenter, men NOAA har i nogle litteraturstudier anbefalet en grænse på 544 mg Cu/m<sup>2</sup> /73/ som en "Effect range, Low". Den nye belastning pr m<sup>2</sup> er således på cirka 23% af den af NOAA angivne "effect range".

#### *Zink*

På Figur 9-13 er deposition af zink én uge efter afslutning af opgravningen af forurenede sediment vist. Heraf fremgår som tilsvarende for kviksølv og kobber at forøgelsen i koncentration af zink i sedimentet vil være ≤5 mg Zn/kg TS udenfor arealet for Lynetteholm, samt at forøgelse af zink i sedimentet på >5 mg Zn/kg TS primært er begrænset til området øst for Trekroner.



Figur 9-13 Sediment deposition fra gravespild i mg zink/m<sup>2</sup> (venstre), og mg zink/kg TS (højre) én uge efter afslutning af gravearbejdet /58/.

Gravearbejderne af det mest forurenede sediment forventes at medføre et spild på totalt 1.171 kg Zn. Tæt på graveaktiviteterne ind mod havnen vil koncentrationen stige med over 300 mg/m<sup>2</sup>. En del af zink' vil i lighed med de andre metaller i vandsøjlen transporteres længere væk inden det sedimenterer.

I målingerne fra Lynetteholm-området (/6/) blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 600 mg Zn/kg TS, hvilket vil svare til cirka 9.600 mg/m<sup>2</sup>. Med 600 mg/kg tørstof er belastningen over det øvre aktionsniveau på 500 mg/kg tørstof jf. /65/. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 24,3 mg/kg tørstof, svarende til 384 mg/m<sup>2</sup>, altså betydeligt mindre end i havnen.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 329 mg/m<sup>2</sup>, som er cirka 14 % lavere end baggrundsbelastning på cirka 384 mg Zn/m<sup>2</sup>.

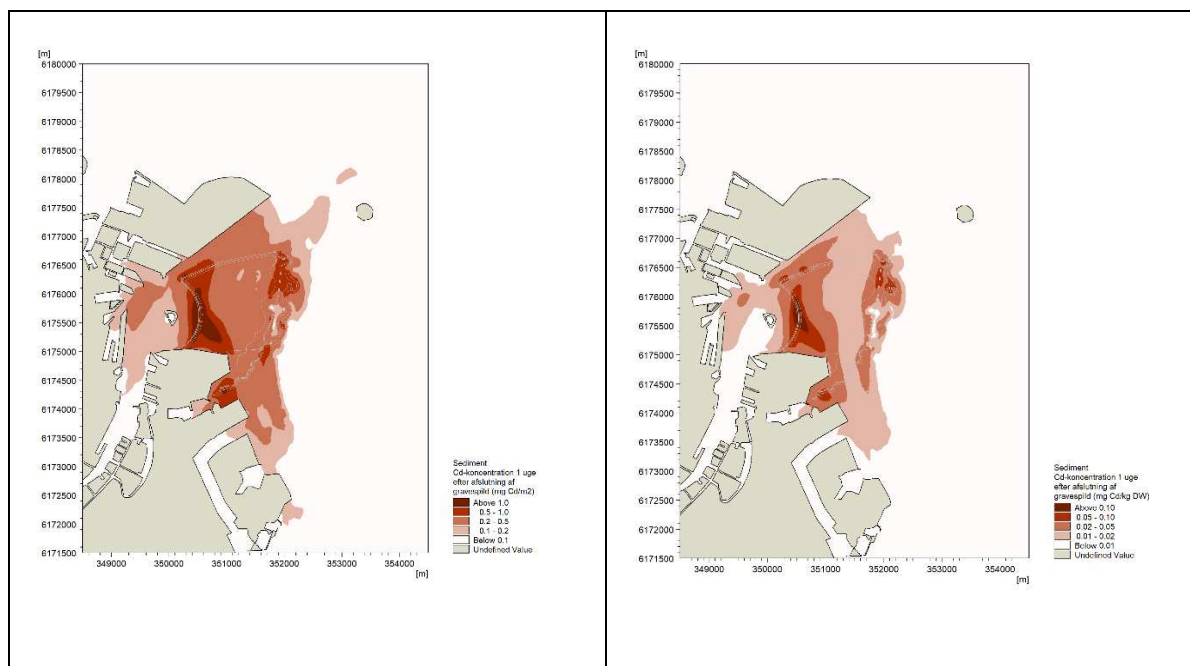
Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 492 mg Zn/m<sup>2</sup>, hvilket er 163 mg/m<sup>2</sup> højere end belastningen fra de forurenede sedimenter og derfor er der en samlet tilvækst på 108 mg Zn/m<sup>2</sup> i forhold til

baggrundsbelastningen. Den nye belastning på 492 mg/m<sup>2</sup> svarer til cirka 31 mg/kg TS. Således er koncentration på ca. 31 mg/kg TS som angivet ovenfor langt under nedre aktionsniveau, som er 150 mg Zn/kg tørstof, hvilket også er den grænse, som NOAA sætter for "Effect range, Low"/73/. Det skal i lighed med forholdene for de andre metaller fremhæves, at de mest forurenede områder ligger inden for selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

Tilsvarende er koncentrationen på 31 mg/kg TS (for øverste 3,5 mm) langt under median koncentrationen for overfladesedimentet for Lynetteholmområdet som blev målt til 175 mg Zn/kg TS, men ca. 30% højere end IFF-koncentrationen for KBKLYN stationen.

### Cadmium

På Figur 9-14 er deposition af cadmium én uge efter afslutning af opgravningen af forurenet sediment vist. Heraf fremgår at forøgelsen i koncentration af cadmium i sedimentet vil være ≤0,05 mg Cd/kg TS udenfor arealet for Lynetteholm, samt at forøgelse af zink i sedimentet på >0,05 mg Cd/kg TS er begrænset til området øst for Trekroner umiddelbart udenfor/indenfor Lynetteholm, samt til mindre område umiddelbart syd for Refshaleøen.



**Figur 9-14 Sediment deposition mg cadmium/m<sup>2</sup> (venstre), og mg cadmium/kg DW (TS) (højre) 1 uge efter opgravning af forurenat sediment er afsluttet /58/.**

Efter afslutning af bundudskiftningsaktiviteterne vil der være frigivet 9,0 kg cadmium. Heraf vil 6,4 kg cadmium ende i sedimentet. Tæt på graveaktiviteterne ind mod havnen vil koncentrationen stige til over 1 mg/m<sup>2</sup>, mens mellem 2-2,6 kg vil ende i vandsøjlen og spredes i et meget stort område inden det sedimenterer.

I målingerne fra Lynetteholm-området (/6/) blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 2 mg Cd/kg tørstof, hvilket vil svare til cirka 32 mg/m<sup>2</sup>. Med 2 mg/kg tørstof er belastningen under det øvre aktionsniveau på 2,5 mg/kg tørstof. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 0,1 mg/kg tørstof, svarende til 1,6 mg/m<sup>2</sup>, altså betydeligt mindre end i havnen.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 2,5 mg/m<sup>2</sup>, som 0,9 mg/m<sup>2</sup> højere sammenlignet med baggrundsbelastning på cirka 1,6 mg Cd/m<sup>2</sup>.

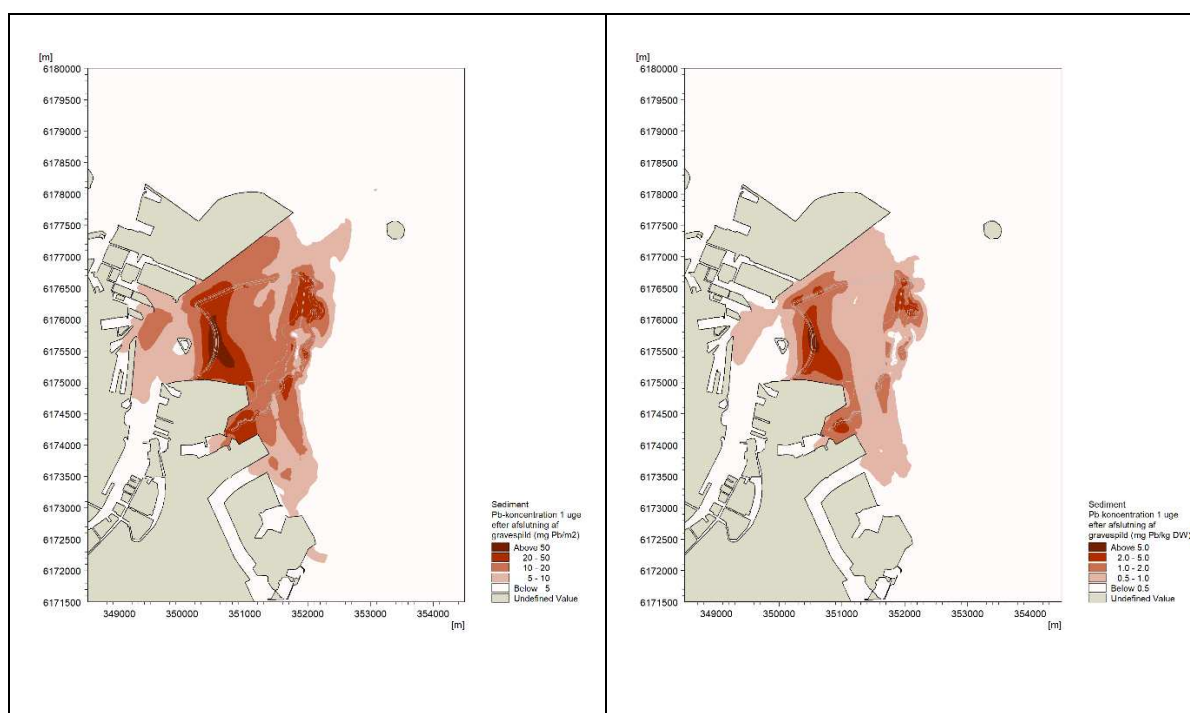
Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 2,88 mg Cd/m<sup>2</sup>, hvilket er 0,38 mg Cd/m<sup>2</sup> højere end belastningen fra de forurenede sedimenter og 1,28 mg/m<sup>2</sup> højere end baggrundsbelastningen. Den nye belastning svarer til 0,18mg Cd/kg TS.

Det nedre aktionsniveau er sat til 0,4 mg Cd/kg TS, og den danske grænse er sat til 3,8 mg/kg tørstof og med 0,18 mg Cd/kg TS er begge krav/grænser overholdt. Det skal i lighed med forholdene for de andre metaller fremhæves, at de mest forurenede områder ligger indenfor selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

Koncentrationen for de øverste 3,5 mm på 0,18 mg Cd/kg TS er sammenlignet med nuværende median koncentrationen for overfladesedimentet ved Lynetteholmen som er på 1,5 mg Cd/kg TS (se tabel 9-4), meget lille.

### Bly

På Figur 9-15 er deposition af bly én uge efter afslutning af opgravningen af forurenet sediment vist. Heraf fremgår at forøgelsen i koncentration af bly i sedimentet generelt vil være ≤2,0 mg Pb/kg TS udenfor arealet for Lynetteholm, samt at forøgelse af zink i sedimentet på >2 mg Pb(kg TS er begrænset til området øst for Trekroner umiddelbart udenfor/indenfor Lynetteholm, samt til mindre område umiddelbart syd for Refshaleøen.



**Figur 9-15 Sediment deposition mg bly/m<sup>2</sup> (venstre), og deposition af mg bly/kg DW (TS) (højre) 1 uge efter opgravning af forurenet sediment er afsluttet /58/.**

Gravearbejderne forventes at frigive 370 kg bly, hvoraf mellem 276 kg vil ende i sedimentet. Tæt på graveaktiviteterne ind mod havnen vil koncentrationen stige til over 50 mg/m<sup>2</sup>, mens mellem 94 kg bly vil ende i vandsøjlen og transporteres længere væk inden det sedimenterer.



I målingerne fra Lynetteholm-området blev median-koncentrationen i havnens sedimenter målt til 31 mg Pb/kg tørstof, hvilket vil svare til cirka 496 mg/m<sup>2</sup>. Med 31 mg Pb/kg tørstof er belastningen under det øvre aktionsniveau på 200 mg/kg tørstof. På NOVANA stationen KBKLYN blev der i 2008 målt 14 mg/kg tørstof, svarende til 224 mg Pb/m<sup>2</sup>, altså betydeligt mindre end i havnen.

Når gravearbejdet af de forurenede sedimenter er ophørt, vil den øverste 1 mm sediment have en koncentration på 106 mg/m<sup>2</sup>, som er 116 mg/m<sup>2</sup> lavere sammenlignet med baggrundsbelastning på cirka 224 mg Pb/m<sup>2</sup>.

Efter afgravning af de lettere forurenede jorde under 2 m dybde vil de øverste cirka 3,5 mm have en koncentration på 96 mg Pb/m<sup>2</sup>, hvilket er 20 mg/m<sup>2</sup> lavere end belastningen fra de forurenede sedimenter og 126 mg Pb /m<sup>2</sup> lavere end baggrundsbelastningen. Samlet sænkes belastningen med cirka 50% pr m<sup>2</sup>. Med en arealbelastning af de øverste sedimentlag på cirka 120 mg/m<sup>2</sup> svarer dette til cirka 7,5 mg Pb/kg TS, hvilket er langt under nedre aktionsniveau, som er 40 mg Pb /kg, samt under den grænse, der i Danmark er sat til 163 mg/kg tørstof. Det skal i lighed med forholdene for de andre metaller fremhæves, at de mest forurenede områder ligger inden for selve Lynetteholm, som efterfølgende vil blive overdækket.

Koncentrationen for de øverste 3,5 mm vil som angivet ovenfor være 7,5 mg Pb/kg TS, hvilket er en faktor 10 lavere end median koncentrationen i overfladesedimentet omkring Lynetteholm som er på 74 mg Pb/kg TS (se tabel 9-4).

### **Diskussion af resulterende sedimentkoncentrationer**

I ovenstående er vha. massebalancebetragtninger beregnet tilvækst i forureningsstoffer, som derefter er omregnet til sedimentkoncentrationer. Den resulterende koncentration er vanskelig at beregne, når der reelt vurderes på tilførsler/omfordelinger af eksisterende bundmaterialer i hhv. 1 og 3,5 mm lagtykkelser. Aflejring af disse tynde lag resulterer i tilførelse af meget små mængder af metaller pr. areal, og hvorvidt dette medfører en reel målelig/signifikant øgning i koncentrationerne i overfladesedimentet udenfor projektområdet er usikkert, hvilket bl.a. skal ses på baggrund af den bioturbation der vil foregå for overfladesediment lagene. Således vurderes at der vil ske omlejring, og opblanding af overfladesedimentet over en relativ kort periode, ligesom der, på grund af de relative lave vanddybder, vil ske naturlig resuspension og transport af overfladesedimentet ud fra området.

Når man ser på projektområdet ved Lynetteholmen, så er der et solidt datagrundlag, hvor der fra 38 borerer jævnt fordelt over projektområdet er udtaget miljøprøver. Når der ved gravearbejdet på Lynetteholmen fjernes bundsedimenter ned til 8 meters dybde, er det vurderet at 78% af massen kan kvantificeres som rent/let forurenede sediment /58/. Gennemsnitligt vurderes denne "rene" fraktion at have indhold af forureningskomponenter lavere end bestemt ved sedimentanalyser på 2,0-2,2 meters prøverne. Ved en sammenligning af koncentrationer i bundprøverne (2,0-2,2 m) med topprøverne (0,0-0,2 m) ses af Tabel 9-10 at der ved følgende forskelle:

- PAH'er: Koncentrationer i bund ligger meget lavt sammenlignet top/overfladeprøverne.
- Metaller: I gennemsnit er koncentrationerne halveret i bund og særligt ses kviksølv i lave koncentrationer.

Det vurderes af ovenstående, at den resulterende koncentration i overfladesedimenterne i området ved og i nærheden af projektområdet ved Lynetteholm efter endt anlægsarbejde, har tilsvarende eller lavere end de nuværende koncentrationer.

Tabel 9-10 Baggrundskoncentrationer sammenlignet med koncentrationer i spildt sediment.

| Sammenligning af koncentrationer fra bund og top på Lynetteholm /56/ |                  |                 |                       |
|--|------------------|-----------------|-----------------------|
| Parameter  | Bund (2,0-2,2 m) | Top (0,0-0,2 m) | Bund/Top <sup>2</sup> |
|  | mg/kg TS         |                 | %                     |
| Antal prøver   | 30               | 38              | -                     |
| Naphthalen   | <0,01            | 0,055           | 18                    |
| Anthracen  | <0,01            | 0,12            | 8,3                   |
| Fluoranthren   | <0,01            | 0,17            | 5,9                   |
| Pyren  | <0,01            | 0,49            | 2,0                   |
| Benzo(a)anthracen  | <0,01            | 0,23            | 4,3                   |
| Chrysen  | <0,01            | 0,29            | 3,4                   |
| Benz(a)pyren   | <0,01            | 0,25            | 4,0                   |
| Sum PAH'er (9 stk.)  | <0,01            | 2,7             | 0,37                  |
| Sum PAH'er (16 stk.)   | <0,01            | 3,7             | 0,27                  |
| Bly  | 16               | 74              | 22                    |
| Cadmium  | 0,31             | 1,5             | 21                    |
| Chrom, total   | 22               | 20              | 110                   |
| Kobber   | 12               | 56              | 21                    |
| Kviksølv   | 0,020            | 0,75            | 3                     |
| Nikkel   | 14               | 15              | 93                    |
| Zink   | 72               | 175             | 41                    |
| Arsen  | 5,9              | 6,9             | 86                    |

1: PAH'er i bundprøver fra Lynetteholmen sættes til detektionsgrænsen ved Bund/Top sammenligning.

#### 9.3.4.2 Budget over tilførsel og immobilisering af metaller og organiske forurenings i anlægsfasen

Ved opgravning af forurenede sediment langs perimenteren vil der ske spild/mobilisering af metaller og organiske forurenings til det marine miljø, mens opgravet sediment med indhold af forurenings vil blive deponeret i Lynette-deponiet og herved udgår fra det marine område. Tilsvarende vil den andel af biotilgængelige forurenings som findes i sedimentet som er beliggende indenfor perimenteren, ved opfyldning af Lynetteholm udgå (blive immobiliseret) fra det marine miljø. En samlet opgørelse over mængden af metaller/organiske forurenende stoffer der tilføres det marine miljø/udgår (immobiliseres) fra det marine miljø Hovedopland 2.3 Øresund er beskrevet i Kapitel 12 "Vandkvalitet".

Overordnet viser resultaterne at der i anlægsfasen vil "udgå" betydelige mængder af mobile/biotilgængelige forurenende stoffer, samt næringsstoffer fra det marine miljø, mens tilførslen af stoffer til vandfase og sediment for Øresund Nord vil være lille, se Kapitel 12 "Vandkvalitet".

#### 9.3.4.3 Sammenfattende vurdering af påvirkning med forurenende stoffer

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentet, som har mellem sårbarhed overfor påvirkningen, - "Påvirkning af sedimentkvalitet (forureningsgrad) fra sedimentation på havbund", - , at være af lokal udbredelse, mellemlang varighed, samt af mellem intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.

### **9.3.5 Påvirkning af sedimentkvalitet ved tilførsel af næringsstoffer (N og P)**

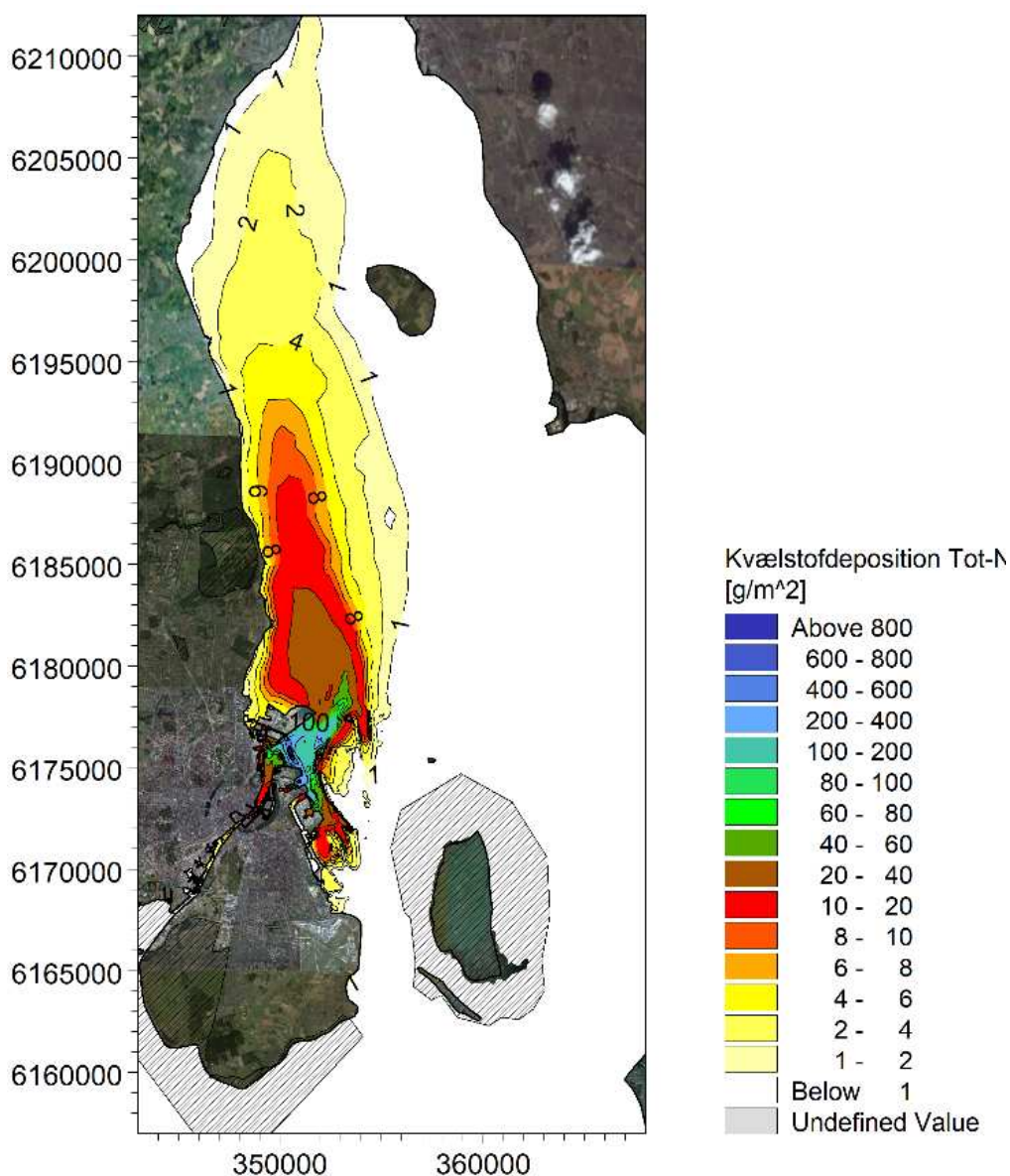
Som beskrevet mere detaljeret i kapitel 12, vil der ved gravearbejderne på Lynetteholm mobiliseres sedimenter med indhold af næringssalte. Det antages at puljerne af total N og P i de spildte sedimenter er 3.188 ton N og 1.050 ton P, hvoraf samlet 17,5 ton er biotilgængeligt N, og 3,22 ton biotilgængeligt P /58/.

Den atmosfærisk kvælstofdeposition fra anlægsarbejdet er tillige estimeret via OML-Multi som angiver et bidrag på ca. 4-8 kg N per år i løbet af den 2,5 års anlægsperiode.

Den samlede tilførte koncentration af Total-N til sedimentet er modelleret som vist i Figur 9-16 /58/. Total-P koncentrationer forventes at korrelere med fordelingerne vist i Figur 9-16, dog er Total-P puljen kun 1/3 (1050/3188).

På Lynetteholm er der bestemt mediankoncentrationer i overfladesedimenter for Total N og Total P på hhv. 2150 og 660 mg/kg TS. Dette svarer til 774 og 238 g N/P pr. m<sup>2</sup> i de øverste 20 cm af sedimentet, og dermed er forøgelse vist i Figur 9-16 små.

Sammenfattende vurderes påvirkningen af vandkvaliteten, som er vurderet med lav sårbarhed, for påvirkningen med næringsstoffer, at være af regional udbredelse, af kort varighed, samt af lille intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.



Figur 9-16 Tilførsel af Total-N til sedimentet. Grå skravering angiver Natura 2000 områder /58/.

### 9.3.6 Påvirkning af sedimentkvalitet ved tilførsel af iltforbrugende stoffer

Som beskrevet mere detaljeret i kapitel 12, vil der ved gravearbejderne ved Lynetteholm frigives stoffer, der vil udløse et iltforbrug. Det akkumulerede iltforbrug (SOD) som følge af det samlede spild vil over 24 timer være 97 ton ilt, og efter 120 timer vil dette være reduceret til 25,7 ton ilt pr døgn /58/. SOD efter 24 timer forventes at være partikelbundet, og under 24 timer forventes at være en blanding af opløst og partikelbundet SOD. Således vil iltforbruget påvirke både vand- og sedimentfasen. Spredningen af suspenderet stof og dermed iltforbrugende spredes relativt hurtigt og dermed vurderes iltforbruget ikke at udgøre et problem for miljøet /58/.

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentet, som har mellem lav sårbarhed overfor påvirkningen, - tilførsel af iltforbrugende stoffer -, at være af lokal udbredelse, lang varighed, samt af mellem intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.

#### 9.4 Vurdering af påvirkninger i driftsfasen

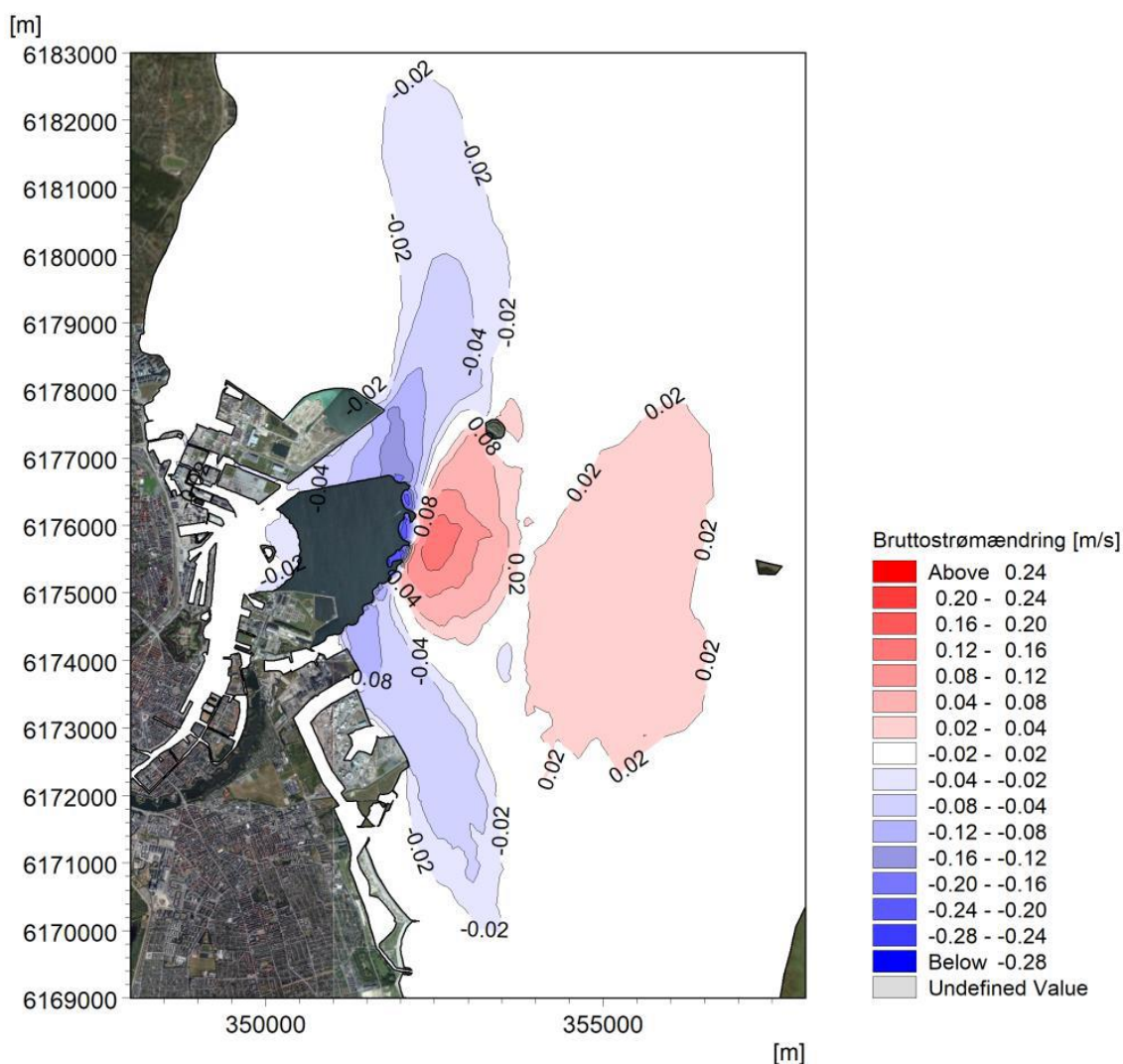
Aktiviteterne i driftsfasen som vurderes at kunne give anledning til påvirkning af sedimentforholdene er listet i Tabel 9-1, og er vurderet at resultere i følgende påvirkninger:

- Ændring af sedimentforhold fra fysisk forstyrrelse af havbunden
- Påvirkning af sedimentkvalitet (forurening) fra sedimentation på havbund
- Påvirkning af sedimentkvalitet ved tilførsel af næringsstoffer.

##### 9.4.1 Ændring af sedimentforhold fra fysisk forstyrrelse af havbunden.

Når perimeteren for Lynetteholm er anlagt vil der ske ændringer i sedimentforholdene lokalt omkring Lynetteholm. Årsagen hertil er de ændringer som anlægget vil medføre for de hydrografiske forhold, herunder strømforholdene som vil indvirke på de eksisterende erosions-sedimentationsforhold ved havbunden.

Områderne hvor sedimentforholdene vil blive påvirket kan findes ved at se på middelændringen af den årsmidlede bruttostømning. I områder, hvor bruttostømmen forstærkes, vil der være en tendens til erosion, mens der i områder med en svækkelse vil være en tendens til aflejring. Det primære påvirkningsområde er vist i Figur 9-17 /58/.



Figur 9-17 Ændring af årsmidlede bruttostøm (dybdemidlet) /58/.



Således fremgår at der vil være potentiel sandsynlighed for påvirkning af sedimentforholdene som følger:

- Da opfyldningen indebærer en generel strømforstærkning på åbent vand, vil der være en generel påvirkning i form af potentiel erosion over et større område på Middelgrunden, hvor Københavnerkalken stikker højt og der kun er tynde eroderbare sedimentlag. Det vurderes derfor at bygningen af Lynetteholm vil føre til erosion på område af Middelgrunden, hvor omfanget vurderes hovedsageligt at være begrænset til det øvre tynde sanddække som typisk udgør mellem 0-30 cm /58/.
- Af Figur 9-17 fremgår at der potentielt vil ske mindre påvirkning af sedimentforholdene ved øgning af sedimentation for området umiddelbart nord (nordøstlige del) for Lynetteholm, samt området mod syd udfør Margretheholm og Prøvestenen /58/.

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentforhold, som har mellem sårbarhed overfor fysisk forstyrrelse af havbunden, at være af lokal udbredelse, vedvarende, samt af mellem intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.

#### **9.4.2 Påvirkning af sedimentkvalitet med forurenede stoffer**

Ved opfyldning af Lynetteholm med ren/forurenede jord er det forudsat at fortrængning af vandmængden indenfor området som opfyldes, udledes via punktudledning udfør den østlige perimenter, og via diffus udsivning langs hele perimenteren/den østlige perimenter, se /58/.

Vurderingen af påvirkningen af sedimentet, og hermed påvirkningen af sedimentkvalitetskriterierne (SKK) for stoffer som udledes under opfyldningen af Lynetteholm er beskrevet og vurderet i /65/ og i Kapitel 12 "Vandkvalitet". Resultaterne herfra viser, at udledningen fra Lynetteholm ikke vil resultere i nogen overskridelse af gældende SKK, og at udledningen derfor ikke vil hindre opfyldelse af miljømålene for den økologiske og kemiske tilstand af vandområdet.

##### **9.4.2.1 Budget over tilførsel og immobilisering af metaller og organiske forurenninger i driftsfasen**

I driftsfasen vil der under opfyldningen af Lynetteholmen med forurenede/ren jord, og punktudledningen af overskudsvand fra området, blive tilført forurenende stoffer, herunder næringsstoffer til det marine miljø udenfor Lynetteholm.

En samlet opgørelse over tilførsel og immobilisering af mobile og biotilgængelige forurenninger, for både anlægs- og driftsfasen for etablering af Lynetteholm, er beskrevet og vurderet i kapitel 12 "Vandkvalitet".

Overordnet vil mængderne af tilførte næringsstoffer, metaller og organiske forurenninger ved punktudledningen til det marine miljø i driftsfasen være beskedent, set i forhold til de store mængder af mobile og biotilgængelige stoffer der bliver immobiliseret, - udgår af det marine område hovedvandopland 2.3 Øresund.

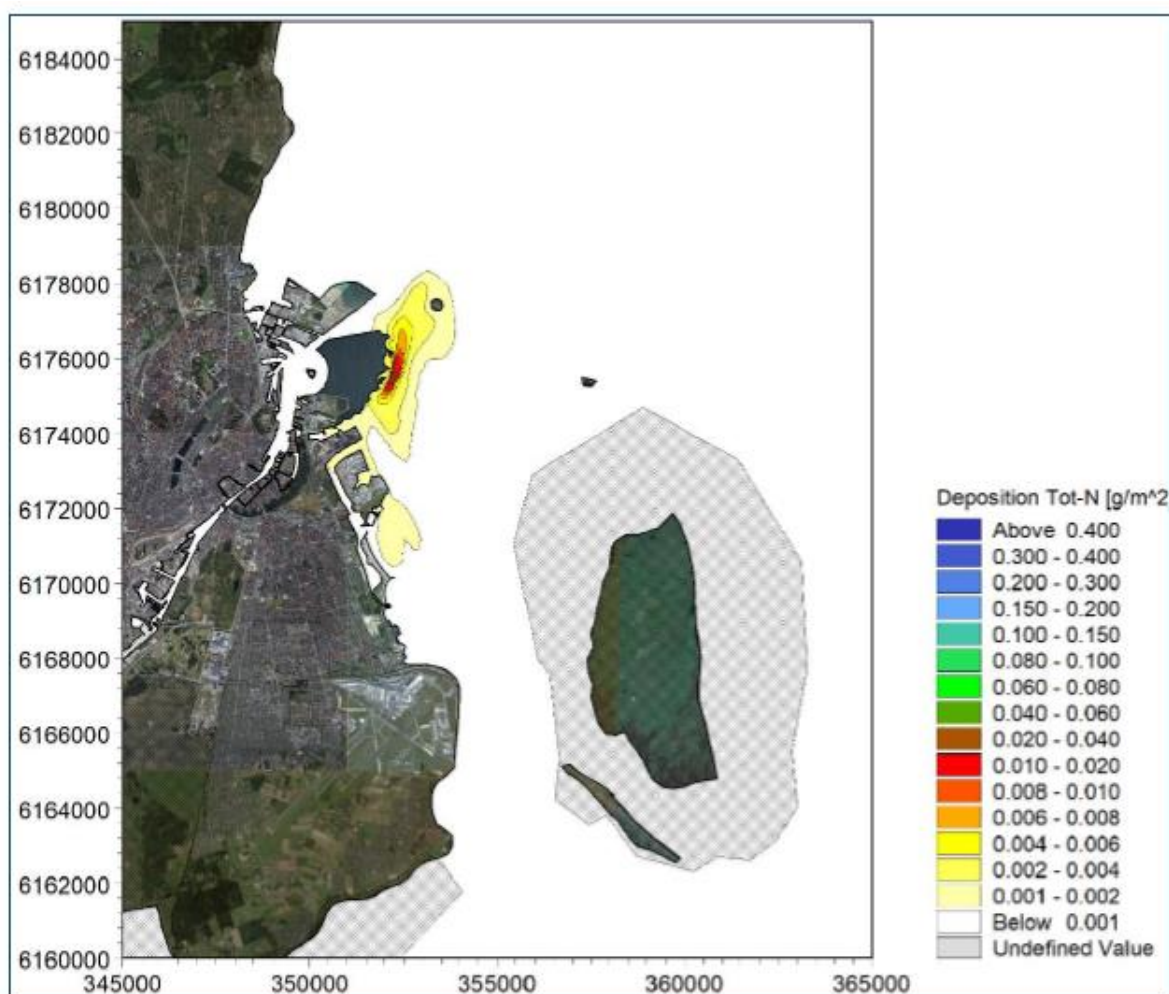
##### **9.4.2.2 Sammenfattende vurdering af påvirkning med forurenende stoffer**

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentkvalitet, som har mellem sårbarhed overfor påvirkning med forurenede stoffer, at være af lokal udbredelse, lang varighed, samt af lille intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille

### 9.4.3 Påvirkning af sedimentkvalitet ved tilførsel af næringsstoffer.

Spredning af den udledte mængde kvælstof er konservativt vurderet på basis af en beregning af udledning af suspenderet stof og der er således ikke taget stilling til omsætning af kvælstof inden for det spredningsområde, som er vurderet. Med udgangspunkt i målinger af total-N koncentration (gennemsnit på 0,891 mg/l) og mængden af suspenderet stof (gennemsnit på 15,3 mg/l) i udledning fra Nordhavnsdeponiet for perioden 2012 - 2020 er den total udledte mængde af Total beregnet til at være 3.485 kg i 2023, samt at være 2.350 kg/år fra 2024 - og frem.

Ved beregning af depositionen af Total-N er omsætningen af Total-N i vandfasen ikke taget i beregning, hvorfor resultaterne er meget konservative. Figur 9-18 viser den forventede deposition af total-N fra udledningen i 2023 /58/.



Figur 9-18 Deposition af Total-N som funktion af udledning fra Lynetteholm i 2023. Grå skravering angiver Natura 2000 områder /58/.

Af Figur 9-18 ses at depositionen af kvælstof er begrænset til området øst for Lynetteholm samt af begrænset udbredelse. En nærmere vurdering af udledningen af Total-N findes i kapitel 12: "Vandkvalitet".

Sammenfattende vurderes påvirkningen af sedimentkvaliteten som har mellem lav sårbarhed overfor tilførsel af næringsstoffer, at være af lokal udbredelse, lang varighed, samt af lille intensitet. På baggrund heraf vurderes den overordnede betydning af påvirkningen at være lille.

## **9.5 Kumulative påvirkninger**

Det er på baggrund af kapitel 4 "Nærliggende projekter" ikke registreret projekter/forhold som er vurderet at kunne resultere i kumulative effekter på sedimentforhold som påvirkes ved nærværende projekt.

## **9.6 Afværgeforanstaltninger**

Udgravning af sediment må alene ske i perioden oktober til og med marts.

I anlægsfasen skal der benyttes arbejdsmateriel, så påvirkninger af havbunden/sediment minimeres. Inden anlægsarbejdet igangsættes, skal der indsendes en redegørelse for dette til Miljøstyrelsen.

## **9.7 Overvågning**

Overvågning af påvirkningerne på sediment for anlægs- og driftsfasen indebærer nedenstående undersøgelser, og udføres med det formål at dokumentere vurderingerne udført i miljøkonsekvens rapporten (MKR).

### **9.7.1 Før anlægsfase**

#### **9.7.1.1 Dybdeforhold**

Der udføres opmåling af dybdeforhold (multi-beam echo sounder) for områder omkring Lynetteholm hvor der ikke er udført målinger heraf tidligere, - og hvor det er vurderet at der kan/vil ske ændringer i dybdeforhold pga. ændrede erosions-/sedimentationsforhold pga. Lynetteholm.

#### **9.7.1.2 Sedimentanalyser**

Før anlægsarbejderne sættes i gang fastlægges stationsnet for udtagning af sedimentprøver for fysisk-kemiske analyser, herunder for kornstørrelse, metaller, organiske forureninger og næringsstoffer for overfladesediment. Stationsnettet fastlægges på baggrund af resultaterne fra den matematiske modellering af aflejringsforholdene for sedimentation fra opgravning af sediment langs perimeteren, samt omkring punktudledningen for Lynetteholm i henhold til rapporten ref. /58/.

Der udføres prøvetagning 1 gang for dokumentation af de eksisterende forhold således der er en solid baseline på plads på prøvestationer jf. det fastlagte stationsnet, som så anvendes til gentagne prøvetagninger under anlægs- og driftsfasen for at kunne dokumentere påvirkninger for anlæggelse og drift af Lynetteholm.

### **9.7.2 Anlægsfase**

#### **9.7.2.1 Sedimentanalyser**

Efter færdiggørelsen af fase 1 perimeterkonstruktionen i 3. kvartal 2022 foretages prøvetagninger af overfladesedimentet for fysisk, kemiske analyser jf. fastlagt stationsnet.

### **9.7.3 Driftsfase**

#### **Dybdeforhold**

Der udføres målinger af dybdeforholdene omkring Lynetteholm/på Middelgrunden i løbet af driftsfasen. Tidspunkter/år for udførelse af målinger skal aftales nærmere med relevante myndigheder.

## Sedimentanalyser

Der foretages udtagning af sedimentprøver for fysisk- kemiske analyser jf. stationsnet fastlagt. Stationsnet opdateres om nødvendigt løbende på baggrund resultaterne fra målingerne af dybdeforhold. Prøvetagningstidspunkter (år) aftales nærmere med relevante myndigheder.

### 9.8 Sammenfattende vurdering

I Tabel 9-11 er vist den vurderede samlede påvirkning på sediment i anlægs- og driftsfasen.

**Tabel 9-11 Sammenfattende vurdering af påvirkningen af sediment.**

| Miljøpåvirkning  | Sårbarhed | Påvirkningens størrelse |                       |            | Betydning          |
|--|-----------|-------------------------|-----------------------|------------|--------------------|
|  |           | Intensitet              | Geografisk udbredelse | Varighed   |                    |
| <b>Anlægsfasen</b>   |           |                         |                       |            |                    |
| Tab af havbundsareal   | Høj       | Stor                    | Lokal                 | Permanent  | Lille <sup>1</sup> |
| Påvirkning ved fysisk forstyrrelse på havbunden  | Mellem    | Mellem                  | Lokal                 | Kort-lang  | Lille              |
| Påvirkning af sediment ved sedimentation på havbunden  | Mellem    | Lille                   | Lokal                 | Lang       | Lille              |
| Påvirkning af sedimentkvalitet fra sedimentation af forurenede stoffer   | Mellem    | Mellem                  | Lokal                 | Mellemlang | Lille              |
| Påvirkning af sedimentkvalitet fra sedimentation af næringsstoffer   | Lav       | Mellem                  | Lokal                 | Lang       | Lille              |
| Påvirkning af sedimentkvalitet fra tilførsel af iltforbrugende stoffer   | Lav       | Mellem                  | Lokal                 | Lang       | Lille              |
| <b>Driftsfasen</b>   |           |                         |                       |            |                    |
| Påvirkning ved fysisk forstyrrelse på havbunden  | Mellem    | Mellem                  | Lokal                 | Vedvarende | Lille              |
| Påvirkning af sedimentkvalitet med forurenede stoffer  | Mellem    | Mellem                  | Lokal                 | Lang       | Lille              |
| Påvirkning af sedimentkvalitet fra sedimentation af næringsstoffer   | Lav       | Mellem                  | Lokal                 | Lang       | Lille              |
| 1: På baggrund af det begrænsede sedimentområde/havbundsareal som påvirkes vurderes den overordnede betydning af påvirkningen af sedimentkvaliteten at være lille. |           |                         |                       |            |                    |

## 10. HYDROGRAFI

### 10.1 Metode

#### 10.1.1 Metode til beskrivelse af den aktuelle miljøstatus

Beskrivelse af den aktuelle status for hydrografi er baseret på rapport udarbejdet af DHI /80/, som baserer sig på litteraturgennemgang og erfaringsopsamling fra tidligere gennemførte projekter herunder etableringen af Øresundsforbindelsen. Datagrundlaget for eksisterende forhold vurderes at være godt.

#### 10.1.2 Metode til vurdering af påvirkninger

I Tabel 8-1 er relevante kilder til miljøpåvirkninger angivet for anlægs- og driftsfasen.

**Tabel 10-1 Kilder, som vurderes at kunne give anledning til påvirkning i anlægs- og driftsfasen.**

| Kilder til potentielle påvirkninger af hydrografi | Anlægsfase | Driftsfase |
|---|------------|------------|
| Arealinddragelse til havs                         | X          | X          |
| Etablering af perimeter                           | X          |            |

Der er gennemført numerisk modellering som grundlag for vurderingen af påvirkningerne på hydrografi /82/. Analyser er gennemført ved sammenligning mellem fremtidige scenarier og eksisterende forhold. Ved anvendelse af en model er det muligt direkte at identificere effekten af fremtidsscenariet, mens alle øvrige parametre kan fastholdes uændret.

Analyserne i /82/ er gennemført for et undersøgelsesdesign, der afviger marginalt fra det endelige design primært i form af en mindre ændring af knækket i tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm. DHIs baggrundsrapport nummer 4, /85/, sammenligner de undersøgte og endelige designs, for at dokumentere at den mindre ændring af knækket i tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm kun har en helt lokal betydning for de hydrauliske forhold, og at de tre tekniske baggrundsrapporter, derfor er dækkende og i stand til at vurdere de i VVM-sammenhæng afledte påvirkninger af projektet og dets endelige design. Vurderinger i dette kapitel er derfor baseret på undersøgelsesdesignet, og der kan forekomme mindre afvigelser på figurerer, der viser modelresultater i forbindelse med beskrivelse af påvirkningerne i afsnittene 10.3 og 10.4.

Der er gennemført hydrauliske analyser og de tilgrundliggende modelresultater, baggrund og analyser findes i /82/ og /85/.

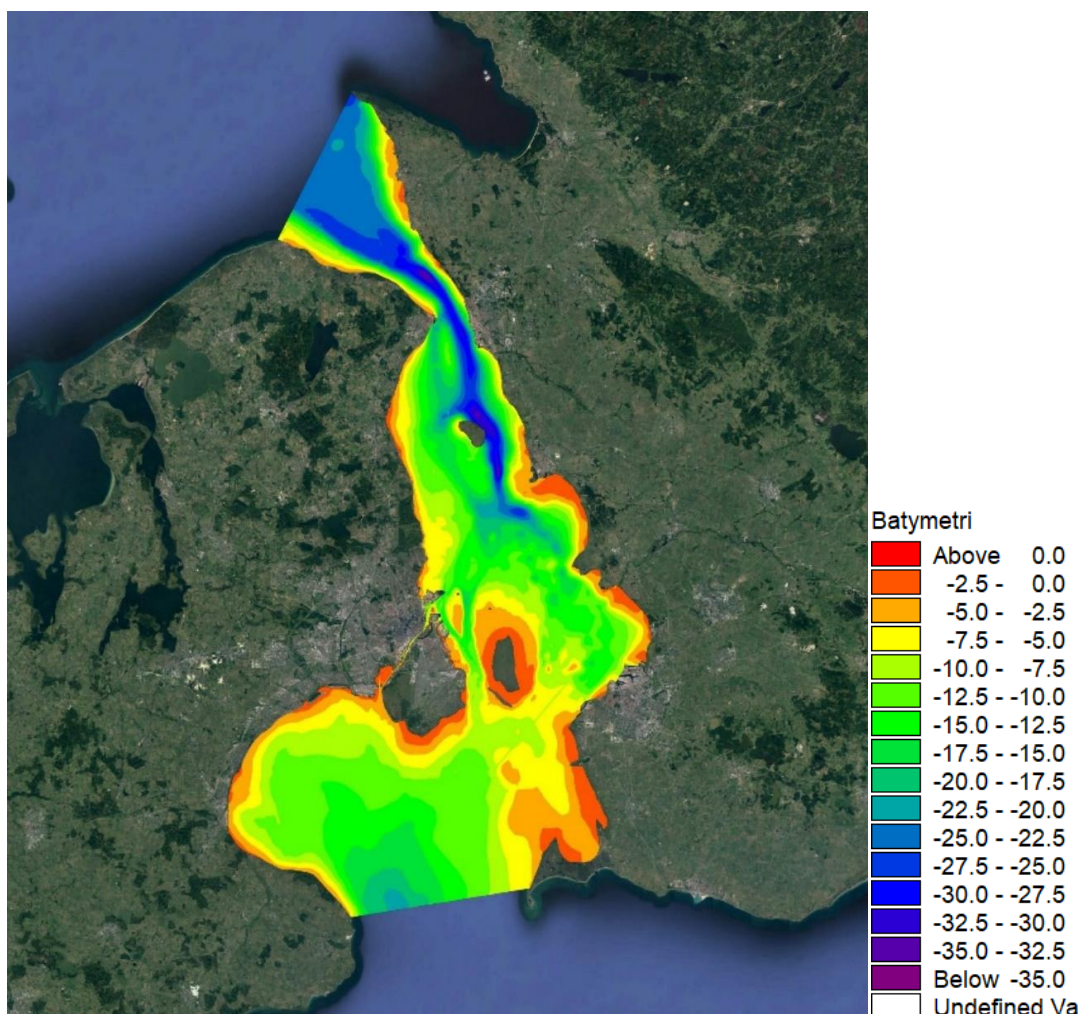
Den anvendte viden og data vurderes at være gode.

### 10.2 Den aktuelle miljøstatus

#### 10.2.1 Strøm og vandstand

Øresund udgør det næststørste af de tre bæltter Lillebælt, Storebælt og Øresund, som forbinder Kattegat og Østersøen. Den nordligste del af Øresund er formet som en tragt, der fra snittet Gilleleje-Kullen gradvist indsnævres frem mod Helsingør-Helsingborg. Området indeholder en naturlig dyb rende (>30m), hvor der optræder springlag grundet udvekslingen mellem brakvand fra Østersøen og salt havvand fra Nordsøen/Kattegat. I de dybeste dele af vandsøjlen er saltholdigheden næsten som i Nordsøen. Den dybe rende løber øst om Ven til lidt syd for Landskrona. Syd for Landskrona bliver Øresund gradvist bredere og rendernes dybder reduceres tilsvarende, jf. Figur 10-1 . I den sydlige del deles strømmingen i to af Saltholm.





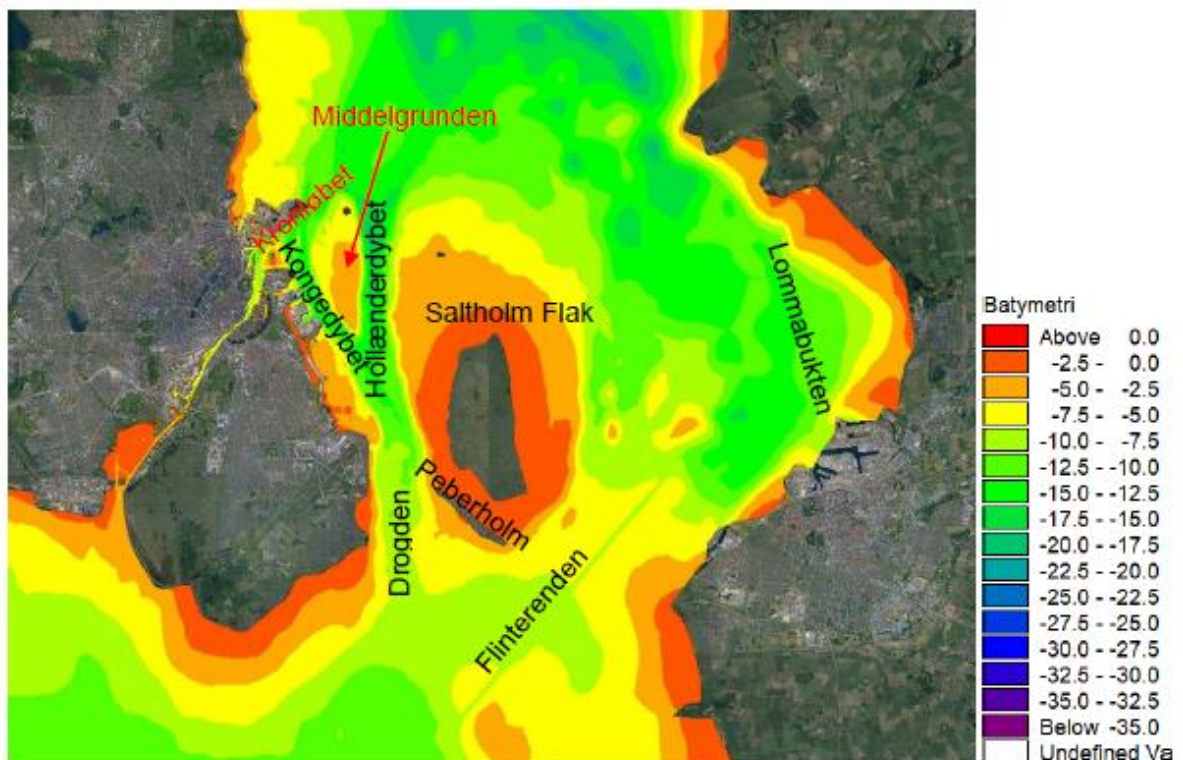
**Figur 10-1 Øresunds dybdeforhold.**

I den danske side af Øresund mod vest er strømmen fokuseret i de dybe render Hollænderdybet øst for Middelgrunden og Kongedybet vest for Middelgrunden. Kongedybet står i forbindelse med Københavns Havn gennem Kronløbet. I forlængelse af Hollænderdybet og Kongedybet ligger Drogden sejlrenden, som er uddybet til at garantere en dybde på minimum 8 meter ved middelvandstand, se Figur 10-2.

I den svenske side af Øresund udgør Lommabugten vest og nord for Malmö et bredere område med vanddybder på 10-15 meter.

Syd herfor ligger Drogdentærsklen, hvor vanddybden er 5-8 meter. I den svenske del gennemskæres Drogdentærsklen af sejlrenden Flinterenden, hvor der er uddybet til 8 meter. Drogdentærsklen udgør som følge af den relativt smalle strømningsbredde og de lave vanddybder den del af Øresund, hvor strømningens tværsnitsareal er mindst.

Drogdentærsklen er derfor det område, der giver den største blokering og er dermed bestemmende for udvekslingen af vand og salt med Østersøen. Syd for Drogdentærsklen udvides tværsnittet og går over i Køge Bugt for sluttelig at blive til en del af Østersøen.



Figur 10-2 Dyb og grunde i den sydlige del af Øresund. Dybder er angivet i forhold til DVR90.

Under stille vejrforhold bestemmes strømforholdene i Øresund af tidevandet og overskudstilførslen af ferskvand tilført fra floder og vandløb med udmunding i Østersøen. I stille perioder er der derfor skiftende rolige strømforhold, men dog med overvejende nordgående strøm. 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 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 stuver vand op i den vestlige del af Østersøen og presser samtidigt vand ud af Kattegat, hvilket forårsager nordgående strøm i Øresund.

Herudover har den lokale vindpåvirkning også betydning for den lokale overfladstrøm i delområder af Øresund.

Ekstreme vandstande i området hvor Lynetteholm planlægges etableret opstår typisk i forbindelse med, at stormlavtryk fra Nordsøen med et center nord for Danmark bevæger sig mod øst og derved presser vand ind i Nordsøen og videre ind i Kattegat. Selvom tidevandet i Øresund er relativt beskedent, har det også en betydning for de opnåede ekstremvandstande.

De normale såvel som de ekstreme vandstandsvariationer ved projektområdet og i København generelt skyldes således et samspil af mange faktorer, så som stormens varighed, lavtrykkets styrke, lavtrykkets bane (vindens hastighed og retning), vindstuvning i Nordsøen, Østersøen og i de indre danske farvande, samt vandudvekslingen mellem disse farvande.

Der er hyppigt lagdeling i Øresunds dybere render og i Kattegat, fordi vandet i Kattegats dybereliggende lag har et saltindhold, og dermed en densitet, næsten som i de store oceaner (30-35 psu), mens vandet i Østersøen er lettere brakvand med et lavere saltindhold på grund af den store tilførsel af ferskvand fra floder med udløb i Østersøen. Lagdelingen bevirker, at der ofte er en relativ fersk nordgående overfladestrøm og en saltholdig sydgående bundstrøm. Lagdelingen i Øresund fastholdes yderligere af Drogdentærsklen, som virker hæmmende på den tunge bundstrøm og transporten af salt til Østersøen. Nettostrømmen i Øresund er nordgående på grund af vandtilførslen fra floderne med udmunding i Østersøen, idet Øresund, Storebælt og Lillebælt er eneste udløb fra Østersøen. Transporten af salt til Østersøen finder primært sted ved saltvandsindbrud, dvs. hændelser hvor der gennem længere tid presses vand fra Kattegat igennem Øresund henover Drogdentærsklen.

### 10.2.2 Strømforholdene gennem Københavns Havn

Vandskiftet i Københavns Havn drives af strømningerne ind og ud af Østersøen gennem Øresund. Der er derfor en overvejende nordgående strømning i Københavns Havn, da der er et nedbørsoverskud i Østersøen og opland, der strømmer ud gennem de danske sunde og bæltet.

Vandgennemstrømning gennem havnen drives mere specifikt af vandstandsforskellen mellem det centrale Øresund og Køge Bugt. Vandgennemstrømningen er kontrolleret af stibordet og skibsslusen nord for Sjællandsbroen. Forholdene omkring stibordet er beskrevet i /81/. Det er heri nævnt, at gennemstrømningsarealet er ca. 50 m<sup>2</sup>. Strømningen gennem havnen er mindre end 100 m<sup>3</sup>/s i 90 % af tiden.

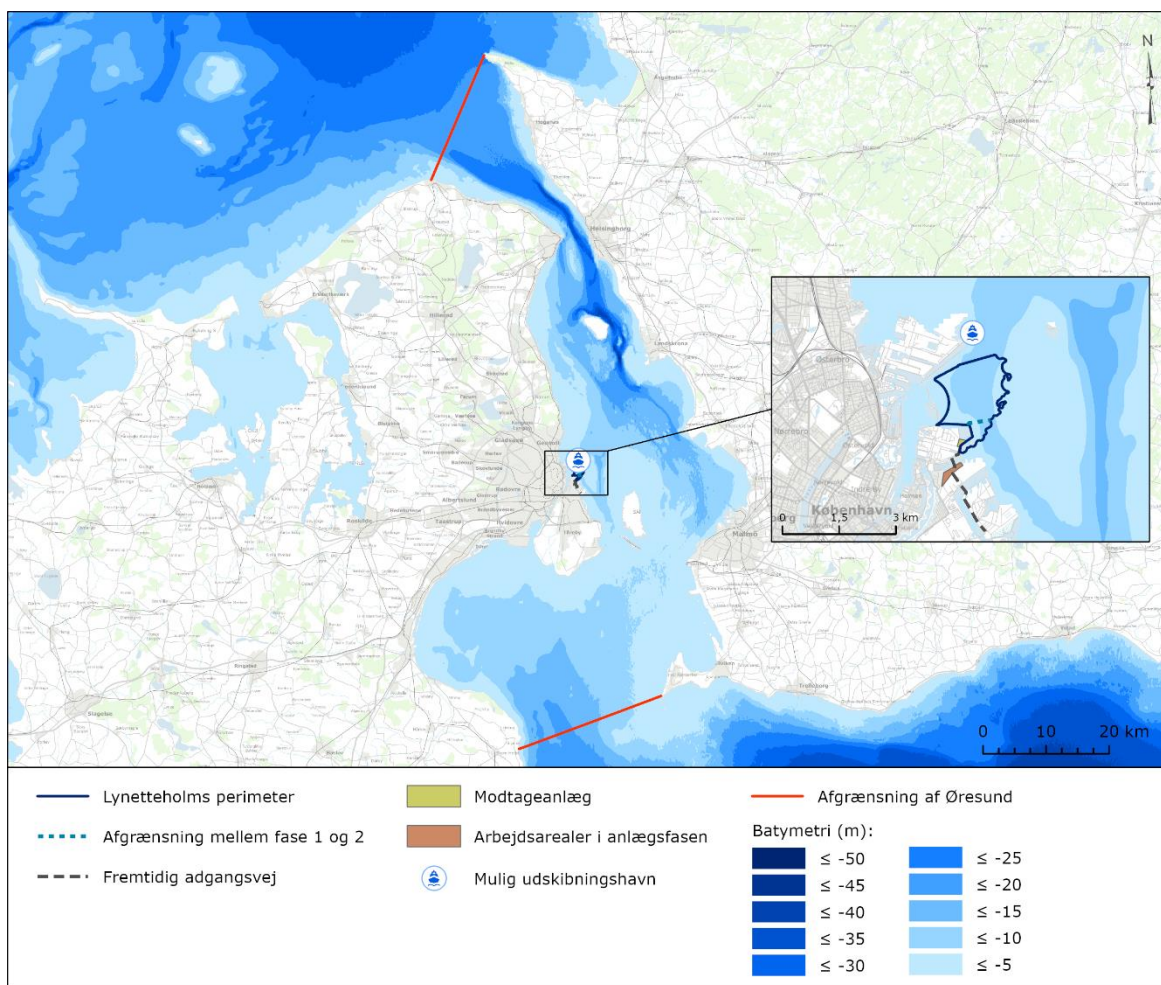
Der er også påvist at vandgennemstrømningen gennem havnen er meget følsom over for ændringer i driften af slusen og stibordene, /81/.

### 10.2.3 Salinitet

Øresund fungerer sammen med Storebælt og Lillebælt som en flaskehals mellem Østersøen og Kattegat/Nordsøen. Nedbørsoverskuddet i Østersøregionen (Østersøen og opland), der udgør et område på ca. tre gange Nordsøens areal (1,7 mio. km<sup>2</sup>), skal ud via de danske stræder (Lillebælt, Storebælt og Øresund). Det udstrømmende ferskvand vil på dets vej gennem Østersøen trække saltet bundvand med sig, og derved gradvist blive mere salt. Når det udstrømmende vand når frem til de danske stræder er saltholdigheden i overfladevandet øget til ca. 10-12 psu. Ved passagen gennem Øresund øges saltholdigheden i det udstrømmende overfladevand yderligere til en 15 psu.

Det saltvand, der går til opblandingen af ferskvandet i Østersøen, stammer oprindeligt fra Nordsøen, idet det udstrømmende vand fra Østersøen under sin færd genererer en modsatrettet strøm af saltvand ind fra Nordsøen. Da saltvand er tungere end ferskvand, vil det indstrømmende saltvand lægge sig under det udstrømmende brakvand. Vi får dermed en situation i Øresund med brakt udstrømmende overfladevand og indstrømmende saltvand langs bunden fra Nordsøen via Kattegat. Skillefladen mellem de to lag kaldes for springlaget, pga. den bratte densitetsændring, der er mellem det brakke relativt lette overfladelag og det tunge salte bundlag. Springlaget i Øresund ligger normalt i 10 til 12 m's dybde. Det særlige ved Øresund (nord for Øresundsbroen), modsat Lillebælt og Storebælt, er den nærmest permanente tilstedeværelse af intakt Nordsøvand (30-35 psu) i de dybe partier over 30 m. Dybest er Øresund syd for Ven (53 m), se Figur 10-3.





**Figur 10-3 Kort over Øresund med dybdeforhold (BALANCE 2013).**

Under rolige vestenvindforhold kan der desuden trænge overfladevand ind fra Kattegat, der pga. en mellemhøj saltholdighed på omkring 20 psu kiler sig ind mellem det brakke overfladevand og det salte bundvand i Øresund. Herved opstår et sekundært springlag mellem det udstrømmende Østersøvand og det indtrængende Kattegatvand. Disse midlertidige springlag vil typisk befinde sig omkring fem meters dybde.

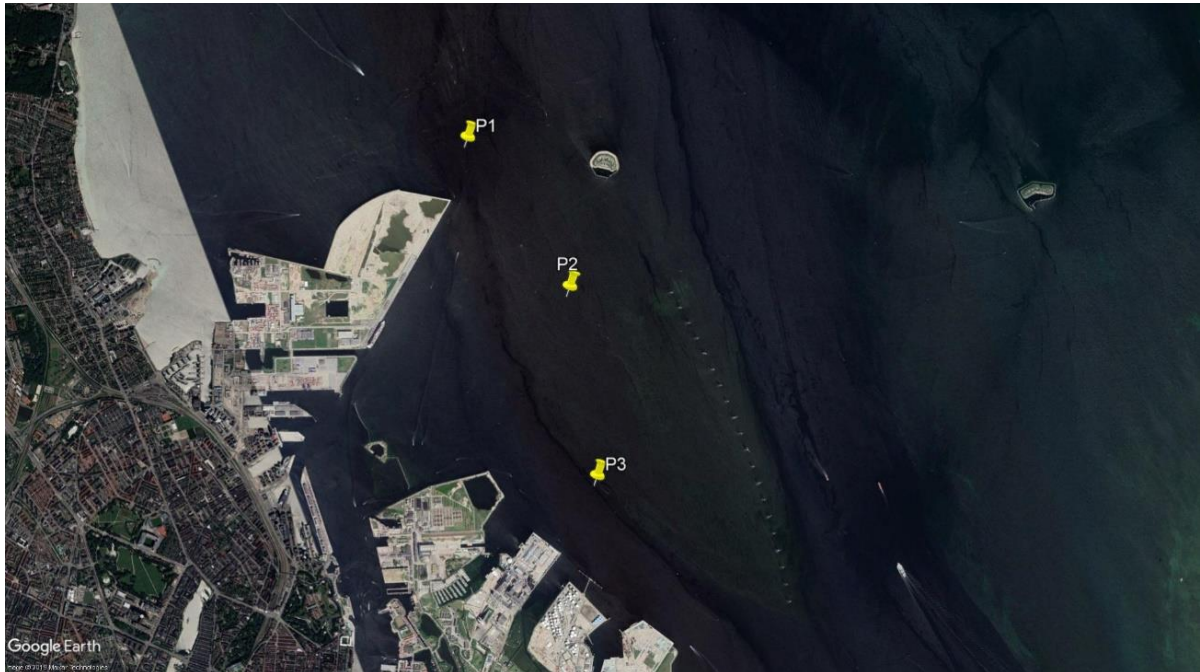
Nettoudstrømning via de danske stræder er samlet set på omkring 15.000 m<sup>3</sup>/s (ca. 450 km<sup>3</sup>/år). Som følge af den modsatrettede indstrømning af saltvand til Østersøen gennem de tre stræder er bruttoudstrømningen ca. dobbelt så stor. Sædvanligvis antages det, at Øresund bærer ca. 1/4 af vandskiftet, hvilket svarer til en samlet udstrømning af overfladevand på ca. 7.500 m<sup>3</sup>/s.

Strømmen gennem Øresund er ofte kraftig med hastigheder op til 2,5 m/s (knap 5 knob) på det sit smalleste sted mellem Helsingør og Helsingborg.

#### 10.2.4 Bølgeforhold

Bølgeforhold har betydning for en række miljøforhold som fx erosion af kyster og havbund. Basisbeskrivelsen for bølger er baseret på bølgestatistikker, der er udarbejdet på grundlag af DHI's modellering (simulering) af bølgeforholdene i Øresund og i de øvrige danske farvande for perioden 1995 - 2017. Vandstandsvariationen og strømforholdene i Øresund indgår i grundlaget for bølgemodelleringen, /79/.

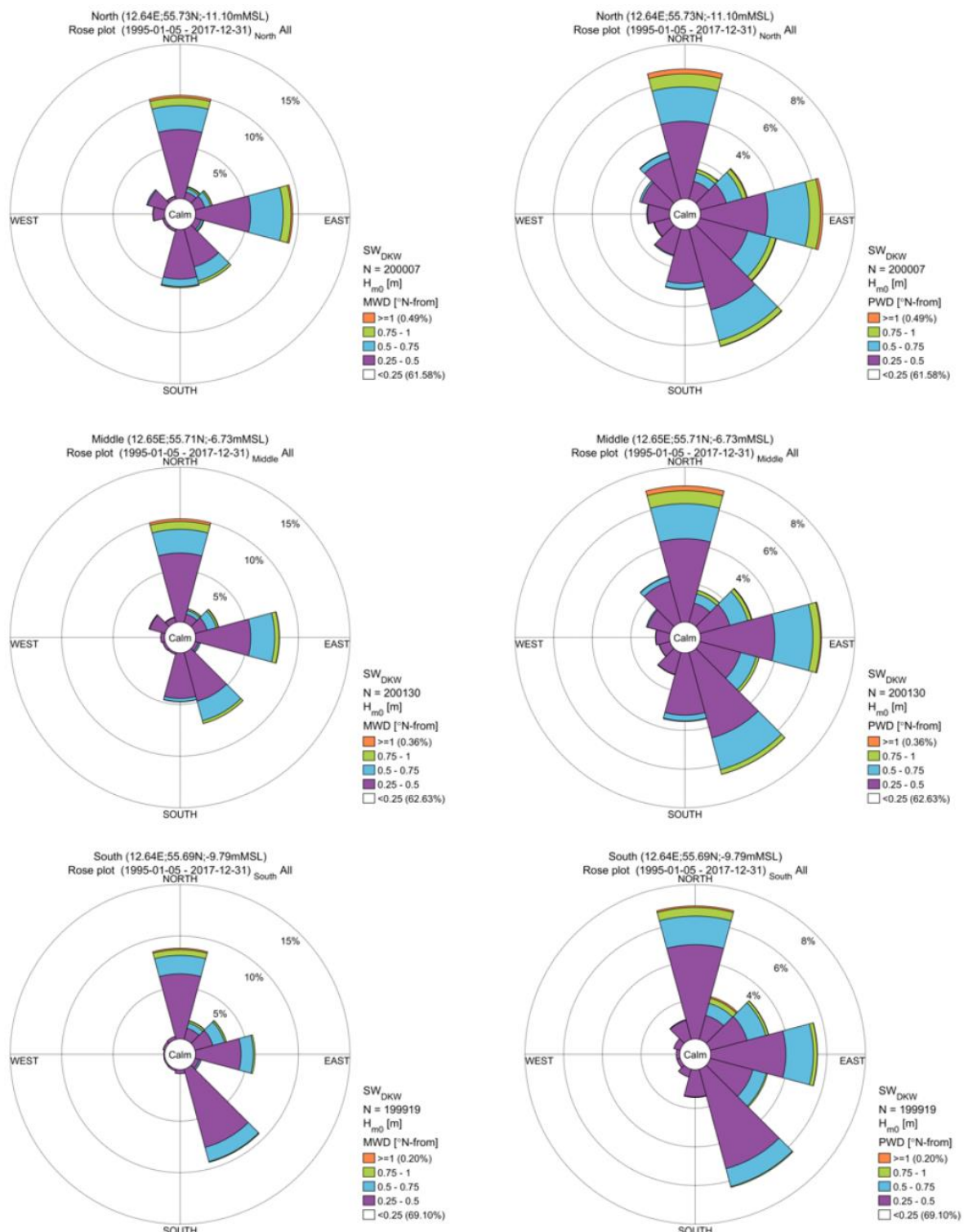
De 23 års modellerede bølgedata er analyseret i tre punkter øst for den planlagte placering af Lynetteholm som vist i Figur 10-4.



**Figur 10-4** Punkterne P1, P2 og P3, hvori bølgestatistikker er udarbejdet på grundlag af 23 års simulerede bølger /7/.

Bølgenes fordeling i de tre punkter er vist ved bølgeroser i Figur 10-5. En bølgerose angiver den retning, som bølgerne kommer fra, vist som enten middelbølgeretning eller peak bølgeretning. Størrelsen af bølgehøjden fremgår af farven i rosen, mens dens forventede procentuelle forekomst over en periode på 23 år fremgår af den radiære længde. Af bølgeroserne ses, at der er tre dominerende bølgeretninger; fra nord, fra øst og fra sydsydvest. De højeste bølger i de 23 år er fra nord og fra øst.



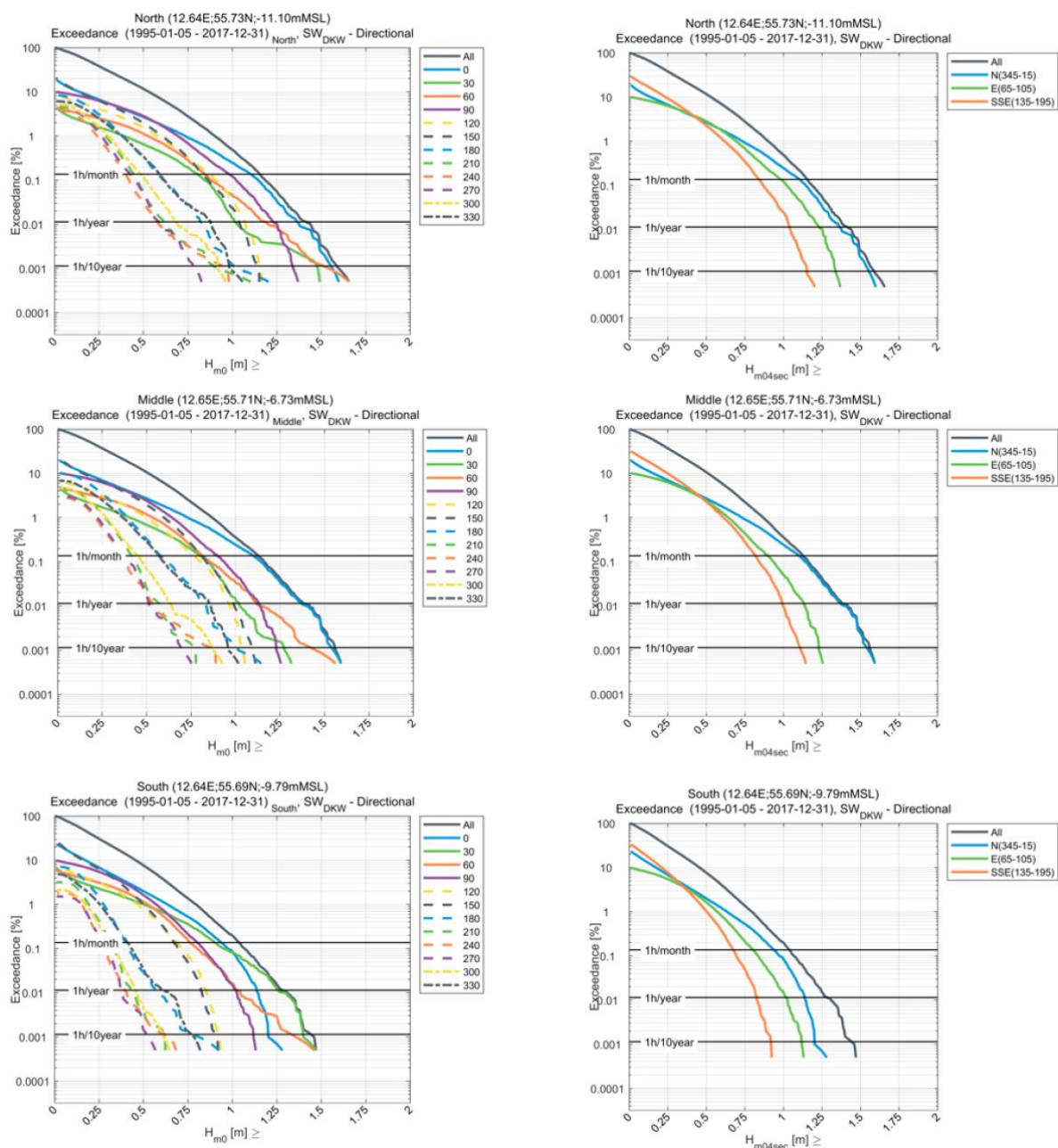


**Figur 10-5 Bølgeroser for P1 (øverst), P2 (midt) og P3 (nederst). Venstre side: Bølgehøjde og middelbølgeretning. Højre side: Signifikant bølgehøjde og peakbølgeretning.**

Bølgerne i Øresund er altovervejende genereret af de lokale vindforhold, og bidrag fra dønninger er uden praktisk betydning. Modelresultaterne viser, at middel-bølgeperioderne er mindre en 4 sekunder, hvilket er karakteristisk for vindgenererede bølger.

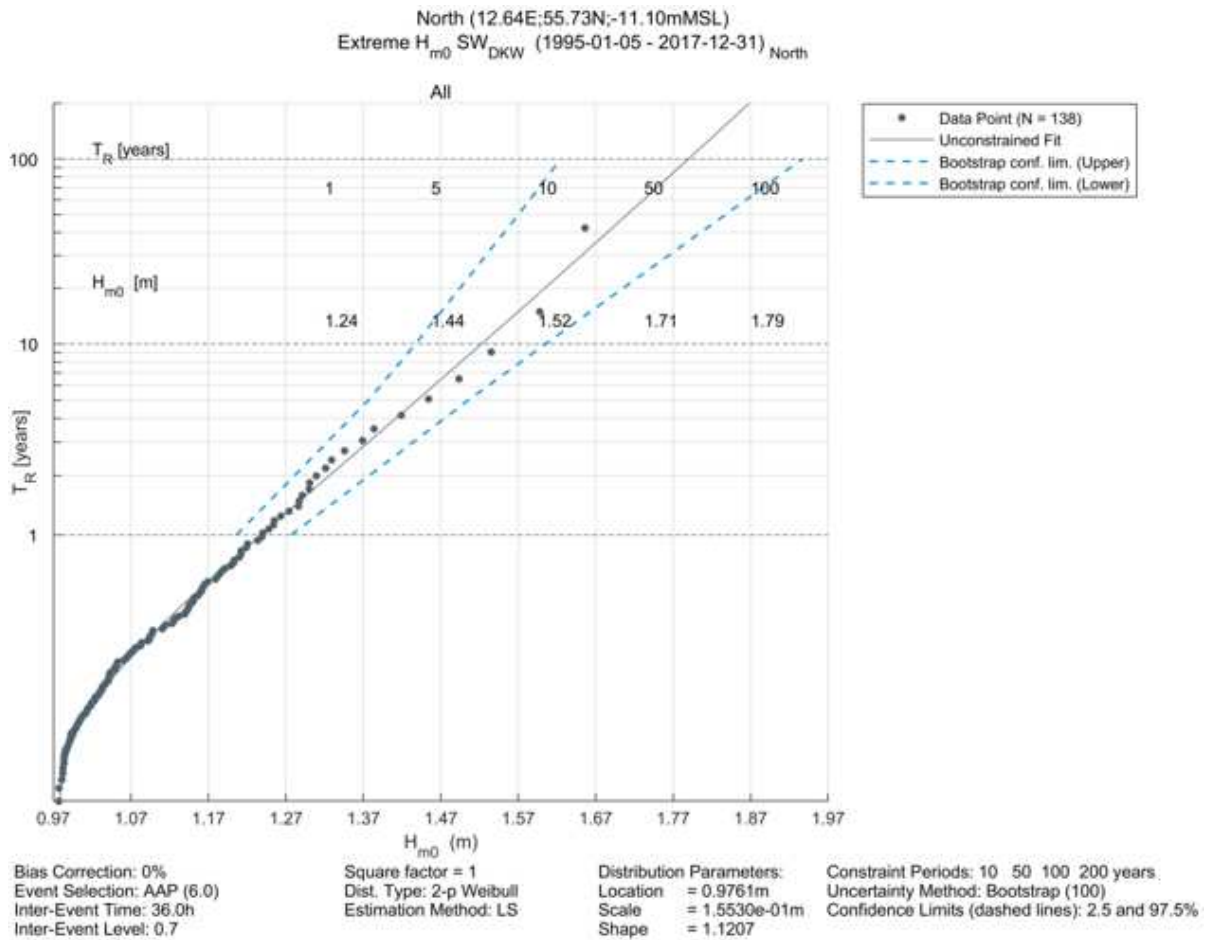
Sammenfald af høj vandstand og høje bølger kan i visse sammenhænge være kritisk. De modellerede bølgedata de tre punkter, jf. Figur 10-4, viser, at der ikke er sammenfald mellem de største bølgehøjder og de højeste vandstande.

Overskridelse af en given bølgehøjde er vist i overskridelsesdiagrammer i Figur 10-6. Diagrammerne i venstre side viser for alle retninger (sorte fuldt optrukne kurver) og for retninger indenfor en 30° vinkel. I højre side vises for alle retninger og for de tre dominerende hovedretninger (345°-15°N), (65°-105°N) og (135°-195°N). I diagrammerne er der indsat vandrette linjer som ved skæring af kurverne angiver størrelsen på bølgehøjden som overskrides i 1 time per måned, 1 time per år og 1 time per tiår. Det kan fx aflæses øverst i venstre side i Figur 10-6, at bølgehøjder på 1,25 m fra øst (90°) statistisk forekommer én gang årligt.



**Figur 10-6 Overskridelsesdiagrammer der viser, hvor ofte en given bølgehøjde overskrides. Øverst P1, i midten P2 og nederst P3. Venstre side viser alle retninger og retninger dækkende et 30° vinkelrum. Højre side viser alle retninger og vinkelrum dækkende de tre dominerende bølgeretninger.**

Der er gennemført analyse fastlæggelse af signifikante bølgehøjder med gennemsnitlige returperioder på henholdsvis 1 år, 5 år, 10 år, 50 år og 100 år; værdierne er optegnet for punkt P1 i Figur 10-7. Ekstremværdierne for de nævnte returperioder er angivet i diagrammet og 95% konfidensintervallet er indikeret med de blå stiplede linjer. Det centrale estimat for en 100 års bølgehøjde er fundet til 1,79 m.



Figur 10-7 Analyse af signifikant bølgehøjde i punkt P1.

### **10.3 Vurdering af påvirkninger i anlægsfasen**

Når der i anlægsfasen etables en perimeter omkring Lynetteholm vil området blive utilgængeligt for strømning. I løbet af anlægsfasens tre år vil arealinddragelse gradvist øges fra ikke at være der, til at hele arealet er inddraget.

Vanddybder udenfor perimeteren påvirkes ikke hverken i anlægsfasen eller den efterfølgende driftsfase og er derfor ikke beskrevet yderligere.

I modelstudierne i /82/ er der alene beskrevet det fuldt udbyggede projekt, hvilket svarer til påvirkningen i driftsfasen. Der henvises derfor til vurdering af påvirkninger i driftsfasen som er beskrevet i afsnit 10.4.

### **10.4 Vurdering af påvirkninger i driftsfasen**

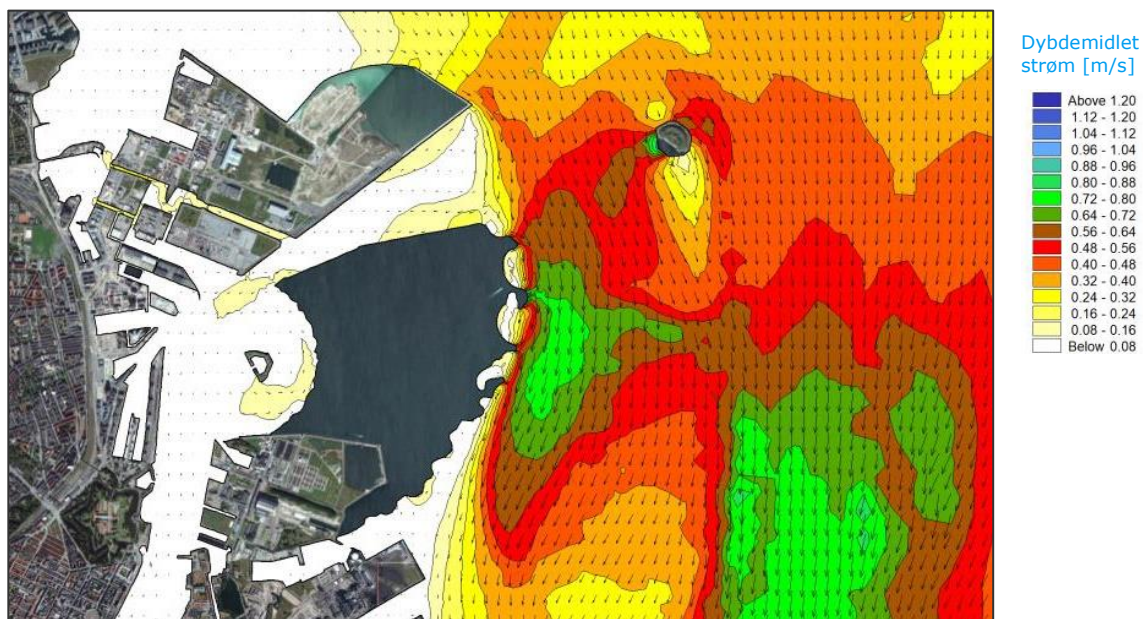
Når der i anlægsfasen etables en perimeter omkring Lynetteholm vil området blive blokeret og den lokal strømning i området omkring Lynetteholm vil blive påvirket.

#### **10.4.1 Strømforhold**

Etableringen af Lynetteholm vil lukke Kongedybet. Der vil derfor opstå påvirkning af de lokale strømningssituationer i Kongedybet og tilgrænsende farvandsområdet, herunder især Middelgrunden, Hollænderdybet og Københavns Havn.

Påvirkningen vil være størst i situationer med stærk strøm i enten nordgående eller sydgående retning, idet strømmen fra Kongedybet tvinges øst om Lynetteholm. Strømmen fra Kongedybet vil fordele sig således, at der skabes en øget strømtensitet på dele af Middelgrunden, ligesom der føres mere vand igennem Hollænderdybet øst for Middelgrunden.

Figur 10-8 viser et eksempel på en strømsituation med sydgående strøm efter etablering af Lynetteholm. Figuren viser, at der forekommer relativt lave hastigheder over Middelgrunden repræsenteret ved gule og orange farver (hastigheder  $\sim 0,2 - 0,4$  m/s). Det ses, at der forekommer relativt højere hastigheder umiddelbart uden for kystlandskabet for at kompensere for blokeringen af Kongedybet.

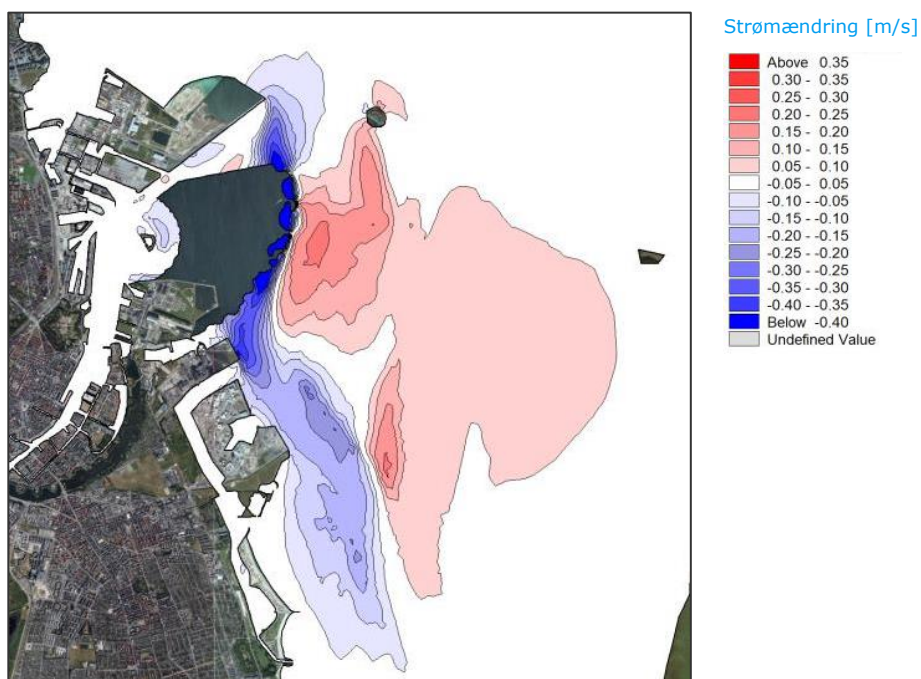


**Figur 10-8** Eksempel på strømhastighed under stærk sydgående strøm efter etablering af Lynetteholm. De viste strømme angiver hastigheder, som er midlet over vandsøjlen, 28. januar 2018

Ændring af dybdemidlet sydgående strøm ved etablering af Lynetteholm er vist på Figur 10-9. Figuren viser, at der sker en reduktion i strømhastigheden i Kongedybet (blå nuancer) på mere end 0,4 m/s, hvor Kongedybet blokeres ved den nordøstlige pynt af den fremtidige Lynetteholm. Ligeledes ses det, at der sker en forøgelse af strømhastighederne primært over Middelgrunden og i mindre grad i Hollænderdybet (røde nuancer).

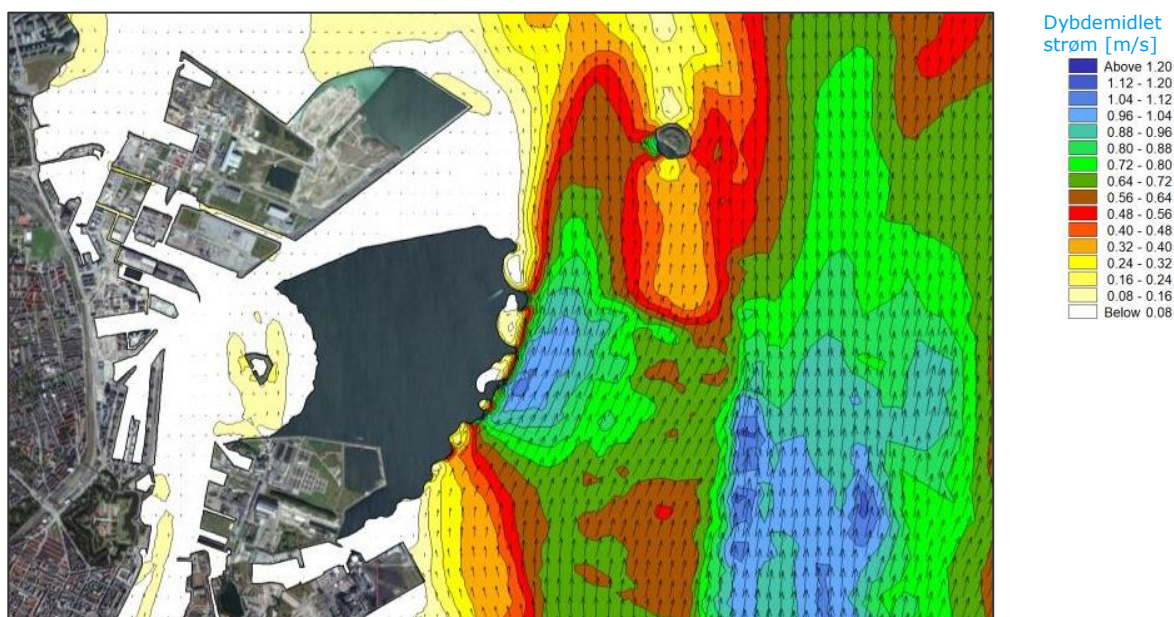
Der ses, en tydelig reduktion imellem kystfremspringene ved kystlandskab mod øst. Som følge heraf opstår der også højere strømhastigheder over Middelgrunden, Se Figur 10-2 for stedsangivelse.





**Figur 10-9 Ændring af dybdemidlet sydgående strøm ved etablering af Lynetteholm. Ændringerne er beregnet som forskellen i hastighed mellem nuværende og fremtidig situation uden hensyn til strømretning (skalær beregning).**

Figur 10-10 viser et eksempel på en strømsituation med nordgående strøm. Det ses, at der forekommer relativt lave hastigheder over Middelgrunden repræsenteret ved gule og orange nuancer (hastigheder  $\sim 0,2 - 0,4$  m/s). Det ses ligeledes, at der forekommer relativt højere hastigheder umiddelbart ud for kystlandskabet, hvilket ses som brune og grønne farver (hastigheder  $\sim 0,5 - 0,8$  m/s).



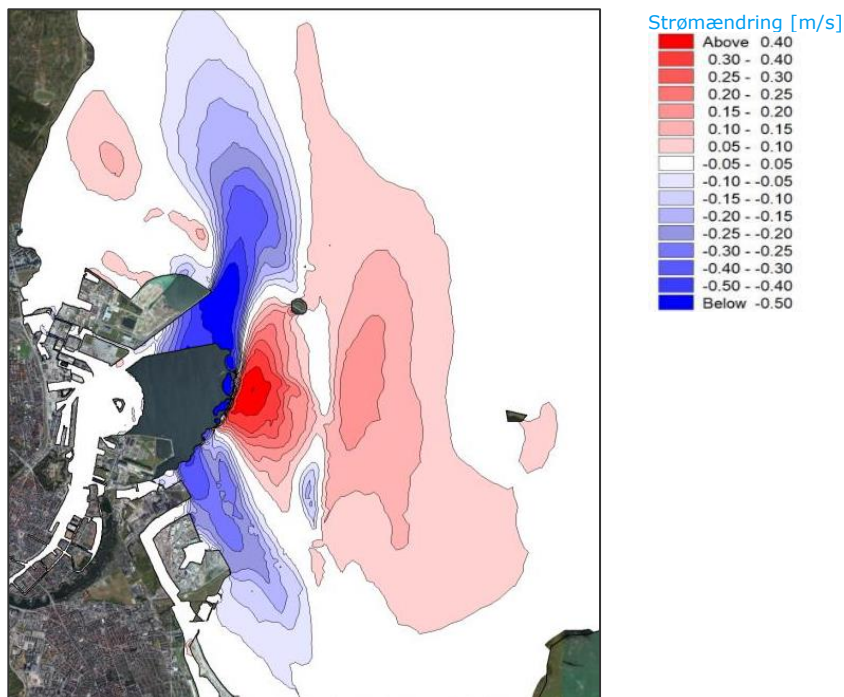
**Figur 10-10** Eksempel på strømhastighed under stærk nordgående strøm efter etablering af Lynetteholm. De viste strømme angiver hastigheder, som er midlet over vandsøjlen, 3. januar 2018

Ændring af dybdemidlet nordgående strøm ved etablering af Lynetteholm er vist på Figur 10-11. Figuren viser, at der sker en reduktion i strømhastigheden i Kongedybet (blå nuancer). Der sker således en reduktion på mere end 0,5 m/s ved den nordøstlige pynt af Nordhavn. Ligeledes viser figuren, at der sker en forøgelse af strømhastighederne primært over Middelgrunden og i mindre grad i Hollænderdybet.

Ligesom ved sydgående strøm, ses der en tydelig reduktion af strømhastigheden imellem de kystfrespring, der indgår kystlandskab mod øst. Der forekommer ved nordgående strøm en forøgelse på op 0,4 m/s over Middelgrunden, hvilket er noget højere end ved sydgående strøm.

Ved sammenligning mellem Figur 10-9 (sydgående strøm) og Figur 10-11 (nordgående strøm), ses en kraftigere påvirkning ved nordgående strømretninger end ved sydgående strømretninger. (Kraftigere nuancer af hhv. blå og rødt).

I læområdet nord for Nordhavn, dannes ved nordgående strøm en strømhvirvel, der driver en kystnær sydgående strøm i området op mod Skovshoved. (Et såkaldt idvand). Ved etableringen af Lynetteholm forstærkes denne hvirvel. Det kan have en positiv effekt på vandskiftet i området. De modellerede ændringer ved kysten dog er mindre end 0,05 m/s i forbindelse med en kraftig nordgående strøm.

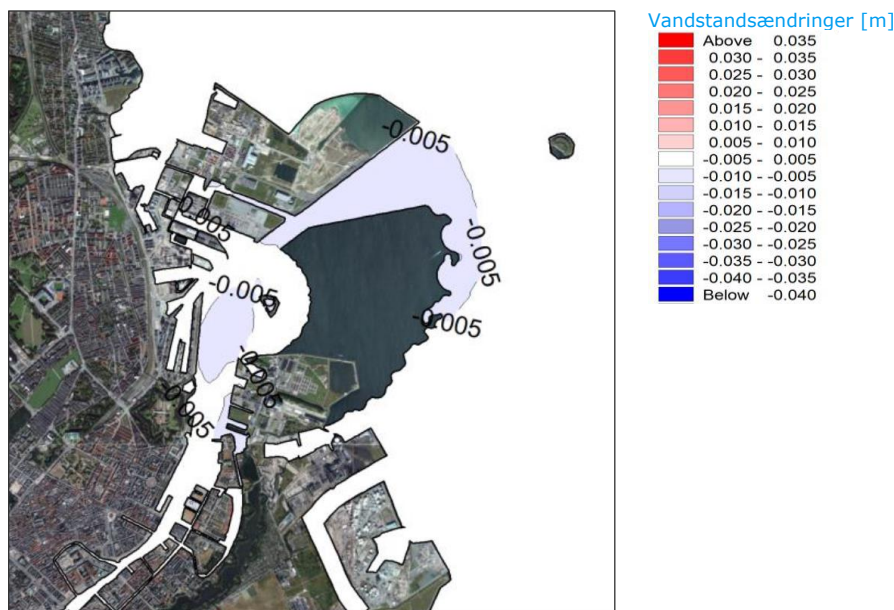


Figur 10-11 Ændring af dybdemidlet nordgående strøm ved etablering af Lynetteholm. Ændringerne er beregnet som forskellen i hastighed mellem nuværende og fremtidig situation uden hensyn til strømrretning (skalær beregning).

#### 10.4.2 Vandstandsforhold

Middelvandstanden påvirkes således, at den reduceres med op til 10 mm i den nordlige del af Københavns Havn og i indsejlingen mellem Nordhavn og Lynetteholm. Ændring af nutidig middelvandstand som følge af Lynetteholm ses på Figur 10-12.

Modelresultaterne viser, at ekstremer som maksimale vandstande og minimale vandstande vil blive forøget marginalt inde i Københavns Havn.



Figur 10-12 Ændring af den nutidige middelvandstand som følge af Lynetteholmsudbygning.

Den gennemførte modellering omfatter ikke egentlige stormflodshændelser. Området i den nordlige del af Københavns Havn er eksponeret for højvandshændelser, der kommer fra nord i Øresund. Det er dog ikke muligt på baggrund af de gennemførte modelleringer at konkludere hvorledes forholdene under en stormflod vil påvirkes.

Københavns Havn skal ifølge Københavns Kommunes Stormflodsplan, /84/, sikres med en ydre højvandsbarriere mellem Nordhavnen og Refshaleøen. Denne ydre højvandsbarriere udgøres delvis af Lynetteholm. En effektiv sikring kræver dog, at det er muligt at spærre Kornløbet i forbindelse med højvande i Øresund. Københavns Kommune har derfor undersøgt mulighederne for etablering af en port mellem Nordhavn og Lynetteholm med det formål at sikre Københavns Havn mod stormflod, /83/. Som sådan udgør Lynetteholm element, der bidrager til at reducere risikoen for stormflod i Københavns Havn.

### 10.4.3 Saltholdighed

Saltholdigheden i havet ud for Lynetteholm kan variere særdeles meget, både i tid og over dybden. I perioder med rolige strømforhold vil der typisk være en stor variation over dybden (9 - 23 psu). I perioder med kraftig sydgående strøm vil saltholdigheden være høj med en mindre variation over vanddybden, lavest ved overfladen og højest ved bunden (19 - 24 psu). I perioder med kraftig nordgående strøm vil saltholdigheden være lav og stort set fuldt opblandet (9 - 10 psu) i vandsøjlen.

Da Lynetteholm påvirker de lokale strømningsforhold, vil der også være en lokal påvirkning af saltholdigheden. De her angivne effekter er baseret på ændringer i dybdemidlet værdier. Variationer i saltholdighed er ikke sæsonvarierende, så effekterne vil være af samme størrelsesorden over hele året. Modelberegningerne viser, at årsmidlet saltholdighed vil forøges med cirka 1 ‰ i Havneløbet den nordlige indsejling, som følge af projektet. Ydermere er der en mindre stigning i en fane fra indsejlingen mellem Nordhavn og Lynetteholm nord om Middelgrunden. I Kongedybet vil der være et mindre fald på 0,5 ‰ nærmest opfyldningen, som gradvist aftager til nul på strækningen forbi Prøvestenen og ned til Amager Strandpark.

Når der ses på den maksimale saltholdighed, er påvirkningen anderledes. De maksimale forekommende saltholdigheder i havneløbet vil reduceres med 0,2 - 0,5 psu i forhold til den eksisterende situation. Området øst for Trekroner er uden for de eksisterende dækværker. Effekten er derfor i dette område kraftigere, cirka 1 ‰, idet dette område i fremtiden vil være afskærmet fra direkte interaktion med vandet i Øresund. I tragten mellem Nordhavn og Lynetteholm og langs den østlige perimeter er der en mindre stigning i saltholdigheden på 0,2 - 0,4 psu. På Middelgrunden opleves ligeledes en mindre stigning muligvis fordi vand der tidligere strømmede i de dybe dele af Kongedybet i fremtiden presses ind over det mere lavvandede område. Effekterne er relativt små.

#### 10.4.4 Temperaturforhold

Opfyldningen ændrer de lokale strømningsforhold. Disse ændringer indebærer, at vandets opholdstid stiger i Kongedybet, i dele af tragten mellem Lynetteholm og Nordhavn, i området øst for Trekroner og i idvandszonen (Svanemøllebugten) nord og vest for Nordhavn. Omvendt falder vandets opholdstid den henover Middelgrunden øst for opfyldningen, som følge af en strømforstærkning.

I områder med forøget opholdstid bliver vandet mere påvirket af solens opvarmning end i dag. De maksimale vandtemperaturer vil blive stedvis forøget med op mod 1 °C. De maksimale vandtemperaturer i området ved den nordligst strand bliver således forøget. I området øst for Lynetteholm er der en tendens til at de maksimale vandtemperaturer kan blive ca. 1 °C køligere og den maksimale vandtemperatur bliver lidt lavere ved de sydligere strande på Lynetteholms østlige perimeter.

I vinterhalvåret medfører den forøgede opholdstid vandet nogle områder vil blive lidt koldere end i dag. I tragten mellem Nordhavn og Lynettehavn, samt på strækningen af havneløbet ned til området ved Operaen og Kvæsthusbroen kan minimumtemperaturerne reduceres op til 1 °C i forhold til den nuværende situation. Der er derfor en forøget risiko for isdannelse i dette område. Der ses også et mindre temperaturfald i Svanemøllebugten vest og nord for Nordhavn. Ligeledes er der et mindre temperaturfald øst for opfyldningen.

I området helt tæt på Nordhavnsopfyldningen (nord og vest herfor) forøges minimumtemperaturen med op mod 1 °C. Risikoen for lokal isdannelse ved den kommende containerterminal vil derfor blive formindsket.

Påvirkningen af årsmidlet vandtemperatur er meget svag (< 0,1 °C), idet de to modsatrettede effekter i vinter og sommerhalvåret udjævner hinanden.

#### 10.4.5 Bølgeforhold

Lynetteholm påvirker bølgeklimaet lokalt i området. Der forekommer en skyggeeffekt langs med perimeteren. Middelbølgeretningen drejes derfor få grader i retning mod uret ved nordsiden af opfyldningen og få grader i retning med uret langs den sydlige del. I kystområderne ved Charlottenlund, Hellerup, Svanemøllen og Amager Strand kan der ikke identificeres signifikante ændringer i bølgeklimaet.

Den fremtidige indsejling til Københavns havn vil være beliggende mellem Nordhavn og Lynetteholm og danne en "Tragt", der er bred mod nordøst og gradvist bliver smallere mod sydvest. I den fremtidige indsejling vil der forekomme markante skyggeeffekter i forhold til den nuværende situation. Derudover vil bølgerne fra visse retninger blive intensiveret af de reflekterende moler langs Ocean kajen på Nordhavn og langs nordsiden af Lynetteholm. Den størst ændring med ca. 30 % højere maksimalbølgehøjde vil forekomme inderst i indsejlingen.



Bølgehøjdeændringen nordligst i indsejlingen forbliver den samme, hvorimod drejningen af middelbølgeretningen stort set forsvinder.

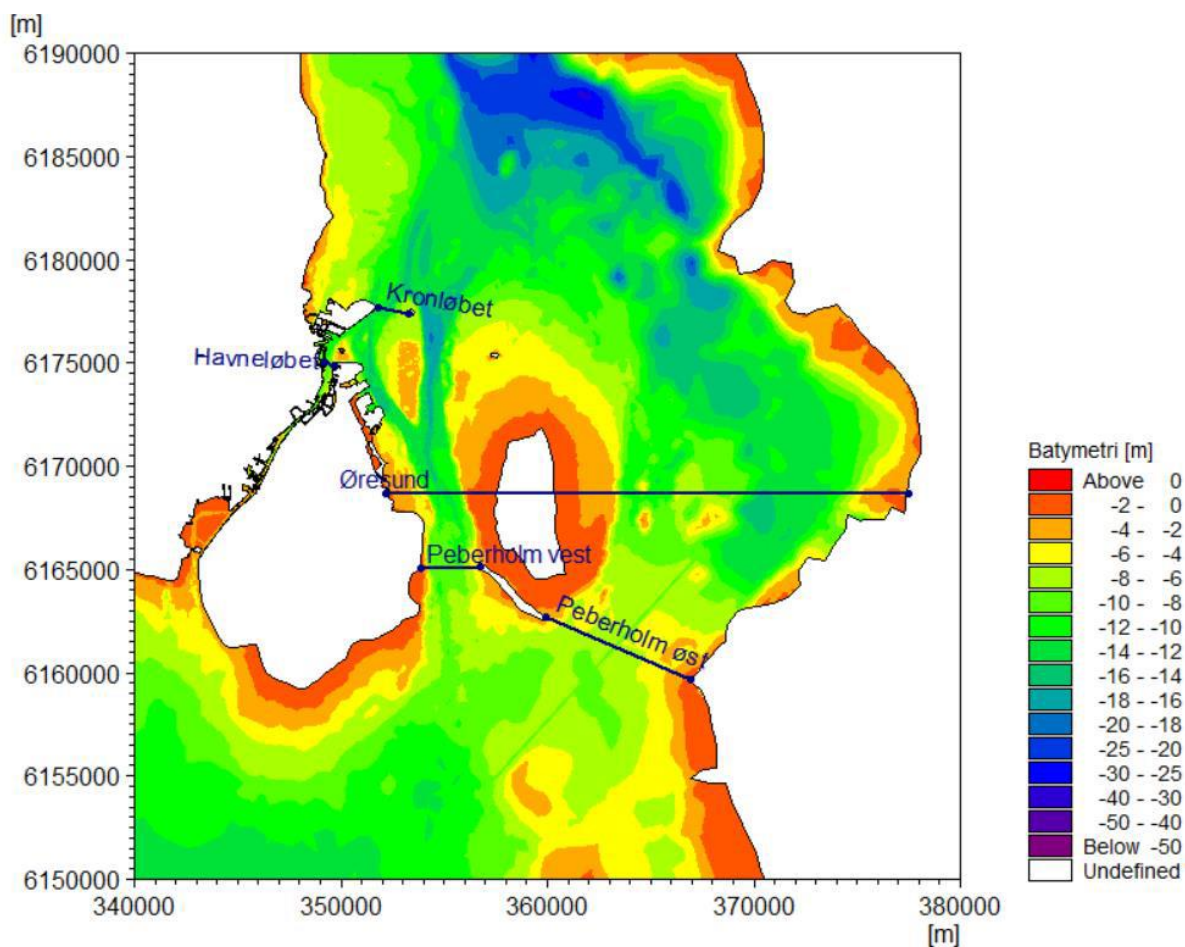
#### **10.4.6 Påvirkning af gennemstrømning**

Lynetteholms påvirkning af vandstrømningen kan have indflydelse på vandskifte og salttransport ind og ud af Østersøen.

Nettoudstrømningen ud af Østersøen er bestemt af ferskvandsoverskuddet i Østersøregionen. Ferskvandsoverskuddet er en massebalance, der hovedsageligt er bestemt af nedbør og fordampning over Østersøregionens afstrømningsområde, og er dermed ikke påvirket af Lynetteholm.

Gennemstrømningen vil dog hele tiden variere ligesom den også kan skifte retning afhængig af bl.a. vind, lufttryk og vandstandsforhold mellem Østersøen og Kattegat. Denne variation sender i perioder med sydgående strøm vand fra Kattegat til Østersøen og visa versa i perioder med nordgående strøm. Denne mekanisme bidrager til vandskiftet ind og ud af Østersøen og er i den sidste ende bestemmende for saltholdigheden i Østersøen ligesom den bidrager til iltningen af de dybde centrale dele af Østersøen. Styrken af disse variationer kan potentielt påvirkes, hvis Lynetteholm udgør en væsentlig blokering for vandgennemstrømningen gennem Øresund.

For at kunne bestemme påvirkningen på gennemstrømningen er der på baggrund af modelleringsresultater beregnet vandføringer i en række tværsnit som vist på Figur 10-13. Ved at sammenligne vandføringer hhv. med og uden varianter at Lynetteholm kan påvirkningen bestemmes.



Figur 10-13 Tværsnit hvor igennem vandføringen og salttransporten er beregnet for nuværende og fremtidige forhold.

I Tabel 10-2 ses de nummererede vandføringerne under eksisterende forhold (dvs. vandføringer uden fortegn) og procentuelle ændringer i forhold til eksisterende forhold.

Tabel 10-2 Årsmidlet bruttovandføring og påvirkning heraf for eksisterende forhold og efter udbygning af Lynetteholm.

| Tværsnit           | Eksisterende forhold [m <sup>3</sup> /s] | Ændring [%] |
|--------------------|--|-------------|
| Havneløbet         | 44,1                                     | 2,37        |
| Kronløbet          | 2.774                                    | -38,2       |
| Vest for Peberholm | 10.898                                   | -1,19       |
| Øst for Peberholm  | 18.789                                   | 0,294       |
| Øresund            | 29.568                                   | -0,244      |

Tabel 10-2 viser, at der sker en væsentlig reduktion i vandføringen i Kronløbet. Denne reduktion medfører en omfordeling af vandføringen, så der strømmer mere vand gennem Drogden renden øst for Peberholm/Saltholm. Tilsvarende strømmer der mere vand gennem Havneløbet, der dog repræsenterer en meget lille andel af den samlede gennemstrømning gennem Øresund. Det skal påpeges, at gennemstrømning i havneløbet er styret af slusedriften ved stigbordene i Sydhavnen, /81/. Det vil derfor være muligt af afhjælpe effekten ved en ændret slusepraksis.

Samlet set er den dynamiske gennemstrømning gennem Øresund reduceret svarende til en blokeringsfaktor på op til 0,25%.

Som følge af klimaforandringer stiger havspejlet, hvorved vanddybden bliver tilsvarende større, hvilket igen bidrager til en større vandudveksling ind og ud af Østersøen. Det er i /82/ angivet at denne havspejlsstigning er 1,55 mm/år. Det er i /82/ beregnet, at den blokerende effekt af Lynetteholm vil være udlignet ved 2 cm havspejlsstigning, hvilket svarer til 13 års udvikling i havspejlet. Det betyder, at vandskiftet ved fuld udbygget perimeter i 2024 svarer til den uforstyrrede gennemstrømning som den var i 2011.

Der er gennemføre tilsvarende beregninger for ændringen af salttransporten ind og ud af Øresund i /82/. Disse beregninger viser at salttransporten reduceres med op til 0,23%. Saltfluxen reduceres altså marginalt mindre end vandgennemstrømningen.

I forbindelse med Øresundsforbindelsen blev der stillet krav om en nulløsning, hvor kompensationsafgravning neutraliserede blokeringen forårsaget af anlægget. Der blev stillet krav til de bagvedliggende beregninger, at nulløsningen vandvandskifte og saltflux skulle bestemmes indenfor et usikkerhedsspænd +/-0,25 %, /82/. Blokeringen forårsaget af Lynetteholm er dermed for både salt og vand marginalt mindre end det accepterede usikkerhedsspænd forbindelse nulløsningsbestemmelsen for Øresundsforbindelsen.

### 10.5 Kumulative påvirkninger

Der er ikke kendskab til projekter, som kan bidrage til kumulative effekter sammen med Lynetteholm.

### 10.6 Afværgeforanstaltninger

Afværgeforanstaltninger er ikke mulige indenfor projektets rammer. De mest betydende miljøpåvirkninger er knyttet til anlæggets udstrækning. (Areal udstrækning og lokal påvirkning af strøm). Afværgeforanstaltninger vil derfor kræve en ændring af anlæggets overordnede udformning og udstrækning. Dette skal ses i forhold til at de mest betydende miljøpåvirkninger i relation til hydrografi er karakteriseret som moderate.

### 10.7 Overvågning

Overvågning er ikke nødvendig.

### 10.8 Sammenfattende vurdering

En opsummering af påvirkningerne og deres betydning ses i Tabel 10-3.

Tabel 10-3 Sammenfattende vurdering af påvirkningen af hydrografi.

| Miljøpåvirkning    | Sårbarhed | Påvirkningens størrelse |                       |            | Betydning          |
|--------------------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------|--------------------|
|                    |           | Intensitet              | Geografisk udbredelse | Varighed   |                    |
| <b>Anlægsfasen</b> |           |                         |                       |            |                    |
| Strøm              | Lav       | Mellem                  | Lokal                 | Vedvarende | Moderat            |
| Vandstand          | Lav       | Ingen / ubetydelig      | Lokal                 | Vedvarende | Ingen / ubetydelig |
| Saltholdighed      | Lav       | Ingen / ubetydelig      | Lokal                 | Vedvarende | Ingen / ubetydelig |
| Temperaturforhold  | Lav       | Lille                   | Lokal                 | Vedvarende | Lille              |
| Bølgeforhold       | Lav       | Lille                   | Lokal                 | Vedvarende | Lille              |

|                              |     |                       |                          |            |                       |
|------------------------------|-----|-----------------------|--------------------------|------------|-----------------------|
| Gennemstrømning              | Lav | Ingen/ubetydelig      | Grænseover-<br>skridende | Vedvarende | Ingen /<br>ubetydelig |
| <b>Driftsfasen</b>           |     |                       |                          |            |                       |
| Arealinddragelse til<br>havs | Lav | Mellem                | Lokal                    | Vedvarende | Moderat               |
| Strøm                        | Lav | Mellem                | Lokal                    | Vedvarende | Moderat               |
| Vandstand                    | Lav | Ingen /<br>ubetydelig | Lokal                    | Vedvarende | Ingen /<br>ubetydelig |
| Saltholdighed                | Lav | Ingen /<br>ubetydelig | Lokal                    | Vedvarende | Ingen /<br>ubetydelig |
| Temperaturforhold            | Lav | Lille                 | Lokal                    | Vedvarende | Lille                 |
| Bølgeforhold                 | Lav | Lille                 | Lokal                    | Vedvarende | Lille                 |
| Gennemstrømning              | Lav | Ingen/ubetydelig      | Grænseover-<br>skridende | Vedvarende | Ingen /<br>ubetydelig |