HVIDOVRE KOMMUNE

AVEDØRE HOLME INDFATNINGSMULIGHEDER

TEKNISK NOTAT

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A082201	TN001

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
1.0	03.05.2018		OJJ/ABI	AOEL	AOEL

INDHOLD

1	Baggrund	2
2	Konklusion og anbefaling	2
3	Designforhold og data	3
3.1	Hydrauliske forhold	3
3.2	Geotekniske betingelser	4
4	Indfatningskonstruktioner	4
4.1	Spunsvæg	5
4.2	Ralstrand	6
4.3	Dige	9
4.4	Stenkastninger	11
4.5	Blokmur	11
4.6	Indfatninger langs "kanaler" og beskyttede vandområder inde i landopfyldningen	12
4.7	Andet	13

1 Baggrund

COWI er af Hvidovre Kommune blevet engageret til at foretage vurderinger af indfatningsmuligheder af et landvindingsprojekt foran Avedøre Holme i Hvidovre Kommune. Projektet omfatter landvinding ud i Køge Bugt med det formål at skabe nyt land til erhvervsbyggeri.
COWIs opgave omfatter en kort redegørelse for dimensionsgivende designforhold for området, primært med hensyn til vandstand og bølgeforhold, som bør tages i regning ved planlægningen af landvindsprojektet. Herefter præsenteres forskellige skitseforslag til indfatninger og skråningsbeskyttelse af området, så det vil være sikret mod oversvømmelse fra havet.

2 Konklusion og anbefaling

I nærværende notat er der overslagsmæssigt redegjort for design/dimensionsgivende vandstands og bølgeforhold. Det fremgår, at lokaliteten i Køge bugt med sin beliggenhed bag Amager er relativt beskyttet mod bølgepåvirkning på nær fra syd. Men under kraftige storme fra øst kan der opstå endog meget højt højvande, som der skal dimensioneres for.

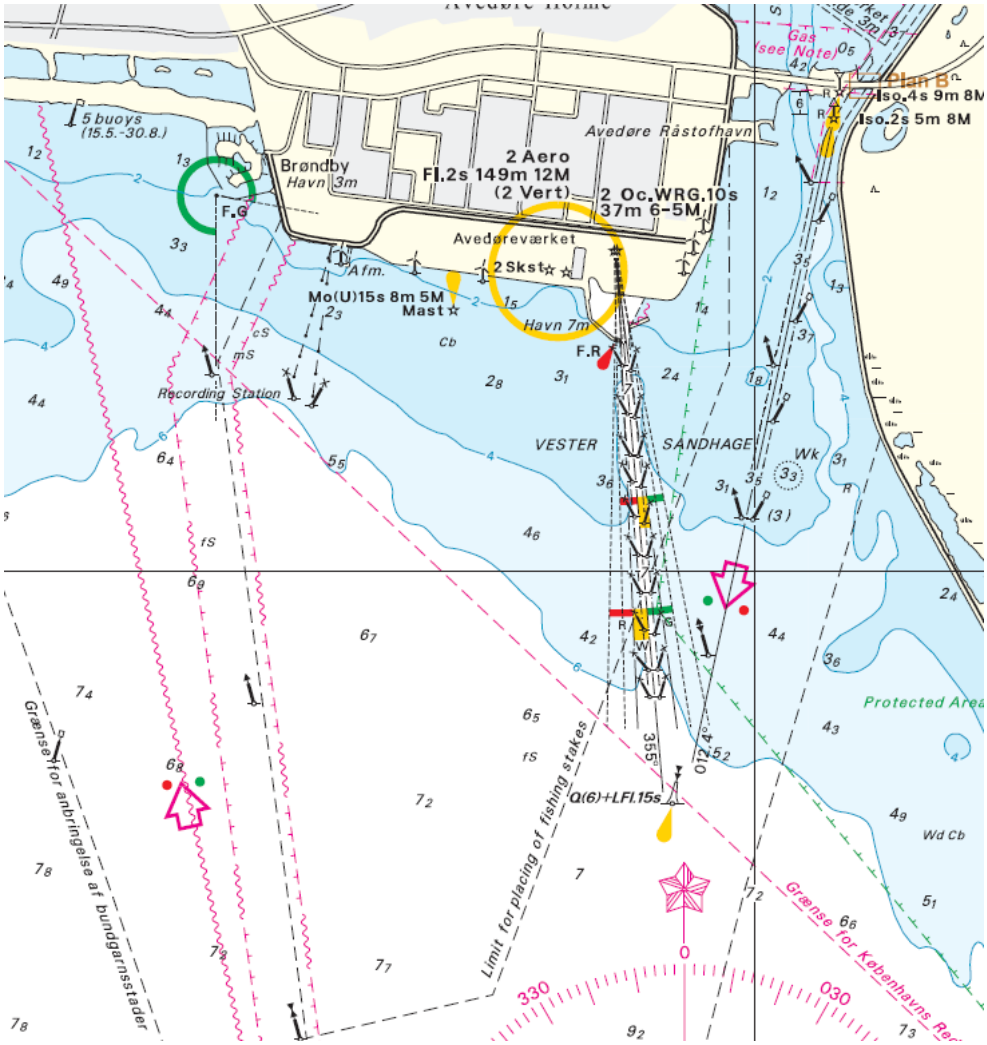
Kommunen har i sin klimaplan valgt en kote på +5,2 m som sikringskote på konstruktioner mod havet. Den foretagne overslagsmæssige vurdering viser, at dette niveau giver en stor sikkerhed mod oversvømmelse fra kombinationen af vandstand, stigningen af vandstanden i havet på grund af klimaændringerne de kommende ca. 100 år, samt bølgeoverskyl.

Der er, som vist i tekst og figurer udarbejdet en række forskellige typer perimeterkonstruktioner mod havet for landvindingen. Alle disse er mulige, men de varierer meget i pladskrav og i pris. Det foreslås, at man i samspil med en eller flere planer for projektets udformning i planen vurderer hvilke konstruktioner, der vil være mest hensigtsmæssige for projektet, og at der derefter udarbejdes profiler, så forholdene rundt langs projektets rande på forskellige vanddybder og forskellige grader af bølgepåvirkning inkluderes.

3 Designforhold og data

3.1 Hydrauliske forhold

Området er beliggende i den nordlige ende af Køge Bugt bag Amager. Perimeterkonstruktionen/kystbeskyttelsen rundt langs den nye opfyldning vil blive udsat for bølgepåvirkning fra forskellige vindretninger. Der er relativt lavvandet i området, og vandstanden er kraftigt påvirket af vind-og lufttryksforhold under storm. En detaljeret gennemgang af de overslagsmæssigt hydrauliske designforhold for området er vedlagt som Bilag A.

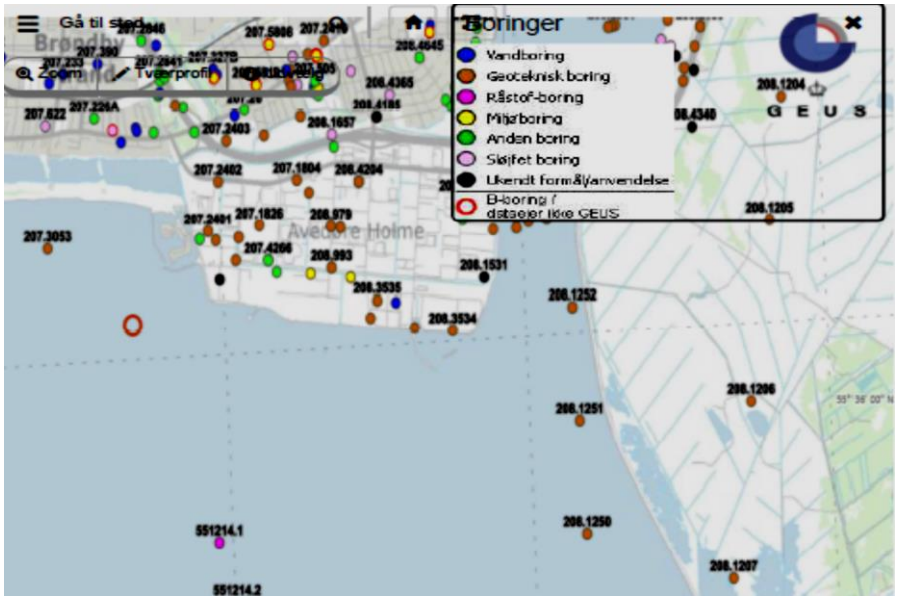


Figur 3-1 Søkort over området

3.2 Geotekniske betingelser

Havbunden i området består overvejende af marine aflejringer af sand med skaller. Under de marine aflejringer findes kvartære aflejringer af moræneler, eventuelt med indlejrede lag af smeltevandssand og –grus. Undersiden af de kvartære lag findes kote ca. -7 m. Under denne kote findes (bryozo)kalk fra Danien.

Beliggenheden af de i området udførte boringer fremgår af Figur 3-2, der er hentet fra GEUS' database 'Jupiter'. Boredata herfra er offentligt tilgængelige.



Figur 3-2 Eksisterende boredata

På grundlag af ovennævnte (meget begrænsede) oplysninger vurderes det, at de funderingsmæssige forhold for de påtænkte indfatninger er relativt gode. Det bemærkes dog, at COWI ikke har udført en systematisk gennemgang af boreprofilerne fra disse boringer.

4 Indfatningskonstruktioner

Der findes forskellige tekniske løsninger for at opnå et holmelandskab i projektområdet. Efterfølgende bliver forskellige indfatningskonstruktionstyper kort beskrevet og fordele og ulemper belyst. Der fokuseres her primært på konstruktionerne ud mod havet, hvor de er direkte udsat for bølger. Med et holmelandskab vil der endvidere være "kanaler" mellem holmene/øerne hvor vandstanden selvfølgelig vil være den samme som i det omliggende hav, men bølgerne vil være begrænsede ved deres forplantning ind i "kanalerne", og konstruktioner kan dermed udføres mere simpelt og med en anden æstetisk udtryk end de hårde modstandsdygtige konstruktioner mod havet. Det er også en mulighed at dybden i "kanalerne" begrænses hvilket medfører, at konstruktionerne kan funderes i et højere niveau.

Hvidovre Kommune har i forbindelse med deres klimasikringsplan fastlagt et sikringsniveau på + 5,2 m for ydre perimeterkonstruktioner i kommunen. Dette niveau skal således tage hensyn til både ekstreme designvandstande og samtidig

bølgepåvirkning og det heraf forårsagede bølgeoverskyl. Man vil normalt for kystbeskyttelseskonstruktioner fastlægge et kriterium for acceptabelt bølgeoverskyl afhængig af typen af konstruktioner og bygninger etc. lige bag ved konstruktionen. For en normal skråningsbeskyttelse med en stensætning og med anlæg 1:2 og hvis man antager et overskyls-kriterium på ca. 5 l/m/s som acceptabelt, en vandstand (VS), en bølgehøjde (Hs) vil det kræve en kronekote (KK) på ca. KK~VS+1,35Hs. Overslagsmæssige beregninger er vist i Tabel 4-1. Det ses, at med denne type udregning findes en kote på +5,0 m. Dvs. at en topkote på +5,2 m som inkluderet i kommunens klimaplanfor perimeterkonstruktioner vil give en høj grad af sikkerhed mod uacceptabel oversvømmelse fra højvande og samtidigt bølgeoverskyl.

Tabel 4-1 Design/dimensionsgivende vandstand, bølger og kronekote

Design/Dimensionsgivende forhold for vandstand og bølger og kronekote			
Vind/Bølge Retning	Vandstand (VS)	Bøl-ger (Hs)	Kronekote* (KK)
	(m)	(m)	(m)
V	1,5	1,7	4,5
SV	1,6	2,2	5,0
S	1,8	2,5	4,0
SØ	2,8	1,6	4,7
Ø	3,0	1,4	4,9

En ting er topkoten for perimeterkonstruktioner, en anden er valg af minimums kote til landopfyldningen. Under forudsætning, at perimeteren ikke er vandtæt, vil det kræve, at koten på landopfyldningen bag perimeteren vælges højere end vandstanden. Med en perimeterkonstruktion på +5,2 m, og hvis man skal kunne se udover konstruktionen er et minimumsniveau på +4,0 m acceptabelt. Det kan også f. eks. af arkitektoniske årsager vælges væsentligt højere. Et højere niveau giver også plads til mere jordfyld.

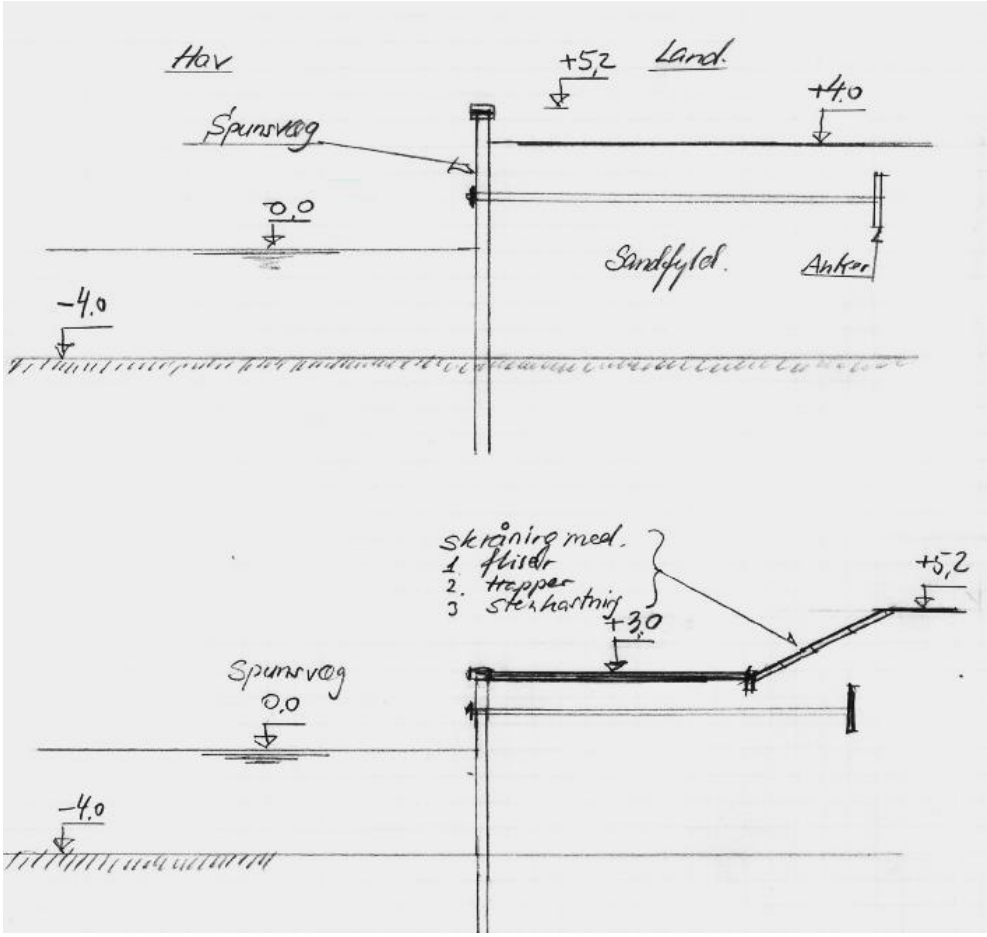
4.1 Spunsvæg

Spunsvægge udføres normalt i stål. Hvor spunsvæggen rager mere end 3 – 5 m over havbund vil det normalt være nødvendigt at forankre spunsvæggen. Sådanne ankre etableres normalt lige over vandspejlet, og forbindes til ankerplader af armeret beton eller til pælebukke bag spunsvæggen.

Fordelene ved en spunsvæg er dels, at den er mindre pladskrævende end indfatninger med skråninger, dels at det er muligt at komme tæt på vandet. Da spunsvæggen er lodret kan dens forside også bruges til fortøjning af både i godt vejr.

Ulemperne er dels den relativt høje pris, og dels den begrænsede holdbarhed. Holdbarheden er normalt begrænset til ca. 40 år, men kan muligvis forøges ved anvendelse af katodisk beskyttelse. Anvendelse af katodisk beskyttelse er dog begrænset til under vandspejlet.

Et eksempel på en simpel spunskonstruktion fremgår af Figur 4-1 (øverste figur).
Det er også muligt, som vist i den nederste figur, at spunsvæggen udføres til f.eks. kote + 3,0 m til en kajgade, og at der bagved laves en skråning op til kote +5,2. Denne kan være glatte betonfliser, en betontrappe eller en stenkastning.

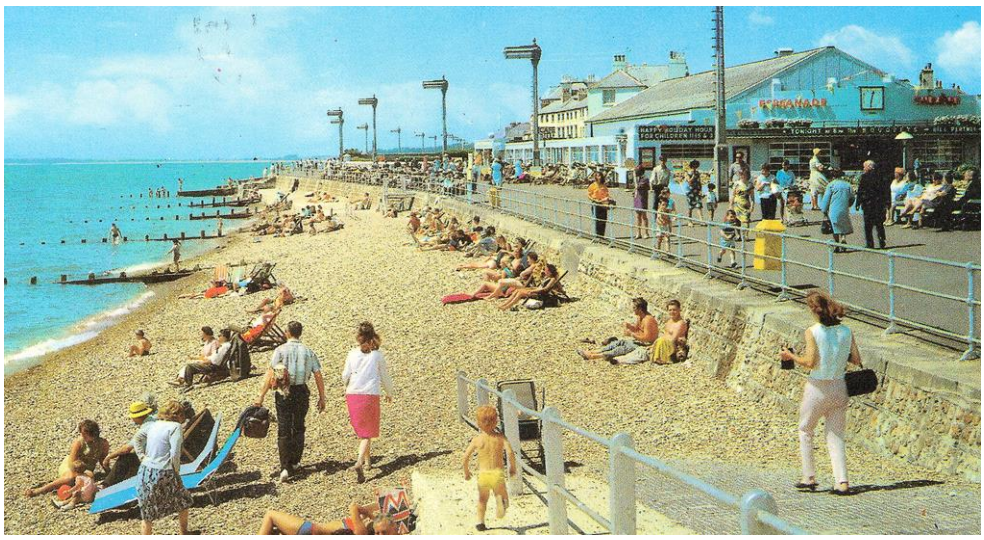


Figur 4-1 Spunsvæg som indfatning for landindvinding

4.2 Ralstrand

En ralvold eller ralstand består, som navnet siger af ral. Denne vil skulle udføres med et relativt fladt anlæg og fungerer på samme måde som "shingle beaches", som er kendt bl.a. fra sydkysten af England, se fotos i Figur 4-2.

Perimeteren på projektet er væsentligt mindre udsat for bølgepåvirkning and kysten af England, så ralstanden kan udføres stejlere i Hvidovre.

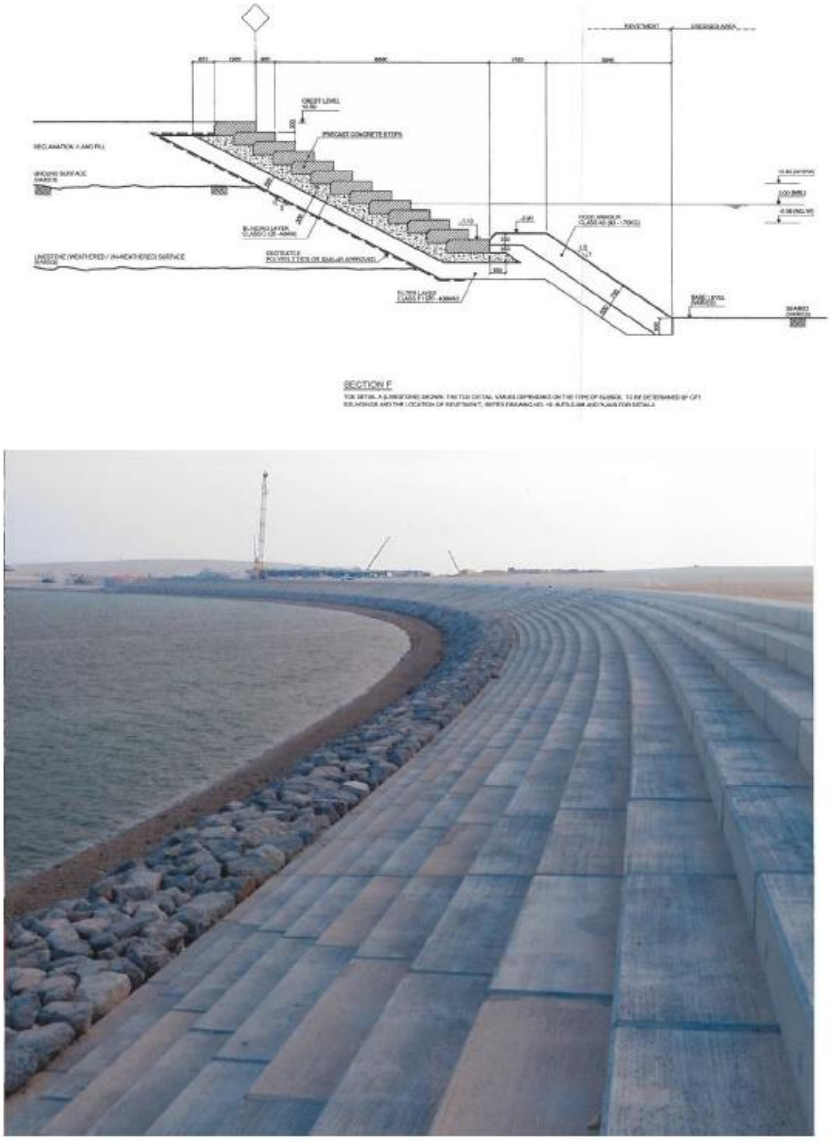


Figur 4-2 Eksempler på ralstrande (shingle beaches) i England.

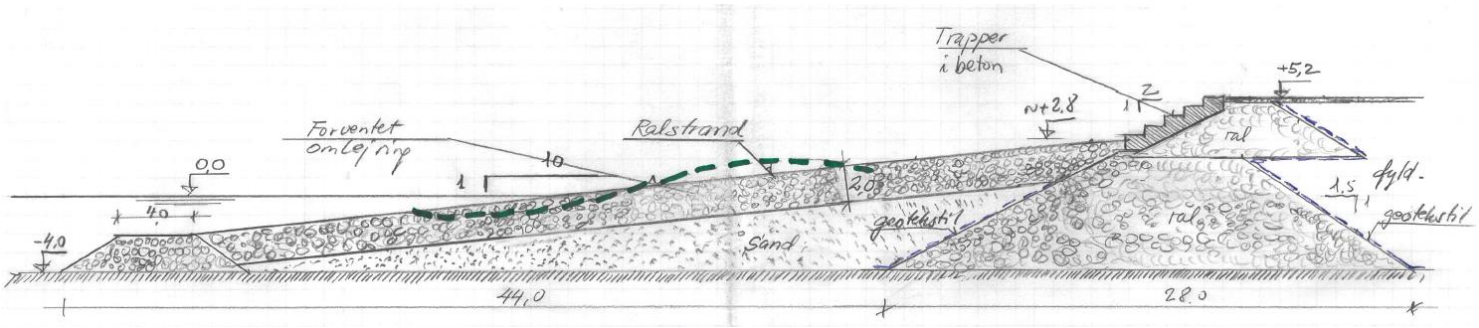
En ralstrand er en meget enkel konstruktion, der også kunne egne sig til en etapevis udbygning af indfyldningsområdet. Man vil normalt udføre denne med rallen op til et vist niveau, f. eks +3,0 m, og bagved her lave en mur eller trappetrinskonstruktion, som vist på eksemplerne ovenfor.

Konstruktionen er relativ dyr, idet der skal meget store mængder af ral til plus omkostningerne til mur eller trapper mm bag ralstranden.

Figur 4-3 viser et andet eksempel på en trappekonstruktion med en stenkastning foran betontrapperne, og hvorledes betontrapperne er udført med præfabrikerede elementer.



Figur 4-3 Trappekonstruktion mod vandet (eksempel, COWI projekt i Qatar)



Figur 4-4 Tværsnit i ralvold

Et muligt/skitsemæssigt tværsnit til Hvidovre projektet af en ralstand med trapper mellem stranden og baglandet fremgår af Figur 4-4.

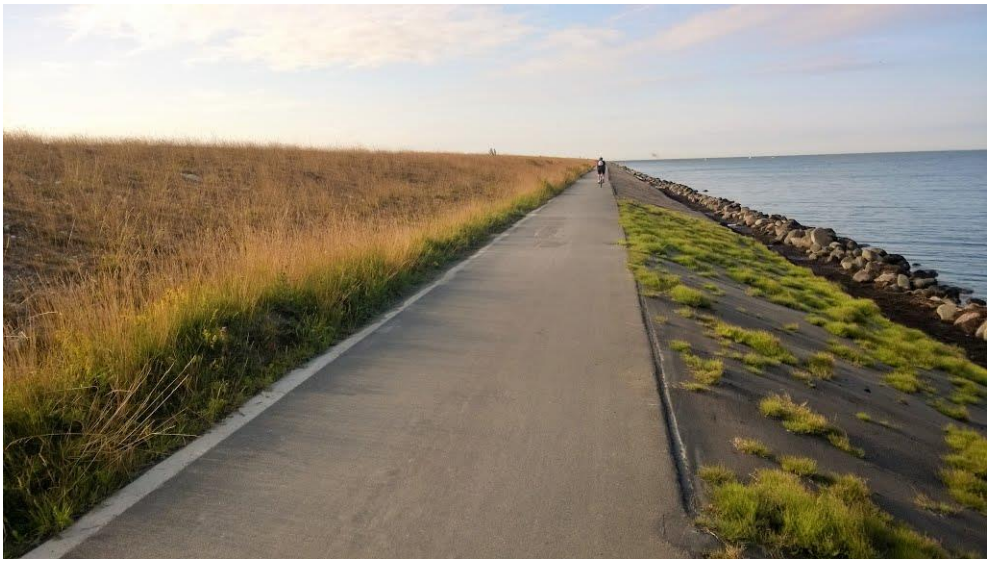
4.3 Dige

Opbygningen af et dige svarer i princippet til den konstruktion der blev anvendt ved inddæmningen af Vestamager i 1930'erne.

Et dige udføres normalt af en kerne af moræneler, der indbygges og komprimeres i relativt tynde lag. Diget må beskyttes mod erosion fra bølgepåvirkning. Derfor anbringes normalt søsten på de mest udsatte dele af konstruktionen.

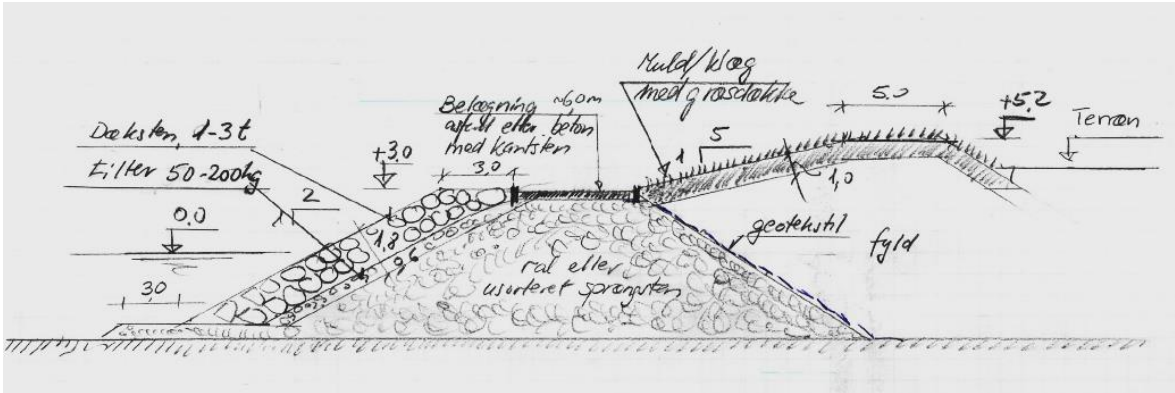
Morænelersmaterialet til kernen kan ofte skaffes billigt fra udgravninger for byggerier i københavnsområdet. Materialet skal således normalt tilføres ad landevejen. Kernen kan også udføres af sand eller ral med et lag muld/klæg udenpå hvori der kan etableres et græstæppe.

Indbygning af moræneler under vand er dog et problem. Det er således i praksis umuligt at komprimere morænelersfylden. Man vil normalt skulle opføre ralvolde/dæmninger rundt om det areal der ønskes opfyldt med ler, så selve kernen af diget er ikke opbygget af lerfyld. Der må således forventes at der vil optræde betydelige sætninger opfyldningen efter udførelsen, ligesom der kan forventes et vist spild af finkornet materiale, der udvaskes af morænelerен i forbindelse med indbygningen under vand. Et foto af det relativt høje eksisterende dige på Amagers vestkyst i Tårnby Kommune er vist på Figur 4-5.



Figur 4-5 Foto af vestdiget i Tårnby Kommune.

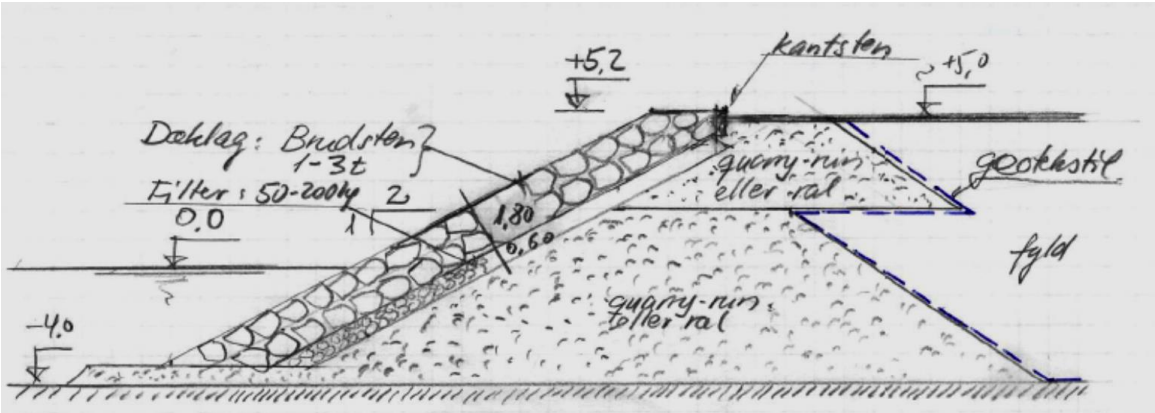
Figur 4-6 viser et skitseforslag til et dige til projektet i Hvidovre. Her vist med en ralkerne ovenpå hvilken entreprenøren kan have en anlægsvej under projektets udførelse. Bagved og i højere niveau etableres selve jorddiget med græsbeklædning.



Figur 4-6 Skitseforslag til digekonstruktion

4.4 Stenkastninger

En anden mulighed for perimeterkonstruktion er en simpel stenkastning ud mod havet. Nedenfor i Figur 4-7 er vist en konstruktion med hældning 1:2. Stenstørrelsen på denne er afhængig af designbølgen på den pågældende strækning. Den i figuren viste stenkastning gælder for de mest udsatte strækninger med Hs=2,4, en stabilitetsfaktor på ca. KD=3,0 svarende til nogen beskadigelse under designstorm.



Figur 4-7 Skitseforslag til stenkastning

4.5 Blokmur

En blokmur er en lodret indfatningsvæg, der etableres ved at stable præfabrikerede (uarmerede) betonblokke ovenpå hinanden. Betonblokkene må, for at undgå skader på disse, anbringes på et afrettet gruslag, udlagt på moræneler eller kalk.

Blokvæggen opnår sin stabilitet fra egenvægten af betonblokkene, der er raltivt brede for at være stabile. Der er således ikke noget behov for at etablere ankre for denne konstruktion.

Fordelene ved en blokmur er dels, at den er mindre pladskrævende end indfatninger med skråninger, dels at det er muligt at komme tæt på vandet. Da blokmuren har en lodret forside kan den også bruges til fortøjning af både. Endelig har en blokvæg af uarmeret beton en meget lang holdbarhed.

Blokvæggen kan enten udføres fra land eller fra vand.

Ulemperne er dels den høje pris. Desuden kræves store kraner eller specialfartøjer til anbringelse af de ret tunge betonblokke.

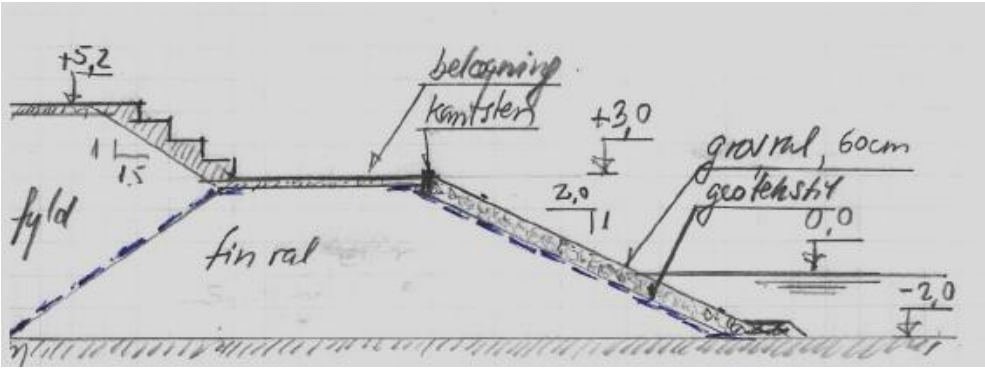
4.6 Indfatninger langs "kanaler" og beskyttede vandområder inde i landopfyldningen

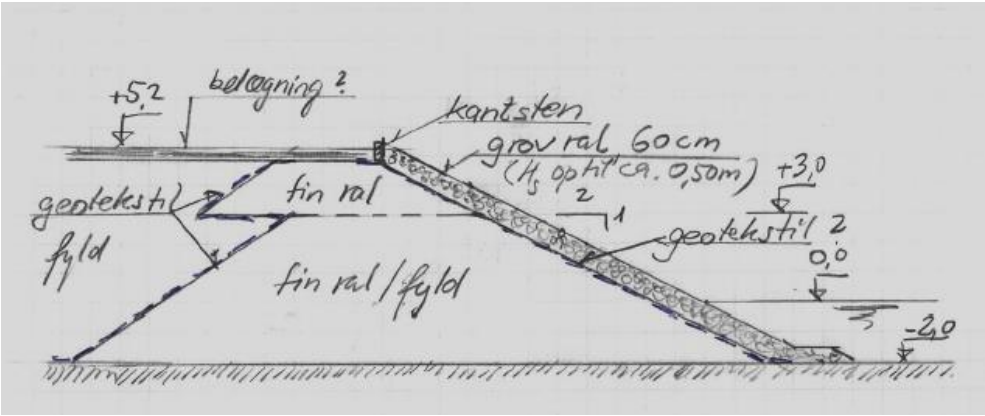
Hvis projektet opføres som et holmelandskab, vil der være "kanaler" og beskyttede vådområder inde i landopfyldningen, som også kræver indfatninger mellem land og vand. De samme designvandstande som for den ydre perimeter gælder her, men designbølgerne er meget begrænsede. Nedenfor er der vist skitser af mulige indfatninger. Der er her regnet med en vanddybde på 2,0 m, hvilket vil sikre sejlads medmindre både, og medvirke til at det naturlige vandskifte bliver acceptabelt.

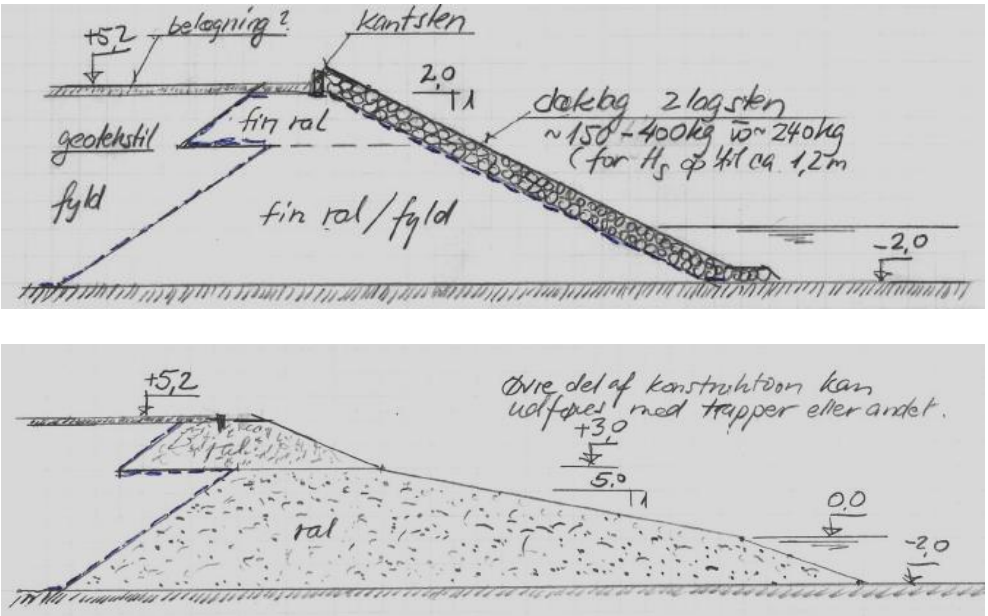
- Indfatningerne kan udføres som spunsvægge som vist på Figur 4-1, dog medmindre vanddybde. Det er her muligt at have et plateau i et mellemniveau mellem 0,0 og topkoten på +5,2 m

- Indfatningen kan også være en ralstrand, som vist på den 4d skitse i Figur 4-2.

Det mest økonomiske vurderes at være en skråning med hældning 1:2 opbygget med fyld eller sand, og med en stenbeskyttelse af ral ovenpå en geotekstil, som skitseret i forskellige udformninger i Figur 4-8. Dette gælder for de mest beskyttede lokaliteter, mens det tættere ved havet, hvor bølgerne er større kan være nødvendigt med en stenkastning af lidt større sten, f.eks. som vist på 3d skitse i Figur 4-8.







Figur 4-8 Skitseforslag til indfatninger i "kanal" og beskyttede områder

4.7 Andet

Skitserne ovenfor er alle vist for en vanddybde på 4 m for de ydre værker og 2 m for "kanaler". Den aktuelle vanddybde for projektet varierer mellem 0 og 5 m. Der kan relativt nemt udarbejdes skitser for tilsvarende konstruktioner på anden vanddybde. Endvidere hvis projektet udføres som et holmeprojekt med individuelle halvøer eller øer med "kanaler" gennem landarealet, vil konstruktionerne her kunne være af samme type, men tilpasset den aktuelle dybde og bølgepåvirkning mm. Dybden i kanaler kan være mindre end den aktuelle vanddybde, idet man kan opfylde havbunden til et valgt niveau.

Bilag A

Vind og bølgeforhold

Vindstatistikker fra DMI (Standardnormaler for 30 år fra 1930-60) for Trekroner, Københavnviser, at der ikke er målt højere vind end Beaufort (B)10 (24,5-28,4 m/s) på nær for retning S og SV, hvor det er B11 (28,5-32,6 m/s). For andre retninger er der maksimalt målt B10.

Stevns Fyr viser at der i den periode ikke er målt vind på mere end B11 for retningerne Ø og SØ, men B10 for andre retninger.

For en overslagsmæssig vurdering af dimensionsgivende (design) bølger er der benyttet en vindhastighed på 30 m/s på nær for retning S hvor 26 m/s er benyttet.

For vurdering af dimensionsgivende bølger i området, er middelvanddybde og frie stræk vurderet som vist i Tabel 4-2, som også viser en vurdering af designbølger for en situation med 50 til 100 års returperiode.

Tabel 4-2 Vind, frit stræk, vanddybde og designbølger

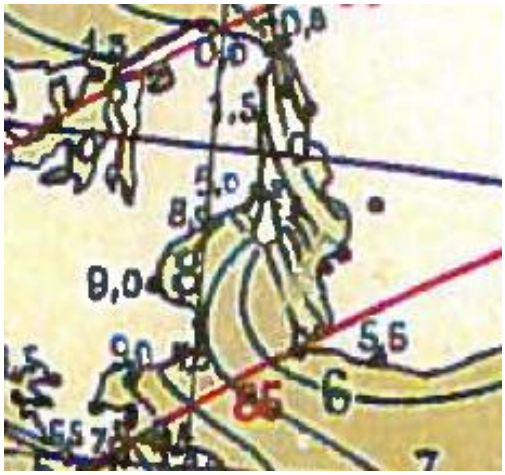
Frie Stræk og designbølger for Landvinding udfor Avedøre Holme				
Vind/Bølge Retning	Frit Stræk	Dybde	Vind Hastighed	Bølger (Hs)
	(km)	(m)	(m/s)	(m)
V	5	5	30	**1,7**
SV	8	7	30	**2,2**
S	~15	8	28	**2,5**
SØ	5	4	30	**1,6**
Ø	3	4	30	**1,4**

Vandstandsforhold

Det astronomiske tidevand i Køge Bugt og København er meget begrænset med typisk 20 cm mellem høj-og lavvande.

Under kraftig vind, kuling og storm forekommer der meget større variationer i vandstanden i området på grund af vindstuvning og barometrisk hævning af vandspejlet ved lavtryk.

Kystdirektoratet (KDI) udgiver statistikker over vandstande i danske farvande, og i 2017 udgaven er 100 års vandstanden i Køge Havn opgivet til +1,60 m. Denne statistik omfatter kun de seneste år. Der er i ældre publikationer rapporteret om mere en 2 m højvande, og i stormen i 1872 (benævnt "Nogle undersøgelser over Stormen over Nord-og Mellem Europa, af 12-14 November 1872, Vandfloden i Østersøen" af Professor A. 1881) nåede vandstanden i Køge (ca. +9 fod (+2,7 m) og ca. 8 fod (+2,4 m) i projektområdet, se Figur 4.9 fra publikationen.



Figur 4-9 Vandstand (i fod) d. 13 nov. 1872 kl. 12.00 (efter Colding, Vandflod i Østersøen)

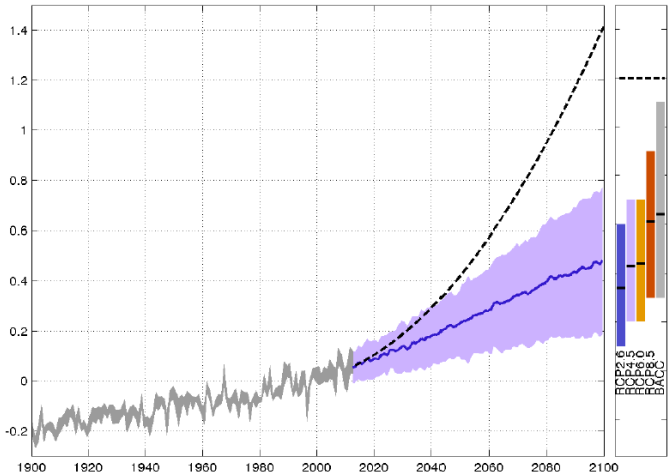
Den samtidige vind var ca. 28 m/s fra ØNØ.
Denne storm er tidligere blevet vurderet som en meget ekstrem hændelse, men nyere undersøgelser af COWI i forbindelse med klimasikring af København og andre projekter har vist, at der siden ca. år 1500 har været omkring 3 storme af omtrent samme styrke, så stormen har formentlig en gentagelsesperiode på 100 til 200 år. For det nye landvindingsprojekt bør der ikke dimensioneres for en mindre vandstand end observeret i 1872 plus et centralestimat for vandstandsstigningen de næste 100 år frem mod år 2120.

Vandstandsstigningen i området under storm er meget afhængig af vindretningen, og det er primært vinde fra sektoren SØ til NØ, som giver de høje højvande. Fra andre retninger kan der end dog være en tendens til lavvande. Udover vandstanden og bølgeforholdene er vandstandsstigningen i havet på grund af den globale opvarmning, se Figur 4-10, af betydning og bør medtages som designgrundlag.

Til slut skal det nævnes, at landet i Køge Bugt hæver sig med ca. 1,4 mm/år på grund af nedtrykningen under sidste istid; se Figur 4-11. Så frem til år 2120 drejer det sig om ca. 14 cm.

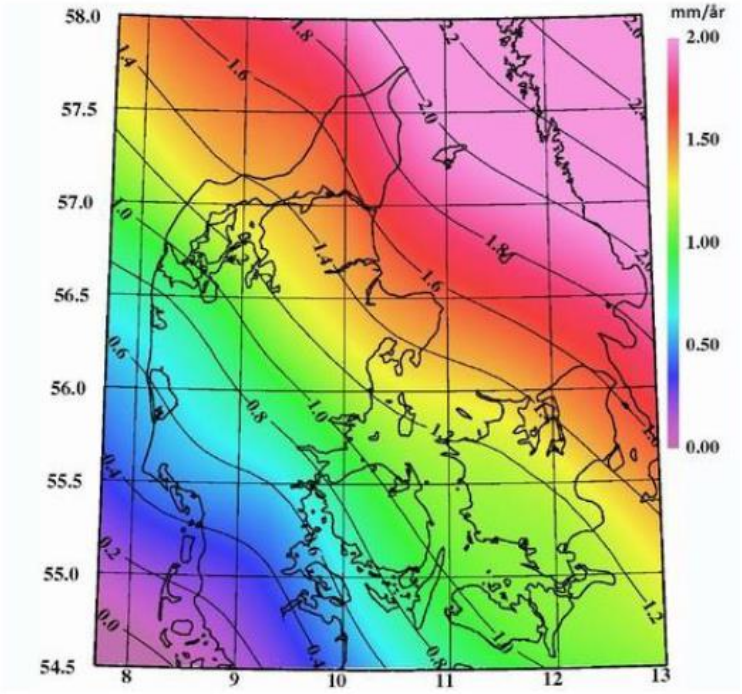
For et landvindingsområde med byggeri anbefales det at der minimum regnes med en 100 års tidshorisont, hvilket medfører, at et centralt estimat for vandstandsstigningen er i størrelsesordenen 0,25 til 0,9m. Her kan som minimum +0,6 m eller mere benyttes.

Herved fås en designvandstand, DVS, på: DVS=2,4+0,7-0,15=2,95~**+3,0 m**.
Denne vandstand gælder, som redegjort for ovenfor for designvind fra NØ til SØ. Se nærmere senere i afsnit om Design/ Dimensionsgivende forhold generelt.



Figur 9: Den absolutte middelvandstand ved Danmark i meter for årene 1900-2100. Den grå skygge for år 1900-2012 viser den observerede årlige middelvandstand ved danske vandstandsmålere, korrigeret for landhævning. Den blå streg for år 2012-2100 viser IPCC's bedste estimat af middelvandstanden i Nordsøen for RCP4.5 scenariet, og skyggen angiver usikkerheden for dette scenarie. Den stiplede linje angiver DMI's estimat af en øvre grænse for vandstandsstigninger til brug for usikkerhedsberegninger. I højre side af figuren vises middelværdi og usikkerheder for de fire IPCC scenarier samt for BACC's vurdering af A1B scenariet for perioden 2081-2100. Den stiplede linje viser DMI's øvre bud for denne periode.

Figur 4-10 Eustatisk havspejlstigning for Danmark, (Danmarks Klimacenter, 2014).



Figur 4-5 Isostatik landhævning i Danmark Nøjagtighed 0,2 mm/år, (Knudsen et al., 2016).

Figur 4-11 Isostatisk landhævning i Danmark.

Design/ Dimensionsgivende forhold

På baggrund af ovennævnte vurderinger er følgende designforhold udvalgt for en tidshorisont på ca. 100 år, frem til ca. år 2120. Vandstanden for de forskellige vind/bølgeretninger er vurderet som maksimale skøn.

Tabel 4-3 Dimensionsgivende forhold

Design/Dimensionsgivende forhold for vandstand og bølger		
Vind/Bølge Retning	Vandstand	Bølger (Hs)
	(m)	(m)
V	1,5	1,7
SV	1,8	2,2
S	2,0	2,5
SØ	2,8	1,6
Ø	3,0	1,4