

SUND OG BÆLT

ANALYSE AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

KONCEPTDESIGN AF HAVN OG DÆMNINGER

SUND OG BÆLT

ANALYSE AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

KONCEPTDESIGN AF HAVN OG DÆMNINGER

PROJEKTNR.

A258774

DOKUMENTNR.

A258774-HAV-RAP-03

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

11 april 2025

BESKRIVELSE

Rapport

UDARBEJDET

ADKE

KONTROLLERET

JJU

GODKENDT

JJU

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Basis og datagrundlag	9
2.1	Levetid og returperioder	9
2.2	Metocean	9
2.3	Geotekniske data	17
2.4	Vandforsyning og spildevand	18
2.5	Elforsyning	18
3	Overordnet vurdering af færgehavnen	20
3.1	Placering af færgehavn	20
3.2	Orientering af færgehavn	21
3.3	Udformning af færgehavn og adgangsvej	23
3.4	Nedetid af havnen	27
3.5	Anbefalet havneudformning og orientering	28
4	Terminalområde	31
4.1	Billettering	32
4.2	Opmarchområdet	33
4.3	Forplads	33
4.4	Terminalbygning	33
4.5	Indrejsevej	34
4.6	Oversigt over specifikationer	34
5	Kajanlæg og bagland	36
5.1	Topkote af bagland	36
5.2	Kajanlæg	36
5.3	Ramper	38
6	Konceptdesign af moler, stenkastninger og dæmning	41
6.1	Forsidestabilitet	44

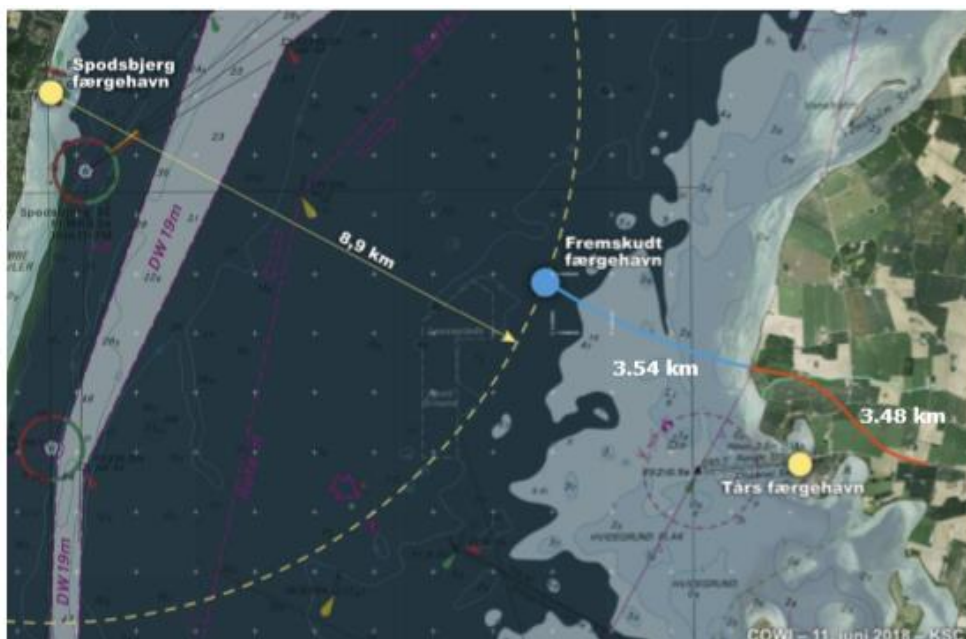
6.2	Tåstabilitet	47
6.3	Topkote for stenkastninger, vejdæmning og moler	48
6.4	Bagsidestabilitet for moler	50
6.5	Filterkriterier	52
7	Vandforsyning	55
8	Spilde- og overfladevand	57
8.1	Spildevand fra færger	57
8.2	Spildevand fra fremskudt havn	57
8.3	Overfladevand	57
9	Elforsyning	59
10	Referencer	61

BILAG

Bilag A	Korrelation mellem vandstande og bølger	63
Bilag B	Nedetid	68
B.1	Bølgeuro	68
B.2	Manøvresimuleringer	70
Bilag C	Kørekurver for terminalområde	75
Bilag D	Scattertabeller	79

1 Indledning

Den fremskudte færgenhavns formål er at skabe rammerne for at opnå en kortere overfartstid året rundt på overfarten Spodsbjerg-Tårs ved at etablere havnen på en kunstig ø ude i Langelandsbælt. Figur 1-1 viser en placering ca. 3,5 km ude i Langelandsbælt. Havnen forbindes til Lolland med lavbro(er) og/eller dæmning(er). Den fremskudte havn vil bidrage til en forbedret infrastruktur på tværs af det sydlige Danmark, og være et alternativ til den faste forbindelse over Storebælt.



Figur 1-1 Kort med placering af den fremskudte havn.
Blå cirkel: Indikativ placering af fremskudt færgenhavn.
Blå linje: Indikativ linjeføring af dæmning/bro.
Rød linje: Indikativ linjeføring af tilslutningsvej.

Dette tekniske notat indeholder overordnede vurderinger og beregninger i forbindelse med et konceptuelt design af den fremskudte færgenhavn og dæmningerne, der sammen med broerne er en del af adgangsvejen til fastlandet. Notatet består af følgende afsnit:

- › Basis og datagrundlag
- › Beskrivelse af placering, orientering, udformning og nedetid af færgehavnen
- › Beskrivelse af kajanlæg og bagland
- › Terminalområde
- › Konceptdesign af stenkastninger og dæmninger
- › Konceptdesign af vand-, spildevands- og elforsyning

2 Basis og datagrundlag

2.1 Levetid og returperioder

Den fremskudte havn anses ikke som værende kritisk infrastruktur, da der i tilfælde af, at designhændelsen overskrides, vil være et begrænset økonomisk tab, samtidig med at risikoen for tab af menneskeliv er meget lav, da det må forventes at adgangen til den fremskudte færgehavn lukkes ved varsling af storme. Endvidere vil det være muligt at komme mellem det østlige og vestlige Danmark via Storebæltsbroen.

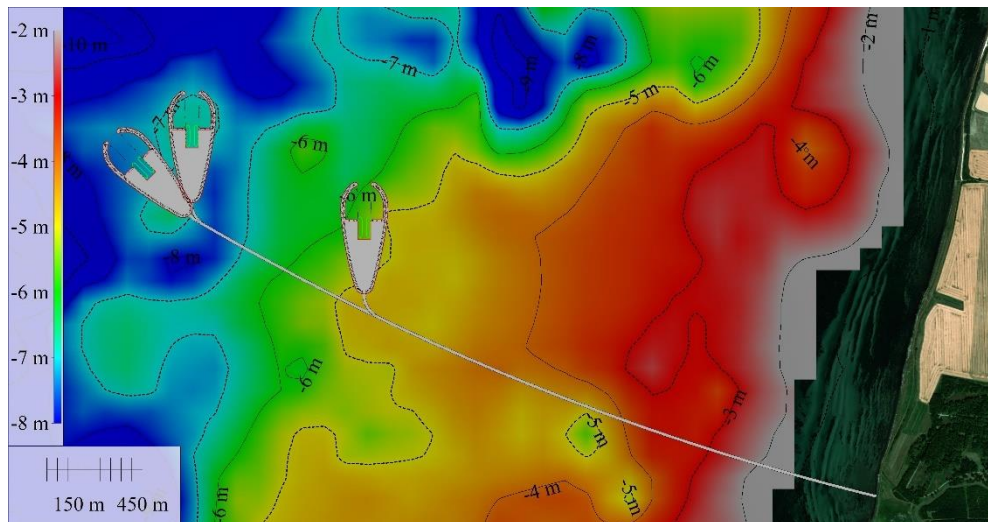
Anlæggelsen af den fremskudte havn og tilhørende dæmning/bro er et dyrt infrastrukturprojekt med lav fleksibilitet i byggeprocessen. Det vil være muligt at forstærke og forhøje den fremskudte havn på et senere tidspunkt under forudsætning af at færgeoverfarten afbrydes i perioder, dog forventes dette at være omkostningstungt at gøre for adgangsvejen.

Det er på baggrund af ovenstående vurderet, at den fremskudte havns ydre perimeter, topkote af bagland, kajvægge og dæmninger/lavbro skal dimensioneres med henblik på en levetid på 100 år og for en 200 års returperiode, svarende til en ca. 39% sandsynlighed for, at designhændelsen optræder i løbet af konstruktionernes levetid.

2.2 Metocean

2.2.1 Batymetri

Batymetri (vanddybder) ved den fremskudte havn er baseret på batymetrien, der er brugt i Langelandsmodellen ref. /1/. Batymetrien er vist på Figur 2-1. Det fremgår, at de to primære placeringer af den fremskudte havn (længst ude i Langelandsbælt) ligger ved en vanddybde på ca. 6,5 til 7,5 m, hvorimod den inderste placering ligger ved en vanddybde på ca. 5 til 6 m.

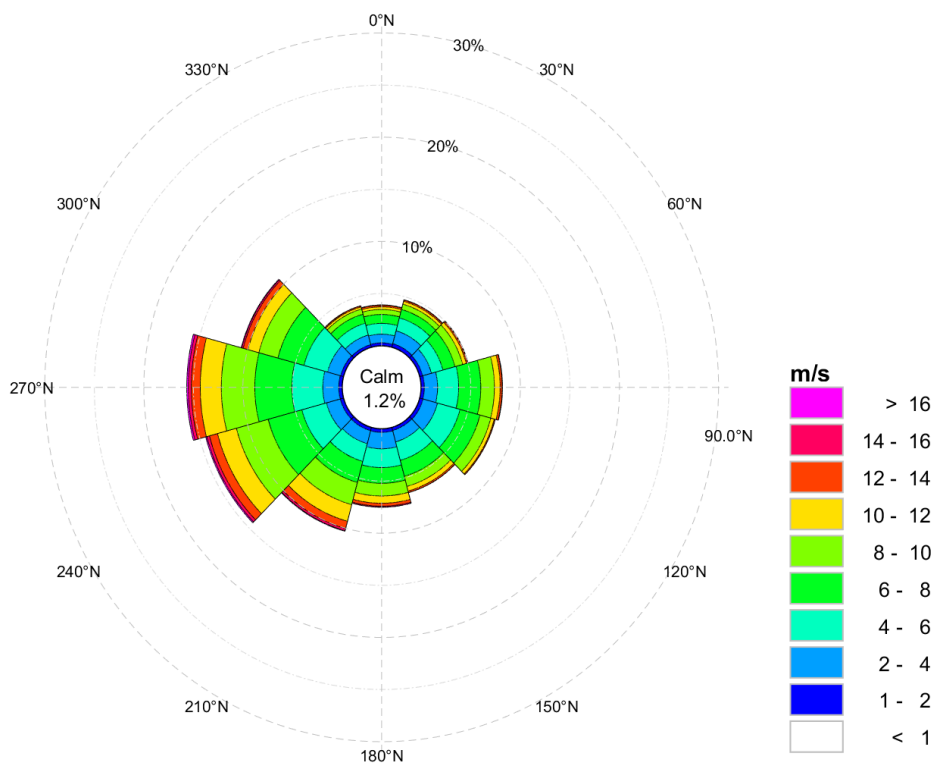


Figur 2-1 Batymetri ved den fremskudte havn. De tre analyserede placeringer af den fremskudte havn er vist, og er beskrevet nærmere i afsnit 3.1. Værdier i referenceniveau m DVR90. Nord er opad.

2.2.2 Vind

Normale vindforhold beskrives i det følgende for et punkt nær den fremskudte havn i form af vindrose, scattertabel og overskridelsessandsynligheder. Data er udtrukket fra NORA3 modellen i perioden 1993-01-01 til 2023-11-29 som U10 vindhastigheder i 10m højde med tilhørende vindretninger.

Wind Speed Rose Plot

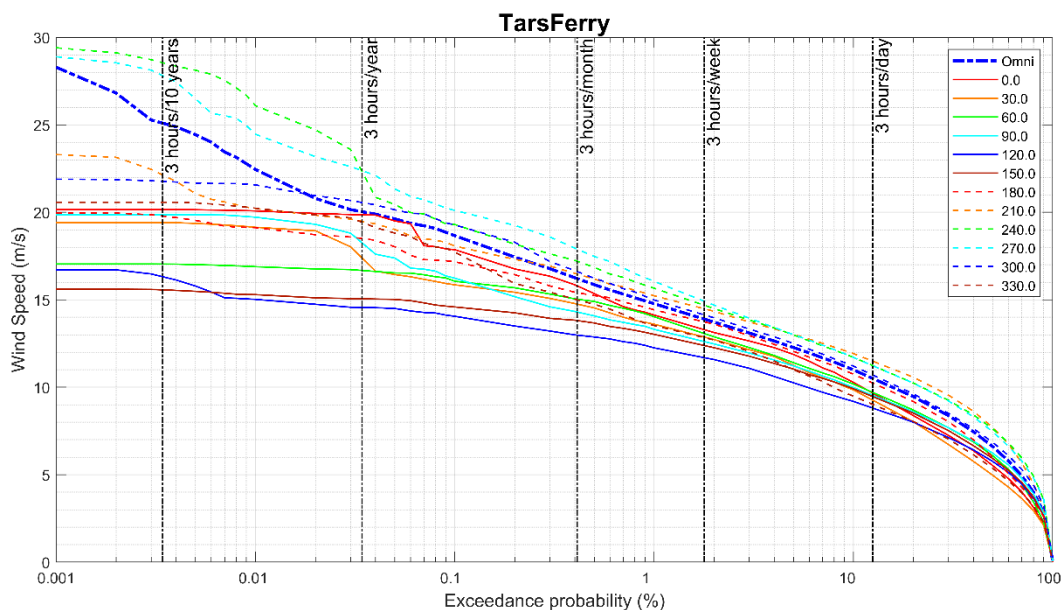


Figur 2-2 Vindrose for 10m vindhastigheden i NOR3 datasættet. Data fra 1993-01-01 til 2023-11-29.

Tabel 2-1 Scattertabel for vindhastigheden U10 og tilhørende vindretninger fra NOR3 datasættet. Data fra 1993-01-01 til 2023-11-29.

Joint Occurrence Table of Wind Speed and Wind Direction

		Wind Direction												
		0°N	30°N	60°N	90°N	120°N	150°N	180°N	210°N	240°N	270°N	300°N	330°N	Total
Wind Speed (m/s)	1.0 - 2.0	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	3.6%
	2.0 - 4.0	0.8%	1.3%	0.9%	1.3%	1.5%	1.1%	1.6%	1.3%	1.4%	1.6%	1.4%	1.0%	15.2%
	4.0 - 6.0	1.0%	1.3%	1.2%	2.1%	2.4%	1.8%	1.8%	1.8%	2.6%	3.1%	2.5%	1.2%	22.7%
	6.0 - 8.0	0.9%	0.8%	1.3%	2.2%	2.1%	1.6%	1.5%	2.1%	3.5%	3.7%	2.7%	0.9%	23.3%
	8.0 - 10.0	0.5%	0.5%	0.8%	1.4%	1.1%	1.0%	1.2%	2.2%	3.3%	3.4%	2.0%	0.5%	17.9%
	10.0 - 12.0	0.3%	0.3%	0.4%	0.6%	0.4%	0.5%	0.7%	1.6%	2.0%	2.1%	1.1%	0.2%	10.1%
	12.0 - 14.0	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	<0.1%	0.1%	0.3%	0.7%	0.8%	0.9%	0.5%	<0.1%	4.2%
	14.0 - 16.0	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%		<0.1%	<0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.1%	<0.1%	1.2%
	16.0 - 18.0	<0.1%						<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%		0.3%
	18.0 - 20.0									<0.1%	<0.1%	<0.1%		0.1%
> 20.0										<0.1%			0.0%	
Total		3.9%	4.7%	5.0%	8.2%	7.9%	6.5%	7.5%	10.3%	14.4%	15.7%	10.7%	4.1%	99%



Figur 2-3 Retningsfordelt overskridelsesplot, der viser sandsynligheden (procent af tid) for at en vis vindhastighed, U_{10} , overskrides. Data fra NORA3 datasættet i perioden 1993-01-01 til 2023-11-29.

Vindforhold i nærheden af den fremskudte havn kan beskrives som følgende:

- De højeste vindhastigheder kommer generelt fra sydvest til nordvest (210-300°N), med vindhastigheder op til 29 m/s fra vest.
- Vinden kommer oftest fra sydvest til nordvest (210-300°N) svarende til ca. 50% af tiden (51,1%). Vinden kommer fra sydøst til nordøst (60-120°N) i ca. 21% af tiden.
- Vindhastigheder over 16 m/s forekommer ca. 0,3% af tiden og forekommer primært fra sydvest til nordvest (210-300°N)

Ekstreme vindforhold benyttes ikke til det konceptuelle design, hvorfor dette ikke nærmere er beskrevet her. Der henvises til ref. /2/.

2.2.3 Bølger

Normale og ekstreme bølgeforhold i nærheden af den fremskudte havn er beskrevet i afsnit 3.5 og 3.6 i ref. /2/. De største bølger kommer generelt fra sydsydvestlige (SSV, 210-240°N) til nordnordøstlige (NNØ, 0-30°N) retninger, med de største bølger kommende fra SSV. Det bemærkes, at de ekstreme bølgehøjder er baseret på en 11-års tidsserie, hvorfor data med en returperiode på over 50-år har en signifikant statistisk usikkerhed.

1-, 10-, 50- og 200-års omni og retningsfordelte signifikante bølgerhøjder, H_{m0} , og tilhørende peak bølgeperioder, T_p , fremgår af Tabel 2-2. For andre returperioder henvises der til ref. /2/. Værdierne i tabellen er baseret på den ekstreme fordeling

tillagt én standardafvigelse for at tage højde for noget af usikkerheden, der er ved at benytte den korte tidsserie.

Tabel 2-2 Ekstreme signifikante bølgehøjder, H_{m0} , og tilhørende peak bølgeperioder, T_p , i parentes. Værdierne svarer til den ekstreme fordeling tillagt én standardafvigelse. Der henvises til ref. /2/ for nærmere beskrivelse af data.

H_{m0} [m] (T_p [s])	Omni	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°*	240°	270°	300°	330°
1 år	1,7 (5,5)	1,2 (4,5)	1,2 (4,5)	0,9 (4,0)	0,7 (3,5)	0,8 (3,5)	0,8 (4,0)	1,0 (4,0)	1,7 (5,5)	1,4 (5,0)	1,1 (4,5)	1,0 (4,0)	0,9 (4,0)
10 år	2,2 (6,0)	1,8 (5,5)	1,4 (5,0)	1,2 (4,5)	1,0 (4,5)	1,0 (4,0)	1,0 (4,0)	1,2 (4,5)	2,2 (6,0)	2,2 (6,0)	1,5 (5,0)	1,3 (5,0)	1,2 (4,5)
50 år	2,7 (7,0)	2,4 (6,5)	1,5 (5,0)	1,4 (5,0)	1,4 (5,0)	1,1 (4,5)	1,0 (4,5)	1,3 (4,5)	2,7 (7,0)	2,7 (7,0)	1,9 (5,5)	1,6 (5,0)	1,4 (5,0)
200 år	3,1 (7,5)	3 (7,0)	1,7 (5,5)	1,6 (5,5)	1,8 (5,5)	1,2 (4,5)	1,1 (4,5)	1,3 (5,0)	3,1 (7,5)	3,1 (7,5)	2,2 (6,0)	1,8 (5,5)	1,6 (5,5)

2.2.4 Tidevand

Vandstandsdata baseres på vandstandsmålinger for en periode på 11 år fra 2003 til 2013 fra stationen 'Korsør', der ligger ca. 48 km nord for lokaliteten (DMI 29393). Målingerne fra Korsør er blevet analyseret for tidevandskomponenter ved hjælp af MIKE21 værktøjet "Tide Analysis of Heights". Oversigt over tidevand er givet i Tabel 2-3 og viser moderate tidevandstandsændringer på ca. 0,5 m mellem højvande og lavvande ved springtid.

Tabel 2-3 Tidevand ved Tårs, baseret på tidevandsanalyse af målte vandstande ved Korsør for perioden 2003-2013.

Fremskudt Tårs Havn		(m DVR90)
Højeste astronomiske tidevand	HAT	+0,35
Middel højvande ved spring	MHWS	+0,31
Middelvandstand	MSL	+0,07
Middel lavvande ved spring	MLWS	-0,22
Laveste astronomiske tidevand	LAT	-0,28

2.2.5 Ekstreme lav- og højvande

Data for ekstremt højvande er analyseret af Kystdirektoratet og er baseret på data fra Rødbyhavn Havn i perioden 1955 til 2023, men uden at tage hensyn til ændringer pga. klimaændringer, ref. /3/. Ekstremt lavvande er fundet ved en EVA analyse af Korsør målingerne 2003-2013. Resultaterne er vist i Tabel 2-4.

Tabel 2-4 Ekstrem lav- og højvande (uden tillæg pga. klimaændringer og landhævninger). Lavvande baseret på EVA foretaget af COWI baseret på Korsør målinger 2003-2013. Højvande baseret på ref. /3/.

Returperiode (år)	Lavvande	Højvande
	2003-2013	Højvandsstatistik
		1955-2023
	(m DVR90)	(m) ift. middelvandstand i år 1990
5	-0,71	+1,35
10	-0,75	+1,45
25	-0,81	+1,57
100	-0,89	+1,68
200	-1,00	+1,73

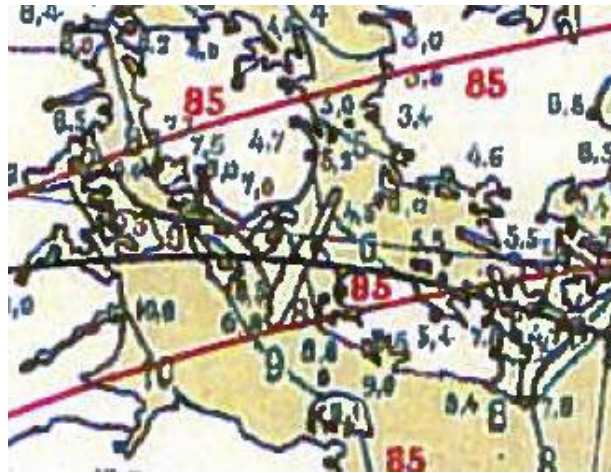
Udover denne statistiske analyse er det relevant at se på vandstande i historisk perspektiv. Det er kendt at stormfloden i nov. 1872 forårsagede store oversvømmelser i den vestlige Østersø. Figur 2-4 viser resultater fra Prof. Coldings analyse af stormen ref. /4/. Vandstanden ved hhv. Rødbyhavn og Tårs nåede ca. +9 og +7 fod eller +2,7 m og +2,1 m over middelvandstand.

Ifølge Kystdirektoratet, ref. /3/, har der i perioden 1872-1990 været en stigning i middelvandstand på ca. 8 cm. Dette er også forskellen mellem middel DNN og DVR90, hvor nulniveauet for DVR90 altså ligger 8 cm højere end DNN.

Vandstanden i Rødbyhavn og Tårs ved stormfloden i nov. 1872 var altså hhv. ca. +2,6 m og +2,0 m DVR90, hvilket for Rødbyhavn er ca. 0,85 m højere end 200 års vandstanden vist i Tabel 2-4 fra ref. /3/. Kystdirektoratets analyser indeholder ikke information fra før år 1955, hvorfor stormfloden i nov. 1872 ikke er indeholdt. Det forventes at inklusionen af stormfloden i nov. 1872 vil ændre højvandsstatistikken. Effekten af stormfloden på højvandsstatistikken bør undersøges nærmere i senere faser af projektet.

På nuværende stadi af projektet benyttes vandstanden på +2,0 m DVR90 i Tårs under stormfloden i nov. 1872 som 200-års højvande, hvilket er konservativt i forhold til 200 års værdien fra ref. /3/.

Det bemærkes, at under ovennævnte stormflod i 1872 var vindretningen fra ØNØ (se de røde linjer på figur 3-6), svarende til fralandsvind på Lolland siden.



Figur 2-4 Vandstanden d. 13 nov. 1872 kl.14.00 ifølge Prof. Colding, ref. /4/ (målt i fod fra middelvand)

2.2.6 Globale havspejlsstigninger og landhævninger

Havspejlsstigningerne, der designes for, fastsættes på baggrund af de nationale anbefalinger fra DMI's Klimaatlas ref. /5/.

Kystdirektoratet og Dansk Meteorologisk Institut har udgivet en rapport med sikringsniveauer for stormflodssikring af København ref. /6/. Heri benyttes 83-kvantilen for klimascenariet SSP3-7.0, hvilket ifølge rapporten svarer til en højere grad af sikkerhed i forhold til verdens nuværende implementerede udledningspolitikker. Lignende større stormflodsprojekter og kritiske infrastruktur projekter benytter ligeledes samme klimascenarie som for stormflodssikringen af København. Det valgte klimascenarie (83-kvantilen for klimascenariet SSP3-7.0) skal dog ses i forhold til, at omkostningerne ved en eventuel oversvømmelse af f.eks. København vil være meget store og vil få en stor samfundsmæssig konsekvens.

I tilfælde af storm vil adgangsvejen til den fremskudte havn blive lukket og sejladsen indstillet, så der ikke opstår risiko for tab af menneskeliv. De samfundsmæssige konsekvenser og økonomiske omkostninger ved en oversvømmelse eller øget bølgeoverskyl for en fremskudt havn ved Tårs vil være væsentlig mindre end for f.eks. en oversvømmelse af dele af København.

Såfremt klimaændringerne bliver større end antaget for designet, vil omkostningerne primært være i form af potentielt større udgifter til vedligehold, skader på bagland og udskiftning af komponenter som er følsomme over for vand, som f.eks. elektroniske installationer. Det vil også være muligt at øge topkoten af den ydre perimeter omkring havnen, såfremt klimaændringerne bliver større end antaget for designet. Det vil dog umiddelbart ikke være muligt at øge højden af lavbroen og dæmninger til adgangsvejen.

For det konceptuelle design benyttes derfor et centralestimat for klimascenariet SSP2-4.5 i år 2130. Klimaatlasset, ref. /5/, har ikke specifikke informationer nær Tårs, hvorfor der i stedet benyttes værdier for det syddanske farvand nær Gedser, svarende til at havspejlet i år 2130 stiger med 75 cm i forhold til

middelvandstanden i 1990. I en senere fase kan det undersøges nærmere om der skal benyttes et værre klimascenarie for lavbroer og dæmninger.

Vandstandsstigningen skal endvidere korrigeres for landhævninger fra den forrige istid til år 2130. Landhævningerne vurderes til ca. 0,25 mm/år på baggrund af Figur 5.5 i ref. /7/. Dette svarer til en landhævning på 3,5 cm fra år 1990. Korrektionen inkluderes i designvandstande vist i afsnit 2.2.7.

2.2.7 Design bølge og vandstandsforhold

Undersøgelserne udført i 2018 for fremskudt havn Tårs indeholdt beskrivelser og scatterplots af samhørende værdier (korrelation) af signifikante bølgehøjder og vandstande baseret på 11 års simulering fra 2003 til 2013 for en lokation i nærheden af den fremskudte havn, se Bilag A. Det fremgår, at vandstanden er faldende for større signifikante bølgehøjder fra Ø til V (90 til 270°N), med højvandstande primært omkring 0,5 m DVR90, dog op til 1,2 m DVR90 fra SV og V. NV til NØ viser højere vandstande sammenlignet med de andre retninger, med vandstande op til 1,8 m DVR90.

Disse scatterplots anvendes til at vurdere designhændelser med en 10-års signifikant bølgehøjde og dennes samtidige højvandstand, se Tabel 2-5. Det samme er gjort for en 200-års signifikant bølgehøjde, se Tabel 2-6, dog er det for 60 og 90°N valgt at antage en fuld korrelation mellem højvandstanden fra 1872-stormen og 200-års signifikant bølgehøjde.

Da der kun er tale om 11 års data er værdierne for 200-års hændelsen behæftet med stor usikkerhed, hvorfor det i en senere fase anbefales, at korrelationen for vandstande og signifikante bølgehøjder for højere returperioder undersøges nærmere. Samtidig anbefales det at historiske storme undersøges nærmere.

Det bemærkes, at der angives to vandstande i Tabel 2-5 og Tabel 2-6:

- › Vandstand [m DVR90], som angiver den rene højvandstand i forhold til det vertikale referenceniveau DVR90 uden hensyntagen til landhævning eller havspejlsstigning.
- › Korr. Vandstand i år 2130 [m DVR90], som angiver højvandstanden i forhold til det vertikale referenceniveau DVR90 korrigeret for landhævning og havspejlsstigning som angivet i afsnit 2.2.6. Det bemærkes, at vandstande yderligere er korrigeret for den forventede havspejlsstigning mellem 1990 og 2008, m.u.t. af værdier markeret med *.

For tilfælde hvor lavvande er dimensionsgivende, f.eks. ved stabilitet af tåen for moler og stenkastringer, benyttes de ekstreme lavvande angivet i afsnit 2.2.5 uden korrektion for landhævning og havspejlsstigning.

Tabel 2-5 Design bølge- og vandstandsforhold for en 10-års returperiode (RP).

Design bølge- og vandstandsforhold RP = 10 år	Middelbølgeretning [°N]											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
H_{m0} [m]	1,8	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,2	2,2	2,2	1,5	1,3	1,2
T_p [s]	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	4,0	4,5	6,0	6,0	5,0	5,0	4,5
Vandstand [m DVR90]	1,0	0,7	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,9	1,0
Korr. Vandstand i år 2130 [m DVR90]	1,68	1,38	1,38	1,18	1,18	1,18	1,18	1,08	1,08	1,18	1,58	1,68

Tabel 2-6 Design bølge- og vandstandsforhold for en 200-års returperiode (RP). *Højvandstanden er baseret direkte på 1872-stormen, se afsnit 2.2.5.

Design bølge- og vandstandsforhold RP = 200 år	Middelbølgeretning [°N]											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
H_{m0} [m]	3,0	1,7	1,6	1,8	1,2	1,1	1,3	3,1	3,1	2,2	1,8	1,6
T_p [s]	7,0	5,5	5,5	5,5	4,5	4,5	5,0	7,5	7,5	6,0	5,5	5,5
Vandstand [m DVR90]	1,0	0,5	2,0*	2,0*	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,7	1,0
Korr. Vandstand i år 2130 [m DVR90]	1,68	1,18	2,72*	2,72*	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,08	1,38	1,68

2.2.8 Strøm

Normale strømforhold for år 2019 uden og med den fremskudte havn er beskrevet i ref. /8/. Der er ikke yderligere data tilgængeligt på nuværende tidspunkt, hvorfor strømhastigheden nær perimeterkonstruktionerne bør undersøges nærmere i en senere fase af projektet.

Det fremgår, at strømhastigheden umiddelbart uden for havnemundingen maksimalt er 2,36 m/s og 1,72 m/s i år 2019 for havnen orienteret hhv. mod NV og N.

2.3 Geotekniske data

Havbunden vurderes at bestå af moræneler, og de deraf udledte geotekniske data fremgår af Bilag A i ref. /9/.

2.4 Vandforsyning og spildevand

I forbindelse med etableringen af en fremskudt havn ved Tårs skal det sikres at:

- › der er tilstrækkelig vandforsyning til færgernes forbrug og den normale brug for landaktiviteter ved havnen.
- › der er mulighed for bortskaffelse af spildevand fra færgerne og terminalbygningen.

Molslinjen, som står for den nuværende drift af færgeruten, har oplyst følgende:

- › Vandforsyning
 - › Færgerne forsynes med ca. 25-35 m³ vand ad gangen, med et månedsforbrug på ca. 100-150 m³ pr. færge.
 - › Færgerne forsynes primært om natten i deres respektive havn, da det tager lang tid at fylde vandtanken.
 - › Den almindelig offentlige vandforsyning benyttes som forsyningskilde.
- › Spildevand
 - › Den månedlige spildevandsmængde er ca. 100-150 m³ pr. færge.
 - › Spildevandet pumpes direkte fra færgerne til offentlig kloak.
 - › Spildevandstanken tømmes løbende under driften, dog nogle gange også om natten for at tømme tanken helt.
 - › I forbindelse med en fremskudt havn ved Tårs forventes det, at al spildevand fra begge færger kan pumpes til offentlig kloak i Spodsbjerg

Disse oplysninger fra driften af de eksisterende færger bruges i konceptdesignet.

Vandforsyningen til den fremskudte havn skal kunne levere 0,5 l/s, svarende til at færgen skal tilkobles vandforsyningen ca. hver anden nat i 6 timer for at kunne supplere et månedligt forbrug på 150 m³.

2.5 Elforsyning

I forbindelse med etableringen af fremskudt havn Tårs skal der fremføres el til havnen. Med udgangspunkt i tidligere analyser, jf. ref. /10/ og ref. /11/, vurderes det, at der er behov for at fremføre kabler med en ladespænding på 10 kV.

Elforsyningen skal kunne dække behovet for følgende forbrug:

- › Opladning af elfærger i den situation, at de eksisterende færger ombygges eller at der indkøbes nye færger. Der skal benyttes en ladeeffekt på 11,6 MW, jf. ref. /11/, svarende til en samlet ladetid på 8 minutter.

- › Ladestandere til elbiler. Der forudsættes 15 ladestandere med en ladeeffekt på hver 100 kW, dvs. i alt 1,5 MW.
- › Installationer på land til pladsbelysning, navigationslys, billetteringsanlæg, informationstavler, ro-ro rampe og terminalbygningen.

Det vurderes, at elforsyningen skal dimensioneres for en samlet effekt på 14 MW for at dække den fremskudte havns behov.

Et detaljeret behov for elforsyning til landanlæggene skal undersøges nærmere i en senere fase af projektet.

3 Overordnet vurdering af færgehavnen

I det følgende beskrives undersøgelser og vurderinger foretaget af placering og orientering af færgehavnen og adgangsvejen. Endvidere diskuteres nedetid af færgehavnen med udgangspunkt i analyser foretaget for bølgeuro i havnen og besejling af havnen. Til sidst anbefales en overordnet placering og orientering af havnen ift. førnævnte vurderinger.

3.1 Placering af færgehavn

En fremskudt havn placeret ude i Langelandsbælt vil være væsentligt mere udsat for bølger, strøm og vind end de eksisterende havne i Spodsbjerg og Tårs, der begge er placeret langs kysten.

I den indledende forundersøgelse fra 2018, jf. ref. /12/, blev placeringen af den fremskudte færgehavn baseret på baggrund af den afstand en færge kan sejle fra Spodsbjerg på 22 min, svarende til en afstand på 8,9 km fra rampe til rampe, se Figur 1-1, og en forudsætning om at havnetiden (fortøjning, ilandkørsel og ombordkørsel) kunne optimeres fra 15 til 8 minutter, svarende til halvtimesdrift. Optimeringen af havnetiden er i analyserne vurderet som ikke realistisk, jf. ref. /13/, hvor sejltiden og alternativer til en fremskudt færgehavn beskrives nærmere. Sejltiden for færgerne påvirkes også negativt af den intense skibstrafik i Storebælt, hvilket kan give yderligere forsinkelser der skal indhentes.

I 2018 studiet blev havnens placering på en cirkel 8,9 km fra Spodsbjerg bl.a. vurderet på baggrund af at minimere påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet og med henblik på at have så kort en adgangsvej ud til havnen som mulig samtidig med at placere havnen på et område med mindst mulig vanddybde i forhold til den forudsatte sejllængde.

Hvis den fremskudte færgehavn rykkes længere ud i Langelandsbæltet, kommer den ud på dybere vand, hvorfor havnen i sig selv vil påvirke vandgennemstrømningen mere, samtidig med at det er nødvendigt med en længere adgangsvej bestående af lavbro/dæmning, som også vil øge påvirkningen af vandgennemstrømningen. Det vurderes derfor ikke muligt/realistisk at rykke den fremskudte havn ud på dybere vand i betragtning af den derved øgede påvirkning af vandgennemstrømningen og økonomiske omkostninger mod den sandsynligvis lave reduktion af sejltiden.

Det vurderes derimod muligt at flytte den fremskudte havn tættere mod land og ind på lavere vanddybder, se Figur 2-1, dog skal vanddybden mindst være ca. 5 m for sejlads med de eksisterende færger. Dette vil give en reduktion af den potentielle påvirkning af vandgennemstrømningen, dels fordi adgangsvejen vil blive kortere, og dels fordi havnen placeres i et område med lavere vanddybde og dermed mindre strømhastigheder. Samtidig vil de økonomiske omkostninger ved etablering af adgangsvej og den fremskudte havn blive reduceret. Rykkes havnen tættere på land vil sejltiden dog forlænges på grund af en øget sejllængde, men også da de eksisterende færger er nødt til at sænke servicehastigheden på grund af den

løbende reducerede vanddybde langs sejlruten (de eksisterende færger kan ikke sejle med fuld servicehastighed på vanddybder mindre end ca. 8 til 10 m).

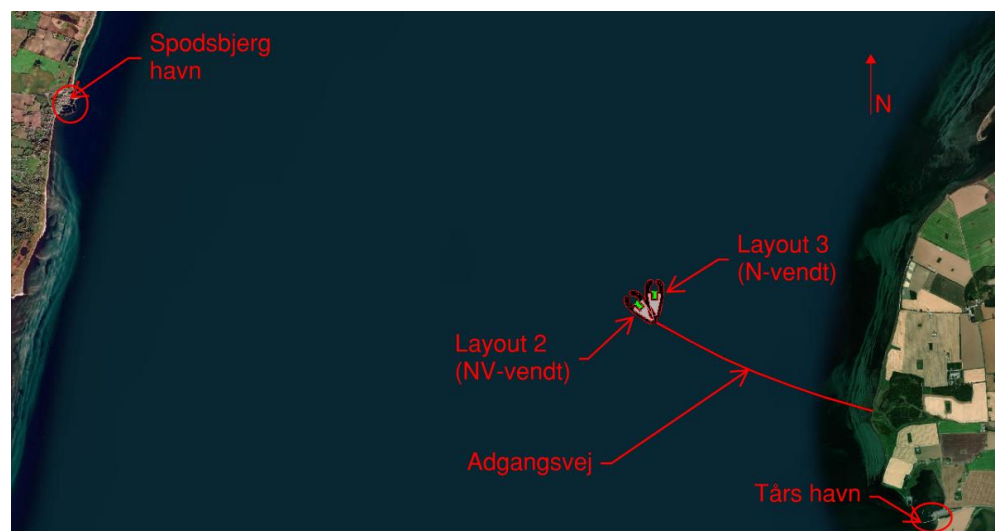
For at opnå den forventeligt kortest mulige overfartstid er placeringen af den fremskudte færgehavn, der blev benyttet i den indledende forundersøgelse i 2018, jf. /12/, fastholdt i analyserne svarende til at havnen placeres ca. 3,5 km ude i Langelandsbælt.

3.2 Orientering af færgehavn

Orienteringen af den fremskudte havn og dennes indsejling afhænger bl.a. af metocean forhold, såsom bølger, strøm og vind, da dette har en afgørende indflydelse på havnens potentielle nedetid i forbindelse med både bølgeuro inde i havnen og besejlingsforhold for færgerne. Samtidig er påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet også en vigtig faktor.

Spodsbjerg havn ligger lidt nord for den valgte placering af den fremskudte færgehavn, se Figur 3-1. Det er derfor ikke realistisk:

- › at havnen orienteres mod sydlige retninger, da dette vil øge sejltiden væsentligt, idet færgen først vil skulle syd for havnen og derefter dreje op mod nord.
- › at havnen orienteres mod vest, da dette vurderes at give den største påvirkning af vandgennemstrømningen, samtidig med at strømmen og dominerende bølger mere eller mindre vil være vinkelret på færgen ved besejling af havnen.



Figur 3-1 Skitse over valgt placering og mulig orientering af den fremskudte færgehavn mod NV (Layout 2) og N (Layout 3) og adgangsvejen. Den fremskudte færgehavn er placeret ca. 3,5 km ude i Langelandsbælt.

De mest sandsynlige orienteringer af den fremskudte færgehavn vurderes at være mod enten nordvest (NV, fremover kaldet Layout 2), som blev anvendt i den indledende forundersøgelse fra 2018, jf. ref. /12/, eller mod nord (N, fremover kaldet Layout 3), se Figur 3-1. Layout 1 præsenteres i ref. /2/ og svare til det i 2018 anvendte layout og beskrives ikke yderligere i denne rapport.

Begge orienteringer (Layout 2 og 3) har både fordele og ulemper i forbindelse med hhv. besejling af havnen, bølgeuro og påvirkning af vandgennemstrømningen, der kort kan opsummeres til:

- › Layout 2 er at foretrække i forhold til bølgeuro inde i havnen, idet bølgerne fra nordvest er begrænsede af det korte frie stræk (fetch) til Langeland, hvilket også giver en lille nedetid forårsaget af bølger. Nedetiden vil derimod være væsentlig påvirket af de udfordrende besejlingsforhold. Påvirkningen af vandgennemstrømningen er større end for Layout 3.
- › Layout 3 er at foretrække især med henblik på bedre besejlingsforhold og den mindre påvirkning af vandgennemstrømningen i forhold til Layout 2. Bølgeuro inde i havnen og nedetid forårsaget af dette er større end for Layout 2.

Fra Spodsbjerg til Layout 2 kan færgen sejle i en mere eller mindre direkte rute mod sydøst, hvorimod færgen til Layout 3 skal sejle mere østlig og derefter dreje mod syd for at besejle Layout 3, og det samme omvendt, når færgen sejler mod Spodsbjerg. Dette kan give en øget sejltid mellem Spodsbjerg og Layout 3 i forhold til Layout 2. En kaptajn, der tidligere har sejlet 18 år på færruten, har nævnt, at det er en fordel af have havnen orienteret mod nord for at få en mindre indfaldsvinkel ift. strømretningen.

Layout 2 vurderes at give en relativ stor påvirkning af vandgennemstrømningen ift. Layout 3, da den uforstyrrede strømretning tilnærmelsesvist er vinkelret på havnemundingen for Layout 2, jf. afsnit 2.2.8, hvorfor Layout 2 vil give en større modstand i Langelandsbælt, hvilket er negativt i forhold til miljømæssige aspekter. Layout 3 er orienteret med ca. 30° i forhold til den eksisterende strømretning i Langelandsbæltet, hvorfor påvirkningen af vandgennemstrømningen er mindre end for Layout 2.

Layout 2 vil samtidig "bøje" strømlinjerne rundt om havnen, så strømmen forstærkes og strømretningen drejes, så den er vinkelret på havnemundingen, jf. afsnit 2.2.8. Dette vil give en væsentlig udfordring for besejlingen af havnen, da en tværstrøm vil prøve at skubbe skibet væk fra havnemundingen, hvilket under højere strømhastigheder vil kræve en meget skæv indfaldsvinkel af færgen, som potentielt kan kræve en større havnemunding af sikkerhedsmæssige årsager. En større havnemunding er dog uønsket, da det vil give øget bølgeuro inde i havnen. Layout 3 vil i mindre grad "bøje" strømlinjerne rundt om havnen, da havnen er orienteret mere parallelt med den uforstyrrede strømretning, hvilket er en fordel i forhold til besejlingen, da strømmen enten vil presse skibet ind mod eller væk fra havnemundingen. Layout 3 kan samtidig give en lævirkning for strømmen foran havnemundingen på grund havnens indvirkning på strømlinjerne. Udover strømretningen, så er middel og den maksimale strømhastighed hhv. ca. 35% og 25% mindre for Layout 3 end for Layout 2, jf. afsnit 2.2.8.

Vinden er dominerende fra 210°N til 270°N med henblik på forekomsten af vindhastigheder over 12 m/s, som vurderes at være kritiske for besejlingsforholdene. Hvis der ses på vestlige vinde alene, vil forholdene derfor være mere eller mindre ens for Layout 2 og 3 under besejling. Forekomst af vindhastigheder over 12 m/s fra øvrige retninger er mere eller mindre i samme størrelsesorden, hvorfor disse

forhold også vil være mere eller mindre ens for Layout 2 og 3. Vinden alene kan derfor ikke benyttes til vurdering af færgehavnens orientering, men skal ses i sammenhæng med bølge og strømforhold. Besejlingsforhold og manøvresimuleringer er beskrevet nærmere i ref. /8/.

Den dominerende bølgeretning er 210°N med hensyn til både forekomst og bølgehøjder. Denne bølgeretning vurderes dog umiddelbart ikke at have nogen nævneværdig indflydelse på bølgeuro og nedetiden inde i havnen, da bølgerne som minimum skal diffraktere 90° ind gennem havnemundingen for Layout 2. Bølgerne fra nord er større end fra NV og derfor vurderes det, at bølgeuroen vil være mest kritisk for Layout 3, da der vil være frit indløb for bølger fra nord. En kaptajn, der tidligere har sejlet 18 år på færgeruten, har nævnt, at bølgerne generelt er af mindre betydning end vinden og strømmen.

3.3 Udformning af færgehavn og adgangsvej

I det følgende beskrives overvejelser og hensyn som er taget ved udformningen af færgehavnen, samt adgangsvejen.

3.3.1 Færgehavn

Ved vurdering af den fremskudte færgehavns udformning skal der tages hensyn til flere ting, bl.a. stoppelængde og manøvreforhold inde i havnen, påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbælt, bølgeuro inde i havnen og størrelsen af baglandet, som skal benyttes til terminalområde. En skitse af havneudformningen for Layout 3 fremgår af Figur 3-2.

Til sammenligning med udformningen af havnen i den indledende forundersøgelse fra 2018, jf. ref. /12/, er havnens ydre perimeter blevet tilpasset, så den er mere ellipseformet og strømlinet, for at reducere påvirkningen af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet mest muligt. Ændringen af den ydre perimeter har også til formål at forbedre manøvreforholdene inde i havnebassinet af hensyn til anløb af havnen under udfordrende vejforhold, hvor færgerne vil skulle anløbe med en vinkel for at kunne komme ind i havnen og derefter have behov for at rette op inde i havnen. Bredden fra kronekote til kronekote er ca. 200 m inde i havnen, hvor den i 2018 studiet var ca. 120 m, hvilket er vurderet til at ville give en for stor nedetid med henblik på de potentielt vanskelige besejlingsforhold. Det bredere havnebassin har også til formål at reducere bølgeuroen inde i havnen, da indkommende bølger diffrakterer mere ud til siderne. Havnemundingen er 60 m bred svarende til ca. tre gange færgebredden, som vurderes at være acceptabelt for anløb af færger. Dette er en reduktion på 10 m i forhold til 2018 studiet. Reduktionen er også gjort med henblik på bølgeuro inde i havnen, hvor en smallere åbning giver mindre bølgeuro inde i havnen. Længden af havnen er endvidere øget med 50 m for at opnå et længere havnebassin og større bagland.

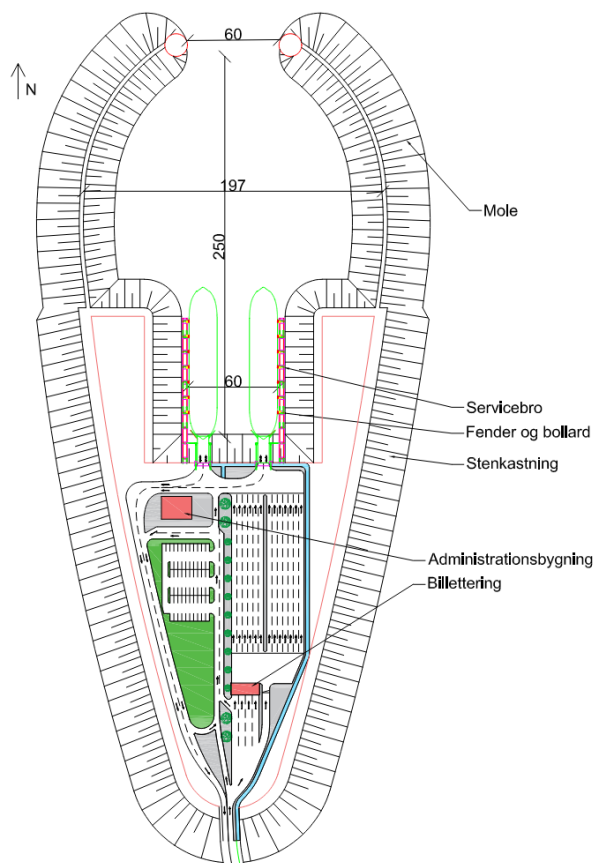
Det foreslås endvidere, at havnen anlægges med to faste færgelejer til daglig brug, se Figur 3-2, hvor der i 2018 studiet var lagt op til ét fast færgeleje og ét nødleje. At anlægge to faste færgelejer har til formål at gøre besejlingen inde i havnen nemmere, da der frit kan vælges mellem, hvilken kaj der lægges til ved afhængigt af

vejrforholdene, og dermed gives en øget fleksibilitet og reduceret nedetid. Dette er især af betydning for en havn placeret ude i Langelandsbælt og dermed mere udsat for vejrforholdene.

Baglandet bag ro-ro ramperne er blevet øget, hvilket har givet bedre plads til terminalområdet, som har gjort det muligt at lave et mere optimalt anlæg til afvikling af trafik ved havnen i forhold til 2018 studiet. Terminalområdet beskrives nærmere i afsnit 4.

Havnens ydre perimeter bliver opbygget af hhv. moler og stenkastninger bestående af en blanding af sprængstensmateriale og sand. Disse konstruktionstyper benyttes bl.a. på grund af den lave vanddybde og dermed også relative lave anlægskostninger sammenlignet med andre alternativer som f.eks. sænkekasser. Molerne (sprængstensmaterialet) har også det formål, at de absorberer/dissiperer bølgeenergi og dermed reducerer bølgehøjen og nedetiden i havnen. Det samme gør sig gældende foran havnemundingen, hvor der tiltænkes anlagt en tømmerkiste i hver side, som også har en vis absorberende effekt på bølgerne, som hjælper med at reducere reflekterende bølge ift. hvis der blev etableret en betonsænkekasse. Et molehoved bestående af en tømmerkiste med lodrette sider giver endvidere bedre besejlingsforhold, end hvis molehovedet er udført som en skrånende stenkastning, hvor det ikke er muligt at se hvor konstruktionen ligger under vand.

Konstruktionstyperne som benyttes til hhv. havnens ydre perimeter, indre perimeter, herunder kajanlæg og krav til disse, beskrives nærmere i afsnit 5 og 6.



Figur 3-2 Skitse af den fremskudte færgehavn, Layout 3 (orienteret mod nord).

3.3.2 Adgangsvej

Det er nødvendigt at anlægge en ca. 3,5 km lang adgangsvej fra Lolland og ud til den fremskudte havn. Adgangsvejen kan etableres som hhv. en dæmning opbygget af sprængstensmateriale og sand, som en lavbro eller en kombination af dæmning og bro.

Valg af typen af adgangsvej har en indflydelse på flere ting, såsom påvirkning af vandgennemstrømningen, sedimenttransport ved kysten, besejlingsforhold og anlægsomkostninger.

En dæmning på hele strækningen vil helt blokere for den eksisterende sedimenttransport langs kysten, hvilket vil medføre aflejring af sediment ved dæmningslandfæste, samtidig med at det vil have indflydelse på sedimentbudgettet for kysten hhv. nord og syd for dæmningen. En ren dæmning vil også skabe den største påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbæltet, hvilket er uønsket på grund af eventuelle indvirkninger på økosystemet lokalt og i Østersøen. En fuldt blokerende dæmning vil samtidig tvinge vandet rundt om havnen og direkte forbi havnemundingen, hvilket vil give komplicerede besejlingsforhold pga. den stærkt forøgede strømhastighed og ændringer af strømretningen lokalt og dermed give en højere nedetid. Det vurderes ikke muligt/acceptabelt med en dæmning alene, med henblik på indflydelsen på de miljømæssige aspekter og komplicerede besejlingsforhold.

Adgangsvejen kan også etableres alene som en lavbro, hvilket vil give de bedste forhold med henhold til påvirkning af vandgennemstrømningen, sedimenttransport ved kysten og besejlingsforhold, da broen funderes på pæle for hver ca. 25 m, jf. ref. /9/, som vil medføre en lav påvirkning af strømmen.

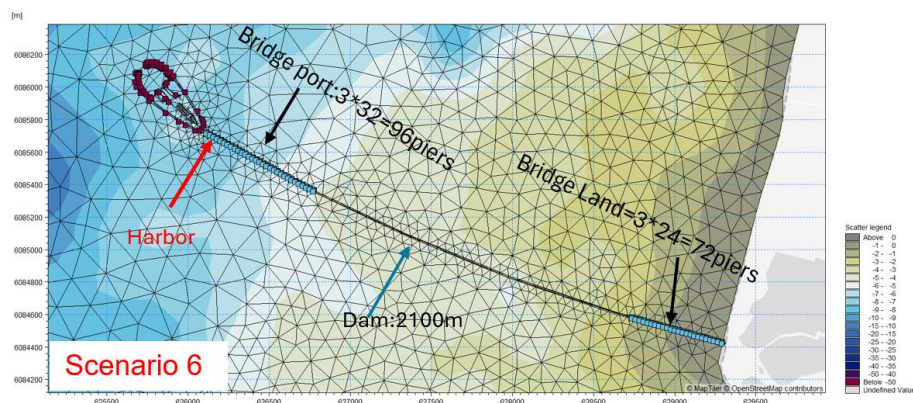
En lavbro forventes at have en større omkostning pr. meter end en dæmning, derfor vurderes det fordelagtigt, at adgangsvejen etableres som en kombination af dæmning og lavbroer.

Fra land anbefales det, at der etableres en lavbro ud til en vanddybde på ca. 2 m, hvilket omtrent svarer til den aktive dybde for sedimenttransport. Den primære sedimenttransport sker mellem land og den aktive dybde, hvor bølger og strøm påvirker kystprofilen. En lavbro ved land vil tillade størstedelen af sedimenttransporten langs kysten at fortsætte som hidtil, da lavbroen vil have minimal påvirkning på vandgennemstrømningen.

For at påvirke besejlingsforholdene til den fremskudte havn mindst mulig, samtidig med at vandgennemstrømningen på dybere vand bibeholdes så intakt som mulig (det er her størstedelen af vandgennemstrømningen forekommer på de 3.500 m), anbefales det, at der etableres en lavbro fra den fremskudte havn og et stykke ind mod land.

Udgangspunktet er en løsning med en kombination af to broer med længder på 600 m (fra land ud til en vanddybde på 2 m) og 800 m (fra den fremskudte havn) og en 2100 m dæmning med en samlet længde på ca. 3,5 km mellem fastlandet og den fremskudte havn, se Figur 3-3. Dette med henblik på at balancere påvirkning

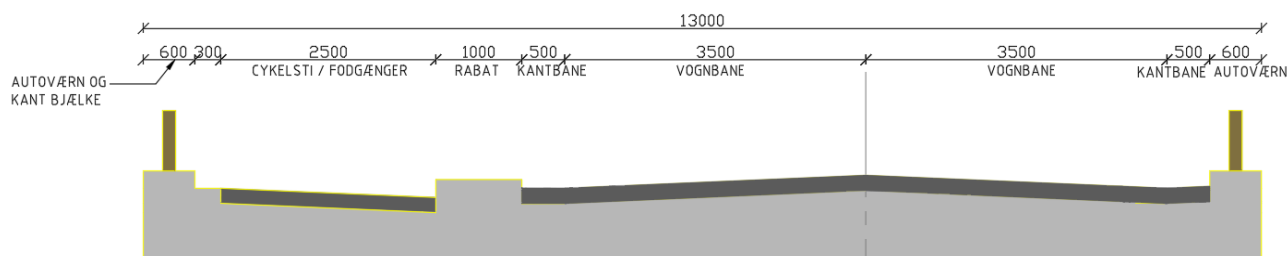
af miljøet, besejlingsforhold og anlægsomkostninger. I en senere fase kan der optimeres på forholdet mellem længde af dæmning og lavbro.



Figur 3-3 Løsning med en kombination af to broer og en dæmning

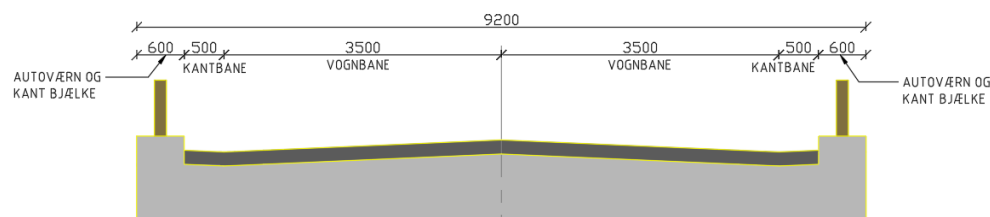
Dæmningen etableres på en vanddybde mellem 2 og 5 m, hvilket fortsat vil give en vis påvirkning af vandgennemstrømningen og forøgede strømhastigheder lokalt ved overgangene mellem dæmning og lavbroer.

Adgangsvejen etableres som udgangspunkt med to vognbaner og en kombineret cykelsti/fodgængersti, se Figur 3-4, som i 2018 studiet, jf. ref. /12/. Det giver en samlet bredde af vejtracéet på 13 m. Broen kan også udføres med en overbygning bestående af en kassedrager.



Figur 3-4 Lavbro med to vognbaner og en kombineret cykelsti/fodgængersti, samlet bredde er 13 m. Tværsnit set mod øst.

Behovet for en kombineret cykelsti/fodgængersti er endnu uvist og etableringen af en lavbro uden cykelsti kan give en væsentlig reduktion af anlægsomkostningerne. Derfor kan et alternativ være en lavbro kun med to vognbaner, se Figur 3-5, som giver en samlet bredde af vejtracéet på 9,2 m.



Figur 3-5 Lavbro med to vognbaner og uden kombineret cykelsti/fodgængersti, samt bredde er ca. 9,2 m.

Det er også nødvendigt at forbinde adgangsvejen ud til den fremskudte havn til den øvrige infrastruktur på land. Her henvises der til beskrivelsen i ref. /12/, hvor en tilslutningsvej mellem landføringen og den eksisterende rute 9 beskrives.

3.4 Nedetid af havnen

I forbindelse med etableringen af den fremskudte færgehavn er det vigtigt at undersøge nedetiden af havnen, dvs. hvor stor en del af tiden færgerne ikke kan benyttes. Til vurdering af dette anvendes et kriterie, at nedetiden af Spodsbjerg-Tårs forbindelsen ikke samlet set må overstige ca. 1% af tiden svarende til aftalen med den nuværende færgeoperatør.

Nedetid er primært forårsaget af dårligt vejrforhold, men også af nedbrud af færgerne. Nedbrud af færgerne på Spodsbjerg-Tårs ruten er generelt begrænset og omtales derfor ikke nærmere. Vejrforholdene er årsag til to typer nedetid:

- › Bølgeuro inde i havnen, hvor bølgerne ved kajen bliver for store til at en sikker drift af færgerne kan foregå.
- › Besejlingsforhold i forhold til, at det ikke er muligt/forsvarligt at anløbe havnen under udfordrende vejrforhold, f.eks. kraftig vind og strøm, eller lav sigtbarhed pga. tåge og sne.

I den indledende forundersøgelse i 2018, jf. ref. /12/, har Danske Færger A/S oplyst, at signifikante bølgehøjder op til 0,5 m ved færgelejet er acceptabelt i forhold til at fortsætte driften af færgeruten. Dette rimelige kriterie anvendes også i disse analyser.

De to færger på Spodsbjerg-Tårs ruten er forholdsvis stive, og ved bølger fra SV for vind større end 14 m/s giver det anledning til at løse genstande skal fastgøres. For bølger forårsaget af vind større end 16 m/s må sejladsen indstilles.

Nedetid forårsaget af bølgeuro inde i havnen og på grund af besejlingsforholdene er nærmere beskrevet i Bilag B og er opsummeret i afsnit 3.4.1.

3.4.1 Sammenfatning

For Layout 2 (NV-vendt havn) vurderes det, at havnens orientering mod NV medfører, at besejlingsforholdene er ugunstige i forhold til strømhastighed og retning, til at kunne opretholde en acceptable nedetid og dermed stabil drift af færgeruten i forhold til det anvendte kriterie for nedetid. Dette på trods af, at nedetiden fra bølgeuro er estimeret til ca. 0,05%, men da nedetiden for anløb af havnen er estimeret til ca. 2,4%, er den estimerede nedetid fortsat væsentlig over 1%. På dette grundlag og med kaptajnens udtalelser om risikoen ved anløb med tværstrøm, kan det derfor ikke anbefales, at den fremskudte havn anlægges med havnemundingen mod NV. På grund af udfordringer med den NV-vendte havn under manøvresimuleringerne, blev fokus flyttet over på Layout 3.

For Layout 3 (N-vendt havn) er nedetiden estimeret til samlet 1,7% af tiden, som er forårsaget af bølgeuro med 0,4% og manøvresimuleringer med 1,3%. En nedetid på 1,7% er over kriteriet på 1%, det vurderes dog at nedetiden vil kunne reduceres ved mere detaljerede analyser og "full mission" manøvresimuleringer. De ekstra analyser og simuleringer vil primært kunne reducere nedetiden forårsaget af besejlingsforhold.

Nedetiden for Layout 3 forårsaget af bølgeuro forventes at være størst i vinterhalvåret med baggrund i Tabel D-1, hvor det fremgår at bølgerne fra nordlige retninger er større om vinteren end om sommeren.

Nedetiden på 0,4% forårsaget alene af vindhastigheder for både Layout 2 og 3 forekommer primært uden for sommerhalvåret, da der ingen forekomst er af vindhastigheder over 16 m/s i perioden april til og med august, se Tabel D-2.

Nedetiden relateret til besejlingsforhold vurderes at være mindre i sommerhalvåret sammenlignet med vinterhalvåret, da forekomsten af større vindhastigheder er størst i vinterhalvåret, samtidig med at strømhastighederne har tendens til at være størst i særlig september og december, sammenlignet med maj og juni, se Tabel D-3 og Tabel D-4.

Generelt vurderes det at nedetiden vil være mindre i sommerhalvåret og størst i vinterhalvåret for både Layout 2 og 3.

Overordnet set er det på baggrund af de foretagne analyser vurderet, at Layout 3 er mest optimalt i forhold til nedetid med henblik på, at det forventes, at der kan optimeres mest på nedetiden for Layout 3 i forhold til Layout 2 i en senere fase. Samtidig har kaptajnen påpeget, at anløb af Layout 3 generelt føltes nemmere og mere sikkert end for Layout 2 med den stærke tværstrøm.

Nedetiden og eventuelle optimeringer af f.eks. havneudformning ift. bølgeuro vs. besejlingsforhold, samt mere dybdegående analyser af samtidigheden af strøm og vind, bør undersøges nærmere i en senere fase af projektet.

3.5 Anbefalet havneudformning og orientering

For at opnå den forventeligt kortest mulige overfartstid er placeringen af den fremskudte færgehavn, der blev benyttet i den indledende forundersøgelse i 2018, jf. /12/, fastholdt for nærværende analyser.

Udgangspunktet er at adgangsvejen anbefales etableret med 600 m lavbro fra land, herefter 2.100 m dæmning og til sidst 800 m lavbro ud til den fremskudte havn, med henblik på at balancere påvirkning af miljøet, besejlingsforhold og anlægskostninger. I en senere fase kan der eventuelt optimeres på forholdet mellem længde af dæmning og lavbro.

Det anbefales, at den fremskudte havn orienteres mod nord (Layout 3, se Figur 3-6), med henblik på at det giver en lavere påvirkning af vandgennemstrømningen i Langelandsbælt. Samtidig er besejlingsforholdene mere favorable for Layout 3 i

forhold til Layout 2 (orienteret mod nordvest). Endvidere har kaptajnen, der har udført manøvresimuleringerne, udtalt at særligt tværstrømmen ved Layout 2 er udfordrende og er årsag til høj risiko ved anløb til havnen.

Nedetiden for Layout 3 er estimeret til 1,7%, jf. afsnit 3.4, hvilket er over det anvendte kriterie på 1%. Nedetiden forventes at kunne reduceres ved i en senere fase af projektet at foretage "full mission" manøvresimuleringer samt etablere et større datagrundlag for særligt strømmen og nærmere analyser af samtidigheden af strøm, vind og bølger. Det skal pointeres at den fremskudte havn etableres ude i Langelandsbælt, hvor vejrforholdene er værre end for de eksisterende havne, og det derfor kan være nødvendigt at skulle acceptere en større nedetid af havnen.

En scoring med trafiklysfarver er foretaget for hver af de nævnte parametre i indeværende afsnit for Layout 2 og 3, se Tabel 3-1.

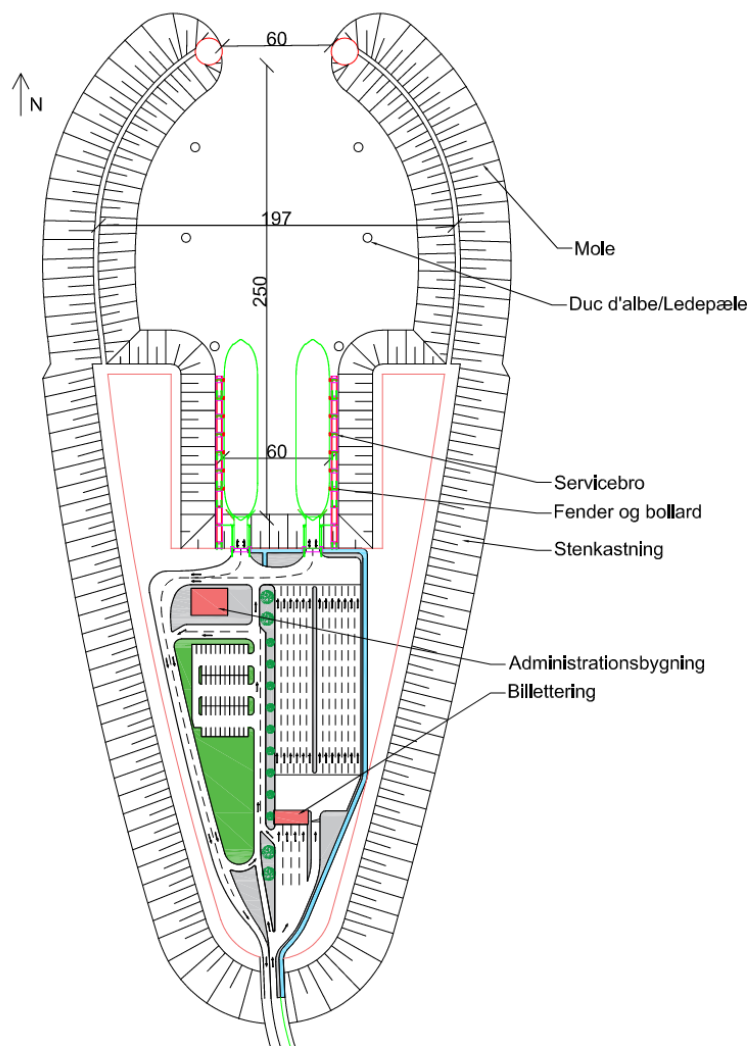
Tabel 3-1 Scoring af Layout og Layout 3 relativt til hinanden. Grøn = bedre, gul = middel og rød = dårligere.

Parameter	Layout 2 - havn mod nordvest	Layout 3 - havn mod nord
Besejlingsforhold		
Bølgeuro		
Nedetid		
Påvirkning af vandgennemstrømning		

For at holde nedetiden for bølgeuro på et lavt niveau, er det nødvendigt, at havnens indre konstruktioner udføres med bølgeabsorption svarende til bølgebrydere og stenkastringer, jf. bilag B.1. Konstruktionstyperne som benyttes til hhv. havnens ydre perimeter, indre perimeter, herunder kajanlæg, beskrives nærmere i afsnit 5 og 6 for både Layout 2 og 3.

Kaptajnen, som har udført manøvresimuleringerne, har anbefalet, at molehovederne etableres med fendere, samt dimensioneres i forhold til at færgerne kan læne sig op ad dem. Dette vil give større valgmulighed i forhold til hvilken strategi, der benyttes ved anløb af havnen, samtidig med at det vil reducere risikoen under navigation.

Kaptajnen har desuden anbefalet, at der etableres duc d'albes (ledepæle) inde i havnen. Ledepælene vil have til formål at beskytte færgerne mod at sejle ud i havnens ydre moler under f.eks. kraftig vind eller strøm, hvor færgerne anløber havnen med en stor vinkel. Samtidig vil det også give mulighed for særligt ved kraftig tværwind at lægge sig op ad ledepælene ved anløb og på vej ud af havnen, og på den måde forbedre besejlingsforholdene.



Figur 3-6 Skitse af den fremskudte færgehavn, Layout 3 (orienteret mod nord) inklusive placering af duc d'albes.

3.5.1 Permanente arealer

Ved etablering af den fremskudte havn estimeres det, at selve havnen (øen) i den permanente tilstand vil have et fodaftryk på havbunden på ca. 115.000 m² inkl. havnebassinet.

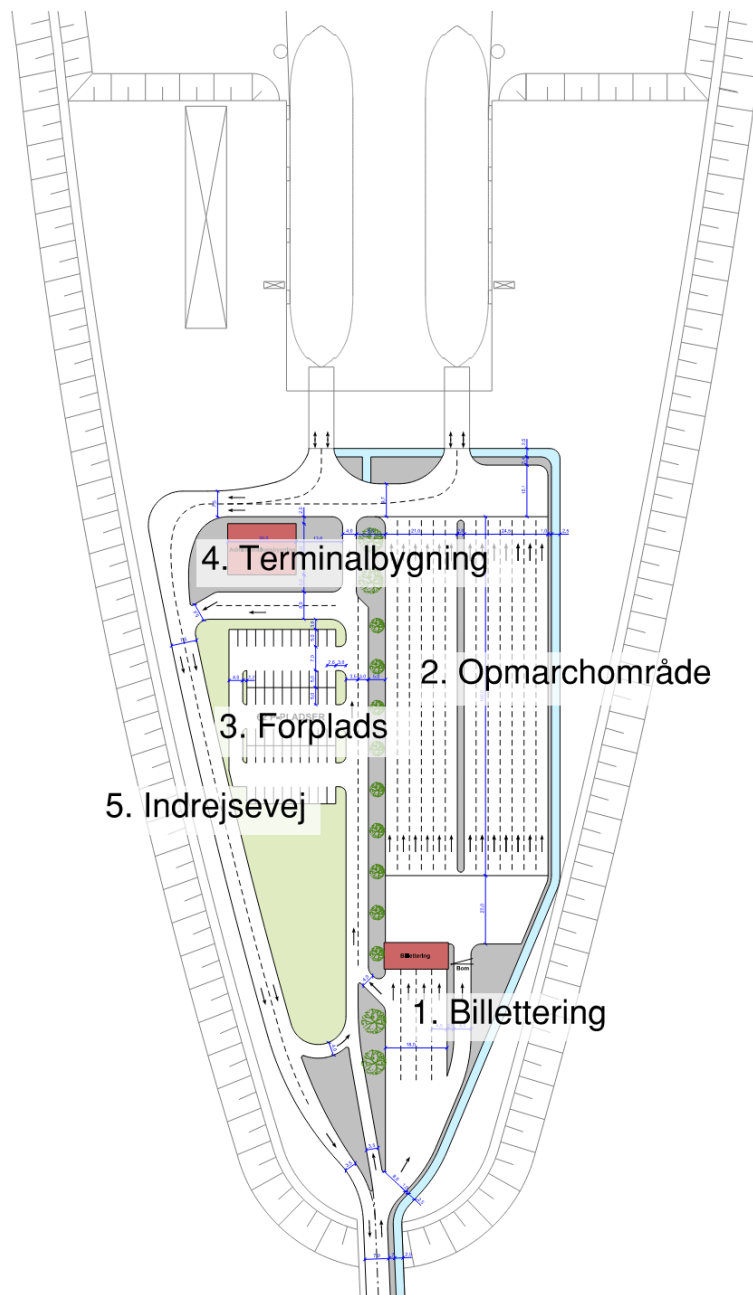
Det estimeres, at de 2.100 m vejdamning vil have et permanent fodaftryk på havbunden på ca. 160.000 m². Under forudsætning af, at lavbroen pælefunderes, så estimeres det, at det permanente fodaftryk på havbunden vil være ca. 500 m². Såfremt lavbroerne funderes på fundamenter nedgravet i havbunden, vil det permanente fodaftryk ca. være 5.000 m².

Midlertidige arealer i forbindelse med konstruktion af lavbroerne fremgår af ref. /9/.

4 Terminalområde

Ved etableringen af den fremskudte havn er det vigtigt, at der etableres et velfungerende terminalområde, så både kørende og cyklende let og sikkert kan komme om bord og af færgen. Det nye terminalområde, se Figur 4-1, er indrettet med udgangspunkt i det nuværende terminalområde i Tårs og består af følgende elementer:

- 1 Område til billettering
- 2 Opmarchområde til udrejsende køretøjer
- 3 Forpladsområde med mulighed for parkering og afsætning
- 4 Terminalbygning
- 5 Indrejsevej fra færgelejer



Figur 4-1 Planoversigt over terminalområdet for den fremskudte havn.

4.1 Billettering

Trafik til færgerne skal ved ankomst til den kunstige ø holde til højre for at komme ind i billetteringsområdet. Dette består af et overdækket område med automater for check-in og et kø-område. Kø-området skal sikre at holdende biler til check-in ikke blokerer bagud på broen og stopper trafik til forpladsområdet.

I disponeringen er der vist 4 baner med automater. Antallet skal i en senere fase verificeres i forhold til forventet ankomstfordeling af biler til færgerne og tidsforbrug ved check-in. Kø-området rummer plads til ca. 30 personbiler.

Som grundlag for udformningen af vejanlægget har dimensionerende køretøj været modulvogntog (MVT). Fra billetteringsområdet er der vist en adgangsvej til opmarchområdet uden om de overdækkede automater. Vejforbindelsen kan benyttes af specialkøretøjer, der på grund af højde eller bredde ikke kan benytte adgangen gennem automaterne.

Cyklister, der ankommer til terminalområdet fra broen, fortsætter på den dobbeltrettede cykelsti øst om billetteringsområdet frem til færgelejerne og terminalbygningen. Billettering forventes at foregå i særskilt automat i nærheden af billetteringsanlægget.

4.2 Opmarchområdet

Opmarchområdet rummer i alt 1.365 m opmarch, svarende til ca. 225 personbiler. De 13 opmarchbaner er 3,5 m brede opdelt i 2 områder af en gennemgående helle med plads til belysningsmaster og andet udstyr.

Manøvrearealet mellem opmarchområdet og færgeklapper har en bredde, der sikrer, at MVT har den nødvendige plads til at kunne benytte begge færgelejer. Der kan være behov for mindre justeringer i afmærkningen omkring de opmarchbaner, der forventes at blive anvendt til MVT.

4.3 Forplads

Fortsætter man efter broen ligefrem ankommer man til forpladsen. Her er mulighed for parkering og afsætning. På forpladsen er vist ca. 60 p-pladser. Der skal efterfølgende indrettes et antal handicappladser til både almindelige personbiler (3,5x5m) og kassevogne (4,5x9m) samt et antal pladser med ladestandere for elbiler.

Langs den brede helle, der adskiller forpladsen fra opmarchområdet, er der vist en ca. 100 m lang afsætningsbane, som kan benyttes af både personbiler og turistbusser. En del af afsætningsbanen nærmest terminalbygningen kan reserveres til taxi.

Den brede helle kan benyttes til ophold og møbleres, så den kan benyttes af både rejsende fra opmarchområdet og forpladsen.

Udfor terminalbygningen er vist en busholdeplads med plads til 2 busser.

Fra forpladsen er der også vist en adgangsvej frem til området ved færgehavnen og færgelejerne.

4.4 Terminalbygning

På terminalområdet er vist et areal til en terminalbygning mellem forpladsområdet og færgerne. Størrelsen på bygningen er ikke kendt og kan efterfølgende justeres.

Fra terminalbygningen er der adgang på terræn til færgerne.

4.5 Indrejsevej

For at sikre hurtig tømning af færgerne er indrejsevejen udformet med 2 kørespor fra færgeklappen og frem til broen - en strækning på ca. 200 m. Bredden på færgerampen giver dog nogle begrænsninger, så det kun er muligt at tømme og fylde personbiler i 2 rækker – måske en lastbil og personbil samtidig. 90 grader svinget på indrejsevej er dimensioneret således, at to sættevogne (SVT) kan køre i land samtidig.

Kørekurver for biler, busser, sættevogntog (SVT) og modulvogntog (MVT) er vist i Bilag B.

Fra indrejsevejen er der mulighed for at svinge ind på forpladsen.

Indrejsende cyklister skal benytte den dobbeltrettede cykelsti, der er ført frem til færgelejerne øst om terminalområdet.

4.6 Oversigt over specifikationer

Nedenfor er vist en oversigt med antagne specifikationer for det nye terminalområde.

Aktivitet	Antal
Billettering	
Automater til check-in	4
Kø-område	30 PE
Opmarchområde	
13 baner	1.365 lane-m
Bredde opmarchbaner	3,5 m
Forplads	
Parkering	60 pladser
Afsætning / taxi	100 m
Busholdepladser	2 stk.
Terminalbygning	
Størrelse og funktioner ukendt	
Indrejsevej	
2 sporet indrejsevej	ca. 200 m lang strækning før broen

5 Kajanlæg og bagland

5.1 Topkote af bagland

Topkoten for kajanlægget og baglandet vurderes på baggrund af en 200-års designvandstand korrigeret for havspejlsstigninger og landhævninger, og tillagt 75 cm af hensyn til bølgeuro inde i havnen til:

$$> 2,0 \text{ m DVR90} + 0,72 \text{ m} + 0,75 \text{ m} \sim +3,5 \text{ m DVR90}$$

Til sammenligning svarer dette ca. til vandstanden under 1872-stormen fremskrevet til år 2130 tillagt $1,5 \times H_{m0,red}$ inde ved kajen (H_{m0} reduceret iht. bølgeurokoefficienter).

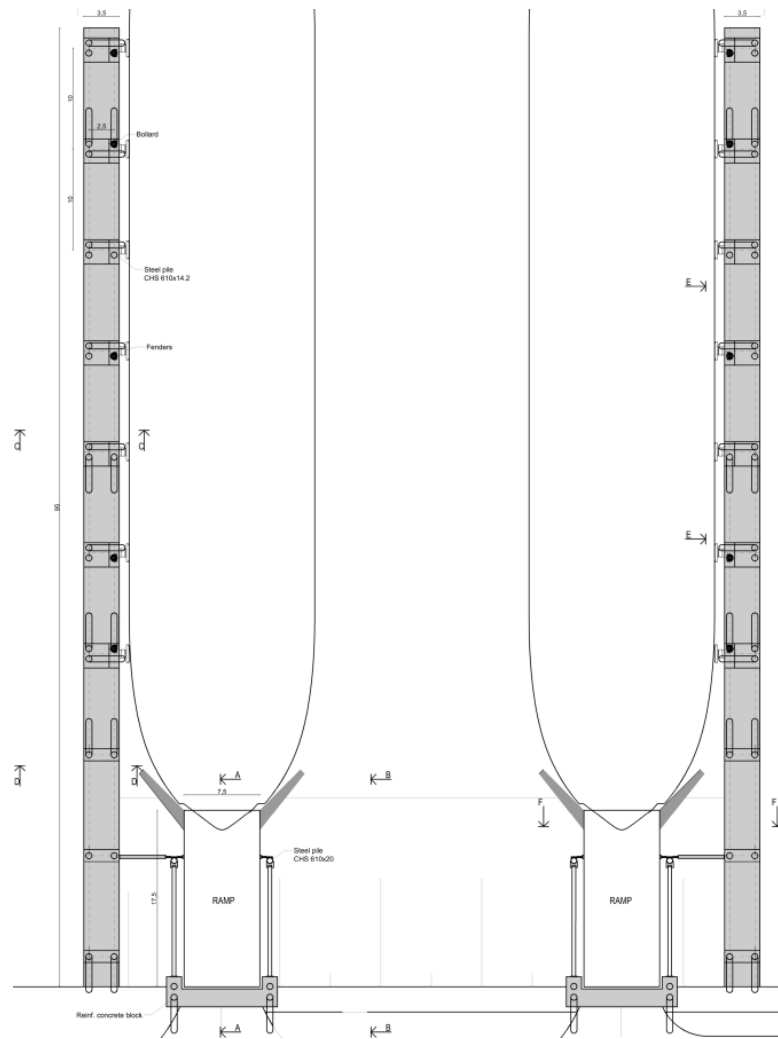
5.2 Kajanlæg

Det er nødvendigt med bølgeabsorption langs det indre havnebassin, svarende til en stenkastning for at afhjælpe bølgeuroen og reducere nedetiden til et acceptabelt niveau, jf. diskussionen i afsnit 3.4. Derfor vil det ikke umiddelbart være muligt at etablere en typiske kajkonstruktion med spunsvægge og ankre. Alternativt kan der etableres et pæledæk med en stenkastning bygget ind mellem pælene for at bibeholde størrelsen af baglandet samtidig med at den nødvendige bølgeabsorption opnås. Et pæledæk er dog relativt dyrt og etableringen af stenkastningen mellem pælene besværlig.

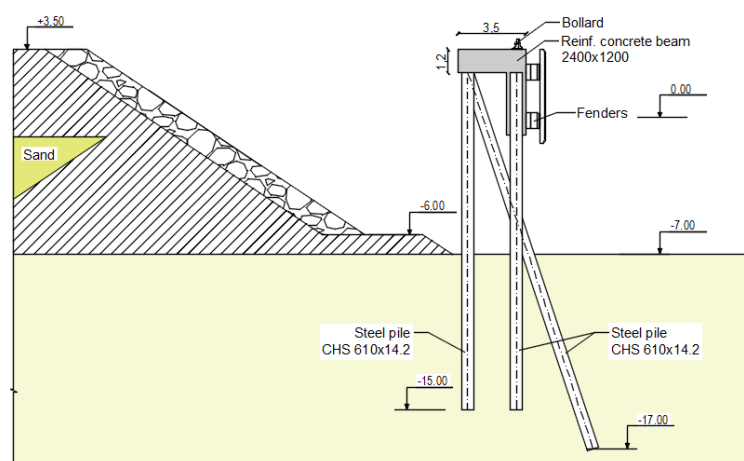
Det foreslås at etablere en mindre servicebro i hver side af det indre havnebassin, se Figur 5-1. Servicebroen opbygges af betonbjælker understøttet af stål-pæle og mellem betonbjælkerne monteres prefab-betonplader. Et alternativ til prefab-betonplader kunne være en bro af stålriste. Et typisk tværsnit af servicebroen ved en understøtning er vist på Figur 5-2, og en opstalt af servicebroen er vist på Figur 5-3.

Fendre og pullerter skal bruges når færgen lægger til og forankres, disse monteres hhv. på siden af pælene/dækket og oven på dækket. Understøtninger og fendere placeres for hver 10 m, hvor der etableres en tværbjælke til overførsel af kræfter. Der placeres 5 pullerter på hver servicebro. Begge servicebroer er 95 m lange og 3,5 m brede og giver adgang for mindre køretøjer ifm. vedligeholdelse. Det reelle behov og brug af servicebroerne bør undersøges nærmere i en senere fase for at evaluere muligheden for at optimere på servicebroen.

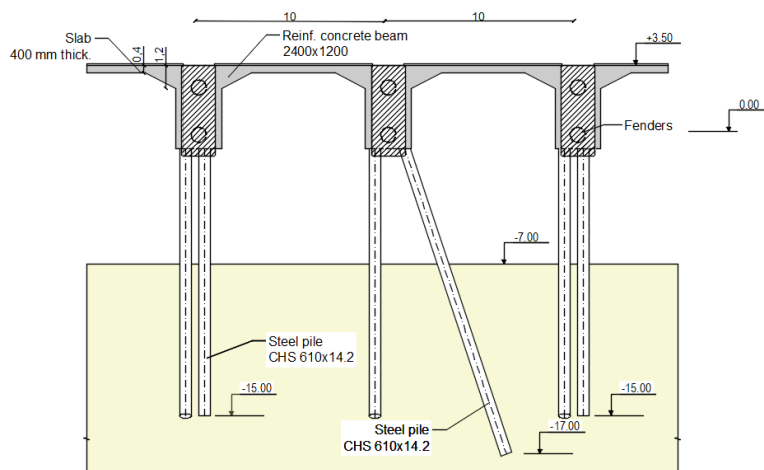
For at have tilstrækkelig bølgeabsorption etableres stenkastninger rundt langs hele det indre havnebassin, jf. Figur 3-6. Stenkastningerne trækkes tilbage fra servicebroen for at holde konstruktionerne adskilte, bl.a. af hensyn til anlægsfasen, se Figur 5-2. Dette vil dog reducere størrelsen af baglandet bag servicebroen, hvilket ikke anses som et problem, da der fortsat vil være tilstrækkelig plads til f.eks. senere etablering af faciliteter til opladning af elektriske færges, samtidig med at terminalområdet er uændret.



Figur 5-1 Planoversigt over kajnlægget.



Figur 5-2 Snit C-C. Typisk tværsnit i servicebroen ved en understøtning.

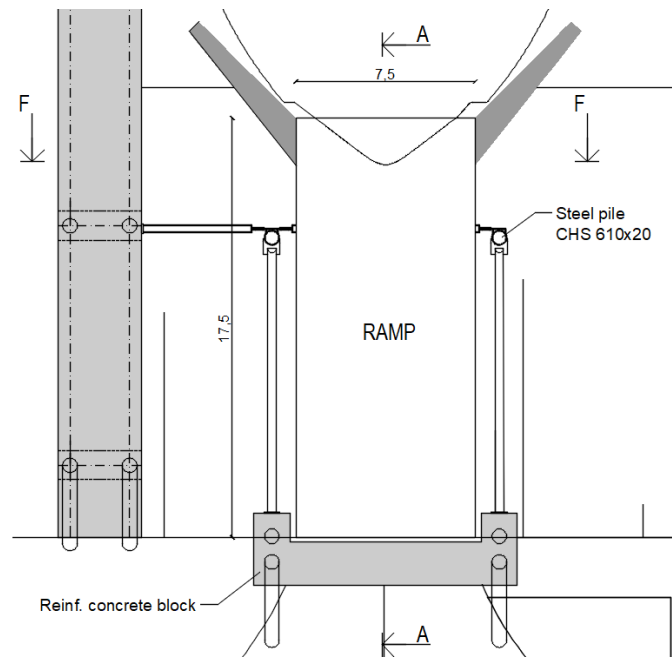


Figur 5-3 Snit E-E. Opstalt af servicebroen.

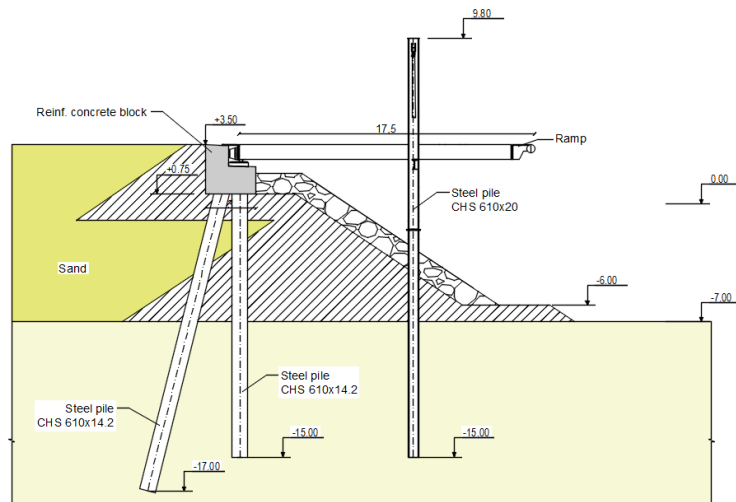
5.3 Ramper

Der etableres to hydrauliske ro-ro ramper i bunden af det indre havnebassin, én i hver side. Rampesystemet består af en ro-ro rampe til på- og afkørsel af færgerne. Rampen er i stål med en størrelse på 17,5 x 7,5 m (svarende til den eksisterende rampe i Tårs Havn) og understøttes af et charniere system i en betonkonstruktion, der etableres i baglandet for enden af det indre havnebassin. Betonkonstruktionen funderes på pæle. Figur 5-4 viser en plan over rampesystemet med tilhørende understøtninger. Figur 5-5 og Figur 5-6 viser et lodret tværsnit (Snit A-A) og opstalt (Snit F-F) af rampesystemet.

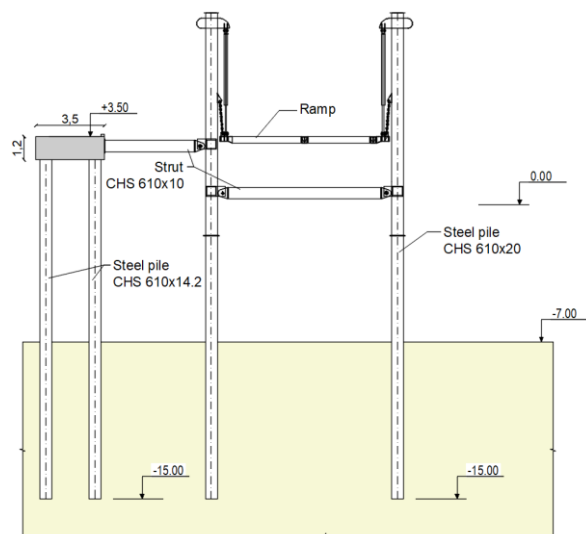
Ro-ro rampen kan justeres i højden via hydrauliske cylindere, som understøtter rampen ude i vandet. De hydrauliske cylindere ophænges i en rammekonstruktion med horisontal forbindelse ind til betonkonstruktionen ved baglandet. Rammekonstruktionen funderes på pæle. Rammekonstruktionen forbindes også ud til den langsgående servicebro/kaj for at hjælpe med optagelse af horisontale kræfter og dermed skabe et mere robust system. Ro-ro rampen påmonteres anløbsfendere for at hjælpe med at guide færgen på plads, når denne lægger til ved kajen.



Figur 5-4 Plan af rampesystemet.



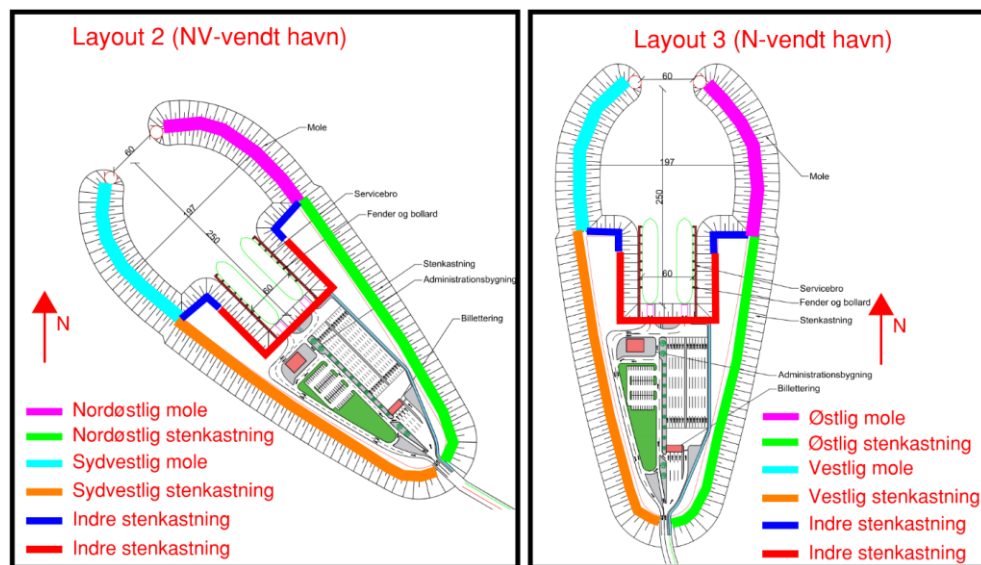
Figur 5-5 Snit A-A, se Figur 5-4. Vertikalt snit i rampesystemet og bagland.



Figur 5-6 Snit F-F, se Figur 5-4. Opstalt af rampesystemet og snit i servicebro.

6 Konceptdesign af moler, stenkastninger og dæmning

Et konceptdesign af den fremskudte havns perimeterkonstruktioner bestående af moler og stenkastninger samt dæmninger er beskrevet i dette afsnit. Konceptdesignet er udført for både Layout 2 og 3 med havnemunding mod hhv. NV og N. Figur 6-1 viser en oversigtsplan over de forskellige stenkastninger og moler, der refereres til for Layout 2 og 3.



Figur 6-1 Oversigtsplan over de forskellige stenkastninger og moler for Layout 2 og 3.

Tabel 6-1 viser en oversigt over de primære materialer og geometriske forhold for de forskellige tværsnit for vejdæmningen samt moler og stenkastninger for færgehavnen.

Tabel 6-1 Tværsnitsoversigt over vejdæmning, moler og stenkastninger for færgehavnen.

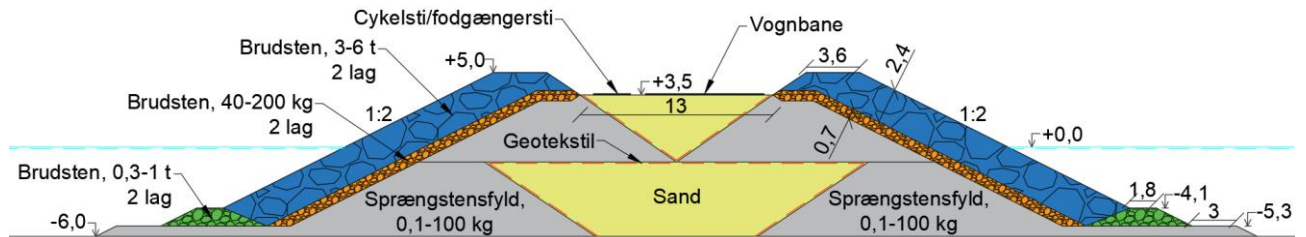
Konstruktion	Kronekote, dæksten [m DVR90]	Kronekote, bagland [m DVR90]	Forside- hæld- ning [-]	Bagside- hæld- ning [-]	Dæksten, forside [t]	Dæksten, bagside [t]	Filtersten [kg]	Kernefyld [kg]	Tå [kg]
Vejdæmning	+5,0	+3,5	1:2	1:2	3-6	3-6	40-200	0,1-100	300-1000
Mole, SV og NØ (havnemunding mod NV) V og ydre Ø* (havnemunding mod N)	+4,5		1:2	1:1,5	3-6	0,3-1	40-200	0,1-100	300-1000
Mole, indre Ø* (havnemunding mod N)	+4,5		1:2	1:1,5	0,6-2	0,3-1	40-200	0,1-100	40-200
Stenkastning, SV+V	+5,0	+3,5	1:2	-	3-6	-	40-200	0,1-100	300-1000
Stenkastning, NØ	+4,5	+3,5	1:2	-	3-6	-	40-200	0,1-100	300-1000
Stenkastning, Ø	+5,0	+3,5	1:2	-	0,6-2	-	40-200	0,1-100	40-200
Indre stenkast- ning, blå**	+4,3	+3,5	1:1,5	-	0,6-2	-	40-200	0,1-100	-
Indre stenkast- ning, rød**	+3,5	+3,5	1:1,5	-	0,3-1	-	-	0,1-100	-

*Ydre Ø mole refererer til de yderste 100 m af den østlige mole, hvor indre Ø mole refererer til den resterende del (havnemunding mod N).

** Blå og rød refererer til farverne benyttet på Figur 6-1.

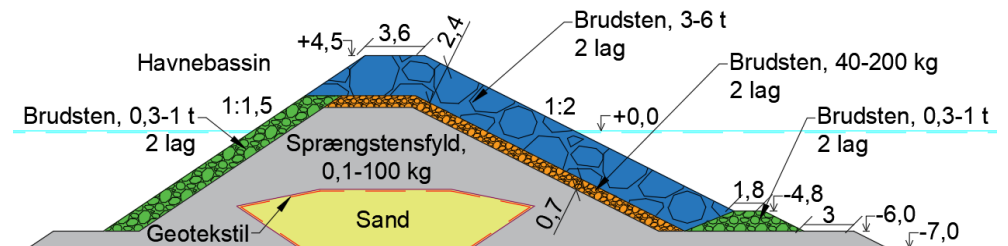
Vejdæmningen opbygges direkte på havbunden med to bunker af sprængstensfyld, hvorefter der udlægges geotekstil og opfyldes med sand. Dette gentages således at sandet når op til kote +3,5 m DVR90, jf. afsnit 6.3. Både mod nord og syd etableres en erosionssikring bestående af sprængstensfyld, hvorpå der anlægges en tå af 0,3-1 t brudsten. Uden på de udlagte bunker af sprængstensfyld etableres et filterlag bestående af 2 lag 40-200 kg brudsten, hvorefter der anlægges 2 lag 3-6 t brudsten op til kote +5,0 m DVR90. Adgangsvejen anlægges i kote +3,5 m DVR90 oven på sandet. I en senere fase kan det eventuelt overvejes om vejen skal hæves, så bilister har bedre udsyn over dæmningen. Et typisk dæmningstværsnit fremgår af Figur 6-2.

Det bemærkes, at der ved overgange mellem vejdæmning og lavbro, forekommer en niveauforskel på adgangsvejen mellem +3,5 m DVR90 og +7,75 m DVR90 (underside af bro ligger i +6,5 m DVR90, jf. ref. /9/, og dækstykkelsen er ca. 1,0-1,25 m). Denne overgang forudsættes udført over 150 m, hvor dæmningens topkote gradvist øges op til lavbroens kote.



Figur 6-2 Typisk dæmningsprofil på 6 m vanddybde (set mod øst). Mål i m. Koter i m DVR90.

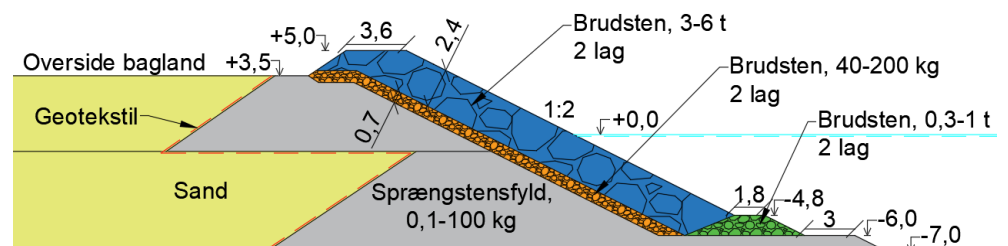
De to moler opbygges af en kerne af sprængstensfyld og sandfyld. På forsiden (væk fra havnebassinet) etableres en erosionssikring af sprængstensfyld og en tå af 0,3-1 t eller 40-200 kg brudsten, afhængigt af tværsnittet. Uden på kernen etableres et filterlag af 2 lag 40-200 kg brudsten, hvorpå 2 lag brudsten, enten 3-6 t eller 0,6-2 t, anlægges op til kote +4,5 m DVR90. Ind mod havnebassinet etableres et dækstenslag bestående af 2 lag 0,3-1 t brudsten med hældning 1:1,5, som er stejlere end forsiden. Et tværsnit af den ydre mole fremgår af Figur 6-3.



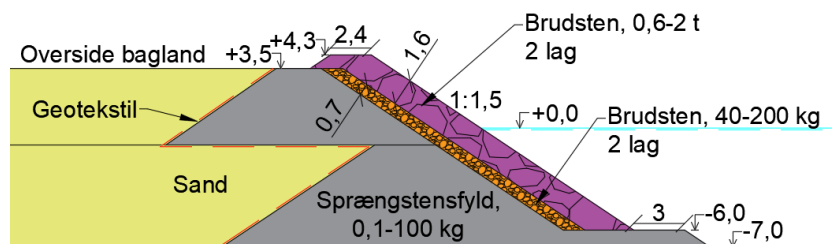
Figur 6-3 Moletværsnit for SV og NØ (havnemunding mod N) samt V og de yderste 100 m af Ø-molen (havnemunding mod N). Mål i m. Koter i m DVR90.

De ydre og indre stenkastninger etableres i samme stil som for vejdæmningen, dvs. etapevis etablering af to bunker med sprængstensfyld og etapevis opfyldning med sand bagved op til baglandets topkote i +3,5 m DVR90. På forsiden af de ydre stenkastninger anlægges en tå, filterlag og dækstenslag. Dækstenen er af varierende størrelser. De indre stenkastninger anlægges på samme måde, dog uden tå, men fortsat med erosionssikring. Typiske tværsnit af hhv. de ydre og indre stenkastninger er vist på Figur 6-4 og Figur 6-5.

Stenarbejder i forbindelse med etablering af moler, stenkastninger og dæmning kan udføres som almindelige marine arbejder i indre danske farvande.



Figur 6-4 Typisk tværsnit af den ydre stenkastning for SV (havnemunding mod N) og V (havnemunding mod N). Mål i m. Koter i m DVR90.



Figur 6-5 Typisk tværsnit af den indre stenkastning (blå farve, jf. Figur 6-1). Mål i m. Koter i m DVR90.

6.1 Forsidestabilitet

6.1.1 Generelt

Forsidestabiliteten eftervises med van der Meers formler iht. afsnit 5.2.2.2 i ref. /14/. Der designs for en 200-års hændelse og skadesniveau $S_d=2$, svarende til "start of damage" (op til ca. 5% skade), altså begrænset beskadigelse under designhændelsen.

6.1.2 Moler, stenkastninger og vejdæmning

Dimensionsgivende stenstørrelser for molerne, de ydre stenkastninger og vejdæmningen fremgår af Tabel 6-2 for både Layout 2 og 3. Den generelle nødvendige stenstørrelse på forsiden er 3000-6000 kg. Det bemærkes, at for den østlige mole for Layout 3, er det kun de nordligste ca. 100 m som skal etableres med 3000-6000 kg, hvor den resterende strækning kan etableres med 600-2000 kg.

Ved den nordøstlige mole/stenkastning for Layout 2 er bølger fra nord dimensionsgivende på trods af, at disse har en indfaldsvinkel på ca. 30-45° langs størstedelen af molen/stenkastningen. Under hensyntagen til denne indfaldsvinkel reduceres den nødvendige stenstørrelse til ca. 2400 kg, hvilket dog ikke ændre på valget af 3000-6000 kg graderingen.

Tabel 6-2 Forsidestabilitet for de ydre stenkastninger, moler og vejddæmning.

Strækning	Sydvestlig/vestlig mole/stenkastning (Layout 2 og 3)	Nordøstlig mole/stenkastning (Layout 2) Østlig mole (Layout 3, yderste 100 m)	Øvrig østlig mole /østlig stenkastrning (Layout 3)	Vejddæmning (Layout 2 og 3)
Returperiode [år]	200	200	200	200
Bølgeretning [°N]	240	0	90	210
Bølgehøjde, H_{m0} [m]	3,1	3,0	1,8	3,1
Bølgeperiode, T_p [s]	7,5	7,0	5,5	7,5
Havbundskote [m DVR90]	-7,0	-7,0	-7,0	-6,2
Vandstand [m DVR90]	+0,98	+1,68	+2,72	+0,98
Skråningsanlæg, 1:a [-]	2,0	2,0	2,0	2,0
Skadesniveau, S_d [-]	2	2	2	2
Permeabilitetsfaktor, P [-]	0,25	0,25	0,25	0,25
Stormvarighed [timer]	3	3	3	3
Antal bølger [-]	1728	1851	2356	1728
Nødvendig stenstørrelse, M_{50} [kg]	3559	3362	710	3324
Valgt stengradering	3000-6000 kg ($M_{50,min}=4430$ kg)	3000-6000 kg ($M_{50,min}=4430$ kg)	600-2000 kg ($M_{50,min}=1160$ kg)	3000-6000 kg ($M_{50,min}=4430$ kg)

6.1.3 Indre stenkastrninger

Indre stenkastrninger omfatter de på Figur 6-1 anførte stenkastrninger med farverne blå og rød. De to blå stenkastrninger opbygges med samme tværsnit, dog opbygges den røde stenkastrning med mindre dæksten. Stenkastrningerne etableres med anlæg 1:1,5 for at optage mindst muligt af bassinarealet. Resultater fremgår af Tabel 6-3. Det bemærkes, at beregningerne er baseret på Layout 3 (havn orienteret mod nord). Resultaterne benyttes konservativt også for Layout 2 (havn orienteret mod nordvest).

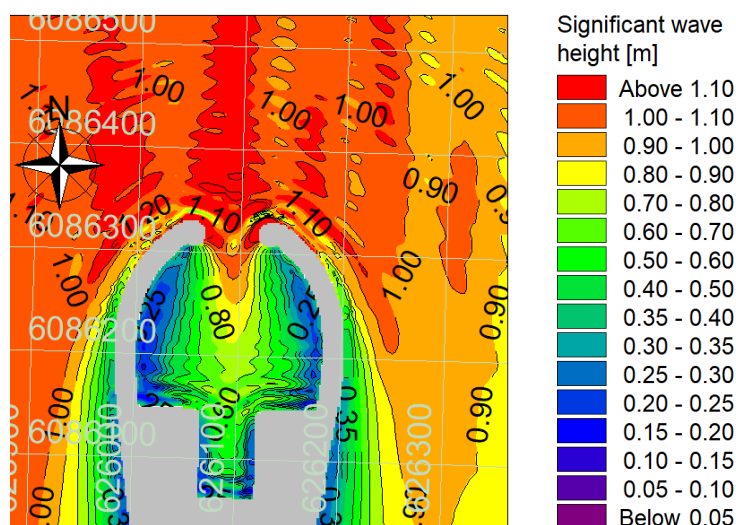
Det fremgår, at der skal benyttes 600-2000 kg dæksten langs de blå strækninger og 300-1000 kg langs de røde strækninger.

Tabel 6-3 Forsidestabilitet for de indre stenkastninger i havnen.

Stenkastning	Blå	Rød
Returperiode [år]	200	200
Bølgehøjde, H_{m0} [m]	1,5 ($H_d/H_i=0,5$) *	0,9 ($H_d/H_i=0,3$) *
Bølgeperiode, T_p [s]	7,5	7,5
Havbundskote [m DVR90]	-7,0	-7,0
Vandstand [m DVR90]	+1,68	+1,68
Skråningsanlæg, 1:a [-]	1,5	1,5
Skadesniveau, S_d [-]	2	2
Permeabilitetsfaktor, P [-]	0,25	0,10
Stormvarighed [timer]	3	3
Antal bølger [-]	1851	1851
Nødvendig stenstørrelse, M_{50} [kg]	969	405
Valgt stengradering	600-2000 kg ($M_{50,min}=1160$ kg)	300-1000 kg ($M_{50,min}=628$ kg)

*/ Bølgehøjden er regnet på baggrund af bølgeuomodellinger i ref. /2/.

Bølgeuro-koefficienterne (forholdet mellem bølge i havnen, H_d , og indkommende bølge uden for havnen, H_i) er aflæst på baggrund af simulering af bølger fra 0°N med periode $T_p=5$ s for Layout 3, se Figur 6-6.



Figur 6-6 Bølgeuro-koefficienter for bølger fra 0°N. $T_p=5$ s. Det ses, at bølgeuro-koefficienten ved de røde indre stenkastninger er ca. 0,3 og ved de blå ca. 0,5. Figur fra ref. /2/.

6.2 Tåstabilitet

Tåstabiliteten eftervises iht. formel 5.187 og 5.188 i ref. /14/, hvor den mest kritiske af de to formler anvendes til fastlæggelse af stenstørrelsen. Der anvendes et designkriterium på $N_{od}=2$, svarende til begyndende udfladning af tåen.

Den primære tå opbygges af brudsten og etableres ovenpå erosionssikringen bestående af sprængstensfyld, der udlægges på eksisterende havbund. Tåen etableres med en bredde svarende til 3 stenstørrelse og en tykkelse på 2 stenstørrelser for 300-1000 kg sten. For 40-200 kg sten etableres tåen med en bredde svarende til 4 stenstørrelser og en tykkelse på 3 stenstørrelser. Geometrien af erosionssikringen fremgår sammen med stengraderinger for tåen af Tabel 6-4.

Tabel 6-4 Tåstabilitetsberegninger for layout 2 og 3 inkl. vejddæmning.

Strækning	Sydvestlig/vestlig mole/stenkastning (Layout 2 og 3)	Nordøstlig mole/stenkastning (Layout 2) Østlig mole (Layout 3, yderste 100 m)	Øvrig østlig mole /østlig stenkastning (Layout 3)	Vejddæmning (Layout 2 og 3)
Returperiode [år]	200	200	200	200
Bølgeretning, MWD [°N]	240	0	90	240*
Bølgehøjde, H_{m0} [m]	3,1	3,0	1,8	3,1
Havbundskote [m DVR90]	-7,5	-7,5	-7,5	-6,2**
Vandstand [m DVR90]	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
Tåkote, overside [m DVR90]	-4,8	-4,8	-5,0	-4,1
Tykkelse erosionssikring, sprængstensfyld [m]	1,0	1,0	1,0	0,7
Bredde erosionssikring, sprængstensfyld [m]	3,0	3,0	3,0	3,0
$M_{50,min}$ [kg]	628 (300-1000kg)	628 (300-1000kg)	101 (40-200kg)	628 (300-1000kg)
Nod [-]	$1,3 < 2,0 \rightarrow \text{OK}$	$1,0 < 2,0 \rightarrow \text{OK}$	$0,3 < 2,0 \rightarrow \text{OK}$	$1,9 < 2,0 \rightarrow \text{OK}$

*/ Nordlig del af vejddæmningen udsættes for tilnærmelsesvis samme bølger fra 0°N (3,1 m vs. 3,0 m), hvorfor der forudsættes samme tå.

**/ Havbundskote taget som den kritiske effektive vanddybde, hvor bølgerne er dybdebegrænsede. $H_{m0}=3,1$ m dybdebegrænses ved dybde 3,1 m/0,6≈5,2 m.

6.3 Topkote for stenkastninger, vejdæmning og moler

6.3.1 Stenkastninger og vejdæmning

Topkoten for stenkastninger og vejdæmningen dimensioneres ud fra bølgeoverskylskriterier, da der etableres hhv. bagland eller vej bag disse. Der dimensioneres for følgende bølgeoverskylskriterier:

- › $q < 1$ l/s/m i forbindelse med en 10-års hændelse
- › $q < 50$ l/s/m i forbindelse med en 200-års hændelse

Kriterierne anses som værende acceptable, da det i ekstreme storme forudsættes, at der vil blive lukket for adgangen ud til færgehavnen. Ved et bølgeoverskyl på 50 l/s/m kan det forventes, at der skal foretages reparationer af bagland og adgangsvej, hvilket vurderes acceptabelt pga. sandsynligheden for hændelsen. Det forventes, at sådanne reparationer vil kunne udføres uden at lukke havnen.

De dimensionsgivende kombinationer af bølge- og vandstandsforhold for Layout 2 og Layout 3 fremgår af hhv. Tabel 6-5 og Tabel 6-6. Bølgeoverskyl er beregnet iht. ref. /15/.

Det fremgår, at hvis vejen på dæmningen anlægges i kote +3,5 m DVR90 og topkoten af dækstenen etableres i kote +5,0 m DVR90, så er bølgeoverskylskriteriet for 200-års hændelsen overholdt. Kriteriet for en 10-års hændelse er dog ikke overholdt, da bølgeoverskyllet bliver 2,0 l/s/m. På nuværende stadie af projektet accepteres det, at bølgeoverskylskriteriet for 10-års hændelsen ikke er opfyldt, da vejdæmningen i tilfælde af storm forudsættes at blive lukket. I tilfælde af storm vil det alligevel være nødvendigt at indstille færgedriften. Endvidere skal kombinationen af designforhold bestemmes nærmere i en senere fase af projektet.

For layout 2 er bølgeoverskylskriterierne overholdt for den nordøstlige stenkastning med en topkote af stenkastningen i kote +4,5 m DVR90 og er styret af 200-års kriteriet. For den sydvestlige stenkastning er 10-års kriteriet ikke overholdt ved en topkote i +5,0 m DVR90, da bølgeoverskyllet bliver 2,0 l/s/m. På nuværende stadie af projektet accepteres det at bølgeoverskylskriteriet for 10-års hændelsen ikke er opfyldt.

For layout 3 er bølgeoverskylskriterierne overholdt for både den vestlige og østlige stenkastning med en topkote af stenkastningerne i +5,0 m DVR90. Topkoten for den vestlige og østlige dæmning er styret af hhv. 10- og 200-års kriteriet.

For det nuværende stadie af projektet vælges:

- › vejdæmningen med vejen i kote +3,5 m DVR90 og stenkastning i kote +5,0 m DVR90 langs hele strækningen.
- › den nordøstlige og sydvestlige stenkastning med topkote i hhv. kote +4,5 m DVR90 og 5,0 m DVR90 for Layout 2.

- › den vestlige og østlige stenkastning med topkote i kote +5,0 m DVR90 for Layout 3.

Tabel 6-5 Dimensionsgivende bølgeoverskyl for Layout 2.

Konstruktion	Stenkastning, NØ		Stenkastning, SV		Vejdæmning	
Returperiode [år]	10	200	10	200	10	200
Bølgeretning [°N]	30	60	210	210	210	0
Indfaldsvinkel [°]	0	0	0	0	0	15
Bølgehøjde, H_{m0} [m]	1,4	1,6	2,2	3,1	2,2	3,0
Bølgeperiode, T_p [s]	5,0	5,5	6,0	7,5	6,0	7,0
Havbundskote [m DVR90]	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0	-6,2	-6,2
Vandstand [m DVR90]	1,38	2,72	1,08	0,98	1,08	1,68
Ruhedsfaktor, γ [-]	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Kronekote [m DVR90]	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0
Overside, bagland/vej [m DVR90]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Kronebredde [m]	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Skråningsanlæg, 1:a [-]	2	2	2	2	2	2
Overskyl [l/s/m]	~0	36	2	28	2	46

Tabel 6-6 Dimensionsgivende bølgeoverskyl for Layout 3.

Konstruktion	Stenkastning, Ø		Stenkastning, V		Vejdæmning	
Returperiode [år]	10	200	10	200	10	200
Bølgeretning [°N]	60	90	240	240	210	0
Indfaldsvinkel [°]	15	0	15	15	0	15
Bølgehøjde, H_{m0} [m]	1,2	1,8	2,2	3,1	2,2	3,0
Bølgeperiode, T_p [s]	4,5	5,5	6,0	7,5	6,0	7,0
Havbundskote [m DVR90]	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0	-6,2	-6,2
Vandstand [m DVR90]	1,38	2,72	1,08	0,98	1,08	1,68
Ruhedsfaktor, γ [-]	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Kronekote [m DVR90]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Overside, bagland/vej [m DVR90]	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Kronebredde [m]	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Skråningsanlæg, 1:a [-]	2	2	2	2	2	2
Overskyl [l/s/m]	~0	34	1	16	2	46

6.3.2 Moler

De ydre moler, hvor der ikke etableres bagland, forudsættes etableret med topkote i +4,5 m DVR90 for både Layout 2 og 3. Dette svarer til et forhold på ca. 1,0 mellem fribord, R_c , og den signifikante bølgehøjde, H_{m0} , for 200-års designhændelsen. Baseret på erfaringer vurderes dette acceptabelt for nuværende stadie af projektet.

I en senere fase af projektet bør topkoten af molerne optimeres med hensyn til bølgetransmission over molen og med henblik på at indkommende bølger gennem havnemundingen vil være relativt store for en 200-års designhændelse fra samme retning som havnens orientering, jf. afsnit 6.1.3.

6.4 Bagsidestabilitet for moler

Bagsidestabiliteten for molerne eftervises iht. afsnit 5.2.2.11 i ref. /14/. Der designes for en 200-års hændelse og skadesniveau $S_d=2$, svarende til "start of damage" (op til ca. 5% skade), altså begrænset beskadigelse under designhændelsen.

For molerne er det dimensionsgivende for bagsidestenen, når bøjerne fra forsiden løber over kronen og slår ned på bagsiden. Beregning af bagsidestabilitet for molerne fremgår af Tabel 6-7 for Layout 2 og Layout 3. I beregningerne er bølgeperioderne konservativt forøget indtil stejlheden af bøjerne, ligger inden for validitetsområdet af den benyttede formel.

Det bemærkes, at det for både den øst- og vestlige mole (Layout 3) konservativt er valgt at benytte designforhold fra 0°N til design af bagsidestabiliteten, da molerne ved havnemundingen bliver udsat for bølger herfra.

Det bemærkes, at der vælges en 300-1000 kg stengradering med $M_{50, \min} = 628$ kg på trods af, at den nødvendige stenvægt ligger på 693 kg for bagsiden af hhv. den nordøstlige (Layout 2) mole og de øst- og vestlige (Layout 3) moler. Dette betyder, at der for disse bagsider potentielt kan opstå en større skade end de angivne ca. 5%. Dette accepteres dog, da det ikke ses som værende kritisk for molernes robusthed, at bagsiden potentielt får større skade.

Bagsidestabiliteten bør optimeres i en senere fase i sammenhæng med en optimering af molernes topkote, da en lavere topkote vil gøre bagsiden af molerne mere udsat for bølgeoverskyl ind over kronen.

Tabel 6-7 Bagsidestabilitet for molerne for Layout 2 og 3. * indikerer at bølgeperioden er forøget, så stejlhedskriteriet for den benyttede formel er overholdt.

Konstruktion	Layout 2		Layout 3	
	Mole, NØ	Mole, SV	Mole, Ø	Mole, V
Returperiode [år]	200	200	200	200
Bølgeretning [°N]	0	210	0	0
Bølgehøjde, H _{m0} [m]	3	3,1	3	3
Bølgeperiode, T _p [s]	8,0*	8,2*	8,0*	8,0*
Havbundskote [m DVR90]	-7,0	-7,0	-7,0	-7,0
Vandstand [m DVR90]	1,68	0,98	1,68	1,68
Kronekote [m DVR90]	+4,5	+4,5	+4,5	+4,5
Skråningsanlæg, forside, 1:a [-]	2	2	2	2
Skråningsanlæg, bagside, 1:a [-]	1,5	1,5	1,5	1,5
Ruhedsfaktor, forside [-]	0,55	0,55	0,55	0,55
Ruhedsfaktor, bagside [-]	0,55	0,55	0,55	0,55
Skadesniveau, S _d [-]	2	2	2	2
Kronebredde [m]	3,6	3,6	3,6	3,6
Stormvarighed [timer]	3	3	3	3
Antal bølger [-]	1.620	1.580	1.620	1.620
Nødvendig stenvægt [kg]	693	575	693	693
Valgt stengradering [kg]	300-1000 kg (M_{50,min}=628 kg)	300-1000 kg (M_{50,min}=628 kg)	300-1000 kg (M_{50,min}=628 kg)	300-1000 kg (M_{50,min}=628 kg)

6.5 Filterkriterier

Filterstabiliteten mellem dæksten og filtersten skal overholde graderingskrav, hvor indeks d indikerer "dæksten" og indeks f indikerer "filtermaterialer" og tal i indeks indikerer gennemfaldsprocent (masseprocent):

$$\frac{D_{15,d}}{D_{15,f}} \leq 7 \text{ \AA } 20$$

$$\frac{D_{50,d}}{D_{50,f}} \leq 7$$

$$\frac{D_{15,d}}{D_{85,f}} \leq 4$$

Den kritiske filterstabilitet er mellem de største dæksten (3-6t brudsten) og filtermaterialet (40-200 kg brudsten), og for forholdet mellem 0,3-1 t brudsten (dæksten) og

0,1-100 kg sprængstensfyld (filtermateriale). For filtermaterialet anvendes minimumsværdier og for dæksten anvendes maksimumværdier.

Gradering for 0,1-100 kg sprængstensfyld fremgår af Tabel 6-8.

Tabel 6-8 Gradering i kg for 0,1-100 kg sprængstensfyld.

Stengrade- ring	M _{08,min} >8%	M _{15,min} >15%	M _{50,min} >50%	M _{85,min} >85%	M _{90,max} >90%
0,1-100 kg	0,1 kg (D _n =33 mm)	0,3 kg (D _n =48 mm)	4,0 kg (D _n =114 mm)	22 kg (D _n =202 mm)	100 kg (D _n =335 mm)

Standardgradering for 40-200 kg brudsten fremgår af Tabel 6-9.

Tabel 6-9 Standardgradering i kg for 40-200 kg brudsten.

Stengradering	M _{15,min} >15%	M _{50,min} >50%	M _{85,min} >85%
40-200 kg	53 kg (D _n =271 mm)	101 kg (D _n =337 mm)	158 kg (D _n =391 mm)

Standardgradering for 0,3-1t brudsten fremgår af Tabel 6-10.

Tabel 6-10 Standardgradering i kg for 0,3-1 t brudsten.

Stengradering	M _{15,max} >15%	M _{50,max} >50%	M _{85,max} >85%
300-1000 kg	495 kg (D _n =572 mm)	802 kg (D _n =672 mm)	1122 kg (D _n =751 mm)

Standardgradering for 3-6t brudsten fremgår af Tabel 6-11.

Tabel 6-11 Standardgradering i kg for 3-6 t brudsten.

Stengradering	M _{15,max} >15%	M _{50,max} >50%	M _{85,max} >85%
3000-6000 kg	3832 kg (D _n =1131 mm)	5060 kg (D _n =1241 mm)	6137 kg (D _n =1323 mm)

Dermed fås følgende forhold mellem 3-6 t dæksten og 40-200 kg filtersten. Det bemærkes, at forholdet D_{15,d}/D_{15,f} ikke helt er overholdt, dog er filterstenene større end nødvendigt, hvorfor det accepteres.

$$\frac{D_{15,d}}{D_{15,f}} = \frac{1131 \text{ mm}}{271 \text{ mm}} = 4,2 \leq 7 \text{ á } 20$$

$$\frac{D_{50,d}}{D_{50,f}} = \frac{1241 \text{ mm}}{337 \text{ mm}} = 3,7 \leq 7$$

$$\frac{D_{15,d}}{D_{85,f}} = \frac{1323 \text{ mm}}{391 \text{ mm}} = 2,9 \leq 4$$

Dermed fås følgende forhold mellem 0,3-1 t dæksten og 0,1-100 kg sprængstensfyld:

$$\frac{D_{15,d}}{D_{15,f}} = \frac{572 \text{ mm}}{48 \text{ mm}} = 11,9 \leq 7 \text{ á } 20$$

$$\frac{D_{50,d}}{D_{50,f}} = \frac{672 \text{ mm}}{114 \text{ mm}} = 5,9 \leq 7$$

$$\frac{D_{15,d}}{D_{85,f}} = \frac{751 \text{ mm}}{202 \text{ mm}} = 3,7 \leq 4$$

7 Vandforsyning

Molslinjen har oplyst at færgerne på dagens Spodsbjerg-Tårs færgerute har fast nat-oplægningshavn med undtagelse af lørdag nat. Færgerne fylder løbende vandtanken, når de ligger i havn om natten.

Det anses ikke som værende realistisk, at Tårs-færgeren tilkobles vandforsyningen i Spodsbjerg, da færgeren kun kan være tilkoblet vandforsyningen i ca. 12 min hver gang færgeren er i havn, hvilket vil betyde, at færgeren skal tilkobles hver gang færgeren er i havn. Samtidig har den fremskudte havn også behov for en vandforsyning til den daglige drift af terminalbygningen og rengøring af inden- og udendørs faciliteter. Det er derfor vurderet nødvendigt at etablere en fast vandforsyning fra et tilkoblingspunkt på land og ud til den fremskudte færgehavn.

Der skal etableres en ca. 1,6 km ledning på land, fra kysten til et egnet tilslutningspunkt på en eksisterende vandledning fra Sandby Vandværk. Fra kysten til den fremskudte havn etableres yderligere 3,5 km ledning på havbunden.

Med en samlet ledningslængde på 5,1 km bliver tryktabet i en PN16 Ø50 mm eller Ø63 mm ledning (ydre diameter) henholdsvis ca. 23,7 og 7,7 m vandsøjle med et flow på 0,5 l/s. Trykket i det eksisterende ledningsnet forventes at være omkring 2,5 bar eller 25 m vandsøjle. Med en Ø50 mm ledning vil der stort set ikke være noget tryk på ledningen ude ved den fremskudte havn. Det anbefales derfor at vælge en Ø63 mm ledning for at undgå for stort et tryktab på den lange ledning. Samtidigt forventes det, at man kan undvære en trykforøger med en Ø63 mm ledning. Man vil dog kunne etablere en trykforøger på ledningen, hvis der senere opstår et behov for dette.

Ulempen ved en Ø63 mm ledning frem for en mindre ledning er, at der står ca. 10.500 liter vand i ledningen på grund af dens længde. Hvis ledningen har stået stille i mere end ca. 3 dage, indebærer det, at den skal skylles igennem for igen at få vand af drikkevandskvalitet, da der er risiko for bakterievækst i stillestående ledninger. Særligt i sommerhalvåret, hvor temperaturen i havvandet stiger, kan bakterievæksten øges, hvorfor tiden hvor vandet kan stå stille potentielt reduceres. Det vil tage mellem 5-6 timer at skylle ledningen igennem én gang med et flow på 0,5 l/s. Man må forvente at skulle skylle den igennem 3 gange inden vandet forventes at være af drikkevandskvalitet igen. For at afhjælpe stillestående vand i ledningen, kan den eventuelt gøres mindre dog på bekostning af at det potentielt vil være nødvendigt med en trykforøger. På trods af, at vandet har stået stille i nogle dage, kan det fortsat benyttes til almene gøremål, som rengøring, opvask, vaske hænder, m.m. Bakterievækst og nødvendigheden for brugen af vandet til drikkevand og trykforøger skal undersøges nærmere i en senere fase.

På landsiden kan ledningen graves ned mellem adgangsvejens ilandføring og tilslutningspunkt. På søterritoriet anbefales det at trække Ø63 mm ledningen i et foringsrør (beskyttelsesrør) som lægges på havbunden. Der kan f.eks. benyttes et Ø110 mm selvballerende rør, der er så tungt, at det kan lægges ud på havbunden uden separate betonklodser som ballast.

Alternativt kan vandledningen hænges op på broerne og graves ned i dæmninger ud til den fremskudte havn. Hvis vandledningen hænges op/placeres på broerne, er det nødvendigt at holde den frostfri ved opvarmning vha. el-tracing og isolering. Det skyldes, at stillestående vand i ledningen hurtigt vil fryse til is, når temperaturen er under frysepunktet, selv hvis den er isoleret, og herefter vil man ikke kunne få vand igennem før ledningen igen er tøet op.

Eltracingen har en begrænset levetid (5-10 år), hvorefter der forventeligt vil opstå diverse fejl, der skal udbedres. Det vil være ret vanskeligt at udføre reparationer af ledningen på broen uden at genere trafikken eller man vil skulle tilgå ledningen fra undersiden af broerne med båd.

Ledningen vil også være mere udsat for bakterievækst, på grund af de højere lufttemperaturer i sommerhalvåret, hvilket kan medføre større krav til vandskiftet af ledningen.

Det forventes, at anlægsomkostningerne for en vandledning delvist ophængt på broer og nedgravet vil være dyrere end en vandledning på havbunden, da ophængning på broerne, eltracing og isolering vil være dyrt. Derudover vil eltracingen have et minimum strømforbrug på omkring 10 kW, hvis man antager at 1/3 af ledning på adgangsvejen skal opvarmes.

8 Spilde- og overfladevand

Den fremskudte havn vil være årsag til tre kilder af spildevand og overfladevand:

- › Spildevand fra færgets drift
- › Spildevand fra toiletter og diverse afløb i terminalbygningen
- › Overfladevand (regn og udendørs brug af vand)

Håndteringen af ovenstående spildevand og overfladevand beskrives i det følgende.

8.1 Spildevand fra færger

Det forudsættes, at begge færger på Spodsbjerg-Tårs ruten vil kunne anvende de eksisterende faciliteter i Spodsbjerg havn, der omfatter spildevandsinstallationer for tømning af spildevand til offentlig kloak, jf. afsnit 2.4. Dette vil være en optimal økonomisk løsning i forhold til at anlægge en ny spildevandsledning (trykledning) fra land og ud til den fremskudte havn, samtidig med at eventuelt vedligehold af en sådan spildevandsledning undgås. Øget vedligehold af de eksisterende faciliteter i Spodsbjerg skal dog forventes pga. det forøgede brug.

Faciliteterne i Spodsbjerg vil dermed være nødvendige for færgernes daglige drift, og brugen forudsætter en aftale mellem færgeoperatøren, havnemyndighederne i Spodsbjerg og den lokale spildevandsforsyning.

Det skal i en senere fase dokumenteres, at faciliteterne har tilstrækkelig kapacitet til at håndtere færgernes behov uden, at det påvirker den eksisterende havnedrift og spildevandsnettet negativt.

8.2 Spildevand fra fremskudt havn

Der etableres toiletter for passagerer og personale i terminalbygningen ved den fremskudte havn, samt diverse afløb til bl.a. rengøring. Toiletterne og andre afløb tilkobles en mindre septiktank, som senere skal dimensioneres til at håndtere det forventede antal brugere. Septiktanken skal tømmes regelmæssigt af en autoriseret operatør for at undgå overløb eller hygiejneproblemer. Tømningsintervallerne bør fastlægges med udgangspunkt i det gennemsnitligt antal passagerer og septiktankens kapacitet.

8.3 Overfladevand

Baglandet for den fremskudte havn får en høj belægningsgrad, da baglandets overflader primært vil bestå af impermeable overflader som f.eks. asfalt, beton og belægningssten. Det vil derfor være nødvendigt at etablere et dræningssystem for overfladevand (nedbør, bølgeoverskyl og vand fra udendørs rengøring) for at sikre, at vandet kan ledes bort (ud i Langelandsbæltet), og at der ikke opstår områder med stillestående vand. Da baglandet benyttes af køretøjer, vil der være risiko for oliespild, hvorfor det vil være nødvendigt at etablere olieudskillere til

overfladevandet, hvor eventuelt spildt olie kan adskilles fra overfladevandet inden dette, ledes ud i Langelandsbæltet.

9 Elforsyning

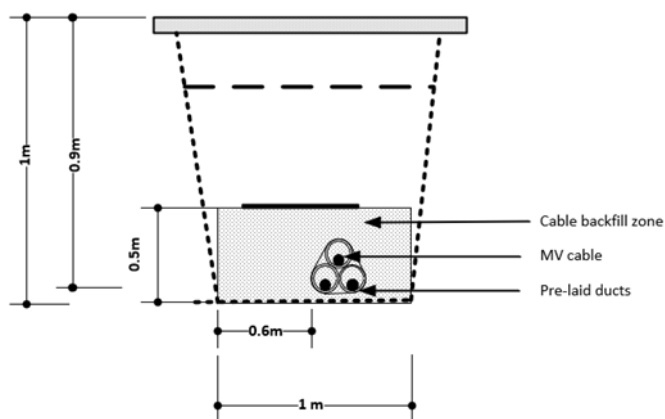
En elforsyning skal etableres ud til den fremskudte havn, og et konceptdesign er udført af de nødvendige kabler i ref. /16/. Med udgangspunkt i behovet for en samlet effekt på 14 MW, se afsnit 2.5, er det nødvendigt at anlægge to kabel-systemer hver især med en effekt på 7 MW for at kunne holde spændingsniveauet på 10 kV, jf. ref. /16/. Det er relativt omkostningstungt at anlægge flere kabel-systemer og for at optimere på omkostningerne er det i stedet vurderet fordelagtigt at transmittere strømmen ud til øen ved en højere spænding på 20 kV, hvorved ét kabel-system er tilstrækkeligt både på land og vand.

Det nærmeste opkoblingspunkt til en 10 kV-forbindelse ligger ved Sandby vindmøllepark ca. 1,4 km fra den planlagte ilandføring for adgangsvejen, jf. ref. /11/ og /17/. Der er også et opkoblingspunkt i den eksisterende Tårs Havn. Det vil være nødvendigt at installere en 10/20 kV transformer ved opkoblingspunktet, for at opnå den forudsatte spænding i systemet. På nuværende tidspunkt forudsættes det, at det vil være muligt at lave en aftale med elforsyningsselskabet om tilkobling til 10 kV-forbindelsen ved Sandby vindmøllepark og installation af en 10/20 kV transformer. Dette skal undersøges nærmere i en senere fase.

Det bemærkes, at det vil være nødvendigt at installere en 20/10 kV transformer ude på den fremskudte havn, for at opnå det ønskede spændingsniveau for de forskellige aftagere på øen.

Med udgangspunkt i en spænding på 20 kV, så er ét 20 kV undervandskabel bestående af 3 kerner med aluminium leder med et areal på ca. 500 mm² tilstrækkeligt til at transportere strømmen offshore. På land og ude på øen anlægges kabelsystemet som 3 single-core kabler med aluminium leder med et areal på ca. 500 mm².

Fra opkoblingspunktet og ud til adgangsvejens ilandføring forudsættes det, at kablerne etableres under terræn over de 1,4 km. Dette gøres ved at udgrave en rende ned i frostfri dybde, hvori der placeres et sæt af tre trækrør, ét til hver af single-core kablerne. Rundt om trækrørene fyldes der op med sand, hvorefter der fyldes op med den opgravede jord. En principskitse er vist på Figur 9-1. Der skal også indgås aftaler med de lokale lodsejere, som bliver berørt af etableringen af 20 kV-forbindelsen på land.



Figur 9-1 Principsskitse for kabelgrav på land.

Fra adgangsvejens ilandføring og ud til den fremskudte havn etableres 20 kV-forbindelsen på havbunden. Her udlægges kablet først på havbunden fra pram, hvor det trækkes ind på land og ud til havnen. Herefter spules en ca. 2 m dyb rende i havbunden, hvori kablet placeres. Alternativt kan der lægges et trækrør på havbunden, hvorigennem landkabler kan trækkes.

På den fremskudte havn etableres kablerne som på land.

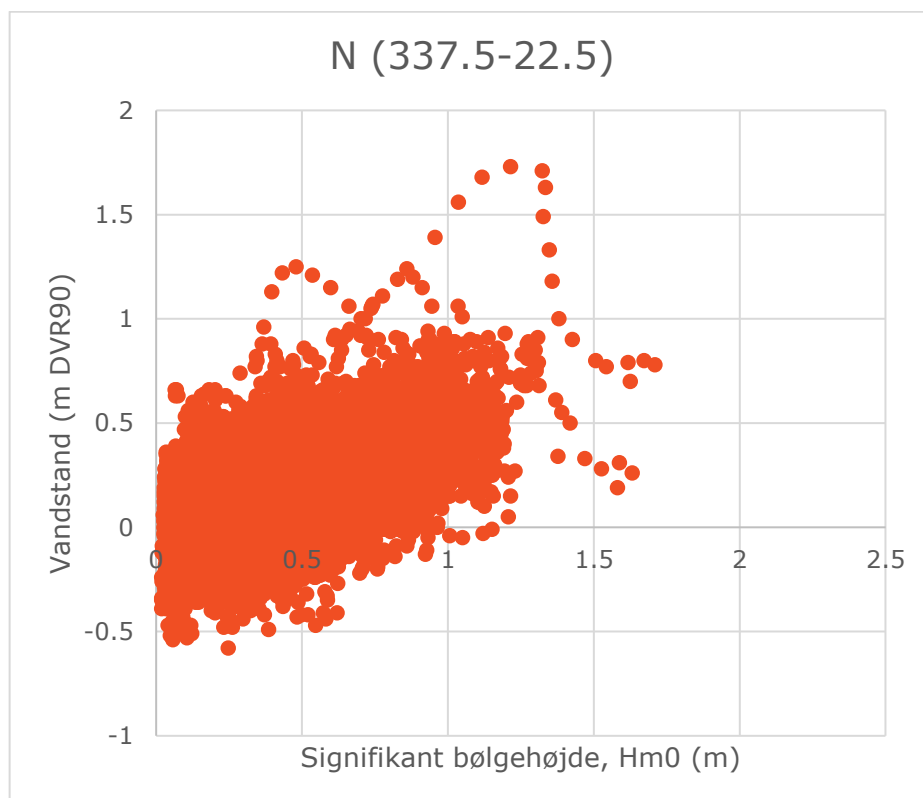
10 Referencer

- /1/ **COWI**
A258774-HYD-RAP-01 Hydrographic modelling, Langelandsmodel
2025.
- /2/ **COWI**
A258774-HAV-RAP-01 Wave Transformation and Tranquility
2025.
- /3/ **Kystdirektoratet**
Højvandsstatistikker
2024.
- /4/ **A Colding**
Nogle undersøgelser over Stormen over Nord-og Mellem-Europa af 12-14 November 1872, Vandflod i Østersøen
Bianco Lunos Kgl. Hof Bogtrykkeri, København, 1881.
- /5/ **DMI**
Klimaatlas - udvidet havniveaustigning data, v2024a: URL:
<https://www.dmi.dk/klimaatlas>
2024.
- /6/ **KD & DMI**
Delundersøgelse af sikringsniveauer for stormflodssikring af København. Arbejdsgruppe Sikringsniveauer. Udarbejdet af Kystdirektoratet med bidrag fra Danmarks Meteorologiske Institut.
Februar 2024.
- /7/ **COWI**
A258774-HYD-TEK-02 Forudsætningsnotat, Ver. 1.0
2024.
- /8/ **COWI**
A258774-HAV-RAP-02 Manouvre simulations
2025.
- /9/ **COWI**
A258774-HAV-TEK-10 Konceptdesign af broer
2025.
- /10/ **COWI**
A258774-HAV-TEK-01 Elfærger
2025.
- /11/ **COWI**
A258774-HAV-TEK-07 Elfærger og Vindmøller
2025.
- /12/ **Sund & Bælt**
Undersøgelse af fremskudt færgehavn ved Tårs
2018.
- /13/ **COWI**
A258774-HAV-TEK-05 Undersøgelse af alternativer
2025.
- /14/ **CIRIA; CUR; CETMEF**
The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering, 2nd edition
C683, CIRIA, London, 2007.

- /15/ **Van der Meer, J. W. e. a.**
Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application
second edition 2018.
- /16/ **COWI**
A258774-HAV-TEK-12 Concept cable calculation
2025.
- /17/ **COWI**
A258774-HAV-TEK-03 Wind Turbines - electrical infrastructure
2024.

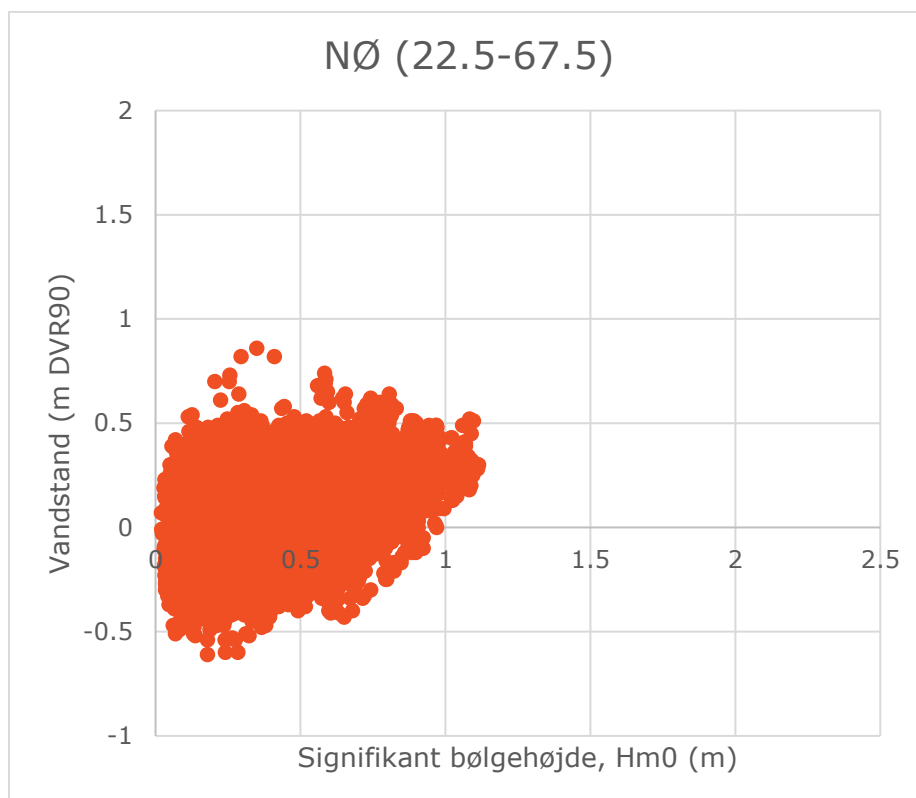
Bilag A Korrelation mellem vandstande og bølger

De indledende undersøgelser udført i 2018 for fremskudt havn Tårs indeholdt beskrivelser og scatterplots af samhørende værdier (korrelation) af bølgehøjder og vandstande baseret på 11 års simulering for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Disse scatterplots fremgår af de efterfølgende figurer.

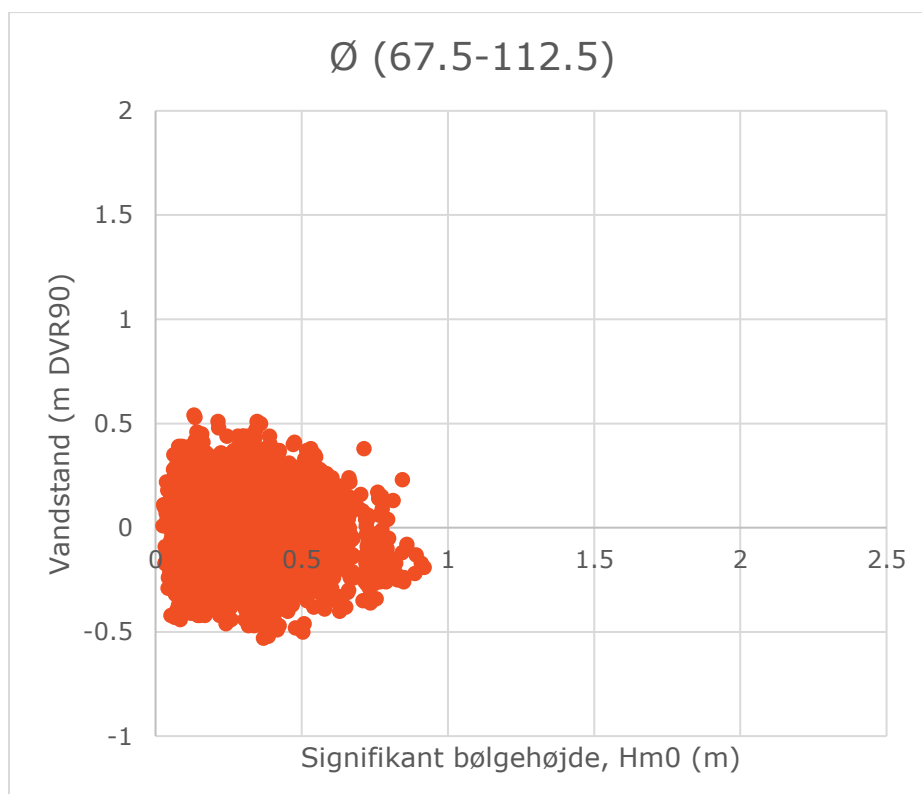


Figur A-1

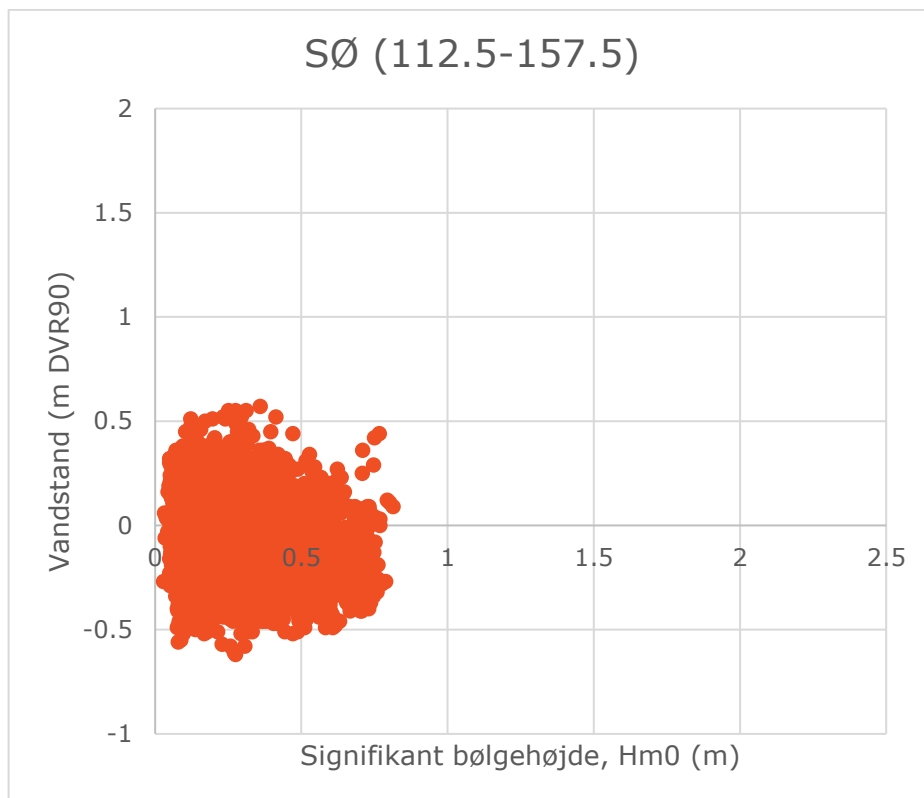
Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra N for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



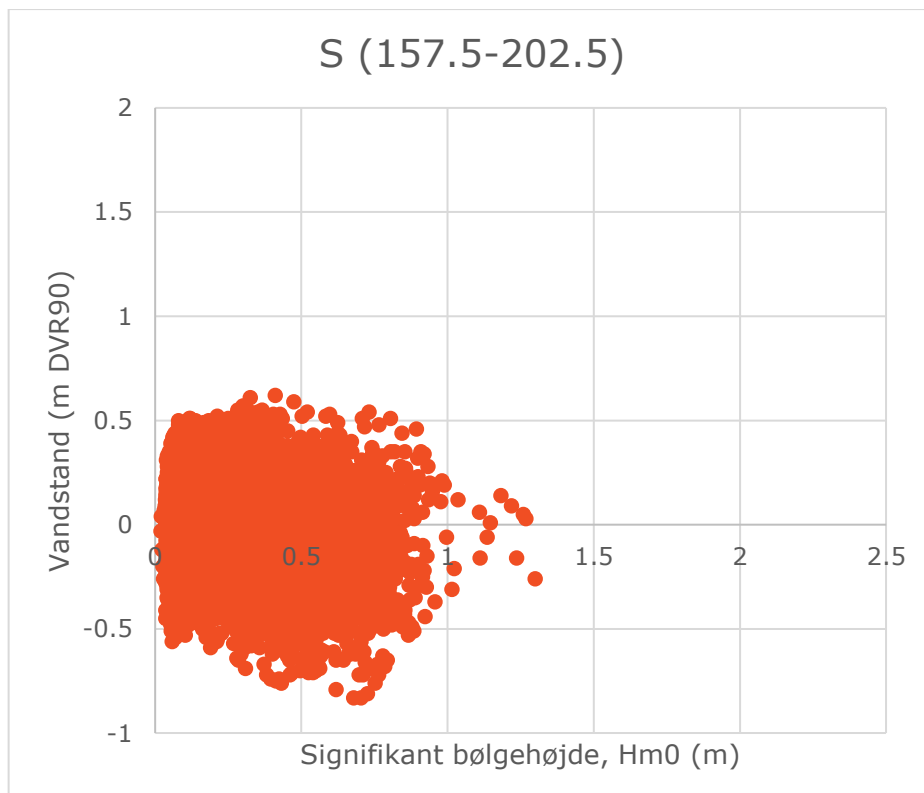
Figur A-2 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra NØ for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



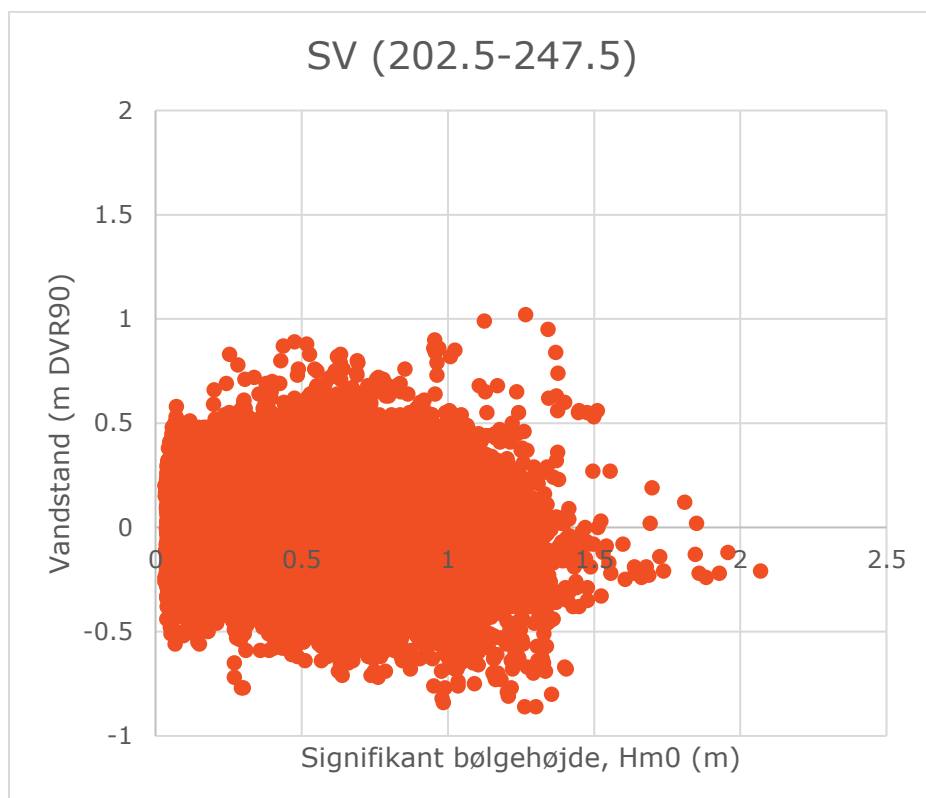
Figur A-3 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra Ø for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



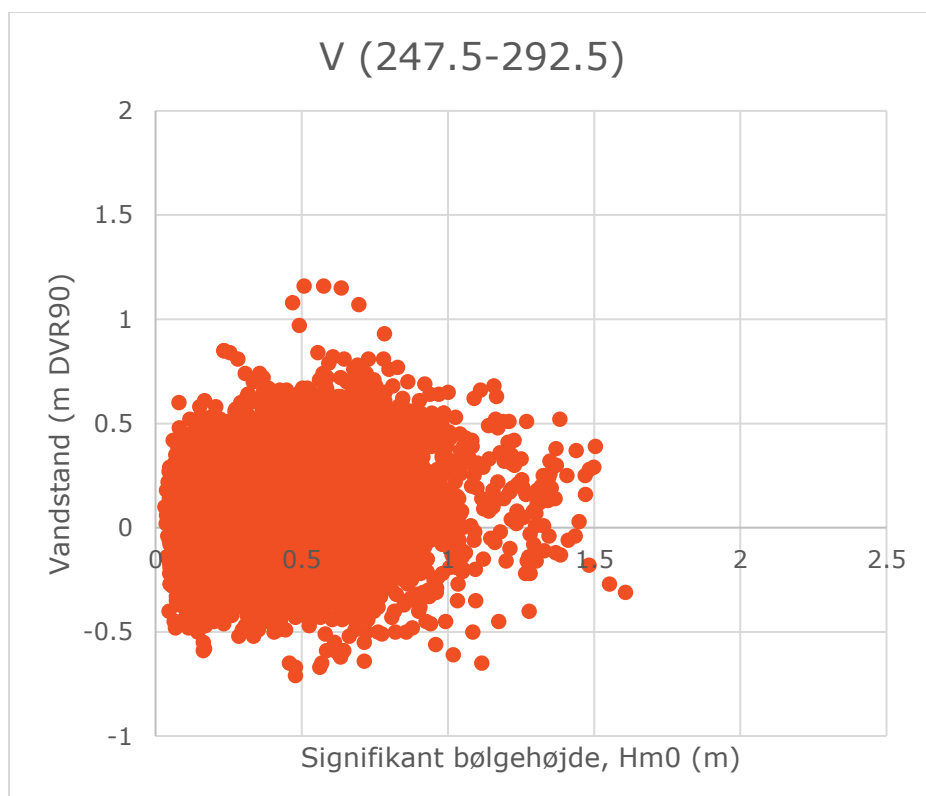
Figur A-4 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra SØ for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



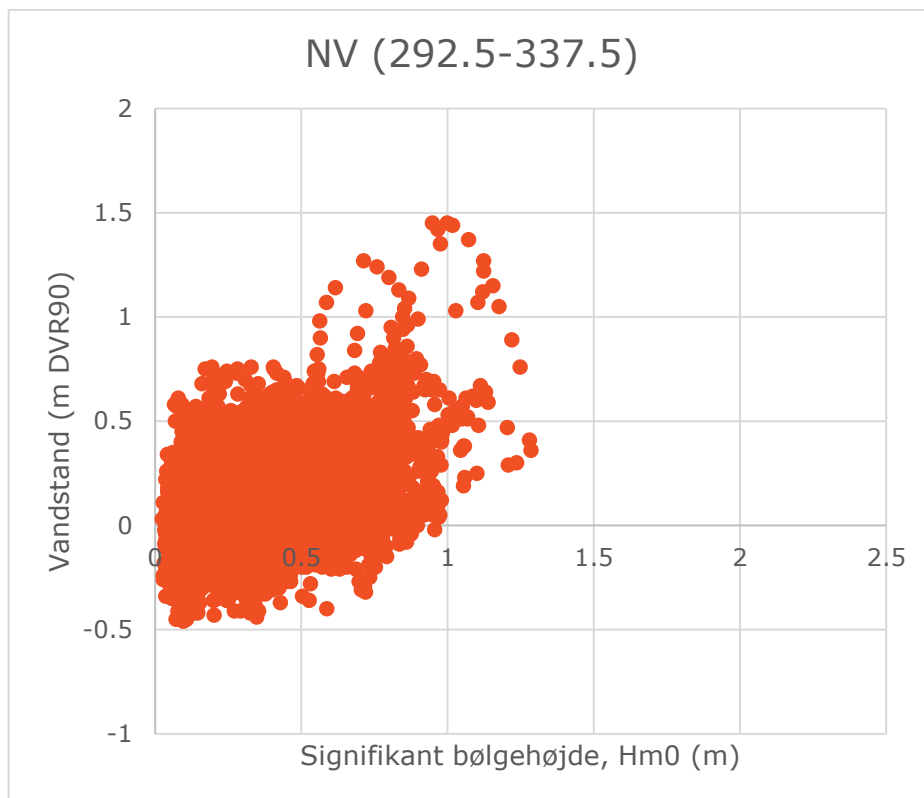
Figur A-5 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra S for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



Figur A-6 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra SV for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



Figur A-7 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra V for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.



Figur A-8 Samhørende værdier af bølgehøjder og vandstand for bølger fra NV for en lokation i nærheden af den fremskudte havn. Fra indledende undersøgelser udført i 2018.

Bilag B Nedetid

B.1 Bølgeuro

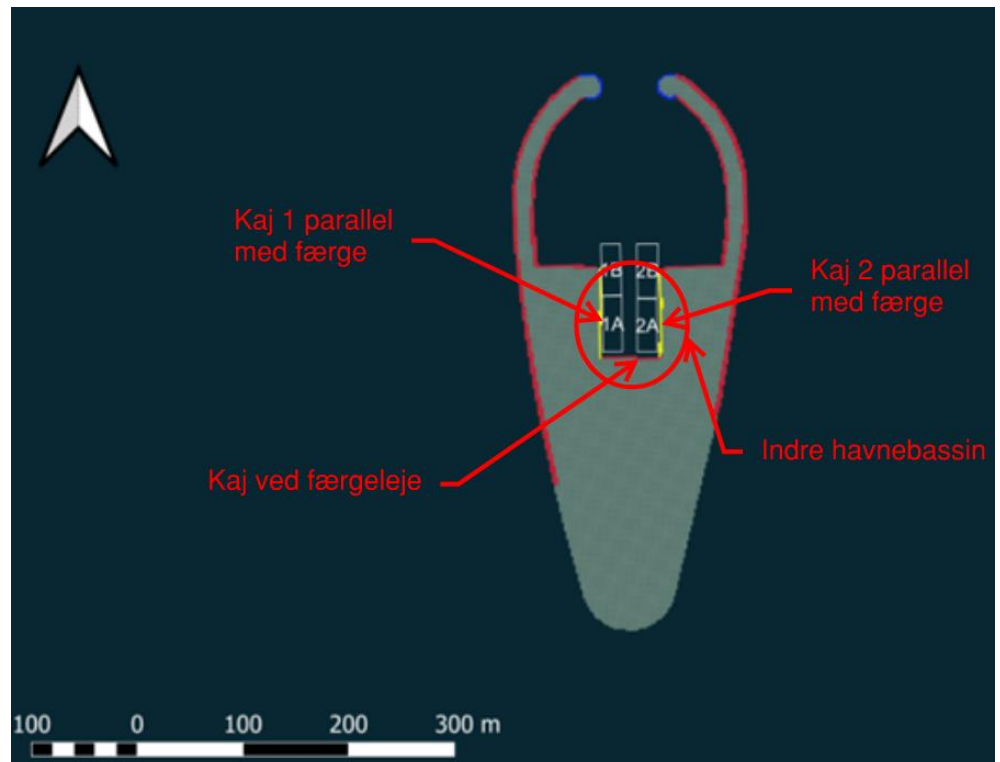
Bølgeuro er undersøgt for Layout 2 (NV-vendt havn) og Layout 3 (N-vendt havn), se Figur 3-1, og som beskrevet i ref. /2/ for begge færgelejer/kajpladser og forskellige kajanlæg med forskellig bølgereflektion. Det bemærkes, at havneudformningen benyttet i ref. /8/ for Layout 2 er lidt anderledes end de præsenterede udformninger i nærværende rapport. Forskellen er dog primært den ydre udformning af havnen og dette vil kun have en neglignable indflydelse på resultaterne. De overordnede resultater af studiet om bølgeuro i ref. /2/ er vist i Tabel B-1.

Tabel B-1 Oversigt over nedetid for hhv. Layout 2 og 3, jf. ref. /2/. Suffiks på Layout nummer henviser til scenarier med forskellige kajkonstruktioner (reflektion), men med samme layout.

Layout	Kajkonstruktion/Reflektion	Nedetid Kaj 1*		Nedetid Kaj 2*	
		Nedetid [%]	Nedetid [timer/år]	Nedetid [%]	Nedetid [timer/år]
2b	Reflektion svarende til hhv. lodret kajvæg parallelt med færgerne og stenkastning ved færgelejet	0,30	27	0,25	21
2c	Refleksion svarende til stenkastning langs hele kajen	0,05	5-6	0,05	5-6
3a	Reflektion svarende til hhv. lodret kajvæg parallelt med færgerne og stenkastning ved færgelejet	1,25	110	0,95	85
3b	Refleksion svarende til stenkastning langs hele kajen	0,40	35	0,35	30

**Kaj 1 og 2 svarer til hhv. den vestlige og østlige kaj.*

Simuleringer for Layout 2b og 3a er udført med reflektionskoefficienter svarende til, at der i det indre havnebassin etableres en lodret kajvæg parallelt med færgerne (reflektionskoefficient på 95%) og en stenkastning (reflektionskoefficient op 40%) i bunden ved færgelejet. Simuleringer for Layout 2c og 3b er udført med reflektionskoefficienter svarende til en stenkastning i hele det indre havnebassin. Det bemærkes, at kaj 1 og 2 svarer til hhv. den vestlige og østlige kaj for både Layout 2 og 3, se Figur B-1.



Figur B-1 Skitse for Layout 3 med angivelse af kaj 1 og 2, kaj ved færgeleje og indre havnebassin. Det samme er gældende for Layout 2, bare roteret 45° op mod NV.

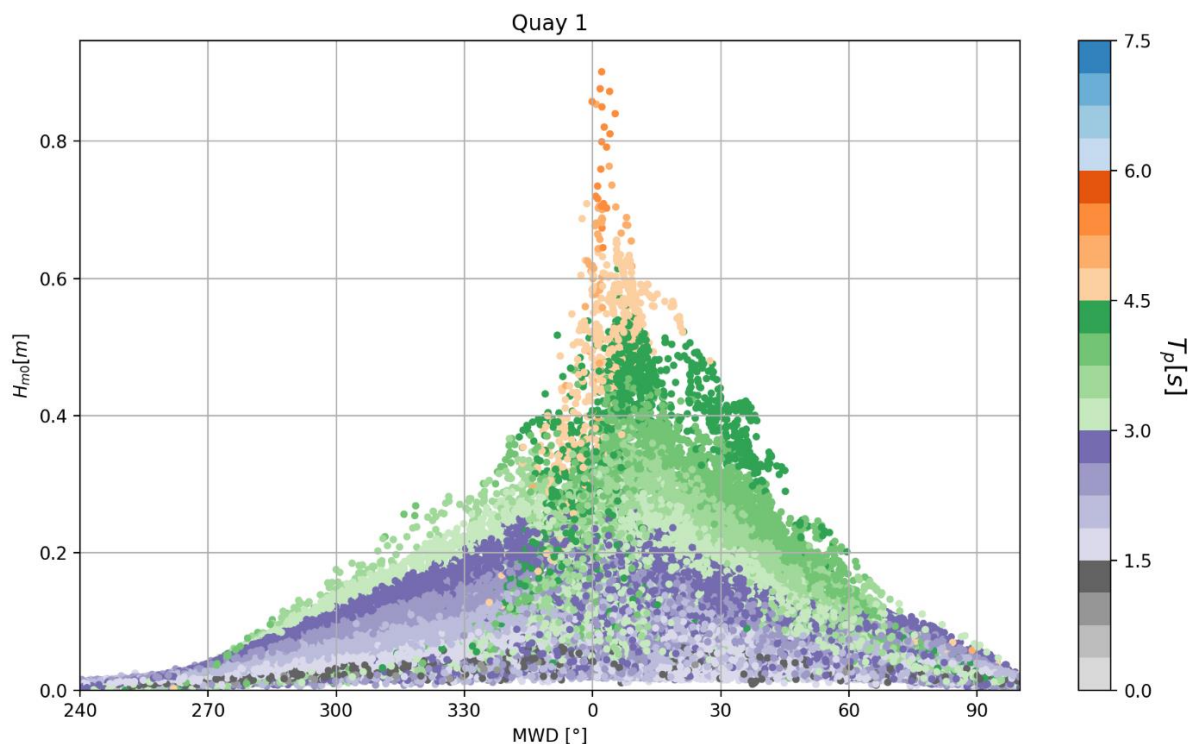
For Layout 2b er nedetiden med henblik på bølgeuro maksimalt 0,30% ved kaj 1, hvilket anses som værende acceptabelt i forhold til, at der også skal tages hensyn til nedetid for besejlingsforholdene beskrevet i bilag B.2. Nedetiden kan yderligere reduceres til 0,05% af tiden, hvis konstruktionerne i det indre havnebassin etableres med stenkastninger.

For Layout 3a er nedetiden for bølgeuro alene over 1% af tiden, hvilket betyder, at der ikke bør etableres lodrette kajvægge med høj refleksion parallelt med færgerne, da kriteriet for nedetid er overskredet. Ændres konstruktionerne i det indre havnebassin til at have refleksionskoefficienter svarende til stenkastninger (Layout 3b), så falder nedetiden forårsaget af bølgeuro til 0,40% af tiden, hvilket vurderes acceptabelt. De beregnede bølgeforhold ved kaj 1 for Layout 3b er vist på Figur B-2, hvor det fremgår, at det er bølger fra nord, som er kritiske for bølgeuroen.

Ved sammenligning af Layout 2 og 3 fremgår det, at nedetiden er højere for Layout 3, hvilket er som forventet, jf. afsnit 3.2 og 3.3.

I en senere fase bør det overvejes om datagrundlaget for beregningerne for bølgeuro skal øges, så en længere tidsserie betragtes end gjort i ref. /2/.

For en samlet vurdering af nedetiden for Layout 2 og 3 forårsaget af bølger henvises til afsnit 3.4.



Figur B-2 Beregnede bølgeforhold ved Kaj 1 (Quay 1) for Layout 3b, jf. ref. /2/.

B.2 Manøvresimuleringer

Der er i forbindelse med nærværende analyser udført manøvresimuleringer for både Layout 2 (NV-vendt havn) og Layout 3 (N-vendt havn). Manøvresimuleringer er som udgangspunkt udført under to workshops. Størstedelen af simuleringerne er udført af en kaptajn, der tidligere gennem 18 år har sejlet på Spodsbjerg-Tårs forbindelsen. Manøvresimuleringer og resultater heraf er nærmere beskrevet i ref. /8/.

Formålet med manøvresimuleringer er overordnet at undersøge besejlingen af færgehavnen for ekstreme vejrforhold (bølger, vind og strøm), hvor det skal være muligt at anløbe havnen for at overholde et krav til nedetid på 1% af tiden. I nærværende studie er der taget udgangspunkt i specifikke scenarier, som vurderes at være kritiske med hensyn til besejling, og hvis disse er overholdt vurderes det, at det også er muligt at besejle havnen under mindre kritiske scenarier.

På baggrund af de udførte manøvresimuleringer bemærkes det, at:

- › Den benyttede skibsmodel svarer til færgen som benyttes på den eksisterende Spodsbjerg-Tårs færgerute. Kaptajnen, som har udført manøvresimuleringerne, noterede at det føltes som om skibsmodellen havde mindre kraft end hvad han forventede i forhold til det virkelige skib. Dette kan tyde på, at simuleringerne er konservative, og at der potentielt kan opnås besejling under værre forhold end præsenteret i ref. /8/.

- › Simuleringerne blev udført under dagslys. I en senere fase bør der laves manøvresimuleringer med lav sigtbarhed og natsimuleringer.
- › Normalt benyttes kameraer placeret på færgerne under anløb af færgen. Dette kan gøre, at kaptajnen kan gå tættere på molehovederne. Kameraer var ikke til stede i de udførte manøvresimuleringer.
- › Manøvresimuleringerne er udført af én kaptajn og enkelte simuleringer af COWI. Under den reelle drift skal det forventes, at kaptajnen assisteres af en person på broen og at anløbsprocessen vil blive diskuteret og vurderet mellem de to personer.

En opsummering af matricen for manøvresimuleringerne fremgår af Tabel B-2. Tabellen viser de værste forhold for de forskellige scenarier. Manøvresimuleringerne er udført med reducerede vindhastigheder og/eller strømhastigheder, hvis det ikke har været muligt at anløbe havnen under de anviste forhold.

Der henvises til ref. /8/ for yderligere beskrivelse af manøvresimuleringerne, de faktiske udførte simuleringer og mere dybdegående resultater.

I det følgende gives en opsummering af resultaterne for Layout 2 og 3.

Tabel B-2 Opsummering af matrice for manøvresimuleringerne for Layout 2 og 3.

Layout	Scenarie No.	Case	Bølgeretning	Vindretning	H_{m0}	Begrænsende vindhastighed	Dybde-midlet strømhastighed	Strømretning	T_p
			[°N] Fra	[°N] Fra	[m]	[m/s]	[m/s]	[°N] Gående mod	[s]
2 (NV)	1NV	Dominerende vind-bølger	210	210	1,6	14	1,5	30	6
2 (NV)	2NV	Værste bølger i havnen	345	345	1,2	14	2,3	210	4,5
2 (NV)	3NV	Værste strøm vinkelret på havnemunding	30	30	1,2	14	2,3	210	4,5
3 (N)	1N	Dominerende vind-bølger	210	210	1,6	14	0,8	30	6
3 (N)	2N	Værste strøm og vind/bølger fra V	270	270	1,6	14	1,7	210	6
3 (N)	3N	Værste strøm og vind/bølger vinkelret på	90	90	0,9	14	1,7	210	3,5
3 (N)	4N	Værste bølger i havnen	0	0	1,2	14	1,7	210	4,5

B.2.1 Layout 2

Med baggrund i de udførte manøvresimuleringer for Layout 2, jf. ref. /8/, er de anbefalede begrænsende vejrforhold for almindelig drift angivet i Tabel B-3. Generelt

kan den fremskudte havn (Layout 2) ikke anløbes under de opstillede kritiske vejrforhold angivet i Tabel B-2, særligt når strømmen er gående mod SV og med vind og bølger fra nordvest til nordøstlige retninger.

Tabel B-3 Anbefalede begrænsende vejrforhold for almindelig drift for Layout 2.

Vind-/bølgeretning (fra)	90°N til 270°N		270°N til 345°N		345°N til 90°N	
Bølger	1-års returperiode parallelt med vinden					
Strømretning (gående mod)	NØ (30°N)	SV (210°N)	NØ (30°N)	SV (210°N)	NØ (30°N)	SV (210°N)
Strømhastighed	Op til 1,5 m/s	Op til 1,5 m/s*	Op til 1,5 m/s*	Op til 1,0 m/s**	Op til 1,5 m/s*	Op til 1,0 m/s**
Vindhastighed	Op til 14 m/s		Op til 14 m/s*	Op til 10 m/s**	Op til 14 m/s*	Op til 10 m/s**

*Antaget på baggrund af begrænsninger for andre simuleringer og er dermed behæftet med usikkerhed.

**Anløb af havnen med vindhastigheder op til 14 m/s kan nok opnås dog med lavere strømhastigheder.

Den maksimale strøm med 14 m/s vindhastighed er ikke evalueret.

Det er generelt vanskeligere at anløbe Layout 2 af den fremskudte havn i forhold til Layout 3 grundet den stærke strøm på tværs af havnemundingen. Kaptajnen, som har udført manøvreresimuleringer, har nævnt at tværstrøm på 1,2-1,5 m/s uden for havnen generelt medfører en høj risiko for navigationen. Strømhastigheder over 1,2 m/s forekommer alene ca. 7 % af tiden, hvoraf ca. 3,5 % forekommer for vindhastigheder over 10 m/s.

Nedetiden forårsaget af vejrforhold med henblik på anløb af havnen kan estimeres på baggrund af de begrænsende værdier angivet i Tabel B-3. Hvis der alene tages udgangspunkt i, at det ikke er muligt at besejle den fremskudte færgeshavn ved vindhastigheder over 14 m/s, så vil nedetiden svarer til ca. 1,6 %, jf. ref. /8/, hvilket alene i sig selv er over kriteriet for nedetid på 1 %. De 1,6 % kan deles op i hhv. 1,2 % for vindhastigheder i intervallet 14-16 m/s og 0,4 % for vindhastigheder over 16 m/s. Det vurderes uforsvarligt at sejle ved vindhastigheder over 16 m/s iht. udtalelser fra kaptajnen, som har udført manøvreresimuleringerne. I en senere fase bør det undersøges nærmere om anløb af havnen ved vindhastigheder i intervallet 14-16 m/s kan realiseres. Under forudsætning af dette og at strømmen ikke må overstige 1,2 m/s i intervallet 14-16 m/s vurderes det, at de 1,2 % reduceres til ca. 0,2 %. Det bemærkes, at vindhastigheder i intervallet 14-16 m/s primært opstår fra retningsintervallet 90°N til 270°N. Dette svarer dermed til en nedetid på 0,4 % + 0,2 % = 0,6 %.

Nedetiden øges for tilfældene hvor strømmen er gående mod SV, og vind og bølger kommer fra hhv. vest til nordvestlige og nord til østlige retninger, hvor anløb af havnen ikke er vurderet mulig for kombinationen med værdier over en vindhastighed på 10 m/s og strømhastighed på 1 m/s. Nedetiden estimeres til at være ca. 1,8 % ved at tage højde for samtidigheden af strøm og vind.

Dette giver samlet en nedetid på ca. 2,4 % af tiden alene for besejlingsforhold for Layout 2, hvilket er væsentligt over det anvendte kriterie. Det bemærkes, at de 2,4 % er behæftet med usikkerhed i forhold til de oplistede punkter øverst i bilag B.2, som taler både for og imod lavere nedetid. Samtidigheden af særligt strømhastigheder og vindhastigheder fra forskellige retninger bør undersøges nærmere i en senere fase med baggrund i et større datagrundlag. Dette gælder særligt for strømmen, da det kan reducere den potentielle nedetid for anløb af havnen.

På baggrund af manøvreresimuleringerne og udtalelser fra kaptajnen vedr. den kraftige tværstrøm, og udfordringerne ift. denne, skal der i en senere fase af projektet udføres supplerende manøvreresimuleringer for at afdække en mere reel nedetid for anløb af Layout 2, særligt ved strøm gående mod SV.

B.2.2 Layout 3

Med baggrund i de udførte manøvreresimuleringer for Layout 3, jf. ref. /8/, er de anbefalede begrænsende vejrforhold for almindelig drift angivet i Tabel B-4. Generelt kan den fremskudte havn (Layout 3) anløbes under de opstillede kritiske vejrforhold angivet i Tabel B-2. Det bemærkes dog, at:

- › anløb af havnen ved kritiske vind og bølger fra nordlige retninger og strøm gående mod SV ikke var mulig. For disse forhold var det nødvendigt at reducere strømhastigheden til 1,2 m/s og vindhastigheden til 10 m/s.
- › anløb af havnen ved kritiske vind og bølger fra østlige retninger og strøm gående mod SV var ikke mulig. For disse forhold var det nødvendigt at reducere strømhastigheden til 1 m/s og vindhastigheden til 10 m/s.

Tabel B-4 Anbefalede begrænsende vejrforhold for almindelig drift for Layout 3.

Vind-/bølgeretning (fra)	120°N til 300°N		300°N til 30°N		30°N til 120°N	
Bølger	1-års returperiode parallelt med vinden					
Strømreretning (gående mod)	NØ (30°N)	SV (210°N)	NØ (30°N)	SV (210°N)	NØ (30°N)	SV (210°N)
Strømhastighed	Op til 0,8 m/s	Op til 1,7 m/s*	Op til 0,8 m/s*	Op til 1,2 m/s	Op til 0,8 m/s*	Op til 1 m/s
Vindhastighed	Op til 14 m/s		Op til 14 m/s*	Op til 10 m/s**	Op til 14 m/s*	Op til 10 m/s**

* Antaget på baggrund af begrænsninger for andre simuleringer og er dermed behæftet med usikkerhed.

**Anløb af havnen med vindhastigheder op til 14 m/s kan opnås dog med lavere strømhastigheder end 1,0 m/s. Grænsen for dette er ikke evalueret.

Nedetiden forårsaget af vejrforhold med henblik på anløb af havnen kan estimeres på baggrund af de begrænsende værdier angivet i Tabel B-4. For vindhastigheder i intervallet 14-16 m/s og over 16 m/s vurderes en samlet nedetid på ca. 0,5 %, jf. beskrivelsen under Layout 2, med forudsætningen om at det ved flere

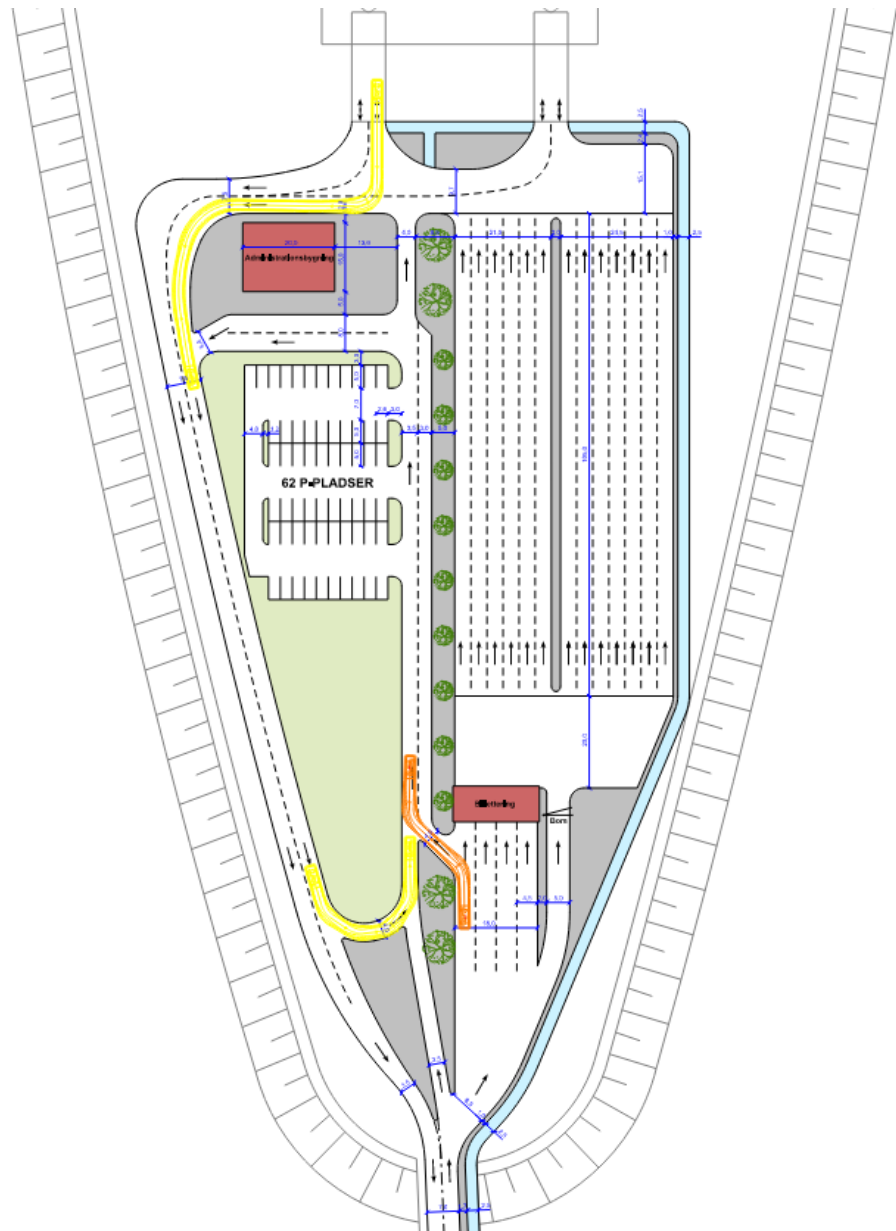
manøvresimuleringer kan realiseres at anløbe havnen for vindhastigheder i intervallet 14-16 m/s og ved strømhastigheder under 1,2 m/s.

Nedetiden øges også med ca. 0,4 % for tilfældet, hvor der kommer vind og bølger fra østlige retninger og strøm gående mod SV, hvor anløb af havnen ikke er vurderet mulig for kombinationen med værdier over en vindhastighed på 10 m/s og strømhastighed på 1 m/s ved at tage højde for samtidigheden af strøm og vind.

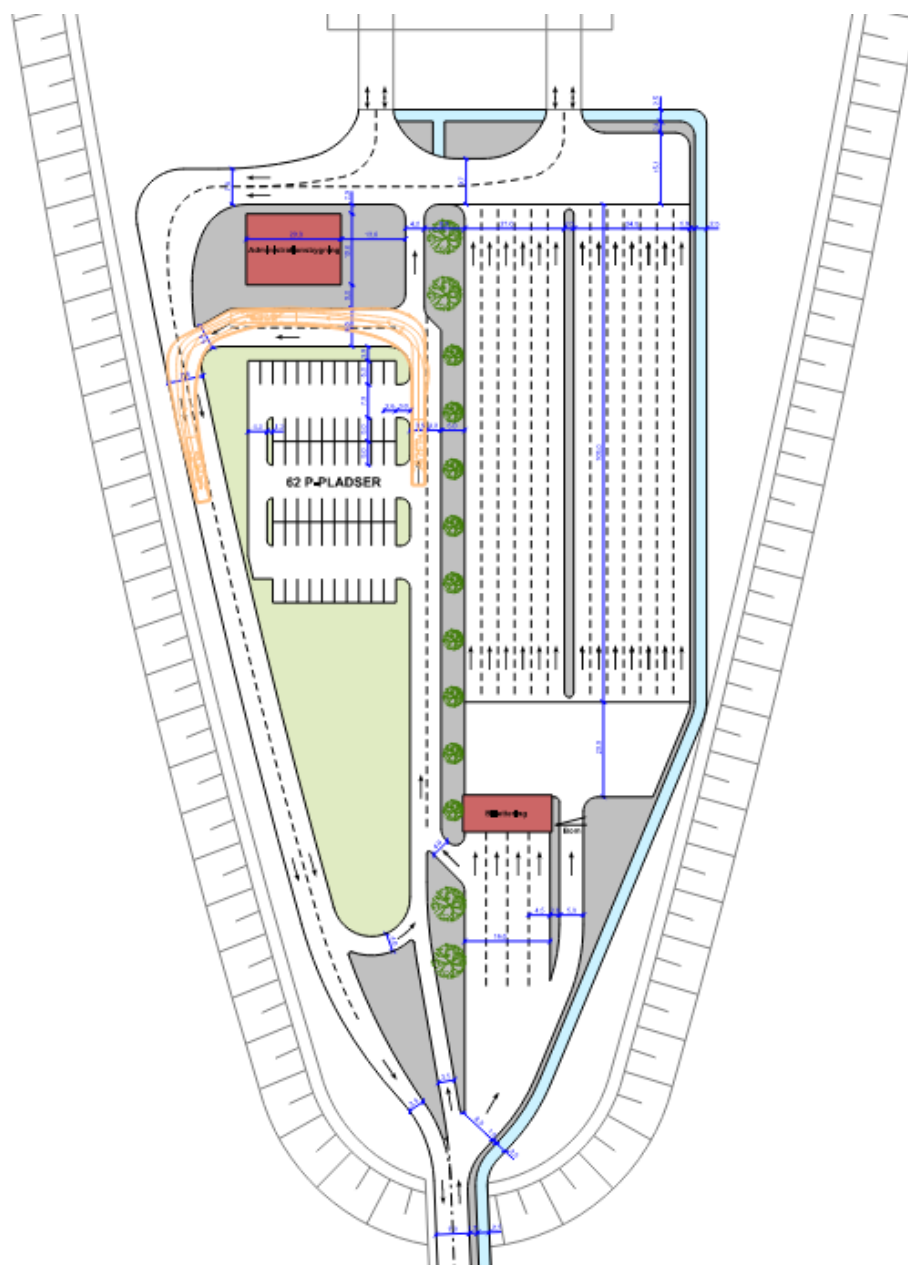
Nedetiden øges yderligere med ca. 0,3 % for tilfældet, hvor der kommer vind og bølger fra nordlige retninger og strøm gående mod SV, hvor anløb af havnen ikke er vurderet mulig for kombinationen med værdier over en vindhastighed på 10 m/s og strømhastighed på 1,2 m/s ved at tage højde for samtidigheden af strøm og vind.

Dette giver samlet en nedetid på ca. 1,2 % af tiden alene for besejlingsforhold for Layout 3. Det bemærkes, at de 1,2 % er behæftet med usikkerhed i forhold til de oplistede punkter øverst i bilag B.2, som taler både for og imod lavere nedetid. Samtidigheden af særligt strømhastigheder og vindhastigheder fra forskellige retninger bør undersøges nærmere i en senere fase med baggrund i et større datagrundlag. Dette gælder særligt for strømmen, da det kan reducere den potentielle nedetid for anløb af havnen.

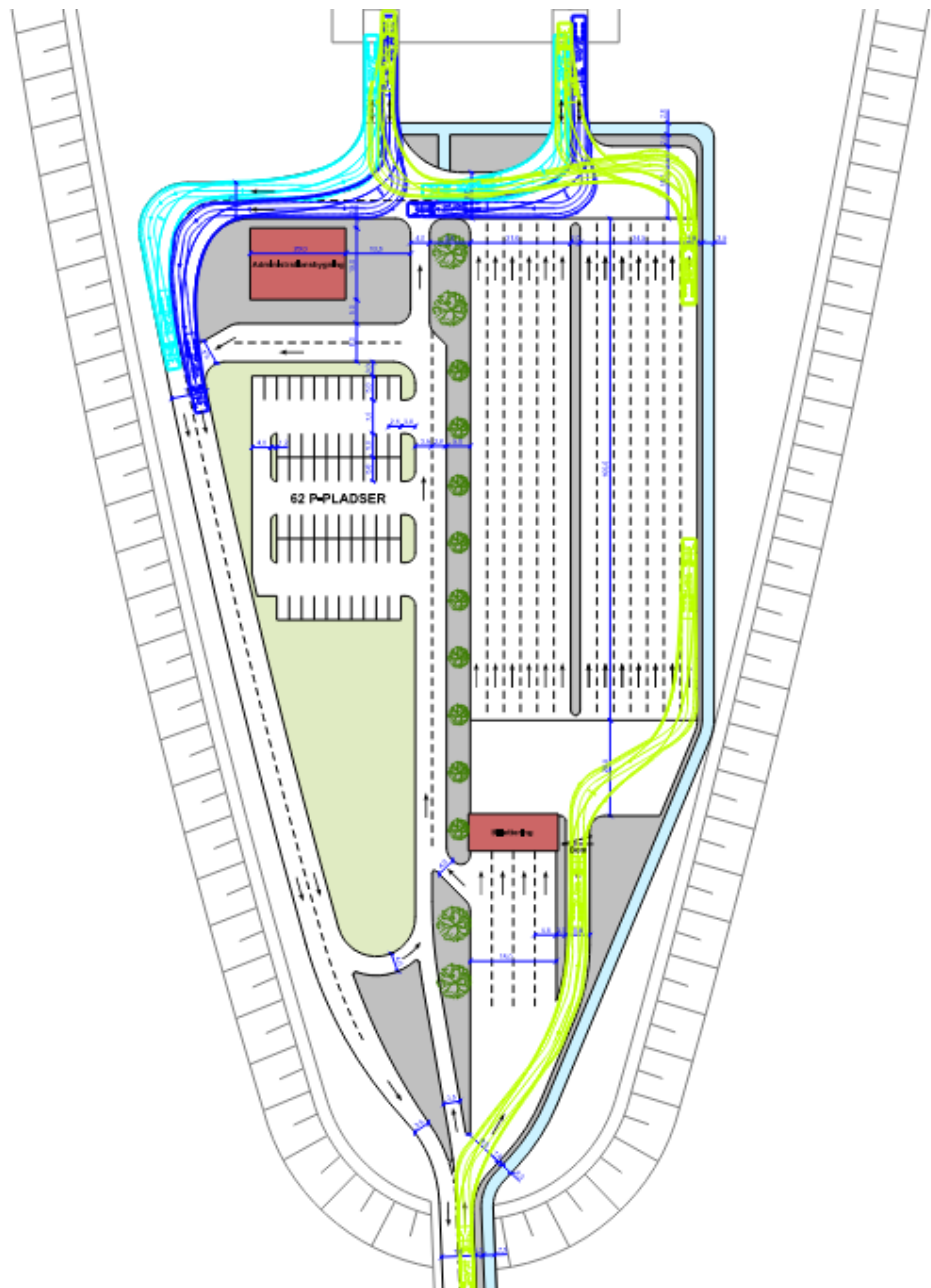
Bilag C Kørekurver for terminalområde



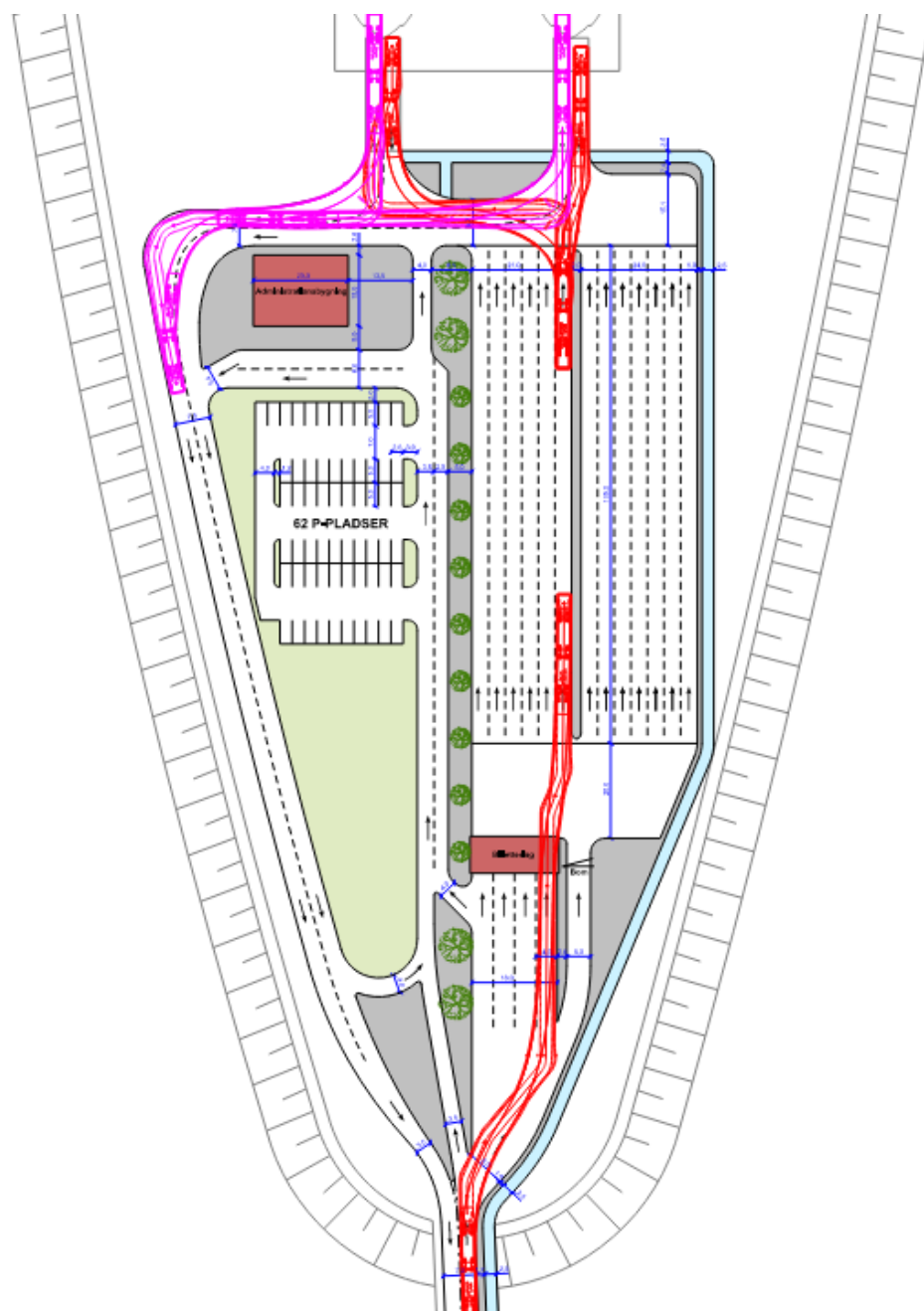
Figur C-1 Kørekurver for biler.



Figur C-2 Kørekurver for busser.



Figur C-3 Kørekurver for sættevogntog (SVT).



Figur C-4 Kørekurver for modulvognstog (MVT).

Bilag D Scattertabeller

I det følgende præsenteres månedlige fordelinger for den signifikante bølgehøjde, vindhastigheden U10 og strømhastigheder ude foran havnemundingen for Layout 2 og 3 i form af scattertabeller.

Tabel D-1 Scattertabel for den signifikante bølgehøjde, H_{m0} , fordelt over måneder. Data fra ref. /2/ i perioden 2003 til 2013, se afsnit 2.2.3. Bemærk at tabellen kun indeholder data fra retningsintervallet 315 °N til 45 °N, som er kritisk for nedetiden for Layout 3 (nordvendt havnemunding). Procentsatser er set i forhold til den samlede data for hele perioden.

Percent Occurrence Table of Significant Wave Height: Month-wise

	Month												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
0.0 - 0.1	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.3%	0.2%	0.3%	0.2%	0.2%	0.1%	<0.1%	<0.1%	2.1%
0.1 - 0.2	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	3.1%
0.2 - 0.3	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	2.3%
0.3 - 0.4	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	<0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	2.0%
0.4 - 0.5	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	<0.1%	0.1%	<0.1%	<0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	1.7%
0.5 - 0.6	0.2%	0.2%	0.2%	<0.1%	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	1.4%
0.6 - 0.7	0.1%	0.2%	0.2%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.1%	1.1%
0.7 - 0.8	0.1%	0.2%	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%		<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.1%	<0.1%	0.8%
0.8 - 0.9	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%		<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.7%
0.9 - 1.0	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%		<0.1%		<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.4%
1.0 - 1.1	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%				<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.3%
1.1 - 1.2	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%					<0.1%		<0.1%	<0.1%	0.2%
1.2 - 1.3	<0.1%	<0.1%		<0.1%							<0.1%	<0.1%	0.1%
1.3 - 1.4												<0.1%	0.0%
1.4 - 1.5													0.0%
> 1.5													0.0%

Tabel D-2 Scattertabel for vindhastigheden U10 fordelt over måneder. Data fra NORA3 datasættet i perioden 1993-01-01 til 2023-11-29, se afsnit 2.2.2.

Percent Occurrence Table of Wind Speed: Month-wise

Wind Speed (m/s)	Month													
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
	0.0 - 2.0	0.2%	0.2%	0.4%	0.5%	0.6%	0.5%	0.6%	0.5%	0.4%	0.3%	0.2%	0.2%	4.5%
	2.0 - 4.0	0.9%	0.9%	1.2%	1.6%	1.7%	1.7%	1.7%	1.6%	1.3%	1.1%	0.9%	0.8%	15.4%
	4.0 - 6.0	1.6%	1.5%	1.9%	2.2%	2.2%	2.1%	2.2%	2.4%	1.9%	1.7%	1.6%	1.6%	22.8%
	6.0 - 8.0	1.9%	1.8%	2.0%	1.9%	2.1%	1.9%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.9%	1.9%	23.4%
	8.0 - 10.0	1.8%	1.6%	1.6%	1.2%	1.3%	1.2%	1.3%	1.2%	1.5%	1.8%	1.8%	1.7%	18.0%
	10.0 - 12.0	1.3%	1.0%	0.8%	0.6%	0.5%	0.6%	0.6%	0.6%	0.7%	1.1%	1.1%	1.2%	10.1%
	12.0 - 14.0	0.6%	0.5%	0.4%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.3%	0.5%	0.5%	0.6%	4.2%
	14.0 - 16.0	0.2%	0.2%	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	1.2%
	16.0 - 18.0	<0.1%	<0.1%	<0.1%						<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.3%
	18.0 - 20.0	<0.1%	<0.1%								<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.1%
	20.0 - 22.0													0.0%
	> 22.0													0.0%

Tabel D-3 Scattertabel for dybdemidlet strømhastighed (uafhængigt af retning) fordelt over måneder for Layout 3 uden for havnemundingen. Data fra punkt P4N for år 2019, se ref. /8/.

Percent Occurrence Table of Current Speed: Month-wise

Current Speed (m/s)	Month													Total
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
	0.0 - 0.2	2.3%	2.8%	2.9%	3.6%	2.3%	3.2%	3.0%	3.5%	2.2%	2.9%	3.2%	2.1%	
	0.2 - 0.4	3.8%	3.0%	3.3%	3.6%	2.6%	3.8%	3.4%	3.1%	2.9%	3.3%	4.1%	2.9%	
	0.4 - 0.6	0.9%	0.7%	1.2%	0.6%	1.2%	0.8%	0.5%	1.1%	1.0%	0.8%	0.3%	1.0%	
	0.6 - 0.8	0.6%	0.6%	0.3%	0.2%	1.0%	0.3%	0.5%	0.5%	0.8%	0.7%	0.2%	0.7%	
	0.8 - 1.0	0.4%	0.5%	0.5%	0.2%	0.8%	0.1%	0.5%	0.3%	0.7%	0.7%	0.2%	0.8%	
	1.0 - 1.2	0.2%	0.1%	0.1%	<0.1%	0.3%	<0.1%	0.3%	<0.1%	0.5%	0.1%	<0.1%	0.6%	
	1.2 - 1.4	<0.1%	<0.1%	<0.1%		0.2%		0.3%		0.2%	<0.1%	0.1%	0.3%	
	1.4 - 1.6	0.1%		<0.1%		<0.1%		<0.1%			<0.1%	<0.1%		
	1.6 - 1.8											<0.1%		
	1.8 - 2.0													
	2.0 - 2.2													
	2.2 - 2.4													
	2.4 - 2.6													
	> 2.6													

Tabel D-4 Scattertabel for dybdemidlet strømhastighed (uafhængigt af retning) fordelt over måneder for Layout 2 uden for havnemundingen. Data fra punkt P4NW for år 2019, se ref. /8/.

Percent Occurrence Table of Current Speed: Month-wise

	Month												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
0.0 - 0.2	1.1%	1.5%	1.5%	1.7%	1.2%	1.8%	1.9%	2.0%	1.0%	1.5%	1.6%	1.0%	17.8%
0.2 - 0.4	1.3%	1.7%	1.8%	2.2%	1.5%	2.1%	1.6%	2.1%	1.3%	1.5%	1.9%	1.3%	20.3%
0.4 - 0.6	1.4%	1.6%	1.9%	2.0%	1.4%	1.8%	1.4%	1.8%	1.5%	1.8%	2.0%	1.3%	20.0%
0.6 - 0.8	1.4%	1.3%	1.4%	1.2%	1.2%	1.4%	1.7%	1.4%	1.3%	1.5%	1.5%	1.5%	16.9%
0.8 - 1.0	1.7%	0.6%	0.8%	0.7%	1.1%	0.8%	0.7%	0.7%	1.1%	0.9%	0.7%	1.0%	10.7%
1.0 - 1.2	0.9%	0.6%	0.5%	0.3%	1.0%	0.2%	0.3%	0.3%	0.8%	0.7%	0.1%	0.7%	6.4%
1.2 - 1.4	0.4%	0.3%	0.4%	0.1%	0.5%	<0.1%	0.4%	0.1%	0.6%	0.4%	0.1%	0.7%	4.2%
1.4 - 1.6	0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.2%	<0.1%	0.2%	<0.1%	0.3%	<0.1%	<0.1%	0.5%	1.8%
1.6 - 1.8	<0.1%	<0.1%	<0.1%		0.2%	<0.1%	0.2%		0.3%	<0.1%	0.1%	0.3%	1.3%
1.8 - 2.0	0.1%		<0.1%		<0.1%		<0.1%		<0.1%	<0.1%	<0.1%	<0.1%	0.5%
2.0 - 2.2	<0.1%		<0.1%		<0.1%		<0.1%				<0.1%		0.2%
2.2 - 2.4											<0.1%		0.1%
2.4 - 2.6													0.0%
> 2.6													0.0%