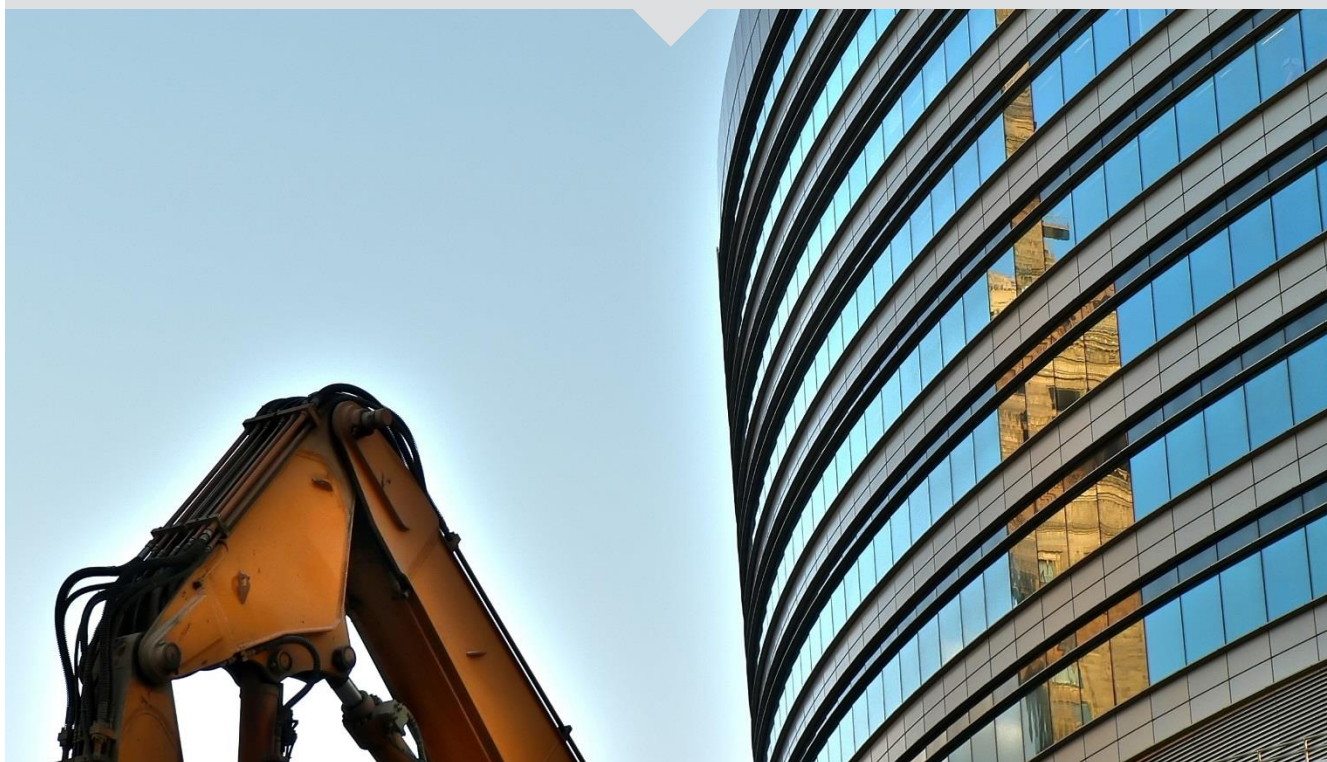


Rambøll / Kjerringsundet AS

Bølgebelastning på vegfylling Kjerringsundet



Oppdragsnr.: 5174434 Dokumentnr.: 1 Versjon: 1
2018-02-16

Oppdragsgiver: Rambøll / Kjerringsundet AS
Oppdragsgivers kontaktperson: Erik Spilsberg
Rådgiver: Norconsult AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim
Oppdragsleder: Espen Thøring
Fagansvarlig: Arne E Lothe
Andre nøkkelpersoner: Paul Myklestad

1	2018-02-16	Endelig rapport	Arne E Lothe	Onno Musch	Espen Thøring
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Innhold

1	Sammendrag	4
2	Innledning	5
1	Datakilder	6
2	Metode	6
2.1	Stormflo og vann-nivå	6
2.2	Havbølger/dønning	6
2.3	Vindbølger	7
3	Resultat av bølgemodellering	7
3.1	Stormflo og vann-nivå	7
3.2	Havbølger	8
3.3	Vindbølger	11
4	Dimensjonering av fyllinger	14
5	Referanser	16

1 Sammen drag

Rapporten inneholder en beregning av dimensjonerende bølgebelastning på en planlagt vegforbindelse fra Otrøya til Gossen. Bølgeberegningen er generell og kan anvendes til alle deler av vegprosjektet.

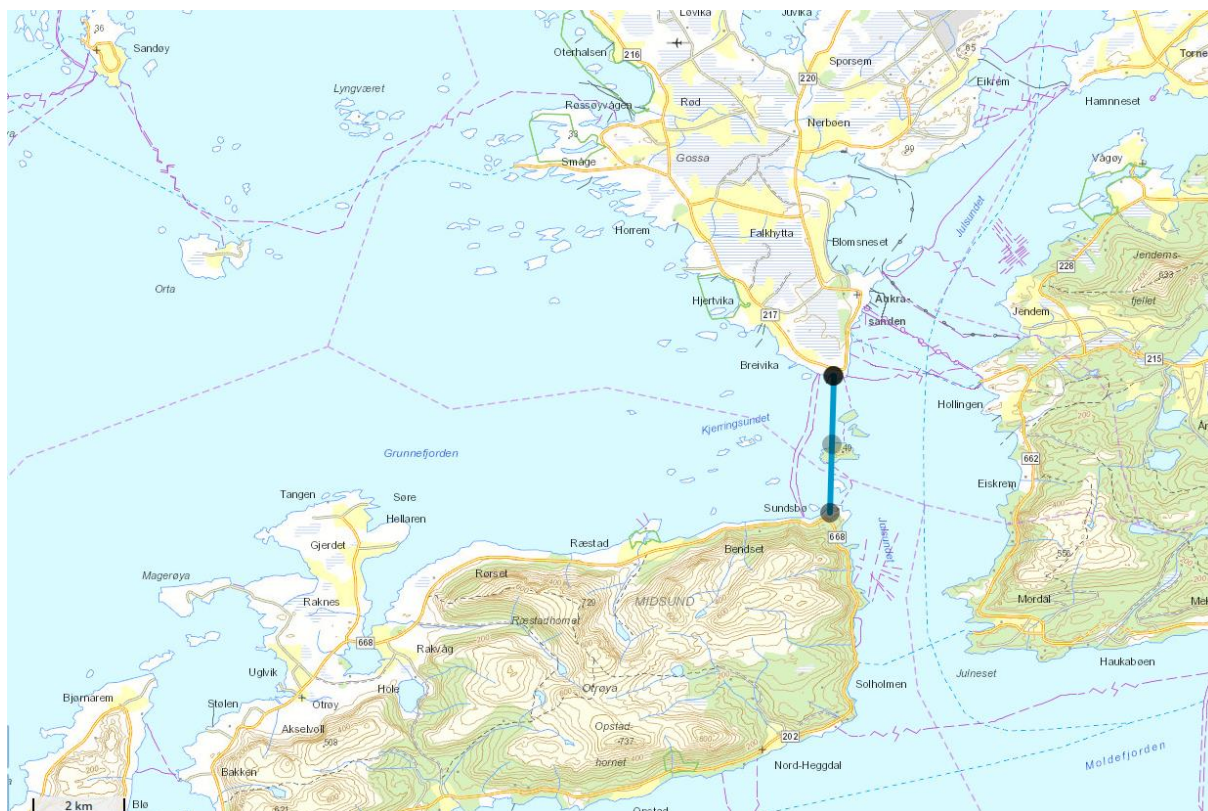
I denne rapporten er det også foretatt en dimensjonering av en vegfylling over det antatt mest utsatte sundet, som er Flatholmsundet. Det er gitt et utkast til et normalprofil for vegfyllingen.

Det er to andre fyllinger i planen, og disse vil ha en lavere belastning enn Flatholmsundet.

Bølgedata som presenteres i rapporten kan også brukes til dimensjonering av bru-elementer.

2 Innledning

Rambøll Norge AS utreder en ny vegforbindelse mellom Otrøya og Gossen i Møre og Romsdal, se Figur 1 og Figur 2. Norconsult er bedt om å vurdere bølgebelastningen mot de delene av vegen som kommer i kontakt med sjøen, dvs vegfyllinger og eventuelle brufundamenter.



Figur 1 Oversiktskart



Figur 2 Planlagt vegtrasé (nord er mot høyre på bildet)

1 Datakilder

Til denne studien har vi brukt følgende datakilder.

1. Primærdata for Møre og Romsdal, levert av Statens Kartverk
2. Vind-data fra Ona Fyr (met.no)
3. Hindcast bølgedata fra posisjon N 62.57° / Ø 5.67°

2 Metode

2.1 Stormflo og vann-nivå

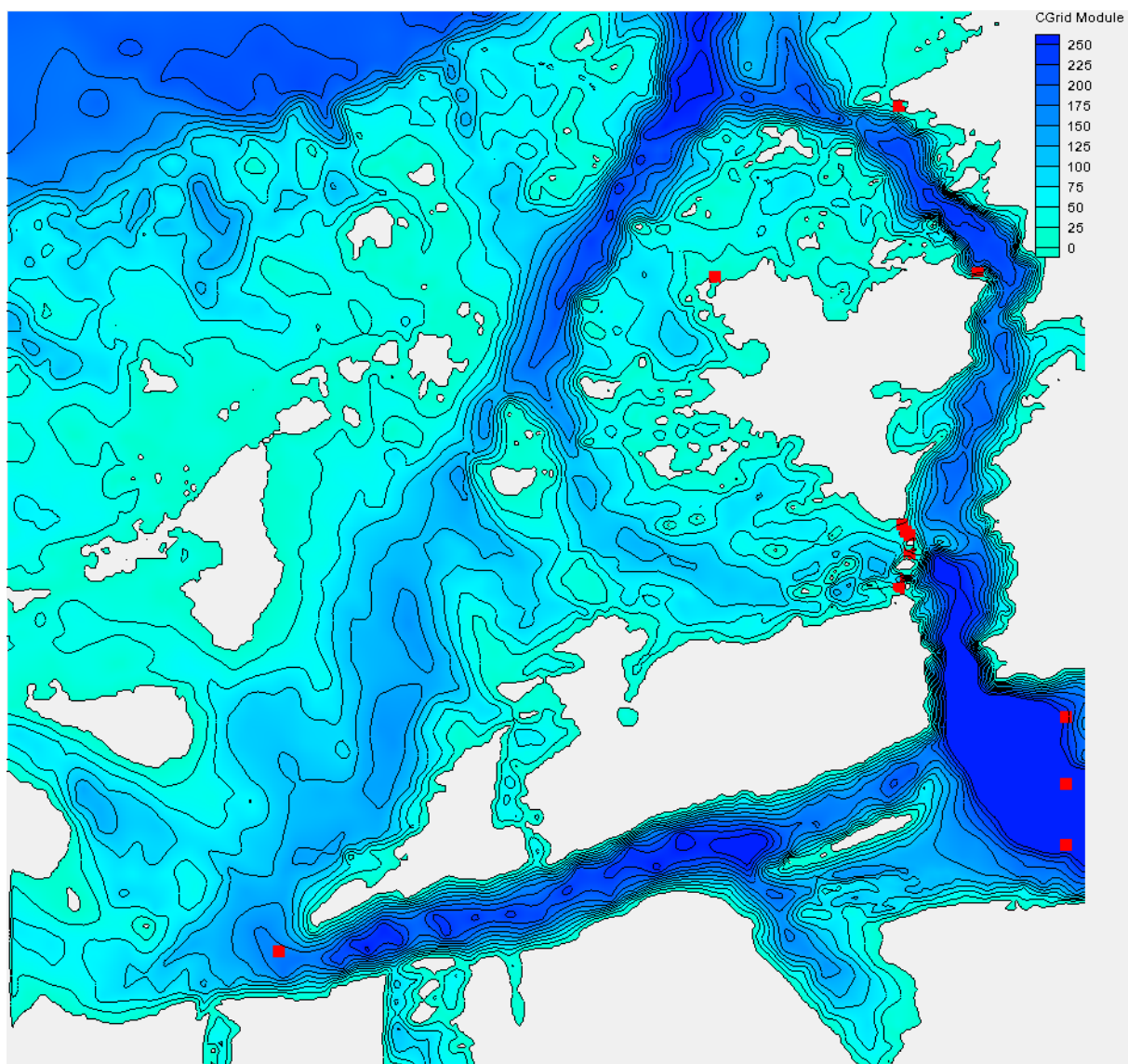
Stormflo er beregnet ved å ta utgangspunkt i ekstremverdier beregnet fra ekstrapolasjon av verdier oppgitt i Tidevannstabellene. Nærmeste standardhavn er Ålesund.

Effekter av klimaendringer er hentet fra siste offisielle publikasjon som er fra 2015 (1). Estimert stormflo er funnet ved å addere dagens ekstremverdi (200 års returperiode) til forventet havnivåstigning i 2100.

2.2 Havbølger/dønning

For å bestemme hvor stor del av bølger fra åpent hav som kan trenge gjennom øyrekka Flemsøya-Fjørtofta-Harøya-Sandøya-Ona er det laget en bølgemodell basert på modelleringsverktøyet STWAVE (2). Modellen som er benyttet er vist i Figur 3.

Ved bølgeberegningen i modellen er det antatt et bølgespektrum med inngående signifikant bølgehøyde $H_s = 5.0$ m. Bølgene kommer inn på vestre og nordre kant i modellen. Ved modelleringen er det utført undersøkelser for retninger fra 240° - 360°.



Figur 3 Dybdatedatamodell for bølgeberegning. Røde punkter angir steder for detaljert bølgeberegning.

2.3 Vindbølger

Vindbølgene er undersøkt ved hjelp av modellen HsComp. Denne modellen er utviklet av SINTEF (3), og er nylig verifisert gjennom et bølgemålingsprogram utført for Statens Vegvesen (4).

3 Resultat av bølgemodellering

3.1 Stormflo og vann-nivå

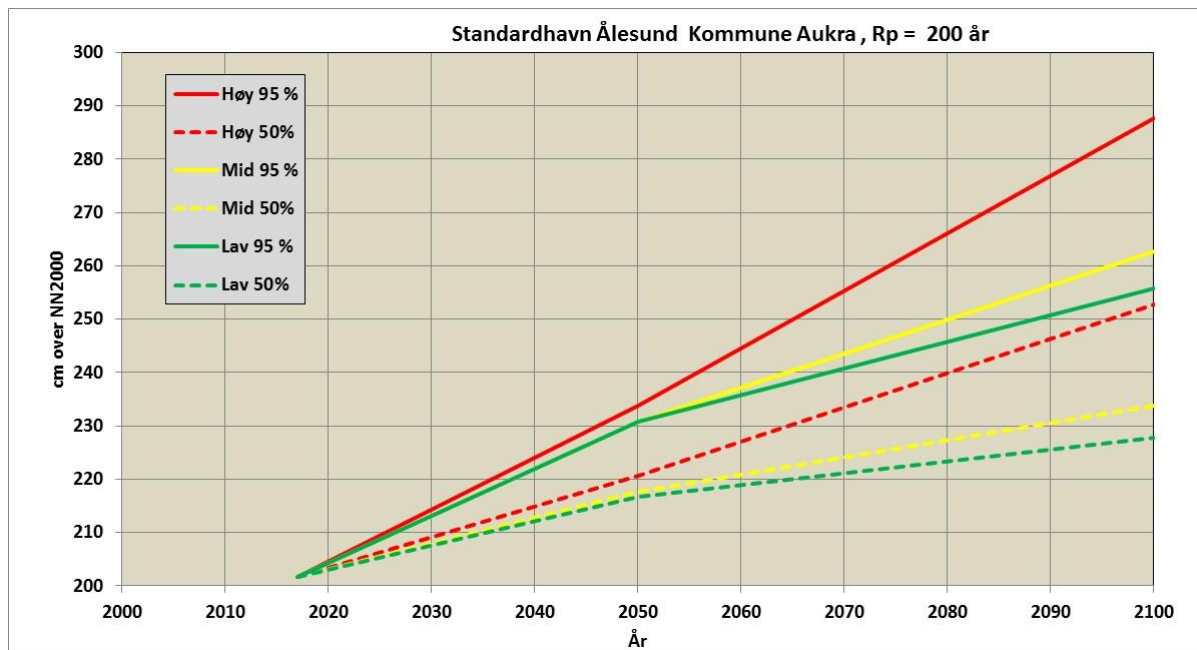
Resultat av beregning av stormflo er vist i Figur 4. Figuren viser estimert stormflonivå fram mot 2100 ved hhv Høyt, Middels og Lavt framtidig utslippsnivå av klimagasser. Hver utslippsscenario har også to verdier; mest sannsynlige (59 %) vist ved stiplet linje, og en verdi for 95 % kvantil av estimatene.

Retningslinjer fra DSB og TEK17 sier at bygg i klasse F2 skal dimensjoneres for høyeste utslippsnivå og 95 % kvantil i 2090, dvs ca 275 cm NN2000.

Til sammenligning er dagens 200 års stormflo i Ålesund 179 cm NN2000, og dagens 200 års verdi er 202 cm NN2000.

For bølgeomodelleringen er det benyttet et vann-nivå på 2.5 m NN2000.

For vegfyllingene vil det være forsvarlig å benytte et estimert stormflo-nivå i 2050 basert på middels utslippsnivå. Det skyldes at høyden på vegfyllinger er enkelt justerbar. Hvis man benytter et dimensjonerende nivå på 230 cm NN2000, vil man i aller verste fall finne at man i 2050 mangler 58 cm på å oppfylle kravet om 200 års returperiode i 2100.



Figur 4 Utviklingsbaner for estimert 200-års verdi av stormflo i Aukra. Høy, Mid og Lav refererer til ulike scenarier for utvikling av klimagassutslipp, 50 % angir mest sannsynlige utvikling, 95 % er 95 % kvantilen.

3.2 Havbølger

Figur 5 viser et eksempel på resultat fra bølgeomodelleringen. Figuren viser bølger med signifikant bølgehøyde $H_s = 5.0$ m som nærmer seg øyrekka fra retning vest (270°). Spektral topp-periode $T_p = 12.0$ s.

Vi ser at øyrekka effektivt demper bølgene og skjermer hele Harøyfjorden/Grunnefjorden mot bølger fra havet. Det er nå utført flere slike modelleringer for forskjellige retninger og bølgeperioder. Tabell 1 viser en oversikt over hvilke case som er undersøkt.

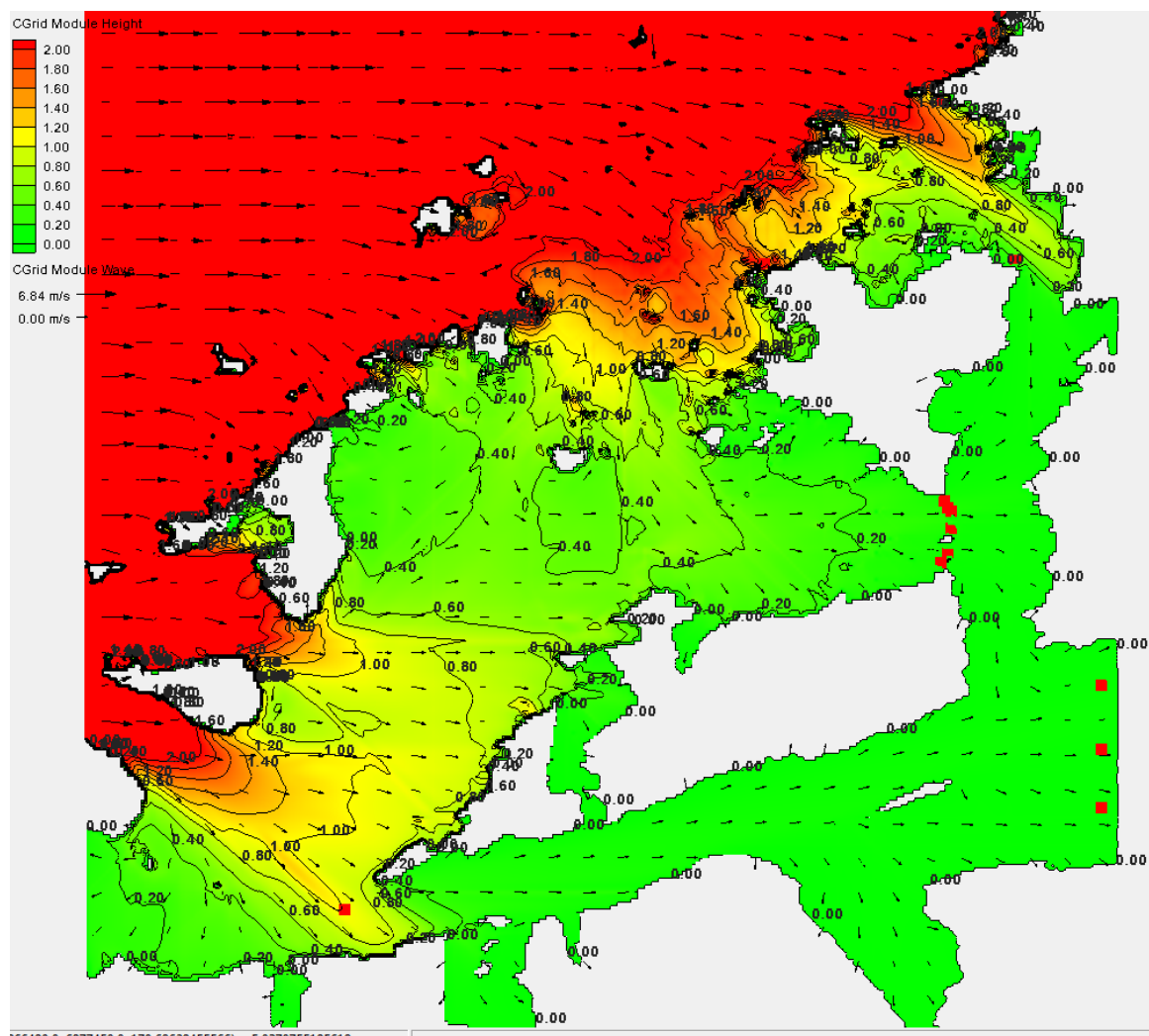
I hvert tilfelle kan vi lese av hvilken bølgehøyde som vil opptre i vegtraséen, og kan på det grunnlaget beregne en parameter som er forholdet mellom bølgehøyden i et gitt punkt (i vegtraséen) og bølgehøyden i åpent hav (5.0 m). Denne parameteren er uavhengig av bølgehøyden, og varierer bare med retning og periode.

Figur 6 - Figur 8 viser hhv bølgehøydekoefisient, variasjon i spektral topp-periode og ny retning for et punkt som ligger midt i Flatholmsundet. Det er to større fyllinger i prosjektet i hhv Søndre Bollholmsundet og Flatholmsundet, og av disse er Flatholmsundet mest utsatt. Vi ser likevel av Figur 6 at bare ca 2 % av bølgehøyden i åpent hav forventes å opptre i Flatholmsundet. En signifikant bølgehøyde i åpent hav på f eks $H_s = 10.0$ m vil altså gi bare $H_s = 0.2$ m i Flatholmsundet.

Denne bølgehøyden er så liten at den kan neglisjeres, men det er utført en statistisk beregning av de aktuelle bølgehøydene for alle de avmerkede punktene i Figur 3. Det gjøres ved at det foretas en statistisk analyse av bølgedata fra hindcastpunktet, og så transformeres de ekstreme verdiene fra åpent hav til ekstremverdier for vegtraséen. Bølgedata for havbølger mot fyllingen i Flatholmsundet er vist i Figur 9.

Figuren viser at en ekstrem signifikant bølgehøyde (200 års returperiode) kan bli ca $H_{s,200} = 0.27$ m under en ekstrem storm fra retning 270° . Tilhørende signifikant bølgehøyde i åpent hav er da ca $H_s = 14.0$ m.

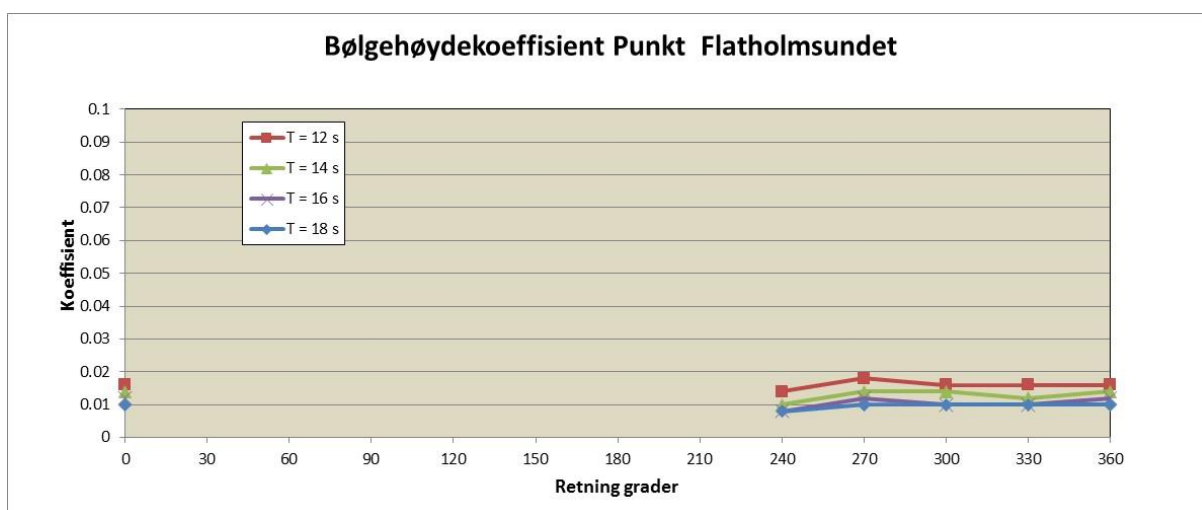
Bølgemodelleringen viser også at det er teoretisk mulig at det kan komme inn havbølger fra nord og i retning sørover gjennom Julsundet, og treffe vegtraséen fra øst. Dette bidraget til bølgene er imidlertid så lite at det er neglisjert.



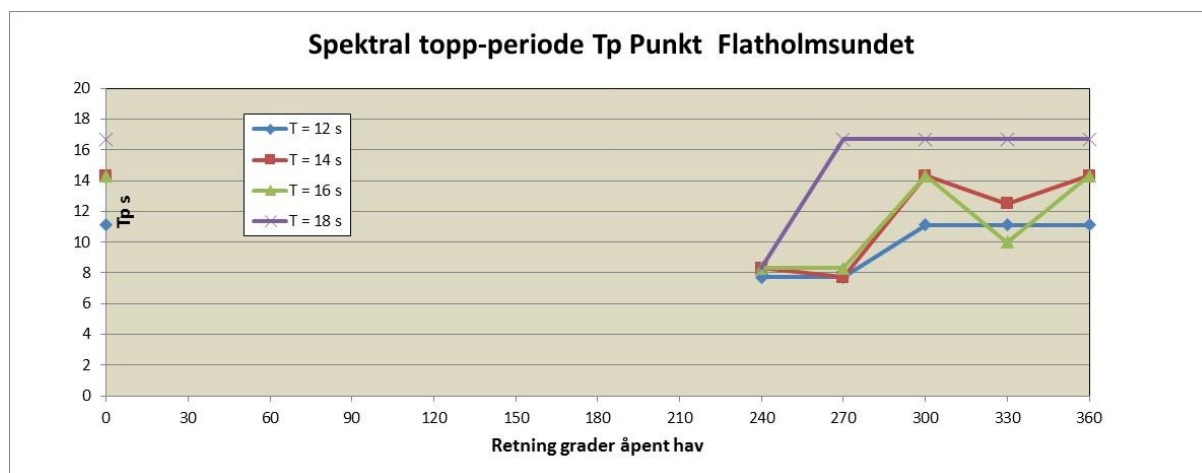
Figur 5 Eksempel på resultat fra bølgemodellering. Bildet viser fordeling av signifikant bølgehøyde ved innkommende bølger med $H_s = 5.0$ m fra vest.

Tabell 1 Oversikt over antall kombinasjoner av retning og periode (i åpent hav) som er testet. Nummer er kombinasjonens løpenummer.

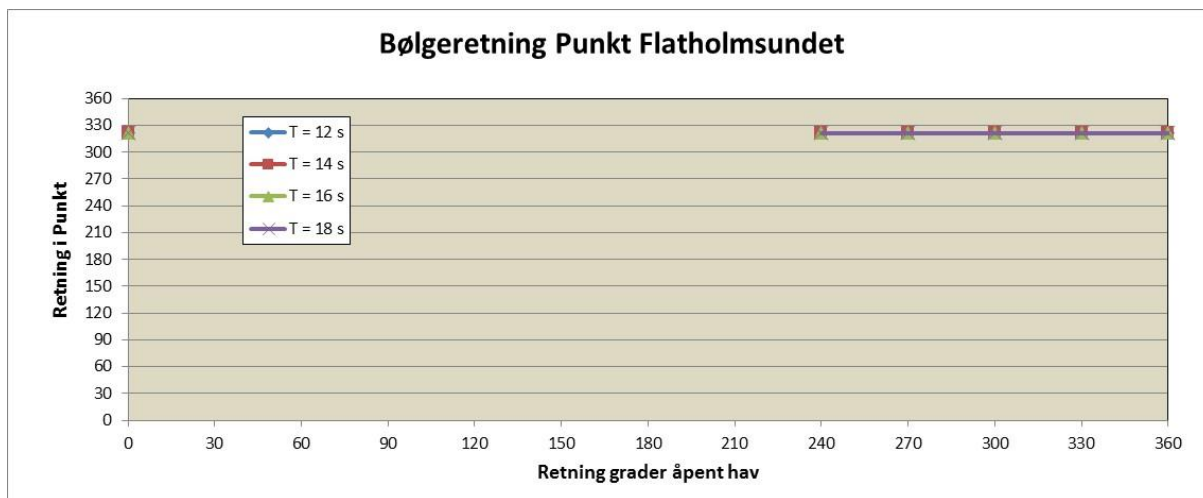
Innkommende bølgeretning °	Spektral topp-periode T_p s			
	12.0	14.0	16.0	18.0
240	12	13	14	15
270	17	18	19	20
300	22	23	24	25
330	27	28	29	30
360	32	33	34	35



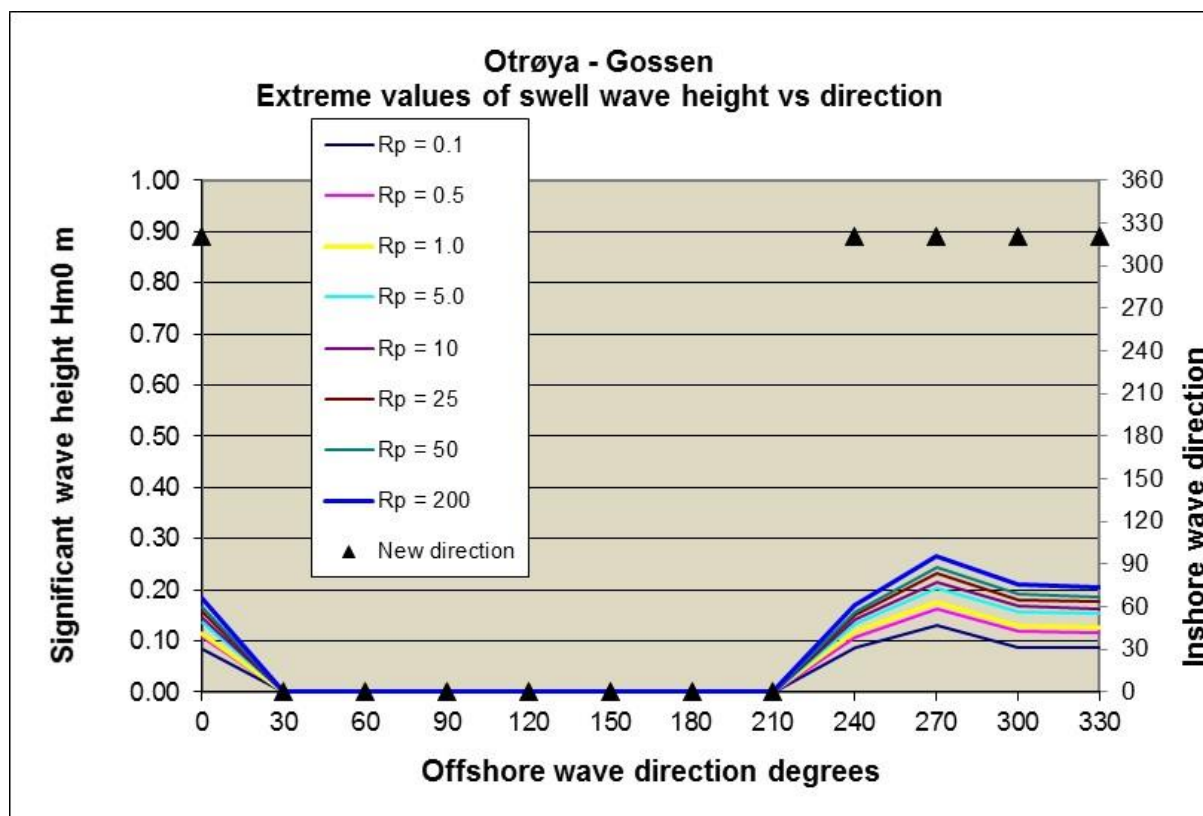
Figur 6 Fordeling av bølgehøydekoefisient for Flatholmsundet ved variabel retning og spektral topp-periode i åpent hav



Figur 7 Fordeling av spektral topp-periode for Flatholmsundet ved variabel retning og spektral topp-periode i åpent hav



Figur 8 Fordeling av retning for Flatholmsundet ved variabel retning og spektral topp-periode i åpent hav



Figur 9 Fordeling av ekstremverdier av havbølger ved Flatholmsundet. R_p er returperiode i år.

3.3 Vindbølger

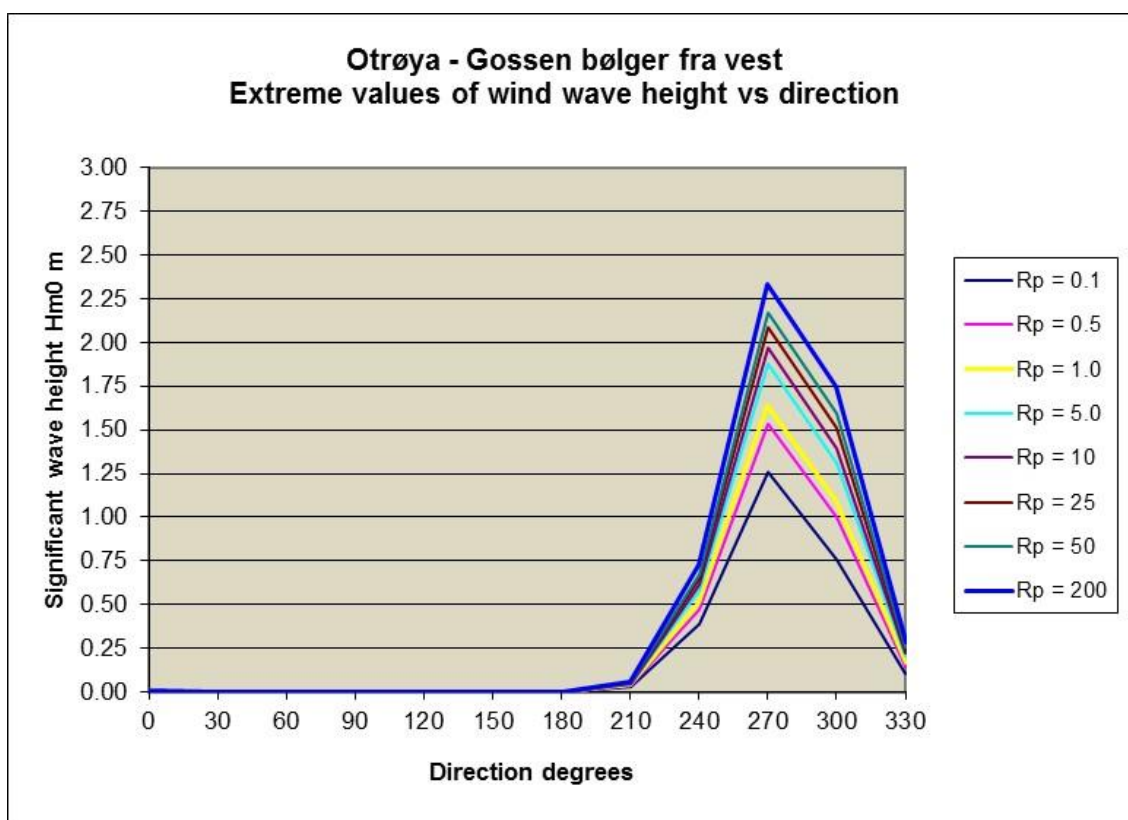
Vindbølgene er analysert ved hjelp av programmet HsComp. Vi tar utgangspunkt i beregnede ekstremverdier av vind fra Ona Fyr 2002 – 2011. Deretter beregnes hvilke bølgehøyder som genereres av denne vinden innenfor 12 30°-sektorer. Bølgehøyden varierer mellom sektorene fordi både vindhastigheten og lengden over fri sjøoverflate er ulik.

Ved beregningen er det gjort følgende tilpasninger eller justeringer.

1. Vi antar at vinden kan skifte retning med inntil en 30°-sektor fra Ona til Kjerringsundet
2. Vindhastigheten er tilpasset slik at vindhastigheten må ha en varighet som er tilstrekkelig for at bølgene skal kunne oppstå. Nødvendig varighet varierer mellom fra 10 minutter til over 1 time.

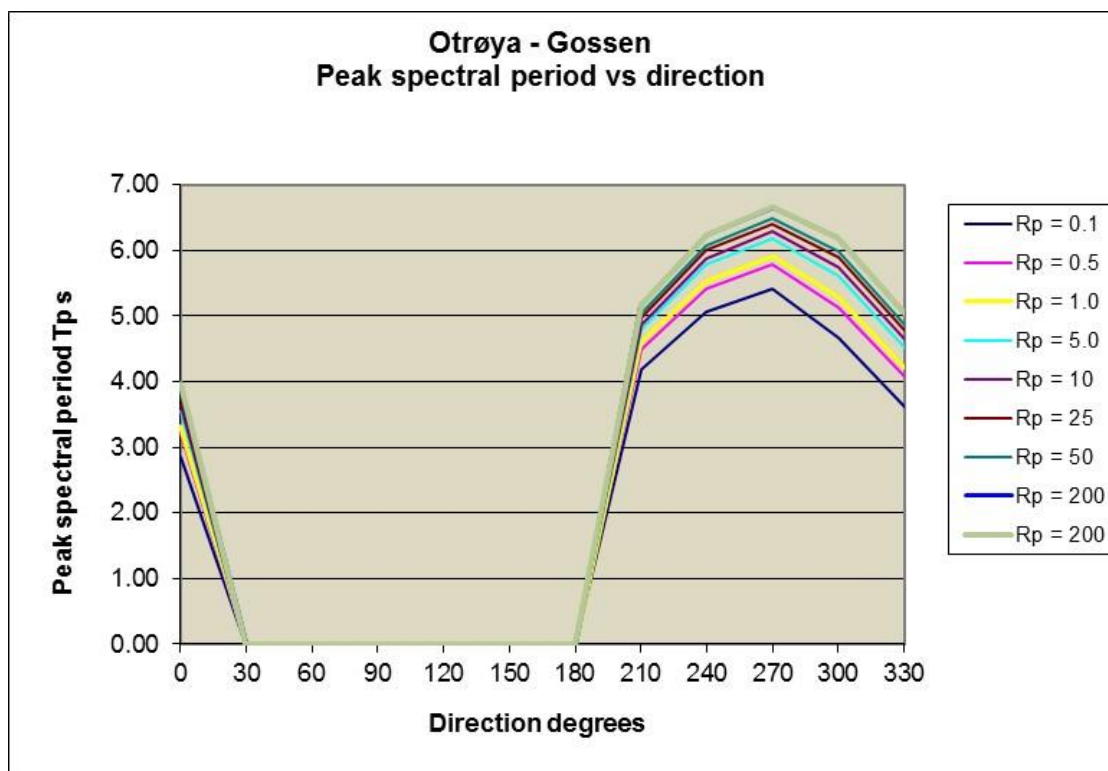
Resultat av denne beregningen er vist i Figur 10, som gjelder bølger mot vestsiden av vegfyllingen. Denne figuren viser at maksimal bølgehøyde vil oppstå for vindretning 270°, hvilket er sammenfallende med retningen for havbølgene (i åpent hav). Spektral topp-periode for vindbølgene er 6 – 7 s, se Figur 11.

Det er laget en tilsvarende beregning av bølger fra øst. Disse bølgene er betydelig mindre fordi sjøoverflaten er mye mindre, og fordi det generelt er svakere vinder i østlig sektor enn i vestlig sektor. Perioden for bølger fra øst er $T_p \approx 3.5$ s.

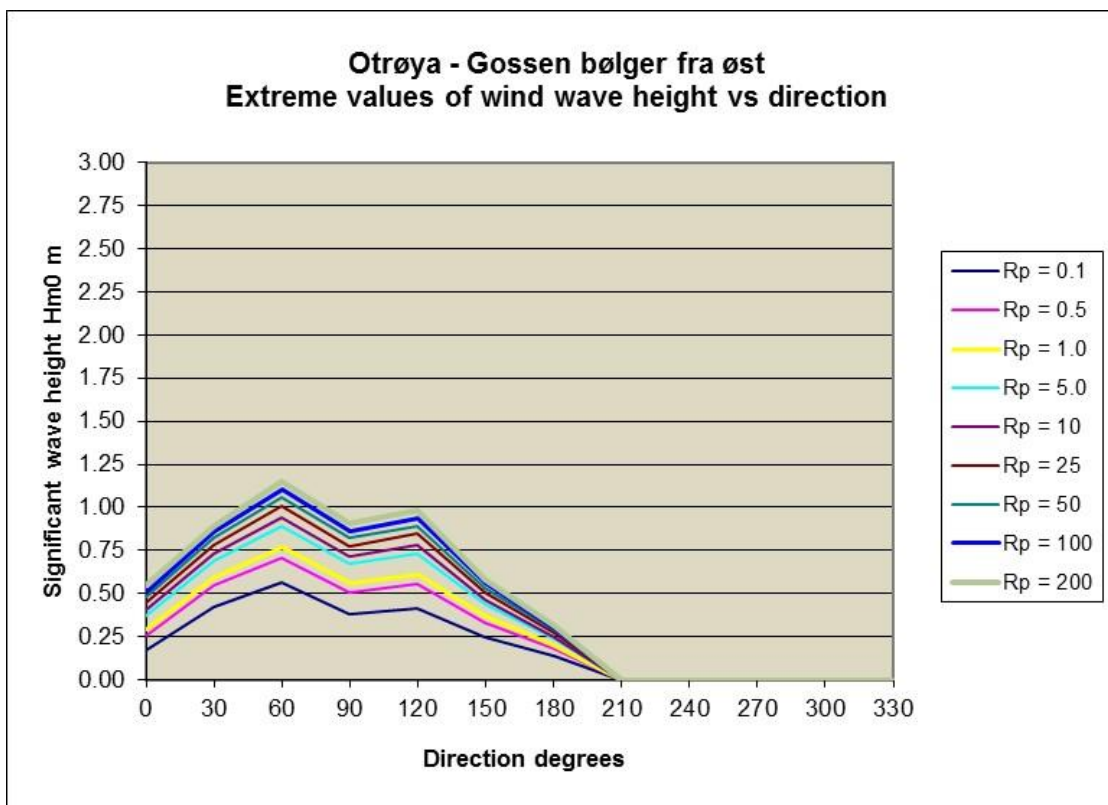


Figur 10

Fra Vest: Fordeling av ekstremverdier av vindbølger fra vest ved Flatholmsundet.



Figur 11 Assosiert spektral topp-periode for ekstremverdier av signifikant bølgehøyde fra vest



Figur 12 Fra Øst: Fordeling av ekstremverdier av vindbølger fra øst ved Flatholmsundet.

4 Dimensjonering av fyllinger

I hht bølgeberegningen ovenfor må den mest utsatte vegfyllingen (Flatholmsundet) dimensjoneres for følgende sjøtilstand, vist i Tabell 2.

Tabell 2 Endelige dimensjonerende bølgeparametere for vegfylling i Flatholmsundet, 200 år returperiode

Side av vegen	Havbølger H_s	Vindbølger H_s	Total signifikant bølgehøyde $H_{s,tot}$ m	Spektral toppperiode T_p s
Vest	0.30	2.24	2.3	12 - 16
Øst	0.0	0.95	1.0	3.5

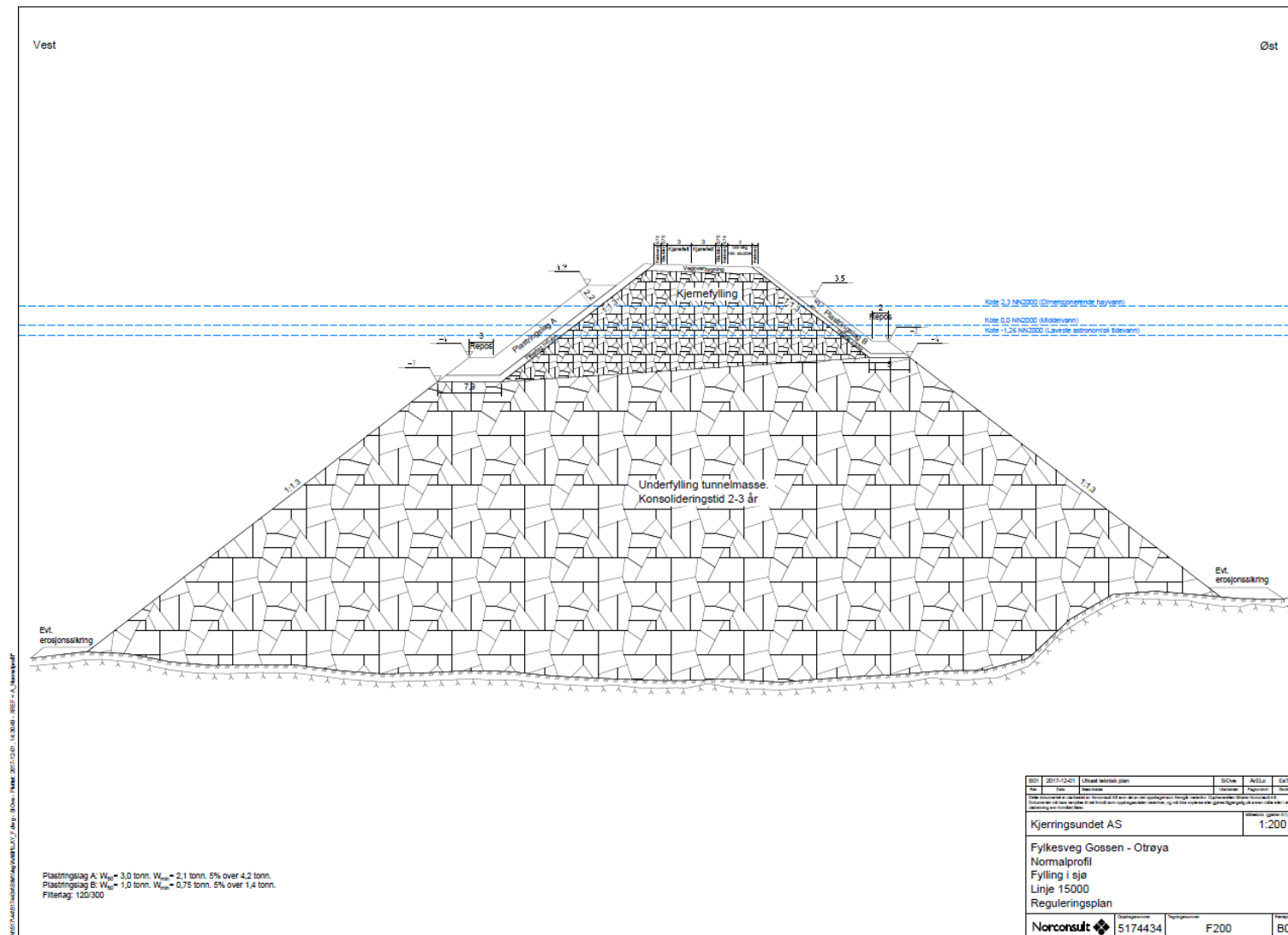
Samme metode som anvendt for Flatholmsundet kan benyttes til å bestemme dimensjonerende bølgehøyder for de andre sundene som skal krysses med fyllinger eller bruer.

For fyllingene vil det være forsvarlig å dimensjonere med en antatt stormflohøyde på 2.3 m NN2000 i 2050. Dette tilsvarer det nivået som alle utslippsscenarioer gir som verste tilfelle i 2050. På et tidspunkt rundt 2050 må en ta stilling til hvor mye havet faktisk har steget, og eventuelt justere fyllingene deretter. I et middels utslippsscenario og mest sannsynlige utvikling vil estimert stormflo i 2100 med 200 års returperiode være 2.34 m NN2000.

I aller verste fall kan man risikere å mangle 58 cm på å ha et nivå som tilsvarer 200 års returperiode i 2100.

Andre deler av vegkonstruksjonen som f eks brukar, tunnelportaler vil være vanskelige eller umulige å justere på, og de bør dimensjoneres for et høyere stormflonivå. For slike deler anbefales en høyde på 2.75 m NN2000.

Dimensjonering av steinfyllinger utføres i hht til standard prosedyre som f eks beskrevet i Kystverkets Molohåndbok. Et prinsippsnitt av fyllingen over Flatholmsundet er vist i Figur 13.



Figur 13 Prinsippsnitt av fylling over Flatholmsundet

5 Referanser

1. M.J.R. Simpson, J.E.Ø. Nilsen, O.R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H.P. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson, O. Vestøl (2015): Sea Level Change for Norway NCCS report no. 1/2015
2. McKee Smith J, Resio D T Zundel A: STWAVE Steady-State Spectral Wave Model, Users Manual Version 2.0 – 10.0
3. Mathiesen M: HsComp Program User's Guide, Version 2.01, Statoil memo 2015-04-15
4. Lothe A E: Validation of Wave Generation Software, Norconsult notat juni 2017