

Oppdragsgiver: **Salfjord AS**

Oppdragsnr.: **52100918** Dokumentnr.:

Salfjord AS

Til:

Fra: Magnus T. Bach-Gansmo

Dato

► Bølge- og stormfloanalyse

Sammendrag

Norconsult har utført en stormflo- og bølgeanalyse for å finne trygge kotehøyder iht. TEK 17 § 7-2. I beregningene er det benyttet et gjentaksintervall på 200 år og framtidig havnivåstigning fram til 2090 (2081 – 2100).

Dimensjonerende stormflonivå for tiltak i sikkerhetsklasse F2 i Aure kommune er 2,67 m over NN2000. Laveste gulvnivå bør legges 0,5 m over denne verdien forutsatt at anlegget skjermes mot bølgeoppkyll. Laveste gulvnivå settes til 3,2 m NN2000. Nytt terreng kan legges noe lavere. For eksempel på kt. +3,0 m NN2000 eller høyere.

Dominerende bølger ved tiltaket inkluderer vindgenert sjø fra nordøst og havsjø fra vest. Analysene viste at 200 års signifikant bølgehøyde fra vest og nordøst er hhv. 4,0 m og 2,7 m. Det er også vurdert at havsjø som kommer gjennom Ramsøyfjorden ikke vil ha en dimensjonerende effekt ved anlegget.

Basert på analysene har Norconsult foreslått to løsninger for å sikre anlegget mot bølger og stormflo. Løsningene forutsetter at det anlegges en molo som vist i Figur 2, som skjermer anlegget mot havsjø fra vestlige retninger.

- Den østlige delen av anlegget må sikres med en bølgesikring. Sikringen kan bygges opp av blokker som hviler mot en betongvegg. Nødvendig høyde avhenger av overkant bredde.
- Den vestre delen ligger ca. 50 m inn på land. Vannstrøm fra dønninger kan i en ekstrem situasjon skylle inn på anlegget. Som et avbøtende tiltak, bør det sprenge ut en grøft på sjøsiden av opparbeidet anleggsareal kombinert med en semi-tett sperre langs anleggets ytterlinje. Grøften må være minimum 1 m dyp og 5 – 10 m bred, og sperren bør være minimum 1,2 m høy. Sperren vil også fungere som et gjerde for å hindre at personell ramler ned i grøften.

Innledning

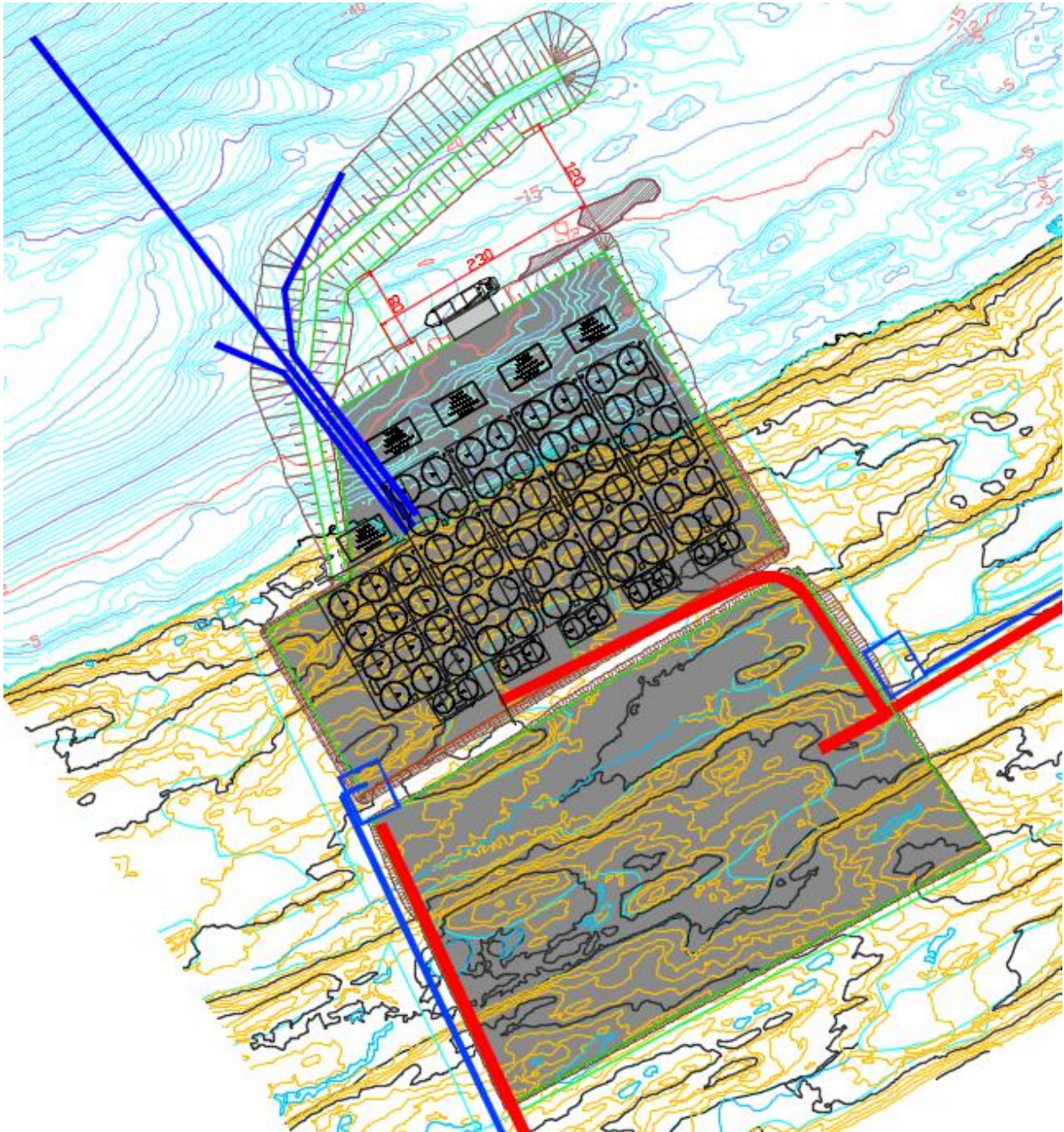
I forbindelse med regulering av et nytt landbasert oppdrettsanlegg, er Norconsult engasjert for å utføre en bølge- og stormfloanalyse. Tiltaket ligger ved sjøen i Edøyfjorden på Tustna, Aure kommune, se oversiktskart i Figur 1.

Planlagt anlegg er vist i Figur 2. Figuren viser at det er planlagt en molo som skjermer mot dønninger fra vest og at det skal opparbeides et kaiområde. På landsiden av kaiområdet, legges produksjonsbygninger og tanker for oppdrett av fisk, se Figur 3.

Dette notatet inneholder en beregning av bølgeforholdene ved tiltaket og dimensjonerende stormflonivåer. I notatet er det antatt at anlegget skal tilfredsstille § 7-2 sikkerhetsklasse F2, og konkluderer med trygge kotenivåer.



Figur 1 Oversiktskart. Tiltaket er markert med den røde markøren.



Figur 2 Foreløpig planlagt anlegg.



Figur 3 3D figur av planlagt anlegg. Moloen er ikke vist i denne tegningen.

Beregninger

Stormflo

Stormflo er betegnelsen for fenomenet at havnivået under spesielle værforhold kan bli meget høyt. De viktigste faktorene som gir opphav til stormflo er:

1. astronomisk tidevann, spesielt rundt fullmåne og vår/høst-jevndøgn
2. lavt luft-trykk
3. langvarig pålandsvind.

Merk at stormflo ikke inkluderer effekter med kort varighet, som vanlige stormbølger (5 – 20 s) eller svingninger i havnebassenger (1/2 – 5 minutter).

Det er benyttet siste tilgjengelige estimater på framtidig klimadrevet endring i middelvannstand, gitt i en rapport fra 2015 [1], og vann-nivå basert på data fra nærmeste standardhavn som er Kristiansund. Stormfloverdier inkludert havnivåstigning fram til 2100 er vist i **Feil! Fant ikke referanseilden..**

Tabell 1 Estimerte stormflohøyder for Aure kommune i cm over NN2000.

År	Estimert stormflohøyde over NN2000, scenario RCP 8.5, spredning 95 %, 20 år returperiode, sikkerhetsklasse F1	Estimert stormflohøyde over NN2000, scenario RCP 8.5, spredning 95 %, 200 år returperiode, sikkerhetsklasse F2	Kommentar
2021	177 cm	205 cm	
2050	205 cm	233 cm	
2090	239 cm	267 cm	Dimensjonerende stormflo for sikkerhetsklasse F2
2100	247 cm	275 cm	

Til sammenlikning er høyeste observerte vannstand i Kristiansund 191 cm over NN2000.

Merk at våre verdier er noe høyere enn hva som er vist på for eksempel «Se havnivå».

Bølger

Tiltaket ligger på Tustna på sørsiden av Edøyfjorden, og er utsatt mot tung havsjø fra vestlige retninger og lokale vindbølger i sektoren sør-vest til nord-øst, se Figur 1. Det vil også komme et bidrag av havsjø gjennom Ramsøyfjorden i nord som bøyes rundt Smøla og ned Edøyfjorden mot tiltaket. Videre er det utført en beregning av:

- Havsjø fra vest gjennom Ytrefjorden. Her er det benyttet en eksisterende numerisk refraksjonsmodell med oppløsning på 145 x 145 m.
- Havsjø som kommer inn gjennom Ramsøyfjorden. Her det benyttet en eksisterende numerisk refraksjonsmodell med oppløsning på 750 x 750 m. Denne modellen har en relativt grov oppløsning med tanke på at anlegget ligger godt unna Ramsøyfjordens åpning mot havet. Modellen er ment til å gi en indikasjon på størrelsen av dønninger fra Ramøysfjorden.
- Lokal vindsjø generert av vinden i Edøyfjorden.

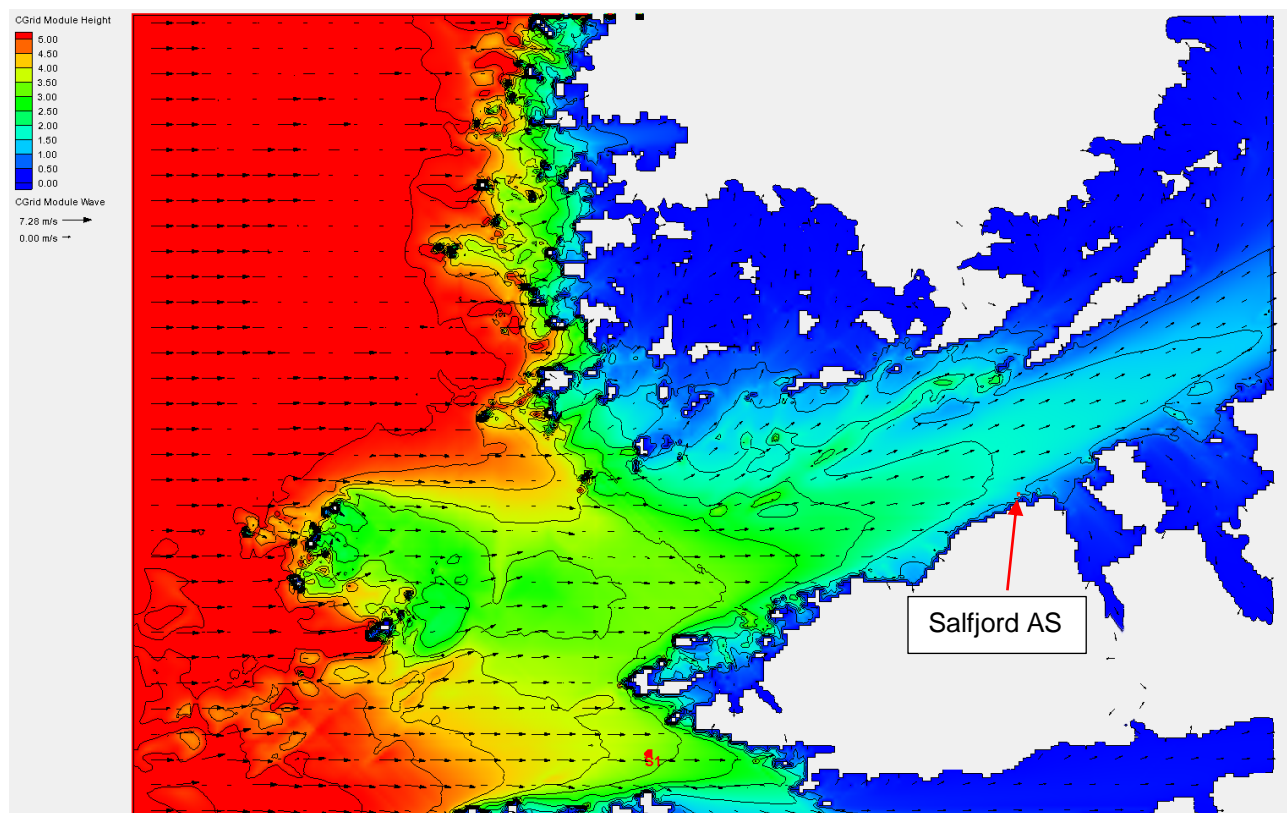
Datagrunnlag

Til beregning av dønninger og vindsjø er følgende benyttet:

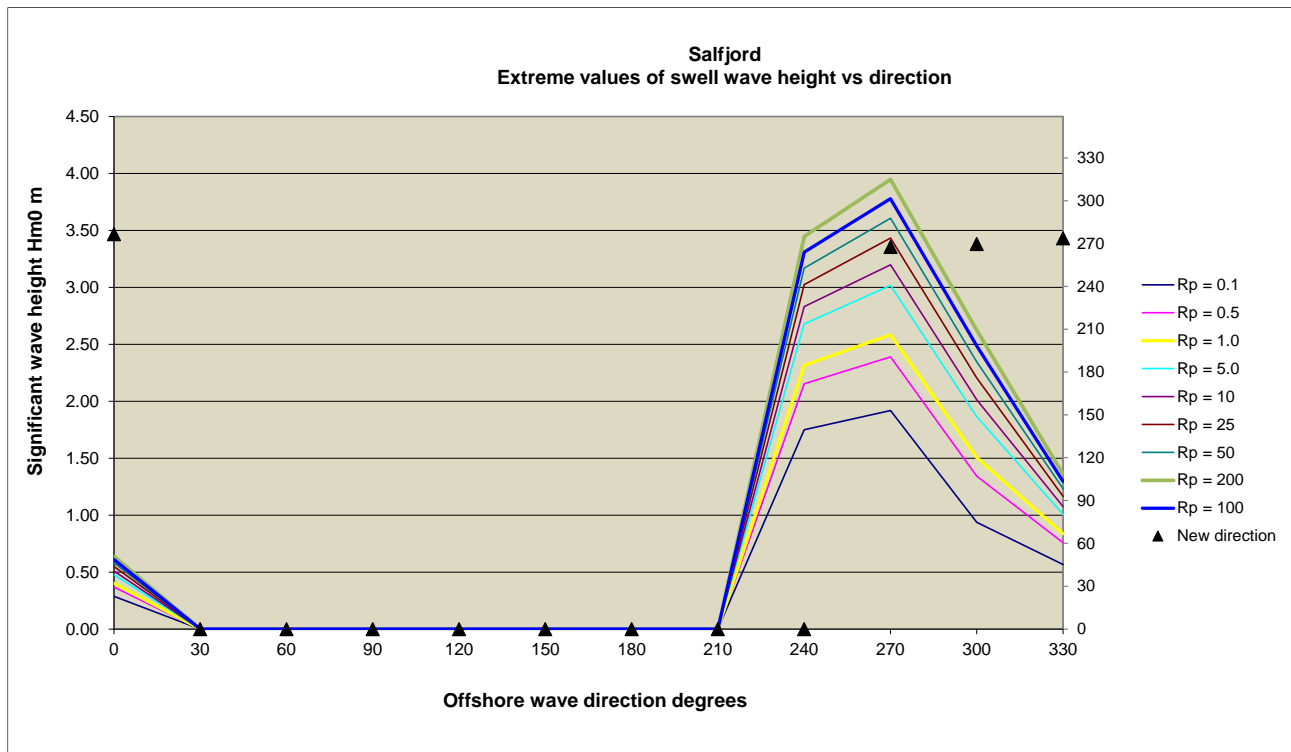
- Hindcast data fra punktet (63.45° N, 6.82° Ø). Tidsintervall 1957 – 2018.
- Vinddata fra Skalmen. Tidsintervall 1989 – 2004.

Dønninger fra vest

Dønninger fra vest gjennom Ytrefjorden er estimert ved å benytte en eksisterende numerisk modell. Figur 4 viser et tilfelle med inngående signifikant bølgehøyde, $H_{s,inn} = 5.0$, spektral topp-periode, $T_p = 14$ s og bølgeretning i åpent hav på 270°. Figuren viser hvordan bølgeenergien forplanter seg gjennom Ytrefjorden og fram til anlegget. Fordelingen av signifikant bølgehøyde, H_s i et punkt inne ved anlegget omtrent der den røde pilen i Figur 5 peker. Disse bølgene vil ha en spektral topp-periode, T_p i intervallet 12 – 18 s.



Figur 4 Viser et utklipp fra den finere modellen (145 m x 145 m) med innkommende $H_s = 5.0$ m, $T_p = 14$ s og retning fra vest. Denne modellen inkluderer ikke bidraget fra nord gjennom Ramsfjorden, og gir kun H_s fra åpent hav i vestlig sektor.



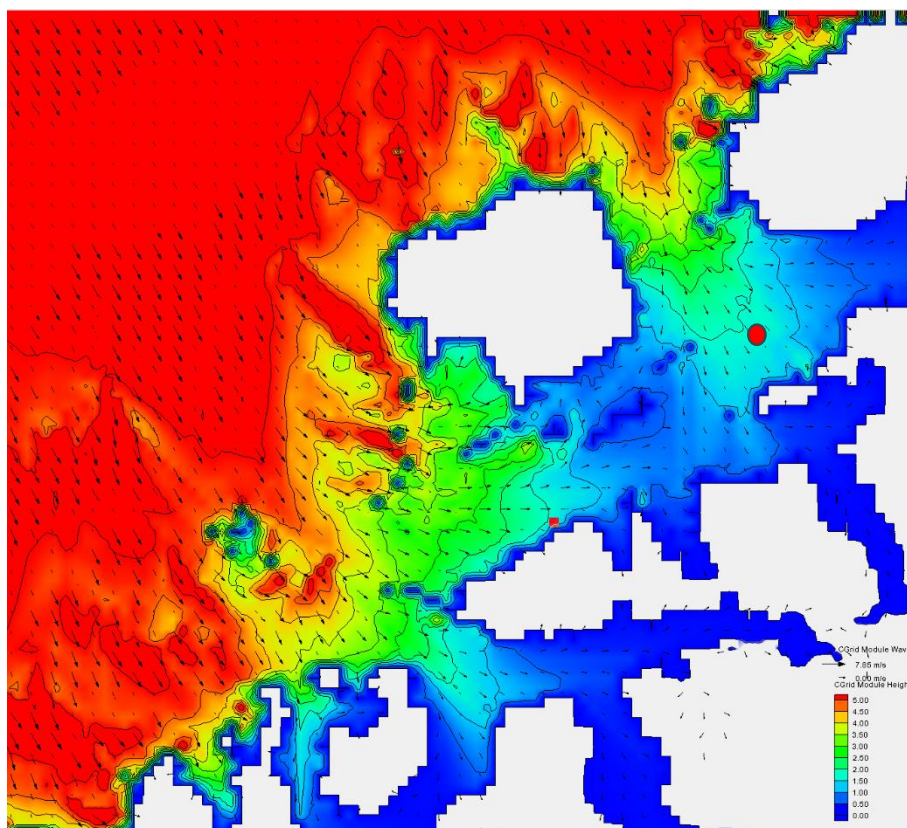
Figur 5 Fordeling av signifikant bølgehøyde fra åpent hav.

Dønning gjennom Ramsøyfjorden

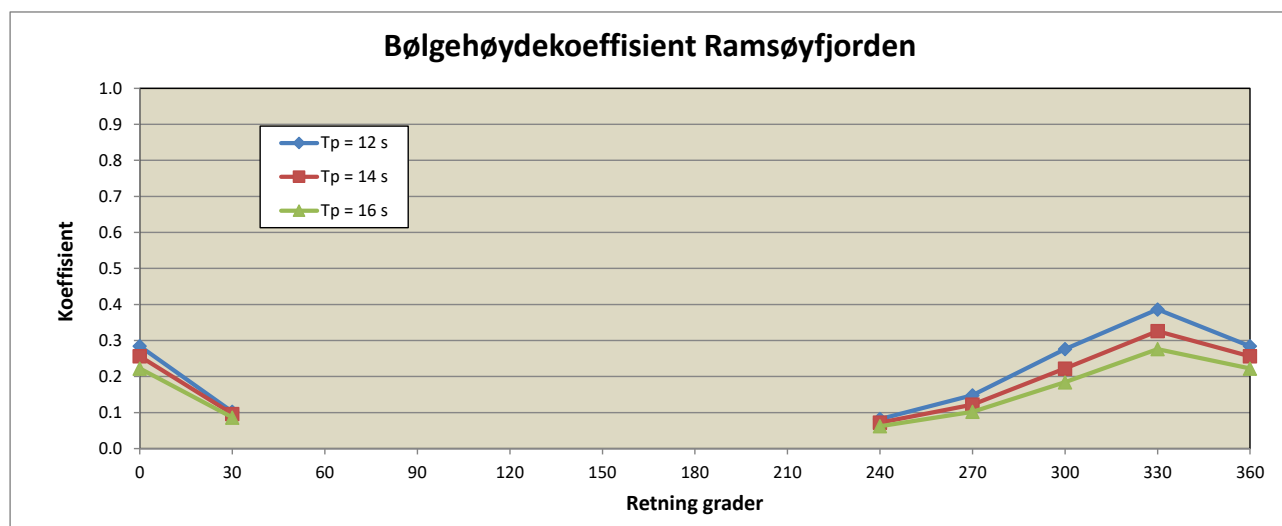
Det er undersøkt hvorvidt havsjø som kommer gjennom Ramsøyfjorden utgjør en dimensjonerende faktor. I denne analysen er det benyttet en storskala, refraksjonsmodell modell.

I den første delen av analysen henter vi ut bølgehøydekoefisienter i den røde sirkelen i sørøstenden av Ramsøyfjorden i Figur 6. Bølgehøydekoefisientene fra dette punktet er vist i Figur 7, og forteller oss hvilken bølgeretning i åpent hav som gir størst bølger i enden av Ramsøyfjorden. Fra resultatene kan vi konkludere med at bølger fra 330° i åpent hav gir størst bølgehøyder i sørenden av Ramsøyfjorden.

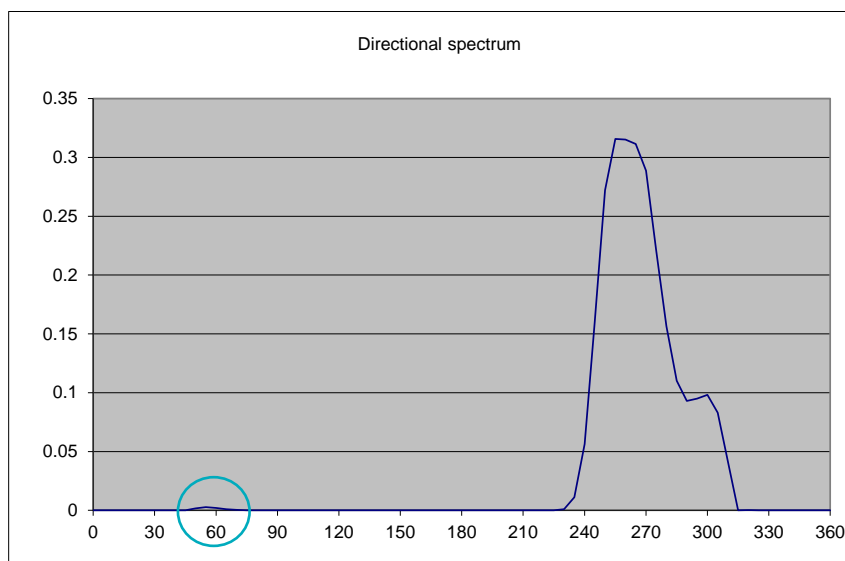
I den neste delen, er bølgespektra analysert i et punkt ved anlegget for å skille mellom andelen som kommer inn Ytrefjorden og Ramsøyfjorden. Bølgespektra er hentet fra punktet like nord for anlegget markert med den røde firkanten i Figur 6. Figur 8 viser det retningsfordelte energispektrumet ved anlegget i et tilfelle med en inngående $H_s = 5,0$ m, $T_p = 12$ s og med en bølgeretning i åpent hav på 330°. Fra figuren ser vi to topper, en stor topp ved 270° og en mindre topp ved 60°. Toppen ved 270° gjelder for bølgene som kommer inn Ytrefjorden, mens toppen rundt 60° gjelder for bølgene som kommer gjennom Ramsøyfjorden og bøyes ned mot anlegget. Disse bølgene har derfor en ny bølgeretning ved anlegget på ca. 60°. Man ser tydelig at toppen ved 60° er inneholder betydelig mindre energi enn andelen som kommer inn fra Ytrefjorden. For bølgene gjennom Ramsøyfjorden får vi en bølgehøydekoefisient på ca. 0,022, noe som tilsvarer en ekstrem bølgehøyde ved tiltaket på ca. 0,3 – 0,5 m. Med tanke på at disse bølgene må ha en retning på 330° i åpent hav, er det lite sannsynlig at de kan forekomme samtidig med vindsjø fra nordøst. Vi konkluderer med at bidraget fra dønninger gjennom Ramsøyfjorden ikke vil utgjøre en dimensjonerende faktor ved anlegget.



Figur 6 Viser et utklipp fra den grove modellen (750 m x 750 m) med innkommende $H_s = 5.0$ m, $T_p = 14$ s og retning fra nord-vest. Modellen viser at hovedtyngden av dønninger kommer fra vestlige retninger gjennom Ytrefjorden.



Figur 7 Bølgehøydekoefisienter fra punktet i sørenden av Ramsøyfjorden (rød sirkel i Figur 6). De største bølgene gjennom Ramsøyfjorden har en retning i åpent hav på 330° og spektral toppperiode rundt 12 s.

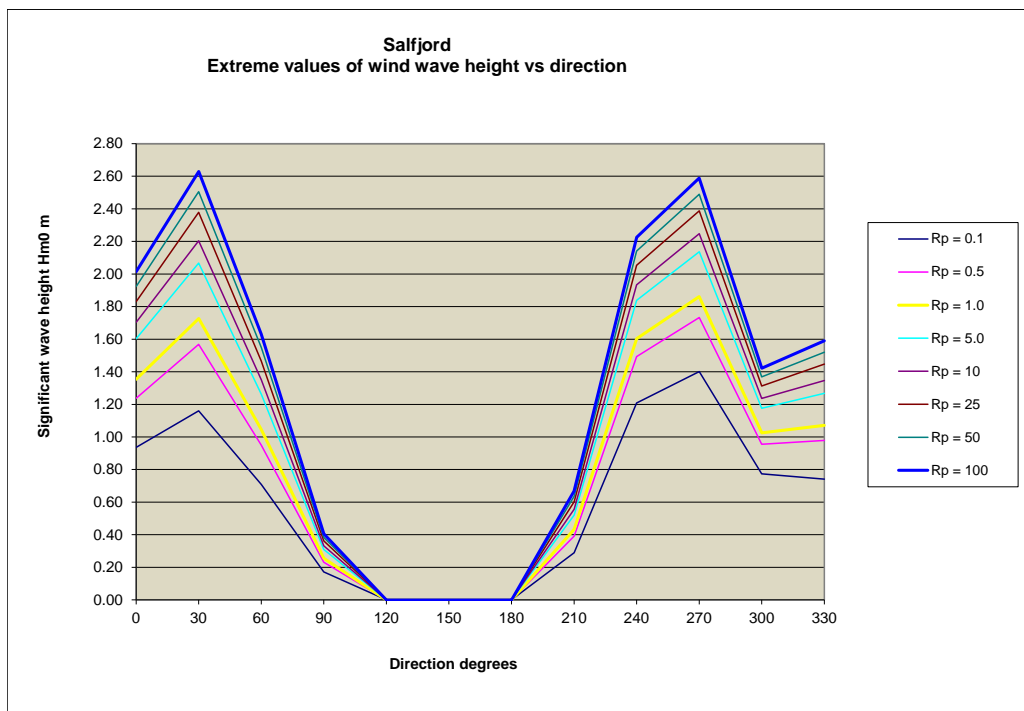


Figur 8 Retningsfordelt energispektrum ved anlegget hentet fra storskala modellen. Figuren viser hvilke retninger som inneholder mest energi. Vi ser to toppe, en stor topp rundt 270°, og en mindre en rundt 60°. Den store toppen viser bølgeenergien som kommer inn gjennom Ytrefjorden i vest, mens bølger som kommer inn Ramsfjorden er vist ved toppen rundt 60°.

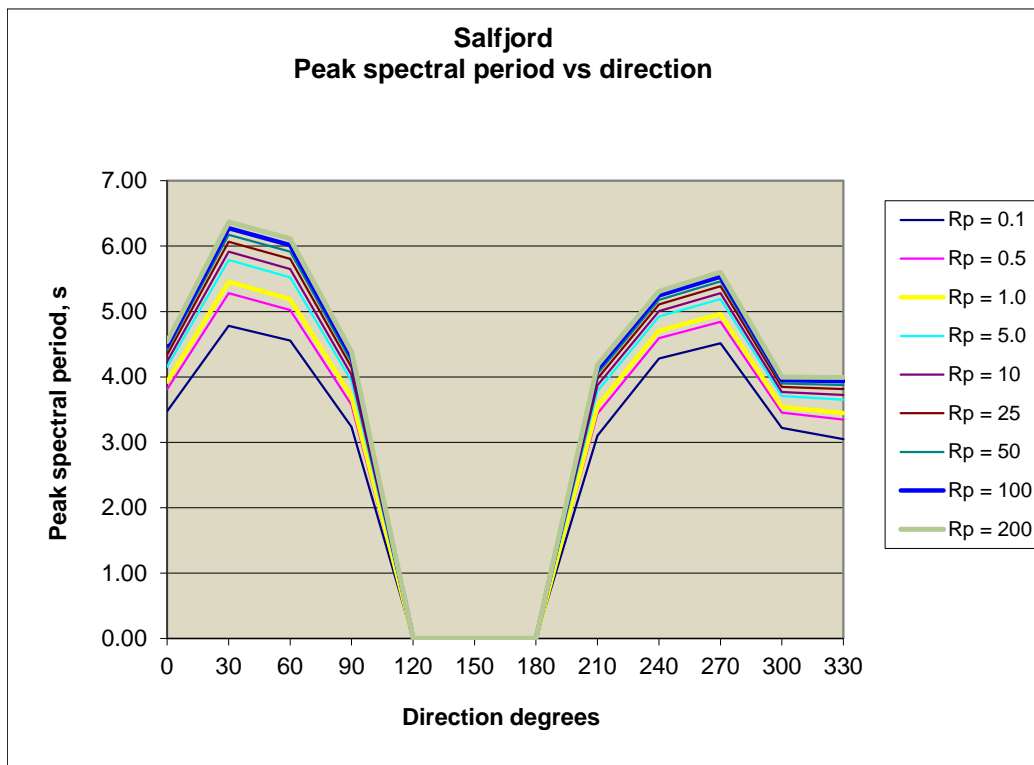
Vindbølger

Vindsjø er beregnet ved hjelp av en standard metode som er basert på en beregning av ekstremverider av vind fra en nærliggende målestasjon, og en beregning av bølgene som kan oppstå ved den beregnede vinden. Det er benyttet SINTEF's programvare HSCOMP til bølgeberegningen, og bølgene er beregnet i et punkt som ligger ca. 1 km nordøst for anlegget omtrent ved den røde markøren i Figur 1. Deretter beregner vi en reduksjonskoeffisient i et punkt like nordvest for moloen i Figur 2, som er basert på at energien er normalfordelt omkring en hovedretning, og at landkonturene skjermer for visse retninger.

I beregningen er det benyttet vinddata fra Skalmen, og det er antatt at vindforholdene i Edøyfjorden er tilnærmet like.



Figur 9 Fordeling av signifikant bølgehøyde ved anlegget. Vindbølger.



Figur 10 Fordeling av spektral topp-periode ved anlegget. Vindbølger.

Fra bølgeanalysen kan vi konkludere med følgende:

- Dominerende bølger ved anlegget kommer fra åpent hav i vest.
- Dønninger fra åpent hav som kommer gjennom Ramsøyfjorden vil ikke utgjøre en dimensjonerende faktor for anlegget.
- Anlegget må sikres mot dønninger fra vest og vindsjø i sektoren nord til nordøst.
- Havsjø fra vest ved anlegget er i en størrelse hvor sjøen er tilnærmet fullt utviklet. Det er derfor antatt at vindsjø i denne sektoren er inkludert i havsjøen.
- Dominerende havsjø fra vest og vindsjø fra nordøst forekommer ved ulike vindretninger. Det er derfor antatt at de ikke kan forekomme samtidig.

Tabell 2 Dimensjonerende 200 års bølgehøyder ved anlegget

Retning	Type bølger	Retning ved anlegget	Signifikant bølgehøyde, H_s	Spektral toppperiode, T_p
Vest	Dønninger	270°	4,0 m	12 – 18 s
Nordøst	Vindsjø	30°	2,7 m	6,4 s

Tilstrekkelig sikkerhet mot flom og bølgeoppkyll

TEK 17 § 7-2 setter krav til at nye anlegg og bygninger er tilstrekkelig sikret mot den kombinerte effekten av stormflo og bølger.

For hele anlegget må terrenget formes slik at overskyllende vann og nedbør renner tilbake til sjøen eller dreneres vekk på en annen måte, og ikke magasineres inntil bygninger.

Laveste gulvnivå bør legges 0,5 m over dim. stormflonivå for sikkerhetsklasse F2 forutsatt at anlegget skjermes mot bølgeoppkyll. Laveste gulvnivå settes til 3,2 m NN2000. Nytt terreng kan legges noe lavere. For eksempel på kt. +3,0 m NN2000 eller høyere.

Konstruksjoner som av praktiske årsaker må ligge lavere enn +3,2 m NN2000 må dimensjoneres slik at de tåler belastningene. Dersom noe bygges vanntett må man ta hensyn til oppløfts kreftene som medfølger. Eksempler på slike konstruksjoner inkluderer kaier, pumpehus osv.

Anleggets østre del

Forutsatt at moloen dimensjoneres med en øvre overskyllingsgrense på 50 l/s/m i en 200 års situasjon og at molotraseen legges som vist i Figur 2, kan man anta at den østre delen av anlegget er godt nok skjermet mot havsjø fra vest. Se også rapporten «Skisseprosjekt». Det er derfor antatt at den østre delen kun skal skjermes mot nordøstlige vindbølger. Dersom moloen forkortes, må det utføres en ny vurdering om vestlige dønninger påvirker anlegget, og eventuelt sikres deretter.

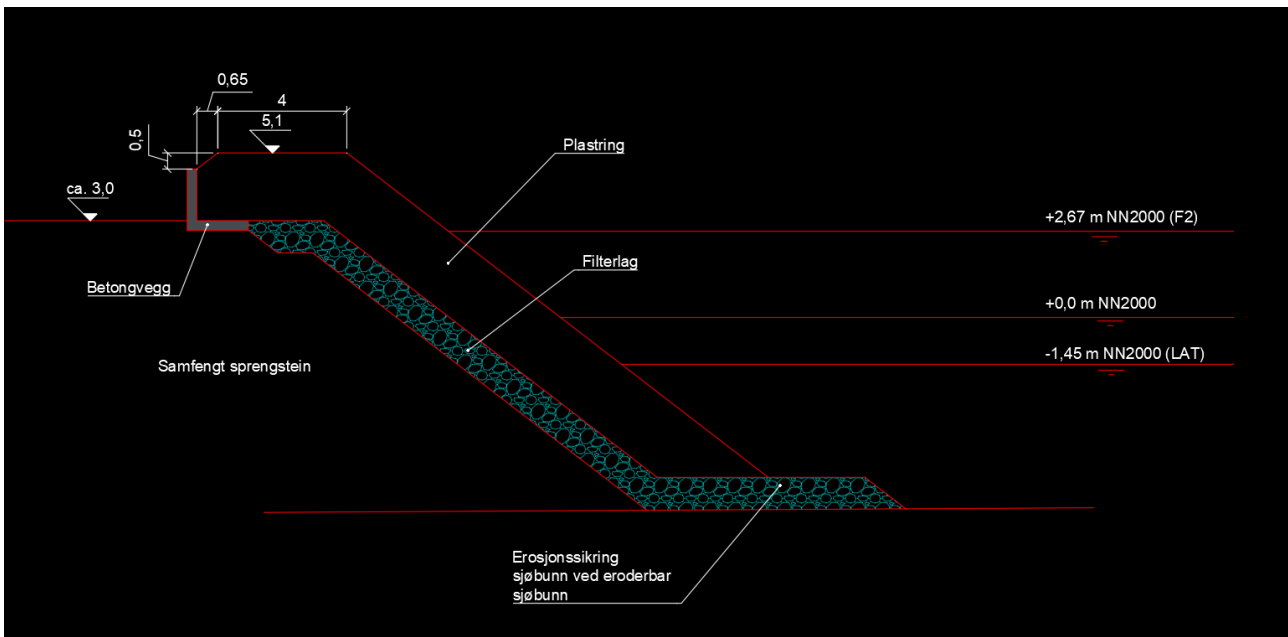
Overskylling fra bølger er estimert ved hjelp av formelverk fra Eurotop Manual [2]. I beregningene er det benyttet en overskyllingsgrense på 10 l/s/m over bølgesikringen, som er grensen for hva profesjonelle yrkesutøvere tåler. I beregningene er det lagt inn at bølgene angriper skråningen med en vinkel på 30°. Tabell 3 viser nødvendig høyde og overkant bredde på bølgesikringen. Med tanke på at overkant bølgesikring ligger ca. 2 m over bakkeplan, bør det etableres en tett mur på landsiden for å stanse vannet som skyller gjennom blokkene. Et prinsippssnitt av en mulig utforming er vist i Figur 11.

Tabell 3 Nødvendig overkant bredde og høyde på bølgesikring.

Overkant bredde	Høyde i m over NN2000	Kommentar
0 m	5,7 m NN2000	Vertikal mur hvor skråningen fra ca. +3,0 og ned til sjøbunn plastres.
3 m	5,4 m NN2000	2 – 3 blokker i overkant bredde
4 m	5,1 m NN2000	3 – 4 blokker i overkant bredde
5 m	4,8 m NN2000	4 – 5 blokker i overkant bredde

I en viss avstand fra sjøen kan man anta at effekten fra bølger er lik 0. Over glatte overflater, som dekker av betong eller asfalt må man regne med at bølgene kan skylle ca. 1/2 bølgelengde inn på land. Ved Salfjord kan vindbølgene fra nordøst ha en bølgelengde på opptil 60 m. Trygg avstand for bygninger settes til 30 m fra fyllingsfronten. Merk at det ikke settes krav til avstand for bygninger som ligger bak bølgesikringen.

Langs skråningen mot nordvest inne i havnebassenget skal det anlegges et kaiareal. Dette området må av praktiske årsaker ligge på et lavt nivå, og man må kunne forutsette at vann kan skylle over. Det anbefales derfor at bygninger legges 30 m fra fyllingsskråningen mot nordvest. Planlagte bygg i Figur 2 ligger ca. 40 m fra den nordvestlige fyllingsfronten, noe som er akseptabelt.



Figur 11 Prinsippskisse av tilstrekkelig bølgesikring av anleggets skråning mot nordøst og nordvest. Denne løsningen forutsetter at moloen bygges som vist i Figur 2.

Anleggets vestre del

Omtrent der moloen avsluttes mot land ligger anlegget ca. 50 – 60 m fra kystlinjen. Denne avstanden tilsvarer ca. 1/5 bølgelengde (dønninger), og det følger at bølger kan skylle inn på området. Det finnes få gode beregningsmetoder for å estimere oppskylling over svaberg. Nytt opparbeidet anleggsareal ligger ca. 1.5 – 2 m under eksisterende terreng.

Et avbøtende tiltak for å redusere overskyllingen inn på anleggsområdet, er at det sprenges ut en bred grøft på sjøsiden av opparbeidet anleggsareal. Hensikten med grøften er å redusere energien til vannstrømmen i det vannet detter ned i grøften og så stoppes av neste grøftkant. Vannet som så skyller opp av grøften og inn på området vil ha mistet mye energi, og har dermed et lavere skadepotensial.

Grøften bør være minimum 1 m dyp og 5 – 10 m bred. Ettersom grøftkanten mot sjøen er høyere enn kanten mot anlegget, vil grøften fylles helt med vann. Det bør derfor settes opp en halv-tett sperre langs anleggsarealets ytterlinje for å dempe overskyllingen inn på anlegget. Sperren bør være ca. 90 % tett slik at vann kan slippes gjennom, og minimum 1,2 m høy. Grøften må anlegges ned til sjøen, for eksempel inne i moloen, slik at vannet kan dreneres tilbake til sjøen. Sperren kan for eksempel bygges som et robust gjerde med stålstolper med kraftig langsgående planker. Sperren vil også fungere som et gjerde for å hindre at personell eller utstyr ramler ned i grøfta.

Utstrekning av bølgesikring

Utstrekning av bølgesikring er vist med rød skravur i Figur 12.



Figur 12 Viser utstrekning av bølgesikring mot nordøst. Utstrekning av bølgesikring mot nordøst er markert med den røde skravuren. Langs grøften på vestsiden av anlegget bør det settes opp en semi-tett sperre langs ytterlinjen til anlegget.

Oppdragsgiver: **Salfjord AS**

Oppdragsnr.: **52100918** Dokumentnr.:

Referanser

[1] M. Simpson, J. Nilsen, O. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson og V. O., «Sea Level Change for Norway,» NCCS report no. 1/2015, 2015.

[2] EurOtop, «Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual,» 2007.

Versjonstabellen skal stå nederst på siste side.

Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
---------	------	-------------	------------	----------------	----------

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. 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.