

Oppdragsgiver: **Gen2 Energy AS**
Oppdragsnr.: **52103046** Dokumentnr.: **01**

Til: Svein Erik Figved
Fra: Athul Sasikumar
Dato: 2021-08-19

► Bølge og Stormflo analyse - Jelsa, Suldal kommune

Innledning

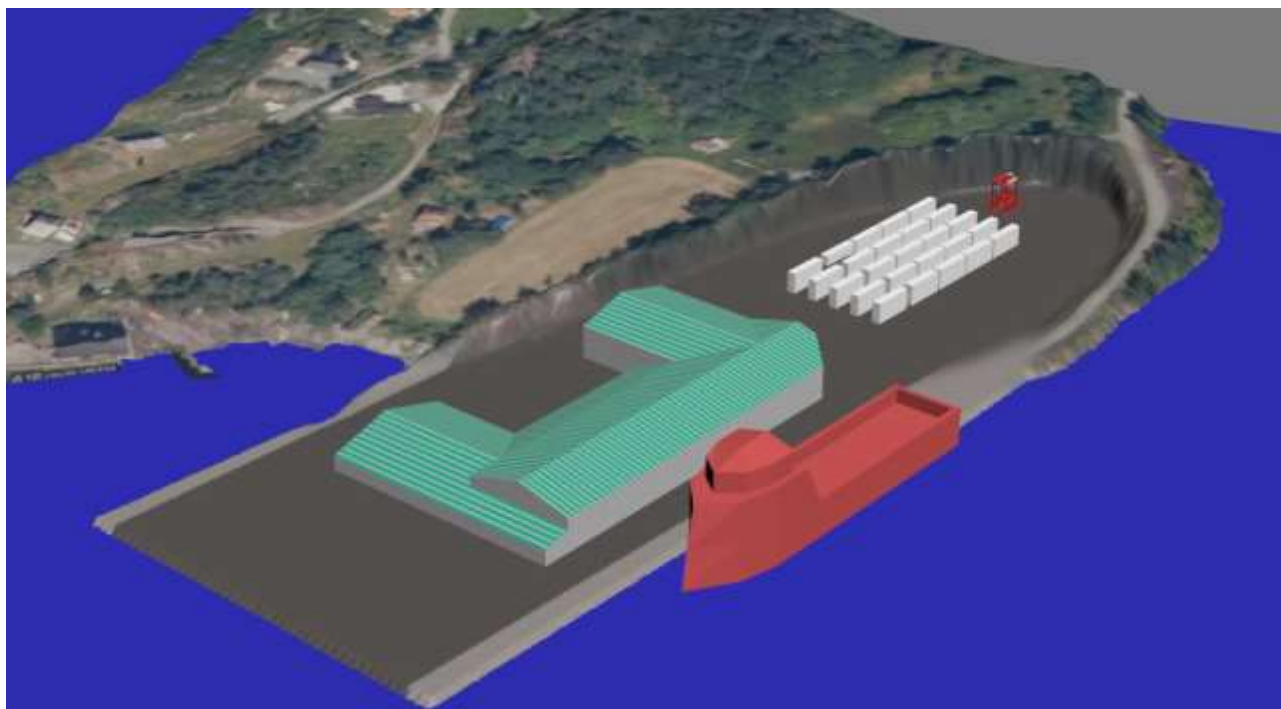
I forbindelse med detaljregulering på Jelsa i Sunndal kommune, se Figur 1, er det utført en beregning av dimensjonerende stormfloverdier samt bølgeberegning mot det planlagte hydrogenanlegget iht. TEK 17 § 7-2 [1].

Grunnlaget for planarbeidet er en konseptstudie utarbeidet av Gen2Energy AS [1] se Figur 2. Formålet med planarbeidet er å etablere et nytt hydrogenanlegg med lagerareal for utskipingsklare containere, basert på utvidet industri-/lagerareal og forlenget kai. Kaien skal etableres ved fylling i sør, i forlengelsen av eksisterende kai. Videre er formålet å utvide eksisterende industriområde nordover slik at det kan etableres et lagerområde på nordsiden av dagens bygg (se Figur 2).

Notatet har tatt utgangspunkt i at anlegget faller under sikkerhetsklasse F3 hvor konsekvensen av en flom er særlig stor. TEK 17 sier her at naturpåkjenningene må beregnes med en returperiode på 1000 år for sikkerhetsklasse F3. Notatet inneholder beregninger for stormflo, havnivåstigning, dønningsbølger og vindbølger, som er brukt til å vurdere flomfaren.



Figur 1 Oversiktskart. Bildet til høyre viser dagens situasjon. Kilde: <https://kart.finn.no/>



Figur 2 Illustrasjon av planlagt industriareal med hovedfunksjoner, Kilde: Gen2EnergyAS [2].

Lovverk

Når det gjelder kriterier for sannsynlighet og konsekvens knyttet til naturhendelser, slik som flom og skred, vil krav besluttet gjennom Byggteknisk forskrift [1] være gjeldende ved utarbeidelse av planer for utbygging. Byggteknisk forskrift [1], TEK 17 § 7, krever at byggverk plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger. Angående sikkerhet mot stormflo og bølger har Byggeforskriften [1], TEK17 følgende krav,

(1) Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område.

(2) For byggverk i flomutsatt område skal sikkerhetsklasse for flom fastsettes. Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom slik at største nominelle årlige sannsynlighet i tabellen nedenfor ikke overskrides. I de tilfeller hvor det er fare for liv fastsettes sikkerhetsklasse som for skred, jf. § 7-3.

Forskriften opererer med tre ulike sikkerhetsklasser. Den viktigste utløsende faktor for valg av klasse er graden av personopphold og konsekvensen ved oversvømmelse. Her opererer § 7-2 med sikkerhetsklassene F1, F2 og F3 for flom.

Tabell 1 Sikkerhetsklasse for flom [1]

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

I henhold til TEK 17 § 7-2 første ledd skal byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, ikke plasseres i flomutsatt område. Veiledningen til TEK 17 presiserer dette ytterligere: «Kravet gjelder videre byggverk for virksomheter som omfattes av storulykkeforskriften (virksomheter med anlegg der det framstilles, brukes, håndteres eller lagres farlige stoffer)».

Kravet i denne bestemmelsen kan bare tilfredsstilles ved å plassere byggverket flomsikkert, det vil si at det ikke er en løsning å sikre eller tilpasse tiltaket slik at det tåler oversvømmelse. Bakgrunnen er at de spesielle tiltakene som denne bestemmelsen er beregnet for må fungere også under flom, eller at flomskader kan gi livsfarlig forurensning.

Storulykkeforskriften [3] presiseres at tiltakene som faller i denne klassen må etableres med en sikkerhet som er «markant høyere» enn strengeste sikkerhetsklasse, som er F3 med 1000 års returperiode med nærmere angitte krav til hva som legges til for klimaendringer [3].

Konsekvensene av et mulig havari ved hydrogenanlegget må anses som høy, og dermed kan det argumenteres for at det er storulykkeforskriften som gjelder her. Vi foreslår at anlegget etableres med en sikkerhet som ligger over sikkerhetsklasse F3.

Stormflo og havnivåstigning

Stormflo er betegnelse på fenomen 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 havnebassenget (1/2 – 5 minutter).

Det er observert at det alminnelige middelvann-nivået i havet stiger på global basis. Denne utviklingen ventes å fortsette innenfor de neste 100 år. I Norge har vi imidlertid også en landheving som er et resultat av at landet ble presset ned under siste istid. Summen av disse to effektene kalles netto vannstandsheving. I noen deler av landet vil landhevingen være større enn økningen i vannstanden i havet i overskuelig framtid. Landhevingen er ujevnt fordelt i landet og er størst der hvor isdekket var mektigst. Samtidig er økningen i middelvannstand i havet heller ikke jevnt fordelt over kloden. Dette gir opphav til ulike estimater på netto heving av vannstanden for Norges kommuner.

For beregning av stormfloverdier er det benyttet siste tilgjengelige estimater på framtidig klimadrevet endring i middelvannstand, gitt i en rapport fra 2015 [4], og vann-nivå basert på data fra nærmeste standardhavn som er Stavanger. Jelsa ligger helt i utkanten av Suldal kommune, og vil være bedre dekket av Rennesøy eller Tysvær for klimapåslag. Vi velger derfor Tysvær kommune i beregningene her. Stormfloverdier inkludert havnivåstigning fram til 2100 er vist i Tabell 2 og Figur 3.

Tabell 2 Estimerte stormfloverdier for Tysvær kommune, inkludert av klimaendring estimatene

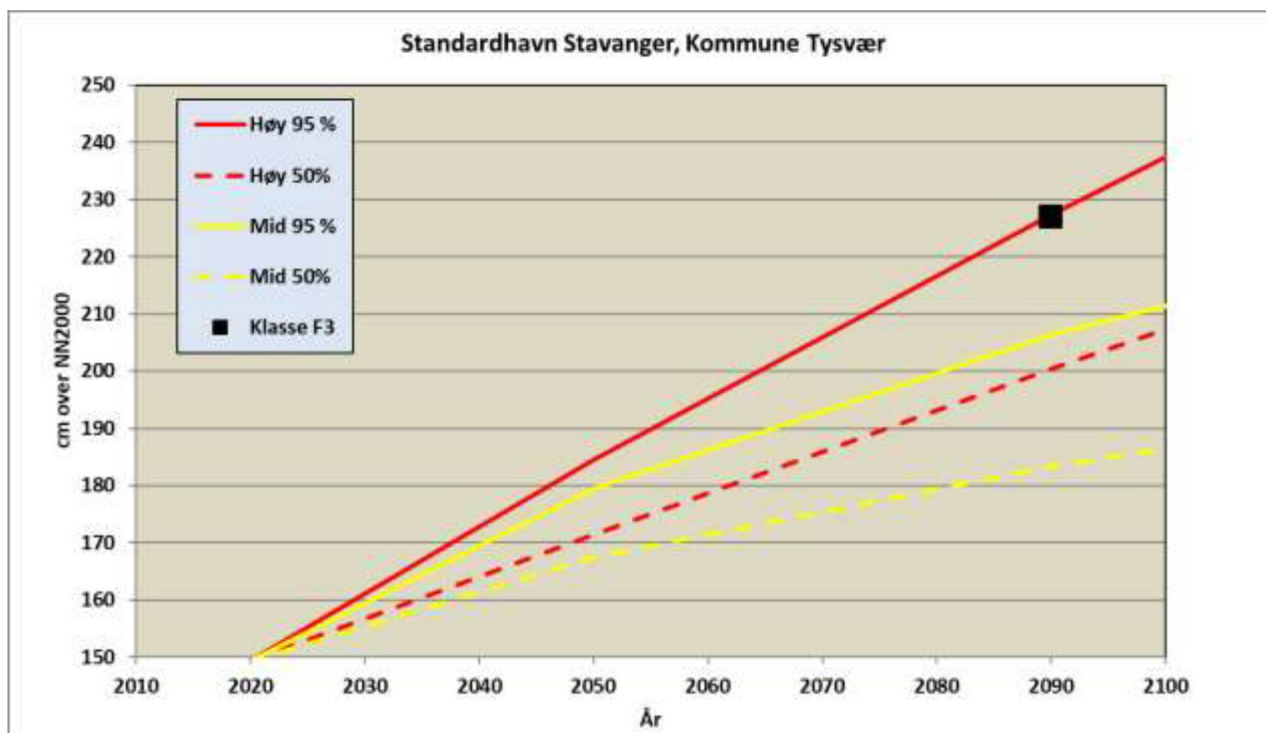
År	Estimert stormflohøyde over NN2000, scenario RCP 8.5, spredning 95 %, 1000 år returperiode, sikkerhetsklasse F2	Estimert stormflohøyde over NN2000, scenario RCP 8.5, spredning 95 %, 1000 år returperiode, sikkerhetsklasse F3	Kommentar
Høyeste observerte vannstand i Stavanger	108 cm over NN2000 [5]		
2021	127 cm	149 cm	1000 års stormflo i dag
2050	162 cm	184 cm	
2090	205 cm	227 cm	Dimensjonerende stormflo for sikkerhetsklasse F3
2100	215 cm	237 cm	

Dimensjonerende stormflonivå inkludert havnivåstigning fram til 2090 for tiltak i F3 er altså 227 cm over NN2000.

Merk at utregnede verdier for stormflo er høyere enn hva som er oppgitt på sehavniva.no og i DSBs veileder «havnivåstigning og stormflo» [6]. Vi leser fra tabellen til DSB at dimensjonerende stormflonivå i Tysvær kommune med et gjentakelsesintervall på 1000 år frem til 2090 gir 192 cm over NN2000. Altså 35 cm under vårt estimat, se Tabell 2.

I følge sehavniva.no [5] er høyeste observerte vannstand i Stavanger målt til 108 cm over NN2000. I DSB sine databaser tilsvarer det litt mer enn en 200 års stormflo hendelse (106 cm over NN2000). Til sammenlikning tilsvarer et stormflonivå på 108 cm NN2000 en 46 års hendelse i Norconsult sine databaser. Ettersom måleserien er rundt 100 år lang kan vi ikke utelukke at en 200 års hendelse allerede har forekommet, men vi synes at 200 års verdien utgitt av DSB er noe lav.

Vi kan altså ikke fastslå at beregningene som ligger til grunn for DSB er feil, men vi anbefaler å benytte tallene vi har beregnet for å oppnå tilfredsstillende sikkerhet.



Figur 3 Beregnede stormflonivå i m over NN2000, 1000 år returperiode

Vindbølger

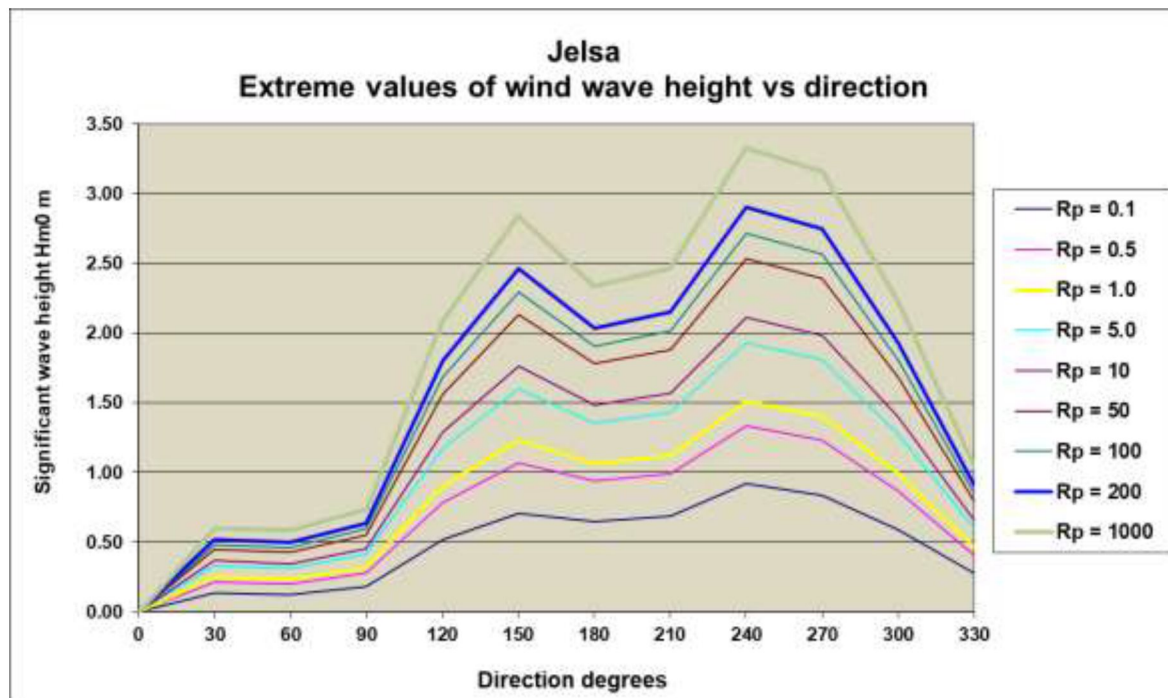
For beregning av lokale vindbølger har vi benyttet vind-data fra Rennesøy målestasjon i perioden 1980 – 2005. Vind-hastigheter målt fra Rennesøy målestasjon er noe justert for å forsikre at det brukes realistiske tall for vind i den videre analysen for beregning av bølgeforholdene i Jelsa. Vindhastigheten er redusert med en faktor på 0.90 (for 30° til 150° retning- sektorer) for å ta hensyn til at vinden sannsynligvis er sterkere ved Rennesøy enn i Jelsa. Samtidig antar vi at vindretningen kan endres med inntil en 30° sektor i ugunstig retning.

Beregnete signifikante bølgehøyder¹ for alle mulige strøk, tilsvarende vind-dataene, for målepunktet foran planområdet er vist i Figur 4. Figuren viser at vi finner de høyeste bølger i sektoren 240° og disse kan nå opp til 3,3 m med returperiode på 1000 år. Som vist i Figur 5 ser vi at dette samsvarer bølgeperioder i nærheten av $T_p^2 = 6,0$ s for 100 0 års returperiode³.

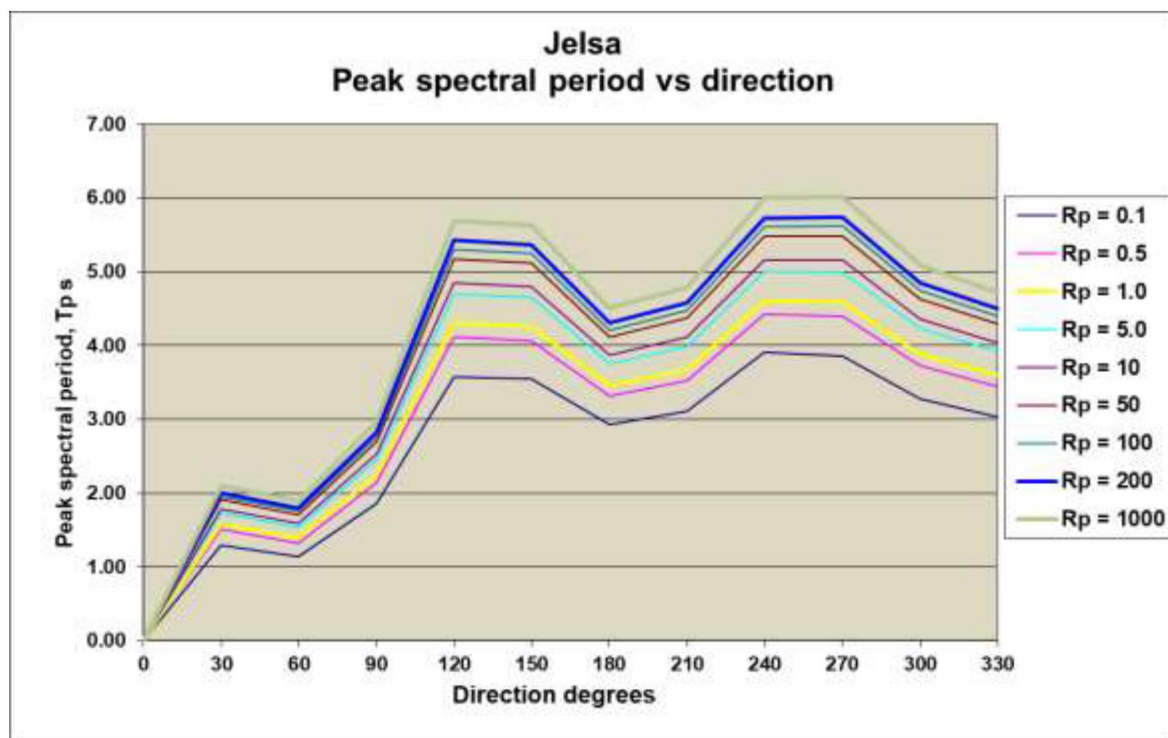
¹ Signifikant bølgehøyde, H_s : H_s er definert som middelverdien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en storm eller i en registrering. Innenfor en slik storm vil den høyeste bølgen være ca. $H_{max} \approx 2 H_s$ (målt fra bølgedal til bølgetopp).

² Spektral topp-periode, T_p : T_p er definert som den bølgeperioden (tidsavstanden mellom to påfølgende bølgetopper) som inneholder mest energi, dvs den perioden som vil oppfattes som den dominerende.

³ Returperiode (Gjentaksintervall), R_p : De ulike returperiodene for bølger er statistiske beregninger av hvor hyppig bølger av en viss størrelse vil opptre. En ekstrem bølgehøyde med en returperiode på 50 år vil i gjennomsnitt forekomme en gang hvert 50 år.



Figur 4 Ekstremverdier av signifikant vind-bølgehøyde. R_p er returperiode i år. (Nord = 0 grader).



Figur 5 Spektral topp-periode T_p assosiert med ekstremverdier av H_s i Figur 4. (Nord = 0 grader)

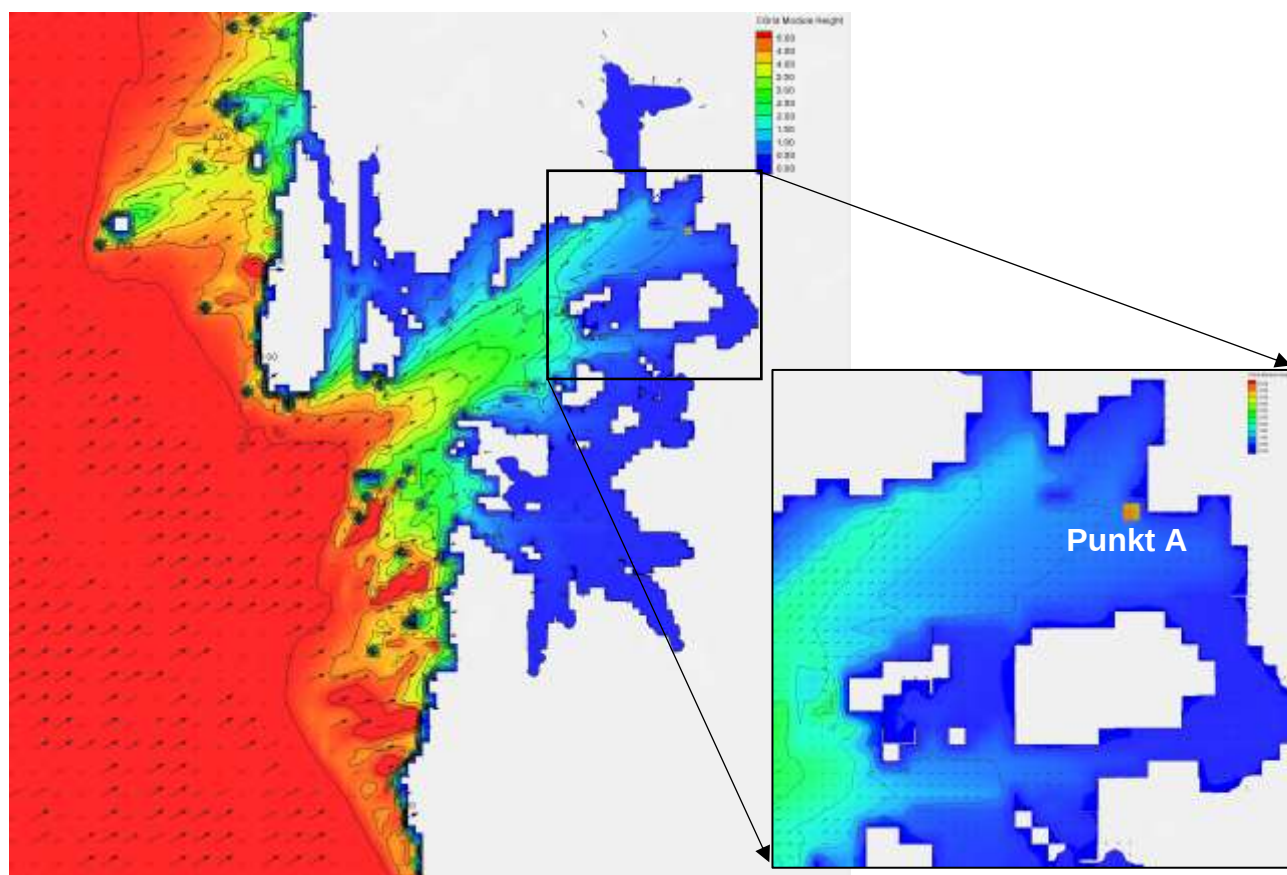
Dønningsbølger

Dønningsbølgene fra åpent hav inn mot planområdet ved Jelsa er undersøkt ved hjelp av programvaren STWAVE. Et eksempel fra modellen er vist i Figur 6 ved innkommende bølger fra 240° med signifikant bølgehøyde $H_s = 5.0$ m og spektral topp-periode $T_p = 14$ s. Denne modellen er hentet fra Norconsults bølgedatabase for Norge. Figur 6 viser at en del av dønningsbølge-energien dempes av øyer og skjær ved Boknafjorden og Nedstrandsfjorden. STWAVE modellen har en oppløsning på $800 \text{ m} \times 800 \text{ m}$.

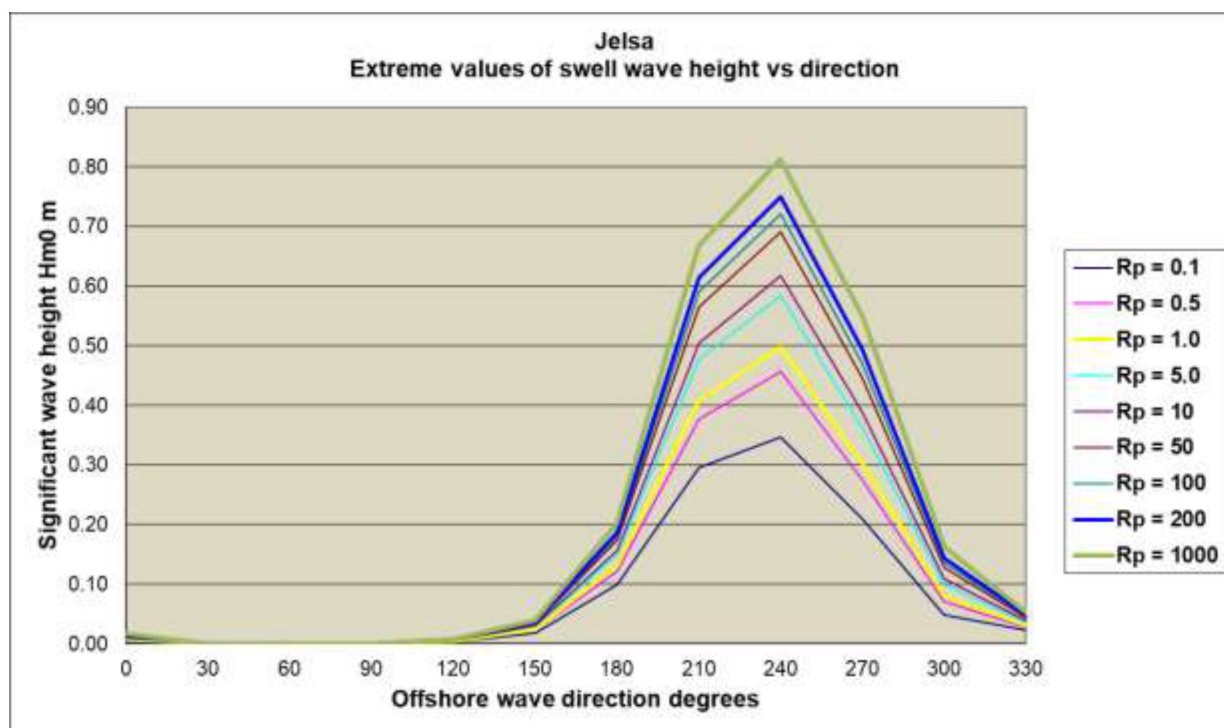
Bølgehøyder i åpent hav er beregnet ved hjelp av hindcast data fra et målepunkt (N 58.97 / Ø 05.24). Resultatet fra dønningsbølge-analyse er vist i Figur 7. Figuren viser at de høyeste bølgene finnes i sektoren 240° som tilsvarer bølger fra sørvest-vest. Høyeste bølger med en returperiode på 1000 år kommer opp mot 0,8 m ved Punkt A i Figur 6. Bølgeperiode for disse bølgene er på $T_p = 10 - 18$ sekunder.

Denne modellen er egentlig for grov til å benyttes så langt inn fra åpen kyst som til Jelsa (Punkt A i Figur 6). Med en oppløsning på $800 \times 800 \text{ m}^2$ vil store områder med grunner og holmer ikke komme med i modellen. Resultatet for denne typen anvendelser er alltid at modellen overestimerer bølgehøyden langt inne i en fjord. I vårt tilfelle vil det si at estimatet på 1000-års dønning ved Jelsa er $H_s = 0.8$ m, og at den reelle verdier mest sannsynlig er betydelig lavere.

Fordi Storulykkeforskriften krever at vi bruker et strengere krav enn klasse F3, velger vi å benytte denne verdien i det videre arbeidet.



Figur 6 STWAVE resultat med oppløsning på $800 \text{ m} \times 800 \text{ m}$



Figur 7 Ekstremverdier og returperioder for signifikant Dønningsbølgehøyde ved Punkt A, Hs dønning

Fra bølgeanalyse oppsummerer vi følgende.

- Fra resultatene ser vi at dimensjonerende verdier for både vindsjø og havsjø vil opptre fra noenlunde samme retninger og man må anta at ekstrem vindsjø kan opptre samtidig med ekstrem havsjø. I utgangspunktet vil dette være to bølgesystemer med ulik spektral topp-periode med samme retning som møtes.
- Presisjonsnivået på dønnings-bølgeberegningen kan økes ved å utføre en mer detaljert numerisk modellering av om området. Man kan regne med at en ny numerisk modellering vil føre til at bølgehøyden kan reduseres.
- Kombinert signifikant bølgehøyde fra forskjellige retningene er funnet med følgende formel:

$$H_{s,kombinert} = \sqrt{H_{s,vind}^2 + H_{s,dønning}^2}$$

200 og 1000 års kombinert signifikant bølgehøyde foran planområdet er gitt i Tabell 3.

- I Jelsa vil imidlertid de høyeste bølgene opptre ved en vindretning fra sørvest og ekstrem stormflo vil også opptre ved vind (i Norskehavet) fra vest og sørvest-retning. Det er derfor mulig at ekstremverdier for disse to faktorene kan opptre samtidig, og vi skal derfor anta samtidig opptreden av ekstrem stormflo og ekstreme bølger fra sørvestlig retning.
- Planområdet ligger nær bi-led i Jelsafjorden og har trafikk hovedsakelig av Foldøy-Jelsa ferge. Bølger fra disse skipene er ikke vurdert her fordi de bølgene som et passerende skip kan produsere vil under ingen omstendigheter komme opp i en størrelse som er sammenlignbart med bølgehøydene i Tabell 3.

Tabell 3 Kombinert bølgetilstand

Bølgeretning	Hs, Vindbølger (m)		Hs, Dønningsbølger (m)		Hs, Kombinert (m)	
	200 år RP	1000 år RP	200 år RP	1000 år RP	200 år RP	1000 år RP
Fra 150 grader (treffer fyllingsfronten mot sørøst)	2,1	2,5	-	-	2,1	2,5
Fra 240 grader (treffer fyllingsfronten mot sør og sørvest)	2,9	3,3	0,7	0,8	3,0	3,4

Samlet Vurdering, stormflo og bølger

Med flom menes all form for uønsket vanninntrenging, og man må vurdere den samlede effekten fra stormflo og bølger samtidig. Bølger utgjør en fare ved at vann og drivgods kan påføre skade mot bygningsdeler og trenge inn i bygninger.

Som skrevet i den første ledd i § 7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo [1], Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område. Storulykkeforskriften [3] sier at tiltakene som faller inn denne klassen må etableres med en sikkerhet som er «markant høyere» enn strengeste sikkerhetsklasse, som er F3 med 1000 års returperiode med nærmere angitte krav til hva som legges til for klimaendringer

Stormflo nivå med klimapåslag med 1000 returperiode (F3) inkludert klimaendringsestimat (RCP8.5, 95 %) i 2090 er 227 cm over NN2000.

Vi foreslår å legge Hydrogen-anlegget på nivå +2,4 m over NN2000 (ca. 15 cm over dimensjonerende stormflo nivå).

Ved å velge denne høyden oppnår vi i dag en returperiode for stormflo som er så høy at den ikke lar seg beregne, men den er betydelig over 100 000 år. I 2090 vil returperioden ha sunket til ca. 2500 år. En høyde på 250 cm NN2000 vil altså ha en sikkerhet og en returperiode som er «markant høyere» enn Klasse F3 i dag, i 2050 og i 2090 dersom anlegget skulle bestå i 2090.

Eksisterende terreng

Der er foreløpig ukjent om eksisterende bygget skal rives med eventuelt terrengoppfylling eller brukes videre. Eksisterende fylling er etablert på kotehøyder mellom ca. +2,0 m og +2,6 m NN2000 (Figur 8). Terreng under 2,27 bli oversvømt under dimensjonerende stormflo i F3 klasse.



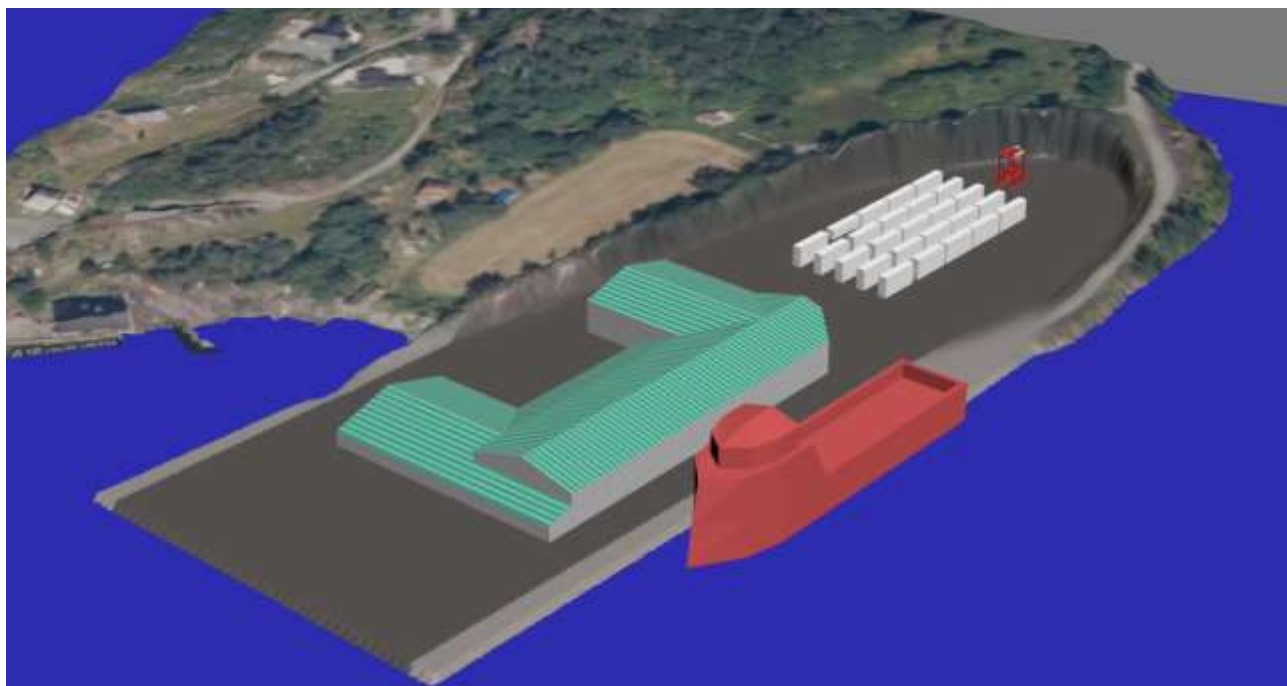
Figur 8 Innmålt dagens terreng

Tiltak mot bølgeoverskylling

Bølger som treffer land medfører oppskylling og vann (flom) inn på land. Slik flom kan føre til skader på bygninger i form av vannskader, slagskader og skader som følge av at flytende objekter kastes mot bygningene. Vannet kan også utgjøre en fare for personer som beveger seg i området, og for kjøretøyer.

Figur 9 viser foreslått hydrogenanlegg med lagerareal for containere på nordsiden av anlegget. Kaien skal etableres ved fylling i sør, i forlengelsen av eksisterende kai. Sikringstiltak mot bølger vurdert her inkluderer at det bygges en sikring foran anlegget i form av en erosjonssikring (steinvoll), betongmur etc og plassere bygninger og publikumsarealer i en sikker avstand fra sjøen.

Tilstrekkelig høyde på erosjonssikringen er funnet ved hjelp av formelverk av van der Meer, og bestemmes av mengden vann som tillates å skylle over fyllingsfronten utgitt av EurOtop [7]. Referansen skriver at bølgeoverskyll mot uforberedte bygningsdeler ikke bør overskride 1 l/s/m. Vi mener likevel at enkle tiltak på bygningskroppen kan heve tålegrensen opp til 10 l/s/m. I beregningene er overskyllingsgrensen satt til 10 l/s/m. Tiltakene mot bølgeoverskylling ved fyllingsfronten mot sør, vest og øst er diskutert under.



Figur 9 Illustrasjon av planlagt industriareal med hovedfunksjoner [2]

Fyllingsfronten mot vest og sør:

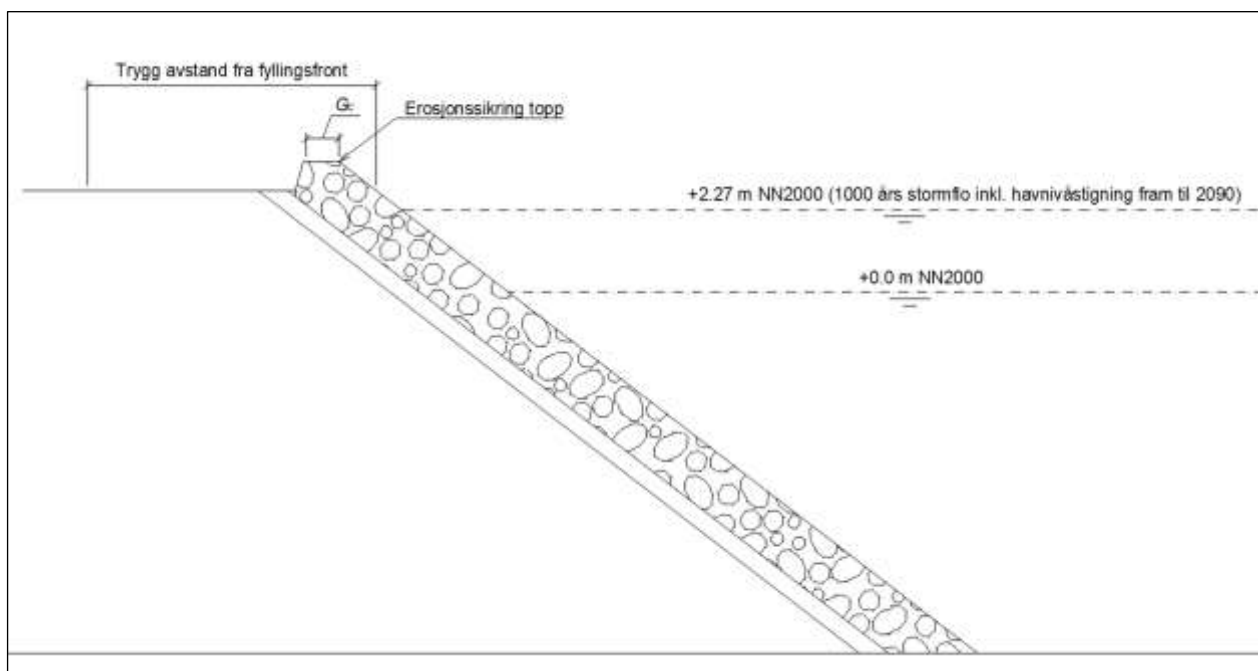
Bølgene inn mot fyllingsfronten mot vest og sør vil komme fra sektoren 120° – 270° hvor de største bølgene kommer fra sørvestlige retninger (240°). Det følger da at det sør-vestre hjørnet er spesielt utsatt mot bølgeoppbygg.

I beregningene er det lagt til grunn dim. stormflo for sikkerhetsklasse F3, som er +2,27 m over NN2000 og anlegget plassert på +2,4 NN2000. Resultatene er listet i Tabell 3 og sikker avstand fra sjøen angir hvor tiltak i F3 kan etableres.

Tabell 4 Tilstrekkelig høyde erosjonssikring ved sideskråning mot vest og sør og topp bredde = 3 m.

Alternativ	Høyde, erosjonssikring topp	Overkant bredde på erosjonssikringen, Gc i Figur 10	Sikker avstand fra sjøen hvor tiltak i F3 kan etableres	Overskylling etter sikker avstand fra sjøen
Alternativ 1	+4,0 m NN2000	3,0 m	10,0 m	< 10 l/s/m
Alternativ 2	+3,5 m NN2000	3,0 m	13,0 - 15,0 m	< 10 l/s/m
Alternativ 3	+3,0 m NN2000	3,0 m	15,0 - 20,0 m	< 10 l/s/m
Alternativ 4	+2,5 m NN2000	3,0 m	25,0 - 30,0 m	< 10 l/s/m

Det må sikres tilstrekkelig drenering av vann tilbake til sjøen og man må unngå at vann kan magasineres inntil bygninger/installasjoner.



Figur 10 Prinsipp av sjøfront.

Fyllingsfronten og kaier mot øst:

Bølgebelastningen langs den østlige sideskråningen er litt lavere sammenliknet med sideskråningen mot sør og vest. Bølgene inn mot fyllingsfronten mot øst vil komme fra sektoren 30° – 210° hvor de største bølgene kommer fra sørøstlige retninger (150°). Beregnet bølgehøyde fra østlige retning er beregnet til 2,5 m (Tabell 3).

Det vurderes som tilstrekkelig at bygninger langs den østlige sideskråningen legges i en sikker avstand fra sjøen på 8 m forutsatt at erosjonssikringen topp ligger på minimum 3,5 m NN2000.

Høyde kai bør bestemmes sammen med sluttbruker og/eller basert på hvilke fartøy som skal ligge fortøyd..

Oppsummering

- Stormflo-analysen er basert på observerte tall fra Stavanger målestasjon og estimerer på framtidig endring av middelvann i Tysvær kommune siden planområdet ved Jelsa ligger helt i utkanten av Suldal kommune, og vil være bedre dekket av Rennesøy (nå Stavanger) eller Tysvær. Dimensjonerende stormflonivå (F3) i henhold til TEK 17 § 7-2 i 2090 er 2,27 m NN2000.
- Vi foreslår å legge Hydrogen-anlegget på nivå +2,4 m over NN2000 (ca. 15 cm over dimensjonerende stormflo nivå). Ved å velge denne høyden har vi en sikkerhet og en returperiode som er «markant høyere» enn Klasse F3 i dag, i 2050 og i 2090 dersom anlegget skulle bestå i 2090.
- Bølgeberegningene viser at de høyeste vindbølgene og dønningsbølgene kommer ved vind fra 240° (sørvest-vest).
- Det vurderes sannsynlig at ekstrem stormflo (fra vestlige vind) kan opptre samtidig som ekstreme vindbølger fra 240 grader.

- Tilfredsstillende sikkerhet mot en kombinert hendelse av bølger og stormflo kan oppnås ved å bygge en sikring foran anlegget i form av en erosjonssikring og deretter plassere anlegget og publikumsarealer i en sikker avstand fra sjøen.
- Sikker avstand fra sjø mot sør og vest kan være 10,0 m forutsatt at erosjonssikring topp bygges opp til +4,0 m over NN2000. Se Tabell 4.
- Sikker avstand fra sjø mot øst er 8 m forutsatt at erosjonssikring topp bygges opp til +3,5 m over NN2000.
- Terrenget bak muren må ha dreneringsmulighet eller fall mot sjøen.
- Nødvendig median blokkvekt i erosjonssikringen mot vest og sør er anslått til 3-5 tonn. Blokkvekten kan reduseres noe for sideskråningene mot øst.

Referanser

- [1] Direktoratet for byggkvalitet, «Veiledning om tekniske krav til byggverk, Kapittel 7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger, TEK 17».
- [2] Gen2Energy, «Hydrogen project development, Concept evaluation - Scope of work,» 2021-06-16.
- [3] Justis- og beredskapsdepartementet, «Storulykeforskriften,» I 2016 hefte 7, Norge, FOR-2016-06-03-569.
- [4] 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.
- [5] «<https://www.kartverket.no/sehavniva/>,» [Internett].
- [6] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap: DSB, «Havnivåstigning og stormflo– samfunnssikkerhet i kommunal planlegging,» 2016.
- [7] EurOtop, ««Wave overtopping of sea defences and related structures: assessment manual,»,» 2007.

03	2021-08-19	Oppdatert notatet	ASa	AEL	PSO
02	2021-08-06	Til oppdragsgiver	ASa	AEL	PSO
01	2021-08-03	For KS	Athul Sasikumar		
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.