

NOTAT

OPPDRAAG	10242584-Bølgepåvirkning Kårvikhamn	DOKUMENTKODE	10242584-RIMT-NOT-001
EMNE	Sikring mot stormflo og overskylling	TILGJENGELIGHET	Åpen
TILTAKSHAVER	Stella Polaris	OPPDRAAGSLEDER	Øyvind Nilsen
KONTAKTPERSON	Sverre Larsen	SAKSBEHANDLER	Øyvind Nilsen
KOPI		ANSVARLIG ENHET	Multiconsult Norge AS

Oppsummering

Stella Polaris planlegger utvidelse av næringsområde ved Kårvikhamn, Senja (Figur 1). I forbindelse med utarbeidelse av reguleringsplan, er det etterspurt vurderinger av nødvendig sikkerhet mot stormflo og overskylling fra bølger iht. krav i TEK 17 om tilfredsstillende sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger.

Dette notatet dokumenterer følgende undersøkelser:

- stormflo med 200 års gjentaksintervall i dag og med klimapåslag
- Bølgetilstand ved tiltaket med 200 års gjentaksintervall
- Overskylling ved sjøfront mot vest og sør
- Sikkerhet mot stormflo og bølgepåkjenning for tiltaket

I vurderingene er det tatt hensyn til forventet havnivåstigning på grunn av klimaendringer.

Tiltakets sjøfronter mot vest og sør vil oppleve betydelig overskylling ved dimensjonerende grensebetingelser; stormflo på 2.3 m kombinert med bølgetilstand med Hs 2.0 m. Det anbefales å etablere tiltak som reduserer overskyllende vannmengde inn mot bygg, plassere bygg med tilstrekkelig avstand til fyllingskant og adressere overskyllende vannmengde ved prosjektering av bygg og uteareal mot sjø.

Tiltak som imøtekommer krav om tilfredsstillende sikkerhet mot skade ved stormflo og bølgepåkjenning kan være:

- beskyttende brystvern med øvre kant 4.5 m rel NN2000. Denne beskyttelsen sikrer at bygg blir truffet av en gjennomsnittlig vannmengde langs bakken mindre 1 l/s/m og ingen øvrige tiltak er nødvendig.
- beskyttende brystvern med øvre kant 4.0 / 3.5m rel NN2000 + minimum 2 m / 4 m avstand mellom bygninger og brystvern. Overskyllende vannmengde langs bakken på 10 / 40 l/s/m må adresseres i prosjektering av bygg og uteareal mot sjø. Sikkerhet for mennesker på uteområdet bør vurderes opp mot sikker grense for persontrafikk på 1 l/s/m. Prosjekteringen må påvise endelig sikkerhet mot skade ved stormflo med 200 års gjentaksintervall og samtidig bølgepåvirkning.

Bygningsfasader vil kunne oppleve betydelig vindtransportert sjøsprøyt, også ved mindre ekstreme hendelser enn undersøkt i dette notatet. Det anbefales å ta hensyn til sjøsprøyt ved planlegging bygg, f.eks. ved materialvalg for kledning og orientering av inngangspartier.

00	04.03.2022		OYN	JB	EH
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Innhold

Oppsummering	1
Innhold	2
1 Begreper og definisjoner	3
2 Bakgrunn	4
3 Krav til sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger	5
4 Metode	6
4.1 Vannstand	6
4.2 Bølgetilstand	7
4.3 Overskylling	8
4.3.1 Akseptabel overskylling	8
4.3.2 Overskylling ved Kårvikhamn	9
5 Resultater	10
5.1 stormflo	10
5.2 Bølgetilstand	10
5.3 Overskylling	11
6 Anbefalinger for regulering	13
7 Referanser	14

1 Begreper og definisjoner

Havnivå	Havets gjennomsnittsnivå målt over en lang periode, slik at variasjoner forårsaket av tidevannskrefter og vær ikke påvirker resultatet.
NN2000	Normalnull 2000. Det nasjonale høydesystemet i Norge siden 2000. Alle kotehøyder i rapporten gjengis relativt til NN2000.
Overskylling	Vann som skyller over f.eks. en fyllingsfront.
Gjentaksintervall	Statistisk begrep som beskriver hyppigheten til en hendelse. 200 års gjentaksintervall vil f.eks. opptre i gjennomsnitt hvert 20 år, og ha en 5 % sannsynlighet for å opptre i løpet av et år. Også kalt returperiode.
stormflo	stormfloer høyere enn normal flo i sjø som følge av kraftig lavtrykk og sterk vind.
stille vann	Høyden av vannflaten på et bestemt sted på et gitt tidspunkt. For havet påvirkes stormfloen av tidevann og værrets virkning (vind, lufttrykk, mm).
Klimapåslag	Forventet endring i middelvann på grunn av endringer i klimaet.
Signifikant bølgehøyde	Gjennomsnittlig bølgehøyde for de 1/3 største bølgene over en gitt periode.
Maksimal bølgehøyde	Største forventede enkeltbølgehøyde i en bølgetilstand. Ca 2 x signifikant bølgehøyde i en tre timers bølgetilstand.

2 Bakgrunn

Stella Polaris planlegger utvidelse av sitt næringsområde ved Kårvikhamn, Senja (Figur 1). I forbindelse med utarbeidelse av reguleringsplan, er det etterspurt vurderinger av nødvendig sikkerhet mot stormflo og overskylling fra bølger iht. krav i TEK 17 om tilfredsstillende sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger.

Dette notatet dokumenterer følgende undersøkelser:

- Stormflo med 200 års gjentaksintervall i dag og med klimapåslag
- Bølgetilstand ved tiltaket med 200 års gjentaksintervall
- Overskylling ved sjøfront mot vest
- Overskylling ved sjøfront mot sør
- Sikkerhet mot stormflo og bølgepåkjenning for tiltaket

I vurderingene er det tatt hensyn til forventet havnivåstigning på grunn av klimaendringer.



Figur 1 Fasade mot sjø. Illustrasjon fra Øystein Thommesen AS

3 Krav til sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger

Byggteknisk forskrift, TEK17, krever at byggverk generelt skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade fra naturpåkjenninger. I forskriften defineres tre sikkerhetsklasser for byggverk som kan rammes av flom eller stormflo (Tabell 1). Sikkerhetsklassen fastsettes ut fra konsekvensen av skade ved stormflo fra et samfunnsmessig perspektiv.

Lagerbygninger med lite personopphold vil typisk tilhøre laveste sikkerhetsklasse da konsekvensen av skade ved stormflo anses som liten. Et sykehus vil tilhøre høyeste sikkerhetsklasse da konsekvensen av skade ved stormflo anses som stor. Sikkerhetsklassen bestemmer hvilket gjentakintervall som skal benyttes ved vurdering av skade eller ulempe. Sikkerhet oppnås ved å sikre tiltaket mot stormflo / overskylling eller ved å konstruere byggverket slik at det tåler belastningene (DIBK, 2016).

For planlegging av Stella Polaris sitt tiltak ved Kårvikhamn, vurderes det som hensiktsmessig å forholde seg til F2 som definert i TEK 17. F1 kan legges til grunn for byggverk med lite personopphold, f.eks. lagerbygning. F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, som f.eks. kontorbygg.

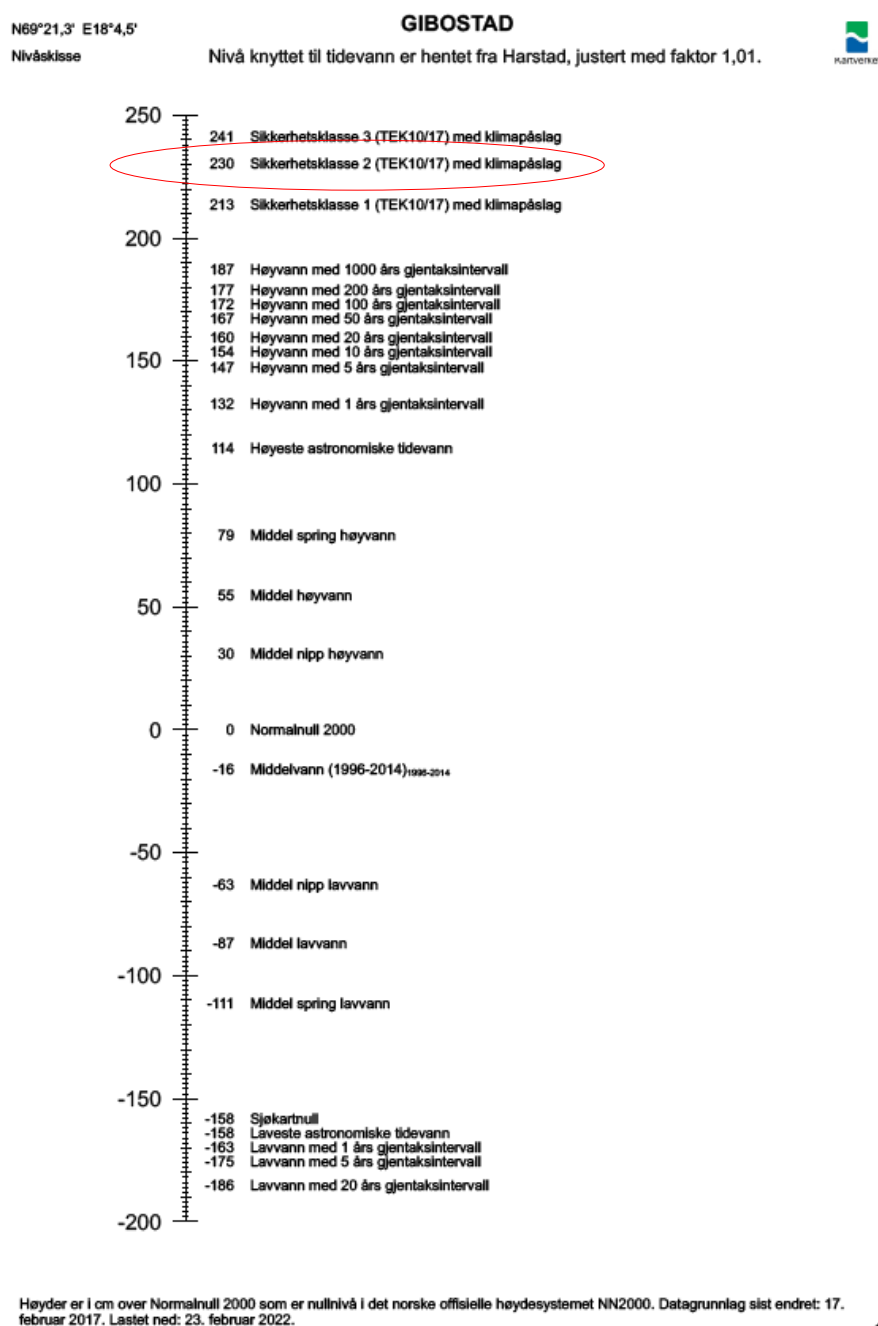
Tabell 1: Sikkerhetsklasser i TEK17 og eksempler på byggverk som faller inn under sikkerhetsklassene (DIBK, 2016).

Sikkerhets-klasse	Konsekvens av stormflo	Eksempel på byggverk	Gjentaksintervall naturpåkjenning
F1	Liten	Bygninger med lite personopphold, f.eks. garasje og lagerbygning	20 år
F2	Middels	Omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold, f.eks. bolig, fritidsbolig, campinghytte, kontorbygning eller industribygg	200 år
F3	Stor	Omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der stormflo kan gi stor forurensning, f.eks. sykehjem, bygg med beredskapsmessig betydning, anlegg for avfallsdeponier	1000 år

4 Metode

4.1 Vannstand

Verdier for anbefalt vannstands nivå (rel. NN2000) for planlegging av tiltak nært sjø, er hentet fra Kartverkets nettside om vannstands nivå (Figur 2). Oppgitte tall for Kårvikhamn er utledet fra vannstandsmåler i Harstad og justert lokale forhold ved Gibostad. Ekstrem vannstand og samtidig bølgetilstand legges til grunn for vurdering av sikkerhet mot stormflo og bølgepåkjenning.



Figur 2 Vannstands nivåer for Senja. Nullreferanse NN2000.

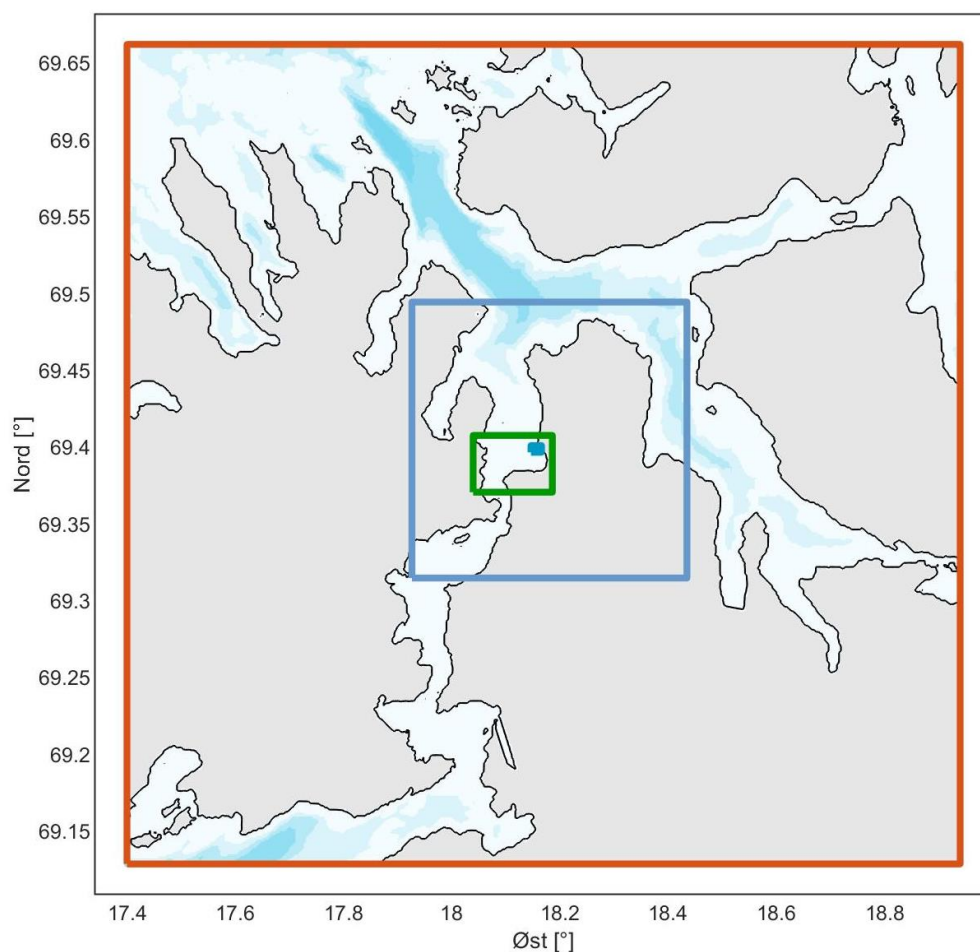
4.2 Bølgetilstand

Ekstrem bølgetilstand med 200 års gjentakintervall er beregnet med bølgeomodellen SWAN (SWAN, 2016). Bølgesimuleringer er utført i fire steg (Figur 3) med økende modellopløsning for hvert steg:

- Steg 1: 150 m
- Steg 2: 50 m
- Steg 3: 14 m
- Steg 4: 2 m

Inputvind fra åtte retninger er basert på fastsettelse av ekstremvind iht. NS-EN 1991-1-4. Stedvind er estimert ut fra en referansevind for tidligere Lenvik kommune på 27 m/s, terrenguhetsfaktor på 1.17 (Terrengkategori 1, kystnære strøk) og retningsfaktorer for Troms, ytre.

Vannstand i bølgeomodellen tilsvarer stormflo med 200 års gjentakintervall med klimapåslag for Gibostad (2.3 m rel. NN2000) (Figur 2).



Figur 3 Domener for bølgesimulering i SWAN.

4.3 Overskylling

4.3.1 Akseptabel overskylling

Akseptabel overskylling er avhengig av formålet til fyllingen samt bruk, dimensjonering, utforming og plassering av bygninger og infrastruktur bak fyllingsfront. Skadepotensialet fra overskylling er avhengig av både gjennomsnittlig overskyllingsrate og bølgehøyde (EurOtop 2018). Bølgehøyden påvirker maksimal overskylling en enkelt bølge kan føre til. Store bølger har større skadepotensiale. EurOtop (2018) gir noen anbefalinger for grenser av akseptabel overskylling avhengig av bruksområde. Noen eksempler er gitt i Tabell 2. Figur 4 viser en hendelse under stormen Sally i Bodø i 2020 med estimert overskylling på ca 5 l/s/m. Dersom bygninger skal stå nært fyllingsfronten, er typiske grenseverdier 1 l/s per løpemeter gjennomsnittlig overskylling mot fasade og 1000 l per løpemeter maksimalt overskyllingsvolum fra en enkeltbølge.

Mengden overskylling som til slutt kan aksepteres avhenger av:

- Avstand fra fyllingskant til konstruksjoner på fyllingen
- Dreneringsegenskaper av arealet mellom fyllingskant og konstruksjonene
- Bygningens sårbarhet for overskylling
- Planlagt bruk av arealet mellom bygninger og fyllingskant.

Tabell 2: Anbefalte grenseverdier for overskylling, EurOtop (2018)

Eksempler	Gjennomsnittlig overskyllingsrate (l/s per m)	Maksimalt overskyllingsvolum (l/m)
Rausmolo Hs>5 m, ingen skade	1	2 000 - 3 000
Rausmolo, Hs > 5 m, bakside dimensjonert for overskylling	5-10	10 000 – 20 000
Trygt for mindre båter 5-10 m bak konstruksjonen, Hs 3-5 m	<1	<2000
Bygningselementer, Hs 1-3 m	≤ 1	<1000
Skade på utstyr 5-10 m bak konstruksjonen	≤ 1	<1000
Biler på kronen, Hs 2 m	1	2000
Personer på kronen med direkte sikt til sjøen, Hs 2 m	1	600



Figur 4 Eksempel på overskylling i Bodø under stormen [Sally](#) i 2020 (bølgetilstand $H_s=1.4$ m / $T_p = 4.5$ s). Molo ligger på kote +3 m (NN2000). Vannstand var 1.9 m. Gjennomsnittlig overskylling er estimert til 5 l/m/s basert på EurOtop (2018). Største overskyllende volum fra en enkeltbølge estimert til 600 l/m.

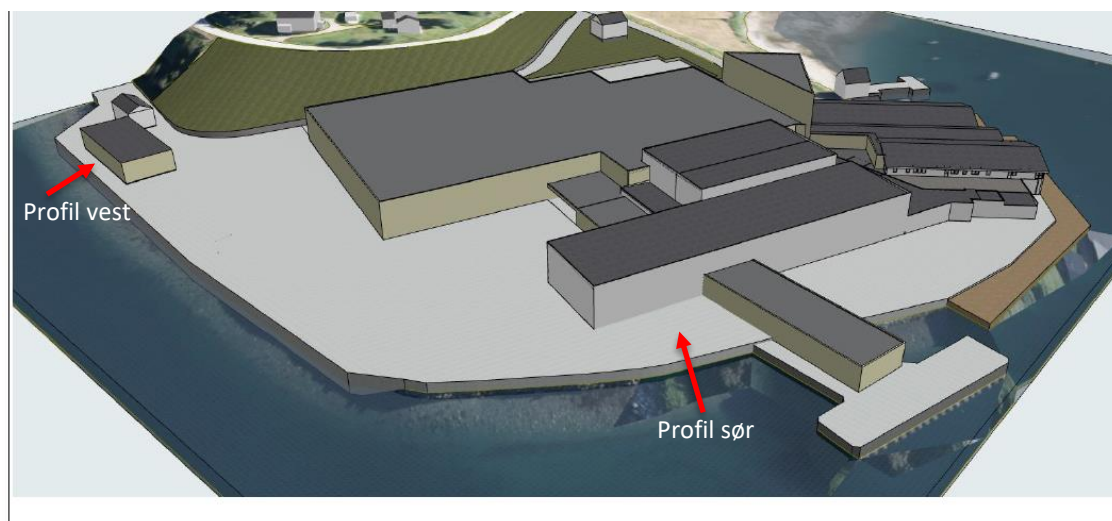
4.3.2 Overskylling ved Kårvikhamn

Det er undersøkt overskylling inn over planområdet ved to dimensjonerende profiler (Figur 5)

- fyllingshøyde på 3 m relativ NN2000
- helning 1:1.5
- rausfylling med ruhetsfaktor på 0.55 som tilsvarer to-lags plastring med impermeabel kjerne.

Overskylling er undersøkt ved kombinasjon av stormflo med 200 års gjentaksintervall (inkludert klimapåslag) og bølgetilstand med 200 års gjentaksintervall.

Overskylling er beregnet ved bruk av empiriske ligninger fra EurOtop (2018). Ligninger for dimensjonering («Design Approach») er brukt.



Figur 5 Plassering av dimensjonerende profiler

5 Resultater

5.1 stormflo

Fram mot år 2100 forventes havnivåstigning rundt 56 cm for Senja. Forventet stormflo i dag og klimapåslag er oppsummert i Tabell 3.

Tabell 3 Ekstrem stormflo Kårvikhamn (rel. NN2000)

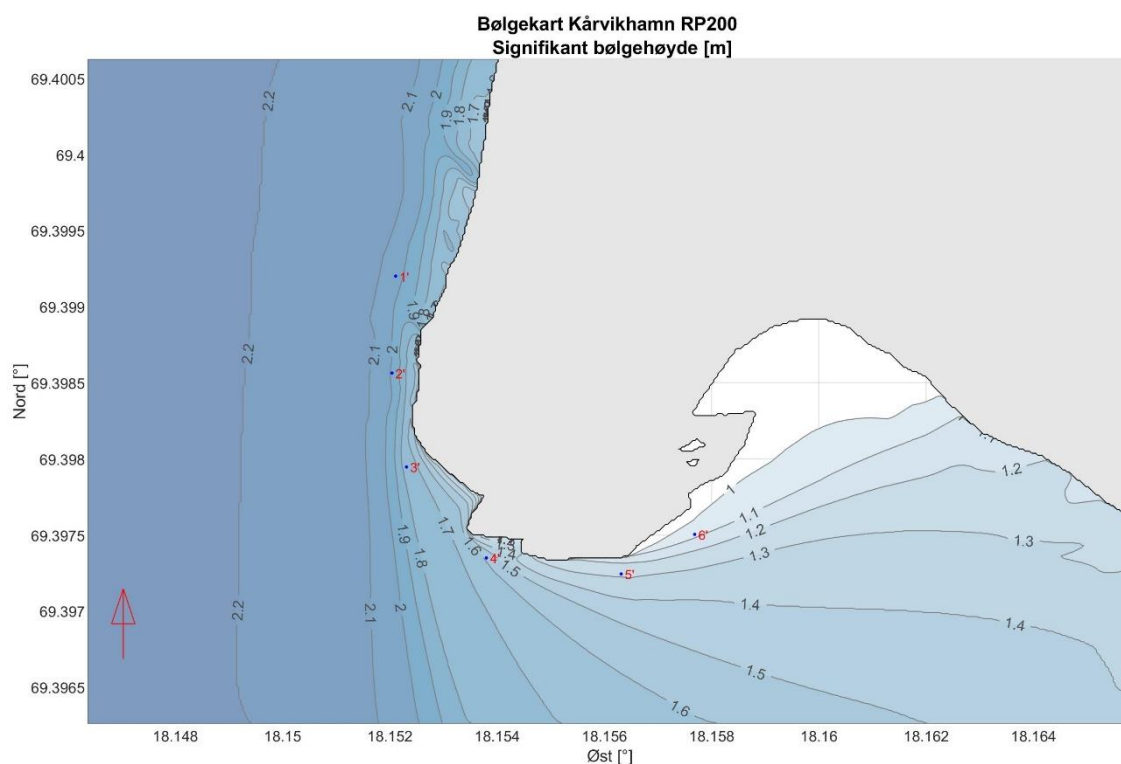
Beskrivelse	stormflonivå [rel. NN2000]
200 års gjentaksintervall i dag	1.8 m
Sikkerhetsklasse F2 (200 års gjentaksintervall + klimapåslag)	2.3 m

5.2 Bølgetilstand

Dimensjonerende bølgetilstand (200 års gjentaksintervall) ved de aktuelle profilene er gitt i Tabell 4 og illustrert i Figur 6. Sjøfronten mot vest er utsatt for større bølgepåkjenning enn sjøfront mot sør.

Tabell 4 Dimensjonerende bølgeforhold. «Profil Vest» samsvarer med bølgetilstand i pkt 2. «Profil Sør» angir bølgetilstand ved pkt 4.

	Profil vest	Profil sør
Hs 200 års gjentaksintervall	2.0 m	1.5 m
Tp	5.2 s	4.1 s
Retning fra	338 °	238 °



Figur 6 Bølgekart for Kårvikhamn, Koter representerer signifikant bølgehøyde (200 års returperiode) oppsummert for undersøkte vindbølger fra S, SV, V NV og N.

5.3 Overskylling

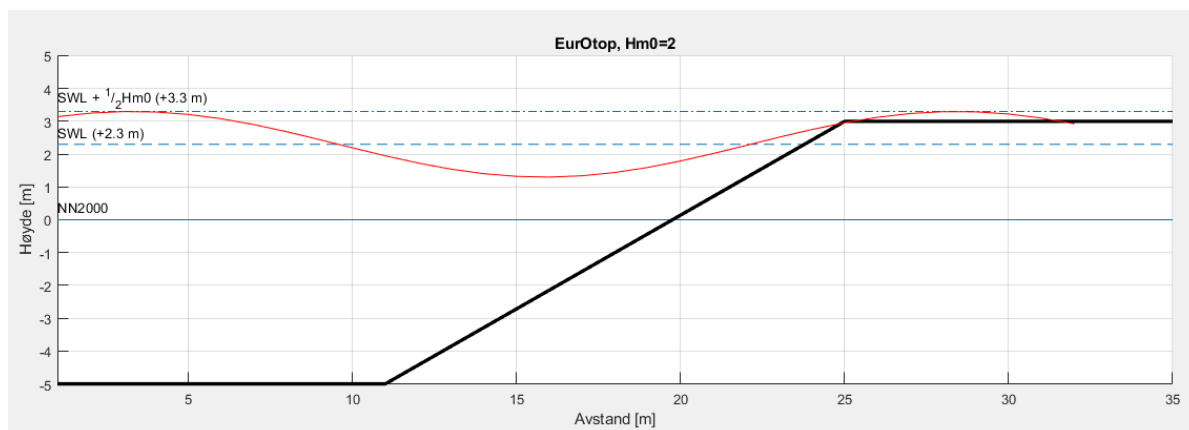
Ved dimensjonerende stormflo på 2.3 m rel. NN2000 og fyllingshøyde 3 m er fribord 0.7 m. Dimensjonerende bølgetilstand med signifikant bølgehøyde 2.0 m som treffer dette begrensede fribordet, gir stor overskylling som må adresseres i arbeid med planlegging av industriområdet ved Kårvikhamn.

Figur 7 illustrerer fyllingsprofil mot vest med dimensjonerende stormflo (200 års gjentakintervall) og antydning av en regulær bølgeoverflate med bølgehøyde tilsvarende dimensjonerende signifikant bølgehøyde (H_s , 200 års gjentakintervall) på 2.0 m. Fyllingshøyden er 3 m. Illustrasjonen gir et forenklet bilde på høyde av innkommende bølgetopper og illustrerer at betydelig overskylling vil kunne oppstå. Signifikant bølgehøyde tilsvarer høyden på de 1/3 største bølgene i en stormtilstand. Høyeste enkeltbølge i en tre timers stormtilstand vil ha bølgehøyde på ca. 2 x signifikant bølgehøyde, og bølgetoppen vil nå vesentlig høyere enn fyllingshøyden på 3 m idet bølgen når fyllingsfoten. Selve fyllingen vil ha stor påvirkning på de innkommende bølgene og overflaten til bølgene vil se annerledes ut opp langs fyllingen enn den regulære bølgen antydnet på figuren. Dette tas hensyn til i beregningene.

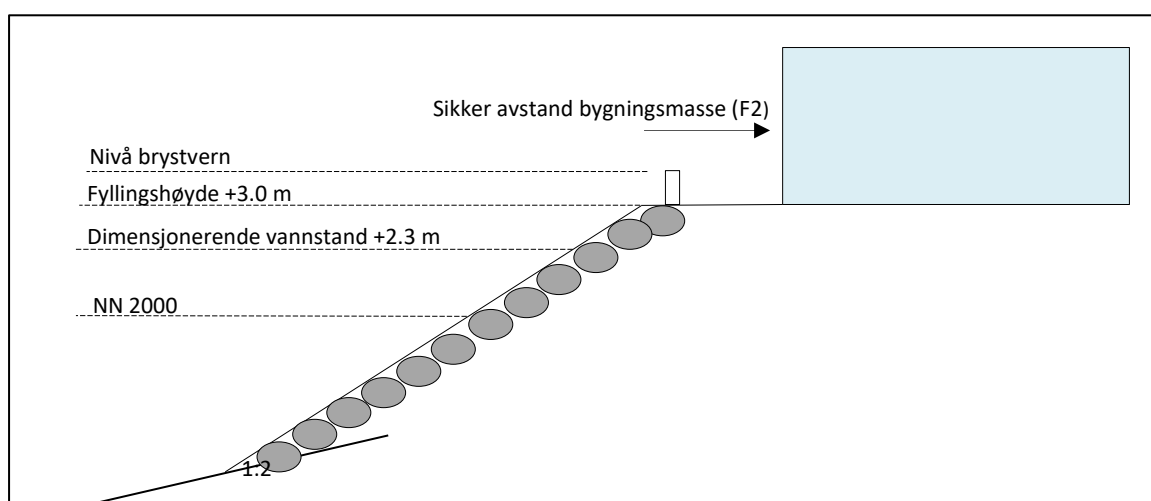
Tabell 5 viser karakteristiske verdier for dimensjonerende overskylling for de to undersøkte profilene. Tabellen viser situasjon ved fyllingsfront og hvordan overskylling avtar innover fyllingen. Overskyllende vannmasser ved kanten av fyllingen vil ha høy energi og ødeleggende kraft. Overskyllingen vil dels ha form som vann som reiser gjennom luften og lander et stykke innpå fyllingen (Figur 9) og dels som vann som fosser innover langs fyllingens overflate. Fyllingens beskaffenhet fra fyllingskanten og innover, påvirker hvor raskt energien til overskyllende vannmasser avtar og hvor langt inn vannmassene når. Fyllingsfront i plastringstein reduserer overskyllende masser effektivt, mens dekke i asfalt eller grus har mindre effekt. Et alternativ til bred fyllingsfront er beskyttende brystvern ved fyllingskant (Figur 8). Brystvernet må projekteres for å stå imot overskyllende bølger.

Tabell 5 Karakteristiske verdier for overskylling for fyllingsfrontene mot vest og sør. Tallene danner grunnlag for vurderinger av sikkerhet mot overskylling mot tiltak i sikkerhetsklasse F2 på området bak fyllingen.

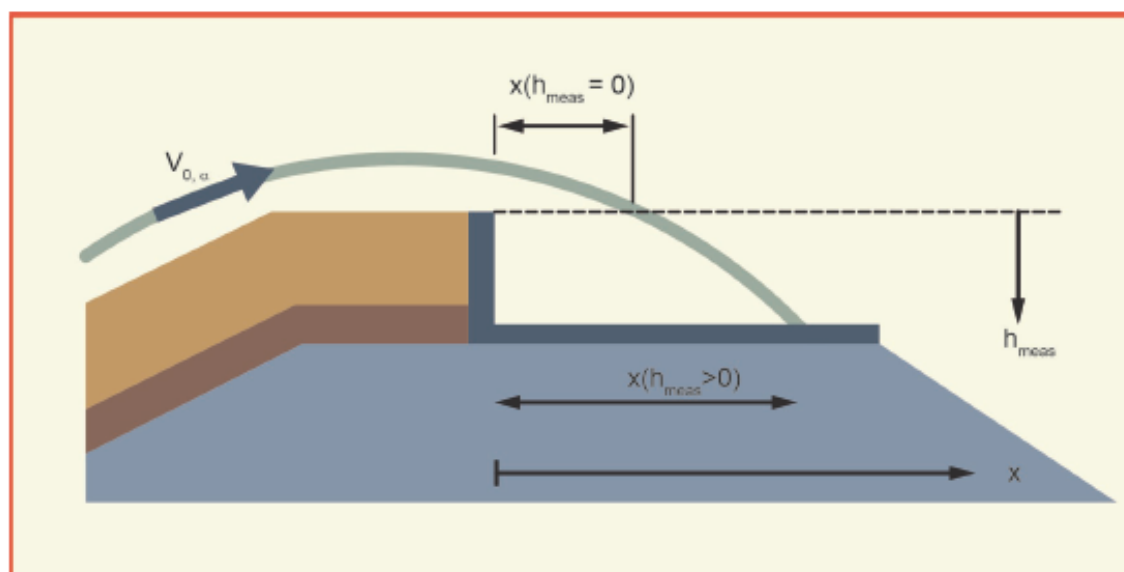
Fyllingshøyde	3 m			
	0m	0.5 m	1.0 m	1.5 m
Brystvern				
Gjennomsnittlig overskylling bak fyllingsfront / brystvern q	192 l/s/m	39 l/s/m	8 l/s/m	1 l/s/m
Maksimalt overskyllingsvolum V_{max}	5 400 l/m	3 400 l/m	1 400 l/m	550 l/m
Reiseavstand gjennom luft ($q_{lim} 1$ l/s/m, $V_{maxlim} 1000$ l/s/m).	6 m	4 m	2 m	0m



Figur 7 Fyllingsprofil mot vest illustrert med dimensjonerende stormflo og regulær bølgeoverflate med bølgehøyde tilsvarende signifikant bølgehøyde (H_s , 200 års gjentakintervall)



Figur 8 Skisse av fyllingsprofil med dimensjonerende stormflo. Eksempel på brystvern ved fyllingsfront for å redusere overskylling.



Figur 9 Reiseavstand gjennom luft for overskyllende vannmasser

6 Anbefalinger for regulering

Byggteknisk forskrift, TEK17, krever at byggverk i sikkerhetsklasse F2 skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade ved stormflo med 200 års gjentaksintervall og samtidig bølgepåvirkning.

Tiltakets sjøfronter mot vest og sør vil oppleve betydelig overskylling ved dimensjonerende grensebetingelser; stormflo på 2.3 m kombinert med bølgetilstand med Hs 2.0 m. Det anbefales å etablere tiltak som reduserer overskyllende vannmengde inn mot bygg, plassere bygg med tilstrekkelig avstand til fyllingskant og adressere overskyllende vannmengde ved prosjektering av bygg og uteareal mot sjø.

Tiltak som imøtekommer krav om tilfredsstillende sikkerhet mot skade ved stormflo og bølgepåkjenning kan være:

- beskyttende brystvern med øvre kant 4.5 m rel NN2000. Denne beskyttelsen sikrer at bygg blir truffet av en gjennomsnittlig vannmengde langs bakken mindre 1 l/s/m og ingen øvrige tiltak er nødvendig.
- beskyttende brystvern med øvre kant 4.0 m rel NN2000 + minimum 2 m avstand mellom bygninger og brystvern slik at bygg blir truffet av en gjennomsnittlig vannmengde gjennom luft mindre enn 1 l/s/m. Videre må overskyllende vannmengde langs bakken på 10 l/s/m adresseres ved prosjektering av bygg og uteareal mot sjø. Det bør undersøkes hvor ofte overskylling over sikker grense for persontrafikk, 1 l/s/m, opptrer og vurderes i sammenheng med forventet persontrafikk på utområdet. Prosjekteringen må påvise endelig tilfredsstillende sikkerhet mot skade ved stormflo med 200 års gjentaksintervall og samtidig bølgepåvirkning.
- beskyttende brystvern med øvre kant 3.5 m rel NN2000 + minimum 4 m avstand mellom bygninger brystvern, slik at bygg blir truffet av en gjennomsnittlig vannmengde gjennom luft på mindre 1 l/s/m. Videre må overskyllende vannmengde langs bakken på 40 l/s/m adresseres ved prosjektering av bygg, dreneringstiltak og øvrig uteareal mot sjø. Det bør etableres drenering i området bak brystvern slik at overskyllende mengde mot bygg ikke overskider 10 l/s/m. Det bør undersøkes hvor ofte overskylling over sikker grense for persontrafikk, 1 l/s/m, opptrer og vurderes i sammenheng med forventet persontrafikk på utområdet. Prosjekteringen må påvise endelig tilfredsstillende sikkerhet mot skade ved stormflo med 200 års gjentaksintervall og samtidig bølgepåvirkning.

Effekt fra vind på overskyllende vann er ikke hensyntatt i beregningene. Bygningsfasader vil kunne oppleve betydelig vindtransportert sjøsprøyt, også ved mindre ekstreme hendelser enn undersøkt i dette notatet. Det anbefales å ta hensyn til sjøsprøyt ved planlegging bygg, f.eks. ved materialvalg for kledning og orientering av inngangspartier.

7 Referanser

DIBK, 2016. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Direktoratet for byggkvalitet. Veiledning om tekniske krav til byggverk. Veiledning om tekniske krav til byggverk

EuroTop 2018. *EurOtop II – Manual on wave overtopping of sea defences and related structures: An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*.

NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009: Laster på konstruksjoner. Del 1-4. Allmenne laster. Vindlaster

TEK 17. *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Kommunal- og moderniseringsdepartementet, <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>

SWAN (2016): Technical documentation – SWAN Cycle III version 41.01A, Delft University of Technology