

## NOTAT

OPPDRAAG	<b>Langholmen risikovurdering</b>	DOKUMENTKODE	10220082-01-RIMT-NOT-001
EMNE	<b>Modellering av bølgeopp skylning, Langholmen, Egersund</b>	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	<b>Seabrokers</b>	OPPDRAAGSLEDER	Parul Khandelwal
KONTAKT	Terje Jørgensen	UTFØRT AV	Mayilvahanan Alagan Chella, Jithin Jose, Edmond Hansen
KOPI		ANSVARLIG ENHET	10235042 Marint miljø og havbruk

## 1 Bakgrunn

I forbindelse med endring av plan 19680003-03 detaljregulering for Langholmen gnr 47 bnr 26 m. fl. i Egersund kommune, har det kommet innsigelse fra Fylkesmannen i Rogaland. Fylkesmannen etterspør en fagkyndig rapport som viser konsekvensen av klimaendringene i form av havnivåstigning. Rapporten skal inneholde faresone for stormflo. Fylkesmannen påpeker at planen gjelder både ny brannstasjon og politistasjon, og at faresonen derfor skal være utformet i hht kravene i sikkerhetsklasse 3 i TEK 17. Dette innebærer at stormflo og bølgeopp skylning med 1000 års gjentaksintervall skal legges til grunn for faresonen.

I møte med Fylkesmannen 15/9 2020 presiserte Fylkesmannen at faresonen defineres som den delen av planområdet som eventuelt er utsatt for bølgeopp skylning med 1000 års gjentaksintervall, uavhengig av skadepotensiale (angitt som f. eks. vannmengde eller vanntrykk). Videre ble det presisert at beregningene skal utføres på planområdet i den tilstand det befinner seg før det bebygges.

Planområdet dekker et utfylt område med overflate på kote +2.3 m (NN2000). I praksis betyr Fylkesmannens krav at beregning av bølgeopp skylning under stormflo skal utføres med ferdigstilt fylling, med den utforming den skal ha når den aktuelle brannstasjonen planlegges oppført. Dermed vil etableringen av en faresone påpeke behovet for eventuelle tiltak mot stormflo og bølgeopp skylning.

## 2 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. Nasjonalt høydesystem i Norge.

**Overskylling** Vann som skyller over f.eks. en fylling eller molo fra innkommende bølger.

00	30.10.2020	Første versjon til oppdragsgiver	MAC/JJ/EH	EH	PARK
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTFØRT AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

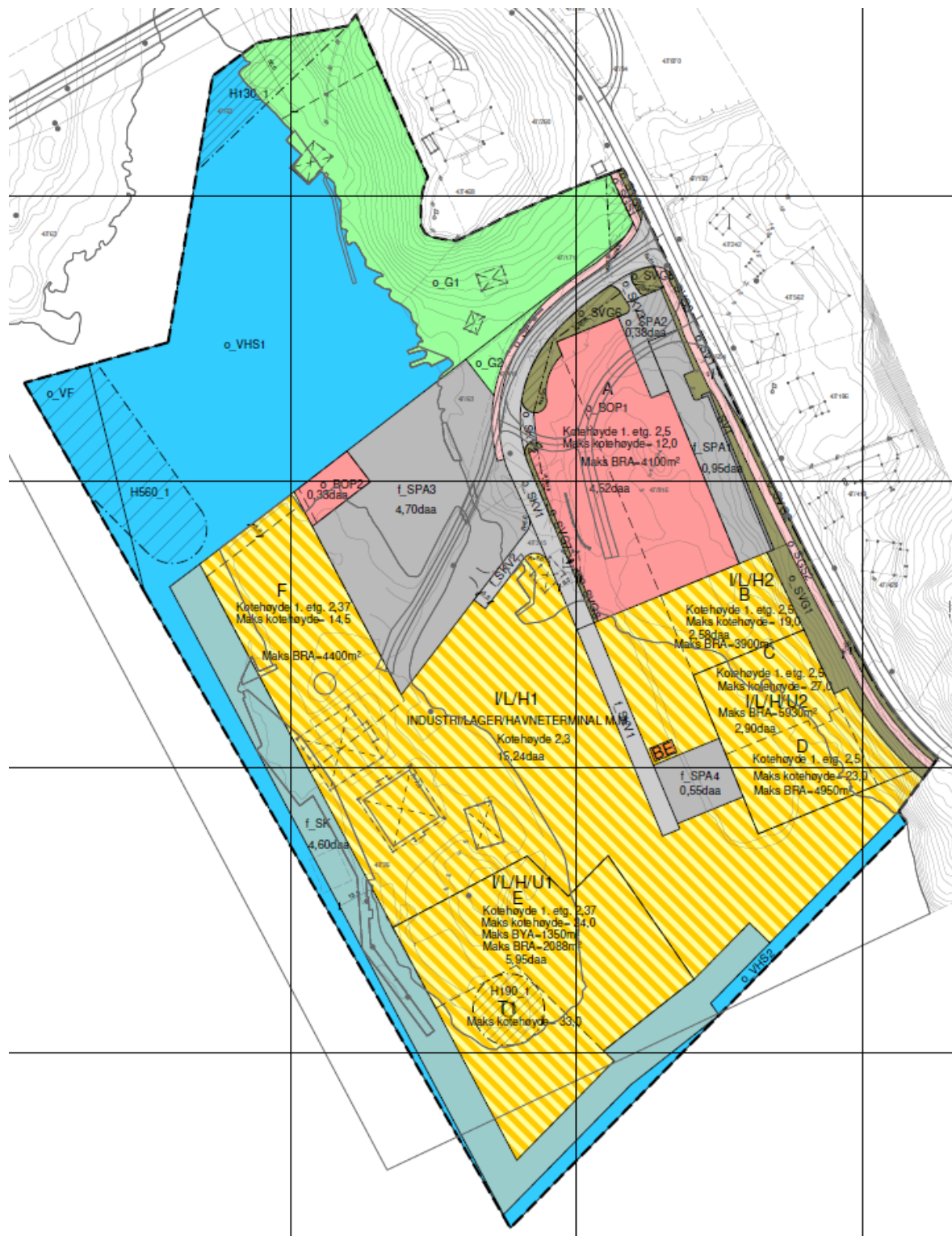
<b>Gjentaksintervall</b>	Statistisk begrep som beskriver hyppigheten til en hendelse. 20 års gjentaksintervall vil f.eks. opptre i gjennomsnitt hvert 20 år, og ha en 5 % sannsynlighet for å opptre i løpet av et år. Også kalt returperiode.
<b>Stormflo</b>	Vannstand høyere enn normal flo i sjø som følge av kraftig lavtrykk og sterk vind, gjerne i sammenfall med høyt astronomisk tidevann.
<b>Vannstand/stillevann</b>	Høyden av vannflaten på et bestemt sted på et gitt tidspunkt. For havet påvirkes vannstanden av tidevann og værrets virkning (vind, lufttrykk, mm).
<b>Klimapåslag</b>	Forventet endring i middelvannstand på grunn av endringer i klimaet. Angis av myndighetene, f. eks. fra Kartverket (sehavniva.no).
<b>Signifikant bølgehøyde</b>	Gjennomsnittlig bølgehøyde for de 1/3 største bølgene i en sjøtilstand.

### 3 Plassering av planområdet og tilhørende bygg

Langholmens plassering er vist i kartet i Figur 1. Kartutsnittet er valgt for å illustrere hvordan planområdet er utsatt for bølger fra sørlig retning. Dette gjelder særlig byggene som er planlagt oppført i planområdets sørlige del. Planområdet med tilhørende bygg er vist i Figur 2. Den planlagte brannstasjonen (markert i rødt som bygg A) vurderes sammenkoplet med bygg som strekker seg sørover mot fyllingens sørlige ende. I møtet 15/9 2020 påpekte Fylkesmannen at kravene i sikkerhetsklasse 3 i TEK 17 da vil gjelde hele bygget, også den sørlige delen (markert som bygg D). Det må derfor fokuseres på bølger som forplanter seg inn mot fyllingen fra sør.



Figur 1 Plassering av Langholmen (øverst i kartet) i forhold til retningen som er utsatt for bølger, som ved sørlig vind vil forplante seg opp sundet mot Langholmen. Kartutsnitt fra norgeskart.no.



Figur 2 Plankart for Langholmen (versjon datert 08.01.2020). Planlagt brannstasjon er merket som bygg A (rødt). Brannstasjonen vurderes oppført i tilknytning til byggene merket B, C og D.

## 4 Stormflo, vind og bølger med 1000 års gjentakintervall

Havnivå for sikkerhetsklasse 3 er gitt av Kartverket (seahavniva.no). For Egersund er anbefalt havnivå for planlegging satt til 1.90 m (rel. NN2000). Dette tilsvarer stormflo med 1000 års gjentakintervall, inkludert klimapåslag.

Stormflo vil opptre ved vind fra sørlige retninger. Det antas derfor at 1000 års stormflo bør kombineres med 1000 års sørlig vind. Denne er tatt fra norsk vindstandard [1], der 1000 års sørlig vind er angitt til 35 m/s.

Bølger med 1000 års gjentakintervall er beregnet ut fra 1000 års vind for sørlig retning. Det ble benyttet forenklede strøklengdebetraktninger for bølgegenerering ved begrensede strøklengder over grunt vann [2]. Resultatet er en bølgetilstand med 1000 års gjentakintervall representert ved signifikant bølgehøyde  $H_s$  på 1.20 m, samt topperiode  $T_p$  på 3.6 s.

Resultatene er oppsummert i Tabell 1, som oppsummerer grunnlagsdataene for beregningene av bølgeoppskylling.

## 5 Bølgeoppskylling med 1000 års gjentakintervall

### 5.1 Beregningsmodell

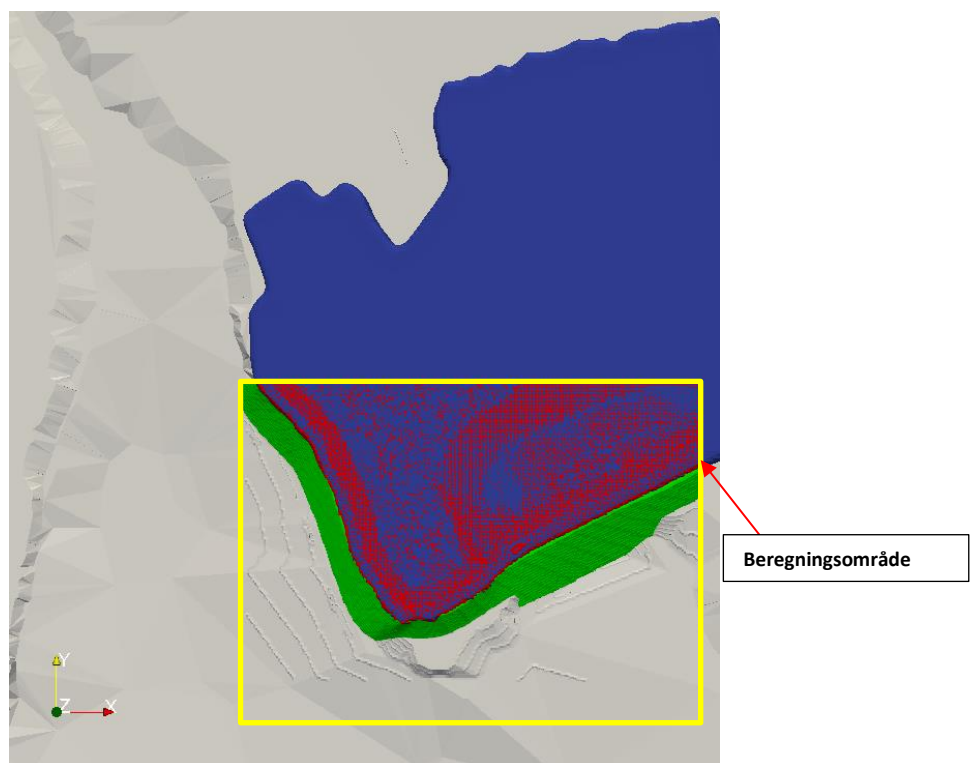
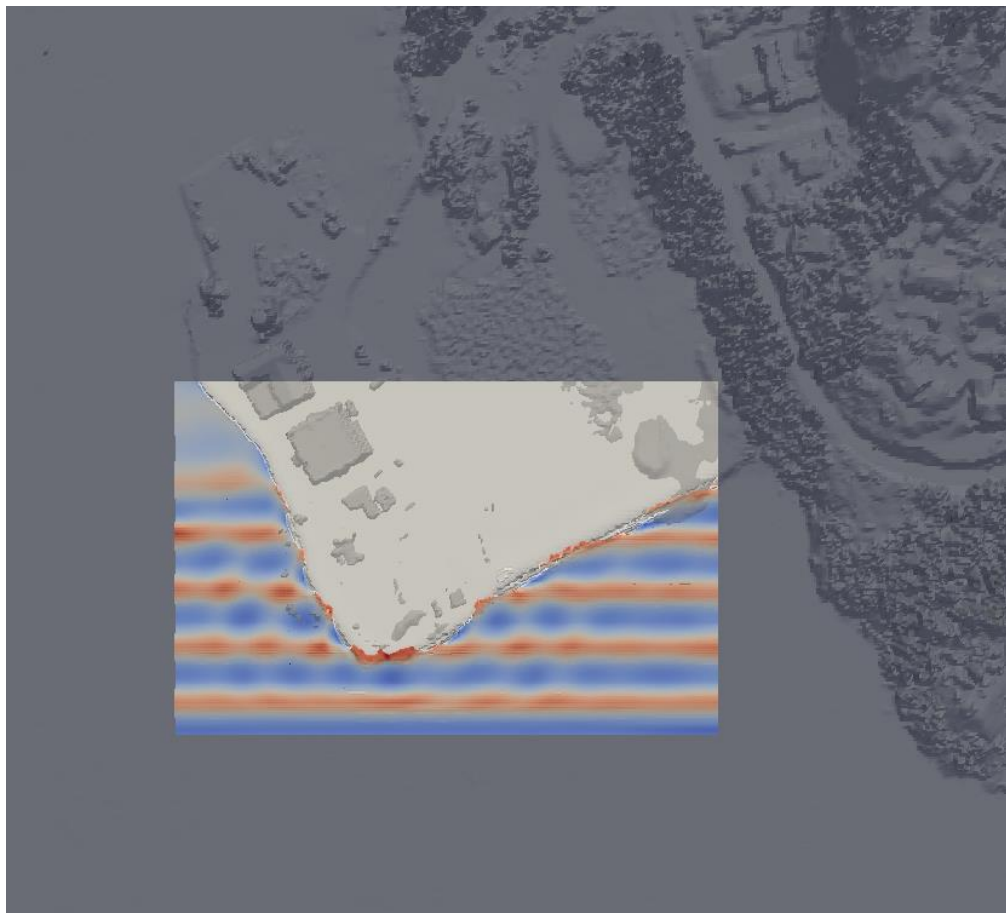
Bølgetilstanden i fyllingens forkant indikerer et potensiale for oppskylling inn over fyllingen. I forhold til å beregne oppskyllingen er det en utfordring at den aktuelle brannstasjonen er lokalisert i fyllingens bakkant. Pga fyllingens store horisontale utstrekning er det ikke mulig å bruke forenklet formelverk. Det er også en utfordring at Fylkesmannen etterspør en faresone, altså vannets spredning utover flaten. I praksis etterspørres det beregninger av hvor langt bølgeenergien klarer å forplante vann inn over området, altså en tredimensjonal beregning.

For å besvare spørsmålet ble det benyttet en tredimensjonal beregningsmodell for fluidmekanikk, en såkalt CFD-modell («Computational Fluid Dynamics»). Modellen OpenFOAM med bølgemodulen Waves2Foam ble benyttet. Dette er et velkjent og mye benyttet verktøy for å modellere strømninger med fri overflate i interaksjon med konstruksjoner og landformasjoner, for forskjellige marine ingeniørfaglige problemstillinger.

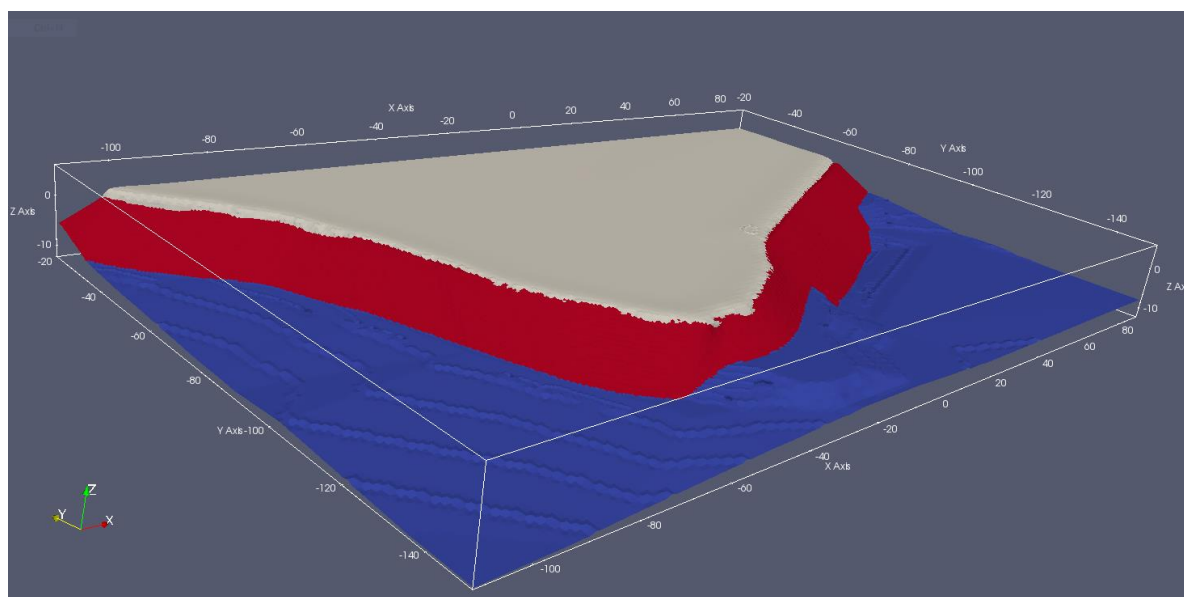
Det er svært tidskrevende å benytte slike modeller til å beregne oppskylling. Dette skyldes at beregningsgitteret som representerer topografien og vannets forplantning må være svært finmasket, for å kunne løse opp de små mengdene med vann som skyller inn over land. Med andre ord så må likningene for vannets forplantning løses i svært mange punkter. Det må derfor gjøres forenklinger. I dette tilfellet er dreneringsevnen til toppdekket lav i forhold til vannmengden som skyller inn over land. Overflaten er også relativt glatt. For å spare beregningstid og dermed gjøre denne type beregninger mulig, er fyllingens overflate derfor representert som en glatt overflate uten porositet og drenerende egenskaper. Beregningene er i så måte konservative.

### 5.2 Modelloppsett

Det modellerte området er vist i Figur 3, med detaljert topografi i fyllingens forkant. Figur 4 viser hvordan fyllingens forkant er representert i modellen. De mest sentrale grunnlagsdata er oppsummert i Tabell 1. Fyllingens overflate er plassert på kote +2.3 m (NN2000). Beregningsområdet har en lengde på 200 m, bredde 170 m, og høyde 21 m. Fyllingens overflate og forkant er modellert som en glatt overflate uten porositet og drenerende egenskaper. Fyllingens forkant har en helning på 1:1.5.



Figur 3 Modelloppsett med topografi.



Figur 4 Modellering av fyllingens forkant.

Tabell 1 Grunnlagsdata for modellering av bølgeoppskylling.

	Parameterbeskrivelse	Verdi
1	1000 års vindhastighet (fra sør - 180°) [1]	35 m/s
2	1000 års significant bølgehøyde ( $H_s$ )	1.20m
3	1000 års topperiode ( $T_p$ )	3.60s
4	Midlere vanddyb for bølgeberegninger	12.0m
5	Kotehøyde på fyllingens toppdekke	+2.30m (NN2000)
6	Helning fyllingsfront	1:1.5
7	1000 års havnivå (stormflo)	+1.90m (NN2000)
8	Bølgetype	Femte-ordens regulære Stokes bølger

Beregningsområdet er delt opp i totalt 20 millioner celler, med en basisoppløsning på 0.3 m. For det vertikale området omkring fri overflate og over fyllingen ble beregningsgitteret høyoppløst til ca. 0.15 m. Dette gjør det mulig å beregne bølgeforplantning og oppskylling.

1000 års bølgetilstand er en fullt utviklet irregulær sjøtilstand representert ved  $H_s=1.2$  m og  $T_p=3.6$  s. Det vil imidlertid være for beregningskrevende å modellere en irregulær sjøtilstand. Det ble derfor satt på regulære bølger med høyde og periode tilsvarende  $H_s$  og  $T_p$ , representert som femte-ordens Stokes bølger. Alle de regulære bølgene som treffer fyllingen og forplanter seg inn over denne har altså samme høyde. Ettersom signifikant bølgehøyde  $H_s$  representerer gjennomsnittet av de 1/3 største bølgehøydene, er dette en representativ men noe konservativ tilnærming.

### 5.3 Resultater bølgeoppskylling

På fyllingens hjørne i sydvest oppnås stasjonær tilstand etter ca 20 sekunders simulering (ca 6 bølger). Dette betyr at det ikke blir høyere vannstand på fyllingen ettersom simuleringen går videre, maksimum vannhøyde over fyllingen er altså oppnådd. I dette området av fyllingen er vannhøyden 10 cm på det høyeste (punkt P1 i Figur 5). I området ved bygg D oppnås på samme vis en stasjonær tilstand etter ca 28 s. Her er vannhøyden over fyllingen 8.5 cm på det høyeste (punkt P2). Dette er vist i Figur 5, der situasjonen etter henholdsvis 32.4 s (øverst) og 75 s (nederst) er vist.

Figur 5 viser hvordan vannet spres innover fyllingen som følge av energien i bølgene. Gjentakende bølgetrykk fra de innkommende bølgene skyver vannet innover, inntil en likevektstilstand inntreffer etter ca 28 s. I hjørnet i sørvest trenger vannet ca 70 m inn på fyllingen, mens det ved bygg D trenger ca 18 m inn fra kanten.

Det er tegnet inn et omriss omkring vått område i Figur 5 (øverste figur). Simuleringen viser at dette er den største lengden vannet trenger inn på fyllingen. Dette utgjør derfor grunnlaget for å fastsette en faresone for opptreden av vann i planområdet. Denne faresonen kommer strekker seg inn i bygg D. Men i henhold til plankartet (Figur 2) står bygg D på kote +2.5 m (NN2000), altså 20 cm over fyllingens overflate. I dette området ble maksimum vannhøyde over fyllingen beregnet til 8.5 cm, og bygg D vil derfor stå tørt.

Årsaken til den relativt store bølgeoppskyllingen ved fyllings hjørne i sydvest skyldes topografien i umiddelbar forkant av fyllingen i dette området. Figur 3 og Figur 4 viser en naturlig grunne i dette området, rett foran fyllingen. Denne grunnen fører til grunnings effekter, der bølgene blir høyere og brattere før de når selve fyllingen. Dette fører igjen til større oppskylling i dette området.

Oppskyllingen langs fyllingen forøvrig varierer med vinkelen på fronten, relativt til retningen på de innkommende bølgene. Fyllingsfronten øst for hjørnet ligger mest utsatt til i forhold til bølgeretningen, og får dermed større oppskylling enn fronten vest for hjørnet. Siden denne studien har adressert sikkerheten til den planlagte brannstasjonen, er det ikke utført beregninger for den resterende fronten av fyllingen i vest. Men basert på fyllingsfrontens ensartethet videre mot nordvest, er det sannsynlig at bølgeoppskylling videre langs fyllingsfronten ligger på samme nivå som det som er modellert på fyllingsfronten i vest.

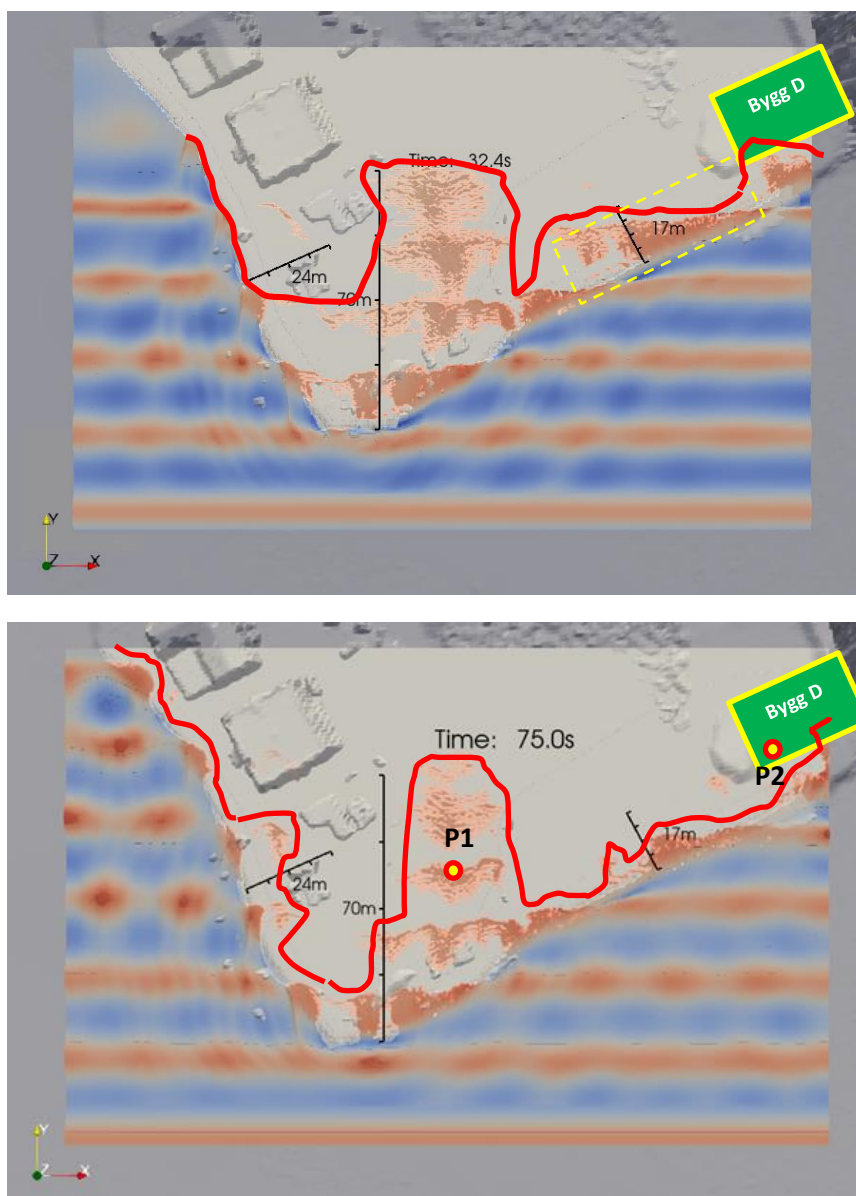
## 6 Konklusjon og behov for avbøtende tiltak

En faresone for stormflo og bølgeoppskylling med 1000 års gjentaksintervall er påvist. Når det gjelder den planlagte brannstasjonen, er det ikke behov for avbøtende tiltak for å oppnå sikkerhet i henhold til sikkerhetsklasse 3 i TEK17. Bølgeoppskylling med gjentaksintervall 1000 år vil ikke nå frem til brannstasjonen. Slik bølgeoppskylling når heller ikke frem til bygg D.

For andre bygg og infrastruktur som er planlagt ut mot fyllingens forkant i sør og som tilhører sikkerhetsklasse 1 og 2, er resultatene ikke direkte representative. Lavere havnivå og lavere bølgehøyde vil kunne gi vesentlig mindre bølgeoppskylling innenfor disse sikkerhetsklassene.

Hvis man uansett ønsker å forebygge 1000 års bølgeoppskylling, vil et brystvern langs fyllingens forkant være et effektivt tiltak. Slike brystvern kan utføres i form av en voll, stein- eller betongmur. Et annet tiltak er å føre opp bygg på en kotehøyde som er høyere enn kote +2.4 (NN2000).





Figur 5 Vannets forplantning inn på fyllingen etter 32.4 s (øvre figur) og 75 s (nedre figur). Omrisset omkring vått område i øverste figur utgjør et grunnlag for å fastsette en faresone for bølgeopp skyling i planområdet. Omrisset er her tegnet inn for illustrasjonsformål, endelig faresone er oppgitt i plankart.

## 7 Referanser

- [1] NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009: Laster på konstruksjoner. Del 1-4. Allmenne laster. Vindlaster.
- [2] Herbich, J.B., 2000. Handbook of coastal engineering