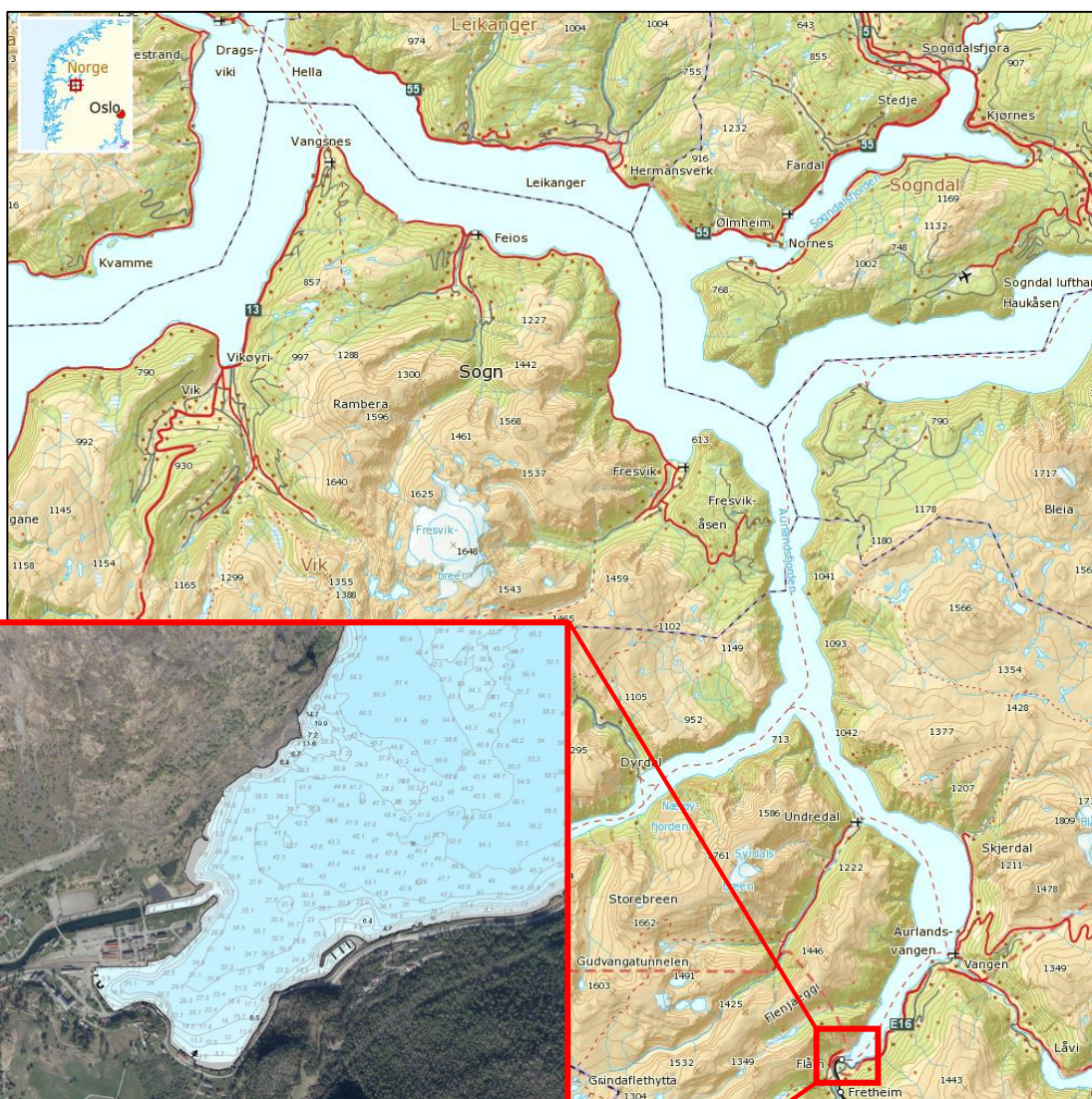


Til: Jan Olav Åsarmoen Møller  
Fra: Onno Musch  
Dato: 2016-05-09

## Stormflo- og bølgeanalyse, Flåm

Reguleringsplan for Flåm krever vurdering av stormflo, havnivåstigning og oppskyllingshøyde av bølgene. I dette notatet er det lagt frem resultatene for lokale ekstremverdiene av stormflo med havnivåstigning samt resultater fra bølgeanalyse og oppskyllingsberegninger. Notatet konkluderer med anbefalte høyder for bygging innenfor TEK10 kravene for sikkerhetsklassene F1, F2 og F3.



Figur 1

Aurlandsfjorden. Flåm er uthøvet i detaljbildet.

## Stormflo

Stormflo defineres som et sammenfall av flere faktorer som gir høy vannstand, som f eks pålandsvind, lavtrykk, høyt tidevann, osv. Nivået for stormflo finnes ved å beregne ekstremverdier og returperioder for beregnet høyt vann-nivå i dagens tilstand. TEK10 kravene er delt opp i tre sikkerhetsklasser med tilhørende stormflo returperiode, som vist i Tabell 1.

For Flåm er tilsvarende stormflohøyder vist i Tabell 2.

Tabell 1 Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område (TEK10)

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	Liten	1/20
F2	Middels	1/200
F3	Stor	1/1000

Tabell 2 Stormflohøyder for Flåm. Vist med referanse til sjøkartnull og NN1954.

Returperiode	cm over Sjøkartnull	cm over NN1954
20 år (F1)	265	176
200 år (F2)	296	207
1000 år (F3)	319	230

## Havnivåstigning

Det velges å benytte rapportet fra 2012, der netto havnivåendring er beregnet<sup>1</sup>. I denne rapporten er nye nivåer beregnet i hhv 2062 og 2112, og det er gitt beregninger på tre nivåer: mest sannsynlige, innenfor 68 % konfidensintervall og innenfor 95 % konfidensintervall.

Det siste rapport om havnivåstigning i Norge er publisert i 2015<sup>2</sup>, utarbeidet av Kartverket, Bjerknes Centre, Nansensenteret og MET for Miljødirektoratet. Tallene fra denne rapporten er svært like de som er publisert i rapporten fra 2012 med noen nedjusteringer for enkelte steder.

I 2012 rapporten er det brukt resultatene fra RCP8.5 scenarioet som er det mest konservative utslipps-scenario av de 4 IPCC klimaendrings modellene.

Dimensjonerende vannhøyde for 20, 200 og 1000 års returperiode stormflo inkludert havnivåstigning er vist i Tabell 3 til Tabell 5.

1. J.E.Ø. Nilsen, Drange, H., Richter, K., Jansen, E., Nesje, A. (2012). Endringer i fortidens, dagens og framtidens havnivå med spesielt fokus på vestlandskysten. NERSC Special Report 89, Bergen, Norge. 48 s.
2. M.J.R Simpson, J.E.Ø Nilsen, et al (2015). Sea level change for Norway. NCCS report no 1/2015.

Tabell 3 Stormflo med returperiode på 20 år pluss havnivåstigning fra scenario RCP8.5. Vist med referanse til sjøkartnull og NN1954.

Konfidensnivå	Ref. Sjøkartnull (cm)		Ref. NN1954 (cm)	
	2062	2112	2062	2112
50%	275	299	186	210
68%	283	324	194	235
95%	289	344	200	255

Tabell 4 Stormflo med returperiode på 200 år pluss havnivåstigning fra scenario RCP8.5. Vist med referanse til sjøkartnull og NN1954.

Konfidensnivå	Ref. Sjøkartnull (cm)		Ref. NN1954 (cm)	
	2062	2112	2062	2112
50%	306	330	217	241
68%	314	355	225	266
95%	320	375	231	286

Tabell 5 Stormflo med returperiode på 1000 år pluss havnivåstigning fra scenario RCP8.5. Vist med referanse til sjøkartnull og NN1954.

Konfidensnivå	Ref. Sjøkartnull (cm)		Ref. NN1954 (cm)	
	2062	2112	2062	2112
50%	329	353	240	264
68%	337	378	248	289
95%	343	398	254	309

## Vind

Vinddata er tilgjengelig fra Sogndal Lufthavn (2003 – 2011) og Vangnes målestasjon (1993 – 2011).

På grunn av stedet som preges av kraftige, kortvarige fallvinder, samt ustabil retningsspredning av vind, foreslår vi å anslå en ekstremvind basert på de foreliggende data og beregne bølgehøyder basert på denne.

Vindhastigheter angies på to nivåer:

- basisvind, som er den gjennomsnittlige verdien av 10 min middelvind gjennom en storm av 3 timers varighet
- genererende vind, som er en vindhastighet innenfor den angitte stormen som har en varighet som er lang nok til at bølgene kan oppstå

Vi antar på grunnlag av tilgjengelig data at 100 års basisvind for Flåm kan fastsettes til 25 m/s.

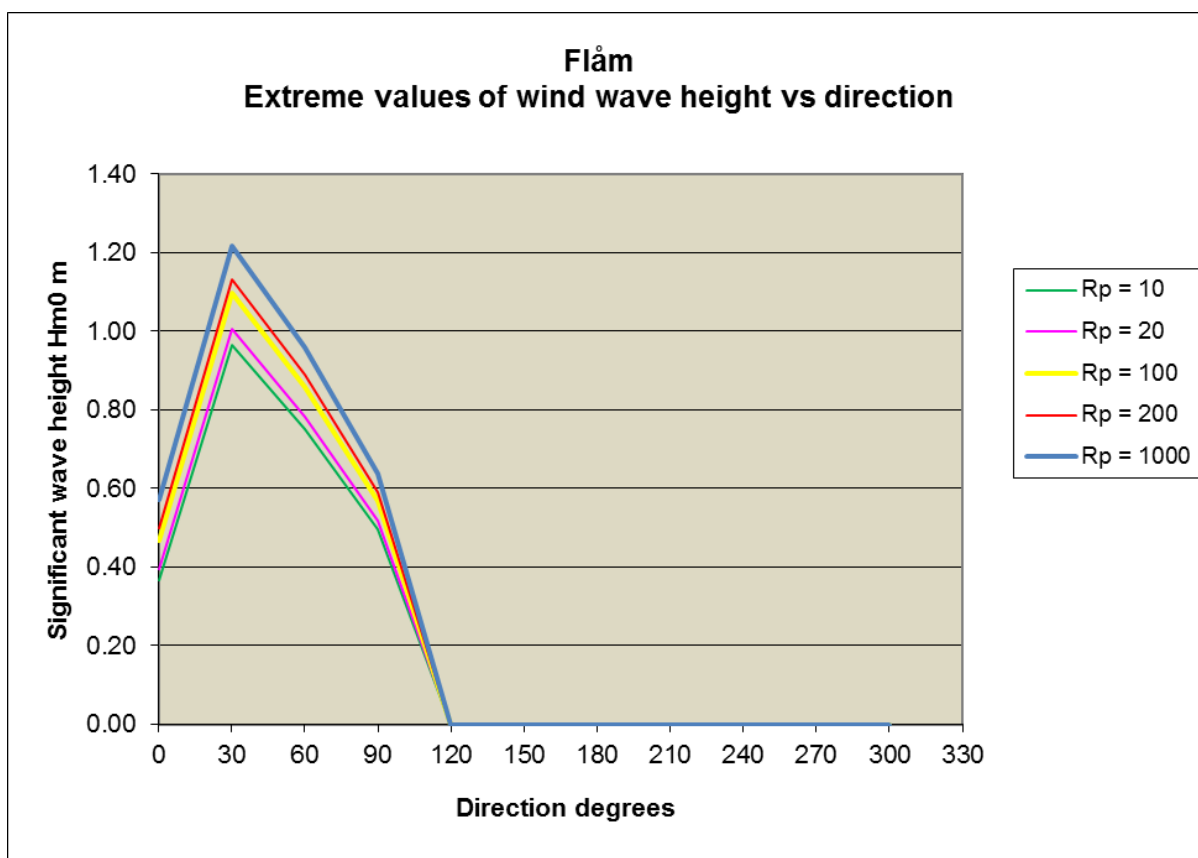
Vindhastigheter til bølgeberegninger, tilsvarende 20, 100, 200 og 1000 års returperiode blir da som følger:

Tabell 6 Vindhastigheter, antatt for Flåm. 10 min middelvind i m/s.

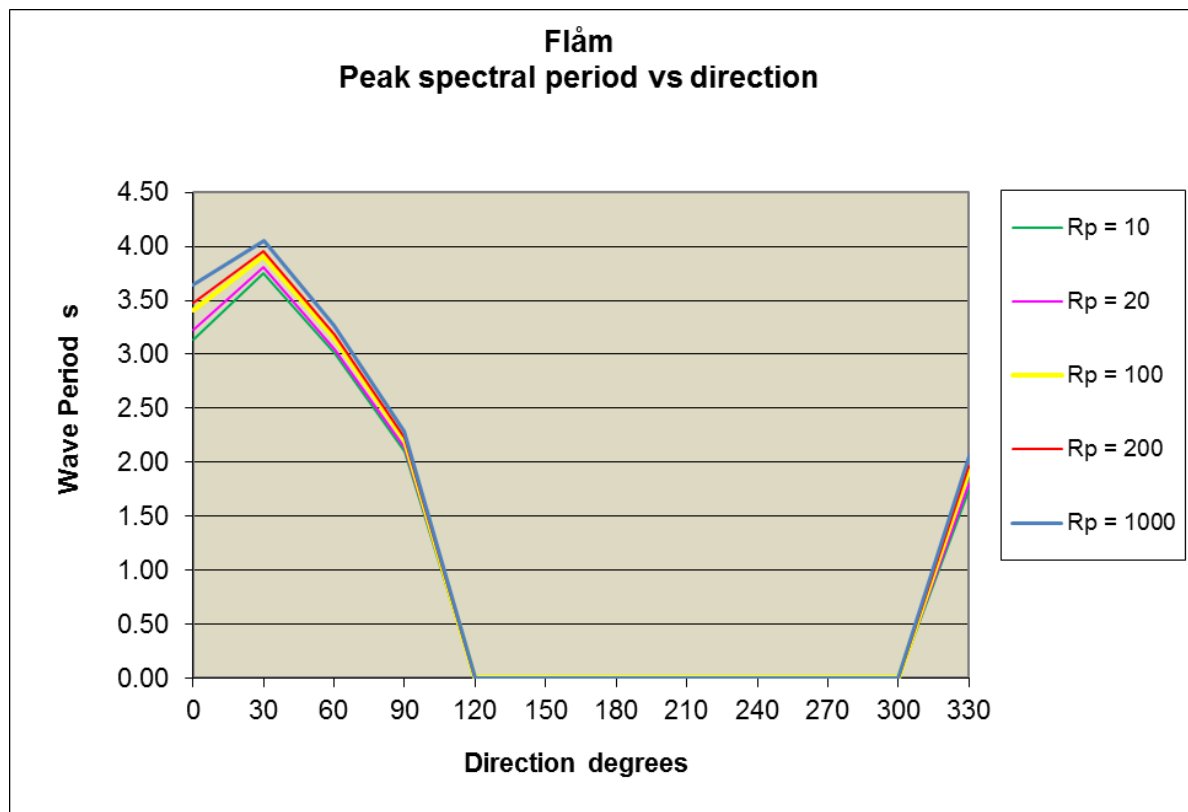
Retur- periode år	Fra Nordøst	
	Basis	bølge- gen.
20	22.8	24.9
100	25.0	26.7
200	25.5	27.4
1000	27.2	29.1

## Bølger

Vindgenererte bølger beregnes på grunnlag av tallene i Tabell 6 og tilgjengelig fritt areal over sjøen ved hjelp av programmet HSCOMP. Resultatet av denne beregningen er vist i Figur 2 og Figur 3. Her ser vi at de høyeste bølgene kommer fra 30° som tilsvarer Nordøst. Signifikant bølgehøyde med returperiode 100 år kan når opp mot 1.10 m. Tilsvarende spektral topp-periode,  $T_p$  er på 3.9s.



Figur 2 Ekstremverdier og returperioder for signifikant bølgehøyde,  $H_s$ .



Figur 3 Ekstremverdier og returperioder av spektral topp-periode,  $T_p$ .

## Oppskylling

På grunnlag av bølgehøyderesultatene er det beregnet hvor høyt bølgene kan skylle opp på land. Her er det antatt at bakkeforholdene har en ruhetsverdi på 1.0 (dvs gress, betong, asfalt osv.) ifølge EurOtop<sup>3</sup> veiledning for oppskyllingskriteria.

Oppskyllingskriteria er satt på:

- 0.5 l/s/m – Ingen skader til bygg men mulige skader på løst utstyr. Trygt for alminnelig tilgang.
- 10 l/s/m – Kan forårsake skader på byggverk samt gressområder. Mulighet til å kjøre på lav hastighet og tilgang for beredskapspersonell til fots. Behov for drenering.
- 50 l/s/m – Vil forårsake omfattende skader til byggverk og gressområder. Det vil være behov for plastring. Ingen adgang med kjøretøy.

Oppskyllingsanalyse-resultatene er vist i Tabell 7 og Tabell 8 for strandlinjer og molo/fylling i sjøen.

<sup>3</sup> EurOtop Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, August 2007.

Tabell 7 Tabell over beregnede oppskyllingshøyder for strandlinjer.

Returperiode år	Signifikant bølgehøyde m	Spektral topp- periode s	Oppskyllingskriteria Nødvendig fribord; m over dimensjonerende vann-nivå		
			0.5 l/s/m	10 l/s/m	50 l/s/m
20	1.01	3.8	1.85	1.63	0.95
100	1.10	3.9	2.10	1.83	1.05
200	1.13	4.0	2.21	1.90	1.18
1000	1.22	4.1	2.43	2.08	1.33

Tabell 8 Tabell over beregnede oppskyllingshøyder for molo/fyllinger i sjøen.

Returperiode år	Signifikant bølgehøyde m	Spektral topp- periode s	Oppskyllingskriteria Nødvendig fribord; m over dimensjonerende vann-nivå		
			0.5 l/s/m	10 l/s/m	50 l/s/m
20	1.01	3.8	1.41	0.77	0.45
100	1.10	3.9	1.58	0.93	0.52
200	1.13	4.0	1.70	0.98	0.58
1000	1.22	4.1	1.82	1.10	0.68

## Anbefalinger

TEK10 gir klare veiledninger om stormflo-returperioder. Sammenfall mellom stormflo og ekstrem-bølgehøyder og/eller vindoppstuvning er derimot ikke gitt. Det vil være for konservativ å anta at 200 års returperiode stormflo sammentreffer med 200 års bølgehøyde og vindoppstuvning. Langs norgeskysten når stormflohøydene ekstremverdier med vind fra sørvest, mens vindgenererte bølgene og vindoppstuvning ved Flåm kommer fra nordøst.

Anbefalte kombinasjoner av parameterne for sikkerhetsklasse F1, F2 og F3 for Flåm er vist i Tabell 9. Totalhøydene er dermed anbefalte dimensjoneringshøydene per sikkerhetsklasse.

Vi kan likevel minne om at tiltak mot oppskylling av korte bølger slik som vi har i dette tilfellet består av relativt enkle tiltak, fra enkle gjerder eller murer til drengrøfter på baksiden av fyllinger. Dersom man vurderer at liv og helse ikke står i fare, kan det derfor være en brukbar strategi å legge konstruksjoner og bygninger på et nivå der de er sikret mot framtidig stormflo, og så tilpasse sikringen mot overskylling av bølger til dagens behov og løpende utvikling.

Tabell 9 Oppsummering av analyseresultater og anbefalinger for total-høyde for sikkerhetsklasse F1, F2 og F3 for Flåm.

	Stormflo inkludert havnivåstigning (m over NN1954)	Oppskyllingshøyde (m over dim vannnivå)	Total høyde (m over NN1954)	Kommentar
F1	194	Strand – 163 Molo – 77	Strand – 357 Molo - 271	20 års stormflo med havnivåstigning frem til 2062 (68%). 20 års bølgehøyde med 10 l/s/m oppskyllingskriteria.
F2	266	Strand – 210 Molo – 158	Strand – 476 Molo – 424	200 års stormflo med havnivåstigning frem til 2112 (68%). 100 års bølgehøyde med 0.5 l/s/m oppskyllingskriteria.
F3	309	Strand – 221 Molo – 170	Strand – 530 Molo – 479	1000 års stormflo med havnivåstigning frem til 2112 (95%). 200 års bølgehøyde med 0.5 l/s/m oppskyllingskriteria.

3	2016-05-09	Notat Flåm	OMU	AEL	AEL
<b>Versjon</b>	<b>Dato</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Utarbeidet</b>	<b>Fagkontrollert</b>	<b>Godkjent</b>

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.