

**Til:** Frikar AS / Helge Reisivang  
**Fra:** Arne Erling Lothe / Athul Sasikumar  
**Dato** 2018-09-21

## Stormflo og flomfare i Svolveær

### Innledning

Frikar AS c/o Eiendomsspar AS planlegger å utvikle et område i Svolveær havn med bygninger ned mot kai-nivå. Byggherren har bedt Norconsult om å utrede temaet Stormflo og Flomfare på stedet. Stedet er markert på Figur 1. Holmen som ligger midt i bildet på flyfotoet heter Lamholmen, og er forbundet med land via ei bru som står på peler. Brua representerer altså ingen hindring for tidevann eller bølger.



Figur 1 Vågan Kommune. Anlegget er markert med rød sirkel på detaljbildet

## Stormflo

Stormflo er alle tilfeller av ekstremt høyt vann-nivå, uansett årsak. Hovedbidraget til stormflo (i denne delen av Norge) er ordinært tidevann, spesielt rundt vår- og høst-jevndøgn, men andre bidrag kan komme fra lavt luft-trykk, pålandsvind og bølgebryting.

Returperioder for ordinær stormflo i dagens situasjon kan beregnes ved å lage en statistikk over observerte vann-nivå over en lengre periode. I dette tilfellet er nærmeste stasjon Kabelvåg, der vannstanden har vært målt siden 1989. En slik statistikk vil gi ekstremverdier (gitt ved returperioder i år) gjeldende for 2018.

I tillegg må det tas hensyn til mulige effekter av klima-endringer. Observerte endringer i klima fører til av middelvannstanden i havet på global basis stiger. Havnivået stiger imidlertid ikke like mye over hele kloden, og i Norge har vi fortsatt en betydelig landheving etter siste istid, og denne landhevingen (ca 3.5 mm / år i Vågan) vil mange steder være så stor at den er større enn havnivåstigningen.

Byggeforskriften TEK17 sier generelt i § 7-2. *Sikkerhet mot flom og stormflo* at alle bygg skal klassifiseres i Klasse F1, F2 eller F3, se Tabell 1. De fleste bygg med menneskelig opphold er i Klasse F2, og det gjelder også for utbyggingen i Svolvær.

For bygg i Klasse F2 gjelder at dimensjonerende flomnivå skal bestemmes ved:

1. 200 års returperiode
2. Estimert situasjon i 2090
3. Antatt utslippsscenario RCP8.5
4. Ensemblespredning i estimatene 95 %.

Grunnlaget for beregninger av dette er gitt av FN/IPCC, og er tilpasset norske forhold i en rapport bestilt av Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB), referanse 1.

De scenariene for framtidige utslipp av klimagasser som er undersøkt er gjengitt i Figur 2. Til hvert scenario er det også knyttet en *ensemblespredning*, som kan tolkes slik at 50 % spredning angir den mest sannsynlige verdien, mens 95 % betyr at det er 95 % sikkert at det angitte estimatet er høyt nok.

Vi tar nå ekstremverdiestimatet for 2018 og adderer den antatte stigningen i havnivå fram mot 2050, 2090 og 2100. Resultatet for de to antatte verste scenariene (RCP4.5 og RCP8.5) er vist i Figur 3 og i Tabell 2.

I vårt tilfelle pålegger TEK17 oss å benytte den heltrukne røde kurven i 2090, dvs at bygget må dimensjoneres for et *stormflonivå opp til 334 cm NN2000 i 2090*. (Det skal i tillegg tas hensyn til bølger, se neste kapittel.)

(Det har vært knyttet noe usikkerhet til observasjonene i Kabelvåg, bl a ved bestemmelsen av NN1954 og NN2000. Vi har derfor kontrollert beregningene mot tilsvarende beregninger for Bodø, som ligger tilsvarende eksponert på andre siden av Vestfjorden. Verdien for Bodø for Klasse F2 er 326 cm NN2000, hvilket betyr at beregningen for Svolvær er i korrekt størrelse.)

Tabell 1 Ikkerhetsklasser for flom i hht TEK17

Tabell: Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område

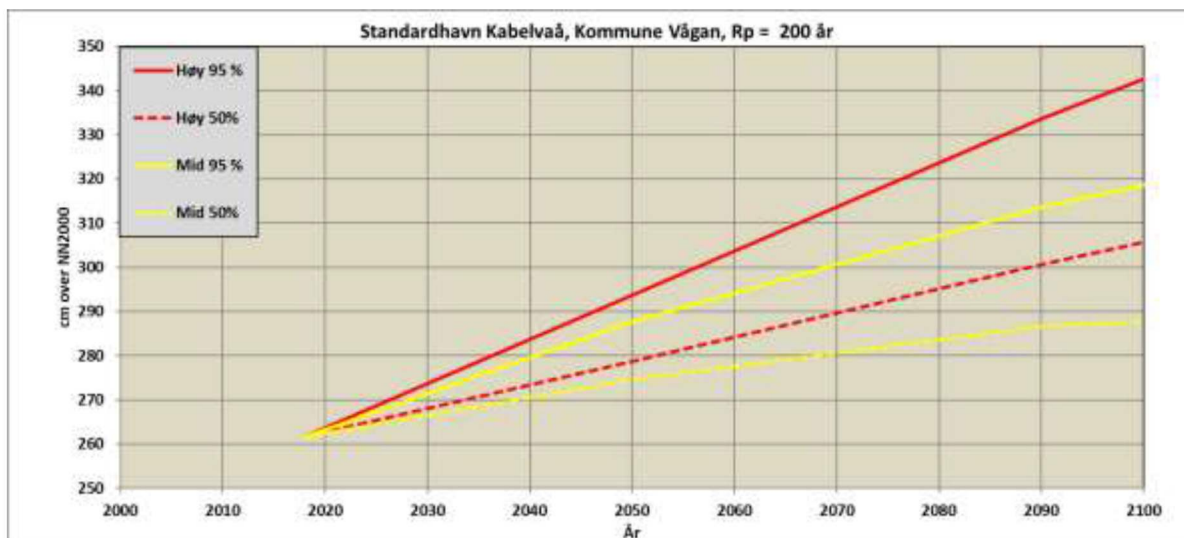
Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

RCP8.5 is a high emission scenario, also known as a 'business as usual' scenario. There are no reductions in emissions, but instead there a tripling of CO<sub>2</sub> emissions by 2100, and a rapid increase in methane emissions. Global temperatures will have increased by some 3–5°C, compared to the mean 1986–2005. Results are largely unknown, but this scenario likely involves several catastrophic consequences for human civilisation.

RCP4.5 involves strong reductions in emissions. There is some increase in CO<sub>2</sub> emissions, but reduction is achieved around 2040, and the concentration stabilises by 2100. This pathway can be reached by creating an energy efficient society and having ambitious climate policies in most countries. By 2100 temperatures are more likely than not more than 2°C warmer. Methane emissions are stable in this scenario. It is expected that many regions will experience shortage of water, and high threat of extinction for many species.

RCP2.6 is a low emission scenario. It describes a path where emissions are reduced by 2020, and atmospheric concentrations go down from 2040. The scenario is based on expectations of reduction in use of oil, lower energy consumption in general, and a human population stabilising around 9 billion. This is the only scenario used that may secure the 'two-degree target'. Note that the concentrations today correspond to about 2.5 W/m<sup>2</sup>.

Figur 2 Grunnlaget for scenariene for framtidige klimagassutslipp i følge IPCC



Figur 3 Beregnede stormflonivå i cm over NN2000, 200 år returperiode

Tabell 2 Beregnede stormflonivå i cm over NN2000 (tallgrunnlaget for Figur 3), 200 år returperiode

År		Rcp 4.5		Rcp 8.5	
		50 %	95 %	50 %	95 %
<b>høyeste registrerte</b>	243 (Berit, 2011)				
<b>2018</b>	262				
<b>2050</b>		275	288	279	294
<b>2090</b>		287	314	301	<b>334</b>
<b>2100</b>		288	319	306	343

## Bølgeforhold

Bølger som går opp på land omfattes av flombegrepet. Bølger som treffer bygninger eller deler av bygninger gir opphav til slagkrefter (oftest horisontalt, men i noen tilfeller vertikalt under bygninger), og dersom terrenget foran bygningen er dårlig arrondert, så kan vannet magasineres foran bygget. Et tilleggsproblem er at vannet kan føre med seg flytende objekter som kan kastes inn mot bygget og gi punktskader og knust glass.

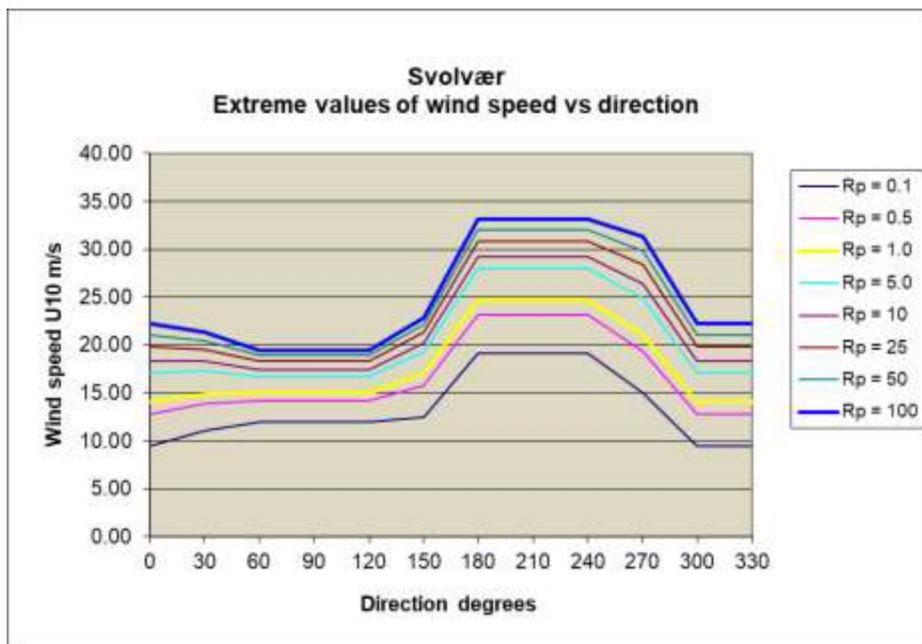
Det er generelt lite bølger i Svolvær Havn. De indre deler av havna innenfor Bekholmen er godt beskyttet, og man kan regne med at havbølger og dønning bare er svakt merkbare innenfor dette punktet.

De bølgene som kan komme inn mot anlegget er derfor bølger som er skapt av lokal vind inn i havna. Det er to mulige sektorer der bølger kan komme inn; fra sørlig retning i retning Bekholmen/Kuba (regner med at brua til Lamholmen ikke hindrer bølgene); og fra NØ i retning mot Størmerodden.

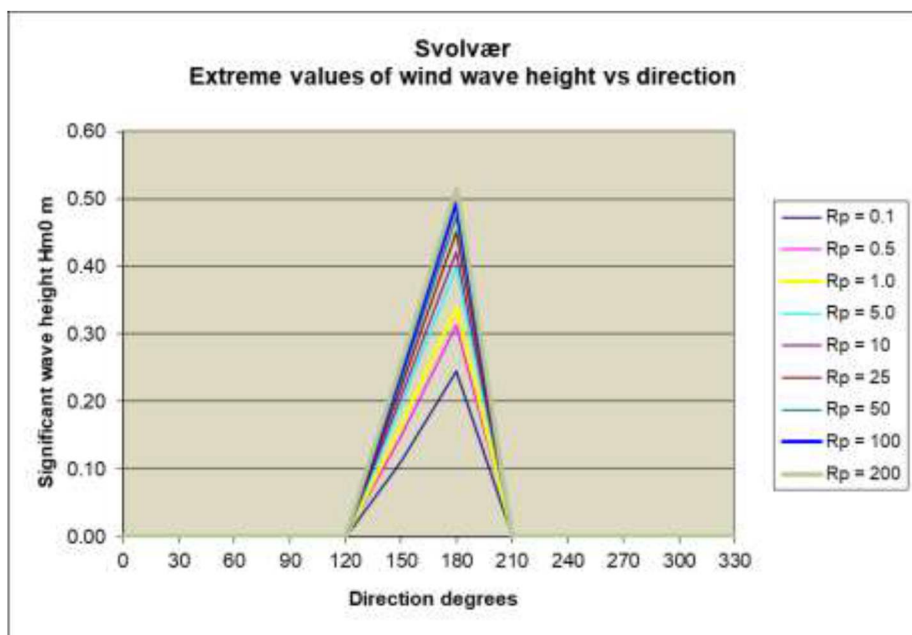


Av disse vil bølgene fra NØ være små og uansett lavere enn bølgene fra S, slik at vi har beregnet kun bølger fra sørlig retning.

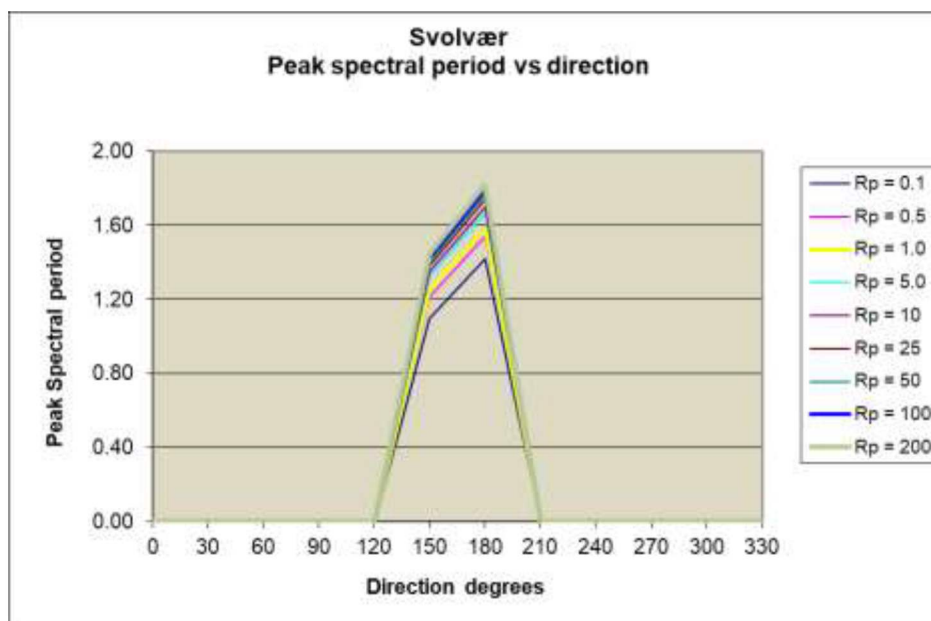
Bølgene er beregnet ved å ta utgangspunkt i vind-data fra Svolvær Lufthavn 1980 – 2011 og den frie avstand over sjøen som vinden blåser over. Resultatet er vist i Figur 4, Figur 5 og Figur 6. Figurene viser at ekstrem signifikant bølgehøyde mot kaia der den aktuelle utbyggingen skal skje er ca 0.45 – 0.50 m, og at perioden på disse bølgene er 1.5 – 2.0 s.



Figur 4 Ekstremverdier av 10 min middelvind fra Svolvær lufthavn målestasjon. Rp er returperiode i år. Retning 0° er vind (og bølger) fra nord.



Figur 5 Ekstremverdier og returperioder for signifikant vindbølgehøyde,  $H_{svind}$



Figur 6 Ekstremverdier og returperioder av spektral topp-periode

## Flomrisiko

Figur 7 viser et snitt gjennom det planlagte bygget med byen til venstre og sjøen med sundet mot Lamholmen til høyre. Teksten «QUAY» angir eksisterende kai. Høyden på kaia er ikke angitt, men det er opplyst i tilleggsinformasjon fra Vindveggen Arkitekter at kaia har et nivå på 3.0 – 3.2 m (antatt NN2000).

Figur 8 viser et bilde fra stedet, tatt fra brua til Lamholmen. Kaia her kan antas å være en åpen betongkai på peler med et gitter av treplanker foran for å hindre båter i å komme inn under kaia. Avstanden fra kaikanten inn til eksisterende bygg (antatt lik avstanden til planlagt bygg) er ikke konstant, men er bedømt til i størrelse 10 – 12 m, og ca 15 m i bølgenes angrepsretning.

I en dimensjonerende situasjon (i 2090) vil altså stormflo-nivået være 334 cm NN2000, som er i størrelse 24 cm over dagens kainivå. Vi kan anta at dette oppstår ved en sørlig vind, som vil gi bølger mot kaia med signifikant bølgehøyde ca  $H_s = 0.5$  m og spektral topp-periode  $T_p = 2.0$  s.

Det finnes ingen metoder for å beregne bølgebelastningen for et slikt tilfelle, men vi har tilpasset en metode som er beskrevet i referanse 2.

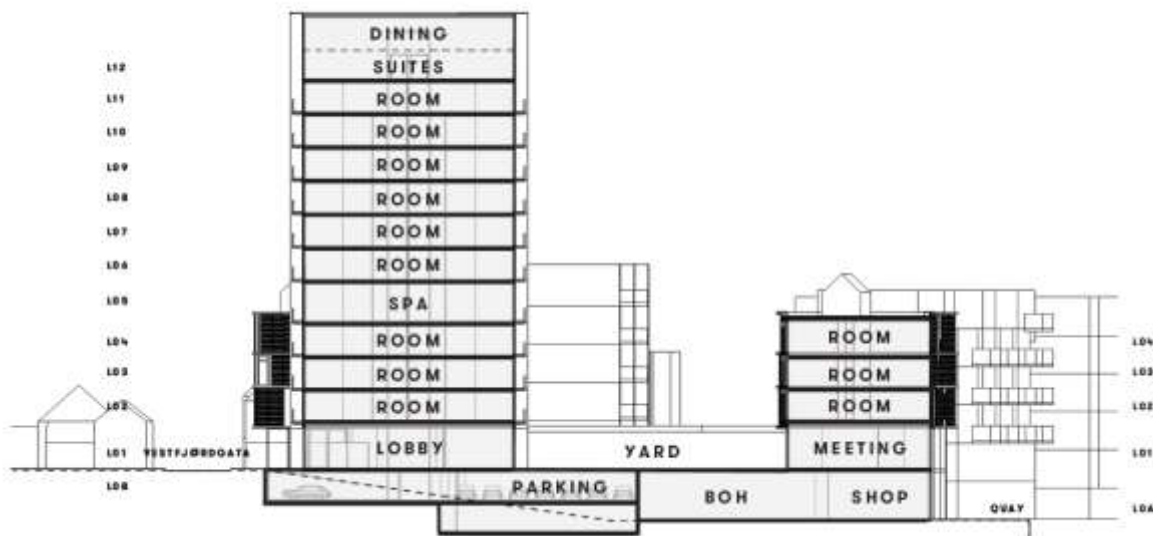
I denne prosedyren modellerer vi kaia som en blokk med svært bratt front og 15 m (effektiv) bredde. Teorien er utviklet for moloer og fyllinger med ru overflate, og derfor benyttes en ruhetsparameter på  $1/2.0 = 0.5$ , som tilsier at bølgehøyden er dobbelt så høy som den ville vært for en ru molo.

Vi antar videre at noe av bølgehøyden vil treffe kaifronten og reflekteres derfra, slik at den virkelige signifikante bølgehøyden som starter å flomme inn over kaia (som nå står 25 cm under vann) er  $H_s' = 0.3$  m. Den bølgehøyden som kommer ut av denne beregningen er egentlig den bølgehøyden som oppstår når vannet flommer over konstruksjonen og havner i vannet på motsatt side.

I vår tilpasning tar vi denne bølgehøyden som et uttrykk for den energien som ligger i det flommende vannet i en avstand på ca 15 m fra kaikanten. En vanddybde på 0.24 m over kaidekket er tilstrekkelig til at bølger med  $H_s \approx 0.3$  m kan fortsette videre som bølger, men bølger med høyde over 17 cm vil bryte.

En bølge med  $H = 17$  cm vil ha toppen ca 8.5 cm over stille vannsnivå, men hvis den reflekteres fra en vertikal flate, så vil toppen av bølgen på flaten være ca 17 cm.

Man må altså dimensjonere for et tilfelle der stormflo-nivået er 334 cm over NN2000, med et tillegg på 17 cm for bølger, totalt 350 cm NN2000.



Figur 7 Tverrsnitt gjennom planlagt bygg



Figur 8 Bilde fra stedet der planlagt bygg skal reises

Tabell 3 Tabell som viser beregnede bølgehøyder mot bygningsvegg ved 200 års stormflo og 200 års vind fra sør

År	200 år stormflo cm over NN2000	Vanndybde ved kaidekke i cm (høyde av dekke 310 cm NN2000)	Bølgehøyde ved bygningsvegg H brytingsbegrenset cm
2018	262	-48 fribord	0
2050	294	-16 fribord	0
<b>2090</b>	<b>334</b>	<b>24 neddykket</b>	<b>17</b>
2100	343	33 neddykket	22

## Konklusjon og anbefaling

Dimensjonerende stormflonivå er 343 cm NN2000, dvs ca 24 cm over nåværende kainivå. Tillegget for bølger er 17 cm.

Den dimensjonerende situasjon er et ekstremt tilfelle som forventes å inntreffe en gang etter 2090. Dersom man ønsker å ha deler av bygget på et lavere nivå enn dette, f eks på gate/kaiplan, kan dette gjennomføres dersom man har en vanntett brystningsvegg opp til nivå f eks 335 cm NN2000. Bygget er da sikret mot statisk stormflo i dimensjonerende tilfelle.

Dører og porter ut mot gateplan vil sannsynligvis likevel ha lavere nivå, og for disse må det produseres vanntette porter eller lemmer som monteres eller aktiveres ved behov. Et tilfelle med så ekstremt høyvann vil været varslet fenomen, og man vil ha inntil 24 timers forvarsel om hendelsen.

Sikringen av dører og porter kan være mobile enheter som bæres ut og settes på plass i ferdigproduserte rammer rundt hver åpning og holdes på plass med bolter og eksternt vanntrykk. Et alternativ er faste enheter som ligger flatt foran døra i vanlige situasjoner, og som roterer opp ved hjelp av el-motorer og stenger inngangen ved behov. Fordelen med den siste typen stengsel er at det er enkelt å gjennomføre funksjonstesting med jevne mellomrom, f eks årlig.

Vi ser også at fram til 2050 vil 200 års stormflo nivå ligge godt under kaiplanet, og det er ikke behov for sikring av porter og dører før det tidspunktet. Man kan derfor avvente monteringen av slike fram til 2050. I 2050 vil en også vite hvor mye havet faktisk har steget, og en kan da foreta en ny vurdering av behovet. Dersom det fortsatt er et behov for slike, så vil en i 2050 sannsynligvis også ha et større utvalg av typer og modeller å velge mellom.

Bevegelige porter som monteres/produseres i dag vil også ha en 30-års periode fram til ca 2050 da de ikke vil bli brukt, og må sannsynligvis skiftes uansett rundt ca 2050.

Dersom man sikrer bygget som anbefalt ovenfor opp til 335 cm NN2000, er det ingen margin for effekten av bølger. Bølger vil imidlertid tidligst være merkbare i 2065, og det er gode grunner til å vente til ca 2050 for å se hvor mye havet faktisk har steget før en planlegger tiltak mot bølger. Det kan også ha foregått utbygginger i havna som endrer behovet. Dersom man rundt 2050 mener at det vil komme et behov for beskyttelse mot bølger, så er det enkleste tiltaket å sette opp en enkel mur av f eks betong foran bygget. Pr i dag ser det ut til at en slik mur på kaiplan vil måtte være ca 40 cm høy.

En mur som nevnt ovenfor vil kunne gi beskyttelse mot bølger, men det er ikke realistisk at den skal kunne beskytte mot statisk stormflo. I en ekstrem situasjon i 2090 vil det derfor være vann på begge sider av muren, men bølgene vil stoppe ved muren.



## Referanser

1. M.J.R. Simpson, J.E.Ø. Nilsen, O.R. Ravndal, K. Breili, H. Sande, H.P. Kierulf, H. Steffen, E. Jansen, M. Carson, O. Vestøl (2015): Sea Level Change for Norway NCCS report no. 1/2015
2. van der Meer & al: Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change. Journal of Coastal Engineering 52

2	2018-09-21	Endelig	AEL/AS	AEL	OM
1	2018-09-19	Utkast	A E Lothe /A Sasikumar	A E Lothe	Onno Musch
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

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.