

Dokument Nr.: NC04-NOCON-X-RA-0068			Rev.: 01	Side: 1 av 14
Utgiver: Norconsult AS	Tag.Nr.:	System Nr.:	Område Kode: 1.3.1	
Klassifikasjons Kode: Åpen				



01	2021-02-18	Vurdering av flomfare	LIOJO og ATSAS	LIOJO	JOSTR	JANDOL
Rev.	Utgitt dato	Beskrivelse	Laget av:	Kontrollert av:	Fag Godkj.	Prosj. Godkj.

Brevik CCS

FLOMVURDERING

Oppdragsgiver: **Norcem AS**

Oppdragsnr.: **5151309** Dokumentnr.: **01**

► Flomvurdering karbonfangstanlegg Norcem Brevik

Sammendrag/konklusjon

I forbindelse med bygging av karbonfangstanlegg i Brevik er det utført en flomberegning og flomsonekartlegging. Karbonfangstanlegget faller inn under storulykkeforskriften og skal sikres iht. sikkerhetsklasse F3. Når det gjelder flom og havnivå, innebærer dette at anlegget må sikres mot en 1000-årsflom inkludert 40% klimapåslag, og en 1000-års stormflo med klimapåslag tilsvarende høyeste utslippsscenario.

Flomberegningen er utført for nedbørfeltet til Dammen, direkte på momentanverdier. 1000-årsflommen inkl. klimapåslag er beregnet til 2,66 m³/s.

Flomsonen er beregnet fra Dammen ned til Dalsbukta (fjorden) ved hjelp av en hydraulisk 2D-modell. I den hydrauliske modellen er det lagt til et tilslag fra området nedstrøms Dammen og grustaket på 0,54 m³/s. Nedre grensebetingelse i modellen er 1000-års stormflo med klimapåslag (2,24 moh.). Flomsonen er beregnet for fremtidig bygningsmasse på området.

01	2021-02-18	Til godkjenning hos oppdragsgiver	liojo og atsas	jostr	jandol
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.

1. Vassdrag og årsmiddeltilsig

Nedbørfeltet litt nedstrøms Dammen er på ca. 0,7 km² (Figur 1). Årsmiddeltilsiget er ifølge NVEs avrenningskart 1961-90 på ca. 16 l/(s*km²). Denne verdien er imidlertid vurdert å være for lav i forhold til beliggenheten, med eksponeringen mot fuktig luft fra Skagerrak, og våre erfaringstall for kystnære felt i regionen. Observasjoner i det nærliggende feltet Brusetbekken (18,5 l/(s*km²)) underbygger dette. På grunn av Brusetbekkens beliggenhet lengre inn fra kysten forventes det at tilsiget til Dammen er høyere enn i dette feltet. Basert på dette er det valgt å justere opp årlig middeltilsig til Dammen til 22 l/(s*km²). Dette samsvarer med en nylig vurdering utført av Norconsult AS av årsmiddeltilsiget til Hallevannet som ligger om lag 13 km sør-øst for Dammen.



Figur 1 Oversiktskart nedbørfelt Dammen.

2. Beregning av 1000-årsflom (Q₁₀₀₀)

2.1.1 Rasjonale metode

Den rasjonale metoden benyttes ofte til enkle overslag av vannføring i veldig små nedbørfelt (mindre enn 1-2 km²). Avrenningen er gitt ved:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

Hvor C = avrenningsfaktor [dimensjonsløs]

i = dimensjonerende nedbørintensitet fra IVF-kurver [$l/s/ha$]

A = feltareal [ha], ($100 ha = 1 km^2$)

Avrenningsfaktoren C er et uttrykk for den totale nedbørmengden i et nedbørfelt som renner bort som overflatevann, og er avhengig av arealbruk og andre feltegenskaper. I Tabell 1 er det vist veiledende verdier for avrenningsfaktoren som er aktuelle for analyseområdet.

Tabell 1 Veiledende avrenningsfaktor c for nedbørfelt med hovedsak består av skog, returperiode 10 år (hentet fra [5])

Overflatetype	Avrenningsfaktor, C
Skogsområder	0,2 – 0,5

C -verdien bør justeres i forhold til nedbørhendelsens varighet og gjentakintervallet det skal beregnes for. For regn med varighet kortere enn 1 time benyttes de lavere verdiene i Tabell 1, mens for regn med varighet mer enn 3 timer benyttes de høyere verdiene. For nedbør med returperiode 200 år anbefales et tillegg på 30 % på verdiene i Tabell 1.

For å bestemme dimensjonerende nedbørintensitet må konsentrasjonstiden (T_c) først beregnes. Konsentrasjonstiden er den tiden det tar for vannet å renne fra nedslagsfeltets ytterste punkt til målestedet. Konsentrasjonstiden for naturlige felt er gitt ved:

$$T_c = 0,6 * L * H^{0.5} + 3000 * A_{se}$$

Hvor L = lengde av feltet [m]

H = høydeforskjellen i feltet [m]

A_{se} = effektiv sjøprosent (%)

Den effektive sjøprosenten inkluderer Dammen, og er tilpasset nedbørarealet ved Brevikvegen. Konsentrasjonstiden er beregnet til 120 minutter for nedbørfeltet til Dammen (Tabell 2).

Når det gjelder valg av IVF-kurve er alle IVF-kurvene i området rundt analyseområdet undersøkt. Flere av de har for kort måleperiode til å kunne benyttes, og nedbørverdiene ser i tillegg ut til å ligge noe lavt. Ved stasjonen Sandefjord - Mosserød ligger måleverdiene høyere enn ved de andre stasjonene i området. I og med at det er noe usikkerhet knyttet til IVF-kurvene, er det valgt å benytte kurvene for målestasjonen Asker, som er i samme størrelsesorden som ved Mosserød. Denne har 27 sesonger med data og kan ansees som relativt god. Verdiene ved denne stasjonen stemmer også godt over ens med verdiene registrert ved Blindern, som har 49 sesonger med data.

For å justere flomverdien fra en 200 til 1000-års returperiode er det benyttet et forholdstall Q_{200} / Q_{1000} (hentet fra Brusetbekken) på 0,82. Siden c -verdien er en viktig parameter i å bestemme flomstørrelsen med den rasjonale metoden, er det valgt å oppgi flomverdier for begge ytterpunktene i Tabell 1 (justert opp for gjentakintervall).

Den beregnede 1000-årsflommen (momentanverdi) vil, beregnet med den rasjonale metoden, ligge mellom **2556 - 6389 $l/s/km^2$** . Det er viktig å huske på at den rasjonale formel er utviklet for felt med tilnærmet null demping, og at allerede ved effektiv sjøprosent rundt 1 % vil konsentrasjonstiden kunne bli urealistisk lang.

Tabell 2 Feltparametere og beregnet 1000-årsflom (momentanverdi) basert på den rasjonale metoden

Nedbørfelt	A (km ²)	L (m)	H (m)	Ase (%)	Tc (min)	i (l/(s*ha))	Valgt c-faktor ¹	Q ₁₀₀₀ (l/s/km ²)
Dammen	0,7	1280	86	1,23	120	80,6	0,26 – 0,65	2556 - 6389

2.1.2 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS)

Det nasjonale formelverket for små nedbørfelt er gyldig for felt < 50-60 km², og opp til 1000-årsflom. For detaljert beskrivelse av formelverket vises det til [5].

Med NIFS-formelverket er det beregnet en Q₁₀₀₀-momentanverdi på **2212 l/s/km²** for nedbørfeltet til Dammen.

2.1.3 Sammenligning med representativt vannmerke

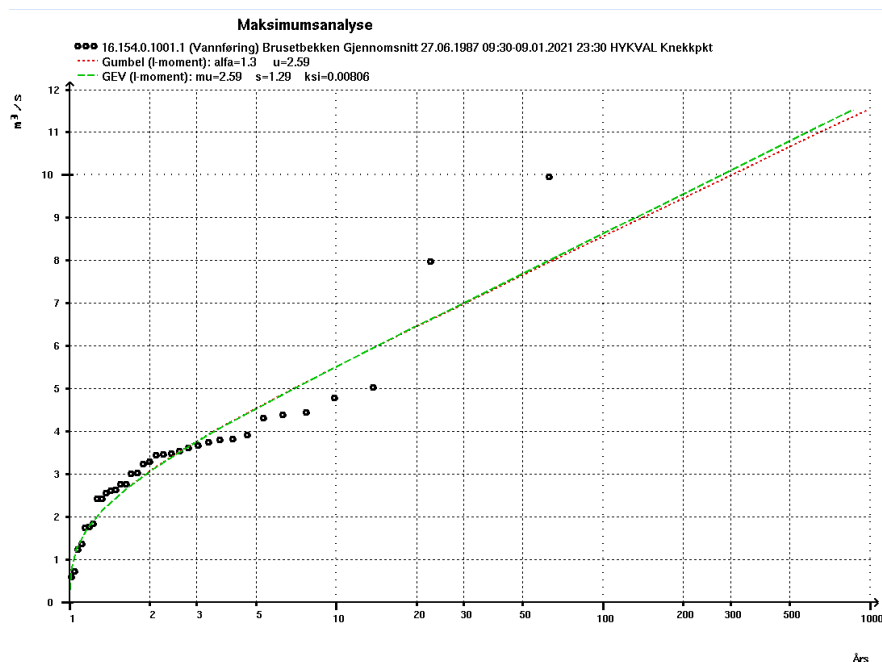
Målestasjonen 16.154 Brusetbekken ligger lenger inn i landet, ca. 20 km nord for Dammen. Ved å benytte NVEs programvare Hydra II (FINUT) er det funnet en Q₁₀₀₀ momentanverdi for Brusetbekken på ca. 1500 l/s/km² (Figur 2).

De to nedbørfeltene ligger i sammenlignbar høyde, men feltet til Dammen er vesentlig mindre og samtidig en del brattere enn Brusetbakkens nedslagsfelt (Tabell 3). I tillegg er den effektive sjøprosenten til Dammen lavere, samt at årsmiddelavrenningen er høyere. Beliggenheten tilsier at nedslagsfeltet til Dammen vil kunne oppleve mer nedbør, mens feltegenskapene tilsier at nedbørfeltet til Dammen også vil respondere raskere på nedbør enn nedslagsfeltet til Brusetbekken, og at den momentane flomverdien ved Dammen dermed vil være høyere enn ved Brusetbekken.

Tabell 3 Feltegenskaper

	Areal km ²	Eff.sjøandel %	Høyde Min-med-max	NVE61-90 l/(s*km ²)	Obs. 88-19 l/(s*km ²)	Dataperiode
Dammen	0.7	0.00	27-100-114	16	22*	Ingen obs.data.
16.154 Brusetbekken	7.6	0.48	64-126-308	9.2	18.4	1987-2020

¹ Justert opp 30% pga returintervall



Figur 2 Frekvensanalyse Brusetbekken (momentanverdier)

2.1.4 Regional flomformel

Norconsult AS har tidligere utført mange flomberegninger i området rundt Oslofjorden, og har med bakgrunn i dette utarbeidet en regional flomformel som kan benyttes for å bestemme flomstørrelser i dette området. Formelen er basert på 17 målestasjoner og inkluderer 3 små nedbørfelt i Agder og Telemark. Ligningen er som følger:

$$Q_M [l/(s \cdot km^2)] = 107 - 24,80 \cdot \ln(A) + 11,32 \cdot Q_N - 26,47 \cdot ASE$$

For analysefeltet gir dette en middelflom (døgnverdi) på 333 l/(s·km²). Multiplisert med gjennomsnittlig forholdstall Q_{1000}/Q_M for årsflommer fra seriene i analysen på 3,01, svarer dette til en 1000-årsflom (døgnmiddel) på 1000 l/(s·km²). Basert på feltegenskapene til dette feltet ansees en kulminasjonsfaktor på rundt 3 å være rimelig. Dette gir en Q_{1000} momentanverdi på ca. 3000 l/(s·km²).

2.1.5 Endelig valg av flomverdi

Basert på analysene utført i de foregående kapitlene (oppsummert i Tabell 4), er det klart at den momentane 1000-årsflommen for nedbørfeltet til Dammen er høyere enn 1500 l/s/km². Det er grunn til å tro at NIFS her beregner en noe lav verdi. Benyttes den laveste c-verdien beregner den rasjonale metoden høyere flomverdi enn NIFS, og den regionale flomformelen gir også en høyere verdi enn NIFS. Ut fra disse analysene og feltegenskapene til Dammen (lite, kystnært felt med liten demping og relativt rask respons) er det valgt en momentan 1000-års flomverdi for nedbørfeltet til Dammen på 2750 l/s/km².

Tabell 4 Sammenligning av resultat og valg av endelig flomverdi for Dammen.

Metode	Q ₁₀₀₀ momentanverdi (l/s/km ²) ²
Rasjonale metode	2556 - 6389
NIFS	2200
Regional ligning	3000
Frekvensanalyse sammenlignbart vannmerke	> 1500
Valgt verdi	2750

3. Flomsonekartlegging

3.1.1 Hydraulisk modell

For å beregne flomutbredelsen på overflaten er det laget en hydraulisk 2D-modell for analyseområdet, fra Dammen og ned til fjorden (se Figur 3). I modellen er det antatt at kulverten ut fra Dammen og til fjorden er ute av funksjon). I en praktisk situasjon er det ikke helt urealistisk med tilstopping som følge av helt eller delvis tilstopping fra vegetasjon, blokkering fra infrastruktur i selve kulverten, eller ras.

Terrenggrunnet består av en punktsky som representerer terrenget og en shapefil av byggene som vil befinne seg på området når karbonfangstanlegget er bygget. Shapefilen (med høydeverdier) er kombinert med punktskyen og gjort om til en Geotiff.

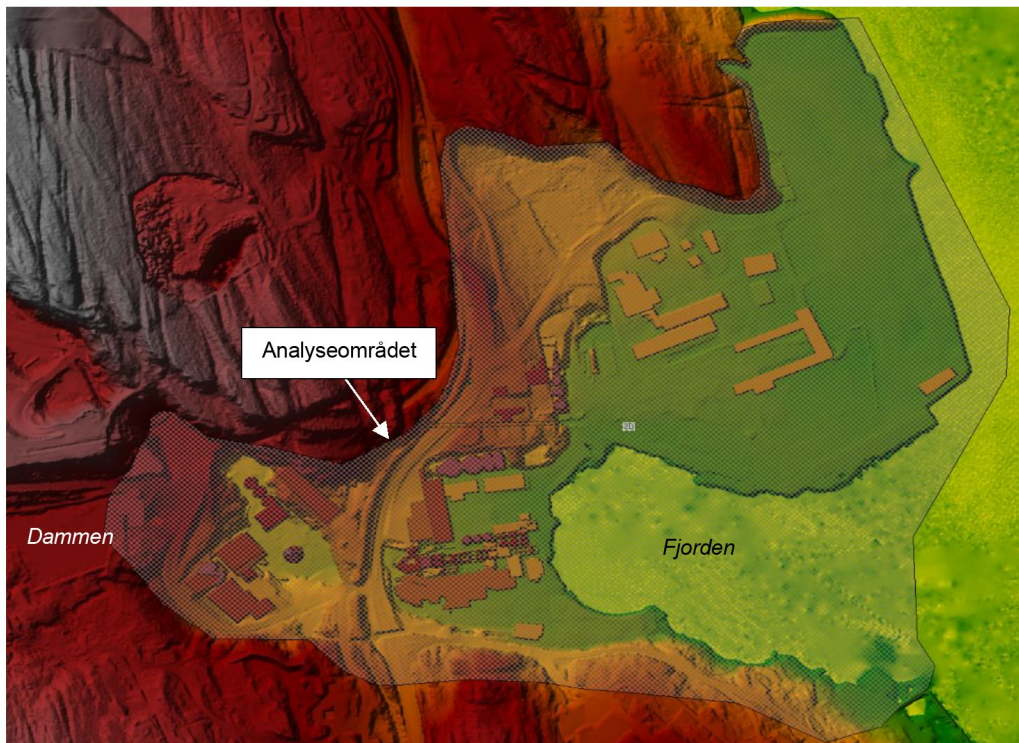
I en hydraulisk modell trengs både en øvre og en nedre grensebetingelse. Den øvre grensebetingelsen er flomverdien beregnet i kapittel 2 (se Tabell 5) inkludert et klimapåslag på 40 %, mens nedre grensebetingelse er stormflo i fjorden. Verdien for stormflo er beregnet i kapittel 3.1.2 (**Error! Reference source not found.**).

I utgangspunktet er det 1-års stormflo som er grensebetingelsen for den hydrauliske modellen. Men i denne beregningen vil 1000-års stormflo alene likevel bli bestemmende for vannstanden i de nedre delene mot sjøen. Det er gjort en sensitivitetsberegning hvor modellen er kjørt med 1-års stormflo. Dette gav ikke utslag på vannstanden i analyseområdet, og den endelige flomsone er derfor kjørt og presentert i kart med 1000-års stormflo som nedre grensebetingelse.

Tabell 5 Momentane flomverdier (inkludert 40 % klimapåslag) lagt inn i den hydrauliske modellen

Område	Areal (km ²)	Q ₁₀₀₀ momentanverdi (m ³ /s)	Q ₁₀₀₀ inkl klimapåslag momentanverdi (m ³ /s)
Dammen	0,7	1,90	2,66
Oppstrøms Breviksvegen	0,1	0,39	0,54

² Avrundede verdier



Figur 3 Terrengmodell av analyseområdet.

Området hvor karbonfangstanlegget skal bygges, vil ha et større nedslagsfelt enn Dammen, hvor flomverdien i kapittel 2 er beregnet. For å hensynta dette er det lagt til et lokaltilsig fra området nedenfor grustaket. Dette tilsiget vil ha et nedslagsfelt på om lag 0,1 km², siden grustaket vil drenere vekk hoveddelen av tilsiget som kommer fra arealet oppstrøms grustaket. Det er forutsatt at grustaket er drenert, og volumet er uansett av en slik størrelse at det ikke vil kunne fylles under en kortvarig flomepisode på noen timer. Arealet til nedbørfeltet til grustaket er derfor ikke tatt med i beregningen. Lokaltilsiget er beregnet ved å arealskalere flomverdien beregnet i kapittel 2.1.4 og lagt inn i modellen oppstrøms Breviksvegen. Resultatet er presentert i Tabell 5.

Friksjonsfaktoren i modellen (Mannings n) er bestemt ut fra hva terrengoverflaten består av. I Tabell 6 er de benyttede verdiene for analyseområdet oppgitt.

Tabell 6 Benyttede Mannings verdier

Terrengoverflate	Mannings n
Skog	0.1
Asfalt/betong/grus	0.016
Vann/havbunn	0.025

3.1.2 Stormflo

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 det 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.

Byggeforskriften TEK17 [1] sier generelt i § 7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo skal klassifiseres i Klasse F1, F2 eller F3, se Figur 4.

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

Figur 4 Sikkerhetsklasser for flom i hht TEK17 [1]

Referert til Kapittel 7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger [1], § 7-2. Sikkerhet mot flom og stormflo, sikkerhetsklasse F3 omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan gi stor forurensning på omgivelsene. Karbonfangstanlegg for Norcem i Brevik faller i Klasse F3 der oversvømmelse har stor konsekvens. For Klasse F3 gjelder at dimensjonerende flomnivå skal bestemmes ved:

1. Stormflo med 1000 års returperiode

1000 års stormfloverdier er hentet fra nærmeste standardhavn Helgeroa [2].

Tabell 7 Ekstremverdier av stormflonivå [2]

Returperiode	Stormflo i m over NN2000
1 år	+0,84
20 år	+1,20
200 år	+1,45
1000 år	+1,62

2. Estimert framtidig klimadrevet endring i middelvannstand situasjon i 2090

Ifølge veileder fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) for havnivåstigning og stormflo [3] skal tidsperioden mellom 2081-2100 legges til grunn i planlegging.

3. Antatt utslippsscenario RCP8.5

RCP8.5 er et høyt-utslipp scenario. Utslipp av CO₂ øker til 300 % i 2100, og det er sterk økning i utslipp av metan (sammenlignet med 1986 – 2005). Globale temperaturer stiger med 3° – 5° C. [4]

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 CO₂ 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 CO₂ 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/m².

Figur 5 IPCC's forklaring på ulike klimautslippscenarier

4. Ensemblespredning i estimatene 95 %.

Klimaendring estimatene består av mange modeller og simuleringer, velger vi en verdi som omfatter 95 % av alle resultatene. [4]

Det er benyttet siste tilgjengelige estimater på framtidig klimadrevet endring i middelvannstand, gitt i en rapport fra 2015 [4]

Tabell 8 Framtidig klimadrevet vannstandsøkning med RCP 8.5 scenario for Porsgrunn kommune

Utslippscenarier	5% (i år 2090)	Mean (i år 2090)	95 % (i år 2090)
RCP 8.5	3 cm	33 cm	62 cm

1 års og 1000 års stormfloverdier med klimapåslag i år 2090 er gitt i Tabell 9

Tabell 9 Estimerte stormflo-høyder for Porsgrunn kommune i cm over NN2000

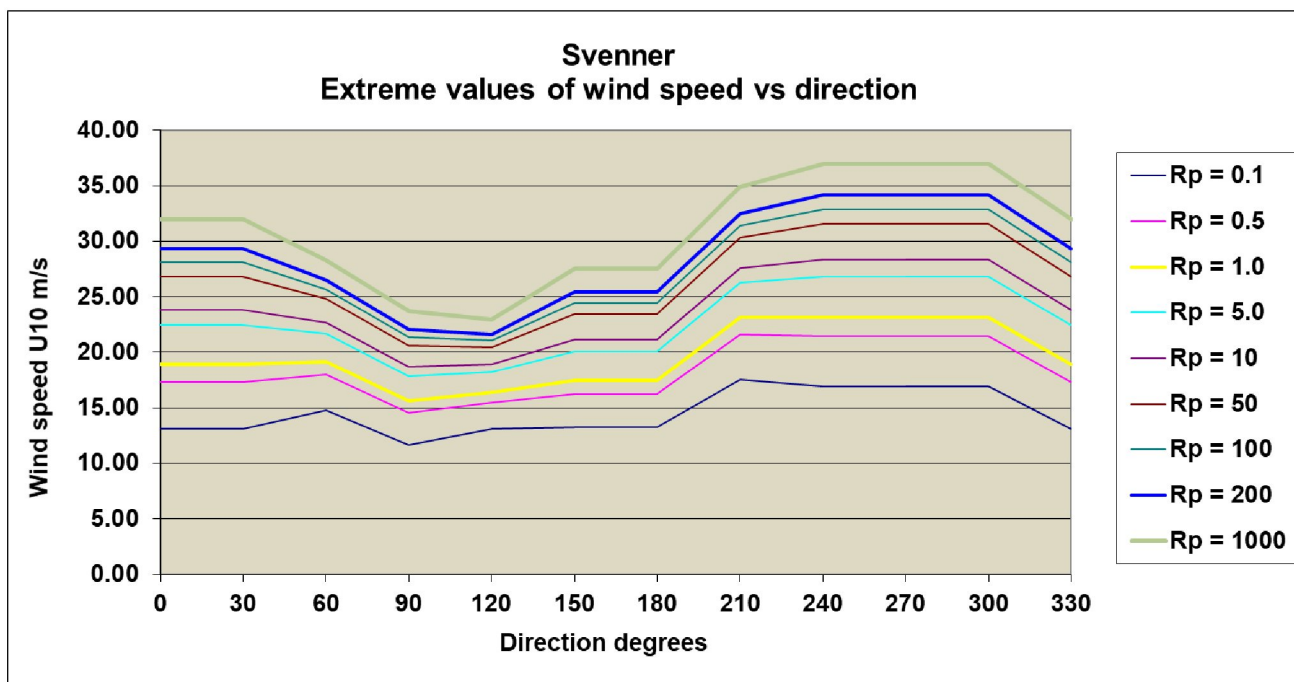
Returperiode	Estimert stormflohøyde over NN2000, scenario RCP 8.5, spredning 95 %, i år 2090
1 års stormflo inkl. klimapåslag	1,46 m NN2000
1000 års stormflo inkl. klimapåslag	2,24 m NN2000 (Sikkerhetsklasse F3)

3.1.2.1 Bølger

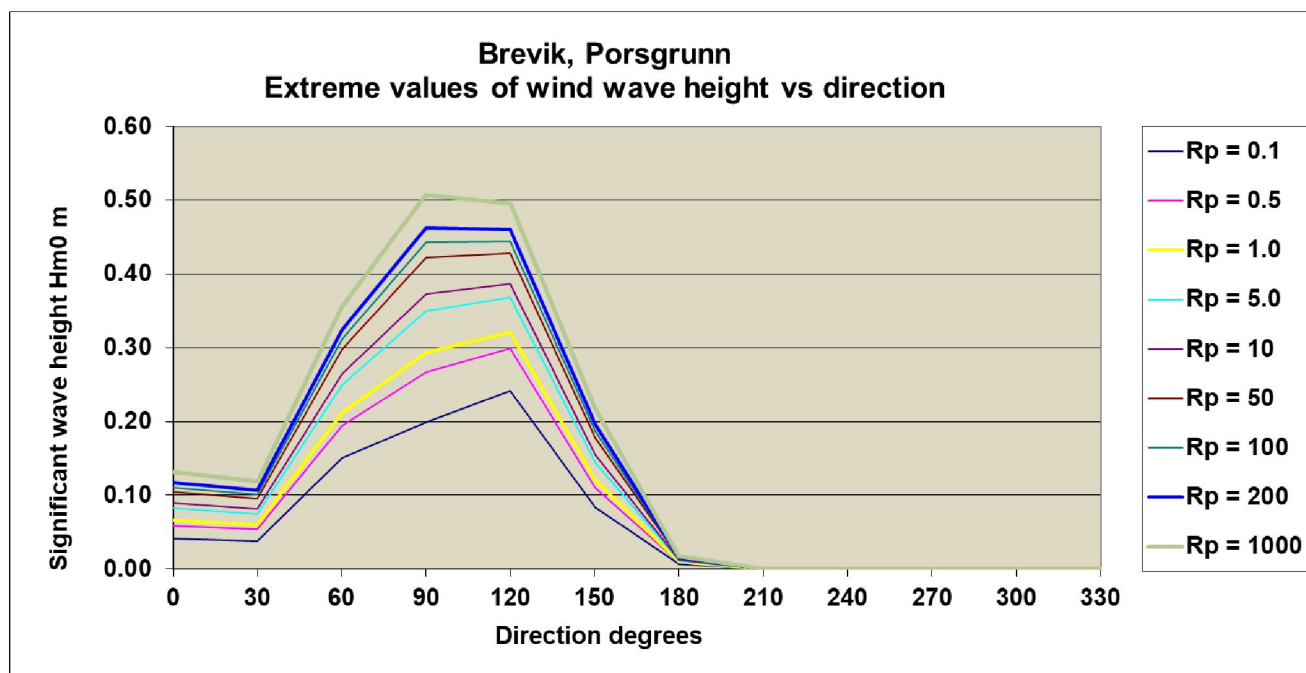
Bølgene som kommer inn mot anlegget vil være lokalt genererte vindbølger med lengste strøklengder mot øst-sørøst. Metoden for beregning av lokalt genererte vindbølger går ut på å bruke vind-data fra Svenner-fyr målestasjon. Resultatene av vind-data-analysen er vist Figur 6. Vi ser at vind fra 210-300 grader dominerer, og at vind-hastigheten her er ca. 37 m/s med returperiode på 1000 år.

Beregnete signifikante bølgehøyder for alle mulige strøk, tilsvarende vind-dataene, for målepunktet foran anlegget er vist i Figur 7. Figuren viser at vi finner de høyeste bølger i sektoren 90° og disse kan nå opp til 0,5 m med returperiode på 1000 år. Signifikant bølgehøyde H_s er definert som middelveidien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en registrering (oftest 10-30 min lang).

Bølgene vil ikke influere flomvurderingen i annet enn de nærmeste 10 – 15 m fra kysten, og bølgene vil dempes før de når infrastruktur. Det er dermed vurdert at bølgene kan neglisjeres i flomsonekartleggingen



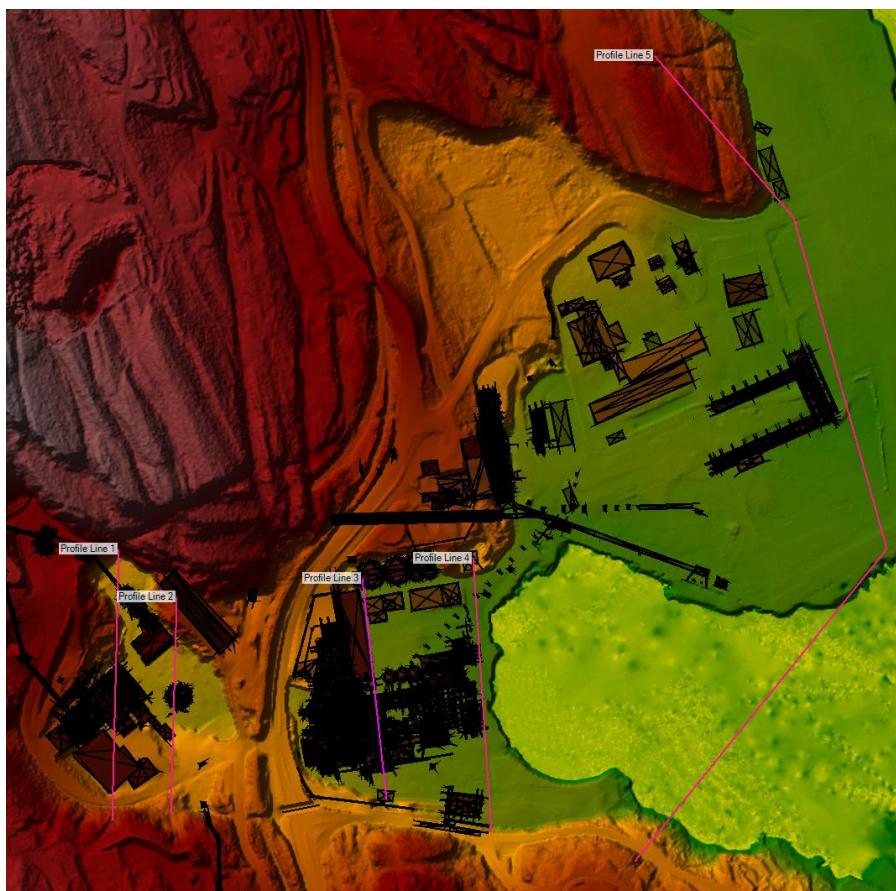
Figur 6 Ekstremverdier av 10 min middelvind for Brevik basert på data fra Svenner målestasjon. Rp er returperiode i år. Retning 0° er vind (og bølger) fra nord.



Figur 7 Ekstremverdier og returperioder av signifikant vind-bølgehøyde

3.1.3 Resultat

Resultatet er presentert som kart i vedlegg 1. I Tabell 10 er det hentet ut vannstander ved utvalgte profiler i analyseområdet (se Figur 8 for plassering av profilene).



Figur 8 Plassering av profilene hvor det er hentet ut vannstandsdata.

Tabell 10 Resultater flomkartlegging Brevik.

Profilnr.	Vannstand (moh.)
1	11,33 - 12,51
2	11,33
3	3,68
4	2,24 - 2,85
5	2,24

Det kan observeres at oppstrøms jernbanen vil det dannes et basseng, som det vil ta flere timer å fylle opp før vannet kan renne videre nedover mot fjorden. Beregningen kan derfor ansees som konservativ. Det er passasjen under jernbanen som vil bli bestemmende for vannstanden oppstrøms jernbanen. Data for passasjen er hentet direkte ut fra terrengdataene, og er ikke innmålt. Hvis det er av interesse å få vannstanden oppstrøms jernbanen mer nøyaktig beregnet, anbefales det å gjøre innmålinger her.

Når det gjelder området nede ved fjorden, vil 1000-års stormflo stå inn over terreng som ligger lavere enn 2,24 moh.

4. Referanser

- [1] Direktoratet for byggkvalitet, «Veiledning om tekniske krav til byggverk, Kapittel 7. Sikkerhet mot naturpåkjenninger, TEK 17».
- [2] «<https://www.kartverket.no/sehavniva/>,» [Internett].
- [3] Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap: DSB, «Havnivåstigning og stormflo– samfunnssikkerhet i kommunal planlegging».
- [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] NVE. Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt. Rapport nr. 7/2015





5. Vedlegg

-Flomsonekart (Q₁₀₀₀ inkludert 40% klimapåslag)

Flomsone 1000-årsflom inkl. 40% klimapåslag

Oppdragsgiver: Norcem AS
Utførende: Norconsult AS
Dato: 19.02.2021
Koordinatsystem: ETRS89 - UTM32



-  Fremtidige bygninger
-  Vann
-  Eksisterende bygg
-  Flomutbredelse Q1000 + 40% klimapåslag

