

Vestre-Slidre

► Flomvurdering og sikringstiltak

Vaset sentrum

Oppdragsnr.: 5205491 Dokumentnr.: - Versjon: J02 Dato: 2020-08-31



Oppdragsgiver: Vestre-Slidre
Oppdragsgivers kontaktperson: Knut Frode Framstad
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Gunnar Fiskum
Fagansvarlig: Henrik Opaker
Andre nøkkelpersoner: Claus Rikartsen

J02	2020-08-31	For bruk etter kontroll hos Vestre-Slidre kommune	Gunnar Fiskum	Henrik Opaker	Gunnar Fiskum
D01	2020-08-27	For godkjenning hos Vestre-Slidre kommune	Gunnar Fiskum	Henrik Opaker	Gunnar Fiskum
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.

► Sammendrag

Norconsult AS er engasjert av Vestre-Slidre kommune for å kartlegge flomfaren og vurdere mulig flomsikringstiltak gjennom Vaset sentrum. Arbeidet utføres fordi kommunen arbeider med en områdeplan for strekningen fra utløpet av Vasetvatnet og langs elven Sundheimselvi.

Arbeidet er delt opp i tre deler, en flomberegning, en vannlinjeberegning og en vurdering av mulige sikringstiltak. Flomberegningen gjøres for å fastsette vannføring ved et bestemt gjentaksintervall, mens vannlinjeberegningen utføres for å fastsette vannstand, oversvømmelse og vannhastigheter i og langs vassdraget ved de samme gjentaksintervallene. Resultatene fra beregningene er endelig presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten. Det er også gjort en prinsipiell vurdering av mulige flomsikringstiltak.

Flomberegningen er gjort for 200-års gjentaksintervall og vannføring er vurdert ved bruk av frekvensanalyse på representative vannmerker, regresjonsanalyse og med NVEs regionale flomformler. Spesifikk døgnmiddelflom ble fastsatt til 500 l/s/km² med 51,6 m³/s som tilhørende kulminasjonsverdi. Det er også gjort en vurdering av flom i et fremtidig klima (år 2100) hvor flomvannføringen er ilagt et klimapåslag på 20%.

Vannstandsstigning og flomutbredelse langs Sundheimselvi og gjennom Vaset sentrum er beregnet ved bruk av en 2-dimensjonal hydraulisk modell laget i dataprogrammet HEC-RAS (versjon 5.0.7). Modellen er basert på et terreng som er generert ved bruk av punktmålinger fra Høydedata.no og tverrprofiler fra vassdraget.

Flom i Sundheimselvi med 200 års gjentaksintervall på strekningen gjennom Vaset sentrum vil oversvømme lavtliggende områder langs vassdraget. Spesielt utsatt er området som ligger sør for Panoramavegen og nord for elva. Bygninger som ligger i disse områdene, vil oppleve at vann står inn mot grunnmuren. Hvis området skal utnyttes til bygninger med personopphold må aktuelle områder sikres mot flom. De mest nærliggende alternativene er enten sikring med flomvoll eller heving av terrenget. Hvilken løsning som vil fungere best avhenger i stor grad om hvilke planer som legges for området.

Innhold

1	Innledning og forutsetninger	5
1.1	Beskrivelse av prosjektet og Vaset	5
1.2	Beskrivelse av nedbørfeltet	6
2	Beregning av flomstørrelse	8
2.1	Målestasjoner	8
2.2	Vurdering av spesifikt årsmiddeltilsig	10
2.3	Sesongvariasjon	10
2.4	Frekvensanalyse på døgnavvannføring	11
2.5	Regresjonsanalyse	11
2.6	Beregning av kulminasjonsfaktor	13
2.7	Regionale flomformler	14
2.8	Valg av flomstørrelse og klimapåslag	14
2.9	Vurdering av fremtidige klimaendringer	15
3	Hydraulisk vannlinjemodell	16
3.1	Beregningsmodell og datakvalitet	16
3.2	Grensebetingelser	17
3.3	Kalibrering av modellen	17
3.4	Infrastruktur i modellen	17
4	Resultat og konklusjon	20
4.1	Flomkartlegging	20
4.2	Flomsikring	20
4.3	Konklusjon og anbefaling av løsning	23
5	Diskusjon og vurdering av resultatet	24
5.1	Tidligere beregninger i området	24
5.2	Usikkerheter	24
5.3	Sensitivitet	25
6	Bilag og referanser	26
6.1	Bilag	26
6.2	Referanser	26

1 Innledning og forutsetninger

1.1 Beskrivelse av prosjektet og Vaset

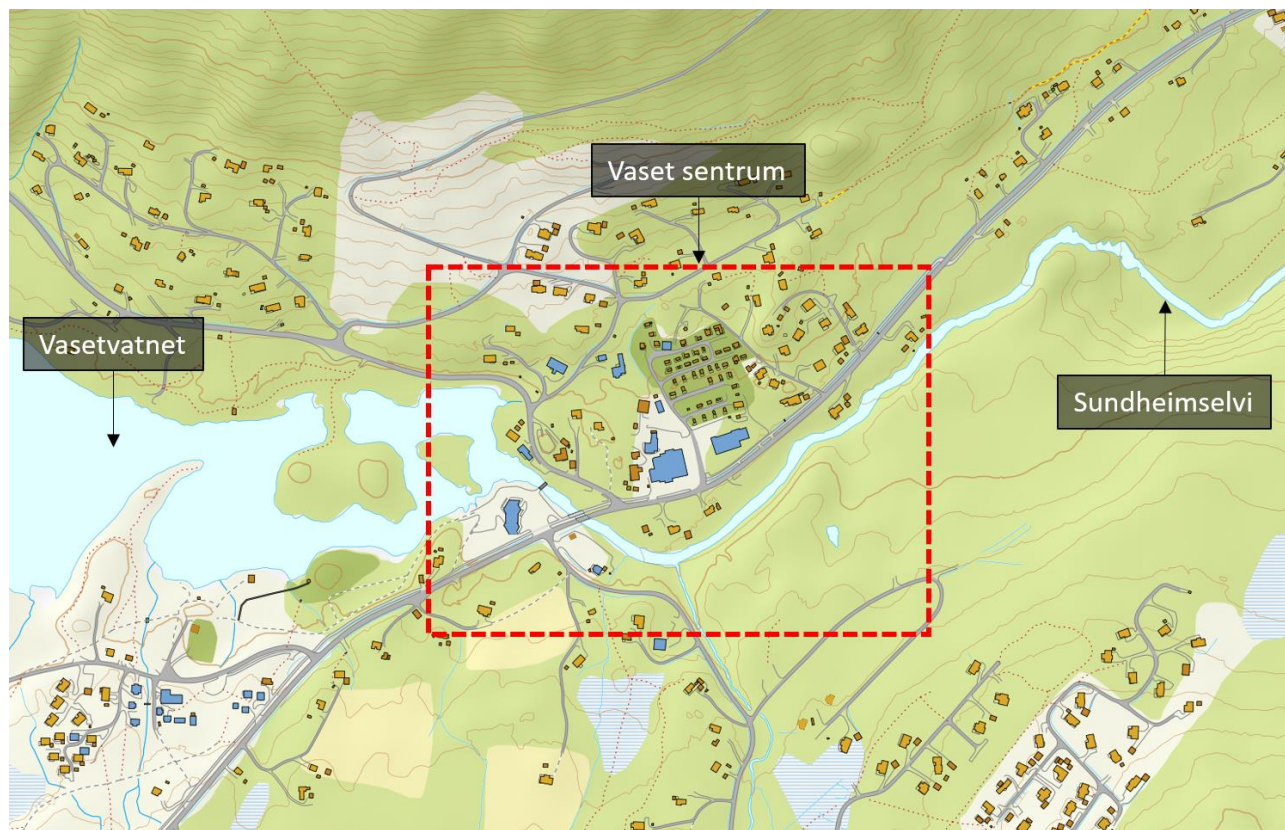
Norconsult AS er engasjert av Vestre-Slidle kommune for å kartlegge flomfaren og vurdere mulig flomsikringstiltak gjennom Vaset sentrum. Arbeidet utføres fordi kommunen arbeider med en områdeplan som strekker seg fra Vasetvatnet og langs elva Sunndalselvi. Et oversiktskart med markering av Vaset er vist i Figur 1, mens et oversiktskart med markering av planområdet til Vaset sentrum er vist i Figur 2.

Vestre-Slidle kommune planlegger å utvikle Vaset sentrum gjennom etablering av forretninger og nye hytter. De planlagte bygningene faller i henhold til TEK17 (plan og bygningsloven) inn under sikkerhetsklasse F2 noe som tilsier at området skal sikres mot en flom med 200-års gjentaksintervall. Det vil derfor bli vurdert i hvilken grad 200-årsflom fører til oversvømmelse på området. I tillegg gjøres en vurdering av 200 årsflom i et fremtidig klima (år 2100). Klimapåslag er ikke et krav, men er på generelt grunnlag anbefalt av NVE ved tiltak i eller i tilknytning til vassdrag.

Arbeidet er delt opp i tre deler, en flomberegning, en vannlinjeberegning og en vurdering av mulige sikringstiltak. Flomberegningen gjøres for å fastsette vannføring ved et bestemt gjentaksintervall, mens vannlinjeberegningen utføres for å fastsette vannstand, oversvømmelse og vannhastigheter i og langs vassdraget ved de samme gjentaksintervallene. Resultatene fra beregningene er endelig presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten. Det er også gjort en prinsipiell vurdering av mulige flomsikringstiltak.



Figur 1 Oversiktskart med markering av Vaset.



Figur 2 Oversiktskart med markering av Vaset sentrum.

1.2 Beskrivelse av nedbørfeltet

Nedbørfeltet som drenerer forbi Vaset sentrum strekker seg fra Vasetvatnet og nordover forbi Søre Syndin. Nedbør samles opp i flere mindre fjellbekker som renner ned i nevnte magasin eller elvestrekningen mellom magasinene. Fra Vasetvatnet renner Sundheimselvi ned i Strondafjorden, videre i Begna til det blir en del av Drammensvassdraget.

Nedbørfeltet har et feltareal på 90 km², og består i hovedsak av snaufjell, skog og myrområder. Både Vasetvatnet (1,0 km²) og Søre Syndin (2,1 km²) er forholdsvis store magasin og som følge av det er den effektive sjøprosenten 1,5 %. Nedbørfeltet har relativt stor variasjon i høyde. Vaset sentrum, som er feltets laveste punkt, ligger ca. 800 moh, men store deler av feltet ligger over 1000 meter. De høyeste toppene er nesten 1400 meter høye. Nøkkeldata for nedbørfeltet, beregnet med NVEs webapplikasjon Nevina er presentert i Tabell 1. Et oversiktskart med markering av nedbørfeltet er vist i Figur 3.

Vassdraget oppstrøms Vaset er ikke regulert eller benyttet til kraftproduksjon. Det er derfor ingen kjente dammer eller overføringer til nedbørfeltet. Tidligere drenerte Midtre- og Nordre Syndin naturlig til Søre Syndin, men inngrep tidlig på 1700-tallet gjorde at vann fra disse magasinene nå renner direkte til Storåne. Ved høy vannstand eller flom er det fortsatt mulig at noe vann renner mellom Midtre- og Søre Syndin, men ikke tilstrekkelig til at det påvirker flomberegningen. Det er ikke regnet med bidrag fra Midtre Syndin.

Tabell 1 Nøkkeldata for nedbørfeltet til Vasetvatnet.

Nedbørfelt	Areal (km ²)	Eff. sjø %	Høyde, min-med-maks (moh.)	Qn ¹ (l/s/km ²)
Vaset sentrum	90	1.5	795-954-1364	18.2

¹ Spesifikk middelvannføring (61-90) beregnet med NVEs webapplikasjon Nevina.



Figur 3 Oversiktskart med markering av nedbørfeltet til Vaset sentrum.

2 Beregning av flomstørrelse

2.1 Målestasjoner

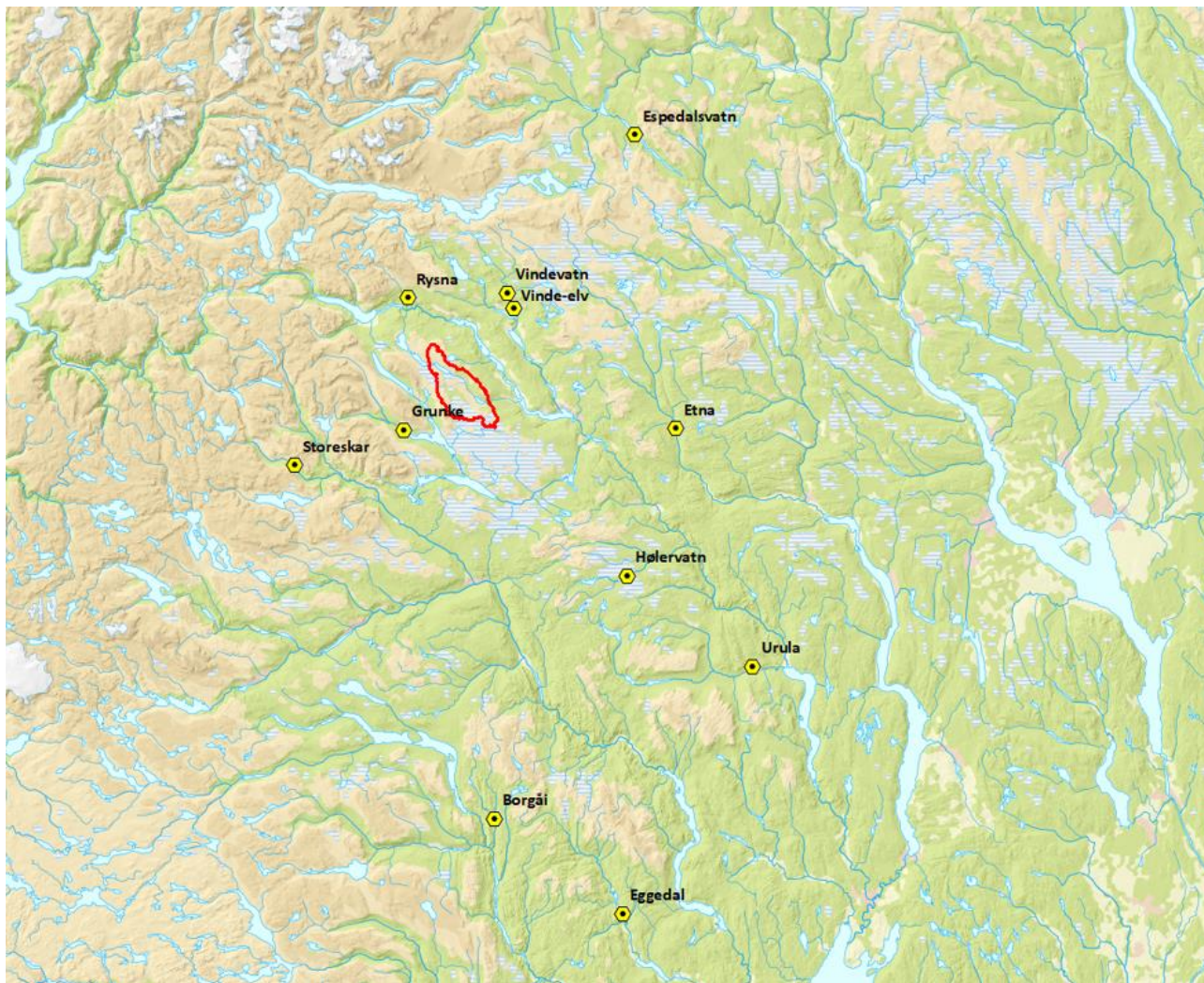
Utvalgte vannmerker/målestasjoner rundt Valdres er benyttet i en regional flomanalyse. En oversikt over stasjonene med utvalgte feltparametere er presentert i Tabell 2. Informasjonen som er listet opp er hentet fra NVEs database for målestasjoner (Hydra II). Målestasjonene er hovedsakelig valgt ut fra geografisk nærhet og likhet med nedbørfeltet til Vaset sentrum, men også serielengde og kvalitet er vektlagt. Et oversiktskart med markering av vannmerkene er vist i Figur 4.

Det er forholdsvis stor variasjon mellom feltegenskapene til de utvalgte vannmerkene. Eksempelvis varierer feltareal fra 40-569 km² og spesifikt årsmiddelavløp fra 16.4-34.2 l/s/km². Av vannmerkene i analysen er det vurdert at vannmerkene 15.53 Borgåi og 12.207 Vinde-elv er mest representative. 15.53 Borgåi har tilsvarende feltareal og likt årssavløp, men noe lavere effektiv sjøprosent. 12.207 Vinde-elv har lik effektiv-sjø-% og årsmiddelavløp, men noe større feltareal. Vannmerket har en ca. 100 år lang måleserie og er derfor forventet å gi et fornuftig forhold mellom ulike flomstørrelser.

Det er ingen vannføringsmålinger fra vassdraget og analyser for å fastsette flomvannføringer er basert på målinger fra andre vassdrag. Til tross for at utvalgte målinger vurderes som sammenlignbare må beregningene illegges en grad av usikkerhet.

Tabell 2 Vannmerker/Målestasjoner benyttet i flomberegningen

Nr.	Navn	Periode	Areal (km ²)	Medianhøyde (moh.)	Eff. sjø-% (%)	Årsavløp (l/s/km ²)
12.13	Rysna	1974-2019	40	1372	0.87	34.2
12.207	Vinde-elv	1920-2019	270	981	1.26	17.7
12.70	Etna	1920-2019	569	936	0.30	16.4
12.197	Grunke	1978-2019	185	1305	0.25	28.5
12.215	Storeskar	1988-2019	120	1347	0.34	32.4
12.171	Hølervatn	1969-2019	79	902	2.40	17.2
12.209	Urula	1985-2019	554	844	0.39	22.1
12.178	Eggedal	1972-2019	311	847	0.59	21.7
15.53	Borgåi	1967-2018	94	1011	0.42	16.4
Vaset sentrum			90	954	1.50	18.2



Figur 4 Oversiktskart med markering av utvalgte vannmerker.

2.2 Vurdering av spesifikt årsmiddeltilsig

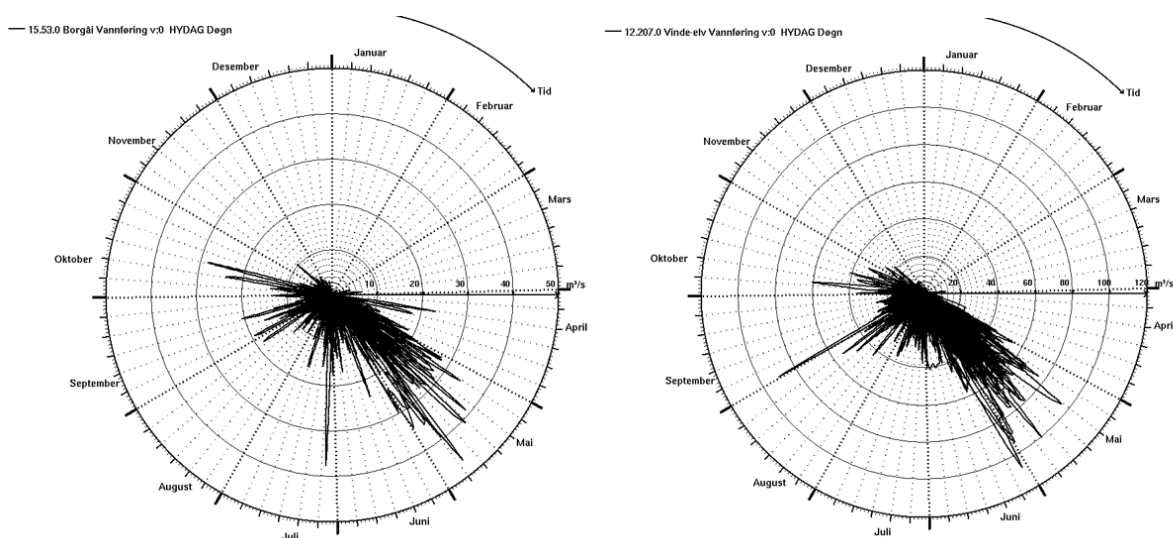
Spesifikt årsmiddeltilsig registrert ved vannmerkene er sammenlignet med årsmiddeltilsiget fra avrenningskartet til NVE. Sammenligningen er vist i Tabell 3 og viser at avrenningskartet stemmer relativt bra med de registreringer som er gjort. Ved flertallet av vannmerkene gir avrenningskartet litt lavere spesifikt tilsig, men differansene er forholdsvis små og trenden er ikke entydig. Årsmiddelavløp ved Vaset sentrum, beregnet med Nevina, er lagt til grunn i videre beregninger.

Tabell 3 Sammenligning av spesifikt årsmiddelavløp registrert ved vannmerkene og beregnet med avrenningskartet.

Nr.	Navn	Qn (61-90) (l/s/km ²)	Qn registrert (l/s/km ²)	Forhold
12.13	Rysna	23.6	34.2	1.45
12.207	Vinde-elv	16.0	17.7	1.10
12.70	Etna	13.0	16.4	1.26
12.197	Grunke	28.3	28.5	1.01
12.215	Storeskar	30.0	32.4	1.08
12.171	Hølvatn	17.0	17.2	1.01
12.209	Urula	23.0	22.1	0.96
12.178	Eggedal	21.0	21.7	1.03
15.53	Borgåi	16.0	16.4	1.02
Vaset sentrum		18.2	-	-

2.3 Sesongvariasjon

I flomberegninger er det vanlig å skille på ulike flomsesonger for å enklere kunne vurdere årsaken til flomhendelsene. For fjellområder i innlandet er det tradisjonelt sett vårflokker knyttet til snøsmelting som er dominerende. Figur 5 viser års-polarplott med flomhendelser fra vannmerkene 15.53 Borgåi og 12.207 Vinde-elv. Det kommer tydelig frem at både flertallet og de største flommene forekommer på våren. Samtidig viser plottene at også enkelte høstflokker kan være betydelige. Av de ti største registrerte flommene ved vannmerkene er en registrert på høsten. Målinger fra de andre vannmerkene bekrefter samme tendens. Snøsmelteflokker forekommer mest hyppig, men flom i høstmånedene forekommer også jevnlig. Fordi flommene i vassdraget kan forekomme både på høsten og på våren er flomfrekvensanalyse utført på årsflokker.



Figur 5 Årspolarplott med flomhendelser fra vannmerkene 15.53 Borgåi og 12.207 Vinde-elv.

2.4 Frekvensanalyse på døgnvannføring

Det er utført flomfrekvensanalyse på alle vannmerkene som er presentert i Tabell 3. Beregningene er gjort med NVEs programvare for ekstremver dianalyse, DAGUT, ved bruk av Gumbel-fordeling og tilpasning mellom Gumbel og GEV-fordeling. Tabell 4 viser en oversikt over vannføring ved middelflom og 200-årsflom, samt forholdstallet mellom de to gjentaksintervallene.

Forventet vannføring ved de utvalgte vannmerkene varierer forholdsvis mye, men det er også relativt store forskjeller mellom de ulike nedbørfeltene. Størst vannføring ved middelflom (Q_m) er estimert ved vannmerkene 12.197 Grunke (314 l/s/km²) og 12.215 Storeskar (306 l/s/km²). Disse vannmerkene har middels stort feltareal, men lav effektiv sjøprosent. Lavest spesifikk vannføring er registrert ved 12.70 Etna (177 l/s/km²) som er det vannmerket med størst feltareal. Resterende vannmerker har middelflomverdier i sjiktet mellom 190-296 l/s/km².

Tabell 4 Vannføring ved utvalgte vannmerker beregnet med frekvensanalyse.

Nr.	Navn	Periode	Areal (km ²)	Q_m (l/s/km ²)	Q_{200} (l/s/km ²)	Q_{200}/Q_m	Fordeling
12.13	Rysna	1974-2019	40	296	658	2.22	Gumbel
12.207	Vinde-elv	1920-2019	270	187	443	2.36	Gumbel
12.70	Etna	1920-2019	569	177	410	2.32	Gumbel
12.197	Grunke	1978-2019	185	314	804	2.56	Gumbel
12.215	Storeskar	1988-2019	120	306	740	2.41	Gumbel
12.171	Hølervatn	1969-2019	79	190	378	1.99	Tilpasset
12.209	Urula	1985-2019	554	209	577	2.76	Gumbel
12.178	Eggedal	1972-2019	311	263	665	2.53	Gumbel
15.53	Borgåi	1967-2018	94	239	607	2.54	Gumbel
Middelverdi			247	242	587	2.41	-

2.5 Regresjonsanalyse

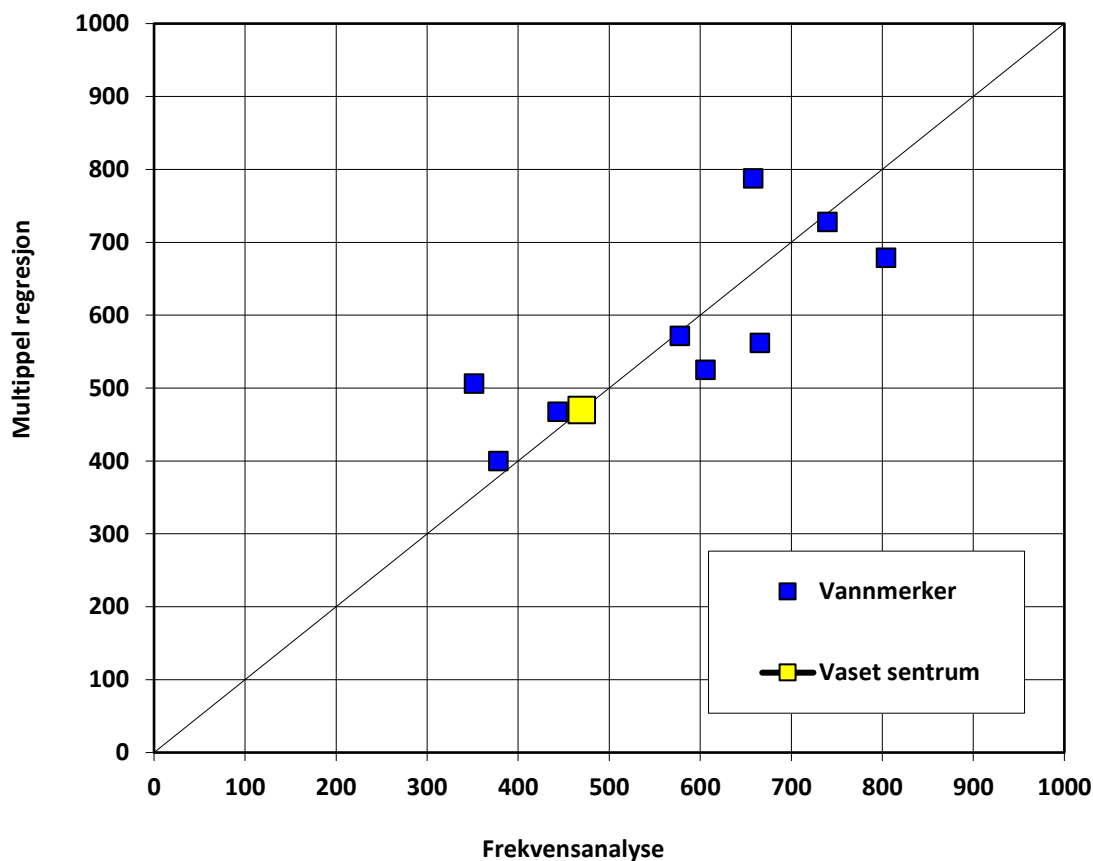
Regresjonsanalyse er en statistisk analysemetode som gir mulighet til å beskrive sammenhengen mellom en avhengig og flere uavhengige variabler. Det er utført en multippel regresjonsanalyse hvor spesifikk vannføring ved 200-årsflom forklares fra logaritmisk feltareal, spesifikk middelvannføring og effektiv sjøprosent ved de utvalgte vannmerkene benyttet tidligere i analysen. Den fastsatte ligningen fra beregningene er presentert under og har en R^2 -verdi på 0,63. Det vurderes som en akseptabel tilnærming. **Hvis regresjonsanalysen brukes på nedbørfeltet til Vaset sentrum gir det en 200-årsflom på 470 l/s/km².**

$$Q_{200} = 417 - 14,91 (\log A) + 12,5 (Q_n) - 69,53 (\text{Eff. sjø. \%}) = 470 \text{ l/s/km}^2$$

Tabell 5 viser en sammenligning av 200-årsflom beregnet med henholdsvis frekvensanalyse og regresjonsanalyse på vannmerkene fra frekvensanalysen. Det vurderes at regresjonsligningen beskriver flomforholdene forholdsvis bra, men ved noen av vannmerkene er avviket også forholdsvis stort (>10%). Regresjonsanalysen gir flomverdier som er både større og lavere enn hva som er beregnet med frekvensanalysen. Figur 5 viser et spredningsdiagram gitt ved regresjon, hvor 200-årsflom ved alle inkluderte vannmerker og Vaset sentrum er plottet.

Tabell 5 Vannføring 200-årsflom, beregnet med regresjonsanalyse og frekvensanalyse.

Nedbørfelt	Q ₂₀₀ (l/s/km ²) Regresjonsanalyse	Q ₂₀₀ (l/s/km ²) Frekvensanalyse	Forhold
Rysna	658	788	0.84
Vinde-elv	443	467	0.95
Etna	351	506	0.69
Grunke	804	679	1.18
Storeskar	740	728	1.02
Hølvatn	378	400	0.95
Urula	577	571	1.01
Eggedal	665	562	1.18
Borgåi	606	525	1.15
Gjennomsnitt	580	580	0.99



Figur 6 Regresjonsplott for målestasjoner benyttet i flomberegningen

2.6 Beregning av kulminasjonsfaktor

Flomstørrelsene beregnet i avsnittene over gjelder for gjennomsnittlig verdi over ett døgn, men maksimal flomstørrelse vil alltid være større enn døgnmiddelverdien. Fortrinnsvis fastsettes forholdet mellom maksimal flomstørrelse og døgnmiddelflom ved å analysere de største flomhendelsene som har forekommet i vassdraget. Fordi flomregistreringer ikke eksisterer i vassdraget, må flomstørrelsen fastsettes ved analyse på nærliggende felt og ved bruk av eksisterende formelverk.

Formelverket gitt i NVEs retningslinjer skiller på høstflommer og vårflokker, og er basert på nedbørfeltens feltkarakteristika (feltareal og effektiv sjøprosent). Ligningene er vist under og beregnet forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom for nedbørfeltet til Vaset sentrum er presentert i Tabell 6. Tabellen viser også den automatisk genererte kulminasjonsfaktoren fra NVEs web-applikasjon NEVINA (RFFA-2018) og kulminasjonsfaktoren som ble valgt i seneste flomberegning for Vasetvatnet. Denne ble laget av NVE i 2010.

$$\begin{aligned} \text{Høstflom} \quad Q_{mom} / Q_{Døgn} &= 2,29 - 0,29 \cdot \log(A) - 0,270 \cdot A_{SE}^{0,5} \\ \text{Vårflom} \quad Q_{mom} / Q_{Døgn} &= 1,72 - 0,17 \cdot \log(A) - 0,125 \cdot A_{SE}^{0,5} \end{aligned}$$

Tabell 6 Forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom beregnet med NVEs formelverk.

Flomsesong	Forholdstall (Qmom/Qdøgn)
Høstflom	1.39
Vårflom	1.23
RFFA-2018	1.09
Flomberegning 2010 (NVE)	1.20

NVE har også laget en oversikt over forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom ved flere vannmerker i landet. Deres oversikt har målinger frem til 2010. Tabell 7 viser de vannmerkene som inngår i oversikten og som også er inkludert i frekvensanalysen presentert i kapittel 2.4. Nedbørfeltene til vannmerkene har ulike feltegenskaper, men forholdstallet varierer forholdsvis lite (1.08-1.24). Det samsvarer også bra med formelverket til NVE hvor forholdstallet beregnet for vårflokker er 1,23.

Tabell 7 Forholdstall mellom momentan- og døgnmiddelflom ved utvalgte vannmerker fra NVEs retningslinjer.

Nr.	Navn vannmerke	Areal (km ²)	Effektiv sjø-% (%)	Qmom/Qdøgn
12.70	Etna	570	0.30	1.08
12.171	Hølvatn	79.4	2.24	1.08
12.178	Eggedal	309	0.57	1.13
12.215	Storeskar	120	0.32	1.24
15.53	Borgåi	94	0.42	1.18

Vannmerkene 12.207 Vinde-elv og 15.53 Borgåi, regnes som de mest representative vannmerkene i forhold til Vaset sentrum. For begge vannmerkene eksisterer timesmålinger og som en kontroll på momentanfaktoren er det utført en vurdering av timedata opp mot døgnndata. Det er både gjort en frekvensanalyse og en sammenligning av registrerte flommer. Resultater fra vurderingen er presentert i Tabell 8. Forholdstallet beregnet med frekvensanalyse gjelder for 200-års gjentaksintervall, mens registrerte flommer viser spennet mellom de fem største registrerte flommene.

Tabell 8 Forholdstall mellom time- og døgnndata ved vannmerkene 12.207 Vindevatn og 15.53 Borgåi.

Nr.	Vannmerke	Areal (km ²)	Effektiv sjø-%	Forhold frekvensanalyse (Q ₂₀₀)	Registrerte flommer
12.207	Vinde-elv	270	1.26	1.07	1.05-1.10
15.53	Borgåi	94	0.42	1.26	1.08-1.43

Ved fastsettelse av kulminasjonsfaktor ved Vaset sentrum er både beregninger og registrerte vannføringsmålinger lagt til grunn. Tendensen fra både beregningene og de registrert vannføringene tilsier av kulminasjonsfaktoren trolig ligger i sjiktet mellom 1,1-1,2. Beregningsgrunnlaget fra NVEs Retningslinjer for flomberegninger gir noe høyere verdier, og det kommer frem at enkeltflommer er registrert med høyere forholdstall. Det er likevel forventet at større flommer med gjentaksintervall opp mot 200 år vil ha lengre varighet og slakere flomforløp. **For Vaset sentrum er det derfor valgt å fastsette forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom til 1,15.**

2.7 Regionale flomformler

NVEs retningslinjer for flomberegninger oppgir regionale flomformler (RFFA-2018) for beregning av spesifikk middelflom. Ligningene bygger på regresjon mot feltparametere og varierer med geografi og flomsituasjon. Flomverdier for gitte nedbørfelt kan genereres automatisk gjennom NVEs web-applikasjon NEVINA. Tabell 9 oppgir spesifikk middelvannføring og 200-årsflom beregnet med applikasjonen. Automatisk laget rapport fra NEVINA ligger vedlagt i Bilag 2.

Tabell 9 Spesifikk middelflom beregnet med regionale flomformler

Flomregime	Spesifikk Middelflom (l/s/km ²)	200-årsflom (l/s/km ²)
RFFA - 2018	219 (medianflom)	495

2.8 Valg av flomstørrelse og klimapåslag

Flomstørrelse ved Vaset sentrum er vurdert ved bruk av frekvensanalyse på utvalgte vannmerker, regresjonsanalyse og med regionale flomformler. En sammenligning av beregnet 200-årsdøgnflom med de ulike metodene er presentert i Tabell 10.

For frekvensanalysen er det valgt å oppgi laveste, gjennomsnittlige og største estimerte flomverdi. Det er forholdsvis stor spredning i verdiene, men det er også store ulikheter mellom nedbørfeltene som inngår i analysen. Vaset sentrum har et feltareal som ligger i nedre sjikt av målestasjonene. Det tilsier ofte en høyere spesifikk flomverdi. Samtidig har feltet høy effektiv-sjøprosent som tilsier at flomverdien skal ligge i det lavere sjiktet blant vannmerkene.

Den utførte regresjonsanalysen skal beskrive sammenhengen mellom feltparametere og vannføring. Ligningen fra analysen gir en spesifikk vannføring ved Vaset sentrum på 470 l/s/km². Det er lavere enn den gjennomsnittlige verdien fra frekvensanalysen.

Den regionale flomformelen (RFFA-2018) gir flomverdi på 495 l/s/km². Flomverdien ligger dermed i midtre sjikt av hva som er beregnet i frekvensanalysen. Det er bra samsvar mellom flomverdien beregnet med regresjonsanalyse og flomverdien beregnet med RFFA-2018.

Tabell 10 200-årsflom (døgnmiddel) beregnet med ulike beregningsmetodikk.

Beregningsmetode	200-årsflom (l/s/km ²)
Frekvensanalyse	378- 587 -804
Regresjonsanalyse	470
Regional flomformel	495
Valgt flomverdi	500

Ved valg av flomstørrelse ved Vaset sentrum er det valgt å ta utgangspunkt i flomverdiene som er beregnet med regresjonsanalysen (470 l/s/km²). Denne verdien er kontrollert mot vannmerkene i frekvensanalysen og spesielt mot vannmerkene 12.207 Vinde-elv (443 l/s/km²) og 15.53 Borgåi (607 l/s/km²), som vurderes som mest representative.

Det er forventet at spesifikk vannføring skal være større enn ved Vinde-elv og lavere enn ved Borgåi. Valgt døgnmiddelvannføring og valgt kulminasjonsvannføring ved 200-årsflom er presentert i Tabell 11.

Tabell 11 Døgnmiddelvannføring og kulminasjonsvannføring ved Vaset sentrum (Q_{200}).

Gjentaksintervall	Valgt døgnmiddelvannføring (m^3/s)	Valgt kulminasjonsvannføring (m^3/s)
Q_{200}	44.9	51.6

2.9 Vurdering av fremtidige klimaendringer

Klimaframskrivninger for Norge tilsier endringer i fremtidig temperatur og nedbørforhold. For store nedbørfelt sentralt på Østlandet (innlandet) er både reduksjoner og økning av flom forventet. For Oppland varierer endringene fra liten reduksjon til ganske betydelige økninger på 20-30%. Nedbørfeltet til Vaset ligger i et fjellområde, og smelteflom er den mest vanlige flomhendelsen. Det er ikke forventet at fremtidige vårflommer vil øke. Samtidig kan en økning i høstflommer forekomme, og disse er forventet å øke i størrelse.

Klimapåslag er ikke et krav, men er på generelt grunnlag anbefalt ved tiltak i eller nært vassdrag. Norconsult anbefaler et klimapåslag på 20% gjennom Vaset sentrum. Kulminasjonsvannføring for 200-årsflom og 200-årsflom inkludert klimapåslag (20%) er presentert i Tabell 12.

Tabell 12 Kulminasjonsvannføring og kulminasjonsvannføring inkl. klimapåslag (20%).

Gjentaksintervall	Kulminasjonsvannføring (m^3/s)	Kulminasjonsvannføring inkl. klimapåslag (m^3/s)
Q_{200}	51.6	62.0

3 Hydraulisk vannlinjemodell

3.1 Beregningsmodell og datakvalitet

Vannstandsstigning og flomutbredelse langs Sundheimselv og gjennom Vaset sentrum er beregnet ved bruk av en 2-dimensjonal hydraulisk modell laget i HEC-RAS (versjon 5.0.7). HEC-RAS er et hydraulisk dataprogram som løser de tidsavhengige ikke-lineære kontinuitet- og bevegelsesmengde-ligningene ved numeriske metoder på et 2-dimensjonalt topografisk rutenett (grid).

Grunnlaget for modellen er punktmålinger av terrenget langs vassdraget og oppmåling av elveprofiler. Punktmålinger av terrenget er basert på lasermåling fra fly og er lastet ned fra [Høydedata.no](https://hoydedata.no). Oppmålingen er fra 2019 og har en nøyaktighet/punktetthet på 5 pkt. per kvadratmeter og refererer til høydedatum NN2000. I tillegg til oppmåling fra «Høydedata» har kommunen tidligere (2010) gjort en oppmåling av tverrprofiler i elveløpet. Tradisjonell lasermåling fra fly klarer ikke å måle gjennom vann, og tverrprofilene er derfor benyttet for å senke elveløpet til riktig nivå. I modellen er bunnen av Vasetvatnet senket med to meter, mens elvebunnen er senket med 0,5 meter. Tilpasningen fanger ikke opp de dypeste strekkene i elva, men er forventet å være en forholdsvis god tilpasning.

Vannstand, oversvømmelse og vannhastighet i vannlinjemodellen beregnes mellom celler i et «beregningsmesh». Cellestørrelsen i elveløpet og på elvebredden er satt til 3x3 meter. Kritiske overganger ved flomvoller og vegger har mindre celle-størrelse (2x2). Modellen starter like ved utløpet av Vasetvatnet og er avsluttet ca. 800 meter nedstrøms Vaset sentrum. Se markering av modellert område i Figur 7.



Figur 7 Oversiktskart med markering av modellert område.

3.2 Grensebetingelser

Vannlinjemodellen forbi Vaset sentrum er satt opp med en øvre og nedre grensebetingelse hvor oppstrøms grensebetingelse er flomvannføring inn på beregningsområdet. Flomvannføringen er kulminasjonsverdi for flom med 200-års gjentaksintervall, som presentert i Tabell 12.

Nedre grensebetingelse er satt til «normal depth» som tilsvarer helningen til energilinen der modellen er avsluttet. Fordi modellen er avsluttet nedstrøms en mindre foss vil ikke nedstrøms grensebetingelse påvirke vannstanden på den vurderte strekningen forbi Vaset sentrum.

Friksjonsforholdene på beregningsstrekningen er hensyntatt ved bruk av Manningstall (n). Friksjonsforholdene er ikke vurdert på befaring, men er isteden vurdert fra bilder, kartdata og flyfoto. Sundheimselvi er forholdsvis slak på den vurderte beregningsstrekningen, men vannhastighetene kan fortsatt være store. Både elvebunn og elvas sideskåninger består av forholdsvis stor stein. Områdene langs elvebredden er i stor grad bevokst av skog og skogen vokser helt tett på elva. Øvre del av elva er i større grad bebygd slik at områdene tett på elva er grusplasser og åpnere områder.

Inndeling av arealsoner er basert på arealressurskart fra Statens kartverk, men er lokalt tilpasset for å inkludere bygninger og andre områder som avviker fra kartets soner. En oversikt over valgte Mannings-verdier er gitt i Tabell 13. Verdiene er fastsatt erfaringsmessig med utgangspunkt i Vassdragshåndboka til NVE.

Tabell 13 Oversikt over Mannings-verdier benyttet i HEC-RAS modell.

Arealtype	Mannings-verdi (n)
Bebygd område	0.035
Bygning	10.0
Elv	0.04
Dyrket område	0.05
Samferdsel og veger	0.02
Skog	0.08
Myr	0.065

3.3 Kalibrering av modellen

Det eksisterer ikke gode målinger av vannstands nivåer i vassdraget og derfor ikke noe data som den hydrauliske modellen kan kalibreres mot. Mangel på kalibreringsdata gjør at resultater fra modellen må brukes direkte og at de i liten grad kan kontrolleres. Hydrauliske modeller uten kalibreringsdata må ilegges enn større grad av usikkerhet.

Den høyeste registrerte vannstanden i Vasetvatnet i henhold til kommunen er målt til 797,5 moh. antatt i NN1954. Det tilsvarer ca. 797.6 moh. i NN2000 og forekom 01.06.1995. Datoen er kjent i flomsammenheng og flere vassdrag på Østlandet opplevde store vannføringer på denne datoen. Vannmerkene rundt Vaset hadde også stor vannføring i denne tidsperioden med vannføringer som svarer til 50-90% av en 200-årsflom. Grunnlaget er ikke tilstrekkelig til å fastsette gjentaksintervallet i Vasetvatnet, og man kan derfor ikke estimere vannføringene. Av den grunn kan registreringen av flomvannstand dessverre ikke benyttes for kalibrering.

3.4 Infrastruktur i modellen

Det er tre bruer som krysser vassdraget i analyseområdet. Først en eldre mur/trebru som ligger ved utløpet fra Vasetvatnet, og så to nyere bruer av betong. De nyere bruene fungerer som henholdsvis gang- og bilveg. Et oversiktskart med markering av bruene er vist i Figur 8, mens Figur 9, Figur 10 og Figur 11 viser bilder av bruene. Bruene er målt inn på befaring av kommunen og er inkludert i den hydrauliske vannlinjemodellen. Brutegning av den nye gangbrua (bru 2) ligger vedlagt i bilag 4.



Figur 8 Oversiktskart med markering av bruer i vassdraget.



Figur 9 Bru nummer 1.



Figur 10 Bru nummer 2.



Figur 11 Bru nummer 3.

4 Resultat og konklusjon

4.1 Flomkartlegging

Flomsonekart for Sundheimselvi på strekningen forbi Vaset sentrum ligger vedlagt i Bilag 1. Kartene viser oversvømmelse, dybdefordeling, hastighetsprodukt (vannhastighet x vanndybde) og vannstands nivå i vassdraget ved 200-årsflom samt en 200-årsflom vurdert i et fremtidig klima (år 2100). Vannføring i et fremtidig klima er 200-årsflom ilagt et klimapåslag på 20%.

Flom i vassdraget tilsvarende 200-årsflom vil gi betydelig økt vannføring og vannstand som vil oversvømme lavtliggende områder langs vassdraget. Spesielt utsatt er området som ligger sør for Panoramavegen og nord for elva. Også det flate området nord-øst for elva, på nordsiden av Panoramavegen vil bli berørt. Bygninger som ligger i disse områdene, vil oppleve at vann står inn mot grunnmuren. Vanndybde og vannhastighetene utfor vassdraget vil være svært lave og med unntak av områder i elva vil vanndybde sjelden være mer enn 0.2 meter. Dette kommer frem på kartet som viser forholdet mellom vanndybde og vannhastighet. I elveløpet vil både vannhastighet og vanndybde være forholdsvis stor og forholdstallet mellom de to varierer fra 3-5 m²/s der elven er dypest. På elvebredden reduseres dette tallet og utenfor elveløpet er den sjelden mer enn 0,3 m²/s. Det vil oppleves som nærmest stillestående vann med lav dybde. Vannhastighetene i hovedelva vil være større og variere fra ca. 2,5 m/s – 3,5 m/s. En flomsituasjon (Q₂₀₀) i et fremtidig klima vil gi 10-20 cm høyere vannstand.

Det er forventet at bruene som krysser elva vil ha kapasitet til å håndtere flom ved både 200-årsflom og 200-årsflom inkludert klimapåslag. Samtidig må det påpekes at vannstanden i vassdraget er følsom for kapasiteten under bruene. Hvis kapasiteten reduseres eller vannføringen tar i brudekket kan vannstanden stige mer enn hva som er vist på vedlagte flomsonekart.

Slik området fremstår vil bygningene med adresse Panoramavegen 900 og Panoramavegen 896 bli berørt av en 200-årsflom. Vannstandsstigning som følge av klimapåslag gjør at også Knippesetvegen 18 og Panoramavegen 915 blir berørt.

4.2 Flomsikring

Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom med bestemte gjentaksintervall hvor gjentaksintervallet bestemmes av sikkerhetsklasse og type bygg. Bygninger med personopphold skal sikres mot 200-årsflom. Hvordan dette gjøres avhenger i stor grad om hva som skal bygges, hvor store områder som skal sikres, og nøyaktig plassering.

Det er gjort en kontrollberegning for å vurdere hvor høyt bygninger må plasseres for å ligge flomsikkert. Norconsult anbefaler at alle planlagte bygg enten sikres slik at grunnmuren ligger 0,5 meter over vannstand ved 200-årsflom inkludert 20% klimapåslag eller sikres med flomvoll. Beregnet vannstand vil variere langs vassdraget og kan leses fra flomsonekartene. Ved utløpet av Vasetvatnet er laveste nivå 798,5 moh. Gitt at bygningene eller flomvoll bygges på dette nivået vil bygningene ikke bli berørt av flom av en 200-årsflom inkludert 20% klimapåslag.

For å oppnå dette er det to alternativer som fremstår som mest nærliggende, alternativt en kombinasjon:

- Flomsikring med flomvoll
- Terrengheving på hele eller deler av området.

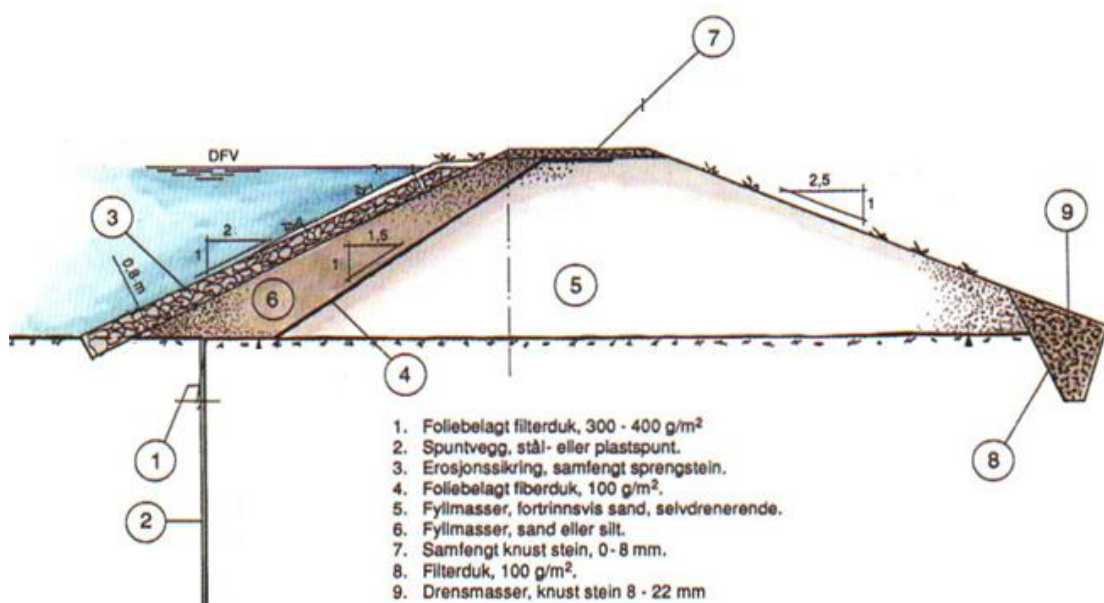
Flomsikring med flomvoll

Flomsikring med flomvoll er et godt sikringsalternativ der større og flatere arealer skal sikres over en lang strekning. Fordelen med alternativet er at relativt lite masser er nødvendig for å sikre forholdsvis store områder sammenlignet med en terrengheving. Ulempen med løsningen er at flomvollen krever mer omfattende oppbygning, vedlikehold og løsninger for drenering. Det gjør at kostnaden per kubikkmeter flomvoll er større enn for en terrengheving.

Planområdet fra Vasetvatnet og gjennom «Vaset sentrum» er ca. 500 meter langt, se Figur 12. Skal hele dette området sikres er det nødvendig med flomvoll på tilnærmet hele strekningen. Det anbefales at flomvollen bygges i henhold til anbefalinger fra NVE slik det er vist i Figur 13. På grunn av forholdsvis liten størrelse på flomvoll ved Vaset kan noe enklere utforming vurderes.



Figur 12 Oversiktskart med markering av flomvoll.



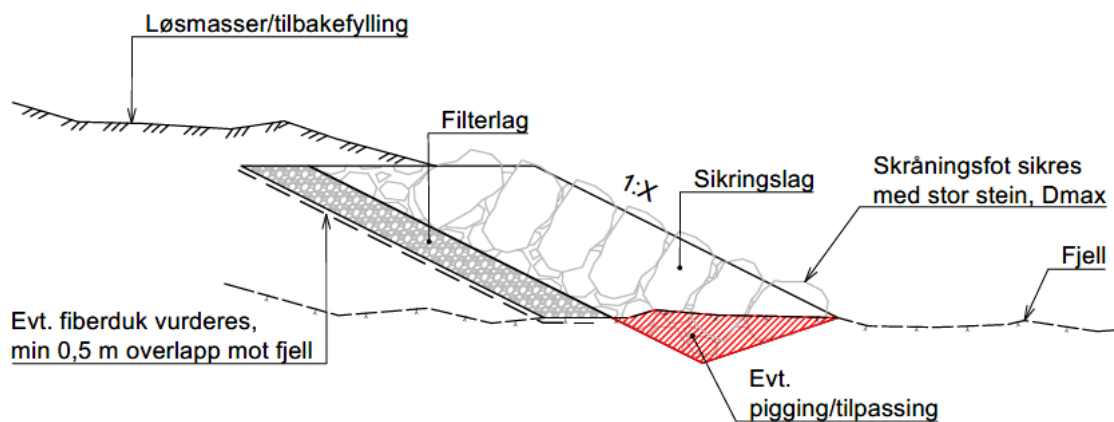
Figur 13 Prinsipløsning for flomvoll.

Terrengheving

Terrengheving er en trygg og varig løsning med tanke på flomsikkerhet. Løsningen er aktuell der mindre arealer skal fylles opp, eller tilgangen på masser er god. Sammenlignet med en flomvoll er det mindre krav til fyllmassene. Det anbefales fortsatt at elvebredden erosjonssikres, men behovet for tettesjikt bortfaller. Se eksempeltegning på hvordan dette kan gjøres i Figur 15. Generelt sett er terrengheving den tryggeste løsningen med tanke på flomsikring. Ulempen er at alternativet er kostbart hvis tilgangen på masser er dårlig. Det er anslått at hele arealet markert i Figur 14 tilsvarer mellom 12000-13000 m². Om det er behov oppfylling av hele eller deler av området må være en vurderingssak.



Figur 14 Oversiktskart med områder som er tenkt oppfylt.



Figur 15 Prinsippskisse av erosjonssikring langs elv.

4.3 Konklusjon og anbefaling av løsning

Flom i Sundheimselvi med 200 års gjentaksintervall på strekningen gjennom Vaset sentrum vil oversvømme lavtliggende områder langs vassdraget. Spesielt utsatt er området som ligger sør for Panoramavegen og nord for elva. Bygninger som ligger i disse områdene, vil oppleve at vann står inn mot grunnmuren. Hvis området skal utnyttes til bygninger med personopphold må aktuelle områder sikres mot flom. De mest nærliggende alternativene er enten sikring med flomvoll eller heving av terrenget. Hvilken løsning som vil fungere best avhenger i stor grad om hvilke planer som legges for området. Også senkning av elveløpet kan bli vurdert som en løsning. Dette alternativet fungerer ofte bra hvis det er kortere strekninger i vassdraget som bestemmer vannstand tilbake langs elva. For lengre slake strekninger er løsningen ofte mindre benyttet. Det skyldes ofte at store mengder masse må fjernes og at det i slake elver vil være fare for at avsetninger i elva fyller tilbake de massene som tidligere har blitt fjernet.

Norconsult vurderer at utvikling av området vil medføre forholdsvis omfattende grave og oppfyllingsarbeid i områdene tett på elva. Disse arbeidene må gjøres mer eller mindre uavhengig av hvordan området flomsikres. På grunn av dette fremstår terrengheving av områdene med minimumsnivå for bygningenes grunnmur som det tryggeste og enkleste alternativet. Det anbefales at bygninger etableres uten kjeller og påpekes at eventuelle kjellere må sikres for å tåle flom. Kostnadsbildet for sikringstiltakene avgjøres av tilgangen på hensiktsmessige masser.

5 Diskusjon og vurdering av resultatet

5.1 Tidligere beregninger i området

Utført av NVE

NVE har tidligere laget flomberegning (2010) og vannlinjeberegning (2010) for Vasetvatnet. Flomvannføring i vassdraget ble fastsatt for flere gjentaksintervall ved bruk av frekvensanalyse utført på vannmerker i nærliggende nedbørfelt. Beregnede kulminasjonsverdier fra beregningene er presentert i Tabell 14. Det er godt samsvar mellom NVEs flomberegninger og de utført av Norconsult. Vannlinjeberegningen ble gjort ved bruk av en 1-dimensjonal hydraulisk modell laget i dataprogrammet HEC-RAS. Grunnlaget for modellen var terrengdata fra Norge digital (høydekurver) og oppmålinger i elva gjort av Vestre Slidre kommune. Vannlinjemodell fra Norconsult er laget med HEC RAS 2D og gir noe høyere vannstand i elva enn hva som ble beregnet av NVE.

Tabell 14 Flomverdier beregnet av NVE i 2010.

Nedbørfelt	Q _m (l/s/km ²)	Q _m (m ³ /s)	Q ₅ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	Q ₅₀₀ (m ³ /s)
Vasetvatnet	252	21	26	31	35	41	45	49	54

Utført av Multiconsult

Multiconsult har tidligere (2013) laget flomberegning for Båtåne som er et nabofelt til Vasetvatnet. Nedbørfeltet til Båtåne har et feltareal på 5,6 km² og er med det forholdsvis mye mindre enn nedbørfeltet til Vasetvatnet. Flomverdier ble vurdert ved bruk av «Den rasjonelle metode» og ved bruk av frekvensanalyse på utvalgte vannmerker. Ved fastsettelse av flomverdi ble den mest konservative metoden (den rasjonelle metode) valgt. Resultater fra deres beregning er presentert i Tabell 15. Flomverdiene ved Båtåne er som ventet vesentlig høyere enn ved Vaset, med henholdsvis 843 og 500 l/s/km² som døgnmiddelflom ved Q₂₀₀.

Tabell 15 Flomverdier beregnet av Multiconsult for Båtåne.

Nedbørfelt	Gjentaksintervall	Tilløpsflom (m ³ /s)	Døgnmiddelflom (m ³ /s)	Spesifikk døgnmiddelflom (l/s/km ²)
Båtåne	Q ₂₀₀	7.6	4.7	843

5.2 Usikkerheter

Det vil alltid være usikkerheter knyttet til beregninger av flom og flomvannstand. Usikkerheten er både knyttet til flomberegningen og beregninger av tilhørende vannstand. For flomberegningen er det usikkerhet knyttet til den tekniske kvaliteten til målingene og til måleseriens lengde. Vannmerkene lagt til grunn i flomberegningen har varierende kvalitet og følgelig er det en risiko for unøyaktigheter. Samtidig er det bra samsvar mellom de ulike vannmerkene og det vurderes at nøyaktigheten er akseptabel. Lengden til måleseriene varierer fra 32-100 år og det betraktes som forholdsvis lange måleserier. Samtidig er måleseriene betydelig kortere enn beregnede gjentaksintervaller og en lengre måleserie vil gi et sikrere resultat.

Terrengmodellen og datagrunnlaget er basert på en kombinasjon mellom punktoppmåling registrert fra fly og egen oppmåling i elveløpet. Begge oppmålingene vurderes å ha høy nøyaktighet med usikkerhet på 10-20 cm i z-planet. Tradisjonell lasermåling fra fly kan ikke måle under vann og blir dermed unøyaktig i områder med vannspeil. Egen oppmåling av elveløpet fanger opp den reelle terrengbunnen i utvalgte profiler, men dekker ikke hele beregningsstrekningen. Dybdene fra profilene er ikke nøyaktig gjengitt, men brukt som en rettesnor for å få riktige dybder i modellen. Det er forventet at modellen vil samsvare forholdsvis bra med det faktiske terrenget i elva. Likevel er modellen bare en gjengivelse av terrenget og ikke en eksakt kopi, og spesielt for flate områder kan små

unøyaktigheter føre til endring i flomutbredelse. Totalt sett vurderes kvaliteten på tilgjengelig data som relativt god og økt detaljeringsgrad vil trolig ha liten innvirkning på vannstand eller flomutbredelse.

Vannlinjemodellen tar ikke hensyn til terrengendringer etter oppmåling eller erosjonsskader som kan forekomme under flom. Det må forventes at større flommer fører til lokale erosjonsskader som i større eller mindre grad kan påvirke flomutbredelsen. Strekingen forbi Vaset sentrum er forholdsvis slak, og det er ingen områder som er spesielt utsatt for erosjonsskader. Det er heller ingen tegn til tidligere elveløp eller stor fare for at en flom vil endre på elveløpet. Under en flomsituasjon vil strømningsbildet oppfattes som turbulent og kaotisk. Denne effekten klarer ikke vannlinjemodellen å gjenskape og kan i noen tilfeller gi lavere vannstand enn det som observeres.

Det eksisterer ikke innmålinger fra tidligere flommer og det er derfor ikke mulig å foreta noen kalibrering av vannlinjemodellen. Det vurderes som en forholdsvis stor usikkerhet. Erfaringsmessig regner HEC-RAS forholdsvis presist så lenge forutsetningene er riktige. Det er derimot krevende å gjøre den vurderingen uten et godt sammenligningsgrunnlag. NVE anbefaler på generelt grunnlag en sikkerhetsmargin på mellom 30 og 50 centimeter på denne typen beregninger. Basert på beregningene som er gjort og kvaliteten på tilgjengelige data anbefaler Norconsult at 0.5 meter legges til grunn.

5.3 Sensitivitet

Det er gjort en sensitivitetsvurdering for å se hvordan resultatene påvirkes av endringer i forutsetningene. Flom med 200-års gjentaksintervall inkl. klimapåslag har en vannføring som er 20% større enn samme flomsituasjon uten klimapåslag. Vannstandsforskjellen langs vassdraget mellom disse to gjentaksintervallene varierer, men er sjelden mer enn 0,15-0,20 meter, mest i Vasetvatnet hvor vannhastighetene er lave og mindre i elva. Forutsetningene tatt i betraktning anses beregningene som relativt lite sensitive.

6 Bilag og referanser

6.1 Bilag

1. Flomsonekart 200-årsflom og 200-årsflom i år 2100
2. Regional flomberegning fra NEVINA
3. Frekvenskurver fra utvalgte vannmerker
4. Brutegninger

6.2 Referanser

1. NVE (2011). *Retningslinjer for flomberegninger*. NVE-rapport 4-2011.
2. NVE (2016). *Klimaendring og framtidige flommer i Norge*. NVE-rapport 81-2016.
3. NVE (2014). *Flaum- og skredfare i arealplanar*. NVE-rapport 2-2011.
4. NVE (2010). *Flomberegning for Vasetvatnet, Vestre Slidre kommune i Oppland*. NVE 201003172-6