

Åmli kommune

► Flomkartlegging Nelaug - Simonstad

Oppdragsnr.: 52102295 Dokumentnr.: - Versjon: D01 Dato: 2021-06-01



Oppdragsgiver: Åmli kommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Yngve Ramse Trædal
Rådgiver: Norconsult AS, Kjørboveien 22, NO-1337 Sandvika
Oppdragsleder: Jon Olav Stranden
Fagansvarlig: Jon Olav Stranden
Andre nøkkelpersoner: Gunnar Fiskum

D01	2021-06-01	For kontroll hos Åmli kommune	Gunnar Fiskum	Jon Olav Stranden	Jon Olav Stranden
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 er engasjert av Åmli kommune for å kartlegge flomfaren ved Simonstad, like oppstrøms der Nidelva renner ut i Nelaug-magasinet. Innløpet i magasinet består av flere elveløp og naturlige kanaler, og kommunen ønsker å undersøke om og i hvilken grad området berøres ved flom.

Arbeidet er delt opp i to deler: flomberegning og vannlinjeberegning. Flomberegningen gjøres for å fastsette vannføring ved bestemte gjentaksintervall, mens vannlinjeberegningen utføres for å fastsette vannstand, oversvømmelse og vannhastigheter ved de beregnede vannføringene i vassdraget.

Flomvannføring er fastsatt på bakgrunn av registrert vannføring ved vannmerke 19.29 Aamsfoss og sammenlignet med tidligere flomberegninger som er gjort i vassdraget. På grunn av regulering i vassdraget er det valgt å vektlegge tidsperioden fra 1970-2020, og det er forventet at denne tidsperioden i størst grad representerer eksisterende og fremtidige flomforhold for dette formålet og aktuelle gjentaksintervall. Denne kartleggingen vurderer flom med gjentaksintervallene 20- og 200-år. Det er også gjort en vurdering av gjentaksintervallene i en fremtidig situasjon hvor forventede klimaendringer er hensyntatt.

Vannstandsstigning, flomutbredelse og vannhastigheter i Nidelva ved Nelaug er beregnet ved bruk av en 2-dimensjonal hydraulisk modell i dataprogrammet HEC-RAS. Grunnlaget for modellen er laserdata over området og bunnkartlegging i Nidelva.

Resultater fra beregningene er presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten. Kartene viser flomutbredelse og vannstand for 20- og 200-årsflom, med og uten klimapåslag (20% økt vannføring). Flom i vassdraget vil føre til økt vannstand forbi Simonstad som vil oversvømme områder utenfor elvas hovedløp. For gjentaksintervall opp til 20-år er det ikke forventet at flom vil berøre bygninger eller større infrastruktur. For større flomhendelser vil konsekvensene øke og en 200-årsflom inkludert klimapåslag vil berøre flere bygninger og gi forholdsvis stor oversvømmelse på industriområdet på Jordøya.

Innhold

1	Innledning og forutsetninger	5
1.1	Beskrivelse av oppdraget	5
1.2	Kart- og datagrunnlag	6
1.3	Beskrivelse av Nelaug-Simonstad	6
2	Beregning av flomstørrelse	8
2.1	Beskrivelse av nedbørfelt	8
2.2	Hydrologiske forutsetninger	9
2.3	Hydrologisk grunnlag – eksisterende flomberegning	9
2.4	Målestasjoner	9
2.5	Frekvensanalyse	11
2.6	Observerte flommer	13
2.7	Beregning av kulminasjonsfaktor	14
2.8	Valg av flomstørrelse og vurdering av klimapåslag	15
3	Hydraulisk vannlinjemodell	16
3.1	Beregningsmodell og datakvalitet	16
3.2	Grensebetingelser og friksjonsforhold	17
3.3	Dybdeforhold i vassdraget	20
3.4	Infrastruktur i vassdraget	20
3.5	Kalibrering av vannlinjemodell	21
4	Resultat og konklusjon	22
5	Diskusjon og vurdering av resultatet	23
5.1	Vurdering av kvalitet	23
5.2	Sensitivitet	23
5.3	Risiko for erosjon	24
5.4	Usikkerheter	25
6	Bilag og referanser	26
6.1	Bilag	26
6.2	Referanser	26

1 Innledning og forutsetninger

1.1 Beskrivelse av oppdraget

Norconsult er engasjert av Åmli kommune for å kartlegge flomfaren ved Simonstad like oppstrøms der Nidelva renner ut i Nelaug-magasinet. Innløpet i magasinet består av flere ulike elveløp og naturlige kanaler. Ved normalvannføring i vassdraget er det liten vannstandsforskjell fra Simonstad og inn i magasinet, men ved flom oppleves økt vannivå tilbake fra magasinet. Bolighus og næringsområder langs elven ligger innenfor flomaktsomhetssonen til NVE og Åmli kommune ønsker derfor å undersøke hvordan området vil bli påvirket av større flommer. Et oversiktskart er vist i Figur 1.

Arbeidet er delt opp i to deler, en flomberegning og en vannlinjeberegning. Flomberegningen gjøres for å fastsette vannføring ved bestemte gjentaksintervall, mens vannlinjeberegningen utføres for å fastsette vannstand, oversvømmelse og vannhastigheter ved gitte vannføringer i vassdraget. Resultatene fra beregningene er presentert på flomsonekart som ligger vedlagt denne rapporten (Bilag 1).

Flomsonekartleggingen utføres for å danne et grunnlag for fremtidig arealutnyttelse langs vassdraget, og for å identifisere hvilke områder som allerede er utsatt for flom. Det heter i TEK17 at byggverk hvor konsekvensen av flom er særlig stor ikke skal plasseres i flomutsatte områder. Videre skal byggverk plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom med bestemte gjentaksintervall. Hvilket gjentaksintervall som blir dimensjonerende, avgjøres av konsekvensomfanget som skade på bygget vil medføre. En oversikt over sikkerhetsklassene med tilhørende krav til gjentaksintervall er vist i punktlisten under.

- F1 – Liten konsekvens (Garasje, lager, boder) – 20-årsflom
- F2 – Middels konsekvens (Bolighus, fritidsbolig, skole, kontorbygg) – 200-årsflom
- F3 – Stor konsekvens (Sykehjem, brann-/politistasjon, avfallsdeponi) – 1000-årsflom

For Simonstad og Jordøya er det vurdert at de fleste bygninger, både eksisterende og nye, vil falle inn under sikkerhetsklasse F1 og F2. Disse skal dermed sikres mot 20-årsflom eller 200-årsflom. Denne kartleggingen vurderer flom med gjentaksintervallene 20- og 200-år. Det er også gjort en vurdering av de samme gjentaksintervallene i en fremtidig situasjon hvor forventede klimaendringer er hensyntatt (år 2100).



Figur 1 Oversiktskart med markering av Nelaug.

1.2 Kart- og datagrunnlag

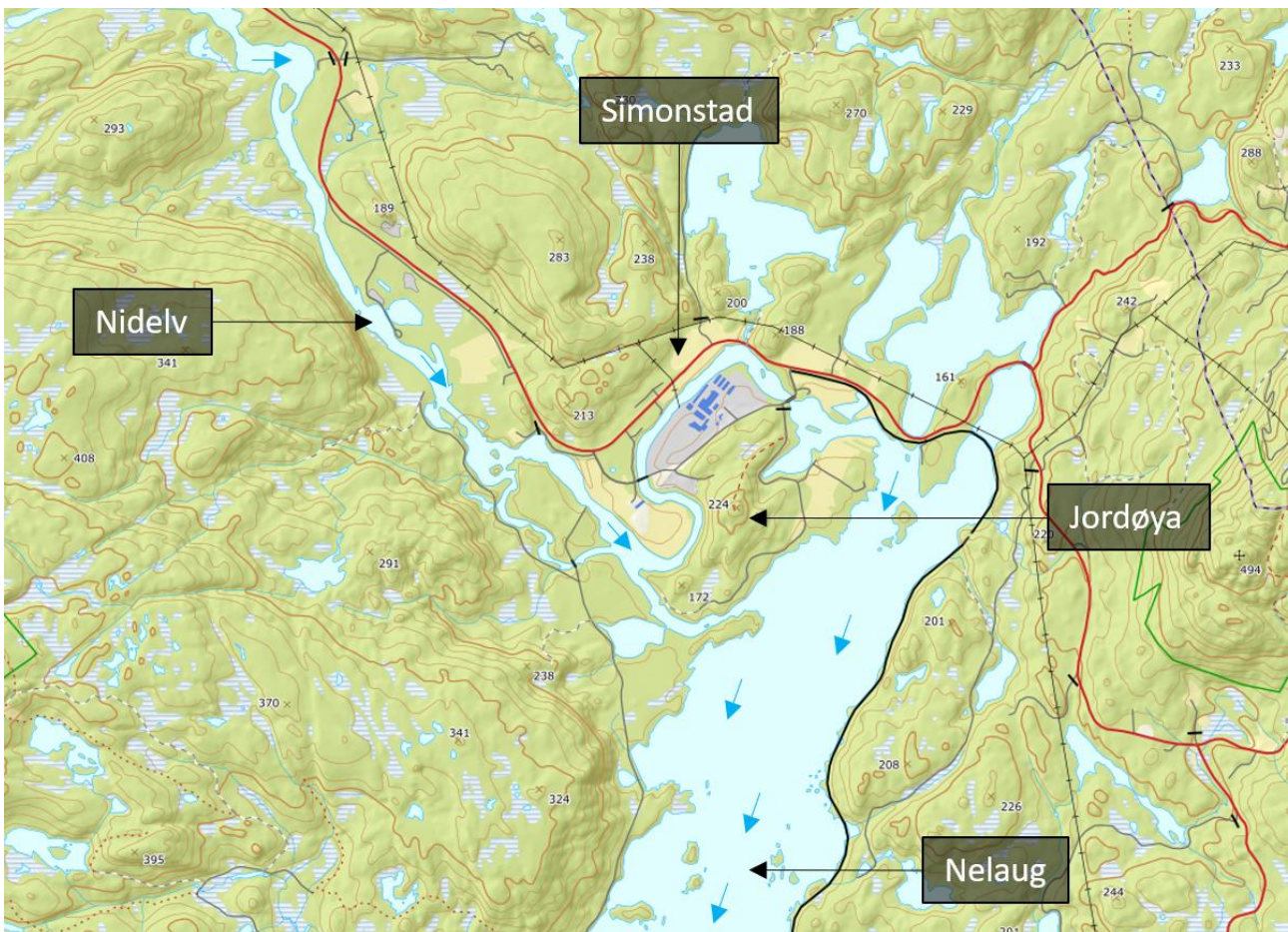
Alle høyder som er lagt til grunn i denne flomsonekartleggingen refererer til høydegrunnlaget NN2000 der ikke annet er spesifisert. Utgangspunktet for vannlinjemodellen er lasedata over området lastet ned fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>. HydraTeam har foretatt bunnoppmålinger på utvalgte steder i vassdraget. Denne oppmålingen er mer omfattende beskrevet senere i rapporten.

Utført flomberegning refererer til tegningsgrunnlaget, og dameier (Agder Energi vannkraft AS) opplyser at disse er i høydesystem NN1954. Differansen mellom NN2000 og NN1954 er 3 cm hvor NN1954 ligger høyest.

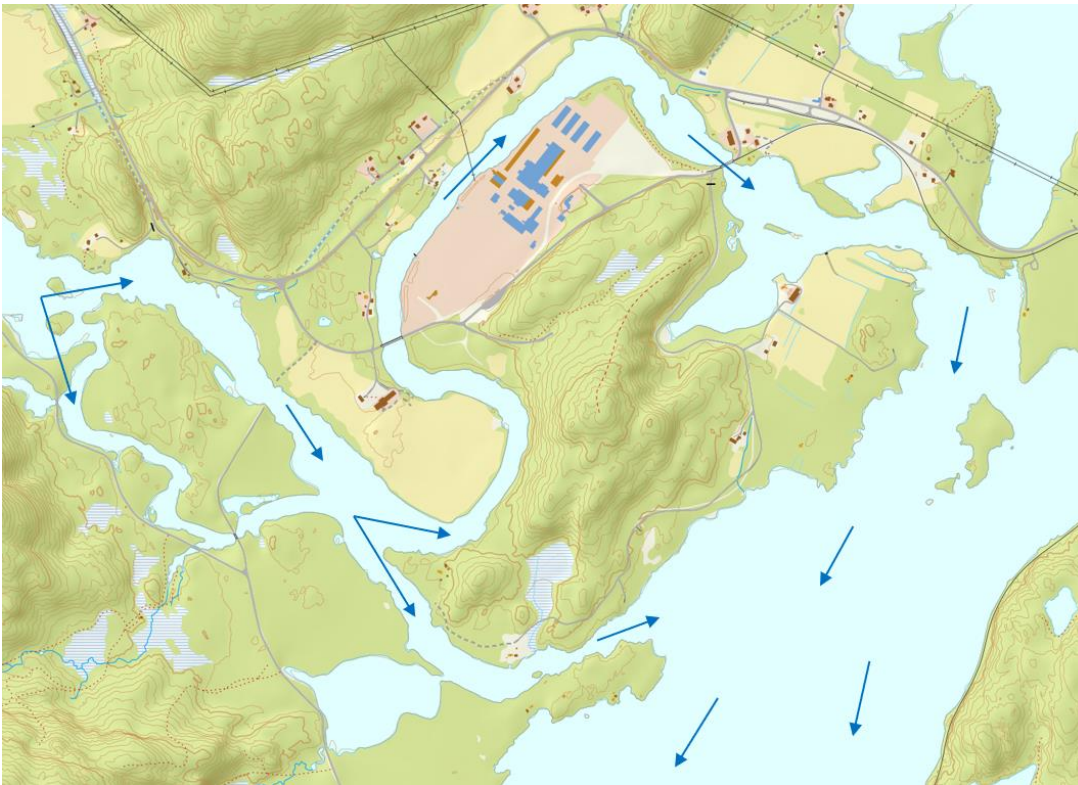
1.3 Beskrivelse av Nelaug-Simonstad

Nelaugmagasinet er forholdsvis stort og demmes opp av dam Nelaug. Damkonstruksjonen er en sammensatt lukedam. En kjent utfordring for magasinet er at dammen ikke blir bestemmende for vannstanden når vannføringen i vassdraget blir tilstrekkelig stor. I en slik situasjon druknes dammen og det er et nedstrøms profil som blir bestemmende.

Nidelva renner inn i Nelaugmagasinet, og området ved innløpet heter Simonstad. Der elva renner forbi Simonstad er elva delt og danner to naturlige utløp i Nelaug. Området mellom utløpene kalles Jordøya. Simonstad er et område som består av spredt boligbebyggelse og jordbruksområder. På Jordøya ligger et industriområde som benyttes til trelastvirksomhet. Oversiktskart over Nelaug/Simonstad er vist i Figur 2 / Figur 3, mens et flyfoto over industriområdet er vist i Figur 4.



Figur 2 Oversiktskart over innløpet i Nelaug.



Figur 3 Oversiktskart over Simonstad med markering av strømningsretning.



Figur 4 Flyfoto av industriområdet på Simonstad. Nelaug-magasinet i bakgrunnen.

2 Beregning av flomstørrelse

2.1 Beskrivelse av nedbørfelt

Nidelva er en del av Arendalsvassdraget og har sitt opphav i Vest-Telemark og utløp i havet ved Arendal. Nedbørfeltet til Nidelva ved Nelaug er på ca. 3300 km². Vassdraget er regulert gjennom flere større damanlegg som påvirker vannføringen under flom. Reguleringen av vassdraget startet tidlig på 1900-tallet, men magasinkapasiteten har vært tilnærmet uendret siden 1970-tallet. En oversikt over feltegenskaper er vist i Tabell 1, mens et oversiktskart som viser nedbørfeltet er vist i Figur 5.

Tabell 1 Feltegenskaper for Nidelva ved Nelaug.

Nedbørfelt	Areal (km ²)	Eff. sjø % (%)	Høyde, min-med-maks (moh.)	Qn ¹ (l/s/km ²)
Innløp Nelaug	3300	1.44	140-622-1519	28.1



Figur 5 Oversiktskart med markering av nedbørfeltet til Nidelva ved Nelaug.

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

2.2 Hydrologiske forutsetninger

Beregning av flomvannføring i denne flomkartleggingen er basert på regulerte vannføringer med målinger fra Nidelva. Det betyr at beregningene tar hensyn til dammene i vassdraget og den historiske dempingen disse har gitt.

Metodikken skiller seg fra tradisjonelle flomberegninger gjort etter Damsikkerhetsforskriften, hvor uregulerte flommer som regel legges til grunn. Slike flomberegninger velger forutsetninger for å bestemme en «worst case» flomverdi. Dette gir konservative på flomvannføringer, særlig ved lave gjentakintervall og i vassdrag med stor grad av regulering.

Erfaringer fra vassdraget tilsier at det er liten forskjell mellom regulerte og uregulerte vannføringer for store gjentakintervall. Det er forventet at reguleringen vil påvirke mindre flommer, men for større flomhendelser vil regulerte flommer konvergere mot uregulert tilstand. Siden det i denne analysen er sett på 20- og 200-årsflom er det valgt å benytte regulerte data for perioden med nokså lik grad av regulering (fra 1970-tallet).

2.3 Hydrologisk grunnlag – eksisterende flomberegning

Norconsult har laget flomberegning for flere dammer i Arendalsvassdraget og beregningene omfatter både dam Nelaug og dam Åmli-Nidelv. Dam Nelaug demmer opp Nelaug-magasinet og ligger i tilknytning til analyseområdet i denne flomkartleggingen. Dam Åmli-Nidelv ligger ca. 10 km oppstrøms Nelaug. Resultater fra flomberegningene er presentert i Tabell 2. Beregningene er basert på frekvensanalyser av lange måleserier med regulert og uregulert vannføring, og tilsig fra den aktuelle elvestrekningen. Metodikken i beregningene følger NVEs retningslinjer for flomberegninger. Ved stor flom er dempingen i Nelaug-magasinet neglisjerbar i forhold til de store vannmengdene som passerer, og avløpet er derfor satt lik tilløpet.

Tabell 2 Resultater fra utførte flomberegninger ved Åmli og Nelaug.

Dam	Flomsituasjon	Tilløp / avløp (m ³ /s)	Tilløp / Avløp (l/s/km ²)	Vannstand (moh.)	Vannstand over dam (m)
Dam Åmli-Nidelv	Q ₁₀₀₀	1522	480	152.31	-1.19
	1.5 x Q ₁₀₀₀	2097	660	153.48	-0.02
Dam Nelaug	Q ₅₀₀	1724	503	143.14	2.24
	1.5 x Q ₅₀₀	2586	754	144.83	3.93

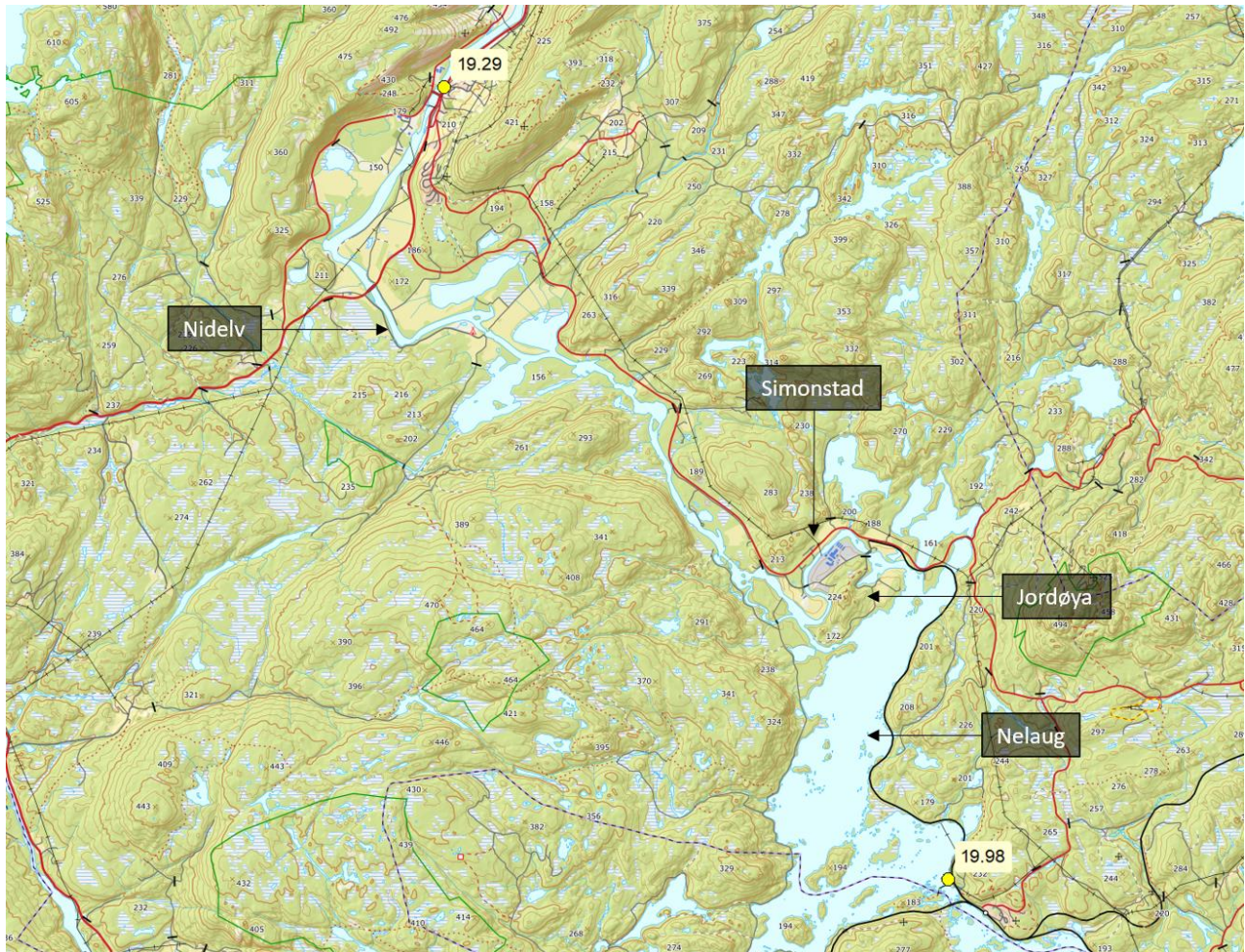
2.4 Målestasjoner

For å fastsette flomvannføring ved utløpet i Nelaug er vannføring ved nærliggende vannmerker/målestasjoner vurdert. Like oppstrøms Nelaug ligger vannmerkene 19.126 Gjermundnes, 19.128 Åmli kraftstasjon og 19.29 Aamfoss. Disse dekker i praksis samme område og verdier er hentet fra vannmerke 19.29 Aamfoss. Nedbørfeltet til vannmerket er ca. 130 km² (4%) mindre enn nedbørfeltet til Nidelva ved utløpet i Nelaug. Vannmerke 19.98 Nelaug ligger ved dam Nelaug og har registrert vannstand ved dammen i tidsperioden fra 1976-2021. Målingene er benyttet til å vurdere vannstands nivå i magasinet ved gitte vannføringer.

En oversikt over stasjonene med utvalgte feltparametere er presentert i Tabell 3. Informasjonen som er listet opp er hentet fra NVEs database for målestasjoner (Hydra II). Målestasjonene er valgt fordi de ligger i samme vassdrag som analyseområdet og bør derfor gjenspeile flomforholdene på en god måte. Et oversiktskart med markering av vannmerkene er vist i Figur 6.

Tabell 3 Målestasjoner i Nidelva ved Nelaug

Nr.	Navn	Type	Periode	Areal (km ²)	Observert årsavløp (l/s/km ²)
19.29	Aamfoss	Vannføring	1925-2020	3172	29.2
19.98	Nelaug	Vannstand	1976-2021	3428	28.7
	Nidelv ved Simonstad	Analyseområde	-	3300	28.1 ²



Figur 6 Oversiktskart med markering av vannmerker benyttet i analysen.

² Spesifikk middelvannføring (61-90) beregnet med NVEs webapplikasjon Nevina.

2.5 Frekvensanalyse

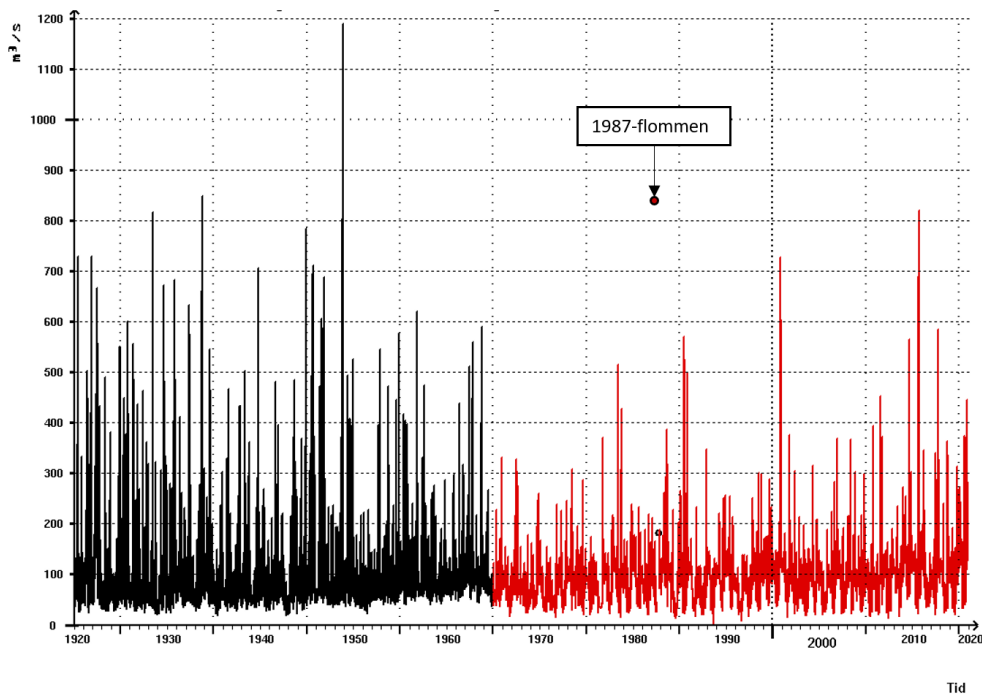
Det er utført flomfrekvensanalyse på vannføringsmålinger fra vannmerke 19.29 Aamfos. Beregningene er gjort med NVEs programvare for ekstremveridianalyse, DAGUT, ved bruk av Gumbelfordeling og GEV-fordeling. Tabell 4 viser en oversikt over spesifikk vannføring ved middelflom, 20-årsflom, 200-årsflom, 500-årsflom og 1000-årsflom. For å vurdere effekten av regulering i vassdraget er ulike tidsperioder sammenlignet. Siste betydelige utbygging skjedde i 1969 og perioden fra 1970 og frem til i dag betraktes som lik med hensyn på reguleringsgrad. Det er valgt å sammenligne tre ulike tidsperioder; hele måleserien, 1925-1969 og 1970-2020.

Frekvensanalysen tilsier at reguleringen har stor betydning og tidsperioden fra 1970-2020 ligger markant lavere enn hele tidsserien og perioden fra 1925 til 1969. Tidsperioden fra 1925-1970 har minst regulering og gir også de høyeste vannføringene. Forskjellen i vannføring kan dels relateres til ulik regulering, men må også sees i lys av store flomhendelser og hvordan frekvenskurvene tolkes. De største flomhendelsene har forekommet i uregulert periode og spesielt flomhendelsen i 1953 påvirker resultatet i den delvis regulerte perioden (1925-1969). Flomhendelsen i 1987 er en av de største i vassdraget, men er dessverre ikke inkludert i det tilgjengelige datagrunnlaget. Flomvannføringen er imidlertid kjent andre steder i vassdraget og en tilpasset verdi er inkludert i beregningene.

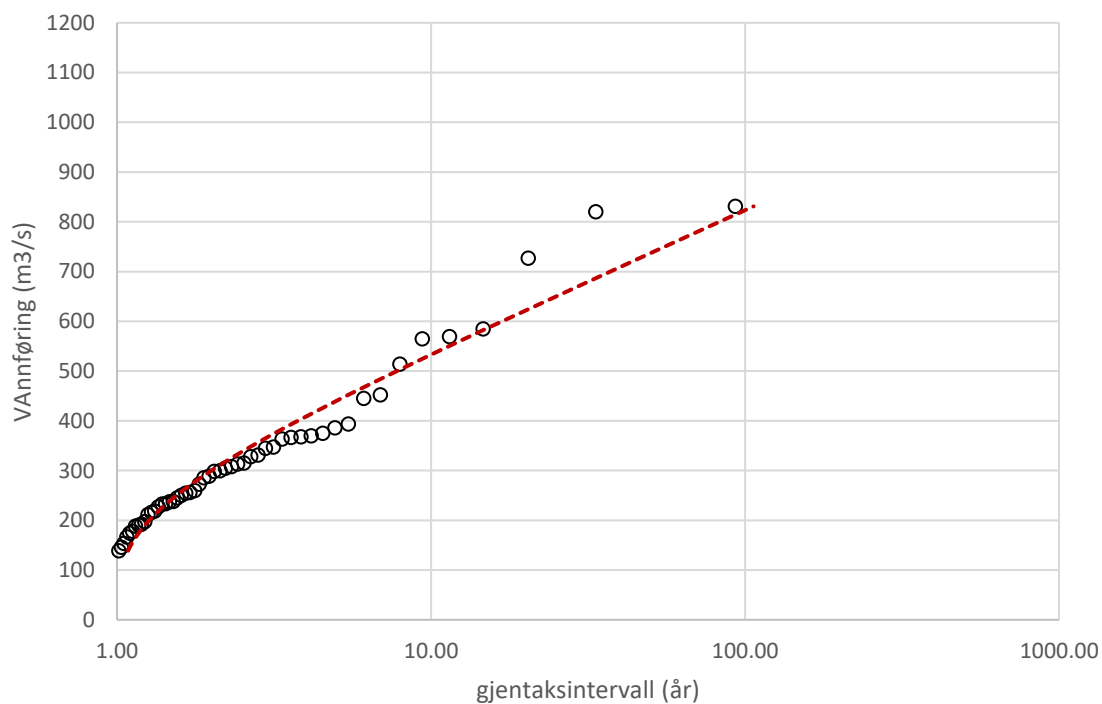
Vannføringsmålinger fra vassdraget med markering av ulike tidsperioder er vist i Figur 7. Videre viser Figur 8 og Figur 9 frekvensplott for tidsperioden 1970-2020. Det er forventet at den regulerte tidsperioden vil representere eksisterende og fremtidig flomsituasjon på best måte for aktuelle gjentaksintervall på 20- og 200 år.

Tabell 4 Estimert vannføring basert på ulike tidsperioder ved vannmerke 19.29 Aamfos..

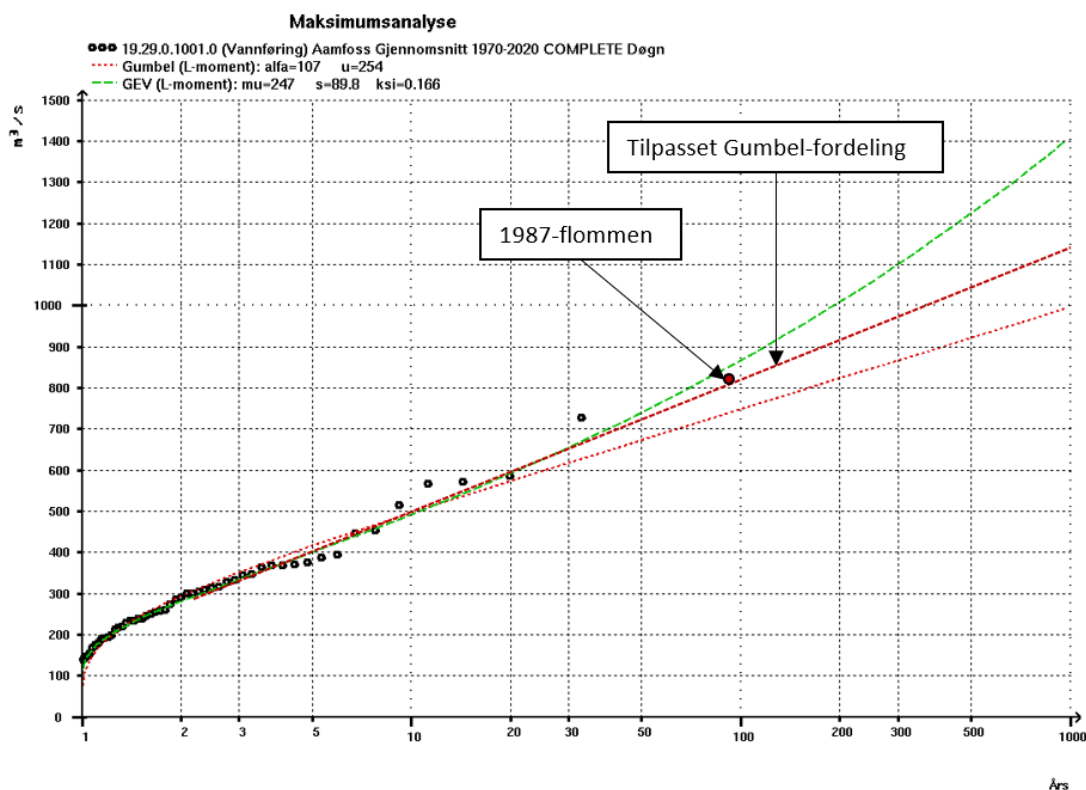
Navn	Periode	Q _m (l/s/km ²)	Q ₂₀ (l/s/km ²)	Q ₂₀₀ (l/s/km ²)	Q ₅₀₀ (l/s/km ²)	Q ₁₀₀₀ (l/s/km ²)	Fordeling	Kommentar
Aamfoss	1925-2020	131	251	368	414	449	Gumbel	Hele måleserien
Aamfoss	1970-2020	100	188	287	329	359	Tilpasset	Regulert periode
Aamfoss	1925-1969	166	286	403	449	485	Gumbel	Delvis regulert



Figur 7 Vannføringsmålinger ved Aamfoss. Svart er tidsperioden frem til 1970 og rødt er 1970 til 2020.



Figur 8 Gumbel-fordeling av tidsperioden 1970-2020 hvor flom fra 1987 er inkludert som høyeste verdi.



Figur 9 Frekvensplott for 19.29 i tidsperioden 1970-2020 med markering av tilpasset Gumbel-fordeling

2.6 Observerte flommer

Det er observert flere store flomhendelser både ved vannmerke Aamfoss og i Nelaug. En oversikt over de største registrerte vannføringer ved Aamfoss er listet opp i Tabell 5, mens en oversikt over de høyeste vannstandene i Nelaug er listet opp i Tabell 6. Tabell 6 viser også korresponderende vannføring ved Aamfoss.

Høyeste vannstand i Nelaug er ikke direkte korresponderende med størst vannføring ved Aamfoss. Dette skyldes hvordan lukene styres, som påvirker vannstanden i magasinet i stor grad. Figur 10 viser et bilde av dam Nelaug fra flommen i 1987 hvor dammen er druknet. Vannstanden på bildet er det nest høyeste som er registrert i tidsperioden fra 1976 til i dag. Høyest vannstand i Nelaug ble registrert i 1990 (+10 cm) og den flomhendelsen svarer til den fjerde største vannføringen registrert ved Aamfoss. Flomlukene i Nelaug-dammen sto da imidlertid ikke fullt åpne. Største registrerte vannføring ved Aamfoss korresponderer med den femte høyeste vannstanden i Nelaug. 1987-flommen har ikke registreringer ved Aamfoss, men er ansett som en av de største av flommene som har forekommet i vassdraget. Tidligere utførte flomberegninger tilsier at flomhendelsen hadde et gjentakintervall på ca. 100 år. Det samsvarer godt med de vurderinger som er gjort tidligere i denne analysen.

Tabell 5 Størst registrert vannføring ved vannmerke 19.29 Aamfoss (1924-2020).

Dato	Vannføring Aamfoss (m ³ /s)	Vannføring Aamfoss (l/s/km ²)
03.11.1953	1188	375
05.10.1938	848	267
15.09.2015	820	259
21.06.1933	815	257
24.11.1949	784	247

Tabell 6 Størst registrert vannstand ved vannmerke 19.98 Nelaug. Tabellen inkluderer alle registrerte vannivåer uavhengig av lukestyring ved dammen.

Dato	Vannstand Nelaug (moh.)	Vannføring Aamfoss (m ³ /s)	Vannføring Aamfoss (l/s/km ²)
07.07.1990	141.17	569	179
17.10.1987	141.07	900 ³	262
15.11.1993	140.84	91	29
21.09.1981	140.80	370	117
16.09.2015	140.50	820	259



Figur 10 Dam Nelaug fra flommen i 1987.

2.7 Beregning av kulminasjonsfaktor

Flomstørrelsene beregnet i avsnittene over gjelder for gjennomsnittlig vannføring over ett døgn, men maksimal flomstørrelse vil alltid være større enn døgnmiddelferden. Fortrinnsvis fastsettes forholdet mellom maksimal flomstørrelse og døgnmiddelflom ved å analysere de største flomhendelsene som har forekommet i vassdraget. Alternativt kan NVEs formelverk for beregning av kulminasjonsfaktor benyttes. For store felt med høy effektiv sjøprosent er det kjent at formelverket til NVE gir urealistiske verdier og metoden er ikke benyttet i denne kartleggingen. Isteden er forholdet mellom kulminasjonsflommer og døgnflommer ved vannmerke 19.29 Aamfoss benyttet. Vannmerket har timesmålinger på vannføring i perioden fra 2009 og frem til 2020 og det er gjort en sammenligning av timedata mot døgnndata i denne perioden. Det er generelt sett liten variasjon mellom kulminasjonsfaktor ved ulike flomhendelser og gjennomsnittet ved de største flommene er 1,15. Til sammenligning har de to største flomhendelsene, som begge forekom i 2015 en kulminasjonsfaktor på 1,25 og 1,05.

Videre i denne flomsonekartleggingen er det valgt å benytte et forholdstall mellom døgnmiddelflom og kulminasjonsflom på 1,15.

³ Registrert ved dam Nelaug

2.8 Valg av flomstørrelse og vurdering av klimapåslag

Flomstørrelse for Nidelva ved Nelaug er vurdert ved frekvensanalyse på utvalgte vannmerker med målinger fra vassdraget. Det er valgt å vektlegge målinger fra vannmerke 19.29 Aamfoss.

På grunn av ulike praktiseringer av vannstandsregulering i vassdraget, er ulike tidsperioder vurdert og sammenlignet. Tidsperioden fra 1970-2020 har reguleringsforhold som best beskriver dagens situasjon ved gjentakintervall på 20 og 200 år. Ved fastsettelse av flomverdi i vassdraget er det derfor valgt å legge denne tidsperioden til grunn. Valgte flomverdier for Nidelva ved Nelaug er presentert i Tabell 7. Sammenlignet med tidligere flomberegninger i vassdraget ligger den spesifikke vannføringen lavere. Det skyldes at regulerte vannføringer i større grad er vektlagt, siden vi i denne sammenhengen ser på lavere gjentakintervall.

Tabell 7 Beregnet flomvannføringer for Nidelva (Simonstad) ved Nelaug.

Gjentaksintervall (år)	Spesifikk døgnavnføring (l/s/km ²)	Døgnavnføring (m ³ /s)	Kulminasjonsvannføring (m ³ /s)
20-årsflom (Q ₂₀)	188	620	713
200-årsflom (Q ₂₀₀)	287	947	1089

Klimaframskrivninger for Norge tilsier økning i fremtidig temperatur og nedbør. Agder-fylkene er dominert av regnflommer på høsten og dels tidlig på vinteren, og det er forventet at denne tendensen vil være mer markant i fremtiden. NVE anbefaler 20% klimapåslag for alle større nedbørfelt i regionen, og minimum 20% klimapåslag for nedbørfelt mindre enn 100 km² og som reagerer raskt på styrtregn. Det påpekes at størst endring er forventet i kystnære områder (20-30%), mens høytliggende nedbørfelt i innlandet vil oppleve mindre endringer.

Klimapåslag er ikke et krav, men er på generelt grunnlag anbefalt av NVE ved prosjektering av varige tiltak i tilknytning til vassdrag. På bakgrunn av NVEs siste rapporter for klimaendringers effekt på flommer anbefaler Norconsult at det benyttes 20% klimapåslag ved tiltak i tilknytning til Nidelva ved Simonstad-Nelaug. Kulminasjonsvannføring for 20-årsflom og 200-årsflom inkludert klimapåslag (20%) er presentert i Tabell 8.

Tabell 8 Kulminasjonsvannføring ved Nidelva (Simonstad) ved Nelaug med og uten klimapåslag.

Gjentaksintervall (år)	Kulminasjonsvannføring (m ³ /s)	Kulminasjonsvannføring inkl. 20% klimapåslag (m ³ /s)
20-årsflom (Q ₂₀)	713	856
200-årsflom (Q ₂₀₀)	1089	1307

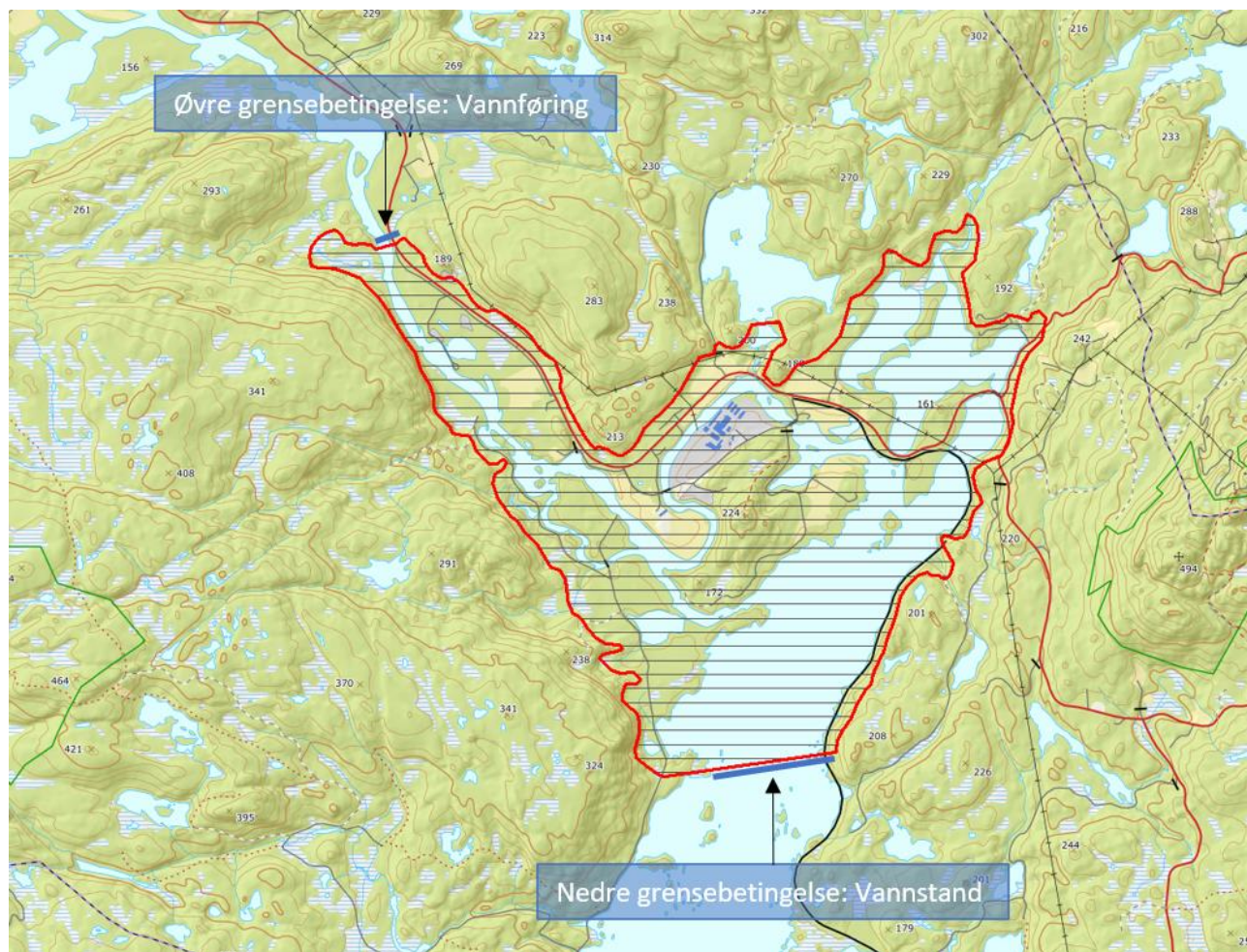
3 Hydraulisk vannlinjemodell

3.1 Beregningsmodell og datakvalitet

Vannstandsstigning, flomutbredelse og vannhastigheter i Nidelva ved Simonstad er beregnet ved bruk av en 2-dimensjonal hydraulisk modell i dataprogrammet HEC-RAS. Grunnlaget for modellen er laserdata over området som er målt opp i 2017. Oppmålingen har en nøyaktighet / tetthet på 5 pkt. per kvadratmeter. Oppmålingen er tradisjonell lasermåling gjort fra fly og dataene er lastet ned fra «hoydedata.no». Alle høydene i modellen refererer til høydedatum NN2000.

Tradisjonell oppmåling fra fly klarer ikke å registrere elvebunnen der vanddybden er stor. For å gjengi elvebunnen på en akseptabel måte er det derfor også utført dybdemålinger i vassdraget. Dybdemålingene er utført av HydraTeam i forbindelse med denne kartleggingen.

Vannstand, vannføring og vannhastighet i modellen beregnes mellom celler i et «beregningsmesh». Cellestørrelsen i modellen varierer, men, i elveløpet og på elvebredden er cellestørrelsen 10x10 meter. Flatere områder i modellen, og områder som ikke oversvømmes har cellestørrelse på 20x20 meter. Kritiske overganger eller markante formasjoner i terrenget, slik som veger, har mindre celle-størrelse gjennom bruk av «break lines». Modellen er satt opp til å beregne strømning med ligningssettet «SWE-ELM» og krav om at Courant-tallet i beregningene ikke skal overstige 1,0. Et oversiktskart med markering av det analyserte området er vist i Figur 11.



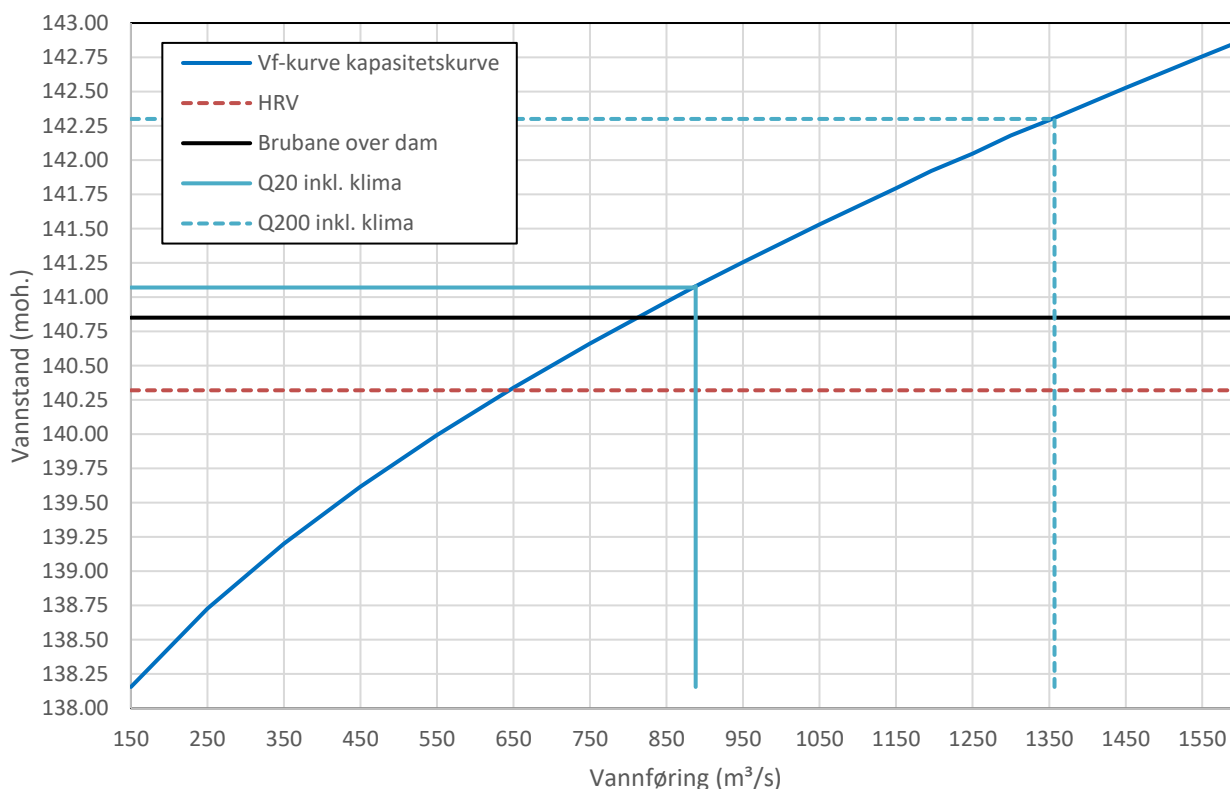
Figur 11 Oversiktskart med markering av analyseområdet ved Simonstad.

3.2 Grensebetingelser og friksjonsforhold

Vannlinjemodellen er satt opp med en øvre og en nedre grensebetingelse, hvor oppstrøms grensebetingelse er beregnet flomvannføring i vassdraget. Flomvannføringen er momentanverdi for flom, som presentert i Tabell 8.

Vannlinjemodellen avsluttes i Nelaug-magasinet og vannstanden her bestemmes av hvordan lukene reguleres. Nedre grensebetingelse i modellen er satt til en fast vannstand som er vurdert fra kapasitetskurven til dammen. Kapasitetskurven som ble lagt til grunn i flomberegningen for dammen vurderes som konservativ for høye vannføringer, da denne var basert på en ekstrapolasjon av korresponderende observasjoner av vannstand og vannføring ved fullt åpne luker. Denne kurven er vist med markering av 20- og 200-årsflom inkludert klimapåslag i Figur 12. Nedbørfeltet til dam Nelaug er 3,8% større enn feltet til Nidelva ved Nelaug og vannføringen er arealskalert. Det gir vannføring med korresponderende vannstand som presentert i Tabell 9.

Vannstanden ved dam Nelaug påvirkes imidlertid av nedstrøms forhold og ved stor vannføring er det opplyst at bestemmende tverrsnitt ligger ved Lillefossen, 1-1,5 km nedstrøms dammen. For vannføring opp til 900 m³/s (ca. 100-årsflom) betraktes denne kapasitetskurven som god, men ved økende vannføring er kurven usikker. Estimerte vannstander ved 200-årsflom og 200-årsflom inkl. klimapåslag fra denne ekstrapolerte kurven betraktes som svært konservative, og det er derfor utført en kontroll av kapasitetskurven.



Figur 12 Vannføringskurve for dam Nelaug (NN1954).

Tabell 9 Vannstand i Nelaug-magasinet basert på kapasitetskurve.

Flomsituasjon	Vannføring (m ³ /s)	Vannstand (moh.)	Vannstand over damkrone (m)
20-årsflom	741	140.62	-0.23
20-årsflom inkl. 20% klimapåslag	888	141.07	+0.22
200-årsflom	1130	141.75	+0.90
200-årsflom inkl. 20% klimapåslag	1357	142.30	+1.45

For å gjøre en kontroll på vannføringskurven fra flomberegningen er det satt opp en vannlinjemodell på strekningen fra dam Nelaug og forbi Lillefossen. Kartgrunnlaget på strekningen er mangelfullt, og bunnivåer i elva er ikke tilgjengelig. Modellen er derfor basert på overflateterreng med noen manuelle korrigeringer. Som en konsekvens av dette vurderes modellen som noe konservativ med tanke på vannivå. Utførte beregninger med vannlinjemodellen tilsier at kapasitetskurven til dam Nelaug, som er lagt til grunn i flomberegningen, gir for høye vannstander ved stor vannføring. En oversikt og sammenligning av beregnet vannstand i Nelaug ved 200-årsflom med og uten klimapåslag er vist i Tabell 10.

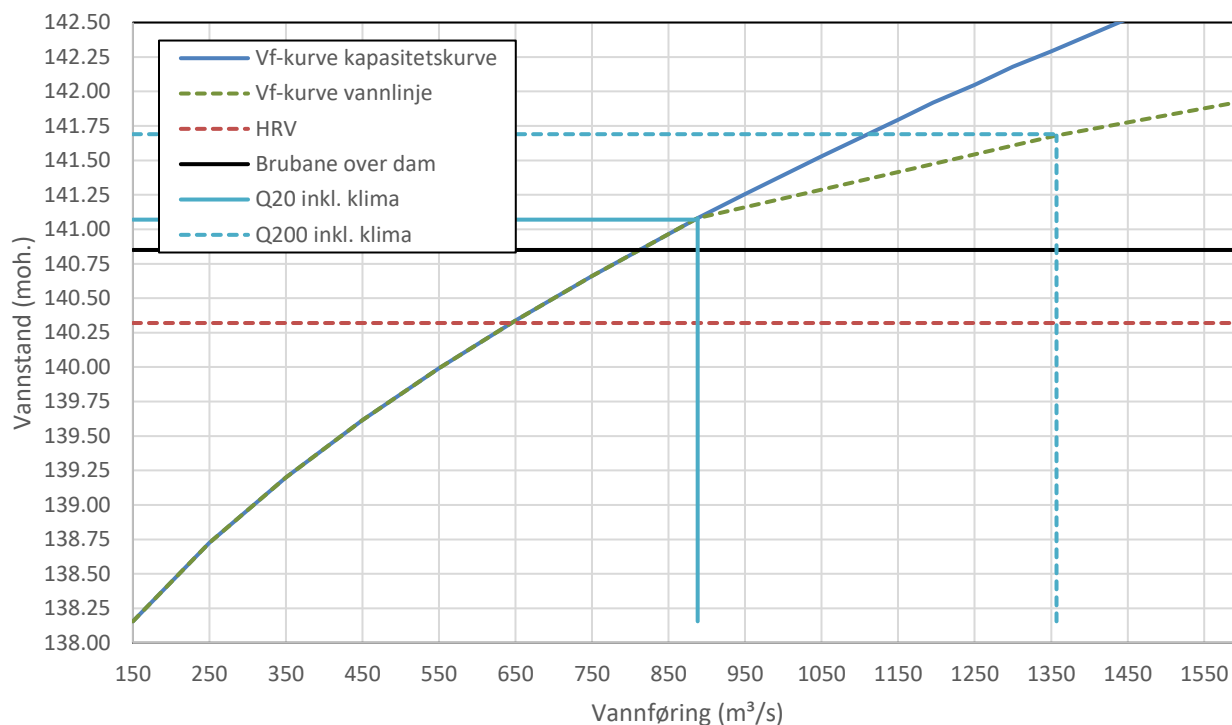
Det er vurdert at vannlinjemodellen gir mer realistiske vannstander enn kapasitetskurven når vannføringen blir tilstrekkelig stor. Som nedstrøms grensebetingelse i flomsonekartleggingen er det derfor valgt å legge kapasitetskurven fra flomberegningen for dammen til grunn for vannføringer som er lavere enn 900 m³/s og vannlinjemodellen for vannføringer som er større. Nedstrøms grensebetingelse benyttet i modellen er presentert i Tabell 11. En revidert kapasitetskurve som viser resultater fra både flomberegningen og vannlinjemodellen er vist i Figur 13.

Tabell 10 Sammenligning av beregnet vannstand i Nelaug-magasinet med vannlinjemodell og kapasitetskurve.

Flomsituasjon	Vannføring (m ³ /s)	Vannstand ekstrapolert kapasitetskurve (moh.)	Vannstand vannlinje (moh.)	Differanse (m)
200-årsflom	1130	141.75	141.35	0.40
200-årsflom inkl. klimapåslag	1357	142.30	141.69	0.61

Tabell 11 Nedre grensebetingelse benyttet i flomsonekartlegging.

Flomsituasjon	Vannstand (moh.)	Vannstand over damkrone (m)
20-årsflom	140.62	-0.23
20-årsflom inkl. 20% klimapåslag	141.07	+0.22
200-årsflom	141.35	+0.50
200-årsflom inkl. 20% klimapåslag	141.69	+0.84



Figur 13 Sammenligning mellom kapasitetskurve fra flomberegning og vannlinjemodell.

Friksjonsforhold

Friksjonsforholdene i vassdraget er hovedsakelig vurdert ut fra kartdata og flyfoto. Vannhastighetene er forholdsvis lave og varierer mellom 0,5 m/s og 2 m/s i store deler av det modellerte området. Enkelte strekninger der det er smalt eller der det er mindre stryk opplever høyere hastighet. Generelt sett betraktes strømningsforholdene som rolige.

Elvebredden langs vassdraget består enten av skog, jordbruksområder eller industriområde. Bebyggelsen langs Nidelva ligger spredt, men enkelte bygninger ligger nært vassdraget. Bygninger er inkludert i modellen som en del av terrenget slik at vann ikke kan renne gjennom, men blir tvunget rundt.

Friksjonsfaktoren for beregningsstrekningene er basert på Manningstall (n), og varierer fra 0,02 der det er veger til 0,08 i skogområdene. Manningstallet i elveløpet er satt til 0,025 ($M=40$). Inndeling av arealsoner er basert på arealressurskart fra Statens kartverk, mens valg av Manningstall er gjort med utgangspunkt i vassdragshåndboka til NVE. En oversikt over Mannings-tall benyttet i modellen er vist i Tabell 12.

Tabell 12 Oversikt over Mannings-tall benyttet i vannlinjemodellene.

Arealtype	Manningstall n (M)
Bebygd	0.025 (40)
Infrastruktur	0.020 (50)
Beitemark	0.045 (22.2)
Fastmark	0.055 (18.2)
Ferskvann	0.025 (40)
Dyrket jord	0.05 (20.0)
Skog	0.08 (12.5)
Myr	0.065 (15.4)

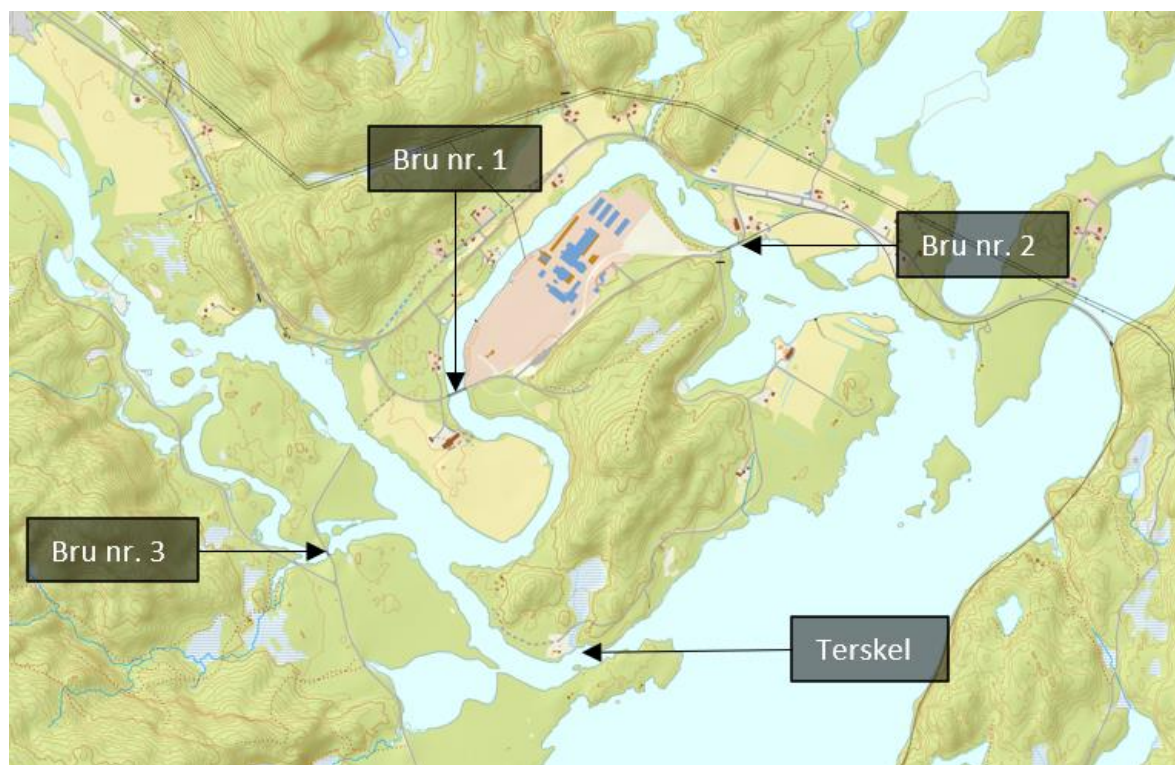
3.3 Dybdeforhold i vassdraget

Laserkartlegging med tradisjonell laser kan ikke kartlegge under vann og det vil gi konservative resultater hvis elvebunnen i modellen ikke tilpasses. I forbindelse med denne flomsonekartleggingen har HydraTeam utført oppmålinger av elvebunnen i vassdraget. Oppmålingene er lengdesnitt i hovedløpene og tverrprofiler på utvalgte og kritiske steder. Oppmålinger er benyttet til å tilpasse bunnforholdene i vassdraget slik at de er mest mulig riktige. Der vandedybene er store og ikke vil påvirke flomforholdene er et fast bunnivå benyttet. Beskrivelse av oppmåling med rapport fra HydraTeam ligger vedlagt i Bilag 2.

3.4 Infrastruktur i vassdraget

Det er tre bruer som krysser vassdraget ved Simonstad som også er inkludert i vannlinjemodellen. Dette er vegbruer som er adkomstveger til industriområdet (Bru 1 og Bru 2), og en lokalveg som krysser et sideløp til Nidelva. Bruene er markert på kart i Figur 14, mens bilder av bruene ligger vedlagt i Bilag 3. Bru 1 og Bru 2 har brudekker som er 1,5 meter tykke, mens brudekket til bru nummer 3 er 70 cm tykt.

I det sørlige innløpet til Nelaug-magasinet er det en eldre terskel som trolig er etablert i forbindelse med tømmerfløting i vassdraget. Ved stor vannføring er terskelen druknet, og den kommer ikke frem på laserdata over området. Terskelen er inkludert i modellen og høyden til terskelen er satt til 138.8 moh. og er basert på innmålinger av vannstand på opp- og nedstrøms side av terskelen.



Figur 14 Oversiktskart med markering av bruer i vassdraget.



Figur 15 Terskel før utløpet i Nelaug-magasinet.

3.5 Kalibrering av vannlinjemodell

For å kvalitetssikre at vannlinjemodeller regner riktig, er det ønskelig å kunne sammenligne kjente vannstander med kjente vannføringer. Ved beregning av flomsoneer i Nidelva ved utløpet i Nelaug er ikke kalibreringsdata tilgjengelig oppstrøms Nelaug-magasinet. For magasinet er vannstander registrert og største registrerte hendelse tilsvarer en 100-årsflom. Modellen oppstrøms Nelaug-magasinet har dermed en grad av usikkerhet.

4 Resultat og konklusjon

Flomsonekart som viser flomutbredelse langs Nidelva ved utløpet i Nelaug ligger vedlagt i Bilag 1. Kartene viser flomutbredelse og vannstand for 20- og 200-årsflom, med og uten klimapåslag (20% økt vannføring). Videre i dette kapittelet følger en kortfattet beskrivelse av flomkonsekvensene som er forventet i vassdraget.

Flom i vassdraget tilsvarende 20-årsflom gir betydelig økt vannstand i vassdraget som vil oversvømme lavtliggende områder. Normalvannstand i Nelaug-magasinet er 139 moh. og nivået er forventet å være marginalt høyere ved Simonstad. En 20-årsflom inkludert klimapåslag er beregnet å gi et vannstands nivå på 141.07 i Nelaug-magasinet, og 141,5-120.2 moh. på strekningen forbi Simonstad. Flomsituasjonen med klimapåslag gir 0,5 meter høyere vannstand enn en tilsvarende flom uten klimapåslag.

Vannstandsstigningen gjør at deler av industriområdet på Jordøya blir berørt og to stk.-lagerbygg vil oppleve vann mor grunnmur. I tillegg vil enkeltstående fritidsboliger med tilhørende bygg bli berørt.

200-årsflom inkludert klimapåslag gir ytterligere vannstandsstigning slik at vannstanden forbi Simonstad varierer fra 142,3-143,2. Vannstandsstigningen fører til økt oversvømmelse slik at en større del av industriområdet og totalt syv bygninger berøres.

Flom i vassdraget vil berøre mindre lokalveger som går langs vassdraget, samt Simonstadvegen der denne krysser Nelaug-magasinet. Adkomstvegene (bru 1 og bru 2) til Jordøya har forholdsvis god avstand til elveløpet, men det er forventet at Bru 1 vil bli berørt av en 200-årsflom inkludert klimapåslag. Bru nummer 3 er betydelig mindre og vil oppleve oversvømmelse allerede ved en 20-årsflom.

5 Diskusjon og vurdering av resultatet

5.1 Vurdering av kvalitet

Kvalitet på hydrologisk grunnlag

Som en del av utførte flomberegninger i vassdraget er det hydrologiske grunnlaget vurdert. Det ligger flere målepunkt for vannføring både opp- og nedstrøms beregningsstrekningen, og datagrunnlaget ansees som godt (datakvalitetsklasse 1).

Varigheten til den vektlagte måleserien varierer fra 50 til 95 år, avhengig av reguleringsgrad. Det vurderes som en akseptabel serielengde, selv om det er forholdsvis kort tid sammenlignet med en 200-årsflom.

Kvalitet på GIS-grunnlag

Terrenggrunnlaget benyttet i modellen er en kombinasjon av bunnoppmåling og laserdata av terrenget over vann. Kvaliteten på oppmålingene vurderes som god og dekker analyseområdet på en akseptabel måte.

Beregningskvalitet

Det eksisterer ikke kalibreringsdata for analyseområdet ved Simonstad og kvaliteten til vannlinjemodellen er derfor vanskelig å kontrollere i dette området. Samtidig er det kjente vannivåer i Nelaug-magasinet like nedstrøms og usikkerheten vurderes som «lite følsom» tilsvarende klasse C (jfr. forslag til ny NVE-veileder som var på høring i mai 2021).

5.2 Sensitivitet

Ved bruk av flomsonekart til fremtidig arealplanlegging anbefaler NVE at det benyttes en sikkerhetsmargin for å ta hensyn til potensielle usikkerheter i beregningene. Hvordan usikkerheten hensyntas varierer, og kan både være et fast påslag i høyde eller en prosentvis økning av vannføring. Hvilken metode som benyttes varierer og avhenger av følsomheten til modellen og vassdragets naturlige form/størrelse.

NVE har en generell anbefaling om sikkerhetsmargin på 30-50 cm som tradisjonelt har blitt benyttet. En alternativ metode er å vurdere usikkerheten gjennom følsomheten til vannlinjemodellen og usikkerheten i det hydrologiske grunnlaget. For denne flomkartleggingen ligger det hydrologiske grunnlaget i klasse 1, mens kvaliteten til vannlinjemodellen vurderes til C. Det tilsier at sikkerhetspåslaget til vannføringen skal være 15%. Kvalitetsklasse E, er dårligste klasse og tilsier 25% økt vannføring. En sammenligning av vannstandsstigning mot ulik vannføring er presentert i Tabell 13 og Tabell 14. Variasjon i vannføring på mellom 15-25% gir en vannstandsstigning fra 200-årsflom inkludert klimapåslag på 0,19-0,56 meter avhengig av plassering i vassdraget.

Tabell 13 Sammenligning av økt vannføring og vannstandsstigning

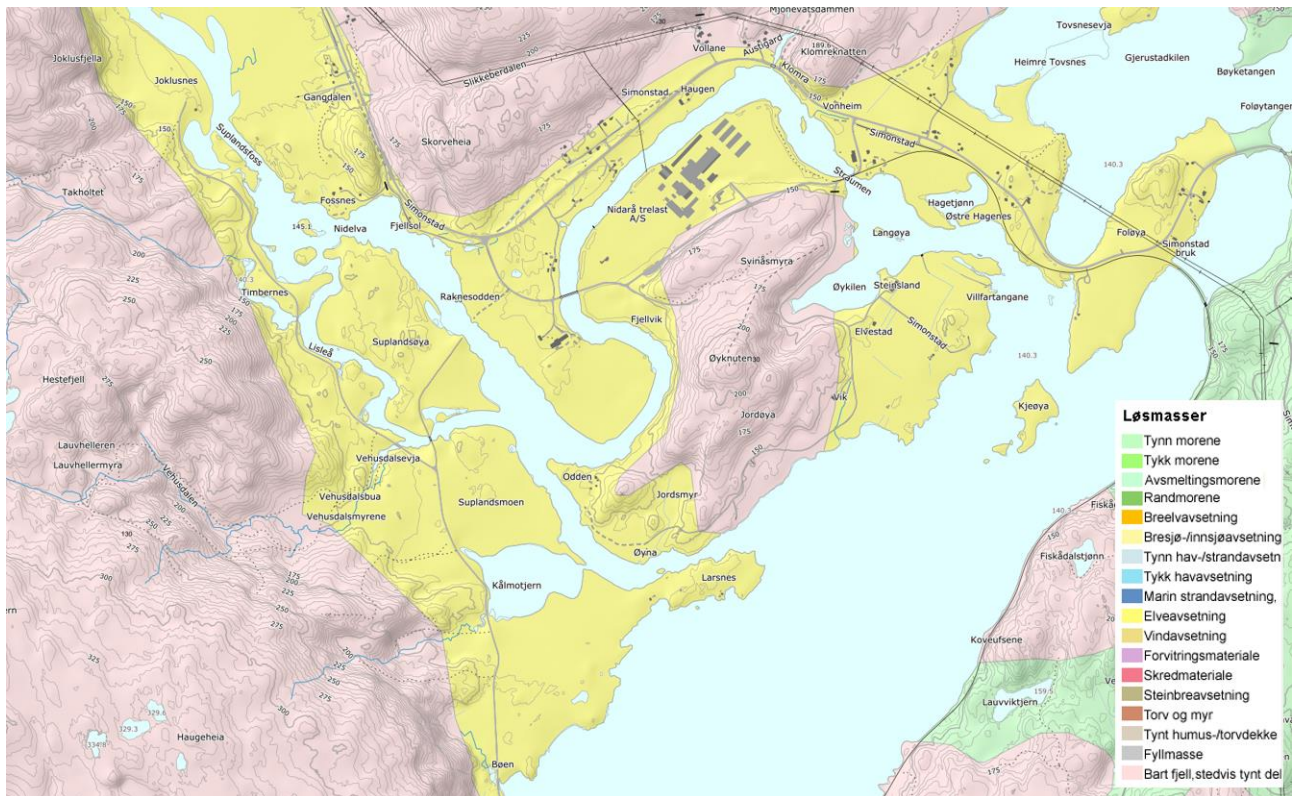
Flomsituasjon	Vannføring (m/s)	Økning i %	Vannstandsstigning Simonstad (m)	Vannstandsstigning Nelaug (m)
Q ₂₀	741	-	0	0
Q ₂₀ x 1.2	888	20%	0.50	0.45
Q ₂₀₀	1130	50%	0.95	0.73
Q ₂₀₀ x 1.2	1357	80%	1.38	1.07

Tabell 14 Vannstandsstigning hvis 200-årsflom inkl. klimapåslag ilegges sikkerhetspåslag i form av vannføring.

Flomsituasjon	Sikkerhetspåslag vannføring	Vannføring (m/s)	Vannstandsstigning Simonstad (m)	Vannstandsstigning Nelaug (m)
Q ₂₀₀ x 1.2	0%	1357	0	0
Q ₂₀₀ x 1.2	15%	1560	0.35	0.19
Q ₂₀₀ x 1.2	25%	1696	0.56	0.35

5.3 Risiko for erosjon

Elvebredden langs Nidelva er elveavsetninger hovedsakelig i form av sand og grus. Det er ikke gjort noen geoteknisk vurdering, men faren for store erosjonsskader og ras vurderes ofte som små der morenelaget er tynt eller der det er bart fjell. Områder med tykkere morene eller breelavsetninger er på generelt grunnlag mer utsatt for erosjonsskader. Samtidig er det en tydelig sammenheng mellom erosjonsskader og vannhastighet, og mer utsatte masser ligger ofte der vannhastigheten er lavere. For elvebredden langs Nidelva mot utløpet i Nelaug-magasinet er det pågående erosjonsprosesser og elva graver naturlig i yttersvinger. Ved større flomhendelser vil det være risiko for erosjonsskader og at elva eroderer frem nye elveløp. Flomsonekartleggingen tar ikke hensyn til endringer i terrenget etter kartlegging, og tar heller ikke hensyn til erosjonsskader eller sedimentering som kan forekomme i løpet av en flomhendelse. Laserkartlegging er gjort i 2017 og betraktes som forholdsvis nye i kombinasjon med bunnoppmålinger våren 2021. Det er ingen kjente endringer i vassdraget siden oppmålingstidspunktet. Løsmassekart for området er vist i Figur 16.



Figur 16 Løsmassekart for Nidelva ved Nelaug.

5.4 Usikkerheter

Flomberegning

Det vil alltid være usikkerheter knyttet til beregninger av flomvannføring. Både fordi registrering av flomdata ved målestasjoner inneholder unøyaktigheter og fordi måleperioden ikke er tilstrekkelig lang for å danne et sikkert grunnlag for store flommer. Denne flomberegningen er basert på én målestasjon. Dermed er beregningen sårbar for feilmålinger ved dette vannmerket. Kvaliteten på måleserien er ukjent, men serien er benyttet over lang tid og det er lite som tilsier at måleserien er unøyaktig.

Vannføringen er fastsatt med utgangspunkt i regulerte flommer og er derfor påvirket av reguleringen i vassdraget. Det er et bevisst valg og regulerte flommer vil representere flomforholdene i vassdraget bedre enn uregulerte vannføringer ved gjentaksintervall på 20 og 200 år. Uregulerte vannføringer kan gi unaturlig høye flomverdier i regulerte vassdrag. Samtidig er det kjent at betydningen av vassdragsregulering reduseres ved store gjentaksintervall. Denne flomsonekartleggingen legger regulert tilstand til grunn både for 20- og 200-årsflom. Spesielt følsom er modellen for vannstanden i Nelaug-magasinet. En situasjon med lukesvikt eller redusert avløpskapasitet kan føre til høyere vannstander i modellen som ikke kommer frem på vedlagte flomsonekart.

Vannlinjemodell

Utover fremstillingen av terrenget er usikkerhetene i den hydrauliske modellen knyttet til vurdering av friksjonsforhold og om friksjonsfaktorene som er benyttet i modellen gjenspeiler de forhold som oppstår i vassdraget. Valg av friksjonsfaktor er erfaringsbasert og kan være krevende. Samtidig er erfaringen at Manningstallet har mindre betydning hvis vannføringen og vanndybden er stor, noe som er tilfelle der Nidelva renner ut i Nelaug. Hvis Manningstallet i modellen økes med 20% tilsvarer det en vannstandsøkning på 5-10 cm.

Grensebetingelsen benyttet i vannlinjemodellen er et fast vannstands nivå fastsatt ved bruk av kapasitetskurven fra siste flomberegning og en forenklet vannlinjemodell. Mer nøyaktig beregning av avløpsflommer kan endre vannstanden som er benyttet som grensebetingelse.

6 Bilag og referanser

6.1 Bilag

1. Flomsonekart i Nelaug-Simonstad
2. Beskrivelse av bunnkartlegging
3. Infrastruktur i vassdraget

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. Norconsult (2020). *Flomberegning Nidelva*. Oppdragsnummer: 5187216 (D02/J07).