

Oppdragsgiver	Navn Asplan Viak AS	Kontaktperson Eirik Øen
Oppdrag	Nummer og navn 22547 Vang, Tyinkrysset – Flomfarevurdering for Børrenøse og Kila	Oppdragsleder Ingvild Brekke
Dokument	Nummer 22535-01-1 Utført av Ingvild Brekke	Dato 2023-01-13 Kontrollert av Mikkel Arne Kristiansen

Versjon	Dato	Utført	Kontroll	Beskrivelse
1	13.01.2023	IB	MAK	Første versjon

Flomfarevurdering

Sammendrag

I forbindelse med arbeid med reguleringsplaner for to området ved Tyinkrysset i Vang kommune er Skred AS bedt om å utføre en flomfarevurdering. Kartleggingsområdene ligger nært Tenla, Begna og noen mindre bekker som ifølge NVE sine aktsomhetskart for flom utgjør en potensiell flomfare. Krav til sikkerhet mot flom gitt av TEK17 §7-2 er lagt til grunn for vurderingene.

For kartleggingsområdet Børrenøse er dimensjonerende 20- og 200-årsflom i Tenla inkludert et klimapåslag på 20 % beregnet til henholdsvis 20 og 33 m³/s. For Børrenøse-bekken er dimensjonerende 20- og 200-årsflom med 40 % klimapåslag beregnet til 1,7 og 2,7 m³/s. For kartleggingsområdet Kila er dimensjonerende 20- og 200-årsflom i Begna med 20 % klimapåslag beregnet til 36 og 61 m³/s. For bekkene i Kila er dimensjonerende spesifikk 20- og 200-årsflom med 40 % klimapåslag beregnet til 2800 l/s*km² og 4600 l/s*km². Feltarealet er fra 0,1 til 0,4 km².

Det er etablert en hydraulisk modell for hvert av vassdragene. Modelleringen for Tenla og Børrenøsebekken viser elve-/bekkeløpene har god kapasitet. Modellen for Begna viser at vannhastigheten vil være lav inn mot kartleggingsområdet og gi et omtrent stillestående vannspeil. Modellen for bekkene i Kila viser at vannet delvis holder seg til bekkeløpet og delvis sprer seg utover i terrenget. Med unntak av Begna viser modelleringen generelt liten forskjell i oversvømt areal ved 20- og 200-årsflom.

Basert på resultater fra modelleringen og analysene er det tegnet opp faresone for flom for de vurderte områdene. Faresonen viser hvilke områder som vurderes utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK17.

Ny bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen for flom. De kartlagte strekningene av Tenla og Begna vurderes som lite erosjonsutsatt. Langs bekkene anbefales det at det settes av et 5 meter bredt vegetasjonsbelte.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Befaring	6
1.3	Forbehold	6
2	Krav til sikkerhet	7
2.1	Lovverket	7
2.2	Flom	7
2.2.1	Aktuelle krav	8
3	Beskrivelse av området, elveløp, konstruksjoner og grunnforhold	9
3.1	Kartleggingsområdet Børrenøse, bekk- og elveløp	9
3.1.1	Konstruksjoner	10
3.2	Kartleggingsområdet Kila, bekk- og elveløp	11
3.2.1	Konstruksjoner	12
3.3	Grunnforhold	13
4	Flomberegning	14
4.1	Metode	14
4.2	Beskrivelse av nedbørfelt	14
4.3	Flomfrekvensanalyse	16
4.3.1	Målestasjoner	16
4.3.2	Lokal flomfrekvensanalyse	18
4.3.3	Flomformler for små nedbørfelt	19
4.4	Nedbør-avløps-metoder	19
4.4.1	PQRUT	19
4.4.2	Den rasjonale metode	20
4.5	Klimaframskrivninger	22
4.6	Vurdering av resultater	22
4.6.1	Otrøvatn	22
4.6.2	Tenla	23
4.6.3	Bekker	23
4.7	Dimensjonerende vannføring i bekker og Tenla og dimensjonerende tilløpsflom i Otrøvatnet	24
4.8	Dimensjonerende vannføring i Begna	24
4.8.1	Flomforløp for tilløpsflom til Otrøvatn	24
4.8.2	Ruting over terskelen til Otrøvatn	25
4.8.3	Dimensjonerende vannføring for Begna ved Kiladn	27
5	Hydraulisk modellering	28
5.1	Metode	28
5.2	Oppsett av modell	28
5.2.1	Modelloppsett	28

5.2.2	Konstruksjoner	30
5.3	Modellert fremtidig 200-årsflom.....	30
5.3.1	Tenla og Børrenøs-bekken	30
5.3.2	Begna ved Kiladn	30
5.3.3	Kila-bekkene	31
5.4	Sensitivitetsanalyse	31
5.4.1	Tenla og Børrenøs-bekken	31
5.4.2	Begna ved Kiladn	31
5.4.3	Kila-bekkene	31
6	Faresoner for flom.....	32
7	Vurdering av erosjonssikkerhet	34
7.1	Erosjonssikkerhet.....	34
8	Risikoreduserende tiltak.....	35
9	Konklusjon	36
10	Referanser	37

Figurer

Figur 1:	Beliggenheten til de vurderte områdene, ved Tyinkrysset i Vang kommune.	6
Figur 2:	Oversiktskart over kartleggingsområdet Børrenøse, Tenla og vurdert bekk (markert med svart pil).....	9
Figur 3:	Representative bilder av Tenla i kartleggingsområdet.	10
Figur 4:	Representative bilder av bekkeløpet til Børrenøs-bekken.	10
Figur 5:	Stikkrenna til Børrenøs-bekken.....	10
Figur 6:	Oversiktskart over kartleggingsområdet Kila, Begna og vurderte bekker.	11
Figur 7:	Begna er stilleflytende ved kartleggingsområdet.	12
Figur 8:	Bekkeløpet rett etter samløpet til bekk 1 og bekk 2.....	12
Figur 9:	Bekk 3/4 ved skiheisen.....	12
Figur 10:	Stikkrenna til bekk 1-2.....	13
Figur 11:	Stikkrenna til bekk 3-4.....	13
Figur 12:	Løsmassekart, NGU	13
Figur 13:	Feltgrensene til Tenla, Otrøvatn og Begna ved vurdert område.	15
Figur 14:	Feltgrensene til de to vurderte bekkene.....	16
Figur 15:	Lokasjon til utvalgte målestasjoner.	17
Figur 16:	Hypsografisk kurve til Otrøvatn og vurderte målestasjoner.....	18
Figur 17:	Resultater fra PQRUT for Otrøvatn, 200-årsflom.....	20
Figur 18:	Ulike flomforløp, 200-årsflom.....	25
Figur 19:	Overløpsterskelen ved utløpet av Otrøvatn.	26
Figur 20:	Vannføring og vannstand over terskelen.....	27
Figur 21:	Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser i modellene for Tenla og Børrenøs-bekken.....	29

Figur 22: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser for Begna ved Kiladn. Den lilla streken er grensa for kartleggingsområdet.	29
Figur 23: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser for bekkene i Kila. Kartleggingsområdet er markert i lilla.	30
Figur 24: Faresone som viser områder utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F1 og F2) i kartleggingsområdet Børrenøse.	32
Figur 25: Faresone som viser områder utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F1 og F2) i kartleggingsområdet Kila.	33

Tabeller

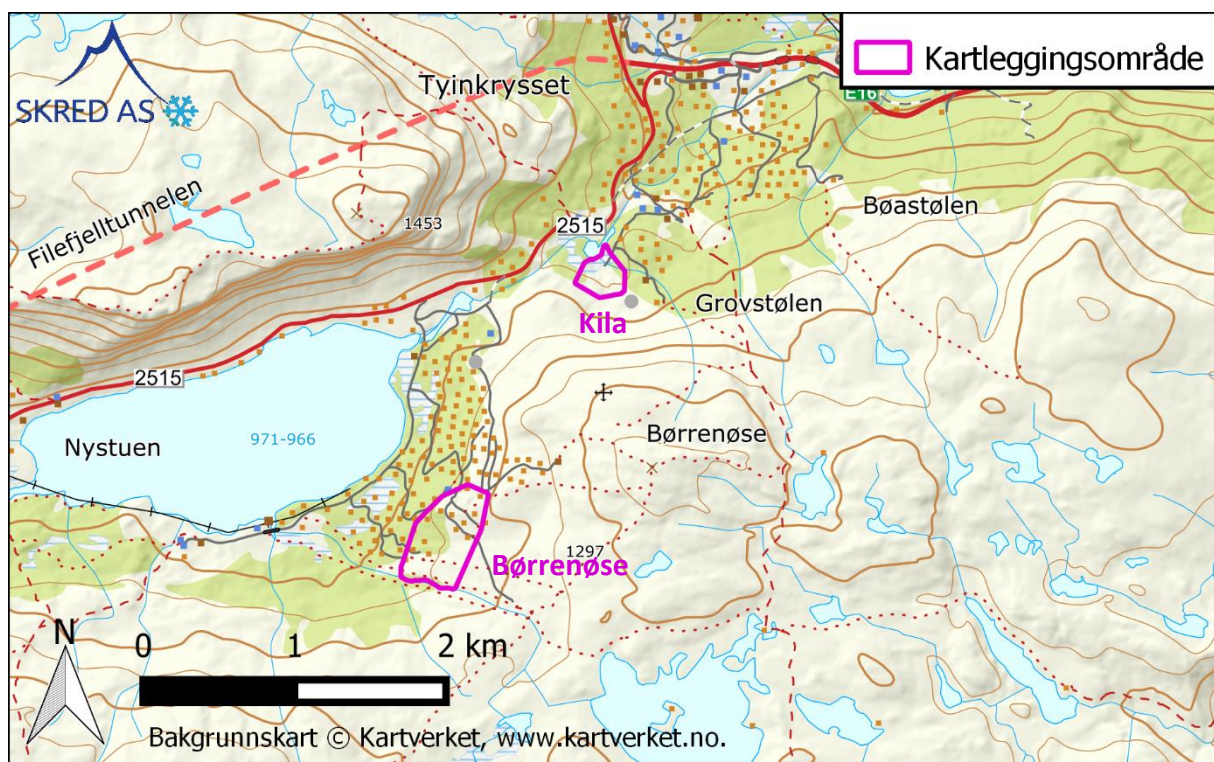
Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggt teknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018).	7
Tabell 2: Feltkarakteristika til Tenla og Begna.	14
Tabell 3: Utvalgte målestasjoner som er vurdert representative for Begna og Otrøvatnet. ..	17
Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier, findata.	18
Tabell 5: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier, døgndata.	18
Tabell 6: Resultater fra flomformelverket for små nedbørfelt (kulminasjon).	19
Tabell 7: Resultater fra frekvensanalyse på nedbør.	20
Tabell 8: Sammenligning av aktuelle IVF-kurver og målinger.	21
Tabell 9: Benyttede parametere og resultater fra beregninger med den rasjonale metoden (kulminasjon).	21
Tabell 10: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder for Otrøvatn (kulm.).....	22
Tabell 11: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder (kulm.) for Tenla.	23
Tabell 12: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder (kulm.) for bekkene.	23
Tabell 13: Dimensjonerende flom i Tenla og bekkene, og dimensjonerende tilløpsflommer for Otrøvatnet. Alle vannføringer er kulminasjonsvannføring.	24
Tabell 14: Dimensjonerende flom fordelt på bekkeløpene inn i kartleggingsområdet Kila. Nummereringa viser til Figur 6.	24
Tabell 15: Parametere benyttet i ruting over terskelen i Hec-Ras.....	26
Tabell 16: Dimensjonerende flommer inkl. klimatillegg for vurdert strekning av Begna.	27
Tabell 17: Parametere benyttet i Hec-Ras modeller.	28

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I forbindelse med arbeid med reguleringsplaner ved Tyinkrysset i Vang kommune er Skred AS bedt om å utføre en flomfarevurdering av to områder. Det ene området ligger sør for Otrøvatnet. Bekken Tenla ligger i sør innenfor det vurderte område og en navnløs bekk krysser sentralt i området, mot Otrøvatnet. Begge utgjør potensielle flomfarer ifølge NVE sine aktsomhetskart for flom. Det andre området ligger ved Kila der Begna og flere mindre bekker utgjør potensielle flomfarer innenfor området. Krav til sikkerhet mot flom gitt av TEK17 §7-2 skal legges til grunn for vurderingene.

Beliggenheten til de vurderte områdene er vist på Figur 1.



Figur 1: Beliggenheten til de vurderte områdene, ved Tyinkrysset i Vang kommune.

1.2 Befaring

Befaring av brua over Begna ble utført 15.11.2022 av Ingvild Brekke (Skred AS). Det var lett regn-/snøvær og bart i terrenget. Registreringer ble gjort til fots.

1.3 Forbehold

Flomvurderinger er gjort ut fra terreng og vegetasjon slik det fremsto på vurderingstidspunktet. Hvis terreng eller vegetasjon endres betydelig, kan det ha betydning flomforholdene. Det kan innbefatte fysiske endringer i vassdraget eller endring i klimaframskrivninger. Da anbefales det å utføre en ny vurdering.

Informasjon om tidligere flomhendelser er viktige for vurderingene. Dersom det kommer mer informasjon om tidligere hendelser, bør det tas med i betraktningene.

2 Krav til sikkerhet

2.1 Lovverket

Plan- og bygningsloven § 28-1 stiller krav om tilstrekkelig sikkerhet mot fare for nybygg og tilbygg:

«Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak.»

2.2 Flom

Byggteknisk forskrift TEK17 § 7-2 definerer krav til sikkerhet mot flom og stormflo for nybygg. Paragrafen gjelder for saktevoksende flommer som normalt ikke medfører fare for menneskeliv. Sannsynligheten i tabell 1 angir største årlige sannsynligheten for flom. Byggverk skal plasseres, dimensjoneres eller sikres i henhold til aktuell sikkerhetsklasse. I veilederen til TEK17 gis retningsgivende eksempler på byggverk som kommer inn under de ulike sikkerhetsklassene for flom (DiBK, 2018).

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggteknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018).

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

Sikkerhetsklasse F1 omfatter byggverk der oversvømmelse har liten konsekvens, både økonomisk og samfunnsmessig. Det innebærer byggverk med lite personopphold som garasjer og lagerbygninger.

Sikkerhetsklasse F2 omfatter tiltak der flom vil føre til middels konsekvenser. Dette innebærer de fleste byggverk beregnet for personopphold som bolighus, hytter, kontorer, skoler og barnehager. Det kan tillates større økonomiske konsekvenser, men kritiske samfunnsfunksjoner skal ikke påvirkes.

Sikkerhetsklasse F3 omfatter tiltak der flom vil føre til store konsekvenser. Sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan påføre omgivelsene stor forurensning ligger innenfor sikkerhetsklassen. Sykehjem, beredskapsfunksjoner, kritisk infrastruktur og avfallsdeponier er nevnt som eksempler.

I paragrafens fjerde ledd er det gitt at byggverk skal plasseres eller sikres slik at det ikke oppstår skade ved erosjon. Avstanden til erosjonsutsatt elvekant bør være minst like stor som høyden på elvekanten og ikke under 20 meter. Dersom vassdraget sikres mot erosjon kan avstanden være mindre.

2.2.1 Aktuelle krav

I retningslinjene til TEK17 er det gitt ulike eksempler, beskrevet på forrige side, på hva slags bebyggelse som ligger innenfor de ulike sikkerhetsklassene mot flom. I utgangspunktet virker sikkerhetsklasse F1 og F2 aktuelle for planlagt tiltak.

3 Beskrivelse av området, elveløp, konstruksjoner og grunnforhold

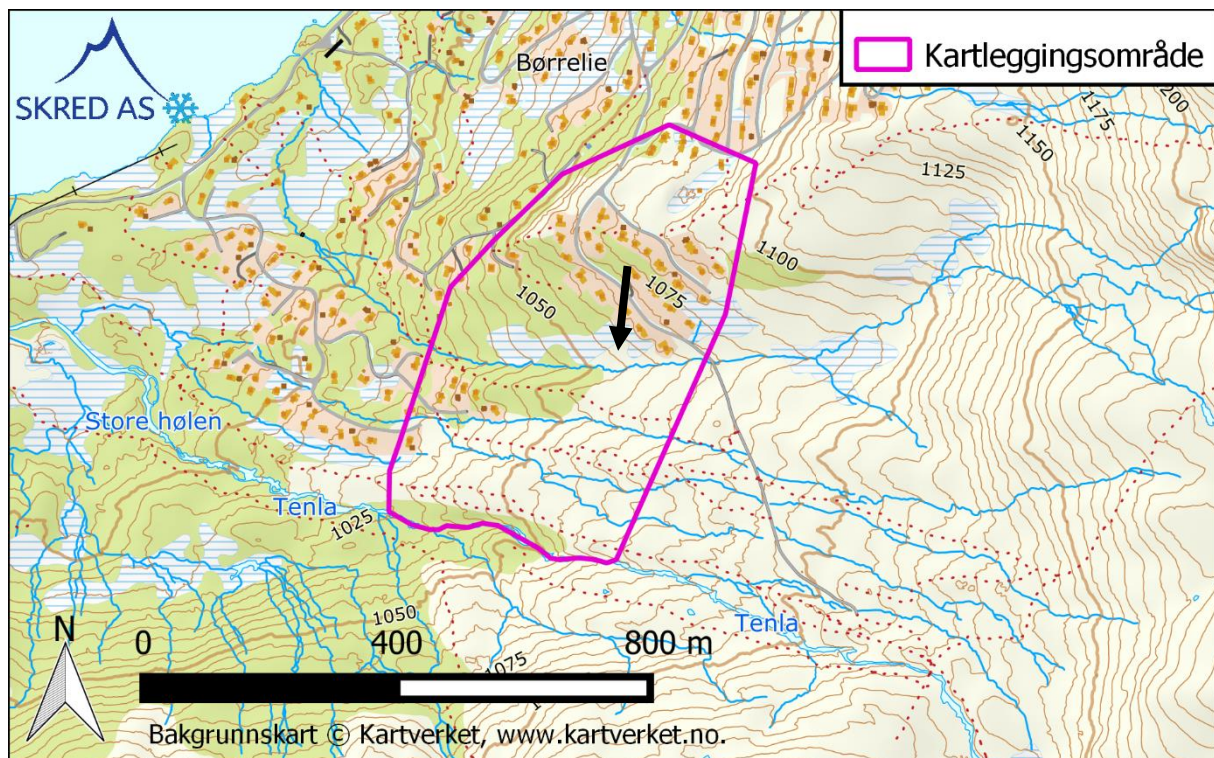
3.1 Kartleggingsområdet Børrenøse, bekk- og elveløp

Elva Tenla utgjør søndre grense for kartleggingsområdet Børrenøse. I tillegg til dette er det en bekk av betydning lenger nord i kartleggingsområdet, heretter omtalt som Børrenøsbekken. Kartleggingsområdet er omtrent 400 meter langt.

Tenla renner i stor grad på berg med noe blokker/store steiner i løpet. Elva går i tillegg i et markert søkk i terrenget. Potensialet for massetransport vurderes som lite til ikke-eksisterende. Også Børrenøsbekken renner i et markert søk. Bekken renner delvis på berg og ellers består bunnen av løsmasser i varierende størrelse. Sidene av bekkeløpet består av vegetasjon. Potensialet for massetransport under flom vurderes som lite.

De andre bekkene som er markert på kartet har nedbørfelt på mindre enn 20 ha, og fremstår mer som søkk enn bekker i terrenget. Det anbefales at disse håndteres som flomveier i en reguleringsplan for området.

Figur 2 viser et oversiktskart over kartleggingsområdet Børrenøse, mens Figur 3 og Figur 4 viser bilder av Tenla og Børrenøsbekken.



Figur 2: Oversiktskart over kartleggingsområdet Børrenøse, Tenla og vurdert bekk (markert med svart pil).



Figur 3: Representative bilder av Tenla i kartleggingsområdet.



Figur 4: Representative bilder av bekkeløpet til Børrenøs-bekken.

3.1.1 Konstruksjoner

Børrenøs-bekken passerer en vei gjennom ei stikkrenne i oppstrøms ende av kartleggingsområdet. Stikkrenna har en diameter på 900 mm, og kapasiteten anslås til 1,2 m³/s basert på nomogram (SINTEF, 1992). Stikkrenna var i grei tilstand under befaringsa.



Figur 5: Stikkrenna til Børrenøs-bekken.

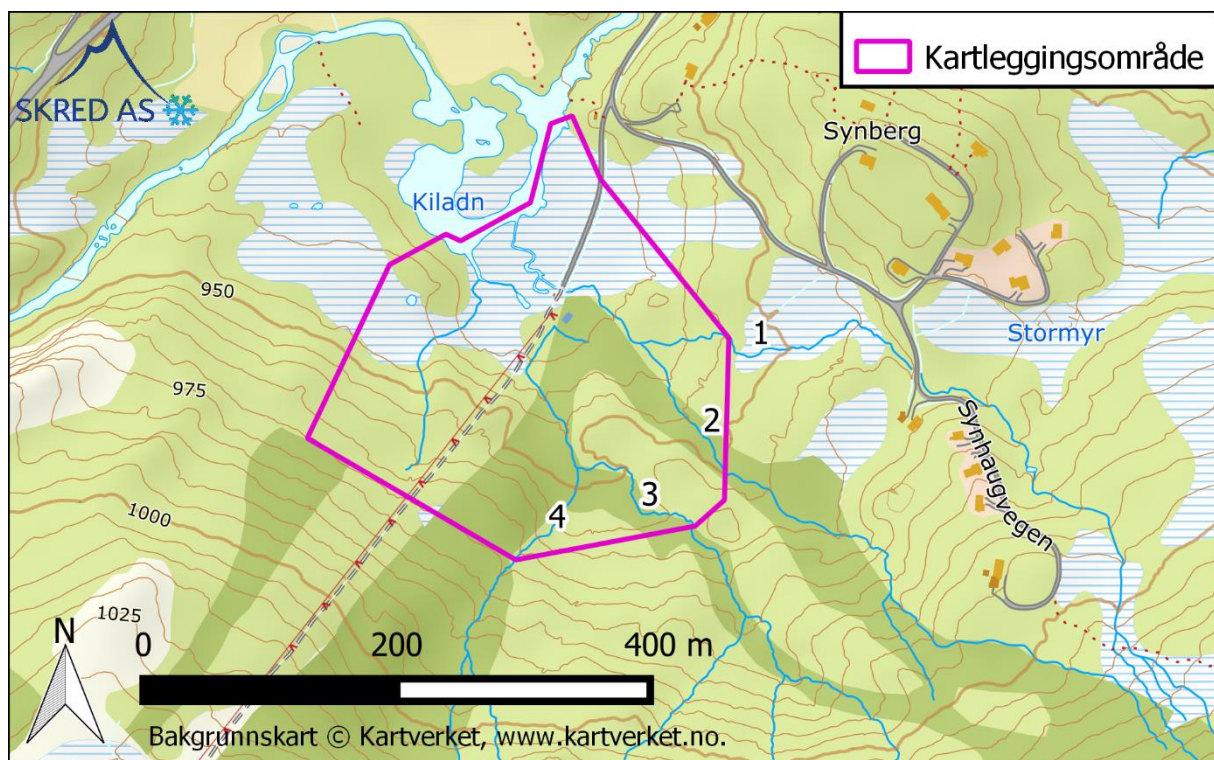
3.2 Kartleggingsområdet Kila, bekke- og elveløp

I kartleggingsområdet Kila svinger Begna inn i norddelen av kartleggingsområdet. Kiladn er en stilleflytende meandersving i Begna med mye flytende myr/vegetasjon.

Kartleggingsområdet ned mot Begna består hovedsakelig av slak myr, med en brattere skråning lengst sør.

Det renner fire små bekker inn i kartleggingsområdet (nummerert i Figur 6). De to nordligste møtes og renner langs den nordligste alpinløypa, mens de to sørligste møtes og krysser alpinløypa fra sør gjennom ei stikkrenne. Det går en vei sørover til midten av kartleggingsområdet, og en skiheis videre sørvestover. Bekkene passerer veien/heistraséen gjennom hver sin stikkrenne omtrent midt i kartleggingsområdet. Bekkeløpene er trolig justert i forbindelse med utbygginga av skianlegget, og består av steinete bunn med vegeterte sider med en del kratt. Det pågår noe graving i bekk 3/4 i utfyllinga til heistraséen.

Figur 6 viser et oversiktskart over kartleggingsområdet Kila med nummererte bekkeløp, Figur 7 viser et bilde av Begna og Figur 8 og Figur 9 viser bilder av bekkene.



Figur 6: Oversiktskart over kartleggingsområdet Kila, Begna og vurderte bekker.



Figur 7: Begna er stilleflytende ved kartleggingsområdet.



Figur 8: Bekkeløpet rett etter samløpet til bekk 1 og bekk 2.



Figur 9: Bekk 3/4 ved skiheisen.

3.2.1 Konstruksjoner

Det er ingen konstruksjoner som forventes å påvirke vannlinja til Begna i kartleggingsområdet.

Begge bekkene passerer under veien/skiheisen gjennom stikkrenner med diameter 800 mm. Begge er i korrugert stål, og har liten overhøyde. Området er svært flatt og utløpet fra stikkrennene påvirkes av vannstanden i Begna. Basert på befaringsforventes stikkrennene å være utløpskontrollert også ved normalvannføring i Begna, og kapasiteten forventes derfor å være begrenset. Figur 10 og Figur 11 viser bilder av innløpet til stikkrennene.



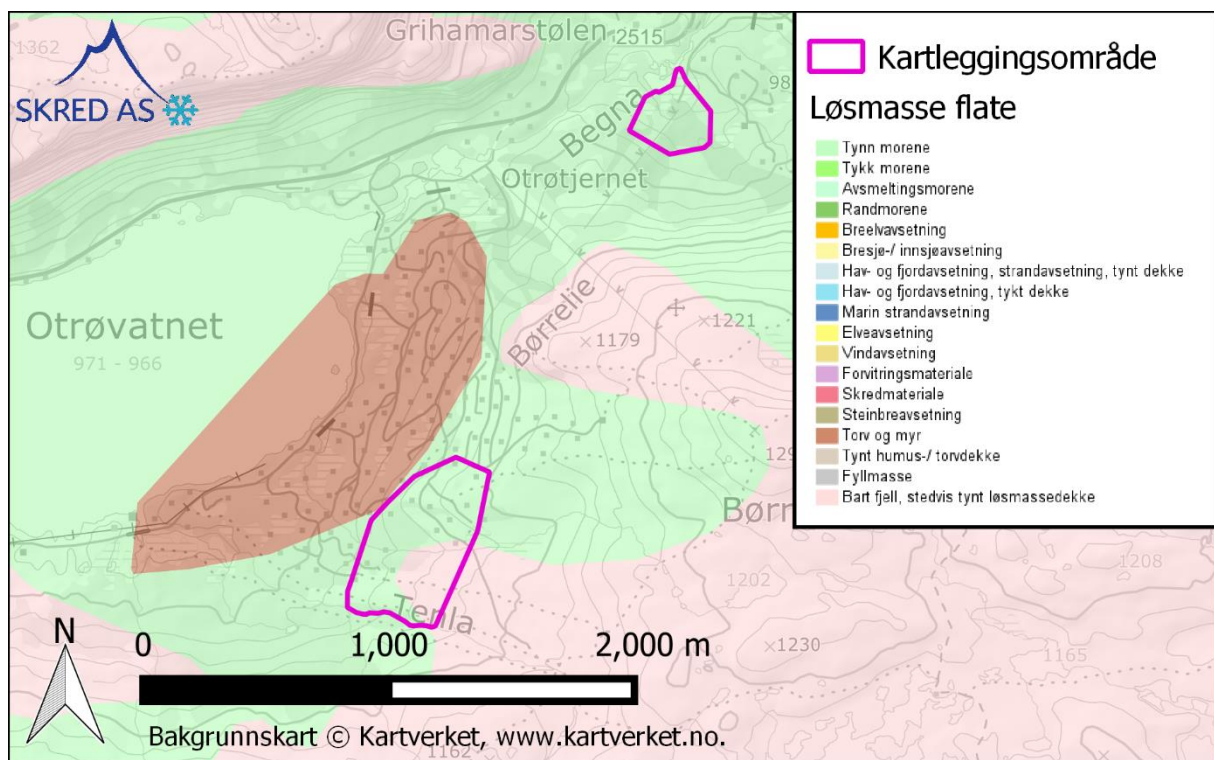
Figur 10: Stikkrenna til bekk 1-2.



Figur 11: Stikkrenna til bekk 3-4.

3.3 Grunnforhold

Kartleggingsområdene består hovedsakelig av tynn morene og noe bart berg i øvre del av Børrenøse-området ifølge NGU sitt løsmassekart (kartlagt i 1:250 000), se Figur 12. Området ligger over marin grense.



Figur 12: Løsmassekart, NGU

4 Flomberegning

4.1 Metode

Hvilke metoder som bør benyttes ved en flomberegning avhenger av flere forhold. Valg av metode må blant annet gjøres ut fra geografiske- og meteorologiske parametere, om det finnes målestasjoner i vassdraget eller i nærliggende vassdrag, kvalitet og lengde på eventuelle måleserier, samt det aktuelle nedbørfeltets størrelse og feltkarakteristika. Metodene benyttet i flomberegningene er beskrevet under.

Veileder for flomberegninger (NVE, 2022) er lagt til grunn for flomberegningen.

4.2 Beskrivelse av nedbørfelt

Nedbørfeltet til Tenla drenerer nordover. Feltet består av snaufjell med Tenlefjorden og mange små tjern og noe myrer. Det forventes relativt rask avrenning fordi det er høy andel snaufjell, samtidig som Tenlefjorden gir en relativt høy effektiv sjøprosent og kan bidra til flomdemping. Feltet er uregulert og inngår i nedbørfeltet til Begna.

Nedbørfeltet til Begna drenerer nordover. Tenla og flere mindre bekker renner ut i Otrøvatnet/Støgofjorden, som er et magasin regulert for kraftproduksjon (dameier Vang Energiverk AS). Øvre del av feltet består av snaufjell, mens ned mot Otrøvatnet er det hyttefelt og skog. Generelt forventes det rask avrenningskarakteristikk fordi en stor andel av feltet består av snaufjell, men samtidig er det mange mindre tjern som vil bidra til å forsinke avrenninga. Målestasjonen 12.148 Otrøvatn måler vannstand i magasinet og har en reguleringsgrad-magasin på 27 %. Det forventes derfor at reguleringa kan ha en flomdempende effekt. For å ta hensyn til effekten av reguleringa, beregnes tilløpsflom til Otrøvatn som så rutes over overløpet på dammen før avrenning fra lokalfeltet nedstrøms legges til og gir dimensjonerende flom i Begna.

Bekkene i Kila-området har svært små nedbørfelt. Det er derfor valgt å utføre flomberegninga for den største av bekkene, heretter kalt Kiladn-bekken, og så fordele vannføringen på de ulike bekkeløpene ved å skalere på areal før den hydrauliske modelleringen.

De to vurderte bekkene, Børrenøsbekken og Kiladnbekken, har små og bratte nedbørfelt. Børrenøsbekken består kun av snaufjell. Børrenøstjernet kan gi noe flomdemping, men det ligger høyt i nedbørfeltet, så effekten forventes å ikke være så stor. Kiladnbekken har også snaufjell øverst, men noe skog i nedre del. Det forventes rask avrenning i begge nedbørfeltene.

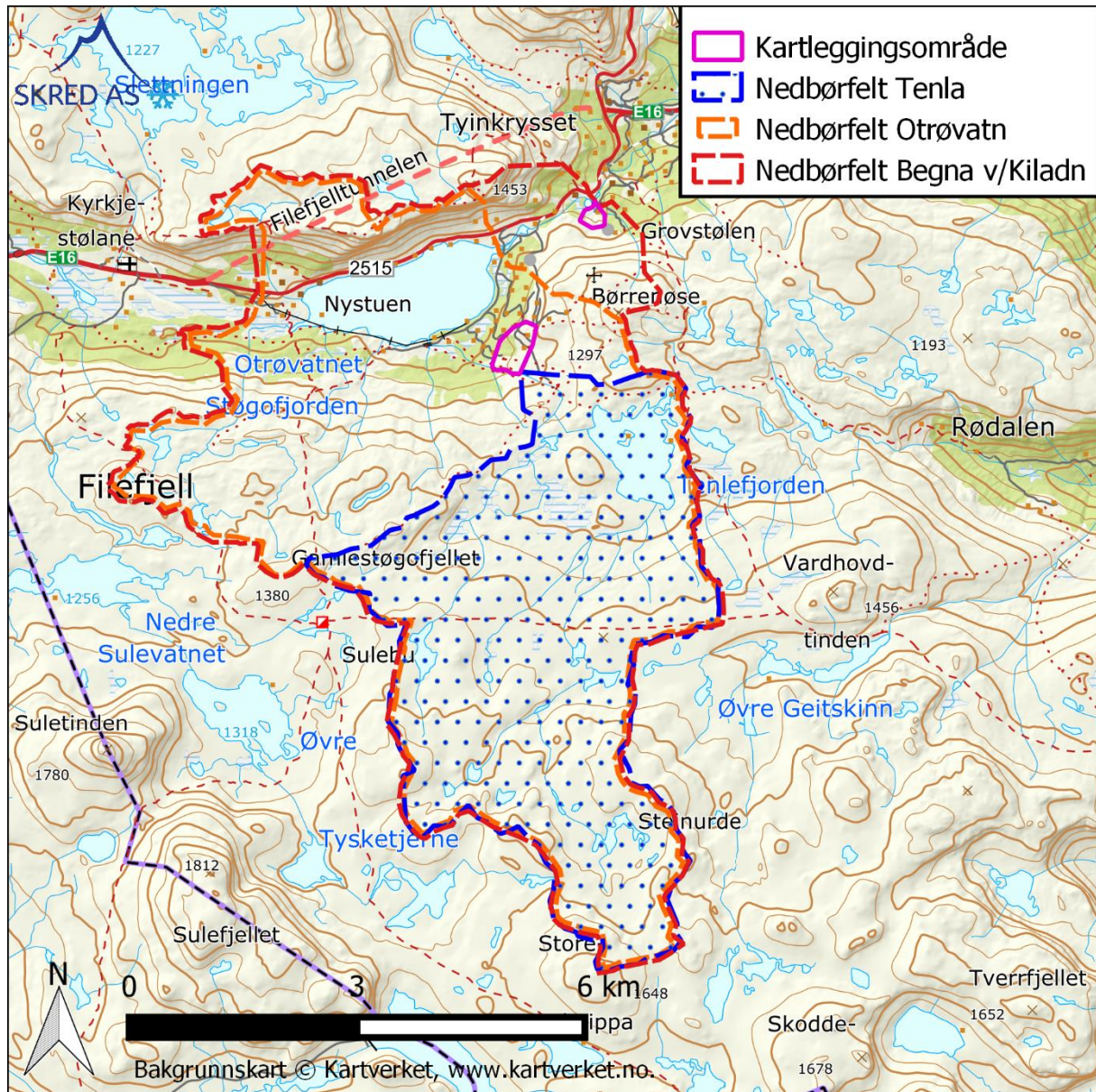
Feltkarakteristika er vist i Tabell 2 og feltgrensene er vist i Figur 13 og Figur 14.

Tabell 2: Feltkarakteristika til Tenla og Begna.

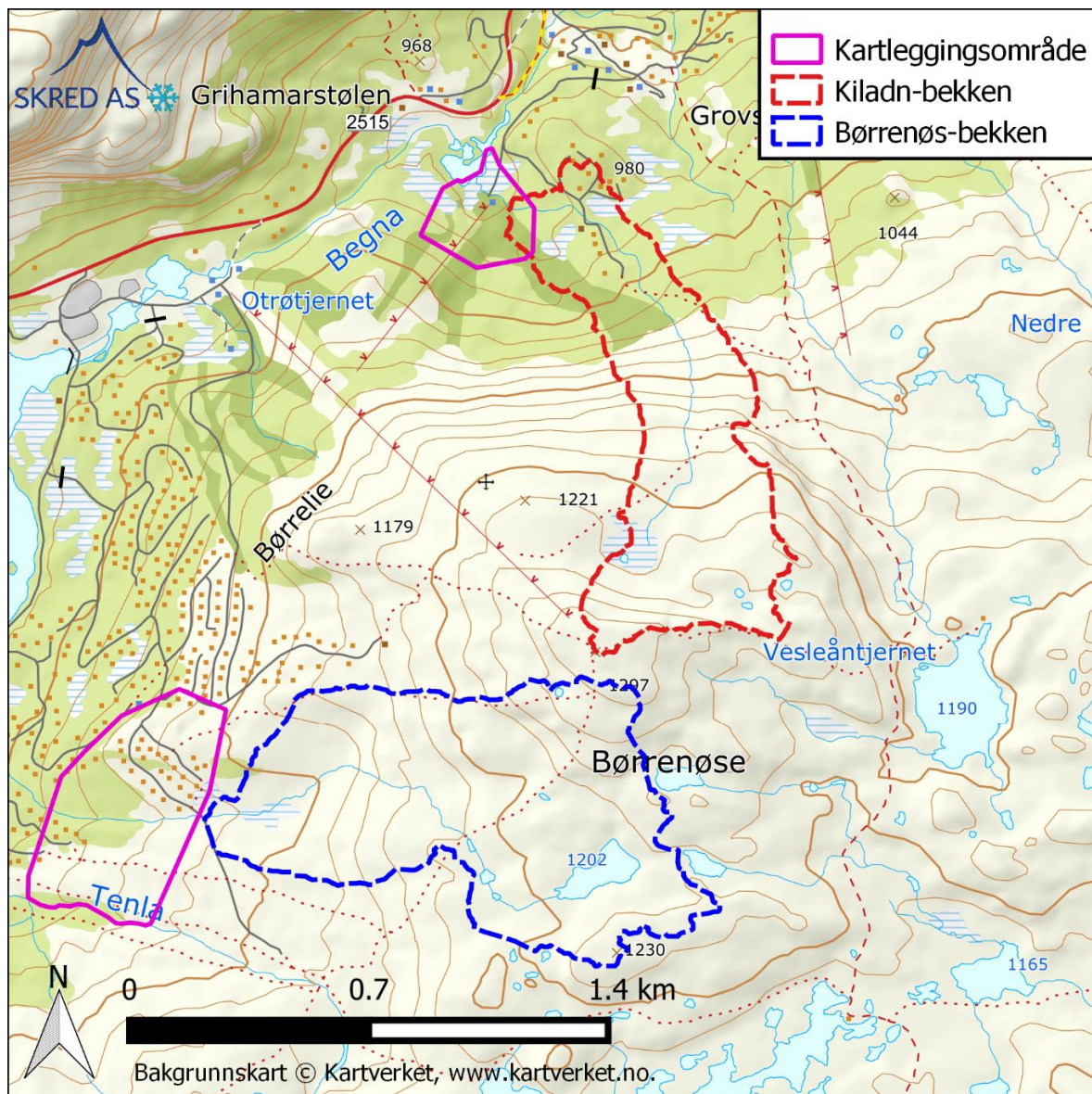
Vassdrag	Feltareal [km ²]	q _N [*] [l/s*km ²]	Eff. sjø [%]	Skog [%]	Snaufjell [%]	Høydeint. [moh.]
Tenla	22,6	31	3,2	0	91	1072-1646
Otrøvatnet	43,0	29	0,9 (tilløp)	6	82	971-1646

Begna ved Kiladn	45,8	29	5,3	8	81	939-1646
Børrenøs-bekken	0,8	28	0,4	0	97	1070-1290
Kiladn-bekken	0,5	28	0	19	72	936-1296

*fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-90.



Figur 13: Feltgrensene til Tenla, Otrøvatn og Begna ved vurdert område.



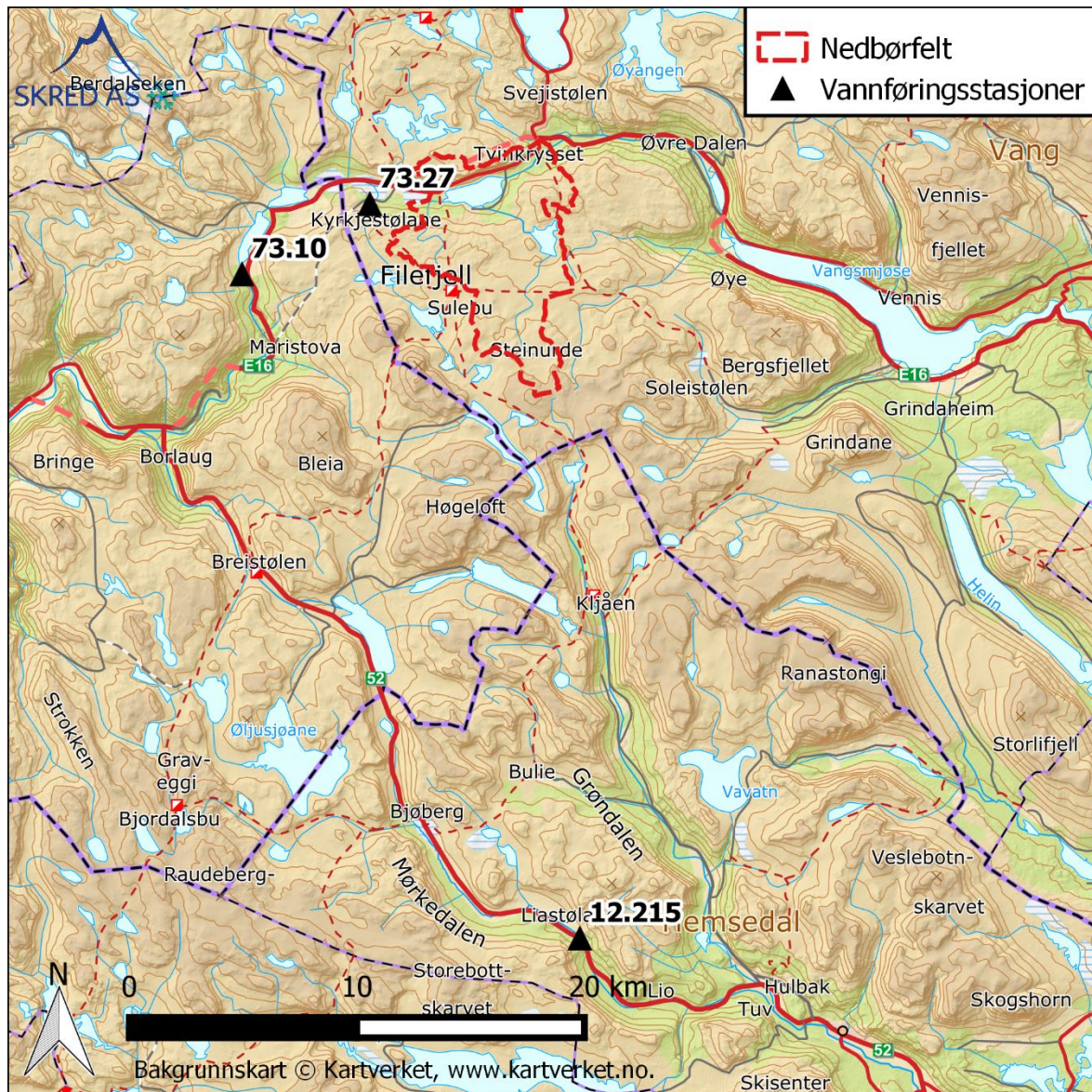
Figur 14: Feltgrensene til de to vurderte bekkene.

4.3 Flomfrekvensanalyse

4.3.1 Målestasjoner

Det foreligger ingen kjente målinger av flomvannføring i Begna, annet enn mye lengre ned i vassdraget. Det er derfor funnet et utvalg målestasjoner som sammen kan gi en indikasjon på flomforholdene. Indikasjonen fås gjennom beregning og vurdering av spesifikk middelflom og flomfrekvensanalyse, samt analyse av feltkarakteristika opp mot aktuelt nedbørfelt.

I Tabell 3 er det gitt et utvalg målestasjoner, inkludert feltkarakteristika, som sammen kan gi en indikasjon på flomforholdene i det vurderte nedbørfeltet. Det er valgt ut stasjoner som ikke er påvirket av regulering og hvor det foreligger et datagrunnlag med tilstrekkelig kvalitet. Middellavrenning (q_n) er beregnet basert på måleserien ved hver stasjon. Hypsografisk kurve til stasjonene er vist i Figur 16 og beliggenhet er vist i Figur 15.

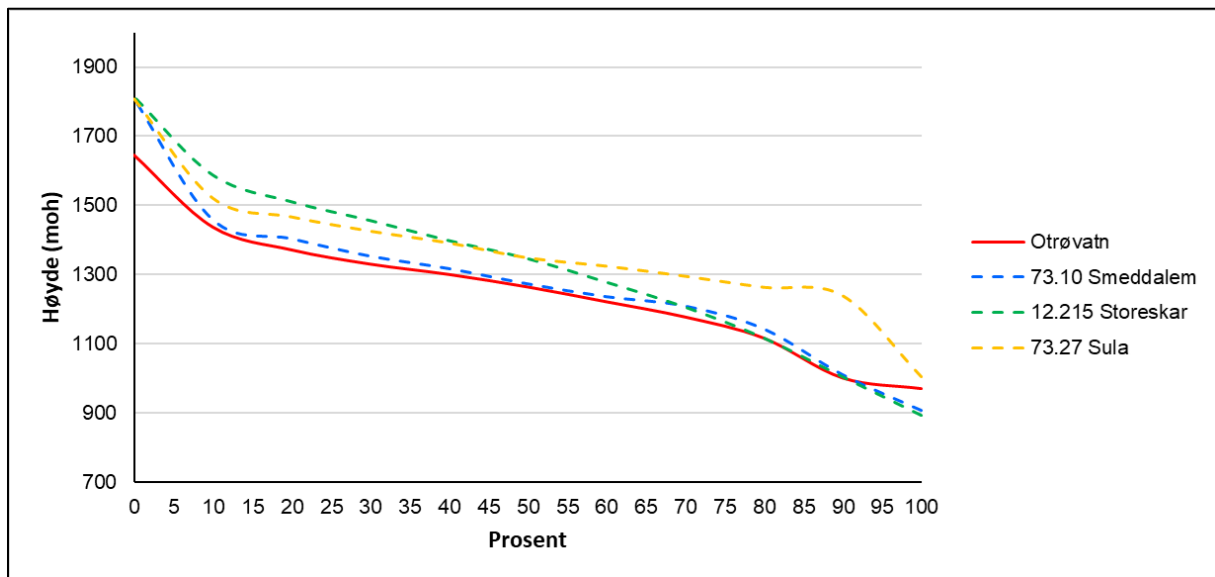


Figur 15: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.

Tabell 3: Utvalgte målestasjoner som er vurdert representative for Begna og Otrøvatnet.

Målestasjon	Feltareal [km ²]	Målinger [år]	q _N [l/s*km ²]	Eff. sjø [%]	Skog [%]	Snau-fjell [%]	Høyde [moh.]	Kurve-kvalitet (flom)
Begna v/Kiladn	45,8	-	29*	5,3	8	81	939-1646	-
Otrøvatnet - tilløp	43,0	-	29*	0,9 (tilløp)	6	82	971-1646	-
73.27 Sula	30.3	1992-2021	35	3.78	0	89	1006 - 1808	Bra
73.10 Smeddalen	157	1967-1983	33	1.75	5	80	909 - 1808	Meget bra
12.215 Storeskar	120	1988-2021	33	0.34	8	78	895 - 1848	Meget bra

*fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-90



Figur 16: Hypsografisk kurve til Otrøvatn og vurderte målestasjoner.

4.3.2 Lokal flomfrekvensanalyse

Vannføringsmålinger fra de aktuelle målestasjonene er hentet ut og analysert gjennom NVE-databasen Hydra2. For hver måleserie er det gjort et valg av type frekvensfordeling basert på serielengde og frekvenskurven sin tilpasning til dataene. Ved de utvalgte målestasjonene er det lange serier med findata (> 25 år), og det er derfor valgt å gjøre direkte på findata.

Tabell 4 presenterer analysene utført med Flom_analyse-programmet i Hydra II.

Programmet tar utgangspunkt i årsflommer. For 73.27 Sula og 12.215 Storeskar er analysen utført på timesdata, mens det ved 73.10 Smeddalen kun er døgnmålinger. År med mer enn 10 % manglende dager fjernes i analysen.

Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier, findata.

Målestasjon	År	Middelflom		Q ₂₀ / Q _M			Q ₂₀₀ / Q _M			Metode
		Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]	Nedre estimat	Middel- estimat	Øvre estimat	Nedre estimat	Middel- estimat	Øvre estimat	
73.27 Sula	28	13	418	1.38	1.65	1.93	1.83	2.30	2.74	Gumbel
12.215 Storeskar	31	47	393	1.47	1.75	2.07	2.00	2.50	2.99	Gumbel

Tabell 5: Resultater fra flomfrekvensanalyse på utvalgte måleserier, døgndata.

Målestasjon	År	Middelflom		Q ₂₀ / Q _M			Q ₂₀₀ / Q _M			Metode
		Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]	Nedre estimat	Middel- estimat	Øvre estimat	Nedre estimat	Middel- estimat	Øvre estimat	
73.10 Smeddalen	17	41.6	265	1.08	1.64	1.94	1.82	2.27	2.72	Gumbel

Siden analysen for 73.10 Smeddalen er gjort på døgndata, må det benyttes en kulminasjonsfaktor for å være sammenlignbart med de andre målestasjonene. Det regionale formelverket RFFA-2018 gir en kulminasjonsfaktor for Otrøvatn på 1,05. Det gir en spesifikk middelflom fra 73.10 Smeddalen på 278 l/s*km².

4.3.3 Flomformler for små nedbørfelt

I NVE (2015a) presenteres et nasjonalt formelverk for flomberegninger i nedbørfelt der feltareal er mindre enn 50 km². Inngangsparameterne til formelen er feltareal, midlere avrenning og effektiv sjøprosent. Den største usikkerheten i formelverket er estimat av middelflom, og resulterende vekstkurve vurderes som robust. Det betyr at et godt estimat av middelflom vil redusere usikkerheten i beregningene betraktelig.

Middelavrenning fått fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-1990 virker litt lav sammenlignet med verdiene ved målestasjonene. 73.27 Sula måler avrenning fra nabofeltet til Begna, og det er derfor valgt å benytte en middelavrenning på 35 l/s*km² i flomformelverket.

Resultatene gitt fra flomformelverket for små nedbørfelt er presentert i Tabell 6. Det er gitt resultater for middelestimat, samt øvre- og nedre konfidensintervall (95%).

Tabell 6: Resultater fra flomformelverket for små nedbørfelt (kulminasjon).

Vassdrag	Middelflom		Q ₂₀ / Q _M	Q ₂₀₀ / Q _M	Middelestimat	
	Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]			Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Tenla	4.9 – 9.9 – 19.8	219 – 437 - 874	1.71	2.81	16.9	27.7
Otrøvatn	10.6 – 21.3 – 42.6	247 – 495 – 990	1.69	2.71	36.0	57.8
Børrenøse-bekken	0.4 – 0.7 – 1.4	463 – 926 - 1852	1.69	2.70	1.2	1.9
Kiladn-bekken	0.3 – 0.6 – 1.2	571 – 1142 - 2284	1.69	2.68	1.0	1.6

4.4 Nedbør-avløps-metoder

4.4.1 PQRUT

PQRUT er en nedbør-avløpsmodell som er utformet som en lineær karmodell. Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen. I NVE (2022) er det gitt en beskrivelse av modellen og hvordan den kan benyttes. Det er flere usikkerhetsmomenter som ligger i bruken av modellen for mindre felt, slik at usikkerheten i resultatene forventes å være stor. Det er valgt å kun benytte PQRUT for Otrøvatn.

I henhold til anbefalinger i NVE (2022) benyttes det et dimensjonerende nedbørforløp på 24 timer og et tidsskritt på 1 time. Konsentrasjonstiden til feltet er estimert til ca. 2 timer, basert på den pragmatiske metoden.

Det ligger en stor grad av usikkerhet i valget av dimensjonerende nedbørverdier og nedbørforløp. Det finnes flere nærliggende målestasjoner med oppløsning på 1 time eller finere, men ingen av dem har en lang nok måleserie for frekvensanalyse. Den høyeste timesmålingen er 26 mm, målt ved stasjon 54731 Filefjell v/Varden. Cirka 10 km vest for Otrøvatn finnes 54600 Maristova og 20 km øst finnes 23720 Vang i Valdres, som begge har

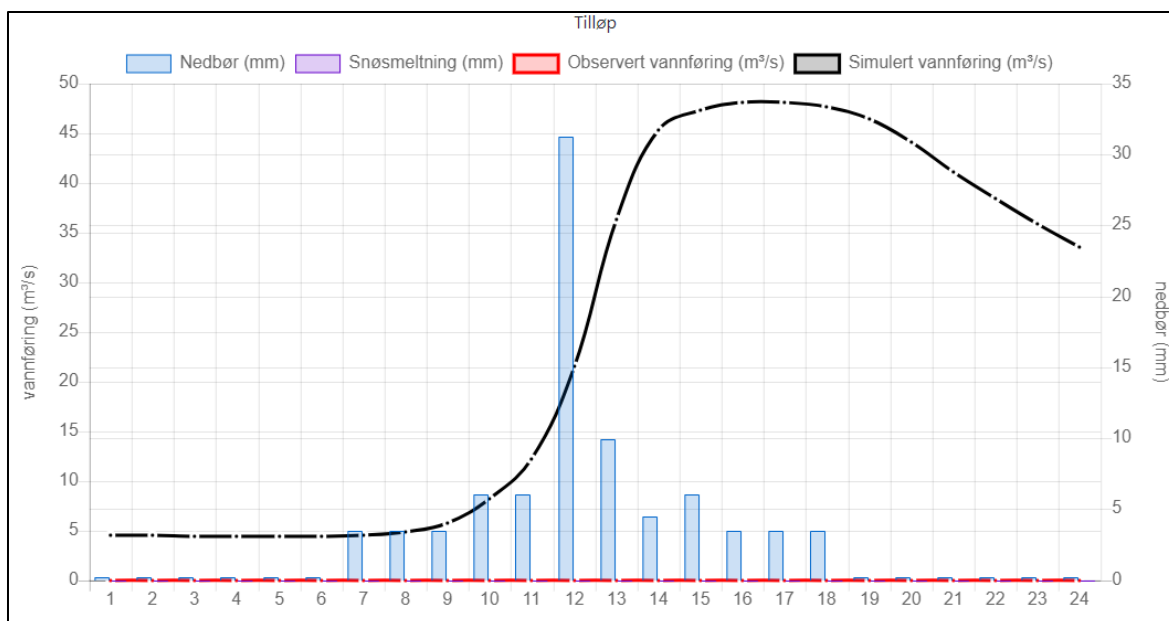
lange serier med døgnmålinger. Det er utført frekvensanalyse på nedbørdataene der resultatene er presentert i Tabell 7. For å justere fra døgnnedbør til vilkårlig 24-timers nedbør er det multiplisert med en faktor på 1,13.

Tabell 7: Resultater fra frekvensanalyse på nedbør.

Nedbørstasjon	Måleperiode [år]	Høyde [moh.]	200-årsnedbør [mm]		Metode
			Døgn [mm]	24-timer [mm]	
54600 Maristova	1896-2021	806	70	79	GEV (max)
23720 Vang i Valdres	1903-2021	489	85	96	GEV (I-mom)

Fra frekvensanalysen er 87 mm satt som dimensjonerende 24-timers nedbør, gjennomsnittet av de to seriene. Dette stemmer godt med MET sitt kart over 200-årsdøggnedbør (MET, 2015). For varigheter ned mot 1 time er det skalert mot den regionale kurven for Innlandet (region 3) (MET, 2015). Skalert 1-times nedbør blir da 31 mm, noe som virker rimelig sammenlignet med de 26 mm som ble målt på målestasjon 54731. Det er videre konstruert et 200-års nedbørførløp som er tilnærmet symmetrisk om den mest intensive nedbørperioden. Initialvannføringen i PQRUT er satt til 4,5 m³/s som tilsvarer ca. tre ganger middelvannføringen.

PQRUT-modellen gir en estimert 200-årsflom på ca. 48 m³/s, vist i figur 17.



Figur 17: Resultater fra PQRUT for Otrøvatn, 200-årsflom.

4.4.2 Den rasjonale metode

Den rasjonale formelen beregner flomvannmengde basert på nedbørstatistikk, feltareal og antatt avrenningskoeffisient. Dimensjonerende nedbør hentes fra relevant IVF-kurve eller nedbørstatistikk, basert på estimert konsentrasjonstid. Metoden anbefales benyttet for felt opp til 2 km² (NVE, 2022), så den er kun benyttet for bekkene. Generelt bør formelen benyttes forsiktig i naturlige felt og helst benyttes i kombinasjon med andre metoder.

Det ligger en stor grad av usikkerhet i valget av dimensjonerende nedbørverdier og nedbørforløp. De nærmeste IVF-kurven er i Nesbyen 83 km sørøst for kartleggingstomta og Bråtå 83 km nord. Begge er klassifisert som svært usikker.

I MET (2015) ble det konstruert regionale IVF-kurver som dekker store områder. Den aktuelle kurven for kartleggingsområdet er region 3, Innlandet – Sør-Norge. I MET (2015) er det også interpolerte kart for times- og døgnnedbør med 200-års gjentaksintervall. Tabell 8 viser en sammenligning av de ulike kildene.

Tabell 8: Sammenligning av aktuelle IVF-kurver og målinger.

	1 time	24 timer	1 time/ 24 timer
IVF - MET – region 3	19,6 mm	54,5 mm	36 %
IVF - Nesbyen	23,8 mm	59,6 mm	40 %
MET interpolert kart (2015)	16 mm	90 – 100 mm	17 %
Utvalgte målestasjoner	-	79-96 mm	-

De vurderte nedbørfeltene har en konsentrasjonstid på rundt en time. Skalering av IVF-kurve på døgnnedbør vil derfor gi svært høye timesverdier, 40 % av 90 mm gir f.eks. 36 mm som timesnedbør. Det er derfor valgt å fokusere mer på timesverdien.

MET sitt kart over 1-timesnedbør gir 16 mm. Den nærmeste nedbørstasjonen med timesmålinger har for kort måleserien til å gi godt grunnlag for vurderinga, men kan gi en pekepinn på størrelsen. 54731 Filefjell v/Varden har knappe fire år med målinger, og har målt 26 mm i en time. Denne hendelsen er ikke fanget opp på en målestasjon 2 km lenger vest, så det er noe usikkerhet knyttet til målingen.

Timesverdien på 24 mm i Nesbyen ligger opp mot målingen ved 54731 Filefjell v/Varden. Videre er kurven noe høyere, men stemmer ellers ganske godt med MET region 3. Det velges derfor å benytte Nesbyen-kurven direkte for både 20- og 200-års gjentaksintervall.

Konsentrasjonstiden til feltene er beregnet ved bruk av formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992). Basert på feltareal og konsentrasjonstid er det benyttet en arealreduksjonsfaktor (ARF) for nedbørintensiteten i henhold til NVE (2022). Avrenningskoeffisient (C-verdi) er satt basert på anbefalinger i NVE (2022), og det er benyttet en faktor på 1,1 og 1,3 for høyt gjentaksintervall for henholdsvis 20 og 200 år. Benyttede parametere og resultater fra beregninger med den rasjonale metoden er vist i Tabell 9.

Tabell 9: Benyttede parametere og resultater fra beregninger med den rasjonale metoden (kulminasjon).

Vassdrag	Gjentaksintervall	IVF-kurve	Areal [ha]	ARF	Kons. tid [min]	I ₂₀₀ [l/s*ha]	C-verdi	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Børrenøse-bekken	20 år	Nesbyen	77	0.98	60	43.3	0.39	1.3
	200 år					66.1	0.46	2.3

Kiladn-bekken	20 år	Nesbyen	53	0.98	47	51.0	0.39	1.0
	200 år					76.5	0.46	1.8

4.5 Klimaframskrivninger

I henhold til anbefalinger i NVE (2022) og Klimaprofil Oppland (Norsk Klimaservicesenter, 2022) blir et klimapåslag på 20 % benyttet for Tenla og Begna for å ta hensyn til forventet økning i flomstørrelser frem mot år 2100. For bekkene benyttes et klimapåslag på 40 %. Påslaget på 40 % gjelder generelt for alle nedbørfelt mindre enn 10 km².

4.6 Vurdering av resultater

4.6.1 Otrøvatn

73.27 Sula måler nabonedbørfeltet rett vest for Otrøvatnet og er dermed svært representativ. Feltet har litt mindre areal, ligger litt høyere og har litt høyere snaufjellandel, men mye høyere effektiv sjøprosent. Det mindre arealet gjør at det forventes større spesifikke flommer, samtidig som den høyere effektive sjøprosenten gir mer flomdemping. Det er vanskelig å vurdere hvordan det gir utslag sammenlignet med Otrøvatn, men det forventes at flomverdiene ligger i nærheten. Måleserien er relativt lang og av god kvalitet.

73.10 Smeddalen ligger nedstrøms 73.27 Sula, og også relativt nært Otrøvatn. Feltet er fire ganger større enn Otrøvatn og har høyere effektiv sjøprosent, som begge gjør at det forventes mindre spesifikke flommer. Omtrent lik snaufjellandel. Måleserien er relativt kort, 17 år med døgndata, men har meget god kvalitet.

12.215 Storeskar ligger 30 km lenger sør enn Otrøvatn, men ligger på omtrent samme høyde. Feltet er 2,5 ganger større, noe som tilsier mindre spesifikke flommer. Samtidig har det omtrent samme snaufjellandel og lav effektiv sjøprosent som begge tilsier liten flomdemping i feltet.

Basert på målestasjonene vurderes en kulminert spesifikke middelflom på 400-600 l/s*km² som realistisk. Vurdert middelflom fra stasjonene samsvarer svært bra med middelestimatet fått fra flomformelverket. Middelestimatet for vekstkurven fra målestasjonene stemmer godt med 20-årsflom fra formelverket, mens de ligger litt under for 200-årsflom. Resultatet fra PQRUT ligger noe under middelestimatet fra flomformelverket.

Det er valgt å sette kulminert spesifikke middelflom på 500 l/s*km², middelestimatet fra flomformelverket og noe over målestasjon 73.27 Sula. Siden måleseriene ikke er så lange, er det valgt å benytte vekstkurve fra formelverket. Resultatene fra de ulike flomberegningemetodene er oppsummert i Tabell 10.

Tabell 10: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder for Otrøvatn (kulm.).

Metode	q _m [l/s*km ²]	q ₂₀ [l/s*km ²]	q ₂₀₀ [l/s*km ²]
Vurdert fra referansefelt	400 - 600	-	-
Formelverk for små nedbørfelt	250 – 990 (500)	420 – 1670 (850)	670 – 2680 (1340)

PQRUT	-	-	1120
VALGT	500	850	1350

4.6.2 Tenla

Siden Tenla har høy effektiv sjøprosent sammenlignet med Otrøvatn (tilløp), forventes det lavere spesifikk avrenning i Tenla, til tross for at Otrøvatn ligger nedstrøms i samme vassdrag. 73.27 Sula er svært representativ for Tenla, både med tanke på feltareal, plassering og nesten lik effektiv sjøprosent. Middelestimatet fra flomformelverket ligger noe over, og virker rimelig sammenlignet 73.27 Sula.

Vekstkurven fra målestasjonene er lavere enn vekstkurven fra flomformelverket. Det velges å legge vekt på flomformelverket siden den anses robust. Tabell 11 viser en sammenligning av metodene.

Tabell 11: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder (kulm.) for Tenla.

Metoden	q_m [l/s*km ²]	q_{20} [l/s*km ²]	q_{200} [l/s*km ²]
Vurdert fra referansefelt	400 - 500	-	-
Formelverk for små nedbørfelt	220 – 870 (437)	375 – 1495 (750)	615 – 2455 (1230)
VALGT	440	750	1230

4.6.3 Bekker

Resultatet fra den rasjonale metoden ligger mellom middel- og øvre estimat fra flomformelverket. Det er en del usikkerhet knyttet til den rasjonale metoden, og det velges derfor å legge vekt på flomformelverket. Middelestimatet benyttes. Tabell 12 viser en sammenligning av metodene.

Tabell 12: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metoder (kulm.) for bekkene.

Vassdrag	Metoden	q_m [l/s*km ²]	q_{20} [l/s*km ²]	q_{200} [l/s*km ²]
Børrenøse-bekken	Formelverk for små nedbørfelt	460 – 1850 (930)	780 – 3130 (1565)	1250 – 5000 (2500)
	Rasjonale metoden	-	1655	2980
	VALGT	930	1570	2510
Kiladn-bekken	Formelverk for små nedbørfelt	570 – 2280 (1140)	965 – 3860 (1930)	1530 – 6120 (3060)
	Rasjonale metoden	-	1950	3450
	VALGT	1140	1930	3055

4.7 Dimensjonerende vannføring i bekker og Tenla og dimensjonerende tilløpsflom i Otrøvatnet

Dimensjonerende flom i Tenla og bekkene samt tilløpsflommer beregnet for Otrøvatnet er gitt i Tabell 13.

Tabell 13: Dimensjonerende flom i Tenla og bekkene, og dimensjonerende tilløpsflommer for Otrøvatnet. Alle vannføringer er kulminasjonsvannføring.

Vassdrag	Feltareal [km ²]	Klimat tillegg [%]	Middelflom		Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
			Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]		
Tenla	22,6	20	12	530	20	33
Otrøvatnet, tilløp	43,0	20	26	600	44	70
Børrenøse-bekken	0,8	40	1	1300	1,7	2,7
Kiladn-bekken	0,5	40	0,8	1600	1,4	2,3

For Kila-bekkene er q₂₀ og q₂₀₀ med klimapåslag beregnet til 2800 l/s*km² og 4600 l/s*km². Skalert etter feltareal på de mindre bekkene gir det dimensjonerende flom, som vist i Tabell 14.

Tabell 14: Dimensjonerende flom fordelt på bekkeløpene inn i kartleggingsområdet Kila. Nummereringa viser til Figur 6.

Vassdrag	Feltareal [ha]	Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
Bekk 1	42	1,2	1,9
Bekk 2	10	0,3	0,5
Bekk 3	27	0,8	1,2
Bekk 4	13	0,4	0,6

4.8 Dimensjonerende vannføring i Begna

4.8.1 Flomforløp for tilløpsflom til Otrøvatn

I avsnittet over er maksimal flomvannføring beregnet. For å kunne vurdere flomdempinga i magasinet, er det i tillegg behov for et flomforløp. Formler for å beregne varighet på flomforløpet er hentet fra NVE (2022). Kritisk varighet for flomforløp i reguleringsmagasiner beregnes etter følgende formel:

$$V_M = 480 \cdot A_M \cdot Q_i^{-\frac{1}{3}} \cdot (C \cdot L)^{-\frac{2}{3}}$$

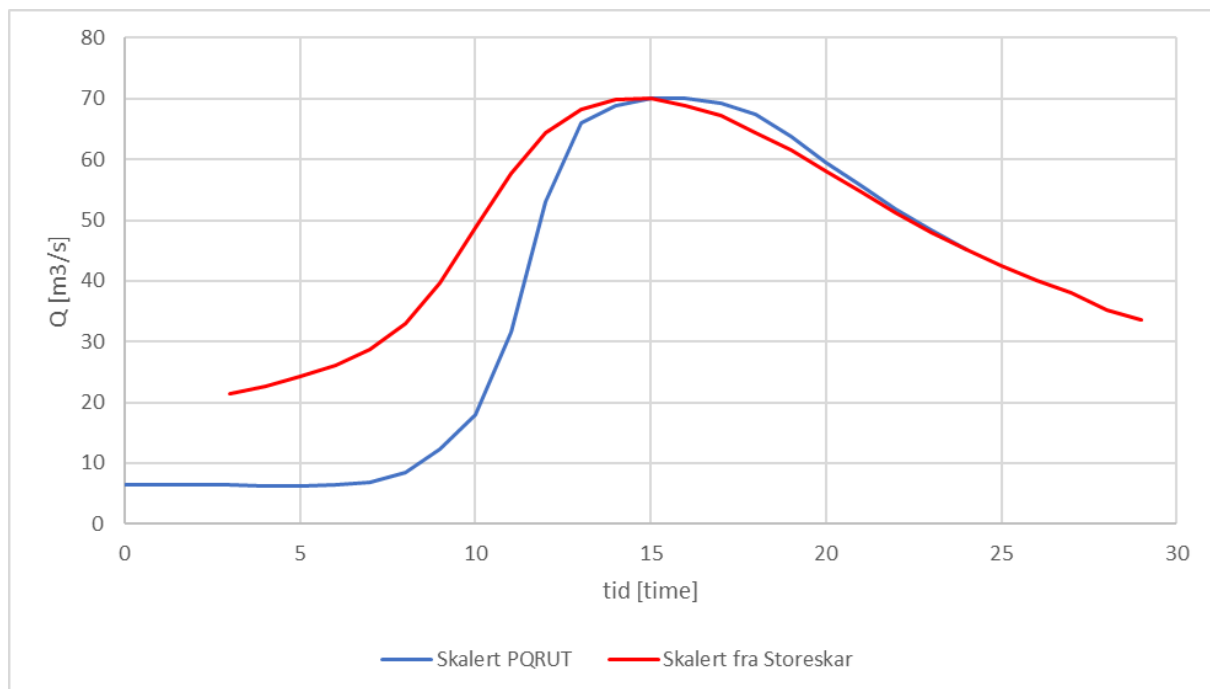
Der A_M er magasinets areal ved HRV, Q_i er tilløpsflom midlet over varighet, og kan som regel settes til fire ganger middelflom. C er overløpskoeffisienten og L er lengden på overløpet. A_M er 2,19 km² ifølge NVE Atlas, Q_i hentes fra avsnitt 4.7. Det antas et avrundet overløp, så $C = 2$, og lengden på overløpet er målt til 50 meter.

$$V_M = 480 \cdot 2,19 \cdot (4 \cdot 26)^{-\frac{1}{3}} \cdot (2,0 \cdot 50)^{-\frac{2}{3}} = 10 \text{ timer}$$

Total nødvendig varighet på flomforløpet er $1,5(T_c + V_M)$ der T_c er konsentrasjonstiden til feltet. Konsentrasjonstiden til feltet er beregnet til 2 timer med den pragmatiske metoden. Nødvendig varighet på flomforløpet blir da 19 timer, og det er valgt å modellere over ett døgn.

Det er valgt å ta utgangspunkt i en observert flomhendelse. Både 73.27 Sula og 12.215 Storeskar er vurdert som representative for feltet, og flere av de største flomtoppene fra målestasjonene er vurdert. Det er valgt å bruke den nest høyeste flomtoppen ved Storeskar, fra juli 1997. Denne er valgt fordi stasjonen har meget god kvalitet, og fordi flere av de største flomtoppene ved Sula er flate, noe som mulig er en konsekvens av flomdemping i feltet. Sula har høy effektiv sjøprosent, mens Storeskar har noe lavere enn Otrøvatn.

Figur 18 viser det benyttede flomforløpet (200-årsflom) i rødt, sammen med flomforløpet fra PQRUT.



Figur 18: Ulike flomforløp, 200-årsflom.

4.8.2 Ruting over terskelen til Otrøvatn

Basert på bakkepunkter fra LiDAR-data av området (Valdres 2019) er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 0,5 x 0,5 meter. Vi har ikke tilgjengelige bunndata, så bunnen er senket basert på ortofoto. Langs kanten er innsjøen senket til 20 cm under HRV, før en gradvis overgang til 5 meter under HRV midt i magasinet. Det går en dypål mot utløpet nord for terskelen. Denne er senket til 2 meter under HRV.

Hec-Ras versjon 6.3.1 er benyttet til å rute flomforløpet gjennom magasinet. Det er etablert et grovt 2D-grid over mesteparten av magasinet, og et finere grid ned mot terskelen. Dette

er koblet til en terskel som er lagt inn for overløpet. Figur 19 viser et bilde av terskelen. Lengden på terskelen er målt på kart. Det er antatt at topp overløp er lik HRV (høyeste regulerte vannstand) på 971,2 moh. HRV er også satt som initialvannstand etter anbefaling i veileder (NVE, 2022). Nedstrøms terskelen er det et mindre beregningsgrid for området rett nedstrøms. Overløpskoeffisienten er satt til 2,0, for avrundet overløp. Benyttede parametere i modellen fremkommer av Tabell 15.

Tabell 15: Parametere benyttet i ruting over terskelen i Hec-Ras.

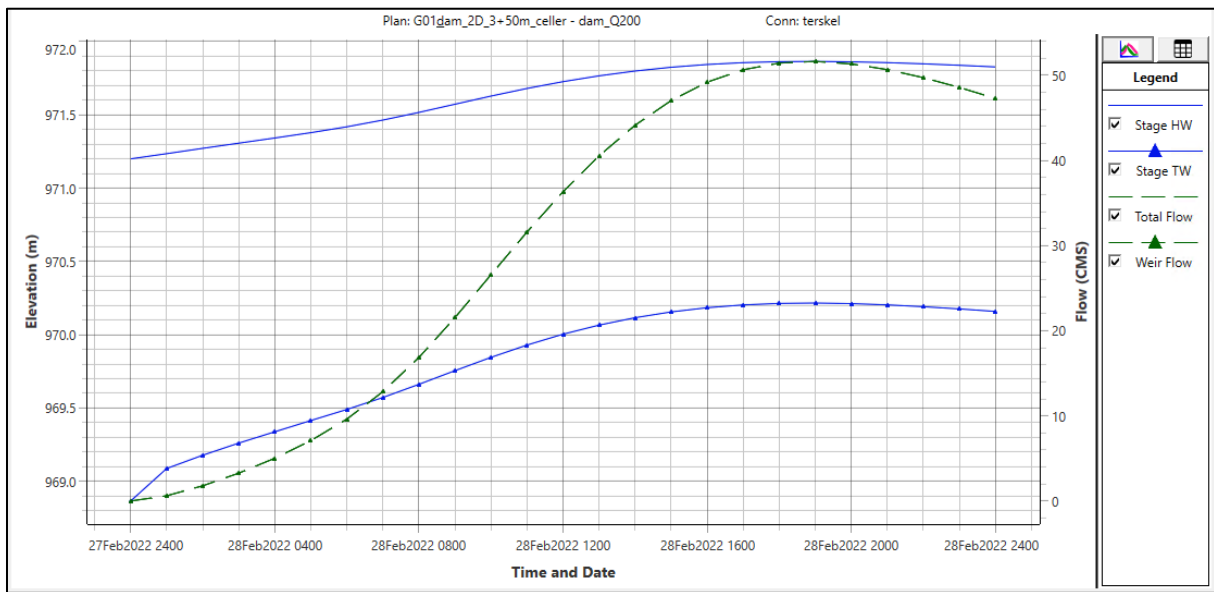
Parameter	Verdi
Oppløsning på terrengmodell	0,5 x 0,5 meter
Terskelengde	50 meter
Høyde terskel	HRV = 971,2 moh.
Overløpskoeffisient	2
Initialvannstand	HRV = 971,2 moh.
Cellestørrelse beregningsgrid Otrøvatn	5 x 5 der det smalner mot terskelen, 50 x 50 meter ellers
Cellestørrelse beregningsgrid nedstrøms overløp	3 x 3 meter



Figur 19: Overløpstærskelen ved utløpet av Otrøvatn.

Resultatet av rutingen viser at dimensjonerende 200-års avløpsflom er 51,6 m³/s. Figur 20 viser vannføring og vannstand over terskelen. Dimensjonerende 20-års avløpsflom er 30,7 m³/s.

Sensitivitetsanalyse med mindre celler (2 og 25 meter) i Otrøvatn gir også 51,6 m³/s, mens økt 200-årsvannføring med 20 % gir kulminasjonsvannføring på 63,2 m³/s.



Figur 20: Vannføring og vannstand over terskelen.

4.8.3 Dimensjonerende vannføring for Begna ved Kiladn

I tillegg til avløpsflommen fra Otrøvatn vil feltet nedstrøms dammen også bidra under flom. Selv om flomdempinga gjør at de mest intense flommene trolig har passert før avløpsflommen kulminerer, så antas det samme spesifikke 200-årsflom som oppstrøms Otrøvatn fordi det er vanskelig å begrunne hvilket nivå en lavere verdi skal ligge på. Restfeltet til Begna ved vurdert område nedstrøms Otrøvatn er 5,9 km².

Dimensjonerende flommer, inkludert 20 % klimatillegg for Begna ved vurdert område er beregnet i Tabell 16. Det tilsvarer en spesifikk 200-årsflom på 1410 l/s*km² for feltet.

Tabell 16: Dimensjonerende flommer inkl. klimatillegg for vurdert strekning av Begna.

Gjentaksintervall	Avløpsflom Otrøvatn [m ³ /s]	Restfelt [m ³ /s]	Begna v/kartleggingsområdet [m ³ /s]
20 år	30,7	5,5	36
200 år	51,6	8,9	61

5 Hydraulisk modellering

5.1 Metode

I beregning av vannlinje og hydrauliske parametere er programvaren Hec-Ras versjon 6.3.1 benyttet. De viktigste inngangsparameterne til Hec-Ras modellen er geometri (terrengmodell, grid, elvebanker og konstruksjoner), ruhet, grensebetingelser og vannføring. For å best mulig vurdere strømningsforholdene er en 2-dimensjonal-modell vurdert hensiktsmessig.

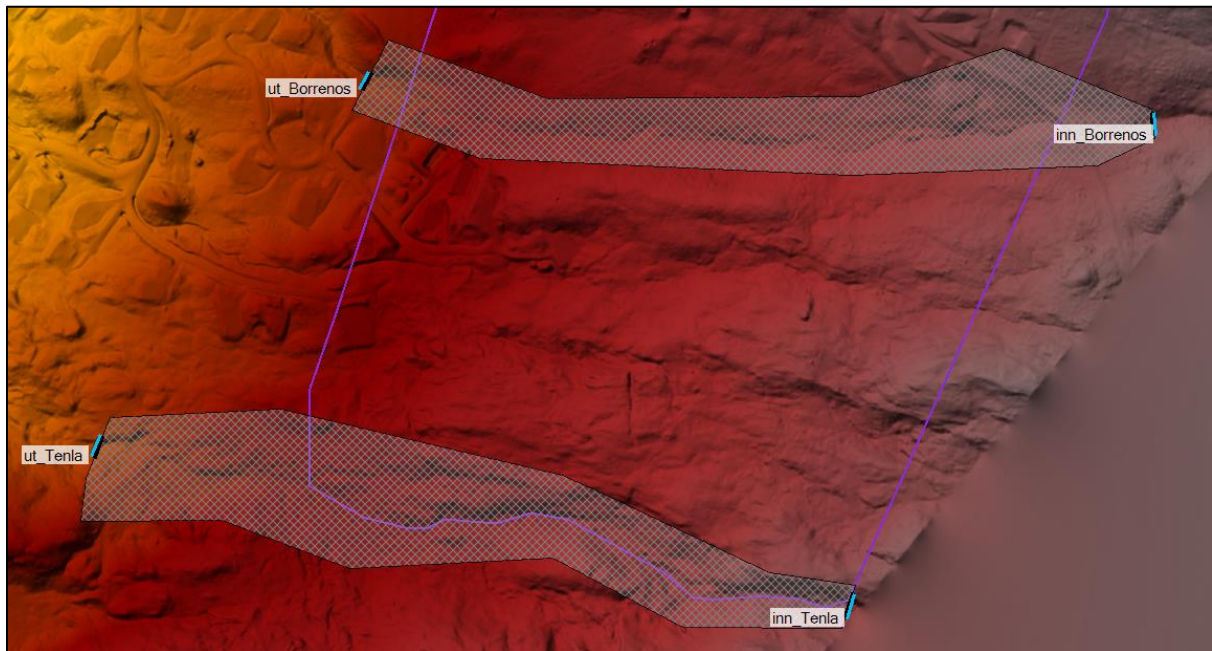
5.2 Oppsett av modell

5.2.1 Modelloppsett

Basert på bakkepunkter fra LiDAR-data av området (Valdres 2019) er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 0,5 x 0,5 meter. Elveløpet er skjønnsmessig senket i den sakteflytende kulpen i Begna basert på innmåling med CPOS-GPS på befaring og ortofoto. Ellers er det ikke gjort justeringer i terrengmodellen. Det er satt opp en hydraulisk modell for hvert av de vurderte vassdragene. Benyttede parametere i modellene fremkommer av Tabell 17. Terrengmodell, benyttet beregningsgrid og plassering av grensebetingelser er illustrert i Figur 21, Figur 22 og Figur 23.

Tabell 17: Parametere benyttet i Hec-Ras modeller.

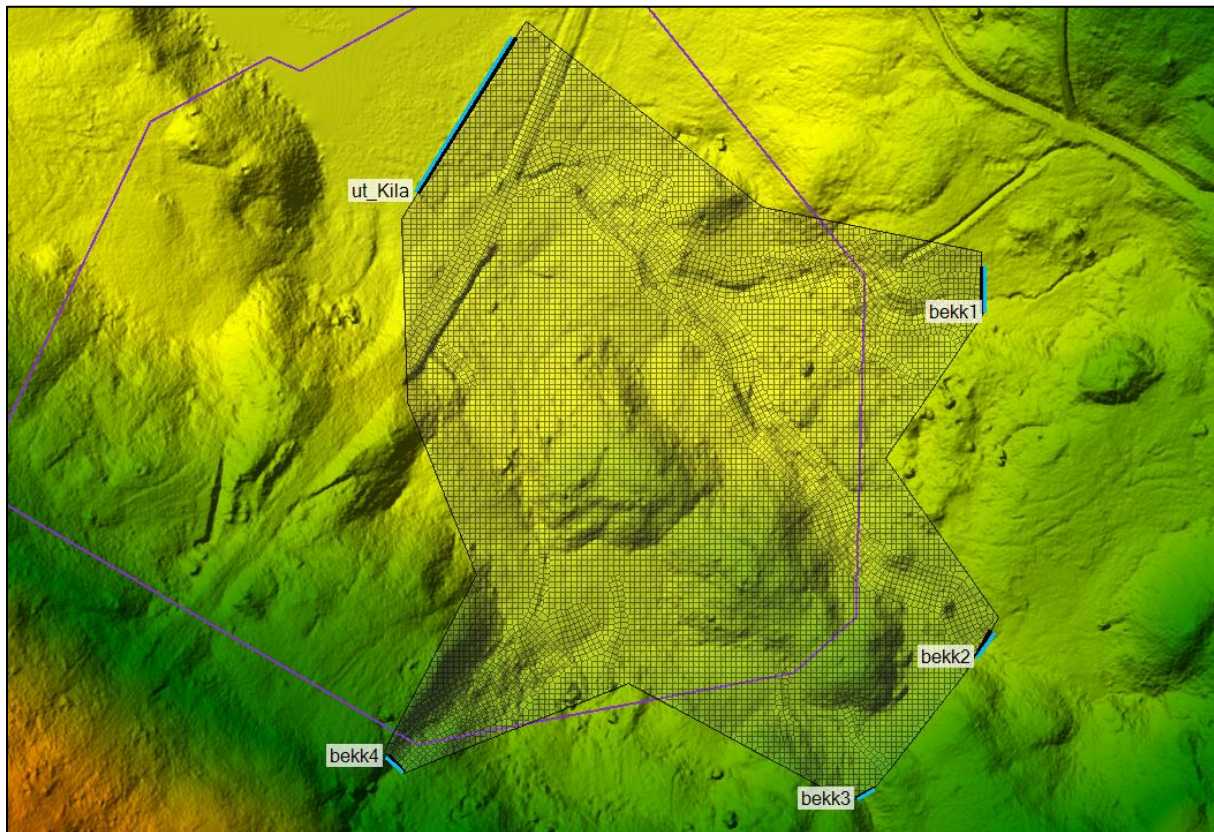
Parameter	Tenla	Børrenøse-bekken	Begna	Kila-bekken
Oppstrøms grensebetingelse	Normalstrømning	Normalstrømning	Normalstrømning	Normalstrømning
Nedstrøms grensebetingelse	Normalstrømning	Normalstrømning	Normalstrømning	Normalstrømning
Cellestørrelse beregningsgrid	2 x 2 meter	2 x 2 meter	3 x 3 meter	2 x 2 meter
Likningssett	Full momentum	Full momentum	Full momentum	Full momentum
Tidsskritt	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0
Manningstall	20	15	20 i rolig elv og myr, 15 i stryk og skog	15 i skog, 20 ellers



Figur 21: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser i modellene for Tenla og Børrenøse-bekken.



Figur 22: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser for Begna ved Kiladn. Den lille streken er grensa for kartleggingsområdet.



Figur 23: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser for bekkene i Kila. Kartleggingsområdet er markert i lilla.

5.2.2 Konstruksjoner

Børrenøsbekken krysser en stikkrenne rett oppstrøms kartleggingsområdet. Denne har ikke kapasitet til dimensjonerende flom, så det er valgt å ikke legge den inn i modellen.

Begge Kila-bekkene krysser en stikkrenne før utløpet i Begna. Disse forventes å ha liten kapasitet, se avsnitt 3.2.1, så det er valgt å ikke legge de inn i modellen. Stikkrenna til bekk 3/4 i alpinbakken er heller ikke lagt inn i modellen for å ta hensyn til mulig tilstopping.

5.3 Modellert fremtidig 200-årsflom

5.3.1 Tenla og Børrenøs-bekken

Både Tenla og Børrenøs-bekken renner i klart definerte løp. Tenla renner på et søkk i berget, mens Børrenøs-bekken renner i et nedskåret søkk. Det er ingen flomløp eller lignende av betydning i kartleggingsområdet.

5.3.2 Begna ved Kiladn

Ved både en fremtidig 20- og 200-årsflom vil elva spre seg ut i full bredde og fylle hele Kiladn-strekingen. Inne på kartleggingsområdet vil den slake myra ned mot elva fylles av vann, og vann vil dra over veien ved både 20- og 200-årsflom. Vannstanden ved en fremtidig 20-årsflom er 931,5 moh. i kartleggingsområdet, mens den er 931,9 moh. ved en fremtidig 200-årsflom. Modellert vannhastighet i kartleggingsområdet er liten, < 0,5 m/s.

5.3.3 Kila-bekkene

Bekkene renner i stor grad i definerte søkk som gjør at utbredelsen til flommen er forholdsvis lik for fremtidig 20- og 200-årsflom. Den nordligste og største av bekkene (bekk 1) brer seg i flere tilfeller litt utover i terrenget, men samles inn mot bekken igjen på grunn av terrengformasjonene. De to bekkene (bekk 2 og bekk 3) i midten følger definerte løp frem til de samløpet med den nordligste (bekk 1) og sørligste bekken (bekk 4). Den sørligste av bekkene (bekk 4) renner i et definert søkk ved innløpet til kartleggingsområdet før den fordeler seg utover ei vifte, og etter hvert møter bekk 3. Videre fordeler vannet seg i bekkeløpet og ned mot alpinløypa før det samles ved veien og renner over det laveste punktet.

Vannet følger omtrent samme løp ved fremtidig 20- og 200-årsflom.

5.4 Sensitivitetsanalyse

Da vi ikke har tilgang på kalibreringsdata er det gjennomført en sensitivitetsanalyse av modellene.

5.4.1 Tenla og Børrenøs-bekken

Tenla renner i et så definert løp at både økt vannføring med 20 % eller økt ruhet med 20 % har minimal innvirkning på oversvømt areal. Det samme gjelder Børrenøs-bekken.

5.4.2 Begna ved Kiladn

- Øking i vannføring med 20 % gir en økning i vannstand på 0,2 meter i kartleggingsområdet.
- Øking i ruhet med 20 % gir en økning i vannstand på 0,1 meter i kartleggingsområdet.
- Modellering på råterrengmodellen gir 0,02 meter høyere vannstand i kartleggingsområdet.

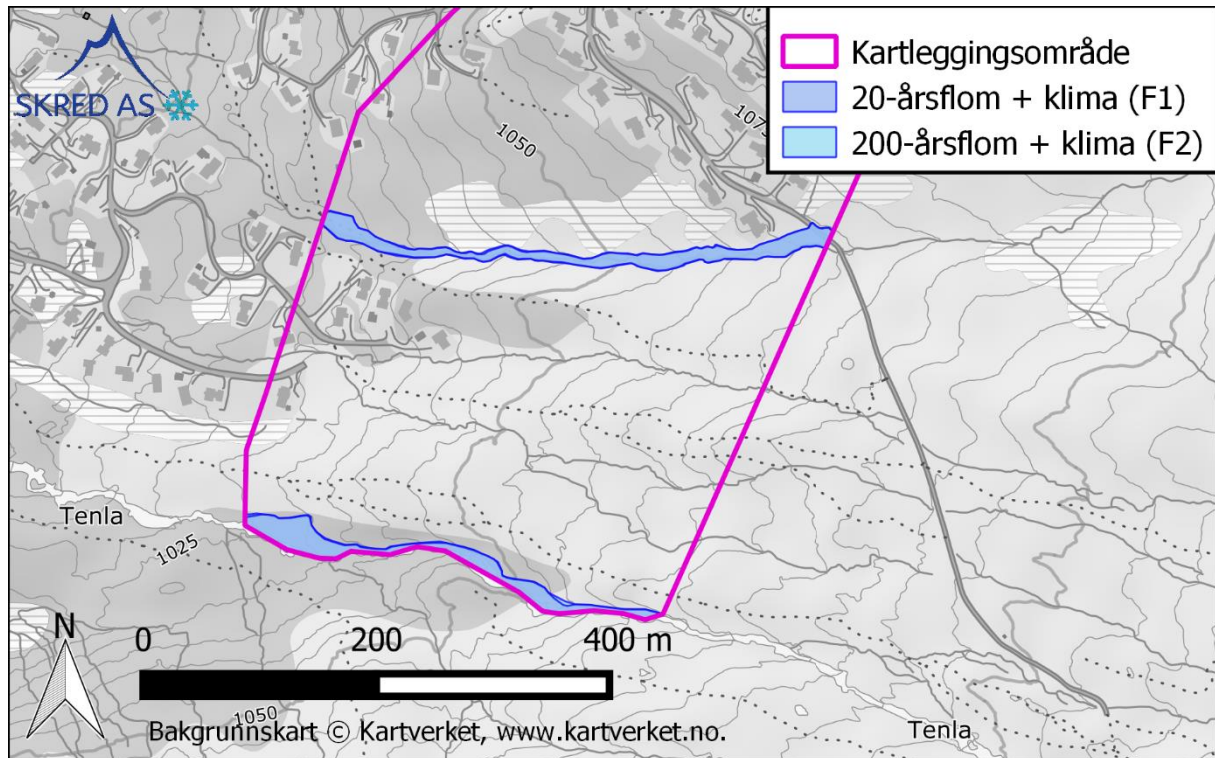
5.4.3 Kila-bekkene

Både øking i vannføring med 20 % og øking i ruhet med 20 % har minimal påvirkning på oversvømt areal.

6 Faresoner for flom

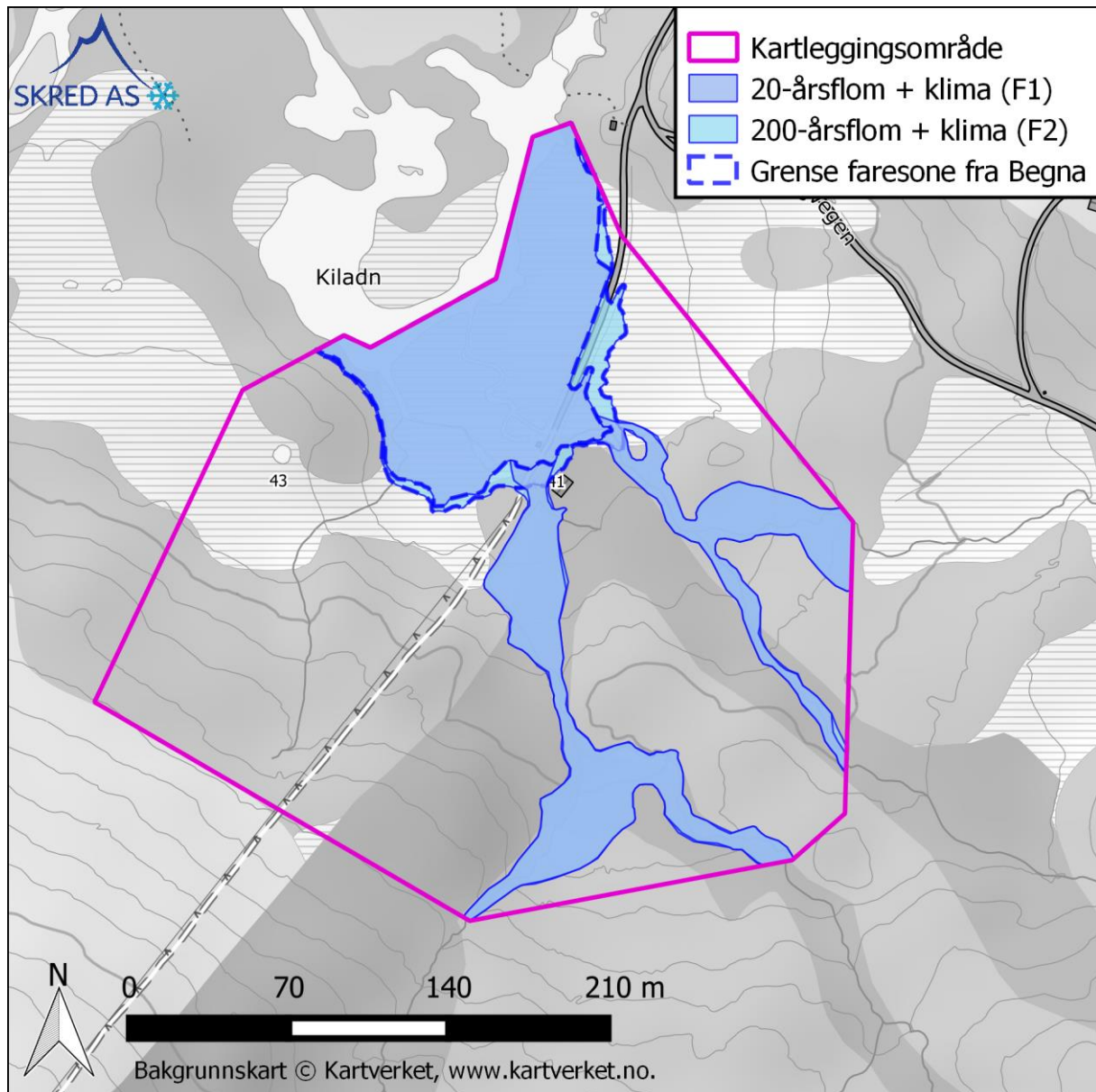
Basert på resultater fra modelleringen og analysene er det tegnet opp faresone for flom for det vurderte området. Faresonen viser hvilke områder som vurderes utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK17.

Faresonene i kartleggingsområdet Børrenøse følger søkket til bekke- og elveløpene nedover. Faresonene er omtrent sammenfallende og fremkommer av Figur 24.



Figur 24: Faresone som viser områder utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F1 og F2) i kartleggingsområdet Børrenøse.

Faresonene i kartleggingsområdet Kila fremkommer av Figur 25. Dersom det etableres bebyggelse innenfor faresonen fra Begna anbefales det å benytte en ekstra sikkerhetsmargin på minimum 0,3 meter.



Figur 25: Faresone som viser områder utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100 (sikkerhetsklasse F1 og F2) i kartleggingsområdet Kila.

7 Vurdering av erosjonssikkerhet

7.1 Erosjonssikkerhet

I henhold til krav i TEK17 §7-2 (4) skal byggverk plasseres eller sikres slik at det ikke oppstår skade ved erosjon.

Det ble ikke observert pågående erosjon i Tenla. Den modellerte vannhastigheten i Tenla er tidvis høy, > 6 m/s. Siden elva hovedsakelig renner på berg og blokker, vurderes likevel erosjonsfaren som liten. Det ble heller ikke observert pågående erosjon i Børrenøs-bekken. Den modellerte vannhastigheten er relativ høy, 3-4 m/s, gjennom store deler av kartleggingsområdet. Bekken renner delvis på berg og har stort sett vegeterte kanter. Det er lite tilgjengelige løsmasser i bekken, og trolig et tynt morenedekke oppå berg på sidene. Dette gir lite potensiale for erosjon, og erosjonsfaren langs bekken vurderes som liten. Det anbefales at det settes av et vegetasjonsbelte på minst 5 meter langs bekken for å opprettholde erosjonssikkerheten.

Begna gjør en yttersving inn mot kartleggingsområdet Kila. Modelleringen viser at ved en større flom, vil store deler av vannføringen kutte svingen, slik at vannhastigheten er liten inne i kartleggingsområdet. Terrenget består av myr ned mot elva, som vurderes som lite erosjonsutsatt. For dagens situasjon vurderes erosjonssikkerheten som tilstrekkelig. Ved utbygging eller større inngrep innenfor flomfarensonen fra Begna bør det erosjonssikres.

Bekken langs heistraséen på Kila graver noe i fyllinga under heisen. Området bakover er flatt, og fyllmassene vurderes som relativt stabile. Det vurderes at det ikke er behov for erosjonssikring av bekken for dagens situasjon, men det må forventes utbedring av dette etter en større flomhendelse. Det bør føres jevnlig tilsyn.

Langs de andre bekkene i kartleggingsområdet Kila ble det ikke observert pågående erosjon. Det anbefales at det settes av et vegetasjonsbelte på minst 5 meter langs bekkene, som vil bidra til å opprettholde erosjonssikkerheten.

8 Risikoreduserende tiltak

Ny bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen for flom. Dersom det skal etableres ny bebyggelse innenfor faresonen som faller inn under sikkerhetsklasse F1 eller F2 må det utføres risikoreduserende tiltak. Tiltak kan enten ha som mål å redusere faresonen, eller at byggverk dimensjoneres på en måte slik at det ikke tar skade ved dimensjonerende flom.

Det vurderes som lite aktuelt med tiltak for å redusere flomfaresonene i kartleggingsområdet Børrenøse.

Det kan være aktuelt å fylle ut og heve terrenget inn mot Begna, men det må gjøres grundigere vurderinger for å sikre at det ikke gir økt flomfare andre steder.

For bekkene langs Kila kan det være aktuelt å anlegge voller el. for å redusere utbredelsen til faresonene.

9 Konklusjon

For kartleggingsområdet Børrenøse er dimensjonerende 20- og 200-årsflom i Tenla inkludert et klimapåslag på 20 % beregnet til henholdsvis 20 og 33 m³/s. For Børrenøs-bekken er dimensjonerende 20- og 200-årsflom med 40 % klimapåslag beregnet til 1,7 og 2,7 m³/s. For kartleggingsområdet Kila er dimensjonerende 20- og 200-årsflom i Begna med 20 % klimapåslag beregnet til 36 og 61 m³/s. For bekkene i Kila er dimensjonerende spesifikk 20- og 200-årsflom med 40 % klimapåslag beregnet til 2800 l/s*km² og 4600 l/s*km². Feltarealet er fra 0,1 til 0,4 km².

Det er etablert en hydraulisk modell for hvert av vassdragene. Modelleringen for Tenla og Børrenøsbekken viser elve-/bekkeløpene har god kapasitet. Modellen for Begna viser at vannhastigheten vil være lav inn mot kartleggingsområdet og gi et omtrent stillestående vannspeil. Modellen for bekkene i Kila viser at vannet delvis holder seg til bekkeløpet og delvis sprer seg utover i terrenget. Med unntak av Begna viser modelleringen generelt liten forskjell i oversvømt areal ved 20- og 200-årsflom.

Basert på resultater fra modelleringen og analysene er det tegnet opp faresone for flom for de vurderte områdene. Faresonen viser hvilke områder som vurderes utsatt for flom med en årlig sannsynlighet større enn 1/20 og 1/200 i år 2100, som tilsvarer sikkerhetsklasse F1 og F2 i TEK17.

Ny bebyggelse bør i utgangspunktet plasseres utenfor faresonen for flom. De kartlagte strekningene av Tenla og Begna vurderes som lite erosjonsutsatt. Langs bekkene anbefales det at det settes av et 5 meter bredt vegetasjonsbelte.

10 Referanser

DiBK. (2018). *Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK 17)*.

MET. (2015). *24/2015: Dimensjonerende korttidsnedbør*.

Norsk Klimaservicesenter. (2022). *Klimaprofil Oppland*. Hentet fra
<https://klimaservicesenter.no/kss/klimaprofiler/oppland>

NVE. (2015a). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*.

NVE. (2022). *Veileder for flomberegninger*.

SINTEF. (1992). *STF60 A92101 - Flomberegning og Kulvertdimensjonering*.