

Oppdragsgiver	Navn Øyer kommune	Kontaktperson Odd Magne Tuterud
Oppdrag	Nummer og navn 20173 Øyer, Trodal Boligfelt – uavhengig vurdering	Oppdragsleder Petter Reinemo
Dokument	Nummer 20173-01-3 Utført av Petter Reinemo	Dato 2020-10-19 Kontrollert av Ingrid Alne og Lars Staver Eid

Uavhengige vurderinger relatert til flom og overvann for Trodal Boligfelt

Versjon 1: Første versjon av dokument. 18.06.2020

Versjon 2: Oppdatert med kapittel 7. 15.09.2020

Versjon 3: Oppdatert med kapittel 8. 19.10.2020

Sammendrag

Øyer kommune har regulert Trodal Boligfelt ved Jevnegropa mellom Gamlevegen og E6 til ca. 200 boenheter. Søre Brynsåa og Trodalsbekken utgjør potensiell flomfare for området. I tillegg må overvann håndteres tilstrekkelig.

Norconsult AS har tidligere utført detaljerte vurderinger av flomfare og overvannshåndtering med tilhørende tiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet og funksjon. Skred AS er forespurt om å utføre uavhengige vurderinger for utvalgte aktiviteter relatert til Søre Brynsåa, Trodalsbekken og overvannshåndtering for planområdet.

En detaljert beskrivelse av de utførte vurderingene følger av denne rapporten. Det vises til kapittel 6 for oppsummering av hovedresultatene fra arbeidet.

Rapporten er senere utvidet med kapittel 7 og 8.

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Befaring og oppstartsmøte 12. mai 2020	7
1.3	Punkter som skal inngå i uavhengig vurdering	7
2	Aktuelle lovverk	9
2.1	Flom	9
2.1.1	Lovverk	9
2.2	Overvannshåndtering	10
2.2.1	Lovverk	10
3	Trodalsbekken	11
3.1	Beregning av dimensjonerende vannmengder	11
3.1.1	Metode	11
3.1.2	Beskrivelse av nedbørfelt	11
3.1.3	Flomberegning med utvalgte metoder	13
3.1.4	Flomformler for små nedbørfelt	15
3.1.5	PQRUT	15
3.1.6	Den rasjonale formelen	17
3.1.7	Klimaframskrivninger	18
3.1.8	Vurdering av resultater	18
3.1.9	Dimensjonerende vannføring	18
3.2	Vurdering av oppstrøms avskjærende tiltak	19
3.3	Vurdering av nødvendig dimensjon av grøft langs Hornsjøvegen	21
3.3.1	Dimensjonerende vannmengder for eventuell avskjærende grøft	22
3.3.2	Beregning av kapasitet	22
3.4	Vurdering av nedstrøms tiltak i tilknytning til planområdet	23
3.4.1	Dagens situasjon	23
3.4.2	Planlagt situasjon og vurderte krav til håndtering av bekken	24
3.4.3	Anbefalt flomvei mellom bekkeinntak og Lågen	25
4	Søre Brynsåa	28
4.1	Vurdering av kapasitet til bruer ved Kongsvegen og E6	28
4.1.1	Metode	28
4.1.2	Beskrivelse av elveløp og konstruksjoner	28
4.1.3	Vannføringer	32
4.1.4	Resultater fra modelleringen ved bruene	33
4.2	Overordnet vurdering av massebasseng ved Kongsvegen	36
5	Overvannshåndtering	37
5.1	Overordnet beskrivelse av dagens situasjon	37
5.2	Vurdering av før- og etter situasjon	38
5.2.1	Estimert 200-års vannmengde før- og etter utbygging	38

5.3	Påvirkning på Søre Brynsåa og krav til fordrøyning	38
6	Oppsummering av vurderingene i kapittel 3, 4 og 5	40
7	Spesifisering av mulige løsninger for Trodalsbekken	41
7.1	Generelt	41
7.2	Reetablering av opprinnelig bekkeløp	41
7.2.1	Premisser for løsning og vurderingen	41
7.2.2	Krav til kapasitet	42
7.2.3	Dimensjonerende vannmengder til bekkeløp	43
7.2.4	Nødvendige dimensjoner på nye kulverter under Furuvegen og Kongsvegen ..	43
7.2.5	Bekkeløp og sekundærløp/flomløp	44
7.3	Etablere åpent bekkeløp over barnehagetomt	45
7.3.1	Premisser for løsning og vurderingen	45
7.3.2	Krav til kapasitet, dimensjonerende vannmengder og vurdering av dimensjoner	47
7.3.3	Vurdering av samhörighet og effekt på Søre Brynsåa	47
7.4	Videre vurdering av mulige bekkeomlegging	49
8	Vurdering av mulig avskjæring mot Mosåa	50
8.1	Bakgrunn	50
8.2	Avskjæringene sin effekt på dimensjonerende vannmengde i Trodalsbekken	52
8.3	Sammenligning av nedbørfelt	52
8.4	Anbefaling	53
9	Referanseliste	54

Figurer

Figur 1:	Utklipp av foreliggende reguleringsplan datert 19.11.2019	6
Figur 2:	Oversiktskart over deler av områdene og elementene som inngår i vurderingene	8
Figur 3:	Identifiserte feltgrenser til Trodalsbekken	12
Figur 4:	Illustrasjon av terrengtype i nedbørfeltet til Trodalsbekken	12
Figur 5:	Identifiserte flomveier med enkel- og fordelt flytanalyse	13
Figur 6:	Lokasjon til utvalgte målestasjoner	14
Figur 7:	Lokasjon til vurderte nedbørstasjoner	16
Figur 8:	Dimensjonerende nedbør sammenlignet med nærliggende IVF-kurver	17
Figur 9:	Hypsografisk kurve for Søre Brynsåa og Trodalsbekken øvre	19
Figur 10:	Feltgrenser for Søre Brynsåa og Trodalsbekken øvre	20
Figur 11:	Konstruerte flomforløp for Søre Brynsåa og øvre Trodalsbekken	21
Figur 12:	Nedbørfelt til Hornsjøvegen og delstrekninger langs vegen	23
Figur 13:	Illustrasjon av flomveianalyse og bilde av inntak til stikkrenne	24
Figur 14:	Trase til foreslått flomvei fra bekkeinntaket	26
Figur 15:	Oversiktsbilde av foreslått flomvei fra bekkeinntaket	26
Figur 16:	Bilder av trase til foreslått flomvei langs E6 og eksisterende krøttertunnel	27

Figur 17: Oversiktsbilde av elveløp oppstrøms Kongsvegen.....	28
Figur 18: Nærbilde av elveløp oppstrøms Kongsvegen.....	29
Figur 19: Bru Kongsvegen sett fra oppstrøms side.	30
Figur 20: Skader på tørrmur under Bru Kongsvegen.	30
Figur 21: Bilde av innløpet av kulverten under E6.	31
Figur 22: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser.	32
Figur 23: Plassering av lengdeprofiler som viser modellerte vannlinjer ved bruer.	33
Figur 24: Resulterende vannlinjer ved Bru Kongsvegen, ved M = 15.	34
Figur 25: Resulterende vannlinjer ved Bru E6, ved M = 20.	34
Figur 26: Modellerte vannhastigheter ved 35 m ³ /s for Bru Kongsvegen (M=15).....	35
Figur 27: Modellerte vannhastigheter ved 35 m ³ /s for Bru E6 (M=20).	35
Figur 28: Ortofoto av planområdet og lokalt nedbørfelt som inkluderer planlagt utbygging.	37
Figur 29: Konstruerte flomforløp for Søre Brynsåa og fra Planområdet som illustrer samhørighet.....	39
Figur 30: Ca. trase til opprinnelig bekkeløp, med stikkrenner og skissert flomløp under E6.	42
Figur 31: Ca. lengdeprofil opprinnelig bekkeløp med dagens terreng.	42
Figur 32: Eksempel på bekketverrsnitt (x- og y-akse er ikke i samme skala).....	44
Figur 33: Ca. trase for mulig nytt bekkeløp over barnehagetomt.	46
Figur 34: Ca. lengdeprofil med dagens terreng for mulig bekketrase over barnehagetomt... ..	46
Figur 35: Konstruerte flomforløp for Søre Brynsåa og Trodalsbekken.	48
Figur 36: Lokasjon til de to aktuelle veialternativene samt den avskjærende grøften.	51
Figur 37: Feltgrensene til Mosåa og delfelt oppstrøms veialternativ 1.	52
Figur 38: Hypsografisk kurve for Mosåa og øvre del av Trodalsbekken som kan avskjæres ved ny vegtrase.	53

Tabeller

Tabell 1: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i flomfareområde. Fra veileder til byggt teknisk forskrift, TEK17 (DiBK, 2018).	9
Tabell 2: Feltkarakteristika til Trodalsbekken.	11
Tabell 3: Feltkarakteristika for utvalgte vannføringsstasjoner.	13
Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer. Øvre rad for hver stasjon gir resultater fra DAGUT mens andre rad gir resultater fra FINUT.	14
Tabell 5: Resultater fra flomformelverket for små nedbørfelt for Trodalsbekken (kulminasjon).	15
Tabell 6: Resultatene fra frekvensanalyse på data ved de vurderte nedbørstasjonene.	16
Tabell 7: Benyttede parametere og resultater fra beregninger med den rasjonale formel... ..	17
Tabell 8: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metode (kulm.).	18
Tabell 9: Beregnet 200-årsflom i Trodalsbekken (kulminasjon).	18
Tabell 10: Feltkarakteristikk og konsentrasjonstid for Søre Brynsåa og Trodalsbekken øvre.	19
Tabell 11: Feltareal og dimensjonerende vannmengder for strekninger langs Hornsjøvegen.	22
Tabell 12: Estimerte dybder av grøft langs Hornsjøvegen samt eksempel på profil.	22
Tabell 13: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for Søre Brynsåa.	32
Tabell 14: Beregning av teoretisk økning av vannmengde fra planområdet etter utbygging.	38
Tabell 15: Sikkerhetsklasser for veg påvirket av flom (Tabell 403.1 fra Håndbok N200).	43
Tabell 16: Dimensjonerende vannmengder ved kulverter under Furuvegen og Kongsvegen for ulike senarioer.	43
Tabell 17: Vurderte dimensjoner av rørkulverter ved flytting av bekk til opprinnelig trase... ..	44
Tabell 18: Estimert dybde og bredde av bekkestrekninger for Senario 1.	45
Tabell 19: Estimert dybde og bredde av bekkestrekninger for Senario 2.	45
Tabell 20: Estimerte dimensjoner av kulverter ved etablering av bekk over barnehagetomt.	47
Tabell 21: Beregnet reduksjon i dim 200-årsflom i Trodalsbekken for ulike alternativer med avskjæring.	52

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Øyer kommune har regulert Trodal Boligfelt ved Jevnegropa mellom Gamlevegen og E6 til ca. 200 boenheter. Figur 1 viser et utsnitt av foreliggende reguleringsplan datert 02.12.2019. Søre Brynsåa som renner langs nordre del av planområdet og Trodalsbekken som renner gjennom området utgjør potensiell flomfare. Utbyggingen skal ikke påføre nedstrøms områder økt ulempe, som blant annet stiller krav til overvannshåndteringen for området.

Norconsult AS har tidligere utført detaljerte vurderinger av flomfare og overvannshåndtering med tilhørende tiltak for å oppnå tilstrekkelig sikkerhet og funksjon. Før kommunen går videre med tiltakene ønskes det uavhengige vurderinger av utvalgte aktiviteter hvor usikkerheten er stor og vurderes kostnadsdrivende for prosjektet. Skred AS er forespurt om å utføre dette arbeidet. Rapporten er utarbeidet uavhengig av arbeidet til Norconsult AS.



Figur 1: Utsnitt av foreliggende reguleringsplan datert 19.11.2019.

1.2 Befaring og oppstartsmøte 12. mai 2020

12. mai 2020 ble det gjennomført et oppstartsmøte hos Øyer kommune med etterfølgende befaring ved Trodal boligfelt. Formålet med oppstartsmøtet var å få definert omfanget av de uavhengige vurderingene. Øyer kommune ønsker ikke nye fulle vurderinger, men at aktiviteter som vurderes mest kostnadsdrivende for prosjektet og som er beheftet størst usikkerhet vurderes. Det er også et ønske fra kommunen at alternative løsninger blir vurdert der det synes hensiktsmessig. Det vises til referat 01 – *Oppstartsmøte*.

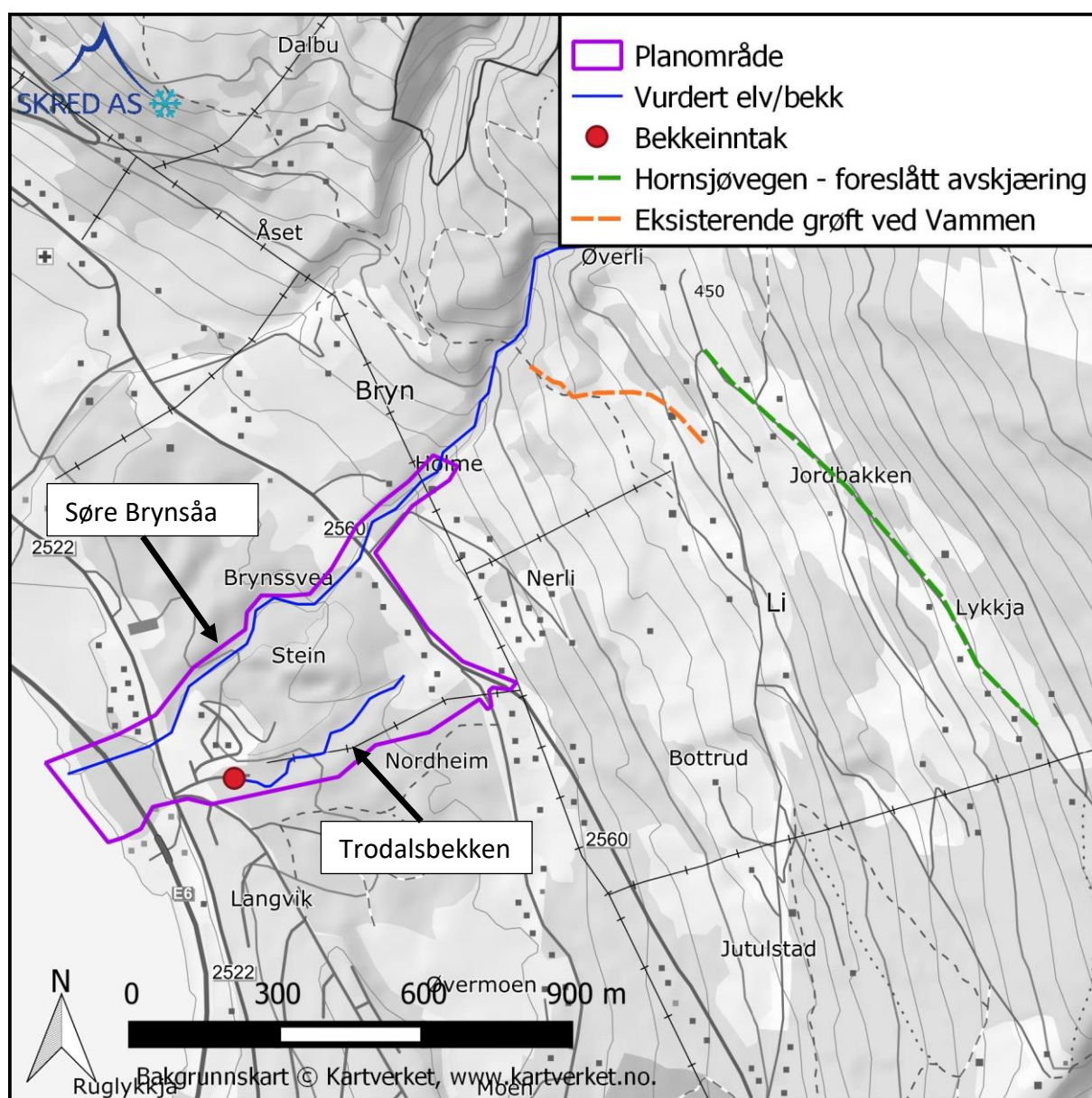
Befaring ble utført av Petter Reinemo, Skred AS. Per Georg Svingen fra Øyer kommune var med på deler av befaringen. Det var bar bakke, oppholdsvær og generelt gode befaringsforhold. Registreringer ble gjort til fots og med drone.

1.3 Punkter som skal inngå i uavhengig vurdering

Øyer kommune og Skred AS har sammen vurdert det hensiktsmessig med uavhengige vurderinger av følgende aktiviteter:

1. Trodalsbekken:
 - a. Beregning av dimensjonerende vannmengder.
 - b. Overordnet vurdering av oppstrøms tiltak i form av avskjæring av vann mot nabofelt, samt forventet effekt på flomvannføring i Søre Brynsåa ved eventuell avskjæring av vann.
 - c. Vurdering av nedstrøms tiltak i Trodalsbekken med tanke på flomveier, eventuelt krav til fordrøyning og dimensjoner.
 - d. Vurdere nødvendig dimensjon av eventuell avskjærende grøft langs Hornsjøvegen (lengde på ca. 1000 meter).
2. Søre Brynsåa:
 - a. Vurdere hvordan påslipp av vann fra eventuelt avskjærende grøft langs Hornsjøvegen og overvann fra planområdet påvirker flomvannføringen i Søre Brynsåa (sees i sammenheng med punkt 1b og 3a).
 - b. Vurdere kapasitet til bru ved Kongsvegen og E6.
 - c. Overordnet vurdering av massebasseng ved Kongsvegen
3. Overvannshåndtering:
 - a. Vurdere nødvendig fordrøyning av overvann i planområdet før påslipp i Søre Brynsåa.

Figur 2 viser et oversiktskart over deler av områdene og elementene som inngår i vurderingene.



Figur 2: Oversiktskart over deler av områdene og elementene som inngår i vurderingene.

2 Aktuelle lovverk

2.1 Flom

2.1.1 Lovverk

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.»

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 Overvannshåndtering

2.2.1 Lowerk

En oversikt over gjeldende regelverk for overvann finnes i *NOU 2015:16 Overvann i byer og tettsteder* (Klima- og miljødepartementet, 2015). Det foreligger i dag ikke et samlet regelverk som omhandler overvannshåndtering. De lover og forskrifter som anses som mest sentrale for vurdering av overvann i det aktuelle planområdet er gjengitt under:

- Vannressursloven § 7
«Utbygging og annen grunnutnytting bør fortrinnsvis skje slik at nedbøren fortsatt kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen. Vassdragsmyndigheten kan gi pålegg om tiltak som vil gi bedre infiltrasjon i grunnen, dersom dette kan gjennomføres uten urimelige kostnader.»
- TEK17 § 13-11
«Terreng rundt byggverk skal ha tilstrekkelig fall fra byggverket dersom ikke andre tiltak er utført for å lede bort overvann, inkludert takvann.»
- TEK17 § 15-8
 - 1) *«Overvann og drensvann skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene»*
 - 2) *«Bortledning av overvann og drensvann skal skje slik at det ikke oppstår oversvømmelse eller andre ulemper ved dimensjonerende regnintensitet...»*
- Grannelova § 2
«Ingen må ha, gjera eller setja i verk noko som urimeleg eller uturvande er til skade eller ulempe på granneeigedom. Inn under ulempe går òg at noko må reknast for farleg.»

3 Trodalsbekken

3.1 Beregning av dimensjonerende vannmengder

3.1.1 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 i små nedbørfelt (NVE, 2015a) og Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte felt (NVE, 2015b) er lagt til grunn for flomberegningen.

3.1.2 Beskrivelse av nedbørfelt

Feltgrensene til Trodalsbekken er identifisert fra en digital terrengmodell med horisontal oppløsning på 1 x 1 meter etablert på laserdata fra 2019 (2/5pkt-data). De identifiserte feltgrensene gjenspeiler en situasjon med tette stikkrenner. Øvre del av feltet består av et hytteområde, midtre del er preget av skog, mens nedre del er preget av landbruk. Ifølge NGU sitt løsmassekart består store deler av nedbørfeltet av morene med varierende tykkelse. Nedre del av feltet (nedstrøms Gamlevegen) består av Breelvavsetning. Fra skyggekart fremkommer det også en del fjell i dagen. Feltet har en jevn gradient uten innslag av innsjøer eller flater områder som kan gi en dempende effekt under flom. På bakgrunn av liten og bratt karakteristikk forventes det at feltet kan respondere raskt i situasjoner med kraftig nedbør og nedbør kombinert med snøsmelting.

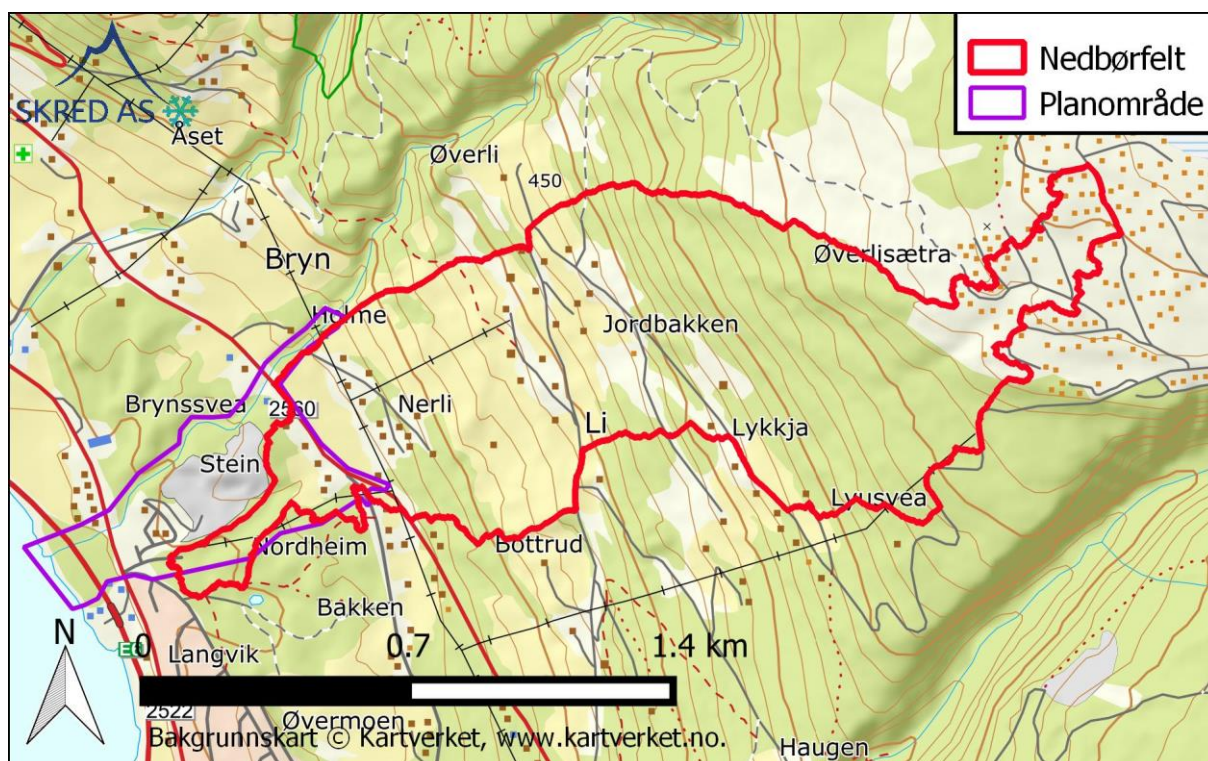
Det er flere avskjærende veier i feltet og de identifiserte feltgrensene synes stedvis diffuse. Feltgrensene kan også variere avhengig av tilstand på stikkrenner og drensveier. Basert på GIS-analyse av flomveier med både enkel- og fordelt flytanalyse (metoder blant annet beskrevet i Bratlie, 2015) vurderes det lite sannsynlig at det identifiserte feltet kan få tilført vann fra nabofelt. Da analysen av feltgrenser ikke tar hensyn til stikkrenner samt at den fordelte flomveianalysen viser mulige overløp over øvre del av Hornsjøvegen synes heller feltgrensene konservative. Flomveianalysen indikerer at en del flomvann kan bli ledet fra feltet til Trodalsbekken mot Søre Brynsåa ved Vammen hvor en eksisterende grøft kan avskjære vannet. Per Georg Svingen i Øyer kommune befarte grøfta 15.06.2020 og bekrefter at den vil lede vann mot elva, men at den har varierende tverrsnitt og erosjonssikkerhet.

Feltkarakteristika til Trodalsbekken er vist i Tabell 2, feltgrensene i Figur 3, illustrasjon av terrengtype i Figur 4, mens resultatene fra flytanalysene er vist i Figur 5.

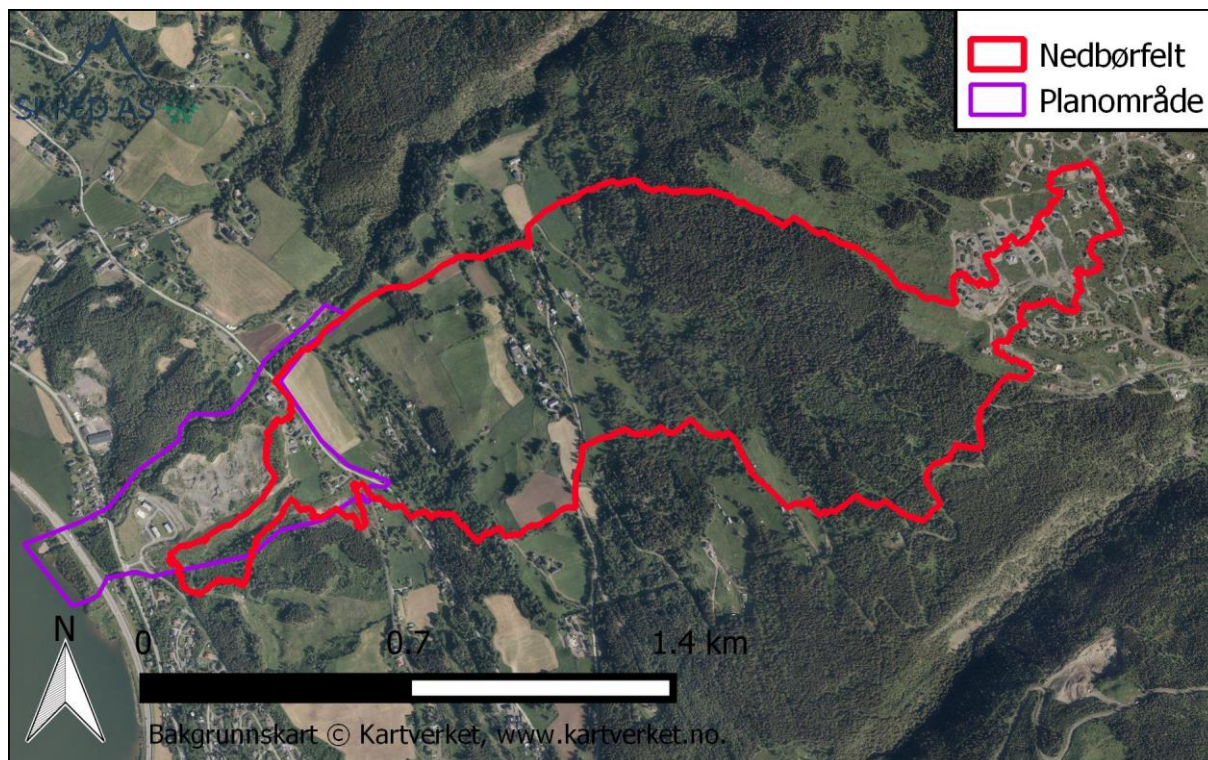
Tabell 2: Feltkarakteristika til Trodalsbekken.

Vassdrag	Feltareal [km ²]	q_N^* [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Dyrket [%]	Hytteområde [%]	Feltlengde [m]	Høydeint. [moh]
Trodalsbekken	1,30	22	0	55	30	10	2800	190 - 810

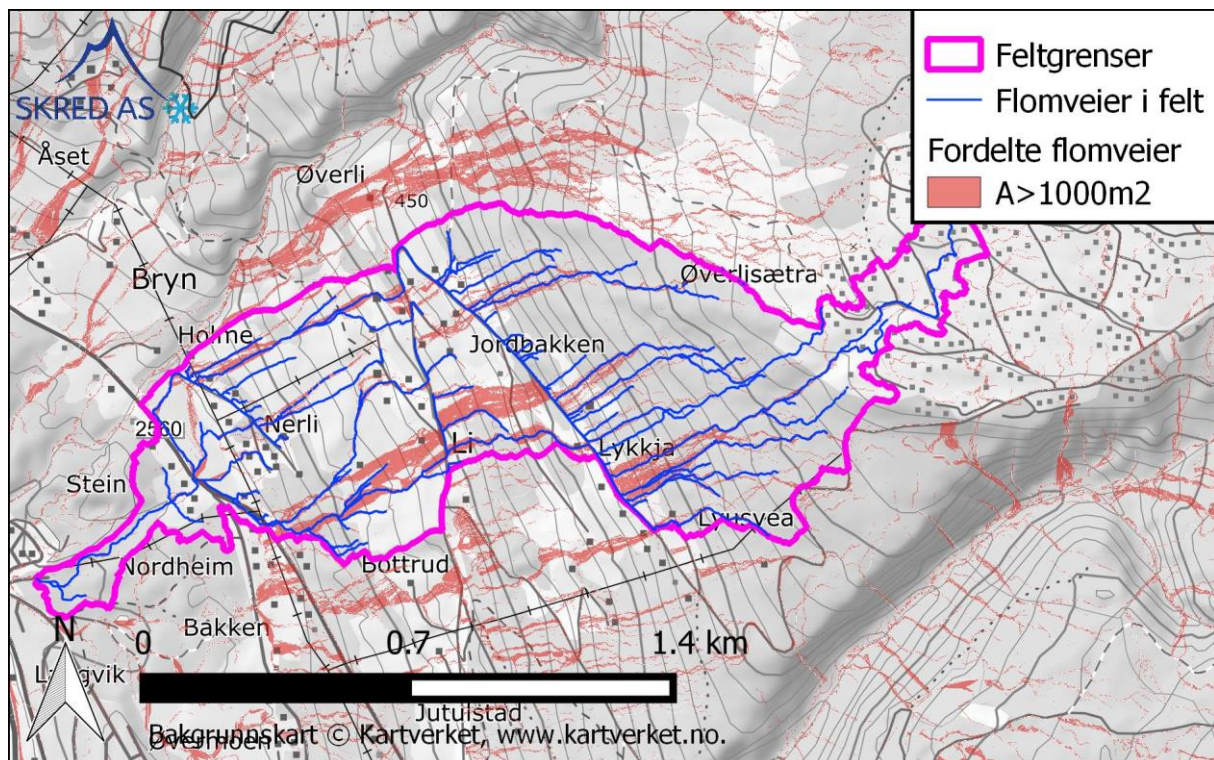
*fra NVE sitt avrenningskart for normalperioden 1961-90.



Figur 3: Identifiserte feltgrenser til Trodalsbekken



Figur 4: Illustrasjon av terrengtype i nedbørfeltet til Trodalsbekken.



Figur 5: Identifiserte flomveier med enkel- og fordelt flytanalyse.

3.1.3 Flomberegning med utvalgte metoder

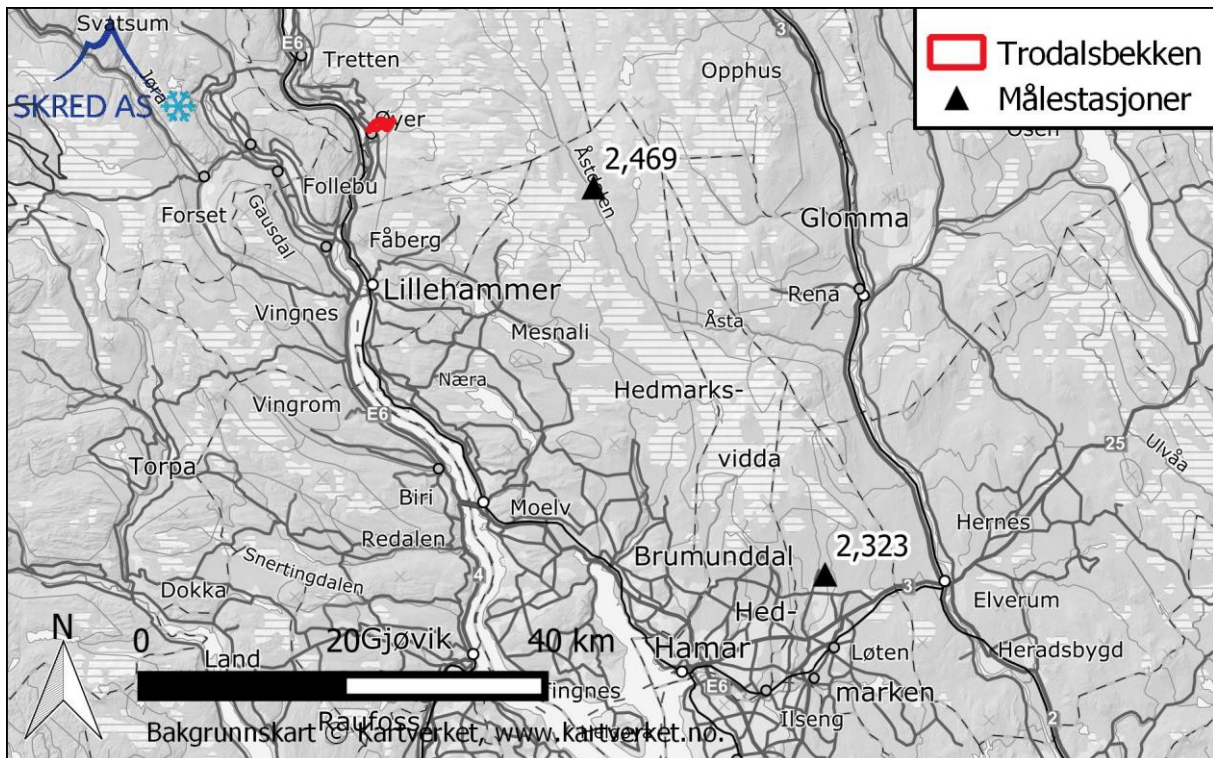
3.1.3.1 Målestasjoner og flomfrekvensanalyse

Det foreligger ingen kjente målinger av flomvannføring i Trodalsbekken eller i nærliggende vassdrag med tilsvarende feltkarakteristikk. Det foreligger derfor et svært dårlig grunnlag for flomfrekvensanalyse.

For å få en grov indikasjon er det allikevel valgt å utføre flomfrekvensanalyse på to nærliggende målestasjonene der feltareal er mindre enn 50 km². Feltkarakteristikk til utvalgte stasjoner er gitt i Tabell 3 mens beliggenhet er vist i på Figur 6.

Tabell 3: Feltkarakteristika for utvalgte vannføringsstasjoner.

Målestasjon	Feltareal I [km ²]	Målinger [år]	qN _{obs} / 61-90 [l/s*km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Myr [%]	Snau- fjell [%]	Høyde [moh]
2,323 Fura	36,6	1971 – 18	25 / 12	0	80	15	0	349 - 758
2,469 Skavldra ø.	16,2	1988 - 95	41 / 37	0	6	32	56	872 - 1088



Figur 6: Lokasjon til utvalgte målestasjoner.

Vannføringsmålinger fra målestasjonene er hentet ut og analysert gjennom NVE-databasen Hydra2. Det er gjort flomfrekvensanalyse av måleseriene på årsflommer. Kvaliteten til vannføringskurvene er gitt av NVE sin vurdering av aktuell kurve, noe som er avgjørende for kvaliteten til måledataene. For hver måleserie er det gjort et valg av type frekvensfordeling basert på serielengde og frekvenskurven sin tilpasning til dataene. Resultatene fra analysen er presentert i Tabell 4.

Tabell 4: Resultater fra flomfrekvensanalyse på årsflommer. Øvre rad for hver stasjon gir resultater fra DAGUT mens andre rad gir resultater fra FINUT.

Målestasjon	År	Middelflom		Kulm / døgn	Q200 / QM	Metode	Kurve- kvalitet (flom)
		Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]				
2,323 Fura	1971	13.6	374	1.49	2.17	GEV (mom)	Bra
	-18	20.3	556		2.49	GEV (mom)	
2,469 Skavldra øvre	1988 -	10.2	631	1.39	-	-	Usikker
	1995	14.2	877		-	-	

3.1.4 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 er noe lavere enn observerte verdier ved de to vannføringsstasjonene. Det er derfor valgt å benytte en middelavrenning på 25 l/s*km² inn i flomformelverket. Resultatene gitt fra flomformelverket for små nedbørfelt er presentert i Tabell 5. Det er gitt resultater for middelestimat, samt øvre- og nedre konfidensintervall (95%).

Tabell 5: Resultater fra flomformelverket for små nedbørfelt for Trodalsbekken (kulminasjon).

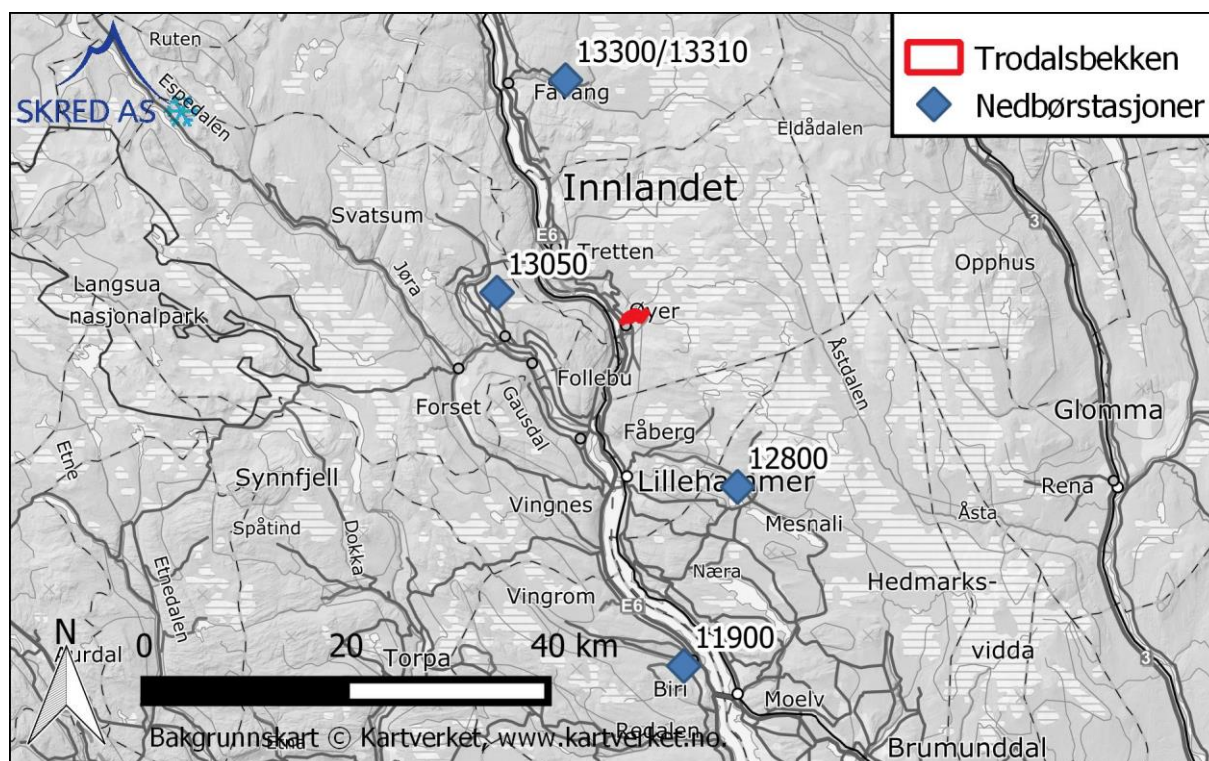
Estimat	Middelflom		Q ₂₀₀ / Q _M	Q ₂₀₀ [m ³ /s]
	Q _M [m ³ /s]	q _M [l/s*km ²]		
Lav (95 %)	0,50	380		1,35
Middel	1,00	755	2,76	2,70
Høy (95 %)	1,95	1510		5,40

3.1.5 PQRUT

PQRUT er en nedbør-avløpsmodell som er utformet som en lineær karmodell. Modellen er en forenklet versjon av HBV-modellen. I NVE (2015a) er det gitt en beskrivelse av modellen og hvordan den kan benyttes i små nedbørfelt. Det er flere usikkerhetsmomenter som ligger i bruken av modellen for mindre felt, slik at usikkerheten i resultatene forventes å være stor. Anbefalt feltareal for metoden er fra ca. 1 til 200 km², og Trodalsbekken ligger dermed tett mot nedre grense.

I henhold til anbefalinger i NVE (2015b) benyttes det et dimensjonerende nedbørforløp på 24 timer og et tidsskritt på 1 time. Konsentrasjonstiden til feltet er estimert til ca. 1 time basert på formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992).

Det ligger en stor grad av usikkerhet i valget av dimensjonerende nedbørverdier. Den nærmeste nedbørstasjon med høy tidsoppløsning er 12670 Lillehammer, hvor det foreligger en IVF-kurve basert på 23 målesesonger. Den korte måleperioden gir derimot et usikkert grunnlag for vurdering av nedbør for høye returperioder (eks. 200-årsnedbør). Vi er også kjent med at Lillehammer-kurven oppfattes som lav og den i liten grad benyttes til dimensjonering i området. Det foreligger flere nedbørstasjoner i området med flere år med døgndata enn ved 12670 Lillehammer. For å undersøke 200-års døgnnedbør i området er det utført frekvensanalyser på data ved disse stasjonene. Beliggenhet til vurderte nedbørstasjoner er vist i Figur 7.



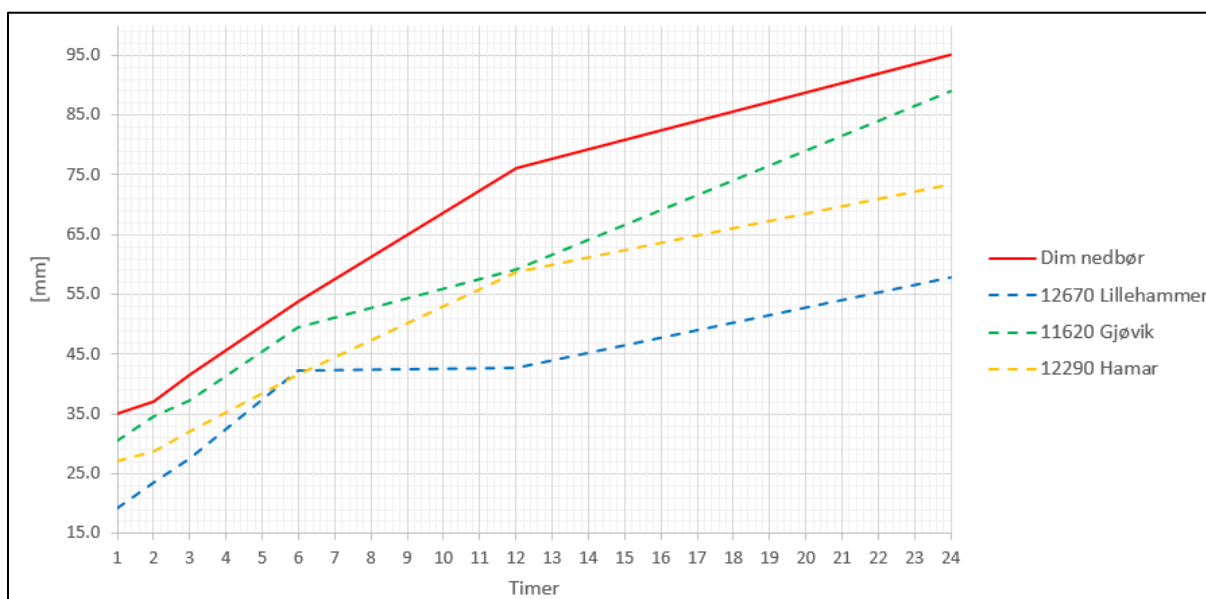
Figur 7: Lokasjon til vurderte nedbørstasjoner.

Resultatene fra frekvensanalyse på data ved nedbørstasjonene er gitt i Tabell 6. For å justere fra døgndata til vilkårlig 24-timers nedbørverdi er døgnerverdi multiplisert med en faktor på 1,13 som anbefalt i MET (2015). Resultatene gir noe sprikende verdier for 200-årsnedbør. Det er valgt å sette en dimensjonerende 200-års 24-timersnedbør til 95 mm. Valgt verdi tilsvarer omtrent medianverdien av vurderte stasjoner og gir godt samsvar med 11900 Biri hvor det foreligger flest år med måledata.

Tabell 6: Resultatene fra frekvensanalyse på data ved de vurderte nedbørstasjonene.

Stasjon	Måleperiode [år]	Høyde [moh.]	P200 døgner [mm]	P200 24 timer [mm]	Fordelingsfunksjon
11900 Biri	1895 - dd	190	85.7	96.8	Gumbel (mom)
12800 Mesna	1961 - 2015	520	106.1	119.9	GEV (-mom)
13050 Gausdal	1973 - 2010	650	70	79.1	GEV (-mom)
13310 Ringebru	1976 - dd	760	82.5	93.2	Gen.log (mom)
VALGT	-	-	-	95	-

For å fastsette nedbørverdier med varighet mellom 1 og 24 timer er det valgt å skalere IVF-kurven ved 12290 Hamar mot dimensjonerende 24-timersnedbør. Dette da det vurderes at Hamar-kurven, med 45 målesesonger, har det beste statistiske grunnlaget av nærliggende IVF-kurver. Dimensjonerende nedbørverdier for varigheter mellom 1 og 24 timer er vist i Figur 8 sammen med verdiene fra nærliggende IVF-kurver. At valgt kurve både ligger høyere enn nærliggende IVF-kurver samt betydelig høyere enn relevante regionale kurver presentert i MET (2015) antyder at valget av dimensjonerende nedbør kan være noe konservativt.



Figur 8: Dimensjonerende nedbør sammenlignet med nærliggende IVF-kurver.

Det er konstruert et 200-års nedbørforløp som er tilnærmet symmetrisk om den mest intensive nedbørperioden som anbefalt i NVE (2015). Ved beregninger med PQRUT er NVE sin webapplikasjon benyttet (<http://pqrout.nve.no/>). Initialvannføringen i modellene er satt til 3 ganger middelvannføringen, tilsvarende $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$.

200-årsflom i Trodalsbekken er med PQRUT beregnet til $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1.6 Den rasjonale formelen

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. Det foreligger ulike anbefalinger til hvor store felt formelen bør benyttes til. Anbefalingene varierer mellom $0,2$ og 5 km^2 . Generelt bør formelen benyttes forsiktig i naturlige felt og helst benyttes i kombinasjon med andre metoder.

Som for PQRUT ligger det en stor grad av usikkerhet i valget av dimensjonerende nedbørverdier. Det er valgt å hente dimensjonerende nedbør fra IVF-kurven utledet for PQRUT-beregningen. For aktuell konsentrasjonstid ligger valgt IVF-kurve høyere enn kurvene ved både Lillehammer, Gjøvik og Hamar.

Konsentrasjonstiden til feltene er beregnet ved bruk av formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992). Avrenningskoeffisient (C-verdi) er estimert etter fordeling av terrengtyper basert på aktuelle veiledere og erfaringsdata. Benyttede parametere og resultater fra beregninger med den rasjonale metoden er vist i Tabell 7.

Tabell 7: Benyttede parametere og resultater fra beregninger med den rasjonale formel.

Vassdrag	Areal [ha]	Kons. Tid [min]	I200 [$\text{l/s} \cdot \text{ha}$]	C-verdi	Q200 [m^3/s]
Trodalsbekken	130	67	92.1	0.33	4,0

3.1.7 Klimaframskrivninger

Anbefalinger i NVE (2016) og klimaprofil for Oppland (klimaservicesenteret, 2017) anbefaler et klimapåslag på minimum 20 % for å ta hensyn til forventet økning i flomstørrelser frem mot år 2100. I de nyeste anbefalingene fra Norsk Klimaservicesenter er det anbefalt et påslag på 40 % til dimensjonerende nedbør for felt med tilsvarende konsentrasjonstid som Trodalsbekken (Klimaservicesenteret, 2020).

Da Trodalsbekken i hovedsak er et naturlig felt der det nødvendigvis ikke er en direkte sammenheng mellom returperiode på nedbør og vannføring vurderer vi et klimapåslag på 30 % som hensiktsmessig.

3.1.8 Vurdering av resultater

Trodalsbekken har en karakteristikk som tilsier betydelig høyere spesifikke flomverdier enn ved de vurderte målestasjonene. Fra flomfrekvensanalysen vurderer vi derfor at en kulminert spesifikk 200-årsflom på over 2500 l/s*km² er realistisk. Da dimensjonerende nedbørforløp i PQRUT-modellen vurderes konservativt forventes det at denne metoden kan overestimere noe. Den rasjonale formelen gir spesifikke verdier mellom resultatet fra flomfrekvensanalysen og PQRUT, som tilsvarer en verdi mellom middel og øvre konfidensiell-intervall fra flomformelverket. I Tabell 8 er resultatene fra de ulike metodene sammenlignet.

Tabell 8: Sammenligning av resultater fra flomberegninger med ulike metode (kulm.).

Metode	q _m [l/s*km ²]	q ₂₀₀ [l/s*km ²]
Vurdert fra referansefelt	> 1000	> 2500
Formelverk for små nedbørfelt	380 – 755 - 1510	1045 – 2085 - 4170
PQRUT	-	3770
Rasjonale formel	-	3070

3.1.9 Dimensjonerende vannføring

Fra sammenligningen og vurderingene av resultatene vurderer vi at resultatet fått fra den rasjonale formelen for Trodalsbekken som realistisk. Det bemerkes at benyttet feltareal er konservativt da det både er tatt hensyn til tette stikkrenner, at ikke noe vann går i overløp og ut av feltet langs Hornsjøvegen, samt at ikke noe vann avskjæres i grøfta ved Vammen mot Søre Brynsåa. Ved Vammen vurderes det at betydelige mengder vann i dag kan bli overført, men at tilstand til grøft som sikrer overføring er varierende. For å ta hensyn til usikkerheten anbefaler vi at hele det identifiserte nedbørfeltet medregnes, så lenge det ikke utføres oppstrøms tiltak som sikrer feltgrensene.

Dimensjonerende 200-årsflom beregnet for Trodalsbekken med og uten klimapåslag er gitt i Tabell 9.

Tabell 9: Beregnet 200-årsflom i Trodalsbekken (kulminasjon).

Vassdrag	Feltareal [km ²]	200-årsflom		200-årsflom + 30% klimapåslag	
		[m ³ /s]	[l/s*km ²]	[m ³ /s]	[l/s*km ²]
Trodalsbekken	1,3	4,0	3070	5,2	3990

3.2 Vurdering av oppstrøms avskjærende tiltak

For å begrense dimensjonerende flomvannføring i Trodalsbekken gjennom planområdet foreslår kommunen å avskjære øvre del av nedbørfeltet langs Hornsjøvegen mot Søre Brynsåa. Langs Hornsjøvegen er det flere stikkrenner med dimensjon mellom 200 og 500 mm med varierende tilstand. Kapasitet til disse under flom er høyst usikker da helt eller delvis tilstopping kan forekomme. Største delen av flomvannføringen fra delfeltet vurderes i dag å bli ledet mot Søre Brynsåa lengre nedstrøms i feltet, eller via eksisterende avskjærende grøft ved Vammen.

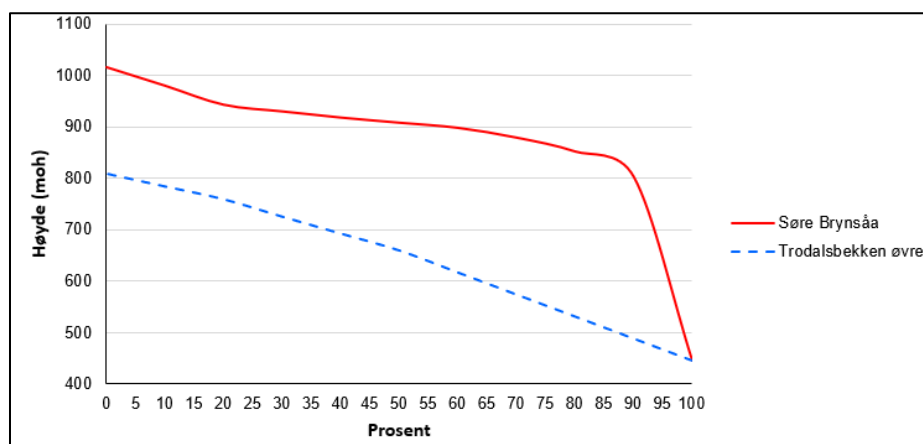
En eventuell avskjæring kan potensielt gi økt vannføring i Søre Brynsåa mellom utslippspunkt fra avskjæringen (grøft ved Vammen) og brua ved Kongsvegen. Dette kan blant annet påføre bruene ved Gamlevegen og Kongsvegen økt belastning, samt øke faren for erosjon langs elveløpet.

For å vurdere samhörighet av flom i øvre del av Trodalsbekken og Søre Brynsåa er feltkarakteristikken og mulige flomforløp sammenlignet. Konsentrasjonstiden til de to feltene er beregnet ved bruk av både formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992), samt den pragmatiske metoden bla. beskrevet i NVE (2015a).

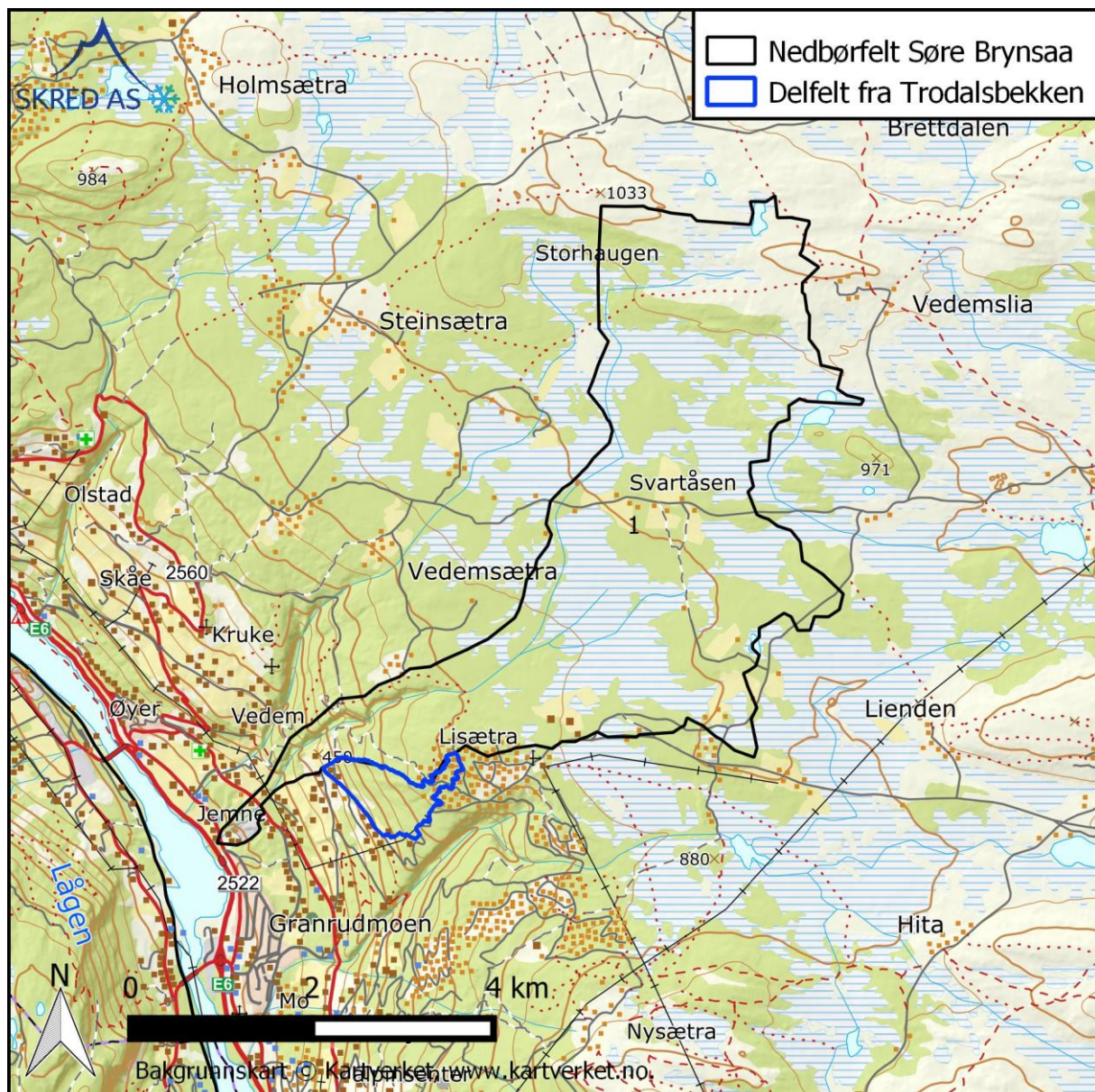
Feltkarakteristika til feltene er gitt i Tabell 10, hypsografiske kurver i Figur 9 og kart over feltgrenser i Figur 10.

Tabell 10: Feltkarakteristikk og konsentrasjonstid for Søre Brynsåa og Trodalsbekken øvre.

Felt	Areal [km ²]	Eff. Sjø [%]	Skog [%]	Myr [%]	Hytte f. [%]	Høyde [moh]	Feltl. [km]	Elvegr. [m/km]	T _{svv} [min]	T _{prag.} [time]
Søre Brynsåa	16,9	0	46	38	4	445 - 1016	9,4	70	197	2,6 (1 m/s)
Trodalsbekken øvre	0,68	0	85	0	15	445 - 810	2,0	180	63	0,4 (1,5 m/s)



Figur 9: Hypsografisk kurve for Søre Brynsåa og Trodalsbekken øvre.



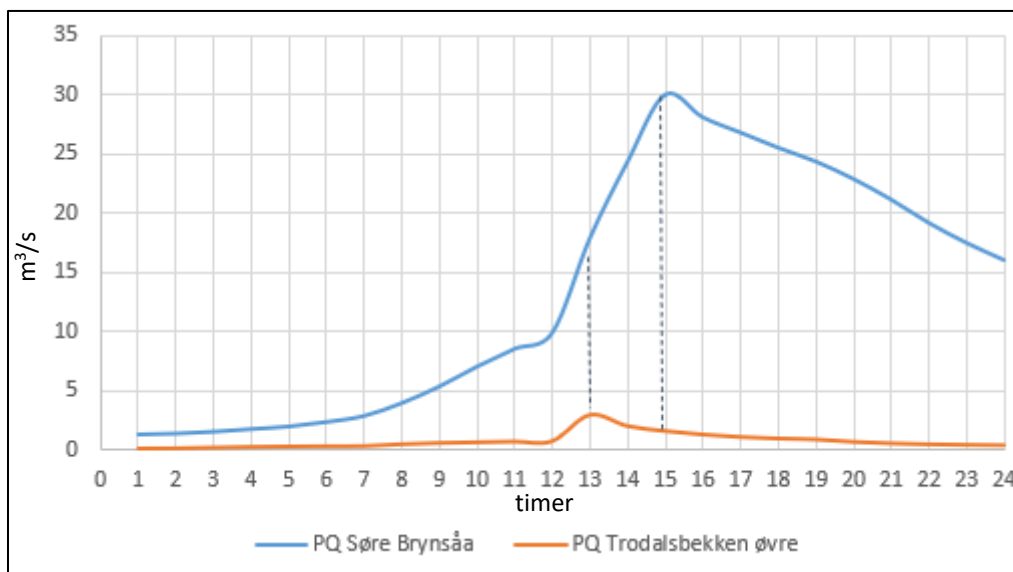
Figur 10: Feltgrenser for Søre Brynsåa og Trodalsbekken øvre.

Trodalsbekken ligger i nedre del av feltet til Søre Brynsåa, der ca. 90 % av feltarealet ligger lavere enn feltet til Brynsåa. Trodalsbekken har en jevnt bratt gradient uten tjern eller flatere partier som kan bidra med naturlig flomdempning. Søre Brynsåa har derimot en betydelig slakere karakteristikk med større flatere myrområdet. Det forventes derfor ulike flomforløp og respons på nedbør og/eller snøsmelting i de to feltene. Ulike kombinasjoner av prosesser vil kunne gi flom i de to nedbørfeltene.

For å illustrere samhörighet av flom i de to feltene er det konstruert to flomforløp med utgangspunkt i det samme nedbørforløpet. For øvre Trodalsbekken må vannføring anses spesielt konservativt da det allerede i dag forventes at en del vann ledes mot Søre Brynsåa fra eksisterende grøft ved Vammen. Flomforløpene er konstruert fra PQRUT med følgende antagelser:

- Det antas samtidig flom i de to feltene der nedbørforløp og nedbørverdier er likt over begge feltene for en periode på 24 timer.
- Det antas 1 time konsentrasjonstid til Øvre Trodalsbekken og 3 timer for Søre Brynsåa. I realiteten forventes differansen i konsentrasjonstid å være større.

Figur 11 viser de konstruerte flomforløpene, der man ser at flomtoppen fra Øvre Trodalsbekken har flatet betydelig ut når flomtoppen fra Søre Brynsåa inntreffer. Sammen med de konservative antagelsene for vannføring fra Trodalsbekken vurderes det at en eventuell avskjæring langs Hornsjøvegen i svært liten grad vil påvirke flomvannføringen i Søre Brynsåa.



Figur 11: Konstruerte flomforløp for Søre Brynsåa og øvre Trodalsbekken.

En eventuell avskjæring langs Hornsjøvegen og ut i Søre Brynsåa vil redusere det resterende feltarealet til Trodalsbekken til 0,62 km², som gir en 200-årsflom inkludert klimapåslag gjennom planområdet på 2,5 m³/s (gitt spesifikk vannføring på ca. 4000 l/s*km²).

3.3 Vurdering av nødvendig dimensjon av grøft langs Hornsjøvegen

Nødvendig dimensjon på en eventuell avskjærende grøft langs Hornsjøvegen er vurdert. Det er tatt utgangspunkt i at alt vann fra oppstrøms nedbørfelt ledes til grøfta. I forbindelse med detaljering bør det vurderes om stikkrenner under vegen skal opprettholdes for å sørge for tilførsel av vann til nedstrøms områder i «normalsituasjoner». Grøfta vil da ha funksjon som et flomløp, hvor maksimal vannføring videreført til nedstrøms bekkeløp kan begrenses av stikkrennenes kapasitet.

3.3.1 Dimensjonerende vannmengder for eventuell avskjærende grøft

Dimensjonerende vannmengde er beregnet i kapittel 3.1 hvor spesifikk 200-årsflom inkludert klimapåslag er estimert til ca. 4000 l/s*km². Ved vurdering av kapasitet av eventuell avskjærende grøft er det tatt utgangspunkt i de samme spesifikke vannføringene. Da den eventuelle grøfta får økende feltareal og vannmengde nedstrøms er det valgt å se på vannføring og dimensjoner for tre ulike delstrekninger. Ved behov kan det benyttes flere segmenter. Tabell 11 viser feltareal og dimensjonerende vannmengder for delstrekningene langs Hornsjøvegen, der det refereres til Figur 12.

Tabell 11: Feltareal og dimensjonerende vannmengder for strekninger langs Hornsjøvegen.

Deltfelt	Feltareal [km ²]	q ₂₀₀ + klima [l/s*km ²]	Q ₂₀₀ + klima [m ³ /s]
1	0,3	4000	1,2
1+2	0,5	4000	2
1+2+3	0,7	4000	2,8

3.3.2 Beregning av kapasitet

Nødvendig kapasitet er beregnet ved Mannings formel og antagelse om friskeilstrømning. Hornsjøvegen har en jevn gradient på hele strekningen, der gjennomsnittlig helning er på 11 %. For å begrense vannhastigheter anbefales det at grøfta etableres med ru overflate, eventuelt med energidrepende elementer. Ved anbefaling av dybde til grøft er det tatt utgangspunkt i energilinje fremfor vannlinje.

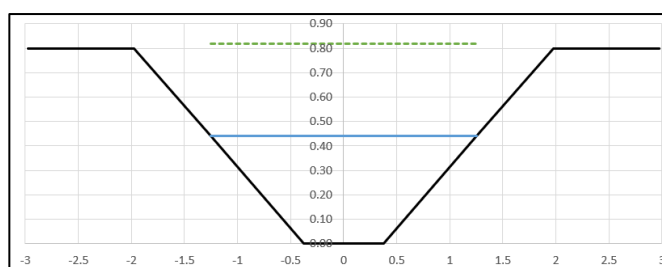
Beregning av nødvendig tverrsnitt av grøft er basert på følgende forutsetninger: *Bunnbredde = 0,75 meter, Helning sidekanter = 1:2, Helning i grøft = 11 %, Nivå av topp grøft = energilinje, Ruhet (Manningstall) = 20.*

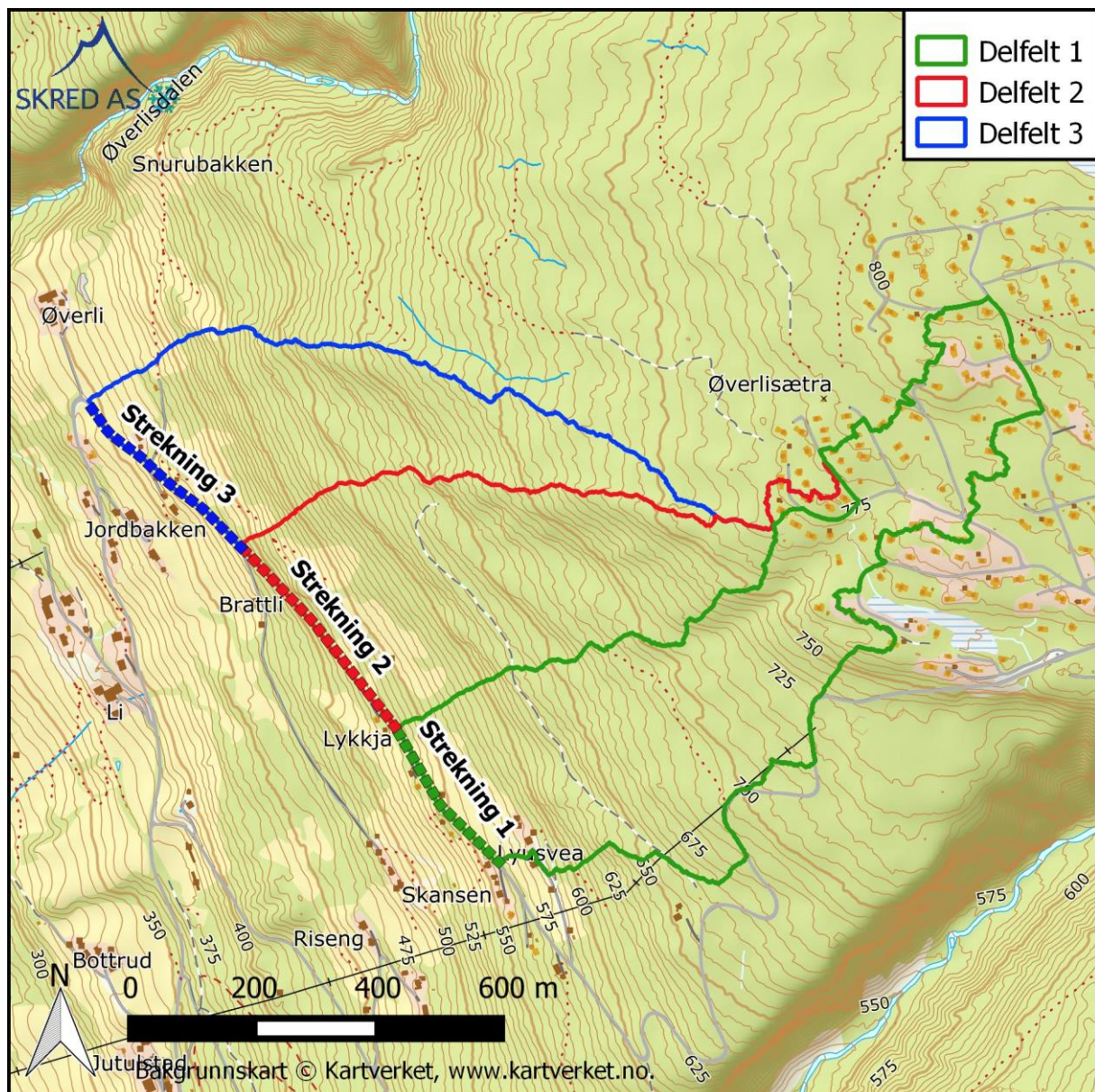
Ved avvik fra forutsetningene må beregningene oppdateres. Resulterende dybder og eksempel på profil er vist i Tabell 12.

Dersom det i praksis er vanskelig å oppnå tilstrekkelig tverrsnitt kan en mulighet være å anlegge vegen med tverrfall østover. Det må da kunne aksepteres at det renner vann på deler av veibanen under større flommer.

Tabell 12: Estimerte dybder av grøft langs Hornsjøvegen samt eksempel på profil.

Strekning	Anbefalt dybde [m]	Hastighet [m/s]
1	0,65	1,5
2	0,85	2,7
3	1,0	3,0





Figur 12: Nedbørfelt til Hornsjøvegen og delstrekninger langs veien.

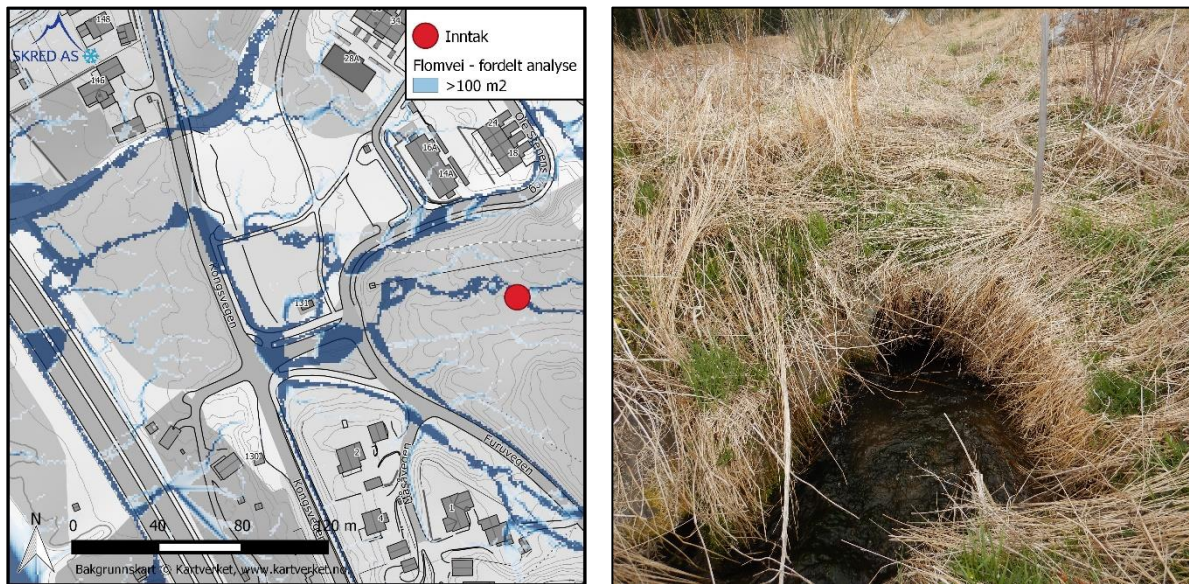
3.4 Vurdering av nedstrøms tiltak i tilknytning til planområdet

3.4.1 Dagens situasjon

Trodalsbekken går inn i en kulvert med diameter på 600 mm i nedre del av planområdet, som har utløp rett oppstrøms bru Kongsvegen (lokasjon vist på Figur 2 og Figur 13). Tabell for innløpskontrollerte kulverter blant annet gitt i SINTEF (1992) tilsier en kapasitet på ca. 400 l/s som er betydelig mindre enn dimensjonerende vannføring. Inntaket er i dag delvis igjengrodd som reduserer kapasiteten ytterligere. Ved høy vannstand i Søre Brynsåa forventes det en oppstuvning inn i kulverten som også vil kunne begrense kapasiteten.

Det er i dag ikke noe tydelig definert flomvei fra inntaket. Registreringer fra befaringen og analysen av flomveier tilsier at flomveien er svært diffus og kan avhenge av tilfeldige lokale forhold under flom. Den planlagte barnehagetomta kan blant annet bli berørt. Det vurderes at flomvann kulverten ikke kan ta unna ledes over Kongsvegen og videre mot Søre Brynsåa eller campingplass. Den opprinnelige bekketraseen går mot campingplassen og det er her også en eksisterende stikkrenne under Kongsvegen.

Figur 13 viser illustrasjon fra flomveisanalysen og et bilde av dagens kulvertinntak.



Figur 13: Illustrasjon av flomveianalyse og bilde av inntak til stikkrenne.

3.4.2 Planlagt situasjon og vurderte krav til håndtering av bekken

Planlagt tilkomstvei gjennom planområdet kommer både i konflikt med bekkeløpet gjennom området og eksisterende bekkeinntak.

Nytt bekkeløp må sikres kapasitet for minimum en 200-årsflom, mens kryssinger må ha kapasitet iht. krav i SVV sin *Håndbok N200 Vegbygging* (gjelder for offentlige veier). Eventuelle flomveier må sikres tilbake til bekkeløp. Bekkeløp må også erosjonssikres. Størrelsen på dimensjonerende 200-årsflom for bekkeløpet er avhengig av hvilke tiltak som blir gjort oppstrøms i feltet, ref. kapittel 3.2.

Bekkeinntaket må også flyttes. Utgangspunktet i gjeldende lovverk er at utbyggingen ikke må gjøre situasjonen verre for nærliggende områder, i tillegg til at ny bebyggelse må ha tilstrekkelig sikkerhet mot flom. Vi ser det derfor ikke nødvendig å øke dimensjonen på selve kulverten. Det kan uansett oppstå kapasitetsproblemer grunnet oppstuvning fra Søre Brynsåa. Inntakskonstruksjonen bør utbedres for å sikre en bedre hydraulisk utforming som vil bidra til å øke kapasitet. Videre bør det sikres en flomvei som leder den vannmengden kulverten ikke har kapasitet for mot Lågen.

Oppsummert vurderer vi at følgende punkter vil bedre situasjonen og sørge for tilstrekkelig sikkerhet mot en 200-årsflom i Trodalsbekken for planområdet og nedstrøms områder:

- Bekkeløp gjennom planområdet dimensjoneres for en 200-årsflom. Ved sikring av oppstrøms tiltak i Trodalsbekken vil dimensjonerende vannføring reduseres til ca. 2,5 m³/s (ref. kapittel 3.2). Nytt bekkeløp må være tilstrekkelig erosjonssikret.
- Eventuelle bekkekryssinger i tilknytning til ny vei må ha kapasitet iht. krav i SVV Håndbok N200. Det må sikres trygge flomveier fra kryssingene tilbake til bekkeløp. Samlet kapasitet på stikkrenner og flomvei skal minimum tilsvare en 200-årsflom.
- Ved flytting av bekkeinntak må det etableres et inntak med god hydraulisk utforming (eks. vingemur). Behov for inntaksrist bør vurderes.
- Fra bekkeinntaket må det etableres en flomvei som leder vannet trygt til Lågen. Flomvei bør ha kapasitet for minimum en 200-årsflom. Ved trygg avledning til Lågen gis ikke omliggende områder økt ulempe som følge av utbyggingen.

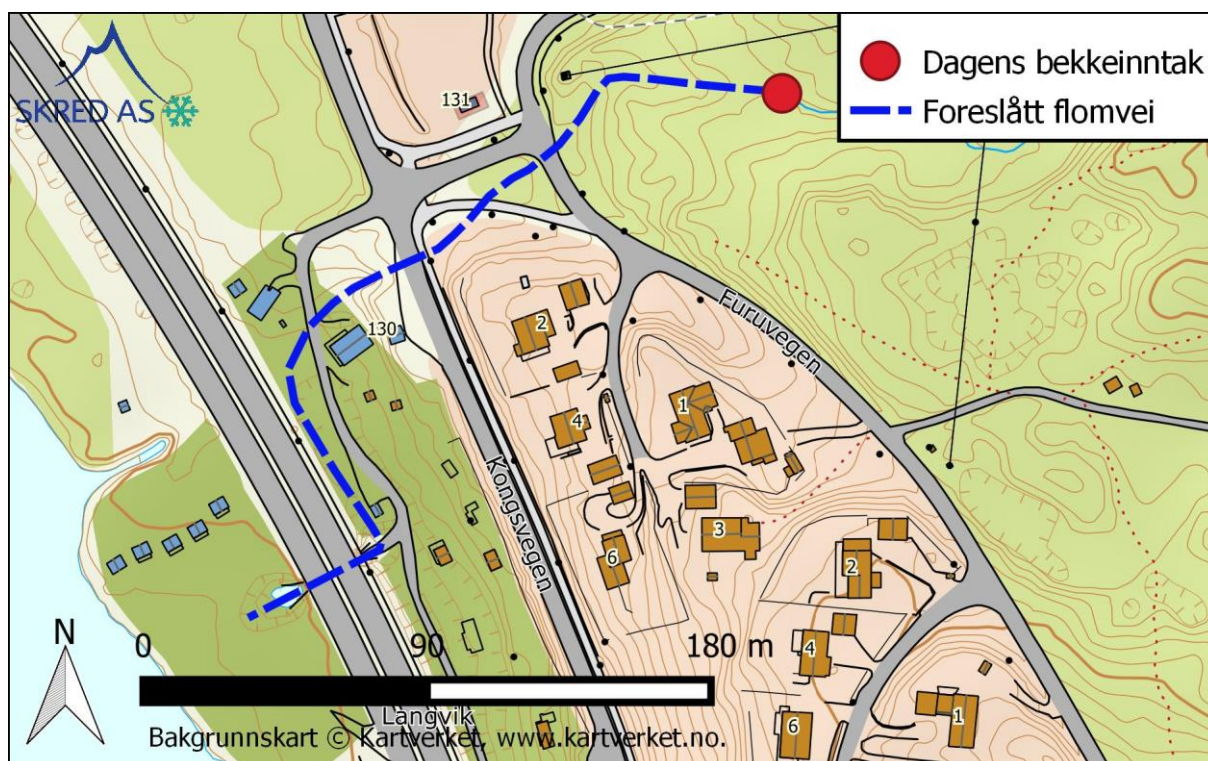
Gjennom foreslåtte punkter vurderer vi at det ikke er nødvendig å etablere større fordrøyningsområder i tilknytning til Trodalsbekken.

Ved å lede flomvei fra bekkeinntaket mot opprinnelig bekketrase kan man også kompensere for en teoretisk ulempe i form av økt vannføring i Søre Brynsåa gitt av overvannshåndteringen og eventuell avskjæring av vann langs Hornsjøvegen (ref. kapittel 3.2 og 5).

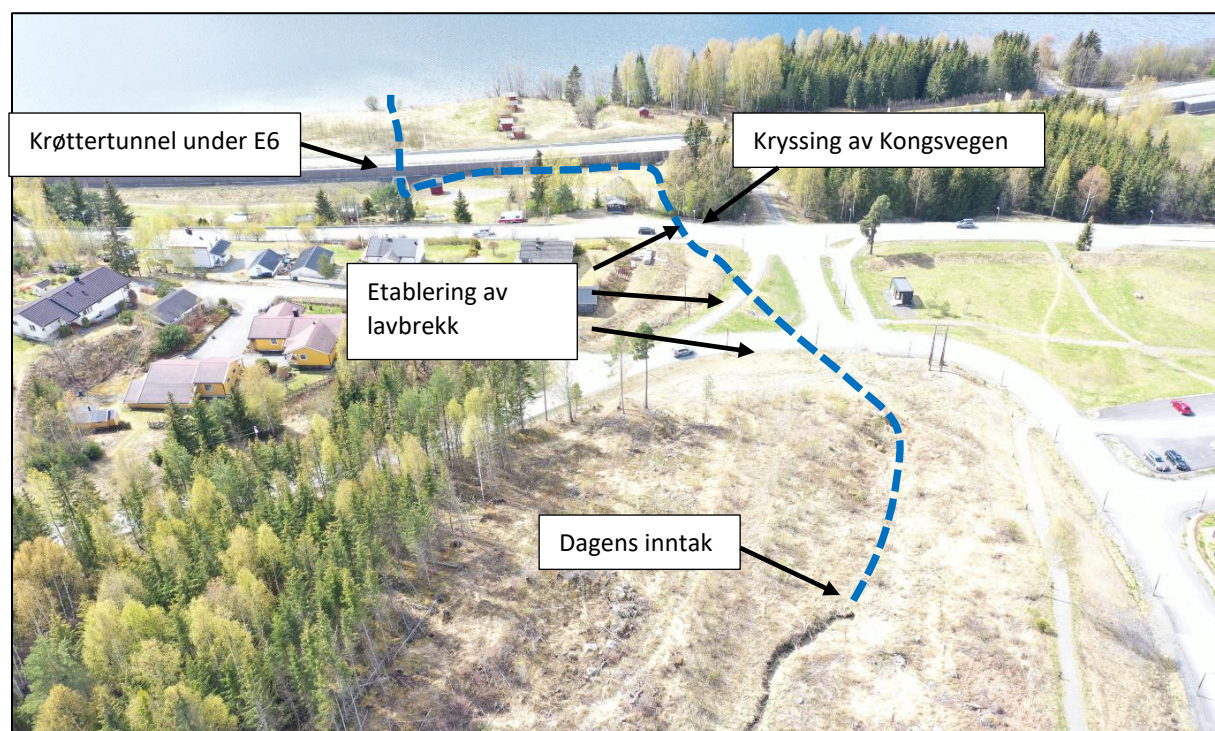
3.4.3 Anbefalt flomvei mellom bekkeinntak og Lågen

Vi foreslår å etablere en flomvei fra bekkeinntaket der det tas utgangspunkt i opprinnelig bekkeløp. Flomveien skal kunne håndtere det vannet som kulverten til Trodalsbekken ikke har kapasitet for, men det anbefales uansett å dimensjonere for en full 200-årsflom. Vi ser det også hensiktsmessig for drift av Kongsvegen at det etableres en flomvei. Trase til foreslått flomvei er vist på Figur 14, mens Figur 15 viser et oversiktsbilde. Hvor ofte flomveien vil tre i kraft er avhengig av kapasitet til kulverten mot Søre Brynsåa, utforming av inntak og tiltak oppstrøms i nedbørfeltet.

Det foreslås å etablere et lavbrekk i terrenget og kryssende veier fra inntaket og frem til Kongsvegen. Under Kongsvegen ligger det i dag en stikkrenne som vi ikke har informasjon om kapasiteten til. Dersom stikkrenne ikke har kapasitet (mest sannsynlig) må det enten etableres et lavbrekk på veibanen eller anlegges en stikkrenne med større dimensjon for å sørge for at vannet ledes til nedstrøms søkk (opprinnelig bekkeløp). Fra søkket kan det etableres et lavbrekk i terrenget/grøft som leder vannet sørover parallelt med E6, frem til eksisterende krøttertunnel under veien. Eventuell flomvei må sees i sammenheng med eksisterende stikkrenner og OV-system. Figur 16 viser trase langs E6 og krøttertunnel.



Figur 14: Trase til foreslått flomvei fra bekkeinntaket.



Figur 15: Oversiktsbilde av foreslått flomvei fra bekkeinntaket.



Figur 16: Bilder av trase til foreslått flomvei langs E6 og eksisterende krøttertunnel.

4 Søre Brynsåa

4.1 Vurdering av kapasitet til bruer ved Kongsvegen og E6

4.1.1 Metode

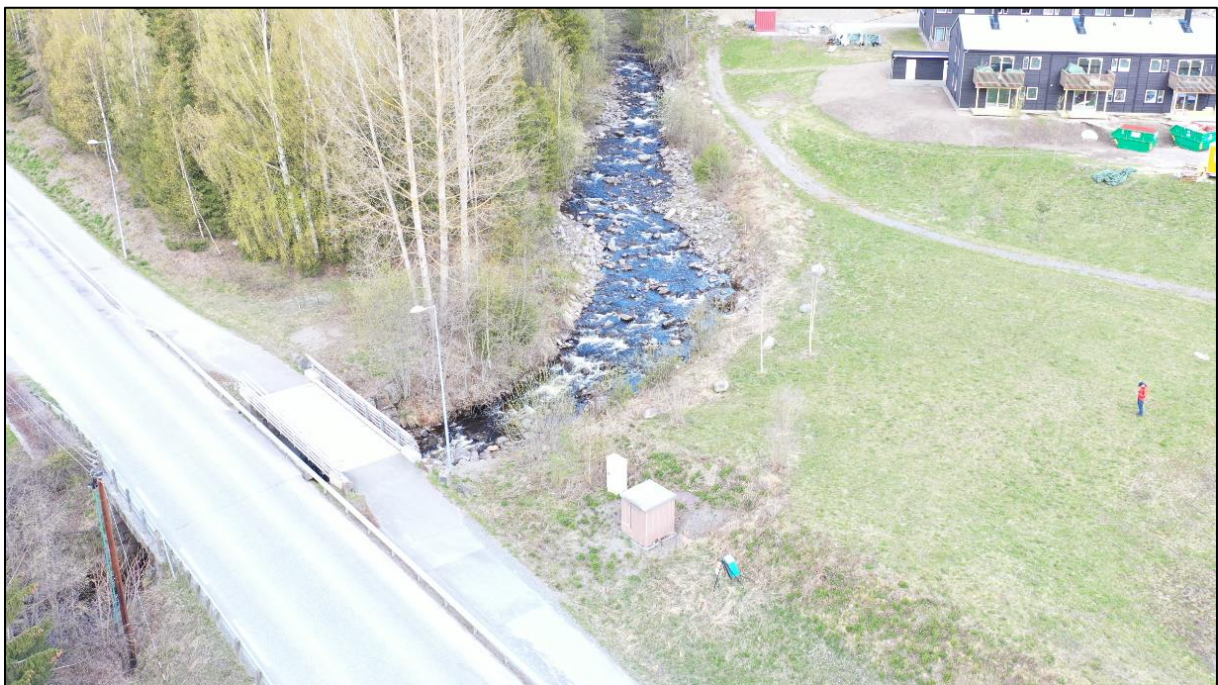
Ved vurdering av kapasitet til bruer er programvaren Hec-Ras versjon 5.0.7 benyttet. De viktigste inngangsparameterne til Hec-Ras modellen er geometri (terrengmodell, grid, elvebanker og konstruksjoner), ruhet, grensebetingelser og vannføring. For å best mulig vurdere strømningsforholdene er en 2-dimensjonal-modell vurdert hensiktsmessig.

4.1.2 Beskrivelse av elveløp og konstruksjoner

4.1.2.1 Generell beskrivelse av elveløp

Søre Brynsåa er en masseførende elv der geometrien til elveløpet vil kunne endre seg i forbindelse med flom som en konsekvens av erosjon, massetransport og avlagring. Under befaringen ble det identifisert flere kildeområder langs oppstrøms elvestrekning som kan tilføre elva masser. I tilknytning til vurderte kryssinger flater gradienten til elva noe ut til ca. 5 % fra ca. 10 %. Utslaking og stedvis bredere elveløp forventes å kunne øke sannsynligheten for masseavlagring og heving av elveløp under flom. Selve konstruksjonene snevrer inn elveløpet noe (spesielt Kongsvegen) som kan gi en gjennomspylende effekt. Elveløpet består generelt av grus og stein med varierende størrelse, som forventes å yte en moderat til høy friksjon mot vannmassene under flom. Ruheten forventes på bakgrunn av massene i elveløpet å avta noe mot E6.

Figur 17 og Figur 18 viser karakteristiske bilder av elveløpet oppstrøms Kongsvegen.



Figur 17: Oversiktsbilde av elveløp oppstrøms Kongsvegen.



Figur 18: Nærbilde av elveløp oppstrøms Kongsvegen.

4.1.2.2 Bru Kongsvegen

Bru Kongsvegen snevrer inn elveløpet noe. Kryssingen består av to bruer (gangbru og kjørebru) der nedstrøms kjørebru har minst tverrsnitt. Gangbrua har et noe større tverrsnitt som sammen med oppstrøms tørrmur gir en traktutforming inn mot kjørebrua. Under befaringen ble det identifisert skader på tørrmur under gangbru. Ytterligere skader på tørrmur kan potensielt både påvirke brukonstruksjonen samt redusere kapasiteten, og bør således utbedres.

Nivå til overkant bru ble målt til kote + 181,4, moh, underkant bru ble målt til kote + 180,7 moh og gjennomsnittlig bredde ble estimert til 4,5 meter (kjørebru). Ca. nivå til elvebunn ble målt til kote + 177,9 moh. som gir en fri høyde på ca. 2,8 meter og et tverrsnittsareal på ca. 12,5 m².

Figur 19 viser et bilde av Bru Kongsvegen tatt fra oppstrøms side, mens Figur 20 viser skader på tørrmur under bru.



Figur 19: Bru Kongsvegen sett fra oppstrøms side.



Figur 20: Skader på tørrmur under Bru Kongsvegen.

4.1.2.3 Bru E6

Ca. 90 meter nedstrøms Kongsvegen krysser Søre Brynsåa under E6 i en kulvert. Nivå til underkant kulvert ligger på kote + 176,3 moh., og elveløpet på ca. kote 174,1 moh. Bredden ble målt til 6,0 meter som gir et tverrsnittsareal på 13,2 m². Figur 21 viser et bilde av innløpet til kulverten.



Figur 21: Bilde av innløpet av kulverten under E6.

4.1.2.4 Modelloppsett

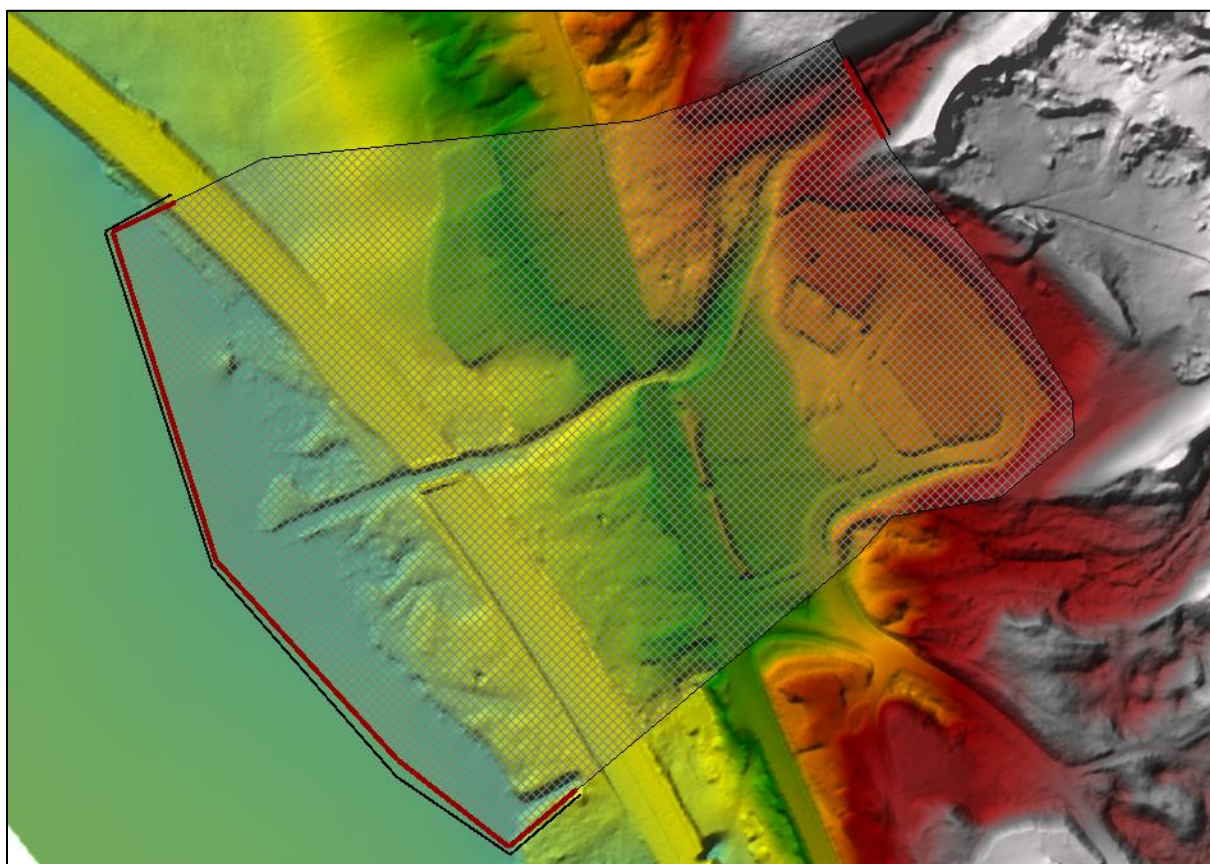
Basert på bakkepunkter fra LiDAR-data av området fra 2019 er det etablert en terrengmodell med horisontal oppløsning på 0,5 x 0,5 meter. Det er benyttet en høyere ruhet ved vurdering av Bru Kongsvegen enn Bru E6 basert på registreringer fra befaring (M=15 og 20). Det er også kjørt en modell med redusert beregningsgrid for å undersøke følsomheten. Nedstrøms grensebetingelse er satt til en skjønnsmessig vannstand i Lågen, med utgangspunkt i flybilder fra 2013-flommen. Valgt verdi ligger ca. 0,5 meter lavere enn 200-årsflom gitt av NVE sin hydrauliske modell av Lågen, og må anses å være noe konservativt.

De to bruene er modellert ved at terrengmodellen er justert etter bruens bredde og bunnivå. Modellen anses derfor gjeldende for vannstander opp til nivå av underkant brubane. Tilnærmingen vil være tilstrekkelig for å vurdere bruens kapasitet ved frispeilstrømning, men resultatene er ikke plausible når vannlinje ligger høyere enn nivå av underkant bru.

Benyttede parametere i modellen er oppsummert i Tabell 13. Terrengmodell, benyttet beregningsgrid og plassering av grensebetingelser er illustrert i Figur 22.

Tabell 13: Parametere benyttet i Hec-Ras modell for Søre Brynsåa.

Parameter	Verdi
Oppløsning på terrengmodell	0,5 x 0,5 meter
Oppstrøms grensebetingelse	Normalstrømning
Nedstrøms grensebetingelse	H = 173,4 moh.
Cellestørrelse beregningsgrid	2x2 meter / 1x1 meter
Likningssett	Full momentum
Tidsskritt	Gitt av courant-number mellom 0,1 og 1,0
Manningstall	15 og 20



Figur 22: Illustrasjon av terrengmodell, beregningsgrid og plassering av grensebetingelser.

4.1.3 Vannføringer

I Norconsult (2018) er dimensjonerende vannføringer i Søre Brynsåa er beregnet. 200-årsflom er beregnet til 35 m³/s, mens 200-årsflom inkludert klimapåslag er beregnet til 50 m³/s. I tillegg har vi vurdert vannføringer på 20, 30 og 40 m³/s.

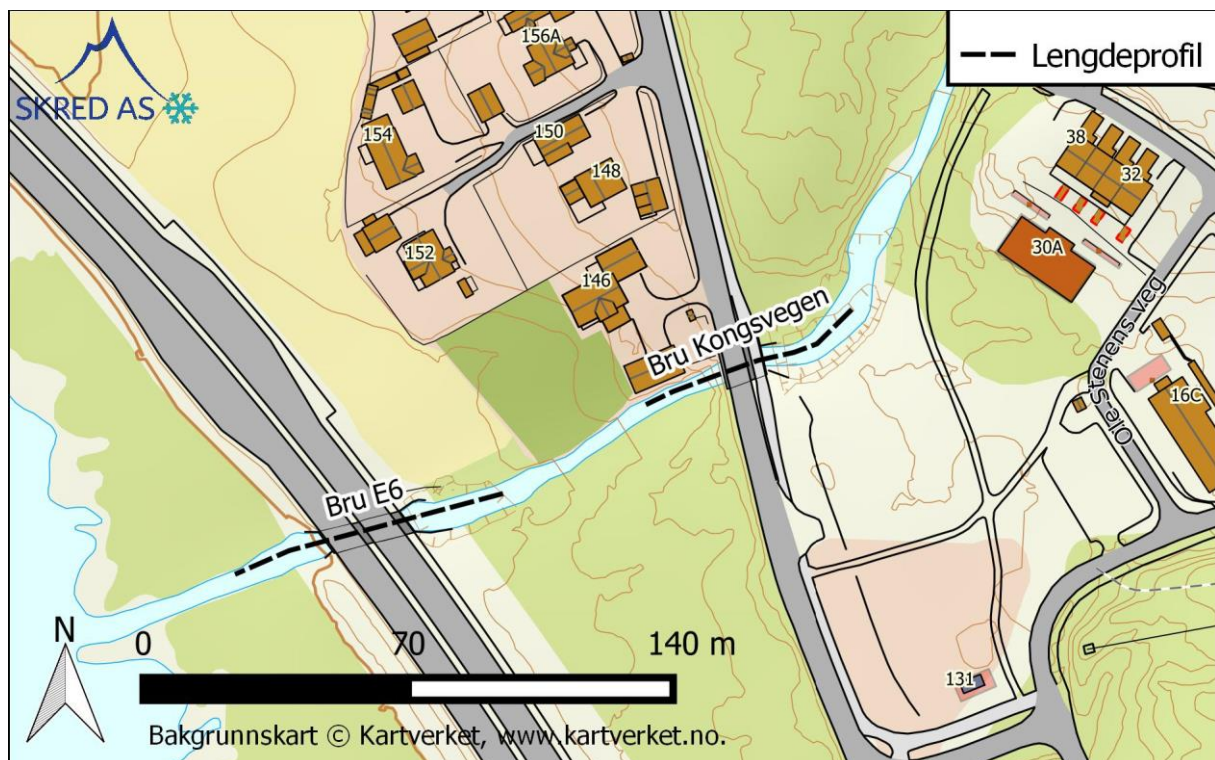
4.1.4 Resultater fra modelleringen ved bruene

4.1.4.1 Modellerte vannlinje ved bruer

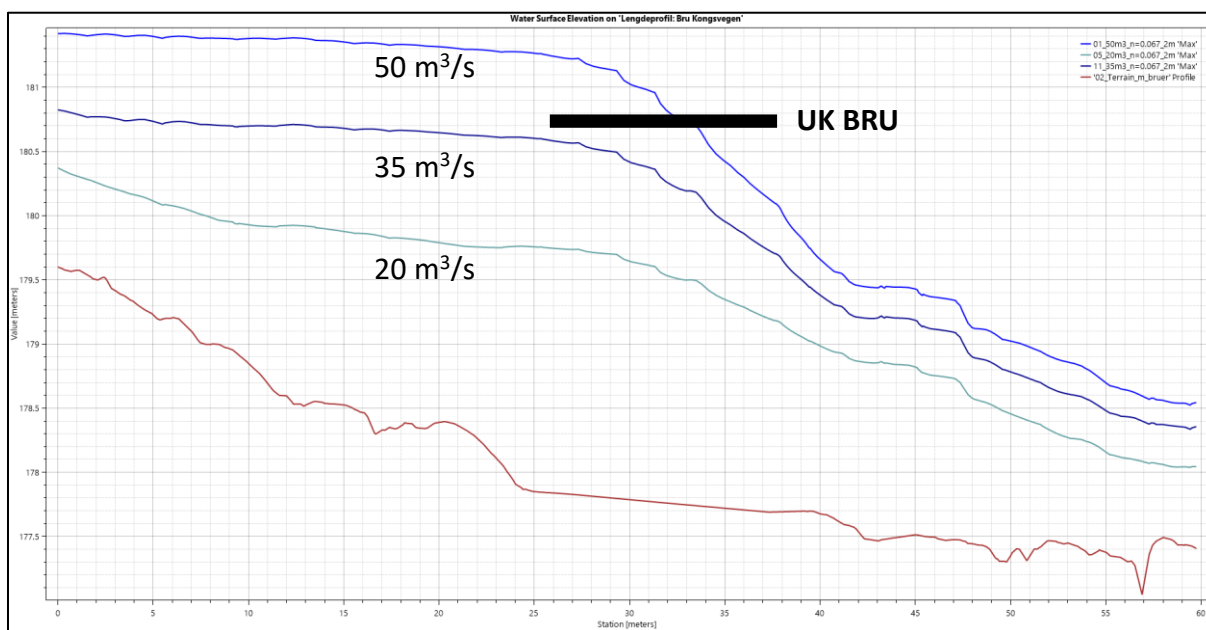
Fra modellresultatene er det hentet ut resulterende vannlinje for lengdeprofiler som krysser de to bruene. Plassering av lengdeprofilene er vist på Figur 23, mens modellerte vannlinjer ved Bru Kongsvegen og Bru E6 er vist i henholdsvis Figur 24 og Figur 25.

Ved Bru Kongsvegen viser beregningene at vannlinjen ved en 200-årsflom inkludert klimapåslag ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) når høyere enn nivå til underkant bru (det er ikke beregnet hvor stor oppstuvning som vil oppstå som følge av at vannet slår opp i brubanen). Ved en 200-årsflom uten klimapåslag ($35 \text{ m}^3/\text{s}$) har brua kapasitet, men med et minimalt fribord. Ved reduksjon i ruhet (til $M=20$) ligger vannlinja ca. 0,25 meter lavere, som fortsatt gir et begrenset fribord. Brua vurderes å ha kapasitet tilstrekkelig for en 200-årsflom uten klimapåslag med marginal margin. Det er da ikke tatt hensyn til massetransport og avlagring under flom som kan redusere kapasiteten betraktelig.

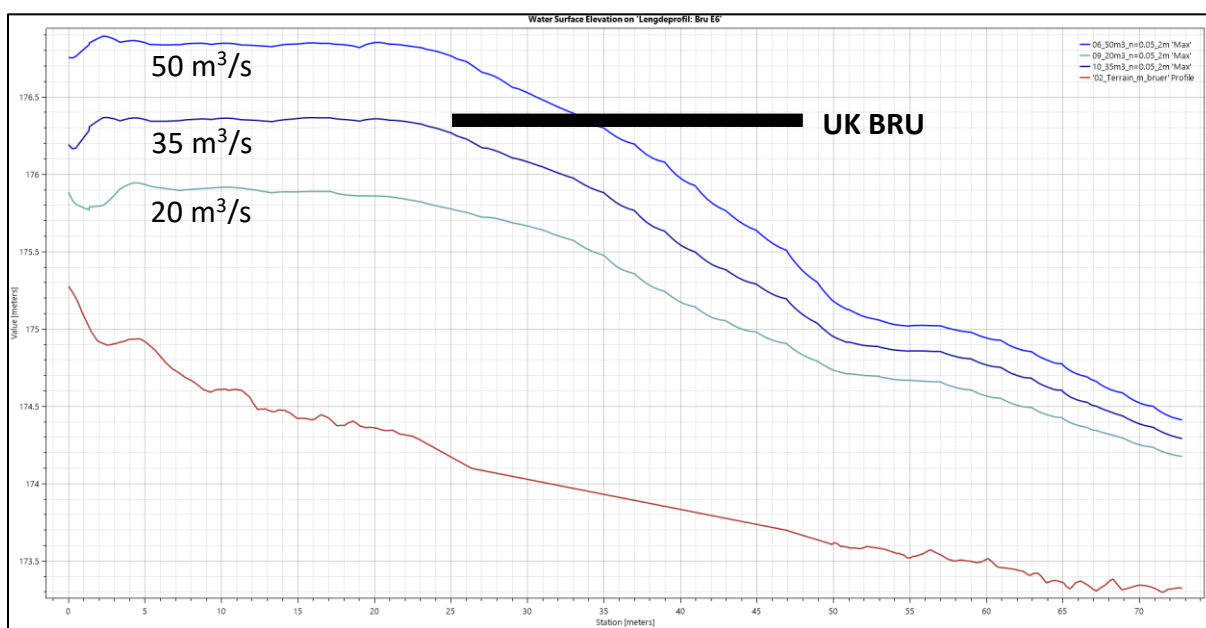
Ved Bru E6 viser beregningene omtrent tilsvarende situasjon som ved Kongsvegen. Ved en 200-årsflom inkludert klimapåslag ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) når vannlinje høyere enn nivå til underkant bru, mens kapasitet er marginalt tilstrekkelig for en 200-årsflom uten påslag ($35 \text{ m}^3/\text{s}$). Også her må det forventes at massetransport og avlagring under flom vil kunne redusere kapasiteten.



Figur 23: Plassering av lengdeprofiler som viser modellerte vannlinjer ved bruer.



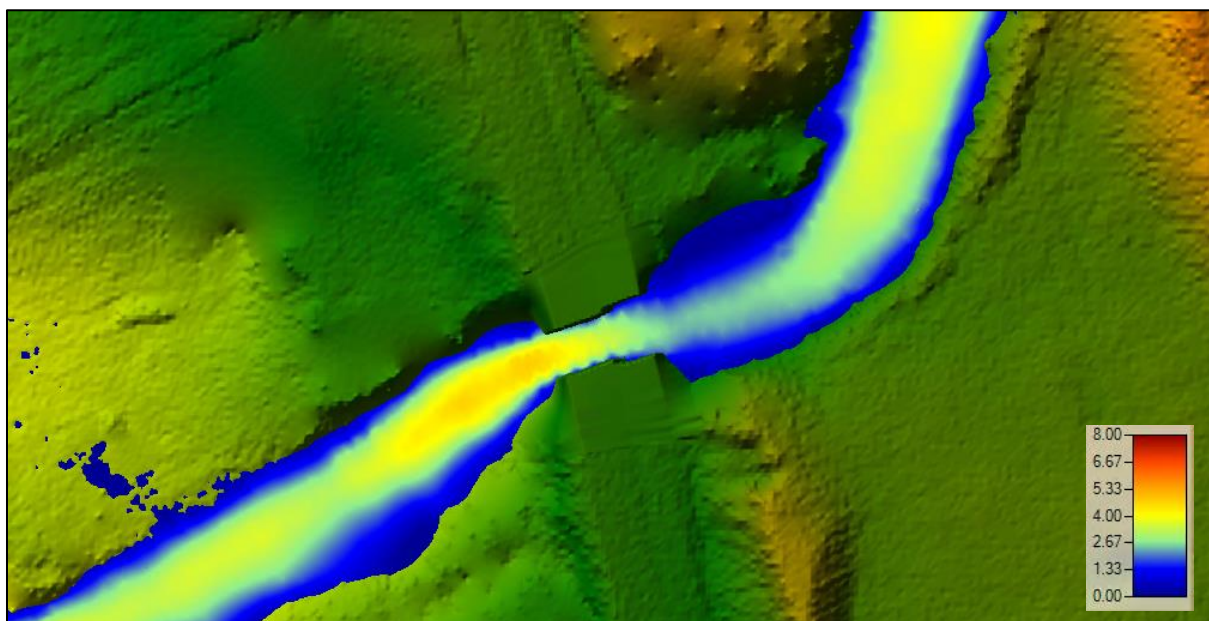
Figur 24: Resulterende vannlinjer ved Bru Kongsvegen, ved M = 15.



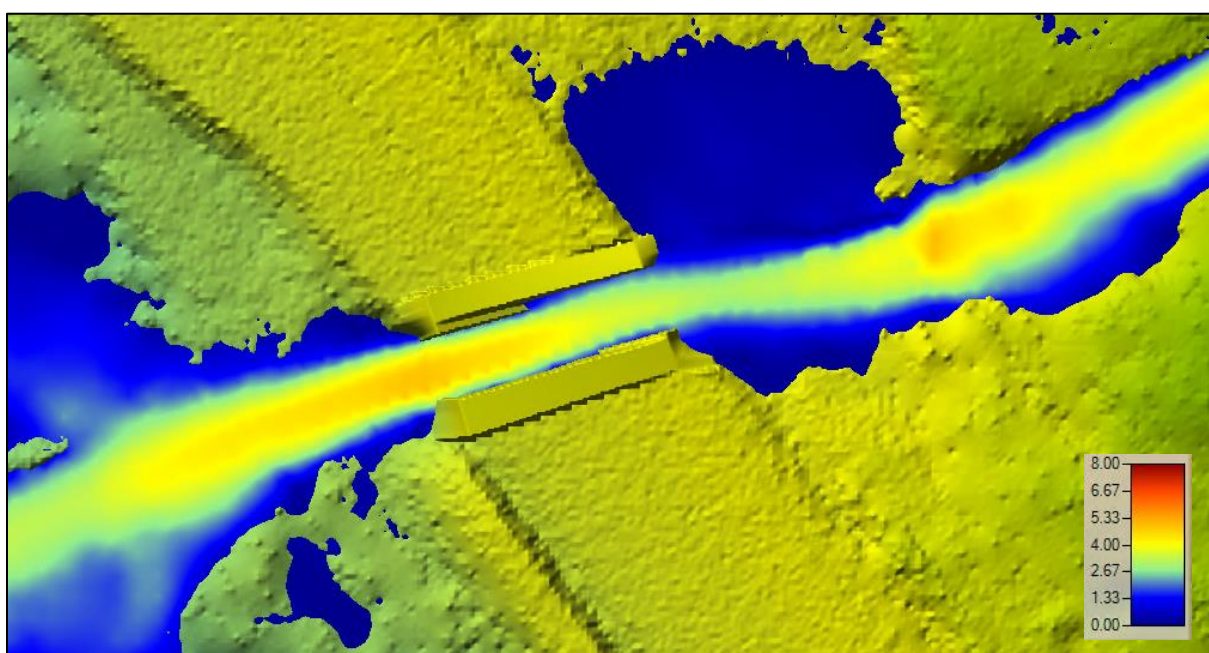
Figur 25: Resulterende vannlinjer ved Bru E6, ved M = 20.

4.1.4.2 Modellerte vannhastigheter

Modellerte vannhastigheter for en vannmengde tilsvarende maksimal kapasitet til bruer med friskeilstrømning ($35 \text{ m}^3/\text{s}$) er vist i Figur 26 og Figur 27. Ved begge tilfellene ser man avtagende hastigheter rett oppstrøms kryssingene, og videre en akselerasjon inn og gjennom konstruksjonene. Da transportkapasiteten til elva blir redusert med reduserte vannhastigheter gir hastighetskartene en indikasjon på at inntaksområdet ved begge bruene er utsatt for masseavlagring som potensielt kan gi en betydelig reduksjon i kapasitet.



Figur 26: Modellerte vannhastigheter ved $35 \text{ m}^3/\text{s}$ for Bru Kongsvegen ($M=15$).



Figur 27: Modellerte vannhastigheter ved $35 \text{ m}^3/\text{s}$ for Bru E6 ($M=20$).

4.2 Overordnet vurdering av massebasseng ved Kongsvegen

Både Bru Kongsvegen og Bru E6 er vurdert å ha begrenset kapasitet for 200-årsflom i dag når lysåpningen og elveløpet er fri for masser. Det forventes stor massetransport under flom da elva har god transportkapasitet samt at det er mange mulige kildeområder oppover langs elva. Det tilsier sammen med resultatene fra modellering av vannhastigheter at det må forventes at større mengder masser kan avsettes i partiene oppstrøms bruene under flom. Dette vil kunne redusere kapasiteten til bruer og elveløp betydelig. Problemstillingen er mest aktuell for Bru Kongsvegen, men også for Bru E6. Bru E6 kan også være utsatt for bunnheving i situasjoner med massetransport i elva og høy vannstand i Lågen.

For å oppnå tilstrekkelig flomsikkerhet for nedstrøms del av planområdet (i hovedsak barnehagetomta) er det helt avgjørende at massetransport i Søre Brynsåa blir håndtert. Et masseavlagringsbasseng kan være en løsning, som blant annet må sees i sammenheng med bruenes kapasitet og mulige flomløp for å ta hensyn til restrisiko.

I forbindelse med plassering og utforming av et masseavlagringsbasseng må det blant annet gjøres detaljerte vurderinger rundt forventede fraktvolumer, sedimentbalanse i normalsituasjoner og hydrauliske effekter med tanke på transportkapasitet og innvirkning på bruer. Det anbefales at det utføres et forprosjekt av et eventuelt masseavlagringsbasseng før detaljprosjektering.

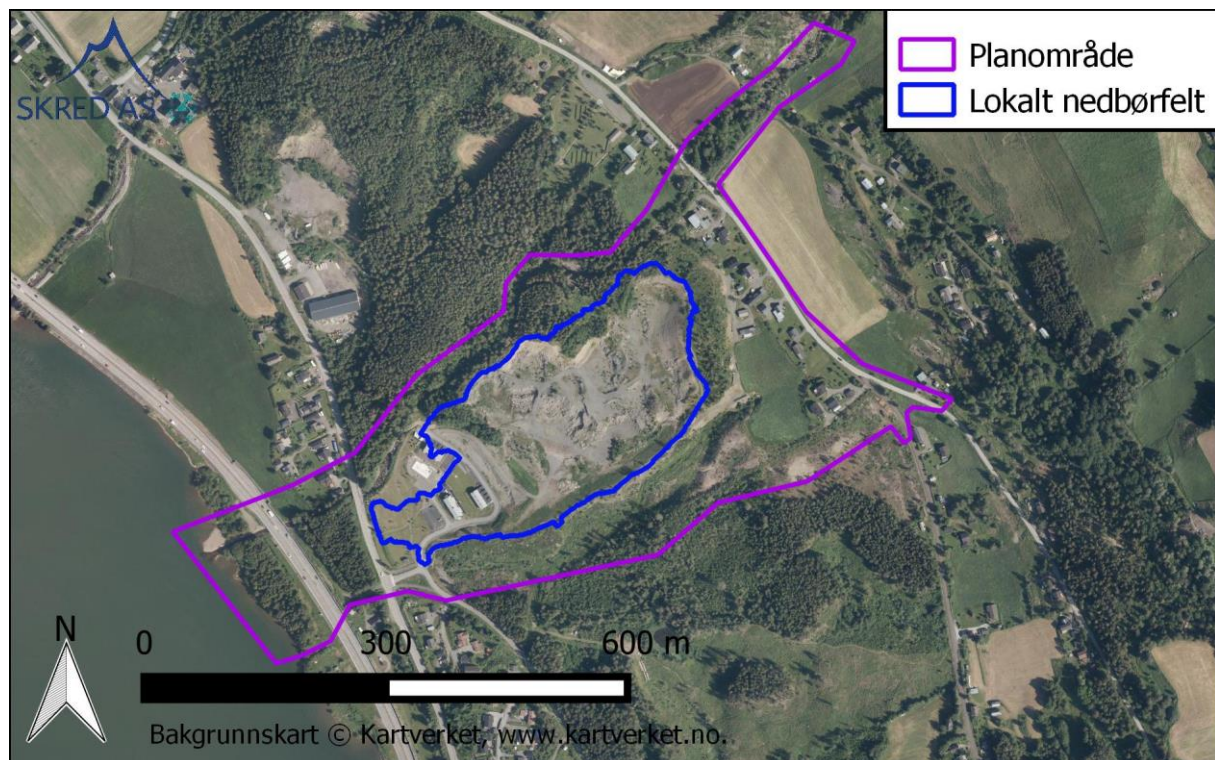
5 Overvannshåndtering

Nødvendig fordrøyning av overvann internt i planområdet før påslipp mot Søre Brynsåa skal vurderes. Det går ikke inn på detaljerte løsninger for overvannshåndteringen. Trinn 1 i reguleringsplanen er allerede utbygd med eksisterende overvannssystem, der vi ikke er kjent med detaljene. Nødvendig fordrøyning av overvann fra Trinn 1, 2 og 3 blir her vurdert samlet.

5.1 Overordnet beskrivelse av dagens situasjon

Området som planlegges utbygd er et tidligere masseuttak med forekomster av breelvavsetninger ifølge NGU sitt løsmassekart. I øvre del av planområdet er det ifølge kartet morenemateriale. Det forventes høy grunnvannstand i området spesielt i tilfeller med lengre nedbørperioder og/eller snøsmelting, da uttaket av massene har senket terrengnivåer betydelig fra opprinnelig situasjon. Vi er ikke kjent med infiltrasjonsevnen i området, men det kan være begrenset blant annet grunnet den høye grunnvannstanden. Området har naturlig utløp mot Søre Brynsåa.

Figur 28 viser et ortofoto som illustrerer situasjonen før utbygging av planområdet.



Figur 28: Ortofoto av planområdet og lokalt nedbørfelt som inkluderer planlagt utbygging.

5.2 Vurdering av før- og etter situasjon

5.2.1 Estimert 200-års vannmengde før- og etter utbygging

200-års vannmengde fra området før og etter utbygging er vurdert med den rasjonale formelen. IVF-kurve fra 12290 Hamar er benyttet da den både har flest år med data, samt gir høyest nedbørverdier for kortere varigheter av stasjonene i området. Det er sett på lokalfeltet som planlagt utbygging er en del av (se Figur 28). Noen planlagte tomter ligger rett utenfor feltgrensene og blir her skjønsmessig integrert i det lokale nedbørfeltet. Det henvises til plankartet gjengitt i Figur 1.

For «ikke utbygd terreng» blir en C-verdi (avrenningskoeffisient) på 0,3 benyttet, mens en C-verdi på 0,9 blir benyttet for tette flater. Det lokale nedbørfeltet har et areal på ca. 8,2 ha, hvor det planlegges ca. 4,0 ha boligtomter, ca. 1,3 ha samferdselsanlegg og ca. 0,4 ha til barnehageformål. For bolig- og barnehagetomt antas det konservativt en utnyttelsesgrad på 50 % som gir en gjennomsnittlig C-verdi på 0,6.

For før-situasjon er konsentrasjonstiden estimert til 40 minutter etter formel for naturlig felt gitt i SINTEF (1992). Etter utbygging forventes det at konsentrasjonstiden kan bli redusert, avhengig av løsninger for overvannshåndteringen. Forutsatt at det benyttes åpne overvannsløsninger antas det en konsentrasjonstid på ca. 20 minutter etter utbygging.

Beregningene viser en teoretisk økning i 200-års vannmengde på ca. 0,8 m³/s ut fra reguleringsområdet etter utbygging der et klimapåslag på 40 % er hensyntatt. Resultatene er presentert i Tabell 14.

Tabell 14: Beregning av teoretisk økning av vannmengde fra planområdet etter utbygging.

Situasjon	Areal [ha]	Kons. tid [min]	200-års nedbør [l/s*ha]	Klimapåslag [%]	C-verdi	Q200 [l/s]
Før utbygging	8.2	40	106.2	1.4	0.3	366
Etter utbygging	8.2	20	179.7	1.4	0.56	1155
Differanse	-	-	-	-	-	790

5.3 Påvirkning på Søre Brynsåa og krav til fordrøyning

Beregningene viser at spissavrenningen fra planområdet mot Søre Brynsåa kan øke med ca. 0,8 m³/s for en 200-årshendelse etter utbygging uten fordrøyning. Påvirkningen på flomvannføringen i Søre Brynsåa forventes å være betydelig mindre da samhörighet i tidspunkt for flomtopp virker lite sannsynlig. Dette begrunnes i følgende punkter:

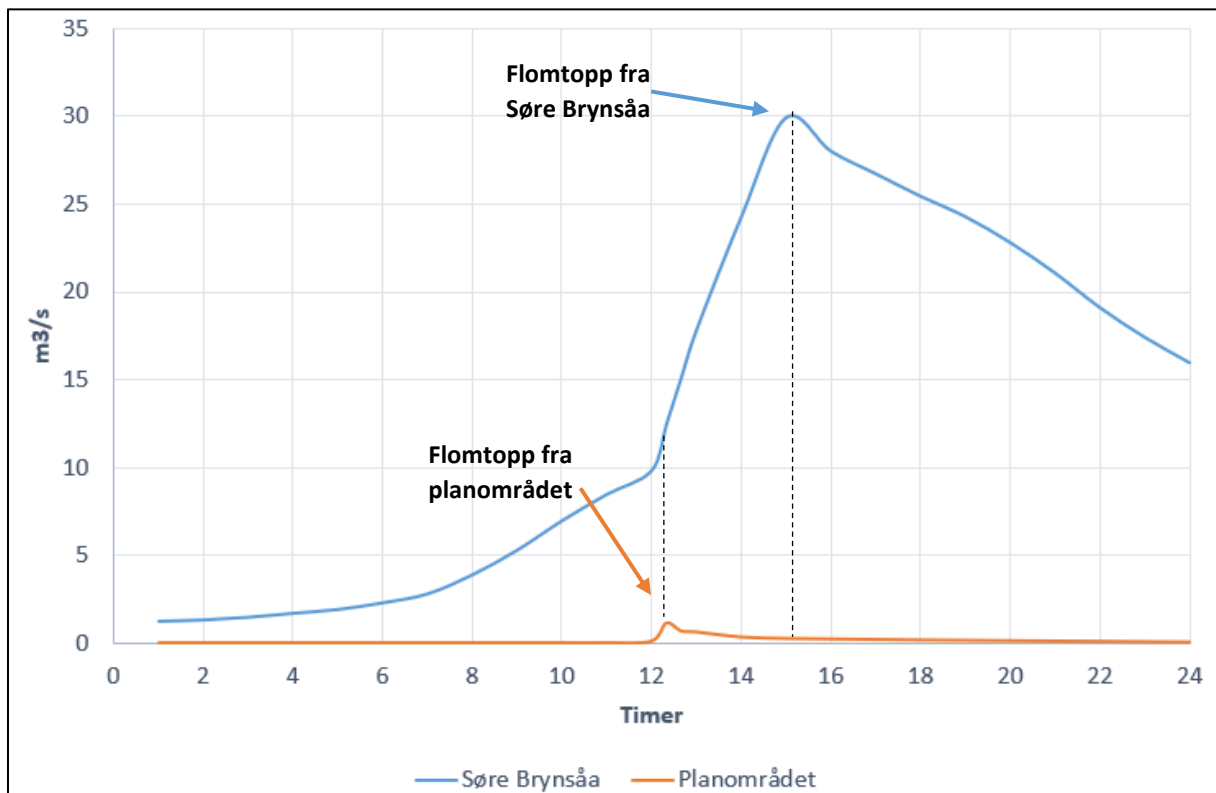
- Planområdet ligger helt nederst i feltet til Søre Brynsåa og kan derfor i større grad være drenert før flomtoppen i Søre Brynsåa inntreffer (ref. Figur 29).
- Planområdet utgjør kun 0,5% av det totale feltarealet til Søre Brynsåa.
- Det er stor forskjell i konsentrasjonstiden (responsen) i de to feltene.
- 90 % av nedbørfeltet til Søre Brynsåa ligger høyere enn ca. 800 moh., mens hele planområdet ligger i høydeintervallet 180 – 230 moh. Sammen med stor forskjell i feltareal, feltkarakteristikk og konsentrasjonstider vil ulike prosesser kunne forårsakeflom i de to feltene.

For å illustrere innvirkningen avrenning fra planområdet kan ha på flomvannføringen i Søre Brynsåa er det konstruert to flomforløp som er kombinert. Forløp i Søre Brynsåa er konstruert fra PQRUT, mens forløp fra planområdet er konstruert fra den rasjonale formelen. Flomforløpene er konservativt basert på følgende antagelser:

- Det antas samtidig flom i feltet fra planområdet og fra Søre Brynsåa (ca. 200 årflom).
- Det antas 20 minutters konsentrasjonstid til planområdet og 3 timer for Søre Brynsåa.
- Det antas 200-års gjentakintervall på nedbør for alle varigheter mellom 20 minutter og 24 timer.
- Det antas at dimensjonerende 20 minutters nedbør for planområdet inntreffer i løpet av timen med mest intensiv nedbør for feltet til Søre Brynsåa.

Figur 29 viser de konstruerte flomforløpene. Man ser at flomtoppen fra planområdet har flatet betydelig ut når flomtoppen fra Søre Brynsåa inntreffer ca. 2,5 timer senere. Da forløpene også er konstruert konservativt vurderes det at innvirkningen planområdet vil ha på flomvannføring i Søre Brynsåa er neglisjerbar.

Det vurderes tilstrekkelig å håndtere overvann fra planområdet åpent uten ytterligere krav til fordrøying. Mindre nedbør bør gis mulighet til infiltrasjon og det må sørges for trygg avledning av overvann helt ned til resipient.



Figur 29: Konstruerte flomforløp for Søre Brynsåa og fra Planområdet som illustrer samhörighet.

6 Oppsummering av vurderingene i kapittel 3, 4 og 5

Hovedresultatene fra de uavhengige vurderingene er kort oppsummert her:

Trodalsbekken:

- 200-årsflom inkludert klimapåslag i Trodalsbekken er estimert til 5,2 m³/s. En del av flomvannet vil bli avskåret av eksisterende grøft mot Søre Brynsåa ved Vammen, men grunnet varierende tilstand på grøfta med tanke på tverrsnitt og erosjonssikkerhet er hele feltarealet medregnet.
- En eventuell avskjæring av flomvann langs Hornsjøvegen og videre ut i Søre Brynsåa vil kunne redusere 200-årsflom i Trodalsbekken gjennom planområdet til ca. 2,5 m³/s.
- Sammenlignet med dagens situasjon vurderes det at en eventuell avskjæring av vann langs Hornsjøvegen og videre mot Søre Brynsåa i svært liten grad vil påvirke flomvannføringen i Søre Brynsåa.
- Planlagt tilkomstvei gjennom planområdet kommer både i konflikt med bekkeløpet gjennom området og eksisterende bekkeinntak. Både bekkeløp og inntak må flyttes og dimensjoneres iht. gjeldene krav. Det foreslås å etablere et nytt bekkeinntak med en bedre hydraulisk utforming, beholde dagens 600mm rør mot Søre Brynsåa, samt sikre en trygg flomvei som krysser Kongsvegen og ledes videre parallelt med E6 sørover før utløp gjennom eksisterende krøttertunnel mot Lågen. Ved foreslått løsning kan man bedre dagens situasjon for nærliggende området.

Søre Brynsåa:

- Vurdering av kapasitet til Bru Kongsvegen og Bru E6 viser at begge bruene har marginal kapasitet for en 200-årsflom uten klimapåslag ved en situasjon uten massetransport.
- Det forventes stor massetransport under flom. Det tilsier sammen med resultatene fra modellering av vannhastigheter at det må forventes at større mengder masser avsettes i partiene oppstrøms bruene under flom. Dette vil kunne redusere kapasiteten til bruer og elveløp betydelig.
- Grunnet begrenset kapasitet må det ikke gjøres tiltak oppstrøms som øker flomtoppene i elva. Vi vurderer at en åpen håndtering av overvann i planområdet uten ytterligere krav til fordrøyning, samt forsterkning av avskjærende grøft langs Hornsjøvegen i neglisjerbar grad vil påvirke flomtoppene i Søre Brynsåa.
- For å oppnå tilstrekkelig flomsikkerhet for nedstrøms del av planområdet (i hovedsak barnehagetomta) er det viktig at massetransport i Søre Brynsåa blir håndtert. Et masseavlagringsbasseng kan være en mulig løsning.

Overvannshåndtering

- Det vurderes tilstrekkelig å håndtere overvann fra planområdet åpent uten ytterligere krav til fordrøyning. Dette grunnet planområdets feltkarakteristikk og beliggenhet i hovedfeltet. Mindre nedbør bør gis mulighet til infiltrasjon og det må sørges for trygg avledning av overvann helt ned til resipient.

7 Spesifisering av mulige løsninger for Trodalsbekken

7.1 Generelt

Etter gjennomgang av første versjon av rapporten med Øyer kommune 23.06.2020 ble det fra kommunen fremmet ønske om at alternative løsninger for Trodalsbekken vurderes. Det inkluderer grovt vurdering av følgende løsninger:

- 1) En løsning der Trodalsbekken føres i opprinnelig trase frem til utløpet i Lågen (vurderes i avsnitt 7.2).
- 2) En løsning med et åpent bekkeløp fra dagens inntak, over «barnehagetomta» med utløp rett oppstrøms Bru Kongsvegen (vurderes i avsnitt 7.3).

Løsningene er vurdert i etterfølgende delkapitler.

7.2 Reetablering av opprinnelig bekkeløp

7.2.1 Premisser for løsning og vurderingen

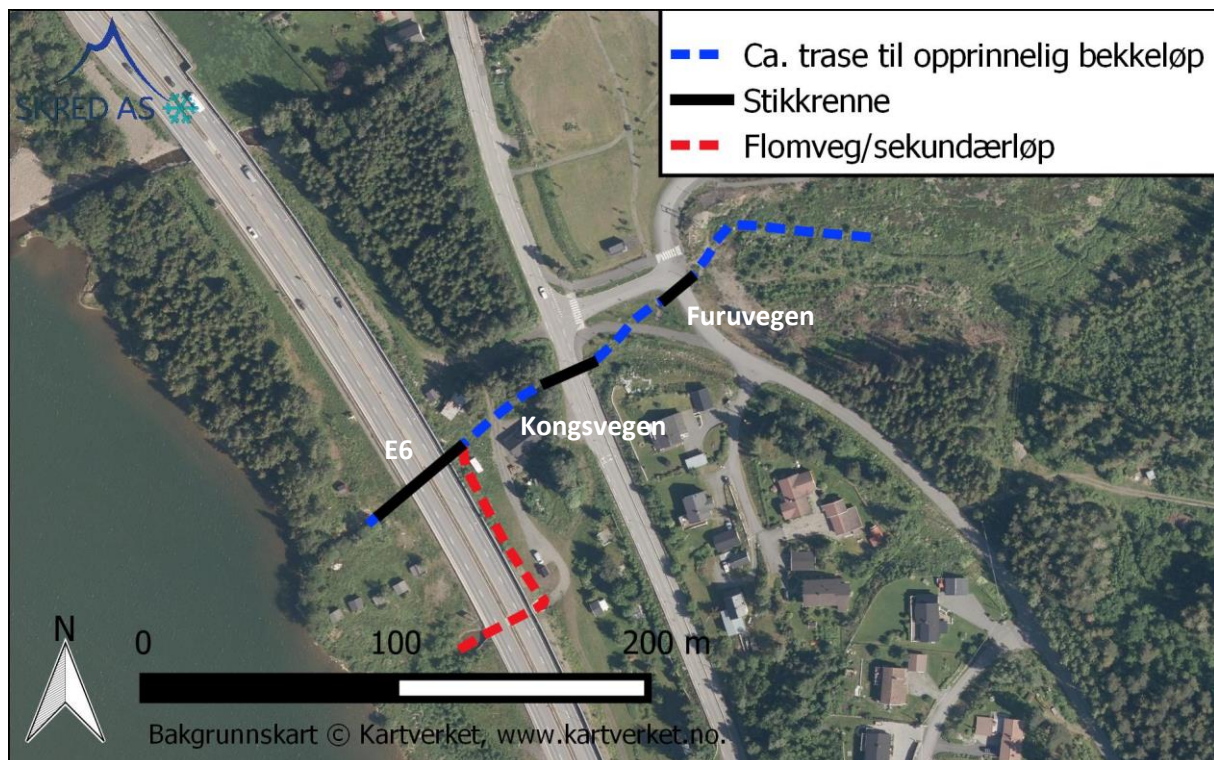
Følgende premisser skal legges til grunn for løsningen som skal vurderes.

- Dagens kulvertinntak og kulvert med utløp oppstrøms Kongsvegen fjernes slik at ikke noe vann fra bekken ledes til Søre Brynsåa.
- Det skal anlegges/reetableres et bekkeløp som skal følge tilnærmet opprinnelig bekketrase.
- Det må anlegges en nye kulverter under Kongsvegen og Furuvegen. Bekken kan legges åpen over eksisterende «gangvei» ettersom denne ikke har noen funksjon.
- Under E6 skal eksisterende 800-kulvert beholdes, der et sekundærløp/flomvei foreslås lagt gjennom Krøttertunnel.

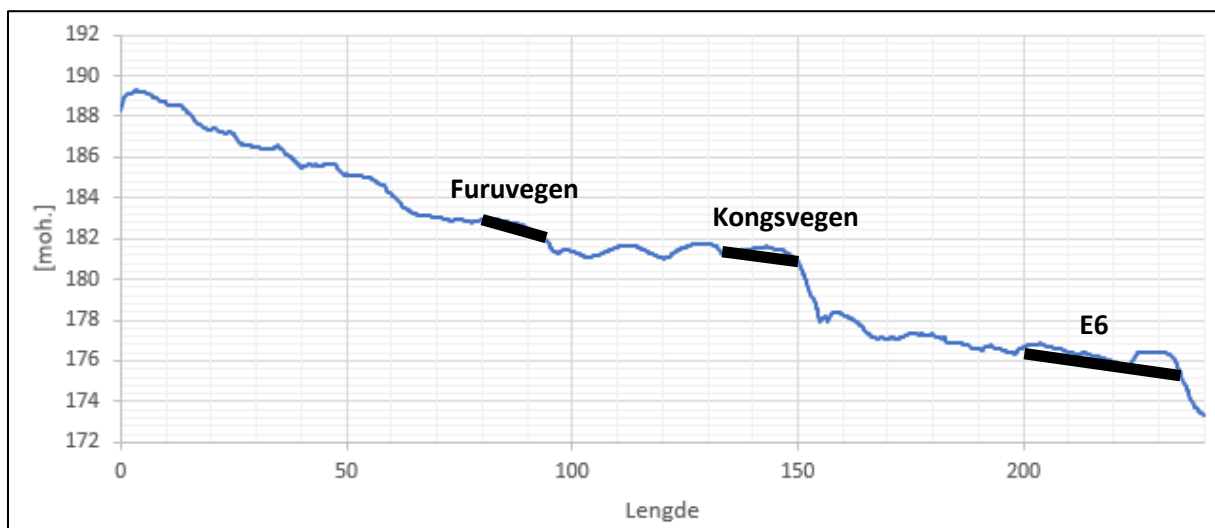
Punktene over skal vurderes basert på følgende 2 senarioer:

- 1) Det utføres ikke tiltak oppstrøms i Trodalsbekken som reduserer dimensjonerende flomvannføring.
- 2) Det utføres tiltak oppstrøms i Trodalsbekken som vil redusere dimensjonerende vannføring. Det inkluderer:
 - a. Utbedre flomgrøft ved Vammen
 - b. Utbedre flomgrøft ved Lisætra
 - c. Etablere avskjærende grøft langs Hornsjøvegen fra veien inn mot Brattli, til Øverli-svingen.

Det skal overordnet sees på nødvendige dimensjoner og trasser for bekkeløp, flomveier og kulverter basert på premissene gitt i overliggende punkter og senarioer. Aktuelle traséer og plassering av kulverter er vist på Figur 30, mens lengdeprofil er vist på Figur 31.



Figur 30: Ca. trase til opprinnelig bekkeløp, med stikkrenner og skissert flomløp under E6.



Figur 31: Ca. lengdeprofil opprinnelig bekkeløp med dagens terreng.

7.2.2 Krav til kapasitet

I henhold til krav til sikkerhet mot flom gitt av TEK 17 §7-2 anbefales det at nytt bekkeløp dimensjoneres for minimum en 200-årsflom inkludert klimapåslag som tilsvarer sikkerhetsklasse F2.

Ved kryssinger (kulverter) skal minimum samlet kapasitet til kulvert og flomvei tilsvare en 200-årsflom inkludert klimapåslag. Krav til av kapasitet til nye kulverter følger av Statens

vegvesen sin håndbok N200. Dimensjonerende returperiode for flom fastsettes basert på sikkerhetsklassen til den aktuelle vegen. Sikkerhetsklasser med krav er gjengitt i Tabell 15.

Tabell 15: Sikkerhetsklasser for veg påvirket av flom (Tabell 403.1 fra Håndbok N200).

Sikkerhetsklasse	ÅDT	Returperiode for flomhendelse	
		Med omkjøringsmuligheter	Uten omkjøringsmuligheter
V1	0 – 500	50 år	100 år
V2	500 - 4000	100 år	200 år
V3	>4000	200 år	200 år

Ved Furuvegen og Kongsvegen er det aktuelt å anlegge nye kulverter. Ifølge Statens vegvesen sitt vegkart (vegkart.no) har Kongsvegen en ÅDT på 1471. Det er ikke angitt ÅDT for Furuvegen, men denne antas til mindre enn 500 på bakgrunn av antall boenheter som har tilkomst via vegen. For begge vegene er det omkjøringsmuligheter. Etter Tabell 15 vurderes det at kulvert under Furuvegen må ha en kapasitet for minimum en 50-årsflom, mens kulvert under Kongsvegen må ha kapasitet for minimum en 100-årsflom (begge inkludert klimapåslag). Flomveger må kunne håndtere resterende vannmengde opp til en 200-årsflom inkludert klimapåslag.

7.2.3 Dimensjonerende vannmengder til bekkeløp

Dimensjonerende 200-årsflom inkludert klimapåslag i Trodalsbekken uten oppstrøms tiltak følger av avsnitt 3.1.9.

Med tiltakspunktene listet opp i punkt 2) i avsnitt 7.2.1 er det estimert at nedbørfelt til bekken reduseres til 0,84 km². Det må fortsatt forventes at deler av områdene oppstrøms Hornsjøvegen bidrar med avrenning mot bekken. Det antas samme spesifikke flomstørrelser som for hele feltet.

For estimat av 50- og 100-årsflom er det tatt utgangspunkt i frekvensfordelingen gitt av flomformelverket for små nedbørfelt da denne anses robust. Det gir forholdstall mellom 200-årsflom og henholdsvis 50- og 100-årsflom på 0,75 og 0,87. Resulterende flomverdier er gitt i Tabell 16.

Tabell 16: Dimensjonerende vannmengder ved kulverter under Furuvegen og Kongsvegen for ulike scenarioer.

Senario	50-årsflom [m ³ /s]	100-årsflom [m ³ /s]	200-årsflom [m ³ /s]
1	3,9	4,5	5,2
2	2,5	3,0	3,4

7.2.4 Nødvendige dimensjoner på nye kulverter under Furuvegen og Kongsvegen

Nødvendige dimensjoner på kulverter under Furuvegen og Kongsvegen etter bekkeomlegging er vurdert. Det er tatt utgangspunkt i nomogrammer for innløpskontrollerte kulverter gitt i SINTEF (1992) og en situasjon der det tilstrebes friskeilstrømning ved dimensjonerende flom.

For Furuvegen virker det mulig å sikre en trygg flomvei mot nedstrøms bekkeløp som et overløp over vegbanen. Det vurderes derfor her hensiktsmessig å legge 50-årsflom til grunn for dimensjonering av kulvert.

For Kongsvegen kan det være mer krevende å sikre en trygg flomvei. Da det også vil være liten forskjell i nødvendig dimensjoner for 100- og 200-årsflom anbefales det å legge 200-årsflom til grunn. Grunnet fallforhold er det her mulig å anlegge øvre del av kulverten med en brattere helning som gir en akselerasjonssone. Det er da mulig å ha overgang til mindre rørdimensjon etter akselerasjonssonen. Ved en slik løsning må energien drepes ved utløpet av kulverten ettersom store vannhastigheter vil kunne forekomme.

Vurderte dimensjoner for de to kryssingene er vist i Tabell 17.

Tabell 17: Vurderte dimensjoner av rørkulverter ved flytting av bekk til opprinnelig trase.

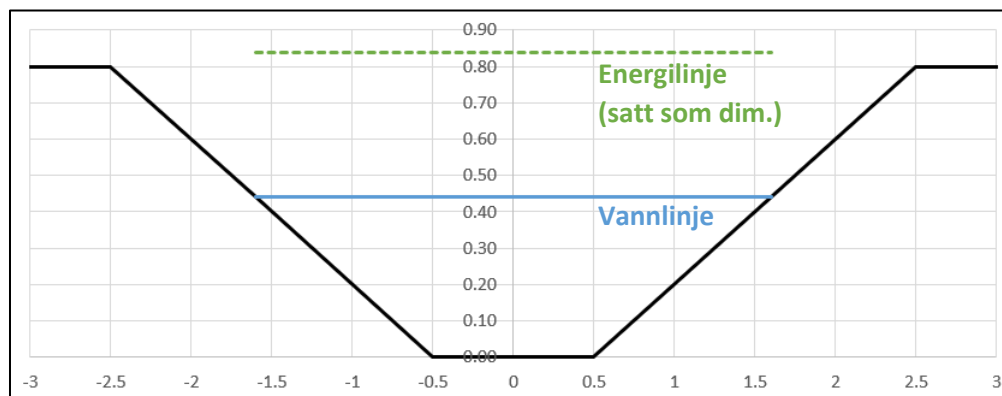
Kulvert	Senario	Dim. flom	Nødvendig rørdiameter [m]
Furuvegen	1	50-årsflom	1,6
Furuvegen	2	50-årsflom	1,4
Kongsvegen	1	200-årsflom	2,0 med mulig overgang mot 1,4 etter aks. sone.
Kongsvegen	2	200-årsflom	1,6 med mulig overgang mot 1,2 etter aks. sone.

7.2.5 Bekkeløp og sekundærløp/flomløp

Det er gjort estimater av nødvendige bekketverrsnitt og tverrsnitt av sekundærløp/flomløp med bruk av Mannings formel og forutsetninger listet opp under. Ved avvik fra forutsetningene må beregningene oppdateres. For hver delstrekning er karakteristisk helning hentet fra lengdeprofil benyttet i beregningen. Resultatene er kun ment som et estimat, og er for senario 1 og 2 presentert i Tabell 18 og 19.

Bunnbredde = 0,75 meter, Helning sidekanter = 1:2,5, Nivå av topp grøft = energilinje, Ruhet (Manningstall) = 20.

Spesielt i tilknytning til kulvertinntak vil nødvendig tverrsnitt være avhengig av dimensjon på rør og inntaksløsning. Det anbefales at flomløp/sekundærløpet dimensjoneres for full 200-årsflom. Energilinje er satt som dimensjonerende dybde. Figur 32 viser eksempel på bekketverrsnitt.



Figur 32: Eksempel på bekketverrsnitt (x- og y-akse er ikke i samme skala).

Tabell 18: Estimert dybde og bredde av bekkestrekninger for Senario 1.

Bekkestrekning	Helning, I [m/m]	Dybde [m]	Bredde [m]
Inntak - Furuvegen	0.06	1.1	6
Furuvegen - Kongsvegen	0.02	1.1	6
Kongsvegen – E6 (bratt parti)	0.20	1.5	8
Kongsvegen – E6 (slakt parti)	0.04	1.1	6
Sekundærløp / flomløp	0.01	1.2	6

Tabell 19: Estimert dybde og bredde av bekkestrekninger for Senario 2.

Bekkestrekning	Helning, I [m/m]	Dybde [m]	Bredde [m]
Inntak - Furuvegen	0.06	0.9	5
Furuvegen - Kongsvegen	0.02	0.9	5
Kongsvegen – E6 (bratt parti)	0.20	1.2	6
Kongsvegen – E6 (slakt parti)	0.04	0.9	5
Sekundærløp / flomløp	0.01	1,0	5

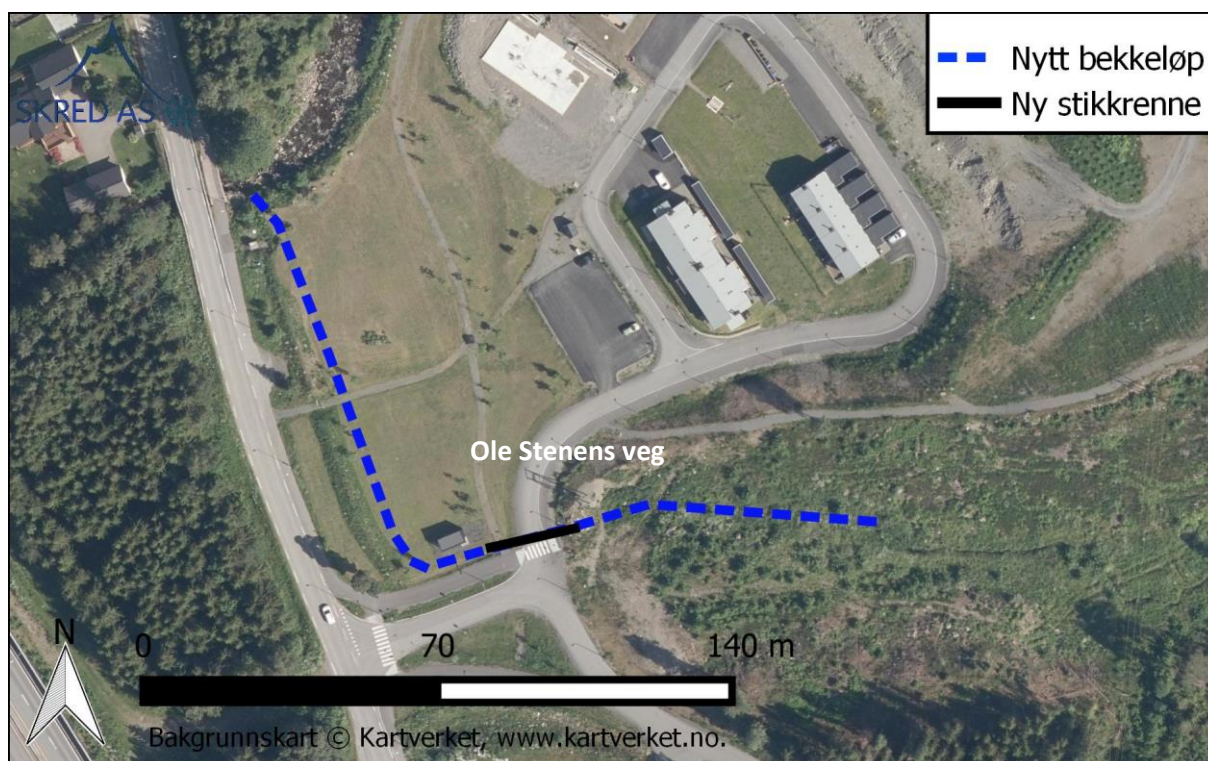
7.3 Etablere åpent bekkeløp over barnehagetomt

7.3.1 Premisser for løsning og vurderingen

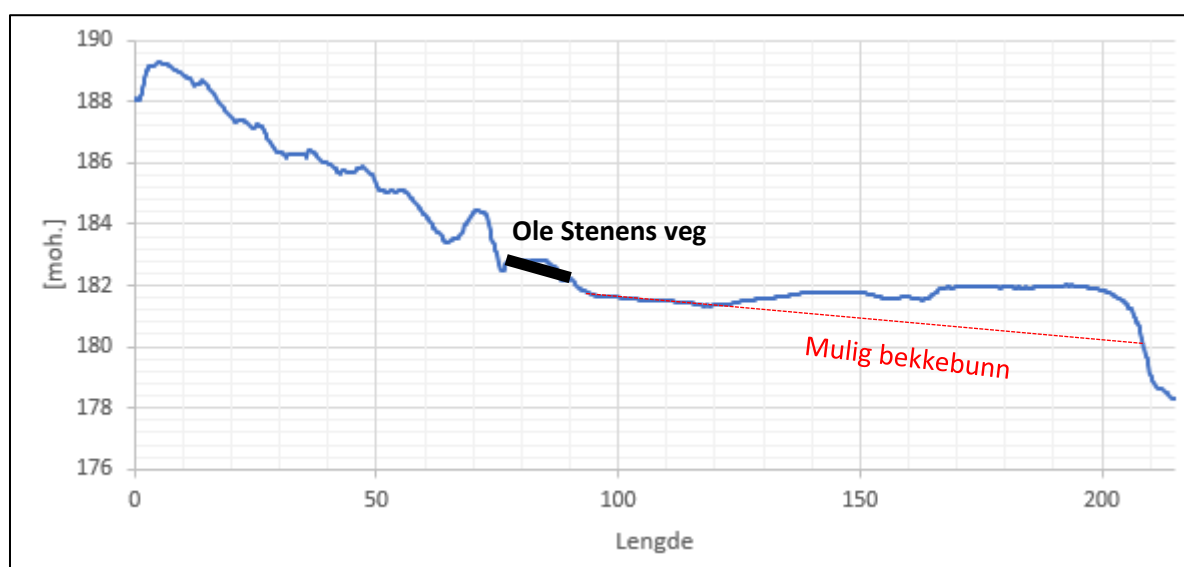
Følgende premisser skal legges til grunn for løsningen som skal vurderes.

- Fra dagens kulvertinntak legges bekken åpen frem til Søre Brynsåa over «barnehagetomta». Utløpet foreslås omtrent på samme sted som utløpet av dagens kulvert, rett oppstrøms Bru Kongsvegen. Eksisterende kulvert fjernes.
- Løsningen vil inkludere et åpent bekkeløp med kryssing av Ole Stenes veg.
- Løsningen må ta hensyn til tilbakestuvning fra Søre Brynsåa under flom.

Ca. trase og lengdeprofil for eksisterende terreng er vist på Figur 33 og Figur 34.



Figur 33: Ca. trase for mulig nytt bekkeløp over barnehagetomt.



Figur 34: Ca. lengdeprofil med dagens terreng for mulig bekketrase over barnehagetomt.

7.3.2 Krav til kapasitet, dimensjonerende vannmengder og vurdering av dimensjoner

I henhold til sikkerhetsklassene i TEK17 §7-2 anbefales det at bekkeløp minimum dimensjoneres for en 200-årsflom inkludert klimapåslag (sikkerhetsklasse F2). Da Ole Stenens veg faller under sikkerhetsklasse V1 i Håndbok N200 og det antas omkjøringsmuligheter etter utbygging av feltet, vil en 50-årsflom være dimensjonerende for stikkrenne/kulvert. Flomvei må kunne håndtere resterende flomvannføring opp til minimum en 200-årsflom inkludert klimapåslag. Flomvei kan etableres som et lavbrekk over vegbanen.

Dimensjonerende vannmengder til bekkeløpet vil være tilsvarende som beregnet i avsnitt 7.2.3. Tabell 20 viser estimerte dimensjoner for kryssingen etter senarioene gitt i avsnitt 7.2.1.

Tabell 20: Estimerte dimensjoner av kulverter ved etablering av bekk over barnehagetomt.

Kulvert	Senario	Dim. flom	Nødvendig rørdiameter [m]
Ole Stenens veg	1	50-årsflom	1,6
Ole Stenens veg	2	50-årsflom	1,4

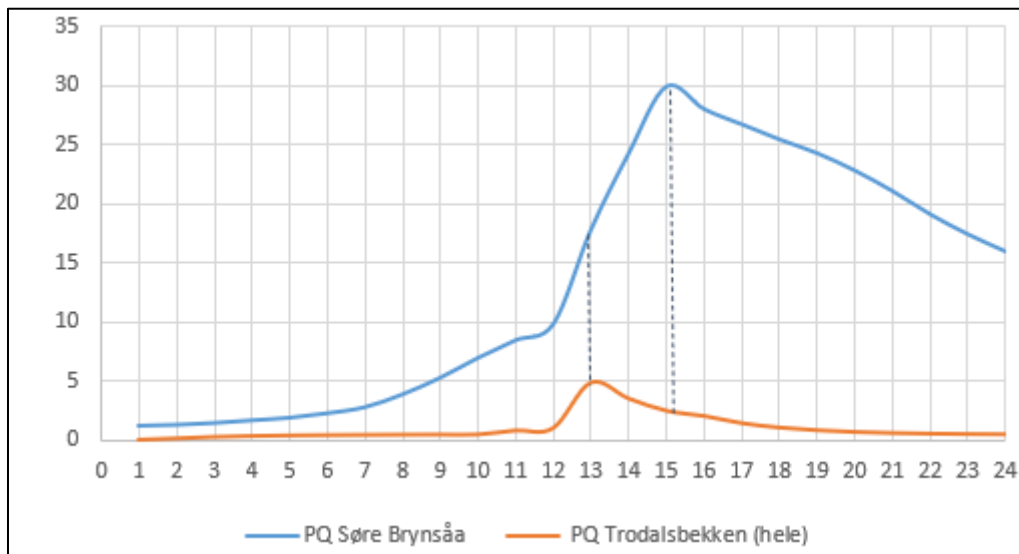
Basert på beregningene i 7.2.5 vurderes det at et nytt bekkeløp over barnehagetomta vil kunne ha en bredde på 5-6 meter. Fra lengdeprofilen av terrenget virker det realistisk å oppnå et fall gjennomgående i bekken på mer enn 1 %.

Ved utforming av bekkeløpet må oppstuvning av flomvann fra Søre Brynsåa også legges til grunn. Det kan for eksempel legges til rette for at oppstuvning kan forekomme ved å heve kantene til nytt bekkeløp. Dette vurderes gjennomførbart, men bør verifiseres gjennom for eksempel et forprosjekt.

7.3.3 Vurdering av samhörighet og effekt på Søre Brynsåa

Allerede i dag ledes hoveddelen vannet i Trodalsbekken til Søre Brynsåa. Dette gjennom en 600 mm kulvert med utløp rett oppstrøms Bru Kongsvegen og flomvei mot Bru E6. Ved E6 vil derfor ikke flomvannføringen øke som en konsekvens av et åpent bekkeløp over barnehagetomta. Bru Kongsvegen kan derimot teoretisk få en økning, som en konsekvens av at noe flomvann som tidligere ble ledet inn på Søre Brynsåa nedstrøms Bru Kongsvegen nå vil ledes til elva oppstrøms brua.

Samhörighet mellom flom i Søre Brynsåa og øvre del av Trodalsbekken ble vurdert i avsnitt 3.2. Det er gjort tilsvarende øvelse for hele feltet til Trodalsbekken, der samhörighet av flom i de to feltene er estimert basert på konstruerte flomforløp med utgangspunkt i det samme nedbørforløpet og PQRUT. Resultatet er vist grafisk i Figur 35.



Figur 35: Konstruerte flomforløp for Søre Brynsåa og Trodalsbekken.

Som man ser av Figur 35 forventes det at Trodalsbekken kulminerer en god tid før flomtoppen fra Søre Brynsåa for et tilfelle med samme nedbørforløp over de to feltene. En eventuell økning på 2,5 m³/s som figuren illustrerer anses svært konservativt på bakgrunn av følgende argumenter:

- Det forventes allerede i dag at en del vann fra øvre del av feltet ledes mot Søre Brynsåa fra grøft ved Vammen.
- Det antas i beregningen en forskjell i konsentrasjonstid i de to feltene på 2 timer. I realiteten virker det realistisk at forskjellen vil være større som ville gitt en ytterligere utflating av flomvannføring i Trodalsbekken i det flomtopp fra Søre Brynsåa inntreffer.
- Grunnet ulik karakteristikk forventes ulike flomforløp og respons på nedbør og/eller snøsmelting i de to feltene. Ulike situasjoner vil kunne være dimensjonerende og skape flom i de to feltene
- Trodalsbekken ledes allerede i dag inn på Søre Brynsåa rett oppstrøms Bru Kongsvegen gjennom et 600 mm rør.

Vurdering av effekten bekkeomleggingen vil ha på flomvannføringen rett oppstrøms brua vil til slutt bero på skjønnsmessige vurderinger. Basert på estimert samhörighet av flom i de to vassdragene samt punktene listet opp ovenfor, vurderes det at påvirkning etablering av skissert bekkeløp vil ha på flomvannføringen i Søre Brynsåa oppstrøms Bru Kongsvegen er neglisjerbar sammenlignet med dagens situasjon.

7.4 Videre vurdering av mulige bekkeomlegging

Dersom det velges å gå videre med et av alternativene skissert i avsnitt 7.2 og 7.3 anbefales det å utføre et forprosjekt av ønsket løsning. Dette for å få vurdert realismen i ønsket løsning og identifisert forutsetninger. I den forbindelse vil det være hensiktsmessig å etablere en modell av bekkeløp og kryssinger, og videre hydraulisk verifikasjon av dimensjoner og utforming.

8 Vurdering av mulig avskjæring mot Mosåa

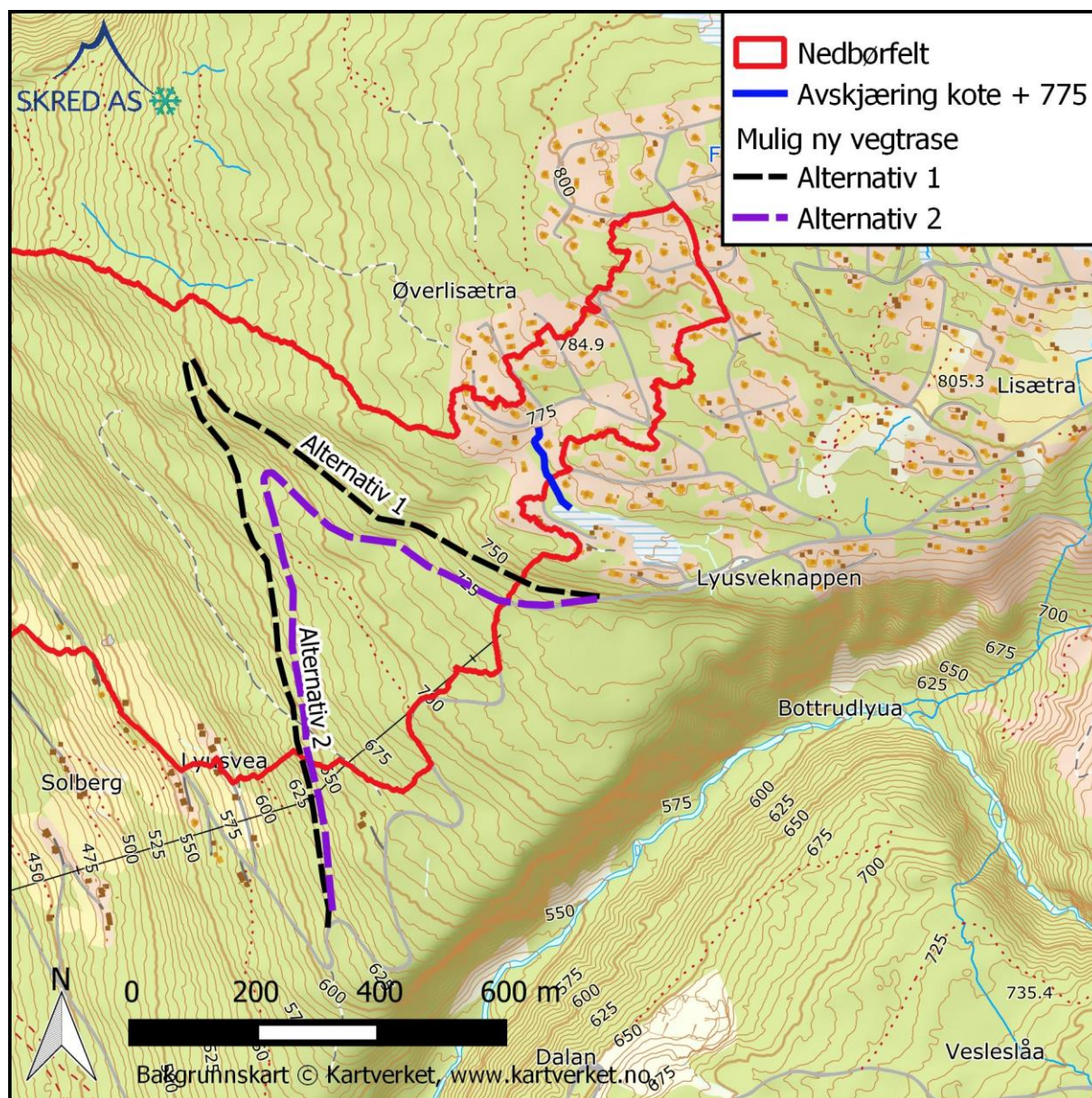
8.1 Bakgrunn

Øyer kommune ønsker å se på muligheten for å avskjære vann fra øvre del av Trodalsbekken mot Mosåa i forbindelse med mulig etablering av ny vegtrase for Hornsjøvegen.

I øvre del av Trodalsbekken er det i dag en eldre grøft som leder vann mot Mosåa (på ca. kote 775 moh). Da denne vurderes å ha varierende tilstand er nedbørfeltet til grøften medregnet i feltarealet til Trodalsbekken i flomberegningen i avsnitt 3.1.

Det ønskes vurdert hvilken effekt eventuell avskjæring av vann via alternative vegtraseer mot Trodalsbekken vil ha. Dette både med tanke på redusert flomvannføring i Trodalsbekken, samt eventuell ulempe ved at Mosåa får tilført et ekstra delfelt. I tillegg ønskes det vurdert hvilken effekt oppgradering av grøfta på kote + 775 vil ha på dimensjonerende vannmengder i Trodalsbekken.

Figur 36 viser lokasjon til de to aktuelle veialternativene samt den avskjærende grøften i oppstrøms del av nedbørfeltet til Trodalsbekken.



Figur 36: Lokasjon til de to aktuelle veialternativene samt den avskjærende grøften.

8.2 Avskjæringene sin effekt på dimensjonerende vannmengde i Trodalsbekken

Hvilken effekt de avskjærende alternativene vil ha på dimensjonerende 200-årsflom i Trodalsbekken er estimert basert på feltareal og beregning av spesifikk 200-årsflom inkludert 30 % klimapåslag fra avsnitt 3.1. Resulterende vannmengde vil bli overført til Mosåa.

Resultatet fra beregningene er vist i Tabell 21.

Tabell 21: Beregnet reduksjon i dim 200-årsflom i Trodalsbekken for ulike alternativer med avskjæring.

Alternativ	Feltareal [km ²]	q200 [l/s*km ²]	Redusert Q200 [m ³ /s]
Veialternativ 1	0,315	3990	1,26
Veialternativ 2	0,260	3990	1,05
Grøft ved kote + 775*	0,075	3990	0,3

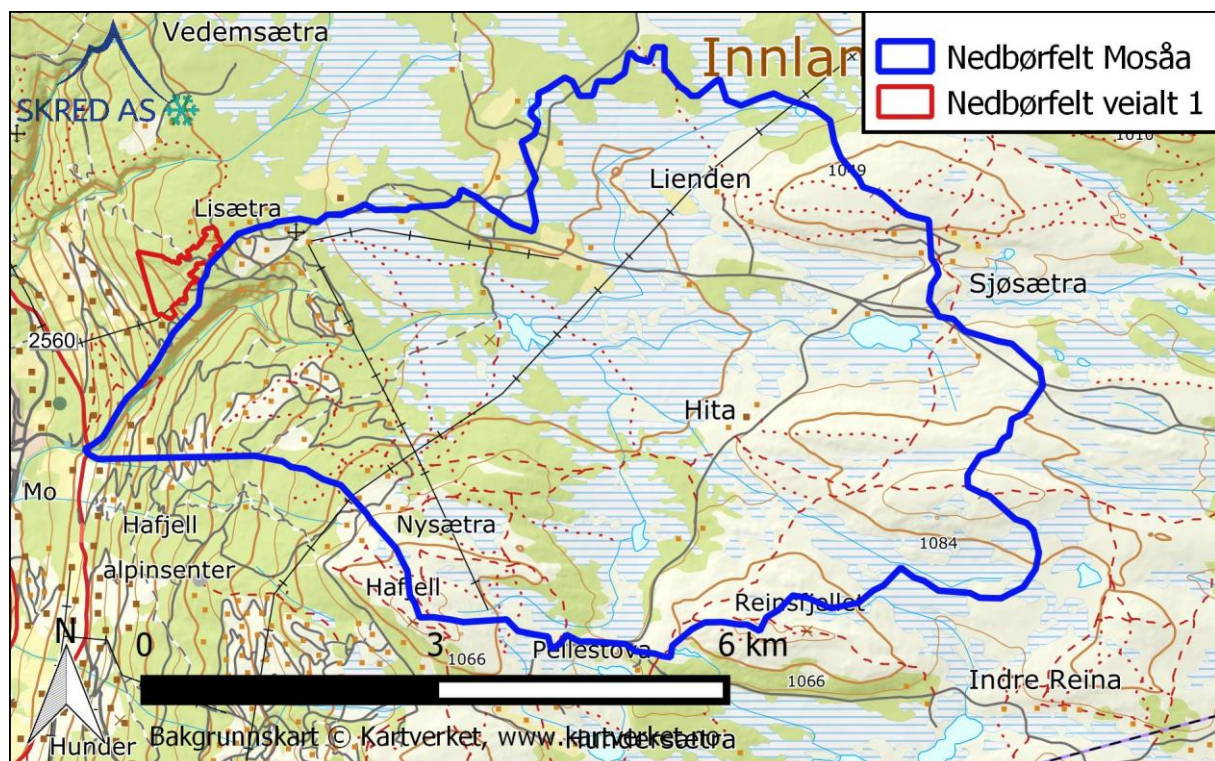
*overføres allerede i dag, men tilstand er varierende.

8.3 Sammenligning av nedbørfelt

Det er gjort en vurdering av hvilken effekt det forventes at avskjæring ved veialternativ 1 og 2 vil ha på flomvannføring i Mosåa.

Mosåa har et feltareal på 35,9 km², og består av en blanding skog, snaufjell og myr. Det er få tjern i feltet som bidrar til naturlig flomdempning. I Skred AS rapport 18336-03-3 ble 200-årsflom i Mosåa estimert til 67 m³/s inkludert klimapåslag på 20% ($q_{200+20\%} = 1680 \text{ l/s*km}^2$).

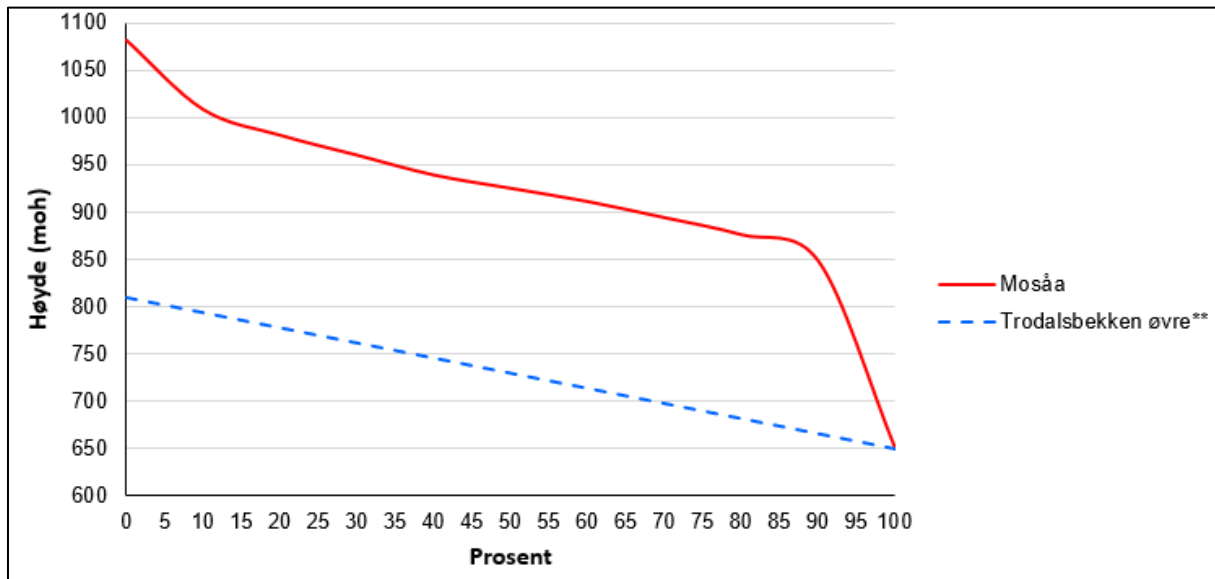
Figur 37 viser feltgrensene til Mosåa og lokalfeltet til veialternativ 1.



Figur 37: Feltgrensene til Mosåa og delfelt oppstrøms veialternativ 1.

Mosåa har et betydelig større feltareal enn lokalfeltet til Trodalsbekken som vurderes avskjært langs veialternativene, der lokalfeltet ville gitt en økning i feltareal på under 1 %. 95% av feltet til Mosåa ligger høyere enn høyeste punkt i lokalfeltet, noe som fremkommer av de hypsografiske kurvene vist i Figur 38.

Aktuelle formeler for konsentrasjonstid (pragamtisk metode og formel for naturlig felt (SINTEF, 1992)) gir et spenn i responstid på mellom 3 - 5,5 timer for Mosåa og 20 – 50 minutter for delfeltet.



Figur 38: Hypsografisk kurve for Mosåa og øvre del av Trodalsbekken som kan avskjæres ved ny vegtrase.

Delfeltet ligger i nedre del av feltet til Mosåa og har en jevn bratt gradient uten tjern eller flatere områder som kan bidra med naturlig flomdempning. Mosåa har i likhet med Søre Brynsåa en slakere karakteristikk med flatere myrområder på et høyere nivå. Som for Søre Brynsåa forventes derfor ulike flomforløp og respons på nedbør og/eller snøsmelting i de to feltene. Ulike kombinasjoner av prosesser vil kunne gi flom i de to nedbørfeltene, der lokalfeltet typisk vil være mest utsatt ved styrtregn.

8.4 Anbefaling

Da delfeltet vil gi Mosåa en marginal økning i feltareal, delfeltet ligger i nedre del av Mosåa og forventes å være tilnærmet drenert før flomtoppen i Mosåa inntreffer, samt at de to feltene har ulik feltkarakteristikk der dimensjonerende flom nødvendigvis ikke blir skapt av de samme prosessene, forventes påvirkningen på flomstørrelser i Mosåa å være svært liten ved eventuell overføring.

Da det allerede er utfordringer med flom og stor massetransport i Mosåa anbefales det av prinsipp ikke å tilføre dette feltet et økt feltareal til tross for at effekten vurderes neglisjerbar. Eventuell overføring bør avklares med NVE på et tidlig stadium.

9 Referanseliste

- Bratlie, 2015 Beregning av flomveier med eksempler på bruk i kommunal forvaltning. Rune Bratlie. Kart og plan 1-2015.
- DiBK, 2018. Byggteknisk forskrift med veiledning (TEK17) [WWW Document]. Hjemmeside. URL <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/>
- MET, 2015. [Dimensjonerende korttidsnedbør. NIFS rapport 134-2015](#)
- Norconsult, 2018. Flomberegning for Søre Brynsåa. 19.10.2018.
- Norsk Klimaservicesenter, 2017. Klimaprofil Oppland. Juli 2017. URL: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/klimaprofiler/klimaprofiloppland/attachment/12035?ts=15d9d3c1d03>
- Norsk Klimaservicesenter, 2020. URL: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedbor/fremtidig-utvikling> (januar 2020)
- NVE, 2015a Veileder for flomberegninger i små nedbørfelt. NVE veileder 7-2015.
- NVE, 2015b Anbefalte metoder for flomberegninger i små uregulerte nedbørfelt. NVE rapport 97-2015.
- NVE, 2016. Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE rapport 81-2016.
- SINTEF, 1992. Flomberegning og kulvertdimensjonering. STF60 A92101
- Spreafico, M., Hodel, H.P., Kaspar, H., 2001. Rauheiten in ausgesuchten schweizerische Fliessgewässern.
- SVV, 2018 Statens vegvesen. Vegnormal N200 Vegbygging.