



Detaljregulering E18 Kragerø – Bamble: Fagrappport hydrologi

Nasjonal PlanID:

Kragerø: 3814_201

Bamble: 3813_369

Prosjektoversikt

Prosjekt nr.:	10227421
Oppdragsgiver:	Nye Veier AS
Dokumentnummer:	NV40E18KB-VAA-RAP-0001

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	11.11.2024	NOKJSA/Sweco	NOJAMA/Sweco	NOHOLL/Sweco

Endringsoversikt

Revisjon	Endringsbeskrivelse

Forsidebilde er fra dagens E18 ved Bakkevannet. (Kilde: Sweco).

Kontaktinformasjon:

Karl Arne Hollingsholm, prosjektleder, Sweco

Tlf. 930 16 226, e-post karl.arne.hollingsholm@sweco.no

Forord

E18 på strekningen gjennom Kragerø og Bamble kommuner er en del av hovedveiforbindelsen mellom Kristiansand og Oslo. Nye Veier har ansvar for planlegging, bygging og drift av fremtidig E18 på denne veistrekningen. Planarbeidet ledes av Nye Veier i samarbeid med et interkommunalt plansamarbeid (IKP)¹ mellom åtte kommuner i Agder og Telemark fylke.

Bakgrunnen for planarbeidet er at dagens E18 har en variasjon i veibredde, bruk av midtdeler og fartsgrense som er et resultat av etappevis utbygging og utbedring over mange år. Variasjon i veistandard medfører redusert fremkommelighet på deler av strekningen.

Sweco bistår Nye Veier med utarbeidelse av en detaljregulering med tilhørende fagrappporter for E18 Kragerø – Bamble. Reguleringsplanprosessen har utviklet seg gjennom flere faser siden den ble startet i 2020. Detaljreguleringen gir rammer for en helhetlig og balansert løsning for fremtidig E18, der ulike hensyn og interesser er avveid mot prosjektets mål. Detaljreguleringen er et samlet svar på innsigelser og merknader som er fremkommet underveis i prosessen.

Fagrappport hydrologi er utarbeidet i henhold til (Statens vegvesen, 2022) og (NVE, 2022), og inngår som en del av grunnlaget for detaljreguleringen.

¹ Interkommunalt plansamarbeid (IKP) etter plan- og bygningsloven kap. 9. IKP består av kommunene Tvedestrand, Risør, Vegårshei, Gjerstad, Kragerø, Bamble, Arendal og Grimstad.

Innhold

1	Sammendrag	6
2	Innledning	7
2.1	Bakgrunn for planarbeidet	7
2.2	Planområdet	7
2.3	Mål med planarbeidet	8
2.4	Tiltaket	9
3	Hydrologi	10
3.1	Generell hydrologi og klima.....	10
3.2	Krav om flomberegninger	10
3.3	Metodikk for flomberegninger	12
3.4	Flomberegninger med flomfrekvensanalyse	12
3.5	Flomberegninger med regionale flomformler, RFFA 2018.....	19
3.6	Flomberegninger med regionale flomformler, NIFS	19
3.7	Flomberegninger med rasjonell formel	22
3.8	Valg av dimensjonerende flomverdier	24
3.9	Klima, klimaendringer og klimapåslag	25
3.10	Beregnet dimensjonerende flom for krysningspunkt under vei	28
3.11	Grove vurderinger av antatt krysningsløsning.....	29
4	Vernede vassdrag	31
5	Vannkraft og vassdragsreguleringer	32
5.1	Hullvann	33
5.2	Tisjø (Tveitereidfoss).....	33
5.3	Bakkevann.....	34
5.4	Store Grøtvann	35
6	Spesielt vurderte krysningspunkt	36
6.1	Fikkjebakke.....	36
6.2	Brynemo	39
6.3	Tyvannselva.....	39
6.4	Tisjø	41
6.5	Auråa.....	46
6.6	Hullvann og Stidalskilen	49
6.7	Bakkevann og Bakkevannet bru.....	52

6.8	Gongelva / Grasdalsstjennbekken	55
7	Referanser	58

1 Sammendrag

Fagrappporten gir en samlet fremstilling av det hydrologiske og klimatologiske grunnlaget i området, påvirkningene dette har på fremtidig E18 og nødvendige tilpasninger som må gjøres i planlegging og utførelse av samferdselsanlegget for å unngå risiko og skade.

Det er utført flomberegninger i alle krysningpunkt for bekker, elver og vann som krysses eller berøres av fremtidig E18. Flomberegningene er utført i hht. til gjeldende retningslinjer og veiledere og valg av dimensjonerende flomstørrelser er gjort på grunnlag av dette.

Valgte flomstørrelser er deretter benyttet som underlag for hydraulisk dimensjonering av kulverter, bruer og nødvendige fyllingshøyder der fremtidig E18 krysser eller ligger langs vassdrag og innsjøer.

Resultatene av de hydrologiske og hydrauliske beregningene er samlet i tabeller i kapittel 3.10 og 3.11.

For de viktigste krysningpunktene er grunnlag og nødvendige beregninger særskilt beskrevet i kapittel 6.

For lokaliteter hvor det er planlagt kulvert er det beregnet minste størrelse på kulverten for å tilfredsstille kravene stilt i N200. For lokaliteter hvor det er planlagt bru er det oppgitt minste høyde, kotehøyde, på underkant bru for å tilfredsstille kravene stilt i N400.

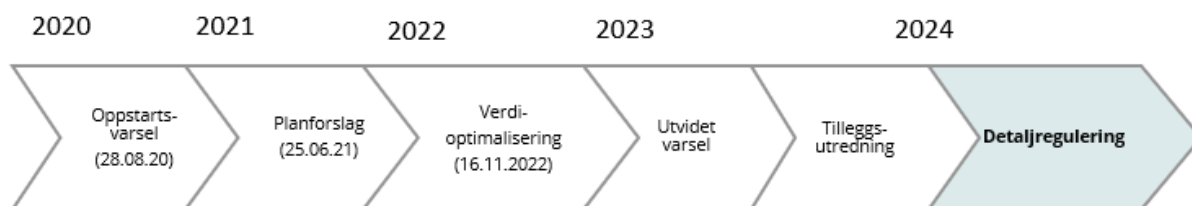
2 Innledning

2.1 Bakgrunn for planarbeidet

En kommunedelplan med konsekvensutredning for strekningen Dørdal – Grimstad ble vedtatt i 2019. Nye Veier fortsatte planleggingen med en reguleringsplan på strekningen Tvedestrand – Bamble. I 2021 var et planforslag på offentlig ettersyn og høring (heretter kalt planforslag 2021). Summen av innkomne merknader og innsigelser viste at det ikke var tilslutning til planforslaget, og at det ikke gav et samfunnsøkonomisk lønnsomt prosjekt.

Med bakgrunn i merknadene og prosjektets kostnadsnivå ble det gjennomført en verdioptimalisering (Nye Veier, 2022), med mål om økte kostnads- og miljømessige gevinster. Verdioptimaliseringen pekte på at økt grad av gjenbruk kan øke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten. Strekningen mellom Tvedestrand – Bamble ble deretter delt i tre deler med ulike tidshorisonter og planprosesser. For delstrekningen gjennom Kragerø og Bamble kommuner anbefalte verdioptimaliseringen videre utredning av to alternativer.

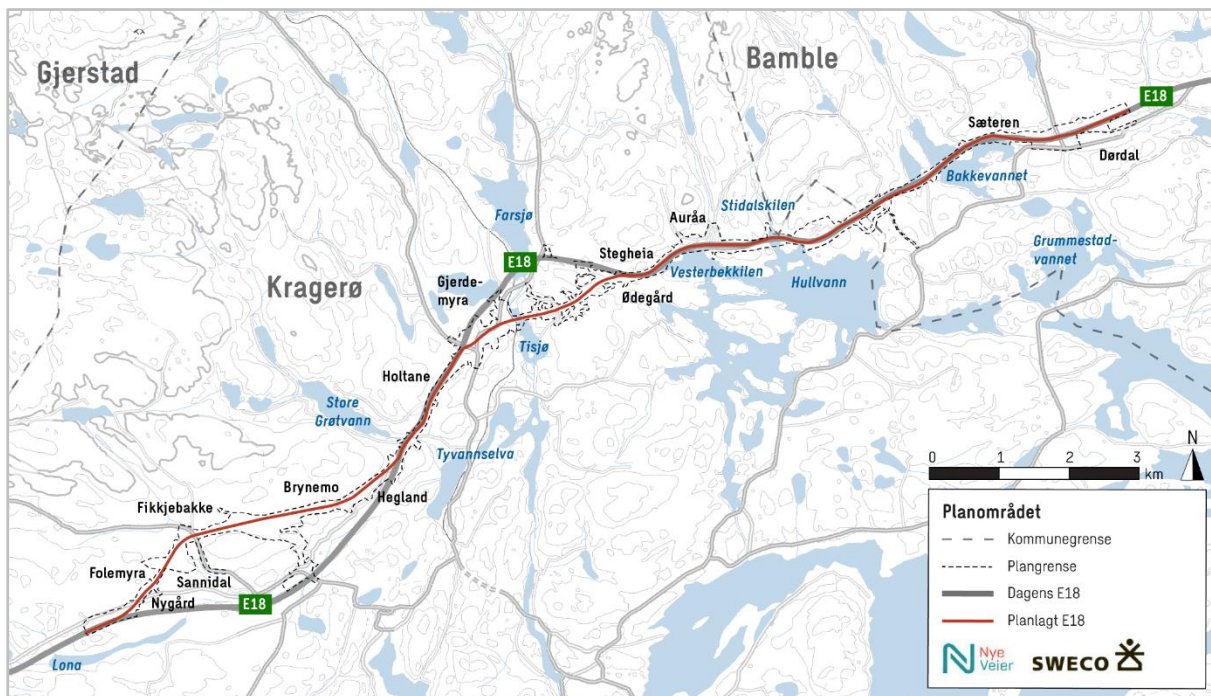
Planprosessen ble videreført, og det er utarbeidet en tilleggsutredning av alternativer og en detaljregulering med tilhørende fagrappporter. I løsningsutviklingen av tiltaket er det vurdert optimaliseringsalternativer, for å bedre den samfunnsøkonomiske lønnsomheten.



Figur 2-1: Viser planprosessen for detaljregulering E18 Kragerø – Bamble. (Kilde: Sweco).

2.2 Planområdet

Planarbeidet har forholdt seg til en varslet plangrense, som er utvidet flere ganger i takt med løsningsutviklingen i prosjektet. Den regulerte plangrensen fremgår av plankartet og Figur 2-2, og angir det området som blir permanent eller midlertidig berørt av tiltaket.



Figur 2-2: Viser planområdet med regulert plangrense. (Kilde: Sweco).

2.3 Mål med planarbeidet

2.3.1 Samfunns- og effektmål

Målet med planarbeidet er å skape et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050, i tråd med Nasjonal transportplan (NTP). Av dette følger fem likestilte mål:



Figur 2-3: De overordnede målene i Nasjonal transportplan 2025-2036. (Kilde: NTP, 2024).

I tillegg er det definert mål for detaljreguleringen om høyest mulig samfunnsøkonomisk lønnsomhet, lavest mulig klimagassutslipp og Breeam Infrastructure-sertifisering som minst «very good».

2.4 Tiltaket

Samferdselstiltaket er det fysiske anlegget som det knyttes kostnader til. Det inkluderer permanente og midlertidige tiltak, i både drifts- og anleggsperioden. Tiltaket planlegges etter krav i gjeldende lovverk og konkrete føringer i bl.a. Statens vegvesens håndbøker. Det er imidlertid behov for enkelte fravik fra gjeldende normaler, hovedsakelig for å kunne øke grad av gjenbruk.

Gjenbruk av dagens E18 er et hovedgrep ved samferdselstiltaket. Gjenbruk gir lavere kostnader, reduserer arealbeslag og gir lavere klimagassutslipp, sammenliknet med planforslaget fra 2021. En viktig forutsetning for mer gjenbruk er endret hastighet fra 110 km/t til 100 km/t. Prinsipper som er lagt til grunn for gjenbruk er:

- Bredeutvidelse for fremtidig E18 er lagt på én side av dagens vei.
- Horizontal- og vertikalkurvatur følger dagens vei, med mindre geometrien må forbedres.
- Dagens bruer og underganger som har en restlevetid av betydning gjenbrukes, og for bredeutvidelsen av kjørefelt bygges det nye bruer og underganger parallelt med eller i forlengelse av dagens.

Fremtidig E18 planlegges som nasjonal hovedvei (H3), firefelts motorvei med midtdeler og fartsgrense 100 km/t. Tverrprofil som legges til grunn i planleggingen er 21 meter. Dette er basert på trafikkmengde (ÅDT) med mer enn 12 000 kjøretøy per døgn (kjt/døgn). Prognose for trafikkmengde i år 2060 viser ca. 14 000 kjt/døgn sør for Sannidal og ca. 17 000 kjt/døgn nord for Gjerdemyra.

Sideveier inngår i tiltaket der det er behov for tilpasning av eksisterende sideveinett og sammenhengende forbindelser for lokaltrafikk. Dette innebærer både nye veier og nedklassifisering eller fjerning av eksisterende veier. Sideveier planlegges med ulike veiklasser, avhengig av veitype og veimyndighet.

Nye eller gjenbruk av konstruksjoner, som bruer og underganger, utføres i utgangspunktet med bredde tilpasset tverrprofilen. Der dagens bruer kan gjenbrukes benyttes de til én kjøreretning, og hvor det planlegges nye bruer for motsatt kjøreretning.

Veigrøftene dimensjoneres for håndtering, rensing og infiltrering av veiovervann. Utformingen varierer med veiføringen og sideterrenget. Rensebasseng planlegges der det er behov, for å håndtere forurensning fra veioverflater og beskytte lokale vannkilder mot forurensning.

Sideterrenget utformes med fylling eller skjæring mot eksisterende terreng. Etablering av ny vegetasjon følger prinsippet om naturlig revegetering med stedegne arter.

Massebalansen baseres på prinsipp om å begrense masseflyttingen og begrense behovet for permanente masselager. Masser fra anlegget skal gjenbrukes i veibyggingen, så langt det lar seg gjøre. Masseoverskudd som ikke brukes legges i planlagte områder for permanent masselager.

Anleggsgjennomføringen omfatter flere faser og skal foregå innenfor det regulerte planområdet. Eksisterende veier vil gi adkomst til anleggsområdet. I hovedsak vil ikke eksisterende veier bli benyttet til anleggstrafikk eller massetransport, med unntak av strekninger med gjenbruk av dagens E18. I anleggsgjennomføringen gir gjenbruk større utfordringer rettet mot tredjepart, og det er behov for å ta særlig hensyn til sikkerhet, helse og arbeidsmiljø. Anleggsperioden antas å vare i fire år.

3 Hydrologi

3.1 Generell hydrologi og klima

Underlag for vurderingen er basert på opplysninger knyttet til det foreslåtte tiltaket, tidligere prosjektarbeid for E18 og andre arbeider i området, NVEs retningslinjer for flomberegninger, NVEs avrenningskart og data fra målestasjoner i regionen. Klimatiske data fra met.no og tjenester fra www.senorge.no, www.xgeo.no og www.seklima.met.no.

3.2 Krav om flomberegninger

Arealplanlegging som tar hensyn til naturfare, er et viktig virkemiddel for å redusere risikoen for skader ved ekstreme naturhendelser som flom og ras. Den beste måten å forebygge på er å unngå å bygge i fareutsatte områder eller eventuelt ved å identifisere risiki og gjøre tiltak for å redusere eller unngå disse.

Risiko og sårbarhetsanalyse (ROS-Analyse) skal gjennomføres ved utarbeidelse av alle planer for utbygging og problemstillinger knyttet til flom og ras skal være en del av en slik analyse.

De antatte effekter av pågående klimaendringer gir grunn til å være mer på vakt mot flom og skred, og prosesser relatert til disse. Hyppigere og mere ekstreme nedbørshendelser gir nye utfordringer for bygging og overvannshåndtering i både bebygde og ubebygde områder.

For tiltak eller byggverk gjelder krav til sikkerhet mot naturpåkjenninger gitt i § 7 i *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (Byggeteknisk forskrift, TEK 17). Denne er gjeldende for konstruksjoner og anlegg, også midlertidige.

De generelle krav er som følger:

- Byggverk skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot skade eller vesentlig ulempe fra naturpåkjenninger.
- Tiltak skal prosjekteres og utføres slik at byggverk, byggegrunn og tilstøtende terreng ikke utsettes for fare for skade eller vesentlig ulempe som følge av tiltaket.

For sikkerhet mot flom og stormflo skal det dimensjoneres eller sikres mot flom slik at den største nominelle årlige sannsynlighet (returperioden²) avhengig av konsekvensgrad ikke overskrides.

For byggverk/konstruksjoner hvor konsekvens anses som liten (sikkerhetsklasse F1) er denne største nominelle årlige sannsynlighet satt til 1/20 eller 20 års returperiode. For middels konsekvens (sikkerhetsklasse F2), her innbefattet infrastruktur, er returperioden satt til 200 år og for byggverk/konstruksjoner med stor konsekvensgrad (sikkerhetsklasse F3) er returperioden på 1000 år.

Byggverk hvor konsekvensen av en flom er særlig stor, skal ikke plasseres i flomutsatt område.

² Returperiode (gjentakintervall) er et uttrykk for hvor ofte (hvert n-te år) det inntreffer flom til et visst nivå eller nedbør med en viss intensitet, ut fra statistiske vurderinger av nedbørs- og avrenningsobservasjoner.

I tillegg til det generelle lovverket har også Statens vegvesen og Jernbaneverket egne retningslinjer med krav til undersøkelser og sikkerhet. Flom- og skredfare knyttet til omkringliggende arealer skal omtales og vurderes i planer som omhandler jernbane og vei. Bygging av vei og jernbane må heller ikke føre til økt vassdragsrelatert fare som flom, erosjon, dårligere områdestabilitet eller lignende.

Statens vegvesens Håndbok N200 tabell 2.2.1-1 (Statens vegvesen, 2022), gir føringer for dimensjonering av samferdselsanlegg mot flomrisiko. Normalt legges 200 års gjentaksintervall til grunn for dimensjonerende flom ved permanente anlegg. For viktige veier uten reell omkjøringsmulighet kan det være aktuelt med et høyere gjentaksintervall. For veier med mindre viktighet kan det benyttes 50 års gjentaksintervall. Tabellen er gjengitt i Tabell 3-1. Ved midlertidige arbeider kan mindre gjentaksintervall benyttes, og det kan også tas sesonghensyn.

Tabell 3-1 Sikkerhetsklasse for veg påvirket av flom. Fra N200 tabell 2.2.1-1

Sikkerhetsklasse	ÅDT	Returperiode for flomhendelse			
		Med omkjøringsmulighet		Uten omkjøringsmulighet	
		Tverrdrenering	Langsgående drenering	Tverrdrenering	Langsgående drenering
V1	< 500	50 år	50 år	100 år	50 år
V2	500 - 4000	100 år	50 år	200 år	100 år
V3	> 4000	200 år	100 år	200 år	100 år

Fra Håndbok N400 (Bruprosjektering) (Statens vegvesen, 2022), har vi at fri høyde over vassdrag skal normalt velges slik at flomvannstanden tilsvarende en flom med returperiode på 200 år har minst 0,5 m klaring mot overbygningen. Klaringen bør velges større når flommen har stor vannhastighet og fører med seg drivende gjenstander. Reglene gjelder ikke for kulverter som brukes til vanngjennomløp i fyllinger.

Når det gjelder nedbørmengder forutsettes det et 200 års gjentaksintervall med nødvendig påslag som klimafaktor for å fremskrive gjentaksintervallet til 2100.

Når det gjelder flomnivå i større vassdrag og innsjøer benyttes det 200 års gjentaksintervall, fremskrevet til 2100 for klimaendringer.

NVEs flomsonekart /observasjoner av flomvannstand benyttes i den grad dette finnes for å finne flomvannstand med 200 års gjentaksintervall for dagens situasjon.

For deretter å ta hensyn til klimaendringene benyttes Statens vegvesens «Skal krav» for framskriving til 2100. For Telemark er denne framskrivingen gitt til minst 20 % økning i flomstørrelse i forhold til dagens (år 1990) 200 års gjentaksintervall for små nedbørfelt og 20 % for store felt (Statens vegvesen, 2022).

For fremtidig E18 vil trafikkmengde (ÅDT, årsdøgntrafikk) være > 4000 (sikkerhetsklasse V3) og for anlegg med levetid > 50 år benyttes det da i tillegg til klimapåslag en sikkerhetsfaktor F_u på 1,2 for slike anlegg.

Tekniske hus eller andre vannømfintlige installasjoner må plasseres/konstrueres slik at de tåler dimensjonerende vannbelastning.

3.3 Metodikk for flomberegninger

Ved beregning av flomvannføring kan ulike metoder benyttes, disse kan hovedsakelig deles inn i tre hovedgrupper:

- Flomfrekvensanalyser
- Nasjonale eller regionale formelverk
- Nedbør-avløpsmodellering

Flomfrekvensmetoden er vanligvis basert på analyser av målte avløpsserier og skal vanligvis benyttes for beregning av flommer med gitte gjentaksintervall. For små vassdrag og i områder med dårlig datagrunnlag kan det være nødvendig å benytte formelverk eller nedbør-/avløpsmetoder for flomberegningen. I slike tilfeller må resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

I forbindelse med etatsprogrammet, *Naturfare – infrastruktur, flom og skred (NIFS)*, et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen, ble det i 2015 utarbeidet et nasjonalt formelverk for beregning av flom i små nedbørfelt (NVE, 2015). RFFA-NIFS er utarbeidet for å estimere kulminasjonsflomverdier i små uregulerte nedbørfelt med areal < 60 km² og opp til flommer med gjentaksintervall på maksimalt 200 år, Q_{200} .

For større nedbørfelt, > 60 km², anbefales det å benytte formelverket RFFA-2018 som beregner døgnmiddelflom og tilhørende kulminasjonsfaktor; $Q_{mom}/Q_{døgn}$ for flomstørrelser helt opp til flommer med gjentaksintervall Q_{1000} (NVE, 2022).

Nedbør-avløpsmetoder er basert på frekvensanalyser av nedbørdata, hvor nedbør- og eventuelt snøsmelteverdier overføres til flomverdier ved hjelp av hydrologiske modeller. Den rasjonelle formel, som beskrevet i SVVs Håndbok N200 (Statens vegvesen, 2022), kan sammen med NVEs PQRUT ses på som slike modeller.

For veldig små nedbørfelt (i størrelsesorden opptil 2 km²) kan den rasjonelle formel benyttes. Bli vassdragene særlig større enn dette kan imidlertid denne formelen gi store usikkerheter. NVE anbefaler imidlertid ikke denne metodikken brukt om nedbørfeltene overskrider 0,5 km² (NVE, 2010)/ (Lindholm, 2008).

Flommodellen i PQRUT er en nedbør-avløpsmodell utviklet til bruk i flomberegninger (Andersen, 1983). Sammenlignet med andre metoder har PQRUT en tendens til å underestimere beregnet vannføring for små felt og overestimere noe for store felt. Det anbefales derfor å benytte metoden med forsiktighet, og sammenligne med målinger fra sammenlignbare felt og annen beregningsmetodikk.

3.4 Flomberegninger med flomfrekvensanalyse

Denne delen av korridoren for fremtidig E18 ligger kystnært og i sin helhet i vassdragsområde 17, i Kragerø og Bamble kommune i Telemark fylke. Den vestre halvparten av veganlegget krysser gjennom Kragerø-vassdraget, midtre del gjennom Hullvann og i øst over Bakkevann i Lona-vassdraget. Plassering er vist i Figur 3-1.

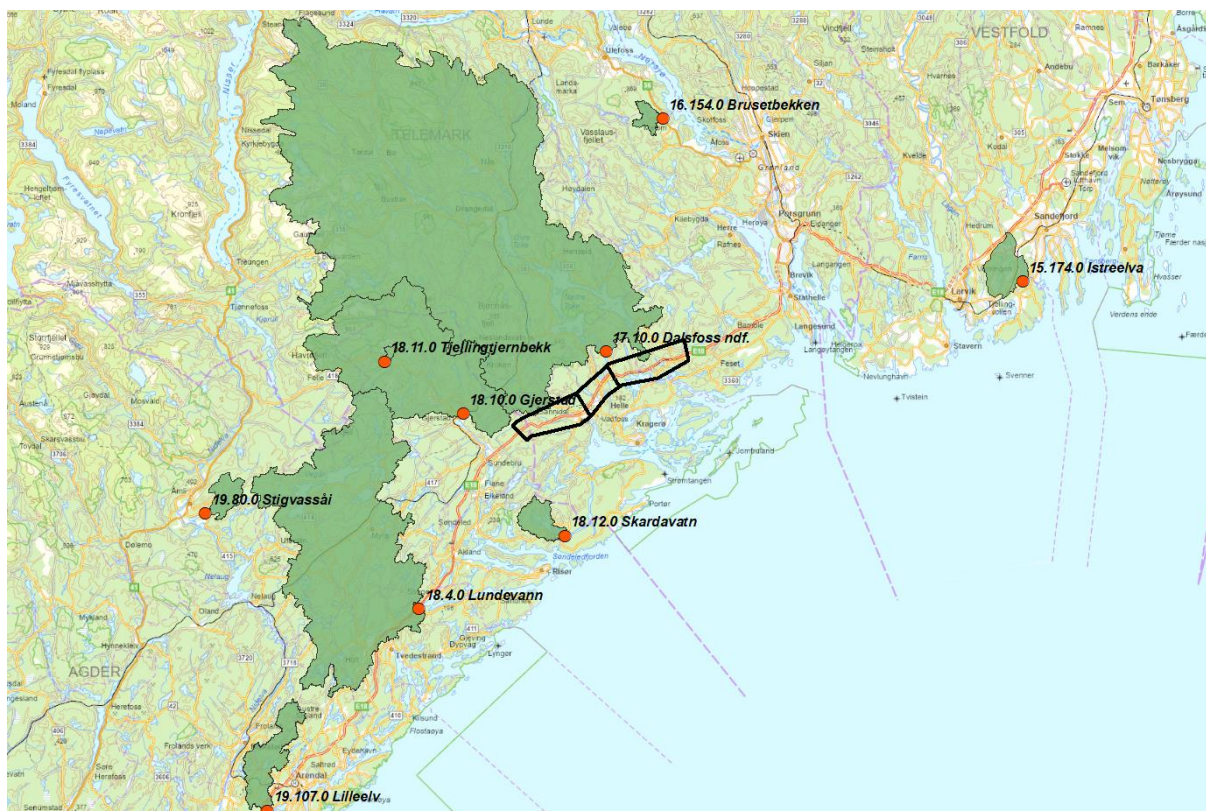
Det er kun én pågående observasjonsserie for vannføring i disse tre vassdragene, 17.10 Dalsfoss ndf. I nabovassdraget i vest har vi 18.11 Tjellingtjernbekk og 18.10 Gjerstad i Gjerstadvassdraget.

Litt lenger sør finner vi 18.4 Lundevann ute mot kysten nederst i Vegårsvassdraget ved Tvedestrand samt 19.107 Lilleelv sør for Arendal.

Inne i landet har vi 19.80 Stigvassåi 50 km vest av planområdet og 16.154 Brusetbekken 30 km nordøst av planområdet ved Norsjø. Plassering av disse målestasjonene er vist i Figur 3-2.



Figur 3-1 Plassering av nedbørfelt for vassdrag som krysses av markerte veikorridorer.



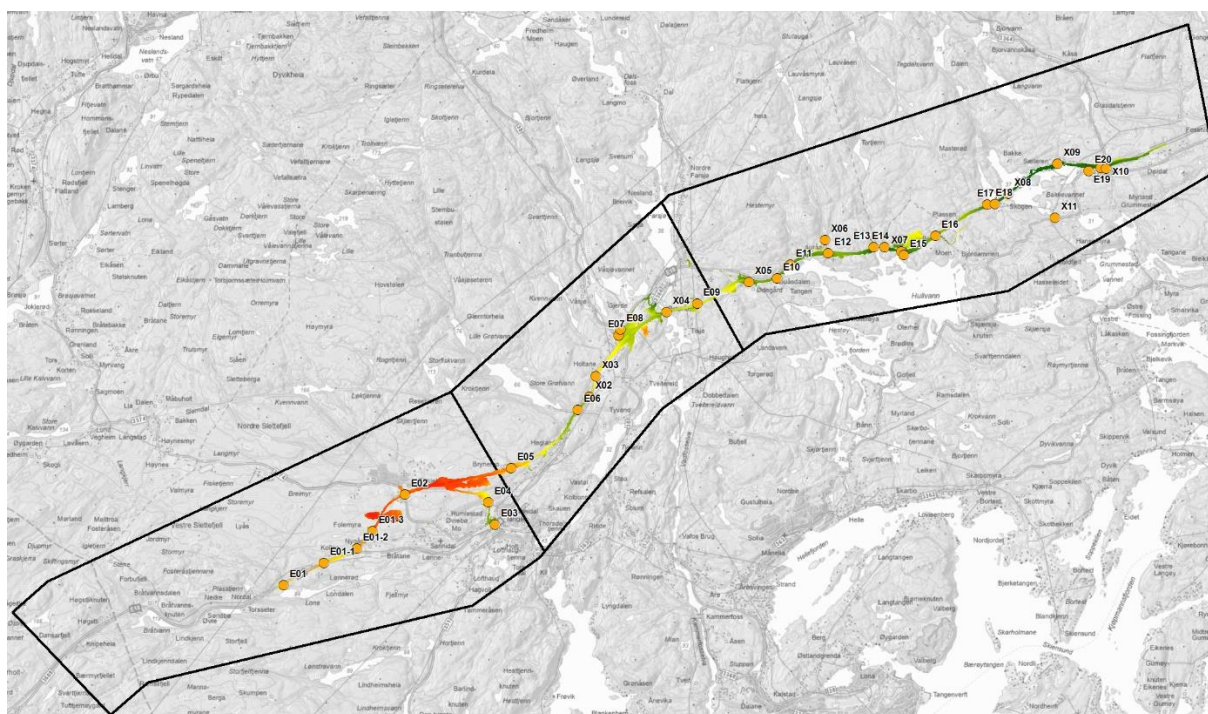
Figur 3-2 Plassering av vurderte målestasjoner.

Av de 33 krysningspunktene som samlet er identifisert i de forskjellige veikorridorene på strekningen, er de aller fleste svært små som vist i oversikten i Tabell 3-2 og med plassering som vist i Figur 3-3.

Det betyr slikt sett at det hadde vært gunstig å finne målestasjoner med små nedbørfelt hvor flomfrekvensanalyse kan benyttes for flomvurderingene.

Tabell 3-2 Antall og størrelse av krysningspunkt for de vurderte veikorridorer.

Størrelse på oppstrøms nedbørfelt, km ²	Antall	Kommentar
> 1000	1	Tisjø (1178 km ²)
10-60	7	
1-10	7	
0.5-1	4	
0.05-0.5	14	



Figur 3-3 Lokaliserte krysningspunkt langs aktuell veikorridor.

Foreslått veikorridor krysser tre større vassdrag med nedbørfelt > 20 km², som Heglandselva (med sidevei), Tisjø i Kragerøvassdraget og over Gongelva (med sidevei) i Lona-vassdraget, ellers kun over mindre vassdrag.

Den største kryssingen er høyt i bru over Tisjø og går således klar av flomvannføring, men her vil det være behov for anleggsvirksomhet i forbindelse med bygging av pilarer i elveleiet.

Målestasjonen 17.10 Dalsfoss litt oppstrøms i dette vassdraget har gode dataserier som kan benyttes for hydrologiske vurderingene på dette stedet.

Av andre målestasjoner som kan benyttes til de hydrologiske vurderingene, og med relevante og sammenlignbare feltparametere, er ytterligere 8 stasjoner i nærheten vurdert. Det er lagt vekt på at stasjonene skal være pågående slik at data også fra den siste tiden skal være tilgjengelig.

Plassering av målestasjoner er vist i Figur 3-1 og med feltkarakteristika i Tabell 3-3. Bortsett fra 19.107 Lilleelv ligger alle målestasjoner mindre enn 50 km fra vurdert veikorridor og med unntak av stasjonen i Brusetbekken har også alle de vurderte stasjonene relativt sammenfallende middelavrenning. Det er også verdt å legge merke til at for flere av stasjonene, gir nytt avrenningskart, en vesentlig økning i midlere avrenning fra perioden 1961-1990 til 1991-2020.

Avvik mellom nytt avrenningskart og observert avløp ved målestasjonene for den siste perioden er minimalt.

Tabell 3-3 Feltkarakteristika for vurderte målestasjoner og deres nedbørfelt.

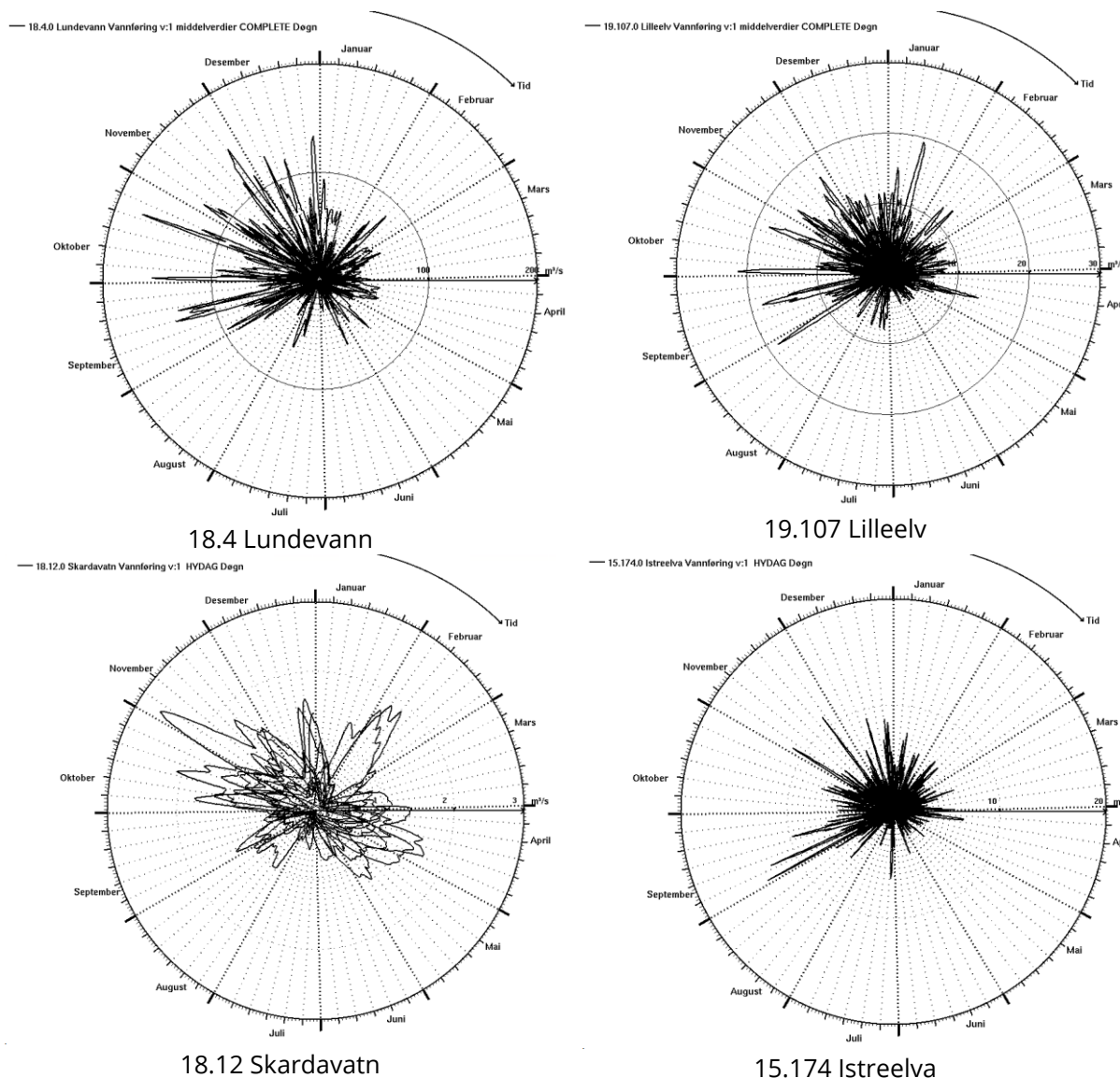
St.nr og Navn	18.4 Lundevatn	18.10 Gjerstad	18.11 Tjellingtjernbekk	16.154 Brusetbekken	17.10 Dalsfoss ndf.	19.80 Stigvassåi	19.107 Lilleelv	18.12 Skardavatn	15.174 Istreelva
Periode	2007-2022	1980- 2022	1981-2022	1987-2022	1908-2022	1972- 2022	1983- 2022	1979-1990	2007- 2023
Areal (km ²)	407,4	235,9	1,95	7,72	1159,6	14,5	40,5	17,75	25,68
Uregulert	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja	Ja	
Avrenningskart Q _n 1961-1990 (l/s pr. km ²)	24,0	25,0	24,1	9,24	26,7	27,3	24,8	15,26	14,61
Avrenningskart Q _N 1991-2020 (l/s pr. km ²)	31,4	29,5	29,16	19,2	27,4	27,8	33,83	23,84	21,26
Observert avrenning Q _N 1991-2020 (l/s pr. km ²)	32,5	29,5	29,0	18,1	27,5	27,6	33,9	25,7 (over målt periode)	22,3 (over målt periode)
Ase (%)	2,24	0,19	1,51	0,48	2,93	0,24	1,97	15,74	0,47
FL (km)	27,4	21,2	2,4	4,0	56,2	6,0	13,9	6,22	6,36
Hmax (m.oh.)	506	657	499	308	908	429	204	181	113
Hmid (m.oh.)	204	313	377	126	287	263	84	62	36
Hmin (m.oh.)	1	50	223	64	38	148	18	18	10
Skog (%)	83,0	81,6	67,1	89,8	82,5	91,4	85,3	73,2	44,2
Snaufjell (%)	0	2,9	9,1	0	3,7	0	0	0	0

Ut fra observerte flommer i eller i nærheten av det vurderte området kan den flomskapende sesongen fastlegges. Hvis det er store flommer både vår og høst i et område, kan det være fare for at man undervurderer de store flommene ved å utføre separate analyser for vår- og

høstsesongen. I slike tilfeller bør man utføre flomfrekvensanalyse uten sesonginndeling, dvs. på årsflommer. Det gir også grunnlag for hvilke ekstreme nedbørverdier som bør ligge til grunn for flomberegning med nedbør-/avløpsmodeller.

Data fra målestasjonene 18.4 Lundevann og 19.107 Lilleelv kan benyttes for denne vurderingen. Begge stasjonene er i lignende avstand fra kyst som de planlagte veikorridorene. Nedbørfeltet til 18.4 Lundevann er imidlertid mye større og strekker seg lengre inn i landet.

Da disse stasjonene ligger noe lenger sør for planlagt veikorridor er det også sett på noen stasjoner med plassering ligger nærmere eller nordenfor, men som har litt kort serie. Dette er 18.12 Skardavatn (1979-1990) ved Risør og en litt nord for Larvik, 15.174 Istreeelva (2007-2023). Begge viser det samme mønsteret som vist i Figur 3-4.



Figur 3-4 Flomroser for utvalgte målestasjoner.

Alle stasjoner viser at de aller største flommene inntreffer på høsten, i perioden september-desember. For de mindre og mere kystnære målestasjonene 19.107 Lilleelv og 18.12 Skardavatn kan det også forekomme store flommer ut i januar -februar. Flomfrekvensanalyser er derfor foretatt på årsflommer.

Resultater fra flomfrekvensanalysen er vist i Tabell 3-4. Det er benyttet både tidligere og ny versjon av NVEs flomfrekvensanalyseprogram i Hydra II. Tall i grønn kursiv er med ny versjon.

For alle stasjoner unntatt 17.10 Dalsfoss ndf. og 18.12 Skardavatn er frekvensanalysen foretatt på kulminasjonsverdier. For Dalsfoss er det kun de siste årene av den veldig lange observasjons-serien som har findata, mens det er døgndata helt tilbake til 1908 og dette er derfor benyttet. Denne målestasjonen har også et stort nedbørfelt, på 1160 km², er regulert og har stor demping av avløpet. Det er benyttet et forhold mellom kulminasjonsflom og døgnmiddelflom på 1,04 beregnet med Nevina's RFFA 2018 metodikk. Nedbørfeltet er vesentlig større enn de nedbørfelt som krysses av planlagte veikorridorer på denne strekningen og er derfor av mindre relevans bortsett fra for krysningen av Tisjø.

For 18.12 Skardavatn er det kun 4 år med kulminasjonsdata som er benyttet. Dette er for kort serie til å gi noe akseptabelt resultat.

For de andre stasjonene er flomfrekvensanalysen foretatt på kulminasjonsverdier fra NVEs findata. For stasjoner med serielengde mindre enn 50 år er det benyttet Gumbelfordeling i hht til (NVE, 2022). For 19.80 Stigvassåi, som har 50 år med data, er det også benyttet GEV som fordelingsfunksjon.

For alle fordelinger er det benyttet «l-moment» metode for å beregne parameterne i de statistiske fordelingene.

Det er et forholdsvis dårlig utvalg av målestasjoner med små nedbørfelt i regionen. De fleste ligger også litt for langt inn fra kysten enn ønskelig. Det er derfor i tillegg foretatt en flomfrekvensanalyse for to stasjoner svært nær kysten. 18.12 Skardavatn som er nedlagt og kun har data fra perioden 1979-1990 og kun fire av disse med findata. Denne stasjonen har også et svært dempet avløp grunnet meget høy effektiv sjøprosent. Målestasjonen 15.174 Istreelva, nord for Larvik, er også nær kysten, men med lav innsjøprosent. En kort dataserie fra 2007, men har data frem til 2023.

Stasjonene 18.11 Tjellingtjernbekk og 19.80 Stigvassåi har sammenlignbare midlere avrenningsverdier som de mindre nedbørfeltene langs den vurderte veikorridoren. Beregnede Q₂₀₀ verdier i disse er også sammenlignbare i størrelse. Stasjonen 16.154 Brusetbekken har langt lavere både midlere avrenningsverdier og beregnet Q₂₀₀ flom. 18.12 Skardavatn og 15.174 Istreelva har også noe lave avrenningsverdier fra avrenningskartet selv om måleseriene gir noe høyere verdier.

Lenger sør kan man finne målestasjoner med høyere spesifikke midlere avrenningsverdier og også høyere beregnet spesifikk q₂₀₀ men det anses å ikke være like representativt for dette området.

En verdi på 2000 l/s pr.km² kan anses å være et akseptabelt anslag for bruk til beregning av Q₂₀₀ flommer med flomfrekvensanalyse for nedbørfelt fra 2-25 km² som vist med markerte grønne felt i Figur 3-5.

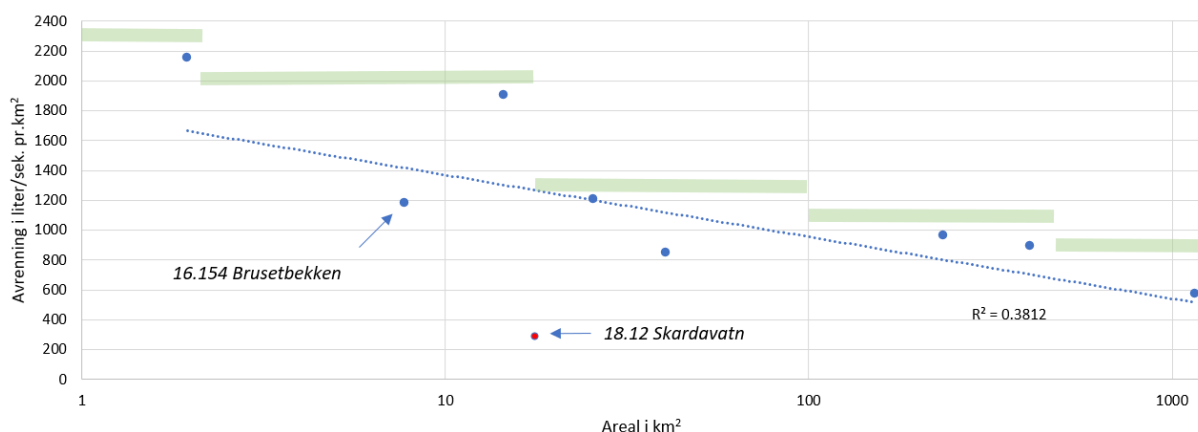
Tabell 3-4 Flomfrekvensanalyse på kulminasjonsdata. Døgndata for 17.10 Dalsfoss og 18.12 Skardavatn. Tall i grønn kursiv er med nytt flomanalyseverktøy i NVEs Hydra-database.

St.nr og Navn	18.4 Lundevatn	18.10 Gjerstad	18.11 Tjellingtjernbekk	16.154 Brusetbekken	19.80 Stigvassåi	19.107 Lilleelv	17.10 Dalsfoss ndf. Døgndata	18.12 Skardavatn	15.174 Istreelva
Periode	2007-2022 <i>2009-2023</i>	1980- 2022 <i>1986- 2023</i>	1981-2022 <i>1984-2023</i>	1987-2022 <i>1988-2023</i>	1972-2022 <i>1972-2023</i>	1983- 2022 <i>1996- 2023</i>	1908- 2022 <i>2005- 2023</i>	1979-1990 <i>1980-1984</i>	2007- 2023 <i>2009- 2023</i>
Areal (km ²)	407,4	235,9	1,95	7,72	14,5	40,5	1159,6	17,75	25,68
Uregulert	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Q _m (m ³ /s)	128,2 <i>141,8</i>	108,5 <i>117,1</i>	1,8 <i>1,8</i>	3,27 <i>3,4</i>	9,7 <i>9,8</i>	12,5 <i>14,1</i>	216,1 <i>215,0</i>	1,6 <i>1,4</i>	12,2 <i>12,0</i>
q _m (l/s pr. km ²)	315 <i>348</i>	460 <i>496</i>	923 <i>923</i>	424 <i>440</i>	669 <i>676</i>	309 <i>348</i>	186 <i>185</i>	90 <i>79</i>	475 <i>467</i>
Q ₅₀ (m ³ /s)	274,9 <i>292,8</i>	192,3 <i>193,3</i>	3,3 <i>3,5</i>	7,4 <i>7,3</i>	21,3 <i>22,2</i>	26,2 <i>28,2</i>	418,6 <i>507,5</i>	2,9 <i>3,7</i>	24,7 <i>24,9</i>
q ₅₀ (l/s pr. km ²)	675 <i>719</i>	815 <i>819</i>	1692 <i>1795</i>	964 <i>946</i>	1469 <i>1531</i>	647 <i>696</i>	361 <i>438</i>	163 <i>208</i>	962 <i>970</i>
Q ₂₀₀ (m ³ /s)	336,5 <i>362,5</i>	227,4 <i>226,7</i>	3,9 <i>4,2</i>	9,2 <i>9,1</i>	26,2 <i>27,6</i>	31,9 <i>34,3</i>	471,8 <i>635,6</i>	3,5 <i>5,0</i>	29,9 <i>30,9</i>
q ₂₀₀ (l/s pr. km ²)	826 <i>890</i>	964 <i>961</i>	2000 <i>2154</i>	1189 <i>1179</i>	1807 <i>1903</i>	788 <i>847</i>	407 <i>548</i>	197 <i>282</i>	1164 <i>1203</i>
Q ₁₀₀₀ (m ³ /s)	407,6 <i>448,5</i>	267,9 <i>266,6</i>	4,6 <i>5,1</i>	11,2 <i>11,2</i>	31,8 <i>34,0</i>	38,5 <i>41,7</i>	519,3 <i>790,7</i>	4,2 <i>7,0</i>	36,0 <i>38,3</i>
q ₁₀₀₀ (l/s pr. km ²)	1000 <i>1101</i>	1136 <i>1130</i>	2359 <i>2615</i>	1451 <i>1451</i>	2193 <i>2345</i>	951 <i>1030</i>	448 <i>682</i>	237 <i>394</i>	1402 <i>1491</i>
fordeling	Gumbel <i>Gumbel</i>	Gumbel <i>Gumbel</i>	Gumbel <i>Gumbel</i>	Gumbel <i>Gumbel</i>	GEV <i>GEV/ Gumbel</i>	Gumbel <i>Gumbel</i>	GEV <i>Gumbel</i>	Gumbel <i>Gumbel</i>	Gumbel <i>Gumbel</i>
kommentar	Kort serie			Dårlig kurvetilpasning, underestimert	Best kurvetilpasning med Gumbel		Kun 18 år med timesdata	Kun 4 år med timesdata	Kort serie

For store felt over 250 km² vil en verdi på 900 l/s pr.km² være et fornuftig valg med denne metodikken.

For nedbørfelt med størrelse imellom disse er det noe mer vanskelig å gi et rimelig anslag. Det er få tilgjengelige målestasjoner i dette størrelsessegmentet. 1812 Skardavatn har veldig høy effektiv sjøprosent og antagelig med noe mer dempingeffekt enn ønskelig og 16.154 Brusetbekken har en lavere middelavrenning enn de andre feltene i sammenligningsgrunnlaget. Begge er markert i Figur 3-5. Verdien vil antagelig ligge noe mellom de to tidligere beskrevne. Her kan 1300 l/s pr.km² benyttes for nedbørfelt mellom 25-100 km² og 1100 mellom 100-250 km².

For nedbørfelt mindre enn 2 km² er det kun en målestasjon, 18.11 Tjellingtjernbekk, som kan benyttes for å gi et rimelig anslag for Q₂₀₀ flom med data basert på flomfrekvensanalyse. Verdien for nedbørfelt mindre enn dette vil antagelig ligge noe over. Her kan 2300 l/s pr.km² mellom 0,5-2 km² benyttes.



Figur 3-5 Resultater fra flomfrekvensanalysen, q₂₀₀. 18.12 Skardavatn og 16.154 Brusetbekken er markert. Anbefalte verdier (grønne linjer) hvis flomfrekvensanalyse skal legges til grunn. X-skala er nedbørfeltareal på logaritmisk skala.

3.5 Flomberegninger med regionale flomformler, RFFA 2018

Formelverket for RFFA-2018 er basert på regional flomfrekvensanalyse og benyttes for felt over 60 km². Det er bare en kryssing, over Tisjø, som er i denne størrelsesorden og hvor NVEs Nevina kan benyttes for beregningen. Denne er i tillegg dekket av direkte observasjoner i vassdraget.

Tabell 3-5 Beregnede Q₂₀₀ flommer med RFFA2018.

Nr.	Navn på krysningpunkt	Nedbørfelt km ²	Skog %	Vann %	Hmax moh.	Hmin moh.	Eff.Sjø %	Feltlengde km	AVR	AVR	RFFA2018
									9120 l/s pr.km ²	6190 l/s pr.km ²	q ₂₀₀ l/s pr.km ²
X04	Tisjø	1178	82,5	7	908	38	2,12	58,8	27,4	26,6	441

3.6 Flomberegninger med regionale flomformler, NIFS

I forbindelse med etatsprogrammet *Naturfare- infrastruktur, flom og skred* (NIFS), ble det i 2015 utarbeidet et nasjonalt formelverk for beregning av flom i små nedbørfelt under 60 km². (NVE, 2015).

Bruk av denne krever informasjon om feltstørrelse, normalavrenning og effektiv sjøprosent. Det siste elementet er det mest krevende og utlede. NVEs nettjeneste Nevina beregner denne, men er avhengig av eksisterende elvenettverk. Dette gjør at de aller minste nedbørfeltene ikke kan beregnes med denne tjenesten. For disse nedbørfeltene er det benyttet en regnearkmodell med metodikken.

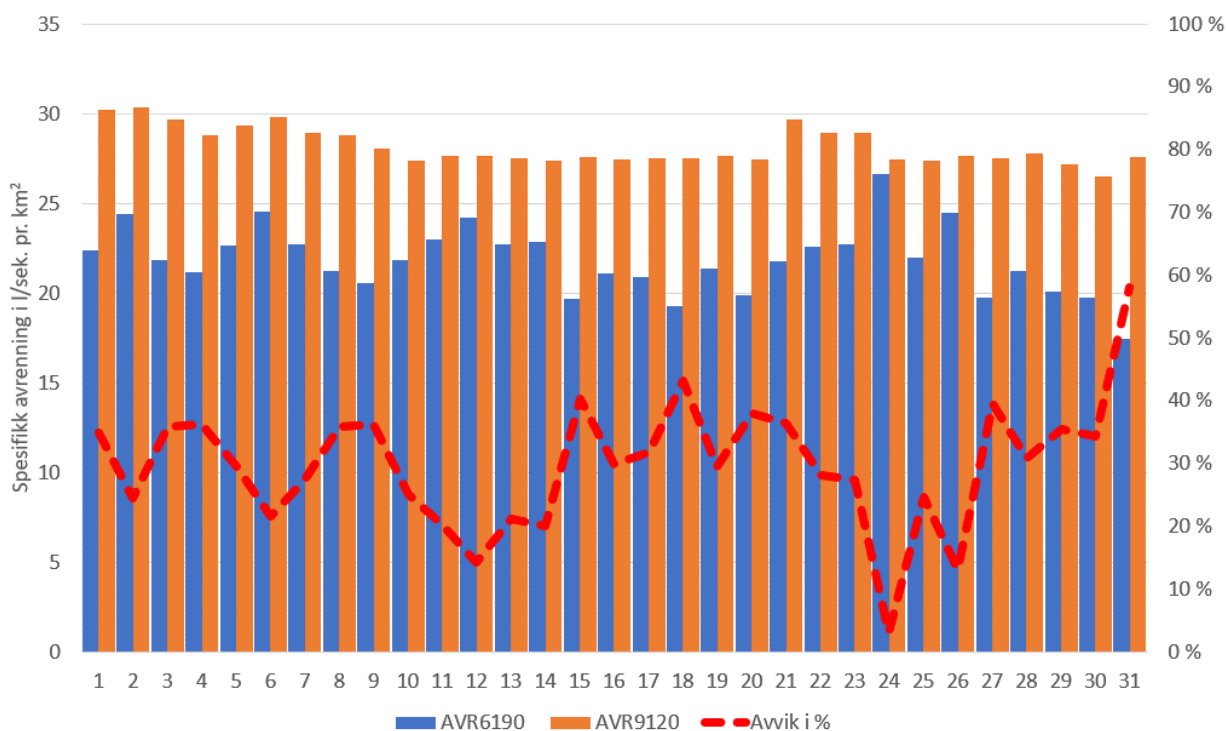
Feltparametere for alle nedbørfeltene er vist i Tabell 3-6.

Tabell 3-6 Feltparametere for nedbørfelt til kryssing ved fremtidig E18-300.

Nr.	Navn på kryssningspunkt	Areal km ²	Eff.Sjø %	Feltlengde km	Hmax moh.	Hmin moh.	Skog %	AVR (Nevina) 6190 l/s pr.km ²	AVR 6190 l/s pr.km ²	AVR 9120 l/s pr.km ²
E01	Røssbekken	3,60	0,01	5,40	227	94	92	22,1	22,4	30,2
E01-1	Ved Ramsåskollen	0,10	0,00	0,63	144	102	81	-	20,46	30,26
E01-2	Nygård	0,08	0,00	0,5	152	100	89	-	22,40	29,17
E01-3	Folemyra	0,21	0,00	0,67	169	115	93	-	22,03	29,19
E02	Kvennvannselva	7,41	0,44	5,18	298	119	91	24,1	24,4	30,4
E03	Heglandselva	27,44	0,52	8,90	298	56	90	22,5	21,8	29,7
E04	Langåsbekken	0,27	0,00	0,90	193	72	92	21,3	21,1	28,8
E05	Bekk ved Brynemo	1,09	0,00	1,60	220	105	93	22,5	22,6	29,3
E06	Tyvannselva	15,30	2,55	6,30	327	58	91	24,5	24,5	29,8
E07	Bekk mot Gjerdedalskilen	0,13	0,00	0,65	131	67	80	28,8	22,7	29,0
E08	Bekk mot Gjerdevannet	0,13	0,00	0,65	75	67	50	28,5	21,2	28,8
E09	Bekk fra Tisjømyrane	0,48	0,00	0,60	145	72	92	20,6	20,6	28,0
E10	Bekk fra Ødegård - Nederst	0,76	0,00	1,20	180	52	94	21,7	21,9	27,3
E11	Vesterbekken	1,72	0,50	2,00	211	49	97	23,0	23,0	27,7
E12	Langsjøelva - Nederst	4,88	2,42	4,50	248	53	95	24,0	24,2	27,7
E13	Stidalsbekken	2,30	2,05	2,90	246	42	93	23,1	22,7	27,5
E14	Bekk fra Søndre Stormyr	0,94	0,00	1,70	196	43	97	22,8	22,8	27,4
E15	Bekk Øst, Vestre Huldalsstrand	0,07	0,00	0,50	114	50	100	19,6	19,6	27,6
E16	Bekk til Mostranda	0,25	0,00	0,70	146	60	97	20,9	21,1	27,4
E17	Bekk_ Plassen mot Skaugtjenna	0,20	0,00	1,00	144	38	97	19,2	20,9	27,5
E18	Bekk fra dam Skaugtjenna	0,45	0,00	0,70	150	37	96	19,9	19,2	27,5
E19	Dørdal4 - Grasdalstjennbekken	12,56	1,94	7,20	248	45	90	21,3	21,3	27,6
E20	Gongelva etter samløp	34,60	3,26	9,00	281	37	89	19,9	19,9	27,4
X02	Holtane - Søndre	0,27	0,10	1,15	120	76	84	28,5	22,6	28,9
X03	Holtane - Nordre	0,14	0,00	0,70	120	92	77	28,9	22,7	29,0
X04	Tisjø	1178	2,12	59,50	908	34	83	26,6	26,6	27,4
X05	Bekk fra Mastereidmyra	0,66	0,00	0,80	190	57	90	27,6	21,9	27,4
X06	Langsjøelva - Øverst	4,38	2,40	4,20	248	65	0	24,0	24,5	27,7
X07	Bekk nord, vestre Huldalsstrand	0,42	0,00	0,90	139	46	99	19,7	19,7	27,5
X08	Bru Bakkevannet	11,50	22,50	5,10	263	37	89	21,2	21,2	27,8
X09	Bekk ved Bakkeveien	0,55	0,00	0,99	163	37	95	20,1	20,1	27,2
X10	Gongelva før samløp	21,90	1,82	8,80	281	50	89	20,4	19,8	26,5
X11	Dam Bakkevannet	48,10	1,79	10,00	281	37	89	20,5	17,5	27,6

Nevina's NIFS beregning er benyttet på 31 av nedbørfeltene som krysser den vurderte veikorridoren. Nevina benytter imidlertid avrenningskartet for perioden 1961-1990 i beregningen. Som beskrevet tidligere ligger denne verdien noe lavere enn oppdatert avrenningskart for den siste perioden, 1991-2020. I gjennomsnitt 30 % lavere som vist i beregningen for nedbørfeltene langs veikorridorene vist i figuren nedenfor.

Formelverket i NIFS tar også hensyn til effektiv sjøprosent så en 30 % økning i middelavrenning gir ikke nødvendigvis samme økning i flomverdi, men i snitt viser beregning med begge avrenningsverdier en midlere økning på 30 % i flomverdien.



Figur 3-6 Avvik mellom avrenning 1991-2020 og tidligere avrenningskart 1961-1990 for nedbørfeltene til fremtidig E18-300.

NIFS-metodikken er benyttet på 31 nedbørfelt med størrelse fra 0,07 – 48 km² hvor beregnet spesifikk q₂₀₀ ligger i intervallet 800 og 2960 l/s pr. km².

Som nevnt er det ingen entydig sammenheng mellom feltstørrelse og spesifikk flomavrenning da effektiv sjøprosent spiller en vesentlig rolle.

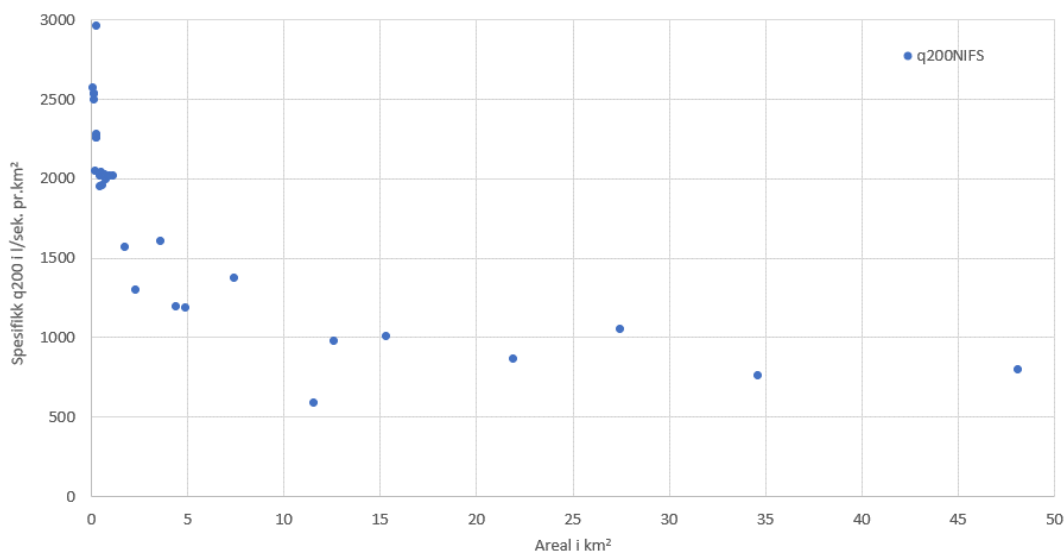
For de 7 nedbørfeltene med feltstørrelse i intervallet 10-50 km² ligger spesifikk q₂₀₀ flomverdi beregnet med NIFS metodikk på 590-1060 l/s pr. km². De med lavest avrenning har forholdsvis høy effektiv sjøprosent. Et konservativt valg for nedbørfeltene med denne størrelsen, vil derfor kunne være å bruke 1100 l/s pr. km² som valgt verdi.

For flomavrenning i nedbørfelt mellom 2-10 km², ligger spesifikk q₂₀₀ verdi på opp i overkant av 1600 l/s pr. km² for de minste nedbørfeltene. 1800 l/s pr. km² kan benyttes som en konservativt valgt verdi for nedbørfelt av denne størrelsen med bruk av NIFS metodikk.

Analyser av nedbørfeltene mellom 0,5-2 km², uten noe demping i innsjøer og tjern, har en beregnet q₂₀₀ verdi med NIFS-metodik, i overkant av 2000 l/s pr. km². 2200 l/s pr. km² kan benyttes som en konservativt valgt verdi for nedbørfelt av denne størrelsen.

Analyser av de 14 aller minste nedbørfeltene under 0,5 km² ligger mellom 2000-3000 l/s pr. km². 3000 l/s pr. km² kan benyttes som en konservativt valgt verdi for nedbørfelt av denne størrelsen.

Beregnete verdier for nedbørfelt beregnet med NIFS metodikk ned til fremtidig E18-300 er plottet i figuren nedenfor.



Figur 3-7 Beregnet spesifikk q200 flomverdi for nedbørfelt ned til fremtidig E18-300 med NIFS metodikk.

3.7 Flomberegninger med rasjonell formel

Av nedbørfelt som krysser de vurderte veikorridorene er det 18 nedbørfelt som er under 1 km², hvorav de aller minste vurderte er ned til en størrelse på 7 hektar. Det er benyttet NIFS for alle av de større feltene over 0,5 km² (50 hektar) som beskrevet over, men også for 9 av de aller minste hvor det vanligvis kun beregnes q200 med bruk av den rasjonelle metode.

NVE anbefaler ikke rasjonell metode benyttet på nedbørfelt større enn 0,5 km² mens (Statens vegvesen, 2022) ikke vil at metoden benyttes på nedbørfelt større enn 2 km².

I (Statens vegvesen, 2023) er denne metodikken beskrevet i detalj for beregninger av flommer med opptil 200 års gjentaksintervall. Metoden er enkel i bruk, men har store usikkerheter, og krever forsiktighet ved bruk og bør sammenlignes med annen metodikk.

Den rasjonelle formel for avrenning benytter seg av en dimensjonerende nedbørintensitet multiplisert med en avrenningsfaktor i nedbørfeltet og nedbørfeltets størrelse. Avrenningen avhenger både av nedbøren og initialtilstanden i nedbørfeltet og det antas at større og sjeldnere forekommende flommer oppstår når det er mer ugunstige forhold i feltet.

Avrenningsfaktoren (C) velges ut fra arealbruk og er en midlere veiet verdi for hvert enkelt nedbørfelt. Verdien er et uttrykk for andelen av nedbørmengde, av gitt intensitet ved feltets konsentrasjonstid, som renner av som overflatevann. I dette området består nedbørfeltene for det meste av skog. Skogsområder har en C- verdi mellom 0,1 – 0,2 avhengig av helning. Verdiene oppjusteres med en faktor på 1,3 for å kompensere for gjentaksintervall over 100 år i hht. (Statens vegvesen, 2022). Dette gir verdier på 0,13-0,26.

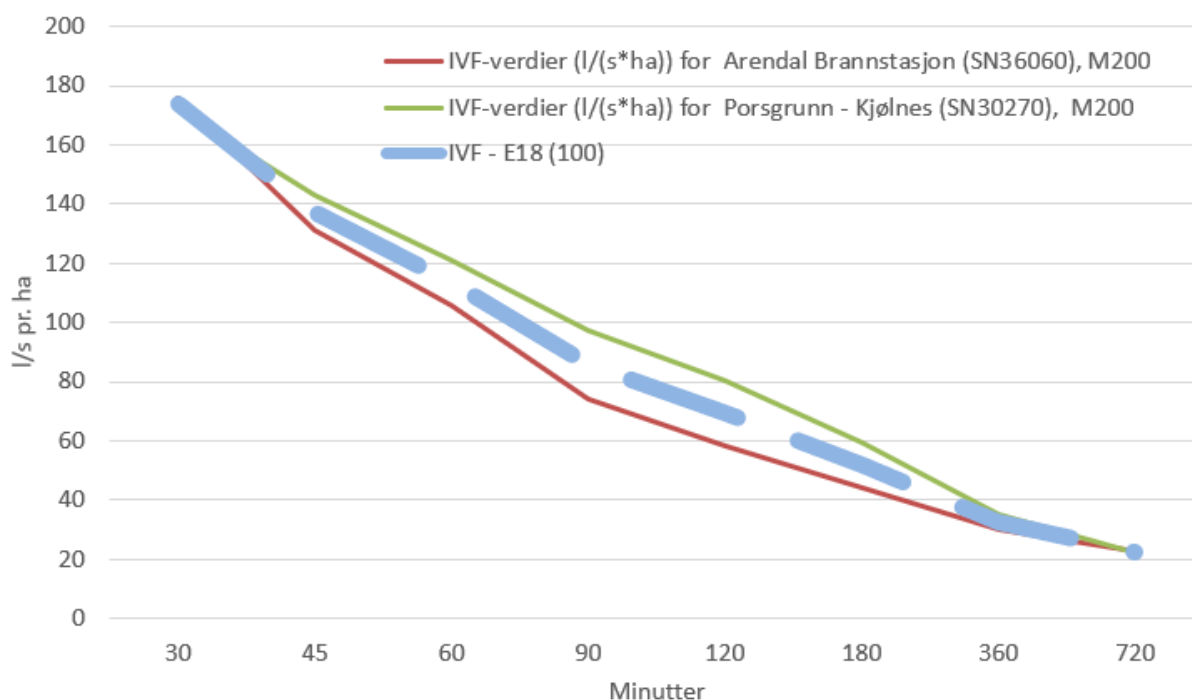
Feltets konsentrasjonstid er bestemt av feltlengde, høydeforskjell i nedbørfeltet og den effektive sjøprosenten. For nedbørfeltene i denne vurderingen benyttes metodikk for naturlige felt (Berg, 1992).

I tillegg benyttes en klimafaktor, som skal inkludere en økning i avrenning som følge av forventede klimaendringer. Den er i (Statens vegvesen, 2022) anbefalt som 1,2 for flommer med returperiode 200 år i Telemark med et ytterligere påslag på 20 % grunnet sikkerhetsklasse V3.

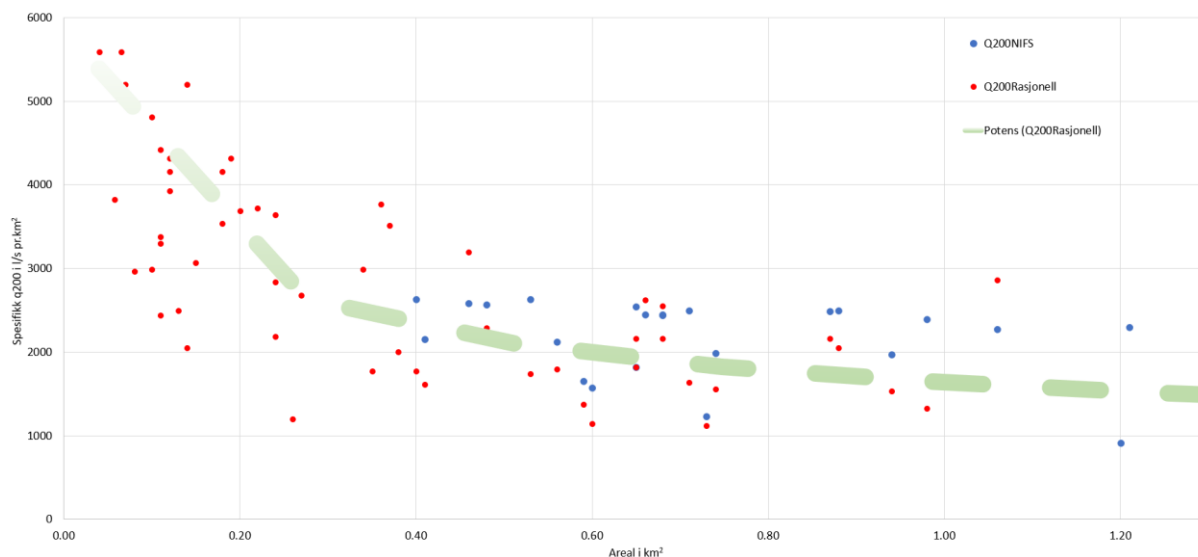
Verdier for nedbørintensitet med 200 års gjentakintervall og med varighet lik feltets konsentrasjonstid er bestemt ut fra IVF-kurver (Varighet-Intensitet-Frekvens) hentet fra norsk klimaservicesenter.

Det er svært begrenset med målestasjoner for nedbør med tilstrekkelig kvalitet og oppløsning på nedbørdata i området. Ingen stasjoner ligger innenfor prosjektområdet, men SN30270 Porsgrunn-Kjølnes ligger noe lenger nord (ca. 30 km) og SN36060 Arendal brannstasjon godt sør av området (ca. 60 km). Begge stasjoner ligger i rimelig høyde sett i forhold til de nedbørfelt som skal beregnes, hhv. 200 moh. og 44 moh.

Målestasjonen i Porsgrunn gir noe høyere intensiteter, om lag 30 %, for konsentrasjonstider mellom 30 og 720 minutter enn observasjonene i Arendal som vist i figuren nedenfor. Gjennomsnittet av kurvene, markert som IVF-E18 (100), er benyttet til beregning av dimensjonerende flom med rasjonell formel.



Figur 3-8 IVF-kurve for målestasjonene i Arendal og Porsgrunn samt benyttet kurve.



Figur 3-9 Beregnede spesifikke q200 flomverdier med NIFS og rasjonell formel for nedbørfelt < 1.5 km².

Variierende fysiografiske forhold i disse minste nedbørfeltene, spesielt med hensyn på helning og feltlengde gir stor spredning i beregnede flomverdier som vist i Figur 3-9. Spesielt for mindre nedbørfelt med høy innsjøprosent vil beregninger med rasjonell formel gi svært lave flomverdier. Veldig bratte felt med kort feltlengde vil gi tilsvarende høye verdier.

Ned til en nedbørfeltstørrelse på 0,5 km² er det valgt å benytte en spesifikk flomavrenning på 2400 l/s pr. km². For nedbørfelt mellom 0,2-0,5 km² benyttes 3500 l/s pr. km² og under 0,2 km² benyttes 4500 l/s pr km².

3.8 Valg av dimensjonerende flomverdier

Figur 3-10 viser en samlet oversikt over resultatene av flomberegninger og analyser med de forskjellige metodikk og beregningsmetoder beskrevet ovenfor. Det er i hovedsak fordelt på arealstørrelser av nedbørfelt. Dette gjøres for lettere å raskt kunne beregne flomstørrelser for en rekke nedbørfelt i et mindre område.

Avrenningen fra et nedbørfelt er som kjent avhengig av flere fysiske forhold i nedbørfeltet enn kun størrelse, så en slik metodikk vil måtte være konservativ i anslagene for å kunne imøtekomme de varierende fysiske forholdene i hvert enkelt nedbørfelt. I dimensjonerende hensikt vil allikevel dette være en fornuftig metodikk for å unngå underdimensjonering av kritisk infrastruktur som kulverter, bruer og andre vanngjennomganger.

Basert på de forskjellige metodikk er det valgt dimensjonerende avrenning for en q200 hendelse for de forskjellige nedbørfeltarealer som vist under i Tabell 3-7.



Figur 3-10 Sammenstilling av resultater for beregning av spesifikk q200 verdi med forskjellige metodikker.

Tabell 3-7 Valgte verdier for q200. Spesifikk flomavrenning i l/s pr.km², kulminasjonsverdier.

km ²	Spesifikk flomavrenning i l/s pr.km ²	Kommentar
0 - 0,2	4500	
0,2 - 0,5	3500	
0,5 - 2,0	2200	
2 - 10	1800	
10 - 50	1100	
50 - 250	1000	
250 - 1000	800	
1000 - 1200	600	Dette gjelder for Tisjø. Gjeldende flomberegning for q200 i damanlegget i utløpet herfra er på 508 l/s pr.km ² . (Norconsult, 2020)

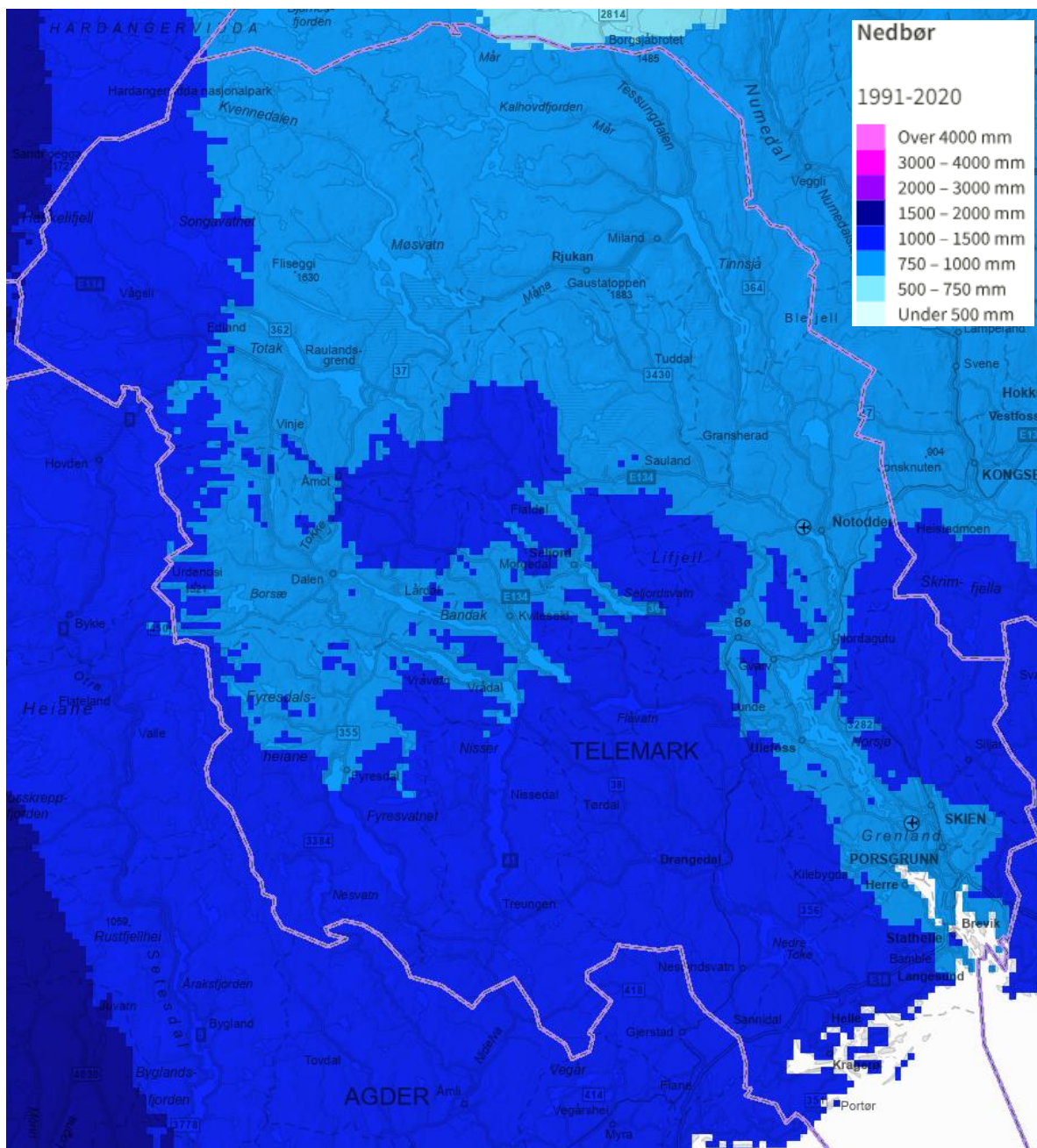
3.9 Klima, klimaendringer og klimapåslag

Det er stor kontrast i klimaet i Telemark. I fjellstrøkene inne i landet er årstemperaturen under 0 mens det ute ved kysten er mildt med årstemperatur over 7 °C. Om sommeren er kyststrøkene i Telemark blant de varmeste og mest solrike i landet.

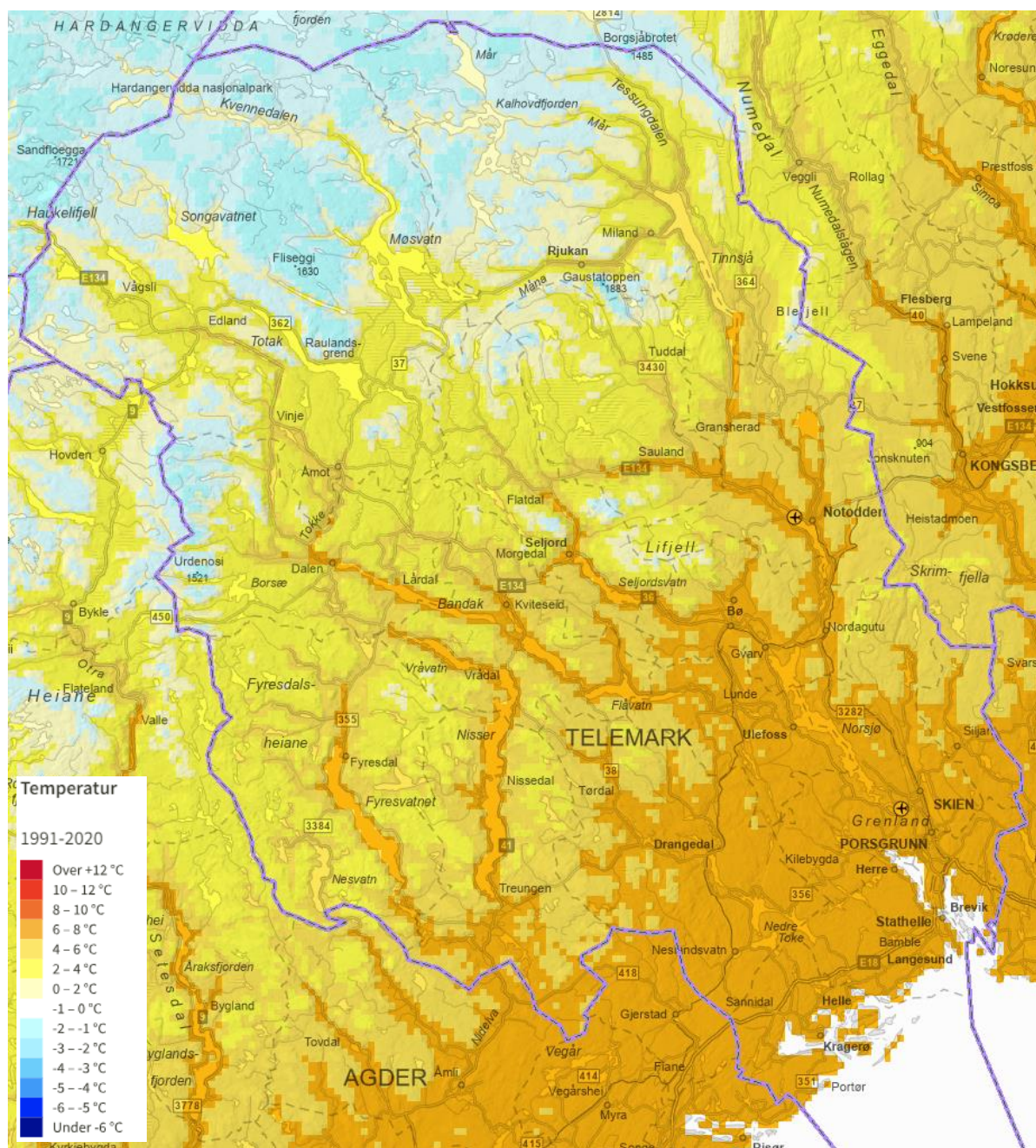
Årsnedbøren varierer fra under 800 mm i enkelte dalstrøk, til over 1000 mm i vestlige deler av fylket. Denne er beregnet å øke med ca. 15 %. Ingen økning sommerstid, men størst økning på

vinter (30 % og vår (25 %). Det er forventet at episoder med kraftig nedbør øker vesentlig både i intensitet og hyppighet i alle årstider.

Nedbørintensiteten i døgn med kraftig nedbør forventes å øke med ca. 15 %. Størst økning i intensitet er forventet vinterstid og for kortvarige nedbørepisoder er det indikasjoner på at økningen i intensitet kan være større enn for døgnnedbør. Det foreslås derfor et klimapåslag på 40 % på regnskyll med kortere varighet enn 3 timer. (Norsk klimaservicesenter, 2016).



Figur 3-11 Årlig middelnedbør i Telemark 1991-2020. Data fra Senorge.no.



Figur 3-12 Årlig middeltemperatur i Telemark 1991-2020. Data fra Senorge.no.

Det beregnes en betydelig reduksjon i snømengde og antall dager med snødekke. Snøsesongen i Telemark blir 1–4 måneder kortere, med størst reduksjon i midtre strøk av fylket. Det vil bli flere smelteepisoder om vinteren som følge av økning i temperaturen.

Det forventes ikke større flommer i store elver som i dag har snøsmelteflom som årets største flom. Snøsmelteflommene vil komme stadig tidligere på året og bli mindre mot slutten av århundret.

Nedbøren forventes å øke. I elver hvor årets største flom i dag er en regnflom forventes det derfor en økning i flomstørrelsen. Det bør regnes med minst 20 % økning i vannføringen avhengig av flomsesong, regulering, feltstørrelse og avstand til kysten. (Norsk klimaservicesenter,

2016). Dette følges opp i Statens vegvesen «Skal krav» for framskriving til 2100 gitt i (Statens vegvesen, 2022). For Telemark er denne framskrivingen gitt til minst 20 % økning i flomstørrelse i forhold til dagens (år 1990) 200 års gjentaksintervall for små nedbørfelt og 20 % for store felt (Statens vegvesen, 2022).

3.10 Beregnet dimensjonerende flom for krysningpunkt under vei

Foregående vurderinger ligger til grunn for beregnet dimensjonerende flom for krysningpunktene under vei i de forskjellige vurderte veikorridorene. Resultatene er listet i Tabell 3-8.

Tabell 3-8 Beregnet dimensjonerende flom for krysningpunktene under fremtidig E18-300.

Nr	Navn	Areal, km ²	Valgt q200 l/s pr.km ²	Klima-FK	Klima-FU	q200 Klima l/s pr.km ²	Q ₂₀₀ Klima m ³ /s
E01	Røssbekken	3,6	1800	1,2	1,2	2592	9,33
E01-1	Ved Ramsåskollen	0,10	4500	1,2	1,2	6480	0,65
E01-2	Nygård	0,08	4500	1,2	1,2	6480	0,52
E01-3	Folemyra	0,21	3500	1,2	1,2	5040	1,06
E02	Kvennvannselva	7,41	1800	1,2	1,2	2592	19,21
E03	Heglandselva	27,44	1100	1,2	1,2	1584	43,46
E04	Langåsbekken	0,27	3500	1,2	1,2	5040	1,36
E05	Bekk ved Brynemo	1,09	2200	1,2	1,2	3168	3,45
E06	Tyvannselva	15,3	1100	1,2	1,2	1584	24,24
E07	Bekk mot Gjerdedalskilen	0,13	4500	1,2	1,2	6480	0,84
E08	Bekk mot Gjerdevannet	0,13	4500	1,2	1,2	6480	0,84
E09	Bekk fra Tisjømyrane	0,48	3500	1,2	1,2	5040	2,42
E10	Bekk fra Ødegård - Nederst	0,76	2200	1,2	1,2	3168	2,41
E11	Vesterbekken	1,72	2200	1,2	1,2	3168	5,45
E12	Langsjøelva - Nederst	4,88	1800	1,2	1,2	2592	12,65
E13	Stidalsbekken	2,3	1800	1,2	1,2	2592	5,96
E14	Bekk fra Søndre Stormyr	0,94	2200	1,2	1,2	3168	2,98
E15	Bekk Øst, Vestre Hulldalsstrand	0,07	4500	1,2	1,2	6480	0,45
E16	Bekk til Mostrand	0,25	3500	1,2	1,2	5040	1,26
E17	Bekk - Plassen mot Skaugtjenna	0,2	3500	1,2	1,2	5040	1,01
E18	Bekk fra dam Skaugtjenna	0,45	3500	1,2	1,2	5040	2,27
E19	Dørdal 4 - Grasdalstjennbekken	12,56	1100	1,2	1,2	1584	19,90
E20	Gongelva etter samløp	34,6	1100	1,2	1,2	1584	54,81
X02	Holtane - Søndre	0,27	3500	1,2	1,2	5040	1,36
X03	Holtane - Nordre	0,14	4500	1,2	1,2	6480	0,91
X04	Tisjø	1178	600	1,2	1,2	864	1018
X05	Bekk fra Mastereidmyra	0,66	2200	1,2	1,2	3168	2,09
X06	Langsjøelva - Øverst	4,38	1800	1,2	1,2	2592	11,35
X07	Bekk nord vestre Hulldalsstrand	0,42	3500	1,2	1,2	5040	2,12
X08	Bru Bakkevannet	11,5	1100	1,2	1,2	1584	18,22
X09	Bekk ved Bakkeveien	0,55	2200	1,2	1,2	3168	1,74
X10	Gongelva før samløp	21,9	1100	1,2	1,2	1584	34,69
X11	Dam Bakkevannet	48,1	1100	1,2	1,2	1584	76,19

3.11 Grove vurderinger av antatt krysningsløsning

Det er som vist ovenfor kartlagt hvor det antas å være behov for en rør/kulvert/bru løsning for å sikre frie vannveier for veikryssningene under planlagt E18. Det er også gjort en grov vurdering for hvilken type løsning det anses å være behov for. Dette vil imidlertid i stor grad være oppe til ny vurdering i en detaljprosjekteringsfase.

For løsninger med rør og kulverter antas det følgende forhold;

- Fritt vannspeil og innløpskontroll
- Tilstrekkelig bunnhelning for selvrensing
- Hydraulisk utformet innløp med vingemur og innstøpt mufteende

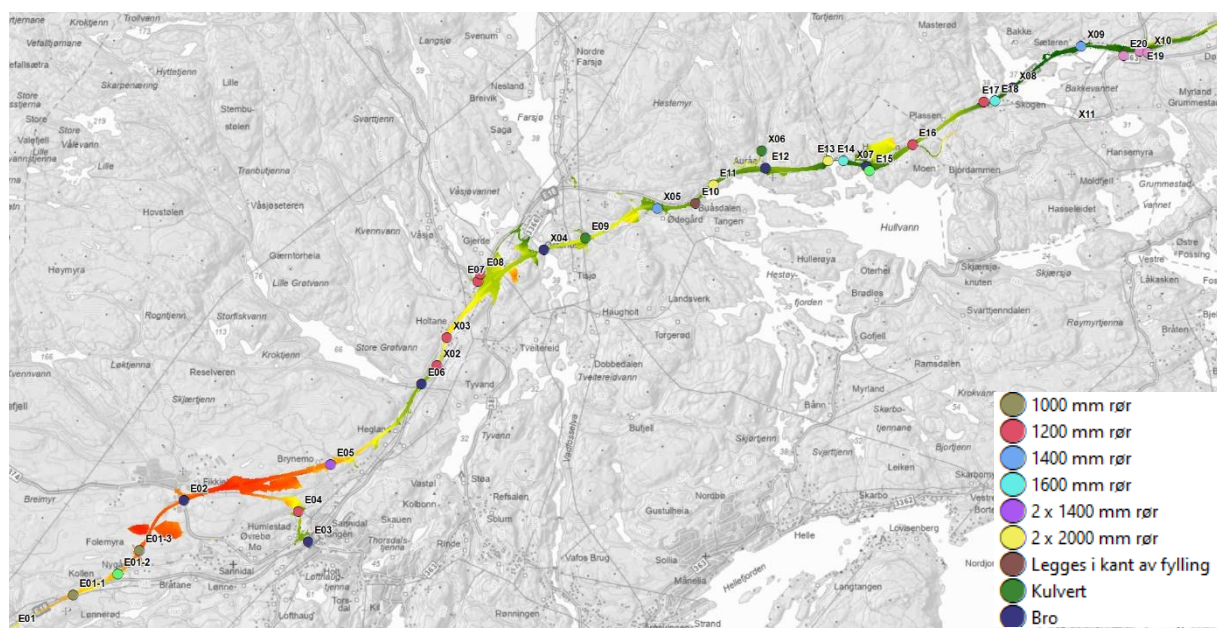
I håndbok N200 (Statens vegvesen, 2022) stilles det i tillegg krav om å anta 1/3 gjentetting.

Tabell 3-9 Diameter og kapasitet - rør.

Diameter på rør	500	600	800	1000	1200	1400	1600	2000
Kapasitet i l/s	240	380	770	1330	2090	3060	4260	7200

For større vannføringer er det antatt;

- Kulvert, for vannføringer mellom 8-20 m³/s
- Stor kulvert for vannføringer mellom 20-40 m³/s
- Mulig bru for vannføringer > 40 m³/s



Figur 3-13 Anbefalte minimumsløsninger basert på beregnet dimensjonerende flom.

Tabell 3-10 Krysningspunkt, beregnet dimensjonerende flom og krysningspunkt.

Nr	Navn	Areal, km ²	Q ₂₀₀ Klima m ³ /s	Anbefalt minimumsløsning
E01	Røssbekken	3,6	9,33	Eksisterende bru(nordgående) Ny bru (sørgående)
E01-1	Ved Ramsåskollen	0,10	0,65	1000 mm rør
E01-2	Nygaard	0,08	0,52	800 mm rør
E01-3	Folemyra	0,21	1,06	1000 mm rør
E02	Kvennvannselva	7,41	19,21	To nye bruer; Kvennvannselva bru og Krokenveien bru
E03	Heglandselva	27,44	43,46	Bru
E04	Langåsbekken	0,27	1,36	1200 mm rør
E05	Bekk ved Brynemo	1,09	3,45	2 x 1400 mm rør
E06	Tyvannselva	15,3	24,24	Bru
E07	Bekk mot Gjerdedalskilen	0,13	0,84	1200 mm rør
E08	Bekk mot Gjerdevannet	0,13	0,84	1200 mm rør
E09	Bekk fra Tisjømyrane	0,48	2,42	Kulvert
E10	Bekk fra Ødegård - Nederst	0,76	2,41	Legges i kant av fylling
E11	Vesterbekken	1,72	5,45	2 x 2000 mm rør
E12	Langsjøelva - Nederst	4,88	12,65	Bru
E13	Stidalsbekken	2,3	5,96	2 x 2000 mm rør
E14	Bekk fra Søndre Stormyr	0,94	2,98	1600 mm
E15	Bekk Øst Vestre Huldalsstrand	0,07	0,45	800 mm rør
E16	Bekk til Mostrand	0,25	1,26	1200 mm rør
E17	Bekk - Plassen mot Skaugtjenna	0,2	1,01	1200 mm rør
E18	Bekk fra dam Skaugtjenna	0,45	2,27	1600 mm rør
E19	Dørdal 4 - Grasdalstjennbekken	12,56	19,90	Stor kulvert (Bru)
E20	Gongelva etter samløp	34,6	54,81	Stor kulvert (Bru)
X01	Bronåstjennbekken	0,27	1,36	Bru
X02	Holtane - Søndre	0,27	1,36	1200 mm rør
X03	Holtane - Nordre	0,14	0,91	1200 mm rør
X04	Tisjø	1178	1018	Bru
X05	Bekk fra Mastereidmyra	0,66	2,09	1400 mm rør
X06	Langsjøelva - Øverst	4,38	11,35	Kulvert
X07	Bekk nord vestre Huldalsstrand	0,42	2,12	Bru
X08	Bru Bakkevannet	11,5	18,22	Bru
X09	Bekk ved Bakkeveien	0,55	1,74	1400 mm
X10	Gongelva før samløp	21,9	34,69	Stor kulvert (Bru)
X11	Dam Bakkevannet	48,1	76,19	Eksisterende bru

4 Vernede vassdrag

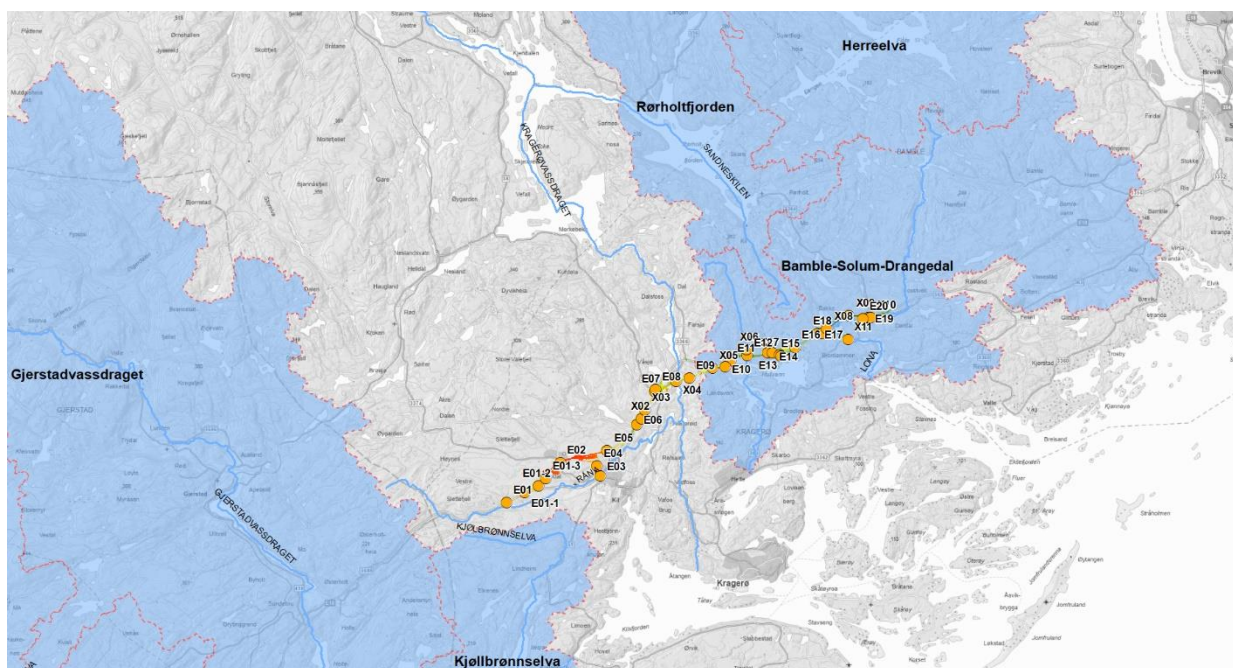
Foreslått korridor for fremtidig E18-300 krysser gjennom vassdraget «Bamble-Solum-Drangedal» i verneplan I (1973) med supplerende av areal i 2005. Etter vedtaket i Verneplan I for vassdrag hadde området et areal på 190 km². For at vassdragsvernet skal følge nedbørfeltgrensene, vedtok Stortinget i supplerende av «Verneplan for vassdrag» at vernet omfatter følgende vassdrag:

- 017.1Z Åbyelva, 50 km²
- 017.2Z Lona, 63 km²
- 017.22Z Hullvannvassdraget, 24 km²

Vassdraget består av flere små vassdrag med utløp i fjordsystemet nord for Kragerø. E18 krysser igjennom et småkupert og skogkledd landskap som går opp i 300 meters høyde. Sammen med Herreelva i nord utgjør området Vestmarka til Skien og Porsgrunn. Det er verdifullt for friluftslivet, selv om enkelte partier er ulendt med bratte koller og urer.

Deler av landskapet er lite påvirket av tekniske inngrep, bare stedvis preget av skogsdrift.

De angitte nedbørfeltene utgjør etter justeringen 140 km². Det resterende området består av små vassdrag som isolert sett ikke vurderes som aktuelle verneobjekter. Vassdragsvernet bør i størst mulig grad knyttes til vassdrag og deres nedbørfelt. De områdene som ikke omfattes av de angitte nedbørfeltene over, utgjikk fra verneplanen.

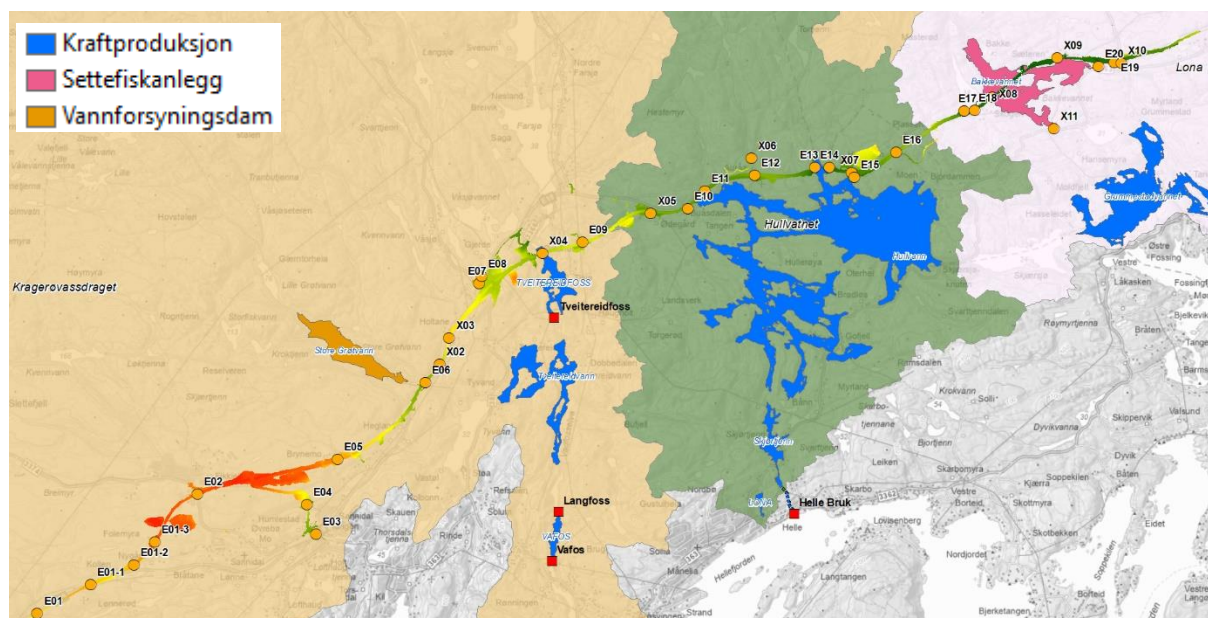


Figur 4-1 Vernede vassdrag i området.

5 Vannkraft og vassdragsreguleringer

Det er reguleringer og magasiner i alle vassdragene som veikorridoren krysser igjennom, både oppstrøms og nedstrøms. Formålene for reguleringene kan være forskjellige og spenner fra tidligere fløtningsdammer, til magasiner for vannkraft og vannforsyning. Store deler av vassdraget er som nevnt tidligere, vernet mot videre kraftutbygging. Eksisterende anlegg er igangsatt før vernetidspunkt. Bakkevann ble regulert allerede tilbake i 1895.

Korridoren kommer i direkte kontakt med tre av de regulerte magasinene, Tisjø (Tveitereidfoss), Hullvann og Bakkevann. Store Grøtvann passerer med ny vei rett nedstrøms magasinet, men berøres ikke med dagens plan. Plassering av magasinene er vist i Figur 5-1 og ytterligere informasjon er gitt i Tabell 5-1.



Figur 5-1 Vassdragsreguleringer langs foreslått korridor.

Tabell 5-1 Regulerte magasin langs korridoren

Magasin nr.	Navn	Areal	Reguleringsformål	Idriftsatt	Konsesjon	Kraftverk	LRV	HRV
2212	Hullvann	3,1	Vannkraft og settefisk	1945	2020	Helle bruk	38,6 (38,9)	39,6
1327	Tisjø	0,16	Vannkraft	1955	1990	Tveitereidfoss	-	37,8
2781	Bakkevannet	0,56	Settefiskanlegg	1895	2017			
1898	Store Grøtvann	0,32	Vannforsyning	1973				63,0

5.1 Hullvann

Hullvann fikk ny konsesjon i 2020, med en reguleringsgrense vinterstid (1.10-30.4) mellom kote 38,6 – 39,6 (NN2000). Sommerstid er LRV på 38,9. Det er pålegg om slipp av minstevannføring på 50 l/s hele året og med et maksimalt vannuttak til settefiskproduksjon på 0,33 m³/s og til vannkraftproduksjon på 0,5 m³/s. Inntak til settefiskanlegg og kraftstasjon ligger i nedstrøms magasin, Skjørtjenn.

Vannet reguleres med en dam, 22 meter lang og sammensatt av en platedam og en betongvegg som overløpsterskel. Hullvann hadde tidligere en reguleringshøyde på 3,2 meter mellom HRV 39,0 moh. og LRV 35,8 men har over flere tiår ikke vært tappet ned mer enn 1,5 - 2 meter under HRV av hensyn til fritidsboliger og naboer. Det ble i 2020 gitt en ny konsesjon med noe redusert LRV.

E18 krysser over nordre del av vassdraget og maksimal vannstand i vannet er av betydning. Dette er sett på i mer detalj i kapittel 6.6.



Figur 5-2 Hullvann dam. Foto Einar Taffjord, fra konsesjonssøknad (Helle bruk AS, 2018)

5.2 Tisjø (Tveitereidfoss)

Konsesjon for Tisjø (dam Tveitereidfoss) ble opprinnelig gitt helt tilbake i 1906 og fastsatt igjen sist i 1990. Kraftverket ble satt i drift i 1955.

Kraftverket er et elvekraftverk og elva er oppdemmet med en platedam i hovedløpet og en sperredam i et sideløp. Bilde av den opprinnelige fossen er vist i Figur 5-3. Fallet er på 9 meter med en årlig produksjon i kraftstasjonen rett nedstrøms dammen på 14 GWh. Eier er Skagerak Kraft.

Tisjø påvirkes av dammen i Tveitereidfoss helt opp til planlagt krysningspunkt for E18 korridoren. Vassdraget skal her krysses med bru høyt over magasinet, men det er behov for bygging av to piler i elveleiet/innsjøen. Dette gir behov for midlertidige fyllinger og en midlertidig bruløsning. Dette er sett på i detalj i kapittel 6.4.



Figur 5-3 Oppstrøms kan man se Tveitereidfoss hvor det nå er en demning. Bilde Nils Gamnes (1949, fra digitalt museum, NVE).

5.3 Bakkevann

Bakkevann reguleres med formål av vannforsyning til settefiskanlegg. Inntaket til anlegget er lenger nedstrøms i Grummestad-vannet.

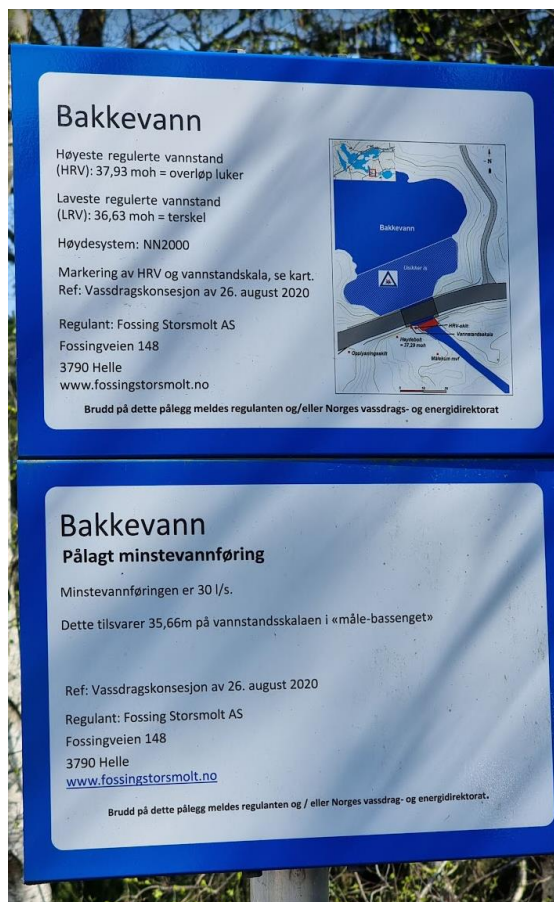
Dammen er en mur- /betong-dam med lengde på 11 m og høyde på 2,3 m. Tappeløp er på 7,0 meter bredt med en høyde på 1,9 m.

Bjelkestengsel med 1,3 m høyde fordelt i 5 felt hvorav to av feltene har montert luker med opptreks som gjør det mulig å tappe ved behov.

Ved stengte luker / bjelker går vannet i overløp over lukene og vannstanden stiger over HRV avhengig av tilsiget.

Foto av dammen er vist i Figur 5-5.

E18 krysser/går i kanten over nordre del av vannet og maksimal vannstand i vannet er av betydning. Dette er sett på i mer detalj i kapittel 6.7.



Figur 5-4 Bakkevann. Skilt ved damanlegg.



Figur 5-5 Bakkevann dam.

5.4 Store Grøtvann

Kragerø kommune benytter innsjøen Store Grøtvann som drikkevannskilde. Store Grøtvann ligger i Sannidal, rett nord for E18. Ytterligere informasjon om denne vannforsyningskilden finnes i (Sweco, 2021).

Slik planene for fremtidig E18 er utformet berøres ikke vannet eller nedslagsfeltet til drikkevannsmagasinet. Det er tatt spesielt hensyn til dette under prosjekteringen for å unngå påvirkning.

Ny E18 vil krysse utløpselven fra Store Grøtvann, Tyvannselva, med bru høyt over elveløpet. Det er planlagt slik at eksisterende bru skal kunne gjenbrukes for nordgående løp mens det er forutsatt ny bru for sørgående løp.

Dagens bru har pilar nær elveløpet slik at denne i ekstreme flomsituasjoner vil være påvirket. Ny bru vil få en søyle nede i dalbunnen, rett på nordsiden av elva, som kan justeres noe lokalt forbi brufundamentet. Ei bruløsning uten søyle i dalbunnen er mulig, men er vurdert som uaktuell.

Fallet på strekningen er imidlertid så stort at hverken eksisterende eller ny pilar vil påvirke oppstrøms vannstander og dermed heller ikke Store Grøtvann.

6 Spesielt vurderte krysningpunkt

Dette gjelder krysninger som har vært spesielt vurdert og hydraulisk modellert.

For å planlegge sikker arealbruk langs vassdrag, tilstrekkelig høyder på tiltak og ellers nødvendige dimensjoner på konstruksjoner er det viktig å vite hvor høyt vannstanden går ved store vannføringer.

Beregningen av vannstander ved ønskede vannføringer er utført ved hjelp av den hydrauliske modellen HEC-RAS 6.4.1 og 6.5 (US Army Corps of Engineers). Programmet er et hydraulisk modelleringsverktøy for beregning av både stasjonære og ikke stasjonære strømninger og er en av de mest anvendte modellene i bruk i verden innen hydrauliske beregninger i naturlig og kanaliserte elver. Programmet beregner vannstand og hastighet i profilene. Det er benyttet to-dimensjonale beregninger i dette arbeidet.

For mer opplysninger om programmet, se <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

For de modellerte områdene er de planlagte tiltakene med E18 og eventuelle andre tiltak i området tatt fra prosjekteringsmodellen og benyttet inn i beregningsmodellen. Laserdata, NDH Skien 5pkt fra 2022 (Terratec, 2022) og NDH Kragerø-Gjerstad fra 2016 (Terratec, 2016) er ellers benyttet for området i tillegg til en rekke andre data fra innmålinger, brutegninger og annet. Høydemodell for dataene er NN2000. Samlet sett gir dataene gir en meget nøyaktig beskrivelse av terrenget og tiltakene.

I beregningsmodellen må også bekkenes/elvens og terrengets ruhet (strømningsmotstand) uttrykt ved Mannings koeffisient, n , benyttes. Mannings n for elveleier og bekkebunner er generelt satt til $n=0,035$ basert på empiriske verdier som referert i (Chow, 1959) der annen informasjon ikke har vært tilgjengelig. På de oversvømte arealene av elvebredden over normalt flomnivå, er Manningstallet generelt satt til $n = 0.04$. Det er benyttet verdier i normalområdet.

Det er benyttet maksimale vannføringer tilsvarende Q200 inkludert klimapåslag, som vist i Tabell 3.11, for beregning av maksimal vannstand og vannutbredelse langs tiltakene.

6.1 Fikkjebakke

Tilførselsvei vil krysse Kvennvannselva på ny Kvennvannselva bru (K1285) og ny E18 krysser samme elv 70 meter nedenfor dette på ny Krokveien bru (K1295) som vist i Figur 6-1. Ytterligere 50 meter nedstrøms krysser eksisterende Fikkjebakke bru over elven.

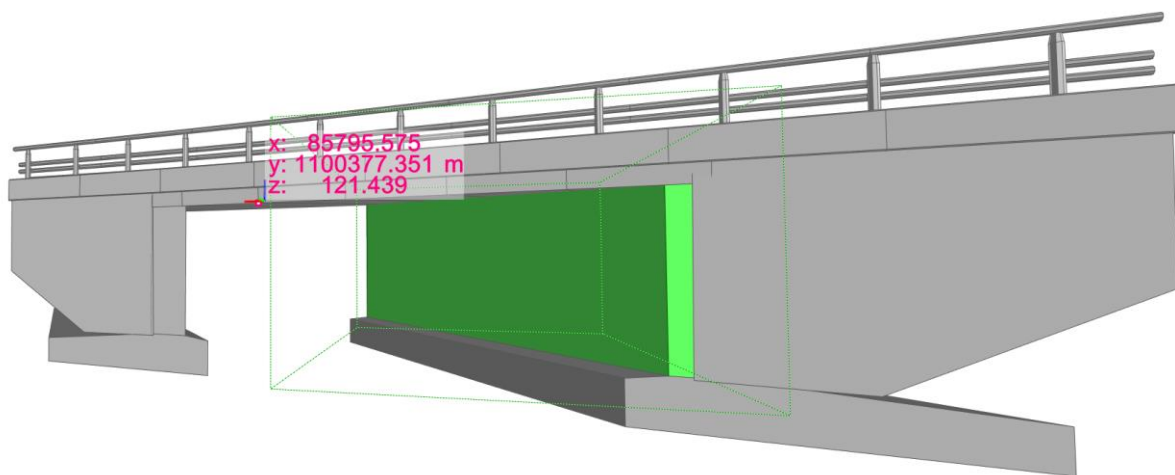
Kvennvannselva bru er en betongkulvert med bredde på 8 meter og høyde på 4 meter. Lengde av kulverten er 10 meter. Underkant av bru ligger på kote 121,44 som vist i Figur 6-10.

Krokenveien bru er en to-spenns betongplatebru med søyle mellom vei og elv. Lengde 34 m og bredde 21 m. Frihøyden over gangveien blir ca. 7 m. Søyleaksen plasseres mellom elva og gangveien. IFC modell av brua er vist i Figur 6-3. Underkant bru er gitt til kote 127,81.

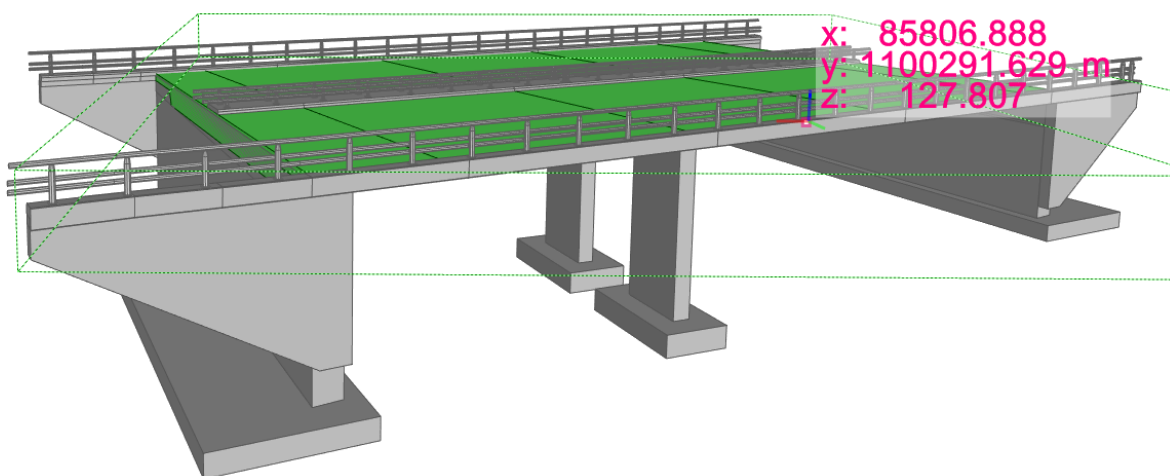
Beregnete vannutbredelse langs Kvennvannselva i tiltaksområdet er vist i Figur 6-4. Vannstander under bruene fra HEC-ras modellering er beregnet til 120,88 under Kvennvannselva bru (56 cm under underkant av bru). Krokenveien bru ligger høyt over vannflaten. Her er vannstanden beregnet til 120,78 for en flom tilsvarende Q200Klima. Begge bruene tilfredsstiller kravene i (Statens vegvesen, 2022). Benyttede vannføringer er gitt i Tabell 3-10.



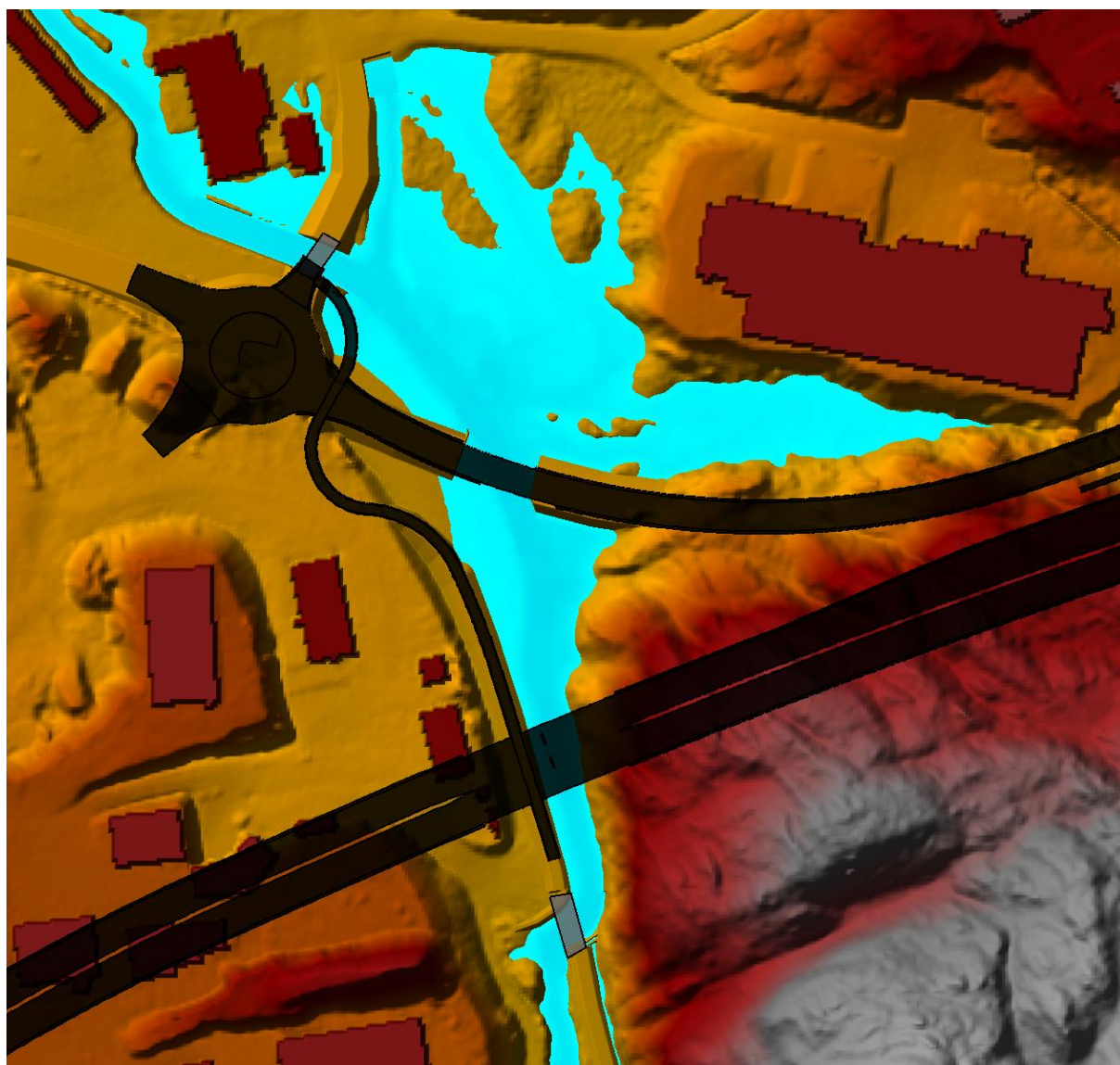
Figur 6-1 Kvennvannselva og Krokenveien bru.



Figur 6-2 IFC modell av Kvennvannselva bru.



Figur 6-3 IFC modell av Krokenveien bru.



Figur 6-4 HECRAS modell av Fikkjebakke med Kvennvannselva og Krokenveien bru, vannutbredelse ved Q200klima.

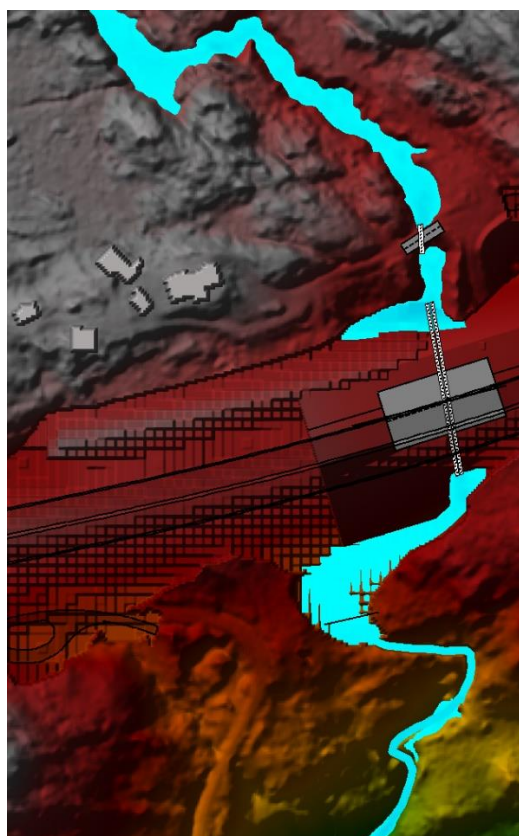
6.2 Brynemo

Ved Brynemo kommer E18 på høy fylling. Oppstrøms bekk må ledes igjennom med en kulvert/rør og legges langs fyllingskant på nedstrøms side og ledes ned mot opprinnelig bekkeleie.

Planlagt løsning er vist i Figur 6-5 og hydraulisk modellering i Figur 6-6. Benyttede vannføring er gitt i Tabell 3-10.



Figur 6-5 Planlagt løsning ved Brynemo.



Figur 6-6 HecRas modell for løsning ved Brynemo med modellert flomsone for Q200klima.

6.3 Tyvannselva

Tyvannselva er utløpselven fra Store Grøtvann. Det går bru over elven i dag. Fremtidig E18 er planlagt slik at denne brua skal kunne gjenbrukes for nordgående løp mens det er forutsatt ny bru for sørgående løp. Bruene krysser i ca. 20 m høyde over dalbunnen.

Tyvannselva bru I for sørgående løp foreslås som en betongplatebru i tre spenn med lengde på 86 m og bredde på 13,5 m. Brua får en søyle nede i dalbunnen rett på nordsiden av elva som kan justeres noe lokalt forbi brufundamentet. Ei bruløsning uten søyle i dalbunnen er mulig, men er vurdert som uaktuell ut fra stedlige forhold kombinert med betydelige økte kostnader.

Hvis dagens bru ikke kan gjenbrukes, kan ny bru for nordgående løp bygges på tilsvarende måte som brua for sørgående løp, men med fire spenn og med brulengde på 120 m.

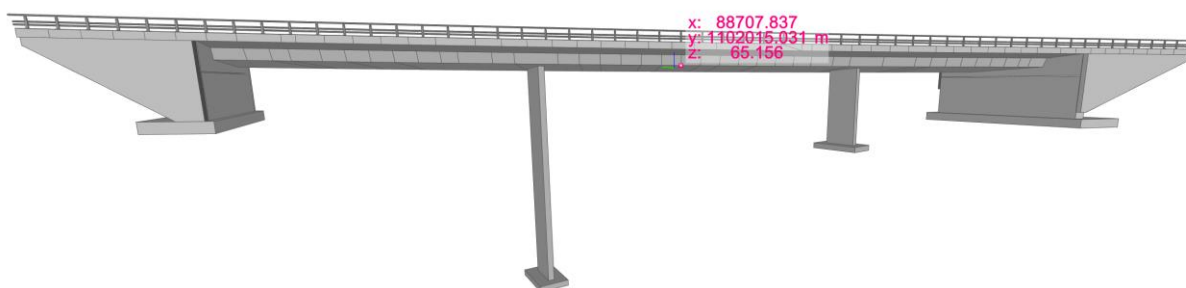
Foreslått bru er vist i Figur 6-7 og Figur 6-8. Underkant bru er gitt til kote 65,15 ved kryssingen av elva.

Beregnet flomutbredelse for Q200klima beregnet med HecRas er vist i Figur 6-9.

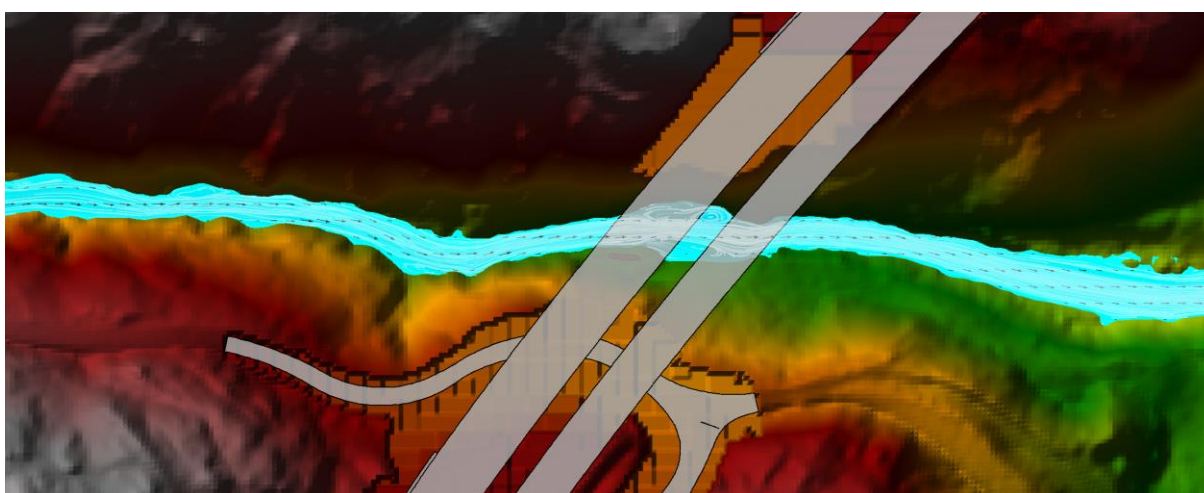
Benyttet vannføring er gitt i Tabell 3-10. Beregnet vannstand ved Q200klima er 44,34.



Figur 6-7 Tyvannselva bru. Sett oppstrøms. Dagens bru i forgrunnen. Ny bru for sørgående løp i bakgrunnen.



Figur 6-8 IFC modell av Tyvannselva bru.



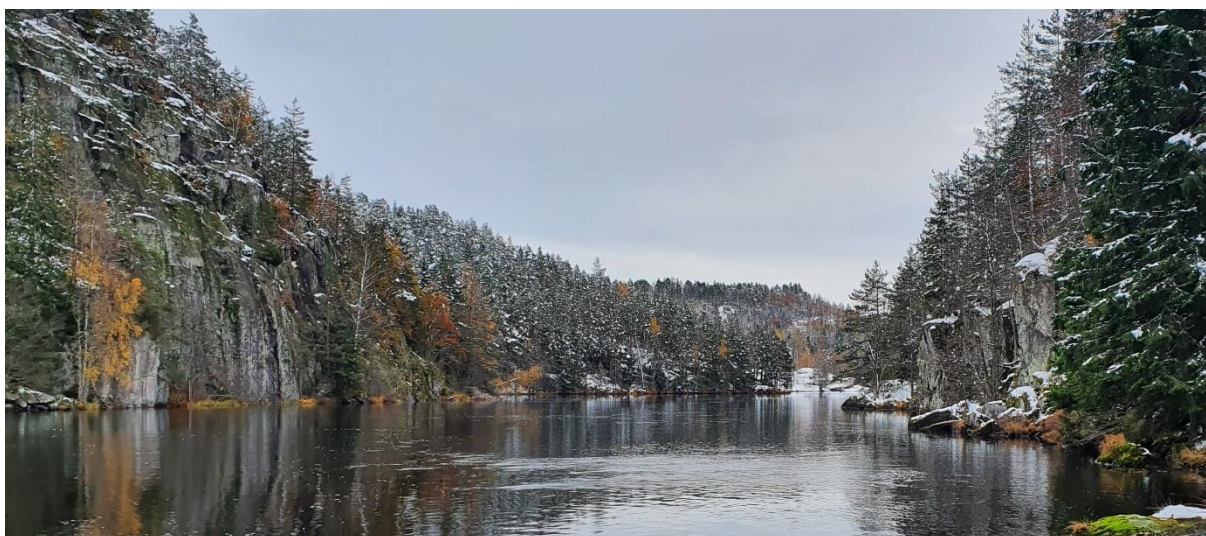
Figur 6-9 HecRas modell for Q200klima ved Tyvannselva bru.

6.4 Tisjø

E18 skal krysse over Tisjø i ca. 36 m høyde. Vurdert bruløsning gjør det nødvendig med brusøyler. En brusøyle i Tisjø på østsiden og en på vestsiden som vist i Figur 6-10. Begrenset vanndyp sammen med relativt gunstige grunnforhold, gjør det mulig å etablere brufundamenter i Tisjø fra midlertidige fyllinger med adkomst via anleggsvei fra traséen for Kragerøbanen og ned langs nordvestsiden av Tisjø.



Figur 6-10 Tisjø bru - plansituasjon (anleggsvei vist, midlertidige fyllinger ikke vist). Figur fra rapport Konstruksjoner.



Figur 6-11 Tisjø bru -. Brua vil krysse over omtrent midt i bildet i ca. 36 m høyde. Normalvannstand i Tisjø er på kote +37,3.

Det ble foretatt omfattende dybdemålinger og dybdekartlegging med ADCP i området som senere er blitt benyttet til å etablere et dybdekart for prosjektering og hydraulisk modellering. Utarbeidet dybde-/terrengmodell til bruk i hydraulisk modellering med HecRas er vist i Figur 6-13.

Bygging av brusøyler/brufundamenter i Tisjø krever bruk av midlertidige fyllinger. Dybdeforholdene i området er relativt gunstige for dette med store områder med små dybder. Midlertidige fyllinger er planlagt på begge sider av elven med høyde på + kote 39,0. Mellom disse legges en midlertidig bru med frispenn på minimum 30 meter som vist i Figur 6-14.



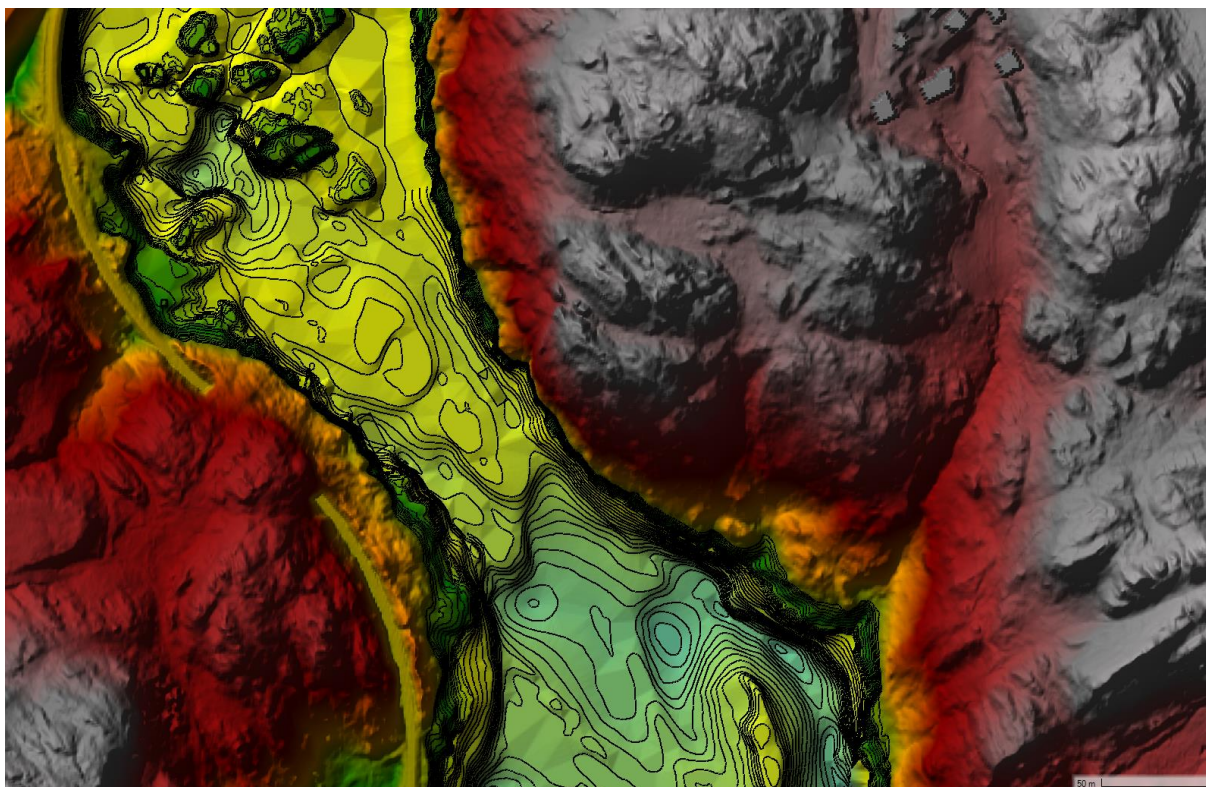
Figur 6-12 Dybdekartlegging i Tisjø med ADCP.

Vannføringen på strekningen er godt dokumentert med målestasjonen 17.10 Dalsfoss ndf. som ligger rett oppstrøms i vassdraget. Denne stasjonen har vært i drift siden 1908 og har således mer enn 115 år med data.

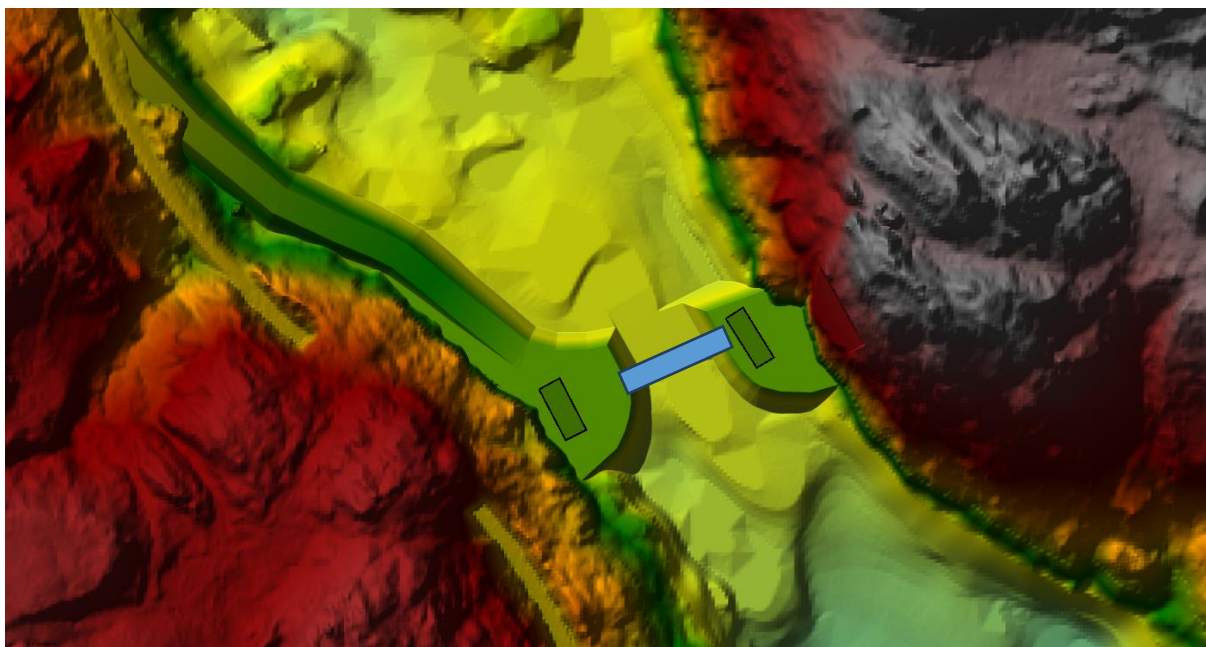
Analyse av perioden 1930-2023 gir en midlere vannføring på 31,3 m³/s. Døgnmiddelflommen er beregnet til 215 m³/s. Det antas et forhold mellom $Q_{kulm}/Q_{døgn}$ på 1,04. Flomstørrelser for andre gjentaksintervall er vist i Tabell 6-1.

Tabell 6-1 Kulminasjonsverdier for forskjellige gjentaksintervall for flom ved innløpet til Tisjø

Gjentaksintervall	Kulminasjonsverdi i m ³ /s
QM	223,6
Q5	304,3
Q10	360,3
Q20	413,6
Q50	479,9

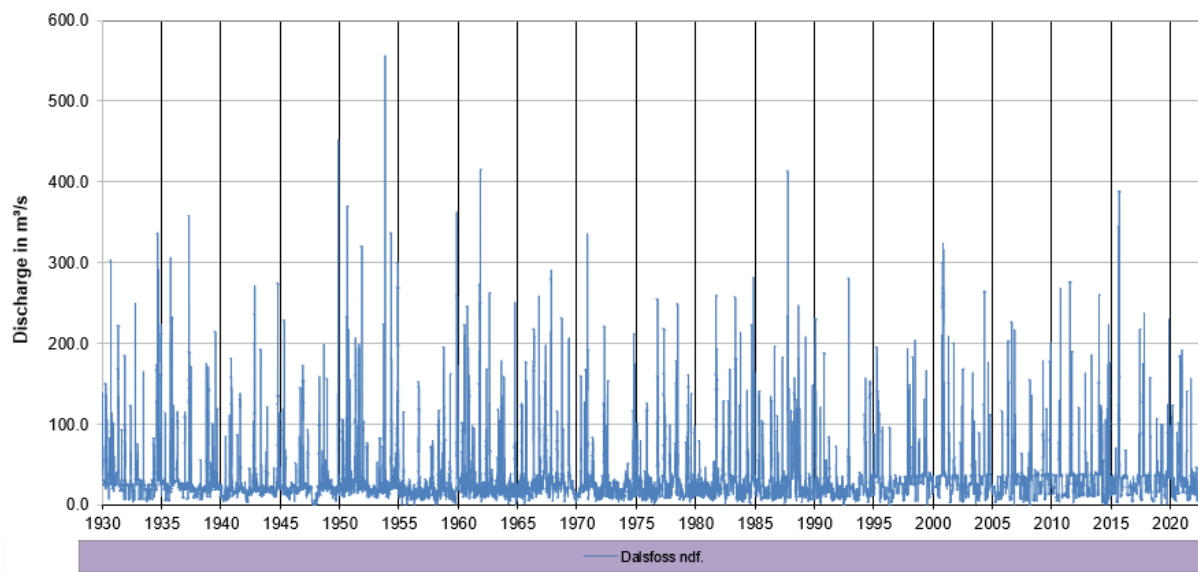


Figur 6-13 Dybde og terrengmodell for område med brukryssing i Tisjø.

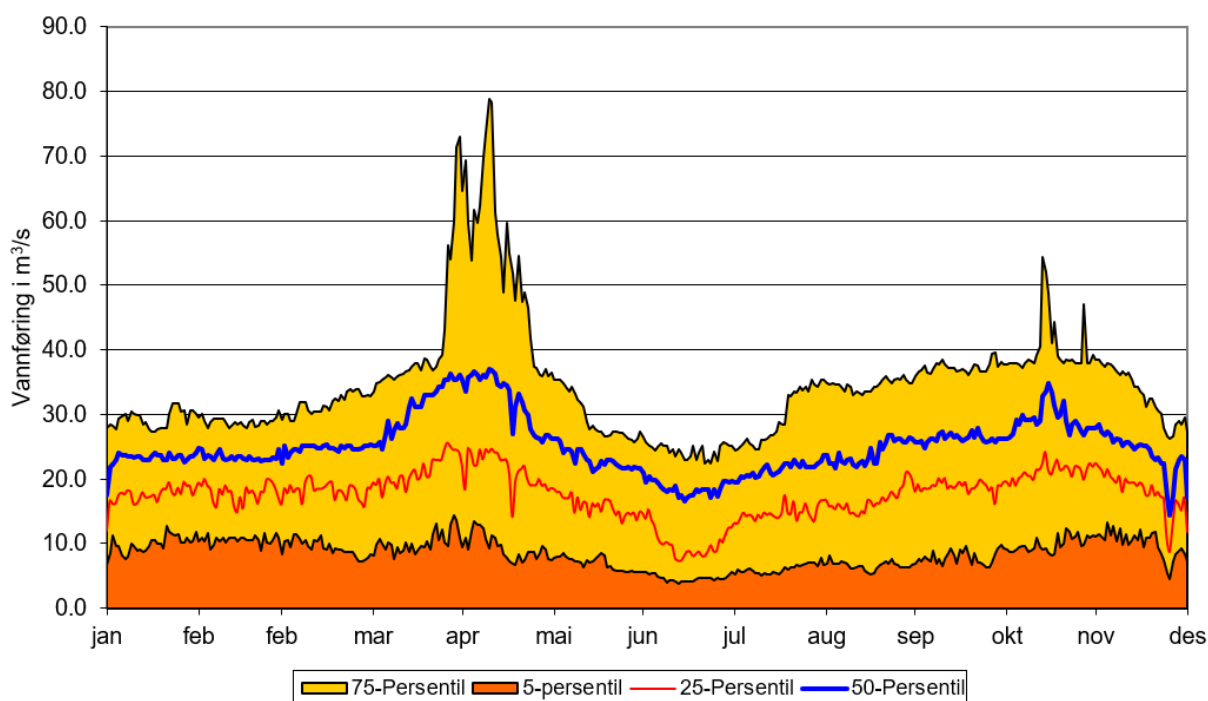


Figur 6-14 Planlagte midlertidige fyllinger med midlertidig bru.

Vannføringsserien for målestasjonen er vist som døgnserie i Figur 6-15 og som generelle persentil-verdier (5-, 25-, 50- og 75-persentilen) i Figur 6-16 med som viser at vannføringer over $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ikke forekommer oftere enn at risikoen for oversvømmelse av en midlertidig fylling kan være akseptabel.

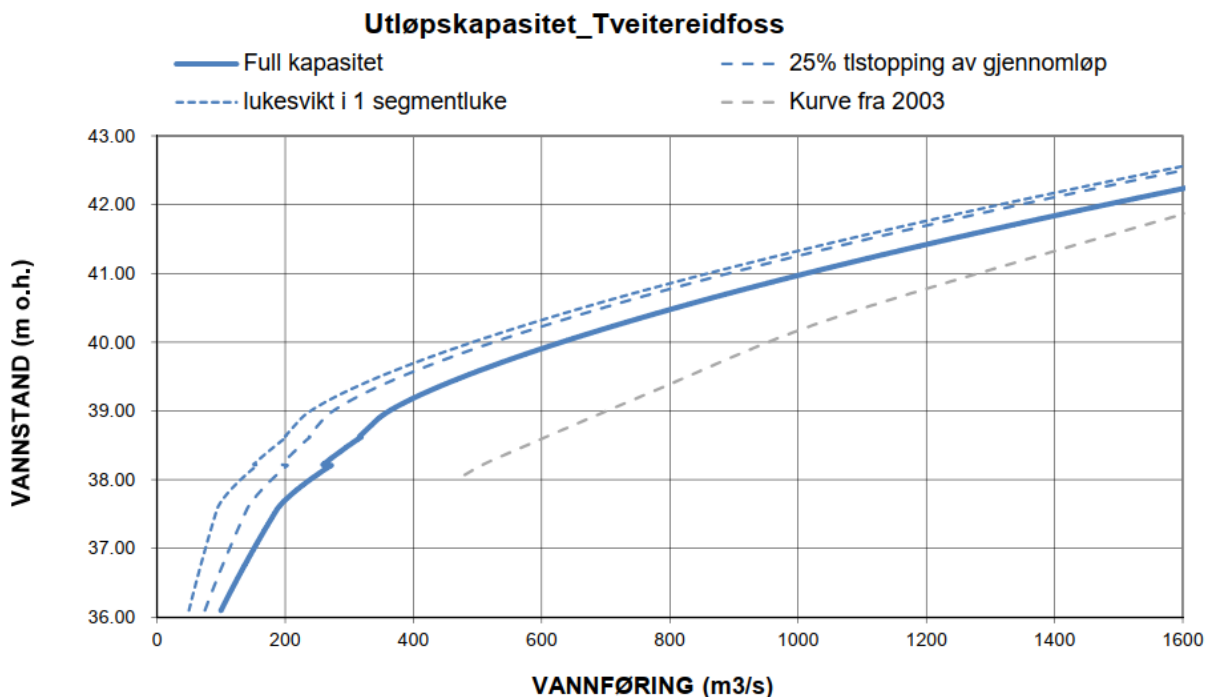


Figur 6-15 Døgnserie for vannføring ved 17.10 Dalsfoss ndf. i perioden 1930-2023.



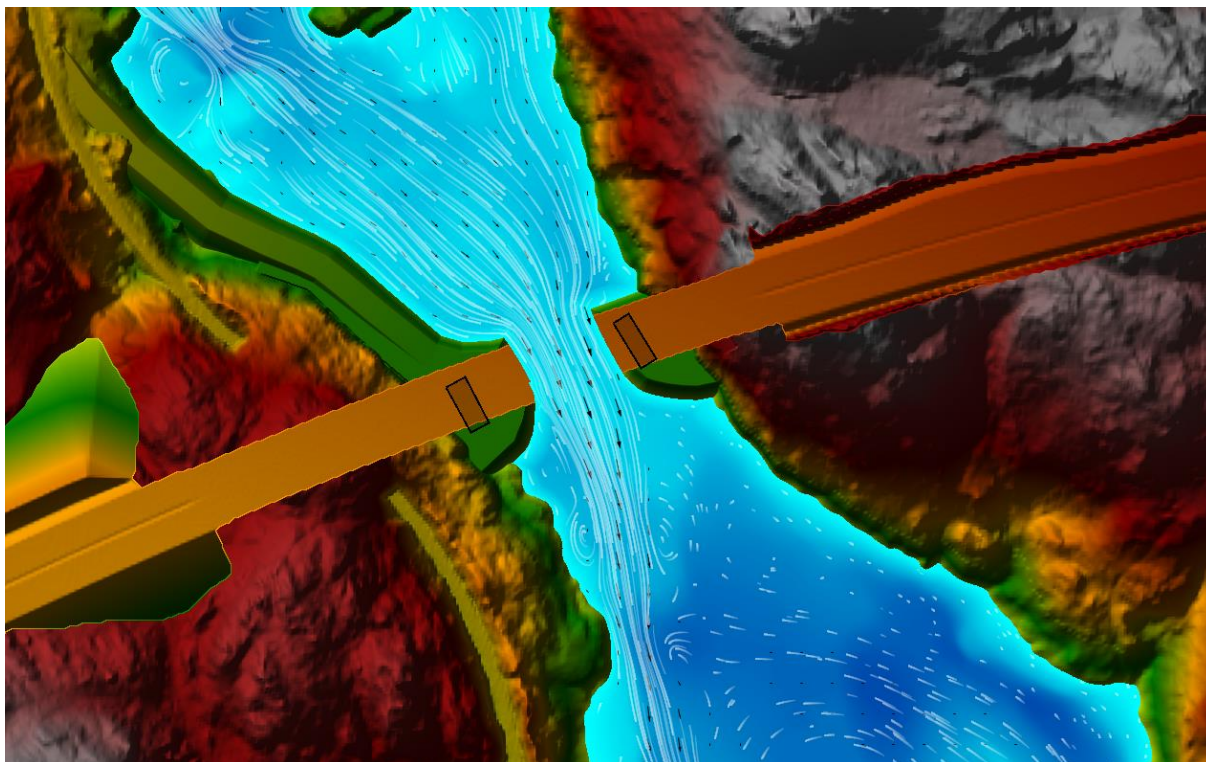
Figur 6-16 Persentilverdier for døgnmiddelvannføring ved 17.10 Dalsfoss ndf. i perioden 1930-2023.

Det er allikevel valgt å gjøre hydrauliske beregninger for QM (middelflom) på 223,6 m³/s, noe som kanskje skjer en gang i løpet av 2 – 3 år. Gjeldende flomberegning for dammen ved Tveitereidfoss gir en flomvannstand på 38,0 ved denne flomstørrelsen (Norconsult, 2020). Vannføringskurven er vist i Figur 6-17. Denne vannstanden vil fungere som nedre grensebetingelse i en hydraulisk modellering av forholdene.



Figur 6-17 Vannføringskurve for Tveitereidfoss. Figur fra Norconsult 2020.

Dette gir en flomvannstand i overkant av den midlertidige fyllingen på kote 38,90 som vist i Figur 6-18. Det vil være vannhastigheter opp mot 3 m/s langs fyllingsfoten så denne ville måtte sikres mot erosjon.



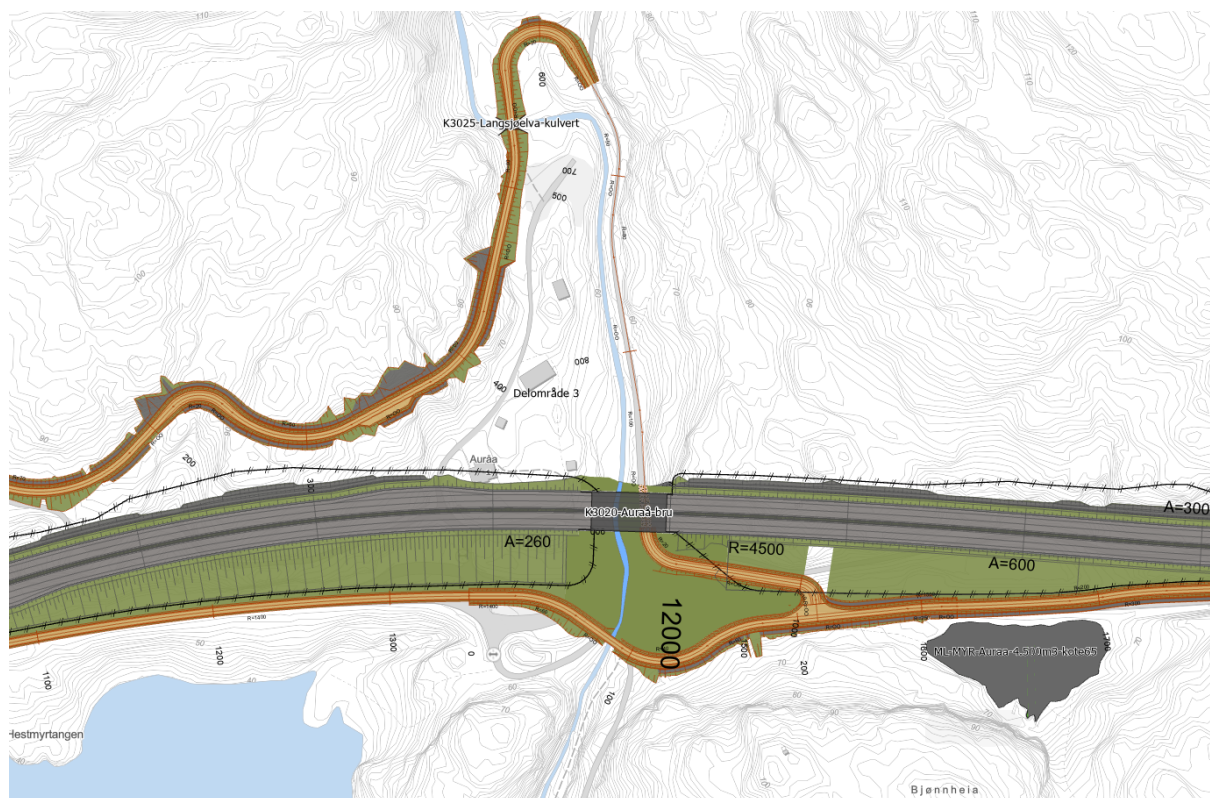
Figur 6-18 Vanddekt areal med dybder og strømningsmønster for QM med midlertidige fyllinger for etablering av brufundamenter.

Det er også gjort en vurdering for vannføringer tilsvarende Q20, 20-års flom, på 414 m³/s og en vannstand i Tisjø tilsvarende kapasitetskurven ved Tveitereidfoss for denne vannføringen, på kote 39,20. Dette gir en flomvannstand i overkant av den midlertidige fyllingen på kote 40,25 og dermed behov for noe høyere topp av fylling. Det vil ved denne vannføringen være vannhastigheter opp mot 4 m/s langs fyllingsfoten.

6.5 Auråa

Ved Auråa er fremtidig E18 planlagt på bru (K3020 Auråa bru) over Langsjøelva og lokalveien mot nord. Dagens bru ligger like sør for fremtidig E18 og vil fjernes.

Oppstrøms vil det kommen en ny kryssing over Langsjøelva for landbruksvegen, Langsjøelva kulvert, og nedstrøms ny bru vil eksisterende bru for landbruksvegen bestå. Planlagte kryssinger er vist nedenfor i Figur 6-19.



Figur 6-19 Auråa bru og Langsjøelva kulvert – illustrasjon med 2D-modell.

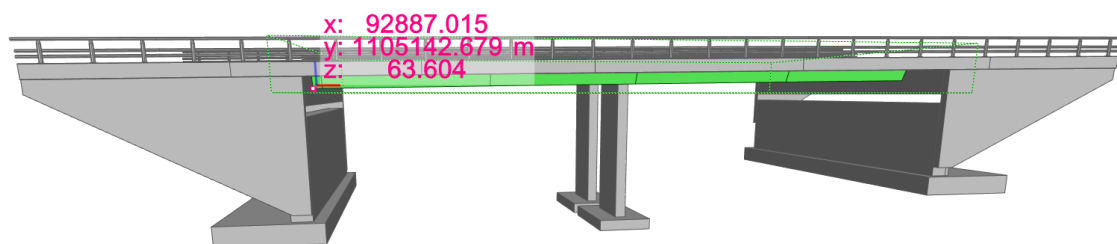


Figur 6-20 Auråa bru – illustrasjon med 3D-modell av brua. Sett oppstrøms.

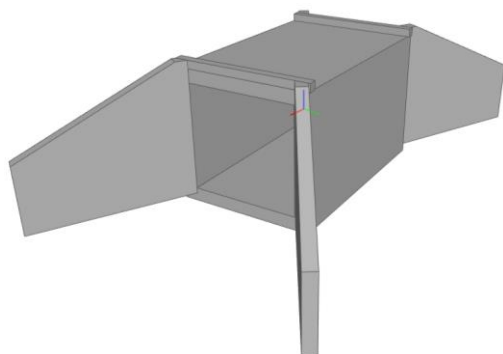
Ny Auraå bru er planlagt som to-spenns betongplatebru med lengde på 35 m og med en søyle plassert mellom lokalveien og elva. Illustrasjon fra IFC modell med kotehøyde på UK bru er vist i Figur 6-21.

Langsjøelva kulvert er en 4 meter bred kulvert gjennom veifylling med topp underkant på kote 63,89. Illustrasjon med IFC modell er vist i Figur 6-22.

Eksisterende bru over elva, på landbruksvegen nederst i vassdraget, er vist i Figur 6-23.



Figur 6-21 Auråa bru – illustrasjon med IFC-modell av brua. Sett oppstrøms. Laveste kotehøyde på nedstrøms side.



Figur 6-22 Langsjøelva kulvert- illustrasjon med IFC-modell.



Figur 6-23 Eksisterende bru på landbruksveg nedstrøms med dagens E18 bru i bakgrunnen. Sett oppstrøms.



Figur 6-24 Flomutbredelse i Auråa ved Q200Klima.

Vassdraget er modellert med HecRas med nye og eksisterende konstruksjoner. Det er modellert med vannføringer tilsvarende Q200 med klimapåslag som gitt i Tabell 3-10.

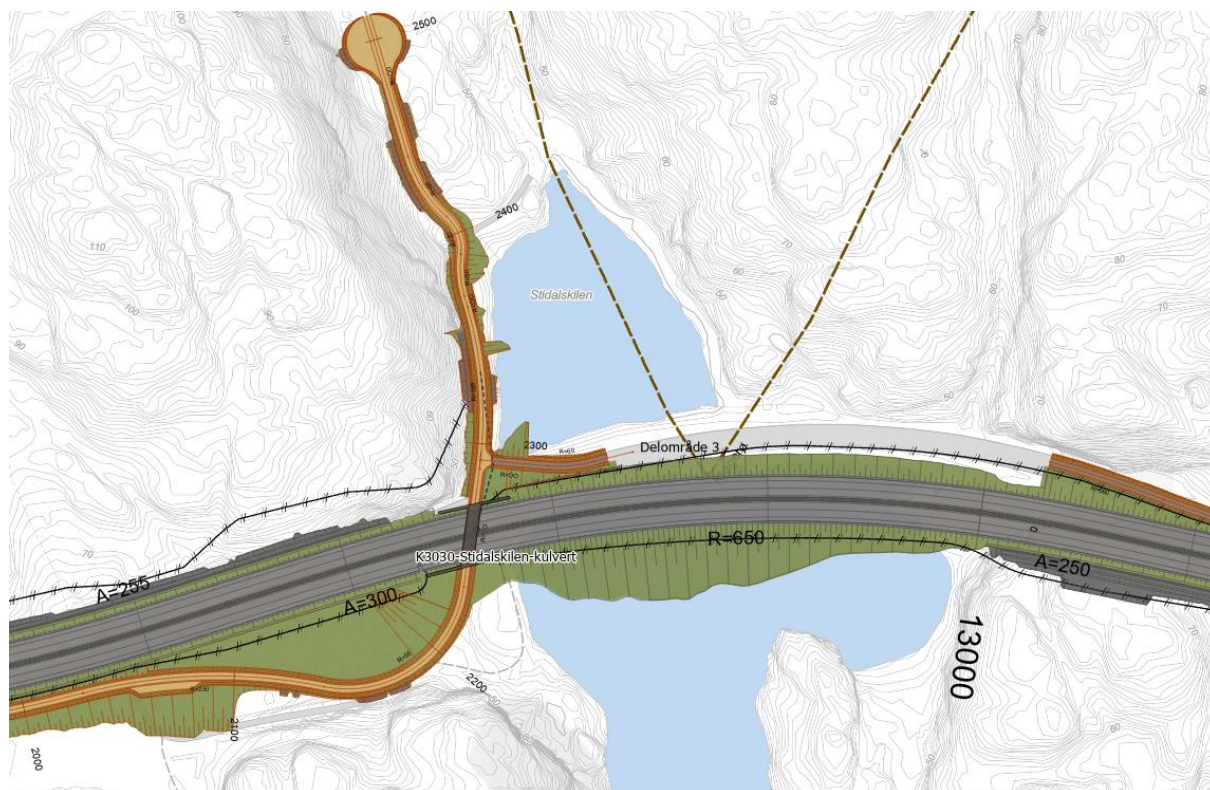
Resultater med beregnet vannutbredelse for Q200klima er vist i Figur 6-24. Vannstand ved innløp til Langsjøelva kulvert er beregnet til kote 63,82. Under innløpet under Auråa bru er vannstanden beregnet til 56,38. Ved eksisterende bru på landbruksveg nedstrøms er kotehøyde ved innløpet under bruene ved en flom tilsvarende Q200 klima beregnet til 53,17. Topp av veidekke på bru er her på om lag 54,55 som gir en sannsynlig klaring under brudekke og ned til vannflate på 80-90 cm.

6.6 Hullvann og Stidalskilen

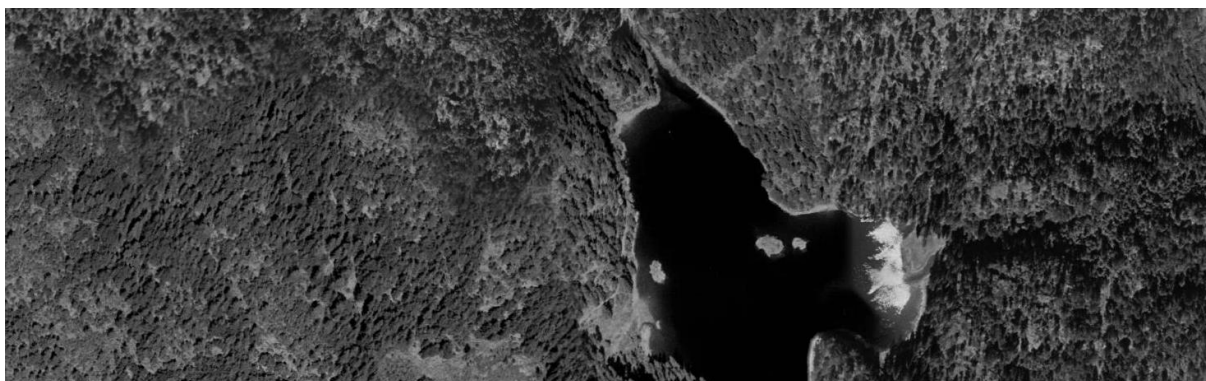
Ved Stidalskilen, øst i Hullvann, går det i dag en kulvert med landbruksveg under E18. Dette vil videreføres også i ny situasjon som vist nedenfor i Figur 6-25.

Stidalskilen er en vik i Hullvann som ble avsnørt og skilt fra vannet ved etablering av dagens E18. Utløpet herfra er i dag svært underdimensjonert. Oppstrøms nedbørfelt ned til Stidalskilen er på 2,3 km² med en beregnet Q200klima flomvannføring på nær 6 m³/s som gitt i Tabell 3-10.

Dagens utløp vil erstattes med to dykkede rør på minimum 2000 mm. Dette vil gi tilstrekkelig kapasitet for flomvannet og også kunne fungere som en mulighet for fisk til å vandre inn og ut til bekken innerst i Stidalskilen.



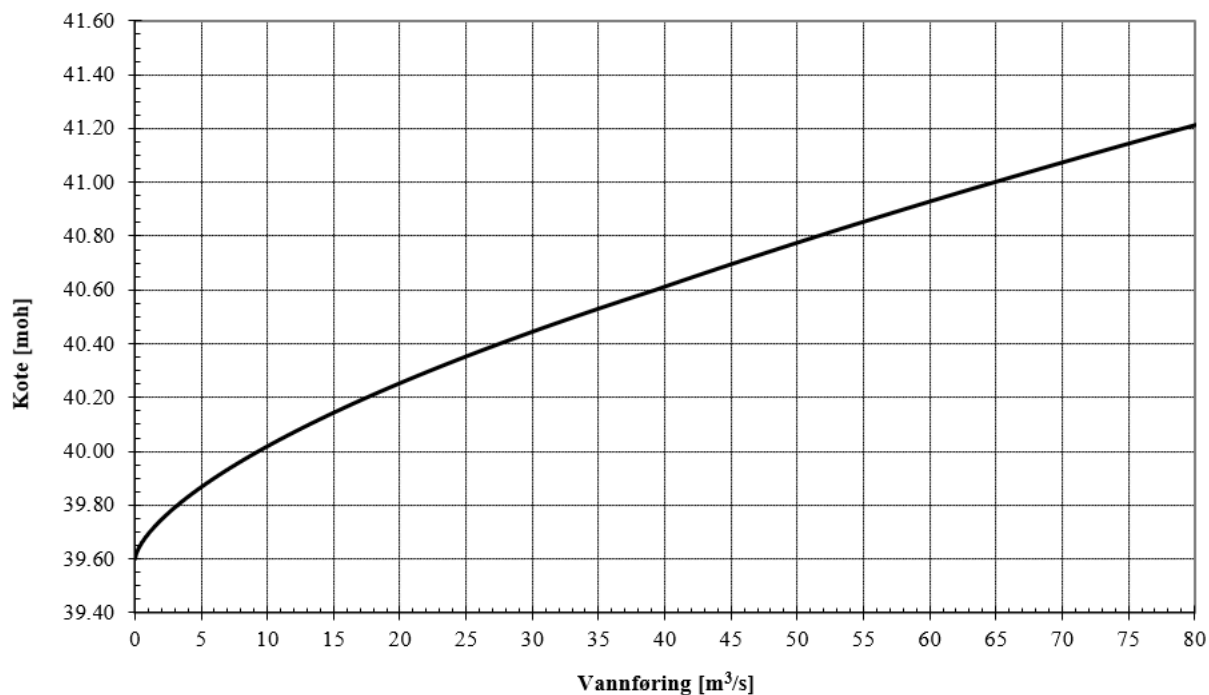
Figur 6-25 Planskisse ved Stidalskilen.



Figur 6-26 Stidalskilen før dagens E18. Flyfoto fra 1964.

Nedbørfeltet til Hullvann er lite sett i forhold til magasin størrelsen. Nedbørfeltet er på 25,4 km² og magasinet på 3,1 km². Q200 flom med klimapåslag er etter beregning med NIFS gitt til 39,1 m³/s. Beregnes den etter forslag på dimensjonerende verdier gitt i kapittel 3.8 vil samme flomstørrelse være på 40,2 m³/s.

Magasinet vil gi en vesentlig dempning av tilløpsflommen og gitt Hullvanns brede overløp på 22 meter, vist tidligere i Figur 5-2, vil vannstandsstigningen under flom være beskjeden. Beregnet vannføringskurve for dammen er vist i Figur 6-27.



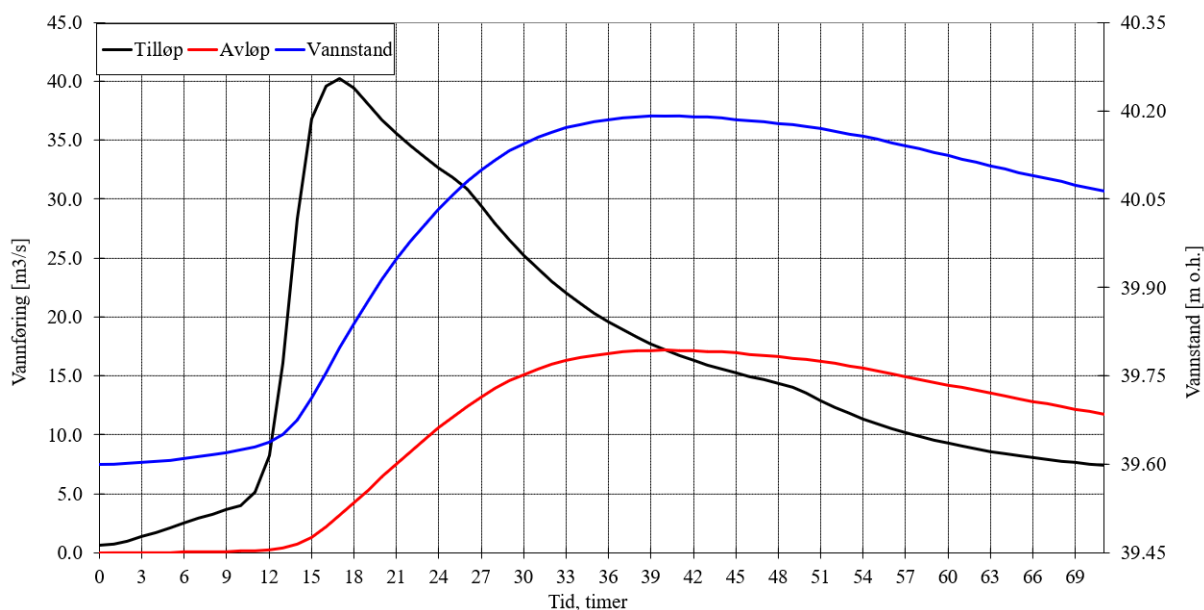
Figur 6-27 Vannføringskurve Hullvatn dam.

Figur 6-28 viser et 72 timers flomforløp for tilløpsflom med kulminasjon på 40,2 m³/s. HRV er gitt til kote 39,60.

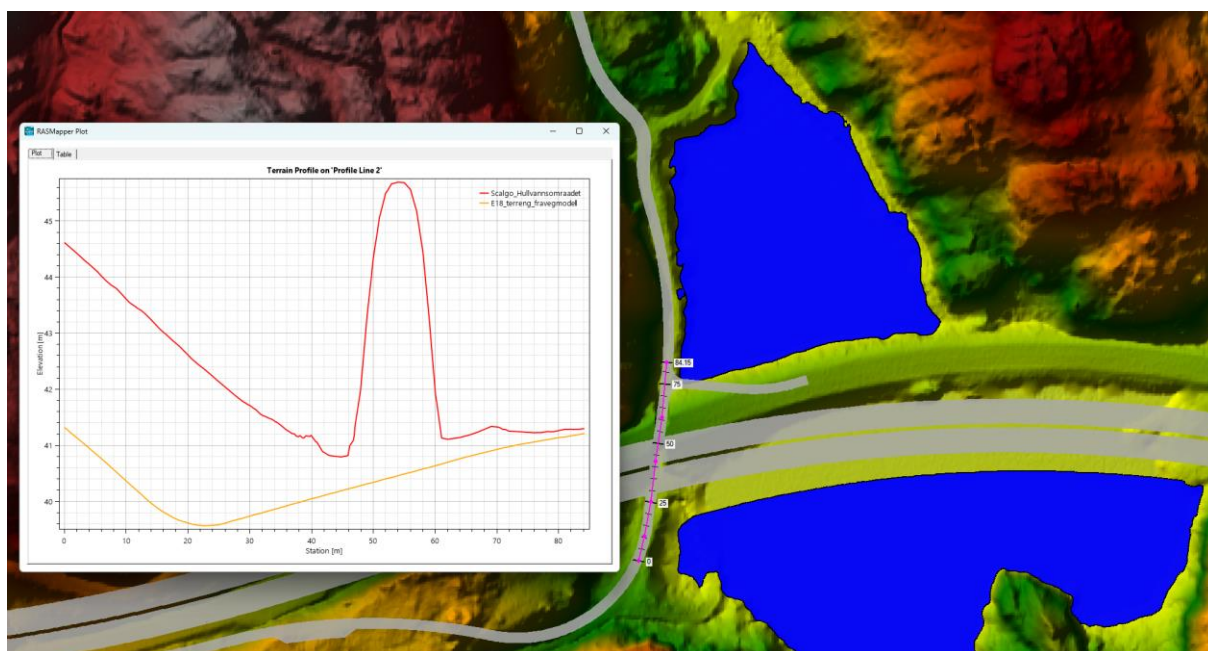
Forløpet for avløpsflom og vannstandsstigning er gitt i samme figur og viser en kulminasjon av avløpsflommen på 17,2 m³/s og en vannstandstigning til kote 40,19 for en 200 års flom med klimapåslag.

Beregningene er foretatt i en Excel-modell for ruting av flomhendelser som er utviklet av Sweco for flomberegninger.

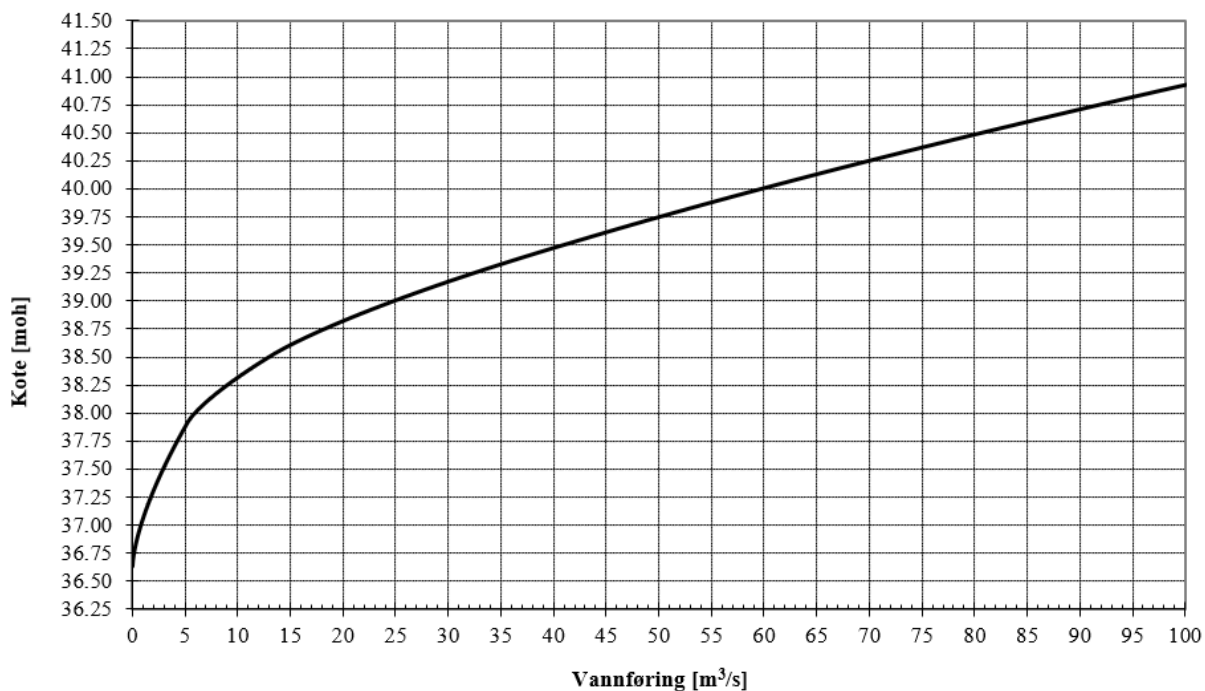
Laveste punkt på veien gjennom ny kulvert under E18 må senkes for ha tilstrekkelig kjørehøyde og vil dermed komme lavere enn beregnet flomvannstand i Hullvann som vist Figur 6-29. For å unngå at denne fylles med vann i en ekstrem flomsituasjon er nærliggende terreng til vannene utformet slik at det ved høy vannstand ikke vil renne fra Hullvann/Stidalskilen og inn i kulverten. Dette forutsetter tett kjerne i fyllingen mot vannene hvis disse ikke er i berg. Vannflaten ved kote 40,19 er også vist i samme figur.



Figur 6-28 Q200 flom med klimapåslag. Tilløp- og avløpsflom og vannstandsstigning.



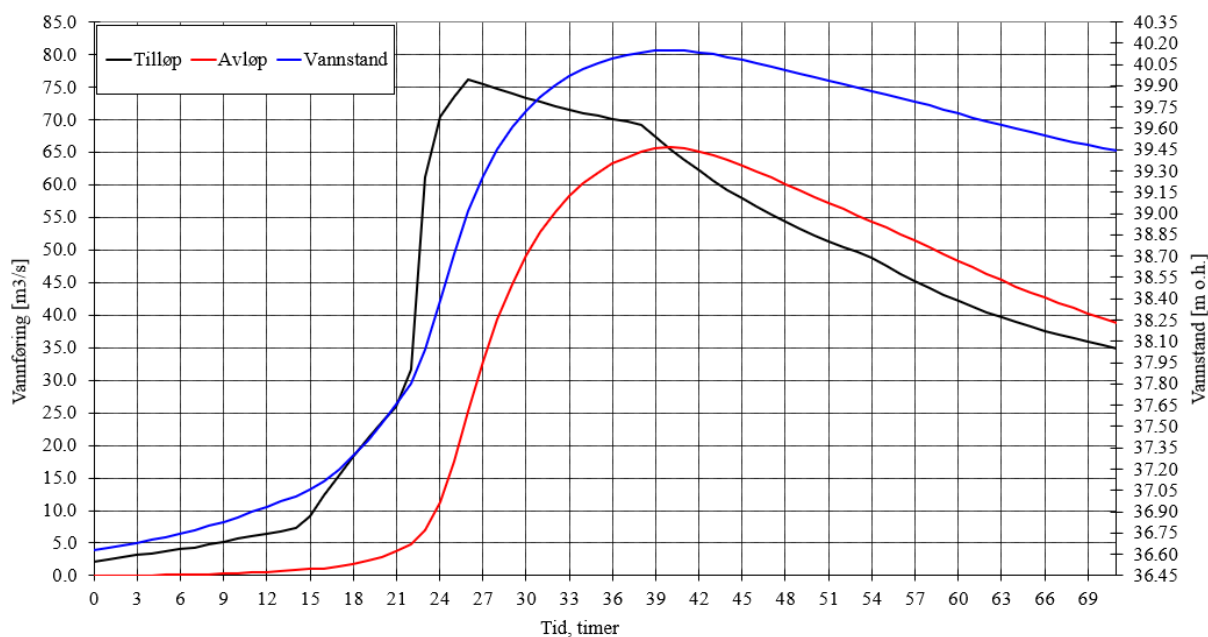
Figur 6-29 Høyde på tidligere og ny vei gjennom kulvert under E18. Vanddekket areal er vannstand ved kote 40,19.



Figur 6-31 Vannføringskurve for dam Bakkevann.

Figur 6-32 viser et 72 timers flomforløp for tilløpsflom med kulminasjon på 76,2 m³/s. Forløpet for avløpsflom og vannstandsstigning er gitt i samme figur og viser en kulminasjon av avløpsflommen på 65,7 m³/s og en vannstandstigning til maksimalt kote 40,15 for en 200 års flom med klimapåslag.

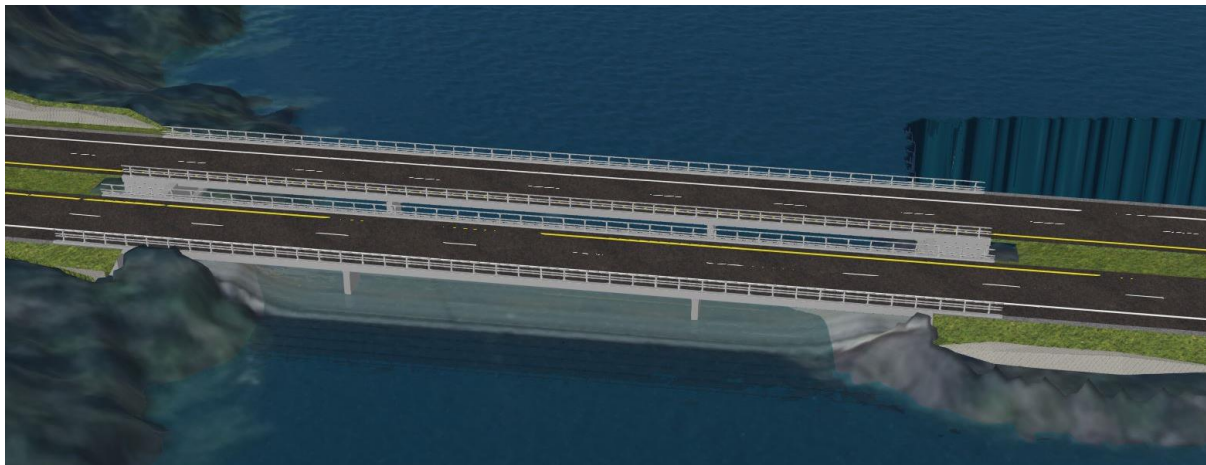
Beregningene er foretatt i en Excel-modell for ruting av flomhendelser som er utviklet av Sweco for flomberegninger.



Figur 6-32 Flomforløp for Q200Klima i Bakkevann. Tilløps- og avløpsflom og vannstand.

6.7.1 Bakkevannet bru

Dagens bru over Bakkevannet er en to-spenns bru med lengde på 58 m. Vist i Figur 6-34. Løsningen som er lagt til grunn for reguleringsplanen baserer seg på bruk av dagens bru i byggefasen, men bygging av to nye, parallelle bruer; hhv. Bakkevannet bru I for sørgående løp og Bakkevannet bru II for nord-gående løp for fremtidig E18. De to nye bruene kan utføres som tre-spenns bruer med lengde på 76 m.



Figur 6-33 Bakkevannet bru I og II – illustrasjon med 3D-modell av bruene. Sett mot nordvest.



Figur 6-34 Eksisterende Bakkevannet bru. Sett mot øst.

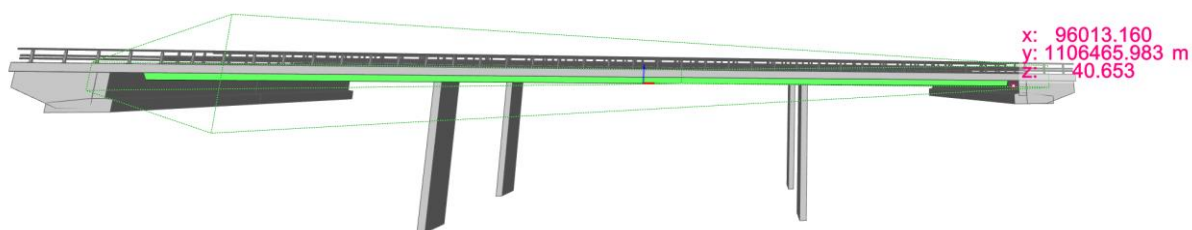
I dag er bruene mer enn 50 meter og det er om lag 8 meter dypt i sundet under. Antas skråninger på ca. 1:3 som gir dette et tverrsnittsareal for gjennomstrømning på 200 m² ved normal

vannstand. Under ekstrem flom vil vannstanden i Bakkevannet stige til litt over kote 40. Dette gir en økning på 150 m² i tverrsnittsareal til 350 m².

Vannføringen gjennom her under en ekstrem flom vil være på ca. 10 m³/s. Dette gir en midlere vannhastighet på 0,03 m/s men mest sannsynlig går mesteparten av vannstrømmen i de øverste meterne så hastighetene antas å være ca. 7 cm/s.

Det er et relativt stort gjennomstrømningsareal med vanddyp på 9 – 18 m og tilsvarende liten strømhastighet i området under bruene. Slanke brusøyler vil ha neglisjerbar effekt på vannstrøm, oppstuvning, flom og isgang.

IFC modell av nye bru er vist i Figur 6-35. UK bru er planlagt til kote 40,65. Dette er 50 cm over beregnet flomvannstand i Bakkevannet og tilfredsstillende dermed kravet i (Statens vegvesen, 2022).



Figur 6-35 Bakkevannet bru I og II – IFC modell av bruene.

Veibane på ny E18 langs Bakkevannet må da følgelig også ligge over kote 40.15.

6.8 Gongelva / Grasdalstjennbekken

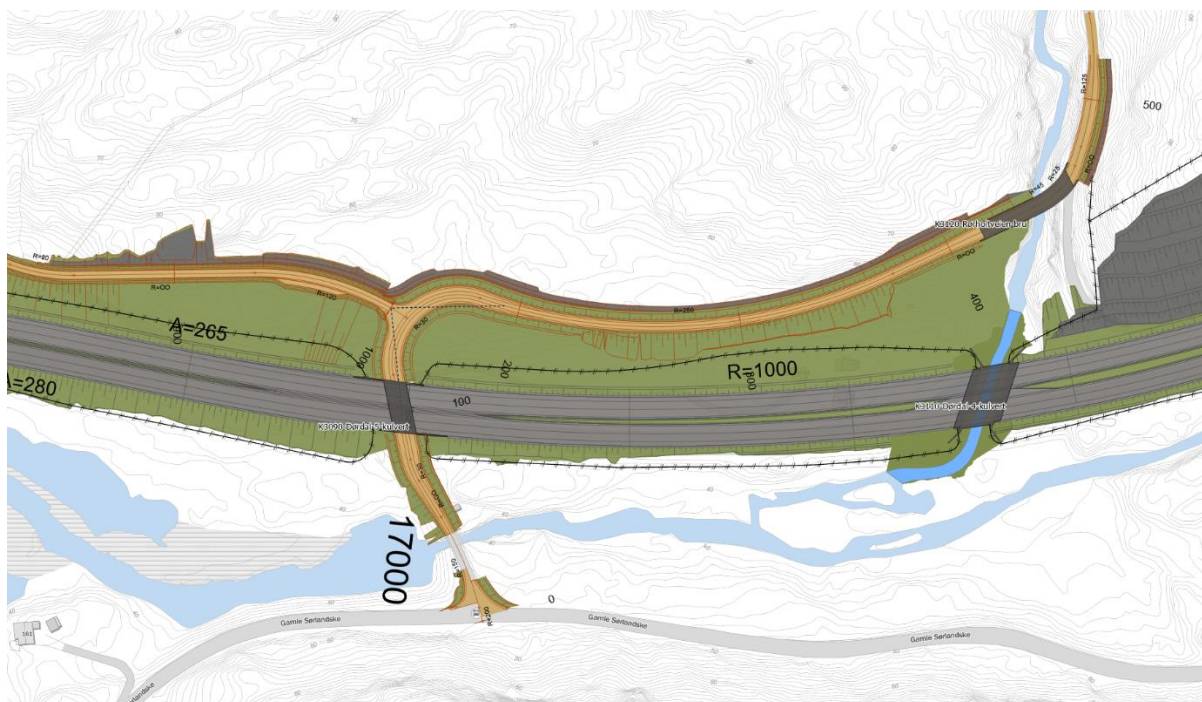
Øst i Bakkevannet har Gongelva innløp i vannet. E18 går langsetter på nordsiden av elven og krysser en sidebekk, Grasdalstjennbekken, med kulverten Dørdal 4. Lengden på denne kulverten er planlagt til 40 m og vil ha en bredde på 12 meter og med innvendig høyde på 4 m. Kulverten har en økt bredde utover kravet til åpning for bekken for å kunne fungere som faunapassasje for mindre hjortedyr ol. laveste punkt for UK av kulvert topp på nordside ved innløp er kote 44,42.

Vest for Dørdal 4 krysser E18 en lokalvei under E18. Dagens kulvert erstattes av en ny betongkulvert med bredde på 9,0 og høyde på 5 m. Lengden er 40 m. Kulverten har økt bredde for å kunne fungere som omkjøringsvei for dagens E18 ved bygging av fremtidig E18. På Gongelvsiden er veibanen noe hevet for å unngå Q200klima vannstand i elven.

Bru over Gongelva skiftes ut, men eksisterende brufundamenter benyttes.. Dagens bru er vist i Figur 6-37 og Figur 6-38. Topp veidekke er på ca. kote 42,0. Bredde på lysåpning er målt til 4.8 meter og kote på bunn ca. 37,30. Antatt brutykkelse er 35 cm, noe som gir UK bru på kote 41,70.

Rørholtveien slik den ligger i dag har krappe svinger på nordsiden inn mot dagens bru som heter Hanfang bru. Hanfang bru går over E18 men avstanden mellom søylene er for liten til at brua kan gjenbrukes over fremtidig E18. Det foreslås derfor å legge om Rørholtveien slik at den krysser over Grasdalstjennbekken 70 – 80 m nord for E18. Ny bru for Rørholtveien foreslås bygget som ei to-spenns bru med en lengde på 38 m. Bruen vil ha en søyle og UK av bru er på kote +59.

Planskisse for krysningsløsningene er vist i Figur 6-36.



Figur 6-36 Planskisse for østre del av Bakkevannet med kryssing av Grasdalsstjennbekken og Gongelva.



Figur 6-37 Eksisterende bru over Gongelva, sidevei nederst.

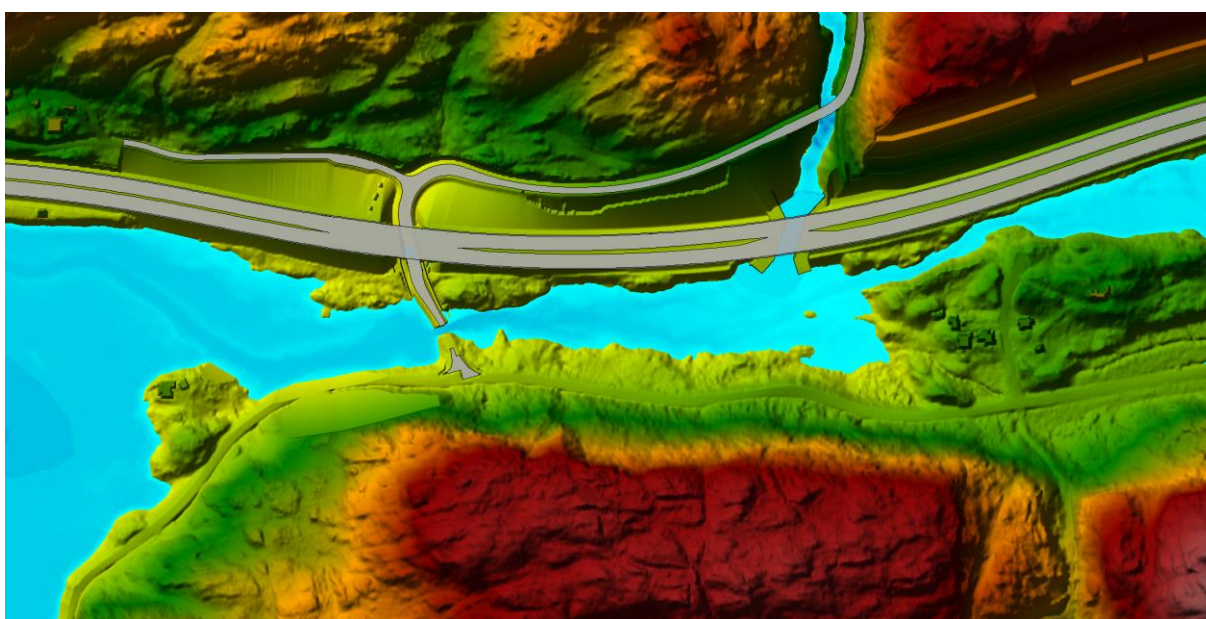
Vassdragene Gongelva og Grasdalsstjennbekken er modellert med HecRas for å fastsette nivåer på vannstand og flomutbredelse i elvene.

Benyttede vannføringer i modellen er som gitt i Tabell 3-10. Beregnet flomutbredelse er vist i Figur 6-39 og beregnede flomvannstander ved beskrevne bruer er som følger;

- Ny bru på dagens fundamenter over Gongelva. UK bru gitt til ca. 41,70. Beregnet vannstand ved Q200klima er kote 20,42.
- Innløp kulvert Dørdal 4. Laveste punkt på innløp UK kulverttak er gitt til 44,42. Beregnet flomvannstand for en Q200klima flom er 42,03.
- Ny Rørholtveien bru over Grasdalsstjennbekken vil gå høyt over bekken. UK bra er ca. kote +59. Beregnet flomvannstand for en Q200klima flom er 52,50.



Figur 6-38 Forbygning oppstrøms eksisterende bru over Gongelva.



Figur 6-39 Flomutbredelse i Gongelva og Grasdaltjennbekken ved Q200Klima flom.

7 Referanser

- Andersen, J. H. (1983). *Hydrologisk modell for flomberegninger. Rapport nr.2.*
- Berg, A. L. (1992). *Flomberegning og kulvertdimensjonering. Trondheim, SINTEF.*
- Chow, V. (1959). *Open channel hydraulics.*
- Helle bruk AS. (2018). *Søknad om konsesjon etter vannressurslovens § 8 for uttak av vann fra Hullvannvassdraget i Kragerø kommune.*
- Lindholm, O. e. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering.*
- Norconsult. (2020). *Flomberegning for Kragerøvassdraget.*
- Norsk klimaservicesenter. (2016). *Klimaprofil Telemark.*
- NVE. (2010). *Vassdragshåndboka.*
- NVE. (2015). *Naturfareprosjektet: Delprosjekt 3.3. Rapport 62/2015.*
- NVE. (2022). *Veileder for flomberegninger. Veileder nr.1.*
- Statens vegvesen. (2022). *N200 Vegbygging.*
- Statens vegvesen. (2022). *N400 Bruprosjektering.*
- Statens vegvesen. (2023). *V240 Vannhåndtering.*
- Sweco. (2021). *Hovedplan vann og avløp 2021-2031. Kragerø kommune.*
- Terratec. (2016). *Laserskanning for nasjonal detaljert høydemodell. NDH Kragerø-Gjerstad 5pkt 2016 .*
- Terratec. (2022). *Laserskanning for nasjonal detaljert høydemodell. NDH Skien 5pkt.*