



# Fagrapport: Hydrologi Detaljregulering E39 Mandal-Lyngdal øst

---

LINDESNES KOMMUNE

Nye Veier AS | Tangen 76  
4608 Kristiansand  
nyeveier.no

Oppdragsnr:	10219378
Oppdragsnavn:	E39 Mandal – Lyngdal Øst; Detaljregulering
Dokument nr.:	NV42E39ML-VAA-RAP-0004
Filnavn	E39_ML_Lindesnes_Hydrologi_fagrapport

## Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	07.07.2021	1. gangsbehandling	NOKJSA	NOANCH	NOHOLL

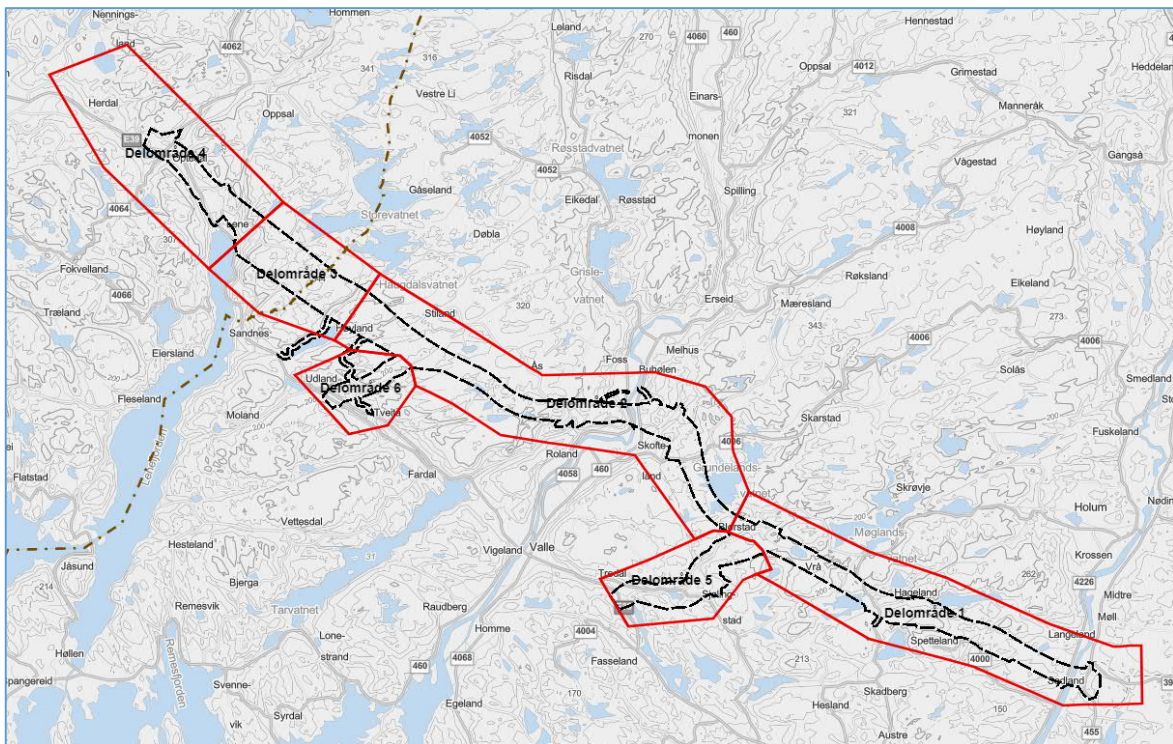
## Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sammendrag hydrologi</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>6</b>
3.1	Generell hydrologi og klima	6
3.2	Flomforhold	6
<b>4</b>	<b>Hydrologien i området</b>	<b>13</b>
4.1	Hydrometriske målestasjoner i området	13
4.2	Klimaendring og framtidige flommer i området	17
4.3	Tidligere flomberegninger og flomsonekartlegginger i området	18
4.4	Kartlegging av krysningspunkter og oppstrøms nedbørfelt for foreslått E39 trasé	21
4.5	Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse > 100 km <sup>2</sup>	29
4.6	Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 10 -100 km <sup>2</sup>	29
4.7	Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 1 - 10 km <sup>2</sup>	30
4.8	Beregning av flom i nedbørfelt mindre enn 1 km <sup>2</sup>	30
<b>5</b>	<b>Beregnete flomverdier i krysningspunkt for foreslått ny E39 i Lindesnes kommune</b>	<b>35</b>
5.1	Vurderinger av antatt krysningsløsning	36
<b>6</b>	<b>Isgang</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Havnivå, stormflo og bølgepåvirkning</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>Klima</b>	<b>38</b>
8.1	Målestasjoner	39
8.2	Nedbør	39
8.3	Temperatur	41
8.4	Snø	42
8.5	Vind	43
<b>9</b>	<b>Særskilte hydrologiske fokusområder</b>	<b>45</b>
9.1	Broløsninger	45
9.2	Store kulverter	51
9.3	Drikkevann	55
<b>10</b>	<b>Referanser</b>	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>58</b>

# 1 Innledning

Sweco utarbeider på oppdrag fra Nye Veier AS detaljreguleringsplan for E39 Mandal – Lyngdal øst. Nåværende E39 mellom Kristiansand og Stavanger er om lag 208 km lang og har ikke god nok standard i henhold til dagens trafikkmengde og trafikkavvikling. Det er høy årsgjennsnitts trafikk (ÅDT) og mange trafikkulykker på strekningen. Dette er bakgrunnen for at nåværende E39 skal erstattes med ny, trafiksikker firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Ny motorvei vil gi vesentlig kortere reisetid for brukere, og dermed knytte Agder og Rogaland tettere sammen som felles bo- og arbeidsmarked.

Planområdet er totalt om lag 25 kilometer og strekker seg fra Mandalselva i Lindesnes kommune til Herdal i Lyngdal kommune (Figur 1). Det ligger nord for nåværende E39 og går hovedsakelig gjennom naturområder.



Figur 1 Oversiktskart over hele prosjektområdet. Mandalselva til høyre og Herdal til venstre

Denne fagrapporten omhandler hydrologi for planlagt ny E39 Mandal – Lyngdal øst i Lindesnes kommune.

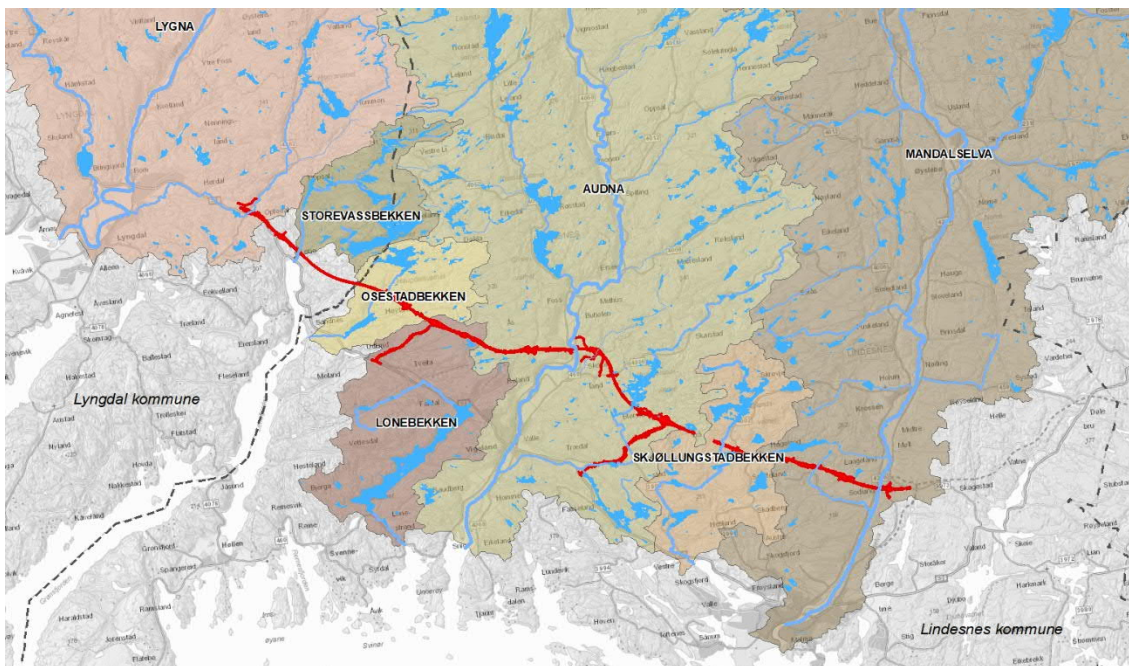
## 2 Sammendrag hydrologi

I arbeidet med detaljreguleringen er det sett på alternative linjevalg for veien. I samarbeid med øvrige fag; spesielt vei, geoteknikk, anleggsteknikk og landskap, kan hydrologi bidra som premiss-giver med innspill som sikrer gode tverrfaglige løsninger også i forhold til hvordan tiltaket kan utformes.

I foreliggende rapport beskrives det hydrologiske grunnlaget og forutsetningene som ligger til grunn for disse vurderingene.

På bakgrunn av foreslått trasé for E39 er det utarbeidet og digitalisert nedbørfelt ned til alle krysningspunkt for bekker/elver og semitørre drag som krysser denne linjen. Denne rapporten beskriver i detalj de vassdrag som ligger i Lindesnes kommune.

Den foreslåtte E39 traséen på strekningen i Lindesnes kommune krysser to større vassdragsområder, Audna (023.Z) og Mandalselva (022.Z) samt tre mindre vassdragsområder. Osestadbekken (024.14Z), Lonebekken (023.2Z) og Skjøllungstadbekken (022.4Z) som vist i Figur 2. I alle disse er det gjort vurderinger for en rekke mindre bekker og nedbørfelt.



Figur 2 Planlagt E39 og vassdragsområder.

Øst på strekningen, i retning Mandal, er det for de største elvene Mandalselva og Audna med store nedbørfelt på hhv. 1789 og 395 km<sup>2</sup>, tidligere foretatt separate flomberegninger. Resterende flomvurderinger for planområdet, både i Lyngdal og Lindesnes kommuner, er beskrevet i kapittel 4.

I planområdet vil de største vassdragene, som har sitt utspring i fjellene innover i landet, ha en flomsesong på vår / tidlig sommer knyttet til smelteflommer i tillegg til større flommer sen høst og tidlig vinter som kan være rene nedbørsflommer eller kombinasjonsflommer med snøsmelting. For mindre nedbørfelt i lavlandet kommer i hovedsak de største flommene høst og tidlig vinter.

Gjennomsnittlig årstemperatur i Agder er beregnet å øke med ca. 4,0 °C. Nedbøren er beregnet å øke med ca. 10 %. Episoder med kraftig nedbør ventes å øke vesentlig både i intensitet og hyppighet, og det anbefales et klimapåslag på minst 40 % på regnskyll med varighet under 3 timer i de mindre nedbørfeltene og opp til 50 % for de aller minste nedbørfeltene med konsentrasjonstid under en time. Planområdet ligger i et område av Norge hvor klimaframskrivningene gir en økning i flomstørrelsene og det anbefales et påslag på 20 prosent frem mot år 2100 i alle større nedbørfelt i regionen. For nedbørfelt under < 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn, anbefales det minst 20 % økning.

Det er gjort beregninger og forutsetninger basert på nasjonalt formelverk (NIFS), rasjonell formel, NVEs erfaringstall i området, tidligere flomberegninger i området og vurderinger av klimapåslag for små og store felt. På bakgrunn av dette anbefales det spesifikke flomverdier avhengig av nedbørfeltstørrelse, varierende fra 850 - 8000 l/s/km<sup>2</sup>, fra de minste til de største.

Det er kartlagt hvor det er vurdert å være behov for en rør/kulvert/bro løsning for å sikre frie vannveier gjennom planlagt E39. Det er også gjort en beregning for hvilken type løsning det anses behov for. For de største vassdragskryssingene i Lindesnes kommune er det foreslått broløsninger.

## 3 Metode

### 3.1 Generell hydrologi og klima

Underlag for denne vurderingen er basert på opplysninger knyttet til det planlagte tiltaket, andre arbeider i området, NVEs retningslinjer for flomberegninger (2011) med senere tillegg, NVEs veileder for flomberegninger i små uregulerte felt (2015) og andre relevante rapporter og grunnlag for flomvurderinger samt NVEs digitale avrenningskart for 1961-1990 (2002) og NVEs vannføringsdatabase HYDAG.

Klimatiske data hentes fra [www.eklima.no](http://www.eklima.no), som driftes av Met.no. I tillegg benyttes underlag og tjenester fra <https://klimaservicesenter.no/>, [www.senorge.no/](http://www.senorge.no/) og [www.xgeo.no/](http://www.xgeo.no/) som driftes sammen med NVE.

## 3.2 Flomforhold

### 3.2.1 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 risiko 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" (Byggteknisk 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 (*returperioden*<sup>1</sup>) 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.

Som NVE 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.

---

<sup>1</sup> 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 avrennings-observasjoner.

Statens vegvesens Håndbok N200 sammen med Håndbok V240 gir føringer for dimensjonering av veianlegg 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.

Ved midlertidige arbeider kan mindre gjentaksintervall benyttes, og det kan også tas sesonghensyn.

Fra Håndbok N400 (Bruprosjektering), 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.

Beregning av vannmengder og dreneringskapasitet i mindre nedbørfelt skal baseres på nedbørsintensitet og nedslagsfelt i henhold til NIFS rapport 13-2015 «Nasjonalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt».

Når det gjelder flomnivå i større vassdrag og innsjøer benyttes det 200 års gjentaksintervall, fremskrevet til 2100 for klimaendringer. For å ta hensyn til klimaendringene for de større vassdragene benyttes NVEs rapport 81/2016 for framskriving til 2100. For Rogaland og Agder er denne framskrivingen tolket til å bety minst 20 % økning i flomstørrelse i forhold til dagens (år 1990) 200 års gjentaksintervall. For mindre nedbørfelt benyttes anbefalinger i Klimaprofil for Agder (2021).

NVEs flomsonekart /flomvannsobservasjoner benyttes i den grad dette finnes for å finne flom med 200 års gjentaksintervall for dagens situasjon.

For bølger i innlandssjøer kan NVEs «Retningslinjer for laster og dimensjonering til § 4-1 og § 4-2 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg», Kap. 3 (NVE 2003) benyttes for beregning av bølgehøyder basert på vind.

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

### 3.2.2 Metodikk for flomberegninger

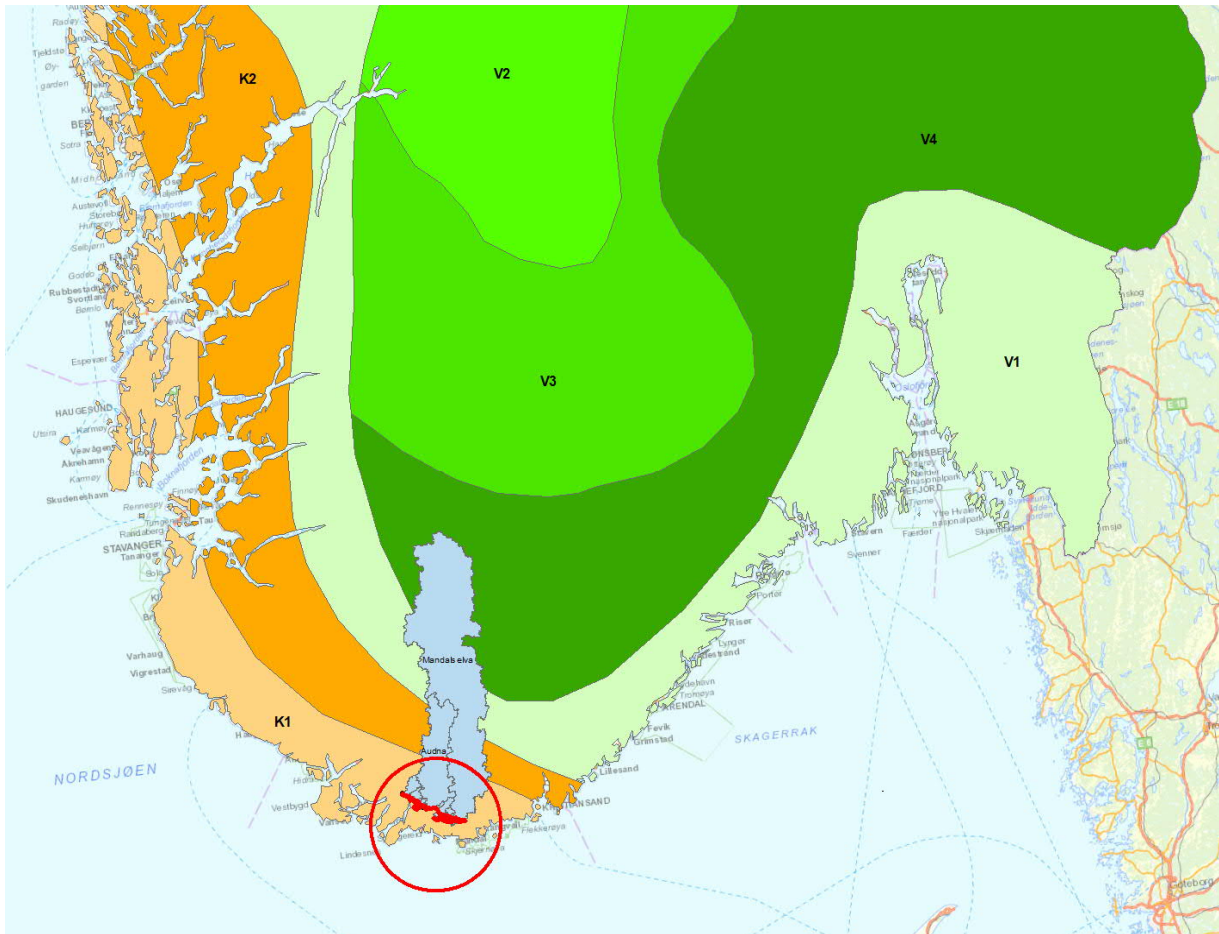
Det er i all hovedsak de klimatiske og fysiografiske forholdene i nedbørfeltet som påvirker flomforholdene i vassdraget.

Som en hovedregel er det regn som skaper flom, og da særlig høye intensiteter med varigheter som tilsvarer konsentrasjonstiden til vassdraget. Dette varierer fra noen minutter i urbane områder til uker i de aller største vassdragene som Glomma eller i store innsjøer med trange utløp.



Det er likevel ikke en helt entydig sammenheng mellom store nedbørmengder og flom. Hvert år gir også snøsmelting flommer mange steder i landet, men når skadeflommer oppstår, er slike stort sett forårsaket av regn eller eventuelt en kombinasjon av regn og snøsmelting.

De største flommene oppstår derfor som regel når nedbør kombineres med andre ugunstige forhold, som snøsmelting, mettet mark på grunn av tidligere nedbør, eller frossen mark.



Figur 3 E39 planområdet - plassering i flomregime - vår.

Størrelsen på nedbør og de tilhørende flommer varierer stort i Norge. Det samme gjør også årstiden for de største flommene.

I kyststrøkene er det høst- og vinterflommer som dominerer og i innlandsstrøkene er det ofte våren og forsommeren som er kritisk, med stor snøsmelting kombinert med regn, og høstmånedene, med regn på mettet mark.

Planområdet for ny E39, mellom Mandal og Lyngdal, ligger i hht. til regionale flomformler i flomregime K1 for flomregimer for både vår og høst, mens de øvre deler av de største nedbørfeltene, som for Mandalselva, ligger med områder i vår og høstflomregimene V1/ V4 og H1/H3 .

Store og små vassdrag opptrer også forskjellig. Store vassdrag har som regel mindre spesifikke flommer enn små vassdrag. Det vil si at volumet kan være stort men avrenningen pr. arealenhet er lavere.

Små vassdrag, og særlig felt med høy grad av urbanisering, er ofte karakterisert ved rask flomstigning og spisse flomforløp. I slike felt opptrer flommer gjerne i forbindelse med intens nedbør.

Større felt reagerer vanligvis i ikke samme grad på slike situasjoner med intens nedbør, da arealutbredelsen av nedbøren som oftest er liten og nedbørfeltene ofte har et større markvannsunderskudd.

Høydefordelingen og helningsforholdene i nedbørfeltet kan også ha avgjørende betydning for flomutviklingen i et vassdrag. Normalt inntreffer ikke snøsmeltingen samtidig i høyfjellet og lavlandet, men i felt med liten høydeforskjell kan snøsmeltingen være omtrent like intens i hele feltet samtidig.

I bratte felt vil flomvannet samles raskere i hovedvassdraget enn i flate felt. Det samme gjelder felt med et godt utviklet dreneringsnett i forhold til felt med få bekker og elver.

Forekomsten og plasseringen av innsjøer i et nedbørfelt har også stor betydning for flomutviklingen. Innsjøer virker flomdempende, særlig store innsjøer og innsjøer langt nede i vassdraget. (NVE, 2011).

Metodikk for beregning av flom kan hovedsakelig deles inn i tre hovedgrupper:

- Flomfrekvensanalyser
- Nedbør-avløpsmodellering
- Nasjonalt eller regionalt formelverk

Flomfrekvensmetoden er vanligvis basert på analyser av målte avløpsserier

Nedbør-avløpsmetoden 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, kan anses som en enkel slik modell.

Vanligvis skal flomfrekvensmetoden benyttes for beregning av flommer med gitte gjentaksintervall. For små vassdrag og i områder med dårlig datagrunnlag kan det være nødvendig å benytte nedbør-avløpsmetoden for flomberegningen. I slike tilfeller må resultatet likevel vurderes mot observerte flomdata eller erfaringstall for flomstørrelser.

For veldig små nedbørfelt (i størrelsesorden opp mot 2 km<sup>2</sup>) kan den rasjonelle formel benyttes (Statens vegvesen, 2018). Blir vassdragene noe særlig større enn dette kan imidlertid denne formelen gi store usikkerheter. NVE anbefaler imidlertid ikke denne metodikken brukt om nedbørfeltene overskrider 0,5 km<sup>2</sup> (Vassdragshåndboka, 2010/ Lindholm 2008).

For store nedbørfelt, dvs. felt større enn 20 km<sup>2</sup> kan det også vurderes å benytte regionale flomfrekvensformler. Disse er imidlertid sårbare for andelen fjell i feltet og bør ikke benyttes for rene lavlandfelt med vårflokker.

I forbindelse med Etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)" , som er et samarbeidsprosjekt mellom NVE, Jernbaneverket og Statens vegvesen, ble det i 2015 utarbeidet et nasjonalt formelverk for beregning av flom i små nedbørfelt (NVE 62/2015). Metoden kan benyttes på nedbørfelt < 60 km<sup>2</sup>.

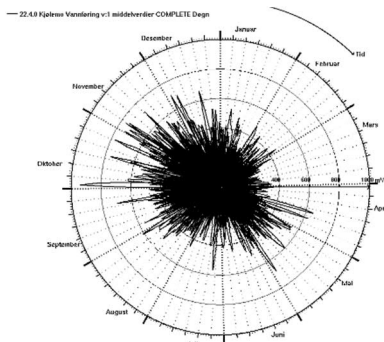
Som et ledd i utviklingen av nye retningslinjer / veiledere for beregning av flom i små vassdrag er det planlagt at NIFS blir en av flere foreslåtte metodikker sammen med RFFA2018 som er et formelverk NVE nylig har utarbeidet (Engeland 2020). Metoden kan benyttes på nedbørfelt > 60 km<sup>2</sup>.

### 3.2.3 Sesonginndeling for flomberegning

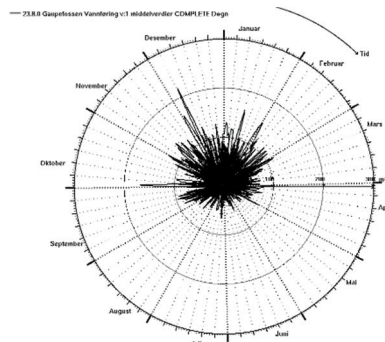
For store deler av landet skiller det hovedsakelig mellom to forskjellige typer flokker, vårflokker og sommer/høstflokker. Disse må derfor statistisk behandles adskilt.

Ut fra observerte flokker i eller i nærheten av feltet kan den flomskapende sesongen fastlegges og derved også hvilke ekstreme nedbørverdier som skal ligge til grunn for eventuell beregning ved en hydrologisk modell.

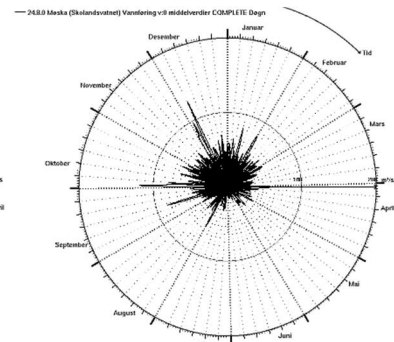
Hvis det er store flokker både vår og høst i et område, kan det være fare for at man undervurderer de store flommene ved å utføre separate analyser for vår- og høstsesongen. I slike tilfeller bør man utføre flomfrekvensanalyse uten sesonginndeling, dvs. på årsflokker.



Figur 4 Årspolar plott 22.4 Kjølema



Figur 5 Årspolarplott 23.8 Gaupefossen



Figur 6 Årspolarplott 24.8 Møska

I kystnære og relativt lavtliggende vestlandsvassdrag vil milde perioder i kombinasjon med nedbør i form av regn kunne gi flommer om vinteren. Det vil derfor være fare for flom gjennom store deler av året og det er ikke noe klart sesongskille.

I planområdet vil de største vassdragene, som har sitt utspring i fjellene innover i landet, ha en flomsesong på vår / tidlig sommer knyttet til smelteflommer i tillegg til større flommer sen høst og tidlig vinter som kan være rene nedbørsflommer eller kombinasjonsflommer med snesmelting. Årspolarplottet til 22.4 Kjølema (Mandalselva) som vist i Figur 4 er et eksempel på dette. For mindre nedbørfelt i lavlandet kommer i hovedsak de største flommene høst og tidlig vinter som vist i Figur 5 og Figur 6.

### 3.2.4 Beregning av flommers størrelse og forløp

Som oftest er det flommens kulminasjonsstørrelse som er av interesse, men i flomberegninger for reguleringsmagasiner og andre innsjøer kan ofte flommens varighet og forløp også være av interesse. Er dempingen i innsjø/magasin liten er kulminasjonsvannføringen viktigst og er dempingen stor er flommens volum av større betydning.

Hvis flomverdien er beregnet som døgnmiddelverdier, må også kulminasjonsverdien estimeres. Hvis data foreligger anbefales det at flomfrekvensanalysen utføres på momentanflommer (kulminasjonsvannføringer). Alternativt kan forholdet mellom kulminasjonsvannføring og døgnmiddelverdi ved de største flommene i vassdraget eller i sammenlignbare felt benyttes.

Hvis data ikke foreligger anbefales det å benytte formler, basert på feltparametere, for å beregne forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. Disse formlene er gjengitt under.

Hvor :

- A = Nedbørfeltets areal

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 1,72 - 0,17 \cdot \log A - 0,125 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5}$$

- $A_{\text{se}}$  = Nedbørfeltets effektive sjøprosent

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} = 2,29 - 0,29 \cdot \log A - 0,270 \cdot A_{\text{SE}}^{0,5}$$

\* Prefixet *log* angir at Briggske logaritmer (10-logaritmer) av parameteren benyttes.

NVEs veileder for flomberegning (NVE 2011) presenterer også observerte forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom for en rekke målestasjoner. For enkelte små felt eller felt med svært liten naturlig dempning er det funnet faktorer opp mot ca. 3,0 mens for de aller største vassdragene vil det være liten forskjell mellom døgnmiddel og flomtopp.

## 4 Hydrologien i området

Den foreslåtte linjetraseén går noe lenger inn i landet enn dagens E39 trasé, gjennom kommunene Lindesnes og Lyngdal i Agder. Traseén krysser en rekke mindre bekker og noen større vassdrag hvorav Mandalselva er det største med et nedbørfelt på nær 1800 km<sup>2</sup>.

En enkel inndeling av Nordens hydrologiske regioner bygger på avrenningens sesongvariasjon, også kalt regime. Inndelingen utnytter informasjon om månedsfordelingen av flom- og lavvannspe-rioder (Gottschalk et al., 1979). Planområdet er i denne klassifiseringen beliggende i overgangen mellom regime H3L3 og H2L2, (Atlantisk regime og et overgangsregime) som har flomregime med dominerende regnflom og hvor høyest middelavløp inntreffer om høsten og tidlig vinter. De laveste månedsavløp forekommer som regel om sommeren.

Regionen har en midlere spesifikk avrenning, som vist i Figur 7, på rundt 50 l/s pr. km<sup>2</sup>, for nedbørfeltene som drenerer ned mot planområdet. De mindre nedbørfeltene nær planområdet har noe lavere midlere avrenning (~40 l/s pr. km<sup>2</sup>) som vist i NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (Beldring et al. 2002) i Figur 9.

### 4.1 Hydrometriske målestasjoner i området

I nedbørfelt som drenerer ned til planområdet er det i dag 5 målestasjoner i drift som registrerer vannstand/vannføring (vist i Tabell 1), hvorav fire stasjoner med svært lang måleserie. Med unntak av 22.16 Myglevatn er imidlertid alle stasjoner i større eller mindre grad påvirket av vassdragsreguleringer.

I tillegg er det fem andre stasjoner som nå er avsluttet (vist i Tabell 2), men som har data i varierende lengde i tidligere perioder. Stasjonene 23.10 Øvre Øydnavatn og 23.11 Ytre Øydnevatn i de øvre deler av Audna har også uregulerte data.

Plassering av målestasjonene sammen med tilgrensende nedbørfelt ned til vurderte veilinjer er vist i Figur 8. Midlere spesifikk avrenning for de 5 pågående stasjonene er vist i Figur 7.

Tabell 1 Pågående hydrometriske målestasjoner ved planområdet

St.nr.	Stasjonsnavn	Obs.	Elv/vassdrags nr.	Elv/vassdrag	Areal i km <sup>2</sup>
22.4	Kjølemo	1896 – dd	022.A6	Mandalselva	1755,9
22.16	Myglevatn ndf.	1951 – dd	022.CA10	Kosåna/Mandalselva	182,2
22.23	Laudal	1981 – dd	022.B12	Mandalselva	1528,4
23.4	Brådlandsvatn	1922 - dd	023.AC0	Trylandselva/Audna	58,9

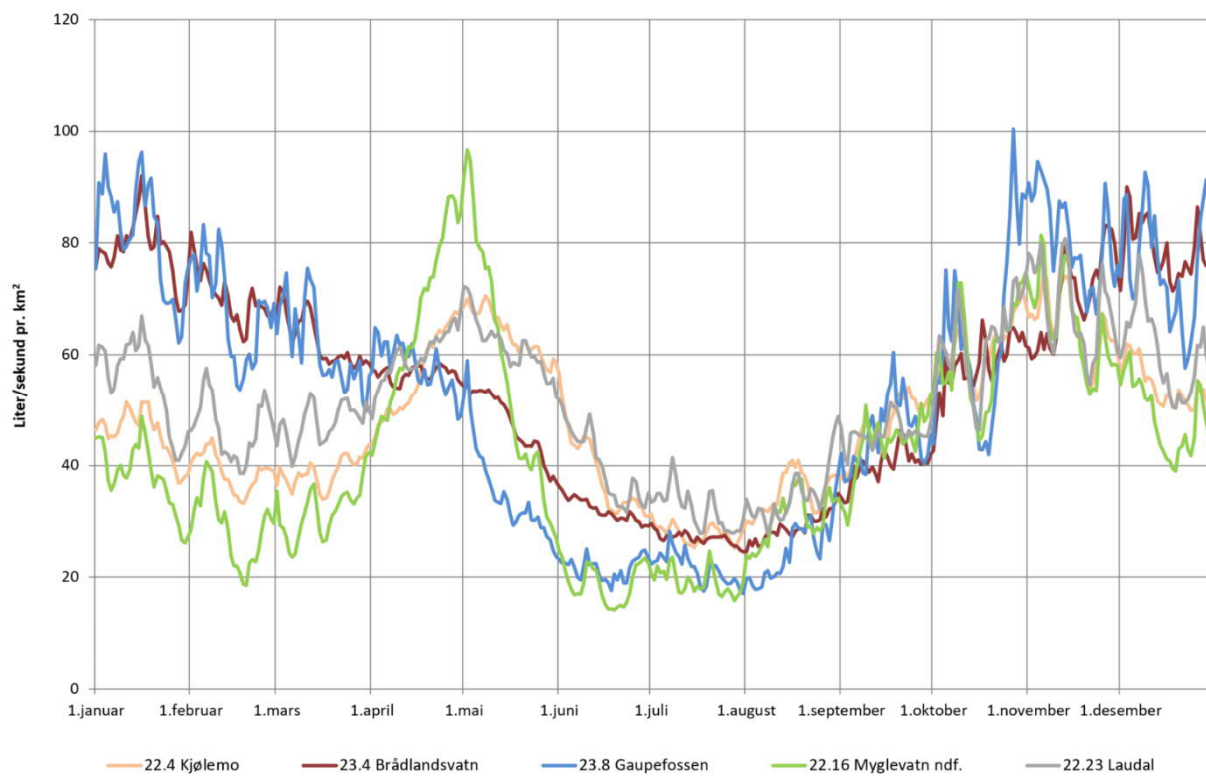
23.8	Gaupefossen	1988 – dd	023.A22	Audna	343,9
------	-------------	-----------	---------	-------	-------

Tabell 2 Avsluttede hydrometriske målestasjoner ved planområdet

St.nr.	Stasjonsnavn	Obs.	Elv/vassdrags nr.	Elv/vassdrag	Areal
22.5	Austerhus	1922-1986	022.EA20	Logna/Mandalselva	413,2
23.10	Øvre Øydnavatn	1985-1994	023.E21	Audna	89,6
23.11	Ytre Øydnavatn	1985-1994	023.C1	Audna	134,2
23.5	Lona	1939-1970	023.2A	Lonebekken	28,1
23.6	Tarvatn	1948-1969	023.2A	Lonebekken	26,4

Figur 7 viser et klart skille mellom de hydrologiske regimene for de vassdrag som originerer lenger inn i landet med en større vårflomskomponent, slik som vannmerkene Kjølemo, Laudal og Myglevatn.

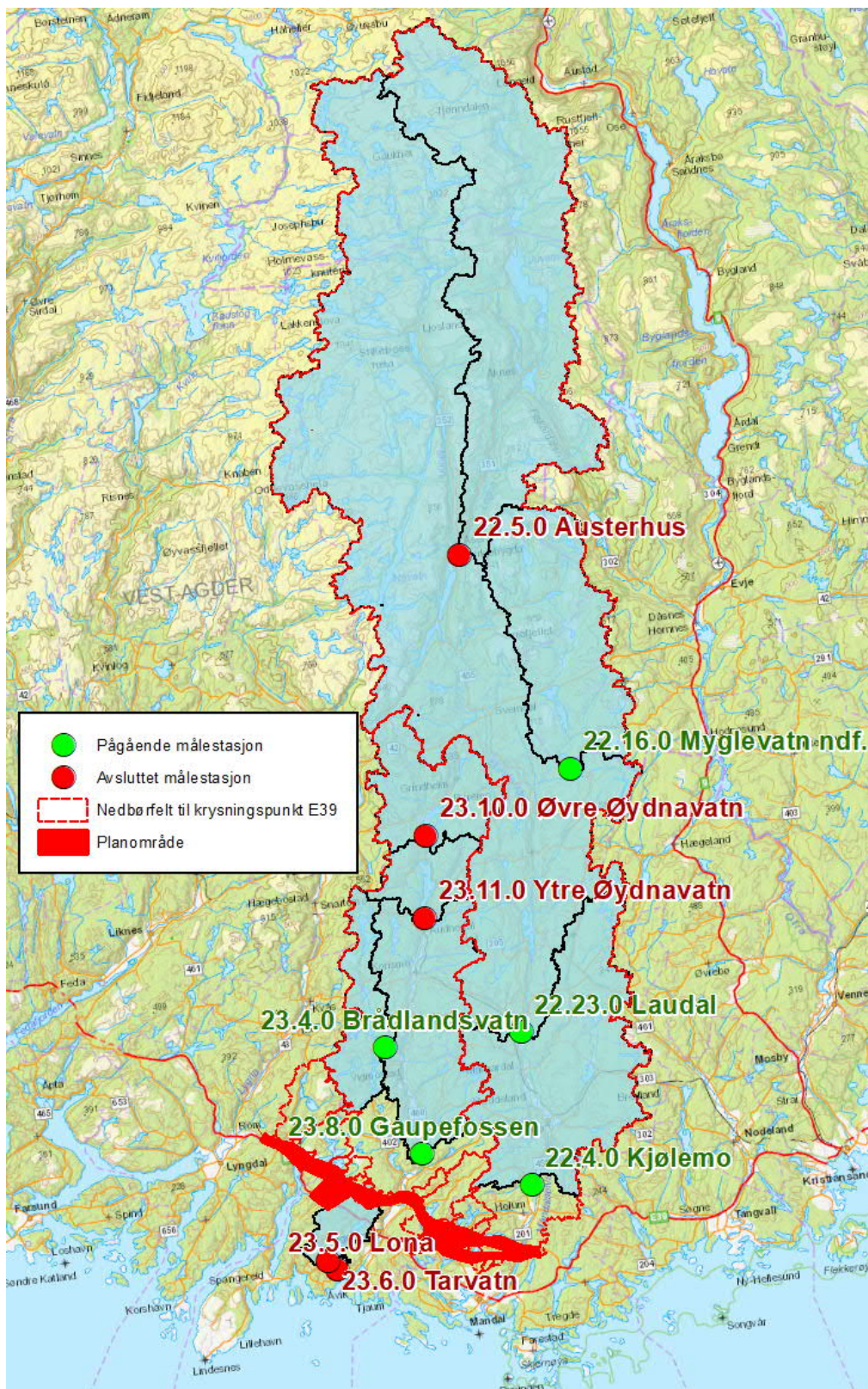
Nedbørfelt hvor det i større grad er ren kystpåvirkning som Brådlandsvatn og Gaupefossen har høy vannføring og større flommer på sen høst og vinter.



Figur 7 Midlere daglig spesifikk avrenning for de pågående målestasjoner.

(Data fra NVE)

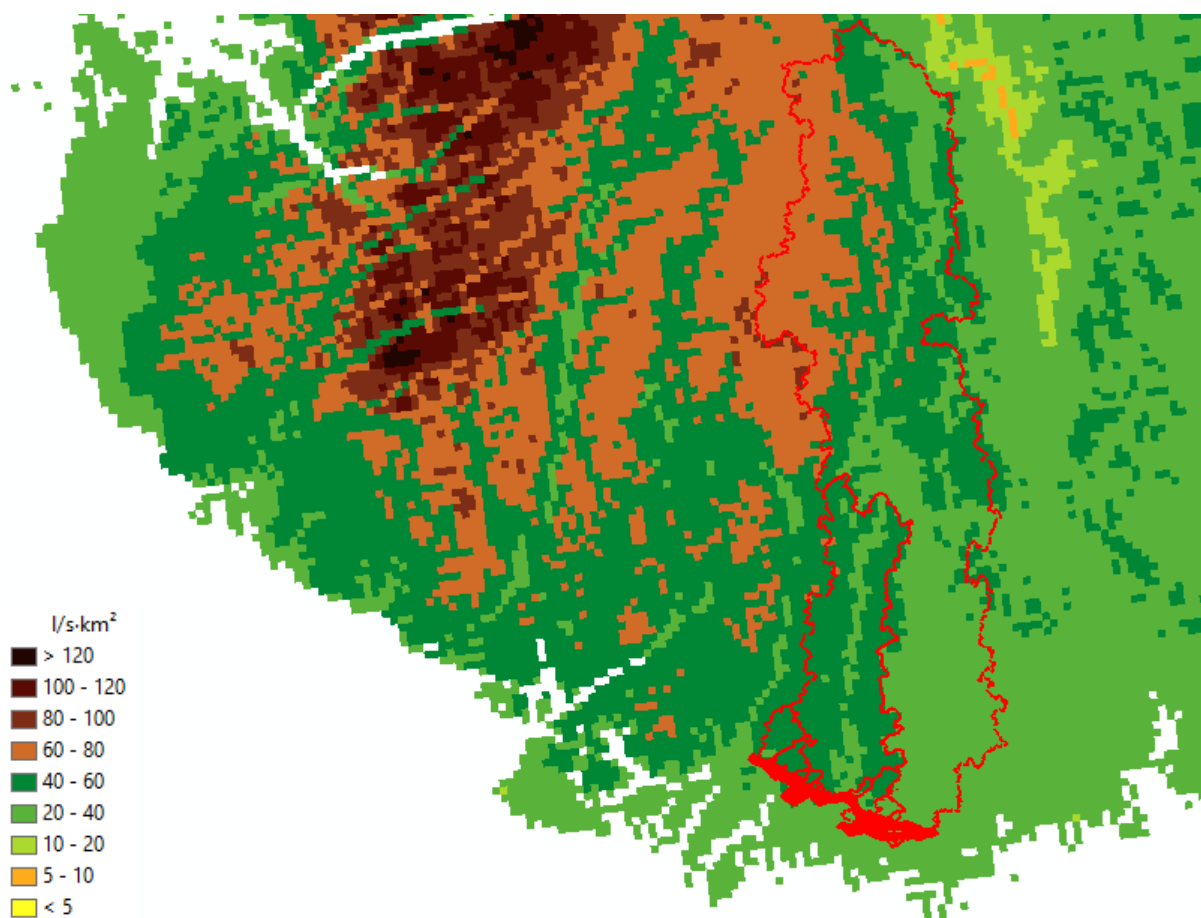




Figur 8 Plassering av pågående og avsluttede hydrometriske målestasjoner ved planområdet.

Beregnes middelavløpet for nedbørsfeltene til de vurderte avløpsstasjonene som er i drift, ved hjelp av NVEs digitale avrenningskart, blir verdiene for perioden 1961-1990 som gitt i Tabell 3.

Avløpet ved målestasjonene er også beregnet fra observerte data og sammenlignet med NVEs normalavrenningskart. Målestasjonen 23.4 Brådlandsvatn er den eneste hvor det er et noe større avvik mellom avrenningskartet og de observerte verdiene. For denne stasjonen anses imidlertid data mellom 1974 og 1991 som meget usikre. For de andre stasjonene er avviket mellom observerte verdier og avrenningskartet små. Det ser også ut til at økningen i avrenningen mellom perioden før og etter 1990 er forholdsvis beskjeden.



Figur 9 Midlere årlig spesifikk avrenning i regionen. Verdier i l/s pr. km<sup>2</sup>. Planområdet er vist i rødt sammen med utstrekningen av nedbørfeltene ned til planområdet. (Data fra NVE).

Tabell 3 Beregnet spesifikk middelavrenning fra NVEs digitale avrenningskart for vurderte avløpsstasjoner. Verdier som l/s pr. km<sup>2</sup>

Stasjonsnummer	Stasjonsnavn	Serie-lengde	Beregnet middeltlig 1961-1990 Beregnet fra NVEs digitale avrenningskart	Observert Spesifikt Middeltlig 1961-1990	Observert Spesifikt Middeltlig 1990-dd
22.4	Kjøleemo	1896 – dd	47,7	47,25	49,18
22.16	Myglevatn ndf.	1951 – dd	40,4	42,40	42,97
22.23	Laudal	1981 – dd	49,5	-	50,81
23.4	Brådlandsvatn <sup>2</sup>	1922 - dd	48,62	53,17	61,23
23.8	Gaupefossen	1988 – dd	45,87	-	51,33

## 4.2 Klimaendring og framtidige flommer i området

Gjennomsnittlig årstemperatur i Agder er beregnet å øke med ca. 4,0 °C. Den største temperaturøkningen beregnes for vinteren, med litt over 4,0 °C, mens sommertemperaturen er beregnet å øke med omkring 3,5 °C. Vinterstid vil dagene med svært lav temperatur bli sjeldnere.

Nedbøren er beregnet å øke med ca. 10 %, med den største økningen i vintersesongen. Sommers-tid ventes det små endringer i totalnedbøren. Dager med mye nedbør antas å komme litt hyppigere, og med økt nedbørintensitet.

Episoder med kraftig nedbør ventes å øke vesentlig både i intensitet og hyppighet, og det anbefales et klimapåslag på minst 40 % på regnskyll med varighet under 3 timer i de mindre nedbørfeltene og opp til 50 % for de aller minste nedbørfeltene med konsentrasjonstid under en time (Norsk klimaservicesenter, Klimaprofil Agder, 2021)

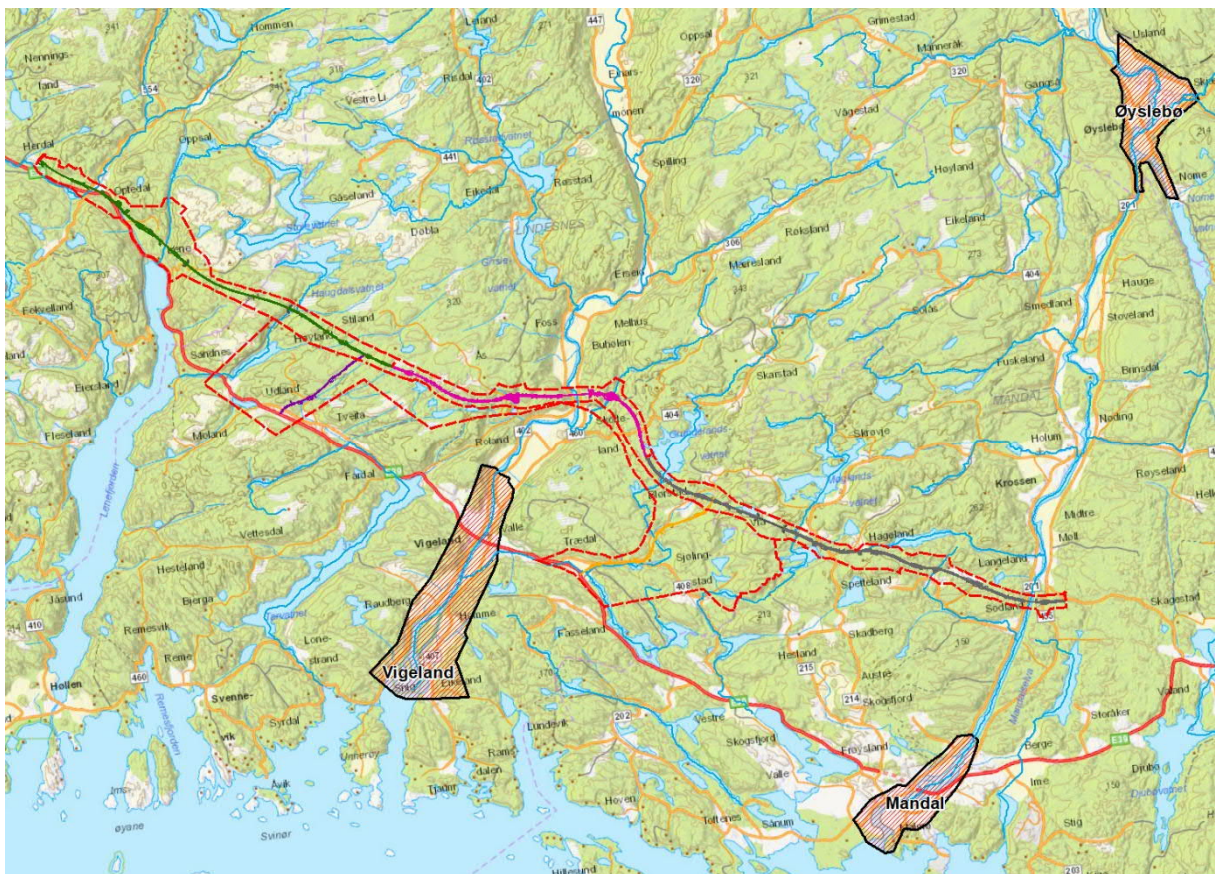
Planområdet ligger i et område av Norge hvor klimaframskrivningene gir en økning i flomstørrel-sene og det anbefales et påslag på 20 prosent frem mot år 2100 i alle større nedbørfelt i regionen.

For nedbørfelt under < 100 km<sup>2</sup> og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn, anbefales det minst 20 % økning (Lawrence 2016).

<sup>2</sup> Verdier mellom 1974 og 1991 anses som meget usikre iflg. HYSOPP/NVE.

### 4.3 Tidligere flomberegninger og flomsonekartlegginger i området

For flere av de større elvene i området er det foretatt flomberegninger og for noen områder også flomsonekartlegginger. Områder med flomsonekartlegging er vist i Figur 10. Det er ikke tidligere foretatt flomsonekartlegginger ved noen krysningsspunkt for den planlagte veitraséen, hverken i Lyngdal eller Lindesnes kommune, men beregnede flomverdier i flomberegningen kan benyttes som grunnlag for nødvendige beregninger ved et senere tidspunkt.



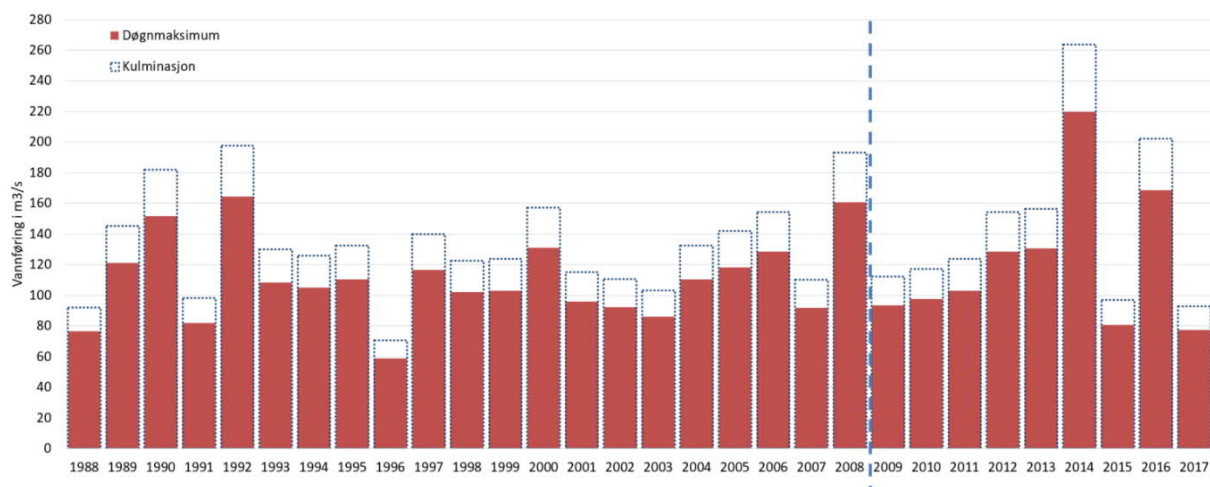
Figur 10 Elvestrekninger og områder med flomsonekartlegging

#### 4.3.1 Flomberegning for Audna

Flomberegning for Audnavassdraget ble foretatt i 2010 som grunnlag for vannlinjeberegning og flomsonekartlegging ved Vigeland, rett nedstrøms planlagt ny E39 trasé. Arbeidet er beskrevet i NVE Dokument 11/2010 og kun hovedtrekkene gjengis her.

Vannføringsstasjonen 23.8 Gaupefossen, som ligger i Audna omkring 5 km nord for Vigeland, ble satt i drift i 1988. Den største observerte flommen i Audna i forkant av denne beregningen var i desember 1992, den ble da beregnet til en 20 – 50 års flom. I januar 2008 var det en ny relativt stor flom i vassdraget, med et gjentaksintervall på 5 – 10 år. I flomberegningen for Audna er det antatt et forholdstall på ca. 1,2 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføringer.

Etter arbeidet i 2010 har det kommet til ytterligere 9 år med data fra stasjonen. Vannføringskurven er også noe justert i den øvre delen slik at tidligere flomverdier er skalert ned med ca 10 %. Som vist i Figur 11 har det etter dette vært større flommer både i 2014 og 2016, enn det som var tilfellet ved NVEs flomberegning i 2010.



Figur 11 Årlig maksimalvannføring ved 23.8 Gaupefossen, Kulminasjon beregnet som  $1,2 \times Q_{\text{døgnmaksimum}}$ .

Det ble gjort en flomfrekvensanalyse for en rekke målestasjoner i området for dette arbeidet i tillegg til målestasjonen i Gaupefossen og samlet sett ble resultatet som følger i Tabell 4:

Tabell 4 resultater fra NVE Dokument 11/2010. Flomberegning for Audna.

	Areal	QM (m³/s)	qM (l/s pr. km²)	Q200 (m³/s)	q200 (l/s pr. km²)
Audna ved Gaupefossen	344	140	407	340	988
Audna ved Vigeland	413	170	412	390	944

Brukes dette resultatet for å beregne flomstørrelser ved mulig krysningspunkt over Audna for foreslått trasé for E39, blir dette som følger i Tabell 5.

Tabell 5 Beregnede flomstørrelser for Audna ved kryssing planlagt E39 ved Skofteland.

	Areal	QM (m <sup>3</sup> /s)	qM (l/s pr. km <sup>2</sup> )	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	q200 (l/s pr. km <sup>2</sup> )
Audna ved kryssing E39	397	163	410	377	950
Audna ved kryssing E39 inkl. 20 % klimapåslag	397	195	492	453	1140

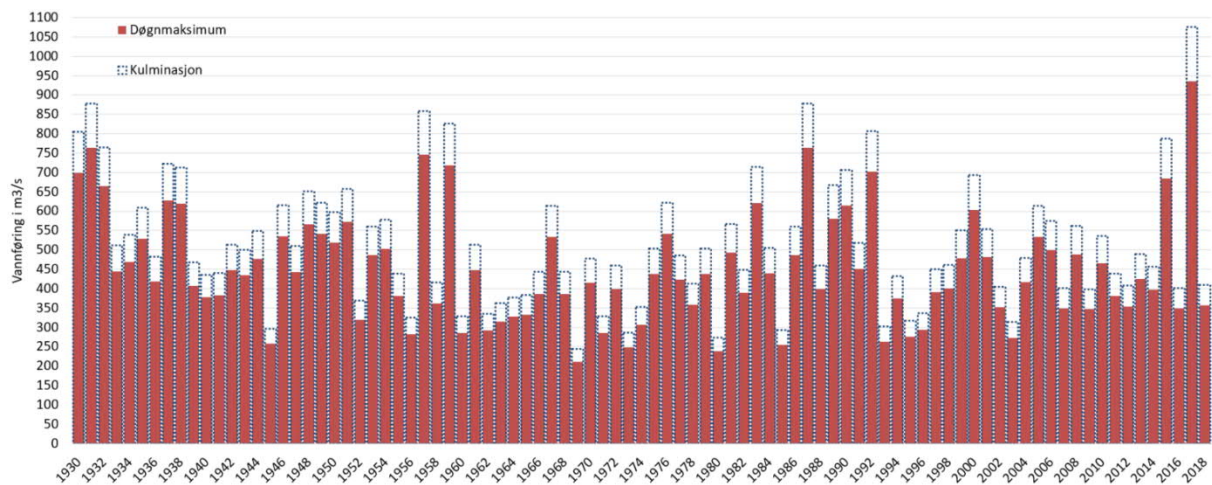
#### 4.3.2 Flomberegning for Mandalsvassdraget

Det er i NVE Rapport 15/2018 utført flomberegninger for Mandalselva som grunnlag for vannlinjeberegning og NVEs flomsonekartprosjekt. Beregningene ble basert både på observerte vannføringsdata i Mandalselva fra 1896-2017 samt informasjon om to store flommer før observasjonene startet, i 1892 og 1864.

Vassdraget har vært regulert siden 1930-tallet og reguleringsgraden er om lag 15 %. Ved målestasjon 22.4 Kjølemo, som ligger i Mandalselva rett sør for Øyslebø, er vannstand/ vannføring registrert siden 1896 som beskrevet i 4.1.

Den største flommen siden målestart var i oktober 2017 som vist i Figur 12. Under denne flommen ble det utført vannføringsmålinger i felt og målingene viste at det rant vesentlig mer vann i elva under flom enn det man tidligere hadde lagt til grunn.

Vannføringskurven for målestasjonen er nå revidert og beregnede flomvannføringer ved Kjølemo antas nå å være svært gode.



Figur 12 Årlig maksimalvannføring ved 22.4 Kjølamo, Kulminasjon beregnet som  $1,15 \times Q_{\text{døgnmaksimum}}$ .

Det ble også benyttet opplysninger om to tidligere store flommer på 1800-tallet, som var større enn flommen i 2017. Ut fra foreliggende beregninger kan 2017-flommen karakteriseres som en 50-100 årsflom, mens flommene på 1800-tallet hadde gjentaksintervall på omkring 200 og 500 år. Disse flommene vil imidlertid bli karakterisert som omkring en 20-årsflom (2017), en 50-årsflom (1864) og en 100-årsflom (1892) hvis man inkluderer klimapåslaget i de beregnede flomverdiene.

For Mandalselva er det antatt et forholdstall på 1,15 mellom kulminasjons- og døgnmiddelvannføring. Resulterende flomvannføringer er gitt i Tabell 6. I forhold til tidligere beregninger fra 2003 har flomvannføringene økt med i størrelsesorden 20 - 45 prosent før klimapåslag, og 45 - 75 prosent inklusive klimapåslag.

Tabell 6 Resultater fra NVE Rapport 15/2018. Flomberegning for Mandalselva.

	Areal	QM (m <sup>3</sup> /s)	qM (l/s pr. km <sup>2</sup> )	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	q200 (l/s pr. km <sup>2</sup> )
Mandalselva ved Kjølamo	1757	527	300	1190	677
Mandalselva ved utløp	1817	555	305	1260	693

Brukes dette resultatet for å beregne flomstørrelser ved mulig krysningspunkt over Mandalselva for foreslått trasé for E39, blir dette som følger i Tabell 7.

Tabell 7 Beregnede flomstørrelser for Mandalselva ved kryssing planlagt E39 ved Stusvik.

	Areal	QM (m <sup>3</sup> /s)	qM (l/s pr. km <sup>2</sup> )	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	q200 (l/s pr. km <sup>2</sup> )
Mandalselva ved kryssing E39	1795	544	303	1230	685
Mandalselva ved kryssing E39 inkl. 20 % klimapåslag	1795	653	364	1475	822

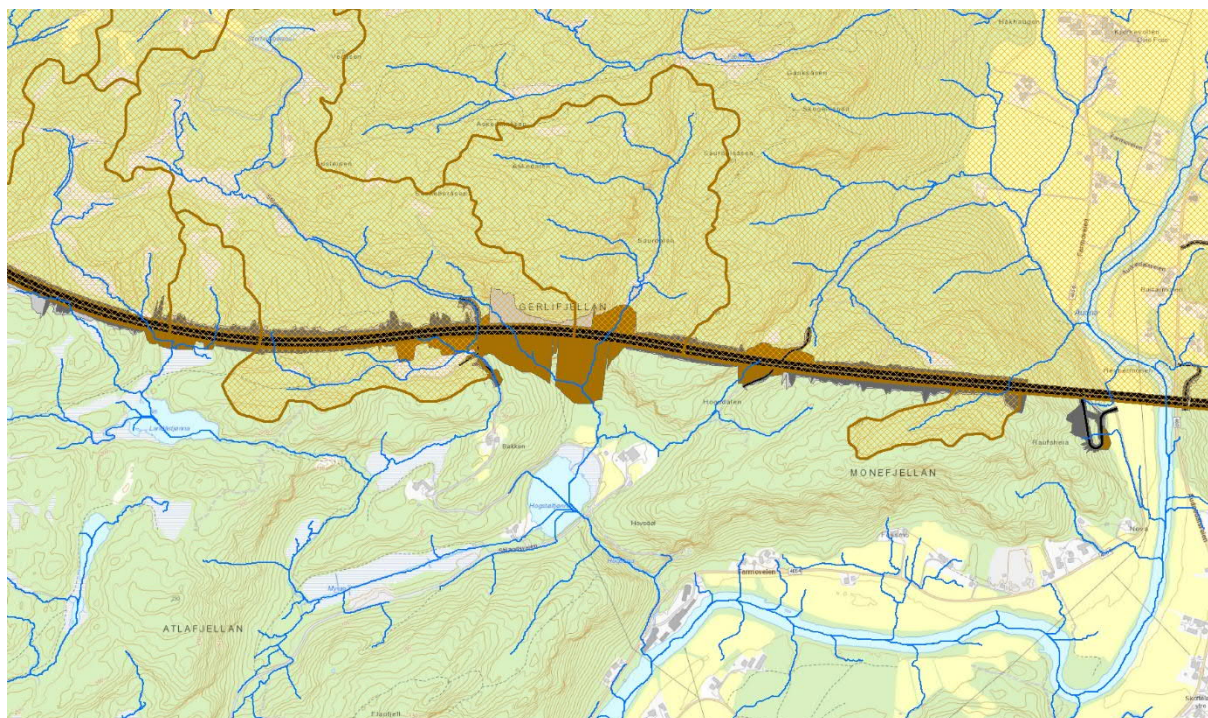
#### 4.4 Kartlegging av krysningpunkter og oppstrøms nedbørfelt for foreslått E39 trasé

På bakgrunn av foreslått trasé for E39 er det utarbeidet og digitalisert nedbørfelt ned til alle krysningpunkt for bekker/elver og semitørre drag som krysser denne linjen i Lindesnes kommune.

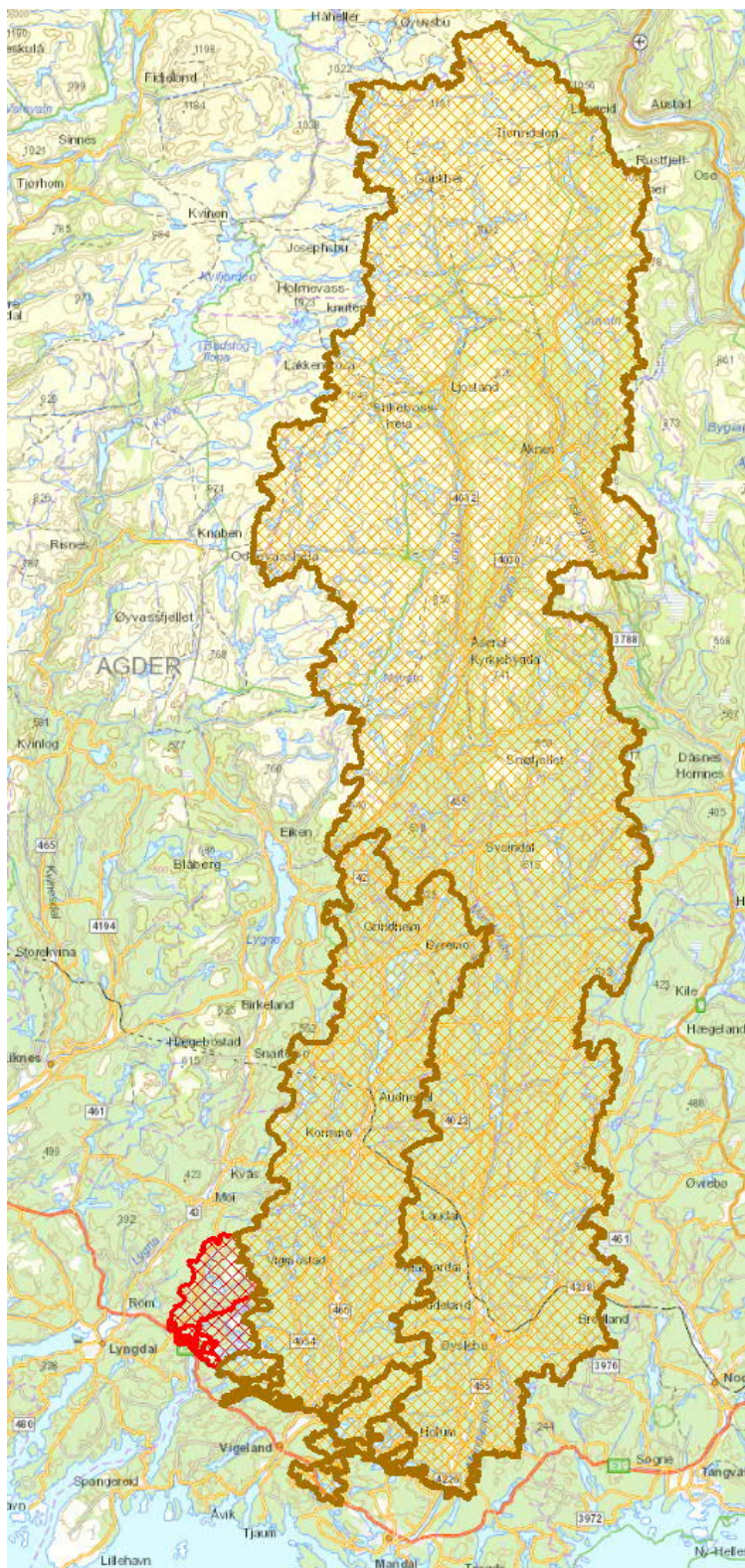
Arbeidet er utført med hydrologisk modellering på en terrengmodell med 1x1 meters oppløsning i ArcGis. På denne er det beregnet dreneringsnettverk som ligger til grunn for utarbeidelse av tilhørende oppstrøms nedbørfelt. Eksempel på dette er vist i Figur 13.

Kryssende den foreslåtte traséen er det i Lindesnes kommune > 69 nedbørfelt. Disse er av høyst varierende størrelse. Fra de største på 1795 km<sup>2</sup>, tilhørende vassdrag som Mandalselva. Audna, på 397 km<sup>2</sup> og en rekke felt fra et titalls kvadratkilometer ned til de helt små som er på rundt 1 hektar. Oversiktskisse er gitt i Figur 14. For hvert av disse nedbørfeltene er det gjort beregninger av en rekke parametere som inngår i flomvurderinger. Disse er beskrevet mer inngående i de neste kapitlene. Alle krysningpunkt i Lindesnes kommune er vist i Figur 15 til Figur 19 og ytterligere informasjon knyttet til nedbørfeltene og krysningpunktene finnes i Tabell 10.

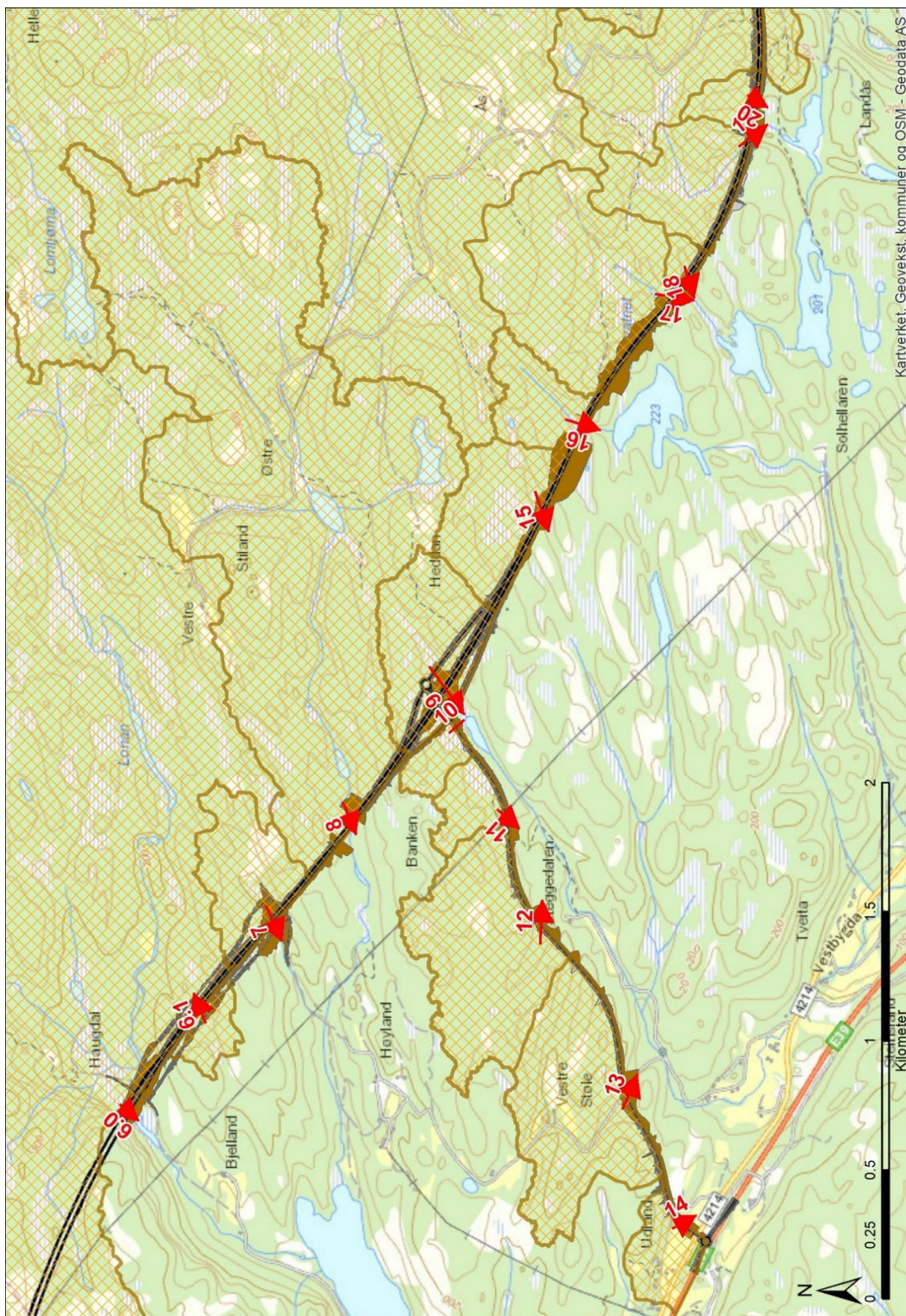




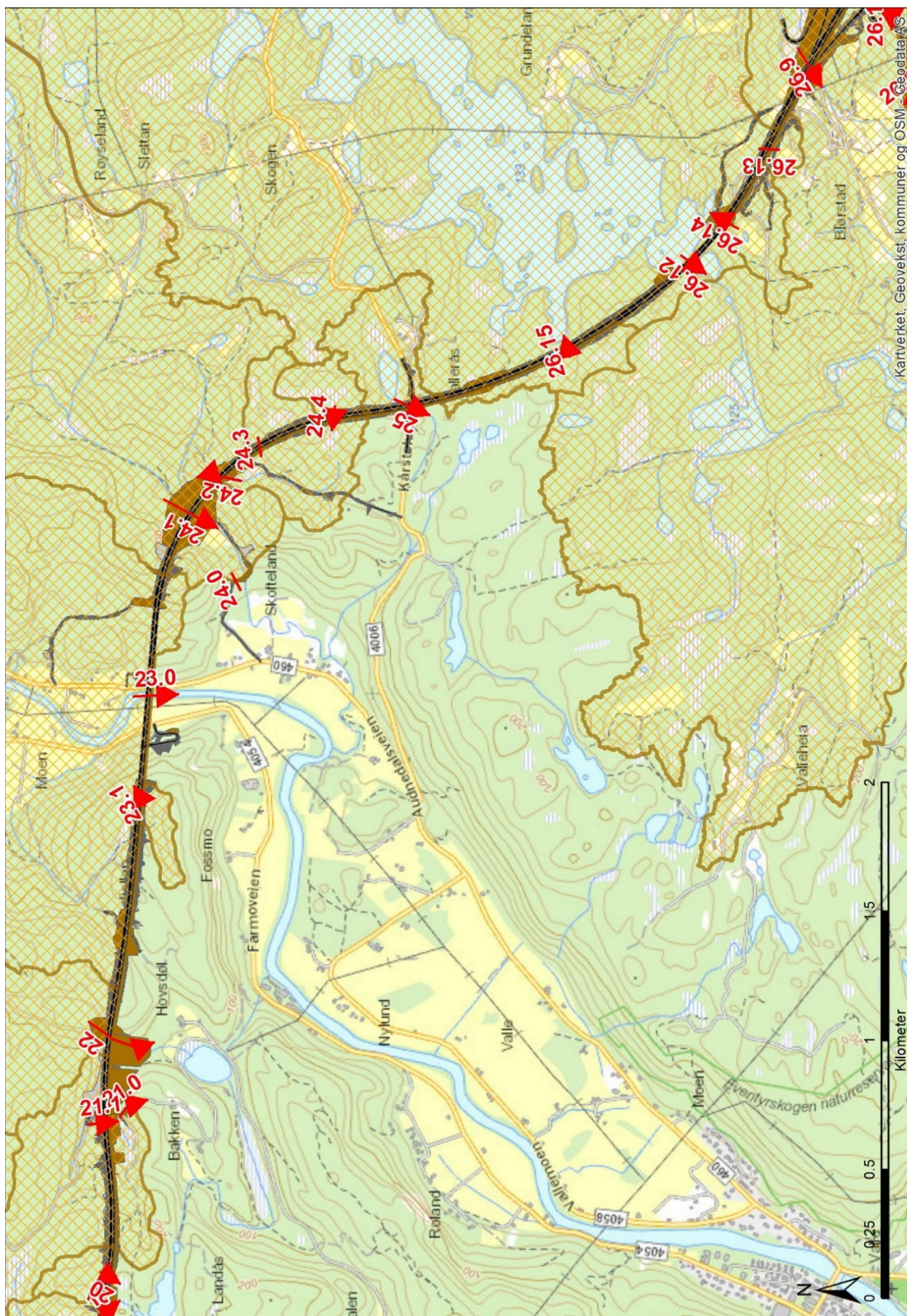
Figur 13 Eksempel på beregnet dreneringsnettverk og utarbeidede nedbørfeltgrenser. Ved Hogstøltjønn, Lindesnes kommune.



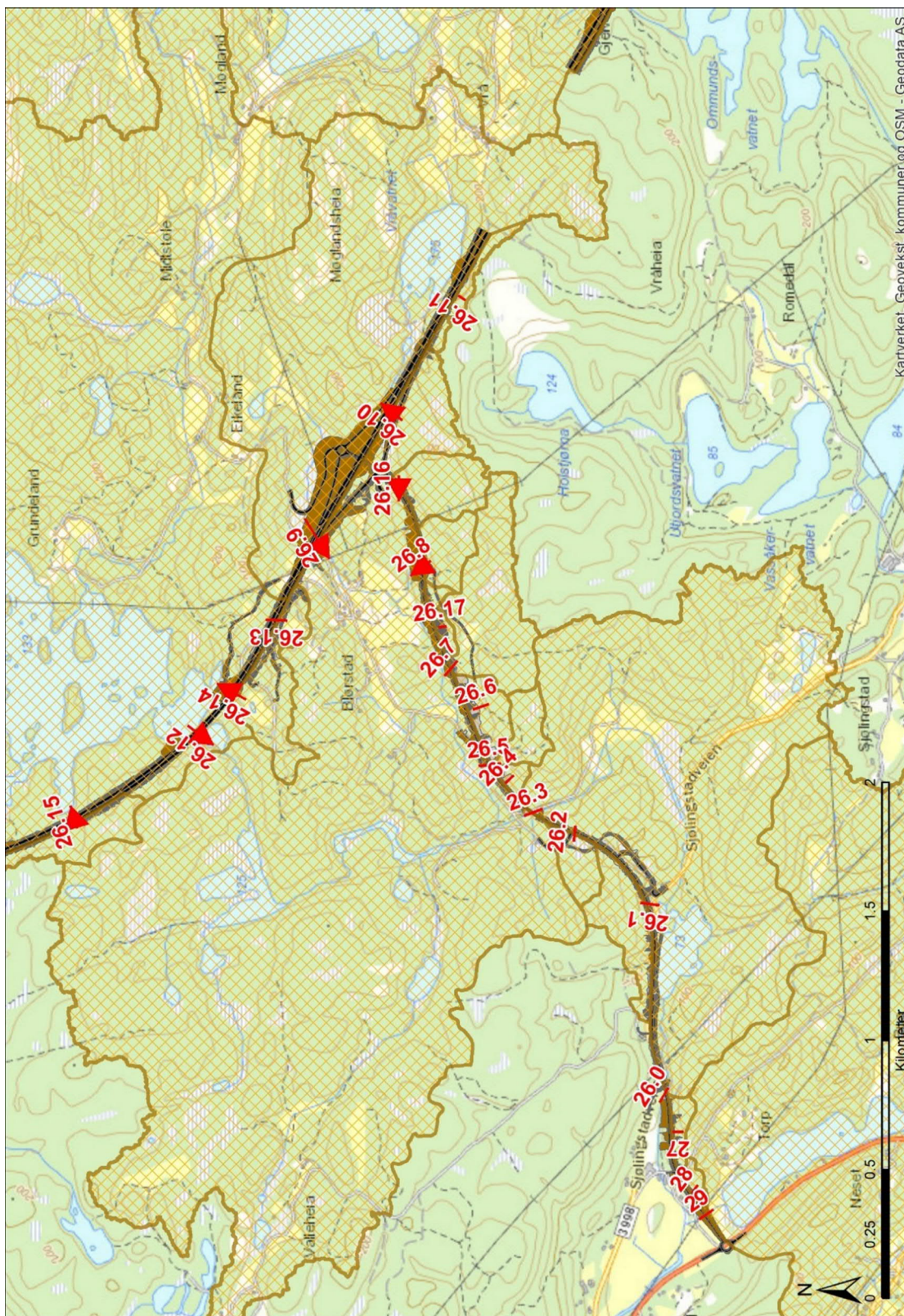
*Figur 14 Utarbeidede nedbørfelt ned til kryssing av foreslått trasé for E39. Brune i Lindesnes og røde i Lyngdal kommune*



*Figur 15 Krysningpunkter (1) for bekker/elver og vassdrag over foreslått trasé for ny E39 i Lindesnes kommune.*

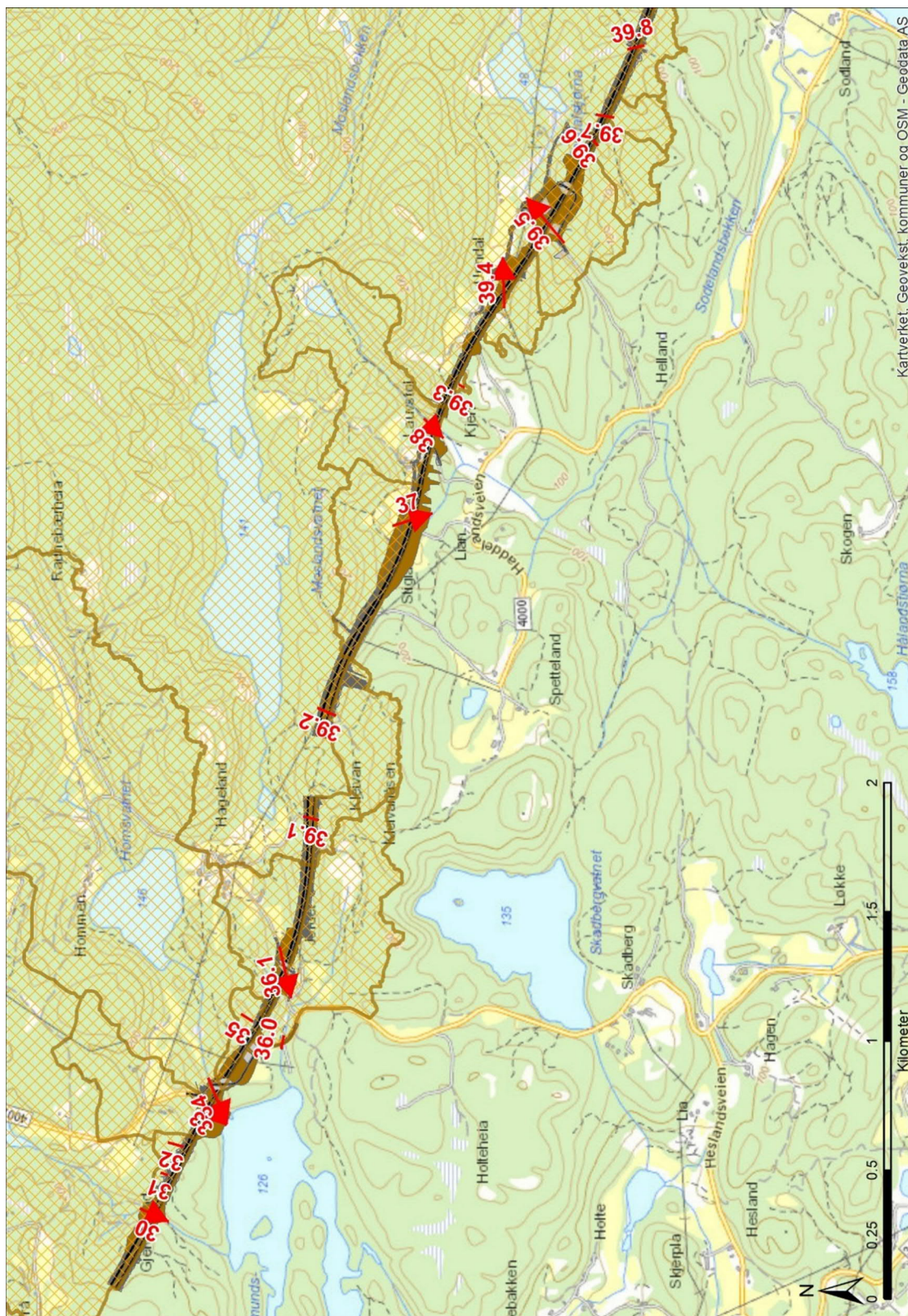


*Figur 16 Krysningpunkter (2) for bekker/elver og vassdrag over foreslått trasé for ny E39 i Lindesnes kommune.*



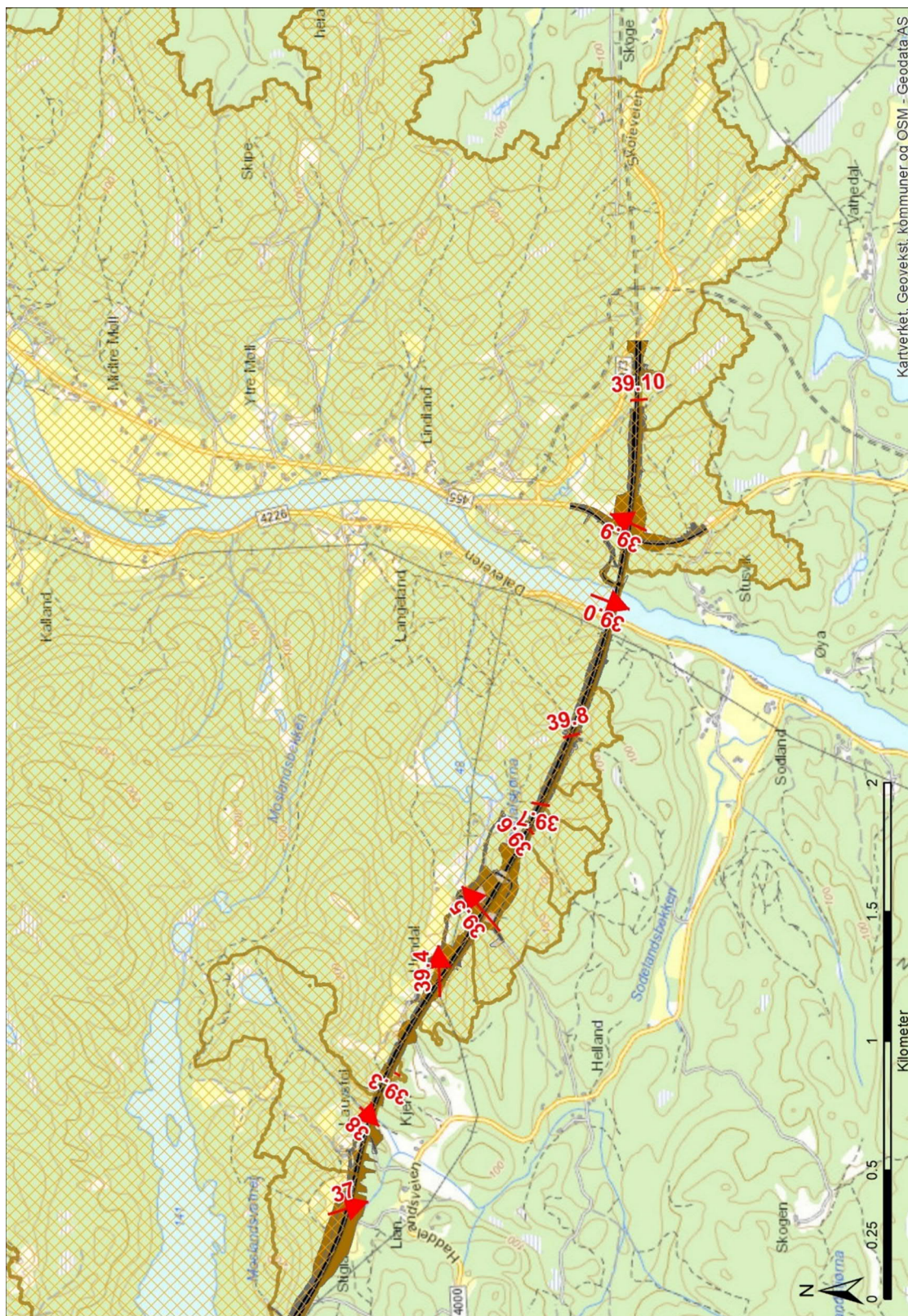


*Figur 17 Krysningpunkter (3) for bekker/elver og vassdrag over foreslått trasé for ny E39 i Lindesnes kommune.*



Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS

*Figur 18 Krysningpunkter (4) for bekker/elver og vassdrag over foreslått trasé for ny E39 i Lindesnes kommune.*



Figur 19 Krysningspunkter (5) for bekker/elver og vassdrag over foreslått trasé for ny E39 i Lindesnes kommune.

#### 4.5 Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse > 100 km<sup>2</sup>

De to nedbørfeltene som er i denne størrelseskategorien, Audna og Mandalselva, har begge særskilte flomberegninger som er beskrevet tidligere i 4.3.1 og 4.3.2. Disse verdier benyttes også i denne vurderingen.

#### 4.6 Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 10 -100 km<sup>2</sup>

For felt over 20 km<sup>2</sup> kan regionale flomformler vurderes benyttet sammen med bruk av formelverket NIFS. Regionalt formelverk bør imidlertid benyttes med forsiktighet for felt under 100 km<sup>2</sup>.

Det er benyttet formelverk for årsflomregion K1 som beskrevet tidligere. Formelverket beregner middelflom som gitt under:

$$K1 \quad \ln qM = 1,5212 \cdot \ln qN - 1,1516 \cdot \ln PN - 0,0569 \cdot ASE - 0,0093 \cdot LF + 8,80$$

Hvor spesifikk middelflom (qM) er avhengig av effektiv sjøprosent (ASE i %), midlere spesifikt årsavløp (qN i l/s pr.km<sup>2</sup>), feltaksens lengde (Lf i km) og midlere årsnedbør (PN i mm).

Forholdstallene mellom middelflommen og flommer med andre gjentaksintervall som vist i Tabell 8 for den regionale flomkurven for K1:

Tabell 8 Forholdstall mellom middelflom og flommer med andre gjentaksintervall for flomregion K1

	Q <sub>5</sub> /Q <sub>M</sub>	Q <sub>10</sub> /Q <sub>M</sub>	Q <sub>20</sub> /Q <sub>M</sub>	Q <sub>50</sub> /Q <sub>M</sub>	Q <sub>100</sub> /Q <sub>M</sub>	Q <sub>200</sub> /Q <sub>M</sub>
K 1	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4

De regionale flomformlene beregner døgnmiddelverdier, så for å få maksimal kulminasjonsverdi benyttes formelverket beskrevet i kapittel 3.2.4.

For tre nedbørfelt i området, med en størrelse på hhv. 22, 26, og 31 km<sup>2</sup>, ble spesifikk q<sub>200</sub> beregnet til 955 - 1293 l/s pr.km<sup>2</sup>.

NVE 13/2015 beskriver utarbeidelsen av et nasjonalt formelverk (NIFS) for beregning av middelflom og flommer med høyere gjentaksintervall for små umålte nedbørfelt i Norge. Disse analysene ga et formelverk hvor middelflommen, Q<sub>M</sub>, estimeres ved to kovariater. Disse to er middeltilsiget (middelvannføring i perioden 1961-90 i m<sup>3</sup>/s) og effektiv sjøprosent.

Formelen for middelflommen Q<sub>M</sub> er som følger:

$$Q_m(MIDTILSIG, EFF\_SJO) = 18.97 MIDTILSIG^{0.864} e^{-0.251 \sqrt{EFF\_SJO}}$$

Videre ble det etablert et formelverk for å estimere vekstkurven for små umålte nedbørfelt. Altså hvordan gå fra middelflom til en flom med et høyere gjentaksintervall. Denne analysen ga en formel med 3 parametere hvor en av de er middelflommen som er beskrevet over. De to andre parametrene som inngår i formelen for vekstkurver er middelavrenningen (midlere årsavrenning i perioden 1961-90 i l/s\*km<sup>2</sup>) og effektiv sjøprosent.

Formelen for beregning av forholdstallet mellom en flom, Q(T), med gjentaksintervall T og middelflom, Q<sub>m</sub>, er som følger og gir kulminasjonsverdiene direkte:

$$\frac{Q(T)}{Q_m} = 1 + 0.308 \cdot AVR_{6190}^{-0.137} \left[ \Gamma(1+k) \Gamma(1-k) - (T-1)^{-k} \right] e^{0.161z} / k \text{ der}$$

$$k = -1 + 2 / \left[ 1 + e^{0.391 + 1.54 \cdot EFF_{SJO} / 100} \right]$$

Det er beregnet for fem nedbørfelt i området, som gir verdier for spesifikk q<sub>200</sub> mellom 1335 – 1820 l/s pr.km<sup>2</sup>. For felt som også er beregnet med regionale flomformler ligger disse ca 20 % lavere.

Av pågående målestasjoner er det bare 23.4 Brådlandsvatn som er pågående og av en størrelse innenfor dette arealspenget. Nedbørfeltet til denne målestasjonen er imidlertid regulert. Fra en tidligere flomberergring (NVE 4/2014) er spesifikk uregulert døgnmiddelflom anslått til 522 l/s pr.km<sup>2</sup> som med bruk av samme forholdstall som vist i Tabell 8 gir en q<sub>200</sub> beregnet til 1253 l/s pr.km<sup>2</sup> og med en kulminasjonsverdi på 1640 l/s\*km<sup>2</sup>. Dette er på linje med verdiene beregnet med NIFS.

For nedbørfelt i dette størrelsessegmentet benyttes derfor en verdi på 1700 l/s pr.km<sup>2</sup> og med 40 % klimapåslag i beregninger for dimensjonering av de kartlagte veikryssinger beskrevet i kapittel 4.4. Samlet gir dette en spesifikk verdi på 2380 l/s pr.km<sup>2</sup>.

Av nedbørfelt som krysser den planlagte traséen i Lindesnes kommune er det kun ett delnedbørfelt i denne størrelseskategorien, utløpet av Grundelandsvatnet (felt 26.12) på 17,2 km<sup>2</sup>.

#### 4.7 Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 1 - 10 km<sup>2</sup>

Av nedbørfelt som krysser den planlagte E39 traséen er det 9 delnedbørfelt mellom 1-10 km<sup>2</sup>, i Lindesnes kommune. Det er benyttet NIFS for beregning av alle disse feltene. Beregnede verdier er vist i Figur 23. Resultatene med denne metodikken på disse feltene gir en spredning i resultatene fra litt over 1000 til nesten 4000 l/s pr.km<sup>2</sup>. I hovedsak skyldes dette variasjon i effektiv sjøprosent. Nedbørfelt beregnet ved utløpet av større vann vil vært svært dempet. Samlet gir dette en spesifikk verdi på 2380 l/s pr.km<sup>2</sup>.

Generelt for nedbørfelt i dette størrelsessegmentet benyttes derfor en vektet verdi på 2600 l/s pr.km<sup>2</sup> og med 50 % klimapåslag i beregninger for dimensjonering av de kartlagte veikryssinger beskrevet i kapittel 4.4. Samlet gir dette en spesifikk verdi på 3900 l/s pr.km<sup>2</sup> for flommer med 200 års gjentaksintervall inkludert klimapåslag.

#### 4.8 Beregning av flom i nedbørfelt mindre enn 1 km<sup>2</sup>

Av nedbørsfelt som krysser den planlagte E39 traséen er det mer enn 50 nedbørfelt som er under 1 km<sup>2</sup>, hvorav det aller minste er ned til en størrelse på under 1 hektar. Det er benyttet NIFS for å beregne noen av de større feltene på over 0,2 km<sup>2</sup> (20 hektar) men for et titalls av de aller minste er det beregnet q<sub>200</sub> med bruk av den rasjonelle metode.

NVE anbefaler imidlertid ikke rasjonell metode benyttet på nedbørfelt større enn 0,5 km<sup>2</sup> mens Statens vegvesen (N200, 2018) krever at metoden benyttet på alle nedbørfelt under 2 km<sup>2</sup>.

I Håndbok N200 Vegbygging (Statens vegvesen, juli 2018 og 2014) er denne metodikken beskrevet for beregninger av flommer med opptil 200 års gjentaksintervall.

Den rasjonelle formel for avrenning er som følger:

$$Q \text{ (l/s)} = c \cdot i \cdot A \cdot K_f$$

der

- c = avrenningsfaktor, ubenevnt
- i = dimensjonerende nedbørintensitet, l/(s·ha)
- A = feltareal, ha
- K<sub>f</sub> = klimafaktor

Avrenningsfaktoren (c) velges ut fra arealbruk og en midlere veiet avrenningsfaktor beregnes for nedbørfeltene. I dette området består nedbørfeltene for det meste av skog og noe dyrket mark. Skogsområder gir en C-verdi mellom 0.2 – 0.5, mens dyrket mark og parkområder gir en C-verdi mellom 0.2 – 0.4. De lave C-verdiene benyttes for konsentrasjonstider på under en time, de høye for konsentrasjonstider over tre timer.

En viktig inngangsparameter i en beregning med den rasjonelle formel er dimensjonerende nedbørintensitet, som må finnes for en nærliggende målestasjon. For dette området er det valgt å benytte estimerte nedbørintensiteter fra Lyngdal som vist i Figur 21 og Figur 22. Dimensjonerende nedbørintensitet tas ut fra IVF-kurven på bakgrunn av beregnet konsentrasjonstid i nedbørfeltet.

Benyttes IVF verdier fra den mest nærliggende målestasjonen, SN39150 Kristiansand – Sømskleiva, vil verdiene ligge rundt 10 % under for de korteste varighetene og 10 % over for de lengre varighetene. Målestasjonen SN44190 Time, noe lenger nordvest, har lignende verdier for de korteste varighetene, men betraktelig lavere for de lengre varighetene. Plassering av målestasjonene er vist i Figur 20.

For døgnverdier er verdiene om lag 80 % lavere. Det beskrives på <https://klimaservicesenter.no> at «Estimerte IVF-verdier fra steder uten målinger bør derimot foreløpig ikke brukes til dimensjonering, fordi de evalueres og forbedres fortsatt». Det anses imidlertid at de benyttede verdier, som i

beregningene i all hovedsak dreier som nedbør med kort varighet, er sammenlignbare for de meteorologiske stasjonene og i området for øvrig.

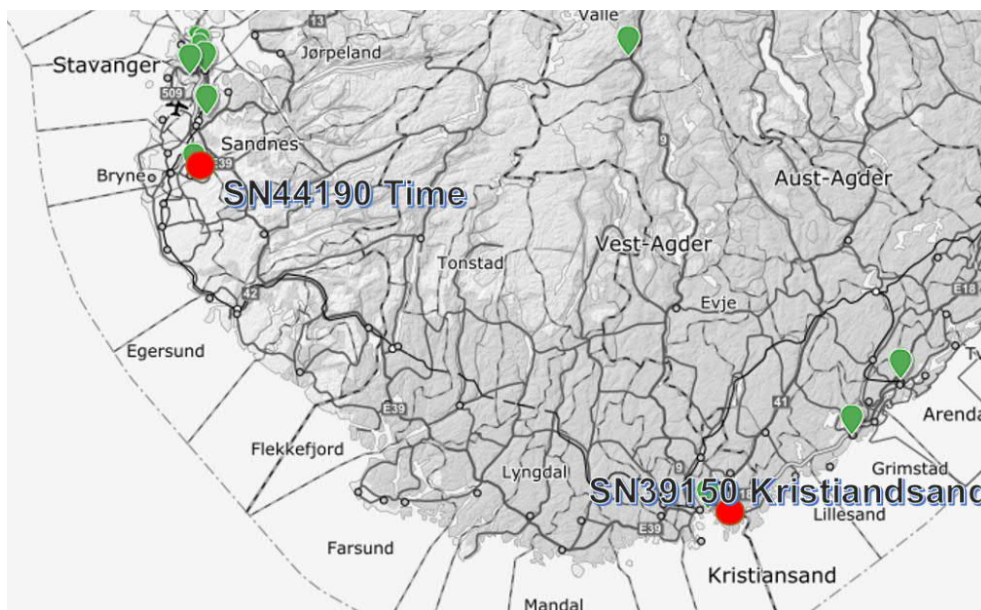
For naturlige felt (ikke utbygde felt) beregnes konsentrasjonstiden (varigheten) som følger:

$$t_c = 0,6 \cdot L \cdot H - 0,5 + 3000 \cdot A_{se}$$

der

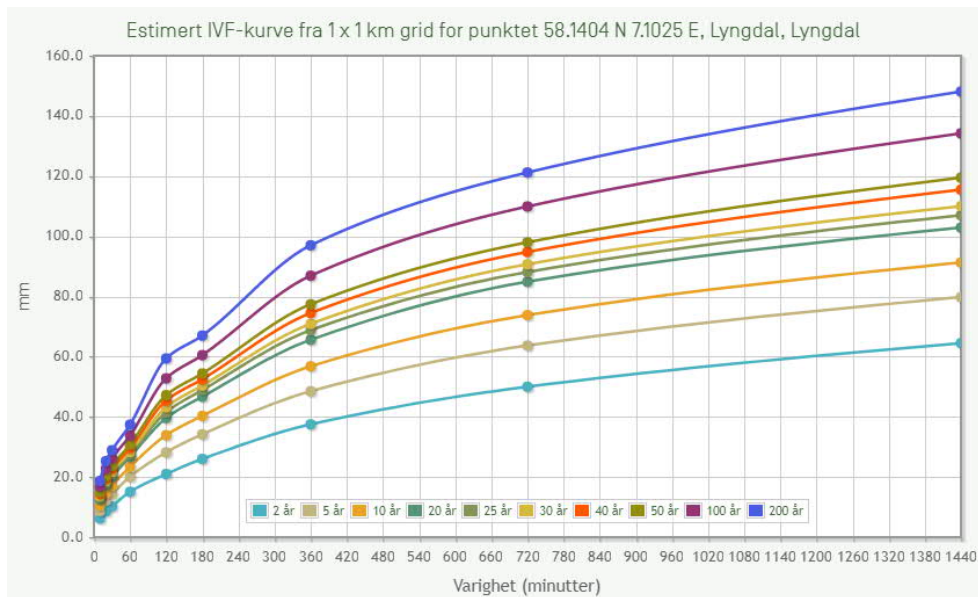
- $t_c$  = konsentrasjonstid, minutter
- $L$  = lengde av feltet, m
- $H$  = høydeforskjellen i feltet, m
- $A_{se}$  = andel innsjø i feltet

Klimafaktoren skal inkludere en økning i avrenning som følge av forventede klimaendringer. Den er i Håndbok N200 (versjon 2018) anbefalt som 1,3 for flommer med returperiode 200 år i Agder med et ytterligere påslag på 10 % grunnet sikkerhetsklasse F2. Samlet anbefalt klimapåslag vil dermed være 43 %.

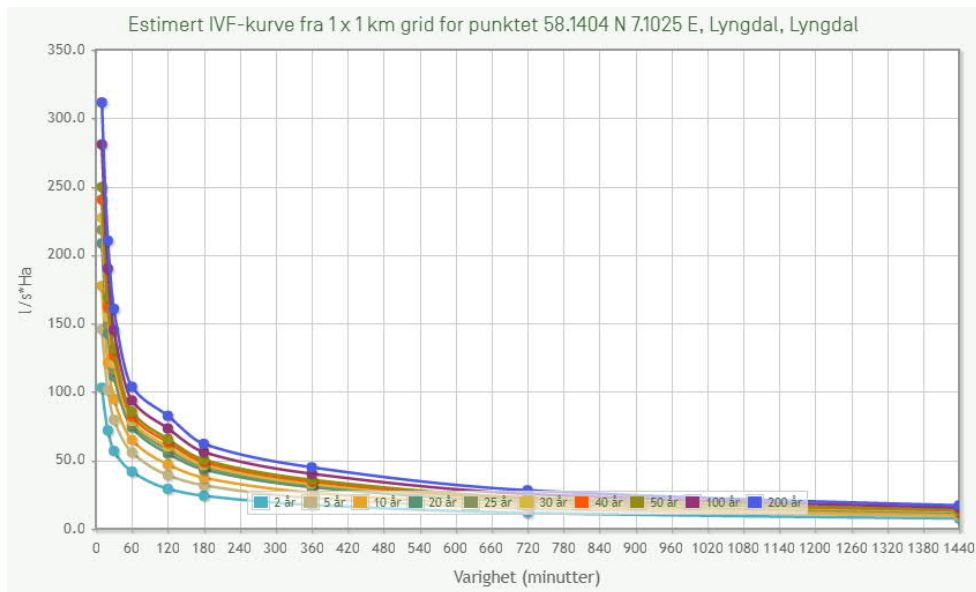


Figur 20 Meteorologiske målestasjoner med IVF-kurver i regionen.





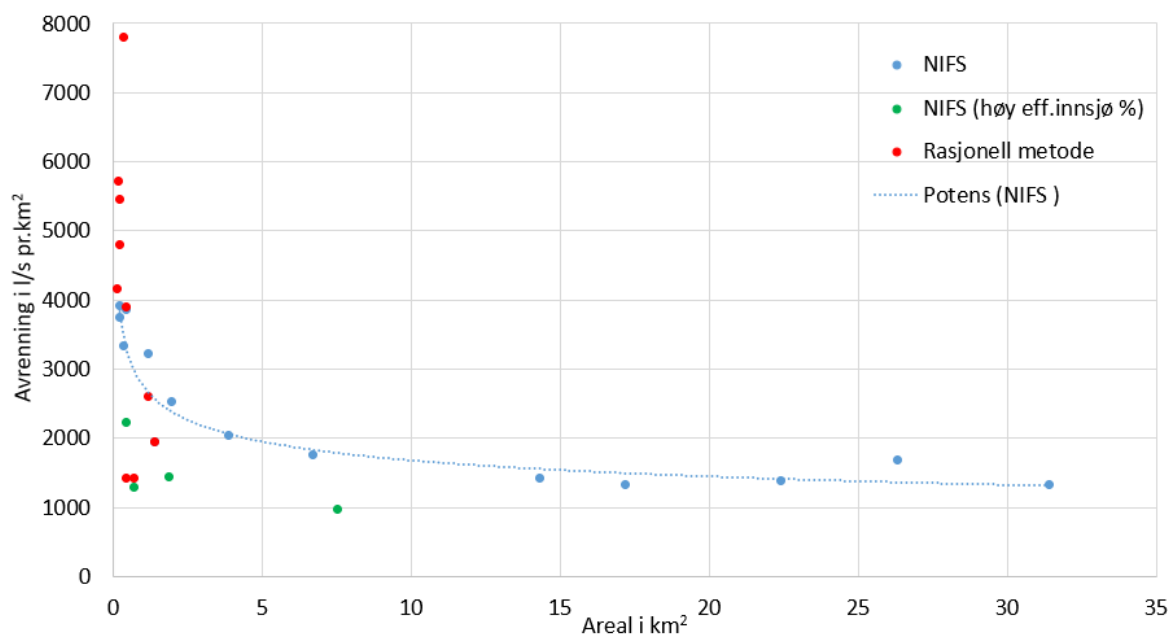
Figur 21 Estimert IVF-kurve i mm for Lyngdal. Data fra Norsk klimaservicesenter.



Figur 22 Estimert IVF-kurve i l/s pr.ha for Lyngdal. Data fra Norsk klimaservicesenter

Tilstedeværelse av mindre vann i de små nedbørfeltene slår spesielt kraftig ut med reduserte avrenningsverdier. I motsatt tilfelle er svært bratte felt ekstremt raske i den hydrologiske responsen og vil dermed ha svært så høye verdier.

I Figur 23 er alle beregninger plottet sammen og benyttet som grunnlag for anbefalte verdier som vist i kapittel 4.8.1. Plottet trendlinje gir en  $R^2$  verdi på 0,91, dvs en høy grad av korrelasjon.



Figur 23 Spesifikke flomstørrelser beregnet med NIFS og rasjonell metode for små felt. Trendlinje er tilpasset NIFS.

#### 4.8.1 Anbefalte flomverdier til bruk i flomvurdering

Det er gjort beregninger og forutsetninger basert på nasjonalt formelverk (NIFS), rasjonell formel, NVEs erfaringstall i området, tidligere flomberegninger i området og vurderinger av klimapåslag for små og store felt. På bakgrunn av dette anbefales det spesifikke flomverdier avhengig av nedbørfeltstørrelse som vist i Tabell 9.

Tabell 9 Anbefalte spesifikke flomstørrelser for gitte nedbørfeltstørrelser

Feltstørrelse, km <sup>2</sup>	Kulminasjon - Q200 l/s/km <sup>2</sup>	Klimapåslag, %	Kulminasjon med klimapåslag - Q200 l/s/km <sup>2</sup>
< 0,5	5500	50	8250
0,5 - 1	3500	50	5250
1-10	2600	50	3900
10 - 100	1700	40	2380
> 100	950 (Audna)	20	1140

>1000	685 (Mandalselva)	20	822
-------	-------------------	----	-----

## 5 Beregnede flomverdier i krysningspunkt for foreslått ny E39 i Lindesnes kommune

Med bakgrunn i verdiene i Tabell 9 er det beregnet flomverdier for alle krysningspunkter for nedbørfelt langs foreslått ny E39 i Lindesnes kommune. Plasseringen av punktene er vist i Figur 15 - Figur 19.

Tabell 10 Beregnede flomverdier for krysningspunktene over foreslått ny trasé for E39 i Lindesnes kommune.

Delfelt nummer	NAVN	Delfelt (Areal i km <sup>2</sup> )	Delfelt (areal i hektar)	Samlet oppstrøms areal i km <sup>2</sup>	q200 spesifikk flomverdi i l/s pr.km <sup>2</sup>	Klimapåslag i %	Q200 inkludert klimapåslag i l/s
6.0	Bjellandsbekken	6.581	658.1	6.633	2600	50	26095
6.1		0.052	5.2	0.052	5500	50	429
7		0.176	17.6	0.176	5500	50	1455
8	Høylandsbekken	2.081	208.1	2.081	2600	50	8114
9	Slupsedalen	0.232	23.2	0.232	5500	50	1918
10		0.047	4.7	0.047	5500	50	390
11		0.068	6.8	0.068	5500	50	564
12		0.370	37.0	0.370	5500	50	3051
13		0.370	37.0	0.370	5500	50	3052
14		0.092	9.2	0.092	5500	50	764
15		0.203	20.3	0.203	5500	50	1671
16	Bekk til Faksevatnet	0.122	12.2	0.122	5500	50	1008
17	Bekk til lille Faksevann	0.453	45.3	0.453	5500	50	3738
18		0.025	2.5	0.025	5500	50	210
19	Bekk til Landåstønna	0.197	19.7	0.197	5500	50	1623
20		0.047	4.7	0.047	5500	50	392
21.0		0.080	8.0	0.520	5500	50	4295
21.1	Bekk fra Storfedstjønna	0.440	44.0	0.440	5500	50	3633
22	Saurdalen	0.291	29.1	0.291	5500	50	2404
23.0	Audna	397	39709	397.1	950	20	452988
23.1		0.036	3.6	0.036	5500	50	298
24.0	Skofftelandsbekken (nedstrøms E39)	0.117	11.7	3.682	5500	50	15995
24.1	Skofftelandsbekken v/E39	3.306	330.6	3.565	2600	50	15031
24.2		0.134	13.4	0.259	5500	50	2137
24.3		0.067	6.7	0.067	5500	50	549
24.4		0.058	5.8	0.058	5500	50	480
25	Rosheitjønna	0.149	14.9	0.149	5500	50	1233
26.0	Slåttelona	1.476	147.6	24.100	1700	40	57358
26.1		0.082	8.2	0.082	5500	50	675
26.2		0.038	3.8	0.038	5500	50	316
26.3	Storbekken nedstrøms Grundelandsvatn	3.326	332.6	22.503	1700	40	53557
26.4		0.012	1.2	0.012	5500	50	96
26.5		0.042	4.2	0.042	5500	50	351
26.6		0.044	4.4	0.044	5500	50	363
26.7		0.180	18.0	0.180	5500	50	1490
26.8		0.051	5.1	0.051	5500	50	423
26.9	Blørstadbekken	1.289	128.9	1.411	2600	50	6036
26.10		0.097	9.7	0.097	5500	50	804
26.11		0.025	2.5	0.025	5500	50	204
26.12	Grundelandsvatnet	17.165	1716.5	17.343	1700	40	42317
26.13		0.023	2.3	0.023	5500	50	192
26.14		0.082	8.2	0.082	5500	50	675

26.15		0.072	7.2	0.072	5500	50	597
26.16		0.075	7.5	0.075	5500	50	621
26.17		0.018	1.8	0.018	5500	50	147
27		0.019	1.9	0.019	5500	50	158
28		0.011	1.1	0.011	5500	50	93
29	Fasselandsvatnet	6.141	614.1	6.141	2600	50	23949
30	Storebekken	7.318	731.8	7.318	2600	50	28540
31		0.012	1.2	0.012	5500	50	99
32		0.013	1.3	0.013	5500	50	111
33		0.161	16.1	0.161	5500	50	1329
34	Surtejtønna	1.668	166.8	1.668	2600	50	6507
35		0.033	3.3	0.033	5500	50	270
36.0		0.263	26.3	0.397	5500	50	3275
36.1		0.134	13.4	0.134	5500	50	1107
37		0.154	15.4	0.154	5500	50	1272
38	Djubedalen	0.312	31.2	0.312	5500	50	2571
39.0	Mandalselva	1795	179495	1796	685	20	1482187
39.1		0.027	2.7	0.027	5500	50	220
39.2	Bjerland	0.111	11.1	0.111	5500	50	914
39.3		0.003	0.3	0.003	5500	50	28
39.4		0.048	4.8	0.048	5500	50	393
39.5		0.117	11.7	0.117	5500	50	966
39.6		0.062	6.2	0.062	5500	50	510
39.7		0.034	3.4	0.034	5500	50	278
39.8		0.046	4.6	0.046	5500	50	382
39.9	Stemmen	0.268	26.8	0.268	5500	50	2212
39.10	Bekk fra Langmyra	0.101	10.1	0.101	5500	50	830

## 5.1 Vurderinger av antatt krysningsløsning

Det er som vist ovenfor kartlagt hvor det antas å være behov for en rør/kulvert/bro løsning for å sikre frie vannveier gjennom planlagt E39. Det er også gjort en grov vurdering for hvilken type løsning det anses behov for og som foreslås i 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 muffeende

Tabell 11 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 m<sup>3</sup>/s
- Stor kulvert for vannføringer mellom 20-40 m<sup>3</sup>/s
- Mulig bro for vannføringer > 40 m<sup>3</sup>/s

Når det gjelder de mulige kulvertløsninger for vannføringer mellom 8-40 m<sup>3</sup>/s, er det på hvert enkelt sted vurdert helning og lengde fra oppstrøms til mulig utløp, og på bakgrunn av dette gitt behov for tverrsnitt basert på beregninger foretatt med «Hydraulic toolbox» og på enkelte steder modellert med Hec-ras 6.0.

For hver enkelt av krysningspunktene er det gitt antatt løsning i de kommende tabellene.

Tabell 12 Krysningspunkter med løsningsforslag

Delfelt nummer	NAVN	Samlet oppstrøms areal i km <sup>2</sup>	Q200 inkludert klimapåslag i l/s	Foreslått løsning	Beregnet dimensjon
6.0	Bjellandsbekken	6.633	26095	Stor kulvert	
6.1		0.052	429	Rør	800mm, 2x500mm
7		0.176	1455	Rør	1200mm, 2x800mm
8	Høylandsbekken	2.081	8114	Bro	Bro
9	Slupsedalen	0.232	1918	Rør	1200mm, 2x1000mm
10		0.047	390	Rør	800mm, 2x500mm
11		0.068	564	Rør	800mm, 2x600mm
12		0.370	3051	Rør	1400mm, 2x1200mm
13		0.370	3052	Rør	1400mm, 2x1200mm
14		0.092	764	Rør	800mm, 2x600mm
15		0.203	1671	Rør	1200mm, 2x1000mm
16	Bekk til Faksevatnet	0.122	1008	Bro	Bro
17	Bekk til lille Faksevatn	0.453	3738	Rør	1600mm, 2x1200mm
18		0.025	210	Rør	500mm
19	Bekk til Landåstønna	0.197	1623	Rør	1200mm, 2x1000mm
20		0.047	392	Rør	800mm, 2x500mm
21.0		0.520	4295	Rør	2000mm, 2x1400mm
21.1	Bekk fra Storfedstjønna	0.440	3633	Rør	1600mm, 2x1200mm
22	Saurdalen	0.291	2404	Rør	1400mm, 2x1000mm
23.0	Audna	397.133	452988	Bro	Bro
23.1		0.036	298	Rør	600mm, 2x500mm
24.0	Skoftelandsbekken (nedstrøms E39)	3.682	15995	Kulvert	
24.1	Skoftelandsbekken v/E39	3.565	15031	Kulvert	
24.2		0.259	2137	Rør	1400mm, 2x1000mm
24.3		0.067	549	Rør	800mm, 2x600mm
24.4		0.058	480	Rør	800mm, 2x500mm
25	Rosheitjønna	0.149	1233	Rør	1000mm
26.0	Slåttelona	24.100	57358	Bro	Bro
26.1		0.082	675	Rør	800mm, 2x600mm
26.2		0.038	316	Rør	600mm, 2x500mm
26.3	Storbekken nedstrøms Grundelandsvatn	22.503	53557	Bro	Bro
26.4		0.012	96	Diffus til skjæringsgrøft	
26.5		0.042	351	Rør	600mm, 2x500mm
26.6		0.044	363	Diffus til skjæringsgrøft	
26.7		0.180	1490	Rør	1200mm, 2x800mm
26.8		0.051	423	Rør	800mm, 2x500mm
26.9	Blørstadbekken	1.411	6036	Kulvert	
26.10		0.097	804	Rør	1000mm, 2x800mm
26.11		0.025	204	Diffus til skjæringsgrøft	
26.12	Grundelandsvatnet	17.343	42317	Bro	Bro
26.13		0.023	192	Rør	500mm

26.14		0.082	675	Rør	800mm, 2x600mm
26.15		0.072	597	Rør	800mm, 2x600mm
26.16		0.075	621	Rør	800mm, 2x600mm
26.17		0.018	147	Diffus til skjæringsgrøft	
27		0.019	158	Diffus til skjæringsgrøft	
28		0.011	93	Diffus til skjæringsgrøft	
29	Fasselandsvatnet	6.141	23949	Stor kulvert	
30	Storebekken	7.318	28540	Stor kulvert	
31		0.012	99	Diffus til skjæringsgrøft	
32		0.013	111	Diffus til skjæringsgrøft	
33		0.161	1329	Rør	1000mm, 2x800mm
34	Surtetjønnna	1.668	6507	Rør	2000mm, 2x1600mm
35		0.033	270	Diffus til skjæringsgrøft	
36.0		0.397	3275	Rør	1600mm, 2x1600mm
36.1		0.134	1107	Rør	1000mm, 2x800mm
37		0.154	1272	Rør	1000mm, 2x800mm
38	Djubedalen	0.312	2571	Bro	Bro
39.0	Mandalselva	1795.772	1482187	Bro	Bro
39.1		0.027	220	Rør	500mm
39.2	Bjerland	0.111	914	Rør	1000mm, 2x800mm
39.3		0.003	28	Diffus til skjæringsgrøft	
39.4		0.048	393	Rør	800mm, 2x500mm
39.5		0.117	966	Rør	1000mm, 2x800mm
39.6		0.062	510	Rør	800mm, 2x600mm
39.7		0.034	278	Rør	600mm, 2x500mm
39.8		0.046	382	Rør	800mm, 2x500mm
39.9	Stemmen	0.268	2212	Rør	1400mm, 2x1000mm
39.10	Bekk fra Langmyra	0.101	830	Bro	

## 6 Isgang

Klimaendringer med økt temperatur gir kortere perioder med is, og mindre og tidligere vårisganger. På grunn av omfattende reguleringer av vassdragene i Agder er det i dag sjeldent skader på grunn av isganger. Likevel går det, ved mildvær og store nedbørhendelser som regn, vinterisganger i en sone litt inn fra kysten. Denne sonen vil gradvis flyttes lenger inn i landet og til større høyder over havet.

Utover i dette århundret ventes vinterisganger å skje hyppigere og høyere opp i vassdrag enn i dag, og også i andre vassdrag enn det som tidligere har vært vanlig. Elver nær kysten blir nesten isfrie.

## 7 Havnivå, stormflo og bølgepåvirkning

Havnivåstigningen kan føre til at stormflo og bølger strekker seg lenger inn på land, enn hva som er tilfelle i dag. Dette kan føre til skader på bebyggelse og infrastruktur på grunn av oversvømmelse i områder hvor en i dag ikke har registrert skader.

I Lindesnes kommune er foreslått trasé for E39 ikke berørt av dette.

## 8 Klima

Det er generelt store kontraster i klimaet mellom ulike deler av Agder. Nær kysten er klimaet mildt og med gjennomsnittlig årstemperatur på nesten 8 °C, mens fjellstrøkene i indre strøk har årstemperatur på under 0 °C. Vinterstid kan det bli kaldere enn -30 °C i indre dalstrøk, mens det på varme sommerdager kan bli over 30 °C både ved kysten og i dalstrøkene innenfor. Sommerstid er kyststrøkene i Agder blant de varmeste og mest solrike i landet.

Årsnedbøren varierer fra under 1000 mm ytterst ved kysten, til over 2500 mm i de vestligste fjellområdene.

### 8.1 Målestasjoner

Met.no (DNMI) drifter flere stasjoner i området, hvorav 41825 Lyngdal og 41090 Mandal er vist i mer detalj. Stasjonenes plassering er vist i kart i Figur 24.

41090 Mandal ligger i Lindesnes kommune, 10 m o.h. Stasjonen ble opprettet i august 2009 og erstatter tidligere stasjoner på samme sted. Stasjonen måler nedbør og temperatur. 41825 Lyngdal målestasjon ligger i Lyngdal kommune, 6 m o.h. Stasjonen ble opprettet i januar 2005 og erstatter tidligere stasjoner på samme sted. Stasjonen måler nedbør og temperatur.



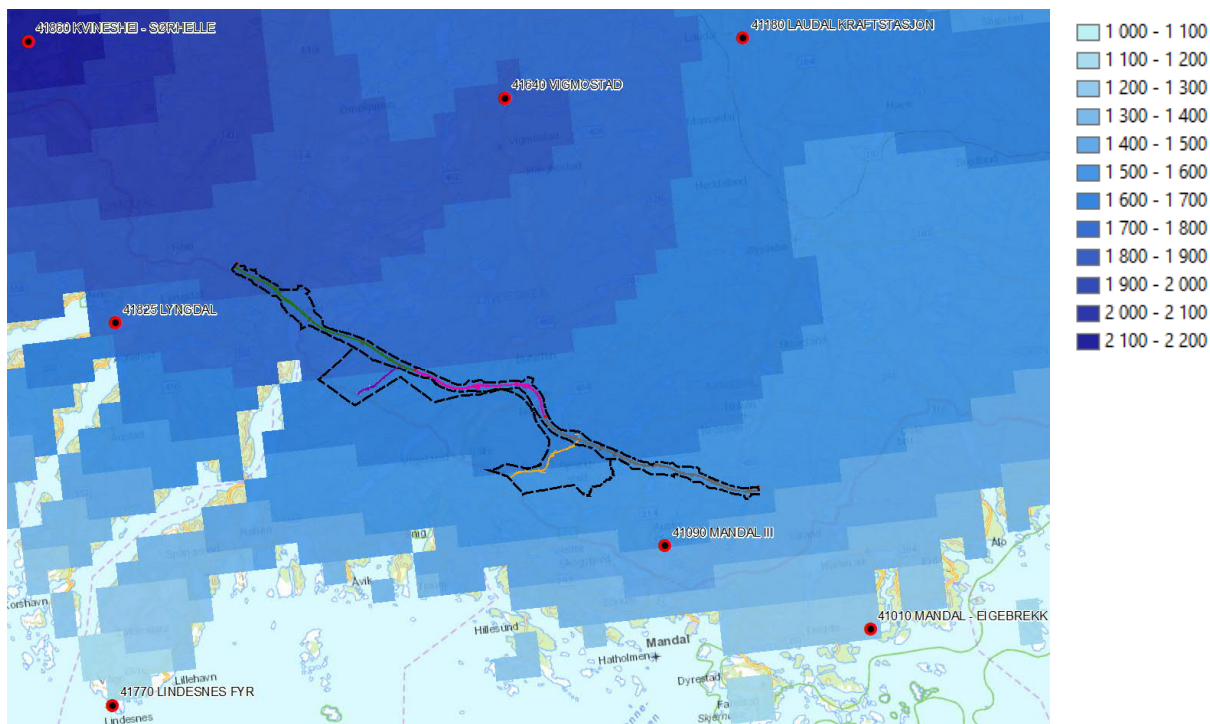


Figur 24 Plassering av meteorologiske målestasjoner

Begge stasjoner (med tidligere stasjoner) har måleperiode som dekker normalperioden 1961-1990. Klimatiske data hentes fra [www.eklima.no](http://www.eklima.no), som driftes av Met.no. I tillegg benyttes underlag og tjenester fra [www.senorge.no/](http://www.senorge.no/) og [www.xgeo.no/](http://www.xgeo.no/) som driftes sammen med NVE.

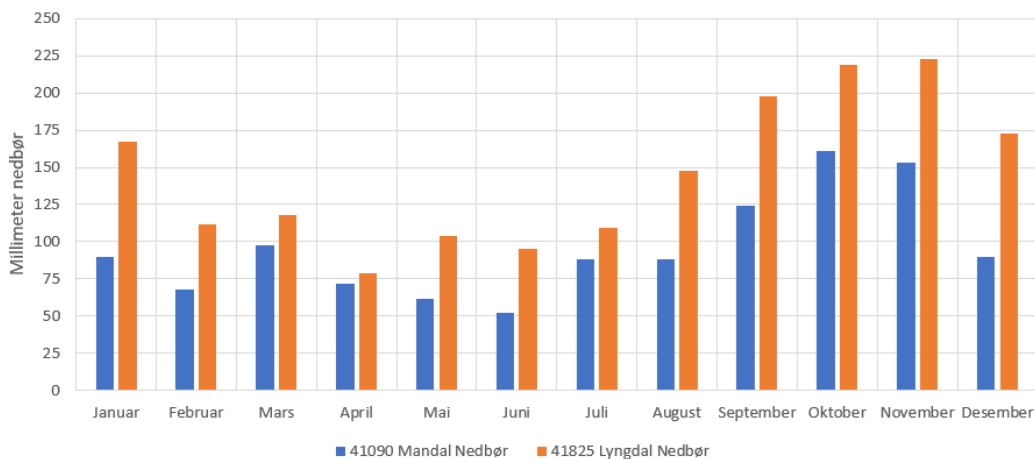
## 8.2 Nedbør

Nedbøren har høstmaksimum. Årsnedbøren er på om lag 1500 mm i østre punkt av linjen, økende mot 1800 mm nordvestover. Geografisk fordeling er vist i Figur 25.



Figur 25 Nedbørnormaler i regionen i mm pr.år

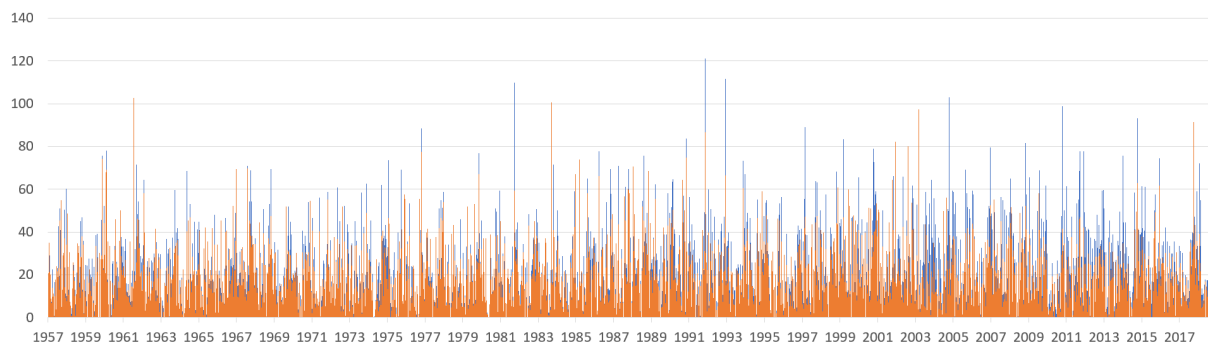
(Data fra met.no)



Figur 26 Nedbørnormal, månedsnedbør, ved nærliggende målestasjoner

(Data fra met.no)

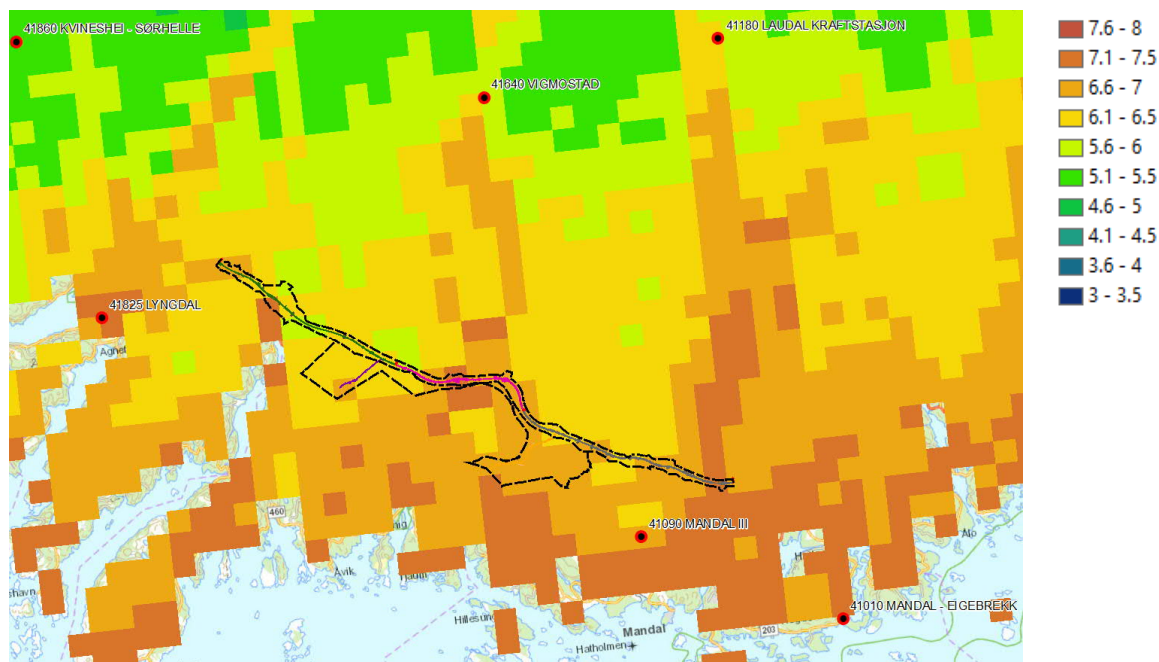
Det er fra Xgeo.no tatt ut modellerte døgnsummer for perioden 1957-2018, for to punkter vest og øst på linjen. Maksimale døgnverdier er som regel under 80 mm, men kan enkelte år komme opp i over 100 mm. Maksimalt modellert i denne perioden er 121 mm.



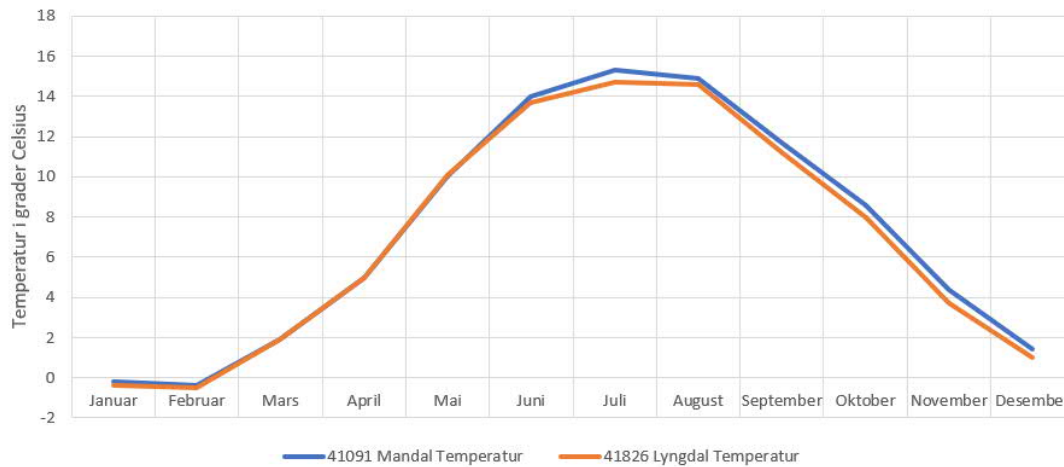
Figur 27 Modellerte døgnsummer for perioden 1957-2018, for to punkter vest og øst på linjen. Data fra Xgeo.

### 8.3 Temperatur

Månedsmiddeltemperaturen for januar ligger så vidt under 0°C ved de to målestasjonene. Julimidlene er ca. 14 °C. Temperaturene kan anses å synke ca. 2/3 grad per 100 m oppover i høyden. Vinterstid kan det bli kaldere enn -30 °C i indre dalstrøk, mens det på varme sommerdager kan bli over 30 °C både ved kysten og i dalstrøkene innenfor. Temperaturnormalene, årlig middeltemperatur i grader celsius er vist i Figur 28.



Figur 28 Temperaturnormaler i regionen, årlig middeltemperatur i grader Celsius. (Data fra met.no)



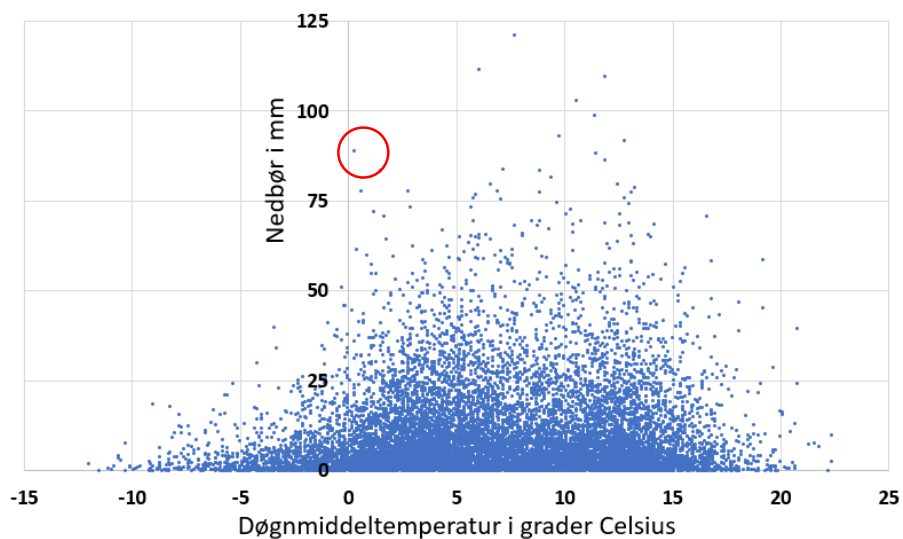
Figur 29 Temperaturnormal ved nærliggende målestasjoner

(Data fra met.no)

## 8.4 Snø

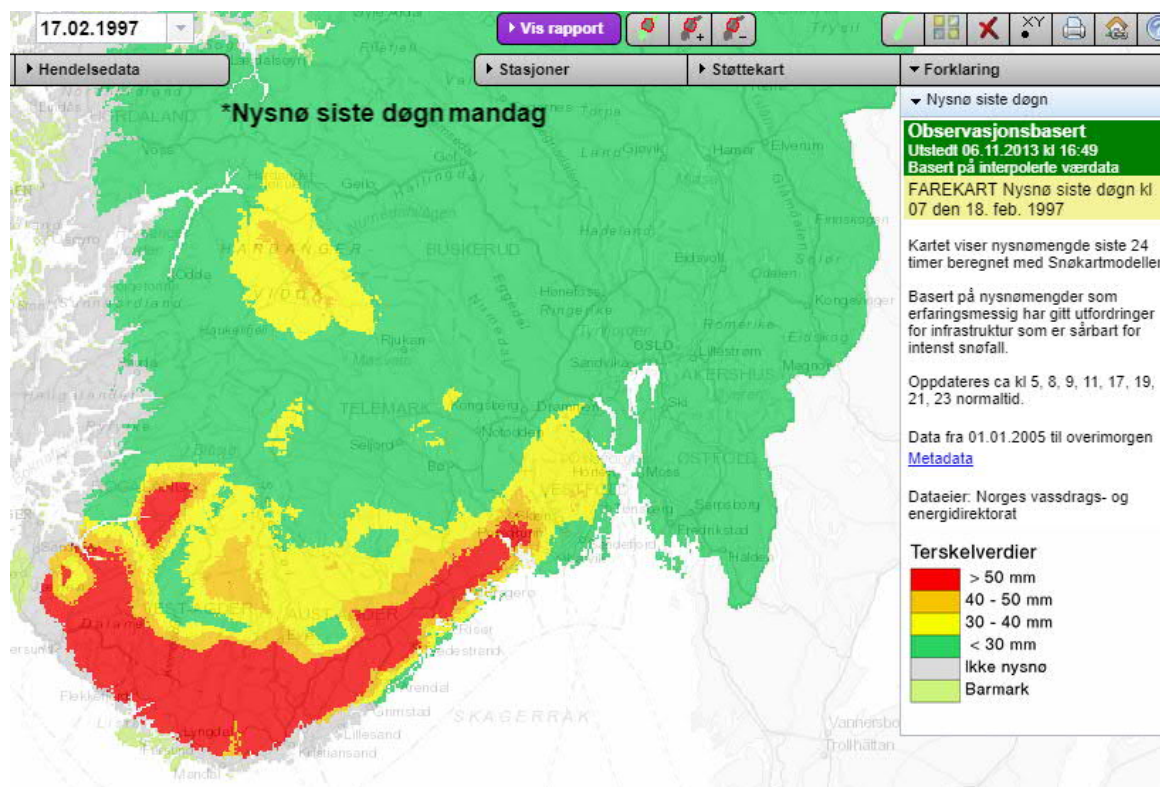
Nedbør i form av snø kan utgjøre en utfordring for vedlikehold og sikkerhet på infrastruktur som vei, kraftlinjer etc. Store nedbørmengder, spesielt i form av tung våt snø, kan forårsake linjebrudd på kraftlinjer, knekte trær og behov for ekstraordinær innsats for å holde veibane fri for snø.

Det er fra xgeo.no tatt ut modellerte døgnsummer for perioden 1957-2018 og på dette grunnlaget foretatt en analyse av sammenhengen mellom nedbør og temperatur på et punkt langs den foreslåtte traséen for å vurdere hvor store nedbørmengder den kan forventes å falle som snø. Data er fra 250 meters høyde over havet. Som vist i Figur 30 kan man regne med opp mot 100 mm nedbør som snø. Dette kan utgjøre opp mot 75-100 cm snødekke i løpet av et døgn.



Figur 30 Relasjon mellom temperatur og nedbørsmengder langs foreslått ny trasé for E39 Mandal-Lyngdal. Kraftig nedbør den 17.02.1997 er markert med rød ring.

Den regionale utbredelsen av det ekstremt kraftige snøfallet den 17.02.1997 er vist i Figur 31.



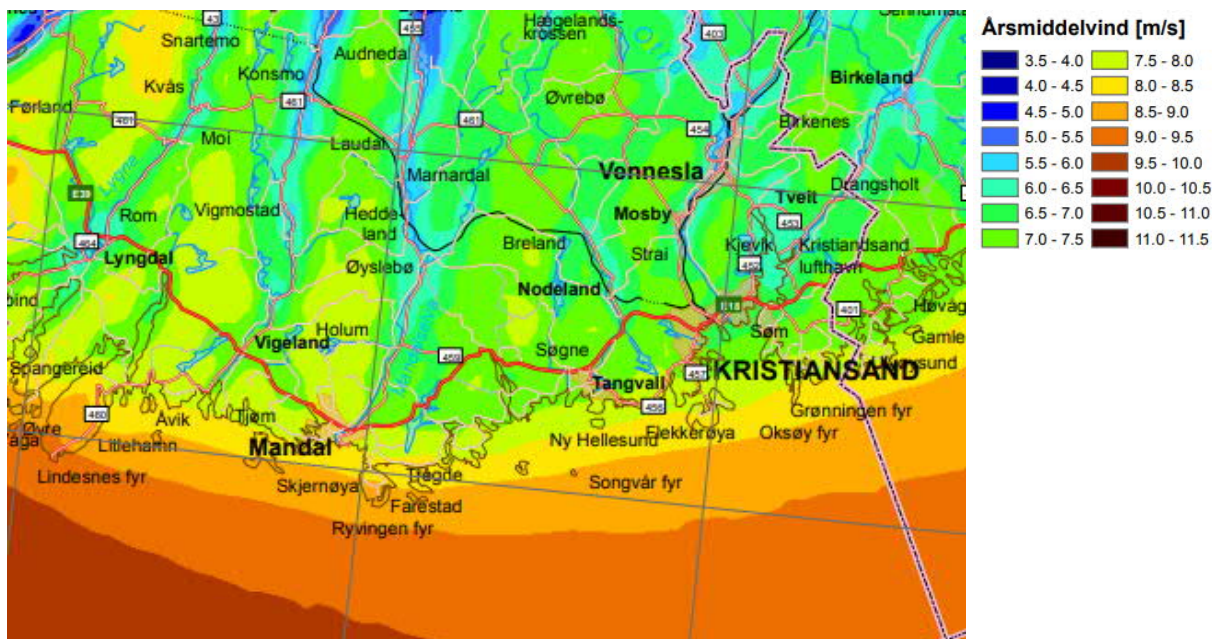
Figur 31 Nysnø i regionen i løpet av sist døgn under hendelsen den 17.02.1997.

## 8.5 Vind

Det er få målesteder for vind i innlandet langs den foreslåtte traséen. Plasseringen av målesteder i nærheten er vist i Figur 32 og viser at registreringene i hovedsak foregår på vindutsatte plasser på fyr. Utdrag fra vindkart er vist i Figur 33 men dette er vindkart hvor formålet er kartlegging av vindkraftpotensial og er data i 80 meters høyde over terreng. Klimamodellene gir ellers liten eller ingen endring i midlere vindforhold i dette århundret, men usikkerheten i framskrivningene for vind er stor.



Figur 32 Målepunkter for vind i regionen. Data fra 01.01.2019



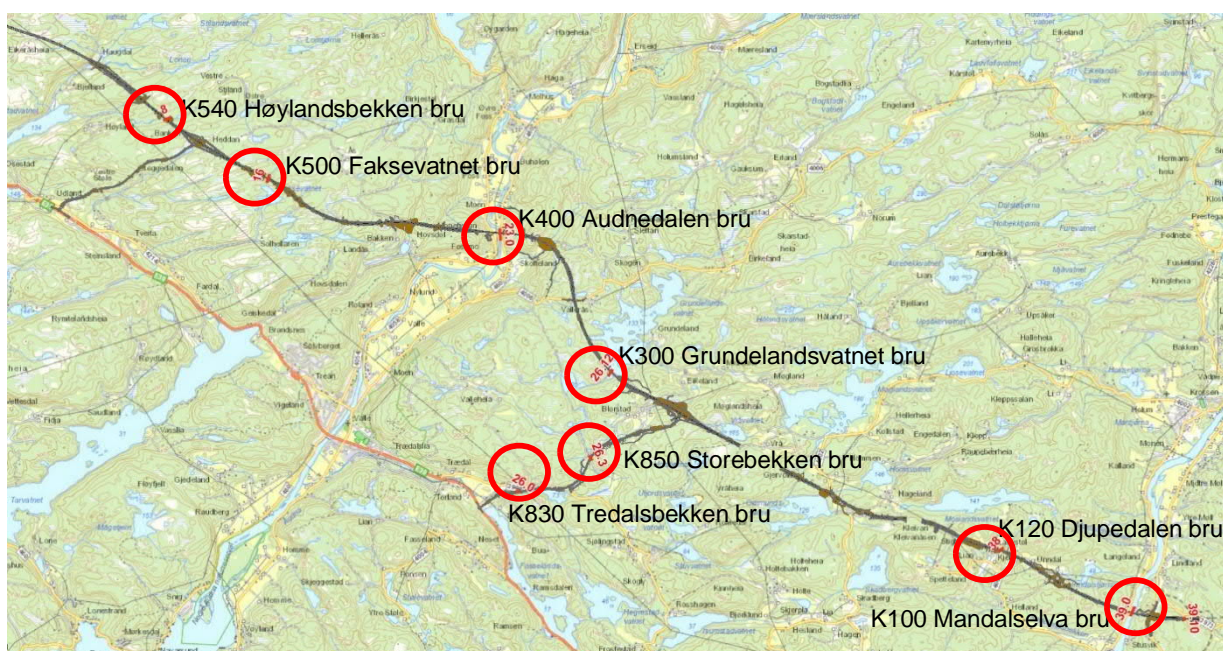
Figur 33 Utdrag fra vindkart for Norge, Årsmiddelvind i 80 m høyde. NVE 9/2009

## 9 Særskilte hydrologiske fokusområder

Her beskrives kort enkelte spesielle hydrologiske problemstillinger / fokusområder innenfor Lindesnes kommune.

### 9.1 Broløsninger

Alle forslåtte broløsninger gir tilstrekkelig kapasitet for de bekker/elver og vann de krysser, som vist på de neste sidene i Figur 35 til Figur 44. Broenes plassering er vist i oversiktskartet i Figur 34. For flere av brostedene er det i tillegg utført hydraulisk modellering med modellverktøyet Hec-Ras 6.0.



Figur 34 Oversiktskart for krysningpunkt med bro på den foreslåtte strekningen med ny E39 i Lindesnes kommune.

### 9.1.1 Høylandsbekken bru

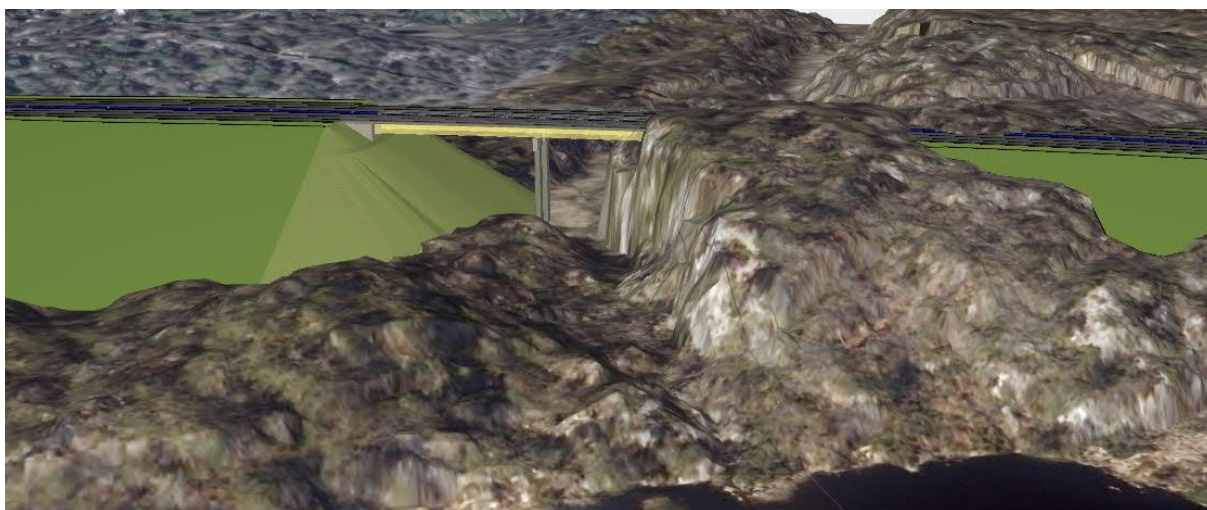
Oppstrøms Høylandsbekken bru er det et nedbørfelt på om lag 2 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 8,1 m<sup>3</sup>/s. I dalbunnen under brua må bekken legges noe om.



Figur 35 Høylandsbekken bru, sett oppstrøms.

### 9.1.2 Faksevatnet bru

Oppstrøms Faksevatnet bru er det et veldig lite nedbørfelt på kun 0,1 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 1,0 m<sup>3</sup>/s.

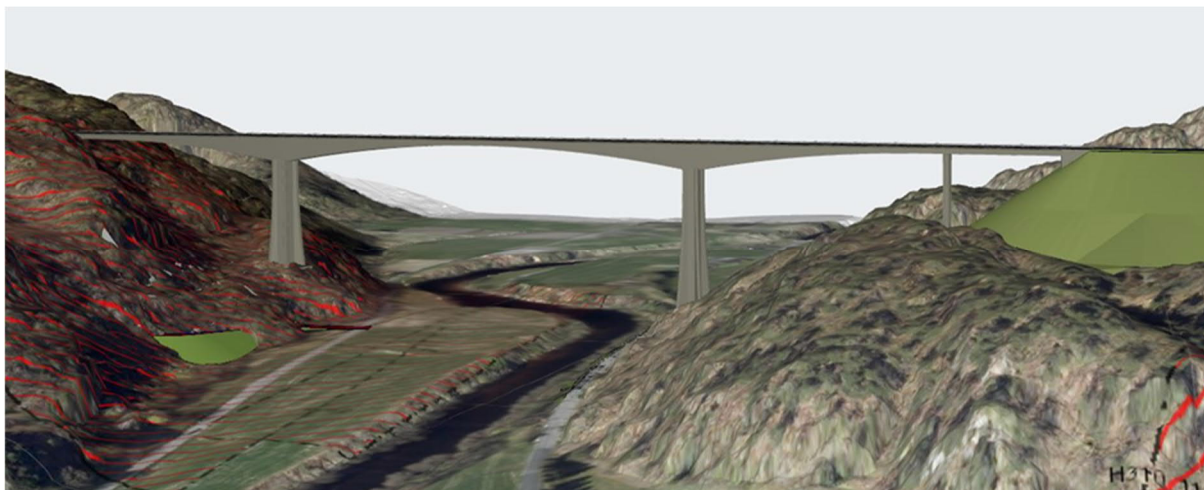


Figur 36 Faksevatnet bru, sett oppstrøms.



### 9.1.3 Audnedalen bru

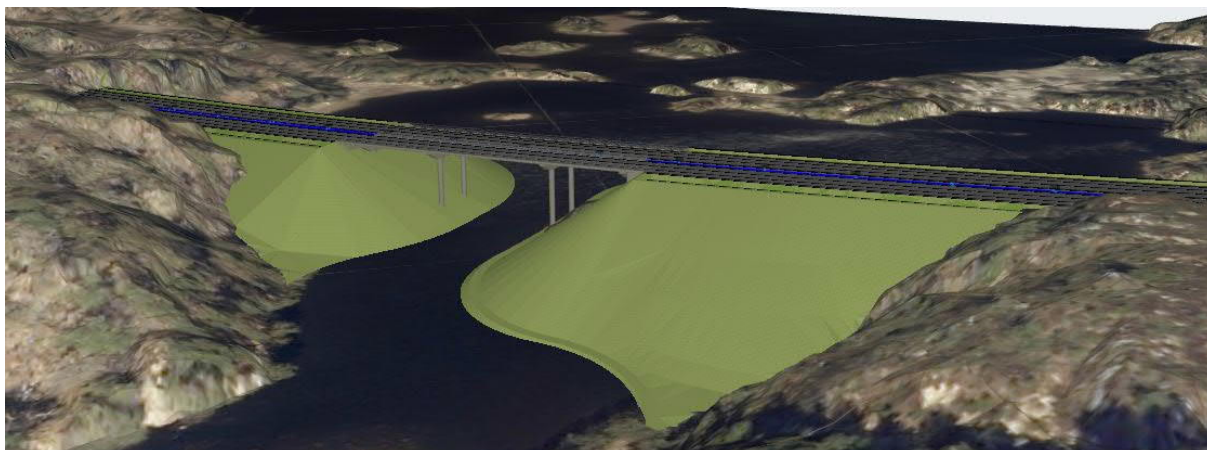
Oppstrøms Audnedalen bru er det et nedbørfelt på 397 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 453 m<sup>3</sup>/s.



Figur 37 Audnedalen bru, sett oppstrøms.

### 9.1.4 Grundelandsvatnet bru

Ved Grundelandsvatnet går ny E39 på en tilløpsfylling som i øst følger en odde som går ut i vannet. Denne fyllingen avsluttes der odden slutter. Tilløpsfyllingen i vest er ført ut i vannet og det er et ca. 20 m bredt vannspeil mellom fyllingene. Oppstrøms er det et nedbørfelt på 17,3 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 42,3 m<sup>3</sup>/s.



Figur 38 Grundelandsvatnet bru, sett oppstrøms

Dagens bredde på vannløpet innsnevres betraktelig men hastigheten på vannet er imidlertid svært lav her og erosjonsrisikoen liten. Nedstrøms forhold vil fortsatt styre vannstandsstigningen i vannet og den nye fyllingen vil ikke påvirke dette.

#### 9.1.5 Djupedalen bru

Oppstrøms Djupedalen bru er det et lite nedbørfelt på kun 0,3 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 2,6 m<sup>3</sup>/s.



Figur 39 Djupedalen bru, sett oppstrøms.

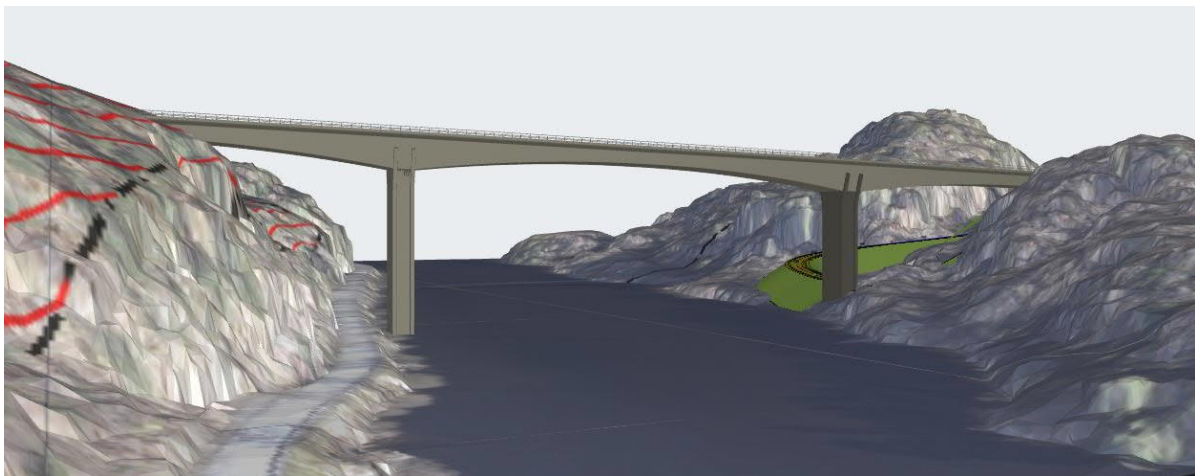
### 9.1.6 Mandalselva bru

Mandalselva har oppstrøms brokrysningen nedbørfelt på 1795 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 1475 m<sup>3</sup>/s. Elva er rundt 100 m bred på dette stedet og dybden er begrenset til under 3 m midt i elva ved normalvannstand. Inn mot elvebreddene er ganske grunt, spesielt langs vestsiden.

Bru over Mandalselva kan løses på flere ulike måter. Figur 40 viser beskrevet løsning foreslått i reguleringsplanen. Søylene på østsiden av elva står på land og er fundamenter på berg. Av hensyn til bruas byggemetode, er søylen på vestsiden plassert i elvebredden. Fundamentet er lagt under elvebunnen. Inngrepet i elva i byggefasen, men også i ferdigfasen mht. fisk, vannstrøm, flom, erosjon og eventuell isgang, blir begrenset ved denne bruløsningen.

I byggefasen kan det legges ut en midlertidig fylling i elva for å gi tilstrekkelig anleggsområde for bygging av fundament og søyle. Den midlertidige fyllingen i elva kan begrenset til rundt 20 m ut fra elvebredden og legges i elvebredden langs Daleveien.

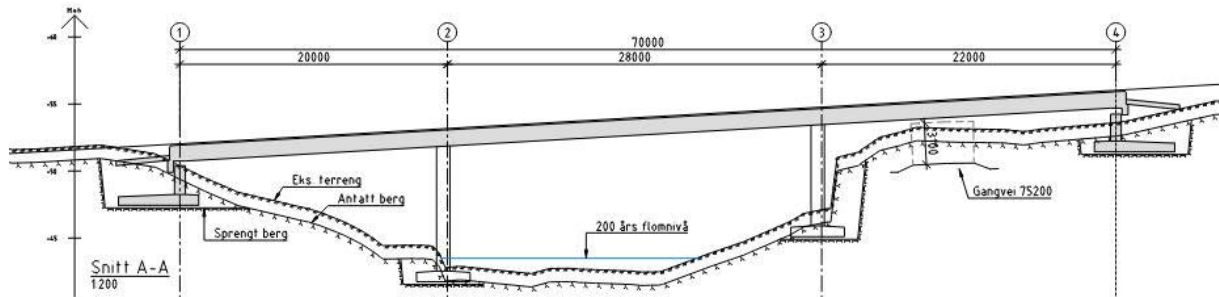
Det er ytterligere fire løsninger beskrevet i Fagrapport: Konstruksjon med forskjellige varianter av fundamentering og søyler plassert i elveleiet. Siden elva ved brustedet er forholdsvis grunn er det vanskelig å komme til med flåte for å etablere fundamenter og søyler ute i elva. Dette må i så fall utføres ved å legge ut midlertidig fylling ut til fundamentpunktet slik at man kan komme til med pelerigg og eventuell spuntrigg for etablering av byggegrop for fundamentet.



Figur 40 Foreslått bruløsning Mandalselva, sett oppstrøms. Punkt 39.

Ved anleggelse av pillarer og fundamenter ved brokryssing av Mandalselven er det spesielt viktig at fundamenter og pillarer tilpasses vannhastigheter og bunnsbunnsforhold på angjeldene steder for å unngå erosjonsproblemer og oppstuvning av vannmasser. Den hydrauliske effektene av de forskjellige løsningene bør vurderes nærmere i neste prosjektfase.

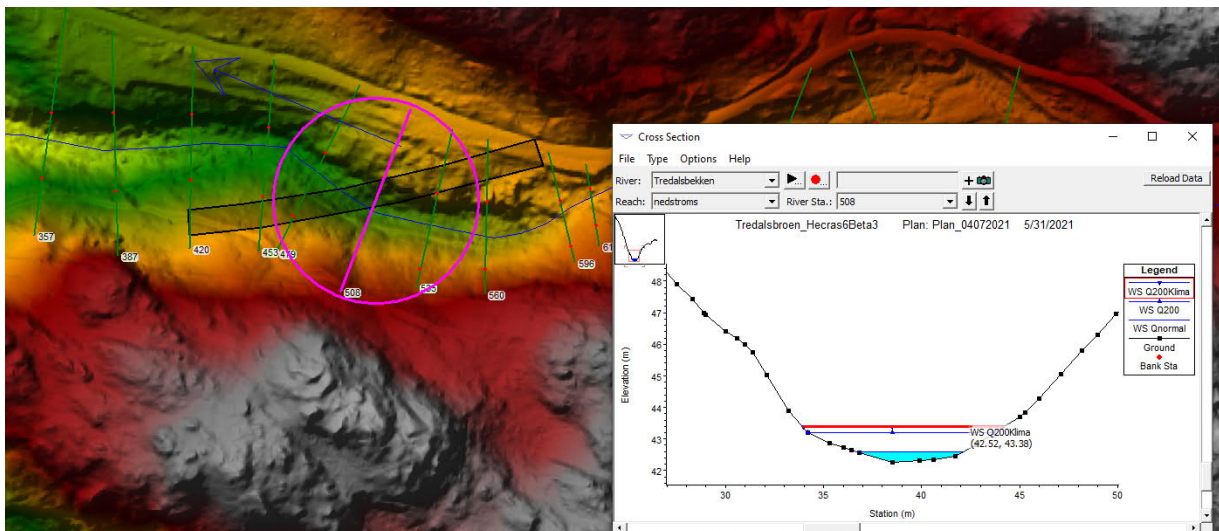
### 9.1.7 Tredalsbekken bru



Figur 41 Tredalsbekken bru

Tredalsbekken har oppstrøms brokrysningen et nedbørfelt på 24,1 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 57,35 m<sup>3</sup>/s.

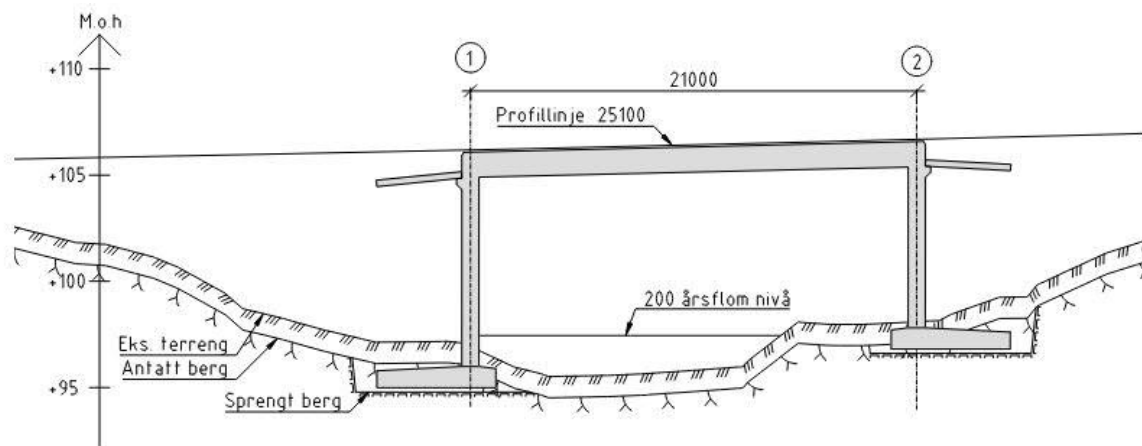
De hydrauliske forholdene og vannstanden under planlagt bru er beregnet med HecRas 6.0 som vist i Figur 42.



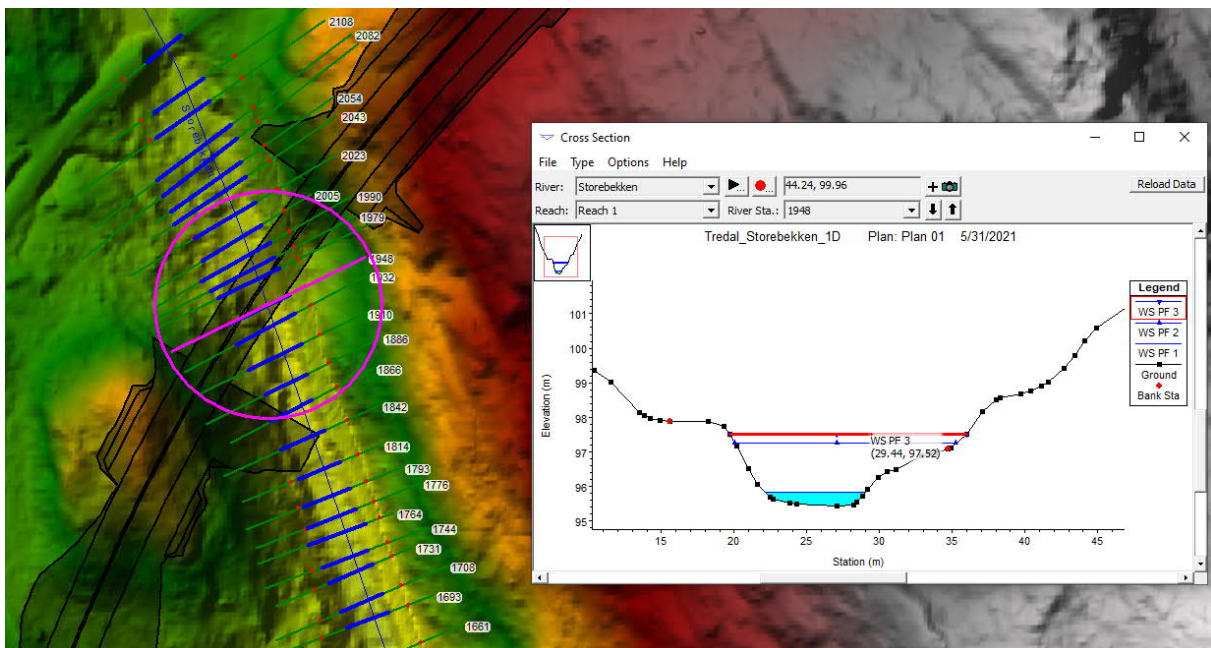
Figur 42 Utsnitt fra hydraulisk modell for Tredalsbroen. Vannstand Q200klima i tverrsnitt 508 beregnet til kote 43,38.

### 9.1.8 Storebekken bru

Noe høyere opp i vassdraget krysses elven av Storebekken bru. Nedbørfeltet er her på 22,5 km<sup>2</sup> og vannføringen ved Q200klima på 53,55 m<sup>3</sup>/s. Den hydrauliske modellen, vist i Figur 44, viser også her tilstrekkelig høyde på broen.



Figur 43 Storebekken bru, sett nedstrøms.

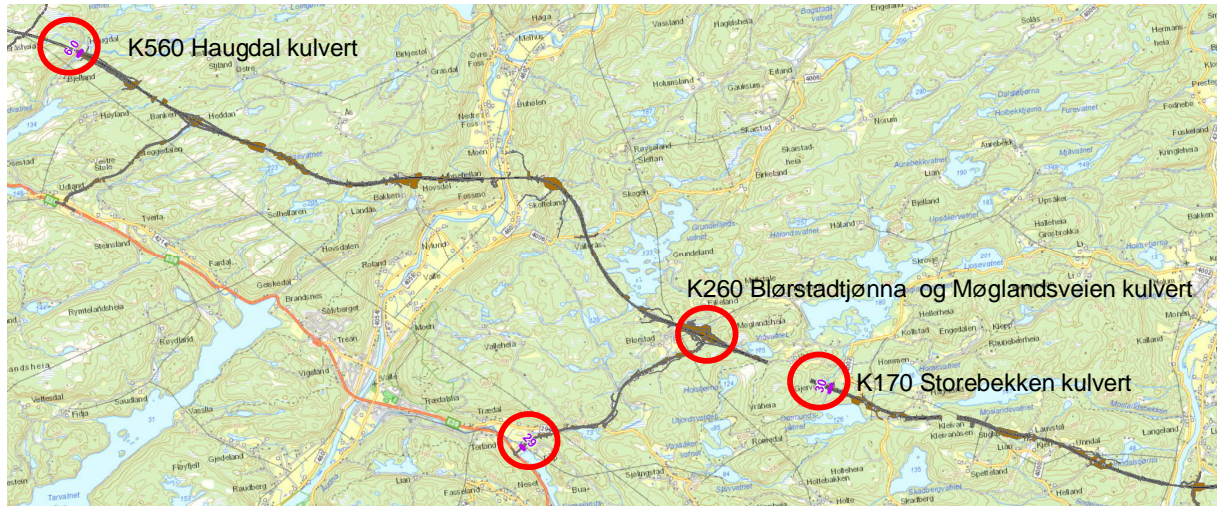


Figur 44 Utsnitt av hydraulisk modell. Vannstand ved Q200 klima er på kote 97,52.

## 9.2 Store kulverter

Alle forslåtte store kulverter gir tilstrekkelig kapasitet for de bekker/elver og vann de krysser, som vist på de neste sidene i Figur 46 til Figur 50. Kulvertenes plassering er vist i oversiktskartet i Figur

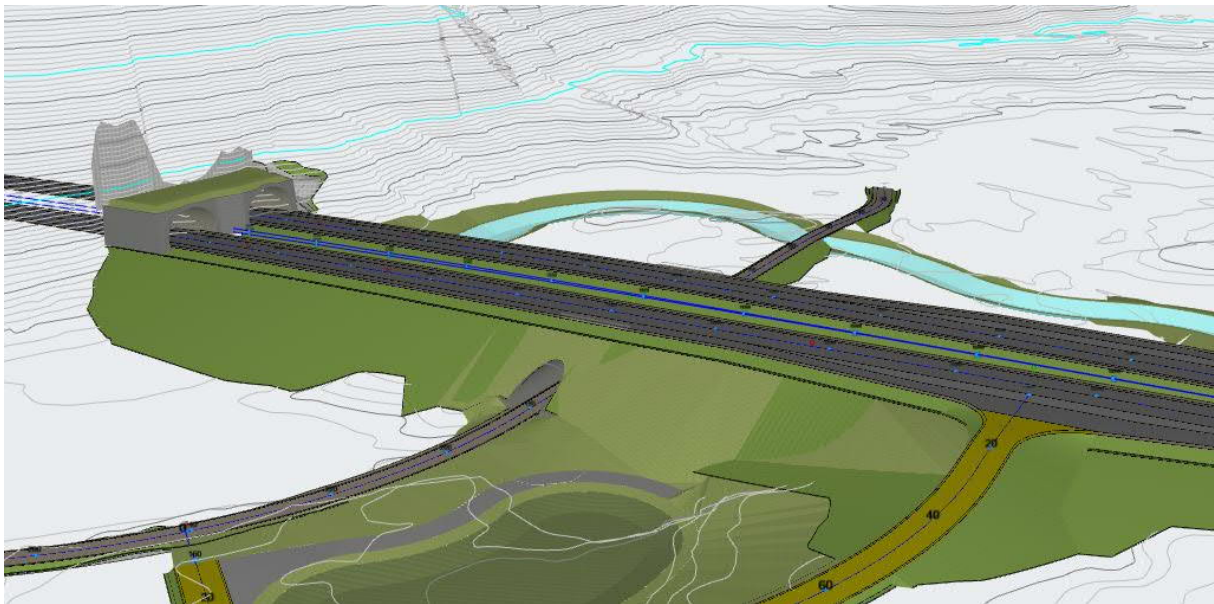
45. For flere av kryssingene er det i tillegg utført hydraulisk modellering med modellverktøyet Hec-Ras 6.0.



Figur 45 Oversiktskart store kulvertkryssinger.

### 9.2.1 Haugdalsveien II kulvert

Bjellandsbekken har oppstrøms denne kulvertkryssingen et nedbørfelt på 6,6 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 26 m<sup>3</sup>/s. Under E39 er det lagt inn en betongkulvert med tverrsnitt tilstrekkelig for 200-årsflom med en innvendig bredde på 5,0 m og høyden på 4,0 m. Lengden er ca. 75 m. Oppstrøms planlagt ny E39 må bekken legges om noe ca 50 meter nordenfor da fyllingen legges i opprinnelig bekeleie og krysses av Haugdalsveien på nordsiden av en mindre bro.



Figur 46 K565 Haugdal II kulvert.

### 9.2.2 Blørstادتjønna og Møglandsveien kulvert

I forbindelse med etableringen av Blørstادتkrysset, erstattes Blørstادتjønna med to mindre tjern på nordsiden av krysset. Disse to tjerna forbindes med en betongkulvert under den nordlige armen fra rundkjøringen og til påkoblingen mot Møglandsveien. Kulverten er ca. 10 m lang og har innvendig bredde 4,0 m og variabel høyde 4,2 m til 5,0 m.

Fra det vestre tjernet nord for Blørstادتkrysset føres bekken videre sørover i en kulvert under veifyllingen for ny E39. Kulverten kan utføres som et stålørshvelv med naturlig elvebunn som vil være gunstig for fisk. Langs det ene stripefundamentet kan det anlegges en hylle slik at smådyr kan passere tørt igjennom kulverten ved normalvannstand.

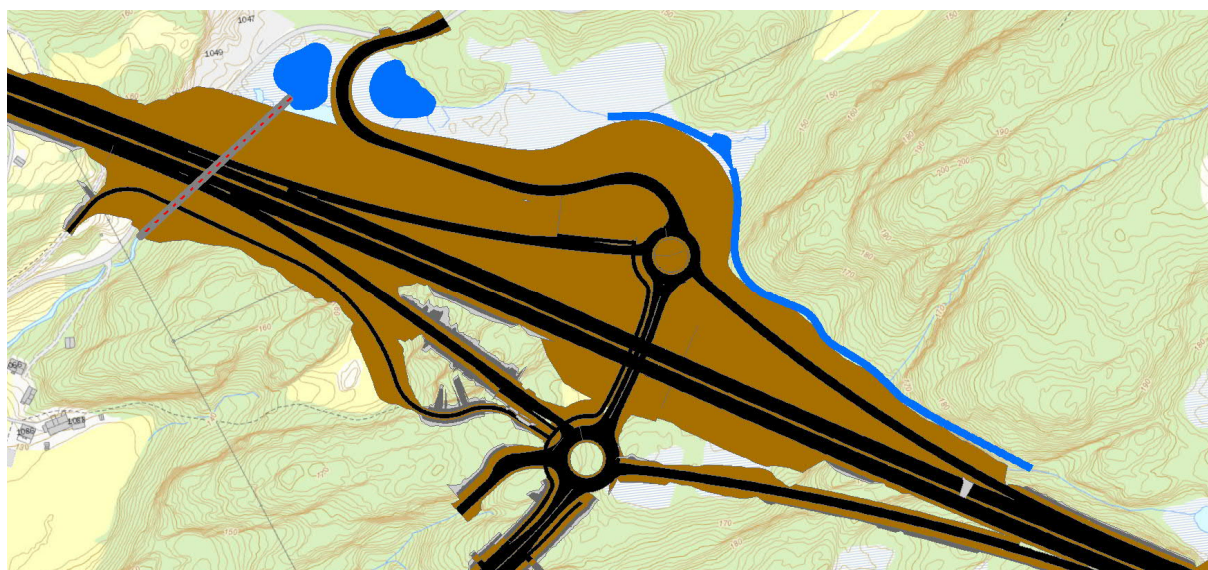
Kulverten har innvendig bredde 6,0 m og høyden oppunder hvelvet er 3,5 m. Lengden på kulverten er ca. 155 m. Begge kulverter har tilstrekkelig kapasitet for 200-årsflom.

Blørstadekken har oppstrøms denne kulvertkrysningen et nedbørfelt på 1,4 km<sup>2</sup> og en beregnet Q200 flom inkludert klimapåslag på 6 m<sup>3</sup>/s.

I byggefasen må bekken legges om i forbindelse med masseutskiftingen i det flate myrområdet og øst og nord for krysset må bekken legges om over en lenger strekning på permanent basis.



Figur 47 K255 Møglandsveien kulvert. Forbindelse mellom de to tjerna nord for Blørstadvannet.



Figur 48 K260 Blørstadvannet kulvert.

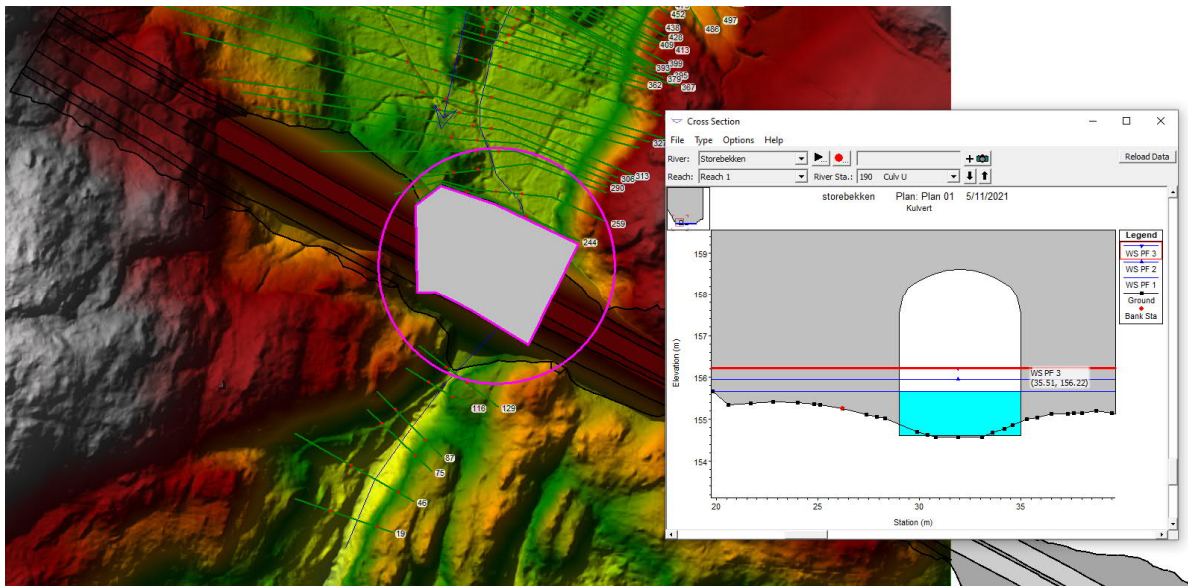
### 9.2.3 Storebekken kulvert

Storebekken foreslås lagt igjennom fyllingen for ny E39 i et stålhelv. Ved normalvannstand vil stålhelvet være tørt mens ved flom vil vannstanden stige til over betongfundamentene og opp på stålhelvet. Bunnen av bekken mellom fundamentene kan istandsettes med egnede masser og steiner. Langs det ene fundamentet er det lagt inn en hylle så smådyr kan krysse tørt igjennom



kulvert. Innvendig bredde er 6,0 m og høyden oppunder hvelvet er 3,5 m. Lengden på kulverten er ca. 100 m.

Oppstrøms kryssingen er det et nedbørfelt på 7,3 km<sup>2</sup> med en Q200klime flom på 28,5 m<sup>3</sup>/s. Tverrsnittet er tilstrekkelig for 200-årsflom. Modellert vannstand med Hec-Ras er vist i Figur 49.



Figur 49 K170 Storebekken kulvert. Utsnitt av hydraulisk modell. Vannstand ved Q200 klima er på kote 156,22.

#### 9.2.4 Lysnes kulvert

Ved Lysnes i Tredal blir bekken fra Fasselandsvatnet til Tredalsbekken liggende under den nye tilførselsveien. Bekken føres gjennom veifyllingen i en kulvert. Kulverten kan bygges ved siden av dagens bekkeløp. Bekken kan deretter justeres litt østover lokalt der den krysser under tilførselsveien, men på en slik måte at den fortsatt vil gå under dagens bru for adkomstveien inn til Lysnes.

Det kan benyttes en plasstøpt eller en prefabrikkert betongkulvert. Innvendig bredde er 5,0 m og høyden er 5,0 m. Lengden er ca. 33 m.

Oppstrøms kryssingen er det et nedbørfelt på 6,1 km<sup>2</sup> med en Q200klime flom på 24 m<sup>3</sup>/s. Dette gir et tilstrekkelig tverrsnitt for 200-årsflommen.



Figur 50 K810 Lysnes kulvert.

### 9.3 Drikkevann

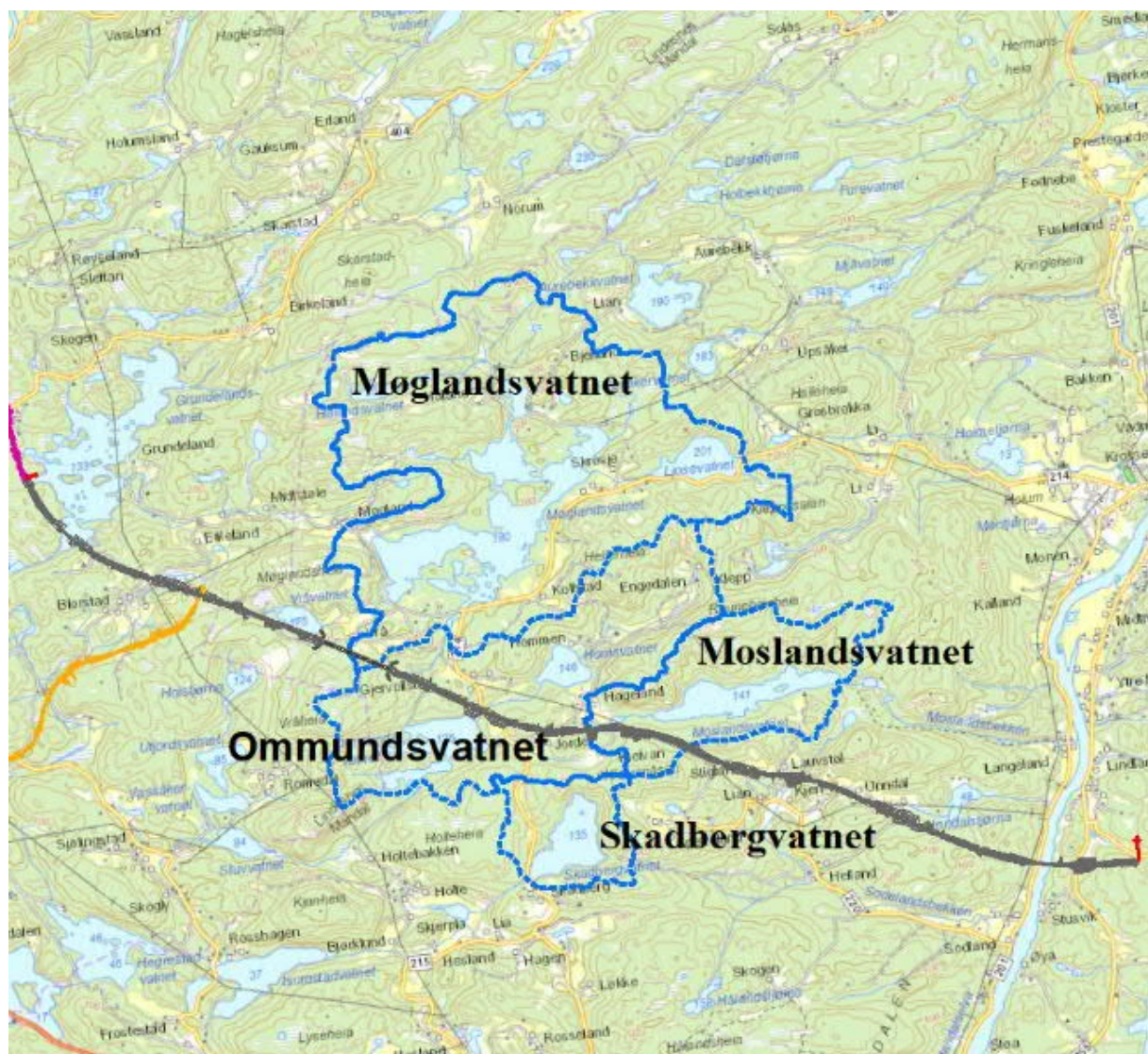
Uttak av vann til drikkevannsforsyning i Lindesnes kommune foregår i dag direkte fra Skadbergvatnet i Mandal. Nedbørfeltet til Skadbergvatnet er ganske lite, kun 0,88 km<sup>2</sup>, så i tillegg pumpes det vann fra Ommundsvatnet opp til Skadbergvatnet.

Veikorridoren for E39 som ble vedtatt i områderegulering for E 39 Mandal-Lyngdal øst passerer nær Ommundsvatnet. Som en følge av veiplanene, er det innarbeidet et tiltak med en endring av suppleringsvannkilde til Møglandsvatnet og med reservevannkilde fra Moslandsvatn.

I hovedplan for vannforsyning for Mandal kommune (nå Lindesnes kommune) fra 2018 er Møglandsvatn foreslått som ny suppleringsvannkilde for Ommundsvatn og Moslandsvatn er foreslått som reservekilde.

Det er i Figur 51 vist nedbørfeltgrenser for de vann i området som benyttes som drikkevann, enten for direkte uttak av råvann eller som reservevannsløsninger og E39 trasé.

De hydrologiske konsekvensene er beskrevet i egen rapport og også benyttet i konsesjonssøknaden. I konsesjonssøknaden redegjøres det for omsøkte tiltak og hvilke konsekvenser dette har for allmenne hensyn. Det foreslås i denne et framtidig drikkevannssystem som består av Skadbergvann som hovedvannkilde, Møglandsvann som suppleringsvannkilde, og Moslandsvann som reservevannkilde. Dette gir tilstrekkelig tilgjengelig langsiktig kapasitet for å oppfylle krav i drikkevannsforskriften både i forhold til mengde og kvalitet av drikkevann.



Figur 51 Nedbørfeltgrenser til drikkevann i planområdet i Lindesnes kommune.

## 10 Referanser

- Beldring, S., Roald, L.A., Voksø, A., 2002: Avrenningskart for Norge. Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990. NVE-Dokument nr. 2-2002.
- Gottschalk, Lars & Lundager Jensen, Jørgen & Lundquist, Dan & Solantie, Reijo & Tollan, Arne. (1979). Hydrologic Regions in the Nordic Countries. Nordic Hydrology. 10. 273-286. 10.2166/nh.1979.0010.
- Lawrence, D. (2016). Klimaendringer og fremtidige flommer. NVE Rapport 81-2016
- Lindholm, Oddvar, et al. 2008. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering, Norsk Vann Rapport 162. 2008. Rapport 162-2008.
- Norsk klimaservicesenter 2017 Klimaprofil Agder
- NVE 2003 Retningslinjer til sikkerhetsforskriftens §§ 4-1 og 4-2, publisert desember 2003
- NVE 2009 Vindkart for Norge, Rapport 9/2009
- NVE 2010 Vassdragshåndboka
- NVE 2010 Flomberegning for Audna ved Vigeland, 023.z. NVE Dokument 11/2010
- NVE 2011 Retningslinjer for flomberegning. NVE Retningslinjer 04/2011
- NVE, 2015: Glad, P. A., Reitan, T., Stenius, S. Regionalt formelverk for flomberegning i små nedbørfelt. Rapport nr. 62-2015
- NVE 2018 Flomberegning for Mandalselva. Revisjon av rapport 19-2003. NVE rapport 15/2018
- Statens vegvesen. Håndbok N200 Vegbygging, juli 2018 og 2014
- Statens vegvesen. Håndbok v240 Vannhåndtering – Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering. 2020.
- Statens vegvesen. Håndbok N400, *Bruprosjektering*. 2015.
- Sweco 2020. Teknisk hydrologi og vurdering av hydrologiske konsekvenser ved bruk av alternative nye mulige vannkilder for Mandal Vannverk. Rapport 37 s.
- Sweco 2021 Fagrapport: Konstruksjon. Detaljreguleringsplan E39 Mandal – Lyngdal. NV42E39ML-KNS-RAP-0002

# 11 Vedlegg

