



Fagrappport Hydrologi

Detaljregulering E39 Mandal-Lyngdal øst

LYNGDAL KOMMUNE

Oppdragsnr:	10219378
Oppdragsnavn:	E39 Mandal – Lyngdal Øst; Detaljregulering
Dokument nr.:	NV42E39ML-VAA-RAP-0003
Filnavn	E39_ML_Lyngdal_Hydrologi_Fagrapport

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	18.05.2021	1. gangsbehandling	NOKJSA	NOCHRM	NOHOLL

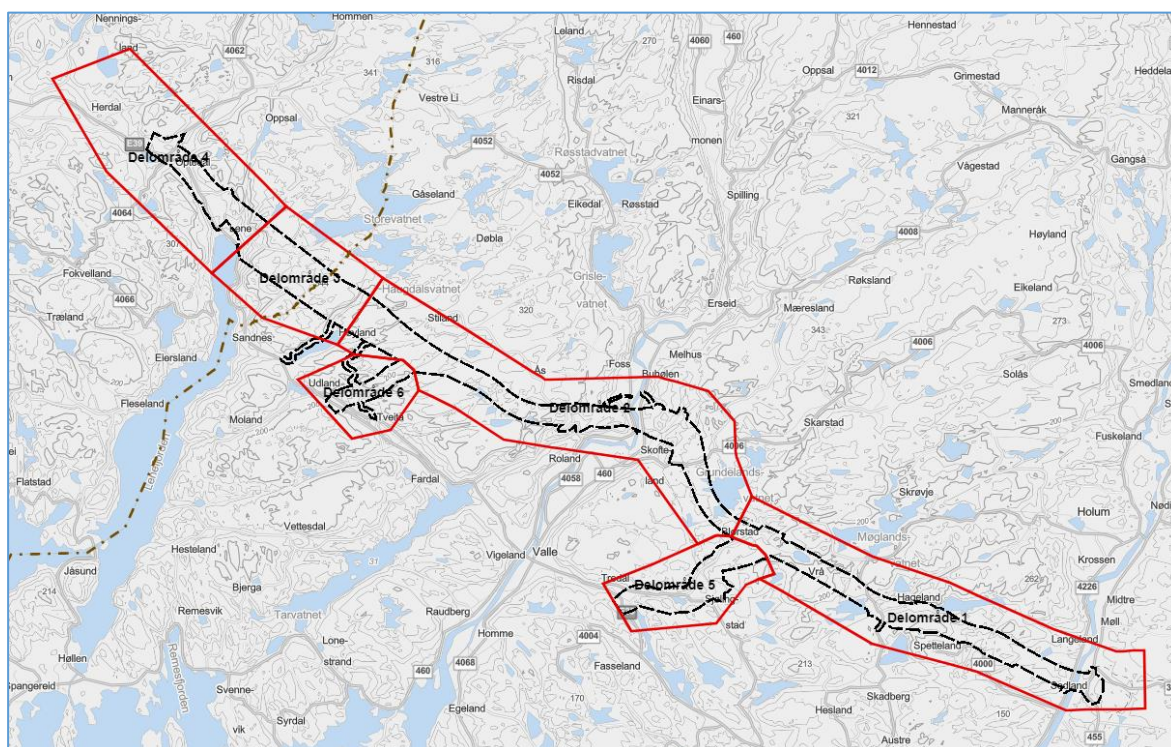
Innhold

1	Innledning	5
2	Sammendrag hydrologi	6
3	Metode	7
3.1	Generell hydrologi og klima	7
3.2	Flomforhold	7
4	Hydrologien i området	14
4.1	Hydrometriske målestasjoner i området	14
4.2	Klimaendring og framtidige flommer i området	18
4.3	Tidligere flomberegninger og flomsonekartlegginger i området	19
4.4	Kartlegging av krysningspunkter og oppstrøms nedbørfelt for foreslått E39 trasé	23
4.5	Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse > 100 km ²	26
4.6	Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 10 -100 km ²	26
4.7	Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 1 - 10 km ²	27
4.8	Beregning av flom i nedbørfelt mindre enn 1 km ²	27
5	Flomverdier i krysningspunkt for foreslått ny E39 i Lyngdal kommune	32
5.1	Grove vurderinger av antatt krysningsløsning	33
6	Isgang	34
7	Havnivå, stormflo og bølgepåvirkning	34
8	Klima	34
8.1	Målestasjoner	34
8.2	Nedbør	36
8.3	Temperatur	37
8.4	Snø	38
8.5	Vind	39
9	Særskilte hydrologiske fokusområder	40
9.1	Broløsninger	40
9.2	Permanent omlegging av bekker	42
9.3	Grubbevatnet	42
10	Referanser	44
11	VEDLEGG	45

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 årsdøgnetrafikk (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

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, har hydrologi bidratt som premiss-giver med innspill for å sikre gode tverrfaglige løsninger i forhold til hvordan tiltaket er utformet.

I foreliggende rapport beskrives det hydrologiske grunnlaget og forutsetningene som ligger til grunn for vurderingene. Planlagt ny E39 Mandal-Lyngdal krysser landskapet på tvers av dreneringsretningen i området og veien vil derfor krysse en rekke større og mindre bekker og elver.

På bakgrunn av den foreslått traséen 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 Lyngdal kommune.

Den foreslåtte E39 traséen på strekningen i Lyngdal kommune krysser to større nedbørfelt, Littleåna, et sidevassdrag til Lyngna og Storevassbekken, som renner ut i Lenefjorden. I tillegg er det gjort vurderinger for en rekke mindre bekker og nedbørfelt på strekningen.

Lenger øst på strekningen, i retning Mandal er det for de største elvene, Mandalselva og Audna med store nedbørfelt på hhv. 1789 og 395 km², tidligere foretatt separate flomberegninger. Restende 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 km² 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/km², fra de minste til de største.

Det er kartlagt hvor det vurderes 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 to største vassdragskryssingene i Lyngdal kommune er det foreslått bro-løsninger.

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 digitale avrenningskart for 1961-1990 (2002) og NVEs vannføringsdatabase HYDAG.

Klimatiske data hentes fra www.eklima.no, som driftes av Met.no. I tillegg benyttes underlag og tjenester fra <https://klimaservicesenter.no/>, www.senorge.no/ og 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*¹) 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.

Statens vegvesens Håndbok N200 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.

¹ Returperiode (gjentaksintervall) 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.

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

For deretter å ta hensyn til klimaendringene benyttes NVEs rapport 81/2016 for framskrivning til 2100. For Rogaland og Agder er denne framskrivningen tolket til å bety minst 20 % økning i flomstørrelse i forhold til dagens (år 1990) 200 års gjentaksintervall.

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.

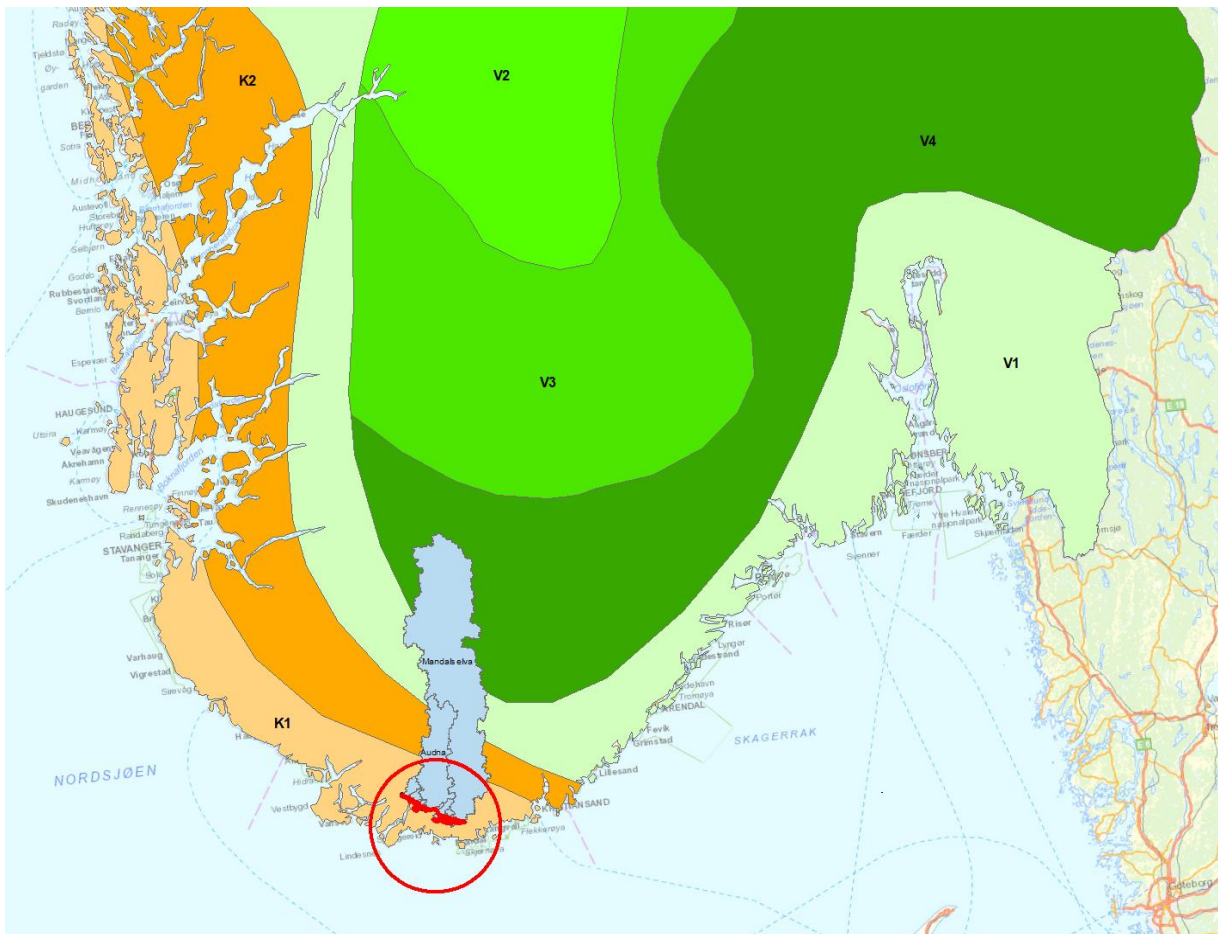
3.2.2 Metodikk for flomberegninger

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, mettete mark på grunn av tidligere nedbør, eller frossen mark.



Figur 2 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 mett 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).

Metodikken 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 gjentakintervall. 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 km²) 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 km² (Vassdragshåndboka, 2010/ Lindholm 2008).

For store nedbørfelt, dvs. felt større enn 20 km² kan det også vurderes å benytte regionale flomfrekvensformler. Disse er imidlertid sårbare for andelen fjell i feltet og bør ikke benyttes for rene lavlandsfelt 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).

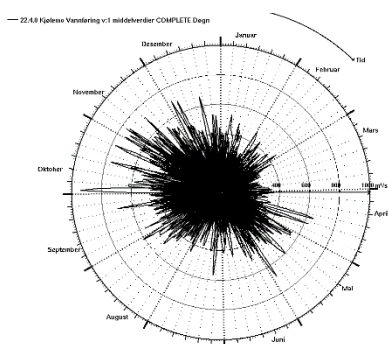
Som et ledd i utviklingen av nye retningslinjer / veiledere for beregning av flom i små vassdrag er det planlagt at NIFS blir en av flere foreslåtte metodikker sammen med RFFA2018 som er et formelverk NVE nylig har utarbeidet (Engeland 2020).

3.2.3 Sesonginndeling for flomberegning

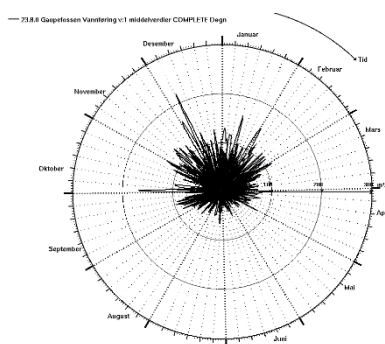
For store deler av landet skilles det hovedsakelig mellom to forskjellige typer flommer, vårflokker og sommer/høstflokker. Disse må derfor statistisk behandles adskilt.

Ut fra observerte flommer 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.

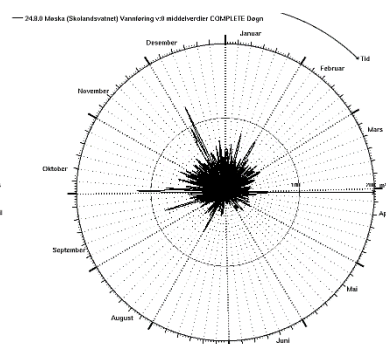
Hvis det er store flommer både vår og høst i et område, kan det være fare for at man under vurderer de store flommene ved å utføre separate analyser for vår- og høstsesongen. I slike tilfeller bør man utføre flomfrekvensanalyse uten sesonginndeling, dvs. på årsflokker.



Figur 3 Årspolarplott 22.4 Kjølamo



Figur 4 Årspolarplott 23.8 Gaupefossen



Figur 5 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 smelteflokker i tillegg til større flommer sen høst og tidlig vinter som kan være rene nedbørsflokker eller kombinasjonsflokker med snesmelting. Årspolarplottet til 22.4 Kjølamo (Mandalselva) som vist i Figur 3 er et eksempel på dette. For mindre nedbørfelt i lavlandet kommer i hovedsak de største flommene høst og tidlig vinter som vist i Figur 4 og Figur 5.

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 kulminasjonsvannføring 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.

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

Hvor :

- A = Nedbørfeltets areal
- A_{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 demping 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 Vest-Agder. Traseén krysser en rekke mindre bekker og noen større vassdrag hvorav Mandalselva er det største med et nedbørfelt på nær 1800 km².

En enkel inndeling av Nordens hydrologiske regioner bygger på avrenningens sesongvariasjon, også kalt regime. Inndelingen utnytter informasjon om månedsfordelingen av flom- og lavvannspeperioder (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 6, på rundt 50 l/s pr. km², for nedbørfeltene som drenerer ned mot planområdet. De mindre nedbørfeltene nær planområdet har noe lavere midlere avrenning (~40 l/s pr. km²) som vist i NVEs avrenningskart for perioden 1961-1990 (Beldring et al. 2002) i Figur 8.

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 7. Midlere spesifikk avrenning for de 5 pågående stasjonene er vist i Figur 6.

Tabell 1 Pågående hydrometriske målestasjoner ved planområdet

St.nr.	Stasjonsnavn	Obs.	Elv/vassdrags nr.	Elv/vassdrag	Areal i km ²
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

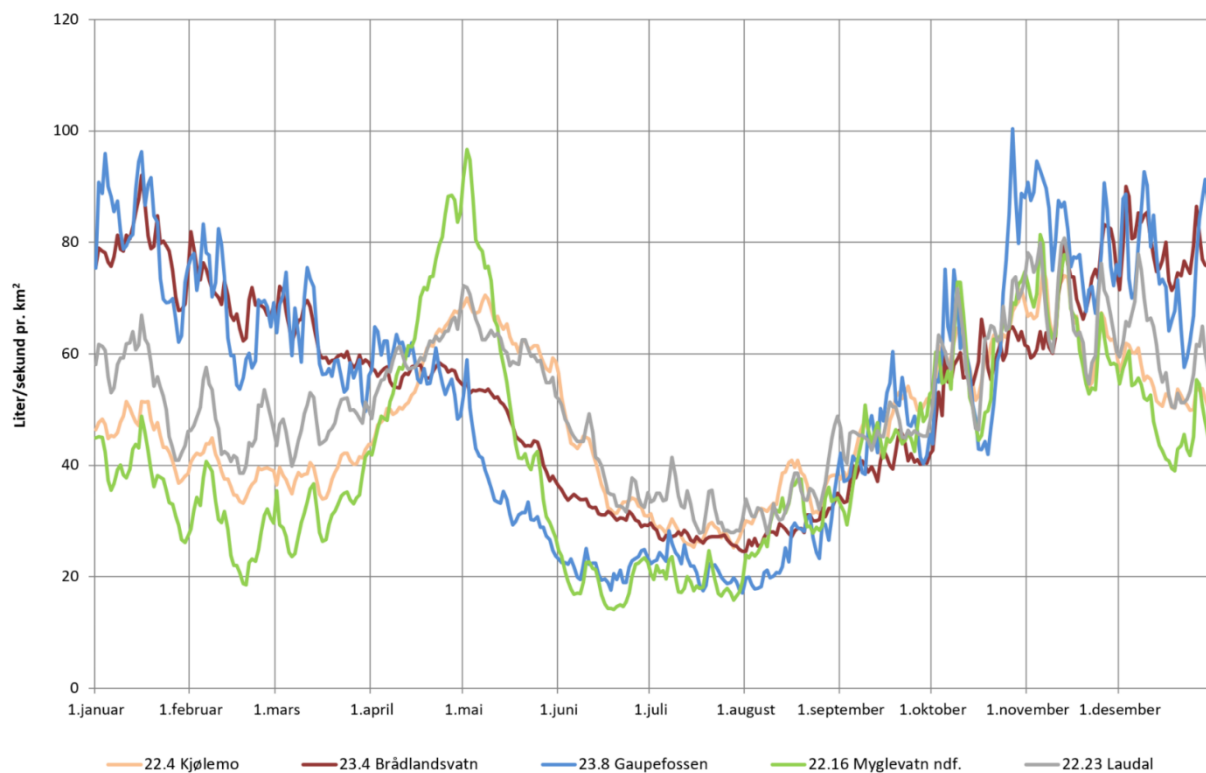
23.4	Brådlandsvatn	1922 - dd	023.AC0	Trylandselva/Audna	58,9
23.8	Gaupefossen	1988 – dd	023.A22	Audna	343,9

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

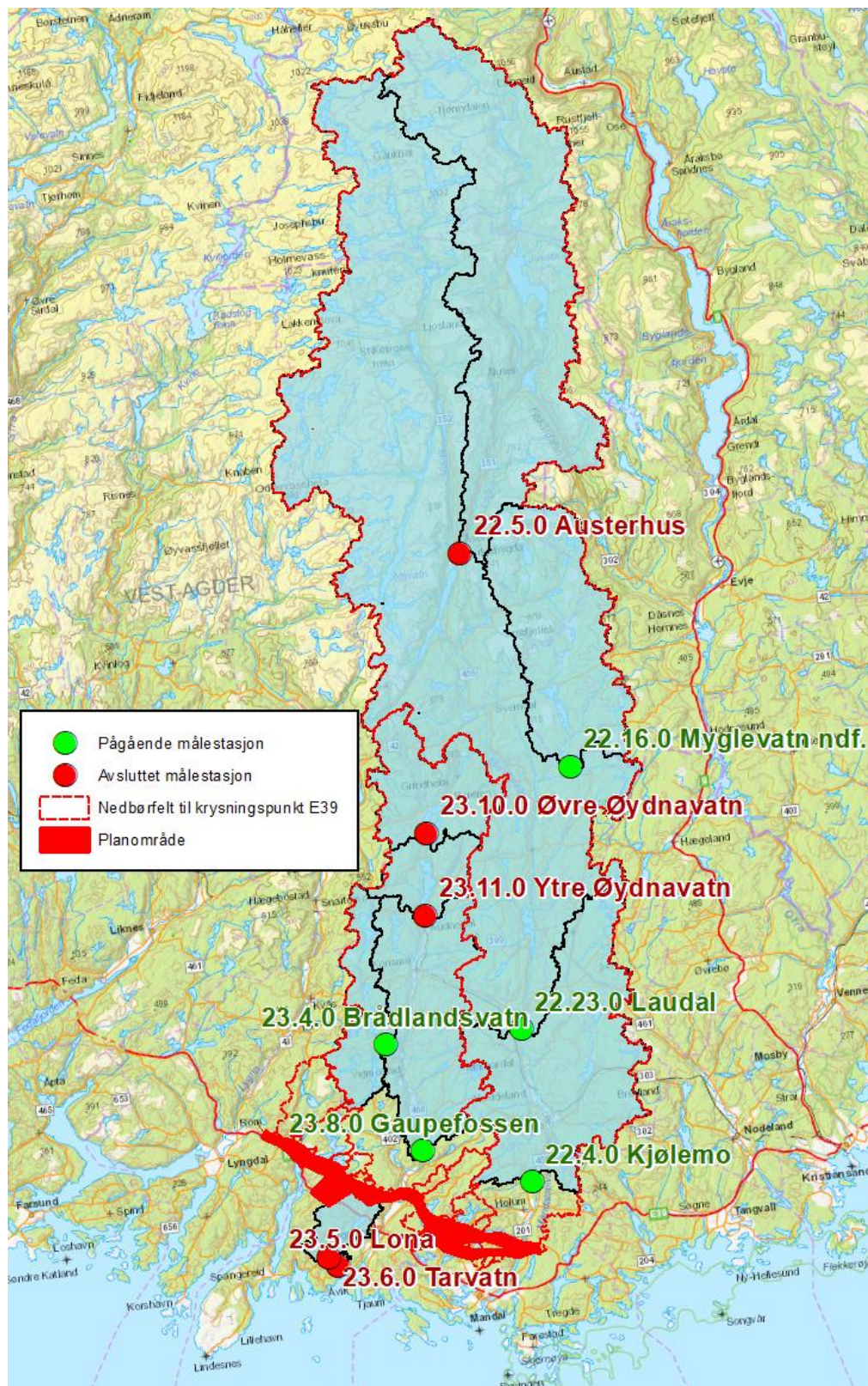
Figur 6 viser et klart skille mellom de hydrologiske regimene for de vassdrag som originerer lenger inn i landet med en større vårflomskomponent, slik som vannmerkene Kjølamo, Laudal og Myglvatn.

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 6 Midlere daglig spesifikk avrenning for de pågående målestasjoner.

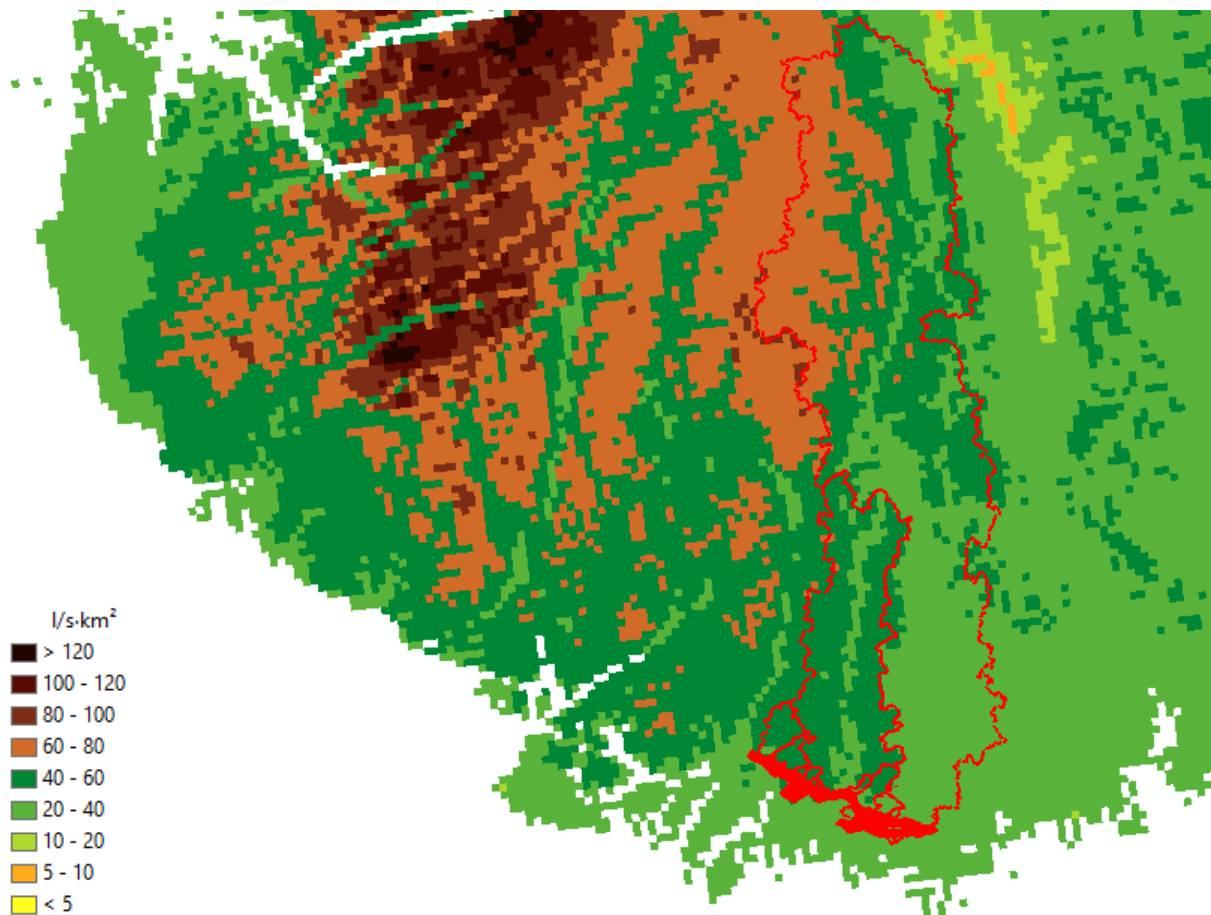
(Data fra NVE)



Figur 7 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 8 Midlere årlig spesifikk avrenning i regionen. Verdier i l/s pr. km².
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. km²

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 ²	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)

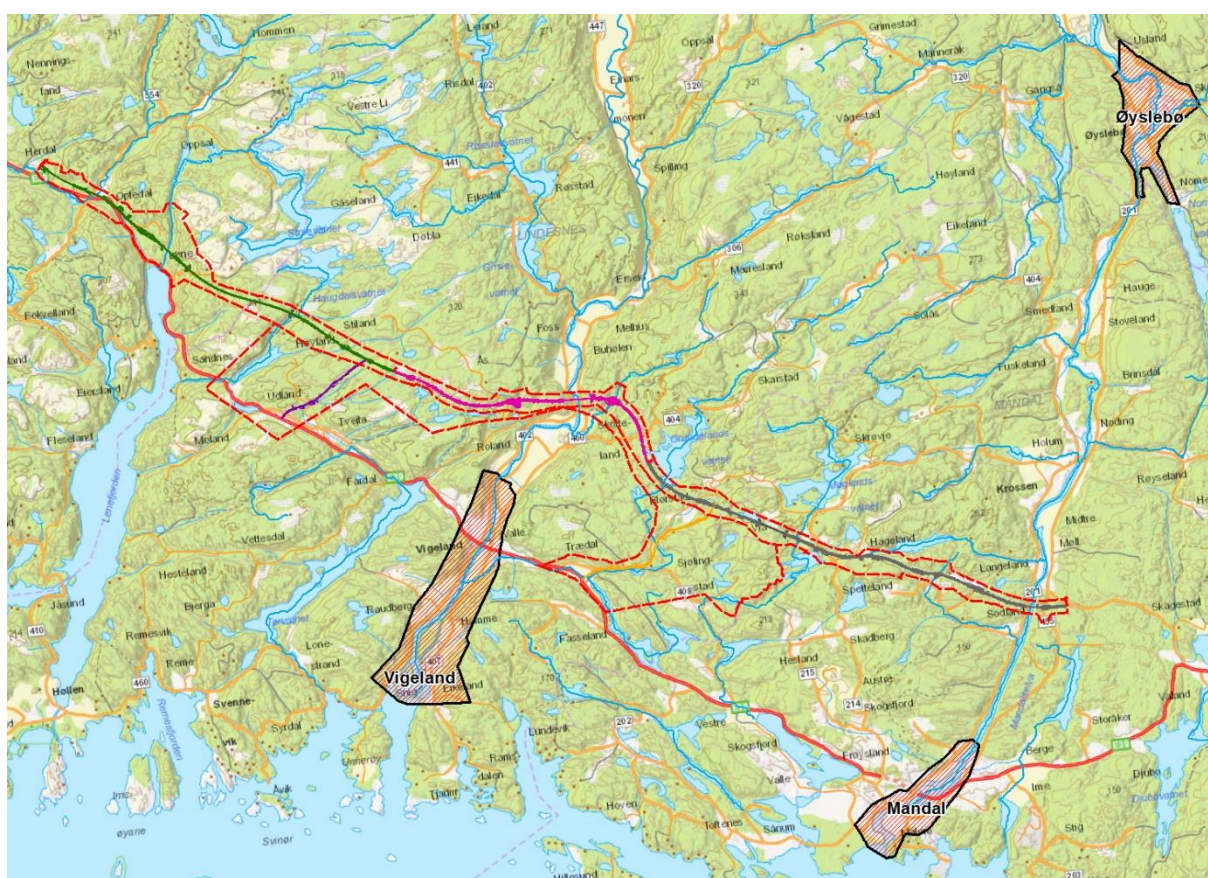
Planområdet ligger i et område av Norge hvor klimaframskrivningene gir en økning i flomstørrel-sene og det anbefales et påslag på 20 prosent frem mot år 2100 i alle større nedbørfelt i regionen.

For nedbørfelt under < 100 km² og andre mindre nedbørfelt som reagerer raskt på styrtregn, anbefales det minst 20 % økning (Lawrence 2016).

² 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. Disse er vist i Figur 9. 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.



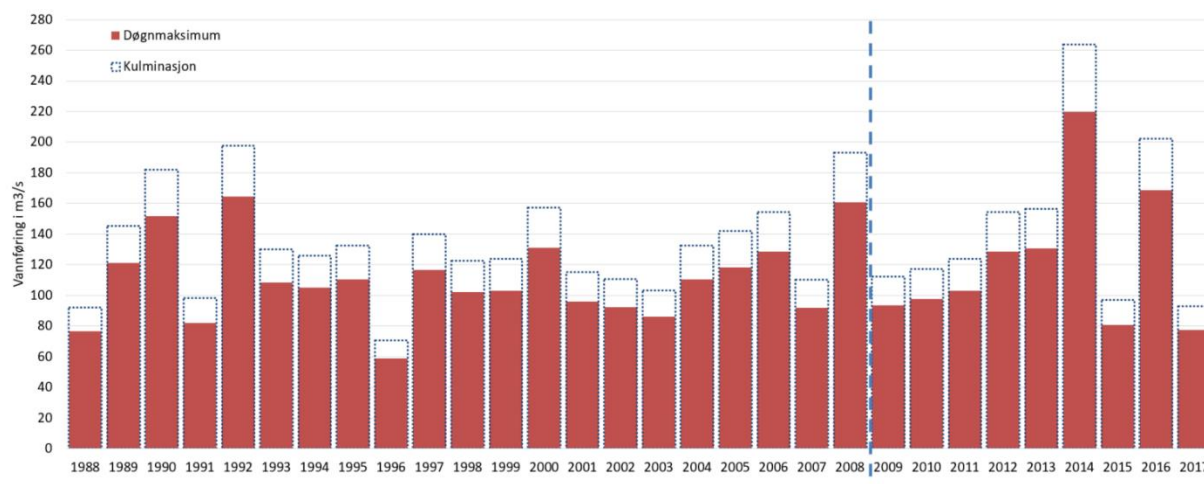
Figur 9 Elvestrekninger og områder med flomsonekartlegging

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 10 har det etter dette vært større flommer både i 2014 og 2016, enn det som var tilfellet ved NVEs flomberegning i 2010.



Figur 10 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 ³ /s)	qM (l/s pr. km ²)	Q200 (m ³ /s)	q200 (l/s pr. km ²)
Audna ved kryssing E39	395	162	410	375	950
Audna ved kryssing E39 inkl. 20 % klimapåslag	395	194	492	450	1140

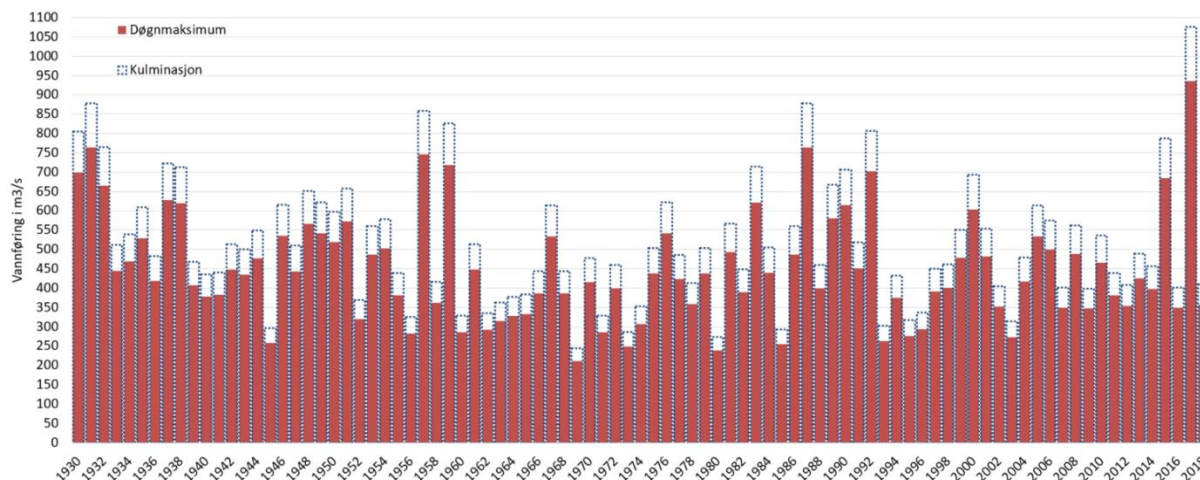
4.3.2 Flomberegning for Mandalsvassdraget

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 Kjøleemo, 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 11. 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 Kjøleemo antas nå å være svært gode.



Figur 11 Årlig maksimalvannføring ved 22.4 Kjøleemo, 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 ³ /s)	qM (l/s pr. km ²)	Q200 (m ³ /s)	q200 (l/s pr. km ²)
Mandalselva ved Kjøleemo	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.

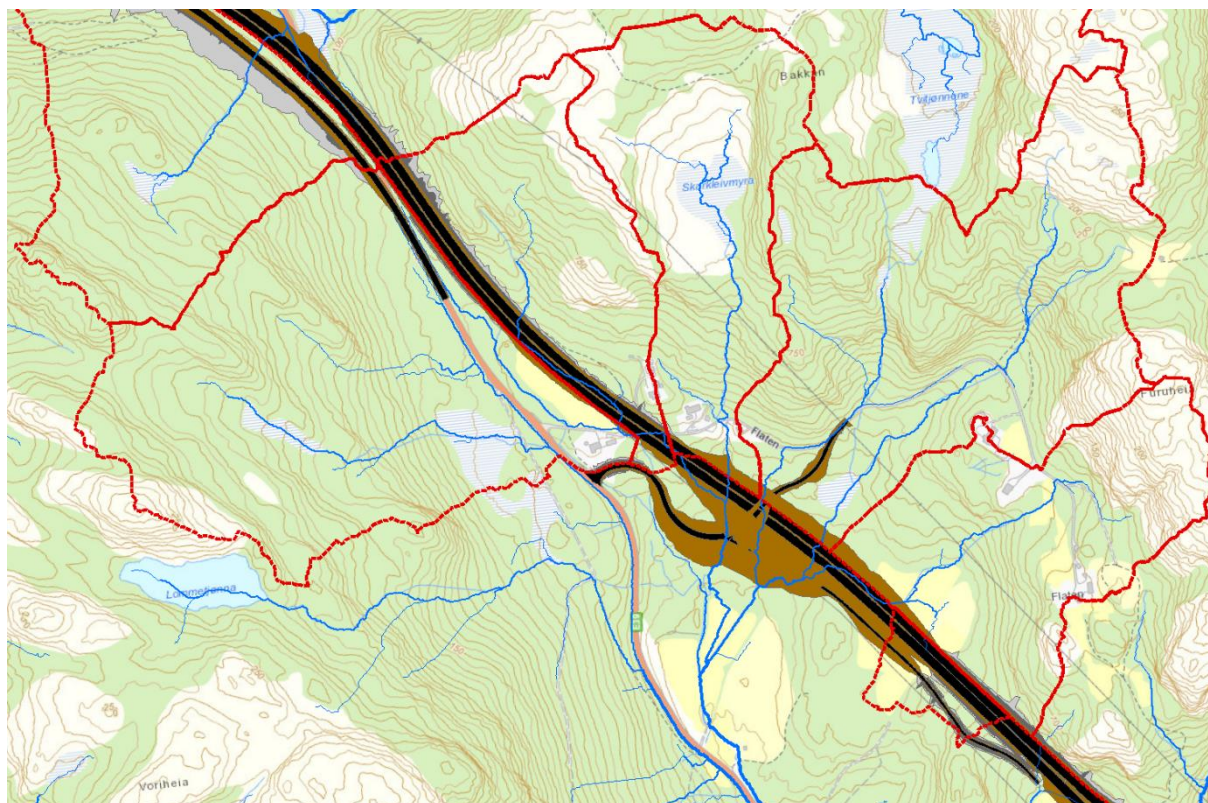
	Areal	QM (m ³ /s)	qM (l/s pr. km ²)	Q200 (m ³ /s)	q200 (l/s pr. km ²)
Mandalselva ved kryssing E39	1787	541	303	1224	685
Mandalselva ved kryssing E39 inkl. 20 % klimapåslag	1787	649	364	1469	822

4.4 Kartlegging av krysningspunkter og oppstrøms nedbørfelt for foreslått E39 trasé

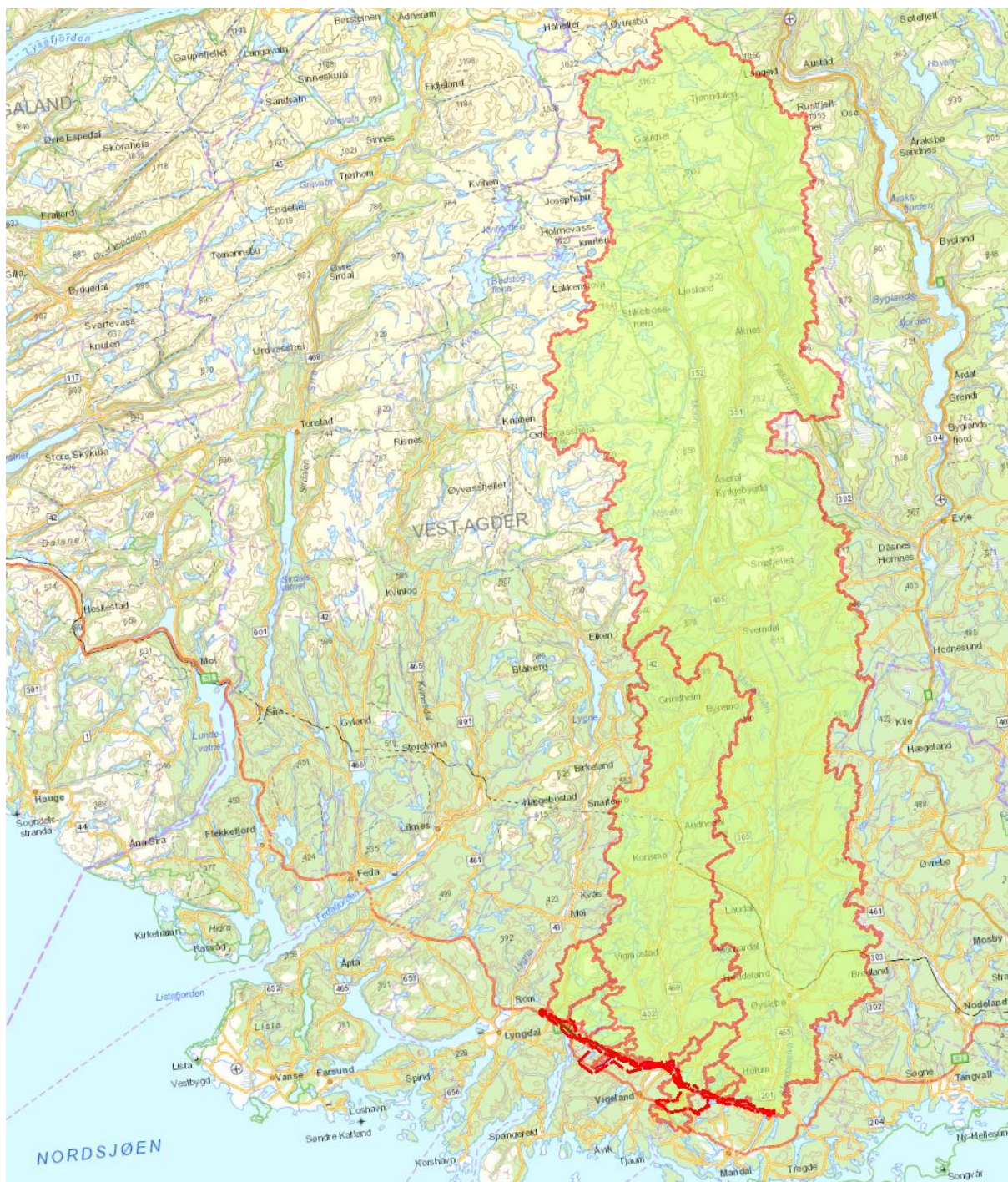
På bakgrunn av foreslått trasé for E39 er det utarbeidet og digitalisert nedbørfelt ned til alle krysningspunkt for bekker/elver og semitørre drag som krysser denne linjen i Lyngdal kommune.

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 12.

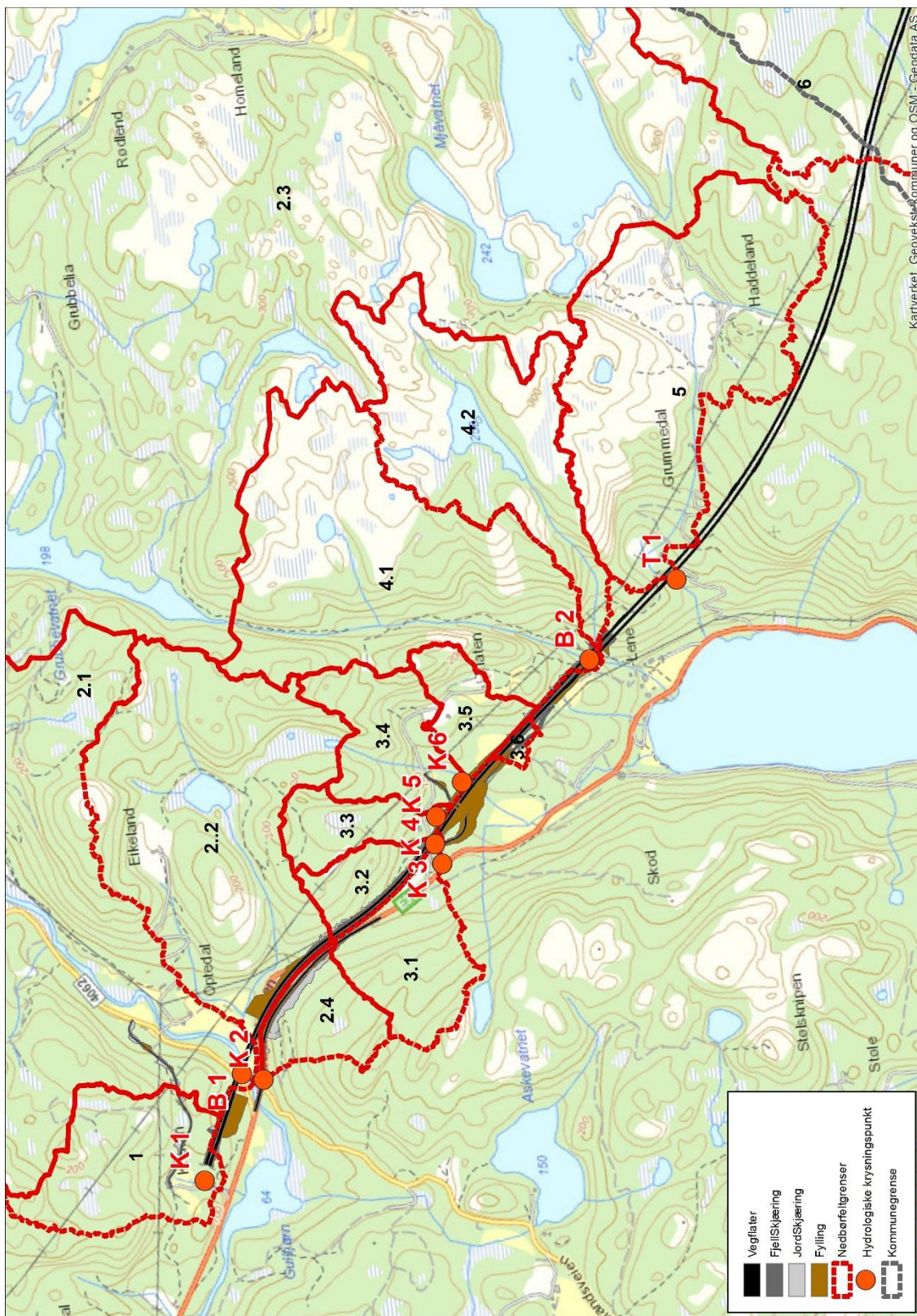
Kryssende den foreslåtte traséen er det > 59 nedbørfelt. Disse er av høyst varierende størrelse. Fra de største på 1789 km², tilhørende vassdrag som Mandalselva. Audna, på 395 km² og en rekke felt fra et titalls kvadratkilometer ned til de helt små som er på rundt 1 hektar. Oversiktskisse er gitt i Figur 13. For hvert av disse nedbørfeltene er det gjort beregninger av en rekke parametere som inngår i flomvurderinger beskrevet mer inngående i de neste kapitlene. Alle krysningspunkt i Lyngdal kommune er vist i Figur 14 og ytterligere informasjon knyttet til nedbørfeltene og krysningspunktene finnes i Tabell 10.



Figur 12 Eksempel på beregnet dreneringsnettverk og utarbeidede nedbørfeltgrenser. Ved Flaten, Lyngdal kommune.



Figur 13 Utarbeidede nedbørfelt ned til kryssing av foreslått trasé for E39.



Figur 14 Krysningspunkter for bekker/elver og vassdrag over foreslått trasé for ny E39 i Lyngdal kommune.

4.5 Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse > 100 km²

De to nedbørfeltene som er i denne størrelseskategorien, Audna og Mandalselva, har begge særskilte flomberegninger som er beskrevet tidligere i 4.3.1 og 0. Disse verdier benyttes også i denne vurderingen.

4.6 Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 10 -100 km²

Av nedbørsfelt som krysser den planlagte traséen i Lyngdal kommune er det kun ett nedbørfelt i denne størrelseskategorien, på 25(-38) km². Den noe usikre feltstørrelsen skyldes at Grubbevatnet drener ut i to forskjellige retninger. Både ned mot Litleåna og mot Storevassbekken. Dette er nærmere beskrevet i 9.3.

For felt over 20 km² kan også regionale flomformler vurderes benyttet sammen med bruk av formelverket NIFS. Regionalt formelverk bør imidlertid benyttes med forsiktighet for felt under 100 km².

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

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

Hvor spesifikk middelflom (q_M) er avhengig av effektiv sjøprosent (ASE i %), midlere spesifikt årsavløp (q_N i l/s pr.km²), feltaksens lengde (L_f 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_5/Q_M	Q_{10}/Q_M	Q_{20}/Q_M	Q_{50}/Q_M	Q_{100}/Q_M	Q_{200}/Q_M
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 på E39 strekningen, med en størrelse på hhv. 22, 26, og 31 km², ble spesifikk q_{200} beregnet til 955 - 1293 l/s pr.km².

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, QM, estimeres ved to kovariater. Disse to er middeltilsiget (middelvannføring i perioden 1961-90 i m³/s) og effektiv sjøprosent.

Formelen for middelflommen QM er som følger:

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

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 gjentakintervall. Denne analysen ga en formel med 3 parametere hvor en av de er middelflommen som er beskrevet over. De to andre parametere som inngår i formelen for vekstkurver er middelavrenningen (midlere årsavrenning i perioden 1961-90 i l/s*km²) og effektiv sjøprosent.

Formelen for beregning av forholdstallet mellom en flom, Q(T), med gjentakintervall T og middelflom, QM, er som følger:

$$\frac{Q(T)}{Q_m} = 1 + 0.308 \text{ AVR}_{6190}^{-0.137} \left[\Gamma(1+k) \Gamma(1-k) - (T-1)^{-k} \right] e^{0.161z} / k \text{ der}$$
$$k = -1 + 2 / \left[1 + e^{0.391 + 1.54 \text{ EFF_SJO} / 100} \right]$$

Dette formelverket gir kulminasjonsverdier direkte.

Det er beregnet for alle fem nedbørfelt på E39 strekningen, som gir verdier for spesifikk q₂₀₀ mellom 1335 - 1687 l/s pr.km². For felt som også er beregnet med regionale flomformler ligger de sistnevnte ca 20 % lavere.

Av pågående målestasjoner er det bare 23.4 Brådlandsvatn som er pågående og av en størrelse innenfor dette arealspennet. Nedbørfeltet til denne målestasjonen er imidlertid regulert. Fra en tidligere flomberegning (NVE 4/2014) er spesifikk uregulert døgnmiddelflom anslått til 522 l/s pr.km² som med bruk av samme forholdstall som vist i Tabell 8 gir en q₂₀₀ beregnet til 1253 l/s pr.km² og med en kulminasjonsverdi på 1640 l/s*km². Dette er på linje med verdiene beregnet med NIFS.

For nedbørfelt i dette størrelsessegmentet benyttes derfor en verdi på 1700 l/s pr.km² 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.km².

4.7 Beregning av flom i nedbørfelt med størrelse mellom 1 - 10 km²

Av nedbørfelt som krysser den planlagte E39 traséen er det 6 nedbørfelt mellom 1-10 km², hvorav ett i Lyngdal kommune (Storevassbekken). Det er benyttet NIFS for beregning av alle disse feltene. Beregnede verdier er vist i Figur 18.

4.8 Beregning av flom i nedbørfelt mindre enn 1 km²

Av nedbørfelt som krysser den planlagte E39 traséen er det mer enn 50 nedbørfelt som er under 1 km², hvorav de aller minste er ned til en størrelse på under 1 hektar. Det er benyttet NIFS for

noen av de større feltene på over 0,2 km² (20 hektar) men for et titalls av de aller minste er det beregnet q_{200} med bruk av den rasjonelle metode.

NVE anbefaler imidlertid ikke rasjonell metode benyttet på nedbørfelt større enn 0,5 km² mens Statens vegvesen (N200, 2018) krever at metoden benyttet på alle nedbørfelt under 2 km².

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

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_f = 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 16 og Figur 17. 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 15.

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.

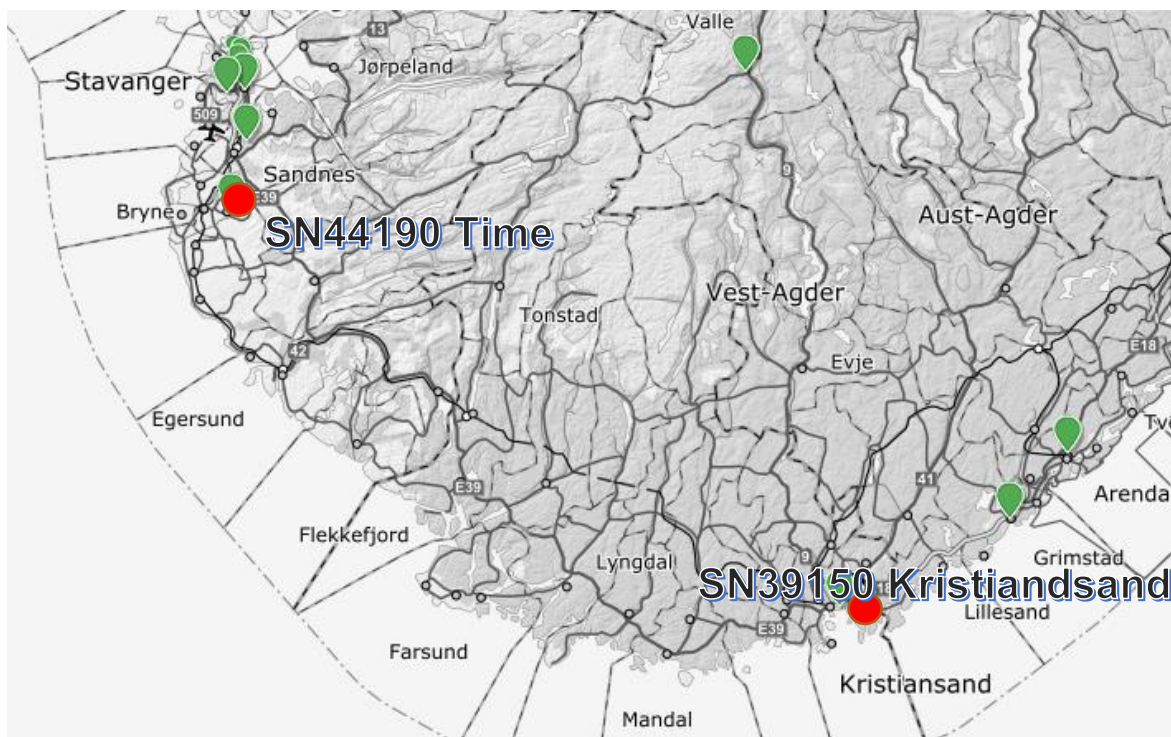
For naturlige felt (ikke utbygde felt) beregnes konsentrasjonstiden (varigheten) som følger:

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

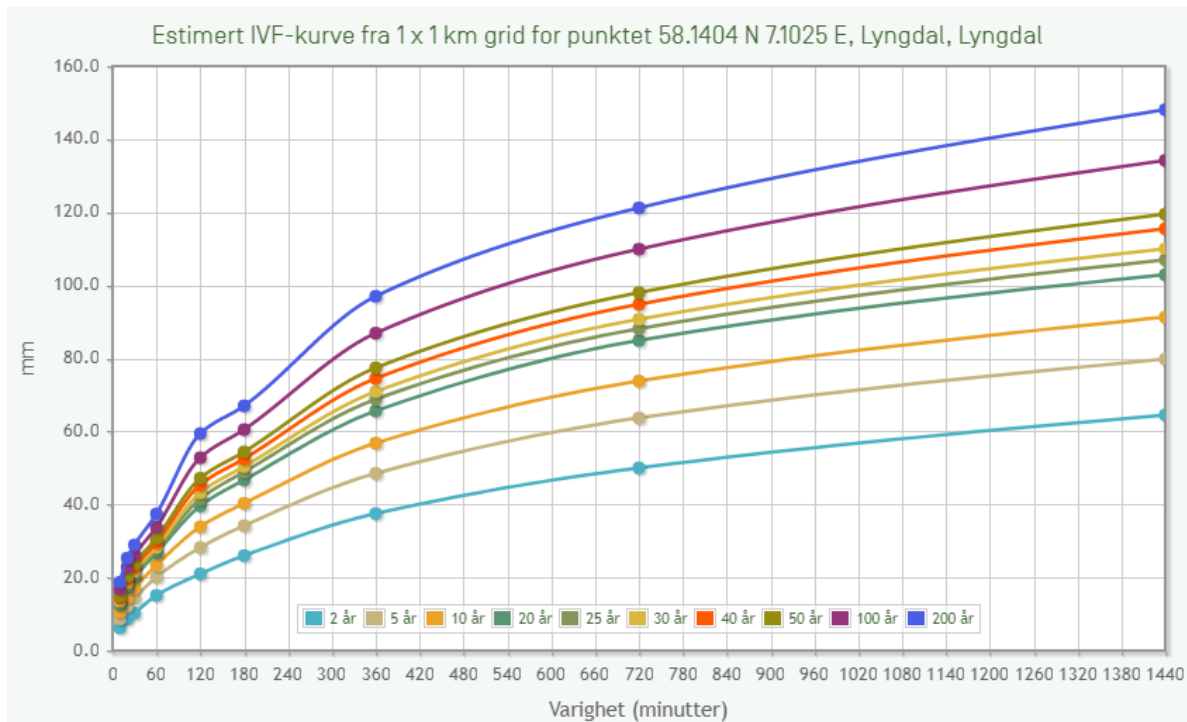
der

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

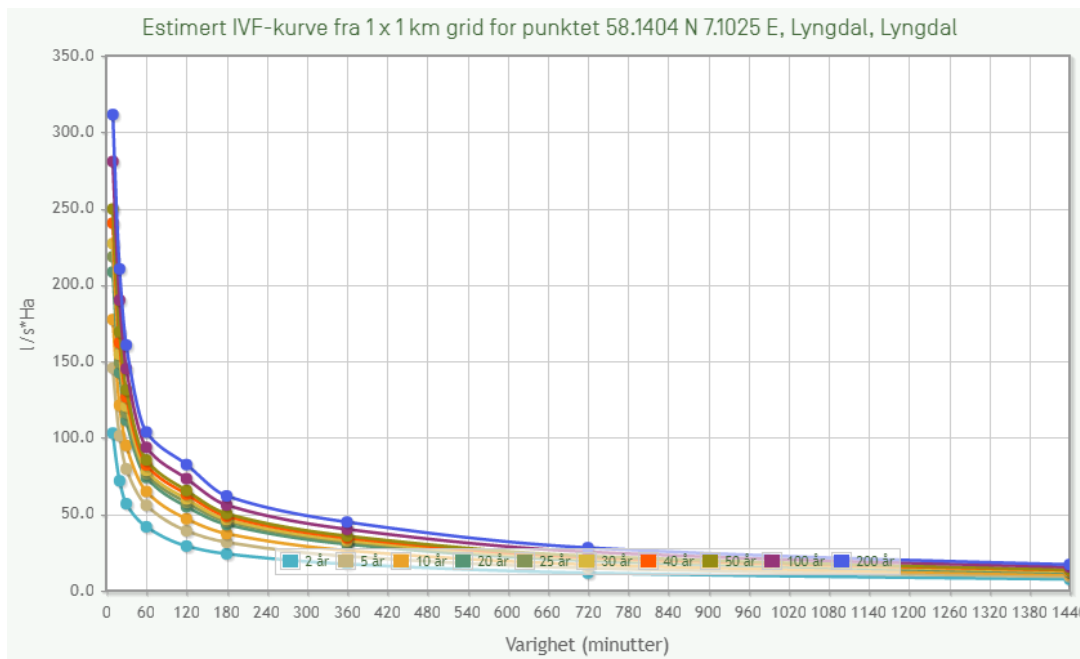
Klimafaktoren skal inkludere en økning i avrenning som følge av forventede klimaendringer. Den er i Håndbok N200 (versjon 2018) anbefalt som 1,3 for flommer med returperiode 200 år i Agder med et ytterligere påslag på 10 % grunnet sikkerhetsklasse F2. Samlet anbefalt klimapåslag vil dermed være 43 %.



Figur 15 Meteorologiske målestasjoner med IVF-kurver i regionen.



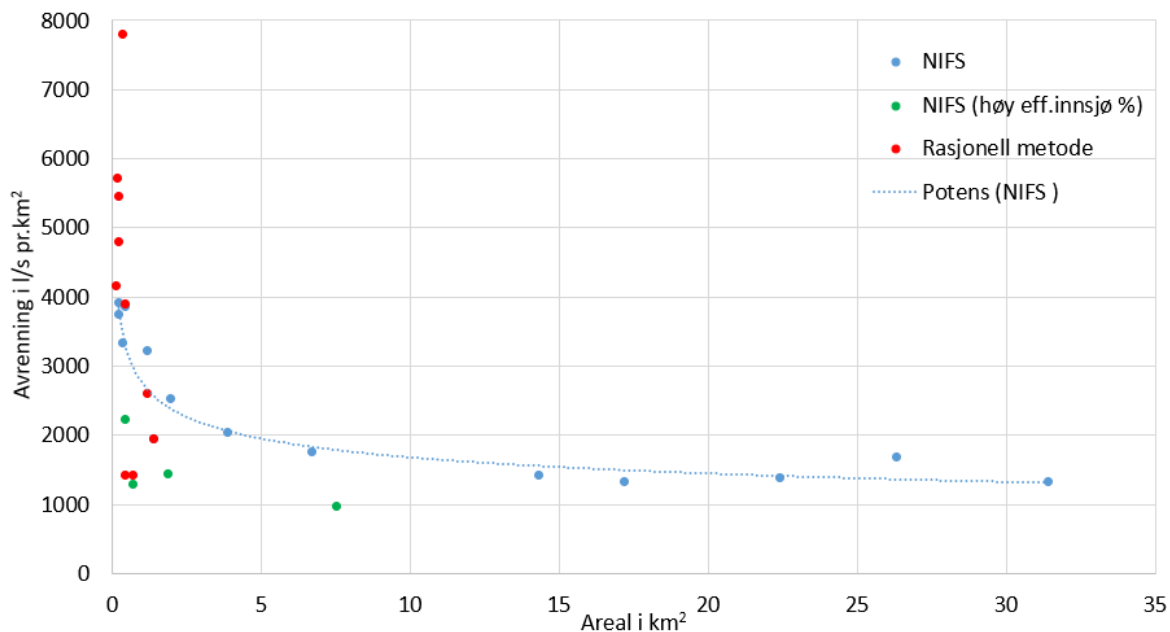
Figur 16 Estimert IVF-kurve i mm for Lyngdal. Data fra Norsk klimaservicesenter.



Figur 17 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 18 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 18 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 ²	Kulminasjon - Q200 l/s/km ²	Klimapåslag, %	Kulminasjon med klimapåslag - Q200 l/s/km ²
< 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 Flomverdier i krysningspunkt for foreslått ny E39 i Lyngdal kommune

Med bakgrunn i verdiene i Tabell 9 er det beregnet flomverdier for alle krysningspunkter for nedbørfelt langs foreslått ny E39 i Lyngdal kommune. Plasseringen av punktene er vist i Figur 14

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

Delfelt nr.	Navn	Areal i oppstrøms nedbørfelt i km ²	q200 flomverdi	Klimapåslag	Beregnet Q200 inkl. klimapåslag i l/s
1	Knutenbekken	0,33	5500	50 %	2707
Krysningspunkt K 1					2707
2.1	Littleåna	25,14	1700	40 %	59822
2.2	Eikelandsbekken	0,97	3500	50 %	5116
2.3	Grubbevatnet ³	12,93	1700	40 %	15387 (30773)
Krysningspunkt B1					80325
2.4	Diffus sidebekk	0,15	5500	50 %	1223
Krysningspunkt K 2					1223
3.1	Diffus sidebekk	0,24	5500	50 %	1949
Krysningspunkt K 3					1949
3.2	Diffus sidebekk	0,10	5500	50 %	844
Krysningspunkt K 4					844
3.3	Flatenbekken	0,13	5500	50 %	1039
Krysningspunkt K 5					1039
3.4	Diffus sidebekk	0,22	5500	50 %	1843
3.5	Diffus sidebekk	0,12	5500	50 %	1026
3.6	Diffus sidebekk	0,02	5500	50 %	127
Krysningspunkt K 6					2996
4.1	Storevassbekken	1,01	2600	50 %	3952
4.2	Bekk fra Kvarthusvatn	0,60	3500	50 %	3125
2.3	Grubbevatnet ⁴	12,93	1700	40 %	15387 (30773)
Krysningspunkt B 2					22463
5	Haddelandsbekken	1,01	2600	50 %	4987
Ingen krysningspunkt , E39 i tunnel under					4987

³ Vannet drenerer ut i to retninger. Avrenningen fordeles med 50/50 til hver av Littleåna og Storevassbekken

⁴ Vannet drenerer ut i to retninger. Avrenningen fordeles med 50/50 til hver av Littleåna og Storevassbekken

5.1 Grove 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 m³/s
- Stor kulvert for vannføringer mellom 20-40 m³/s
- Mulig bro for vannføringer > 40 m³/s

Når det gjelder de mulige kulvertløsninger for vannføringer mellom 8-40 m³/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».

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

Tabell 12 Krysningspunkter med løsningsforslag

Krysningspunkt	Beregnet Q200 inkl. klimapåslag i l/s	Type løsning
Krysningspunkt K 1	2707	1400 rør
Krysningspunkt B1	80325	Bro
Krysningspunkt K 2	1223	1000 rør
Krysningspunkt K 3	1949	1200 rør
Krysningspunkt K 4	844	1000 rør
Krysningspunkt K 5	1039	1000 rør
Krysningspunkt K 6	2996	1400 rør
Krysningspunkt B 2	22463	Bro
Ingen krysningspunkt, E39 i tunnel under	4987	2000 rør, evt. liten kulvert

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

I Lyngdal 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.

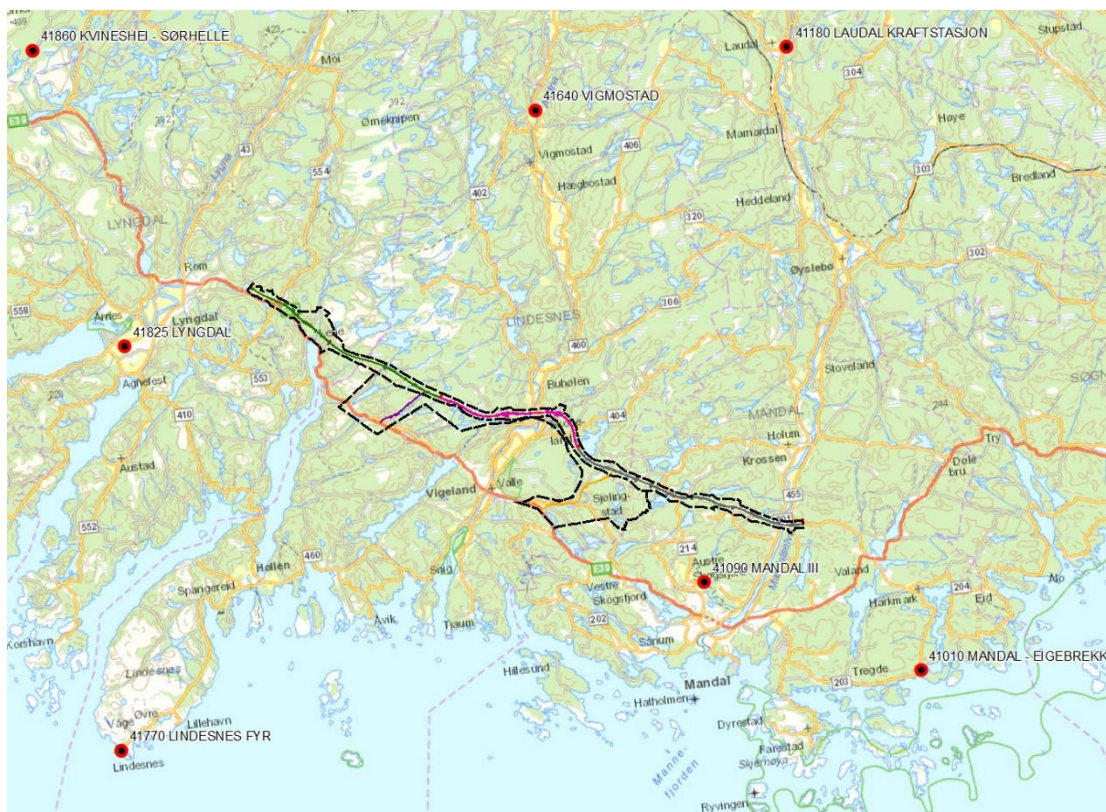
Årsnedbøren varierer fra under 1000 mm ytterst ved kysten, til over 2500 mm i de vestligste fjellområdene.

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 19.

41090 Mandal ligger i Mandal 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.

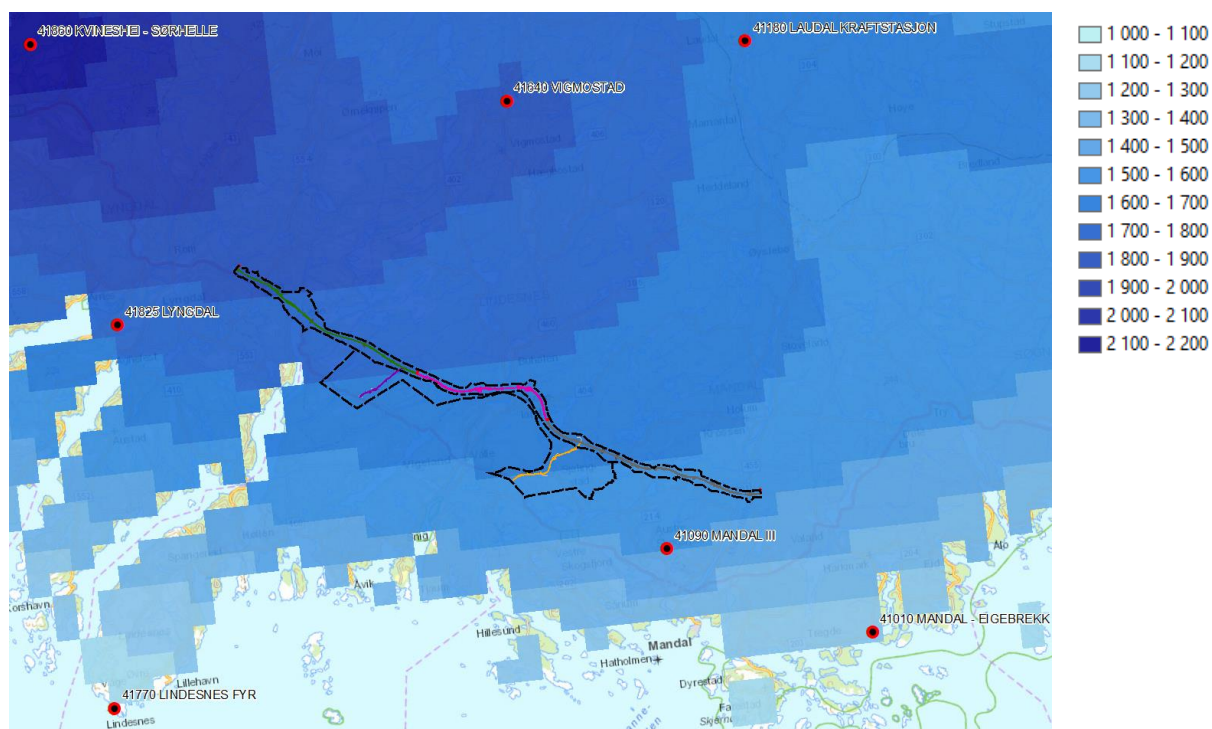


Figur 19 Plassering av meteorologiske målestasjoner

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

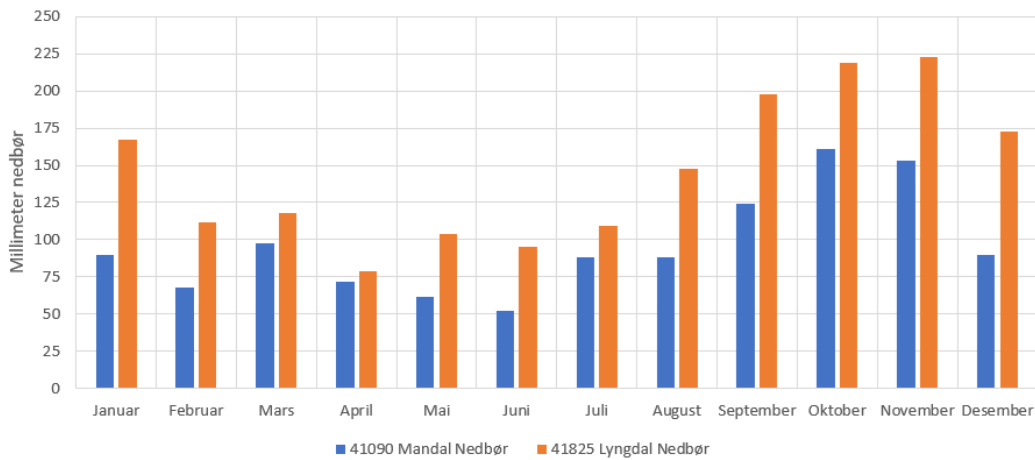
8.2 Nedbør

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 20.



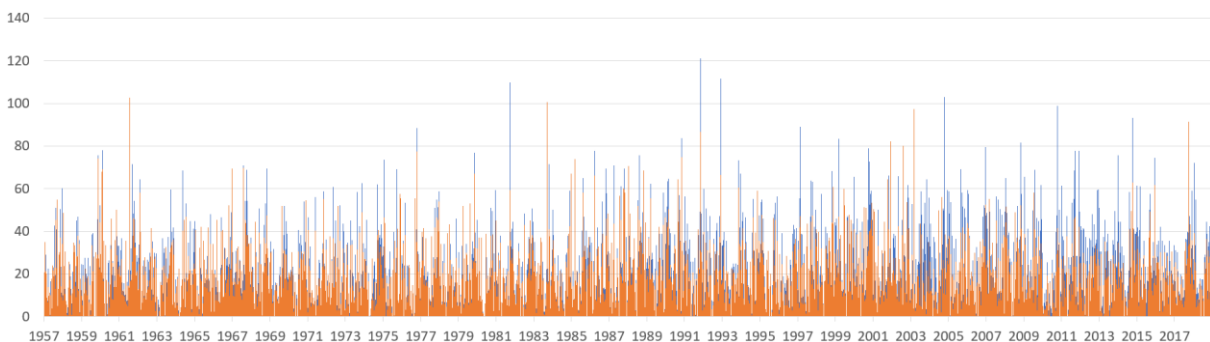
Figur 20 Nedbørnormaler i regionen i mm pr.år

(Data fra met.no)



Figur 21 Nedbørnormal, månedsnedbør, ved nærliggende målestasjoner (Data fra met.no)

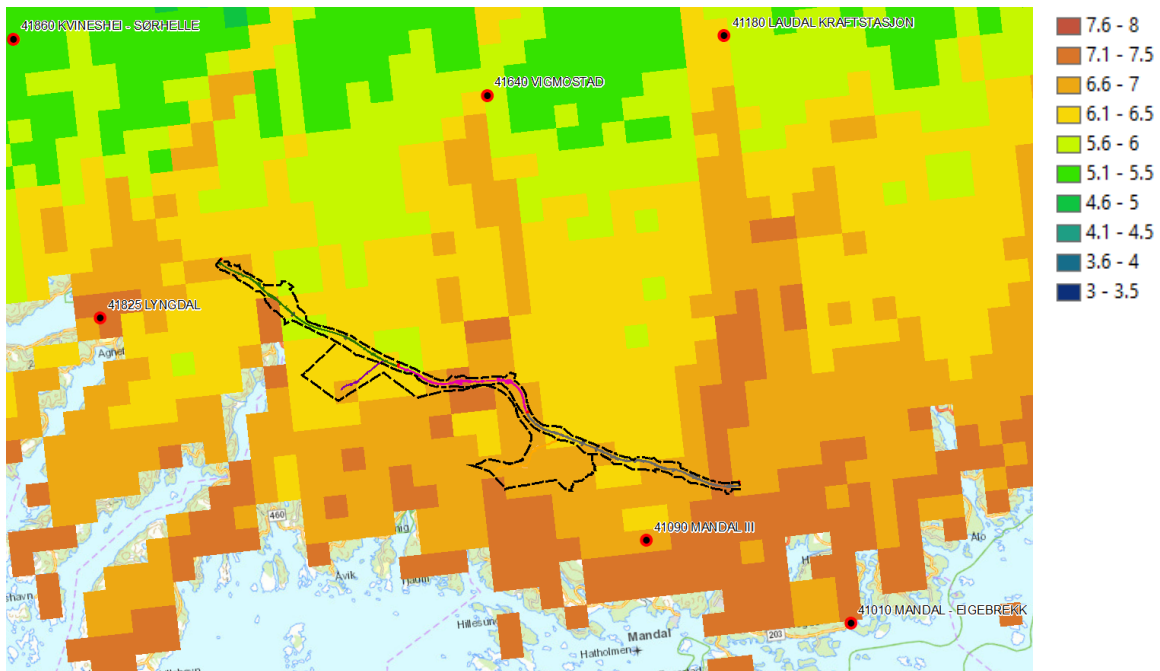
Det er fra Xgeo.no tatt ut modellerte døgnsummer for perioden 1957-2018, for to punkter vest og øst på linjen. Maksimale døgnverdier er som regel under 80 mm, men kan enkelte år komme opp i over 100 mm. Maksimalt modellert i denne perioden er 121 mm.



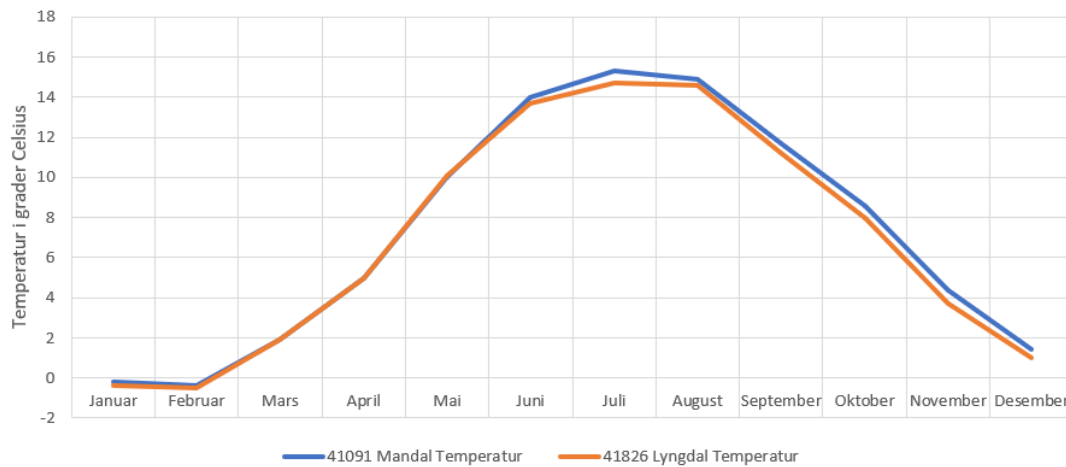
Figur 22 Modellerte døgnsummer for perioden 1957-2018, for to punkter vest og øst på linjen. Data fra Xgeo.

8.3 Temperatur

Månedsmiddeltemperaturen for januar ligger så vidt under 0°C ved de to målestasjonene. Juli-midlene 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 23.



Figur 23 Temperaturnormaler i regionen, årlig middeltemperatur i grader Celsius. (Data fra met.no)



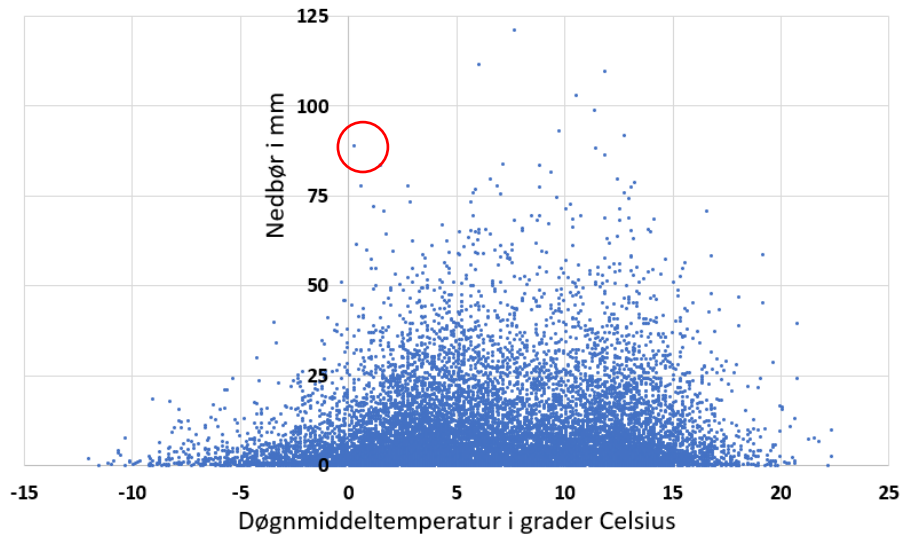
Figur 24 Temperaturnormal ved nærliggende målestasjoner

(Data fra met.no)

8.4 Snø

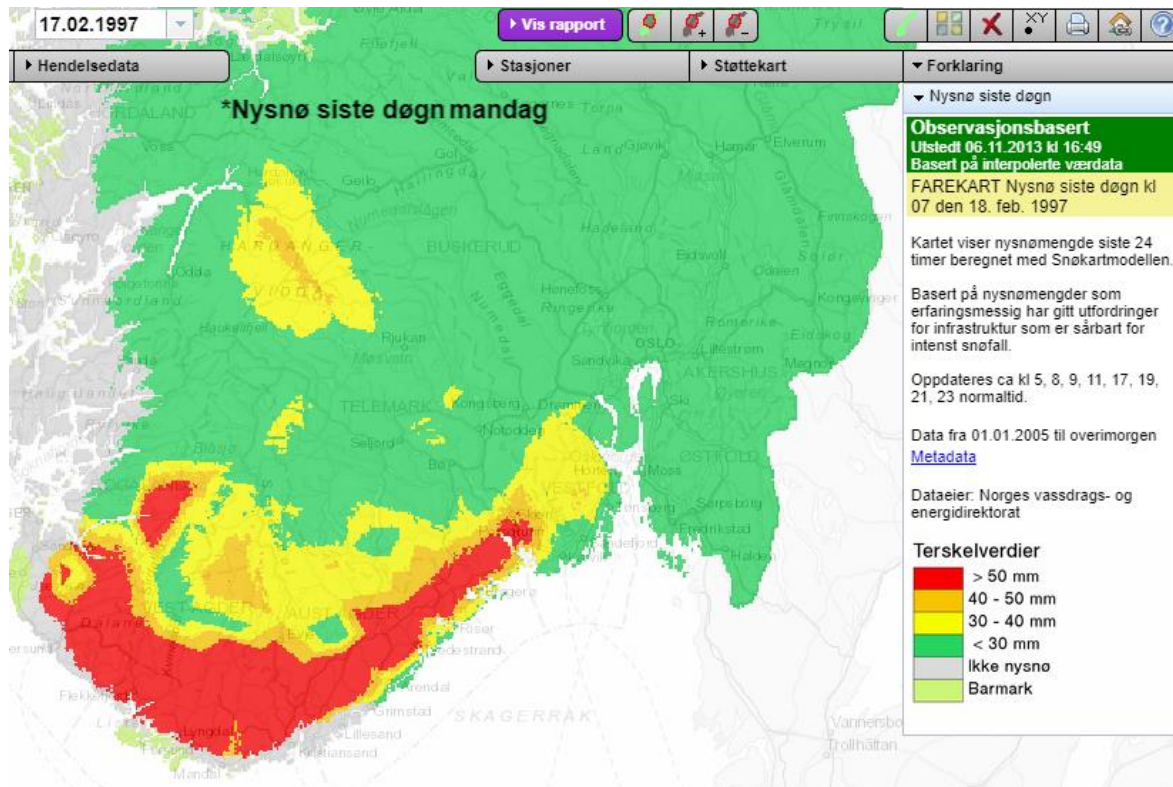
Nedbør i form av snø kan utgjøre en utfordring for vedlikehold og sikkerhet på infrastruktur som vei, kraftlinjer etc. Store nedbørmengder, spesielt i form av tung våt snø, kan forårsake linjebrudd på kraftlinjer, knekte trær og behov for ekstraordinær innsats for å holde veibane fri for snø.

Det er fra Xgeo.no tatt ut modellerte døgnsommer 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 nedbørsmengder den kan forventes å falle som snø. Data er fra 250 meters høyde over havet. Som vist i Figur 25 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 25 Relasjon mellom temperatur og nedbørsmengder langs foreslått ny trasé for E39 Mandal-Lyngdal. Kraftig nedbør den 17.02.1997 er markert med rød ring.

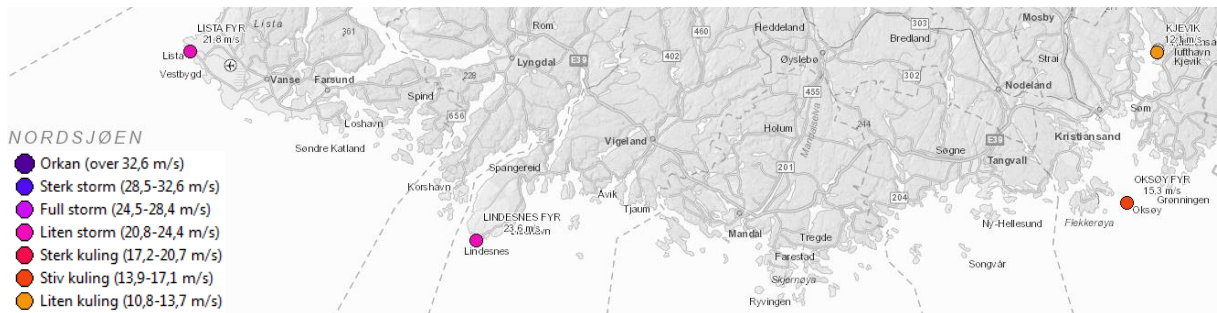
Den regionale utbredelsen av det ekstremt kraftige snøfallet den 17.02.1997 er vist i Figur 26.



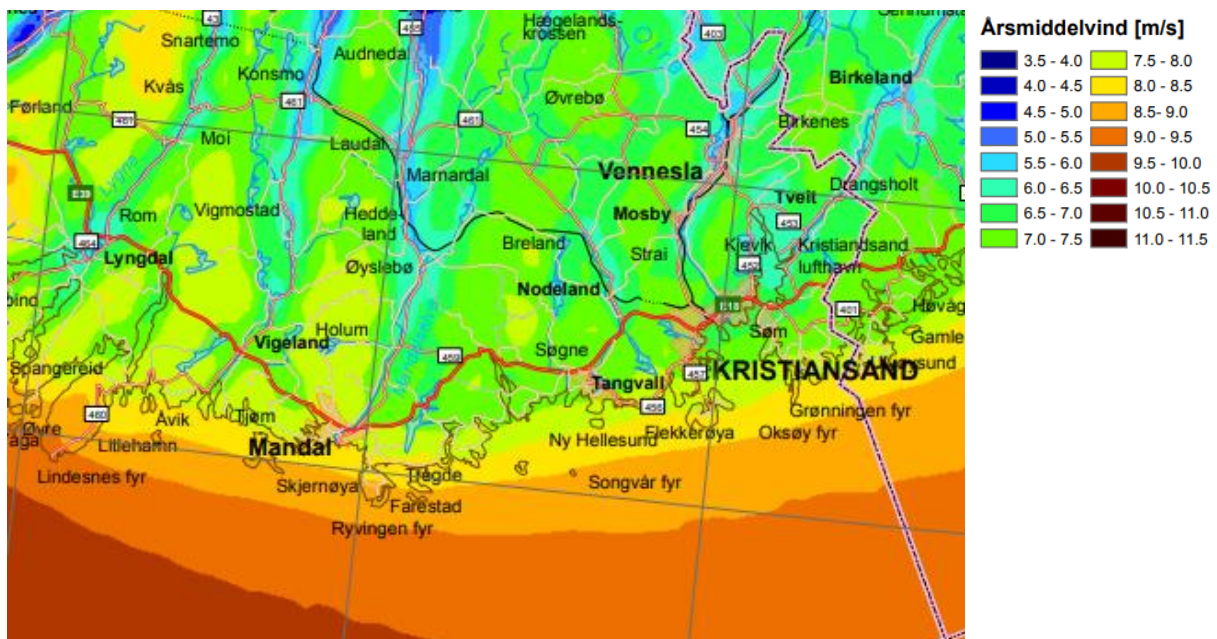
Figur 26 Nysnø i regionen i løpet av sist døgn under hendelsen den 17.02.1997.

8.5 Vind

Det er få målesteder for vind i innlandet langs den foreslåtte traséen. Plasseringen av målesteder i nærheten er vist i Figur 27 og viser at registreringene i hovedsak foregår på vindutsatte plasser på fyr. Utdrag fra vindkart er vist i Figur 28 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 27 Målepunkter for vind i regionen. Data fra 01.01.2019



Figur 28 Utdrag fra vindkart for Norge, Årsmiddelvind i 80 m høyde. NVE 9/2009

9 Særskilte hydrologiske fokusområder

Her beskrives Avik kort enkelte spesielle hydrologiske problemstillinger / fokusområder.

9.1 Broløsninger

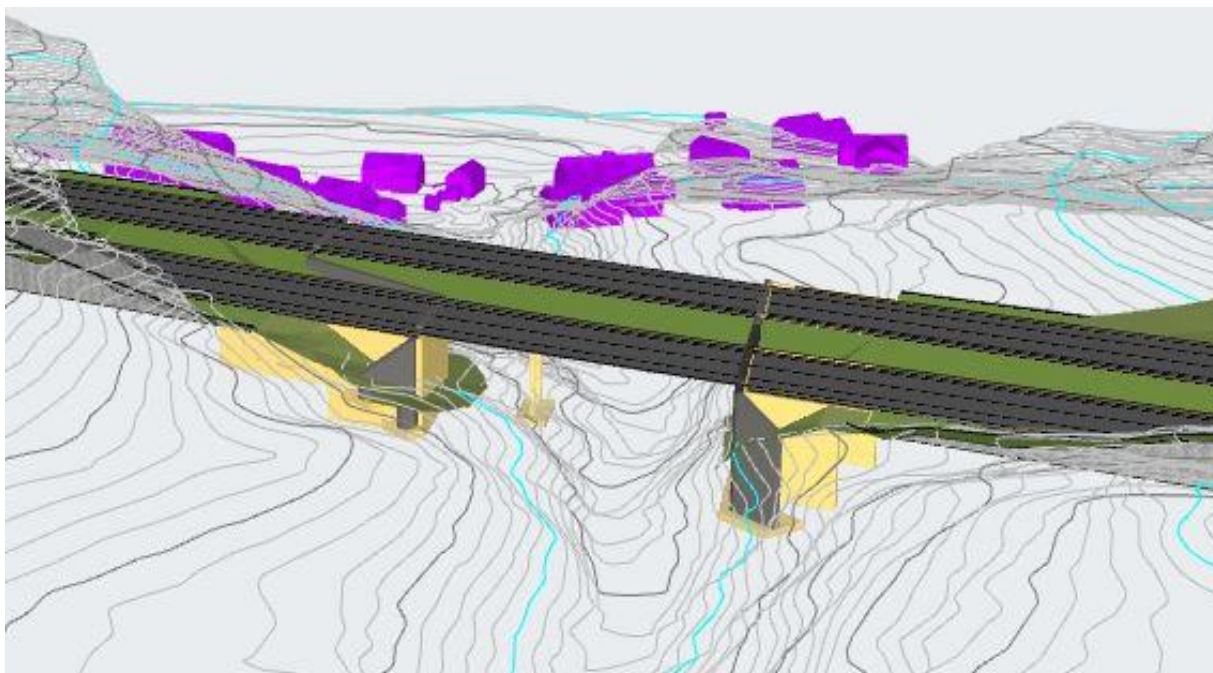
Alle forslåtte broløsninger gir tilstrekkelig kapasitet for de bekker/elver og vann de krysser. Generelt ved anlegging av broer over elver og vassdrag er det viktig at fundamenter og pilarer tilpasses

vannhastigheter og bunnsubstratforhold på angjeldene steder for å unngå erosjonsproblemer og oppstiving av vannmasser.

Det anlegges bro over Litleåna ved Optedal (Se figur Figur 29 under) og over Storevassbekken ved Lene (Figur 30).



Figur 29 Foreslått broløsning ved Optedal, sett ovenfra og oppstrøms.



Figur 30 Bro over Storevassbekken, sett nedstrøms mot Lene.

9.2 Permanent omlegging av bekker

Etablering av Optedal bru medfører at det vil bli en fylling over deler av dagens bekkeløp til Eike-landsbekken. Deler av bekkeløpet vil derfor bli permanent omlagt langs fyllingen under brua som vist i Figur 31.

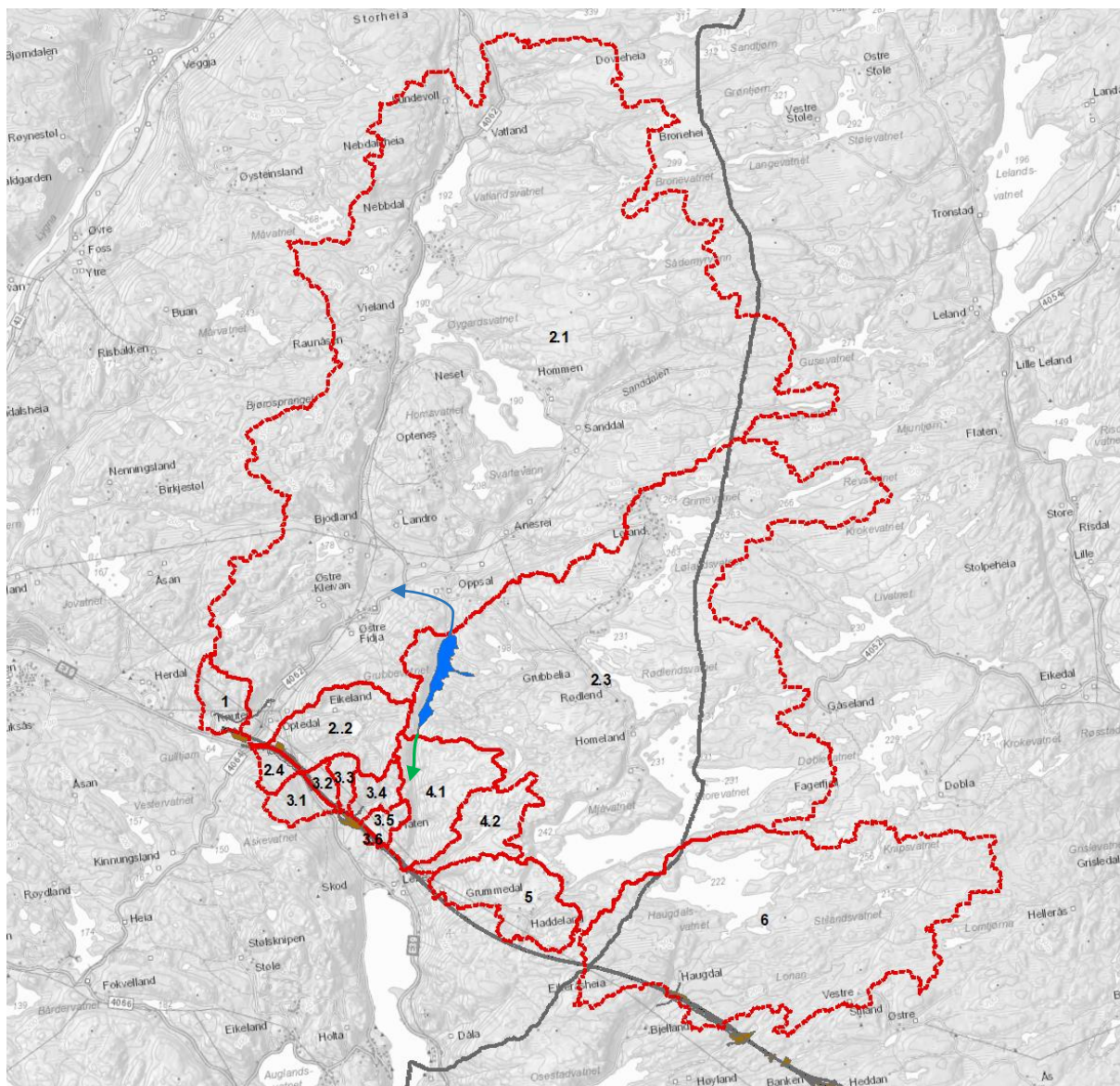
I anleggsfasen legges bekkeløpet om i et midlertidig kortere bekkeløp som vist i figuren under.



Figur 31 Viser dagens bekkeløp for Eikelandsbekken (mørk blå linje) Forslag til omlagt bekkeløp (lys blå linje) langs fyllingen under Optedal bru. Plassering av midlertidig bekkeløp under anleggsfasen er vist med rød pil. (Kilde: Sweco)

9.3 Grubbevatnet

Oppstrøms i nedbørfeltet til Litleåna (2.1) og Storevassbekken (4.1) ligger Grubbevatnet med et forholdsvis stort nedbørfelt på nesten 13 km². Dette vannet drenerer både sørover og nordover og bidrar dermed med vann til to forskjellige elver, Litleåna og Storevassbekken. Begge utløpene er over naturlige terskler og det er ikke gjort noen særskilt beregning for å vurdere hvorvidt det er forskjell i avløpet ved de to utløpene. For beregningene i dette arbeidet og flomvurderingene ved krysningene under E39 er det antatt en 50/50 fordeling av bidrag fra Grubbevatnet. Begge krysningene foregår med bro høyt over elveløpene og er i så måte mindre sårbare hvis fordelingen av vann skulle være annerledes og dermed bidra med mer vann under en flomsituasjon til de enkelte elvene. Plassering av vannet og dreneringsveiene er vist i Figur 32.



Figur 32 Grubbevatnet (i blått) med avrenning ut mot Littleåna (blå pil) og Storevassbekken (grønn pil).

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 N400, *Bruprosjektering*. 2015.

11 VEDLEGG

