



Hydraulisk rapport

Lyngdal kommune
Veiprofilnr. 0 – 7300

Detaljregulering E39 Lyngdal vest–Kvinesdal

Hydrauliske beregninger for vassdrag i Lyngdal kommune

NV Dokumentnummer: NV42E39LK-VAA-RAP-0002
ENT Dokumentnummer: 10220781_E39LK_100_hyd_rap_02

Prosjekt nr:	115510
Oppdragsnavn:	E39 Lyngdal vest - Kvinesdal
Kunde	Nye Veier AS

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Årsak til utgivelse	Utarbeidet	Kontrollert	Godkjent
01	15.05.2023	Første gangs behandling	NOHLAA/ NOSKLA	NOSKLA/ NOMAFO	NORUHO
02	22.03.2024	Innspill fra høring	NOSKLA	NODRAN	NORUHO

Endringsoversikt

Revisjon	Endringsbeskrivelse
01	Til første gangs behandling i Lyngdal og Kvinesdal kommune
02	Innarbeide merknad fra NVE om TEK17 §7-1 som kom inn i forbindelse med høring av reguleringsplanen. Lagt til tekst i kap. 2.4.

Innhold

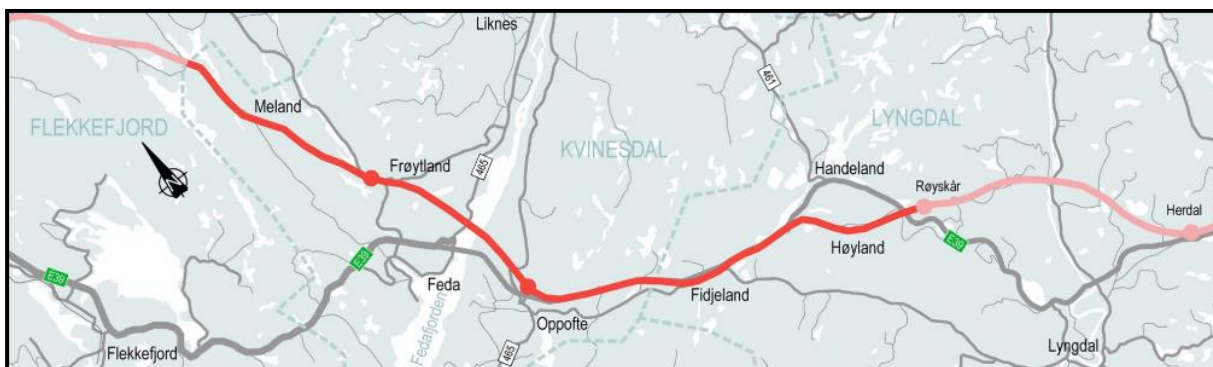
1	Innledning	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Om rapporten	5
2	Krav, retningslinjer og veiledere	6
2.1	Statens vegvesens Vegnormal N200 Veibygging (2022).....	6
2.2	Statens vegvesens Vegnormal N400 Bruprosjektering (2023).....	6
2.3	Statens vegvesens Håndbok V240 Vannhåndtering – Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering	7
2.4	Byggeteknisk forskrift (TEK17)	7
2.5	NVEs retningslinjer nr. 2/2011 Flaum- og skredfare i arealplanar	8
3	Metode.....	9
3.1	Beregning av kulvertdimensjon (rørdiameter < 2,5 m).....	9
3.2	Beregning av kulvert-/brudimensjon (rørdiameter > 2,5 m)	10
3.3	Beregning av bekke- og grøftegeometri.....	13
3.4	Flomsonekartlegging	14
4	Hydrauliske beregninger	17
4.1	Kulvertberegninger (rørdiameter < 2,5 m).....	17
4.2	Kulvert-/bruberegninger (spennvidde > 2,5 m).....	18
4.3	Flomsonekartlegginger.....	20
4.4	Beregning av bekke- og grøftegeometri.....	22
5	Usikkerheter	26
6	Oppsummering.....	27
7	Referanser og litteratur.....	29
8	Vedlegg	30
8.1	Tegninger og bilder eksisterende kulverter.....	30

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Nye Veier har ansvaret for utbygging av E39 fra Kristiansand i Agder til Ålgård i Rogaland, en strekning på om lag 200 kilometer. Ny E39 planlegges som trafikkikker firefelts motorvei med fartsgrense 110 km/t. Motorveien vil, i tillegg til reduksjon i antall ulykker, gi vesentlig kortere reisetid for brukerne og knytte Agder og Rogaland tettere sammen som felles bo- og arbeidsmarked.

Utarbeiding av reguleringsplan med konsekvensutredning for parsellen Lyngdal vest-Kvinesdal er en del av dette arbeidet. Planlegging av ny vei og tunnel fra E39 til Øyesletta inngår i prosjektet. Det er Lyngdal og Kvinesdal kommuner som er planmyndighet.



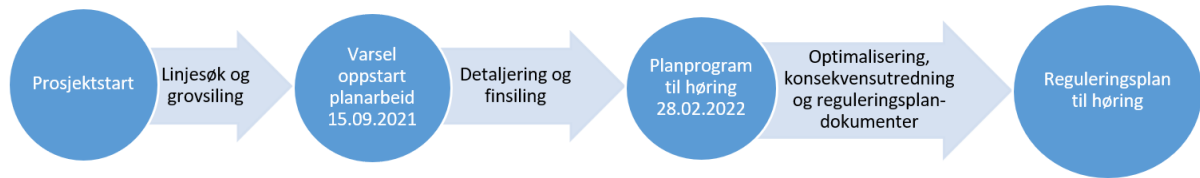
Figur 1-1: Parsellen E39 Lyngdal vest-Kvinesdal.

Det foreligger trasé for veiløsning i de gjeldende kommunedelplanene E39 Vigeland-Lyngdal vest og E39 Lyngdal vest-Ålgård, men strekningen gjennom Kvinesdal kommune er ikke vedtatt. Ny trasé fra Røyskår til kommunegrensen mot Flekkefjord er nå utredet av Nye Veier.

I arbeidet med reguleringsplan er det gjennomført linjesøk og tverrfaglige vurderinger av et bredt utvalg av løsninger for å finne den samlet sett beste traséen fra Røyskår i Lyngdal, gjennom Kvinesdal, til kommunegrensen mot Flekkefjord. Fra kommunegrensen og nordvestover foreligger det vedtatt kommunedelplan for ny E39. Østover fra Røyskår er prosjektet E39 Lyngdal øst-Lyngdal vest under bygging, med forventet ferdigstilling i 2025.

Til varsel om oppstart av planarbeid (15.09.2021) ble det gjennomført en grovsiling av et stort antall alternative veilinjer for ny E39. Anbefalte linjer fra grovsilingen danner grunnlaget for videre detaljering og vurdering. Frem mot utlegging av planprogram til høring og offentlig ettersyn (28.02.2022) ble det gjennomført en finsiling av de gjenværende linjene fra grovsilingen. Anbefalt linje fra finsilingen, sammen med linjer og kryssløsninger som kommunene vedtok utredet i planprogrammet, har dannet

grunnlaget for videre optimalisering, detaljering, konsekvensutredning, valg av linje og utarbeidelse av reguleringsplandokumenter.



Figur 1-2: Tidslinje med utført arbeid mellom prosjektets sentrale milepeler.

Det henvises til silingsrapporter, planprogram, prosjektrapport, konsekvensutredning, reguleringsplandokumenter og fagrapporter for ytterligere detaljert informasjon om prosjektet. Dokumentene kan finnes på nettsidene til Nye Veier, Lyngdal og Kvinesdal kommune.

1.2 Om rapporten

Hensikten med denne rapporten er å dokumentere hydrauliske beregninger for vassdrag som krysser eller går langs veitrasé i Lyngdal kommune. Rapporten danner grunnlag for blant annet dimensjonering av stikkrenner, kulverter, brukonstruksjoner, bekkeomlegginger og grøfter, og er basert på hydrologiske beregninger dokumentert i rapport «NV42E39LK-VAA-RAP-0001_Hydrologisk rapport Lyngdal kommune» [1].

Det er i denne fasen gjort innledende hydrauliske beregninger og vurderinger for veistrekning med profilnummer 0–7300. Det overordnede målet har vært god og sikker håndtering av overvann ved å følge krav og anbefalinger i gjeldende veinormaler og veiledere.

Totalt 28 kulverter ($D < 2,5$ m) og 4 bokskulverter definert som bruer ($D > 2,5$ m) er dimensjonert for 200-årsflom inkl. klima- og usikkerhetspåslag. Det er gjort beregninger for 3 grøfte- og bekkegeometrier, og kartlagt 3 flomsone (eksisterende situasjon) for bekkekryssinger dekket av aktsomhetsområder for flom.

I detaljprosjekteringen og anleggsfasen må det gjøres nærmere vurderinger av endelige løsninger. Vurderingene vil blant annet innebære:

- Vurdering av løsninger for erosjonssikring.
- At nye løsninger ikke forringer kvaliteten av vassdrag for akvatiske organismer, se rapport «Vurdering av tiltak i berørte vassdrag (vannotat)» [2].
- Kontroll av vannhåndtering for mindre vannveier/små nedbørfelt.
- Midlertidige tiltak i anleggsfasen.

Rapporten er et vedlegg til reguleringsplan for E39 Lyngdal vest-Kvinesdal.

2 Krav, retningslinjer og veiledere

2.1 Statens vegvesens Vegnormal N200 Veibygging (2022)

Vegnormal N200 Vegbygging er den grunnleggende tekniske normalen for bygging av vei i Norge utenom tunell og bru. Normalens krav og anbefalinger bygger i stor grad på erfaring og på en helhetlig vurdering av de totale kostnadene for samfunnet, trafiksikkerhet, helse og arbeidsmiljø, ytre miljø, klimapåvirkning, jordvern, trafikkberedskap og framkommelighet [3].

Kapittel 2 gir krav til vannhåndtering for å opprettholde veiens bæreevne, sikre mot oversvømmelse, unngå forurensing og sikre vandringsmuligheter for fisk, amfibier og småvilt.

Viktige bestemmelser som er relevant for denne rapporten:

- Krav 2.1-1: Vann som ledes fra eller gjennom veiområdet, skal ikke slippes ut over tilstøtende eiendommer uten at det er ervervet rett til dette ved avtale eller ekspropriasjon.
- Krav 2.1-2: Krav til dokumentasjon som skal foreligge i de forskjellige planfasene.
- Kap. 2.2.1: Sikkerhetsklasser bestemmes ut ifra ÅDT og omkjøringsmuligheter, og bestemmer dimensjonerende returperiode (T) og sikkerhetsfaktor for å håndtere usikkerheter (Fu).
- Kap. 2.4.1: Behov for erosjonssikring skal vurderes langs vannveier og flomveier, for alle hydrauliske tiltak og for arealer tilknyttet vei og eventuell tredjepart i området.
- Kap. 2.4.2: Krav til dimensjonering av hydrauliske tiltak.
- Krav 2.4.2.1-1: Minste dimensjoner for gjennomløp
- Krav 2.4.2.1-6: Delvis gjentetting av gjennomløp pga. masseavsetning (1/3 av innløpets høyde)
- Kap. 2.4.2.8: Krav til fiskepassasjer.

2.2 Statens vegvesens Vegnormal N400 Bruprosjektering (2023)

Vegnormal N400 Bruprosjektering stiller krav til prosjektering av bruer, ferjekaier og andre bærende konstruksjoner i det offentlige veinett [4].

Viktige bestemmelser som er relevant for denne rapporten:

- Bærende konstruksjoner med spennvidde større eller lik 2,5 m defineres som bru.
- Dimensjonerende flomverdi skal inkludere klimafaktor og sikkerhetsfaktor, slik som i N200.

- Krav 3.6.2: Det skal benyttes dimensjonerende returperiode T lik 200 år for alle brukonstruksjoner
- Krav 4.2.4.: Fri høyde over vassdrag skal være minimum 0,5 m ved beregnet vannstand ved 200-årsflom.

2.3 Statens vegvesens Håndbok V240 Vannhåndtering – Flomberegninger og hydraulisk dimensjonering

Håndbok V240 er en veiledning til kap. 2 Vannhåndtering i N200. Håndboken er delt inn i tre deler: planlegging, hydrologi og hydraulikk. Del to gir utdypende beskrivelser av metodene og kravene oppgitt i N200 [3]. Det er fokusert på datagrunnlag, valg av beregningsmetoder ut fra feltegenskaper og usikkerheten som er forbundet med metodene. Dette er ytterligere beskrevet i denne rapporten under metodekapitlet.

2.4 Byggeteknisk forskrift (TEK17)

Kapittel 7 i Byggeteknisk forskrift (TEK17) omfatter krav om sikkerhet mot naturpåkjenninger, herunder sikkerhet mot flom, stormflo og skred, som skal legges til grunn ved regulering og bygging i faresoner.

§7-1 andre ledd angir at planlagte tiltak ikke skal medføre en fare for skade eller vesentlig ulempe for tilstøtende terreng, eller 3. part [5]. Det betyr at planlagte tiltak (veibyggingen) som får konsekvenser for tilstøtende terreng eller 3. part må sikres mot naturpåkjenninger, tilsvarende som for planlagt tiltak. Planlagt tiltak skal med andre ord ikke forverrer sikkerheten mot naturpåkjenninger for tilstøtende terreng og 3. part i ettertid.

§7-2 gir krav til sikkerhet mot flom og stormflo. For byggverk, konstruksjoner eller anlegg i flomutsatt område skal det fastsettes en sikkerhetsklasse for flom (Tabell 2-1). Byggverk, konstruksjon eller anlegg skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot flom slik at største nominelle årlige sannsynlighet ikke overskrides. Hvilken sikkerhetsklasse et byggverk, konstruksjon eller anlegg tilhører er avhengig av konsekvensene ved oversvømmelse [5].

Sikkerhetsklasse F1 omfatter byggverk med lite personopphold og små økonomiske eller andre samfunnsmessige konsekvenser. Sikkerhetsklasse F2 omfatter de fleste byggverk beregnet for personopphold. Sikkerhetsklasse F3 omfatter byggverk for sårbare samfunnsfunksjoner og byggverk der oversvømmelse kan gi stor forurensning på omgivelsene. [5]

Tabell 2-1: Sikkerhetsklasser for byggverk, konstruksjon og anlegg [5].

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

Kravene i TEK17 trer i kraft hvis et vassdrag ligger nært bebyggelse og planlagt vei, hvor valg av gjentaksintervall for flomhendelser for planlagt vei vil påvirke flomfaren for bebyggelse. Strengeste krav til sikkerhet fra TEK17, N200 og N400 skal legges til grunn.

2.5 NVEs retningslinjer nr. 2/2011 Flaum- og skredfare i arealplanar

Retningslinjene beskriver hvordan flom- og skredfare bør utredes og hensyntas i arealplansaker. Utreiing av flomfare på reguleringsplannivå skal skaffe kunnskap om reell fare som utbyggingen må hensynta. Det vil si at flomfaren skal detaljkartlegges og tallfestes for de gjentaksintervall som er oppgitt i TEK17 og N200. Dersom det skal bygges innenfor fareutsatt område skal det avklares hvordan man oppnår tilstrekkelig sikkerhet vha. risikoreduserende tiltak. Dersom det er behov for risikoreduserende tiltak må arealbeslaget i reguleringsplanen ta hensyn til dette. Det skal også undersøkes om planlagt utbygging kan forverre sikkerheten mot flom og erosjon utenfor planområdet.

3 Metode

3.1 Beregning av kulvertdimensjon (rørdiameter < 2,5 m)

Beregning av kulvertdimensjoner gitt innløpskontroll ble beregnet ved hjelp av programvaren HY-8 versjon 7.70. HY-8 ble utviklet av det amerikanske Federal Highway Administration (FHWA), og senere videreutviklet i samarbeid med flere universiteter. Programmet automatiserer kulvertberegninger etter metodene i Hydraulic Design Series (HDS) no. 5: «Hydraulic Design of Highway Culverts».

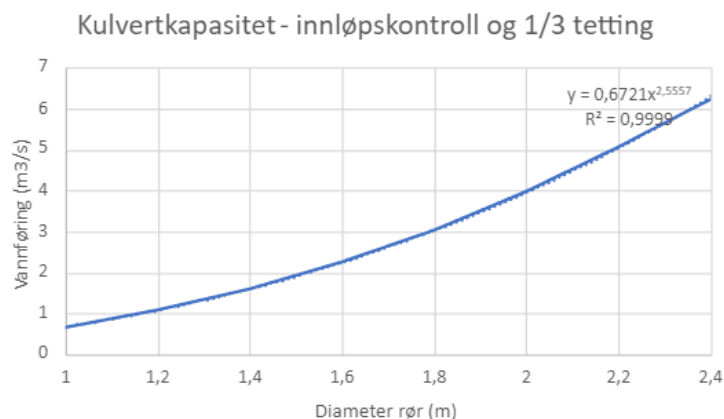
Det er gjort beregninger med forskjellige standard sirkulære rørstørrelser med 33 % gjentetting av rørets høyde i HY-8. Tabell 3-1 viser forutsetningene gjort i HY-8. Basert på beregnede kapasitet for hver rørstørrelse ble det konstruert en kulvertkapasitetskurve (se Figur 3-1). Kapasitetskurve ble benyttet videre til beregning av nødvendig kulvertdimensjon for hver enkelt bekkekryssing med diameter < 2,5 m. For bekkekryssinger hvor dimensjonerende flom tilsvarer en rørkulvert med diameter > 2,5 m ble kulverten dimensjonert som beskrevet i Kap. 3.2.

Tabell 3-1: Forutsetninger i HY-8 ved beregning av kulvertkapasitet.

Parameter	Verdi	Enhet	Kommentar
Kulvert			
Helning	1	%	Valgt som følge av at slakere helning gir utløpskontroll. Brattere helning gir fortsatt innløpskontroll og påvirker ikke kapasiteten.
Tetting	33	%	Iht. krav 2.4.2.1-6 i N200
Manning bunn	0,045	s/m ^{1/3}	
Manning topp	0,012	s/m ^{1/3}	
Innløpstap	0,5	-	Square Edge With Headwall
Kulvert type	Straight	-	
Inlet depression	Nei	-	
Lengde kulvert	25	m	Vil ikke påvirke resultatene som følge av innløpskontroll. Valgt kun basert på en typisk veibredde.
Nedstrøms grense			
Helning	2	%	
Form	Rektangulær	-	
Bunnbredde	4	m	
Manning	0,03		
Vei			

Parameter	Verdi	Enhet	Kommentar
Veistasjon	10	-	
Overløpsbredde	80	m	
Høyde	4	m	
Veioverflate	Asfaltert	-	
Lengde(bredde) på vei	15	m	

Diameter rør (m)	Kapasitet (m ³ /s)
1	0,67
1,2	1,07
1,4	1,59
1,6	2,24
1,8	3,03
2	3,96
2,2	5,05
2,4	6,25



Figur 3-1: Resultater fra analyse av kulvertkapasitet for sirkulære rør med 1/3 gjentetting av rørets høyde i HY-8.

3.2 Beregning av kulvert-/brudimensjon (rørdiameter > 2,5 m)

Kulverter med nødvendig rørdiameter > 2,5 m defineres som bru etter N400, og ble beregnet ved en kombinasjon av HY-8 versjon 7.70 og HEC-RAS versjon 6.3.1. Kulvertene ble enten beregnet med rektangulært tverrsnitt eller hvelvkulvert (vertikale vegger med halvrør). Kravet om 0,5 m fri høyde til vassdrag ble hensyntatt.

HEC-RAS er en programvare for hydraulisk modellering utviklet av US Army Corps of Engineers. Det er benyttet inngangsparametere i HEC-RAS vist i Tabell 3-2, mens valgte Manningsverdier er vist i Tabell 3-3 og ble lagt inn i modellen ved bruk av AR5-data. Terrengdata ble hentet fra Høydedata.no og kombinert med geometri for nytt veianlegg og omlegginger av vassdrag.

HY-8 ble benyttet ved mindre komplekse situasjoner med innløpskontroll. Inngangsparametere i HY-8 er vist i Tabell 4. Ved mer komplekse forhold, spesielt mtp. utløp, ble HEC-RAS benyttet for hydraulisk modellering en viss distanse opp- og nedstrøms aktuelle kulverter.

Dimensjoner ble som hovedregel beregnet for ett løp for å gi vassdraget en stor åpning, istedenfor mange små. For kulvert/bruer med rektangulær geometri hvor det skal tilrettelegges for småvilt-, åle- og fiskepassasjer ble det i etterkant av beregnede geometrier lagt til henholdsvis 0,5 m ekstra bredde og høyde for å kompensere for

plassering av en småviltshylle og senkning av kulvert for igjenfylling av naturlig elvesubstrat. For beregning av hvelvkulvert ble hylle og bunns substrat inkludert i beregningene. For noen vassdrag har dette påvirket bredde og hvilket regelverk kulverten/bruen faller inn under (N200 eller N400).

Tabell 3-2: Standard beregningsoppsett for kulvert/bru-dimensjoner i HEC-RAS.

Beregningsoppsett i HEC-RAS	
<i>2D Flow options</i>	
Equation set	SWE-ELM (original/faster)
<i>Advanced Time Step Control</i>	
Adjust time step based on Courant	check
Max courant	1
Min courant	0,1
Number of steps below min	2
Maximum number of doubling base time step	2
Maximum number of halving base time step	2
<i>Eksisterende kulverter</i>	
Entrance loss	0,7
Manning (gammel betong)	0,015
Manning (bunnmaterial)	0,03
Depth blocked (for rør D<2,4m)	1/3 av høyde
Høyder	Basert på terreng eller innmålinger
<i>Nye kulverter</i>	
Entrance loss (antar frontmur)	0,5
Manning (betong)	0,013
Depth blocked (for rør D<2,4m)	1/3 av høyde
Manning (bunnmaterial)	0,03
Lengdefall med fisk (%)	0,5-1
Lengdefall uten fisk (%)	1-5
Krav til bokskulvert (B>2,4 m)	frihøyde 0,5 m

Tabell 3-3: Manningsverdier benyttet for beregninger i HEC-RAS.

Arealtype (fra AR5)	Manningsverdi (n) valgt
Åpen fastmark	0,06
Skog	0,15
Bebygd	0,10
Ferskvann	0,04
Fulldyrka jord	0,04
Hav	0,04
Innmarksbeite	0,03
Myr	0,06
Overflatedyrka jord	0,035
Samferdsel	0,02

Tabell 3-4: Standard beregningsoppsett for kulvert/bru-dimensjoner i HY-8.

Beregningsoppsett i HY-8	
<i>Discharge data</i>	
Discharge method	Minimum, design and maximum
Flow	Fra flomberegninger
<i>Tailwater data</i>	
Channel type	Rectrangular / constant tailwater elev.
Width, slope, elevations	Fra terrengmodell eller antagelser
Manning's n channel	0,03-0,04
<i>Culvert data - alt. 1: rektangulær utforming</i>	
Shape	Concrete box
Material	Concrete
Span/rise	Variabler som tilpasses hver kulvert
Embedment depth (m)	0,01
Manning's n (top/sides)	0,012
Manning's n (bottom)	0,035
Culvert type	Straight
Inlet configuration	Square Edge (90 deg,) Headwall (Ke = 0,5)
Inlet depression?	No
<i>Culvert data - alt. 2: hvelvkulvert</i>	
Shape	User defined
Material	Corrugated Metal Riveted or Welded
Span/rise	Variabler som tilpasses hver kulvert
Embedment depth (m)	0,5
Manning's n (top/sides)	0,04
Manning's n (bottom)	0,04
Culvert type	Straight
Inlet configuration	Square Edge with Headwall (Ke = 0,5)
Inlet depression?	No
<i>Site data</i>	
Elevations	Fra terrengmodell og antagelser
Number of barrels	1

3.3 Beregning av bekke- og grøftegeometri

Enkel kontroll av grøftkapasitet og vurdering av geometri ble gjennomført ved hjelp av Mannings formel (se under), mens mer kompliserte forhold ble beregnet/kontrollert i HEC-RAS med inngangsparametere som beskrevet i kap. 3.2.

$$\text{Mannings formel: } V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Hvor V = gjennomsnittlig vannhastighet, n = Manningstall (ruhet), R_h = hydraulisk radius og S = elvegradienten/lengdefall.

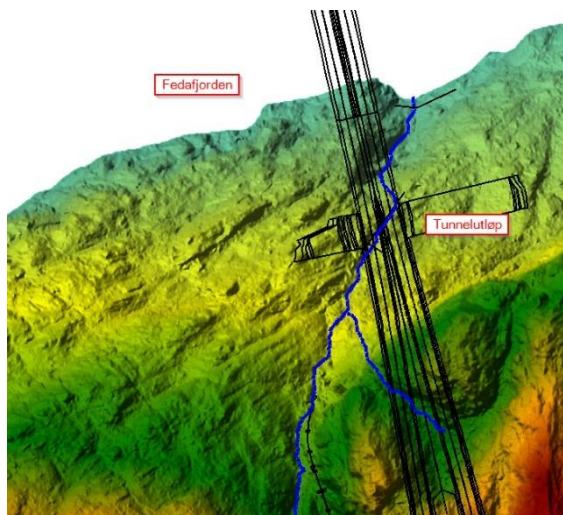
3.4 Flomsonekartlegging

For bekkekryssinger dekt av NVEs aktsomhetsområde for flom ble flomsoner ved dimensjonerende flom kartlagt. Kartlegging ble gjort ved bruk av HEC-RAS for områder påvirket av ny E39.

Beregnete flomsoner ble etterprosessert i GIS (programvare ArcGIS Pro) for manuell justering og enklere fremstilling av flomsonene. Følgende eksempel illustrerer typisk fremgangsmetode for flomsonekartlegging:

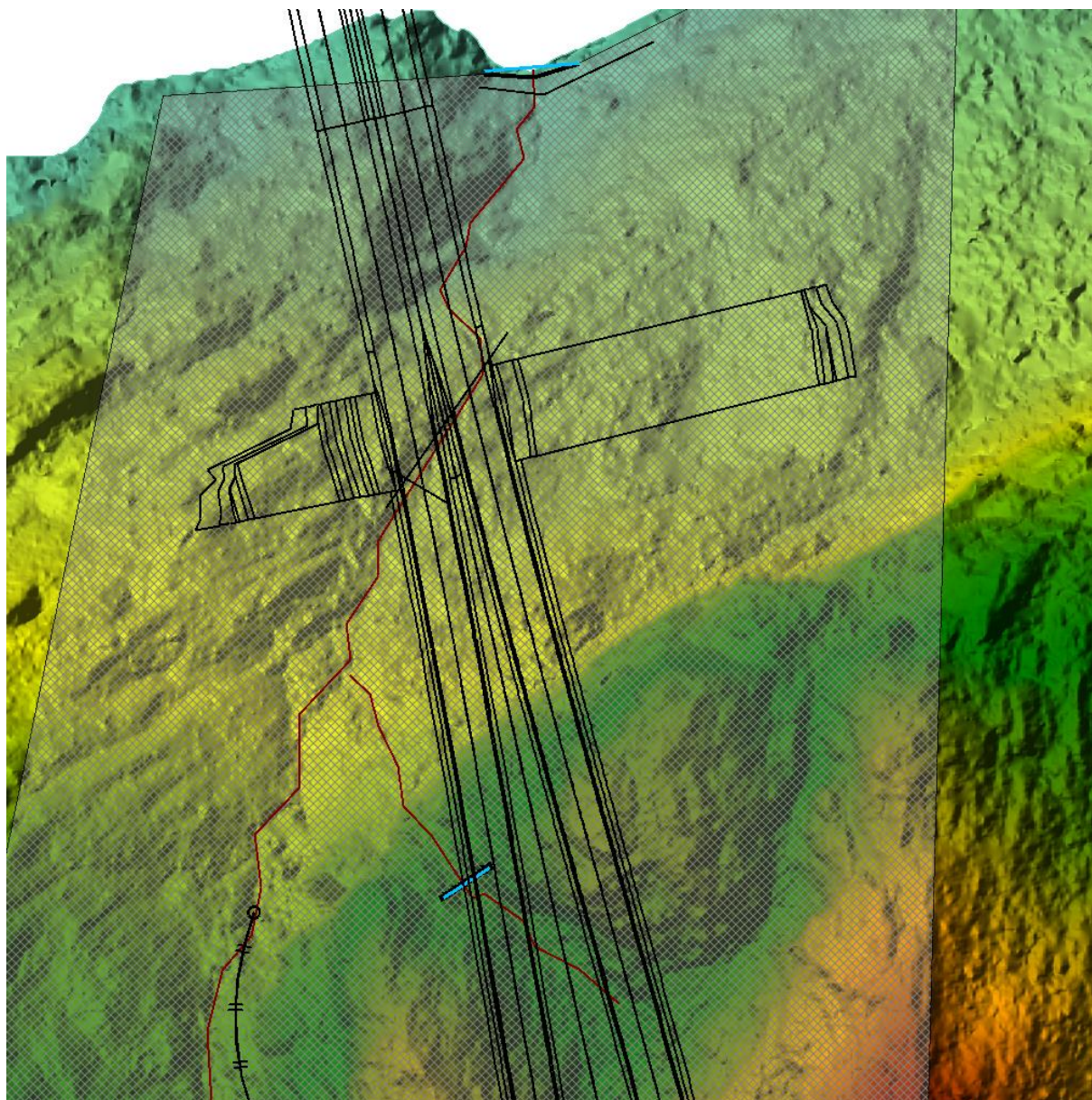
Planlagt E39 har utløp fra tunnel ved Fedafjordens sørside (Figur 3-2). En bekk som renner ned i fjorden er dekket av NVEs aktsomhetsområde for flom, og krysser det planlagte utløpet på tunnelen ved ca. veiprofilnummer 13950.

En hydraulisk beregningsmodell i HEC-RAS ble satt opp iht. kap. 3.2. (Figur 3-3). Øvre grensebetingelser med dimensjonerende vannføringer ble plassert et godt stykke oppstrøms aktuell bekkekryssing. Det ble benyttet cellestørrelse 0,5 x 0,5 m, med enkelte «breaklines» langs dreneringsveiene for riktig orientering av celler.

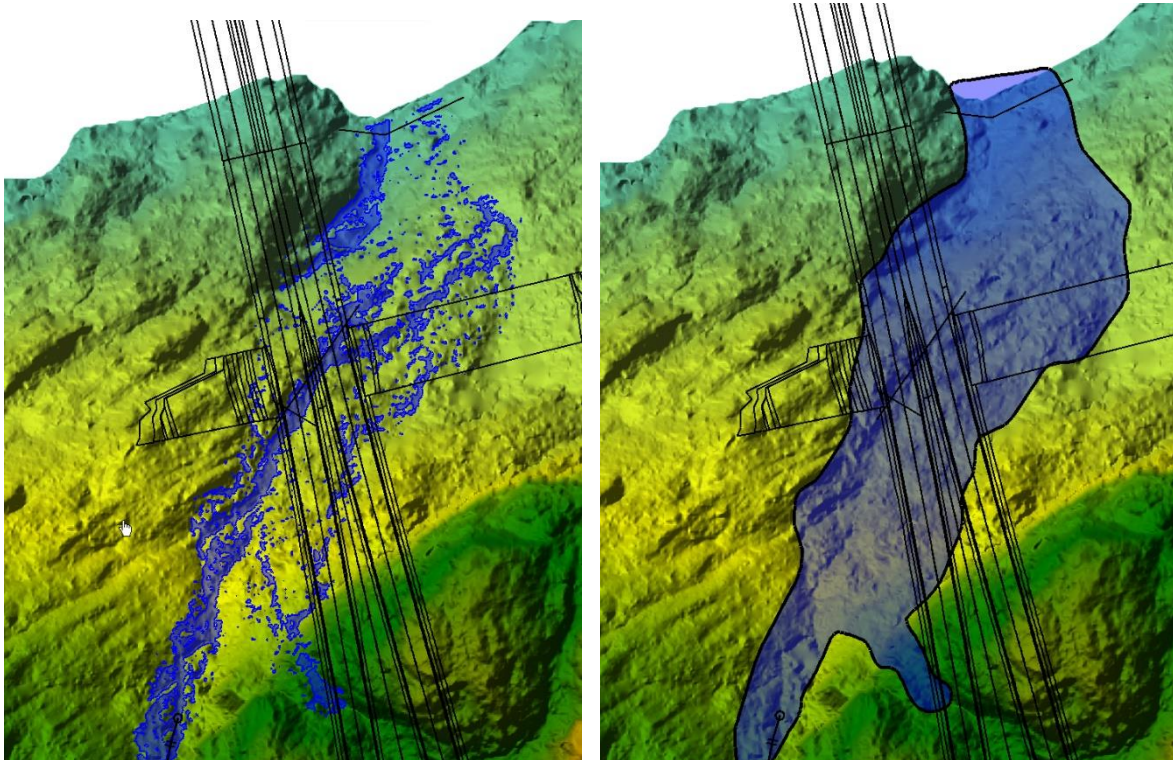


Figur 3-2: Oversiktsbilde, utløp Fedafjorden.

Resultatet fra den hydrauliske modellen er en flomsone som viser vanddekt areal. Det vanddekte arealet kan i bratte områder være adspredt og usammenhengende som følge av modellens svakheter. For å få flomsonen til å henge sammen er det gjort etterprosessering i GIS ved bruk av diverse verktøy og manuelle tilpasninger. Det er valgt en konservativ tilnærming ved å inkludere områder det er tvil om de er vanddekt eller ikke. Figur 3-4 viser flomsonekart beregnet i HEC-RAS og resulterende flomsonekart etter bearbeiding i GIS.



Figur 3-3: Eksempel på geometrioppsett i HEC-RAS. Celler, breaklines i rødt og grensebetingelser i blått.



Figur 3-4: Flomsonekart etter modellering i HEC-RAS (til venstre) og resulterende flomsonekart etter prosessering (til høyre).

4 Hydrauliske beregninger

4.1 Kulvertberegninger (rørdiameter < 2,5 m)

Det er beregnet totalt 28 kulverter med rørdiameter < 2,5 m er dimensjonert iht. kap. 3.1. Dimensjoner er rundt opp til nærmeste standard rørdimensjon. Beregnede rørdimensjoner er vist i Tabell 4-1. Dimensjonerende flomverdier er hentet fra hydrologiske rapport [1].

Tabell 4-1: Beregnede kulvertdimensjoner med rørdiameter < 2,5 m.

Veinavn	Profil-nummer	Vassdragsnavn	Q _{DIM} (m ³ /s)	Type	Beregnet diameter (m)
E39	420	-	2,6	Rør	1,8
E39	940	-	0,2	Rør	0,8
E39	1100	-	0,9	Rør	1,2
E39	1320	-	0,2	Rør	0,8
E39	1470	-	0,6	Rør	1,0
E39	1590	-	0,5	Rør	1,0
E39	1670	-	0,5	Rør	1,0
E39	1910	-	0,4	Rør	1,0
E39	2020	-	1,5	Rør	1,4
E39	2390	-	2,1	Rør	1,6
E39	2760	-	1,0	Rør	1,2
E39	2920	-	0,2	Rør	0,6
E39	3080	-	0,5	Rør	1,0
E39	3540	-	0,7	Rør	1,0
E39	3720	-	0,6	Rør	1,0
E39	3950	Iddelandsbekken 2 / Vintland	4,6	Rør	2,2
E39	4030	-	0,3	Rør	0,8
E39	4450	-	2,2	Rør	1,6
E39	4580	-	0,9	Rør	1,2
E39	4880	Iddelandsbekken 1	1,5	Rør	1,4
E39	5520	Bekk Ytre Tjomslandsvann	5,9	Rør	2,4
E39	5950	-	1,3	Rør	1,4
E39	6600	Eksisterende veikulvert	0,9	Rør	1,2

Veinavn	Profil- nummer	Vassdragsnavn	Q _{DIM} (m ³ /s)	Type	Beregnet diameter (m)
E39	6880	-	0,6	Rør	1,0
E39	7120	-	1,1	Rør	1,4
E39	7200	-	0,3	Rør	0,8
E39	7300	-	0,2	Rør	0,6
Flekkefjordveien	400	-	1,1	Rør	1,4

4.2 Kulvert-/bruberegninger (spennvidde > 2,5 m)

Totalt 4 kulverter/bruer med spennvidde > 2,5 m ble dimensjonert iht. kap. 3.2. Beregnede geometrier for kulvertene/bruene er vist i Tabell 4-2. Dimensjonerende flomverdier er hentet fra hydrologiske rapport [1].

Tabell 4-2: Resultater for kulverter/bruer med spennvidde > 2,5 m.

Vassdragsnavn	Bekk Ytre Tjomsvann	Botnebekken*	Bekk fra Hålandsvann og Rørdalsbekken til Steggjevannet	Bekk fra Hålandsvatnet
Veinavn	E39	E39	E39	E39
Profilnummer	6140	6660	6930	7250
Utforming	Rektangulær	Rektangulær	Rektangulær	Rektangulær
Bredde (m)	5,5	4,5*	3,0	5,5
Høyde (m)	2,3	2,5*	5,0	2,2
Lengde (m)	55	48/40*	7	66
Fall (%)	1,0	6,6/1,0*	0,5	1,2
Bunn høyde innløp (moh.)	209,08	195,4	190,73	203,70
Bunn høyde utløp (moh.)	208,52	191,7	190,69	202,94
Dimensjonerende flomverdi (m ³ /s)	8,9	20,3	17,3	12,7
Vannhastighet utløp (m/s)	4	2	4	5
Vannstand (moh.)	210,84	197,39	195,21	205,30
Frihøyde til UK bru (m)	0,54	0,51	0,52	0,60
Bunnsstrat fisk	Ja	Nei	Nei	Nei
Bunnsstrat ål	Ja	Nei	Ja	Ja
Hylle for småvilt	Ja	Ja*	Ja	Ja

*Kulvert i Botnebekken er planlagt behold og forlenget ca. 28 m i utløpet med samme geometri. Eksisterende kulvert har hylle for vilt på begge sider. Lengdefall er 6,6 % for hovedlengden og 1 % for utløpsdelen. Se tegninger og bilder av kulverten i kap. 8.1.1.

4.3 Flomsonekartlegginger

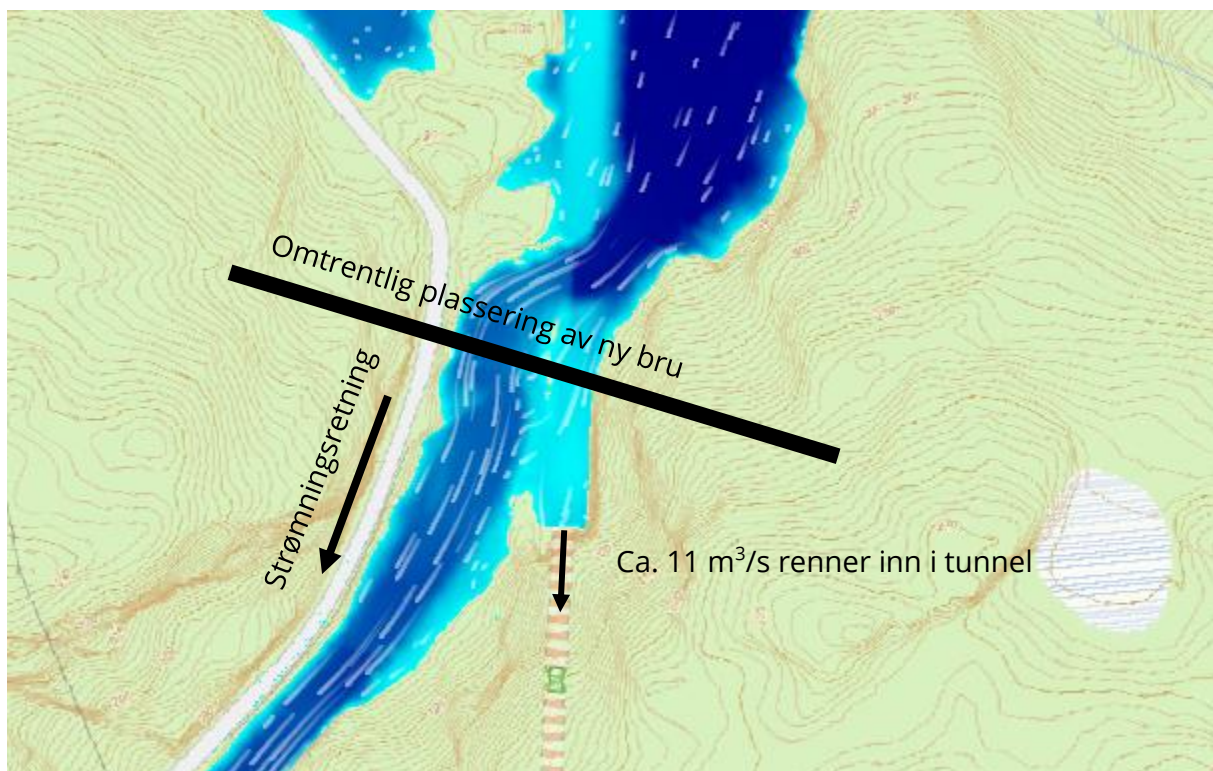
Tabell 4-3 viser vassdrag hvor flomsonekartlegging ble foretatt. Flomsone er innarbeidet i plankartet. For de fleste områdene er løsning for å planlegge nytt veianlegg flomsikkert å legge veibanen høyere enn flomsone og dimensjonere kulverter/bruer med tilstrekkelig kapasitet. Enkelte områder har andre utfordringer knyttet til flomsikring som er diskutert videre under.

Tabell 4-3: Oversikt over gjennomførte flomsonekartlegginger.

Veinavn	Profilnummer	Vassdragsnavn / stedsnavn
E39	125	Møska
E39	3950	Iddelandsbekken 2 / Bekk Vintland
E39	5520-7250	Bekker fra Tjomsland til Vatlandstunnelen

4.3.1 Møska

For flomsonekartlegging i Møska (veiprofilnummer 125) vist beregningene at vannstand ved dimensjonerende flom vil oversvømme eksisterende bru over dagens E39/Flekkefjordveien. Ved oversvømmelse av E39 vil ca. 11 m³/s (av totalt ca. 200 m³/s) renne inn i tunnelen til E39 i sør, se Figur 4-1. Vannstanden i Møska under planlagt ny bru ligger på ca. 183 moh., og det er god klaring opp til nytt brudekke som ligger på ca. 217 moh. Planlagt veianlegg vil ikke berøre/endre forholdene ved Møska.

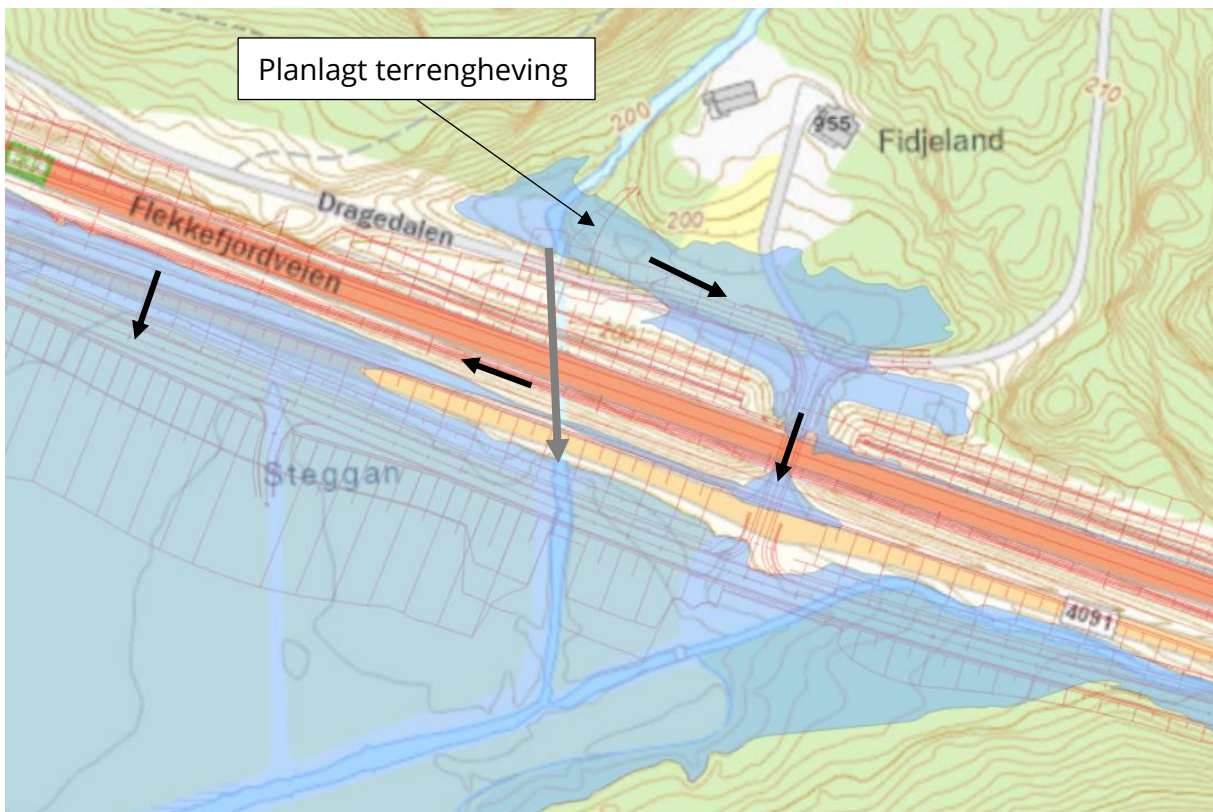


Figur 4-1: Flomsone Møska - flomvann oversvømmer eksisterende E9 og renner inn i tunnelinnløp i sør.

4.3.2 Botnebekken

Sideterrenget ved innløpet til Botnebekken i Dragedalen/Steggan ligger lavt, noe som medfører at noe flomvann vil renne sørøstover langs veifyllingen og ned mot veikulverten som er lavest punkt. Flomvannet vil renne gjennom veikulverten og følge veigrøften til vei 4091 nordvestover mot dagens lavpunkt på veien. Herfra renner vann over veien og ned på jordbruksarealene før det når Steggjevannet. Se flomsonekart ved Botnebekken i Figur 4-2.

For å hindre flomvann på avveie, som beskrevet over, for nytt veianlegg, er det planlagt å heve terrenget langs bekken opp til beregnet dimensjonerende flomvannstand + 0,5 m sikkerhetsmargin, tilsvarende ca. 198 moh. + 0,5 m = 198,5 moh. Det er viktig at hevet terrenget får tilstrekkelig sikkerhet mot erosjon.



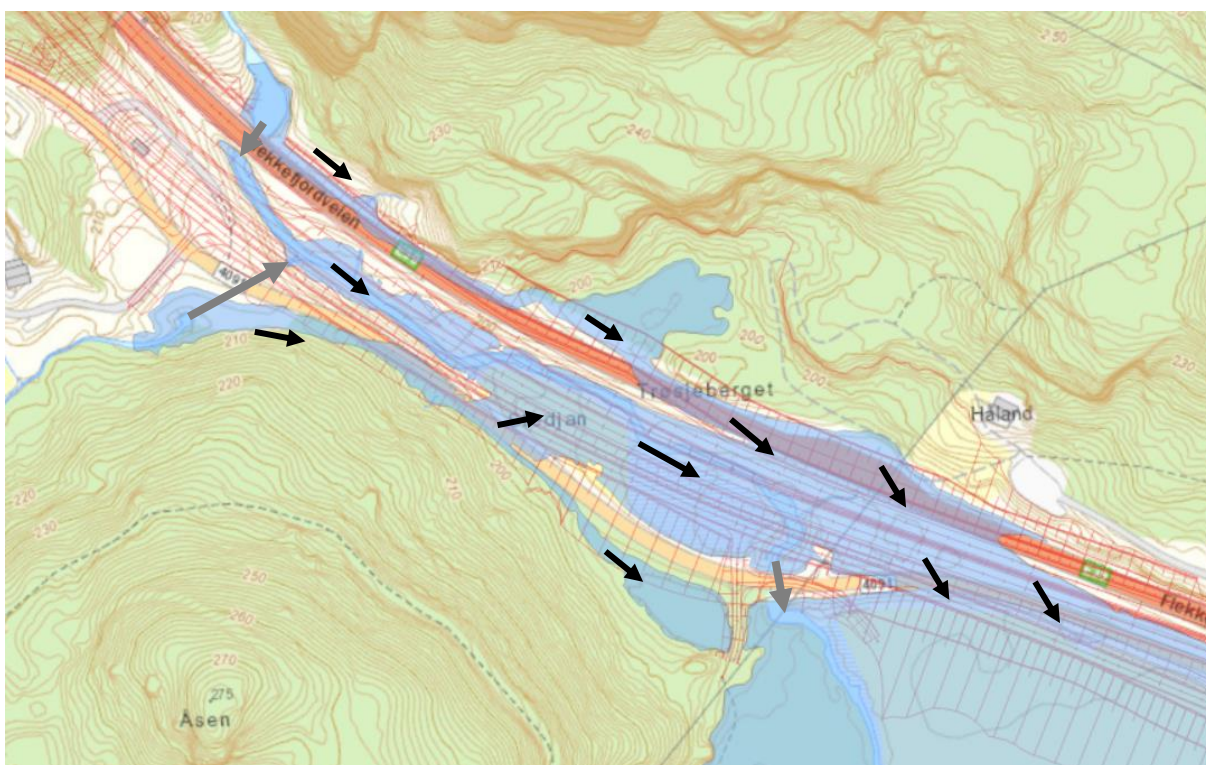
Figur 4-2: Utklipp av flomsonekart ved Botnebekken (i blått), med planlagt veianlegg (røde linjer), strømningretning (svarte piler) og kulvertplassering (grå pil).

4.3.3 Bekker fra Hålandsvatnet og Rørdalsbekken (Vatlandstunnel til Steggjevannet)

Flomsonekartleggingen fra bekkene fra Hålandsvatnet og Rørdalsbekken fra Vatlandstunnelen til Steggjevannet viser at både E39 og FV4091 Dragedalen blir oversvømt ved dimensjonerende flomverdier, se Figur 4-3. Årsaken til oversvømmelsen

kommer av begrenset kulvertkapasitet ved veiprofilene 7220 (Rørdalsbekken) og 7250 (bekk fra Hålandsvatnet). Flomvannet ved innløpene til kulvertene vil renne langs veigrøftene på hver sin vei og følge langs veigrøftene og delvis på veibanene til områder hvor tverrfall på vei snur, lavpunkt eller veigrøftene har for liten kapasitet.

Kulvertene planlegges oppdimensjonert for å håndtere dimensjonerende flomverdier, samt at nytt veianlegg vil endre på plasseringen av veiene og bekken, slik at området oppnår krav til sikkerhet mot flom.



Figur 4-3: Utklipp av flomsone ved bekker fra Hålandsvatnet og Rørdalsbekken til Steggjevannet (i blått), med planlagt veianlegg (røde linjer), strømningsretning (svarte piler) og kulvertplassering (grå pil).

4.4 Beregning av bekke- og grøftegeometri

Det er planlagt omlegging av tre bekker i Lyngdal kommune:

1. Bekk fra Ytre Tjomslandsvann for strekning med veiprofil ca. 5550–5700 (Figur 4-4).
2. Bekk fra Ytre Tjomslandsvann for strekning med veiprofil ca. 6150–6600 (Figur 4-5).
3. Bekk fra Vatlandstunnelen (bekker fra Rørdalsbekken og Hålandsvatnet) til Steggjevannet for strekning med veiprofil ca. 6950–7250 (Figur 4-6).

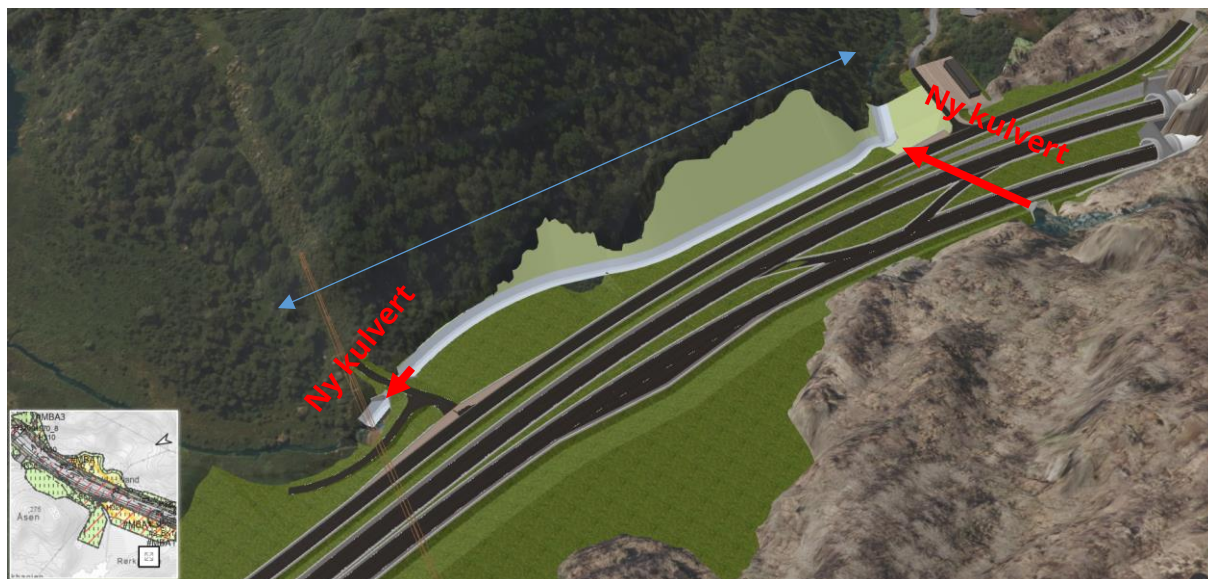
Beregningene av bekkenes geometrier er vist i Tabell 4-4.



Figur 4-4: Omlegging av bekk fra Ytre Tjomslandsvann for strekning med veiprofil ca. 5550–5700. Utklipp fra 3D-innsynsløsning med synsvinkel mot sørvest.



Figur 4-5: Omlegging av bekk fra Ytre Tjomslandsvann for strekning med veiprofil ca. 6150–6600. Utklipp fra 3D-innsynsløsning med synsvinkel mot sørvest.



Figur 4-6: Omlegging av bekk fra Rørdalsbekken og Hålandsvatnet til Steggjevannet for strekning med veiprofil ca. 6950-7250. Utklipp fra 3D-innsynsløsning med synsvinkel mot sørvest.

Tabell 4-4: Beregning av geometri for bekkeomlegginger og grøfter.

Vassdrag/stedsnavn		Bekk Ytre Tjomslandsvann	Bekk Ytre Tjomslandsvann	Bekk fra Hålandsvatnet og Rørdalsbekken til Steggjevannet
Veinavn		E39	E39	E39
Profilnummer		5550-5700	6150-6600	6950-7250
Dimensjonerende flomverdi	m ³ /s	5,9	8,9	17,3
Mannings ruhetskoeffisient, n	s/m ^{1/3}	0,04	0,04	0,04
Sidehelning (1:x)	-	2	2	2
Bredde bunn	m	1,5	2,0	2,0
Vannstand	m	0,7	1,1	1,4
Høyde (inkl. 0,3 m sikkerhetsmargin)	m	1,0	1,4	1,7
Lengdefall	m/m	0,05	0,01	0,046
Lengde	m	140	450	285
Bredde topp	m	5,5	7,6	8,3
Vandekt areal	m ²	2,0	4,6	7,8
Hydraulisk radius	m	0,4	0,7	0,8
Beregnet kapasitet	m ³ /s	6,5	8,8	27,3
Vannhastighet	m/s	3,2	1,9	4,5

5 Usikkerheter

Det er generelt knyttet en del usikkerheter til de hydrauliske beregningene. Programvaren HEC-RAS og HY-8 og formelverket Mannings formel innebefatter en rekke antakelser og forenklinger som i varierende grad representere virkeligheten.

Grunnlag- og inngangsdata i beregningene øker usikkerheten. Manningsverdier er valgt for store flater (AR5-data), som kan gjøre at vannstand i enkelte områder blir over-/underdimensjonert som følge av lite nøyaktighet i ruhetene. Høyder er stort sett hentet fra terrengmodeller fra Kartverket (kun enkelte områder hvor det er gjort nye innmålinger) og vil være en stor kilde til usikkerhet. Terrengmodellene fra Kartverket har generelt dårlig dekning av målepunkter og nøyaktighet i vassdrag som følge av vegetasjon og vannspeil. Usikkerheten knyttet til det hydrologiske inngangsdata er beskrevet i den hydrologiske rapporten [1].

Det er generelt benyttet konservative verdier og beregningsmetoder for å redusere usikkerhetene og sørge for at løsningene har tilstrekkelig kapasitet. Flomsonekartene for eksisterende situasjon er forventet å overestimere vanddekt areal spesielt som følge av unøyaktigheter i terrengmodell.

6 Oppsummering

Det er i denne fasen gjort innledende hydrauliske beregninger og vurderinger for E39 Lyngdal vest-Kvinesdal i Lyngdal kommune for veistrekning med profilnummer 0–7300. Det overordnede målet har vært god og sikker håndtering av overvann ved å følge krav og anbefalinger i gjeldende vegnormaler og veiledere.

Totalt 28 kulverter ($D < 2,5$ m) og 4 bokskulverter definert som bruer ($D > 2,5$ m) er dimensjonert for 200-årsflom inkl. klima- og usikkerhetspåslag. Det er gjort beregninger for 3 grøfte- og bekkegeometrier, og kartlagt 3 flomsoner (eksisterende situasjon) for bekkekryssninger dekket av aktsomhetsområder for flom.

I detaljprosjekteringen og anleggsfasen må det gjøres nærmere vurderinger av endelige løsninger. Vurderingene vil blant annet innebære:

- Vurdering av løsninger for erosjonssikring:
 - o Det er ikke beregnet nødvendig størrelse eller omfang på erosjonssikring for de ulike tiltakene, da behov og omfang vil avhenge av endelig løsning for tiltakene.
 - o Generelt vil det være kulvertutløp i bratte veiskråninger som vil kreve sikring ned mot eksisterende bekke-/elveløp og flere store kulverter/bruer med høye vannhastigheter i utløp hvor det er aktuelt å benytte energidreperbasseng for å redusere konsekvensene videre nedstrøms i vassdragene.
 - o For endelige tiltak må det vurderes behov og omfang for spesielt erosjonssikring rundt inn- og utløp av stikkrenner/kulverter/bruer og for omlagte bekker og nye grøfter.
- I mange av vassdragene er det fiske- og ålevandring. Det må sørges for at nye løsninger ikke forringer kvaliteten av vassdrag for akvatiske organismer. Utvalgte kulverter/bruer må, i tillegg til vandring for fisk og ål, tilrettelegges for småviltpassasje. For nærmere beskrivelser av vassdragene henvises det til «Vurdering av tiltak i berørte vassdrag (vannotat)» [2].
- Beregning av dimensjoner for stikkrenner/kulverter/bru har vært gjort for hovedveiene og tydelig definerte vassdrag/vannveier. For mindre vannveier/små nedbørfelt kan det være noe avvik mellom/mangelfulle beregninger for endelig veianlegg. Det må gjøres kontroll av vannhåndtering for mindre vannveier/små nedbørfelt.
- Midlertidige tiltak i anleggsfase: Det kan være behov for kryssninger og/eller tiltak i vassdrag som ikke har blitt belyst her som man ser er nødvendig for gjennomføringen av prosjektet. Tiltakenes omfang i areal og tid må vurderes opp mot risikoen for flom for å finne trygge og fornuftige løsninger i anleggsfasen.

Det henvises til SW veileder V240 for anbefaling av dimensjonerende gjentaksintervall for midlertidig anlegg i anleggsfasen [6].

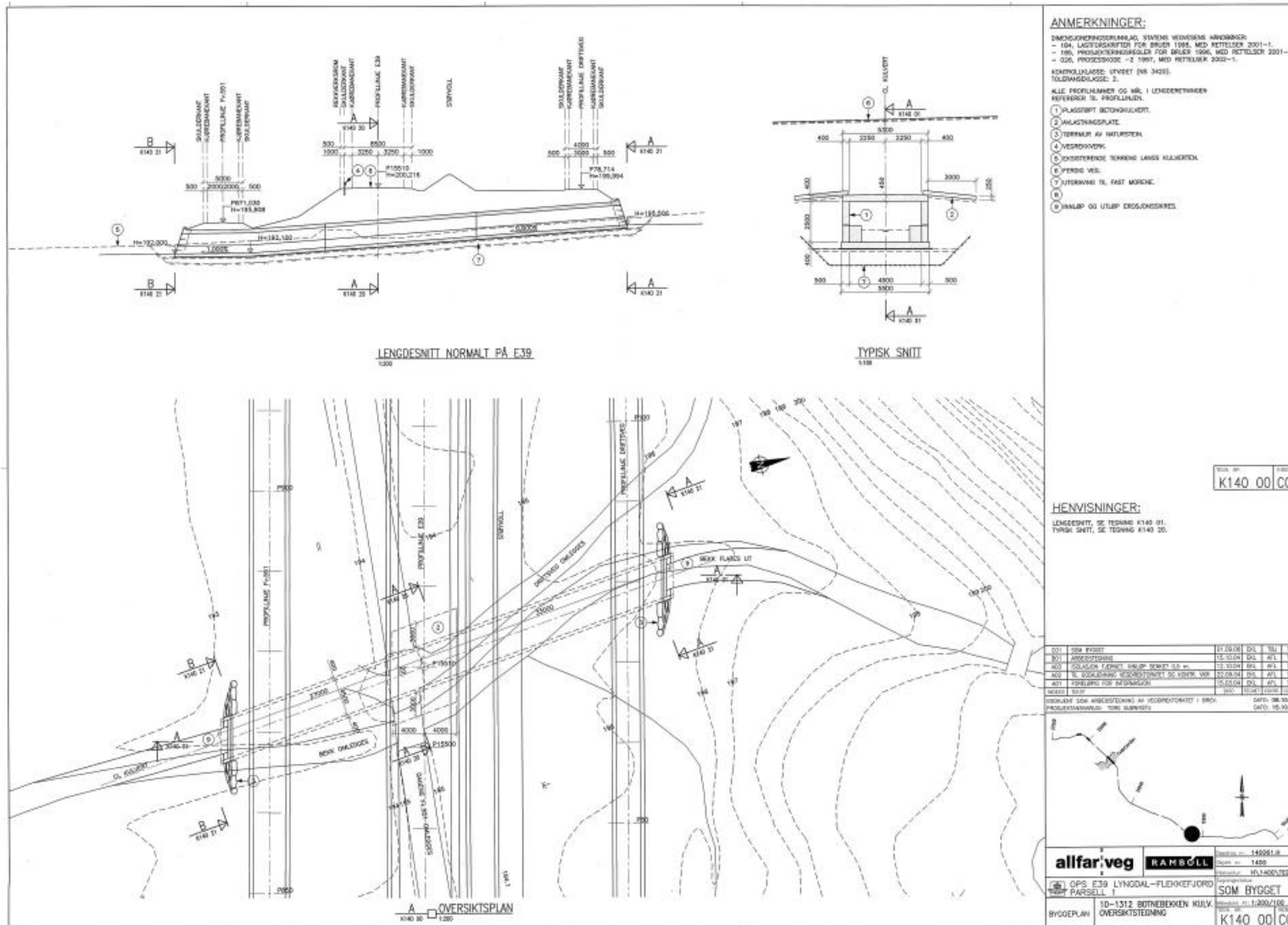
7 Referanser og litteratur

- [1] Sweco Norge AS, «NV42E39LK-VAA-RAP-0001 Hydrologisk rapport Lyngdal kommune,» 2023.
- [2] Sweco Norge AS, «NV42E39LK-YML-RAP-0012 Vurdering av tiltak i berørte vassdrag (vannotat),» 2023.
- [3] SWV, «Vegnormal N200 Vegbygging,» Statens vegvesen, 2022.
- [4] SWV, «Vegnormal N400 Bruprosjektering,» Statens vegvesen, 2023.
- [5] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17),» 2022. [Internett].
- [6] SWV, «Håndbok V240 Vannhåndtering,» Statens vegvesen, 2022.

8 Vedlegg

8.1 Tegninger og bilder eksisterende kulverter

8.1.1 Veiprofil 6660 Botnebekken



Figur 8-2: Plantegning som-bygget kulvert/bru veiprofil 6660 Botnebekken.



Figur 8-3: Innløp kulvert/bru veiprofil 6660 Botnebekken.



Figur 8-4: Utløp kulvert/bru veiprofil 6660 Botnebekken.