



Juni | 23

Detaljregulering E18 Ytre ringvei

Fagrapport hydrologi

Nye Veier AS | Kjøita 6
4630 Kristiansand
nyeveier.no

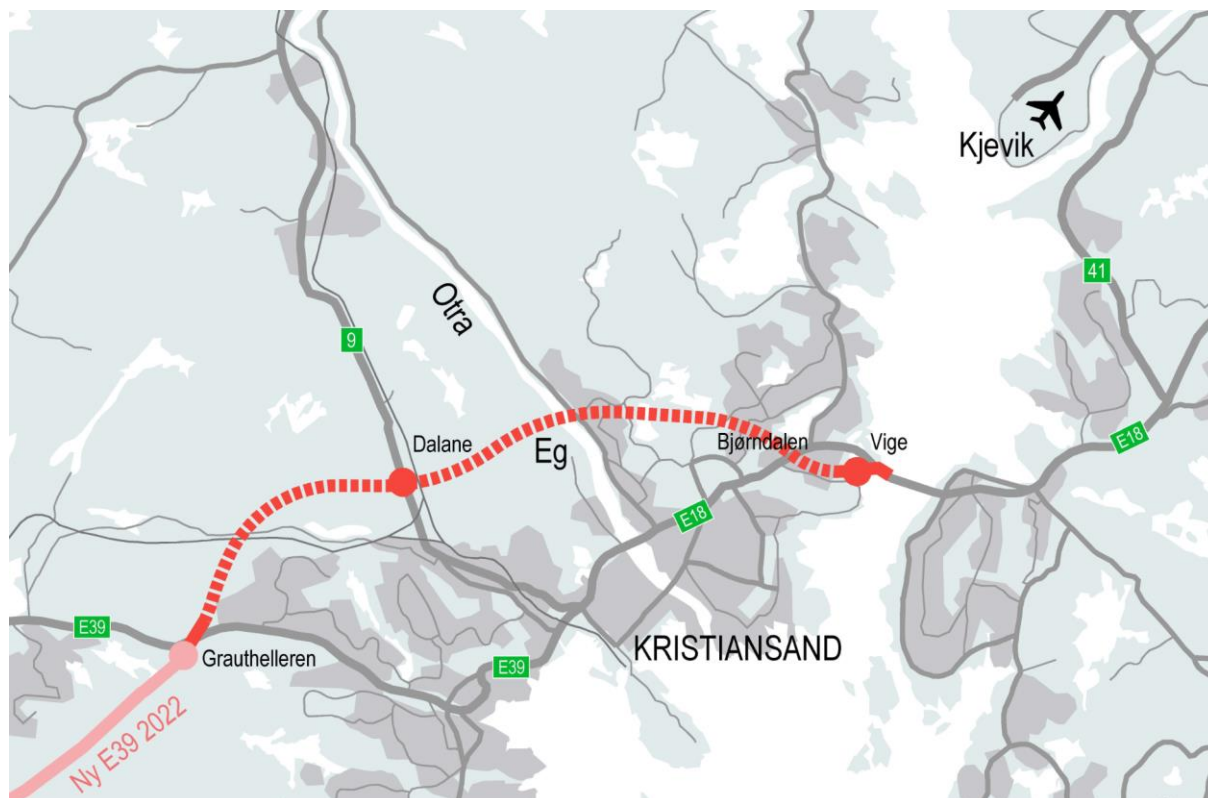
Oppdragsnr:	5206182
Oppdragsnavn:	Detaljregulering E18 Ytre ringvei
Dokument nr.:	NV42E18YR-VAA-RAP-0001
Filnavn	Fagrapport hydrologi

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Revisjon gjelder	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
d01	30.09.2022	For godkjenning Nye Veier	FrBig	HeOpa	TeFaa
e02	30.11.2022	For godkjenning hos myndigheter	HeOpa	FrBig	TeFaa
d03	31.05.2023	For kontroll hos oppdragsgiver	HeOpa	FrBig	TeFaa
e04	27.06.2023	For behandling hos kommunen	HeOpa	FrBig	TeFaa

Forord

E18 Ytre ringvei på stekningen fra Vige til Grauthelleren er en del av hovedveiforbindelsen forbi Kristiansand. Nye Veier AS har ansvar for planlegging, bygging og drift av denne veistrekningen.



På vegne av Nye Veier AS har Norconsult AS utarbeidet *Hydrologiske vurderinger for masselagring* til reguleringsplanen for E18 Ytre ringvei. *Hydrologiske vurderinger for masselagring* er utarbeidet for å tilfredsstillere NVEs krav til hva som skal svares ut i en reguleringsplan (iht. NVEs Veileder 2-2017 [1]), og inngår som en del av grunnlaget for utarbeidelse av Reguleringsplanen for E18 Ytre ringvei.

Kontaktinformasjon:

Fagansvarlig for hydrologi, Norconsult AS, Henrik Opaker, 67571000,
firmapost@norconsult.com

Sammendrag

For Ytre ringvei er det gjort hydrologiske beregninger for følgende punkter:

- For utfylling i Vige er nivå for stormflo og bølger beregnet
- I Dalane er det for Grimsbekken gjort beregninger for å sikre at nye tilførselsveier til tunneler er flomsikre, og at tiltaket ikke fører til ulemper for 3. parter i området
- Ved Grauthelleren er det beregnet flomstørrelse som må håndteres ved bergskjæring

Alle forslag til løsninger som presenteres bør detaljeres videre i neste fase av prosjektet.

Vige

Ved Vige er det beregnet nivå for stormflo med 200-års gjentaksintervall i år 2130. Det er også beregnet tillegg for bølger i bølgeutsatt område. Konklusjonen ved Vige er følgende:

- Dimensjonerende nivå stormflo er på kote 2,35
- Tillegg for bølgeopp skyling på 0,5 m for bølgeutsatt område
- Topp vei i bølgeutsatt område legges på minimum kote 3,40, hvilket inkluderer 0,5 m fribord (bølgeutsatt område er definert som 3 m horisontalt fra topp fyllingskant mot sjø)
- Topp vei i område som ikke er utsatt for bølger legges på minimum kote 2,85, hvilket inkluderer 0,5 m fribord

For å unngå at sjøvann renner inn i overbygningen til Ytre ringvei, og deretter inn i Otratumnelen som går videre mot Dalane, må det bygges en terskel før tunnelmunningen. Topp terskel må ligge på minimum kote 2,85.

Dalane

Det er beregnet 200-årsflom med klimapåslag for Grimsbekken. For nordre og søndre tilførselsvei anbefales det at det legges to rør med dimensjon 2 000 mm for å gi tilstrekkelig sikkerhet ved 200-årsflom med klimapåslag. Det er beregnet følgende flomsikre nivåer, inklusive 0,5 m fribord, for de to tilførselsveiene:

- Kote 25,2 for nordre tilførselsvei
- Kote 23,7 for søndre tilførselsvei

Begge tilførselsveiene fører inn i tunneler, og før munningene må det bygges terskler som hindrer at vann kan renne ned i tunnelene via veienes overbygning. Topp terskler må ligge på de flomsikre nivåene angitt for de to tilførselsveiene.

Det er gjort hydrauliske modelleringer i Dalane for å dokumentere at flomforholdene vil være like for 3. parter i området, både oppstrøms og nedstrøms tiltakene, etter at Ytre ringvei er bygd.

Grimsbekken vil omlegges på en kort strekning nedstrøms nordre tilførselsvei, samt lokalt både opp- og nedstrøms søndre tilførselsvei. Det er beregnet utforming for nytt bekkeløp.

Grauthelleren

Det er beregnet vannføring ved 200-årsflom med klimapåslag for to mindre flomveier som vil renne ut i bergskjæringen ved tunnelen for Ytre ringvei. Flomvannføringen vil håndteres ved at den føres i rør i grøft på nordsiden av Ytre ringvei, i retning sør og ut av parsellen for prosjektet.

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
1 Tiltaksbeskrivelse.....	7
2 Planområdet.....	8
2.1 Vige.....	8
2.2 Dalane	9
2.3 Grauthelleren	10
3 Forutsetninger.....	10
3.1 Krav til sikkerhet mot flom	10
3.2 Regelverk for hydraulisk dimensjonering av stikkrenner og kulverter	11
3.3 Regelverk for hydraulisk dimensjonering av bruer	12
3.4 Krav til sikkerhet mot stormflo og bølger	12
3.5 Høydesystem.....	12
4 Flomberegning	12
4.1 Beregning av nedbørfelt	12
4.2 Beregningsmetoder for flomberegning	13
5 Beregninger for Vige	19
5.1 Beregning av stormflo og bølger	19
5.2 Tiltak i Vige grunnet stormflo og bølger.....	24
5.3 Øvrige tiltak i Vige.....	25
6 Beregninger i Dalane	26
6.1 Hydraulisk modell for Grimsbekken.....	26
6.2 Kartlegging av eksisterende kulverter i Dalane	26
6.3 Observert flomsituasjon i Dalane.....	30
6.4 Flomstørrelse	30
6.5 Beregning av dagens situasjon	30
6.6 Flomsituasjon med Ytre ringvei	33
7 Beregninger ved Grauthelleren	38
8 Referanser	39
9 Vedlegg 1 – CEEQUAL tabell	40

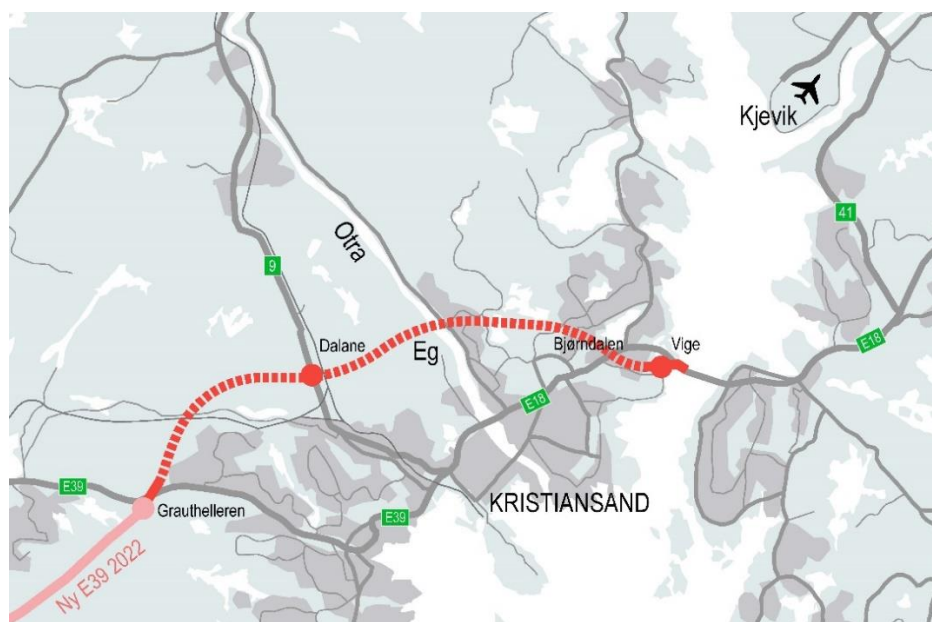
1 Tiltaksbeskrivelse

Norconsult utarbeider detaljreguleringsplan for Ytre ringvei i Kristiansand kommune på oppdrag fra Nye Veier AS. Ytre ringvei er om lag 10 kilometer og strekker seg fra Vige i øst til Grauthelleren i vest (Figur 1-1). Veianlegget inngår i den 200 kilometer lange strekningen mellom Kristiansand i Agder og Ålgård i Rogaland som Nye Veier har ansvar for å bygge ut.

Ytre ringvei skal bygges for at transportkorridoren mellom Vige og Grauthelleren skal bli mer effektiv og mindre sårbar, samt for å avlaste dagens hovedveisystem gjennom Kristiansand sentrum. Veianlegget er planlagt med løsninger som har en positiv netto nytte per investert krone. I utformingen av veianlegget er det lagt stor vekt på å finne bærekraftige løsninger.

Ytre ringvei skal bygges som 4-felts motorvei, med fartsgrense 110 km/t på mesteparten av strekningen. Veien vil i hovedsak gå i tunnel. Det skal opparbeides to parallelle tunnelløp, et for østgående og et for vestgående trafikk. På bakkeplan vil veien få tilkobling til E18 i Vige, riksvei 9 i Dalane og E39 ved Grauthelleren.

Etablering av tunnelsystemet vil generere et masseoverskudd i størrelsesorden 3 millioner m³ steinmasser. Reguleringsplanen sikrer mulighet for at masseoverskuddet kan fraktes til Mjåvannsområdet vest for Grauthelleren.



Figur 1-1: Oversiktsfigur av planlagt Ytre ringvei mellom Vige og Grauthelleren.

2 Planområdet

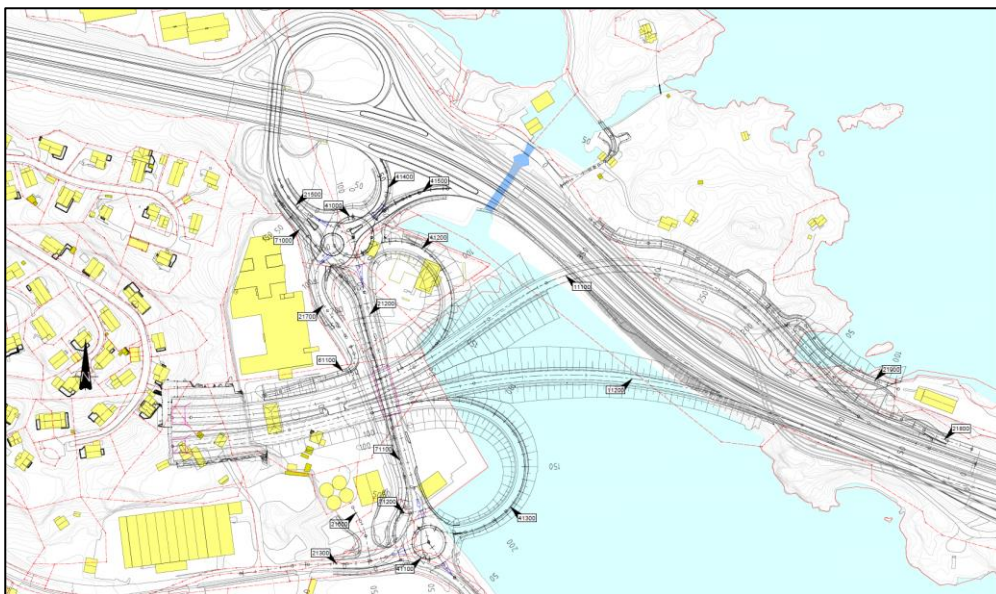
Ytre ringvei vil ha lange tunnelstrekninger, som ikke påvirkes av hydrologiske forhold. Vurdering av vanninnslag i tunnel tilhører faget hydrogeologi. De aktuelle områdene som er vurdert med tanke på hydrologi er vist i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Oversikt over områder ved Ytre ringvei med hydrologiske problemstillinger.

Område	Element /vassdrag	Må vurderes
Vige	Vei i sjøkanten	Havnivå og bølgehøyde for sikkerhetsnivå vei Erosjonssikring av veifylling
Dalane	Grimsbekken	Dokumentasjon av eksisterende og fremtidig flomforhold Sikkerhetsnivå ved veier Kulvertstørrelse ved kryssinger for tilførselsveier Utforming nytt bekkeløp
Grauthelleren	Flomveier inn i skjæring	Håndtering av overvann

2.1 Vige

I Vige vil Ytre ringvei legges delvis i dagens havnebasseng, noe som medfører utfylling i sjøen. Mot vest vil Ytre ringvei gå inn i tunnel. Figur 2-1 viser det aktuelle fyllingsområdet ved Vige.

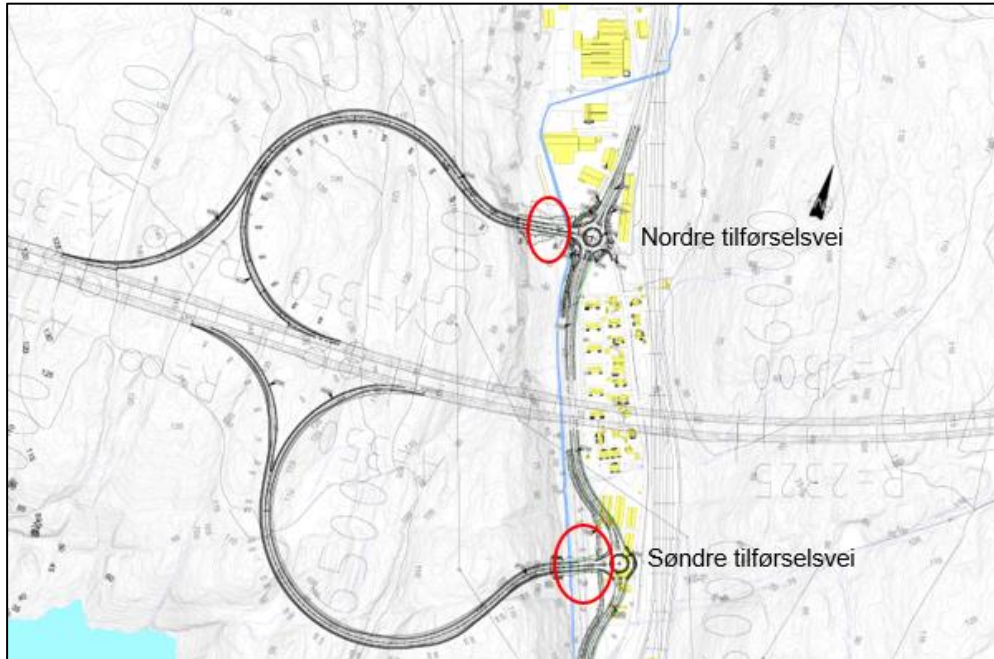


Figur 2-1: Oversiktskart med det aktuelle fyllingsområdet ved Vige.

2.2 Dalane

Figur 2-2 viser veisystemet ved Dalane. Ved Dalane vil det bli to rundkjøringer for kobling av riksvei 9 til Ytre ringvei som går i tunnel under Dalane. I Dalane er det spesielt to punkter hvor planlagt veisystem er utfordrende med tanke på flomsituasjonen. Disse to punktene, som er markert med rød innsirkling i Figur 2-2, er:

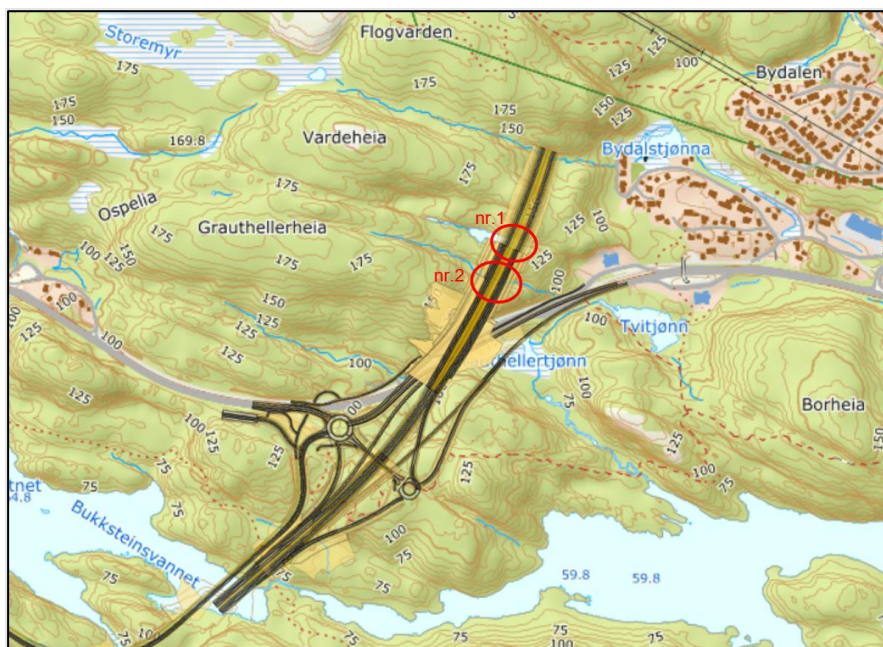
- Tilførselsvei til tunnelportal i nord
- Tilførselsvei til tunnelportal i sør



Figur 2-2: Oversikt over veisystemet i Dalane.

2.3 Grauthelleren

Figur 2-3 viser området ved Grauthelleren. Daglinjen til Ytre ringvei skal krysse to små flomveier før veien kobles til E18 i sør. Flomveiene renner fra vest til øst og skal håndteres.



Figur 2-3: Oversiktskart for Grauthelleren, der flomveier hvor det er vurdert flomstørrelse vises med rød sirkel.

3 Forutsetninger

3.1 Krav til sikkerhet mot flom

Håndbok N200 [1] gir krav til sikring av vei mot flom. For veier bestemmes sikkerhetsklassen for veien ut fra ÅDT og omkjøringsmuligheter. For ÅDT > 4 000 bør det benyttes 200-årsflom som dimensjonerende vannføring. I tillegg skal det brukes en klimafaktor F_k for å ta hensyn til fremtidige klimaendringer, og en faktor F_u for å ta hensyn til usikkerheten ved beregning av dimensjonerende flom $Q_{dim,200}$.

$$Q_{dim,200} = Q_{200} \times F_k \times F_u$$

Usikkerhetsfaktoren er avhengig av hvilken sikkerhetsklasse veien er plassert i. Ytre ringvei har årsdøgntrafikk på over 4 000 og er dermed plassert i sikkerhetsklasse V3 (ÅDT >4 000). For veier i sikkerhetsklasse V3 skal det legges til en usikkerhetsfaktor på $F_u = 1,2$.

I henhold til rapport *Klimaendring og framtidige flommer i Norge* [2] og rapport *Klimaprofil for Agder* [3] er det anbefalt å bruke klimapåslag på minst 20 % for små nedbørfelt. I henhold til Håndbok N200 [1], bør det for små nedbørfelt (felt med areal under 10 km²) benyttes en klimafaktor på $F_k = 1,3$ for Agder fylke. Det er valgt å legge til grunn 30 % klimapåslag på de beregnede flommene pga. at nedbørfeltene i vår vurdering er ganske små og reagerer raskt.

Totalt vil usikkerhets- og klimapåslag dermed utgjøre en faktor på 1,56 som 200-årsflom skal ganges opp med.

Ny vei skal tilfredsstillere to hovedkrav med tanke på flom:

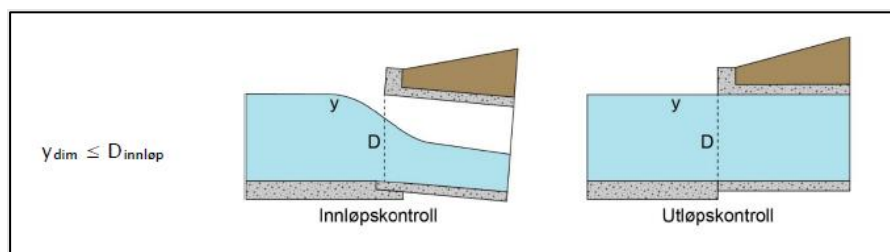
1. Topp vei skal ligge minst 0,5 m over nivå $Q_{dim,200}$ [4]
2. Ny vei skal ikke påvirke flomforhold for 3. parter negativt, verken opp- eller nedstrøms for tiltaket

3.2 Regelverk for hydraulisk dimensjonering av stikkrenner og kulverter

Regelverk for dimensjonering av stikkrenner og kulverter er gitt i Håndbok N200 [1].

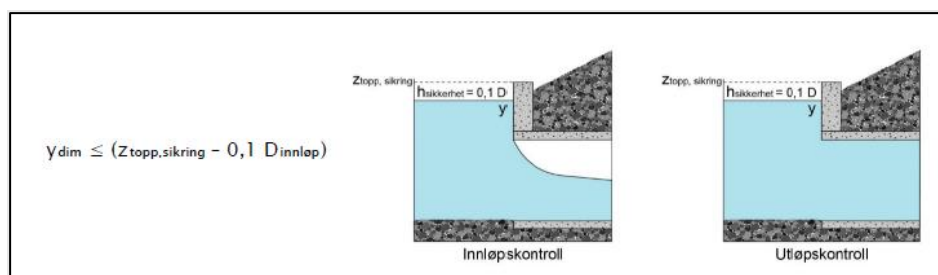
Det skal vises om gjennomløpet har inn- eller utløpskontroll for Q_{200} .

For veifyllinger uten sikring skal vanndybden y ved innløpet ikke være høyere enn topp stikkrenne (Figur 3-1).



Figur 3-1: Regelverk dimensjonering for veifyllinger uten sikring [1].

Ved bruk av tett sikring tillates vannstand opp til $0,1 D$ (D =innvendig diameter stikkrenne) under topp sikring (Figur 3-2).



Figur 3-2: Regelverk dimensjonering for veifyllinger med sikring [1].

Dimensjoneringen skal ta hensyn til forventet gjentetting gjennom dreneringens levetid. Det skal antas gjentetting i 1/3 av innløpets høyde. Ved bruk av inntaksrist, fangrist eller fangdam kan man anta lavere gjentettingsgrad.

3.3 Regelverk for hydraulisk dimensjonering av bruer

I henhold til Håndbok N400 [5] er en bru definert som “en bærende konstruksjon med spennvidde større enn eller lik 2,5 meter og som skal bære trafikkklaster. Med bru menes også nedfylte konstruksjoner som kulverter og rør med spennvidde eller diameter på 2,5 meter eller mer”. For bruer over vassdrag skal strømningsretning, dimensjonerende flomnivå og vannhastighet, med korresponderende returperiode angis. Det skal være minst 0,5 m klaring mellom beregnet vannstand ved dimensjonerende flom og underkant brudekke.

3.4 Krav til sikkerhet mot stormflo og bølger

Statens vegvesen sitt regelverk sier at for kystveier skal veibanen ligge minst 0,5 m høyere enn dimensjonerende sjøtilstand, beregnet fra 200-års stormflo, havnivåstigning med klimapåslag for år 2100 og effekt av bølger med 200 års returperiode [4].

3.5 Høydesystem

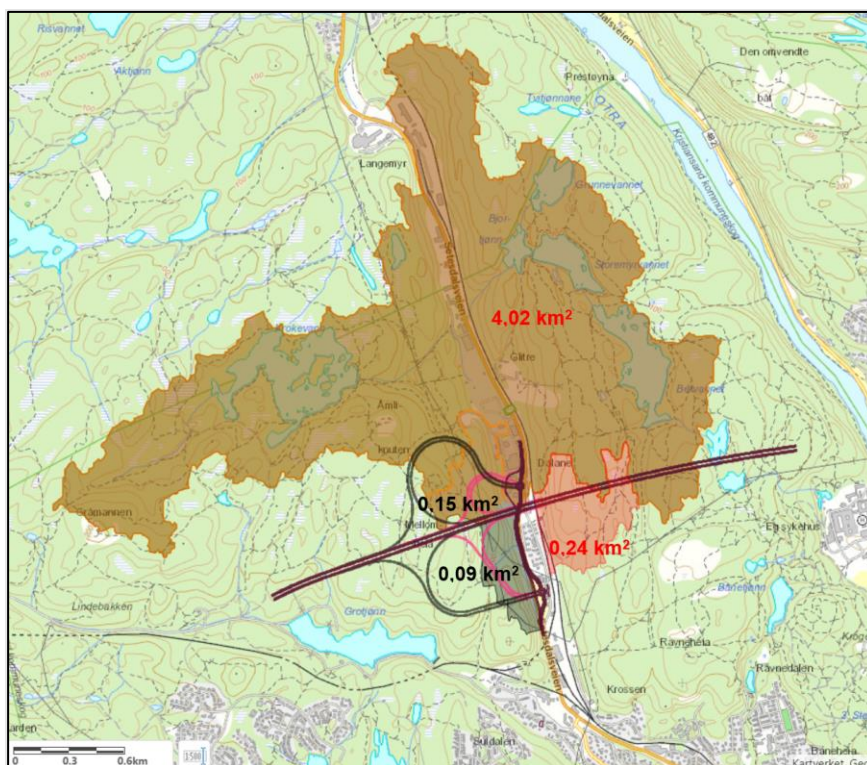
Alle høyder i rapporten er oppgitt i høydesystem NN2000, dersom ikke annet er angitt.

4 Flomberegning

4.1 Beregning av nedbørfelt

Nedbørfeltene som Ytre ringvei må ta hensyn til er beregnet ved hjelp av verktøyet Nevina (se Vedlegg 1). Nedbørfeltgrenser er sjekket manuelt mot kart og feltareal er sjekket mot verktøyet Scalgo.

Figur 4-1 viser nedbørfeltet til Grimsbekken ved innløp ved jernbanen, nedbørfeltet til sidebekken fra vest ($0,15 \text{ km}^2$) samt restfelter fra øst- og vestsiden til tunnelportalen for tilførselsvei i sør. Nedbørfeltet ved innløpet til det lukkede systemet er beregnet til $3,5 - 4 \text{ km}^2$. Det er en del usikkerhet i feltarealet ved en flomsituasjon (se vedlegg 1). Vi har valgt å ta utgangspunkt i feltarealet på 4 km^2 for å være på den sikre siden. Ved søndre tilførselsvei er nedbørfeltet estimert til å være ca. $4,5 \text{ km}^2$.



Figur 4-1: Nedbørfelt til Grimsbekken ved innløpet til det lukkede systemet (ca. 4 km²), nedbørfelt til sidebekken fra vest (0,15 km²) og to restfelt til tunnelportalen i sør (0,09 km² + 0,24 km²).

4.2 Beregningsmetoder for flomberegning

De forskjellige hydrologiske beregningsmetodene som er brukt for å beregne 200-årsflom ved bekkene som krysser Ytre ringvei er presentert under. Hvilken beregningsmetode som vektlegges er avhengig av feltareal. Der det er mulig skal man benytte flere metodikker, og velge en flomverdi innenfor spennet fra de ulike metodikkene [1]. Aktuelle beregningsmetodikker er:

- Frekvensanalyse av måleserier for vannføring (se kapittel 3.2.1). Det kan også benyttes regionale flomformler fra NVEs retningslinjer for flomberegninger, såfremt feltarealet er større enn 20 km² [6].
- For felt med areal mellom 0,2-60 km² kan Nasjonalt formelverk for små felt brukes (se kapittel 3.2.2).
- For felt med areal mindre enn 2 km² kan den rasjonale formel brukes (se kapittel 3.2.3).

4.2.1 Flomfrekvensanalyse – Regionalanalyse

4.2.1.1 Frekvensanalyse av representative måleserier

Utvalgte måleserier i Sør-Norge er benyttet til frekvensanalyse. En oversikt over stasjonene er gitt i Tabell 4-1. Målestasjonene er valgt ut fra geografisk nærhet, likhet med nedbørfeltet til Grimsbekken og tilgjengelig periode med data. Et oversiktskart med markering av beliggenheten til målestasjoner er vist i Figur 4-2. Nedbørfeltet til Grimsbekken er relativt lite, med mye skog og høy effektiv sjøprosent. For sammenligning er også nedbørfeltet til Grimsbekken oppgitt nederst i Tabell 4-1.

Tabell 4-1 viser en oversikt over beregnet vannføring ved middelflom (Q_M) og 200-årsflom (Q_{200}) for målestasjonene. Beregningene er gjort med NVEs programvare for ekstremverdianalyse, DAGUT, ved bruk av Gumbelfordeling og GEV-fordeling. Ved middelflom varierer verdiene fra ca. 210 l/s/km² til 570 l/s/km², en variasjon som må forventes ved så ulike felt. Estimert vannføring ved 200-årsflom varierer fra 550 til ca. 1 300 l/s/km² (døgnmiddelverdi).

Tabell 4-1: Feltkarakteristika og flomfrekvensanalyse for middelflom og 200-årsflom (døgnmiddel).

Felt	A (km ²)	A _{SE} (%)	Høyde (moh.) Min.- med. – maks.	Q _N 1961-90 (l/s*km ²)	Periode	Q _M (l/s*km ²)	Q ₂₀₀ (l/s*km ²)
8.8 Blomsterkroken	22,2	0,27	25-208-452	18,3	1976-2004	280	683
11.4 Elgtjern	6,6	3,62	430-510-673	19,9	1975-2007	232	561
12.192 Sundbyfoss	74,3	0,38	54-194-625	18,7	1977-2016	244	550
12.193 Fiskum	51,9	0,09	84-278-649	17,3	1977-2016	214	668
15.21 Jondalselv	126,9	0,25	229-574-920	21,2	1993-2016	287	731
16.154 Brusetbekken	6,8	0,38	64-126-308	10,3	1987-2017	309	768
16.66 Grosettjern	6,5	3,06	939-1005-1058	28,0	1950-2019	238	580
19.89 Skornetten	2,7	0,00	544-744-882	27,4	1974-2001	396	885
19.91 Åbogtjern ndf.	1,2	3,40	636-688-849	30,6	1974-2001	337	696
19.96 Storgama ovf.	0,6	3,47	581-610-680	39,0	1975-2016	444	982
19.107 Lilleelv	40,5	1,97	18-84-204	24,5	1985-2019	272	659
20.11 Tveitdalen	0,4	0,00	191-219-239	34,6	1973-2016	541	1159
21.47 Lislefjødd	19,0	0,05	890-1127-1432	35,8	1973-2019	438	846
26.64 Rekedalselva	10,1	1,40	107-205-311	46,0	1996-2019	574	1301
Grimsbekken ved Dalane	4,5	1,89	29-113-204	26,5	-	-	-



Figur 4-2: Oversiktskart med markering av vannmerker benyttet i flomvurderingen.

4.2.1.2 Multipel regresjonsanalyse

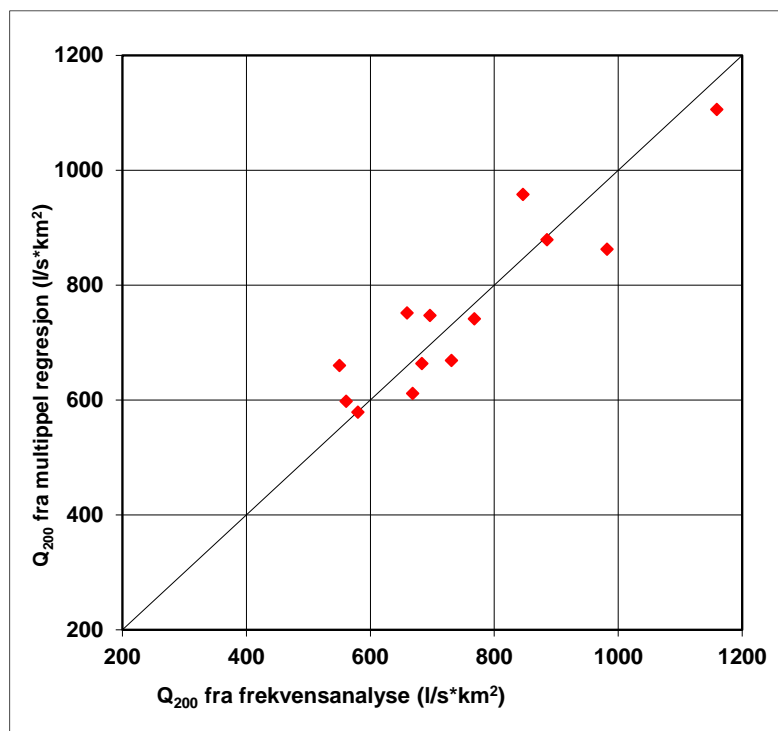
Det er gjort en multipel regresjonsanalyse på måleseriene oppgitt i Tabell 4-1. I en multipel regresjonsanalyse beregner man korrelasjon mellom to eller flere feltparametere og flomverdier.

Analysegrunnlaget er følgende feltparametere, som har et spenn innenfor målestasjonene på:

- Feltareal A: 0,44 - 127 km²
- Normalavrenning Q_N: 10,3 – 46,0 l/s/km²
- Effektiv sjøprosent A_{SE}: 0,00 – 3,62

Den multiple regresjonsanalysen viser at feltareal (A), effektiv sjøprosent (A_{SE}) og normalavrenning (Q_N) kan forklare mye av variasjonen i flommer i regionen (R²=0,92), se Figur 4-3. Ligningen for regresjonen blir:

$$Q_{200} = 544 - 50,78 \times \ln(A) - 55,17 \times A_{SE} + 15,27 \times Q_N$$



Figur 4-3: Sammenligning av 200-årsflom fra frekvensanalyse og 200-årsflom beregnet fra multipl regression.

Feltene til de vurderte kryssinger er for små til å benytte regionale flomformler fra NVEs *Retningslinjer for flomberegninger* [6].

4.2.1.3 Beregning av momentanflom

Flomstørrelsene beregnet i frekvens- og regresjonsanalysen er døgnmiddelverdier. Det vil alltid være en kulminasjonsverdi (momentanflom) innen døgnet som er større enn døgnmiddelverdien. Momentanflommen er beregnet etter formelverket i *Retningslinjer for flomberegninger* [6]. Vi har brukt kulminasjonsfaktor for høst, som gir høyest verdi, fordi at flommer kan forekomme hele året i så små nedbørfelt som vi vurderer. Forholdet mellom momentanflom og døgntflom er gitt av følgende formel:

$$Q_{mom} / Q_{døgn} (høst) = 2,29 - 0,29 \cdot \log(A) - 0,270 \cdot A_{SE}^{0,5}$$

4.2.2 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS)

4.2.2.1 NIFS-formelen

I henhold til *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* [7] kan nasjonalt formelverk for flom i små nedbørfelt (mellom ca. 0,2 km² og ca. <50 km²) brukes for beregning av momentanflommer opp til 200-årsflom. Middelflom beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$Q_M = 18,87 \cdot Q_N^{0,864} e^{-0,251 \sqrt{A_{SE}}}$$

hvor Q_N er nedbørfeltets middelvannføring (m^3/s), A_{SE} er den effektive sjøprosenten (%) og e er grunntallet $e \approx 2,718$. Flomverdi for returperiode 200 år beregnes videre med vekstkurven Q_{200}/Q_M [7].

4.2.2.2 Vurdering av middelvannføring

NIFS-formelen er følsom for endringer i middelvannføringen (Q_N), og det er derfor utført kontroll mot registrerte vannføringsmålinger ved de nærliggende målestasjonene.

Avrenningskartet til NVE oppgir middelvannføring for perioden 1961-90. Verdien fra avrenningskartet er sammenlignet med middelvannføringen som er målt ved hvert enkelt vannmerke. Sammenligningen er vist i Tabell 4-2.

Middelvannføringen er sjekket mot de nærmeste målestasjonene 20.11 Tveitdalen og 19.107 Lilleelv, som begge har mer enn 30 år med data (se Tabell 4-2). Analysen viser at måleseriene gir en verdi 0-30 % høyere enn avrenningskartet (perioden 1961-90). Det er vurdert at NVEs avrenningskart gir lavere verdier i området ved Kristiansand enn det som er reelt. Middelvannføringen i planområdet er estimert til ca. 27 l/s/km^2 fra NVEs avrenningskart. Norconsult har valgt å justere opp middelvannføringen fra avrenningskartet med 15 %, og bruke en verdi på $30,5 \text{ l/s/km}^2$ i beregningen av 200-årsflom.

Tabell 4-2: Sammenligning av middelvannføring mellom målinger ved vannmerker og NVEs lavvannskart.

Stasjonsnavn	Målt avrenning (l/s/km^2)	Lavvannskart (1961-90) (l/s/km^2)	Forhold
19.107 Lilleelv	33,1	24,5	1,3
20.11 Tveitdalen	34,1	34,6	1,0

4.2.3 Rasjonale formel

Den rasjonale formelen kan brukes for beregning av momentanflommer med gjentaksintervall opp til og med 200 år. NVEs retningslinjer anbefaler at den rasjonale metoden bare brukes for felt med areal mindre enn $0,5 \text{ km}^2$ [7], mens Statens vegvesen [1] anbefaler at metoden brukes for felt med areal mindre enn 2 km^2 .

Flommer med gjentaksintervall inntil 200 år beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

hvor Q er avrenning i m^3/s , C er avrenningsfaktor, A er feltarealet (hektar); i er dimensjonerende nedbørintensitet fra IVF kurver (l/s/ha) over feltets kritiske varighet.

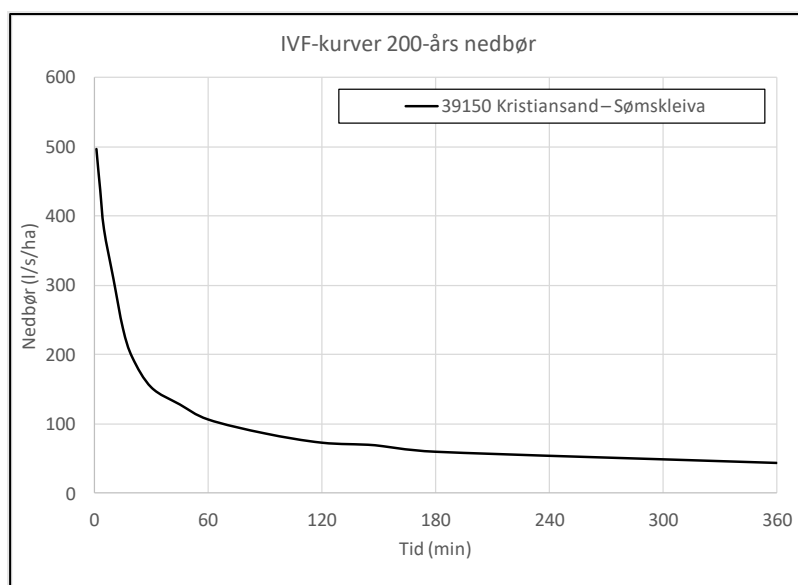
Kritisk varighet settes lik konsentrasjonstiden, T_c , til feltet. For naturlige felt [7] beregnes T_c med følgende formel:

$$T_c = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3\,000 \times A_{SE}$$

hvor L er lengden til feltet (m), H er høydeforskjellen i feltet (m) og Ase er andel innsjø i feltet.

4.2.3.1 Dimensjonerende nedbørintensitet

Nedbørintensitet i aktuelle nedbørfelt er bestemt for et gjentaksintervall på 200 år, der varigheten er gitt av nedbørfeltens konsentrasjonstid. Nedbørintensiteten er beregnet fra IVF-kurver (intensitet, varighet og frekvens for nedbør) hentet fra Meteorologisk institutt sin klimadatabase. Den nærmeste målestasjonen som måler timesnedbør er 39 200 Kristiansand-Kvadraturen, men denne serien har bare lengde på 15 år (2005-2019). Målestasjonen 39 150 Kristiansand – Sømkleiva ligger innen 10 km fra prosjektområdet, og IVF-kurven er basert på nedbørdata fra 1974-2019. På grunn av at IVF-kurven for målestasjon 39 150 Kristiansand – Sømkleiva er beregnet ut fra en lengre måleperiode (46 år), har Norconsult valgt å bruke denne til å estimere nedbørintensiteten. IVF-kurven for målestasjon 39 150 Kristiansand – Sømkleiva er vist i Figur 4-4.



Figur 4-4: IVF-kurve for målestasjon 39 150 Kristiansand – Sømkleiva.

4.2.3.2 Avrenningsfaktor

Avrenningsfaktoren C varierer fra maksimalt 0,9 for bart fjell til minimum 0,2 for skogsområder og områder med dyrka mark, se Tabell 4-3 [1]. Det anbefales å bruke lave verdier for regn med varighet kortere enn 1 time og høye verdier om varigheten er mer enn 3 timer. Videre anbefales det å bruke en verdi i øvre sjiktet for bratte felt og mer tette overflater eller der grunnvannet ofte går opp til overflaten [1].

Tabell 4-3: Avrenningsfaktor C for nedbørfelt med forskjellige overflater ved nedbør med returperiode 10 år [1].

Overflatetype	Avrenningsfaktor, C
Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6-0,9
Grusveier	0,3-0,7
Dyrket mark og parkområdet	0,2-0,4
Skogsområder	0,2-0,5

For feltene i planområdet der den rasjonale metode er aktuell, er kritisk varighet på nedbøren godt over 3 timer. Dette tilsier høy C-faktor. Helningen i feltene som vurderes er ca. 20 %, noe som også tilsier høye C-faktorer. Feltene består av 80-85 % skog og lite snau fjell. Derfor er det valgt å sette C-faktoren lik 0,42, for feltene som helhet. Det anbefales videre å øke faktoren med 30 % for gjentaksintervall 200 år [1]. Norconsult har derfor benyttet C-faktor lik 0,55.

5 Beregninger for Vige

5.1 Beregning av stormflo og bølger

5.1.1 Stormflo

Stormflo er et fenomen der havnivået under spesielle værforhold kan bli meget høyt. De viktigste faktorene som gir opphav til stormflo er:

- astronomisk tidevann, spesielt rundt fullmåne og vår/høst-jevndøgn
- lavt luft-trykk
- langvarig pålandsvind

Merk at stormflo ikke inkluderer effekter med kort varighet, som vanlige stormbølger (5 – 20 s) eller svingninger i havnebassenget (1/2 – 5 minutter).

Det er observert at det alminnelige middelvann-nivået i havet stiger på global basis. Denne utviklingen ventes å fortsette innenfor de neste 100 år. I Norge har vi imidlertid også en landheving som er et resultat av at landet ble presset ned under siste istid. Summen av disse to effektene kalles netto vannstandsheving. I noen deler av landet vil landhevingen være større enn økningen i vannstanden i havet i overskuelig framtid. Landhevingen er ujevnt fordelt i landet og er størst der hvor isdekket var mektigst. Samtidig er økningen i middelvannstand i havet heller ikke jevnt fordelt over kloden. Dette gir opphav til ulike estimater på netto heving av vannstanden for Norges kommuner.

Det er benyttet siste tilgjengelige estimater på framtidig klimadrevet endring i middelvannstand, gitt i en rapport fra 2015 [8], og havnivå basert på data fra nærmeste standardhavn som er Tregde [9]. 200 års stormfloverdier med klimapåslag fra i dag og frem til år 2100 er listet opp i Tabell 5-1.

Tabell 5-1: Estimerte stormfloøyder for Kristiansand kommune i cm (høydegrunnlag NN2000).

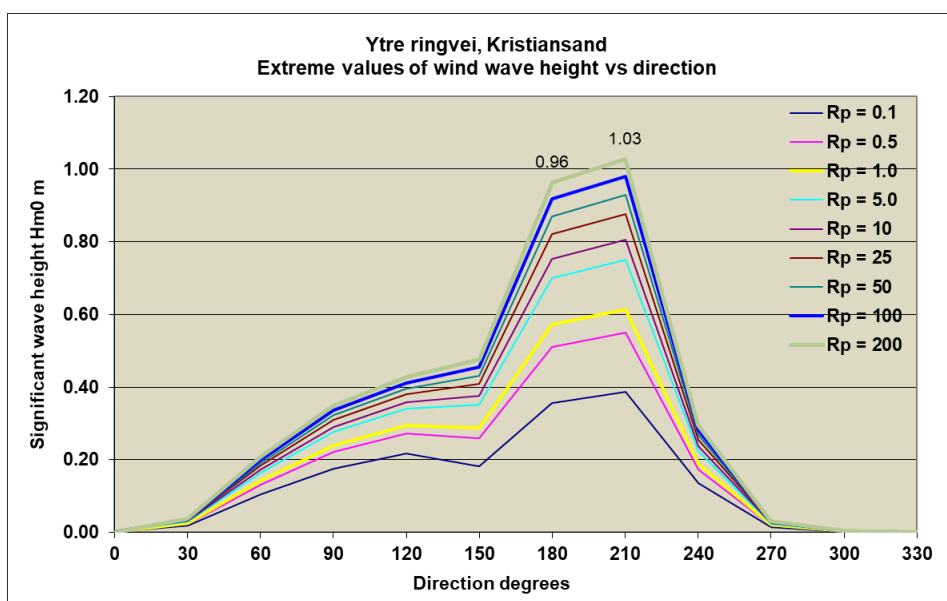
År	Estimert stormfloøyde, scenario RCP 8.5, spredning 95 %, 200 år returperiode	Kommentar
2020	116 cm	
2090	193 cm	
2100	205 cm	
2130	235 cm	Brukes for prosjektering av veien

5.1.2 Bølger

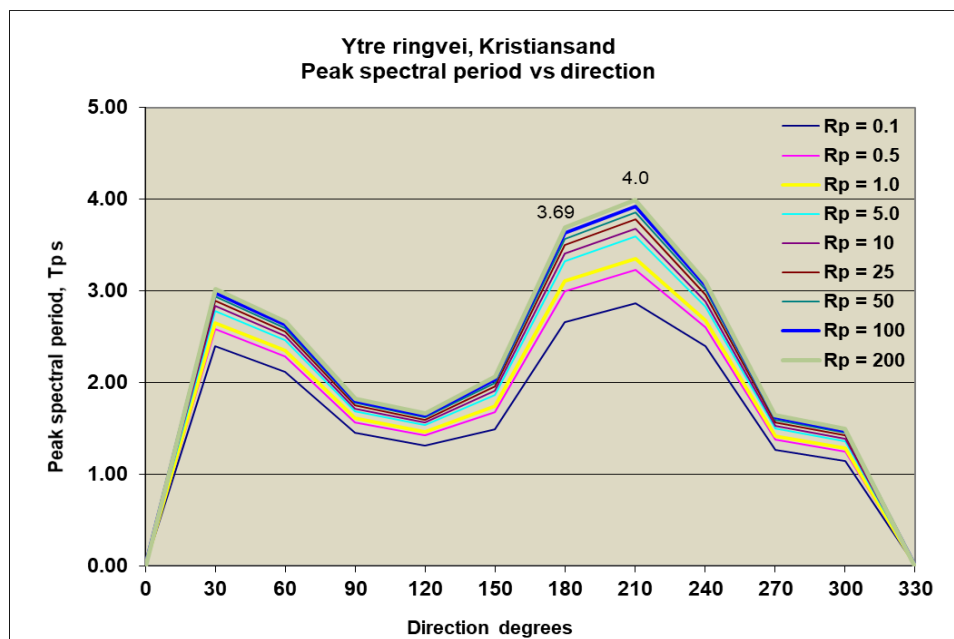
Bølgene som kommer inn mot planlagt fylling vil være lokalt genererte vindbølger med lengste strøklengder mot sør. Svært lite av dønningsbølgene fra åpent hav vil kunne nå inn mot fyllingene. Dette er bekreftet med eksisterende bølgemodeller for sør-vest Norge i vår database. Metoden for beregning av lokalt genererte vindbølger går ut på å bruke vinddata fra målestasjonen Oksøy fyr.

Beregnete signifikante bølgehøyder for alle mulige strøk, tilsvarende vind-dataene, for målepunktet foran planlagt fylling er vist i Figur 5-1. Figuren viser at vi finner de høyeste bølger i sektoren 180° og disse kan nå opp til 0,93 m med returperiode på 200 år. Som vist i Figur 5-2 ser vi at dette samsvarer bølgeperioder i nærheten av $T_p = 3,7$ s for 200 års returperiode.

Signifikant bølgehøyde H_s er definert som middelverdien av den høyeste tredjedelen av alle bølger i en registrering (oftest 10-30 min lang).



Figur 5-1: Ekstremverdier og returperioder av signifikant bølgehøyde foran fylling i sjøen (fra nord = 0 grader).

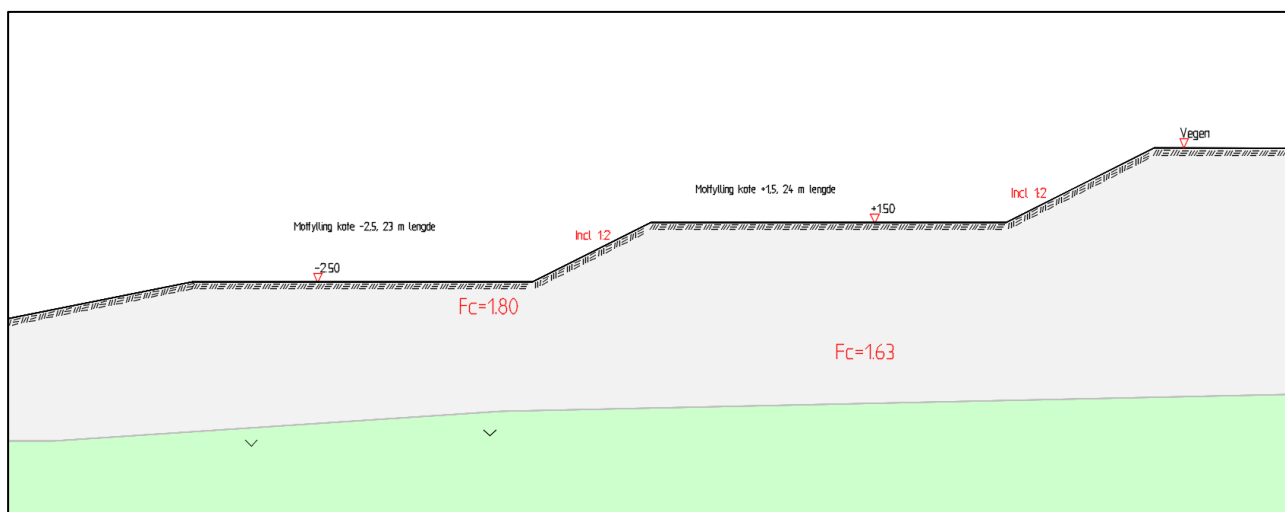


Figur 5-2: Spektral topp-periode, T_p , assosiert med ekstremverdier av H_s i Figur 5-1. (nord = 0 grader).

5.1.3 Sikkerhet mot stormflo og bølger

Figur 5-1 viser at de høyeste bølgene kommer 180 og 210 grader (sørlig retning), som også er en retning der det vil forekomme oppstuvning av vann mot kysten (lavtrykk, pålandsvind og høyt tidevann). Vi må derfor anta at en situasjon med ekstremt høy vannstand kan forekomme sammen med ekstreme bølger.

For sikker etablering av hovedveifylling er det nødvendig med en motfylling som vist i Figur 5-3 [10]. I dimensjonerende situasjon vil vannet stå ca. 85 cm over motfyllingen, som har topp på kote 1,50 m. Denne begrensningen i dybde kan medføre en reduksjon av bølgehøyden. Metoden som benyttes er hentet fra [11], der man beregner bølger som skyller over en molo som ligger like under vann. Beregningene gir at ny bølgehøyde foran fyllingsskråningene blir ca. 0,70 m i høyde. Denne bølgehøyden benyttes videre i beregningene.



Figur 5-3: Planlagt motfylling.

Minimum sikringshøyde av fyllingen, beregnet for et scenario med ekstrem stormflo og bølger er funnet ved hjelp av formelverk av van der Meer [12]. I følge EurOtop [13] er det anbefalt tillatt overskylling på 0,05 l/s/m for motorveier med moderat til høy hastighet (se Tabell 5-2). Overskyllingen måles som en mengde vann i liter per tidsenhet per lengdemeter (l/sm).

Tabell 5-2: Anbefalte grenseverdier for akseptabel overskylling.

Gruppe	Undergruppe	Akseptabel overskylling (l/sm) minimum-maksimum
Kjøretøy	Lav hastighet	10-50
	Moderat til høy hastighet	0,01-0,05

Kravet for maksimum overskylling på 0,05 l/sm er en meget lav grense og gjelder for veier der hastigheten ikke skal reduseres. I Norge er det vanlig å antyde følgende kriterier:

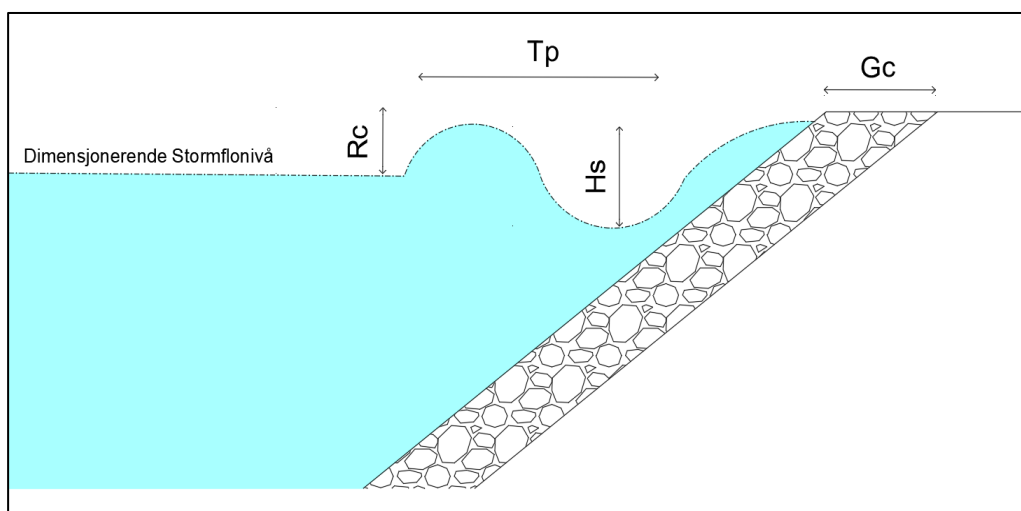
- 1 - 10 l/sm for vanlige personbiler med redusert hastighet
- 50 l/sm for tyngre kjøretøy med redusert hastighet

En grense mellom 1 og 10 l/sm er mer aktuelt for den planlagte veien. For dette tilfellet har Norconsult valgt å anbefale at overskylling mot veien ikke bør overskride 1,0 l/sm. Overskyllingsmengden er avhengig av sikringshøyde og bredde. Det vil si at overskyllingen avtar når bredden og/eller høyden økes. Når man har bestemt en gjeldende overskyllingsgrense, som er satt til 1,0 l/sm i dette tilfellet, finner man så en kombinasjon av sikringens høyde over stille vann og bredden på toppen.

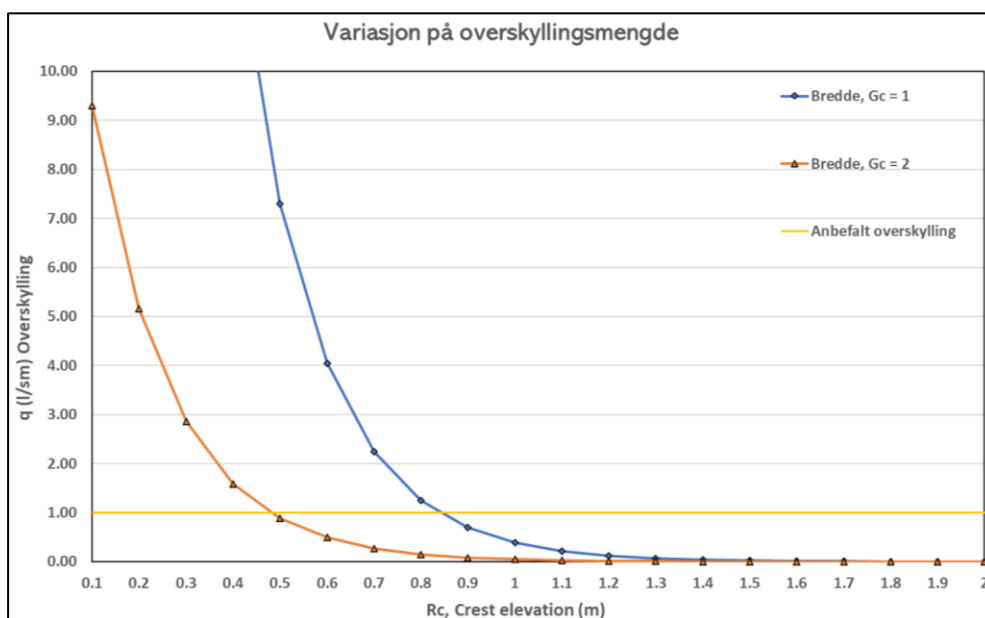
Det vurderes som sannsynlig at dimensjonerende bølgehøyde kan opptre samtidig som stormflo. Parameterne brukt i formelverket til Van der Meer [12] for beregning av overskylling

over en skråstilt kant er vist i Figur 5-4. R_c er høyde fra dimensjonerende vannstands nivå til topp av terreng og G_c er horisontal bredde på topp (se Figur 5-4).

Figur 5-5 viser beregnet overskyllingsrate iht. metoden beskrevet i [11]. I figuren er det inntegnet en antatt grense for akseptabel overskyllingsrate. Det er vist overskyllingsrate på vertikalaksen, R_c på horisontal og forskjellige kurver for $G_c = 1,0$ m og $2,0$ m. For å tilfredsstille krav til overskyllingsmengde ($1,0$ l/sm) har vi valgt R_c på ca. $0,5$ m og G_c på $2,0$ m.



Figur 5-4: Parameterne for beregning av overskyllingsmengde.



Figur 5-5: Variasjon av overskyllingsmengde for forskjellige G_c og R_c .

Det konkluderes med følgende nivåer for å oppnå sikkerhet mot stormflo og bølger:

- Dimensjonerende nivå stormflo er på kote 2,35
- Tillegg for bølgeopp skyling på 0,5 m for bølgeutsatt område
- Topp vei i bølgeutsatt område legges på minimum kote 3,40, hvilket inkluderer 0,5 m fribord (bølgeutsatt område er definert som 3 m horisontalt fra topp fyllingskant mot sjø)
- Topp vei i område som ikke er utsatt for bølger legges på minimum kote 2,85, hvilket inkluderer 0,5 m fribord

5.2 Tiltak i Vige grunnet stormflo og bølger

På grunn av bølger, så vil det være nødvendig med erosjonssikring av fyllingsskråningen ut mot sjøen.

Tabell 5-3 viser dimensjoneringskriterier for erosjonssikring for å beskytte motfylling og fyllingsskråningen mot vindbølgene. Nødvendig median blokkvekt er funnet ved hjelp av formelverk av van der Meer [13], og det er antatt at blokkenes egenvekt er 27 kN/m³ (tilsvarende 2,8 tonn/m³). I beregningene er helningen satt til 1:1,3 og vi finner at nødvendig steinstørrelse må være 120/300.

Tabell 5-3: Erosjonssikring av fyllingsskråning mot sjø.

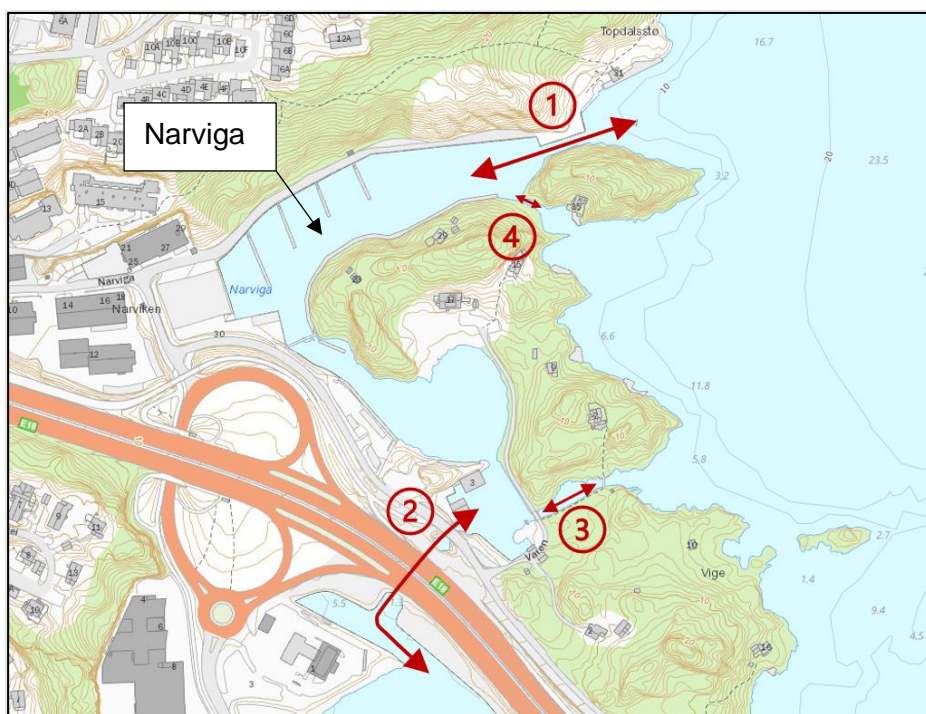
Parameter	Verdi
Blokkstørrelse erosjonssikring, d	120/300
Tykkelse	1,0 m
Filterlag, steinfraksjon d	64/120
Tykkelse filterlag	0,5 m
Erosjonssikringsbredde på topp (Gc)	2,0 m

Det er regulert, men ennå ikke bygget ut, et havneområde utenfor veifyllingen for Ytre ringvei. Det er usikkerhet om når det skjer og hvor stort areal som blir fylt ut. Havna er ifølge reguleringsplanen [14] planlagt å fylles ut opp til kote 2,50. Dersom en slik utfylling blir helt eller delvis foretatt, vil det eliminere behovet for erosjonssikring av veifyllingen. Forutsetningen er at utfyllingen er minimum 5 m bred utenfor veifyllingen.

Det må hindres at sjøvann renner inn i overbygningen til Ytre ringvei, hvor det vil være drenerende masser, og deretter inn i Otratunnelen som går videre mot Dalane. Norconsult har vurdert at den beste løsningen for dette er å legge en terskel før tunnelmunningen, på tvers av kjøreretningen til Ytre ringvei. Sjøvann kan da gå inn i overbygningen, men terskelen vil avskjære det drenerende laget slik at sjøvann ikke kan renne inn i tunnelen. Topp terskel må ligge på minimum kote 2,85, og avsluttes i sidene inn mot tunnelportalen slik at det blir tett.

5.3 Øvrige tiltak i Vige

Utfyllingen for Ytre ringvei i havnebassenget vil, dersom det ikke gjøres avbøtende tiltak, medføre at Narviga mister det eksisterende inn-/utløpet i sørvest (se Figur 5-6, hvor inn-/utløpet i sørvest er nummer 2). Norconsult mener at ved å stenge av inn-/utløpet i sørvest, vil vannutskiftingen i Narviga reduseres og man vil få negative miljøkonsekvenser. For å kompensere for utfyllingen, er det planlagt at utskifting av vann i Narviga i fremtiden opprettholdes ved hjelp av pumping. Tiltak i Narviga er beskrevet ytterligere i fagrapport vannmiljø [15].



Figur 5-6: Åpninger fra Narviga, nummerert etter antatt betydning for vannutskifting.

6 Beregninger i Dalane

6.1 Hydraulisk modell for Grimsbekken

Kapasiteten til eksisterende kulverter, og nødvendig dimensjon på kulverter for nye Ytre ringvei, er beregnet ved bruk av en hydraulisk modell for Grimsbekken.

For Grimsbekken ved Dalane er den hydrauliske beregningen utført ved hjelp av programmet HEC-RAS 6.0. For å estimere flomvannstander ved dimensjonerende flom $Q_{dim,200}$ må det settes opp en hydraulisk beregning langs vassdraget.

Det er valgt å benytte en to-dimensjonal (2D) hydrodynamisk simulering på strekningen i Dalane. I en to-dimensjonal (2D) modell er vassdraget representert med et beregningsgrid bestående av celler over terrengmodellen. I hver enkelt celle beregnes en vannstand, strømningsretning og vannhastighet.

6.1.1 Terrengmodell og oppmålinger

Terrengmodellen for beregningsstrekningen i Dalane er basert på laserdata (LIDAR) som finnes på hoydedata.no. For det vurderte området er laserdataene basert på en kartlegging fra prosjekt Kristiansand 5 pkt/m² 2014. Laserskanningen ble utført våren 2014 og har en oppløsning på 0,25 m horisontalt.

Det er en del vegetasjon langs bekkeløpet, og vi vurderer at laserdataene ikke fanger opp bunn av bekkeløpet. Bunn bekk i laserdataene går opp og ned, og det er derfor gjort justering av laserscannet terreng i senter av bekken.

Ved kulverter er terrengmodellen justert på bakgrunn av oppmålinger av kulvertdimensjoner utført av Norconsult og Bane NOR.

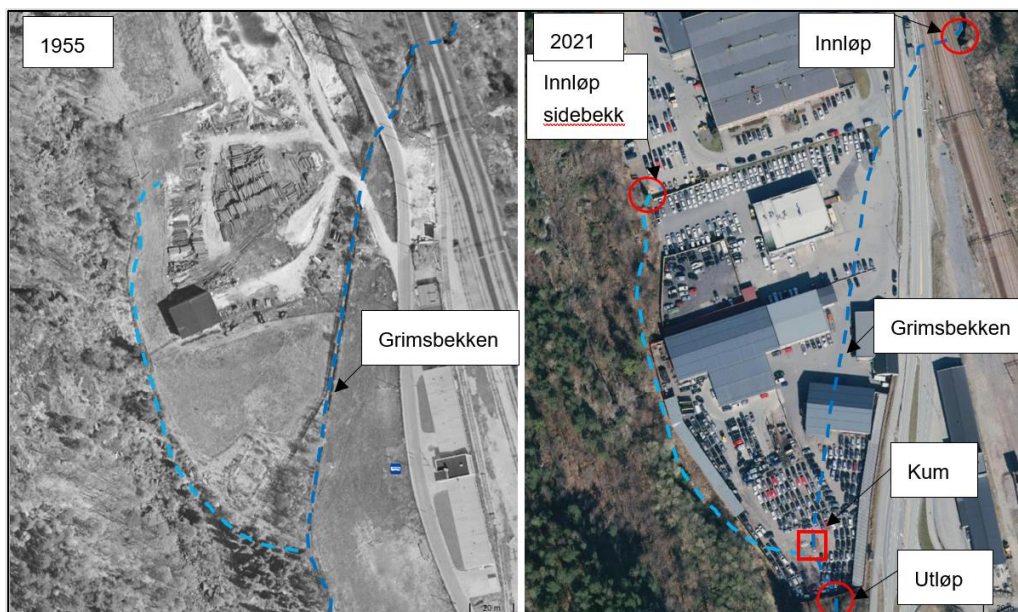
For simulering av fremtidig situasjon er terrengmodellen justert for å ta hensyn til veier, utfyllinger og kulverter i vassdraget etter bygging av Ytre ringvei.

6.2 Kartlegging av eksisterende kulverter i Dalane

Grimsbekken og sidebekker gjennom Dalane går i kulverter flere steder. Ikke alle kulverter har kjent dimensjon, og det er vanskelig å få tak i dimensjonene grunnet at det er flere ulike eiere (Bane NOR, Statens vegvesen, kommunen og private aktører).

Kulvertsystemet er vurdert basert på historiske flyfoto, som viser hvordan Grimsbekken har blitt lukket gradvis mellom 1955-2015 (se Vedlegg 2). I tillegg har informasjon mottatt fra Bane NOR [16], og fra en befaring utført av Norconsult 11.05.2021 for å inspisere kummen ved Dalaneveien 35 blitt benyttet.

Figur 6-1 viser flyfoto av Grimsbekken i Dalane i 1955 og 2021, og viser hvordan området har endret seg i perioden.



Figur 6-1: Grimsbekken ved Dalane.

Innløpet til det lukkede systemet er ei jernbanebru som er ca. 3 m bred (Figur 6-2). Noen meter etter innløpet snevres dimensjonen inn til 1 700 mm [16], samtidig som strømningsretningen endres (se Figur 6-2).

Inspeksjon av kummen som ligger på eiendom Dalaneveien 35 (vist med rød firkant i Figur 6-1) ble utført 11.05.2021 (se Vedlegg 3). Inspeksjonen viste at det kommer to betongkølverter Ø 1 000 mm fra Grimsbekken og en betongkølvert Ø 1 000 mm fra sidebekken inn i kummen (se Figur 6-4). Videre ut av kummen renner Grimsbekken i tre stålkølverter hver med dimensjon Ø1000 mm og med lengde ca. 25 m (se Figur 6-5).



Figur 6-2: Innløpet til lukket kulvertssystem under jernbanen (til venstre). Kobling til kulvert med dimensjon 1700 mm etterfulgt av en sving mot venstre nedenfor jernbanebrua [16].



Figur 6-3: Grimsbekken oppstrøms kulvertinnløpet.

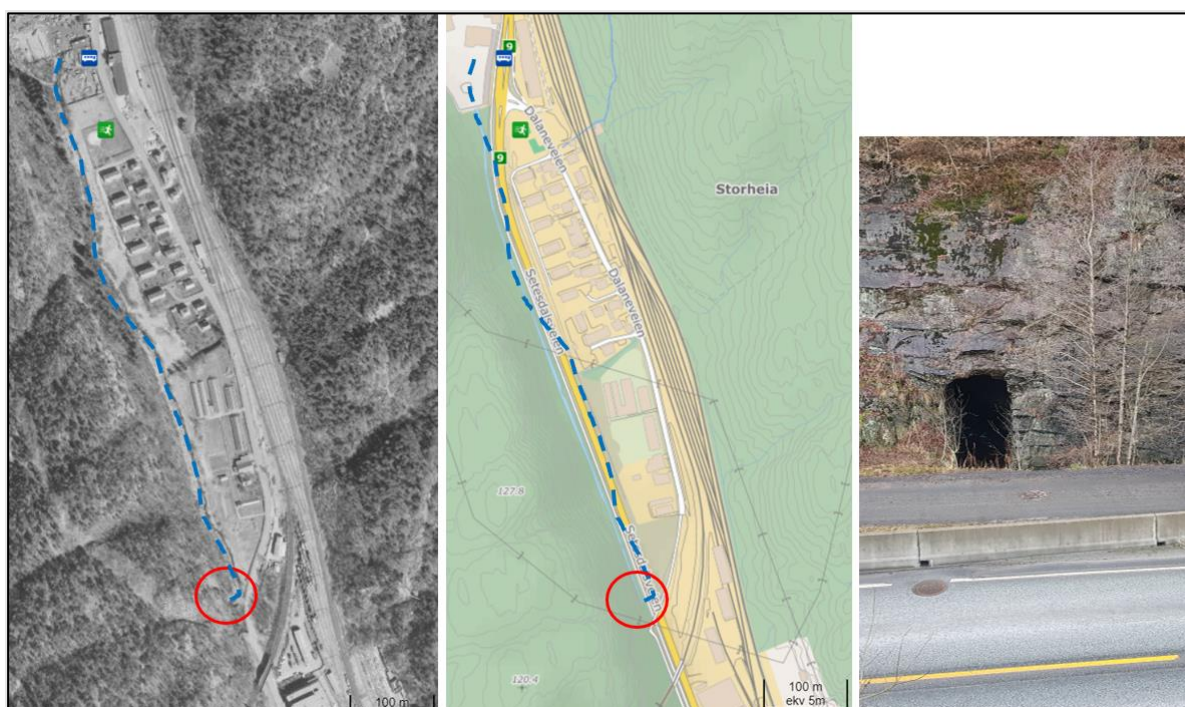


Figur 6-4: Kulvertinnløp for Grimsbekken i kummen under Dalaneveien 35 (til venstre). Grimsbekken renner videre i tre stålkulverter med $\varnothing 1000$ mm (til høyre).



Figur 6-5: Utløpet av kulvertsystemet i en normal situasjon (11.02.2021) og under flommen 02.10.2017 [16].

Videre nedstrøms utløpet går Grimsbekken i åpent løp langs den vestre siden av Setesdalsveien før bekken går inn i en sprengt tunnel ca. 180 m nedstrøms kryssing for søndre tilførselsvei (Figur 6-6). Tunnelen kommer ut ved Krossen, og videre nedstrøms går Grimsbekken lukket ned til Grim.



Figur 6-6: Grimsbekken går i tunnel nedstrøms kryssing av søndre tilførselsvei. Bildet til venstre viser bekken i 1955. Bildet i midten viser et kart for dagens situasjon. Bildet til høyre viser tunnelinnløpet som ligger ved den røde sirkelen.

6.3 Observert flomsituasjon i Dalane

Grimsbekken er kjent for å skape flomproblematikk ved Dalane. Jernbanen mellom Kristiansand og Vennesla har vært stengt ved flere anledninger de siste årene grunnet flom [16]. Det nye bussanlegget som ligger ca. 700 m nord for kryssingen ligger i flomsonen til Grimsbekken [17]. Bussanlegget er blitt oversvømt flere ganger siden det ble bygget i 2018.

En flomrapport fra Bane NOR [16] nevner at det lukkede systemet under jernbanen har for liten kapasitet. Det ble observert oppstuvning ved innløpet (se Figur 6-2) under flommen i september/oktober 2017 og utløpet gikk fullt (se Figur 6-5). I tillegg er det mye vegetasjon langs bekkeløpet (se Figur 6-3), og drivgods kan under flom danne propper i bekkeløpet eller blokkere kulverten.

Kristiansand kommune har nevnt at Grimsbekken har vært årsak til flere skadeflommer i områdene ved Krossen og Grim nedstrøms Dalane. På Grim fylles kjellere med vann, og kjøreveier og gang- og sykkelveier oversvømmes.

6.4 Flomstørrelse

Nedbørfeltet til de vurderte punkter er ca. 4-4,5 km². Dimensjonerende flom kan derfor beregnes ved hjelp av regresjonsanalyse og NIFS (se kapittel 4). Flomberegningen er vist mer detaljert i Vedlegg 1. Dimensjonerende flom er beregnet ved å gange opp 200-årsflom med usikkerhetspåslag $F_u = 1,2$ og klimapåslag $F_k = 1,3$ som gir $Q_{dim,200}$ vist i Tabell 6-1.

Tabell 6-1: Momentanverdier for dimensjonerende flom beregnet for Grimsbekken ved tilførselsveiene.

Punkt i Grimsbekken	A (km ²)	Regresjons-analyse (m ³ /s)	NIFS (m ³ /s)	Q ₂₀₀ valgt i beregninger (m ³ /s)	Q _{dim,200} (m ³ /s)
Tilførselsvei nord	4,0	6,0	6,30	6,3	9,8
Tilførselsvei sør	4,5	6,5	6,76	6,8	10,5

I normalsituasjoner vil det pumpes dreinsvann fra tunnelen for Ytre ringvei ut i Grimsbekken i Dalane. Dette er en vannmengde som ikke vil gi noe vesentlig bidrag i en ekstremflom. Vanninnsig i tunnelen er ventet å ha en forsinking sammenlignet med flomvannføringen i Grimsbekken, slik at på det tidspunktet det er behov for å pumpe ut mest vann fra tunnelen så vil flommen i Grimsbekken allerede ha kulminert. Dreinsvann fra tunnel for Ytre ringvei er derfor sett bort fra ved estimering av dimensjonerende flomstørrelse i Grimsbekken.

6.5 Beregning av dagens situasjon

6.5.1 Forutsetninger

Grunnet utformingen til lukningen av Grimsbekken, er det en risiko for at kulvertsystemet kan være delvis blokkert under flom. Kulvertene er imidlertid antatt åpne ved beregningen av dagens situasjon.

6.5.2 Hydraulisk modell

Det er satt opp en to-dimensjonal hydraulisk modell i Hec-Ras 6.0 for å beregne flomsituasjonen i Dalane. Den modellerte strekningen er ca. 1,4 km lang. Modellen starter ca. 300 m ovenfor innløpet til det lukkede kulvertsystemet. Nedstrøms ender modellen der Grimsbekken går inn i tunnelen.

Manningstall for beregningsstrekningen er satt opp med utgangspunkt i flyfoto og arealressurskart, og vurdert mot verdier beskrevet i litteraturen [18] [19]. Benyttede Manningstall for ulike flater er gjengitt i Tabell 6-2.

Tabell 6-2: Benyttede Manningstall i 2D-beregningen.

Arealtype	n	M
Elveløp	0,04	25
Flomslette, urban, samferdsel	0,02	50
Flomslette, innmarksbeite og overflatedyrket jord, jordbruk el. tilsvarende	0,04	25
Flomslette, åpen fastmark, myr	0,05	20
Flomslette, skog	0,10	10
Bygninger	10	0,1

Dimensjonerende flom legges til grunn som oppstrøms grensebetingelse i den hydrauliske modellen (se Tabell 6-1). Det er brukt kulminasjonsverdi for hele simuleringen siden den modellerte strekningen er kort, noe som tilsier at vannføringen neppe vil endre seg vesentlig på strekningen. Nedre grensebetingelse er satt til normalvannstand (helning 0,01).

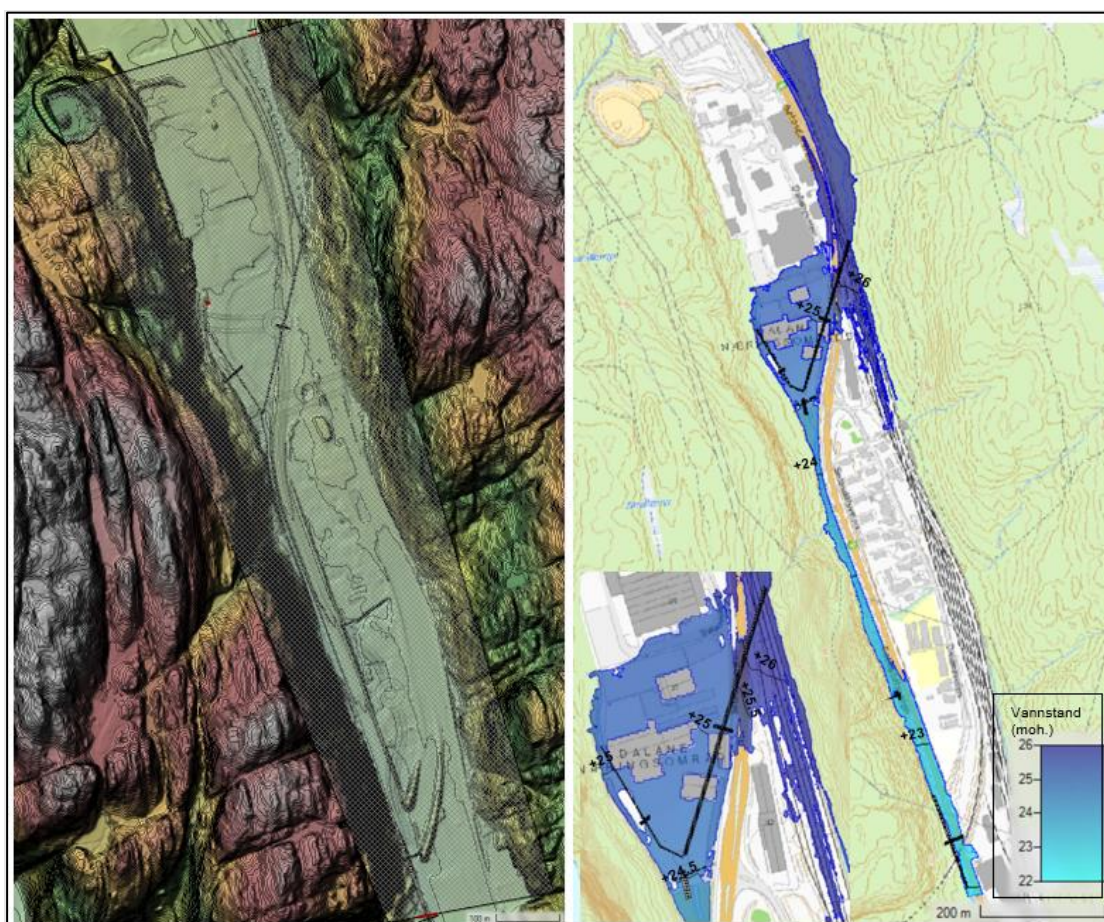
Kulvertene langs vassdraget er modellert ved hjelp av *2D area connection* i Hec-Ras. For simulering av dagens situasjon er det lagt inn tre kulverter med følgende forutsetninger:

1. To kulverter under jernbanen med diameter 1 000 mm og lengde ca. 250 m. I praksis har deler av traseen større dimensjon/kapasitet, men kulverter Ø 1 000 mm blir begrensende. Utløpet av kulvertene ligger i kummen med bunn på kote 22,5.
2. Kulverten fra sidebekken i vest med diameter 1 000 mm og lengde ca. 125 m. Utløpet av kulverten ligger i kummen med bunn på kote 22,5.
3. Tre kulverter med diameter 1 000 mm og lengde 25 m fra kummen med innløp på kote 22,5 og utløp i Grimsbekken på kote 22,1.
4. Tunnelen i sør er rektangulær med bredde 3 m og høyde 2 m. Tunnelsålen ved innløpet er på ca. kote 21,0.

6.5.3 Beregning av dagens flomsituasjon i Dalane

Figur 6-7 viser flomutbredelse og vannstander for dimensjonerende situasjon langs vassdraget for dagens situasjon. Beregnet maksimal vannstand er vist i Tabell 6-3.

Beregningen og erfaring viser at det er flomutsatte bygninger både oppstrøms og nedstrøms for der Ytre ringvei vil krysse Grimsbekken. For å ikke gjøre flomsituasjonen verre for 3. parter i området, betyr det at Ytre ringvei verken kan øke flomvannstander oppstrøms eller slippe forbi mer vann i fremtiden. Ytre ringvei kan dermed ikke påvirke flomforholdene. I og med at flomforholdene ikke skal endres med bygging av Ytre ringvei, kan nødvendig sikkerhetsnivå for Ytre ringvei finnes ut fra beregningen av nåværende situasjon.



Figur 6-7: Terrengmodellen og beregningsgriddet benyttet i beregningen (til venstre). Beregnet vannstand og flomutbredelse for dimensjonerende situasjon vises til høyre (forutsatt åpent kulvert). De svarte isolinjer viser vannstander med ekvidistanse 50 cm.

Tabell 6-3: Vannstander beregnet ved kryssinger av tilførselsveiene i Dalane.

Sted	$Q_{dim,200}$ (m ³ /s)	Dimensjonerende situasjon (moh.)	Sikkerhetsnivå (moh.)
Nordre tilførselsvei	10,0	24,7	25,2
Søndre tilførselsvei	10,5	23,2	23,7

Beregning for dagens situasjon viser at kulvertsystemet ikke har tilstrekkelig kapasitet til å avlede $Q_{dim,200}$. Kulvertsystemets kapasitet, uten tilstopping, er ca. 5 m³/s. Det renner dermed ca. 5 m³/s over lokalveien og overflaten.

6.6 Flomsituasjon med Ytre ringvei

6.6.1 Forutsetninger

Det forutsettes at man ved bygging av Ytre ringvei ikke vil erstatte eksisterende kulvertsystem for Grimsbekken som helhet, men koble seg til kulvertsystemet ved nordre tilførselsvei.

For å unngå at tilførselsveiene vil fungere som barrierer for Grimsbekken må det settes inn kulverter eller bruer for å få vannet gjennom tilførselsveiene.

6.6.2 Kryssing av nordre tilførselsvei i Dalane

Figur 2-2 viser hvordan nordre tilførselsvei vil krysse Grimsbekken. Der tilførselsveien vil krysse Grimsbekken, går Grimsbekken i dag i tre stålkulverter. Norconsult foreslår at de tre stålkulvertene fjernes, og at det utarbeides en løsning fra den eksisterende kummen oppstrøms.

Ved dimensjonerende flom vil mye av vannet renne i kulvertsystemet. En del vann renner på overflaten. For å håndtere både overvann og vannet som renner i kulvertsystemet, har vi vurdert flere løsninger:

- Nordre tilførselsvei krysser Grimsbekken på bru, slik at bekken går åpen.
- En kort bekkelukning gjennom nordre tilførselsvei. Bekkeløpet videre nedstrøms er åpent.
- En lang bekkelukning, der bekken lukkes gjennom nordre tilførselsvei og ca. 120 m videre nedstrøms nordre tilførselsvei.

Norconsult har valgt å gå videre med løsningen som innebærer en kort bekkelukning gjennom nordre tilførselsvei. Grunnen til dette er:

- Kort lukning har laveste investeringskostnad
- Kort lukning har laveste vedlikeholdskostnad
- Kort lukning har ikke noen negativ miljøpåvirkning sammenlignet med dagens situasjon

Videre er kun valgt løsning for nordre tilførselsvei beskrevet.

En løsning med kort bekkelukning vil inkludere følgende:

- De tre eksisterende korrugerte stålørerne som i dag ligger der nordre tilførselsvei kommer fjernes.
- Betongkanalen i kummen ved Dalaneveien 35 forlenges med ca. 6 m sydover mot ny tilførselsvei.
- Det legges en grøft på nordsiden av tilførselsveien mellom rundkjøring nord og tunnelportal mot vest for å samle vannet fra overflaten. Grøften blir ca. 35 m lang og 1,5 m bredd i bunnen. Grøftens bunnivå blir lik bunnen av eksisterende betongkanal, på kote 22,0. Helning på grøfteskråningen er 1:1,5 (v:h) på nordsiden.
- Det legges to sirkulære kulverter, hver med dimensjon Ø 2 000. Det legges en tett sikring over topp kulvert, på minimum 70 cm høyde (se Figur 3-2 for prinsipp for tett sikring). Rektangulære kulverter er mulig, men vil ha større kostnad.
- Videre nedstrøms vil bekkeløpet legges om på strekning ca. 30 m, før det kobles til eksisterende bekkeløp. Dagens bekkeløp har bunnbredde på ca. 2 m. Bekkeløpet bør utvides, med bunnbredde på minimum 3,5 m, over en lengde på ca. 150 m. Utvidelsen må skje mot øst, på grunn av at det er steinur mot vest. Det vil bli en støttemur mot gang- og sykkelveien som ligger rett øst for Grimsbekken. Dette for å hindre at bekkeløpets tverrsnitt reduseres av gang- og sykkelveien.

Figur 6-8 viser et utsnitt av geometrimodellen benyttet i Hec-Ras for beregning av nordre tilførselsvei for løsning med kort bekkelukning.



Figur 6-8: Geometri brukt i den hydrauliske beregningen for løsning med bru og åpent bekkeløp for nordre tilførselsvei.

Med anbefalt løsning så vil vannstanden ved dimensjonerende flom oppstrøms nordre tilførselsvei reduseres med 10 – 0 cm.

Miljøpåvirkningen ved valgt løsning er i utgangspunktet likt som med dagens situasjon. Det er imidlertid mulig med avbøtende tiltak for å bedre situasjonen sammenlignet med dagens forhold.

I åpningen til tunnelportalen må det legges en terskel på tvers av kjørebane for å hindre at vann fra Grimsbekken kan følge det drenerende laget under veien, og slik renne inn i tunnelen. Topp terskel må ligge på minimum kote 25,2.

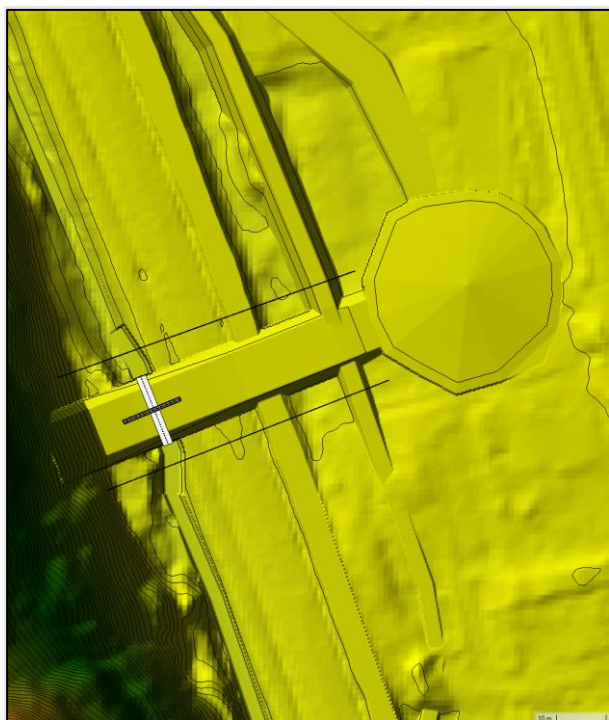
6.6.3 Kryssing av søndre tilførselsvei i Dalane

Grimsbekken må legges om, mot øst, for ikke å krysse i konstruksjonen for tunnelportalen. Det er relativt god plass mellom tunnelportalen og rundkjøring sør, slik at det skal ikke være noen utfordring å legge om Grimsbekken på en kort strekning.

Dimensjonering av kulverter gjennom tilførselsvei sør er gjort med tanke på de to hovedkravene oppgitt i Kapittel 2.1. Fra Hec-Ras modellering er det funnet at to kulverter med dimensjon Ø2000 vil tilfredsstillere kravene. For å ha plass til to kulverter av denne dimensjonen må bekkeløpet utvides oppstrøms og nedstrøms kulvertene. Bunn innvendig kulverter bør ligge på kote 21,0.

Det må ved åpningen til tunnelportalen legges en terskel på tvers av kjørebane, i likhet med for nordre tunnelportal. For å hindre at vann fra Grimsbekken kan følge det drenerende laget under veien, må topp terskel ligge på minimum kote 23,7.

Figur 6-9 viser et utsnitt av geometrimodellen benyttet i Hec-Ras for beregning av søndre tilførselsvei sin krysning av Grimsbekken.



Figur 6-9: Geometri brukt i den hydrauliske beregningen for løsning for søndre tilførselsvei.

6.6.4 Øvrige tiltak i Grimsbekken

6.6.4.1 Miljøtiltak

Grimsbekken er i dag preget av store inngrep på strekningen i Dalane. Det skal imidlertid finnes bekkørret på den åpne strekningen. For at bekken skal opprettholde sin økologiske funksjon, bør bekkeløpet utformes også med tanke på miljø- og naturverdier, og ikke kun for funksjonen ved flom. Det bør derfor være en dypål i bekken, som sikrer tilstrekkelig vanddyp for fisk og annet akvatisk liv i normalsituasjoner. Nye kulverter skal ikke være vandringshindre, og for at dette skal oppnås må:

- Sprang fra utløp kulverter og bunn bekk unngås
- Nødvendig vanddyp i kulverter i normalsituasjoner sikres, enten med ei renne eller små terskler
- Vannhastighet gjennom kulverter må ikke være for høy ved normale vannføringer

Det vil sannsynligvis være behov for noe erosjonssikring av nytt bekkeløp. Erosjonssikringer bør ikke bli liggende eksponert når arbeidet med bekken er ferdigstilt. Erosjonssikringen bør tildekket med vekstjord som sikrer at man får en reetablering av den naturlige, stedege vegetasjonen. Kantvegetasjon er av stor betydning for den økologiske funksjonen til bekken, og slik sett viktig å legge til rette for.

Med tanke på miljødesign er det en fordel om dypålen i bekkeløpet ikke legges helt rett, men meandrerer innad i tverrsnittet avsatt til bekken. Det vil også være en stor fordel om bunnsstratet i dypålen inneholder et spekter av steinstørrelser. Større stein er viktig for å

gi skjul for yngel. Utforming av dypål i bekkeløpet kan bestemmes nærmere i detaljeringsfasen av prosjektet.

6.6.4.2 Flomtiltak

Det er vurdert om det kan legges til rette for flomdempning i Grimsbekken i området ved tunnel sør. Her er det tilgjengelige arealer mellom Grimsbekken og lokalveien (se Figur 6-10 hvor arealer er markert med rød avgrensning). Arealet er ikke stort nok til at det har vesentlig betydning ved en 200-årsflom med klimapåslag. Det er imidlertid gjort en beregning med et flomforløp for en 20-årsflom, som antageligvis er i nærheten av en flom som tidligere har skapt skader langs Grimsbekken. Beregningen viser at man kan forvente en reduksjon av flomtoppen til en 20-årsflom nedstrøms tiltaket på omtrent 2 %. Tiltaket alene vil dermed ikke løse utfordringene med flom videre nedstrøms langs Grimsbekken, men det vil gi et positivt bidrag. Videre pekes det på at tiltaket også kan ha en positiv effekt for natur og miljø. Både for flomdempning og for miljø er det en fordel om flomdemningsarealet legges så lavt som mulig, slik at det blir stående vann her i normalsituasjoner. Utformingen av flomdemningsarealet kan detaljeres videre i neste fase av prosjektet.



Figur 6-10: Arealer tilgjengelig for flomdempning.

For å unngå at kulvertsystemet tilstoppes av drivgods under flom bør det gjøres tiltak ved innløpet til Grimsbekken under jernbanen, og ved innløpet til sidebekken fra vest. Det mest aktuelle tiltaket er store rister foran innløpene. Ristene må være store nok til at de opprettholder kapasiteten ved delvis tilstopping. Ristene vil hindre at tilstopping skjer lenger inn i kulvertsystemet, hvor det grunnet manglende tilgjengelighet vil være umulig å fjerne drivgods under en flom. Med utformingen som kulvertsystemet har, der det skjer gradvise

innsnevring kombinert med retningsendringer underveis i lukningen, er delvis tilstopping langt inne i kulvertsystemet en reel utfordring. Tiltak med rist foran innløpet vil ikke bare øke sikkerheten mot flom for Ytre ringvei, men vil være et positivt tiltak for lokalområdet som helhet.

7 Beregninger ved Grauthelleren

Nedbørfeltene til de to flomveiene som krysses (se Figur 2-3) er mellom ca. 0,03 og 0,06 km². Flomveiene leder i dag vann til Tvitjønn. Bekken til Bydalstjønn har et større nedbørfelt, men Ytre ringvei vil gå i tunnel under denne bekken. 200-årsflom er beregnet ved hjelp av den rasjonale formelen, på grunn av dette er den eneste metodikken som er gyldig for så små feltarealer. Detaljerte flomberegninger er vist i Vedlegg 1. Dimensjonerende flom er beregnet med å gange opp 200-årsflom med usikkerhetspåslag $F_u = 1,2$ og klimapåslag $F_k = 1,3$ som gir $Q_{dim,200}$ vist i Tabell 7-1.

Tabell 7-1: Momentanverdier for dimensjonerende flom beregnet for flomveiene som krysser daglinje ved Grauthelleren.

Krysningspunkt	Areal (km ²)	Rasjonale-formel (m ³ /s)	Q ₂₀₀ valgt i beregninger (m ³ /s)	Q _{dim,200} (m ³ /s)
Flomvei nr.1	0,058.	0,26	0,26	0,4
Flomvei nr.2	0,033	0,24	0,24	0,4

Vannet fra de to små nedbørfeltene vil føres ned til Ytre ringvei, og deretter ledes i rør i veigrøft i retning parsellgrensen i sør. Vannet vil dermed ikke føres under Ytre ringvei innenfor parsellen man vurderer i prosjektet.

I åpningen til tunnelportalen må det legges en terskel på tvers av kjørebane for å hindre at vann kan følge det drenerende laget under veien, og slik renne inn i tunnelen. Nivå for topp terskel bestemmes av VA.

Det bemerkes at feltarealet som drenerer til Tvitjønn vil reduseres etter at vannet fra de to flomveiene ledes ut av parsellen. Feltarealet som bortledes utgjør en relativt liten andel av totalfeltet til Tvitjønn, som er på ca. 0,8 km².

8 Referanser

1. Statens vegvesen (2022), Håndbok N200 Vegbygging
2. NVE (2016), Klimaendring og framtidige flommer i Norge, Rapport 81-2016
3. Norsk klimaservicesenter (2021), Klimaprofil Agder
4. Statens vegvesen (2022), Håndbok N100 Veg- og gateutforming
5. Statens vegvesen (2015), Håndbok N400 Bruprosjektering
6. NVE (2011), Retningslinjer for flomberegninger
7. NVE (2015), Veileder for flomberegning i små uregulerte felt
8. NCCS (2015), Sea Level Change for Norway, Report no. 1/2015.
9. <https://www.kartverket.no/sehavniva/> [internett]
10. Norconsult, « NV42E18YR-GTK-RAP-0002 Fagrapport geoteknikk », 2023
11. van der Meer et al. (2005), Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change, Journal of Coastal Engineering 52.
12. Kystverket (2007), Molohåndboka
13. EurOtop (2007), Wave overtopping of sea defences and related structures: assessment manual
14. <https://kommunekart.com/klient/kristiansand/plankart> [internett]
15. Norconsult, «NV42E18YR-YML-RAP-0005 Fagrapport vannmiljø», 2023
16. Bane NOR (2019), Flom i Grimsbekken ved Dalane, Sørlandsbanen
17. Rambøll (2017), Flomanalyse Dalane bussanlegg
18. Chow, Ven Te (1959), Open-channel Hydraulics
19. NVE (2010), Vassdragshåndboka

9 Vedlegg 1 – CEEQUAL tabell

Denne rapporten dekker ett eller flere dokumentasjonskrav under CEEQUAL (BREEAM Infrastructure). CEEQUAL har evidensbaserte vurderingskriterier og ekstern verifisering, og brukes for å måle bærekraft i et prosjekt. For å forbedre erfaringsoverføring til neste fase er de relevante kravene oppsummert og referert til i Tabell 9-1.

Tabell 9-1: Bærekraftsvurderinger i henhold til CEEQUAL

<i>Krav i CEEQUAL-manualen</i>	<i>Relevant avsnitt med dokumentasjon i dette dokument</i>	<i>Kommentar</i>
2.2.1 Flood risk assessment	Kapittel 3.1 og 6.6	Notatet redegjør for ulike alternativer der det er et viktig premiss for dimensjoneringen at flomsituasjonen ikke skal forverres for 3. parter. Design for løsninger beskrives.
2.2.2 Flood-risk-based enhancements	Kapittel 6.6.4	Tiltak med rist foran innløpet til Grimsbekken under jernbanen, hvilket ikke er pålagt i henhold til regelverk, men som vil bedre flomsikkerheten for alle parter i området er beskrevet. Det er også vurdert flomdempende tiltak ved søndre tilførselsvei sin krysning av Grimsbekken, noe som vil komme nedstrøms bebyggelse til gode. Tiltak med fordrøyningsarealer ved søndre tilførselsvei i Dalane, som ikke er pålagt i regelverk, vil fordrøye og dempe flomtoppen videre nedstrøms.
2.2.3 Sustainable drainage systems	Kapittel 6.6.4	Tiltak med fordrøyningsarealer ved søndre tilførselsvei i Dalane vil fordrøye og dempe flomtoppen.
2.2.4 Long-term flood resilience and adaptation	Kapittel 6.4 og 7.	Man hensyntar forventede klimaendringer frem mot år 2100, noe som vil gi langsiktig sikkerhet og tilpasning mot flom.
2.2.5 Implementation of flood-risk-based enhancements	Kapittel 6.6.4	Opp til oppdragsgiver å vurdere om tiltak med rist foran innløp Grimsbekken og flomdempningstiltak skal inkluderes, eller ikke.
2.2.7 Managing run-off at source		Ikke relevant for denne rapporten. Vurderer flom i Grimsbekken, der veiavrenning har neglisjerbart bidrag. Infiltrasjon er som regel heller ikke

		mulig i ekstreme flomsituasjoner, da grunnvannstanden er for høy.
4.4.7 Incorporating existing water features	Kapittel 6.6.4	Den økologiske funksjonen til Grimsbekken tas hensyn til i design, og det er foreslått tiltak som opprettholder Grimsbekken sin verdi. Dersom fordrøyningsareal ved søndre tilførselsvei realiseres og legges lavt nok til at det blir et vannspeil der i normalsituasjoner, vil det være en forbedring av økologisk funksjon.