

Oppdragsgiver: Flakk Gruppen AS
Oppdragsnavn: Sula Gondol Forprosjekt
Oppdragsnummer: 636883-01
Utarbeidet av: Martin Solbakken Løvaas
Oppdragsleder: Bjarne Bratli
Dato: 02.06.2022
Tilgjengelighet: Åpent

Notat – Hydrologi og drenering for Sula Gondol

Innhold

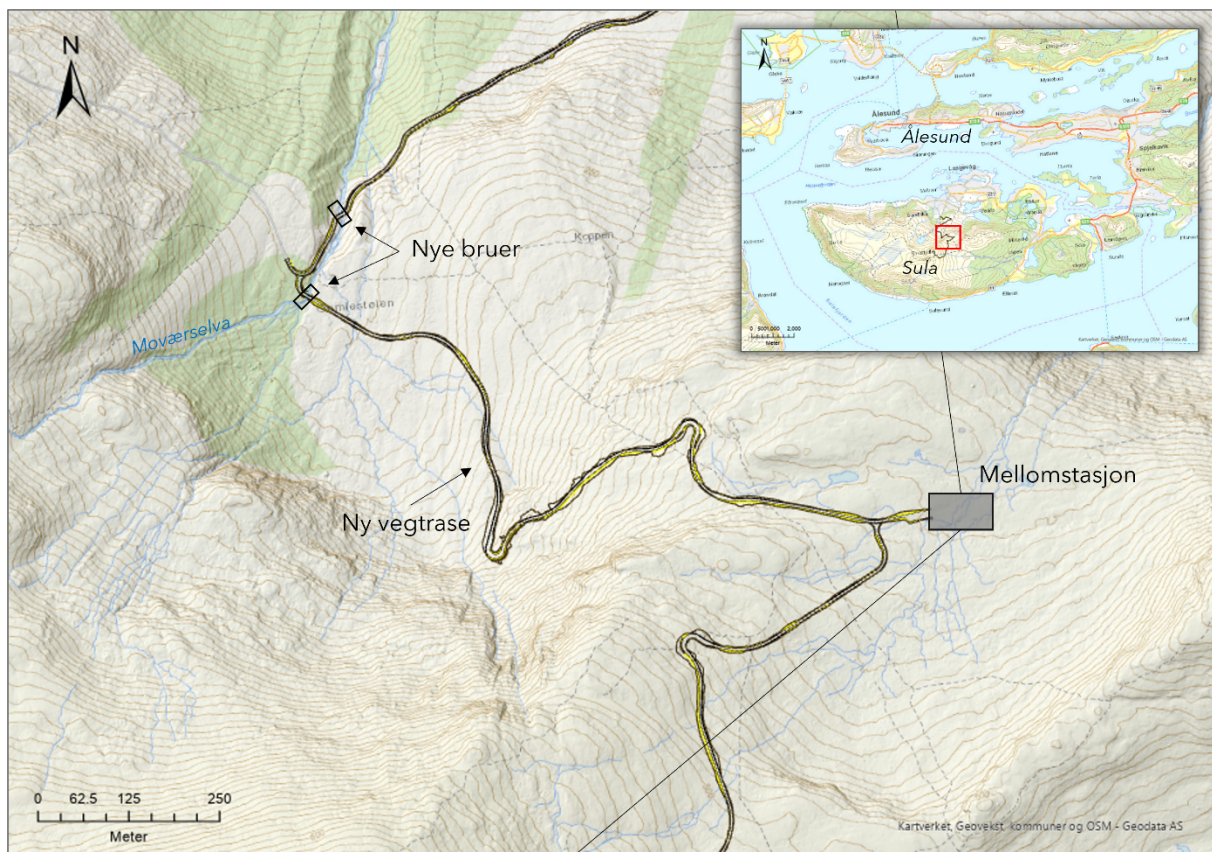
1. Oppdragsbeskrivelse	2
2. Hydrologiske beregninger	3
2.1. Beskrivelse av nedbørsfelt	3
2.2. Beregning av normalavrenning	4
2.3. Tidligere flomberegninger	4
2.4. Oppdaterte flomberegninger	5
2.5. Endelig estimat	7
3. Hydrauliske beregninger og dimensjonering	8
3.1. Lysåpning bruer	8
3.2. Stikkrenner og kulverter	12
3.3. Drenering Mellomstasjon - Infiltrasjonsgrøft	13
4. Oppsummering	17
Kilder	17

Versjonslogg:

01	02.06.22	Nytt dokument	MSL	MHK
VER.	DATO	BESKRIVELSE	Utarb. av	KS

1. Oppdragsbeskrivelse

I forbindelse med mulig utbygging av gondol og alpinanlegg på øya Sula utenfor Ålesund, er det nødvendig med hydrologiske og hydrauliske beregninger. Beregningene danner grunnlaget for prosjektering av lysåpninger for bruer og drenering med ny vegtrase, samt belyse løsninger for drenering og reservoar for snøproduksjon rundt Mellomstasjonen, se Figur 1-1.



Figur 1-1: Oversiktskart over Sula med regional plassering sør for Ålesund. Tenkt vegtrase, plassering av bruer og mellomstasjon for gondol er illustrert.

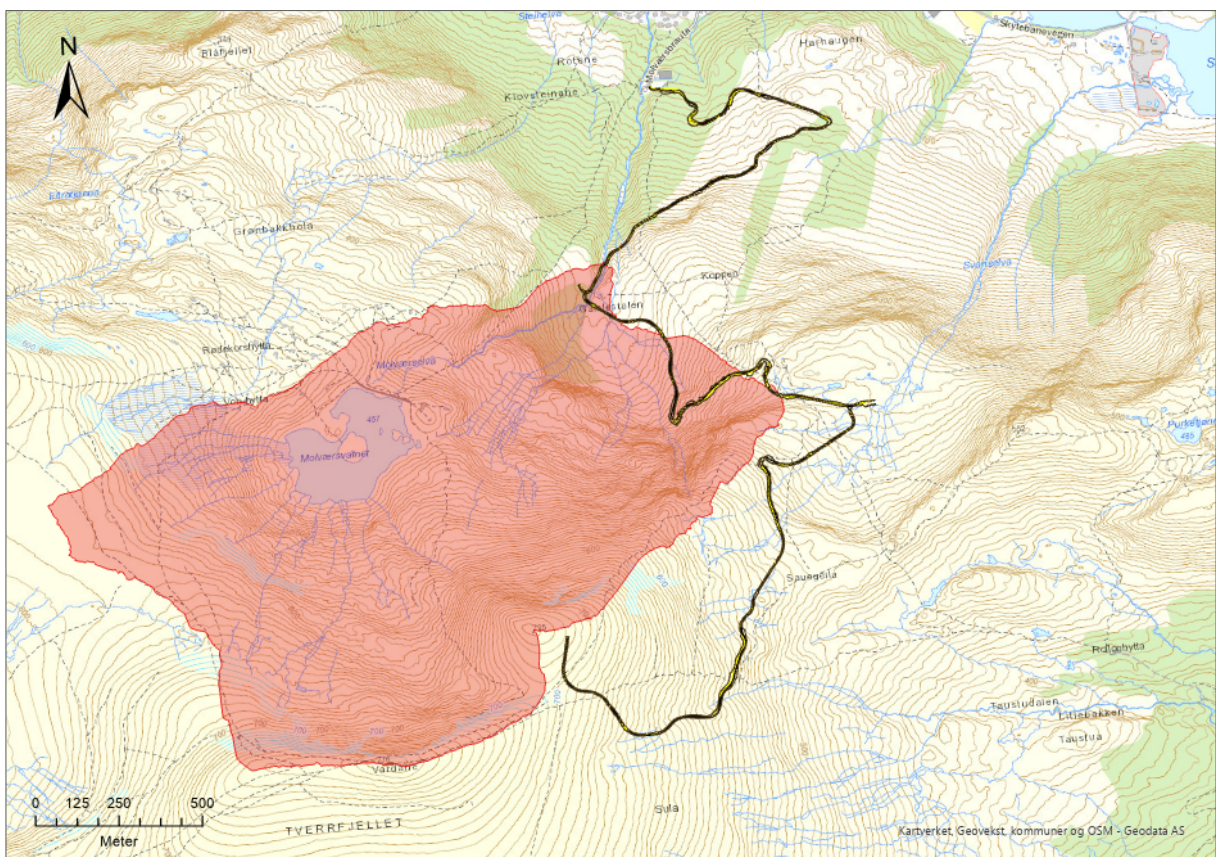
Forskjellige bygninger, konstruksjoner og områder, har ulike krav for sikring mot flom. I henhold til Vegnormal N200 (SVV, 2021) har veger med årlig trafikkmengde < 500 og uten omkjøringsmuligheter (Sikkerhetsklasse V1) krav om sikring mot 100-årsflom for tverrdrenering og 50-årsflom for langsgående drenering. Dimensjoneringskrav for bruer er omfattet i Vegnormal N400 (SVV, 2022), hvor lysåpningen skal dimensjoneres for en 200-årsflom. Det er også vurdert en normalsituasjon basert på NVEs avrenningskart i området.

2. Hydrologiske beregninger

Hydrologiske beregninger er gjort i henhold til NVEs veileder 01/2022, og sammenlignes med tidligere beregninger som er gjort av Norconsult (2019) lengre ned i vassdraget.

2.1. Beskrivelse av nedbørsfelt

Molværselva renner fra Molværsvatnet (457 moh.) ned til utløpet i fjorden i Molvær. De nye bruene krysser vassdraget noe oppstrøms utløpet i fjorden, hvorav tilhørende nedbørsfelt er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1: Molværselva nedbørsfelt oppstrøms de aktuelle bruene for ny vegtrase oppover lia.

Arealet oppstrøms bruene kan beskrives som relativt lite (2.01 km²) og bratt med mye snaufjell. Dette er egenskaper som tilsier rask respons i vannføring ved et nedbørforløp, og følgelig spisse og kortvarige flomforløp. Molværsvatnet har tidligere vært regulert til vannkraftproduksjon, men har i dag kun rekreasjonsformål. Det er altså tilnærmet uregulert, men innsjøen bidrar til noe flomdemping ved fordrøyning pga. feltets høye effektive

sjøprosent. Terrenget rundt elva er bratt, der vannet renner i et tydelig gjel, noe som gir lite rom for oversvømmelse utover løpet og mulig flomdemping. Feltparametere er oppsummert i Tabell 2-1.

Tabell 2-1: Oppsummering av utvalgte feltegenskaper for Molvørselva.

Felt	Areal [km ²]	Eff. sjø [%]	Felt lengde [km]	H _{maks} [moh.]	Relieff [m/km]	Skog [%]	Åpen fastmark [%]	Myr [%]	q _N * [l/s·km ²]
Molvørselva	2.01	2.31	1.90	770	99.2	2.6	92	0.6	56.9

* Spesifikk middelavrenning i referanseperioden 1961-90 gitt av NVEs avrenningskart.

2.2. Beregning av normalavrenning

I mangel på vannføringsdata fra det aktuelle vassdraget, er det valgt å estimere normalavrenningen fra NVEs avrenningskart (som gir spesifikk middelavrenning i referanseperioden 1961-90) – se Tabell 2-2.

Tabell 2-2: Beregnet middelavrenning ved bruk av NVEs avrenningskart.

Felt	Areal [km ²]	Middelavrenning	
		[l/s·km ²]	[m ³ /s]
Molvørselva	2.01	56.9	0.12

2.3. Tidligere flomberegninger

Norconsult AS var engasjert av Sula kommune for utredning av flomfare for vassdragene Molvørselva og naboelva i øst, Vassetelva, som begge renner gjennom Langevåg ved utløp i sjø. Beregningene skulle utgjøre grunnlaget for fremtidig flomsikring av området (Norconsult, 2019).

De hydrologiske beregningene ble utført i henhold til gjeldende veiledere på det tidspunktet (NVE veileder 7/2015). Det endelige estimatet for flomvannføring ble satt basert på nedbør-avløpsmodellen PQROUT, kombinert med observasjoner fra nærliggende referansefelt, samt formelverket NIFS. Dimensjonerende 200-årsflom i Molvørselva ved utløp i sjø, er satt til 16,8 m³/s inkludert 20% klimapåslag. Resultat fra Norconsult (2019) sine beregninger er oppsummert i Tabell 2-3.

Tabell 2-3: Oppsummering av beregnede flomverdier for Molvørselva ved utløpet i fjord, fra Norconsult AS.

Nedbørsfelt	Q ₂₀₀ [l/s·km ²]				Q _{dim 200} [m ³ /s]
	Frekvensanalyse	NIFS-formel	PQROUT	Valgt	
Molvørselva	598 - 1960	1369	1926	1926	16.8

2.4. Oppdaterte flomberegninger

NVE utga i januar 2022 nye retningslinjer for flomberegninger. Det er derfor gjennomført oppdaterte flomberegninger for Molværelva, der deler av grunnlaget fra Norconsults (2019) tidligere vurderinger av referansefelt er lagt til grunn. Det er gjort beregning av både 100- og 200-årsflom.

2.4.1. Lokal flomfrekvensanalyse - kulminasjonsdata

Beskrivelse av valgte referansestasjoner er gjort av Norconsult (2019), og vektingen presentert i Tabell 2-4 er gjort med grunnlag på hvor representative de ulike stasjonene er for det aktuelle feltet i Molværelva. Spesielt størrelse, plassering og effektiv sjøprosent er viktig, men også lengden på måleseriene. NVE (1/2022) anbefaler minst 25 år med data for frekvensanalyser, men Førdelev og Hildreelv har bare 14 og 15. De er uansett inkludert og vektet basert på øvrige feltegenskaper, da de er mer sammenlignbare med Molværelva enn de andre referansefeltene. Estimerte flomverdier for Molværelva er presentert i Tabell 2-5.

Tabell 2-4: Oversikt over verdier hentet fra referansestasjoner og vekting

Målestasjon	Parameterfordeling	Middelflom [l/s·km ²]	Q_{100}/Q_M [-]	Q_{200}/Q_M [-]	Vekting [%]
102.1 Hildreelv	Gumbel - L	1315	2.313	2.540	30
90.1 Førdelev	Gumbel - L	2715	1.563	1.660	25
96.3 Haraldseid	Gumbel - L	479	1.864	2.013	23
101.1 Engsetvatn	Gumbel - L	299	2.137	2.334	23
Vektet snitt:		1249	1.985	2.155	-

Tabell 2-5: Estimat for kulminasjonsverdier i Molværelva ved bruk av lokal flomfrekvensanalyse.

Felt	Middelflom (kulm.)		100-årsflom (kulm.)		200-årsflom (kulm.)	
	[l/s·km ²]	[m ³ /s]	[l/s·km ²]	[m ³ /s]	[l/s·km ²]	[m ³ /s]
Molværelva	1249	2.51	2479	4.98	2692	5.41

2.4.2. Regionalt formelverk for små nedbørsfelt (NIFS)

Nasjonalt formelverk for små nedbørsfelt (kjent som NIFS-formel) er utarbeidet for små naturlige uregulerte felt. Formelverket består av to regresjonsligninger for beregning av flom som igjen beror på inngangparametere feltareal, spesifikk middelavrenning og effektiv sjøprosent.

Estimert middelflom, 100- og 200-årsflom for Molværelva med NIFS-formel er presentert i Tabell 2-6.

Tabell 2-6: Resultat for beregning av middel-, 100- og 200-årsflom med NIFS-formel.

Felt	Middelflom (kulm.)		100-årsflom (kulm.)		200-årsflom (kulm.)	
	[l/s·km ²]	[m ³ /s]	[l/s·km ²]	[m ³ /s]	[l/s·km ²]	[m ³ /s]
Molværselva	1006	2.02	2317	4.66	2668	5.36

2.4.3. Nedbør-avløpsmodell PQROUT

PQRout er en nedbør-avløpsmodell som benyttes til flomberegninger i felt der det foreligger representative nedbørsdata. Modellen er en lineær karmodell, der vannføring antas å være proporsjonalt med innholdet i karet. Metoden er videre beskrevet av NVE (1/2022). PQRout anbefales kun å benyttes på gjentaksintervaller større eller likt 200 år, da metoden forutsetter full metning som initialtilstand. Det er i dette tilfellet benyttet NVEs nettversjon av modellen. Inngangparametere er beregnet via formler presentert i NVE (1/2022), presentert i Tabell 2-7. Norconsult (2019) beregnet også bidraget fra snøsmelting til 2.14 mm/time.

Nedbørforløp for en 100- og 200-års hendelse er konstruert med utgangspunkt i nedbørsdata (IVF-kurver) fra målestasjon SN60940 Spjelkavik – disse er konvertert fra punkt-til areal-verdier ved bruk av arealreduksjonsfaktorer (ARF) anbefalt i NVEs veileder (1/2022). Estimat for 100- og 200-årsflomvannføring i Molværselva beregnet med PQRout er presentert i Tabell 2-8.

Tabell 2-7: Modellparametere i PQRout for Molværselva.

Felt	K ₁ [1/time]	K ₂ [1/time]	T [mm]	Konsentrasjonstid [timer]
Molværselva	0.140	0.050	27.9	1

Tabell 2-8: Estimat for 100- og 200-årsflom i Molværselva beregnet med PQRout.

Gjentaksintervall	Nedbør 24t [mm/døgn]	Nedbør max. [mm/time]	Flomvannføring [m ³ /s]	
			Døgnmiddel	Kulminasjon
100 år	101.5	14.7	3.5	3.9
200 år	114.9	16.1	4.0	4.5

2.4.4. Klimapåslag

Norconsult (2019) la til grunn 20% klimapåslag i sine beregninger, etter anbefalinger fra NVE om minst 20% for nedbørsfelt Møre og Romsdal fylke. NVE (01/2022) presiserer derimot at for svært små felt (<10 km²) anbefales 40% klimapåslag. Statens Vegvesens Håndbok N200 presenterer klimapåslag fylkesvis, der Møre og Romsdal tilegnes 40% både

for små og store nedbørsfelt. For Molværselva oppstrøms de nye bruene er det et svært lite areal og bratt snaufjell, noe som tilsier rask respons ved nedbør og et spist flomforløp. Følgelig er det valgt å gå for **40% klimapåslag**, altså noe økning fra tidligere beregninger.

2.5. Endelig estimat

For å bestemme endelig estimat for dimensjonerende 200-årsflom i Molværselva er det tatt en vurdering av erfaringstall for regionen, tidligere flomberegninger i nedbørsfeltet samt oppdaterte flomberegninger i henhold til nye retningslinjer fra NVE. Beregningene er oppsummert i Tabell 2-9.

Erfaringstallene i spesifikk flomvannføring for små felt (<50 km²) i regionen "Trøndelag, Møre og Romsdal" er $q_{200 \text{ kulm.}} = 800 - 3000 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$, der de største verdiene hører til kysten. For mikrofelt (< 2 km²) ligger flomverdiene på rundt 2000-5000 l/s·km² generelt for hele landet. Beregningene fra Norconsult (2019) er innenfor erfaringstallene, men benyttede nedbørsdata vurderes som litt lave sammenlignet med nedbørsdata fra Senorge.no. Nevnte beregninger er også utført for et større nedbørsfelt med litt andre egenskaper det som er aktuelt for dette prosjektet. I gjeldende veileder for flomberegninger anbefales det også at det skal legges til grunn flere metoder før endelig estimat. Gjennomsnittet av flomverdiene fra de oppdaterte beregningene gir en spesifikk avrenning på 2529 l/s·km² noe som virker rimelig med bakgrunn i plassering, feltegenskaper og erfaringstall. Det er også god korrelasjon mellom resultatet fra de forskjellige beregningsmetodene. Det kan antas at den samme metodikken gir et fornuftig estimat av også 100-årsflommen.

Basert på overnevnte vurderinger er endelig estimat for dimensjonerende 100- og 200-årsflom inkludert klimapåslag satt til **$Q_{100+40\%} = 6.3 \text{ m}^3/\text{s}$** og **$Q_{200+40\%} = 7.1 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Tabell 2-9: Oppsummering av flomberegninger samt endelig estimat for dimensjonerende verdi i Molværselva.

Metode	100-årsflom		200-årsflom	
	[l/s·km ²]	[m ³ /s]	[l/s·km ²]	[m ³ /s]
Norconsult AS 2019	-	-	1926	14.0*
NIFS-formel	2317	4.7	2668	5.4
Lokal flomfrekvensanalyse	2479	5.0	2692	5.4
PQRout	1915	3.9	2229	4.5
Endelig estimat	2237	4.5	2529	5.1
Inkludert 40% klimapåslag	3132	6.3	3541	7.1

*ikke grunnlag for sammenligning pga. feltstørrelse

For mindre delfelt som dreneres i stikkrenner, kulverter eller grøfter, er det valgt å estimere vannføring ved hjelp av spesifikke verdier som er beregnet for Molværselva – se Tabell 2-10. Det bemerkes at middelflom er beregnet basert på samme metodikk som for 100- og 200-årsflom, med unntak av at det ikke benyttes estimat fra PQROUT da denne ikke er anbefalt for gjentakintervall mindre enn 200 år (NVE, 1/2022).

Tabell 2-10: Spesifikke vannføringer for Molværselva som benyttes til estimat i mindre delfelt.

Gjentaksintervall		Spesifikk vannføring [l/s·km ²]
Normalavrenning	q_n	56.9
Middelflom, inkludert 40% klima	$q_{M+40\%}$	1585
100-årsflom, inkludert 40% klima	$q_{100+40\%}$	3132
200-årsflom, inkludert 40% klima	$q_{200+40\%}$	3541

3. Hydrauliske beregninger og dimensjonering

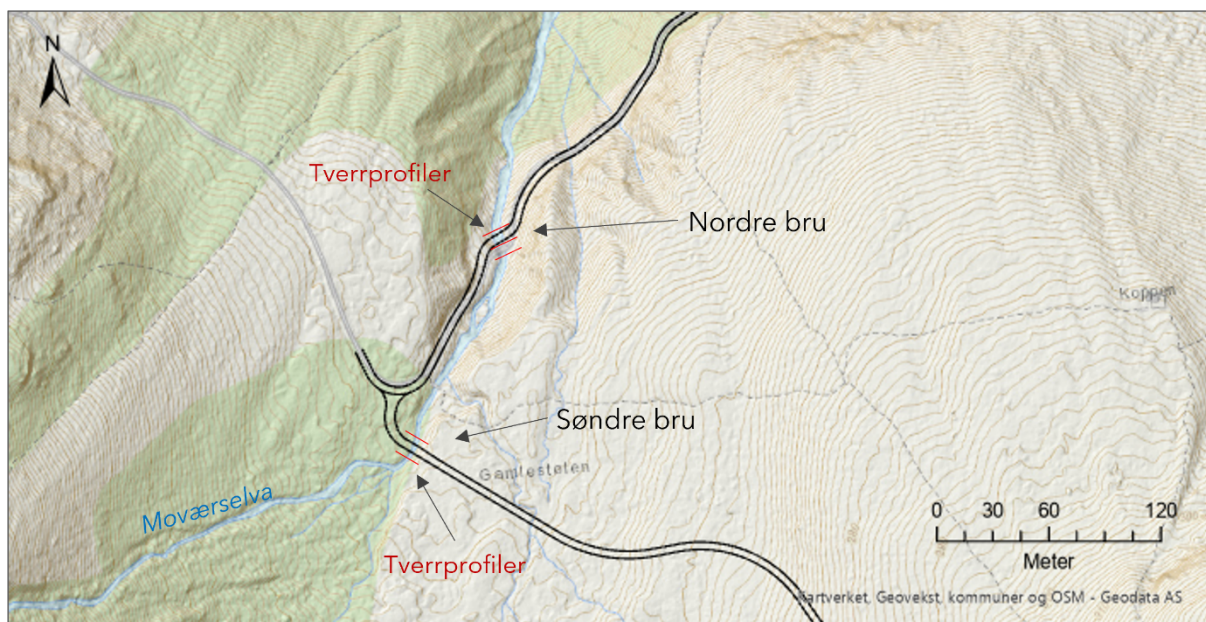
For dimensjonering av bruer er det fulgt retningslinjer presentert i SVVs vegnormal N400, mens dimensjonering av kulverter og stikkrenner er gjort etter vegnormal N200. Bruer defineres som konstruksjoner med total spennvidde over 2.5 meter, kulverter 1-2.5 meter og stikkrenner <1 m i diameter.

For bruer er det krav om 50 cm fri høyde over vassdrag ved dimensjonerende flom (200-års flom). For kulverter og stikkrenner er det krav om at innløpet ikke blir dykket, og at det forutsettes 1/3 gjentetning av gjennomløpet.

3.1. Lysåpning bruer

For å beregne nødvendig lysåpning for bruene, er det benyttet en endimensjonal beregningsmetode i programvaren Hydraulic Toolbox 5.1., utviklet av Federal Highway Administration (FHWA) U.S Department of Transportation. Programmet er godt egnet for hydrauliske beregninger i tverrsnitt med tydelig kanalisering. For utdypende informasjon ang. programvaren henvises det til brukerhåndboken "FHWA Hydraulic Toolbox User's Manual".

Basert på en terrengmodell med 0.5 m oppløsning, ble det hentet ut tverrsnitt av elveløpet rett opp- og nedstrøms hver bro. Helningen i elveløpet ble estimert fra lengdeprofil i samme terrengmodell. Manningstallet ble satt til $n = 0.035$ basert på flyfoto, og dimensjonerende vannføring ved 200-årsflom som grensebetingelse. Plassering av bruer og tverrprofiler er illustrert i Figur 3-1.



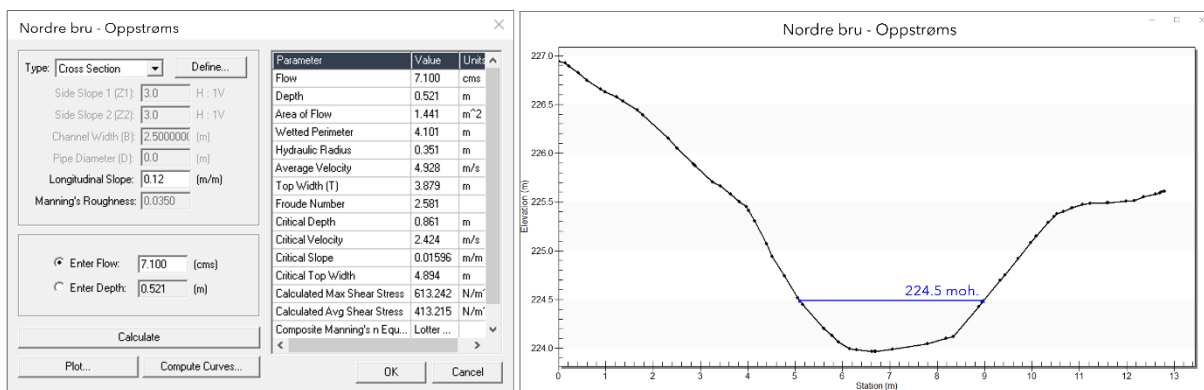
Figur 3-1: Plassering av tenkt trase med nye bruer som krysser Molværselva to ganger, samt plassering av tverrprofiler for beregning av vannstand.

3.1.1. Nordre bru

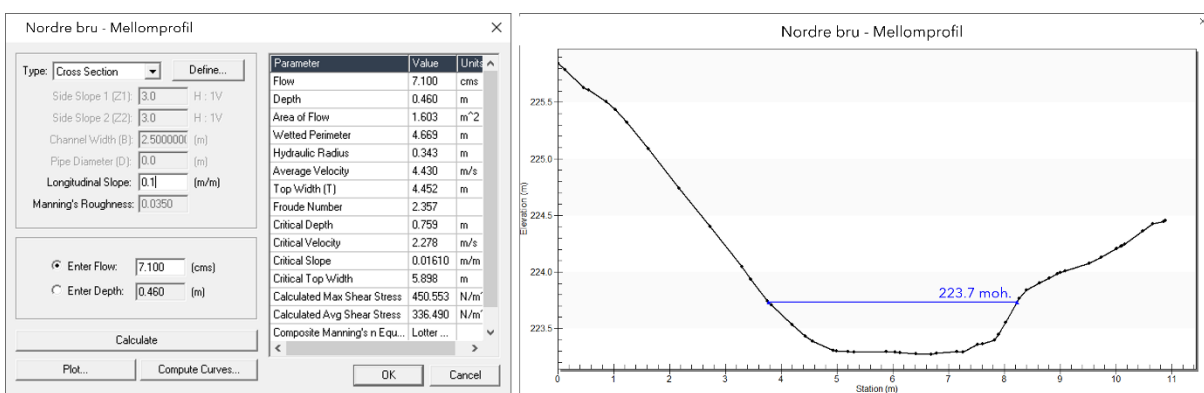
For Nordre bru har vannet relativt stor fart og er konsentrert i elveløpet. Dimensjonerende vannstand for Nordre bru er gitt for tre tverrprofiler, illustrert i Figur 3-2, Figur 3-3 og Figur 3-4. Det er ønskelig å beholde den eksisterende brua, Bukkene bruse-brua, da det er et populært turmål. Denne brua er en platebru (underkant beregnet til å være på kote 224.7 moh.) bygget på tredragere, ca. 30 cm tykk, med rekkverk. Eksisterende bru har ikke tilstrekkelig kapasitet i henhold til krav for dimensjonerende 200-årsflom med fremtidens klima. Dersom denne brua blir tatt av flom, er det rimelig å anta at drivgodset kan sette seg fast i den nye brua. Den gamle brua anses derfor som begrensende faktor. Mellomprofilet viser dimensjonerende vannstand på 223.7 moh., det gir nødvendig høyde fur underkant av ny bru på 224.2 moh. Det vurderes som svært ugunstig at ny bru ligger lavere enn eksisterende, pga. fare for tilstopping ved en evt. kollaps av eksisterende.

Dimensjonerende vannstand velges derfor basert på vannstanden oppstrøms eksisterende bru, 224.5 moh. **Underkant av ny bru anbefales derfor å ikke ligge lavere enn 225.0 moh.** Basert på området rundt og hvordan ny vegtrase skal ligge i terrenget, antas det at ny bru uansett blir å ligge over nevnte dimensjonerende nivå.

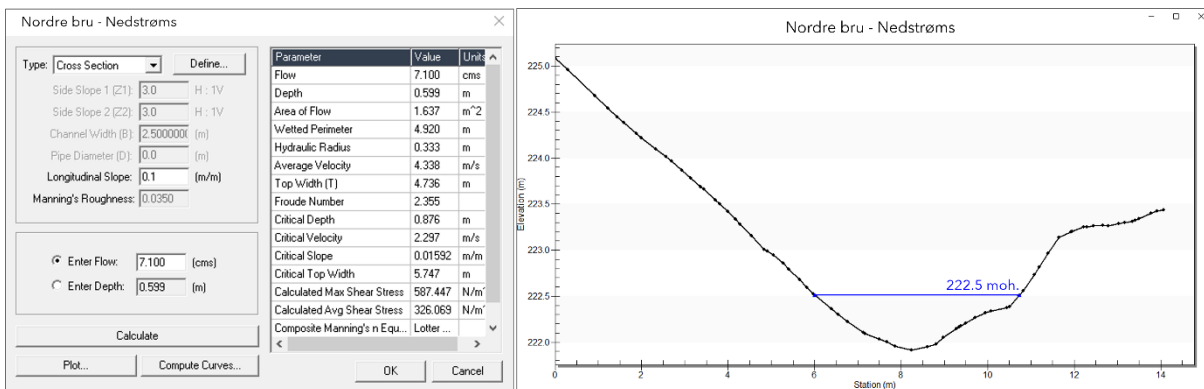
Mulige tiltak for å øke kapasiteten ytterligere kan være å grave elveprofilet dypere. Dette må imidlertid utredes videre for å ikke skape økt erosjon og undergraving av brukar, da vannet har stor fart og potensiale for mye erosjon.



Figur 3-2: Hydrauliske beregninger og dimensjonerende vannstand for tverrprofil oppstrøms Bukkene brusebru.



Figur 3-3: Hydrauliske beregninger og dimensjonerende vannstand for tverrprofil mellom nåværende bru og ny bru.



Figur 3-4: Hydrauliske beregninger og dimensjonerende vannstand for tverrprofil nedstrøms ny bru.

3.1.2. Søndre bru

Elveløpet under Søndre bru er relativt kanalisert, noe mer oppstrøms enn nedstrøms. Det vurderes som lite sannsynlig at vannet finner andre veger, så fremst det ikke blir betydelig erosjon og oppstuvning. Dersom vegbanen med bru legges oppå eksisterende terreng på begge sider, er kapasiteten i elveløpet relativt god. Resultatet av beregningene er oppsummert i Figur 3-5. Dimensjonerende flomvannstand i profilet oppstrøms er beregnet til 244.5 moh., det vil si at **underkant av brudekket ikke kan ligge lavere enn 245.0 moh.** for å innfri gjeldende krav. Flomvannstander for begge tverrprofilene er illustrert i Figur 3-6. Som figurene viser, er terrenget på begge sider av elveløpet høyere enn dimensjoneringskravet.

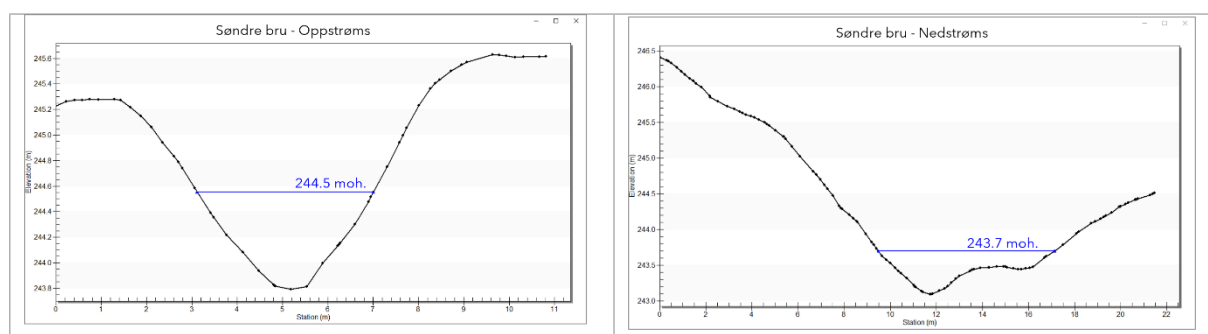
Søndre bru - Oppstrøms

Parameter	Value	Units
Flow	7.100	cms
Depth	0.763	m
Area of Flow	1.796	m ²
Wetted Perimeter	4.230	m
Hydraulic Radius	0.425	m
Average Velocity	3.954	m/s
Top Width (T)	3.892	m
Froude Number	1.858	
Critical Depth	1.019	m
Critical Velocity	2.451	m/s
Critical Slope	0.01611	m/m
Critical Top Width	4.734	m
Calculated Max Shear Stress	448.831	N/m ²
Calculated Avg Shear Stress	249.709	N/m ²
Composite Manning's n Equ...	Lotter ...	

Søndre bru - Nedstrøms

Parameter	Value	Units
Flow	7.100	cms
Depth	0.604	m
Area of Flow	2.295	m ²
Wetted Perimeter	7.806	m
Hydraulic Radius	0.294	m
Average Velocity	3.094	m/s
Top Width (T)	7.653	m
Froude Number	1.804	
Critical Depth	0.756	m
Critical Velocity	2.008	m/s
Critical Slope	0.01668	m/m
Critical Top Width	8.603	m
Calculated Max Shear Stress	355.152	N/m ²
Calculated Avg Shear Stress	172.882	N/m ²
Composite Manning's n Equ...	Lotter ...	

Figur 3-5: Resultater for beregninger av flomvannføring for hvert tverrsnitt for Søndre bru.



Figur 3-6: Vannstand ved dimensjonerende 200-årsflom illustrert i tverrprofiler opp- og nedstrøms tenkt trase.

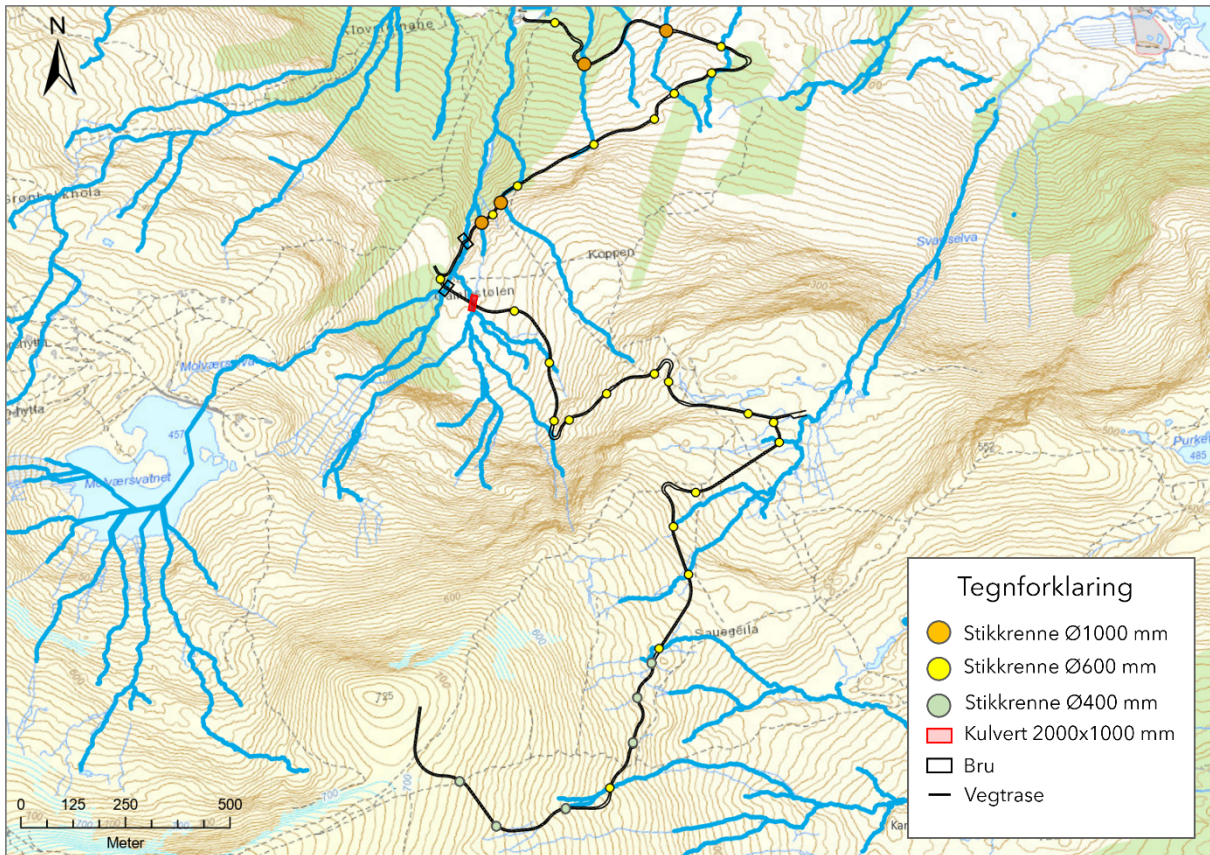
3.2. Stikkrenner og kulverter

For å opprettholde en tilnærmet naturlig drenering langs vegtraseen, er det nødvendig med kulverter og stikkrenner. Diameter vil avhenge av tetthet mellom dreneringslinjer og oppstrøms nedbørsfelt. Spesielt der vegtraseen ligger normalt på fallretninger er drenering viktig å få hindre skader på grøftene og kjørebane som følge av stående vann og erosjon. Generell avstand mellom stikkrenner er satt til 125-150 meter, men for strekninger der vegbanen følger dreneringslinjene kan avstanden økes.

Dreneringslinjer for nedbørsfelt større enn 2.5 ha er generert i SCALGO Live, og satt i sammenheng med tenkt vegtrase illustrert i Figur 3-7. Beregninger for nødvendig dimensjon for stikkrenner og kulverter er gjort i programvaren HY-8 7.70 (utviklet av FWHA). Vannføring fra de spesifikke delfeltene settes som inngangsparameter, samt helning 0.01 m/m. Det tas utgangspunkt i sirkulære betongrør med Manningstall $n = 0.012$.

Beregningene viser at nødvendige dimensjoner varierer mellom 600 mm og 1000 mm, illustrert i Figur 3-7, der det stort sett er tilstrekkelig med den minste diameteren. Øst for Gammelstølen er det nødvendig med en enkel rektangulær betongkulvert (BxH) 2000x1000 mm.

Desto høyere opp fra mellomstasjonen, desto mindre vannmengder er det snakk om. For en gunstig utforming av vegen og minst mulig naturinngrep, kan det være fordelaktig å gå ned til Ø400 mm. En reduksjon i størrelse avviker fra anbefalinger i SVV N200. Velges en mindre diameter i øvre deler, burde driften av vegen innebære rensk av rør for å hindre gjentetting og overvann på avveie.



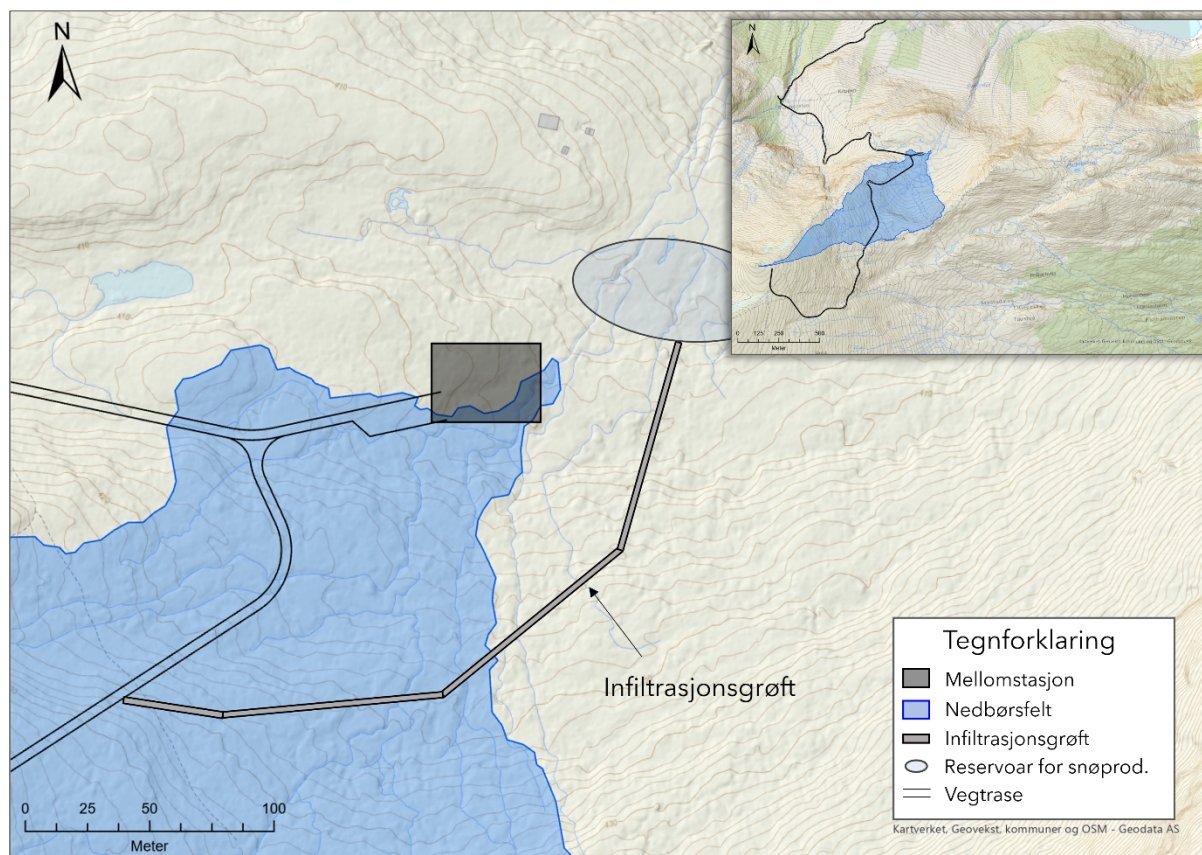
Figur 3-7: Dreneringslinjer for nedbørsfelt større enn 2.5 ha, sett i sammenheng med vegtrase. Forslag til plassering av stikkrenner med ulike størrelse, rektangulær betongkulvert og bruer er illustrert.

3.3. Drenering Mellomstasjon - Infiltrasjonsgrøft

Som en del av gondolen og i kombinasjon med skitrekk, er det tenkt å bygge en mellomstasjon på Sulafjellet, ca. 410 moh. Plassering av mellomstasjonen er illustrert i Figur 1-1 og Figur 3-8. Området rundt mellomstasjonen er preget av relativt flatt terreng, med flere små og kronglete bekker og dreneringslinjer. Feltet som drenerer til mellomstasjonen illustrert i Figur 3-8, og er 0.3 km². Vannføring for normalsituasjon er beregnet til $Q_N = 0.02$ m³/s og 100-årsflom er beregnet til $Q_{100+40\%} = 0.95$ m³/s.

Asplan Viak utførte grunnundersøkelser rundt mellomstasjonen i oktober 2021. I 'Notat Georadarmålinger på Sulafjellet' betegnes området myr og med dybde til berg mellom 0.2 m og 2.5 meter. NGUs løsmassekart beskriver området som tynt morenedekke.

Det er ønskelig med en tverrgående dreneringsgrøft gjennom området. Dette for å gi bedre grunnforhold rundt mellomstasjonen og for å gi mindre risiko for vannproblemer for skianlegget. Grøfta leder vannet ned mot et vannreservoar tiltenkt for snøproduksjon.



Figur 3-8: Nedbørsfelt som dreneres forbi og gjennom området der mellomstasjonen er tenkt plassert. Vegtraseen er markert, samt omtrentlig plassering av infiltrasjonsgrøft for drenering av området.

Basert på avrenningen fra det aktuelle nedbørsfeltet, er det vurdert som gunstig med en infiltrasjonsgrøft, fylt med pukk som har kapasitet til å infiltrere og lede dagens normalavrenning rundt og ned til reservoaret. En infiltrasjonsgrøft vil i større grad opprettholde dagens relieff på overflaten sammenlignet med en vanlig, åpen grøft. Det vil også bli enklere for driftig og bruk av alpinanlegget dersom en åpen grøft kan unngås. Det krever derimot mer areal for å oppnå samme kapasitet i en infiltrasjonsgrøft som i en åpen variant.

Mellomstasjonen vil falle under sikkerhetsklasse F2 i henhold til TEK 17 §7-2, men vurderes som ikke flomutsatt basert på NVEs aktsomhetskart mot flom. Det er derfor valgt å benytte samme sikkerhetsklasse som for vegen (V1), og følgelig dimensjoneres grøfta for en 100-årsflom.

Det er gjort flere beregninger for å finne den mest gunstige utformingen som hensyntar både normalsituasjon og en 100-årsflom. En infiltrasjonsgrøft som har kapasitet til en

middelflom eller 100-årsflom vil ikke være hensiktsmessig, da helningen er lav og den hydrauliske kapasiteten til pukk er begrenset. Den anbefalte løsningen vil være en infiltrasjonsgrøft som har kapasitet til normalsituasjonen, og der en 100-årsflom vil gi et lite vannspeil opp i grøfta, men der vannstanden ikke overstiger grøftekantene. Nødvendig areal for tverrsnittet er beregnet med formler for vannstrømning i grunnen:

$$v = \frac{k \cdot i}{n_{eff}}$$

Kombinert med

$$Q = A \cdot v \rightarrow v = \frac{Q}{A}$$



$$A = \frac{n_{eff} \cdot Q}{k \cdot i}$$

Der:

k = konduktivitet

i = helning

n_{eff} = effektiv porøsitet

Q = vannføring

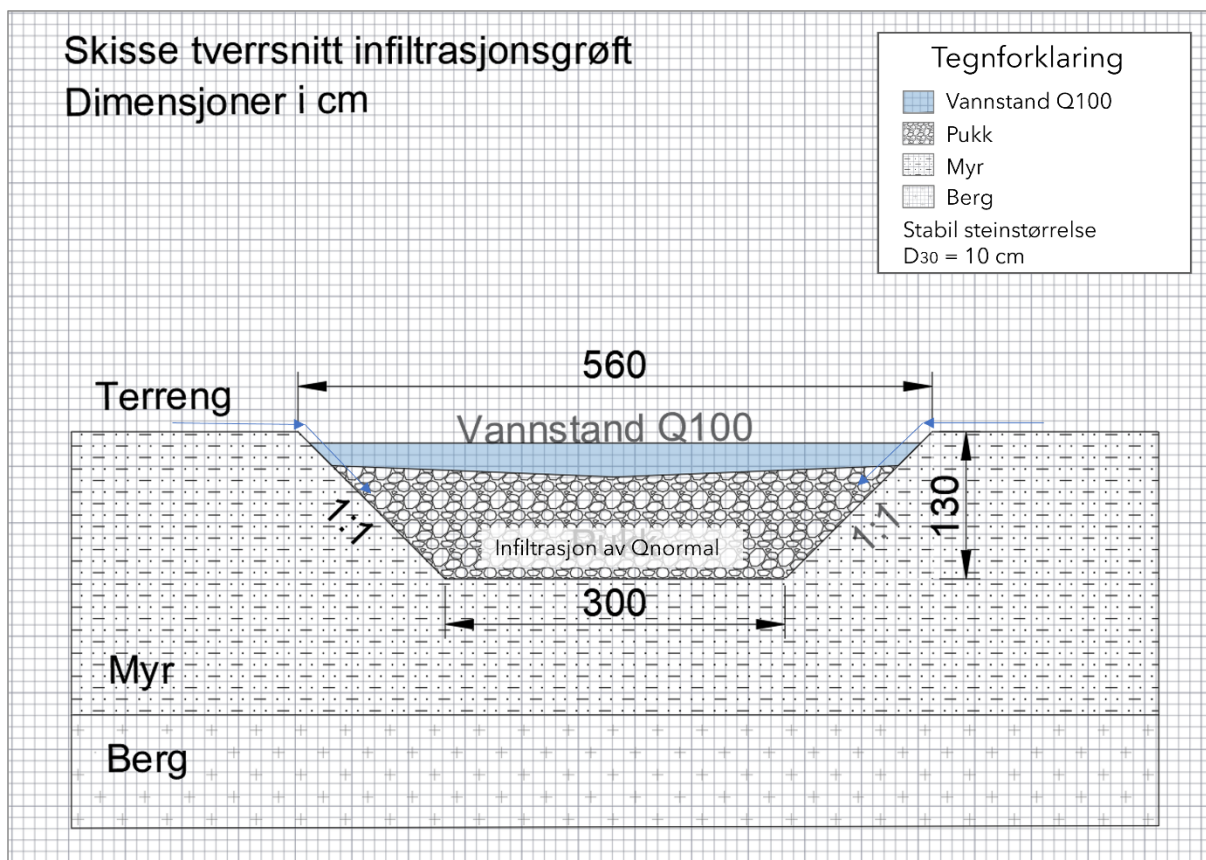
A = areal

v = hastighet

Parameter	Enhet	Verdi
Hydraulisk konduktivitet (pukk)	m/s	10^{-1}
Helning	m/m	0.02
Effektiv porøsitet	%	40
Normalvannføring, Q_N	m ³ /s	0.02
Middelflom inkl. klima, $Q_{M+40\%}$	m ³ /s	0.48
100-årsflom inkl. klima, $Q_{100+40\%}$	m ³ /s	0.95

Basert på formel og parametere beskrevet over, beregnes nødvendig areal for tverrsnittet av infiltrasjonsgrøft fylt med pukk, til 4.0 m². Forslag til utforming av grøfta er illustrert i Figur 3-9, der vannstand ved 100-årsflom vil være 20 cm over pukken for denne utformingen, gitt at grunnen (infiltrasjonsgrøfta) er fullstendig mettet. Det poengteres imidlertid at løsmassemektingen varierer. Det må derfor være rom for justeringer av utformingen når trase og grunnforhold er bedre kjent.

For å unngå erosjon ved 100-årsflom må topplaget og sidene i grøfta legges med større steinfraksjoner. Nødvendig stabil steinstørrelse D_{30} er beregnet til 0.10 m med Maynords formel, i henhold til NVEs veileder 04/2009. Det er lagt til 10 cm fribord mellom beregnet vannstand ved 100-årsflom og øvrig terreng. Det vil være fordelaktig om terrenget rundt har svak helning inn mot grøfta i den grad det er gjennomførbart.



Figur 3-9: Skisse for utforming av infiltrasjonsgrøft med kapasitet for infiltrasjon av normalavrenning, men der 100-årsflom inkl. 40% klimapåslag vil gi ca. 20 cm vanddybde over pukklaget.

4. Oppsummering

Det er utført hydrologiske og hydrauliske beregninger for Molvørselva med tilstøtende mindre nedbørsfelt. For en flomsikker veg er det nødvendig med tverrgående drenering, samt to bruer over Molvørselva. For **Nordre og Søndre bru** er nødvendige kotehøyder for underkant konstruksjon henholdsvis **225.0 moh. og 245.0 moh.** For **stikkrenner** er det stort sett tilstrekkelig med betongrør på **Ø600 mm** i tillegg til **Ø1000 mm** for noen kritiske punkter. Ø400 mm kan vurderes i øvre deler mot toppstasjonen. Det er også behov for en rektangulær kulvert, (BxH) 2000x1000 mm for en bekk øst for Gammelstølen.

For drenering rundt mellomstasjonen foreslås en **infiltrasjonsgrøft med 4 m² tverrsnitt**, fylt med grov pukk og erosjonssikkert topplag. Grøfta vil ha tilstrekkelig infiltrasjonskapasitet for normalavrenning, men der en 100-årsflom vil gi opp mot 20 cm vannstand.

Kilder

- **Asplan Viak** (2022) Notat *Georadarmålinger Sulafjellet*. August Fiskum Ness, Asplan Viak
- **Asplan Viak** (2021) *Vurdering av flomfare – Legane*. Tony Zalik, Asplan Viak
- **NGU** (2022) *Kvartærgeologiske kart (løsmassekart)* [Kvartærgeologiske kart \(løsmassekart\) | Norges geologiske undersøkelse \(ngu.no\)](#)
- **NVE** (04/2009) *Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein*. Norges Vassdrag og Energidirektorat.
- **NVE** (07/2015) *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Norges Vassdrag og Energidirektorat.
- **NVE** (01/2022) *Veileder for flomberegninger*. Norges Vassdrag og Energidirektorat.
- **Norconsult AS** (2019) *Flomvurdering for Sula kommune – Molvørselva og Vassetelva*.
- **NVE Atlas** (2022) *Naturfare - Flom, aktsomhetsområde*. [NVE Atlas](#)
- **SSV** (2021) *Håndbok N200 Vegbygging*. Statens Vegvesen
- **SSV** (2022) *Håndbok N400 Bruprosjekterings*. Statens Vegvesen