
Oppdragsgiver:	Statens vegvesen
Oppdrag:	604029-01 – Rv 13 Rassikring Lovraeidet - Sand Reguleringsplan
Dato:	24.06.2016
Skrevet av:	Adrian Sigrist
Kvalitetskontroll:	Kjersti Tau Strand

OVERVANNSKULVERT KAPASITET

INNHold

1	Innledning	2
2	Beskrivelse av vassdraget.....	4
2.1	Nedbørfelt	4
2.2	Lovrafjorden - Vannstands nivå i sjøen.....	4
2.3	Flomvannføring	5
2.4	Dempningseffekt og flomvannstand i Lovravatn	7
3	1D Modell av Lovravassdraget	7
3.1	Modellgrunnlag.....	7
3.2	(Kvasi)-Modellkalibrering.....	9
4	200års flom i dag.....	11
4.1	Merknader og sensitivitet	11
5	Utbedringstiltak	12
5.1	Dimensjonering kulvert.....	13
6	Konklusjon.....	14
7	Litteratur.....	14

1 INNLEDNING



Figur 1: Oversiktsplan, Lovraeidet med Rv 13.

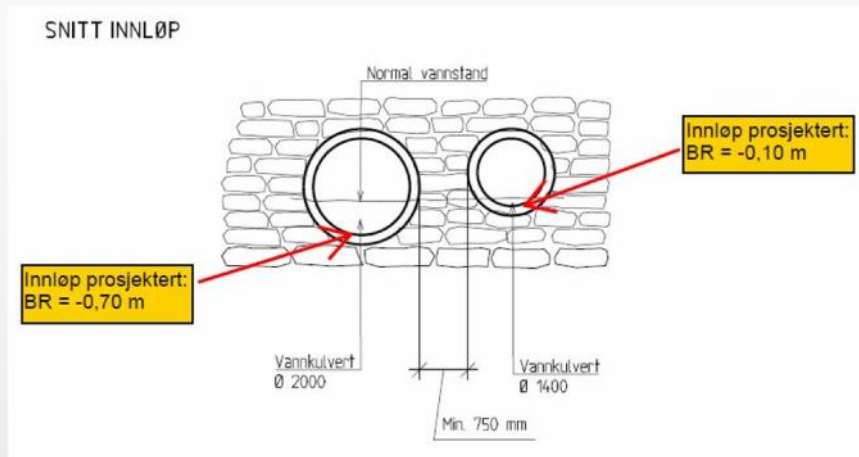
Ved Lovraeidet deles Lovravatn og Lovrafjorden med en naturlig demning. I forbindelse med bygging av den nye fv. 46 ble den naturlige demningen forsterket og fortettet. Vanngjennomstrømning sikres med to nye rørkulverter.

Tabell 1: Egenskaper av de eksisterende kulvertene.

	Kulvert 1	Kulvert 2
Diameter	2m	2m
Lengde	50,6	50,6
Innløp:	-0,20	-0,18
Utløp:	-0,35	-0,36

Vannhåndtering Lovraeidet

- Vanngjennomstrømning – Lovravatnet – Lovrafjorden



Innmåling viser at innløpsrør er lagt ca 0,5m over prosjektert innløpshøyde
I stedet for 1 hovedløp med DN2000 og et overløp med DN1400, er det lagt to DN2000 rør med omtrent samme innløpshøyde.

Figur 2: Viser prosjektert og beskriver dagens kulvertløsning i Lovravatn.

Etter at demningen ble forsterket og de to nye kulvertene ble bygd, har det kommet klager fra beboerne i søre enden av Lovravatn på hyppigere oversvømmelser av jordene.

Som en del av oppdraget med detaljregulering av rassikringsprosjektet fra Lovraeidet til Rødsliane, ble Asplan Viak bedt om å utrede nødvendig kapasitet i kulverten(e) som forbinder Lovravatn med Lovrafjorden.

2 BESKRIVELSE AV VASSDRAGET

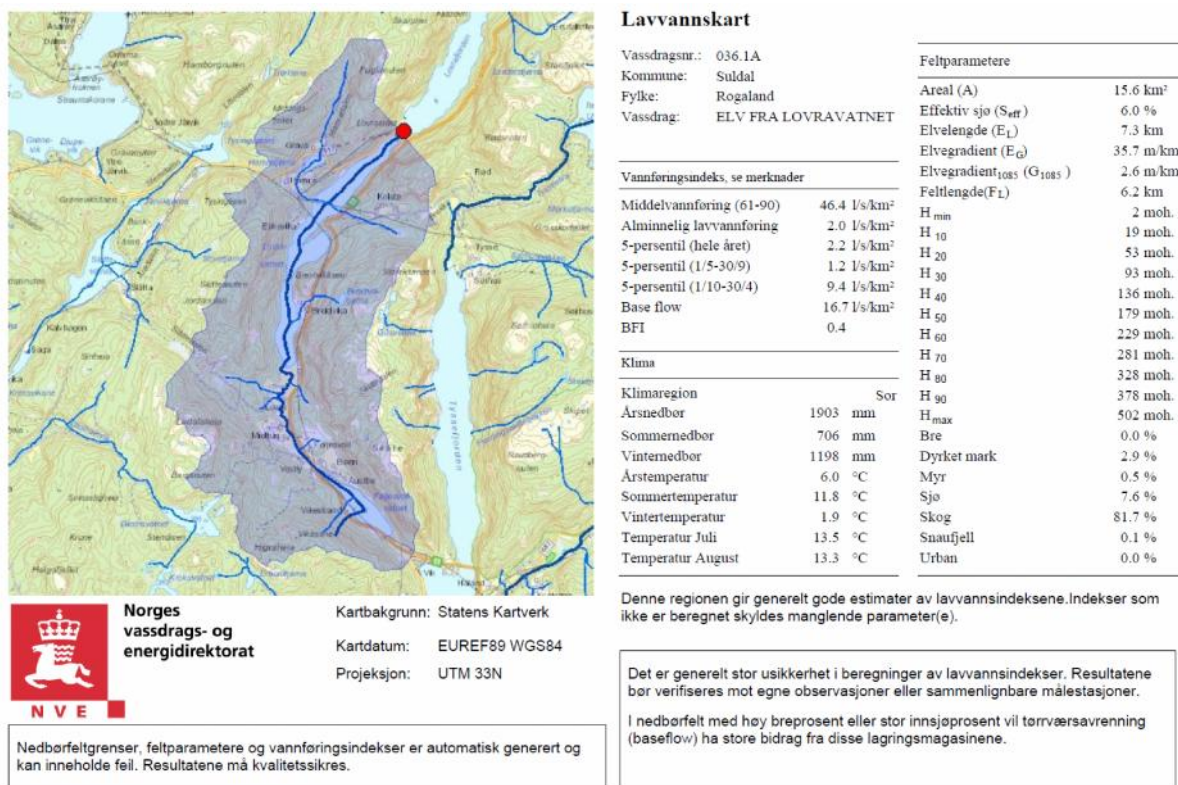
2.1 Nedbørfelt

Felt og feltparametere er beregnet ved bruk av NVE programmet «NEVINA». Nedbørfeltet ved utløpet til Lovravatn er 15,6 km² stort. Feltet er preget av skog (81,7%), sjøareal (7,6%) og i mindre grad dyrket mark (2,9%). Lovravatn ligger direkte før gjennomgang til Lovrafjorden, og bidrar sterk til dempning av flomtoppene i denne forbindingsstrekningen.

Det største vassdraget som renner til Lovravatn er elva i sør (utløp fra Føljesvollvatnet) med et nedbørfelt på 7,2 km². I tillegg har følgende bekker innløp til Lovravatnet:

- bekken ved Grava (nedbørfelt 2,2 km²)
- bekken ved Kolstø (nedbørfelt 0,8 km²)
- bekken ved Breidvika (nedbørfelt 0,6 km²).

Øvrig sideareal (nedbørfelt 3,9 km²) renner i mindre bekker og grøfter direkte til Lovravatn.

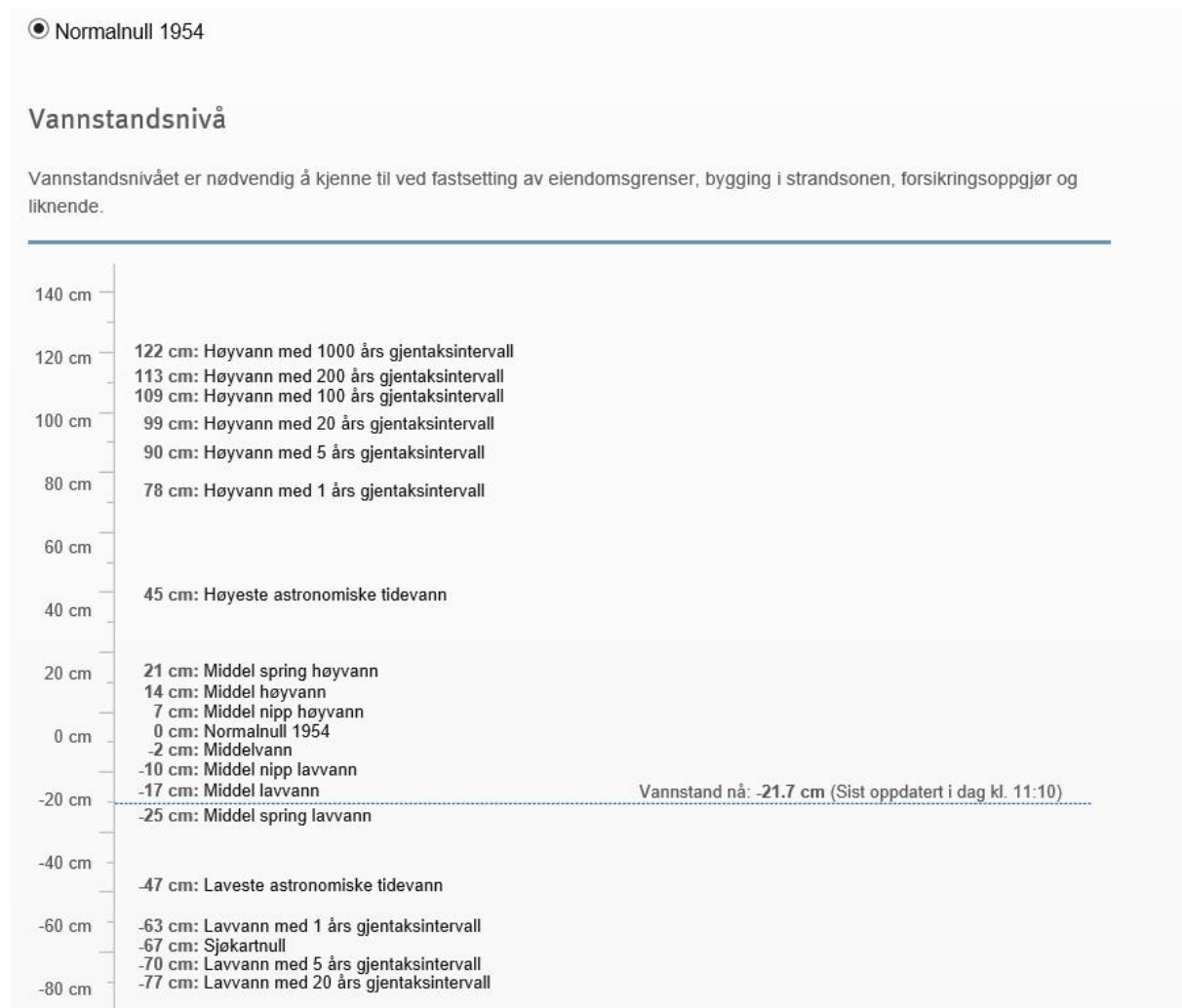


Figur 3: Nedbørfeltet til Lovravatn med feltegenskaper.

2.2 Lovrafjorden - Vannstands nivå i sjøen

Lovraelva/Lovravatn munner ut ved Lovraeidet i Lovrafjorden. Vannstands nivå i Lovrafjorden er preget av tidevannet og været. Vannstands nivå nedstrøms en kulvert kan påvirke kapasiteten i kulverten. Det må tas høyde for et kritisk vannstands nivå ved dimensjonering

av kulverten. Figur 4 viser forventet variasjonsområde av vannstands nivået for sjøen i Suldal kommune.



Figur 4: Vannstands nivå for sjøen i Suldal kommune i høydesystemet NN1954. Kilde: Sea Level Change for Norway, 30.11.2015.

2.3 Flomvannføring

Flomvannføring ved utløpet kan beregnes med de «tradisjonelle» metodene:

- Frekvensfordeling med måledata fra et referansevassdrag
- Den rasjonelle metode
- Flommodell PQFLOM (PQRUT)
- Nasjonalt formelverk for små nedbørfeltet

Kort beskrivelse av hver metode finnes nedenfor. Beregnet 200års flommengde vises i Tabell 2. Det legges til en klimafaktor for å ta høyde på framtidige klimaendringer. Klimafaktor er avhengig av beregningsmetode og varierer mellom 1,2 og 1,5.

Tabell 2: Resultater av flommengdeberegninger

	Q200 (m ³ /s)	Klimafaktor (-)	Q200 med KF (m ³ /s)	Merknad
Nasjonalt formelverk	22,1	1,2	26,5	95 % konfidensintervall: 13,25 m ³ /s - 53 m ³ /s
PQFLOM	42,0	1,2	50,4	
Flom-frekvensfordelig Referansevassdrag St. 35.6	23,0	1,2	27,6	
Referansevassdrag St. 35.16	17,6	1,2	21,1	
Referansevassdrag St. 38.1	17,9	1,2	21,5	
Rasjonelle formelen	46,9	1,5	70,4	

2.3.1 Kort beskrivelse av beregningsmetode

Flomfrekvensanalyse med måledata fra referansevassdrag

Flomfrekvensanalyse med skalerte verdier fra et referansevassdrag er ofte den beste metoden hvis det ikke finnes vannføringsmålingsdata i det aktuelle vassdraget som analyseres. Metoden forutsetter at referansevassdraget har lignende feltegenskaper, og at datakvalitet og datamengde er tilstrekkelig for en statistisk analyse. Vi gjør en flomfrekvensanalyse med data fra 3 referansevassdrag i nærheten. Vannføringsdata skaleres i forhold til feltstørrelse og middelavrenning. Data som legges til grunn er døgndata. Flomtoppene beregnes med en momentanfaktor $Q_{\text{mom}}/Q_{\text{Døgn}}$ i funksjon av feltareal og effektiv sjøprosent. Fullstendig beskrivelse av metode finnes i *Retningslinjer for flomberegninger [1]*.

Hydrologisk flommodell - PQFLOM

Dette er en nedbør/avløpsmodell som beregner avrenning på grunnlag av nedbørsdata og ved hjelp av feltparametre for det aktuelle feltet. I denne beregningen er det benyttet PQFLOM-modellen som er en regnearkversjon av modellen PQRUT som beskrives i «*Retningslinjer for flomberegninger [1]*. PQFLOM baserer seg på målt nedbør. Nedbørstasjon som legges til grunn er stasjon 47890 Opstveit, som er den nærmeste stasjon med gyldig IVF-kurve.

Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt

I forbindelse med NIFS-prosjektet (Etatsprogrammet Naturfare, Infrastruktur, Flom og Skred) har et nasjonalt formelverk for flomberegninger i små felt blitt etablert. Formelverket beregner middelflom og vannføringer med høyere returperioder, direkte på kulminasjonsverdier, for små uregulerte nedbørfelt (< 50km²).

Beregning er basert på tre parametere: *Normalavrenning, effektiv sjøprosent og areal.*

Beregning med formelverket gjør det mulig å kvantifisere usikkerheten (95% konfidensintervall) av beregningen. For mer detaljer henvises til NVE sin veileder, *flomberegninger i små uregulerte felt [2]*.

Den rasjonelle metode

Den rasjonelle metoden er beskrevet i SVV sin håndbok *N200 Vegbygging [3]*. Ved nedbørfelt større enn 5 km², er det ikke anbefalt å bruke den rasjonelle formelen. Vi bruker formelen til kontroll av de andre beregningsmetodene. Den rasjonelle formelen baserer seg på målt nedbør. Nedbørstasjon som legges til grunn er stasjon 47890 Opstveit, som er den nærmeste stasjon med gyldig IVF-kurve. Avrenningen (Q) er gitt ved:

$$Q = C \times i \times A$$

Hvor: Q = avrenning (l/s)
C = avrenningsfaktor, (-)
i = dimensjonerende nedbørintensitet (l/s ha)
A = feltareal (ha)

2.4 Dempningseffekt og flomvannstand i Lovravatn

Resultatene viser stor variasjon i beregna 200års flommengder. Dersom vi definerer den rasjonelle metoden som uegnet og utelukker denne, så ligger beregnet 200års flommengde mellom 21,1 og 50,4 m³/s. Utfordringen er at Lovravatn har en sterk dempningseffekt. Til å beregne dempningseffekten i innsjøer trenger man tilløpskurve, magasinivolum og geometri ved utløp. Selve utløpsgeometrien er i foreliggende prosjekt forbindelsesstrekningen dvs. kulvertene gjennom demningen som skal utredes. En «tradisjonell» flommengdeberegning metode kan ikke ta hensyn til utløpsgeometrien.

Situasjon er slik at en stor kulvert vil gi kapasitet for 200års flommengde, men lavt vann-nivå i Lovravatn. Omvendt har vi en liten flommengde, men høy vannstand med en liten kulvert. Det betyr at man legger ønsket vann-nivå i Lovravatn til grunn for å dimensjonere utløpsgeometrien. Nødvendig utløpshøyde og dimensjon på kulverten må bestemmes ut ifra hvilken vannstand som kan tolereres.

Foreliggende dimensjonering kan bare skje med et routing-verktøy som kan beregne dempningseffekten i avhengighet av utløpsgeometrien. Dette beskrives i kapittel 3.

3 1D MODELL AV LOVRAVASSDRAGET

For å beregne dempningseffekt i Lovravatn og nødvendig kapasitet av kulverten etableres det en ikke-stasjonær 1D-modell. Den benyttes i det hydrauliske modelleringsverktøyet HEC-RAS. Verktøyet er utviklet av US Army Corps of Engineers (USACE) og Hydrologic Engineering Center (HEC). Modellen kan blant annet beregne underkritisk og overkritisk strømning, eller en kombinasjon i både åpne og lukkede strekninger.

3.1 Modellgrunnlag

3.1.1 Geometri

Kulvertene og inn- og utløpsstrekning er innmålt i begynnelsen av 2016. Geometrien av den nåværende «veg»demning blir tatt ut av Novapoint vegmodell fra Asplan Viak. Data angående Lovravatn (magasinivolum) baseres på FKB-kartdata med 1 m høydelinjer.

3.1.2 Manningstall (hydrauliske ruhetsverdier)

Alle typer energitap som påvirker vannstanden langs elveløpene og i vatnet er samlet i en enkelt faktor: Manningstall. Verdiene er basert på litteraturstudie og erfaring. For å ta høyde for 90 's svingen etter utløpet av den eksisterende kulverten, får tverrprofilene i svingen en høyere ruhet. Materialet i eksisterende kulvert antas å være prefabrikkerte (glatte) betongrør.

I litteratur [4,5] anbefales det for glatte betongrør i rette strekninger et manningstall mellom: 0,01 – 0,013 s/m^{1/3}. Bunnen i kulverten (15cm) modelleres med ekstra ruhet av 0,03 s/m^{1/3} pga. avsetninger

Tabell 3: Manningstall n (s/m^{1/3}) som brukes i HecRas modell.

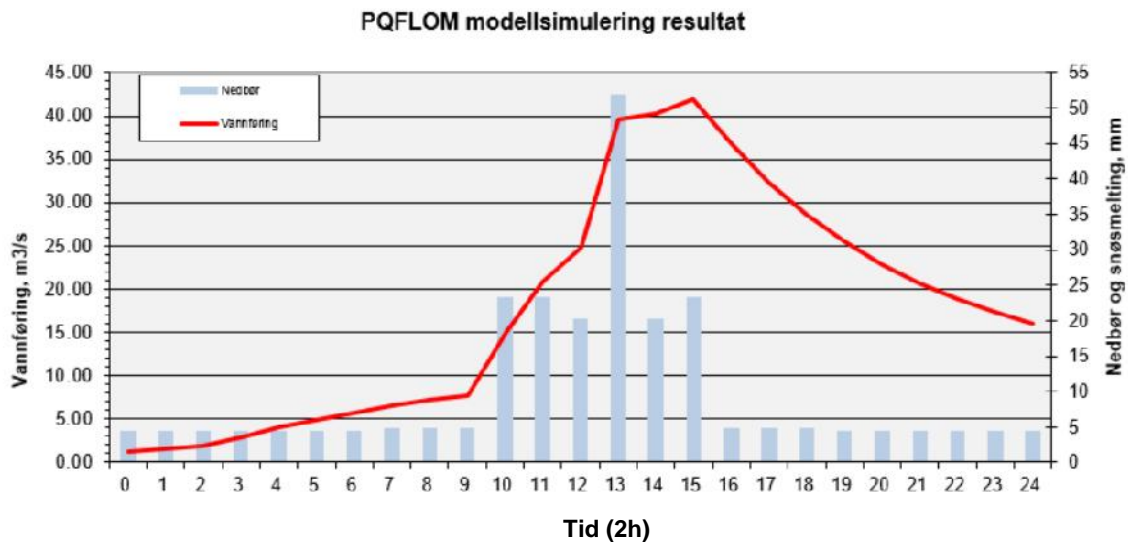
	n (s/m ^{1/3})
Bekkeløpet	0,05
Sideareal/elveslette	0,06
Bekkeløp 90°sving	0,1
Kulvert (betong)	0,012
Kulvert bunn, (15cm)	0,03

3.1.3 Vannføring - Tilløpskurve

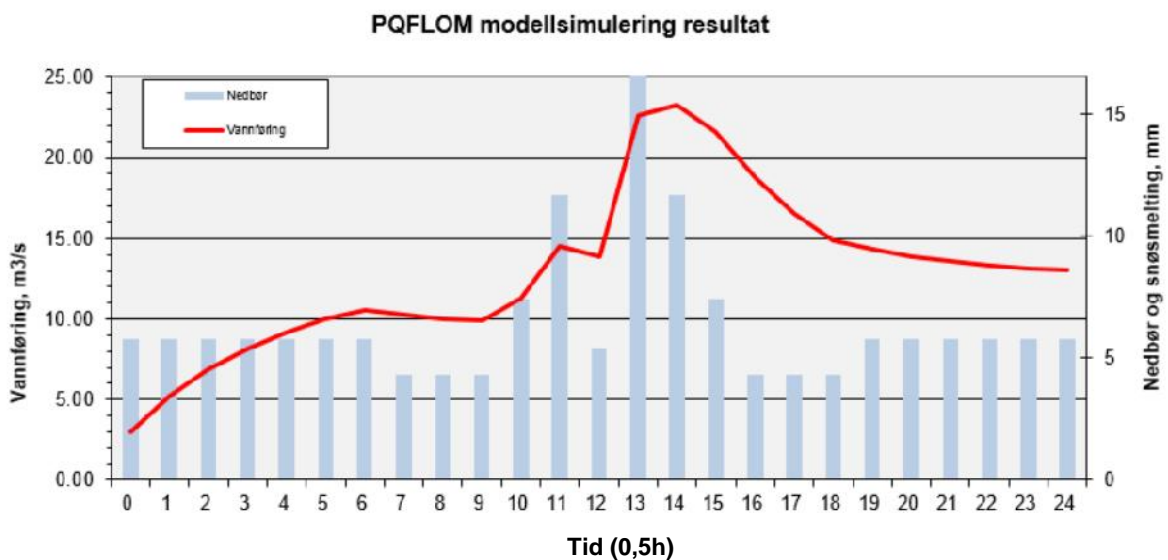
En ikke-stasjonær beregning forutsetter en tilløpskurve, dvs. vi trenger en relasjon mellom tid og vannføring. Vi velger en periode med 2 dager (48 timer). Ved vurdering av magasineringseffekt/demping er det viktig å også vurdere det samlede «flomvolumet» ved en 200års hendelse, og ikke bare spissavrenningen i tilløpskurven. Tilløpskurvene beregnes for hvert delfelt med programmet PQFLOM slik at formen på tilløpskurven er preget av (del)-feltegenskapene. I PQFLOM legges 200-års IVF kurve (Stasjon Opstveit) til grunn. Nedbørverdiene fordeles symmetrisk (se Figur 5 og Figur 6).

Tabell 4: Delarealer med tilrenning (spissavrenning) som brukes som randbetingelser

Felt	Areal	Konsentrasjonstid	Spissavrenning uten Klimafaktor	Spissavrenning med klimafaktor
	(km ²)	(h)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Elv i Sør (utløp fra Føljesvollvatnet)	7,2	2	42	50,4
Bekk ved Grava	2,2	1	8,5	10,2
Bekk ved Kolstø	0,8	0,5	3,7	4,4
Bekk ved Breidvika	0,6	1	3,4	4,1
Øvrige Sideareal	3,9	0,5	23,3	28,0
Lovravatn	0,9	-1h	7,5	8,9



Figur 5: Nedbørdata og vannføring/tilløpskurve for elv i sør (uten Klimafaktor) $Q_{maks} = 42 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figur 6: Nedbørdata og vannføring/tilløpskurve for øvrig sideareal (uten Klimafaktor) $Q_{maks} = 23,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1.4 Vannstand i sjøen

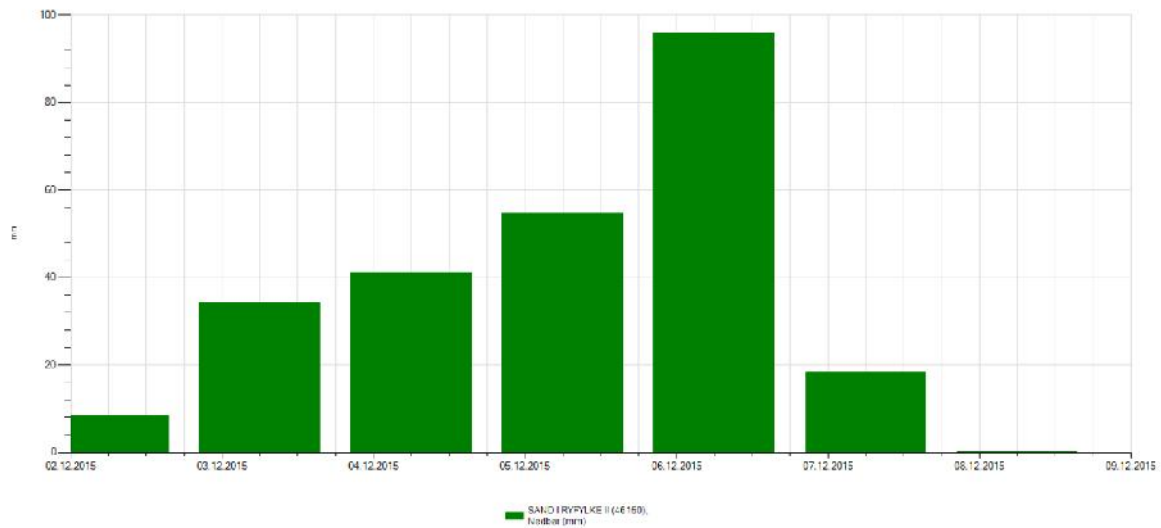
Sammenheng mellom stormflo og flom er gitt (f.eks. ved ekstremværet Synne). Vi mener derimot at opptreden av 200års stormflo samtidig med 200års flom er lite sannsynlig. Vi har valgt å legge til grunn en høyvannstand med 1års gjentaksintervall som er 78cm.

3.2 (Kvasi)-Modellkalibrering

Vi kjører modellen med stormhendelse av 3.-7.12.2015 (ekstremværet Synne). Siden vi mangler innmålinger og observasjoner av vannstand, så er dette bare en kvasi- kalibrering. Vi anbefaler at observasjoner av vannstand for ekstremværet Synne innhentes i etterkant og sammenlignes med resultatet.

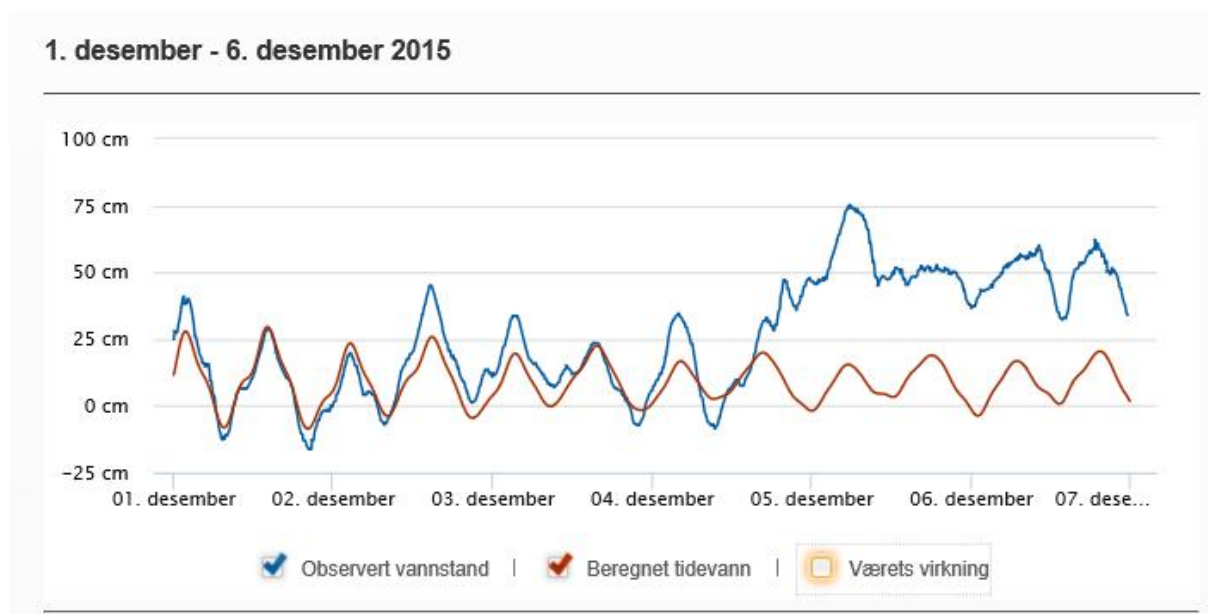
3.2.1 Inngangsdata

Det brukes døgnverdi fra målestasjon i Sand, Suldal kommune.



Figur 7: Nedbørdata (tidskritt 24h) fra målestasjon i Sand, Suldalkommune 2.12.2015 – 8.12.2015.

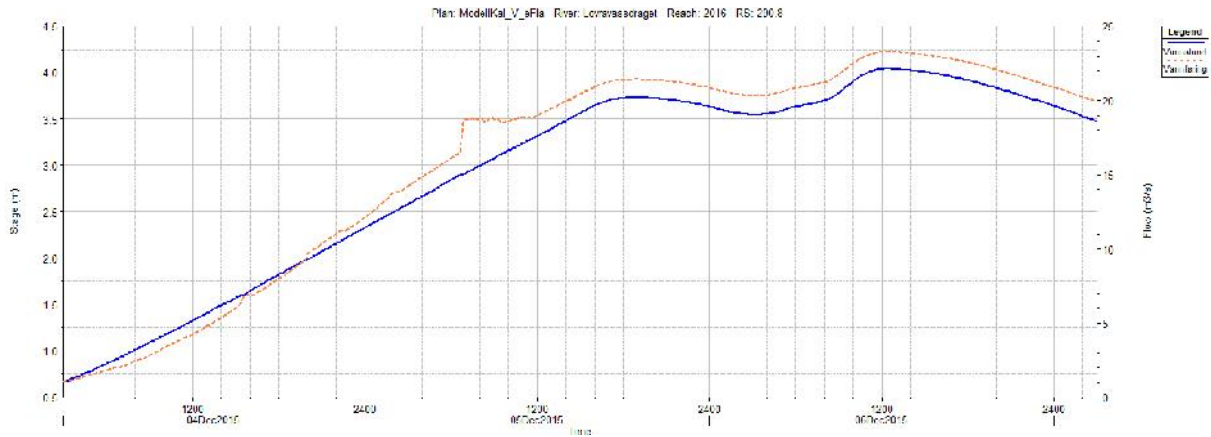
Vannstand i Lovrafjorden. Det brukes observert data i denne tidsperioden.



Figur 8 Beregnet og observert vannstand i perioden 1. – 6.12.2015

3.2.2 Resultatet

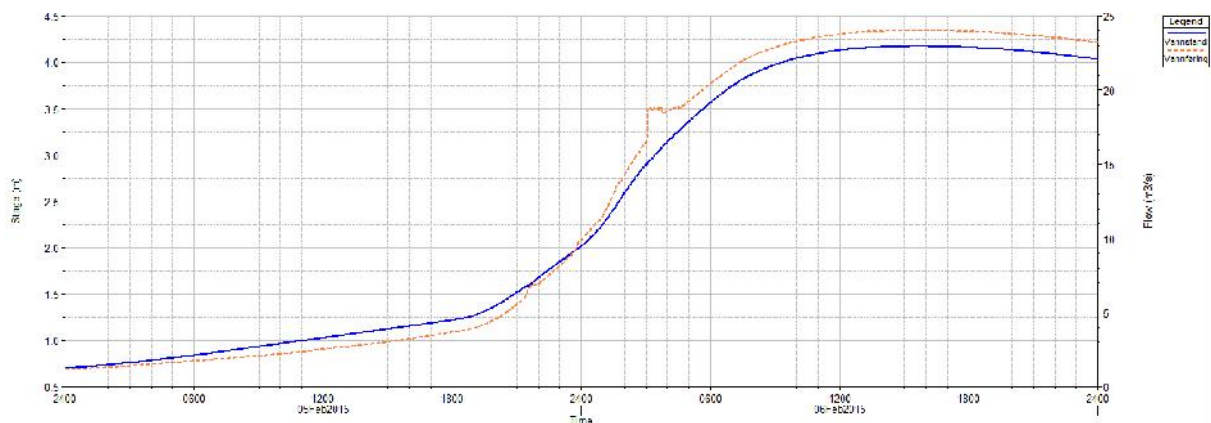
Basert på disse forutsetningene og randbetingelsene er vannstand beregnet til 4,05moh. Vannføring gjennom kulvert blir da 23,3 m³/s.



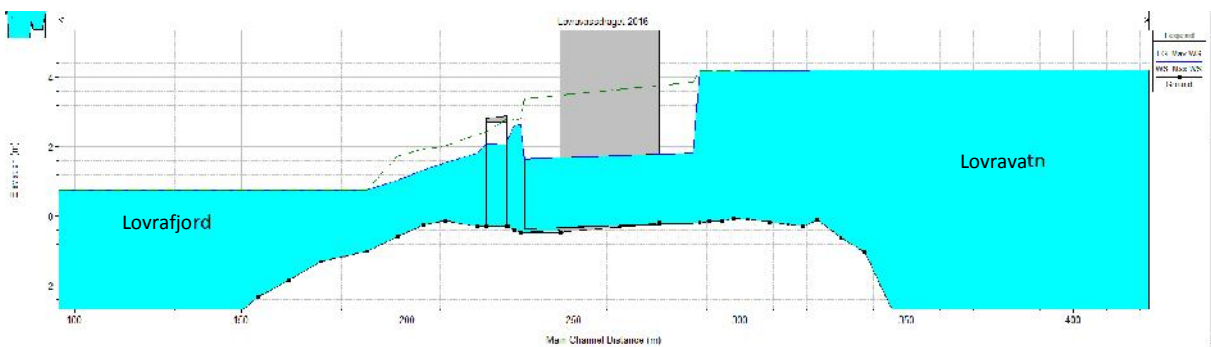
Figur 9: Modellert vannstand og vannføring i Lovravatn 4.12. -6.12.2015.

4 200ÅRS FLOM I DAG

Resultat av beregninger for 200års flom vises i Figur 10 og Figur 11. Vannstand i Lovravatn er beregnet på 4.2 moh og vannføring til 24 m³/s. Det er tatt høyde for en klimafaktor på 1,2.



Figur 10: Modellert 200års- vannstand og vannføring foran innløp til kulverten.



Figur 11: Lengdeprofil med beregnet 200års vannlinje og energilinje.

4.1 Merknader og sensitivitet

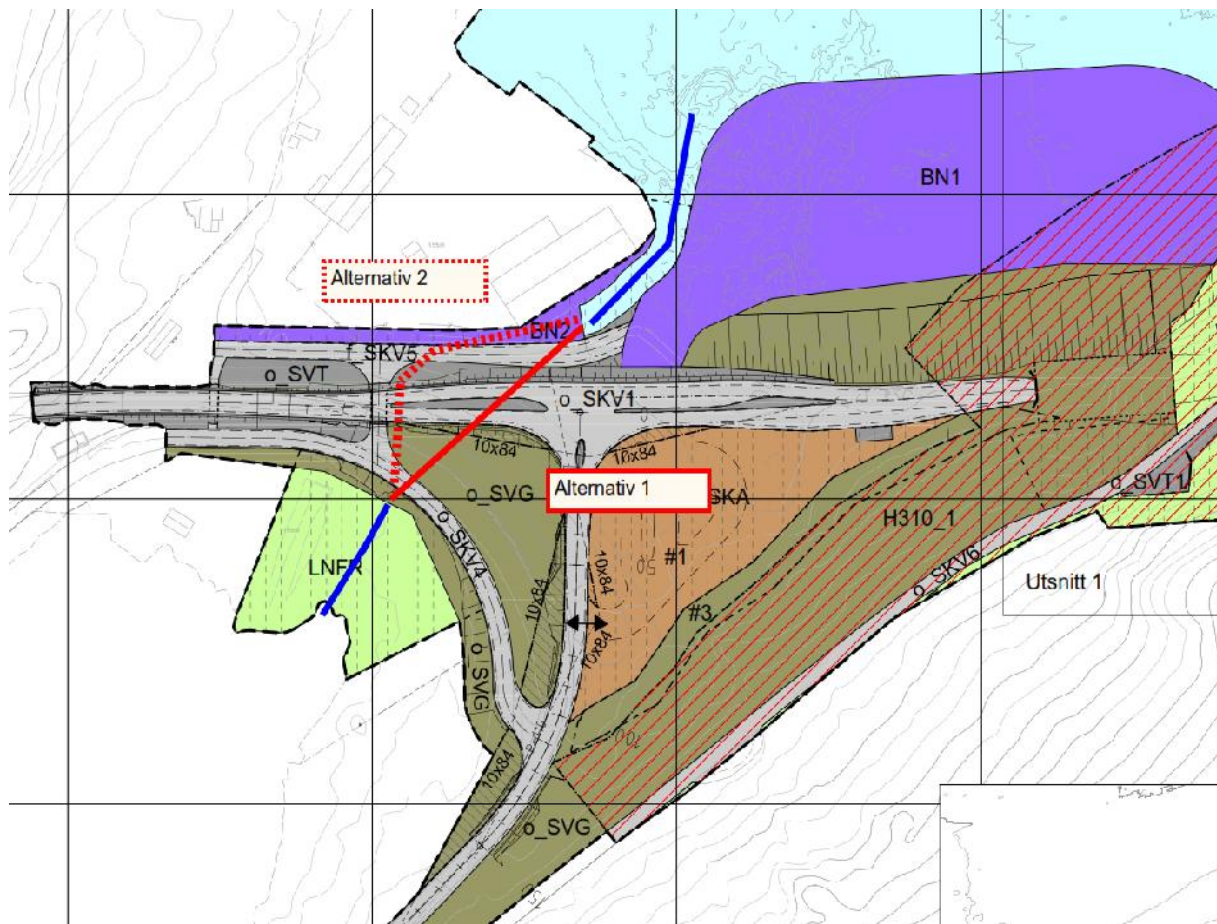
Vi vil fremheve følgende punkt:

- Flaskehals: Lengdeprofilen med tilhørende vannstands- og vannføringskurve viser flaskehalsene i systemet. Det er kulverten og utløpsstrekning (fra kulvertutløp til munning i sjøen) som har stor hastighet, og som resulterer i stort hydraulisk tap og oppstuvning.
- Vannstand i Lovrafjorden: Stormflo og tidevann har ikke stor betydning i en 200års flom. Våre beregninger viser at vannstanden ikke endrer seg dersom vi bruker 200års havnivå i stedet for 1års havnivå som randbetingelse.
- Manningstall: Valg av manningstall har ganske stor betydning for beregning av vannstand i Lovravatn.

5 UTBEDRINGSTILTAK

Analysen av 200års flommen i dag viser at de to kulvertene med diameter 2m er en flaskehals. Det anbefales en kapasitetsøkning av denne lukkede strekningen og forbedring av den åpne strekning nedstrøms kulverten (90 's svingen).

Best får man det til ved å bygge en ny kulvert. Nedenfor vises prinsippskisse for 2 alternative traseer for den nye kulverten.



Figur 12: Rød linjer viser prinsipp for 2 alternative traseer for den nye kulverten. Blå linje viser den åpne kanalstrekningen som må bygges / utvides i innløpet fra Lovravatnet og utløpet mot Lovrafjorden.

Alternativ 1 er hydraulisk sett fordelaktig. Kulverten kan bygges uten sving og er kortere. Alternativ 2 har byggetekniske fordeler, kulverten kan plasseres ved siden av den nye undergangen og krysser ikke hovedveien på skrå.

I tillegg må det i forbindelse med den nye kulverten, bygges og/eller utvides inn- og utløpskanal. Dette er uavhengig av trasevalget. Minste bredde for elveløp/kanal bør være omtrent 8 m. Plutselige innsnevring eller utvidelser i bekkeløpet bør unngås.

Dimensjonering av den nye kulverten er avhengig av hvilken vannstand som kan tolereres, - det vil si av nivået der man forventer skader på landbruksareal i søre enden av Lovravatnet. I forbindelse med foreliggende utredninger har vi ikke kartlagt på hvilken vannstand skadenivået begynner.

5.1 Dimensjonering kulvert

Vannføring som skal passere i kulverten ligger omtrent på 25-30m³/s. Med dagens kulvert får vi veldig stor hastighet (>4m/s), som resulterer i stort hydraulisk tap og høy vannstand i Lovravatn.

For å forbedre situasjon mener vi at avrenningsarealet burde øke med minst 50% i forhold til dagens kapasitet. En kulvert med et avrenningstverrsnitt på omtrent 10m² er nødvendig. Jo større avrenningstverrsnitt, jo mindre blir vannstandsøkning i Lovravatn ved flom.

Tabellen nedenfor viser egenskaper for kulverten for begge alternativer:

Tabell 5: Egenskaper for kulverten ved alternativ 1 og 2

		Alternativ 1	Alternativ 2
Lengde	m	85	100
Innløp: Innv. bunn betongkulvert	moh.	-0,2	-0,2
Utløp: Innv. bunn betongkulvert	moh.	-0,5	-0,5
Fall	‰	3,5	3,0
Størrelse (H x B)	m	2,5 x 5	2,5 x 5

Vi anbefaler foreløpig en innløpshøyde for den nye kulverten omtrent tilsvarende som for de eksisterende kulvertene. Dersom den nye kulverten blir lagt høyere enn de eksisterende kulvertene så stiger vannstand i Lovravatn i forhold til en kulvert med samme innløpshøyde. En dypere kulvert (som opprinnelig ble planlagt) vil heller ikke vil føre til en forbedring ved flom.

For å sikre lavvannføring eller andre miljøaspekter kan derimot en endring i ut- og innløpshøyde være nødvendig. Lavvannføring er ikke undersøkt.

6 KONKLUSJON

Beregninger viser at kapasiteten i de eksisterende kulvertene mellom Lovrvatnet og Lovrafjorden ikke er tilstrekkelig, og at en økning av kapasitet med etablering av en ny kulvert og nytt elveløp ved inn- og utløp er nødvendig.

Følgende bør gjøres før endelig dimensjonering og detaljprosjektering av tiltak:

- **Modellkalibrering.** Modellen bør kalibreres. Som grunnlag for kalibrering innhentes informasjon hos beboerne ved Lovrvatn om observert vannstand for eksempel under ekstremværet Synne. En kalibrert modell er en solid modell. Ferske minner hos beboerne fra ekstremværet Synne gir mulighet for en god kalibrering av modellen.
- **Skadenivået.** Det bør undersøkes hvilken vannstand i Lovrvatn som kan tolereres, og hvilket vannivå som ikke bør overskrides. Akseptabelt skadenivå er avhengig av bruksformål. Dyrket mark kan typisk oversvømmes oftere (gjentaksintervall 20år), mens boliger/infrastruktur må beskyttes bedre (gjentaksintervall 200år).

Alternativt kan det også være aktuelt å planlegge tiltak langs kanten av innsjøen for å beskytte arealer mot flom, - f.eks. ved å etablere en flomvoll eller lignende. Dette er bare aktuelt dersom det er snakk om kort kantstrekninger som er utsatt for flom.

7 LITTERATUR

- [1] Retningslinjer for flomberegninger, NVE 04/2011.
- [2] Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt, *Preview*, Veileder 7-2015
- [3] Håndbok N200, SVV, Juni 2014
- [4] HecRas, Hydraulic Reference Manual, Version 4.1, January 2010
- [5] Technische Hydromechanik 1, Bollerich, Verlag Bauwesen, 5. Auflage, Jan. 2000