Hydrologiske og hydrauliske beregninger for Lund bru i Ålen

Per Ludvig Bjerke og Kjartan Orvedal

29
2012

OPPDRAGSRAPPORT B

Flomberegning og hydrauliske beregninger for Lund bru i Ålen

Oppdragsrapport B 29/2012

Av
Per Ludvig Bjerke og Kjartan Orvedal

Norges vassdrags- og energidirektorat
2012

Oppdragsrapport B 29/2012

Flomberegning og hydrauliske beregninger for Lund bru, Ålen

Oppdragsgiver: Statens Vegvesen Region Midt

Forfatter: Per Ludvig Bjerke, Kjartan Orvedal

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 15

Forsidefoto: Flommen i Ålen 16. august 2011, (Foto: Geir Tønset, Adressa)

Sammendrag: Det er utført flom- og vannlinjeberegninger for Ålen sentrum. Vannføringen gjennom Ålen den 16. august var 430 m^3/s med et gjentaksintervall på 200 år. Ved hjelp av hydraulisk analyse er det funnet nødvendig lysåpning og utforming av Lund bru. Den mest hydraulisk optimale løsningen, er å fjerne steinnabben på høyre side nedstrøms og utvide bredden på kjørebrua tilvarende den på gangbrua.

Emneord: Ålen, flomberegning, flomvannføring, flomvannstander, gjentaksintervall, bruløsning.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Oktober 2012

Innhold

Forord **5**

Sammendrag **6**

1 Innledning **7**

2 Nedbørsfeltet **8**

3 Flommen i Ålen august 2011 ..... **11**

3.1 Andre kilder 13

4 Hydrologisk analyse **14**

4.1 Formål 14
4.2 Datagrunnlag 14
4.3 Flomfrekvensanalyse av døgnmiddelverdier 15
4.4 Kulminasjonsverdier 20
4.5 Flomberegning med PQRUT 18

5 Hydraulisk analyse for Lund Bru **21**

5.1 Bakgrunn 21
5.2 Generelt om vannlinjeberegninger 21
5.3 Topografiske data 21
5.4 Kalibreringsdata 22
5.5 Vannlinjeberegninger 23
5.5.1 Grensebetingelser 24
5.5.2 Ruhet 24
5.5.3 Kalibreringsresultater 24
5.5.4 Resultat 25
5.5.5 Sensitivitetsanalyse 27
5.6 Kapasitet Lund bru 28
5.6.1 Alternativ 1 - “naturtilstand” uten bru og fyllinger 30
5.6.2 Alternativ 2 – Fjellknausen fjernes samt breddeutvidelse på høyre side sett nedstrøms. 31
5.6.3 Alternativ 3 - Beholder eksisterende spennvidder og øker strømmingsarealet ved utdypning. 34
5.6.4 Resultat kapasitetsanalyser Lund bru 35
5.6.5 Grunnforhold Lund bru 36
5.6.6 Usikkerhet 37

6 Konklusjon **38**

7 Referanser **39**

Vedlegg 1 Feltet ned til Eggafoss **40**

Vedlegg 2 Feltet til Ålen **41**

Vedlegg 3 Store flommer Gaula **42**

Vedlegg 4 Årsflommer, Eggafoss **43**

Vedlegg 5 Frekvensanalyser døgnmiddelverdier 44
Vedlegg 6 Frekvensanalyser med kulminasjonsverdier 46
Vedlegg 7 Vannføring ved Eggafoss 16.8.2011 47
Vedlegg 8 Resultatfil: Ekstrem programmet på Start systemet 49
Vedlegg 9 Profil brukt i Hec-Ras modellen 53

Forord

På oppdrag fra Statens Vegvesen Region Midt, er det utført en analyse av flommen i Ålen den 16. august 2011.

Analysen omfatter flomberegning og hydrauliske beregninger med den numeriske modellen Hec-Ras.

Arbeidet er utført av Per Ludvig Bjerke og Kjartan Orvedal, med Lars Evan Petterson som bidragsyter i flomberegningen.

Rapporten er utført på oppdragsbasis og er ikke en del av NVE sin forvaltningsmessige behandling av saken.

Trondheim, desember 2012

Sverre Husebye
Seksjonssjef

Per Ludvig Bjerke
Sjefsingeniør

Sammendrag

Flommen i Trøndelag den 16. august 2011 medførte store ødeleggelser i Ålen sentrum i Haltdalen kommune. Som grunnlag for og avgjørende for hvilke tiltak som må gjøres for å hindre skader ved senere flommer av lignende størrelse er det utført en hydrologisk og hydraulisk analyse av flommen. Et av målene var å finne størrelsen og gjentaksintervallet på årets flom.

Analysen viser at kulminasjonsvannføringen i Ålen var 430 m^3/s. Dette gir et spesifikt avløp på 1270 $l/s*km^2$. Flommen er anslått å ha et gjentaksintervall på 200 år.

Flommen i august 2011 er den største observerte ved Eggafoss målestasjon, som har vært i drift siden mai 1941. En liste over de største flommene i Gaula er gitt i vedlegg 3, og en liste over flommene år for år ved Eggafoss er gitt i vedlegg 4.

Under flommen ble det klart, at den hydrauliske kapasiteten til Lund bru i sentrum av Ålen var for liten, og at brua stua opp vannet slik at det flomma inn bak samvirkelaget. Det ble utredet ulike alternativer av ny bru for å øke kapasiteten. For å simulere og beregne kapasiteten og vannstanden i elva, ble det utført vannlinjeberegninger ved bruk av dataprogrammet Hec-Ras, som er utviklet av U.S. Army Corps of Engineers.

I utredningen ble følgende alternativ for ny bruløsning undersøkt:
1) "Naturtilstand" uten bru og fyllinger
2) Fjellknaus fjernes, slik at det blir breddeutvidelse på høyre side sett nedstrøms
3) Beholder eksisterende spennvidder og øker strømmingsarealet ved utdypning.

Analysene viste at alle alternativ gir tilstrekkelig hydraulisk kapasitet ved Lund bru, forutsatt flomvoll ved Samvirkelaget oppstrøms brua. Nødvendig høyde av flomvollen varierer fra alternativ til alternativ.

Undersøkelser viser at det er fjell i dagen under Lund bru. Derfor vil en bunnsenkning på 0.5 - 1.0 m sannsynligvis kunne gjennomføres uten store konsekvenser med hensyn på erosjon hverken opp- eller nedstrøms. Men da alle effekter av en bunnsenkning er svært vanskelig å beregne, er løsningen ikke å anbefale.

1 Innledning

Store nedbørmengder førte til stor flom i indre del av Sør-Trøndelag den 16. august 2011. Spesielt utsatt var øverste del av Gaula. De største ødeleggelser skjedde i Haltdalen kommune, mens flommen avtok raskt nedover Gaula og var bare en ca 5 års flom ved Haga bru. Ved Ålen sentrum ble det store ødeleggelser på grunn av høy vannstand som følge av oppstuvning ved Lund bru. Ås bru like oppstrøms Eggafoss ble tatt av flommen, jernbana ble undergravet og Svølja tunnelen fikk store skader.

Fra NVE sin målestasjon Eggafoss, som ligger noen km nedenfor Ålen sentrum, har man data på vannstand og vannføring fra 1941 og frem til dags dato. Disse er imidlertid beheftet med stor usikkerhet på høye vannføringer, da kurven som beskriver sammenhengen mellom vannstand og vannføring, er ekstrapolert fra høyest målte verdi på 270 m^3/s og oppover. Årets flom var ved Eggafoss målt til 830 m^3/s. Dette gir et spesifikt avløp på 1270 $l/sek*km^2$.

For å få et bedre og sikrere grunnlag for bestemmelse av vannføring og gjentaksintervall i Ålen, ble det bygget en hydraulisk modell ved hjelp av dataprogrammet Hec-Ras. Dette er nærmere beskrevet i kapitel 5.

Figur 1: Bildet fra Ålen sentrum den 16. august 2011 (Foto: Geir Tønseth, Adressa)

2 Nedbørsfeltet

Karakteristiske data for feltet til Ålen og Eggafoss, er gitt i vedlegg 1 og 2. Feltet som drenerer til Ålen, er vist på kart i figur 2 og de viktigste data er gitt i tabell 1. Gaula er innlandselv med en markert snøsmelteperiode om våren og med sommer- og vinterlavvann. Vassdraget har i tillegg flomepisoder på sommer og høst.

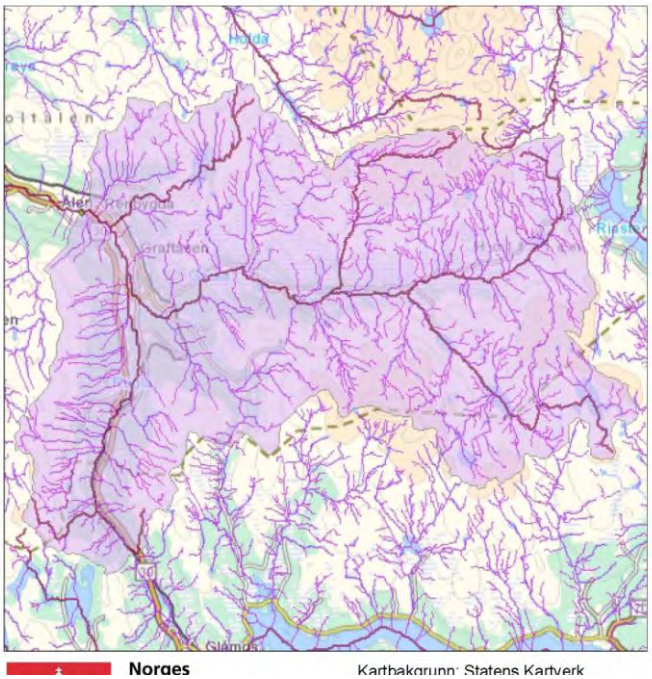
Tabell 1: Feltkarakteristika for feltene ned til Ålen, Eggafoss og Hesja.

Stasjon	Feltareal (km^2)	Høyde-intervall	Myr (%)	Skog (%)	Eff. sjø (%)	Snaufjell (%)	Q_N (61-90) ($l/s \cdot km^2$)
122.11 Eggafoss	654	285-1284	13	24	0.2	44	25.6[1]
Ålen	334	370-1284	14	23	0.1	42	27.3[2]
Hesja	260	313-1248	12	22	1	50	24

[1]Betegner årsmiddelvannføringene i perioden 1961-90. [2] Målestasjonens middelvannføring for hele måleperioden.

Feltene ned til Ålen og Eggafoss er på henholdsvis 334 km^2 og 654 km^2. Inn fra sør mellom disse kommer elva Hesja med et felt på 234 km^2, som gjør at Eggafoss har nesten dobbelt så stort felt som Ålen.

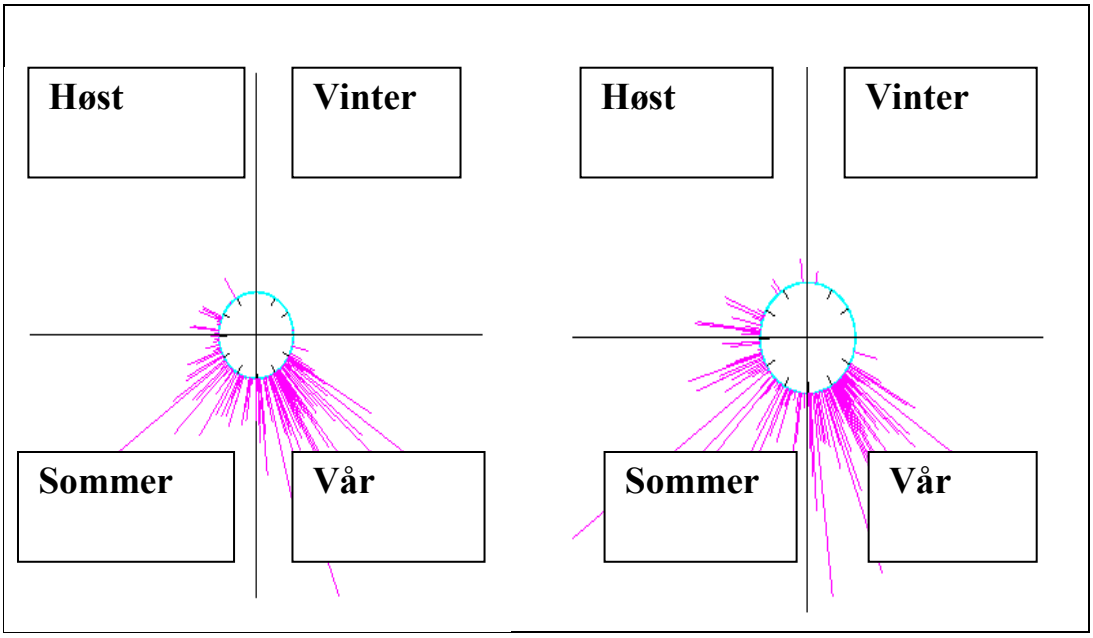
Alle sidevassdrag i Gaula har liten selvregulerende evne, pga høy snaufjellprosent og liten sjøprosent. Dette betyr at Gaula med sideelver raskt blir flomstor ved regn.



Figur 2: Kart over nedbørfeltet til Ålen.

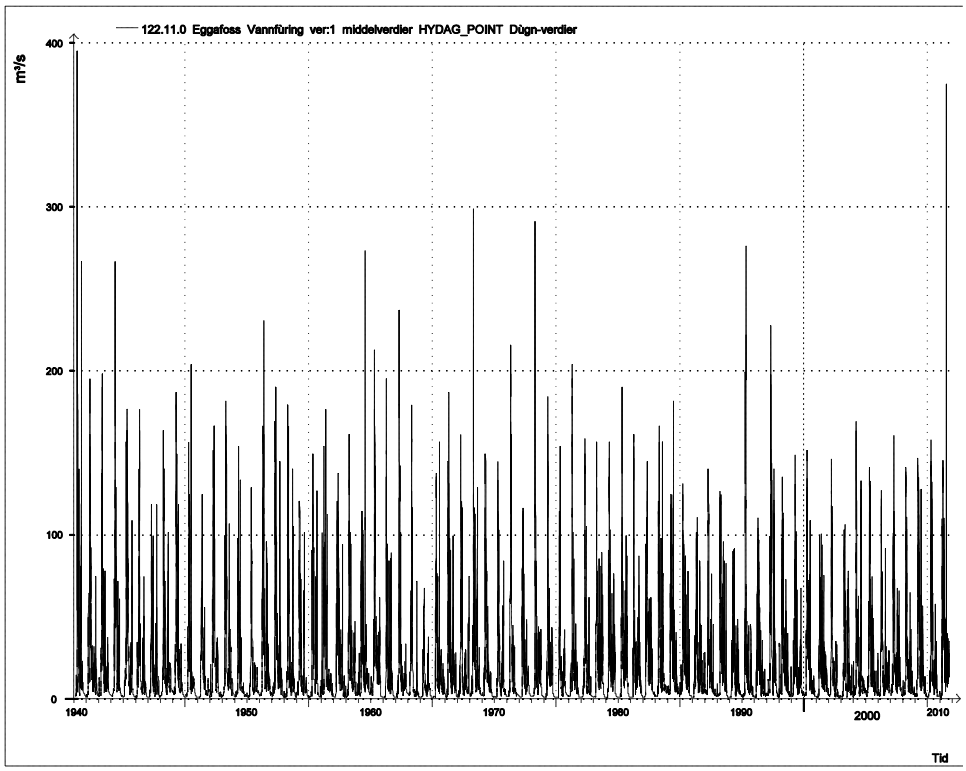
Det har vært mange flommer i Gaula, der flommen den 24. august 1940 er den største og mest kjente. Denne var stor i nedre deler av Gaula, men ikke så stor i Ålen som årets flom. (Personlig kommunikasjon Ole Kirkbakk). Figur 4 viser tid på året når det er flommer i Orkla og Gaula.

Figur 3: Kart over feltet til Eggafoss målestasjon.

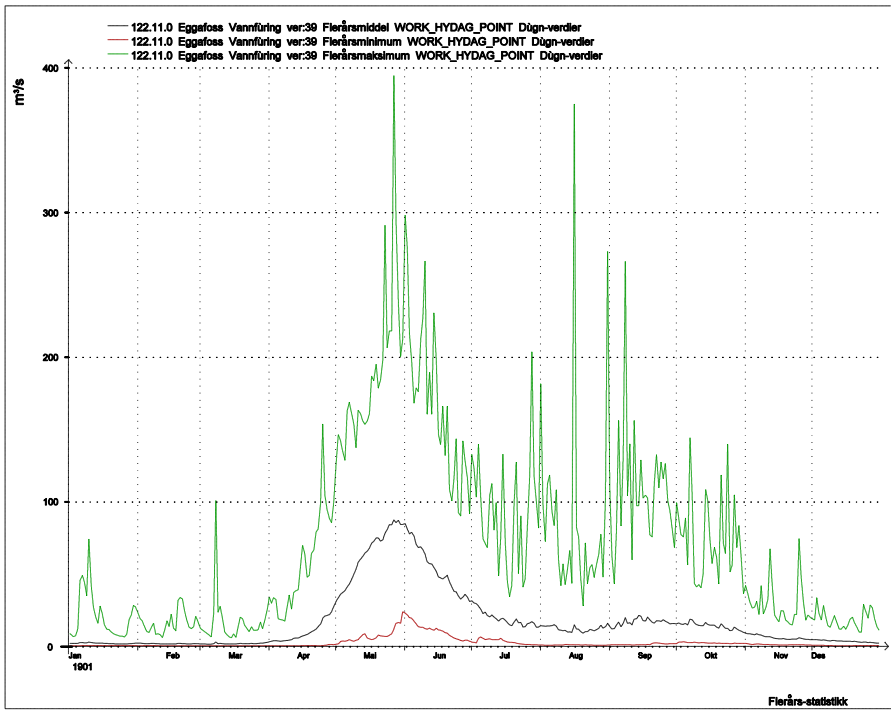


Figur 4: Figur som viser når på året flommer opptrer i Orkla (venstre) og Gaula (Fra Lars Roald 2011).

De største flommene i Gaula er omtalt i NVE Internt notat av Lars Roald (2011). En liste over flommene er gitt i vedlegg 3. De målte døgnmiddelvannføringer ved Eggafoss fra 1944 til og med 2011 er vist i figur 4, mens flerårs maksimum, -middel og -minimum er vist i figur 5.



Figur 5: Døgnmiddelvannføringer ved Eggafoss fra 1941 til 2011.



Figur 6: Flerårs maksimum, -middel og -minimum for Eggafoss.

3 Flommen i Ålen august 2011

Flommen i august var størst i øvre del av Gauldalen fra Singsås og videre oppover. Nedover mot Støren, og i nedre del av Gauldalen var den mindre, og ved Gaulfoss var den karakterisert som en 5-årsflom.

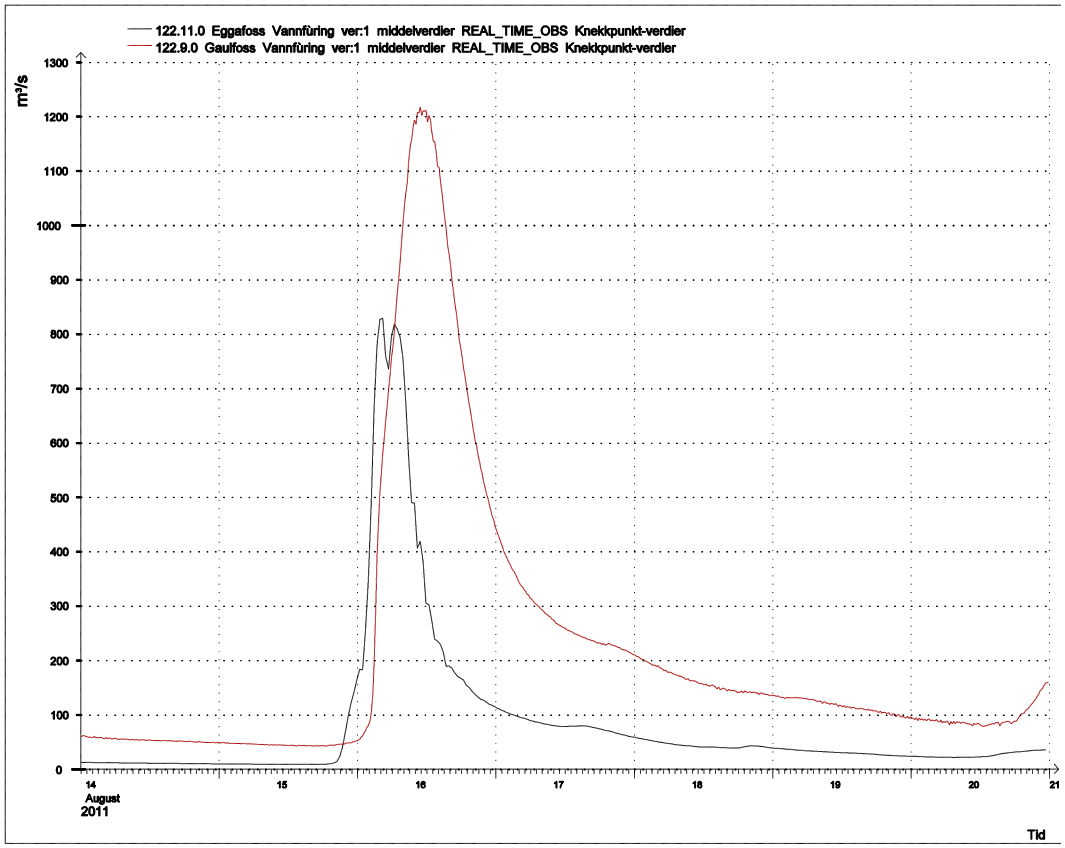
Dette skyldes at et nedbørsområde som kom sørfra, ble liggende i ro over øvre Gauldalen og området nordover mot Selbu. Dette medførte rekordstore nedbørsmålinger, for eksempel ved Røros ved Aursunden, der det ble målt 79 mm og nedbørstasjonen Håsjøen – Solgløtt målte 111,5 mm. Nedbøren var intens, som en kraftig byge og dette førte til flomsituasjonen. De relativt små bidragene fra Gaulas sideelver i vest og sør, førte til at augustflommens relative størrelse avtok nedover vassdraget.

Under flommen ble det utført registreringer ved Eggafoss. Kulminasjonsverdien ble funnet å være 4.7 m. Denne vannstandene er via vannføringskurven omgjort til en vannføringsverdi på 829 m^3/s, som tilsvarer et spesifikt avløp på 1270 l/sek*km^2. Døgnmiddelet var på 376 m^3/s. Vannføringskurven er basert på målinger opp til 270 m^3/s, og er ekstrapolert videre oppover. Det er derfor en del usikkerhet ved høye verdier. Blant annet kan store vannhastigheter forbi målesonden, gi en stor hastighetshøyde, og dermed måles det for lav vannstand.

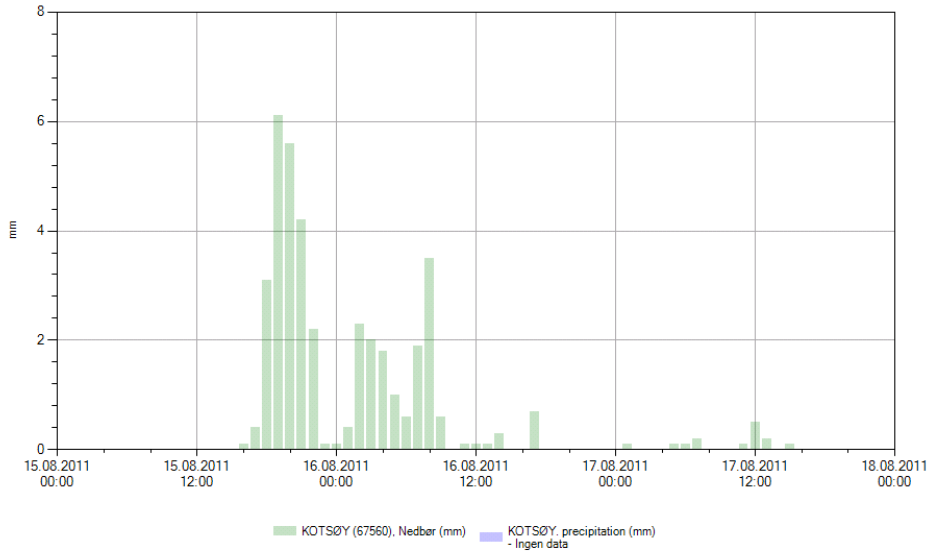
Figur7: Bildet viser Ålen sentrum den 16. august. (Foto: Geir Tønset, Adressa)

Vannstandsobservasjonene for Eggafoss og Gaulfossen, er vist i figur 7. Kurven fra Eggafoss viser 2 maksimum. Dette kan skyldes nedbøren kom i 2 porsjoner, en del om kvelden den 15.8 og en del natt til 16.8, som vist på figur 9. En annen grunn til 2 maksimum ved Eggafoss kan være at sideelva Hesja, som renner ned i Gaula like ovenfor Eggafoss, hadde et annet kulminasjonstidspunkt enn hovedelva. Elva Hesja har et felt på 234 km^2 og dermed nesten like stort som feltet til hovedelva på 334 km^2.

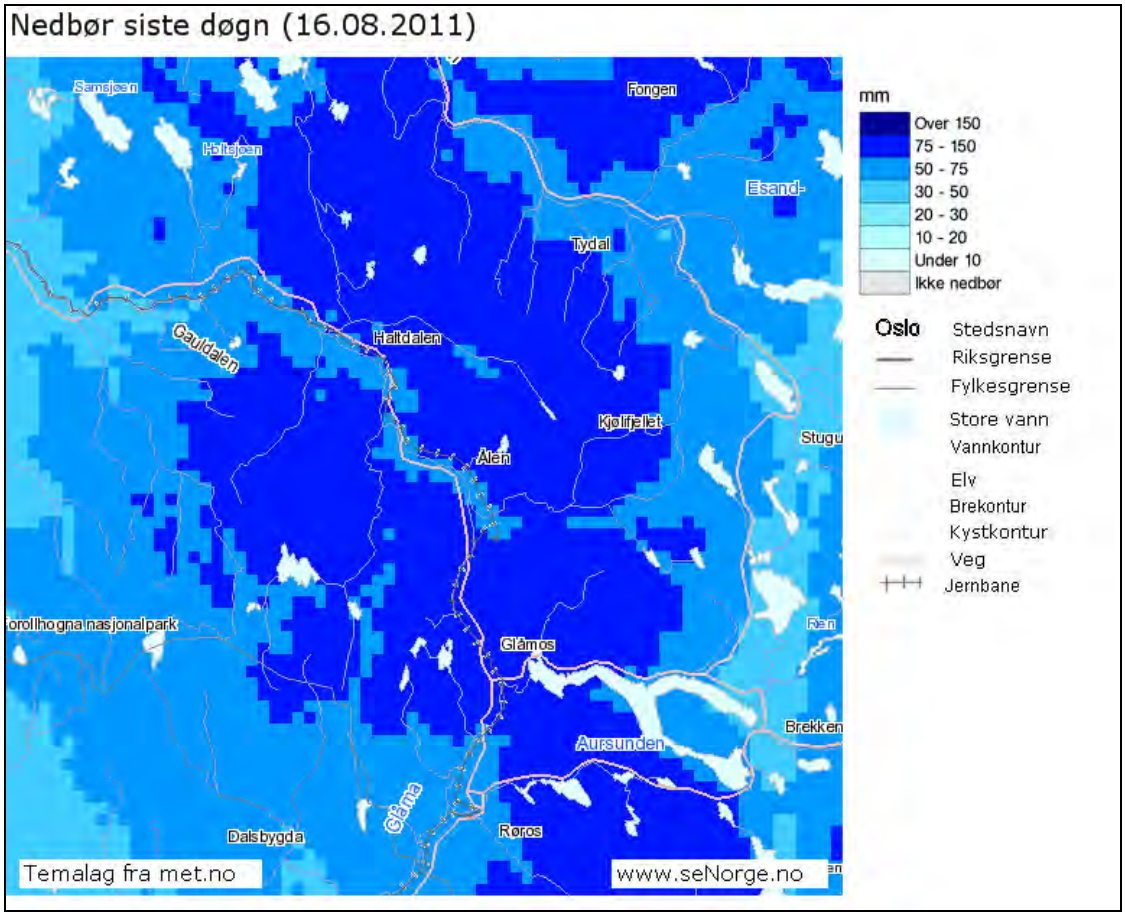
.



Figur 8: Observerte vannføringer i Gaula ved Eggafoss og Gaulfoss 14 – 20. august. (Fra LEP 2011)



Figur 9: Histogram som viser nedbøren ved Kotsøy som ligger noe nord for Eggafoss



Figur 10: Kart som viser akkumulert nedbør fra kl 08 den 15. august til kl 08 den 16. august.

Figur 9 viser hvordan nedbøren fordelte seg over feltet. Av kartet ses tydelig, at øvre del av Gaula ligger midt i det mest intense nedbørsområdet.

3.1 Andre kilder

Det ble under flommen i august gjort observasjoner av vannstanden flere steder i Øvre Gauldal, og disse er tatt hensyn til i arbeidet for å bestemme vannføringen i Ålen. Dette er vannstandsobservasjoner gjort på inntaksdammene til kraftverket Raubergfossen, i sideelva Holda og på inntaksdammen til kraftverket Gaula, som ligger i hovedelva Gaula noen km opp for Ålen.

Det ble i Raubergfossen målt en flomstigning på 3.5 m, tilsvarende en vannføring på 270 m^3/s. Dette tilsvarer et spesifikt avløp på 1150 l/sek*km^2. På dammen til Gaula kraftverk ble det målt en flomstigning på 2.9 m, med en overtopping av brystning på 0.4 m. Dette tilsvarer en vannføring på 396 m^3/s og et spesifikt tilløp på 1990 l/sek*km^2.

Like ovenfor Ålen, men nedenfor Gaula kraftverk, renner Gaula sammen med elva Rugla som kommer fra Rugeldalen og er nabofelt til Aursunden. Rugla har et felt på 62 km^2, som er ca 18 % av det totale til Ålen. Med en vannføring på 396 m^3/s i Gaula oppstrøms samløpet og 430 m^3/s i Ålen, betyr dette at bidraget fra Rugla var på 35 m^3/s, som tilsvarer et spesifikt avløp på 565 l/sek*km^2. Dette er av samme størrelsesorden om det spesifikke avløp rundt Aursunden, som var på ca 400 l/sek*km^2. Dette samsvarer med observasjonene om at nedbøren vart størst øst i feltet og avtok kraftig vestover, inklusive Rugeldalen.

4 Hydrologisk analyse

4.1 Formål

Formålet med den hydrologiske analysen, er å finne gjentaksintervallet for flommen i Ålen i august 2011. Dette er gjort ved å utføre forskjellige hydrologiske analyser, som flomfrekvensanalyse på data fra Eggafoss målestasjon, nedbør-avløpssimuleringer med 2-kar modellen PQRUT og gjennom subjektive vurderinger av måledata.

4.2 Datagrunnlag

En flomfrekvensanalyse baserer seg på innsamlede historiske data. Datagrunnlaget utvides år for år, ettersom nye data kommer til og er dermed i konstant endring. Små flommer påvirker resultatet i en frekvensanalyse lite, mens store flommer har stor påvirkning. Dermed vil samme vannføring kunne få ulike gjentaksintervall før og etter en stor flom, og vannføringen for en 1000-årsflom kan reduseres til å være en 200 års flom etter en flomhendelsen.

En stor svakhet ved eldre måledata er at det bare finnes en verdi pr døgn. Derfor vil flommer i små elver og i store og raske elver som Gaula, der vannstanden kan variere mye innenfor et døgn, ofte ikke ha representative verdier for flomstørrelsen. Målinger av vannstand og vannføring i elver startet med et helt annet teknisk utstyr enn i dag. Blant annet ble vannstanden avlest manuelt og det kunne variere hvor ofte. Etter at innsamlingen av måledata ble automatisert ble dette utført en gang i døgnet og til et fast tidspunkt. Man fikk etter hvert lange serier med døgnverdier og det ble mulig å utføre teknisk analyse for å finne gjentaksintervall. Imidlertid var det mange elver der flomstigningen var rask, og der fikk en ikke med seg toppen av vannstanden ved å måle bare en gang. Etter hvert som det ble innført innsamling på times nivå ble det etter hvert utført statistiske beregninger for å finne forholdet mellom den maksimale vannstanden og en døgnmiddel verdi.

Kvaliteten på måleserien ved Eggafoss og dermed kvaliteten på vannføringskurven vurderes som god på lavere vannføringer, men er mer usikker på høyere. Det skyldes at det ikke er utført vannføringsmålinger ved høye vannstander enn 270 m^3/s og at vannføringskurven dermed er ekstrapolert over denne vannføring. Det er i tillegg et svært urolig strømningsbilde ved målestedet på høye vannføringer. Det er vanskelig å måle noen sikker vannstand og det er usikkert om sammenhengen mellom vannstand og vannføring er entydig på høye verdier. Figur 10 viser målestaven ved Eggafoss ved vannstand ca 0.5 m lavere enn kulminasjonsverdien under flommen i august.

Figur11 Bildet viser vannmerket ved Eggafoss like etter kulminasjon av flommen i August 2011.

4.3 Flomfrekvensanalyse av døgnmiddelverdier

Å bestemme gjentaksintervall for flommer, kan gjøres gjennom en flomfrekvensanalyse av innsamlede måledata. Målestasjonen Eggafoss har 70 år med data, døgnverdier fra 1941 og timesverdier fra 1966. Det ble i 2000 utført en flomberegning for Gaula, som er rapportert i NVE Oppdragsrapport A nr 4 2000, ”Flomberegning for Gaula”, /4/. Det ble i den forbindelse utført en flomfrekvensanalyse på målingene fra Eggafoss. Denne analysen er i dette prosjektet oppdatert, ved å inkludere de siste års måledata i grunnlaget. Resultatet er gitt i tabell 2.

Som nevnt tidligere påvirker ekstreme hendelser de statistiske beregninger mye mer enn ”normale” hendelser. Analysen fra 2000 er derfor sammenlignet med en analyse til og med 2010 og en til og med 2011.

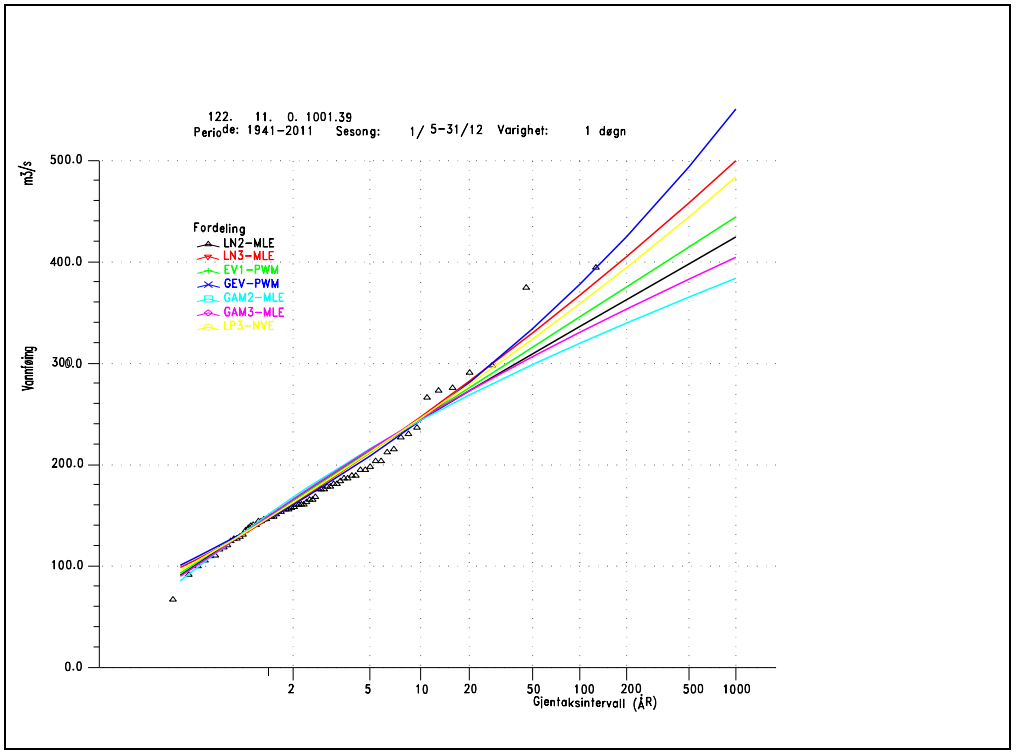
Vanligvis er det GEV fordelingen som anbefales for flomstatistikk, men på grunn av at LN3 ble benyttet i 2000 er denne benyttet i sammenligningen her. Resultatet er vist i tabell 2.

Ut fra analysen på data til og med 2000 ville årets flom med døgnmiddel på 374 m^3/s ligget mellom en 200 og en 500 års flom. For en analyse til og med 2010 ligger den på mellom en 100 og 200 års flom, mens for data inklusive 2011 ligger den på mellom en 50 og en 100 års flom.

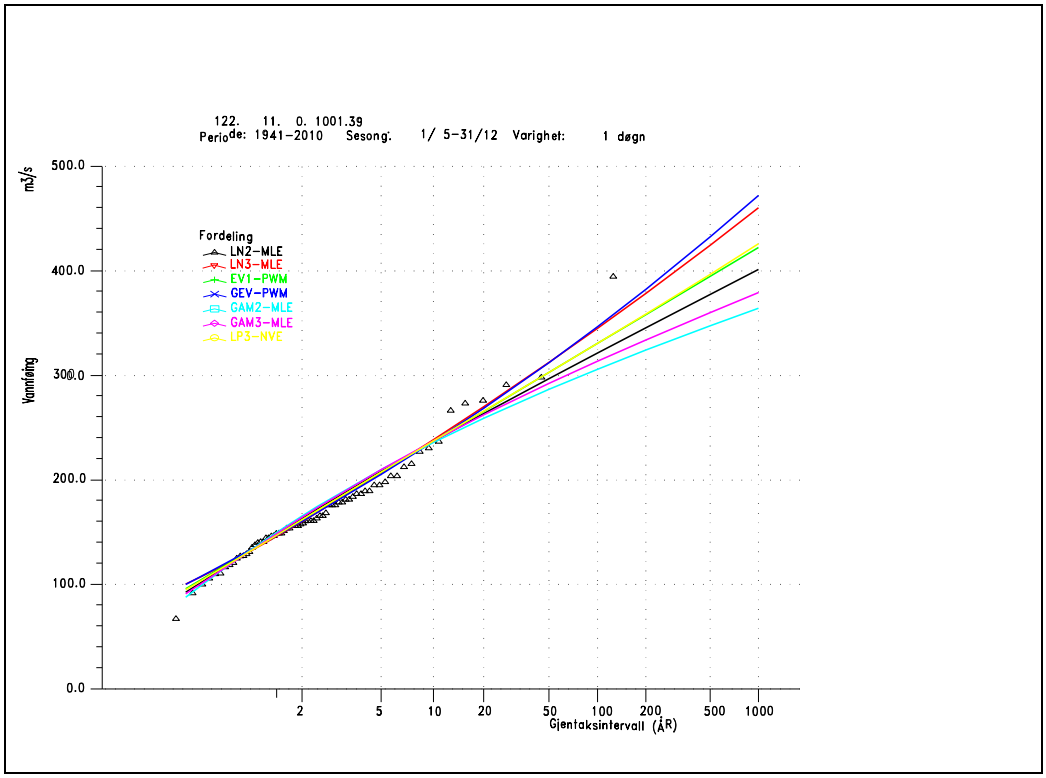
Tabell 2: Beregnede flomverdier for Eggafoss, fra /4/, døgnmiddel.

Døgnmiddel	Døgnmiddel	Q20 (m^3/s)	Q50 (m^3/s)	Q100 (m^3/s)	Q200 (m^3/s)	Q500 (m^3/s)	Q1000 (m^3/s)
T.o.m.2000	169	265	304	335	365	406	443
T.o.m. 2010	169	284	328	363	399	446	485
T.o.m.2011	171	301	351	390	431	487	532

Resultatet med de andre statistiske fordelingsfunksjonene for data til og med 2010 er vist i figur 12 og for data inklusive 2011 er vist i figur 13. Data fra alle fordelinger er vist i tabell 3.



Figur12: Ekstremverdianalyse for Eggafoss for perioden 1941-2011



Figur13: Ekstremverdianalyse for Eggafoss for perioden 1941-2010

Tabell 3: Tabellen viser resultatet av flomfrekvensanalyse på døgnmiddelverdier for 3 ulike tidsperioder og 2 ulike fordelinger. Det er ikke kjørt analyse med GEV fordeling for data 1941-2000.

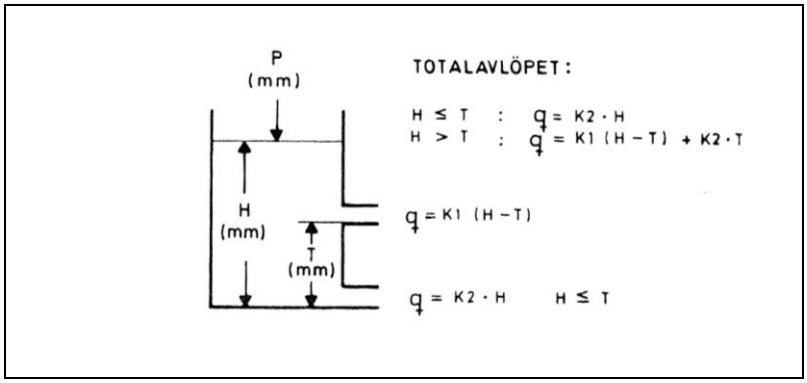
	122.11 Eggafosss				
Flomstørrelse	**1941-2000 (LN3)***	**1941-2010 (GEV)**	**1941-2010 (LN3)**	**1941-2011 (GEV)**	**1941-2011 (LN3)**
Q_M	169	169	169	171	171
Q_5	1.22	1.28	1.29	1.30	1.32
Q_{10}	1.39	1.48	1.49	1.52	1.54
Q_{20}	1.57	1.67	1.68	1.75	1.76
Q_{50}	1.8	1.94	1.94	2.08	2.05
Q_{100}	1.98	2.16	2.15	2.35	2.28
Q_{200}	2.16	2.38	2.36	2.65	2.52
Q_{500}	2.40	2.69	2.64	3.07	2.85
Q_{1000}	2.62*	2.94	2.87	3.42	3.11

*Fra /10/

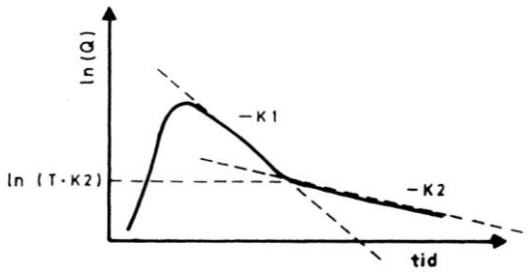
Basert på resultatene i tabell 2 og fra figur 13 og kvalitative vurderinger synes flommen i august å være nær en 200 års flom.

4.4 Flomberegning med PQRUT

Det er utført flomberegninger med nedbør-avløpsmodellen PQRUT for å styrke grunnlaget for bestemmelse av flomverdiene og som støtte for Hec-Ras modelleringen. Modellen PQRUT er en to-karmodell, det vil si den har to utløp. En slik modell tar høyde for (i motsetning til en-kar modell) at avløpet kan være mer enn proporsjonalt med nedbøren. Dette på grunn av at det ofte er raskere avrenning fra et felt med høyt vanninnhold og at hastigheten på vannet som strømmer fra feltet også øker med økende vanninnhold i feltet. I figur 4, som viser en skisse av modellen er P nedbør (mm), H er karinnhold (mm), T (mm) er terskelverdi i karet, og K1 og K2 er tømmekonstanter, som er spesifikke for hvert felt, der K1 er typisk 3-4 ganger K2.



Figur14: Skisse av karmodell med to utløp.



Figur 15: Viser avløpet fra kar med to utløp.

Ut fra erfaringsdata fra tilpasninger som er gjort tidligere, er terskelverdien T vanligvis av størrelsesorde 20 til 40 mm. Når vanninnholdet når opp til terskelen, er utstrømningen q = K2·T (mm/h), eller K2·T·A/3.6 (m^3/s), der A står for feltarealet i km^2.

Det er en del forutsetninger for bruk av PQRUT modellen. Dette er:

- Høyt avløp

- Ikke snø i feltet

- Feltet er vått ved start (fylt markvannsmagasin).

Modellen har to store fordeler i forhold til HBV-modellen. Man trenger ikke vurdere temperaturforhold og modellen har bare ett magasin, som betyr at det er en entydig sammenheng mellom avløp og magasininnhold. PQRUT er nærmere beskrevet i Ref /6/.

Feltet beskrives i PQRUT ved hjelp av visse feltkarakteristiske verdier. Disse er gitt i tabell 4. En fullstendig liste over alle feltkarakteristiske verdier er gitt i vedlegg 2.

Tabell 4: Feltkarakteristikker som brukes i PQRUT.

Data for tilsigsfeltet: Ålen			
Parameter	Verdi	Benevning	Forklaring
q_n	27.3	l/sek*km^2	Midlere spesifikt årsavløp
A_n	335	km^2	Feltareal
L_f	25.6	km	Feltaksens lenge
A_{se}	0.1	%	Effektiv sjøprosent (=100$\sum(a_i*A_i)/A^2$)
H_l	7.4	m/km	Relieff forholdet (=H_{50}/L_f)
H_{50}	935-745	m	Høydeforskjell mellom 25 og 75 %
H_{75}	935	m	Høyde av 75 % på hypsografisk kurve
H_{25}	745	m	Høyde av 25 % på hypsografisk kurve
K_1	0.072	/time	
K_2	0.022	/time	
Beregning av modellparametre			
Øvre tømmekonstant (K1), 1/tidsskritt: 0.072 (Fra formel 2.11 i /6/)			
Nedre tømmekonstant (K2), 1/ tidsskritt: 0.022 (Fra formel 2.13 i /6/)			
Terskelverdi T, (mm): 20 (Fra formel 2.12 i /6/)			
Beregning av feltets konsentrasjonstid			
V	7-10	km/t	Hastighet i feltet (2-3 m/s)
T_c	2.5	time	$T_c = L_f / v$

Som input til PQRUT, er det benyttet ekstremnedbørverdier utarbeidet av Meteorologisk Institutt for Raubergfossen, se /9/. Det er simulert avløp for 3 forskjellige gjentaksintervall og med 2 forskjellige varigheter av nedbøren. Dette er 1000 års, 500 års og 100 års verdier med 1 times og 48 times varighet. Tabell 6 viser den oppgitte nedbøren i mm, og med den tilsvarende simulerte vannføring beregnet i PQRUT.

Tabell 5: Tabell som viser nedbørsverdier med tilhørende vannføring beregnet i PQRUT.

	1000 års	500 års	100 års
48 times nedbør (mm)	175	160	120
1 times nedbør (mm)	45	40	30
Vannføring (m^3/s)	501	444	330

Resultatene av simuleringene viser at for en nedbør tilsvarende en 500 års hendelse, gir dette en vannføring på 444 m^3/s, som er noe høyere enn den vannføring som er beregnet i Ålen den 16. august. Dette styrker grunnlaget for å angi at flommen i Ålen hadde et gjentaksintervall på ca 200 år.

4.5 Flomverdier for Eggafoss og Ålen

Alle observasjoner og måledata viser at flommen i 2011 var ekstremt stor ved Eggafoss. Den kulminerte ved en høyde på 4.7 m på den lokale skala. Dette tilsvarte en kulminasjonsverdi på 829 m^3/s fra den eksisterende vannføringskurven. Basert på flomanalysen fra 2000 som vist i tabell 3 så var dette mye større enn en 1000 års flom. I 2000 ble den beregnet til å være 586 m^3/s.

Selv om flommen i august var stor, er det grunn til tro at vannføringskurven overestimerer vannføringen på høye vannstander. Det synes også ut fra kvalitative vurderinger fra vannstand og hastighet under flommen at 829 m^3/s er noe høyt.

Vi velger derfor å bestemme kulminasjonsverdien for flommen i 2011 i Eggafoss ut fra verdien av døgnmiddel, regionale frekvensfaktorer og empirisk verdi av forholdet mellom middelverdi og kulminasjonsverdien.

En døgnmiddelflom er beregnet til å være 171 m^3/s (fra tabell 3). I felt med lav selvregulering er forholdet mellom middelflommen og de andre flommene ofte høy. For forholdet mellom kulminasjon og døgnmiddel er det for Eggafoss valgt å bruke 1.5. Dette baseres på det forholdet som er observert ved Eggafoss for de store flommene i 31.8.1964 og 1.8.1989.

Dette gir en middelflom med kulminasjonsverdi for middelflommen på 171*1.5 = 260 m^3/s. Ut fra data fra tabell 3 som viser frekvensanalysen for Eggafoss og ved å velge GEV som fordeling finnes flommer for de andre gjentaksintervall. Disse er vist i tabell 6.

Basert på frekvensanalysen av data fra Eggafoss som vist i figur 12 og at det er 70 år med data for Eggafoss synes flommen i august å være rundt en 200 års flom.

Tabell 6: Beregnede flomverdier for Eggafoss (kulminasjonsverdier).

Flomstørrelse	Qm (m^3/s)	Q50 (m^3/s)	Q100 (m^3/s)	Q200 (m^3/s)	Q500 (m^3/s)	Q1000 (m^3/s)
Q_T/Q_M		2.08	2.35	2.65	3.07	3.42
Momentanvannføringer (m^3/s)	260	540	611	689	798	890

For Ålen sentrum er det utført beregninger med PQRUT i kapitel 4.4 og den hydrauliske analysen er gitt kapitel 5.5.4. Basert på disse settes 200 års flommen i Ålen til 430 m^3/s.

I Sælthun m. fl.(1997) er det fra empiriske data beregnet verdier for forholdet mellom middelflom og flommer med ulike gjentaksintervall for de ulike flomregioner i Norge, frekvensfaktorer. Ålen ligger pågrensa mellom H2 og H3 er det valgt å benytte midlet av disse. Med utgangspunkt i at 200 års flommen er 430 i Ålen beregnes de andre flommer ut fra disse faktorer og resultatet er vist i tabell 7.

Tabell7: Beregnede flomverdier for Ålen (kulminasjonsverdier).

Flomstørrelse	Q_M	Q_5	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}
Q_T/Q_M	1	1.33	1.7	2	2.45	2.85	3.3	3.9	4.35
Momentanvannføringer (m^3/s)	129	171	219	258	316	367	430	503	561

5 Hydraulisk analyse for Lund Bru

5.1 Bakgrunn

For å forbedre og utvide datagrunnlaget for bestemmelse av vannføringen i Ålen, har NVE satt opp en hydraulisk modell for sentrumsområdet. Ved å tilpasse vannføringen i modellen med de observerte vannstander, kan en gi et godt estimat på kulminasjonsvannføringen ved Ålen. Modellen er kalibrert for små vannføringer, og empiriske verdier av ruheten er benyttet for vannstander over kalibreringsnivået. Vannføringen under flommen i august er funnet å være 430 m^3/s, som tilsvarer et spesifikt avløp på 1300 l/sek pr km^2. Dette samsvarer godt med det spesifikke avløpet funnet ved Eggafoss i kapitel 3.

5.2 Generelt om vannlinjeberegninger

Hec-Ras er et dataprogram som er utviklet av U.S. Army Corps of Engineers. Det benytter løsningen av den 1-dimensjonale energiligningen som basis løsningsprosedyre. Vannlinjen i elver beregnes ved hjelp av den 1-dimensjonale Mannings ligning. Ved rask eller gradvis varierende vannlinje benyttes momentligningen. På denne måten kan modellen simulere vannstandssprang og strømning gjennom brutverrsnitt. Samme vannmengde kan strømme *rolig* eller *strykende*, med to forskjellige vanndyp avhengig av bunnhelning og forholdene oppstrøms og nedstrøms, avhengig av energiforholdene. Rolig strømning kalles også underkritisk, mens strykende strømning kalles overkritisk. Ved en overgang mellom disse to situasjonene sier vi gjerne at ”dybden går gjennom kritisk.” Dersom vannlinjen går gjennom kritisk vil modellen bytte til momentligningen, som benytter seg av kraftbalanse og kontinuitet mellom to tverrsnitt. I likhet med løsning av energiligningen tas det utgangspunkt i at dybden i et tverrsnitt er kjent.

Modellen løser både en stasjonær, ikke-stasjonær og blandet strømningstilstand. Nødvendige inngangsdata er geometri av elva som gis som tverrprofiler, ruhet og vannføring. Ruheten (friksjonen) beskrives ved Mannings ’n’ der høye ’n’ verdier representerer størst ruhet.

5.3 Topografiske data

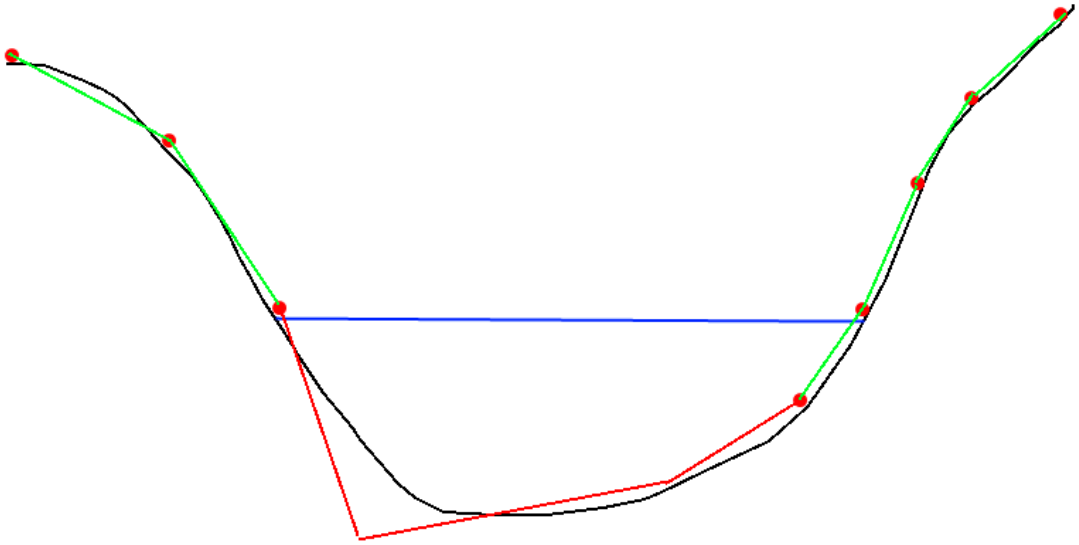
Tverrprofil

NVE målte inn 15 tverrprofil for å beskrive elvens geometri i horisontal- og vertikalplanet ref. /11/. Hele elveløpet ble ikke målt inn, men det ble målt opp så langt ut i elven det var mulig å komme fra begge sider samt at vannstanden ble målt. I tillegg ble Lund og Mo bru målt inn for å supplere brutegningene fra Statens vegvesen. I oppmålingene ble det benyttet en differensiell GPS med CPOS (Trimble TSC2 målebok) med R8 GNSS CPOS-rover GPS.

Figur 16: Flybilde som viser plassering av tverrprofil for vannlinjeberegninger Ålen.

Elvebunnen

Det effektive strømningsarealet ble estimert i modellen ved å tilpasse strømningsarealet slik at vannstanden i modellen ble lik det observerte. I første omgang ble Mannings n-verdiene satt til 0.033 for alle profilene for så å justere inn arealet slik at vannstanden stemte. Ved større vannføringer viste det seg at vannstandene i de bratte partiene var for lave og for høy på de slakere partiene. Mannings n-verdiene ble derfor justert for å kompensere for dette.

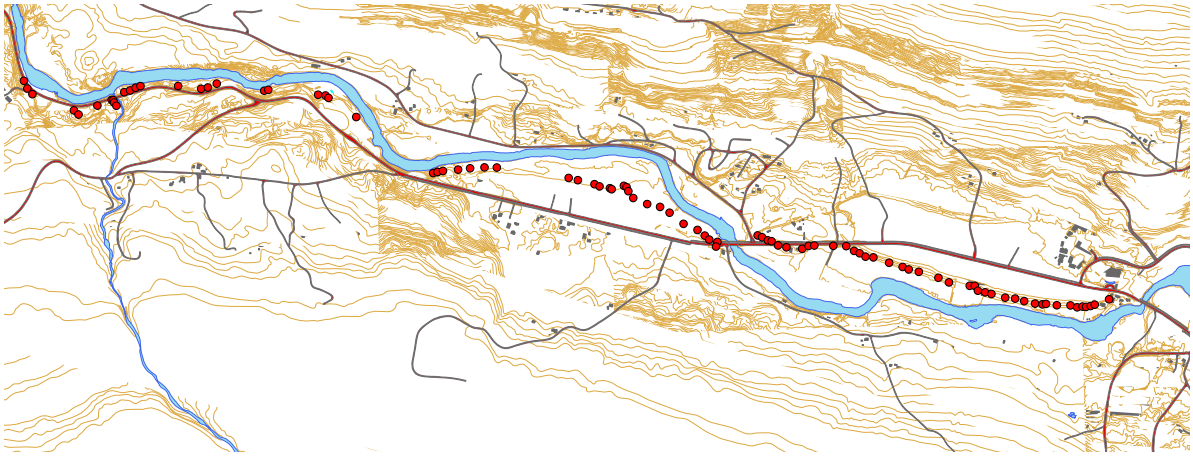


Figur 17: Målemetodikk for tverrprofilene. De røde punktene er målte terrengpunkter mens den blå linjen er vannflaten ved innmåling og den sorte linjen er elvebunnen. Ved å måle vannstanden kan en estimere strømningsarealet i modellen (den røde linjen) slik at vannstanden passer med observert.

5.4 Kalibreringsdata

For å kalibrere vannlinjemodellen er vi avhengig av samhørende kjente verdier av vannføring og vannstand. I dette tilfellet ble modellen kalibrert på en vannføring lavere enn flommen i august og modelldata som Mannings ’n’ ble for høyere vannføringer estimert basert på erfaringsdata..

Holtålen kommune bidro med innmåling av terrengmerker etter flommen den 9.9.2011, vannlinjen for kalibrering ble målt den 14.okt 2011 og supplerende terrengoppmåling ble utført 7.nov 2011. Det ble benyttet en CS10 fra Leica Geosystens AG.



Figur 18: Innmålte punkter etter flommen 16. august 2011.

Holtålen kommune målte i tillegg inn en vannlinje ved lav vannføring den 14.okt 2011. Vannføringen ble da estimert til å være 7.1 m^3/s ved Ålen etter å ha blitt skalert i forhold til nedbørsfeltet.

Figur20: Ålen sentrum sett fra baksiden av samvirkelaget mot Lund bru. Foto: Ole Jørgen Kjellmark

5.5 Vannlinjeberegninger

I dette prosjektet er vannføringen ved Ålen under flommen 16.8.2011 beregnet i tillegg til effekten Lund bru hadde på de oversvømte arealene i Ålen sentrum. Dels basert på beregnet vannføring fra Hec-Ras modellen og dels på historiske data for Eggafoss målestasjon er det utført en flomberegning for Ålen.

Det er utført vannlinjeberegninger for flommer med gjentaksintervall middelflom, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 og 1000 år, i tillegg til normalvannføringen som er beregnet fra avrenningskart for Norge for perioden 1961-1990.

5.5.1 Grensebetingelser

Det er benyttet normalvannstand som nedre grensebetingelse. Normalvannstand vil si at Hec-Ras benytter Mannings formel for å beregne vannstanden ut fra energilinjen. Når energilinjen er ukjent kan den settes lik hellingen på elvebunnen, slik det er gjort i dette prosjektet. Helningen til elvebunnen er beregnet til 0.014.

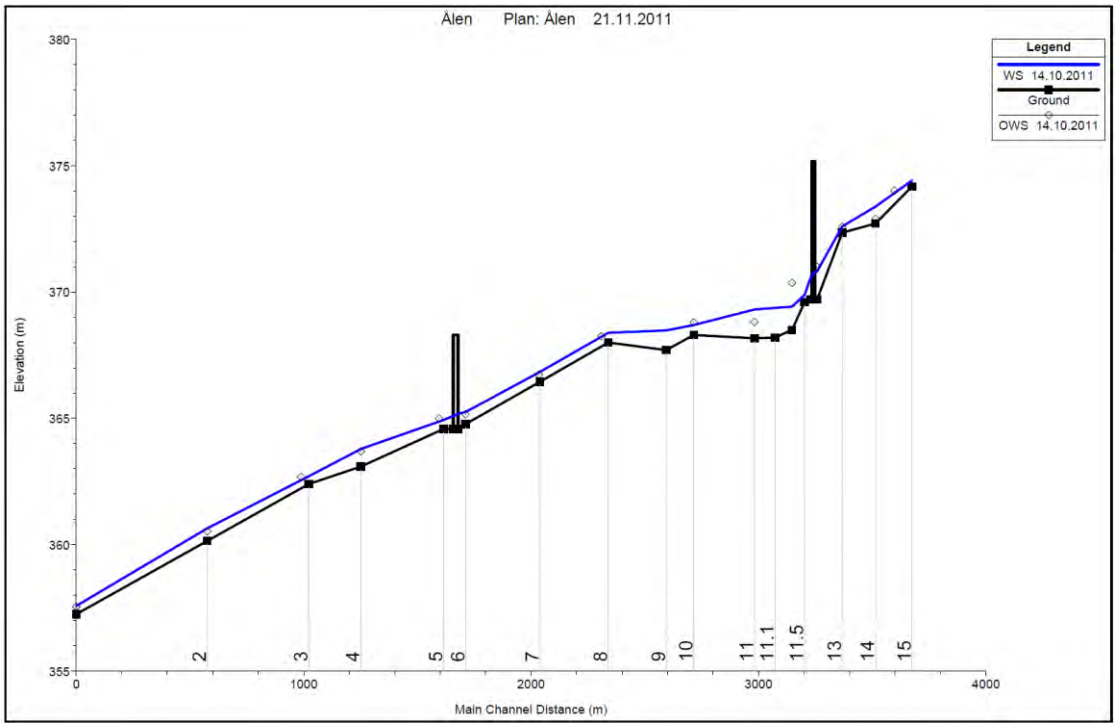
5.5.2 Ruhet

Den beste tilpasningen av ruhet generelt (manningstall M = 1/n) for Ålen, er satt til å være n-verdier fra 0.02 til 0.065 i hovedløpet og 0.04 på flomslettene. Mannings n, er et uttrykk for det totale energitapet i elva. Ruheten ble nyansert fra profil til profil for å tilpasse modellen til observerte verdier. Ruheten på flomslettene vil også kunne variere gjennom året avhengig av vegetasjonen. Likeså vil ruheten/energitapet kunne avta med økende vannstand. Fastsettelsen av n-verdier er derfor gjort delvis fra kalibreringsdata og delvis fra litteratur.

Avgrensningen av elveløpet og elveslettene fastsettes ved bruk av såkalte ”bank stations”. I dette prosjektet er plasseringen av disse vurdert for hvert enkelt tverrprofil, på bakgrunn av vannstanden ved innmåling av kalibreringsvannstand.

5.5.3 Kalibreringsresultater

Resultatet fra tilpassningen av strømningsareal viser at det er 2 punkter som modellen ikke lar seg tilpasse til, ved tverrprofil 11 og 14. Dette skyldes sannsynligvis at disse punktene ligger i nedkant av brattere partier, som medfører høyere vannhastigheter enn det modellen klarer å beregne. Dersom en ser bort fra disse punktene ligger de observerte punktene kun 14 cm fra de beregnede og modelltilpasningen må sies å være meget god.



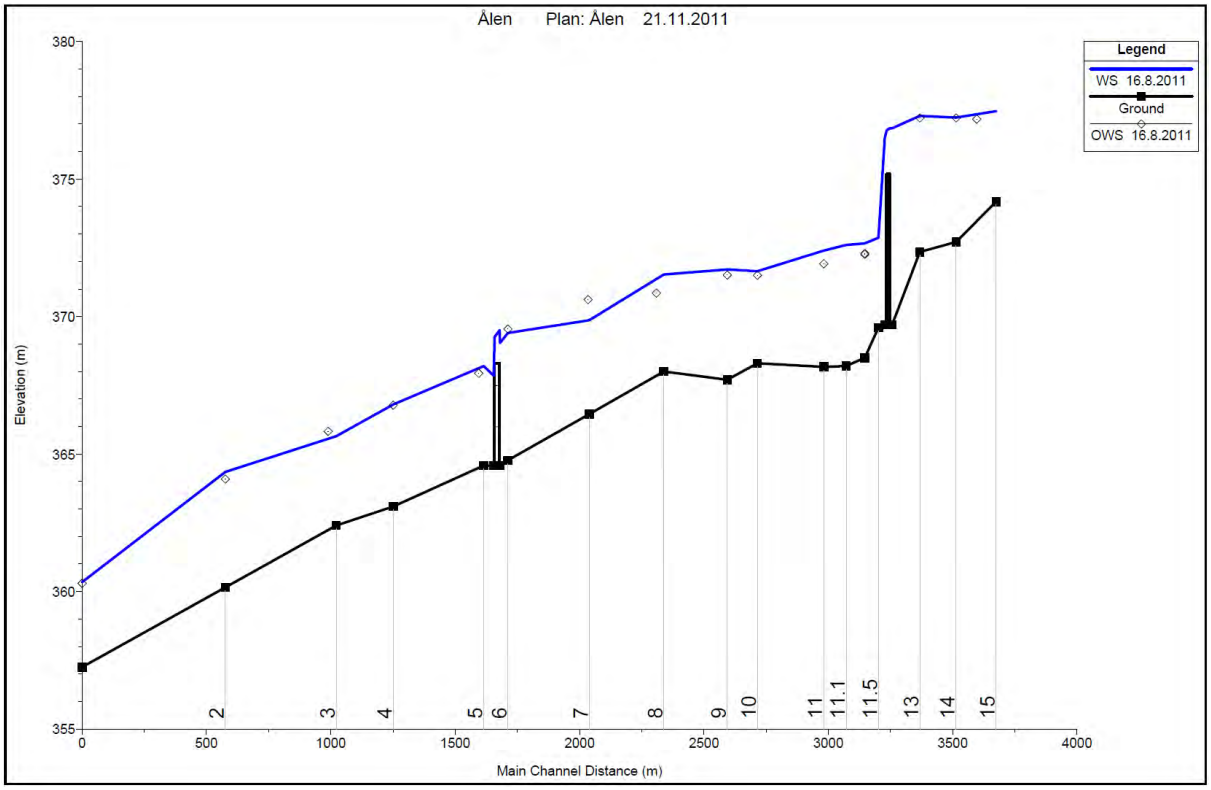
Figur21: Kalibrering av modellen mot en lav vannføring. Dette ble gjort for å estimere strømningsarealet for de ulike profilene.

Avvik fra beregnet vannstand og registrert vannstand kan skyldes mange forhold:

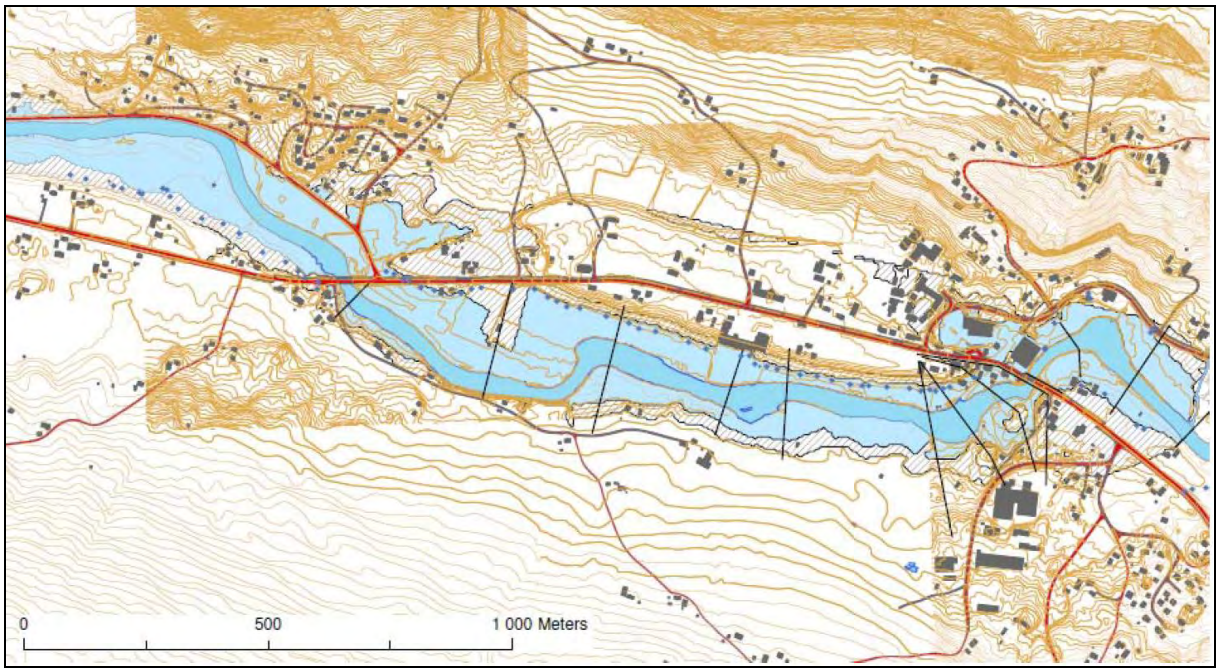
- stor avstand mellom profilene gjør det vanskelig å fange opp alle lokale forandringer i vertikal- og horisontalplanet
- lokale hastighetsvariasjoner og variasjoner i energitap
- samhørigheten mellom registrert vannstand og plassering i vannlinjemodellens lengdeprofil
- ikke entydig samhørighet mellom vannføring og vannstand pga av synkende eller stigende vannstand
- feil i vannføringskurve og antatt variasjon i vannføring nedover i elva
- feil ved avmerking av høyde og/eller oppmåling av høydemerkene
- feil effektiv avstand mellom profilene, i hovedløpet og på flomslettende

5.5.4 Resultat

Ved å kjøre modellen med mange ulike vannføringer har en kommet frem til at en vannføring på 430 m^3/s er representativ for de observerte vannstandene. Det er gjort noen tilpassninger for ruhet og ineffektivt strømningsareal på elveslettene ut fra observasjoner i felt. Dette er gjort fordi modellen ikke har mulighet for å modellere effekten av oppstuving og falltap som følge av trær, biler, høyballer og andre hindringer.



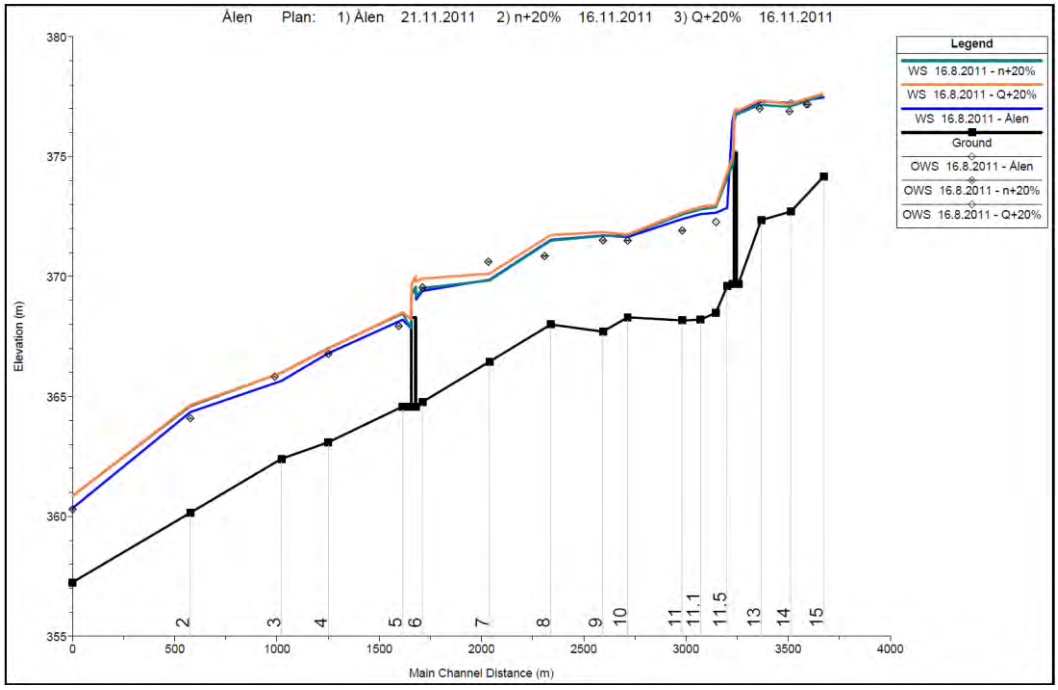
Figur 22 Beregnet og observerte vannstander fra flommen 16.8.2011. Med unntak av 2 punkter er avviket i størrelsesorden 30-40cm.



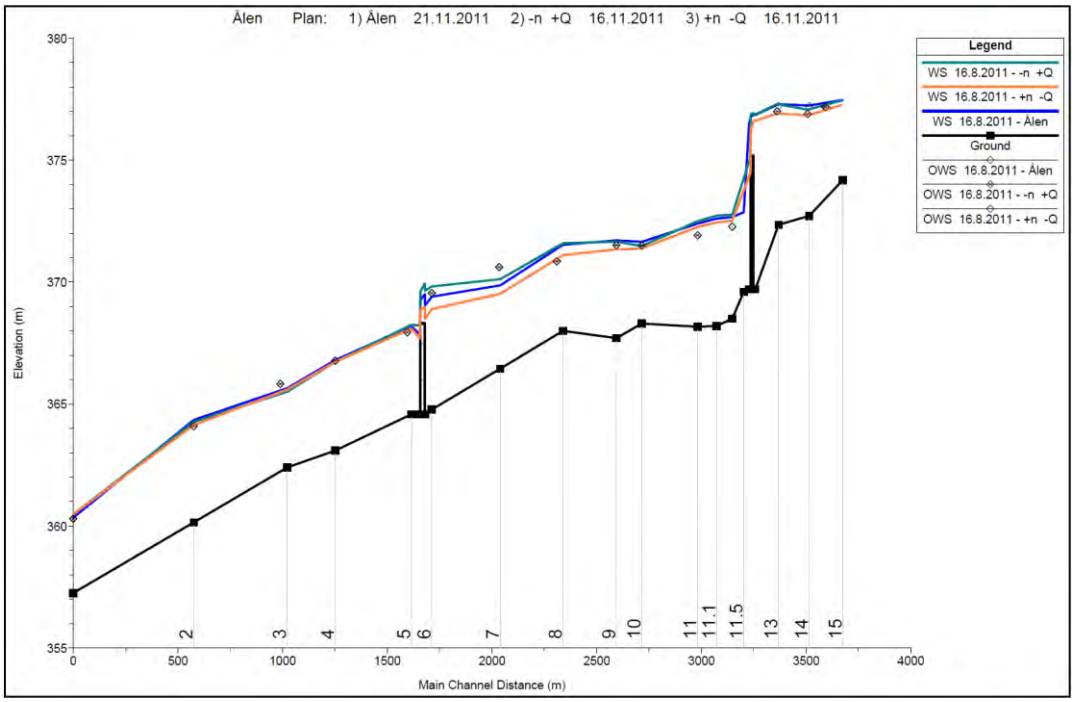
Figur23: Inntegnet beregnet flomsone med oppmålte terrengmerker etter flommen som er markert med blå punkter.

5.5.5 Sensitivitetsanalyse

Det er utført sensitivitetsanalyse ved å variere friksjonen og vannføringen med 20 %. Som ventet gir det størst utslag på slake partier, men resultatene syner at tilpasningen er robust og de beregnede verdier anses for rimelige.



Figur24: Effekten av å øke friksjonen eller vannføringen med 20 % er størst på det slake partiet mellom Lund og Mo bru med et utslag i vannlinjen på 35cm.



Figur 4: Alternative kjøringer med 20 % redusert friksjon og 20 % økt vannføring og tilsvarende omvendt.

5.6 Kapasitet Lund bru

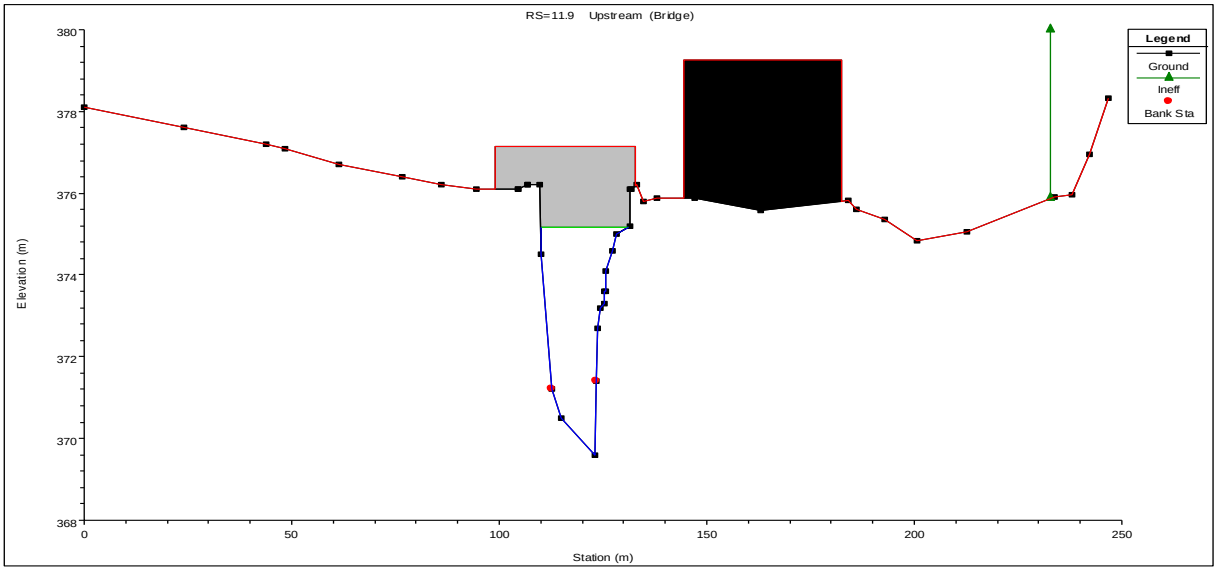
I ettertid av flommen ble det reist spørsmål om Lund bru bidro til forhøyede vannstander oppstrøms brua og dermed skader i Ålen sentrum. Det er derfor foretatt en vurdering av gjennomstrømningskapasiteten til brua i dagens tilstand, samt undersøkt ulike alternativer for å øke kapasiteten til brua der en av beregningene er gjort uten hverken bru eller veifylling.

Figur 56: Flybilde for Ålen sentrum og Lund bru med plassering av tverrprofil.

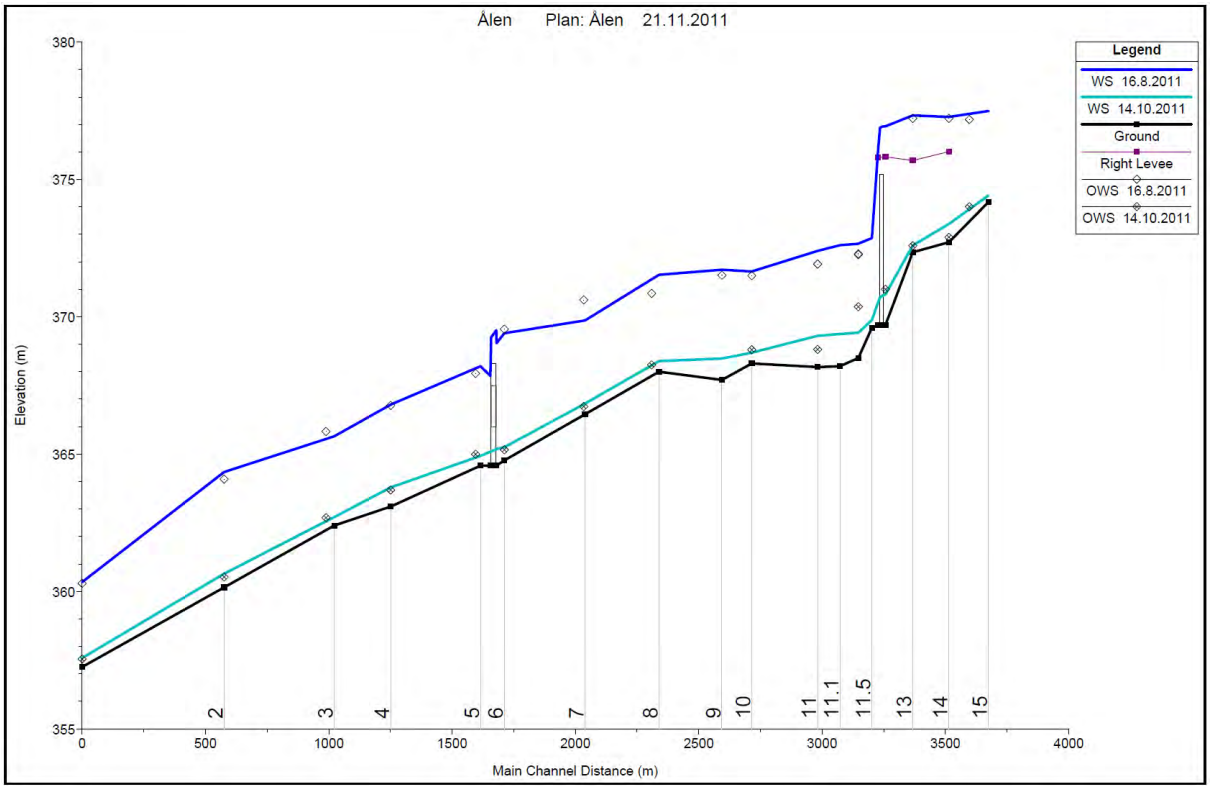
Figur 27: Lund bru sett mot Statoilstasjonen. Veifyllingen er 2.2m høy på sitt høyeste.

Figur 68: Lund bru sett fra oppstrøms side. En ser innsnevringen at fundamentet til veibruen er trukket 2-3m inn i elven i forhold til gangbruen på høyre side. Fjellknausen nedstrøms Lund bru reduserer det effektive strømningsarealet.

Det er det minste tverrsnittet i hele bruas bredde som bestemmer det effektive strømningsarealet og dermed kapasiteten til brua. Figur 6 viser at kapasiteten av brua begrenses av fjellknausen like nedstrøms. Det effektive strømningsarealet blir derfor kun på 65.7m^2 som tilsvarer en kapasitet på 190m^3/s, se Figur 7. Dette viser at brua gir oppstuving og en får en forhøyet vannstand ved samvirkelaget på 1.5m i forhold til uten bru og fjellknaus.



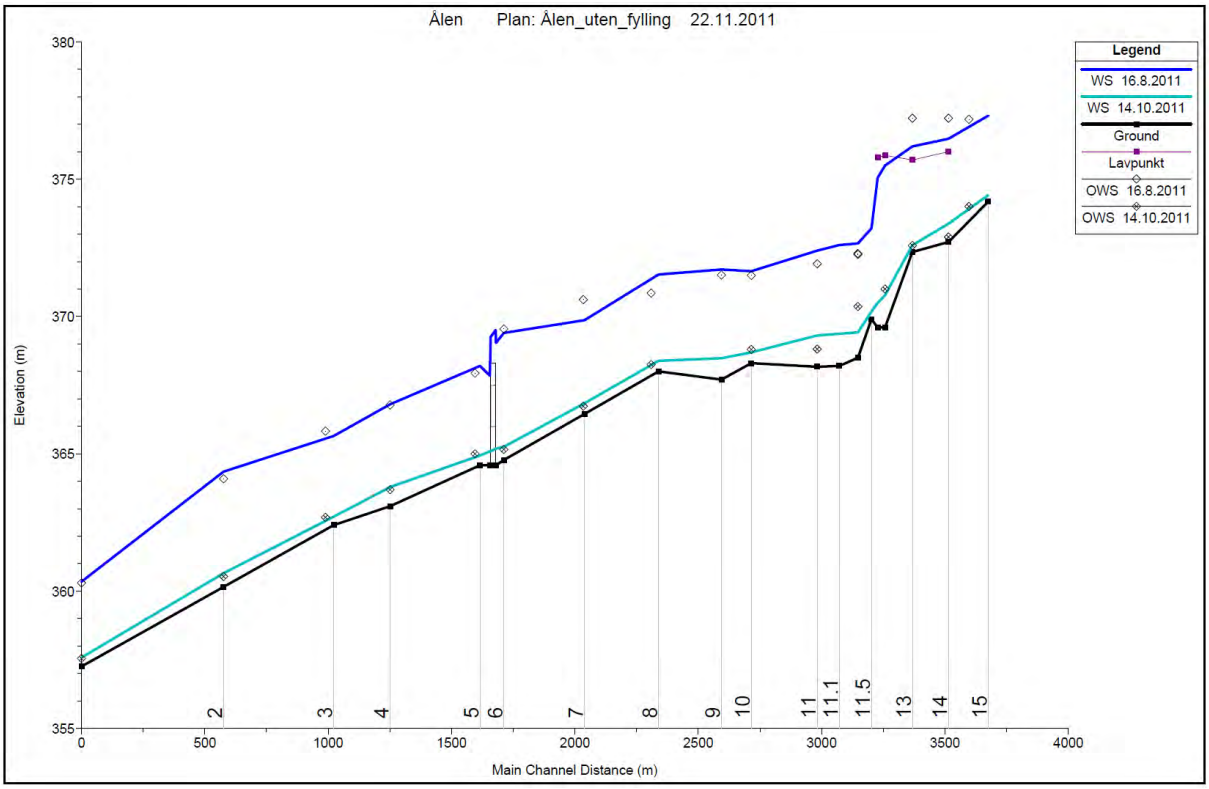
Figur 79: Det modellerte strømningsarealet under Lund bru med dagens forhold er 65.7 m^2. Med vannhastigheter på 2.9 m/s gir det en kapasitet på 190 m^3/s under brua.



Figur 30: Dagens situasjon ved Lund bru i Ålen sentrum. Flomvannstanden er 1.5m høyere enn lavpunkt i terrenget.

5.6.1 Alternativ 1 - "naturtilstand" uten bru og fyllinger

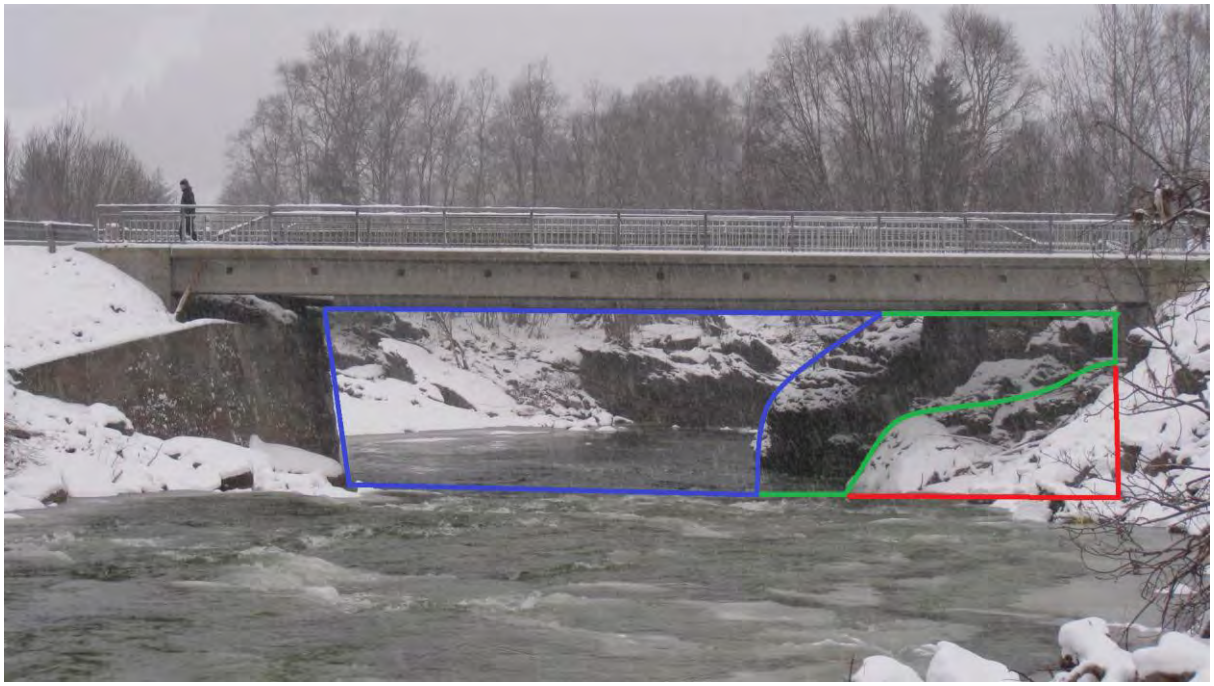
Dette forslaget innebærer at en fjerner brua med landkar og fylling. Beregningen viser at selv med "naturtilstanden" ville en fått oversvømmelse oppstrøms samvirkelaget for en tilsvarende flom, dog med noe lavere vannstand enn under flommen i 2011..



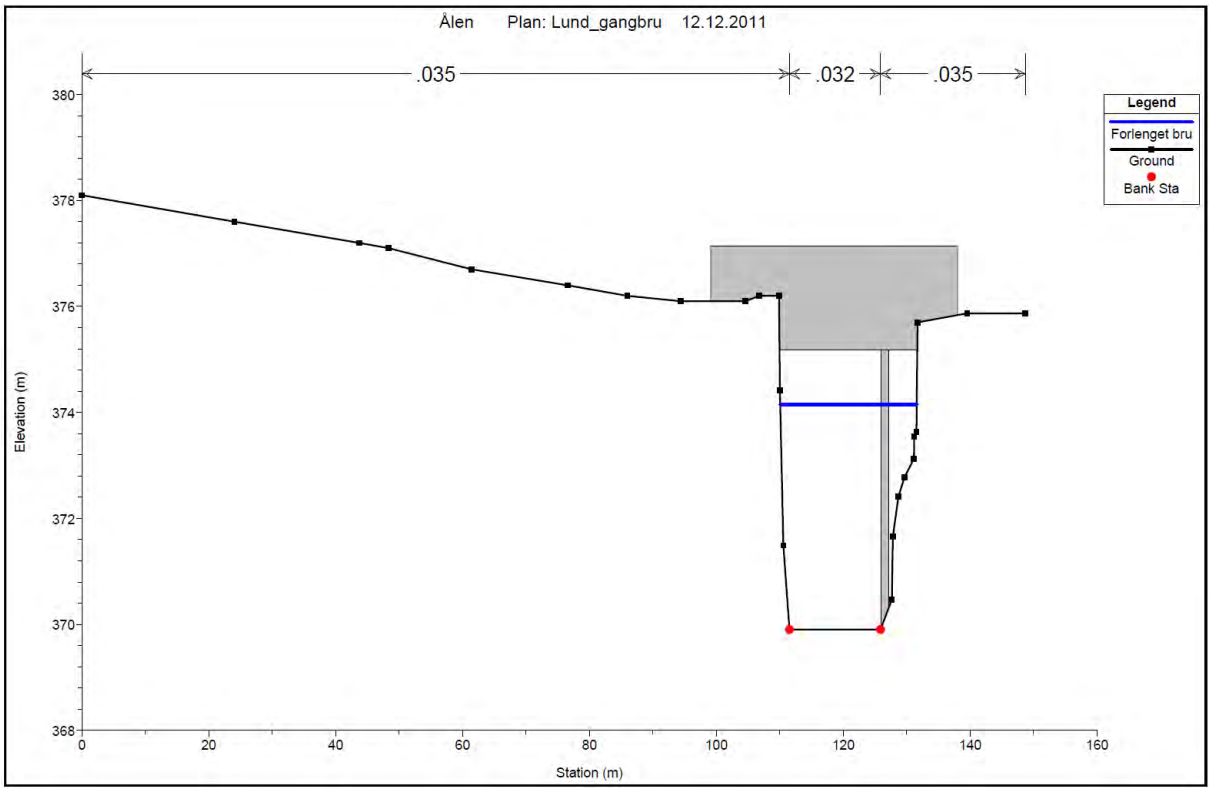
Figur31: Ålen sentrum uten bru og veifylling. Analysen viser at selv uten bru, vil vannet strømme bak samvirkelaget. I denne analysen har en ikke gjort tiltak ved fjellknausen.

5.6.2 Alternativ 2 – Fjellknausen fjernes samt breddeutvidelse på høyre side sett nedstrøms.

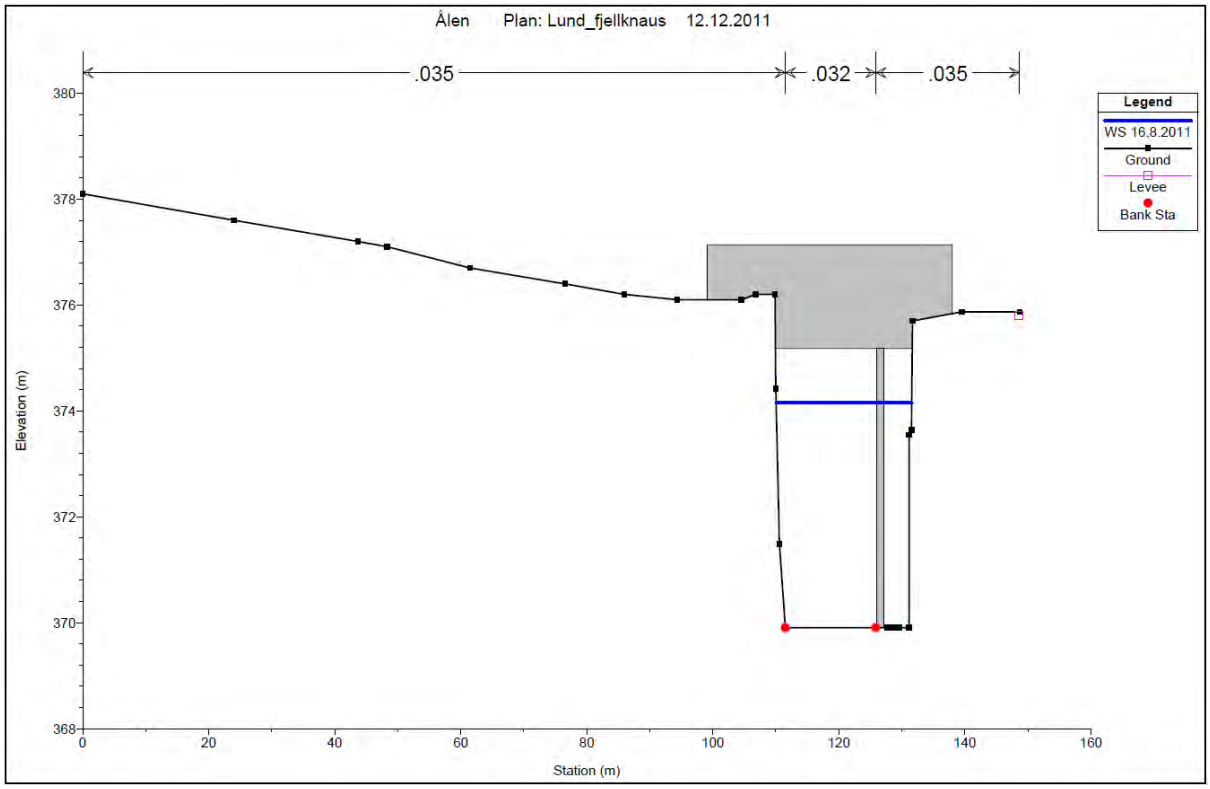
Dette alternativet beskriver effekten av å utvide profilet ved å fjerne fjellknausen og flytte brukaret til veibrua tilbake til samme som sted gangbrua. Forslaget innebærer en forlengelse av Lund veibru med en pilar og et nytt spenn på ca 4m. Effekten av et slikt tiltak vil være et økt strømningsarealet på nesten 30m^2 ved kun å forlenge veibrua. Dessuten kan en få ca 10m^2 mer dersom en i tillegg senker hele profilet til dagens nivå.



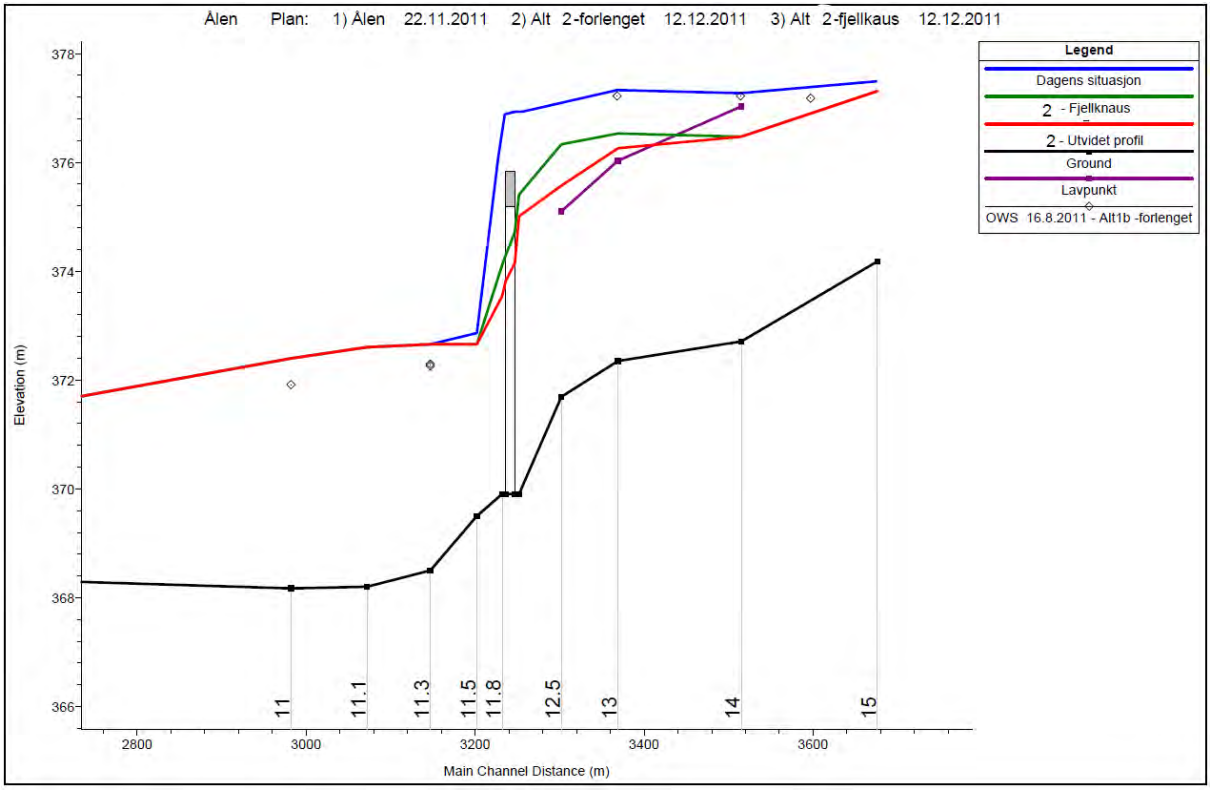
Figur32: Effektivt strømningsareal under Lund bru. Blått illustrerer dagens situasjon, grønt illustrerer økt strømningsarealet for Lund gangbru uten fjellknausen, mens rødt illustrerer økt strømningsareal dersom en forlenger brua, utvider profilet og fjerner fjellknausen.



Figur33 Tverrsnitt bruprofil for Lund gangbru dersom en forlenger brua for kjørebanen og fjerner fjellknausen, grønt alternativ i Figur. I denne analysen er det lagt inn en pilar med 1.2m diameter.



Figur 34 Tverrsnitt bruprofil for Lund gangbru med utvidelse av profilet, fjerning av fjellknausen og forlenging av veibrua, rødt alternativ i Figur. I denne analysen er det lagt inn en pilar med 1.2m diameter.

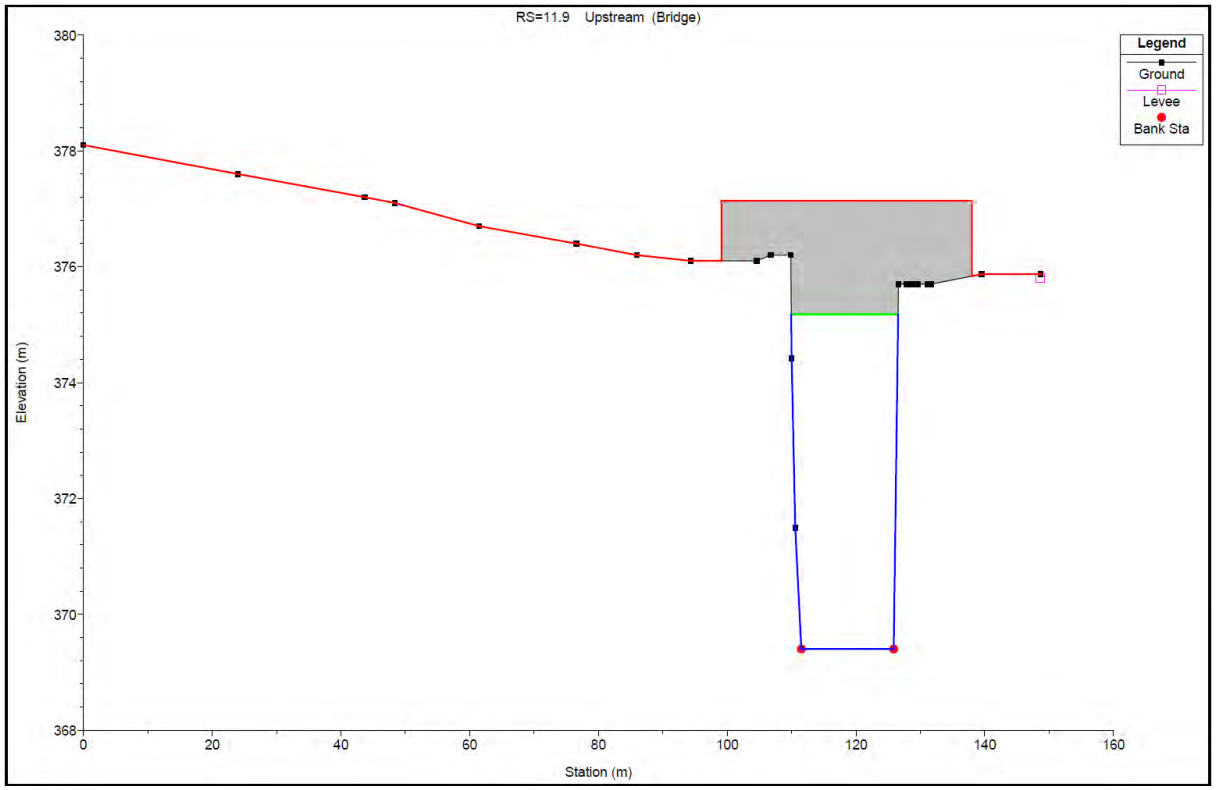


Figur35: Effekten av hhv. å fjerne fjellknausen og tilleggseffekten av å utvide profilet.

5.6.3 Alternativ 3 - Beholder eksisterende spennvidder og øker strømmingsarealet ved utdypning.

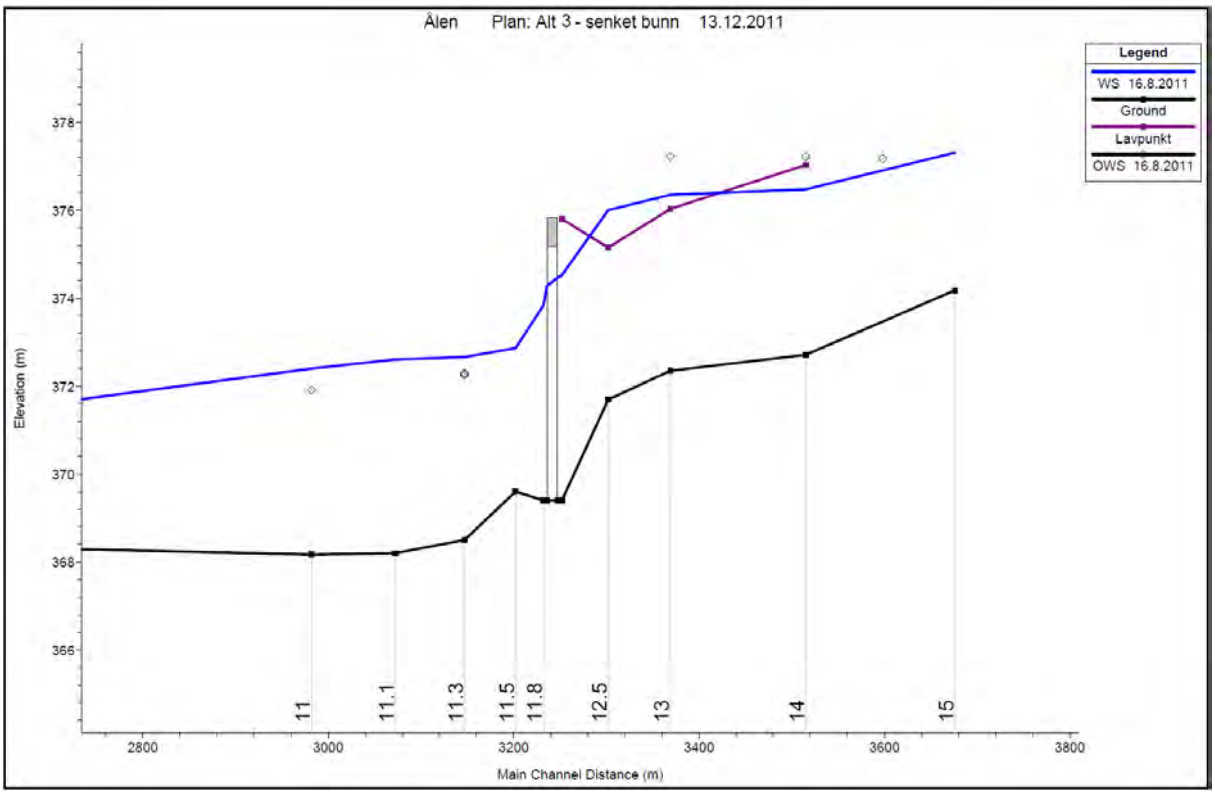
Dette alternativet tar sikte på å beholde dagens brukar ved øke kapasiteten ved å senke bunnen i elva og fjerne fjellknausen.

Figur 86: Illustrasjon av alternativ der bunn er senket med 0.5m og fjellknaus er fjernet.



Figur 97: Tverrsnitt ved Lund bru der bunnen er senket med 0.5m.

Det er i beregningene lagt inn en effektiv bredde på 16.4m og en dybde på 5m. Brutegningene fra Statens vegvesen viser at spennet for veibrua er 16.6m. Med disse forutsetningene gir brua tilstrekkelig kapasitet, men bidrar til mer oppstuving enn alternativ 2 fordi dette tverrsnittet er smalere slik at vannstanden må høyere for å gi samme kapasitet.



Figur 108: Fjernet fjellknaus og 0.5m senket bunn ved Lund bru.

5.6.4 Resultat kapasitetsanalyser Lund bru

Analysen viser at alle vurderte tiltak gir tilstrekkelig kapasitet ved Lund bru, forutsatt at det bygges flomvoll ved Samvirkelaget. Alternativ 2 gir høyest kapasitet for Lund bru og lavest vannstandsstigning ved Samvirkelaget. Beregningene tilsier at en bunnsenkning 0.5m vil ha liten effekter på vannhastighetene og mest sannsynlig ikke forverre erosjonen i vassdraget. En må presisere at effekter av en eventuell bunnsenkning er vanskelig å beregne og heftet med stor usikkerhet.

Tabell 1: Oversikt over kapasiteter for ulike brualternativer.

	Dagens situasjon	Alt. 2 – fjelknaus	Alt. 2 - fjellknaus og utvidet profil	Alt.3 - Senket bunn med 0.5m
Energilinje oppstrøms (m)	377.31	376.44	376	376.16
Vannlinje oppstrøms (m)	376.93	375.41	375.01	374.52
Q Total (m^3/s)	430	430	430	430
Q Bru (m^3/s)	190.68	430	430	430
Strømningsareal (m^2)	65.7	94.03	103.5	90.67
Vannhastighet (m/s)	2.9	5.67	5.68	5.67
Vannstand ved profil 12.5 (Samvirkelaget) (m)	377.1	376.3	375.6	376.0

For at Lund bru skal få høy nok kapasitet for en tilsvarende flom må strømningsarealet økes, som følge av kontinuitetsligningen Q = V * A, der Q er vannføring, V er vannhastighet og A er strømningsareal. Alle skisserte løsninger gir tilstrekkelig kapasitet ved Lund bru, men effekten oppstrøms er forskjellig for de ulike løsningene. Alle løsninger gir tilstrekkelig kapasitet for Lund bru, forutsatt at fjellknausen fjernes og at løsningene må sees på i kombinasjon med flomverk oppstrøms Lund bru.

Alt 1 - "naturtilstand" uten bru og fyllinger gir tilstrekkelig kapasitet, men innebærer at bruene må fjernes.

Alt 2 – Fjellknaus innebærer at fjellknausen fjernes og profilet utvides, slik at strømningsarealet for Lund gangbru blir gjeldene. Tilleggseffekten ved å senke bunnen til dagens nivå er også vurdert i *Alt. 2 - fjellknaus og utvidet profil* for dette alternativet. Effekten av å utvide bunnen til dagens nivå i hele profilet, gir 70cm lavere vannstand oppstrøms samvirkelaget enn samme alternativ der en beholder gjeldene strømningsareal for Lund bru.

Alt.3 – Senket bunn med 0.5m innebærer at en beholder eksisterende spennvidder og øker strømmingsarealet ved utdypning. Dette gir høyere oppstuving ved Samvirkelaget enn alternativ 2, se Tabell 1. Dette skyldes at strømningstverrsnittet er smalere ved bruen slik at vannstanden må høyere for å gi samme kapasitet.

5.6.5 Grunnforhold Lund bru

Statens Vegvesen gjorde grunnundersøkelser av grunnforholdene ved Lund bru med gravemaskin. Det ble konstatert at det var fjell i dagen i store deler av profilet. På venstre side sett nedstrøms var det ca 1m overdekning med løsmasser, se Figur 11.

Figur 119: Grunnundersøkelser med gravemaskin viste at det var fjell i dagen eller fjell under ca 1m løsmasser ved Lund bru.

Fjell i dagen gjør det lettere å senke bunnen med tanke på virkninger av tiltaket opp- og nedstrøms i elven. Bunnsenkning kan gi negative effekter ved at stryk flytter seg, en får høyere vannhastigheter

som gir mer erosjon samt at en kan få avsetning av masser i bunnen av strykene (som gir høyere vannstander).

For Lund bru vil en senkning kunne føre til at en får et vannstandssprang nedstrøms brua der stryket slutter og vannhastigheten reduseres. Detaljerte beregninger av effekten av en bunnesenkning er svært vanskelig å modellere, da det avhenger av flere faktorer som grunnforhold, virvelstrømning, retningsendringer og lokale vannhastigheter. Det verktøyet NVE har benyttet for Lund bru har begrensede muligheter til å beregne slike forhold, og det er dermed ikke mulig å beregne alle effektene av en bunnsenkning. Ut fra modellen kan en likevel si at en bunnsenkning på 0.5m vil ha små effekter på vannhastighetene og mest sannsynlig ikke forverre erosjonen i vassdraget. En eventuell bunnsenkning bør utføres over en strekning på ca 100m opp- og nedstrøms Lund bru, for at tiltaket skal ha ønsket effekt.

5.6.6 Usikkerhet

Kvaliteten på vannlinjeberegningene er avhengig av en godt kalibrert beregningsmodell. Det vil si at det finnes sammenhørende verdier av vannføring og vannstand som modellen kan kalibreres etter. Det er i dette prosjektet mangel på slike data for store vannføringer.

Data fra eldre historiske flommer har redusert verdi, på grunn av det har foregått endringer i elveløpet og elveslettene gjennom brubygging, veibygging, flomverk og lignende.

Nøyaktighet i tverrprofiler, avstand mellom tverrprofiler, usikkerhet i estimat av ruhet (Mannings ’n’) og helning på elva er blant er de viktigste faktorene som påvirker nøyaktigheten. Også beregning av vannstand nær kompliserte geometrier gir økende usikkerhet. På bakgrunn av dette anslås usikkerheten i vannlinjeberegningene å ligge innenfor +/- 0.3m.

Bergningene rundt bruer gir økt usikkerhet og det settes krav om en fribordhøyde på 0.5m. Alle de beregnede løsninger har fribord ved Lund bru på 0.5m eller mer.

6 Konklusjon

Det er utført en flomberegning for flommen den 16. august 2011. Analysen viser at flommen var en 200 års flom med en vannføring på 430 m^3/s i Ålen. Flomberegninga for Eggafoss viser at en 200 års flom er på 689 m^3/s. Målestasjonen Eggafoss målte et døgnmiddel på 374 m^3/s og tilhørende kulminasjonsverdi på 560 m^3/s. Dette gir et spesifikt avløp på henholdsvis 850 l/sek*km^2 og 1280 l/sek*km^2. Dette kan synes rimelig da det mest intense nedbøren var øst for Gauldalen og feltet til Eggafoss inkluderer Hesja som kommer vestfra og sannsynligvis ikke hadde samme nedbørsintensitet..

Resultatene av de hydrauliske simuleringene, viser at lysåpningen under Lund bru må utvides og det er undersøkt 3 ulike alternativ for dette.

Alle skisserte løsninger gir tilstrekkelig kapasitet ved Lund bru, men effekten oppstrøms er forskjellig for de ulike løsningene. Alle løsninger gir tilstrekkelig kapasitet for Lund bru, forutsatt at fjellknausen fjernes og at løsningene sees på i kombinasjon med flomverk oppstrøms Lund bru.

Alt 1 - "naturtilstand" uten bru og fyllinger gir tilstrekkelig kapasitet, men innebærer at bruene må fjernes.

Alt 2 – Fjellknaus innebærer at fjellknausen fjernes og profilet utvides, slik at strømningsarealet for Lund gangbru blir gjeldene. Tilleggseffekten ved å senke bunnen til dagens nivå er også vurdert i *Alt. 2 - fjellknaus og utvidet profil* for dette alternativet. Effekten av å utvide bunnen til dagens nivå i hele profilet, gir 70cm lavere vannstand oppstrøms samvirkelaget enn samme alternativ der en beholder gjeldene strømningsareal for Lund bru.

Alt.3 – Senket bunn med 0.5m innebærer at en beholder eksisterende spennvidder og øker strømmingsarealet ved utdypning. Dette gir høyere oppstuving ved Samvirkelaget enn alternativ 2. Dette skyldes at strømningstverrsnittet er smalere ved bruen slik at vannstanden må høyere for å gi samme kapasitet.

7 Referanser

/1/ *Lars Roald: NVE (2011): "Store flommer i Orkla og Gaula"*

/2/ *NVE dokument 2/2002 av Beldring, Roald, Voksø "Nytt avløpskart for Norge for normalperioden 1961-90"*

/3/ *Befaring og påvisning av flommål i Ålen sentrum med Ole Kirkbakk 17.11.2011*

/4/ *NVE Oppdragsrapport A 4/2000, "Flomberegning for Gaula."*

/5/ *NVE 2011 (LEP) : "Flommen i Trøndelag i august 2011."*

/6/ *PQRUT Hydrologisk modell for flomberegninger NVE 2/1983.*

/7/ *Gauldal Energi(2011): Rapport om flomforløp i Gaula kraftstasjon.*

/8/ *Gauldal Energi (2011): Rapport om flomforløp i Raubergfossen kraftstasjon.*

/9/ *Sweco Grøner (2007): Flomberegning for inntak Raubergfossen.*

/10/ *Sælthun et al (1997): Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag.*

/11/ Oppmåling tverrprofil Ålen (DocuLive nr. 201105669

Vedlegg 1 Feltet ned til Eggafoss

Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 122.F0
Kommune: Holtålen
Fylke: Sør-Trøndelag
Vassdrag: GAULA

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	25,6 l/s/km²
Alminnelig lavvannføring	1,7 l/s/km²
5-persentil (hele året)	1,6 l/s/km²
5-persentil (1/5-30/9)	4,8 l/s/km²
5-persentil (1/10-30/4)	1,3 l/s/km²

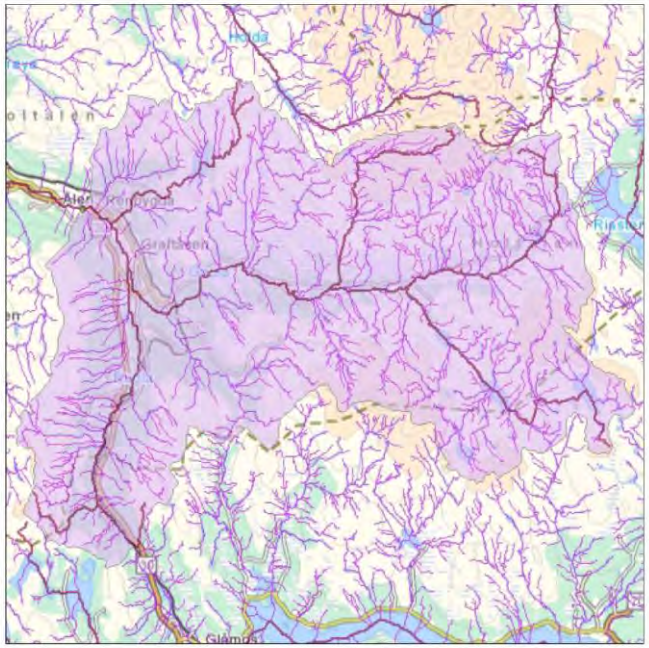
Klima	
Klimaregion	Midt
Årsnedbør	963 mm
Sommernedbør	434 mm
Vinternedbør	529 mm
Årstemperatur	-0,2 °C
Sommertemperatur	6,4 °C
Vintertemperatur	-4,8 °C
Temperatur Juli	8,4 °C
Temperatur August	9,1 °C

Feltparametere	
Areal (A)	654,5 km²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,2 %
Elvelengde (E_L)	47,3 km
Elvegradient (E_G)	14,8 m/km
Elvegradient$_{1085}$(G_{1085})	15,2 m/km
Feltlengde(F_L)	32,9 km
H_{min}	285 moh.
H_{10}	622 moh.
H_{20}	717 moh.
H_{30}	774 moh.
H_{40}	811 moh.
H_{50}	843 moh.
H_{60}	878 moh.
H_{70}	918 moh.
H_{80}	964 moh.
H_{90}	1021 moh.
H_{max}	1284 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	2,1 %
Myr	12,6 %
Sjø	2,8 %
Skog	24,6 %
Snaufjell	43,9 %
Urban	0,0 %

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

Denne regionen gir generelt gode estimater av lavvannsindeksene.

Vedlegg 2 Feltet til Ålen



Norges vassdrags- og energidirektorat

NVE

Kartbakgrunn: Statens Kartverk

Kartdatum: EUREF89 WGS84

Projeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Lavvannskart

Vassdragsnr.:	122.G10
Kommune:	Holtålen
Fylke:	Sør-Trøndelag
Vassdrag:	GAULA

Vannføringsindeks, se merknader		
Middelvannføring (61-90)	27,3	l/s/km²
Alminnelig lavvannføring	1,4	l/s/km²
5-persentil (hele året)	1,3	l/s/km²
5-persentil (1/5-30/9)	4,5	l/s/km²
5-persentil (1/10-30/4)	1,1	l/s/km²

Klima		
Klimaregion		Midt
Årsnedbør	963	mm
Sommernedbør	434	mm
Vinternedbør	529	mm
Årstemperatur	-0,2	°C
Sommertemperatur	6,3	°C
Vintertemperatur	-4,8	°C
Temperatur Juli	8,3	°C
Temperatur August	9,1	°C

Feltparametere	
Areal (A)	334,8 km²
Effektiv sjø (S_{eff})	0,1 %
Elvelengde (E_L)	36,7 km
Elvegradient (E_G)	16,8 m/km
Elvegradient$_{1085}$(G_{1085})	8,6 m/km
Feltlengde(F_L)	25,6 km
H_{min}	370 moh.
H_{10}	648 moh.
H_{20}	718 moh.
H_{30}	771 moh.
H_{40}	809 moh.
H_{50}	843 moh.
H_{60}	876 moh.
H_{70}	914 moh.
H_{80}	958 moh.
H_{90}	1009 moh.
H_{max}	1284 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	2,1 %
Myr	13,9 %
Sjø	2,2 %
Skog	22,6 %
Snaufjell	42,4 %
Urban	0,1 %

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

Denne regionen gir generelt gode estimater av lavvannsindeksene.

Vedlegg 3 Store flommer Gaula

År	Dato	Årsak	Vannføring	Kommentar
1345				Kvasshylla
1675	28 mai	Snøsmelt/regn		Storefloden
1689-1692				Lille istid
1717	Vår	Snøsmelting		
1734				Nedre del av Gaula
1737	Sommer	Regn		
1771	28 mai	Snøsmelting		
1789	23 juli	Regn		Stor-ofsen
1806	10 juni	Snøsmelting		
1867				Skade Singsås
1909	14 august	Regn	8 største	
1918	25 juni	Snøsmelt/Regn		Nest størst 1908-2009
1925	15 august			Niende største ved Haga bru på 101 år
1934	8 mai	Snøsmelt		4 høyeste i serien
1940	25 august	Regn	3000 ved Haga bru	Størst nederst i Gaula
1941	28 mai	Snøsmelt	394 ved Eggafoss	Største døgnmiddel ved Eggafoss
1941	8 september	Regn		I øvre del av Gaula
1944	10 juni	Snøsmelt/Regn		3 største ved Haga Bru
1967	30 mai	Snøsmelt		
1973	2 juni	Snøsmelt		Nest størst Eggafoss
1978	23 mars	Snøsmelt		3 størst ved Eggafoss
1995	2 juni	Snøsmelt		4 største ved Eggafoss
2011	16 august	Regn	829	Største ved Eggafoss

Vedlegg 4 Årsflommer, Eggafoss

År	Kulminasjon	Døgnmiddel
1941	394	394
1942	195	195
1943	197	197
1944	266	266
1945	176	176
1946	176	176
1947	118	118
1948	163	163
1949	186	186
1950	203	203
1951	124	124
1952	165	165
1953	181	181
1954	153	153
1955	128	128
1956	230	230
1957	189	189
1958	178	178
1959	120	120
1960	148	148
1961	176	176
1962	137	137
1963	160	160
1964	273	273
1965	212	212
1966	219	195
1967	254	236
1968	185	178
1969	77	67
1970	190	156
1971	215	186
1972	172	160
1973	379	298
1974	165	148
1975	144	144
1976	215	215
1977	116	116
1978	290	290
1979	184	184
1980	153	153
1981	203	203
1982	158	158
1983	156	156
1984	156	156
1985	189	189
1986	179	160
1987	168	144
1988	192	165
1989	282	181
1990	140	130
1991	125	110
1992	147	139
1993	130	126
1994	125	91
1995	301	275
1996	133	109
1997	241	227
1998	149	135
1999	156	148
2000	170	151
2001	139	100
2002	161	146
2003	115	105
2004	193	168
2005	147	140
2006	139	126
2007	183	160
2008	149	140
2009	153	146
2010	177	157
2011	829	374

Vedlegg 5 Frekvensanalyser døgnmiddelverdier

Flomstatistikk Sesong: 1.5 - 31.12, Periode: 1941-2010

Empiriske momenter:

Middelverdi:	170.7	Maksimum :	394.6	1.l-moment:	0.162
Std.avvik :	52.8	3.kvartil:	188.8	2.l-moment:	0.212
Skjevhet :	1.488	Median :	160.7	3.l-moment:	0.245
Kurtose :	6.677	1.kvartil:	140.6		
		Minimum :	67.1		

Flomkvantiler (absolutte verdier)

Gjentaksint. Fordelingsfunksjon

	LN2-MLE	LN3-MLE	EV1-PWM	GEV-PWM	GAM2-MLE	GAM3-MLE	LP3-NVE
5	208.9	206.6	207.4	205.4	210.3	210.1	208.0
10	237.4	238.7	237.3	237.1	236.4	237.6	237.9
20	263.9	270.3	265.9	268.9	259.4	262.4	266.4
50	297.3	312.5	303.0	312.5	287.0	292.5	303.3
100	321.8	345.1	330.8	346.9	306.4	313.9	331.2
200	346.0	378.6	358.5	382.8	324.8	334.4	359.3
500	377.8	424.5	395.0	432.7	348.0	360.4	397.1
1000	401.8	460.5	422.6	472.4	364.9	379.4	426.4

Flomstatistikk, Sesong 1.5-31.12, Periode: 1941-2011

Empiriske momenter:

Middelverdi:	173.6	Maksimum :	394.6	1.l-moment:	0.171
Std.avvik :	57.7	3.kvartil:	189.5	2.l-moment:	0.247
Skjevhet :	1.599	Median :	160.9	3.l-moment:	0.260
Kurtose :	6.497	1.kvartil:	140.7		
		Minimum :	67.1		

Flomkvantiler (absolutte verdier)

Gjentaksint. Fordelingsfunksjon

	LN2-MLE	LN3-MLE	EV1-PWM	GEV-PWM	GAM2-MLE	GAM3-MLE	LP3-NVE
5	213.9	211.9	213.1	208.9	216.0	215.5	212.3
10	244.7	247.3	245.2	244.5	244.2	245.8	246.1
20	273.3	282.6	276.1	281.6	269.3	273.3	279.4
50	309.7	330.1	316.0	334.6	299.3	306.8	324.0
100	336.5	367.1	345.9	378.3	320.5	330.8	358.8
200	363.1	405.5	375.7	425.5	340.7	353.8	394.9
500	398.2	458.3	415.0	494.1	366.1	383.1	444.7
1000	424.8	500.0	444.7	551.0	384.6	404.6	484.4

Vedlegg 6 Frekvensanalyser med kulminasjonsverdier

Fordeling	200 års flom	500 års flom	1000 års flom
GEV	668	893	1116
LN3	676	852	1007
LN2	416	460	493
EU1	438	486	523
Gamma 2	410	445	471
Gamma 3	431	474	505
Log Pearson 3	674	887	1093

Vedlegg 7 Vannføring ved Eggafoss 16.8.2011

20110815/2000	20110816/0430	20110816/1300
11.575673	829.130493	273.820770
20110815/2030	20110816/0500	20110816/1330
14.147015	759.045227	239.555267
20110815/2100	20110816/0530	20110816/1400
22.927074	736.560181	236.068176
20110815/2130	20110816/0600	20110816/1430
40.036217	795.654053	229.192276
20110815/2200	20110816/0630	20110816/1500
68.337029	817.873108	215.531219
20110815/2230	20110816/0700	20110816/1530
97.515862	810.191223	189.527939
20110815/2300	20110816/0730	20110816/1600
122.382957	794.966125	189.802155
20110815/2330	20110816/0800	20110816/1630
141.477234	756.377563	185.986938
20110816/0000	20110816/0830	20110816/1700
164.127151	673.536438	177.189728
20110816/0030	20110816/0900	20110816/1730
184.097977	570.810425	170.706299
20110816/0100	20110816/0930	20110816/1800
183.024139	490.245361	167.395981
20110816/0130	20110816/1000	20110816/1830
255.489914	489.741241	163.877441
20110816/0200	20110816/1030	20110816/1900
348.198029	406.549500	154.807831
20110816/0230	20110816/1100	20110816/1930
489.237427	418.740570	150.278625
20110816/0300	20110816/1130	20110816/2000
664.914429	381.996002	143.531021
20110816/0330	20110816/1200	20110816/2030
779.247009	305.464386	138.320160
20110816/0400	20110816/1230	20110816/2100
827.717651	302.865662	132.577698

20110816/2130	20110817/0630	20110817/1530
128.907135	88.832825	79.715942
20110816/2200	20110817/0700	20110817/1600
126.990593	87.158195	79.245316
20110816/2230	20110817/0730	
123.212578	86.328514	
20110816/2300	20110817/0800	
119.100311	85.011658	
20110816/2330	20110817/0830	
117.682137	83.707718	
20110817/0000	20110817/0900	
114.679810	82.577385	
20110817/0030	20110817/0930	
111.922348	81.456902	
20110817/0100	20110817/1000	
109.400375	80.662582	
20110817/0130	20110817/1030	
106.915123	79.873207	
20110817/0200	20110817/1100	
104.840744	79.088844	
20110817/0230	20110817/1130	
102.422760	78.932541	
20110817/0300	20110817/1200	
100.587349	78.776474	
20110817/0330	20110817/1230	
98.953636	78.776474	
20110817/0400	20110817/1300	
96.980164	79.088844	
20110817/0430	20110817/1330	
95.032135	79.245316	
20110817/0500	20110817/1400	
93.805656	79.401978	
20110817/0530	20110817/1430	
92.243736	79.873207	
20110817/0600	20110817/1500	
90.187279	79.873207	

Vedlegg 8 Resultatfil: Ekstrem programmet på Start systemet

```
Program EKSTREM     - versjon:  7.3       av: 22/11-2001


Programbeskrivelse:
-------------------
Flomfrekvensanalyse for en enkelt flomserie (single-site analysis). Programmet forutsetter at det foreligger en
serie av årlige flomverdier der verdien hvert år kan være bestemt for en avgrenset sesong.

Rutinen for å bestemme ekstremverdier er endret og bør nå være mere robust. Likeså er det lagt inn noe mere
testing på at
analysen er spesifisert på en logisk måte. Ved problemer, rapporter til Lars Roald, linje 9240 eller send en
mail til:
lar@nve.no

Programmet er den nye utgave av program Ekstrem mot Hydra II.

Funksjonaliteten består nå i:
 1). Programmet arbeider med en serie som foreløpig bare kan leses fra en av døgnverditabellene i Hydra II.
 2). Mulighet for å analysere flere perioder, flere sesonger eller flere varigheter og å vise resultene i samme
diagram.
 3). Mulighet for å tilpasse og å vise ulike fordelinger samtidig.
 4). Reviderte tabellformater
 5). Ny plotterutine.
 6). Tabulering av kvantilene relativt til median i stedenfor middelverdi.
Følgende funksjoner mangler foreløpig, men er planlagt å føyes til senere:
 1). Alternativ lesing av spissverdidata fra tabellen Peak_flood.
Følgende funksjoner er fjernet:
 1). Manuell inntasting av flomserier.
 2). Lesing av spissverdidata fra gammel flomfil.
Àpar NVE-Hydrologisk avdeling      Program Ekstrem - ekstremverdianalyse av enkeltserier          Dato: 11/26-
3911
```

Flomfrekvensanalyse for: _'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0
_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0

Datatype: _'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0 Enhet:
_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0 Datakilde: hydag

Periode: 1966 - 2011 Antall år med data: 46 Sesong: Hele året Varighet: 365 døgn

Oversikt over flomdataene:

Data ordnet kronologisk				Data sortert			
Nummer	År	Dato	Verdi	Nummer	År	Dato	Verdi
1	1966	1/ 1-31/12	219.0	1	2011	1/ 1-31/12	829.0
2	1967	1/ 1-31/12	254.0	2	1973	1/ 1-31/12	379.0
3	1968	1/ 1-30/12	185.0	3	1995	1/ 1-31/12	301.0
4	1969	1/ 1-31/12	77.0	4	1978	1/ 1-31/12	290.0
5	1970	1/ 1-31/12	190.0	5	1989	1/ 1-31/12	282.0
6	1971	1/ 1-31/12	215.0	6	1967	1/ 1-31/12	254.0
7	1972	1/ 1-30/12	172.0	7	1997	1/ 1-31/12	241.0
8	1973	1/ 1-31/12	379.0	8	1966	1/ 1-31/12	219.0
9	1974	1/ 1-31/12	165.0	9	1976	1/ 1-30/12	215.0
10	1975	1/ 1-31/12	144.0	10	1971	1/ 1-31/12	215.0
11	1976	1/ 1-30/12	215.0	11	1981	1/ 1-31/12	203.0
12	1977	1/ 1-31/12	116.0	12	2004	1/ 1-30/12	193.0
13	1978	1/ 1-31/12	290.0	13	1988	1/ 1-30/12	192.0
14	1979	1/ 1-31/12	184.0	14	1970	1/ 1-31/12	190.0
15	1980	1/ 1-30/12	153.0	15	1985	1/ 1-31/12	189.0
16	1981	1/ 1-31/12	203.0	16	1968	1/ 1-30/12	185.0
17	1982	1/ 1-31/12	158.0	17	1979	1/ 1-31/12	184.0
18	1983	1/ 1-31/12	156.0	18	2007	1/ 1-31/12	183.0
19	1984	1/ 1-30/12	156.0	19	1986	1/ 1-31/12	179.0
20	1985	1/ 1-31/12	189.0	20	2010	1/ 1-31/12	177.0
21	1986	1/ 1-31/12	179.0	21	1972	1/ 1-30/12	172.0

22	1987	1/ 1-31/12	168.0	22	2000	1/ 1-30/12	170.0
23	1988	1/ 1-30/12	192.0	23	1987	1/ 1-31/12	168.0
24	1989	1/ 1-31/12	282.0	24	1974	1/ 1-31/12	165.0
25	1990	1/ 1-31/12	140.0	25	2002	1/ 1-31/12	161.0
26	1991	1/ 1-31/12	125.0	26	1982	1/ 1-31/12	158.0
27	1992	1/ 1-30/12	147.0	27	1983	1/ 1-31/12	156.0
28	1993	1/ 1-31/12	130.0	28	1984	1/ 1-30/12	156.0
29	1994	1/ 1-31/12	125.0	29	1999	1/ 1-31/12	156.0
30	1995	1/ 1-31/12	301.0	30	2009	1/ 1-31/12	153.0
31	1996	1/ 1-30/12	133.0	31	1980	1/ 1-30/12	153.0
32	1997	1/ 1-31/12	241.0	32	1998	1/ 1-31/12	149.0
33	1998	1/ 1-31/12	149.0	33	2008	1/ 1-30/12	149.0
34	1999	1/ 1-31/12	156.0	34	2005	1/ 1-31/12	147.0
35	2000	1/ 1-30/12	170.0	35	1992	1/ 1-30/12	147.0
36	2001	1/ 1-31/12	139.0	36	1975	1/ 1-31/12	144.0
37	2002	1/ 1-31/12	161.0	37	1990	1/ 1-31/12	140.0
38	2003	1/ 1-31/12	115.0	38	2001	1/ 1-31/12	139.0
39	2004	1/ 1-30/12	193.0	39	2006	1/ 1-31/12	139.0
40	2005	1/ 1-31/12	147.0	40	1996	1/ 1-30/12	133.0
41	2006	1/ 1-31/12	139.0	41	1993	1/ 1-31/12	130.0
42	2007	1/ 1-31/12	183.0	42	1991	1/ 1-31/12	125.0
43	2008	1/ 1-30/12	149.0	43	1994	1/ 1-31/12	125.0
44	2009	1/ 1-31/12	153.0	44	1977	1/ 1-31/12	116.0
45	2010	1/ 1-31/12	177.0	45	2003	1/ 1-31/12	115.0
46	2011	1/ 1-31/12	829.0	46	1969	1/ 1-31/12	77.0

Sesongfordeling av flommene

Måned	Jan.	Feb.	Mars	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Des.
Frekv.(%)	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Àpar _'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0 _'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0_'0
1966-2011

Flomstatistikk:
Empiriske momenter:

Middelverdi:	192.2	Maksimum :	829.0	1.l-moment:	0.217
Std.avvik :	109.3	3.kvartil:	192.7	2.l-moment:	0.465
Skjevhet :	4.378	Median :	166.5	3.l-moment:	0.432
Kurtose :	25.297	1.kvartil:	147.0		
		Minimum :	77.0		

Flomkvantiler

De relative kvantilene finnes ved å dividere kvantilene på medianen

Gjentaksint.	Absolutte	Relative	år	verdier	verdier
5	220.1	1.322			
10	275.9	1.657			
20	348.4	2.093			
50	481.0	2.889			
100	619.8	3.723			
200	804.4	4.831			
500	1145.4	6.879			
1000	1504.3	9.035			

Fordelingsfunksjon: GEV-PWM

Parameter	verdi
a=	149.254
b=	34.067
c=	-0.414

Resultater av testen på tilpasningen av fordelingen til de observerte dataene

CHI2:	3.043
ndf:	2
Res:	good
GOF:	338.941

Vedlegg 9 Profil brukt i Hec-Ras modellen

	Tverrprofil	Plan	Min kanal El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	
Ålen	15	Ålen	374.18	377.49		377.75	0.001629	2.78	221.77	129.03	0.49
Ålen	15	Uten_bru	374.18	377.44		377.71	0.001742	2.84	215.54	123.12	0.51
Ålen	15	Alt 2 - fjellknaus	374.18	377.31		377.63	0.002137	3.07	199.87	119.1	0.56
Ålen	15	Alt 2 - utvidet profil	374.18	377.31		377.63	0.002137	3.07	199.87	119.1	0.56
Ålen	15	Alt 3 - Senket bunn	374.18	377.31		377.63	0.002142	3.07	199.72	119.08	0.56
Ålen	14	Ålen	372.71	377.27	376.47	377.52	0.001221	2.92	252.79	160.01	0.45
Ålen	14	Uten_bru	372.71	377.17		377.46	0.00143	3.11	236.85	156.44	0.48
Ålen	14	Alt 2 - fjellknaus	372.71	376.47	376.47	377.15	0.00378	4.49	150.5	99.03	0.76
Ålen	14	Alt 2 - utvidet profil	372.71	376.47	376.47	377.15	0.00378	4.49	150.5	99.03	0.76
Ålen	14	Alt 3 - Senket bunn	372.71	376.47	376.47	377.15	0.003767	4.49	150.7	99.06	0.76
Ålen	13	Ålen	372.35	377.33	375.14	377.4	0.000254	1.43	418.95	147.25	0.21
Ålen	13	Uten_bru	372.35	377.24		377.32	0.000277	1.48	406.44	147.25	0.22
Ålen	13	Alt 2 - fjellknaus	372.35	376.53	375.13	376.66	0.000582	1.93	307	131.32	0.3
Ålen	13	Alt 2 - utvidet profil	372.35	376.26	375.13	376.43	0.000813	2.18	271.98	128.38	0.36
Ålen	13	Alt 3 - Senket bunn	372.35	376.35	375.14	376.51	0.000723	2.09	283.89	129.38	0.34
Ålen	12.5	Ålen	371.69	377.28		377.38	0.000371	1.88	371.79	145.04	0.26
Ålen	12.5	Uten_bru	371.69	377.18		377.29	0.000405	1.95	358.2	143.19	0.27

Ålen	12.5	Alt 2 - fjellknaus	371.69	376.33	375.56	376.6	0.001113	2.88	242.55	129.55	0.43
Ålen	12.5	Alt 2 - utvidet profil	371.69	375.57	375.57	376.28	0.0033	4.4	148.85	113.2	0.72
Ålen	12.5	Alt 3 - Senket bunn	371.69	376	375.58	376.41	0.00181	3.5	200.56	125.51	0.54
Ålen	12	Ålen	369.7	376.93	376.17	377.31	0.001165	3.45	230.82	150.52	0.43
Ålen	12	Uten_bru	369.6	376.63	376.5	377.21	0.001748	4.08	189.57	138.1	0.51
Ålen	12	Alt 2 - fjellknaus	369.91	375.41	374.14	376.44	0.002372	4.75	105.08	21.75	0.65
Ålen	12	Alt 2 - utvidet profil	369.91	375.01	373.55	376	0.002607	4.73	106.13	21.68	0.67
Ålen	12	Alt 3 - Senket bunn	369.4	374.52	373.85	376.16	0.003801	5.73	79.83	16.47	0.81
Ålen	11.9	Lund bru									
Ålen	11.8	Ålen	369.7	376.06	376.06	377.15	0.003225	5.22	124.43	88.66	0.69
Ålen	11.8	Uten_bru	369.6	376.46	376.46	377.14	0.002029	4.33	168.78	129.05	0.55
Ålen	11.8	Alt 2 - fjellknaus	369.91	374.12	374.12	375.95	0.005949	6.29	77.07	21.5	0.98
Ålen	11.8	Alt 2 - utvidet profil	369.91	373.54	373.54	375.4	0.007559	6.43	74.56	21	1.08
Ålen	11.8	Alt 3 - Senket bunn	369.4	373.83	373.83	376.02	0.006161	6.62	68.5	16.27	1
Ålen	11.5	Ålen	369.6	372.86	372.86	374.18	0.006532	5.14	87.64	36.62	0.96
Ålen	11.5	Uten_bru	369.9	373.21	373.21	374.36	0.005472	4.84	97.09	59.67	0.88
Ålen	11.5	Alt 2 - fjellknaus	369.5	372.66	372.66	373.99	0.006612	5.15	86.42	35.17	0.96
Ålen	11.5	Alt 2 - utvidet profil	369.5	372.66	372.66	373.99	0.006612	5.15	86.42	35.17	0.96
Ålen	11.5	Alt 3 - Senket bunn	369.6	372.86	372.86	374.18	0.006532	5.14	87.64	36.62	0.96

Ålen	11.3	Ålen	368.5	372.67		372.92	0.001484	2.99	226.33	143.21	0.48
Ålen	11.3	Uten_bru	368.5	372.66		372.91	0.00152	3.02	224.28	142.85	0.48
Ålen	11.3	Alt 2 - fjellknaus	368.5	372.66		372.91	0.001538	3.08	224.28	142.85	0.49
Ålen	11.3	Alt 2 - utvidet profil	368.5	372.66		372.91	0.001538	3.08	224.28	142.85	0.49
Ålen	11.3	Alt 3 - Senket bunn	368.5	372.66		372.91	0.001534	3.08	224.47	142.89	0.49
Ålen	11.1	Ålen	368.2	372.62	371.53	372.81	0.000952	2.44	230.03	156.4	0.38
Ålen	11.1	Uten_bru	368.2	372.6	371.53	372.8	0.000969	2.46	228.78	156.11	0.39
Ålen	11.1	Alt 2 - fjellknaus	368.2	372.6	371.53	372.8	0.000971	2.46	228.67	156.08	0.39
Ålen	11.1	Alt 2 - utvidet profil	368.2	372.6	371.53	372.8	0.000971	2.46	228.67	156.08	0.39
Ålen	11.1	Alt 3 - Senket bunn	368.2	372.6	371.53	372.8	0.000969	2.46	228.78	156.11	0.39
Ålen	11	Ålen	368.17	372.42	371.46	372.7	0.001403	2.89	188.08	157.96	0.46
Ålen	11	Uten_bru	368.17	372.4	371.46	372.69	0.001434	2.92	186.82	157.53	0.47
Ålen	11	Alt 2 - fjellknaus	368.17	372.4	371.45	372.69	0.001434	2.92	186.82	157.53	0.47
Ålen	11	Alt 2 - utvidet profil	368.17	372.4	371.45	372.69	0.001434	2.92	186.82	157.53	0.47
Ålen	11	Alt 3 - Senket bunn	368.17	372.4	371.46	372.69	0.001434	2.92	186.82	157.53	0.47
Ålen	10	Ålen	368.3	371.36	371.25	372.04	0.004484	4.19	129.88	110.41	0.79
Ålen	10	Uten_bru	368.3	371.65	371.25	372.14	0.002873	3.58	152.59	122.68	0.65
Ålen	10	Alt 2 - fjellknaus	368.3	371.65	371.25	372.14	0.002873	3.58	152.59	122.68	0.65
Ålen	10	Alt 2 - utvidet profil	368.3	371.65	371.25	372.14	0.002873	3.58	152.59	122.68	0.65
Ålen	10	Alt 3 - Senket bunn	368.3	371.65	371.25	372.14	0.002873	3.58	152.59	122.68	0.65

Ålen	9	Ålen	367.7	371.46	370.08	371.69	0.00097	2.3	229.02	151.53	0.38
Ålen	9	Uten_bru	367.7	371.71	370.08	371.89	0.000711	2.06	258.14	153.92	0.33
Ålen	9	Alt 2 - fjellknaus	367.7	371.71	370.08	371.89	0.000711	2.06	258.14	153.92	0.33
Ålen	9	Alt 2 - utvidet profil	367.7	371.71	370.08	371.89	0.000711	2.06	258.14	153.92	0.33
Ålen	9	Alt 3 - Senket bunn	367.7	371.71	370.08	371.89	0.000711	2.06	258.14	153.92	0.33
Ålen	8	Ålen	368	371.13		371.36	0.001744	2.51	263.96	165.45	0.46
Ålen	8	Uten_bru	368	371.53		371.67	0.000976	2.04	331.53	175.06	0.35
Ålen	8	Alt 2 - fjellknaus	368	371.53		371.67	0.000976	2.04	331.53	175.06	0.35
Ålen	8	Alt 2 - utvidet profil	368	371.53		371.67	0.000976	2.04	331.53	175.06	0.35
Ålen	8	Alt 3 - Senket bunn	368	371.53		371.67	0.000976	2.04	331.53	175.06	0.35
Ålen	7	Ålen	366.45	369.7	369.7	370.45	0.005616	4.53	135.88	84.64	0.82
Ålen	7	Uten_bru	366.45	369.87	369.87	370.97	0.006624	5.09	102.38	89.36	0.9
Ålen	7	Alt 2 - fjellknaus	366.45	369.87	369.87	370.97	0.006624	5.09	102.38	89.36	0.9
Ålen	7	Alt 2 - utvidet profil	366.45	369.87	369.87	370.97	0.006624	5.09	102.38	89.36	0.9
Ålen	7	Alt 3 - Senket bunn	366.45	369.87	369.87	370.97	0.006624	5.09	102.38	89.36	0.9
Ålen	6	Ålen	364.77	369.4	367.52	369.69	0.000852	2.47	184.08	123.16	0.37
Ålen	6	Uten_bru	364.77	369.4	367.52	369.69	0.000852	2.47	184.08	123.16	0.37
Ålen	6	Alt 2 - fjellknaus	364.77	369.37	367.51	369.66	0.000871	2.49	182.87	122.64	0.38

Ålen	6	Alt 2 - utvidet profil	364.77	369.37	367.51	369.66	0.000871	2.49	182.87	122.64	0.38
Ålen	6	Alt 3 - Senket bunn	364.77	369.4	367.52	369.69	0.000852	2.47	184.08	123.16	0.37
Ålen	5.9	Ålen	364.58	369.04	367.85	369.62	0.001922	3.55	147.09	95.44	0.55
Ålen	5.9	Uten_bru	364.58	369.04	367.85	369.62	0.001922	3.55	147.09	95.44	0.55
Ålen	5.9	Alt 2 - fjellknaus	364.58	368.98	367.86	369.59	0.002046	3.62	141.8	87.12	0.57
Ålen	5.9	Alt 2 - utvidet profil	364.58	368.98	367.86	369.59	0.002046	3.62	141.8	87.12	0.57
Ålen	5.9	Alt 3 - Senket bunn	364.58	369.04	367.85	369.62	0.001922	3.55	147.09	95.44	0.55
Ålen	5.8	Mo bru									
Ålen	5.7	Ålen	364.58	367.84	367.84	369.22	0.008023	5.3	86.49	33.24	0.98
Ålen	5.7	Uten_bru	364.58	367.84	367.84	369.22	0.008023	5.3	86.49	33.24	0.98
Ålen	5.7	Alt 2 - fjellknaus	364.58	367.85	367.85	369.22	0.00799	5.29	86.6	33.25	0.98
Ålen	5.7	Alt 2 - utvidet profil	364.58	367.85	367.85	369.22	0.00799	5.29	86.6	33.25	0.98
Ålen	5.7	Alt 3 - Senket bunn	364.58	367.84	367.84	369.22	0.008023	5.3	86.49	33.24	0.98
Ålen	5	Ålen	364.58	368.2	366.93	368.52	0.001621	2.59	175.81	152.55	0.45
Ålen	5	Uten_bru	364.58	368.2	366.93	368.52	0.001621	2.59	175.81	152.55	0.45
Ålen	5	Alt 2 - fjellknaus	364.58	368.2	366.93	368.52	0.001621	2.59	175.82	152.55	0.45
Ålen	5	Alt 2 - utvidet profil	364.58	368.2	366.93	368.52	0.001621	2.59	175.82	152.55	0.45

Ålen	5	Alt 3 - Senket bunn	364.58	368.2	366.93	368.52	0.001621	2.59	175.81	152.55	0.45
Ålen	4	Ålen	363.09	366.8	366.52	367.35	0.008558	3.93	164.59	172.91	0.66
Ålen	4	Uten_bru	363.09	366.8	366.52	367.35	0.008558	3.93	164.59	172.91	0.66
Ålen	4	Alt 2 - fjellknaus	363.09	366.8	366.52	367.35	0.008562	3.94	164.56	172.91	0.66
Ålen	4	Alt 2 - utvidet profil	363.09	366.8	366.52	367.35	0.008562	3.94	164.56	172.91	0.66
Ålen	4	Alt 3 - Senket bunn	363.09	366.8	366.52	367.35	0.008558	3.93	164.59	172.91	0.66
Ålen	3	Ålen	362.4	365.65	365.05	366.19	0.003359	3.57	165.76	119.82	0.64
Ålen	3	Uten_bru	362.4	365.65	365.05	366.19	0.003359	3.57	165.76	119.82	0.64
Ålen	3	Alt 2 - fjellknaus	362.4	365.65	365.05	366.19	0.003352	3.56	165.97	120.09	0.64
Ålen	3	Alt 2 - utvidet profil	362.4	365.65	365.05	366.19	0.003352	3.56	165.98	120.1	0.64
Ålen	3	Alt 3 - Senket bunn	362.4	365.65	365.05	366.19	0.003359	3.57	165.76	119.82	0.64
Ålen	2	Ålen	360.15	364.35	363.03	364.64	0.003244	2.67	211.24	78.27	0.42
Ålen	2	Uten_bru	360.15	364.35	363.03	364.64	0.003244	2.67	211.24	78.27	0.42
Ålen	2	Alt 2 - fjellknaus	360.15	364.35	363.02	364.64	0.003238	2.67	211.39	78.29	0.42
Ålen	2	Alt 2 - utvidet profil	360.15	364.35	363.02	364.64	0.003235	2.67	211.46	78.3	0.42
Ålen	2	Alt 3 - Senket bunn	360.15	364.35	363.03	364.64	0.003244	2.67	211.23	78.27	0.42
Ålen	1	Ålen	357.25	360.34	360.21	361.18	0.014005	4.55	121.12	89.85	0.83
Ålen	1	Uten_bru	357.25	360.34	360.21	361.18	0.014005	4.55	121.12	89.85	0.83
Ålen	1	Alt 2 - fjellknaus	357.25	360.34	360.21	361.18	0.014005	4.55	121.12	89.85	0.83

Ålen	1	Alt 2 - utvidet profil	357.25	360.34	360.21	361.18	0.014005	4.55	121.12	89.85	0.83
Ålen	1	Alt 3 - Senket bunn	357.25	360.34	360.21	361.18	0.014005	4.55	121.12	89.85	0.83

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Oppdragsrapportserie B i 2012

Nr. 1 Flomberegning for Rovejohka og Slemelva i Skibotndalen kommune, Troms. Seija Stenius (13 s.)

Nr. 2 Konsekvenser av endret manøvrering i Halden-vassdraget. Modellering av scenarioer. Péter Borsányi (75 s.)

Nr. 3 Climate change and its potential impacts on hydrology in France: Results of a brief literature search Ingjerd Haddeland and Deborah Lawrence (24 s.)

Nr. 4 Flomberegning for Huselv (194.2), Lenvik kommune i Troms. Seija Stenius (12 s.)

Nr. 5 Flomberegning og kulvertanalyse i forbindelse med bygging av ny E-6 over Holelva i Stjørdal. Per Ludvig Bjerke

Nr. 6 Flomberegning og hydraulisk analyse i forbindelse med bygging av ny bru over Forda ved Singsås. Per Ludvig Bjerke

Nr. 7 Breundersøkelser på Blåmannsisen. Årsrapport 2011 (13 s.)

Nr. 8 Flom- og vannlinjeberegning i Reiseelva ved Uggdal skole, Tysnes kommune, Hordaland (054.62)

Nr. 9 Flomberegning og bruanalyse i forbindelse med bygging av ny E-6 over Gråelva i Stjørdal. Per Ludvig Bjerke

Nr. 10 Hydrologiske undersøkelser i Leirdøla og Jostedøla. Årsrapport 2011 (46 s.)

Nr. 11 Vannlinjeberegning for Åsta (002.HZ), Åmot kommune i Hedmark. Thomas Væringstad (22 s.)

Nr. 12 Hydrologiske undersøkelser ved Maurangervassdraget. Årsrapport 2011 (16 s.)

Nr. 13 Flomberegning og hydraulisk analyse i forbindelse med nye bruer over Jamtbekken og Store Søa bru, Aursunden. Per Ludvig Bjerke

Nr. 14 Flomberegning og hydraulisk analyse i forbindelse med nye Brobakk bru i Aunegrenda, Holtålen. Per Ludvig Bjerke

Nr. 15 Flomberegning for Storelv (212.22) Alta kommune i Finnmark. Sejia Stenius (12 s.)

Nr. 16 Flom- og vannlinjeberegning i Storelva ved Kobbervoll bru på E134 (015.CA0). Tharan Fergus

Nr. 17 Flomberegning for Botnelva (177.51), Harstad kommune i Troms. Seija Stenius

Nr. 18 Vannlinjeberegning for Vrangselva,Eidskog kommune i Hedmark. Péter Borsányi

Nr. 19 Vannlinjeberegning for Såna ved Hølen i Vestby kommune, Akershus. Péter Borsányi

Nr. 20 Flomberegning og hydraulisk analyse for Fossan bru, Skjelstadmark. Per Ludvig Bjerke

Nr. 21 Flomberegning og hydraulisk analyse for Mæla bru i Åfjord. Per Ludvig Bjerke

Nr. 22 Flomberegning og hydraulisk analyse for Granmo Camping, Oppdal. Per Ludvig Bjerke

Nr. 23 Flom- og vannlinjeberegning i Engjedalselva, Gaupne, Luster kommune (076.1Z). Tharan Fergus

Nr. 24 Flomberegning for Målselv ved Olsborg. Seija Stenius

Nr. 25 Climate change and its effects og hydrology in Turkey. Deborah Lawrence and Ingjerd Haddeland

Nr. 26 Catchment-based modelling of climate change impacts on runoff in southeast. Deborah Lawrence and Ingjerd Haddeland

Nr. 27 Vannlinjeberegning for Brumunda (002.DC7A0) i Brumunddal, Ringsaker kommune i Hedmark. Thomas Væringstad

Nr. 28 Flom- og vannlinjeberegning for E6 Målselv bru i Olsborg. Målselv kommune i Troms (196.Z). Seija Stenius

Nr. 29 Hydrologiske og hydrauliske beregninger for Lund bru i Ålen. Per Ludvig Bjerke, Kjartan Orvedal

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no