



Flomberegning for Lærdalsvassdraget

Flomsonekartprosjektet

Erik Holmqvist

20
2000

D
O
K
U
M
E
N
T



Flomberegning for Lærdalselva (73.Z)

Norges vassdrags- og energidirektorat

2000

Dokument nr 20

Flomberegning for Lærdalselva (73.Z)

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat – 2000

Forfatter: Erik Holmqvist

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 50

Forsidefoto: Lærdalselva mot Lærdal sykehus (foto Siss May Edvardsen, NVE Region Vest)

ISSN: 1501-2840

Sammendrag: Det er utført flomberegning for nedre del av Lærdalselva som grunnlag for vannlinjeberegninger og flomsonekartlegging.

Emneord: Lærdalselva – flomvannføring

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

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

November 2000

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD.....	4
SAMMENDRAG	5
1. BESKRIVELSE AV OPPGAVEN	6
2. BESKRIVELSE AV VASSDRAGET	6
3. HYDROMETRISKE STASJONER	9
Målestasjoner i Lærdalsvassdraget	9
Målestasjoner i nabovassdrag	10
4. FLOMANALYSER	11
Midlere flom før regulering.....	11
10 – 500 års flom før regulering.....	12
Reguleringens virkning på flomforholdene	14
Frekvensanalyse av regulerte vannføringer.....	14
Kulminasjonsverdier	16
5. OBSERVERTE FLOMMER	18
6. USIKKERHET	19
Referanser.....	20

FORORD

Flomsonekart er et viktig hjelpemiddel for arealdisponering langs vassdrag og for beredskapsplanlegging. NVE arbeider med å lage flomsonekart for flomutsatte elvestrekninger i Norge. Som et ledd i utarbeidelse av slike kart må flomvannføringer beregnes. Grunnlaget for flomberegninger er NVEs omfattende database over observerte vannstander og vannføringer, og NVEs hydrologiske analyseprogrammer, for eksempel det som benyttes for flomfrekvensanalyser.

Denne rapporten gir resultatene av en flomberegning som er utført i forbindelse med flomsonekartlegging i Lærdalselva. Rapporten gir også en oversikt over de største observerte flommene i vassdraget. Rapporten er utarbeidet av Erik Holmqvist og kvalitetskontrollert av Lars-Evan Pettersson.

Oslo, november 2000

Kjell Repp
avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

SAMMENDRAG

Flomanalyser viser at for Lærdalsvassdraget er vårflommer dominerende.

Det er antatt at momentanflom er 15 % høyere enn beregnede døgnmiddelflommer i vassdraget. Forholdstallet virker rimelig sett i lys av størrelsen på nedbørfeltet (drøyt 1100 km²) og det faktum at vårflommer dominerer i vassdraget.

Reguleringene i vassdraget har ført til en reduksjon av flommene. Dette gjelder spesielt de mindre sjeldne hendelsene. Midlere flom er redusert med drøyt 35 %, mens en 100-års flom sannsynligvis reduseres med mindre enn 10 %.

I Lærdalsvassdraget har en hydrologiske observasjoner siden 1916. Vassdraget ble regulert på 1970-tallet. Basert på hydrologiske data fra periodene både før og etter regulering i Lærdalsvassdraget sammen med lange uregulerte observasjonsserier i nabovassdrag er følgende flomverdier beregnet (tabell 1).

For midlere flom før regulering må en regne med en usikkerhet på minst 10 %. For de øvrige flomstørrelsene er usikkerheten større.

Tabell 1

Flomverdier i Lærdalsvassdraget ved Skjærsbrui .

	Døgnmiddel		Momentanverdi	
	Før regulering	Etter regulering	Før regulering	Etter regulering
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Q _M	355	235	410	270
Q ₁₀	500	380	570	430
Q ₂₀	590	470	670	530
Q ₅₀	660	570	760	660
Q ₁₀₀	750	700	860	800
Q ₂₀₀	820	800	940	920
Q ₅₀₀	890	890	1020	1020

1. BESKRIVELSE AV OPPGAVEN

Flomsonekart skal konstrueres for nedre del av Lærdalsvassdraget. Delprosjektets nummer og navn i NVE's Flomsonekartprosjekt er fs 073_1 Lærdal. Som grunnlag for denne konstruksjon skal midlere flom og flommer med gjentaksintervall 10, 20, 50, 100, 200 og 500 år beregnes.

2. BESKRIVELSE AV VASSDRAGET

Lærdalsvassdraget kommer fra de vestlige delene av Fillefjell og Hemsedalsfjella. Ved utløpet i Sognefjorden er nedbørfeltet 1183 km². Store deler av vassdraget er fortsatt uregulert. Smeddøla som kommer fra Filefjell er vernet. En oversikt over vassdraget er gitt i figur 1. Omkring 70 % av arealet ligger mellom 1100 og 1600 moh (figur 2).

Fra slutten av 1800-tallet er det gjennomført flere forbygninger langs Lærdalselva for å redusere flomskadene i vassdraget. Etter en relativt stor flom i 1971, ble forbygningene utbedret og forsterket fram til 1975.

På 1970-tallet ble flommene i vassdraget til en viss grad "temmet" ved bygging av reguleringsmagasiner for vannkraft. I alt er det 3 kraftverk og 7 magasiner i vassdraget. Hovedmagasinene er Øljusjøen (160 mill m³), Kvevotni (40 mill m³) og Eldrevatn (27 mill m³). Totalt magasinivolum er 274 mill m³. Reguleringsgraden, dvs forholdet mellom totalt magasinivolum og midlere årstilsig, er ca. 25 % for Lærdalsvassdraget. Midlere årsflom etter regulering er redusert med drøyt 20 %.

I Øljusjøen pumpekraftverk kan en pumpe vann fra ca. kote 1100 til Øljusjøen på drøyt kote 1300. Pumpas kapasitet er 13 m³/s. I hovedvassdraget har en Borgund og Stuvane kraftverk, som utnytter fall på henholdsvis 874 m og 160 m. Slukeevnen i disse kraftverkene er ca. 26 m³/s.

I tabell 2 og 3 er det gitt diverse feltarealer for Lærdalsvassdraget. Arealene er fastlagt ved en ny beregning av Seksjonen for Geoinformasjon (HG), og kan avvike noe fra de som er oppgitt i Hydrologisk avdelings database.

Tabell 2

Regulerte felt i Lærdalsvassdraget.

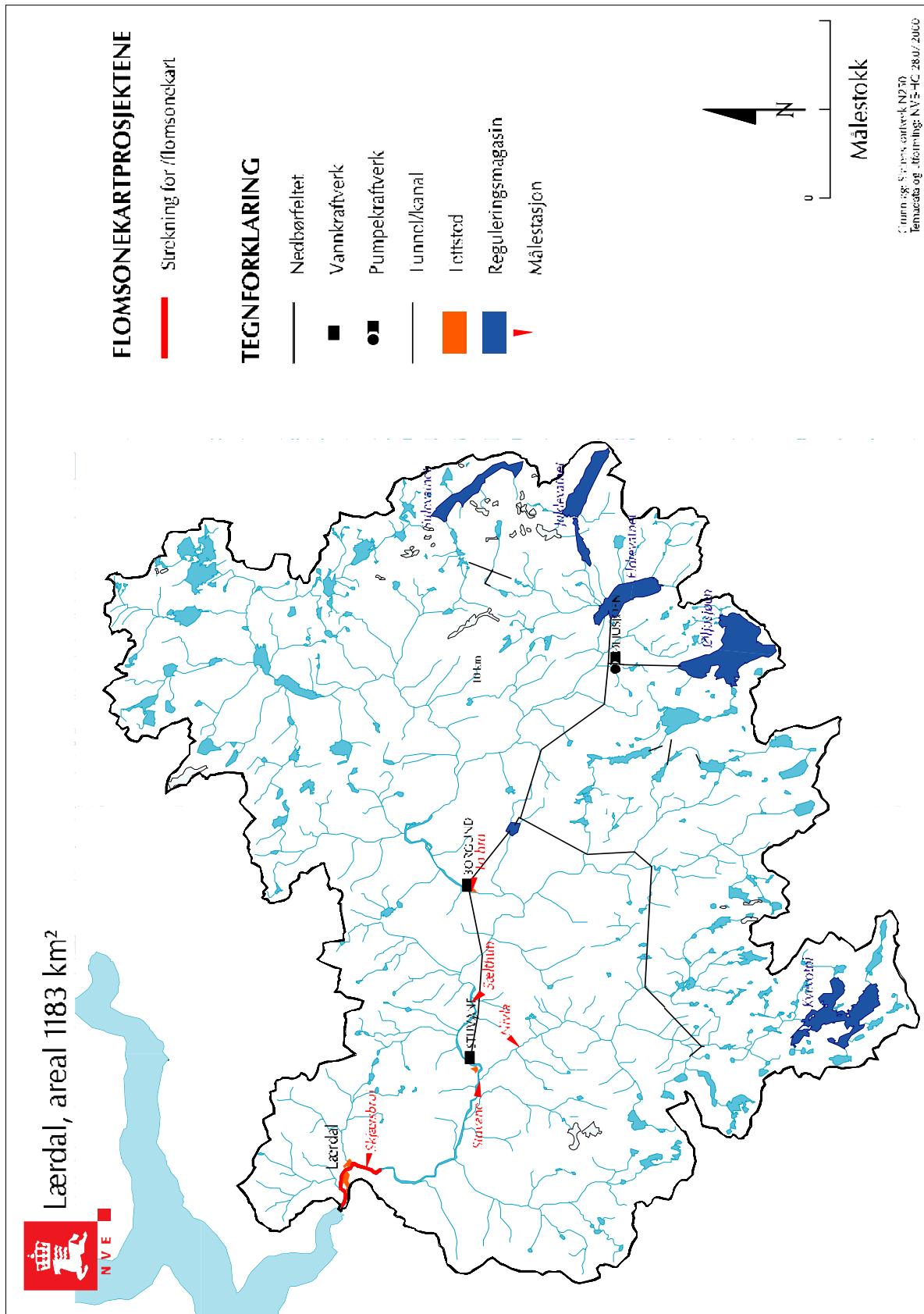
* I tillegg er det et lite inntaksmagasin til Borgund kraftverk, Vassetvatn og overføring fra Nivla, Dilma m.fl. til Øljusjøen/ Eldrevatn (se kartskisse).

Felt	Areal km ²
Kvevotni	39
Øljusjøen	40
Overføringer til Øljusjøen	Ca.23
Eldrevatn	61
Overføringer til Eldrevatn	Ca. 9
Øvre og nedre Juklevatn	24
Sulevatn	17
Sum regulert areal *	216

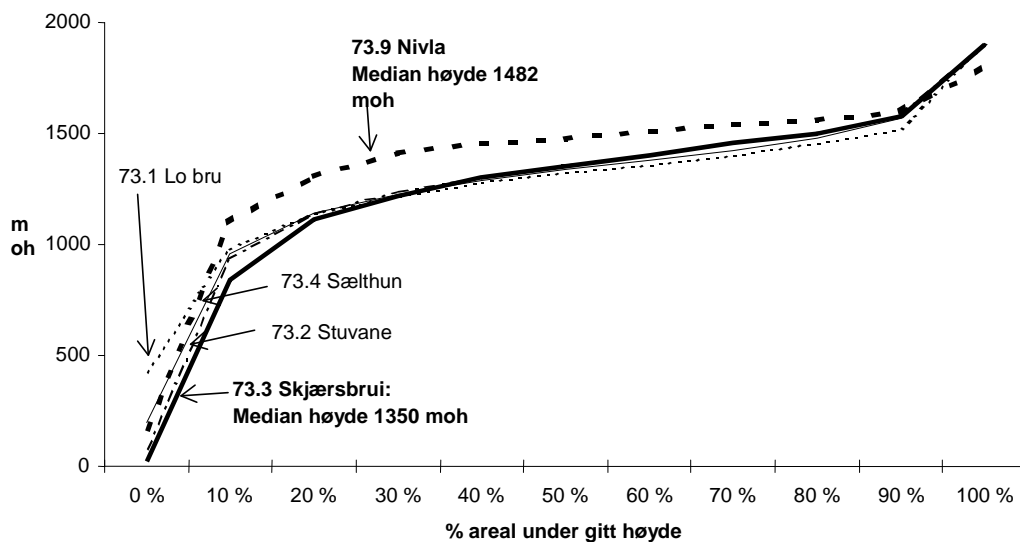
Tabell 3

Nedbørfelt i Lærdalsvassdraget.

Felt	Areal km ²
73.1 Lo bru	560.0
73.2 Stuvane	990.7
73.3 Skjærsbrui	1126.6
73.4 Sælthun	787.0
73.9 Nivla	165.6
Ofta	28
Åsaelvi	20
Lærdalsvassdraget ved utløp	1183



Figur 1
 Kart over Lærdalsvassdraget

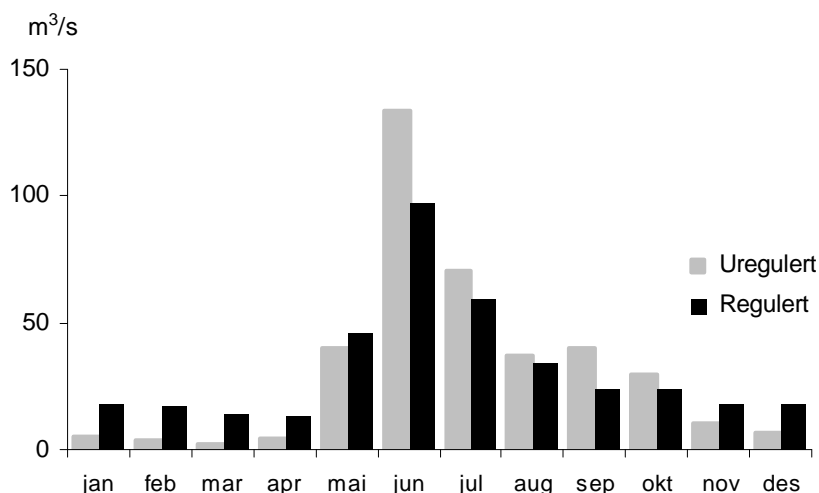


Figur 2

Hypsografiske kurver for Lærdalsvassdraget

Det er stor variasjon i årsnedbør i Lærdalsvassdraget. Tørrest er det i de nedre delene av vassdraget hvor avrenningen pr arealenhet kun er 10 l/s km^2 . I fjellområdene i vassdraget øker avrenningen til ca. 40 l/s km^2 . I middel for hele vassdraget er det en avrenning på drøyt 30 l/s km^2 , tilsvarende en effektiv årsnedbør (nedbør minus fordampning) på 1000 mm .

I figur 3 er vannføringen ved Skjærbrui nederst i Lærdalselva illustrert. Ved denne stasjonen er årsmiddelvannføringen (1931-60) ca $35 \text{ m}^3/\text{s}$ eller 30 l/s*km^2 . Reguleringene i vassdraget har ført til en utjevning av vannføringen over året. Vinteravløpet har økt, mens vannføringen om sommeren og tidlig på høsten er tilsvarende redusert.



Figur 3

Vannføringen ved stasjonen 73.3 Skjærbrui nederst i Lærdalselva. I årene 1964-70 (uregulert) har en observasjon ved Skjærbrui. For årene etter regulering er observasjonene fra 1988-98 ved stasjonen 73.2 Stuvane skalert til å gjelde Skjærbrui.

3. HYDROMETRISKE STASJONER

Målestasjoner i Lærdalsvassdraget

I denne sammenheng er de viktigste hydrometriske stasjonene i Lærdalsvassdraget, 73.1 Lo bru, 73.2 Stuvane, 73.3 Skjærbrui, 73.4 Sælthun og 73.9 Nivla. I tillegg er flomforholdene i enkelte nabovassdrag med lange uregulerte eller tilnærmet uregulerte serier analysert.

Nederst i vassdraget finner en 73.3 Skjærbrui (1126.6 km²). Nedbørfeltet dekker 95 % av Lærdalselvas totale areal ved utløp i Sognefjorden. Stasjonen ble opprettet pga lakseinteressene nederst i elva. Stasjonen var i drift fra 1962 til 1971. Men *”Hydrologisk avdeling anser ikke merket som særlig egnet som grunnlag for pålitelige beregninger av vassføringen. Dette skyldes de ustabile grunnforhold som hersker på denne elvestrekning og som medfører en konstant fare for endring av vassføringskurven”* (Brev fra NVE til Berdal i 1973).

Største vannføringsmåling (måling i felt hvor en finner sammenhengen mellom vannstand og vannføring) ved stasjonen er på 267 m³/s, nøyaktig det samme som midlere flomvannføring. Det antas derfor at stasjonen gir en rimelig god ide om størrelsen av midlere flom i nedre del av Lærdalsvassdraget før regulering. Registreringene stanset under vårflommen i 1971, Lærdal sentrum stod da under vann og stasjonen ble ødelagt.

Lenger opp i hovedelva finner en stasjonen 73.2 Stuvane (990.7 km²). Stasjonen ble opprettet i forbindelse med byggingen av Stuvane kraftverk, og ligger rett nedstrøms dette. Stasjonen Stuvane het tidligere Båthøl. Største vannføringsmåling er 194 m³/s. På NVE's database er det tilgjengelig data for denne stasjonen fra 1988.

73.1 Lo bru (560 km²) har vært i drift siden 1916. Det er en del problemer med is ved stasjonen vinterstid, slik at vinterdataene er dårlige. Det er flere kurveperioder ved stasjonen, noe som tyder på at profilet ikke er stabilt. Største vannføringsmåling innen de ulike kurveperiodene varierer fra 63 % til 104 % av midlere flom (160 m³/s). Siste vannføringsmåling under flom ble utført i 1973.

Ved analysene av flomforholdene i vassdraget er den offisielle vannføringen ved Lo bru under flommen i 1971 endret. I NVE's database er vannføringen oppgitt til 181 m³/s den 1 juni 1971. I henhold til lokale kilder var 1971-flommen vesentlig større enn den i 1972 (pers. meddelt under oppstartsmøte i Lærdal mars 2000). Flommen i 1972 var opp mot 190 m³/s.

Ved gjennomgang av diverse arkivmateriale viser det seg at limnigrafen ved Lo bru ble revet bort av flom den 30 mai i 1971. Og i vannstandsbooken for stasjonen er det notert en kulminasjon den 30/5-71 på 4.93 m. Det tilsvarer en vannføring på ca. 330 m³/s. I de etterfølgende analyser er det derfor antatt at flommen i 1971 kulminerte med et døgnmiddel på 300 m³/s.

73.4 Sælthun (787 km²) ble opprettet i 1961. Største vannføringsmåling er på hele 235 m³/s, eller 109 % av midlere uregulert flom (215 m³/s). Vannføringsmålingene ved denne stasjonen er gjennomført i perioden 1961-74.

73.9 Nivla (165.6 km²) ble opprettet i 1961 og var i drift til 1990. Stasjonen ligger nedstrøms inntakene i Nivla, slik at vannføringen er betydelig redusert etter regulering. Største vannføringsmåling 26 m³/s tilsvarer kun 40 % av midlere uregulert flom. De fleste vannføringsmålingene er utført i perioden 1961-69. Denne elven er kjent for å være masseførende, som betyr at bestemmende profil for målestasjonen sannsynligvis ikke er stabilt. Flomvannføringene ved denne stasjonen antas derfor å være usikre.

Som en oppsummering kan en konkludere med at i Lærdalsvassdraget gir 57 år med uregulerte observasjoner ved Lo bru et relativt godt grunnlag for å bestemme flomforholdene i vassdraget før regulering. Etter regulering (1974) har det imidlertid vært få kontrollmålinger av vannføring ved

målestasjonene i vassdraget, med unntak av den nye stasjonen 73.2 Stuvane. I et vassdrag med mye massetransport og ustabile profiler tilsier det at flomverdiene etter regulering er usikre.

Målestasjoner i nabovassdrag

For å vurdere flomverdiene i Lærdalsvassdraget er disse sammenlignet med verdier fra andre nærliggende vassdrag. Stasjonen Hølen i Kinsø vassdraget peker seg ut som mest representativ, men også data fra Brekke bru i Flåmselva og Bulken i Vossovassdraget er benyttet.

Stasjonen 50.1 Hølen ligger i Kinsøvassdraget. Stasjonen har kontinuerlige data fra 1923. Største vannføringsmåling ved stasjonen er 98 m³/s, eller 131 % av midlere flom. Dette må sies å være bra. Stasjonen ligger i overkant av en fossenakke og skal ha et stabilt profil. Rett oppstrøms ligger et elvekraftverk, men dette antas ikke å ha betydning for flomforholdene i vassdraget. Som i Lærdalsvassdraget er vårflommer klart dominerende i Kinsøvassdraget.

Stasjonen 62.5 Bulken ligger i utløpet av Vangsvatnet i Vossovassdraget. Stasjonen har kontinuerlige data fra 1892. Det er ingen regulering av betydning oppstrøms denne stasjonen. I 1991 ble imidlertid utløpsprofilet i Vangsvatnet senket for å redusere vannstanden i vannet under flom. Naturlig flomdemping i vannet er derfor redusert. For vurdering av flomforhold er derfor kun data til og med 1990 analysert.

I Vossovassdraget opptrer flommer i større grad også høst og vinter, ikke bare om våren. For sammenligning med Lærdalsvassdraget er derfor kun vårflommer (1/5 – 31/7) ved Bulken analysert. Største vannføringsmåling ved denne stasjonen ble gjort i 1910 med 368 m³/s, eller nesten 30 % over midlere vårflom. Og så sent som i 1997 er det også gjort vannføringsmålinger opp mot midlere flomvannføring. Bulken antas derfor å være en god stasjon for sammenligning av flomverdier over lang tid.

Stasjonen 72.5 Brekke bru ligger i Flåmselva. Her har en målinger tilbake til 1908, men gjeldende vannføringskurve går ikke lenger tilbake enn til 1939. Største vannføringsmåling er fra 1914 med 81 m³/s og tilsvarer 86 % av midlere vårflom. Siste vannføringsmåling ved relativt stor vannføring var i 1956 med 78 m³/s. Også for denne stasjonen synes derfor flomverdiene å være usikre. Også i Flåmselva er flommer til andre tider enn våren og forsommeren relativt hyppig forekommende. Derfor er kun vårflommer (1/5-31/7) ved Brekke bru analysert.

4. FLOMANALYSER

De største flommene i Lærdalsvassdraget opptrer i hovedsak i mai og juni. Enkelte år har det vært flommer også senere på sommeren og høsten. Men vårflokk har vært klart dominerende i vassdraget både før og etter regulering.

I et regulert vassdrag er det problematisk å utføre "korrekte" flomfrekvensanalyser. Flomstørrelsene vil være avhengig av både naturlige flomvannføringer og reguleringens innvirkning på flomforholdene. Reguleringene i Lærdalsvassdraget har imidlertid medført en betydelig reduksjon av midlere flomvannføring i hovedelva. Men ved økende flomstørrelser vil reguleringens flomdempende effekt avta.

Midlere flom før regulering

For bestemmelse av midlere flom før regulering benyttes observasjonene ved Skjærbrui sammen med øvrige observasjoner i både Lærdalsvassdraget og nabovassdrag. Av tabell 4 ser en at 9 år med data (1962-70) gir en midlere uregulert flom ved Skjærbrui på 267 m³/s. Data fra både nabovassdrag og Lærdalsvassdraget viser imidlertid at perioden 1962-70 gir for lav middelflom.

Tabell 4

Midlere flom for ulike perioder i Lærdalsvassdraget og noen nabovassdrag.

*Flommen ved Lo bru i 1971 er endret (se kapittel 3).

Stasjon	Periode	Q _M m ³ /s	q _M l/s km ²
50.1 Hølen	1923-99	75	328
	1923-72	73	319
	1962-70	66	288
62.5 Bulken	1892-1990	284	258
	1916-72	277	251
	1962-70	265	240
72.5 Brekke bru	1939-99	94	355
	1939-72	85	322
	1962-70	144	257
73.1 Lo Bru	1916-72*	162	289
	1962-70	122	218
	1962-70*	144	257
73.3 Skjærbrui	1962-70	267	237
73.4 Sælthun	1962-72	215	273
73.9 Nivla	1962-72	66	399

I henhold til dataene fra Lo bru oppskaleres derfor midlere uregulert flom ved Skjærbrui med drøyt 30 %, dvs fra 267 til 355 m³/s. Det tilsvarer en avrenning pr arealenhet på 315 l/s km². I forhold til langtidsmidler fra nabovassdrag er det en del større enn for Bulken (258 l/s km²) og noe mindre enn for Hølen og Brekke bru (328 og 355 l/s km²). Beregnet midlere uregulert flom for Lærdalselva synes derfor å være rimelig. Det må likevel antas å være en usikkerhet på minst 10 % i den beregnede middelveidien.

Det er verdt å merke seg at beregnet spesifikk midlere flom (avrenning pr arealenhet) er høyere for Skjærsbrui enn ved Lo bru, 315 l/s km^2 mot 289 l/s km^2 . I mange vassdrag er det motsatt. Avrenningsintensiteten avtar jo lenger ned i vassdraget en kommer. Dette kan forklares ved at flommene i sidevassdrag som for eksempel Nivla er svært intense (middelflom omkring 400 l/s km^2). Dessuten viser observasjoner fra de ulike målepunktene i Lærdalsvassdraget at en ofte har flommer til samme tid i de ulike grenene av vassdraget. Dette skyldes blant annet at store deler av vassdraget ligger innenfor det samme høydeintervallet (se figur 2).

10 – 500 års flom før regulering

For bestemmelse av flommer med større gjentakintervall er det utført frekvensanalyser på flomdata fra både Lærdalsvassdraget og nabovassdrag (figur 4 og 5). I tillegg er regionale flomfrekvenskurver vurdert (Sælthun 1997 og Wingård 1978). For hver av de analyserte seriene er resultatet fra den statistiske fordelingsfunksjonen som synes å være best tilpasset de observerte flommene gjengitt i tabell 5.

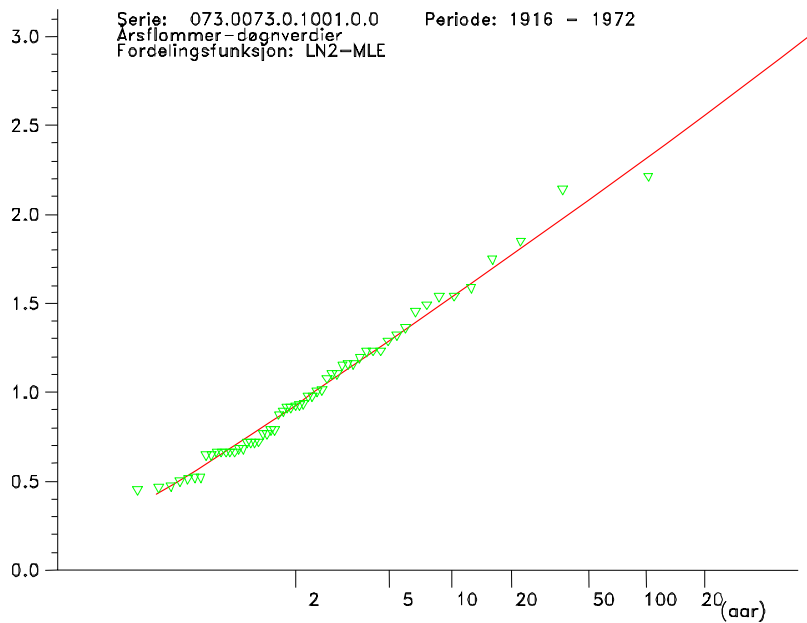
Et gjennomgående trekk er at dataene fra Lærdalsvassdraget gir høyere forholdstall enn de øvrige seriene. Stasjonene Sælthun og Nivla har få observasjonsår og tillegges mindre vekt. For Lo bru har en 57 år med data. Korrekasjonen av flomverdien for Lo bru i 1971 (se side 9) medfører at frekvenskurvene blir en anelse brattere, for eksempel øker forholdstallet mellom en 200-års flom og en middelflom fra 2.50 til 2.55.

Sannsynligvis er flomverdiene ved Bulken og Hølen mer pålitelige enn de ved Lo bru. Dette skyldes ikke minst at profilene ved disse stasjonene antas å være mer stabile enn i Lærdalselva. De regionale kurvene gir forholdstall som ligger mellom de fra Lo bru og de fra nabovassdrag. Videre i analysene benyttes forholdstall som er i overensstemmelse med de regionale flomfrekvenskurvene.

Tabell 5

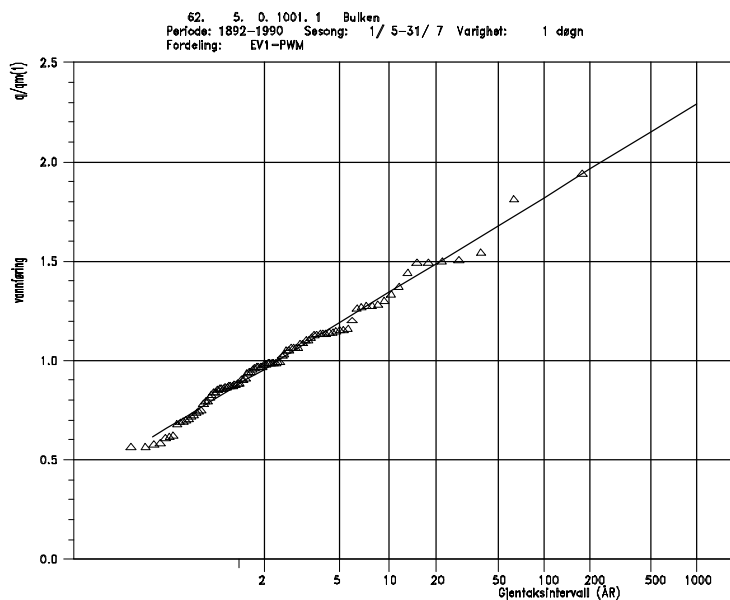
Flomfrekvensanalyse for Lærdalsvassdraget før regulering, årsflommer.

Stasjon	Antall år	Fordelings- funksjon	Q_M m^3/s	q_M l/s km^2	Q_{10} $/ Q_M$	Q_{20} $/ Q_M$	Q_{50} $/ Q_M$	Q_{100} $/ Q_M$	Q_{200} $/ Q_M$	Q_{500} $/ Q_M$
73.1 Lo bru	57	Ln2	162	289	1.53	1.77	2.08	2.31	2.55	2.88
73.4 Sælthun	11	Ev1	215	273	1.44	1.63	-	-	-	-
73.9 Nivla	11	Ln2	66	399	1.53	1.75	-	-	-	-
50.1 Hølen	77	Gev	75	328	1.34	1.50	1.72	1.88	2.05	2.28
62.5 Bulken	99	Ev1	284	258	1.34	1.49	1.68	1.82	1.96	2.15
72.5 Brekke bru	59	Wak	94	355	1.33	1.46	1.63	1.74	1.85	1.99
Regionale kurver "V1- 1978 "					-	-	-	2,0	2.25	2.5
Regionale kurver "Vår 1 – 1997 "					1.4	1.65	1.85	2.1	2.3	2.5
Valgte verdier Lærdalselva					1.4	1.65	1.85	2.1	2.3	2.5



Figur 4

Flomfrekvensanalyse for målestasjonen 73.1 Lo bru i Lærdalselva for perioden 1916-72. X-aksen gir gjentaksintervall og Y-aksen observert flom relativt til middelflommen. Kurven viser tilpasning av ln2-fordelingen til de observerte flommene.



Figur 5

Flomfrekvensanalyse for målestasjonen 62.5 Bulken i Vossovassdraget for perioden 1892-1990. X-aksen gir gjentaksintervall og Y-aksen observert flom relativt til middelflommen. Kurven viser tilpasning av Ev1-fordelingen til de observerte flommene.

Flomverdiene for Lærdalselva ved utløp i fjorden er funnet ved å arealskalere verdiene fra Skjærbrui. Nedbørfeltet til Skjærbrui utgjør 95 % av vassdragets totale areal. Differansen mellom vannføringen ved Lærdalselvas utløp og ved Skjærbrui er fordelt forholdmessig mellom de to største bekkene som renner ut i Lærdalselva nedstrøms Skjærbrui. Feilen en gjør ved en slik enkel skalering er mye mindre enn usikkerheten i datagrunnlaget. Alle flomverdiene, bortsett fra for middelflommen og verdiene for de to bekkene, er avrundet til nærmeste 10 m³/s (tabell 6). Avrundingene medfører at beregnede vannføringer i bekkene Ofta og Åsaelvi blir de samme ved for eksempel 20 og 100 års flom i hovedelva.

Tabell 6

Flomstørrelser i Lærdalselva fra Skjærbrui til utløpet.

Sted i vassdraget	Q _M m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₂₀ m ³ /s	Q ₅₀ m ³ /s	Q ₁₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₅₀₀ m ³ /s
Skjærbrui	355	500	590	660	750	820	890
Ofta	12	12	18	18	18	23	23
Åsaelvi	8	8	12	12	12	17	17
Lærdalselva ved utløp	375	520	620	690	780	860	930

Reguleringens virkning på flomforholdene

Omkring 216 km² av Lærdalselvas nedbørfelt drenerer til magasinene Kvevatni, Øljustjøen, Eldrevatn, Store og Lille Juklevatn og Sulevatn. Midlere flom over et døgn er anslått til å ligge mellom 350 og 480 l/s km² (ref. NVE 08 – 1994). Hvis en antar at magasinene har kapasitet til å lagre alt tilsig ved midlere flom tilsvarer det en reduksjon i vannføring nederst i vassdraget på 75 – 105 m³/s. Hvis en i tillegg antar at det pumpes 13 m³/s til Øljustjøen av vannet som tas inn fra Nivla, Dilma m.fl. reduseres flommen i hovedvassdraget ytterligere. Ut fra dette antas 90 – 120 m³/s å være den maksimale flomdempning en har i vassdraget ved midlere flom.

Frekvensanalyse av regulerte vannføringer

I Lærdalsvassdraget har en opp til 25 år (1975-99) med vannføringsdata etter regulering. Det er gjennomført frekvensanalyser på disse dataene, men det er få år for fastsettelse av sjeldne flommer. Ikke i alle år etter regulering er årets største vannføring så stor at den kan kalles for flomvannføring. For eksempel var største vannføring ved Lo bru i 1991 under 50 m³/s. For analyse av flommer etter regulering er det derfor valgt å se på de 25 største flommene i perioden 1975-99, dvs like mange som observasjonsperiodens lengde i år. For å unngå avhengighet mellom flommene er det en tidsforskjell på minst en måned mellom to flomtopper som er tatt med i analysen.

Ved flomanalysene er det antatt at kraftverkene i vassdraget har gått med full kapasitet under flommene. Det betyr at for 73.1 Lo bru og 73.4 Sælthun (kun etter 1988 da Stuvane kraftverk ble satt i drift) er de observerte flomvannføringene økt med 26 m³/s.

På NVE's database er det kun 2 år (1996-97) med data fra disse kraftverkene. I 1996 var det ikke flom i vassdraget. Men 2 juli 1997 var vannføringen ved Lo Bru 134 m³/s, samtidig gikk Borgund og Stuvane kraftverk for full kapasitet, 26 m³/s.

Stasjonen 73.2 Stuvane ligger nedstrøms utløpet av Stuvane kraftverk. Ved denne stasjonen har en data for årene 1988 – 98.

Stasjonen 73.9 Nivla ligger nedstrøms inntakene i denne elven. Øvre deler av Nivla blir overført til inntaksmagasinet for Borgund kraftverk, Vassetvatn, eventuelt pumpet til Øljusjøen. Tunnelen har en kapasitet på 30-40 m³/s. Flomvannføringene i Nivla er blitt redusert både på grunn av fraføring av vann og magasinering av vann i Kvevotni.

Resultatene av analysene er gitt i tabell 7. Disse viser at midlere flom er blitt vesentlig redusert i forhold til det uregulerte vassdraget. For de tre målestasjonene 73.1 Lo bru, 73.4 Sælthun og 73.9 Nivla gir observasjonene en reduksjon på 30 – 60 m³/s. For Stuvane har en ingen referanseperiode fra før regulering.

Tabell 7

Flomfrekvensanalyse for Lærdalsvassdraget etter regulering, årsflommer

Stasjon	Antall år	Fordelings-funksjon	Q _M m ³ /s	Q ₁₀ m ³ /s	Q ₇₀ m ³ /s
73.1 Lo bru	25	Ln2	129	152	160
73.4 Sælthun	24	Ln2	160	209	229
73.2 Stuvane	11	Ln2	188	245	267
73.9 Nivla	16	EV1	30	43	49

Data fra uregulerte nabovassdrag viser imidlertid at perioden 1975-99 har vært preget av relativt store flommer. Stasjonene 50.1 Hølen, 62.5 Bulken og 72.5 Brekke bru gir alle midlere flom for perioden 1975-99 som er ca. 10 % høyere enn beregnede langtidsmidler. Ut fra dette er anslagsvis midlere flom ved Lo Bru redusert med 40 - 50 m³/s, ved Sælthun 80 – 120 m³/s og ved Nivla 40 – 60 m³/s som følge av kraftutbyggingen i vassdraget. At beregnet flomreduksjon er vesentlig større ved Sælthun enn ved Lo bru skyldes først og fremst usikkerhet i dataunderlaget.

Flomreduksjon i Nivla synes realistisk forutsatt at inntakene i Nivla sluker 30 – 40 m³/s (kapasiteten på tunnelen fra Nivla, Dilma m.fl.) og lokaltilsiget (ca.15 m³/s) til Kvevotni magasineres. Det vil og bety at vannet i Dilma under flom renner forbi inntaket og videre ned i Lærdalselva.

Data fra stasjonene Lo bru og Nivla gir i sum en flomreduksjon på 80 – 110 m³/s nederst i vassdraget. Mens benyttes stasjonene Sælthun og Nivla øker flomreduksjonen til 120 – 180 m³/s. Flommen i Lærdalselva ved Sælthun kan imidlertid ikke reduseres mer enn hva som slukes av inntakene i Dilma i tillegg til det som er redusert ved Lo bru. Beregnet reduksjonen ved Sælthun synes derfor å være for stor når en og tar hensyn til observasjonene i Nivla.

Middelflom for Stuvane etter regulering er 188 m³/s (1988-98). Tar en hensyn til at også denne perioden har hatt overvekt av store flommer i nabovassdrag, er sannsynligvis 170 m³/s et bedre estimat av midlere flom ved Stuvane etter regulering. Hvis en samtidig antar en avrenning på 400 l/s km² for nedbørfeltet mellom Stuvane og Skjærbrui, gir det en middelflom ved Skjærbrui etter regulering på ca. 225 m³/s. I forhold til uregulerte forhold gir det en flomreduksjon på 130 m³/s.

Hvis magasinene og overføringssystemet hadde hatt uendelig kapasitet, ville flomdempningen blitt større ved økende flommer. Men etter hvert vil magasinene fylles, tunnelenes kapasitet nåes og en får overløp i ulike deler av reguleringsystemet.

Likevel viser frekvensanalyse av observasjonene fra Lærdalsvassdraget etter regulering tegn til økende flomdempning også for mer sjeldne flommer. For eksempel gir data for Lo bru en 10-års flom som er ca. 100 m³/s mindre enn det som er beregnet for uregulerte forhold. Det skulle tilsi at magasinene i vassdraget har en betydelig flomdempende effekt også ved relativt store flommer. Men når en tar

hensyn til den usikkerhet en har i dataunderlaget er det likevel valgt å ikke øke flomreduksjonen i vassdraget for mer sjeldne flommer.

Ut fra diskusjonene over kan en fastslå at reduksjonen av midlere flom nederst i Lærdalselva som følge av reguleringene er mellom 80 og 180 m³/s. Dataunderlaget spriker en del, både pga usikkerhet i målinger, skaleringer og korte dataserier. I de videre beregningene antas 120 m³/s å være det beste estimatet for flomreduksjon ved midlere, 10-års og 20-års flom. For større flommer er reduksjonen angitt etter beste skjønn (tabell 8).

Tabell 8

Flomverdier ved stasjonen 73.2 Skjærbrui, nederst i Lærdalselva. Det er døgnverdier som er gitt. Bortsett fra for middelflom er alle verdier rundet av til nærmeste 10 m³/s.

	Før regulering m ³ /s	Etter regulering m ³ /s	Flomreduksjon m ³ /s
Q _M	355	235	120
Q ₁₀	500	380	120
Q ₂₀	590	470	120
Q ₅₀	660	570	90
Q ₁₀₀	750	700	50
Q ₂₀₀	820	800	20
Q ₅₀₀	890	890	0

Kulminasjonsverdier

Vannføringene som er analysert foran er døgnverdier. Kulminasjonsverdiene vil imidlertid være en del høyere. For å vurdere dette er en del gamle limnigrafskjemaer og vannstandsboker for vannmerkene 73. 1 Lo bru, 73.3 Skjærbrui, 73.4 Sælthun og 73.9 Nivla gjennomgått. Spesielt er det forsøkt funnet utfyllende opplysninger om flommene i 1968, 1971 og 1972.

Den største registrerte flommen ved Skjærbrui er registrert 3 juli 1968. Dvs flommene i 1971 og 1972 var større, men vannføringskurven gjelder ikke lenger enn til starten på 1971-flommen. Ved flommen i 1971 var det ingen av limnigrafene i hovedvassdraget som "overlevde". Ved for eksempel Lo bru ble som før nevnt limnigrafen revet bort av flom 30 mai.

I 1968 var kulminasjonsverdien omkring 4 % større enn beregnet døgnmiddel ved Skjærbrui. Samtidig kulminerte Nivla med en vannføring som var ca. 30 % høyere enn døgnmiddelet, ved Sælthun var det en forskjell på omkring 10 %.

I henhold til observatørens notater kulminerte både flommen i 1971 og 1972 ved Sælthun ca. 30 % over døgnmiddelet, mens kulminasjonen i Nivla var 10 - 15 % høyere. I 1968 var tilsvarende tall ca. 10 % for Sælthun og 30 % for Nivla.

Observasjonene ved Lo bru antyder noe lavere forholdstall. Ca. 6 % i 1972. I 1971 får man et forholdstall på over 80 %. Dette er ikke korrekt, og skyldes uoverensstemmelse mellom verdiene som er lagt inn på HYDAG og notater (I. Hagen , NVE) i vannstandsboken for Lo bru. Opplysningene i vannstandsboken stemmer best overens med observasjonene ellers i vassdraget.

I ”Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag” (Sælthun 1997) er det gitt regresjonsligninger for beregning av forholdet mellom momentanflom og døgnmiddelflom. I henhold til disse ligningene får en et forholdstall på ca. 1.13 for Lærdalsvassdraget (areal 1126,6 km², effektiv sjøprosent – ca. 0.3).

Ut fra opplysningene over antas momentanflommen nederst i vassdraget å være 15 % større enn døgnmiddelet. Ved bruk av momentanverdier antas at flomreduksjonen i vassdraget øker tilsvarende. Det betyr at for flommer opp til 20-års flom øker flomreduksjonen fra 120 m³/s til 140 m³/s (tabell 9).

Tabell 9

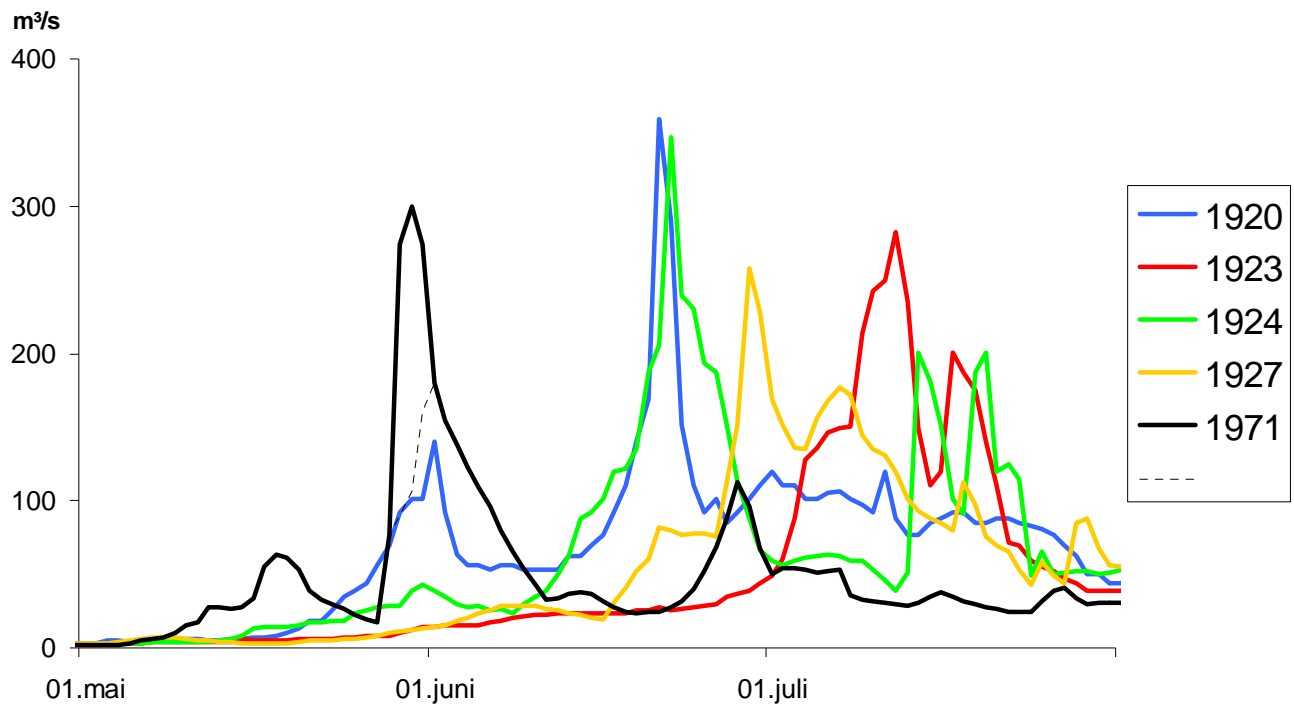
Flomverdier ved Skjærsbrui, nederst i Lærdalselva, kulminasjonsverdier. Alle verdier er rundet av til nærmeste 10 m³/s.

	Momentan- flom før regulering m ³ /s	Momentan- flom etter regulering m ³ /s	Reduksjon av momentanverdi m ³ /s
Q _M	410	270	140
Q ₁₀	570	430	140
Q ₂₀	670	530	140
Q ₅₀	760	660	100
Q ₁₀₀	860	800	60
Q ₂₀₀	940	920	20
Q ₅₀₀	1020	1020	0

5. OBSERVERTE FLOMMER

I figur 6 er de fem største flommene som er registrert ved stasjonen 73.1 Lo bru siden 1916 vist. Alle disse flommene har forekommet fra slutten av mai til midten av juli.

Flommene i 1920 og 1924 er de største med vannføringer på 350 – 360 m³/s. Ut i fra analysene som er gjort i denne rapporten hadde de et gjentaksintervall på 100 – 200 år. Mens flommen i 1971 har et gjentaksintervall på omkring 50 år.



Figur 6

De fem største observerte flommene i Lærdalselva ved målestasjonen 73.1 Lo bru fra 1916-1999.

Hvor stor var 1971-flommen nederst i Lærdalselva? Som før nevnt ble limnigrafen ved Skjærbrui ødelagt under denne flommen. Observatøren gjorde imidlertid notater av vannstand under flommen. Men flommen førte og til profilendringer ved stasjonen, slik at vannføringskurven ikke var gyldig da flommen kulminerte. Sannsynligvis førte flommen til utgraving med den følge at vannstanden ble lavere enn den ellers ville vært. De noterte vannstandene medfører dermed at 1971 - flommen må ha vært minst 430 – 450 m³/s ved Skjærbrui.

Ut fra observasjonene ved Sælthun, Lo bru og i Nivla er det sannsynlig at 1971 – flommen ved Skjærbrui var større. Sannsynligvis et sted mellom 480 og 660 m³/s. Det tilsvarer en uregulert flom i vassdraget med 10 – 50 års gjentaksintervall.

6. USIKKERHET

Selv om en har en god del data i Lærdalsvassdraget er det likevel en betydelig usikkerhet i de beregnede flomverdiene. Dette skyldes flere forhold. For det første usikkerhet i overgangen fra observert vannstand til vannføring. Vannstandene omregnes ut fra en vannføringskurve til vannføringsverdier. Vannføringskurven er basert på et antall samtidige observasjoner av vannstand og målinger av vannføring i elven. Men disse direkte målinger er ikke utført på ekstreme flommer. De største flomvannføringene er altså beregnet ut fra et ekstrapolert samband mellom vannstander og vannføringer, dvs. også "observerte" flomvannføringer kan derfor inneholde en stor grad av usikkerhet. For eksempel for stasjonen 73.2 Lo bru er høyeste vannføringsmåling 160 m³/s, samtidig er høyeste "observerte" flom nær 360 m³/s. Dessuten vil ofte profilene i et masseførende vassdrag som Lærdalselva være ustabile, slik at forholdet mellom vannstand og vannføring endrer seg over tid.

En annen faktor som fører til usikkerhet i data, er at Hydrologisk avdelings database er basert på døgnmiddelverdier knyttet til kalenderdøgn. I prinsippet er alle flomvannføringer derfor noe underestimerte, fordi høyeste 24-timersmiddel alltid vil være mer eller mindre større enn høyeste kalenderdøgnmiddel.

I tillegg er de eldste dataene i databasen basert på en daglig observasjon av vannstand inntil registrerende utstyr ble tatt i bruk. Disse daglige vannstandsavlesninger betraktes å representere et døgnmiddel, men kan selvfølgelig avvike i større eller mindre grad fra det reelle døgnmidlet.

Data med fin tidsoppløsning finnes ikke for Lærdalsvassdraget bortsett fra om en "dykker" i arkivet og studerer gamle limnigrafiskjemaer. Det er til en viss grad gjort, men det har ikke vært mulig å utføre flomberegninger direkte på kulminasjonsvannføringer.

Dernest har en et begrenset antall år (9 år) med observasjoner fra den nedre del av vassdraget hvor flomsonekartet skal konstrueres for.

For nedre del av vassdraget er det anslått en usikkerhet i beregnet middelflom på minst 10 %. I tillegg kommer usikkerhet knyttet til frekvensfordeling, forholdet mellom momentanverdier og døgnmidler og hvor stor flomdependende virkning reguleringene i vassdraget har. Det betyr at en må regne med at det er en usikkerhet på minst 20 % i de beregnede flomverdiene.

Å kvantifisere usikkerhet i hydrologiske data er vanskelig. Det er mange faktorer som spiller inn. Hvis usikkerheten i disse beregningene skal klassifiseres i en skala fra 1 til 3, hvor 1 tilsvarer beste klasse, vil resultatene fra Lærdalselva gis klasse 2.

Referanser

Sælthun, N. R. 1997: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport nr. 14-97, NVE.

Wingård, B. 1978: Regional flomfrekvensanalyse for norske vassdrag. Rapport nr. 2-78, NVE

Petterson, L.E. 1994: Flomberegninger for Lærdalsvassdraget. Rapport nr 08-94, NVE.

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

Utgitt i Dokumentserien i 2000

- Nr. 1 Rune V. Engeset (red.): NOSIT - utvikling av NVEs operasjonelle snøinformasjonstjeneste (77 s)
- Nr. 2 Inger Sætrang (red.): Statistikk over overføringstariffer (nettleie) i Regional- og distribusjonsnettene 2000 (55 s.)
- Nr. 3 Bjarne Kjølmoen, Hans Christian Olsen og Roger Sværd: Langfjordjøkelen i Vest-Finnmark
Glasiøhydrologiske undersøkelser (56 s.)
- Nr. 4 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Otta og Gudbrandsdalslågen
- Flomsonekartprosjektet (40 s.)
- Nr. 5 Erik Holmqvist: Flomberegning for Trysilvassdraget, Nybergsund (311.Z)
- Flomsonekartprosjektet (20 s.)
- Nr. 6 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Jølstra - Flomsonekartprosjektet (30 s.)
- Nr. 7 Arne Hamarsland og Tore Olav Sandnæs: Vassdragsforvaltning i Japan - hva kan vi lære? (30 s.)
- Nr. 8 Inger Sætrang: Oversikt over vedtak. Tariffer og vilkår for overføring av kraft i 1999 (12 s.)
- Nr. 9 Turid-Anne Drageset: Flomberegning for Daleelva i Høyanger (079.Z) - Flomsonekartprosjektet
(28 s.)
- Nr. 10 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Glommavassdraget oppstrøms Vormå (002.E-T)
Flomsonekartprosjektet (46 s.)
- Nr. 11 Henriette Hansen, Lars Roald: Flomsonekartprosjektet. Ekstremvannsanalyse i sjø ved utvalgte
stasjoner (39 s.)
- Nr. 12 Arne Hamarsland: Biotiltak for laks og ørret i British Columbia og Washington (21 s.)
- Nr. 13 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Saltdalsvassdraget (163.Z)
Flomsonekartprosjektet (25 s.)
- Nr. 14 Miriam Jackson: Svartisen Subglacial Laboratory (27 s.)
- Nr. 15 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Gaulavassdraget (122.Z)
Flomsonekartprosjektet (22 s.)
- Nr. 16 Lars-Evan Pettersson: Flomberegning for Tokkeåi ved Dalen (016.BD-BL)
Flomsonekartprosjektet (20 s.)
- Nr. 17 Stein Beldring: Real time updating of hydrological forecasting models
Methods and information sources (37 s.)
- Nr. 18 Eli Sæterdal (red.): Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke-levert energi (KILE)
Sammenfatning av høringsuttalelser, NVEs kommentarer til høringsuttalelsene
og endring av forskrift om kontroll av nettvirksomheten. (30 s.)
- Nr. 19 Arne Hamarsland, Jan Henning L'Abée-Lund: Vassdragsforvaltning i Nord-England og Skottland
- en reise ti år fram i tid (19 s.)
- Nr. 20 Erik Holmqvist: Flomberegning for Lærdalsvassdraget - Flomsonekartprosjektet (20 s.)