Beregning av kapasitetskurver for Øyeren ved Mørkfoss

Demissew Kebede Ejigu
Erik Holmqvist

64
2012

RAPPORT

Beregning av kapasitetskurver for Øyeren ved Mørkfoss

Demissew Kebede Ejigu

Erik Holmqvist

Norges vassdrags- og energidirektorat
2012

Rapport nr. 64

Beregning av kapasitetskurver for Øyeren ved Mørkfoss

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Demissew Kebede Ejigu og Erik Holmqvist

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 30
Forsidefoto: Kart utsnitt for strekning mellom Mørkfoss og Solbergfoss
ISSN: 1501-2832
ISBN: 978-82-410-0852-8

Sammendrag: Bestemmelse av kapasitetskurve for Øyeren ved Mørkfoss. Denne er basert på hydraulisk modellering for strekning mellom Mørkfoss og Solbergfoss og gjeldende vannføringskurver for Solbergfoss kraftverk

Emneord: Hydraulisk modellering, Mørkfoss, Øyeren, Solbergfoss, kapasitetskurve

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

Telefon: 0 95 75
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

November 2012

Innhold

Forord 4

Sammendrag 5

1 Bakgrunn og målsetning 6

1.1 Bakgrunn 6
1.2 Målsetning 7

2 Metode og databehov 12

2.1 Hydrologisk data 12
2.1.1 Kalibreringsvannføringer 13
2.2 Forutsetning for beregning av vannføring 14
2.2.1 Kapasitet valse- og segmentluker Solbergfoss 14
2.2.2 Driftsvannføringer Solbergfoss kraftverk 14
2.2.3 Beregning av vannføringer for modell 15
2.3 Kalibreringsdata 15
2.4 Topografiske data 18
2.4.1 Målemetoder 18
2.4.2 Tverrprofiler 18

3 Hydraulisk modellering 20

3.1 Modelloppsett 20
3.2 Grensebetingelser 20
3.2.1 Grensebetingelser for kalibrering 20
3.2.2 Grensebetingelser for beregning av kapasitetskurvene 20
3.3 Kalibrering av modellen 21
3.4 Beregningsresultater 24
3.4.1 Kapasitetskurve for alternativ-1 25
3.4.2 Kapasitetskurve for alternativ-2 27
3.4.3 Kapasitetskurve for alternativ-3 28
3.4.4 Overvannstand Solbergfoss, virkning på vannstand ved Mørkfoss? 29
3.4.5 Endring av vannstand Solbergfoss og Mørkfoss ved flom som i 1995 30

4 Referanser 31

5 Vedlegg 31

5.1 Beregnende vannføringene til modellen for Alternativ-1 31
5.2 Beregnende vannføringene til modellen for Alternativ-2 31
5.3 Beregnende vannføringene til modellen for Alternativ-3 31
5.4 Brev, kapasitetskurve Mørkfoss under flom 31

Forord

Hovedformålet med rapporten er å presentere resultater fra NVEs arbeid med bestemmelse av kapasitetskurver for Øyeren ved Mørkfoss. Det er utarbeidet tre forskjellige kapasitetskurver avhengig av driftsvannføringen gjennom Solbergfoss kraftverk. Rapporten presenterer bakgrunn for prosjektet, den hydrauliske modelleringen av området fra Mørkfoss/Øyeren til Solbergfoss kraftverk og kalibrering og resultater ved bruk av modellen.

E-CO Energi AS, GLB og NVE, ble i møte den 11.05.2012 enige om at ut fra dagens kunnskap, er kapasitetskurvene som er presentert i denne rapporten, de beste vi har for Øyeren ved Mørkfoss under flom.

Prosjektet er gjennomført av Demissew Kebede Ejigu og Erik Holmqvist. Kvalitetssikring av de hydrauliske beregningene er utført av Péter Borsányi, alle fra seksjon for vannbalanse (HV), hydrologisk avdeling.

Prosjektet ble ledet av Demissew Kebede Ejigu som har skrevet rapporten i samarbeid med Erik Holmqvist.

Vi takker GLB, E-CO ENERGI AS, NVE-RØ og NVE-RS som har vært viktige og gode støttespillere til bestemmelse av nye kapasitetskurver for Øyeren ved Mørkfoss.

Oslo, november 2012

Morten Johnsrud
Avdelingsdirektør

Sverre Husebye
seksjonssjef

Sammendrag

I forbindelse med flomsonekartlegging for Lillestrøm, Fetsund, Sørum og Årnes kommuner har NVE gjort vannlinjeberegning for strekning mellom Funnefoss kraftverk og Mørkfoss ved utløpet av Øyeren. Det er satt opp tre separate (ikke-stasjonær) vannlinjemodeller for hele strekningen. I den første 21km strekningen i Glomma fra Funnefoss kraftverk til Rånåsfoss kraftverk. I den andre 5 km strekningen i Glomma fra Rånåsfoss kraftverk til Bingsfoss kraftverk. I den tredje 42 km strekningen i Glomma fra Bingsfoss kraftverk til Mørkfoss ved utløpet av Øyeren.

I den siste nevnte modellen er observert vannstand ved Mørkfoss benyttet som nedre grensebetingelse for å kalibrere modellen. Modellen er kalibrert for flommer på nivå med flommen i 1995 og antas å være av god kvalitet.

For å beregne flomvannstandene ut over 1995-nivå er det nødvendig å etablere en kapasitetskurve for Øyeren ved Mørkfoss. Denne er basert på hydraulisk modellering for strekningen mellom Mørkfoss og Solbergfoss og gjeldende kapasitetskurver/ vannføringskurver for Solbergfoss kraftverk.

Det er gjennomført en omfattende kartlegging av dybdeforholdene mellom Øyeren ved Mørkfoss og Solbergfoss kraftverk av NVE høsten 2011. Dette ble utført for å få en best mulig beskrivelse av de hydrauliske forholdene, for blant annet å kunne beskrive fallet mellom Mørkfoss og Solbergfoss på en god måte.

Kapasitetskurvene for Øyeren ved Mørkfoss er basert på følgende tre alternativer:

Alternativ I – normal drift av Solbergfoss kraftverk.

Alternativ II – ett kraftverk i drift ved Solbergfoss.

Alternativ III – ingen av kraftverkene ved Solbergfoss i drift.

1 Bakgrunn og målsetning

1.1 Bakgrunn

Det ble i 2004 og 2005 utarbeidet flomsonekart for blant annet Fetsund og Lillestrøm /10/ og /11/. For Fetsund ble det benyttet en hydraulisk modell som omfattet Glomma ned til innløpet i Øyeren, og for Lillestrøm ble avgrensningen gjort ved Svellet, den nordvestlige delen av Øyeren. Videre ble det forutsatt stasjonære forhold.

Det er i ettertid reist spørsmål om det i 2004/2005 ble tatt tilstrekkelig hensyn til vannstandsstigningen i Øyeren ved beregningene av flomvannstander for Fetsund og Lillestrøm.

Både økt erfaring med hydraulisk modellering og økt regnekapasitet har gjort det mulig å gjennomføre mer detaljerte hydrauliske modelleringer enn tidligere. Det er nå blant annet benyttet dynamiske flomforløp både ved kalibrering av modellene og beregning av vannstander ved ulike flomstørrelser.

I rapporten for ajourføring av flomsonekart for Lillestrøm og Fetsund (under arbeid) /14/ er detaljer fra vannlinjeberegningene for strekningen fra Bingsfoss kraftverk, som ligger i Glomma oppstrøms Øyeren, til Mørkfoss ved utløpet av Øyeren gitt, se figur 1.1. I dette arbeidet ble det kalibrert en modell med utgangspunkt i blant annet observasjoner fra flommene i 1995 og 2008. Ved kalibreringen er observerte vannstander ved Mørkfoss benyttet som nedre grensebetingelse. Ut fra dette ble det etablert en ny vannføringskurve for Mørkfoss for vannføringer opp til 1995-nivå. Denne kurven omtales senere som BMM-kurven (Bingsfoss til Mørkfoss Modellen). Ved bruk av denne kurven, som nedre grensebetingelse ved Mørkfoss, ble modellen kjørt om igjen for flommene i 1995 og 2008. Resultatet viser at det er godt overensstemmelse mellom simulerte og observerte verdier, se også tabell 1.1 og 1.2.

BMM-kurven for Mørkfoss avviker en del fra tidligere kurver som vi har fått oversendt fra GLB (figur 1.2), men for vannføringer omkring 1995-nivå gir de ulike kurvene omtrent samme vannstand/ vannføring.

Ved flommen i 1995 var maksimal vannstand i Øyeren ved Mørkfoss 104,39 moh. Vannføringen ut av Øyeren var da i underkant av 3600 m3/s, eller mellom en 50- og 100-årsflom. For å beregne vannstander ved større flommer, er det nødvendig å ekstrapolere kapasitetskurven for Mørkfoss.

Etter flommen i 1995, ble det foretatt en ombygging av flomavledningsorganene ved Solbergfoss. Tidligere ble omløpstunnelen både benyttet og regnet med som en del av dammens flomavledning. Det var stor usikkerhet knyttet til manøvreringen av denne tunnelen, og den ble støpt igjen og erstattet av en segmentluke i 1999.

Det ble derfor også stilt spørsmål om ombyggingen av flomløpene ved Solbergfoss har endret avløpskapasiteten fra Øyeren? Videre om dette fullt ut var tatt hensyn til både i de tidligere vannføringskurvene for Mørkfoss fra GLB og ved flomsonekartleggingen i 2004/2005?

I forbindelse med denne ombyggingen av flomløpene ved Solbergfoss, ble det i 1996 gjennomført hydrauliske beregninger /7/ for å vurdere avløpskapasiteten ved Mørkfoss. Også

data fra disse beregningene avviker noe fra kapasitetskurvene fra GLB som er benyttet de senere årene.

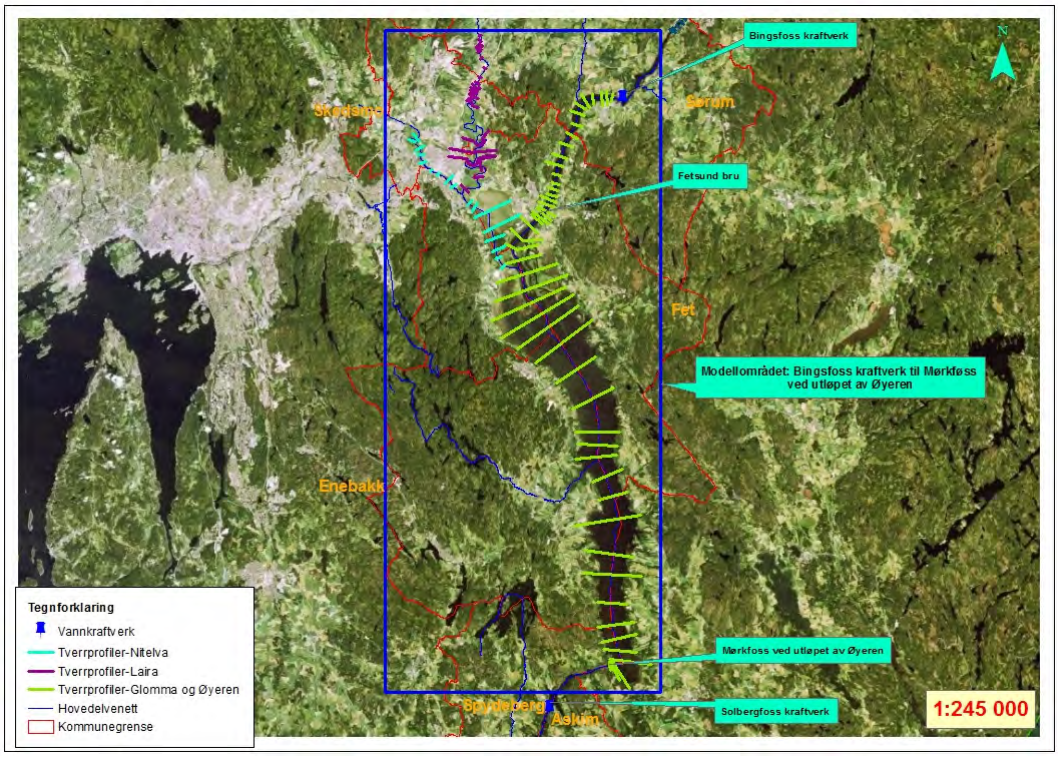
1.2 Målsetning

Med utgangspunkt i ovennevnte ble det definert følgende resultatmål for prosjektet:

- Å sjekke om vannstanden/flomavledningskapasiteten ved Solbergfoss påvirker vannstanden ved Mørkfoss/Øyeren og videre oppover Glomma til Bingsfoss.
- Å vurdere om ombyggingen av flomløpene ved Solbergfoss har hatt noen virkning på avløpskapasiteten ved Mørkfoss.
- Å etablere nye kapasitetskurver under flom for Mørkfoss/Øyeren som er basert på driftsvannføringer og vannføringer gjennom flomløpene ved Solbergfoss kraftverk, også for vannføringer utover 1995-nivå.
- Å sammenligne kapasitetskurvene mot BMM-kurven for Mørkfoss som ble etablert i forbindelse med utarbeiding av den hydrauliske modellen fra Bingsfoss til Mørkfoss.
- Å sammenligne kapasitetskurvene mot tidligere kapasitetskurve som ble beregnet i forbindelse med ombygging av flomløpene /7/.

Denne rapporten beskriver arbeidet som er utført på den 4-5 km lange strekningen fra Solbergfoss kraftverk til utløpet av Øyeren ved Mørkfoss.

Dette arbeidet danner også grunnlag for kontroll av tidligere beregnede flomvannstander i forbindelse med flomsonekartleggingen for Fetsund og Lillestrøm.



Figur 1.1: Oversiktskart over kartlagt område (Modellområdet: Bingsfoss kraftverk til Mørkfoss).

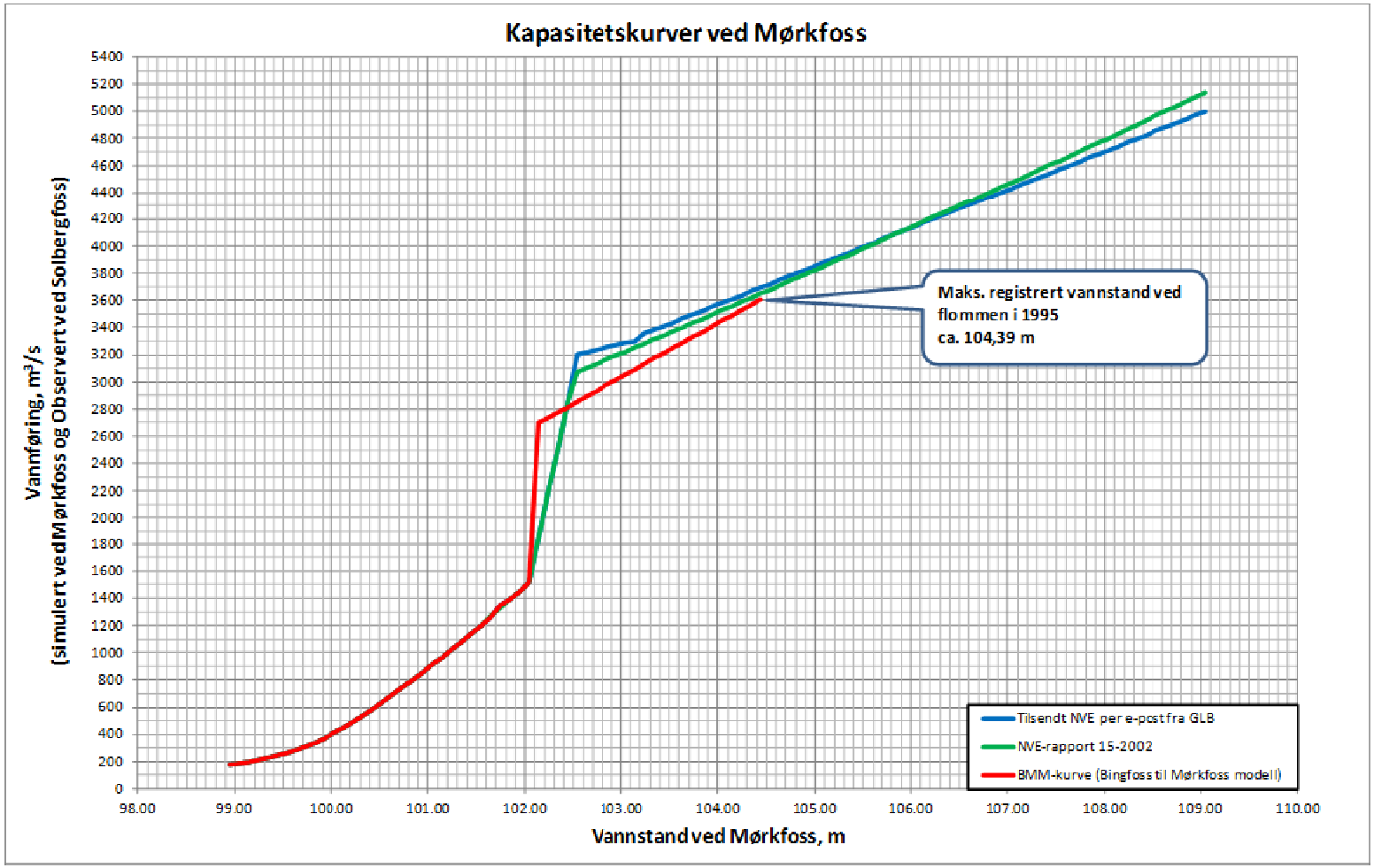
Tabell 1.1 Beregnede og observerte vannstander for Glomma og Øyeren for flommen i 1995 og 2008, BMM-kurve benyttet som grensebetingelse ved Mørkfoss.

Modell: Bingsfoss kraftverk til Mørkfoss ved utløpet av Øyeren								
Dato	Stedsnavn	Mike11 profil nr.		Observerte	Simulerte		Simulerte	Observerte
		oppstrøm	nedstrøm	vannstander	oppstrøm	nedstrøm	gjennomsnitt	minus simulerte
05.06.1995	Fetsund bru	485379		104,72	104,56		104,56	0,16
06.06.1995	Fetsund bru	485379		104,81	104,64		104,64	0,17
06.06.1995	Nordbybruk	491562		104,49	104,50		104,50	-0,01
08.06.1995	Fetsund bru	485379		104,77	104,70		104,70	0,07
08.06.1995	Nordbybruk	491562		104,48	104,56		104,56	-0,08
09.06.1995	Fetsund bru	485379		104,76	104,74		104,74	0,02
12.06.1995	Fetsund bru	485379		104,69	104,69		104,69	0,00
12.06.1995	Nordbybruk	491562		104,40	104,56		104,56	-0,16
12.06.1995	Årnestangen	489708	490709	104,45	104,57	104,57	104.57	-0,12
13.06.1995	Fetsund bru	485379		104,49	104,50		104,53	-0,01
14.06.1995	Fetsund bru	485379		104,19	104,26		104,29	-0,07
14.06.1995	Årnestangen	489708	490709	103,96	104,13	104,12	104.12	-0,16
14.06.1995	Nordbybruk	491562		103,92	104,11		104,11	-0,19
15.06.1995	Fetsund bru	485379		104,05	103,97		103,99	0,08
16.06.1995	Fetsund bru	485379		103,73	103,66		103,68	0,07
21.06.1995	Fetsund bru	485379		102,81	102,56		102,58	0,25
26.06.1995	Fetsund bru	485379		102,53	102,46		102,48	0,07
29.06.1995	Fetsund bru	485379		102,56	102,51		102,54	0,05
19.05.2008	Fetsund	486195	487293	102,32	102,41	102,40	102,40	-0,08
19.05.2008	Gransvika	495014		102,01	102,18		102,18	-0,17
19.05.2008	Saeter	505700	507172	102,06	102,15	102,15	102,15	-0,10
19.05.2008	Sandstange	515808		102,05	102,15		102,15	-0,10
19.05.2008	Mørkfoss	517468		101,99	102,07		102,07	-0,08

Tabell 1.2 Beregnede og observerte vannstander for Nitelva for flommen i 1995 ved Rælingsbrua, BMM-kurve benyttet som grensebetingelse ved Mørkfoss.

Dato	Tid	Mike11 profil nr.	Observerte vannstander	Observert vannstander gjennomsnitt	Simulerte vannstander	Observerte minus simulerte
29.05.1995	08:00	3040	102,110	102,11	102,13	-0,02
30.05.1995	08:00	3040	102,260	102,26	102,36	-0,10
31.05.1995	08:00	3040	102,490	102,49	102,47	0,02
01.06.1995	08:00	3040	102,670	102,67	102,61	0,06
02.06.1995	08:00	3040	102,930	103,05	102,96	0,09
02.06.1995	13:00	3040	103,000			
02.06.1995	19:00	3040	103,090			
02.06.1995	20:30	3040	103,180			
03.06.1995	08:00	3040	103,360	103,48	103,52	-0,04
03.06.1995	13:00	3040	103,440			
03.06.1995	19:00	3040	103,530			
03.06.1995	20:30	3040	103,600			
04.06.1995	08:00	3040	103,810	103,93	104,07	-0,14
04.06.1995	13:00	3040	103,880			
04.06.1995	19:00	3040	103,970			
04.06.1995	20:30	3040	104,050			
05.06.1995	08:00	3040	104,240	104,33	104,40	-0,07
05.06.1995	13:00	3040	104,300			
05.06.1995	19:00	3040	104,380			
05.06.1995	20:30	3040	104,400			
06.06.1995	08:00	3040	104,560	104,56	104,51	0,04
06.06.1995	12:00	3040	104,550			
06.06.1995	13:00	3040	104,560			
06.06.1995	19:00	3040	104,560			
06.06.1995	20:30	3040	104,550			
06.06.1995	21:00	3040	104,550			
07.06.1995	08:00	3040	104,550	104,55	104,53	0,02
07.06.1995	13:00	3040	104,550			
07.06.1995	19:00	3040	104,550			
07.06.1995	20:30	3040	104,550			
08.06.1995	08:00	3040	104,550	104,55	104,57	-0,02
08.06.1995	13:00	3040	104,550			
08.06.1995	19:00	3040	104,550			
08.06.1995	20:30	3040	104,550			
09.06.1995	08:00	3040	104,550	104,55	104,62	-0,07
09.06.1995	13:00	3040	104,550			
09.06.1995	19:00	3040	104,550			
09.06.1995	20:30	3040	104,550			
10.06.1995	08:00	3040	104,560	104,56	104,62	-0,06
10.06.1995	13:00	3040	104,550			
10.06.1995	19:00	3040	104,560			
10.06.1995	20:30	3040	104,580			

11.06.1995	08:00	3040	104,590	104,55	104,67	-0,12
11.06.1995	13:00	3040	104,560			
11.06.1995	19:00	3040	104,540			
11.06.1995	20:30	3040	104,520			
12.06.1995	08:00	3040	104,490	104,46	104,58	-0,11
12.06.1995	13:00	3040	104,450			
12.06.1995	19:00	3040	104,450			
13.06.1995	08:00	3040	104,350	104,30	104,38	-0,08
13.06.1995	13:00	3040	104,250			
14.06.1995	08:00	3040	104,090	104,09	104,13	-0,04
15.06.1995	08:00	3040	103,890	103,88	103,84	0,04
15.06.1995	13:00	3040	103,860			
16.06.1995	08:00	3040	103,600	103,60	103,51	0,09
17.06.1995	08:00	3040	103,250	103,25	103,21	0,04
18.06.1995	08:00	3040	102,970	102,97	102,90	0,07
19.06.1995	08:00	3040	102,800	102,80	102,44	0,36
20.06.1995	08:00	3040	102,640	102,64	102,30	0,34
21.06.1995	08:00	3040	102,590	102,59	102,28	0,31
22.06.1995	08:00	3040	102,550	102,55	102,36	0,19
23.06.1995	08:00	3040	102,460	102,46	102,34	0,12
24.06.1995	08:00	3040	102,390	102,39	102,31	0,08
25.06.1995	08:00	3040	102,360	102,36	102,28	0,08
26.06.1995	08:00	3040	102,320	102,32	102,24	0,08
27.06.1995	08:00	3040	102,270	102,27	102,25	0,02
28.06.1995	08:00	3040	102,220	102,22	102,26	-0,04

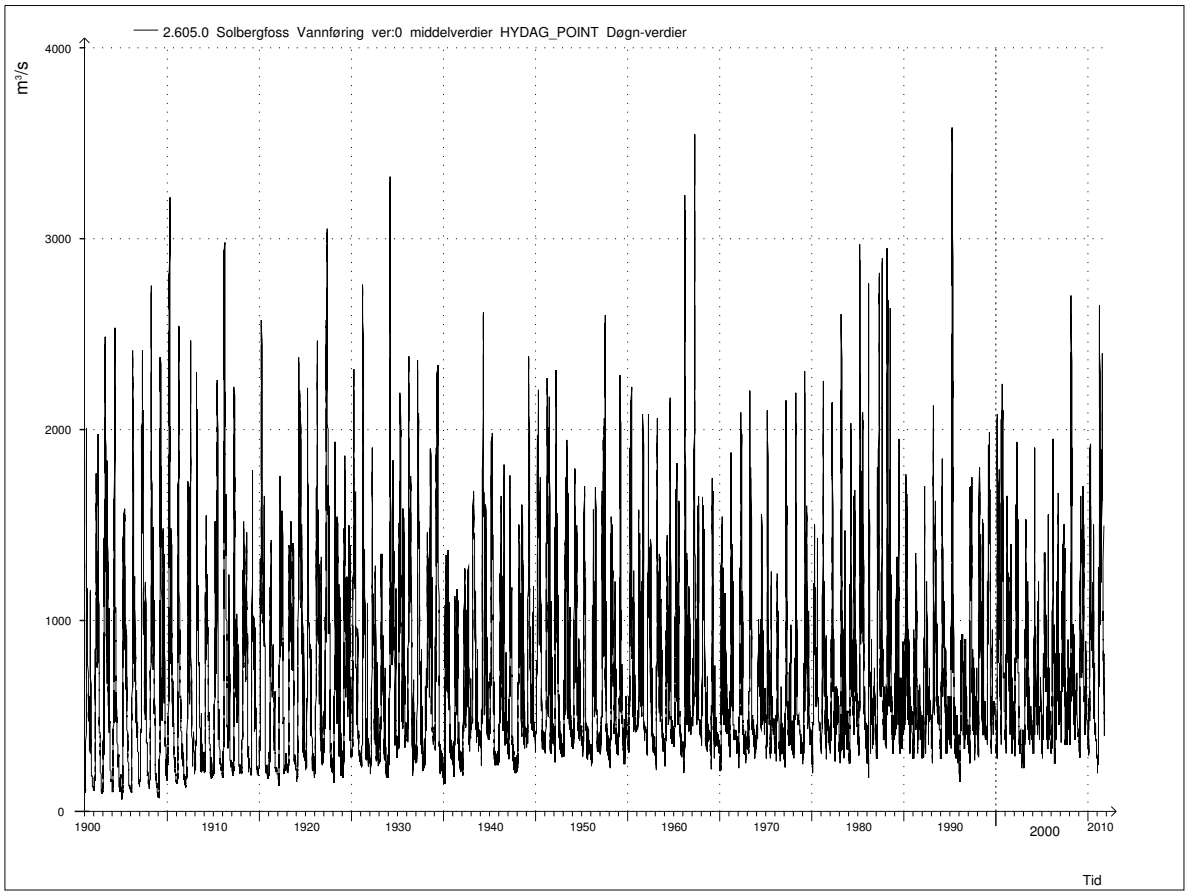


Figu 1.2. Kapasitetskurver for Mørkfoss. Den rød kurven er basert på en hydraulisk beregning av området fra Bingsfoss til Mørkfoss (BMM-kurven). Den blå og grønne kurven er basert på opplysninger fra GLB, den grønne ble benyttet av NVE i 2002 ved utarbeiding av "Flomberegning for Nedre Glomma" i forbindelse med flomsonekartlegging.

2 Metode og databehov

2.1 Hydrologisk data

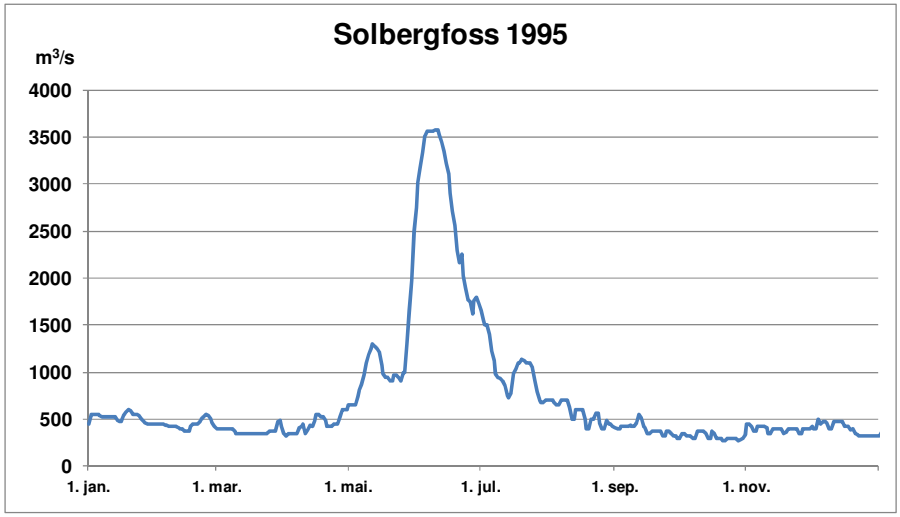
I figur 2.1 er vannføringen ved Solbergfoss fra 1901 til 2011 vist. I 1995 ble det ved Solbergfoss registrert en vannføring på nesten 3600 m^3/s. Dette er den største vannføringen som er registrert her de siste 110 år, den nest største flommen var i 1967, vannføringen var også da mellom 3500 og 3600 m^3/s. I henhold til /6/ hadde begge disse flommene et gjentaksintervall på mellom 50 og 100 år.

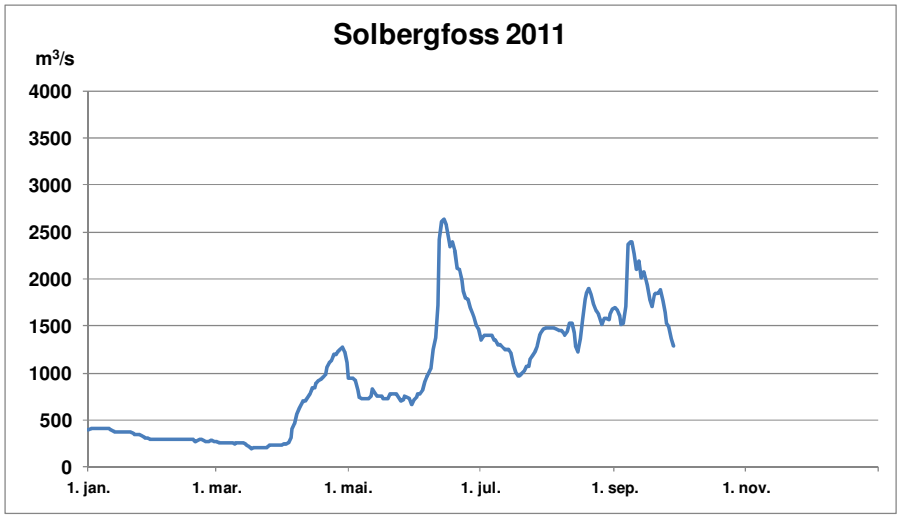


Figur 2.1 Vannføringen ved Solbergfoss fra 1901 – 2011. Frem til og med 1963 er dataene basert på observasjoner ved målestasjonen 2.126 Langnes, som lå litt nedstrøms Solbergfoss.

2.1.1 Kalibreringsvannføringer

Til kalibrering av den hydrauliske modellen er vannføringsdata fra 1995 og 2011 benyttet (figur 2.2). Flommen i 2011 kulminerte med ca. 2650 m^3/s ved Solbergfoss. Dette er den 15. største flommen siden 1901, og den hadde i henhold til /6/ et gjentaksintervall på ca. 5 år.





Figur 2.2. Sum driftsvannføring og vannføring gjennom flomløp ved Solbergfoss kraftverk i årene 1995 og 2011. Data fra GLB.

Ved Mørkfoss har Glomma et nedbørfelt på 40442 km^2 og ved Solbergfoss 40469 km^2. I /6/ er det antatt et tilsig på 12 $l/s \cdot km^2$ for lokalfeltene mellom Solbergfoss og Sarpsfossen ved flom i Glomma. Antas samme bidrag fra det 27 km^2 store lokalfeltet mellom Mørkfoss og Solbergfoss, tilsvarer det en vannføring på 0,3 m^3/s. Det er derfor både ved kalibrering av den hydrauliske modellen og i andre beregninger i denne rapporten antatt at det er samme vannføring ved Solbergfoss og Mørkfoss.

2.2 Forutsetning for beregning av vannføring

Det er utarbeidet tre vannstand-/vannføringskurver for Øyeren ved Mørkfoss. Kurvene er basert på oppgitt lukekapasitet ved Solbergfoss (Q-H) og driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverk.

2.2.1 Kapasitet valse- og segmentluker Solbergfoss

NVE har mottatt formler for å beregne kapasitetene for de tre valselukene og segmentluka ved Solbergfoss kraftverk /12/. Ved fullt åpne luker er:

Q (valseluker) = $\boxed{3}$*20*(1,8*(1+0,01*(H-98,5)))*$(H-93,13)^{3/2}$, tre valseluker

Q(segmentluke) = $\boxed{1}$*15*(1,8*(1+0,01*(H-98,5)))*$(H-93,13)^{3/2}$, en segmentluke

der Q = vannføringen gjennom valseluke eller segmentluke og H = overvannstand.

Valselukene er 20 m brede, og segmentluka 15 m bred. Bunnterskelen for alle lukene er på kote 93,13. I formlene er det tatt hensyn til at konstantleddet i overløpsformlene øker noe med økende vanntrykk. For eksempel blir konstantleddet 1,81 ved en overvannstand på kote 99 og 1,85 ved en overvannstand på kote 101.

Segmentluka har kommet til erstatning for omløpstunnelen som tidligere ble benyttet som flomavledningsorgan. Blant annet under flommen i 1995 ble denne tunnelen benyttet. Det var imidlertid betydelig usikkerhet knyttet til manøvrering av denne omløpstunnelen under flom, og etter gjeldende Damsikkerhetsforskrifter er det heller ikke lengre lov å regne med slike omløpstunneler som en del av dammens flomavledningsorganer. Tunnelen er nå støpt igjen.

2.2.2 Driftsvannføringer Solbergfoss kraftverk

NVE har mottatt oversikt over hvilke driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverk det er rimelig å regne med ved ulike flomvannføringer /13/. Ved normal drift er det antatt at kraftverkene Solbergfoss I og II stanser ved vannføringer på henholdsvis 4000 og 4500 m^3/s, se tabell 2.1. Dette skyldes først og fremst problemer med undervannet, som ved store vannføringer gir fare for vanninntregning i kraftstasjonene.

Av tabell 2.1 ser en og at slukeevnen til kraftverkene går noe ned med økende vannføring. For eksempel reduseres slukeevnen for Solbergfoss II fra 500 til 400 m^3/s når totalvannføringen i vassdraget øker fra ca. 2500 til 4000 m^3/s. Dette skyldes høyere undervannstand, som gir redusert trykkhøyde og dermed redusert slukeevne.

Tabell 2.1 Driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverk under flom.

Sum vannføring (m^3/s) Mørkfoss/Solbergfoss	Solbergfoss I (SI), m^3/s	Solbergfoss II (SII), m^3/s	Sum driftsvannføring (SI+SII), m^3/s
0 - 2500	525	500	1025
2500 - 3000	485	490	975
3000 - 3500	450	450	900
3500 - 4000	375	425	800
4000 - 4500	0	400	400
4500 - 5000	0	0	0

2.2.3 Beregning av vannføringer for modell

Ved bruk av lukeformler og forutsetninger om driftsvannføringer som nevnt over, er det beregnet vannføringer gjennom henholdsvis Solbergfoss kraftverk og valse- og segmentlukene ved forskjellige vannstander for tre forskjellige alternativer, se også vedlegg 5.1-3.

Ved alternativ-1 antas normal drift av kraftverkene. Det vil si at begge kraftverk er i drift opp til 4000 m^3/s, hvor det er antatt at Solbergfoss I stanser. Solbergfoss II er antatt å være i drift opp til 4500 m^3/s.

Ved alternativ-2 er det antatt at Solbergfoss II står, og at Solbergfoss I er i drift opp til 4000 m^3/s. Ved alternativ-3 er det antatt at begge kraftverkene er ute av drift. Tabell 2.2 nedenfor viser driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverk for de tre alternativene.

Dette betyr for eksempel at ved en vannføring ved Mørkfoss på 3450 m^3/s er det i alternativ-1 antatt at 2550 m^3/s avledes gjennom flomluker, mens 900 m^3/s går gjennom kraftverkene. Overvannstanden ved Solbergfoss blir da ca. 100,15 moh (se vedlegg 5.1). Ved alternativ-2, vil tilsvarende 3000 m^3/s avledes gjennom lukene og 450 m^3/s gjennom kraftverk. Overvannstanden ved Solbergfoss blir da ca. 100,9 moh (se vedlegg 5.2). Ved stans på begge kraftverkene, alternativ 3, vil overvannstanden øke til ca. 101,65 (se vedlegg 5.3).

Tabell 2.2 Forventet vannføring gjennom kraftverkene i Solbergfoss under flom ved alternativ-1 (normal drift av kraftverk), alternativ-2 (ett kraftverk i drift) og alternativ-3 (ingen kraftverk i drift).

Sum vannføring (m^3/s) Mørkfoss/Solbergfoss	**Alternativ-1, driftsvannføring (m^3/s) Solbergfoss kraftverk (SI+SII)**	**Alternativ-2, driftsvannføring (m^3/s) Solbergfoss kraftverk (SI)**	**Alternativ-3, driftsvannføring m^3/s) Solbergfoss kraftverk (SI+SII = 0)**
- 2500	1025	525	0
2500 - 3000	975	485	0
3000 - 3500	900	450	0
3500 - 4000	800	375	0
4000 - 4500	400	0	0
➢ 4500	0	0	0

2.3 Kalibreringsdata

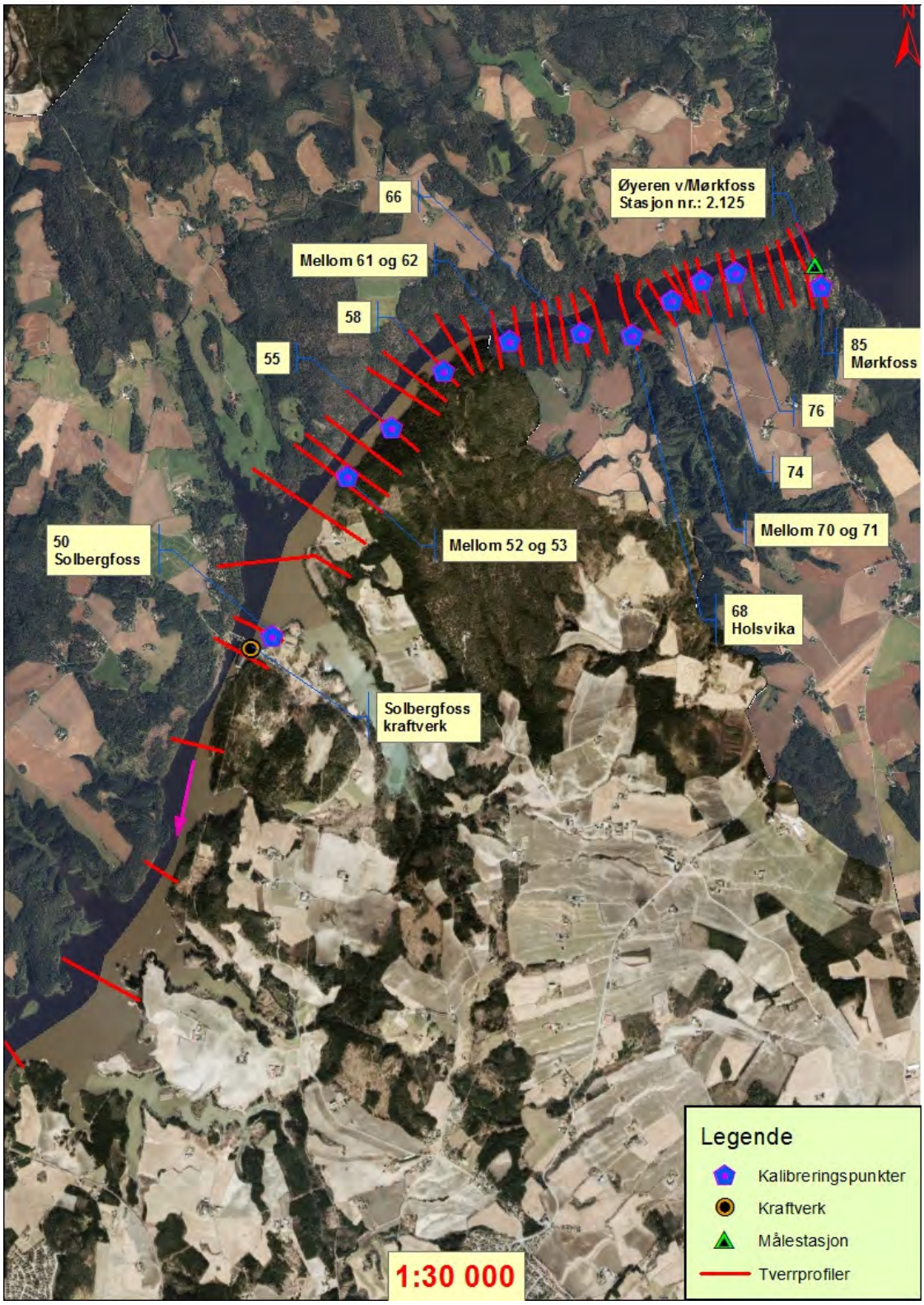
For å kalibrere vannlinjeberegningsmodellen er vi avhengig av samhørende verdier av vannføring og vannstand. Det er benyttet observerte vannstandsdata fra målestasjonen Mørkfoss 2.125 (profil nr. 85) sammen med observert overvannstand og vannføring ved Solbergfoss kraftverk fra årene 1995 og 2011 til å kalibrere modellen. Data fra Solbergfoss er oversendt fra GLB.

I tillegg ble det under flommen i 1995 registrert vannstander på en rekke steder 10. og 15. juni på strekningen mellom Mørkfoss og Solbergfoss, se også figur 2.3. Disse er også benyttet for å kalibrere modellen. Tabell 2.3 viser observerte vannstander og vannføringer ved flommen i 1995 /7/.

Tabell 2.3 Observerte vannstander og vannføringer (Mørkfoss til Solbergfoss).

Profil nr. i HEC-RAS	Observerte vannstander		Observerte vannføringer**	
	10. juni 1995	15. juni 1995	10. juni 1995	15. juni 1995
85	104,38	103,64	3580	3225
76	103,42	102,72	3580	3225
74	103,10	102,40	3580	3225
Mellom 70 og 71	102,65	101,93	3580	3225
68	102,75	101,98	3580	3225
66	101,90	101,35	3580	3225
Mellom 61og 62	101,40	100,70	3580	3225
58	101,14	100,50	3580	3225
55	100,70	100,05	3580	3225
Mellom 52 og 53	100,25	-	3580	3225
50	100,04	99,35	3580	3225

Vannføringene er observert ved Solbergfoss kraftverk



Figur 2.3 Oversiktskart for kalibreringspunkter (Mørkfoss til Solbergfoss)

2.4 Topografiske data

2.4.1 Målemetoder

Det ble kjørt båt med ADCP på strekningen mellom Mørkfoss og Solbergfoss. Elva ble kjørt på langs fire ganger. For hvert strekk måles tre punkter i bredden, slik at man har tolv punkter på tvers av elva. Det er ca. 5 meter avstand mellom målepunktene i lengderetning.

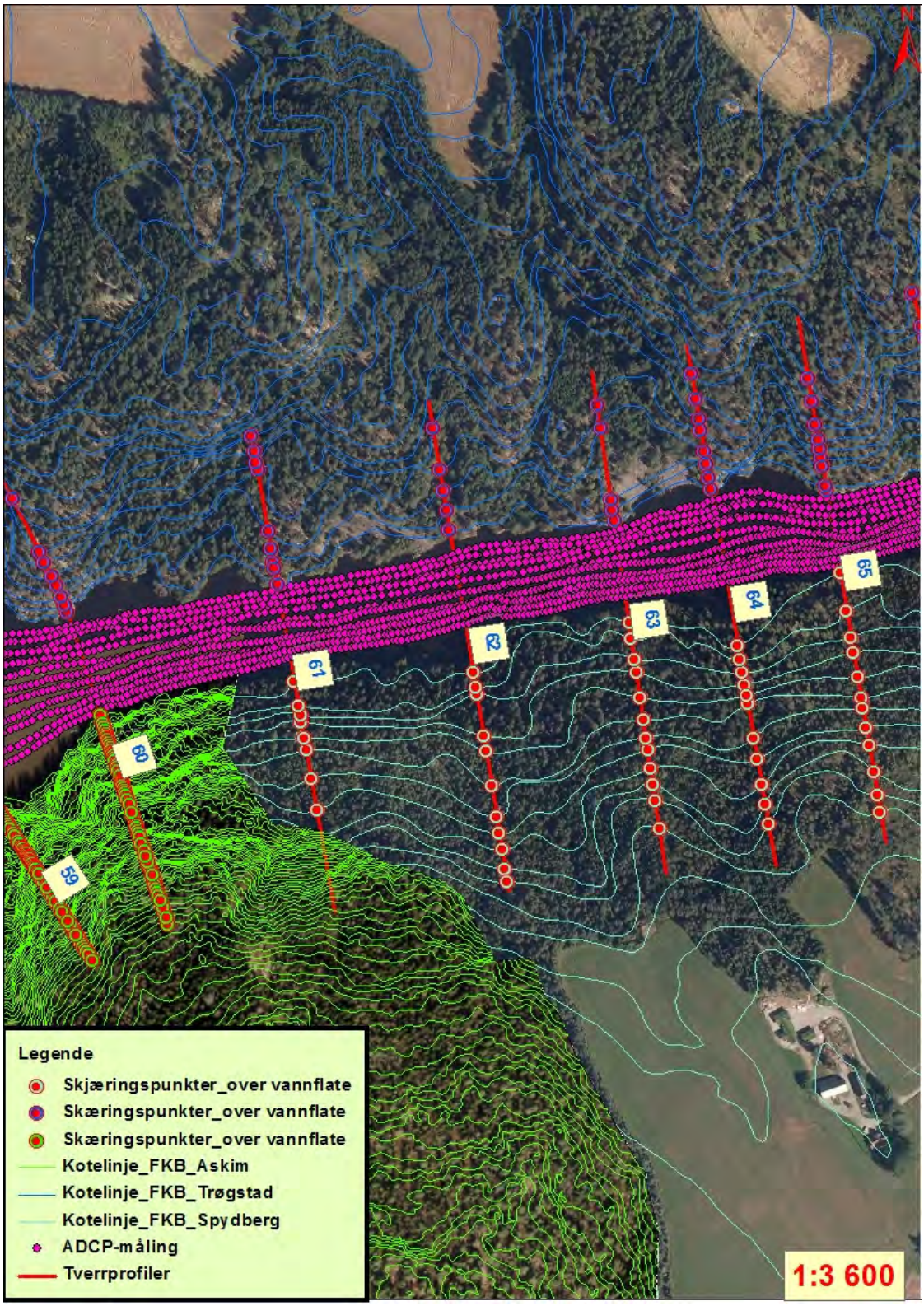
Datagrunnlaget for over vannflaten er kartdata med kotehøyde 1 meter fra digitale terrengdata for Trøgstad, Spydeberg og Askim kommuner. Disse dataene er lastet ned fra Norge Digitalt.

2.4.2 Tverrprofiler

Det er laget tverrprofiler ved å sammenstill informasjon fra digitale terrengdataene og ADCP-målingene ved bruk av ArcMap-verktøy.

Tverrprofilene er valgt ut for å representere de hydrauliske forholdene på strekningen på en best mulig måte. Det betyr for eksempel at det er lagt inn tverrprofiler ved innsnevringer og der bunnhelningen endrer seg. Totalt er det lagt inn 33 tverrprofiler på den ca. 5 km lange strekningen.

Figur 2.4 viser et utsnitt av den kartlagte strekningen med målepunktene under vann og skjæringspunktene fra digitale terrengdata over vannflaten i seks profiler (profil nr. 65 til 60).



Figur 2.4 Utsnitt av den kartlagte strekningen med målepunktene under vann og skjæringspunktene over vannflate.

3 Hydraulisk modellering

3.1 Modelloppsett

Alle beregningene er utført ved hjelp av HEC-RAS 4.1.0. Det er en ikke-stasjonær hydraulisk modell utviklet av US Army Corps of Engineers (HEC-RAS, jan 2010). Modellen er basert på en éndimensjonal hydraulisk strømningsanalyse (Chow, 1988). Modellen kan beregne underkritisk og overkritisk strømning, eller en kombinasjon av disse. Den hydrauliske simuleringsmodellen trenger informasjon om bl.a. terrengdata i form av tverrprofiler, vannføringsdata og kalibreringsdata for å bestemme hydraulisk ruhet fra sammenhørende vannføring/vannstand. Figur 3.1 viser avgrensning av analyseområdet, samt plassering av de benyttede tverrprofilene.

Modeller for vannlinjeberegninger bør omfatte en lengre elvestrekning enn selve prosjektområdet, da nedstrøms grensebetingelse bør ha liten innvirkning på vannføringer og vannstander i området som skal analyseres.

3.2 Grensebetingelser

3.2.1 Grensebetingelser for kalibrering

På oppstrøms side i modellen (ved profil nr. 85) er observerte vannføringsdata ved Solbergfoss kraftverk for 1995 og 2011 benyttet som øvre grensebetingelse. Det er antatt samme vannføring ved Mørkfoss og Solbergfoss i beregningene (se avsnitt 2.1.1).

Ved profil nr. 50 i modellen, rett oppstrøms dammen ved Solbergfoss kraftverk er observerte vannstandsdata (overvann) for 1995 og 2011 benyttet som intern grensebetingelse (internal boundary condition).

Nedstrøms Solbergfoss kraftverk er helningen til elvebunnen (S) ved profil nr. 25 benyttet som nedre grensebetingelse i modellen.

3.2.2 Grensebetingelser for beregning av kapasitetskurvene

På oppstrøms side i modellen (ved profil nr. 85) er beregnet vannføringsdata (vannføringer gjennom flomløp + eventuell driftsvannføring) ved Solbergfoss kraftverk benyttet som øvre grensebetingelse, se også kolonne ”Total vf.” i vedlegg 5.1-3. Også i disse beregningene er det antatt samme vannføring ved Mørkfoss og Solbergfoss (se avsnitt 2.1.1).

Ved profil nr. 50 i modellen, som ligger rett oppstrøms dammen ved Solbergfoss kraftverk, er vannføringen ved ulike vannstander bestemt av kapasitetsformlene for flomløpene og eventuell driftsvannføring gjennom kraftverkene. Dette er benyttet som intern grensebetingelse (internal boundary condition), se også kolonne ”Vst. Solbergfoss” i vedlegg 5.1-3.

Nedstrøms Solbergfoss kraftverk er helningen til elvebunnen (S) ved profil nr. 25 benyttet som nedre grensebetingelse i modellen.

3.3 Kalibrering av modellen

Kalibrering av modellen gir redusert usikkerhet i resultatene. For å kalibrere vannlinjeberegningsmodellen er vi avhengig av samhørende verdier av vannføring og vannstand. Modellkalibreringen er gjort ved tilpasning av ruhetsparametre (hydraulisk ruhet beskriver hvor glatt elvebunnen er). Det er gjennomført en tidkrevende kalibrering med mange variasjoner i hydraulisk ruhet for å få best mulig samsvar mellom beregnede og observerte vannføringer.

I figur 3.2 og 3.3 er observerte og simulerte vannstandsdata for årene 1995 og 2011 vist. Figurene viser at det er svært godt samsvar mellom observerte (rød kurve) og beregnede (blå kurve) vannstander ved Mørkfoss (profil nr. 85) i disse to årene. Den grønne kurven, som viser observert overvannstand ved Solbergfoss kraftverk, er benyttet som intern grensebetingelse.

I både 1995 og 2011 legger en merke til at overvannet ved Solbergfoss synker kraftig samtidig som det er kraftig stigende vannstand ved Mørkfoss. Det skyldes at ved store vannføringer (flom) åpnes lukene ved Solbergfoss, med det resultat at overvannet synker relativt kjapt. I 1995 ser en at det etter noen dager innstilte seg en ny ”stasjonær” situasjon med et høyere overvann igjen. Også i disse situasjonene simulerer den kalibrerte hydrauliske modellen vannstander ved Mørkfoss som er nesten identiske med de som ble observert.

Gjennom disse to årene varierte vannføringen ved Mørkfoss/ Solbergfoss fra i underkant av 300 m^3/s til nesten 3600 m^3/s. Vannstanden ved Mørkfoss varierte fra ca. kote 98,9 til 104,4 eller med ca. 5,5 m, mens overvannet ved Solbergfoss varierte fra ca. kote 98,6 til 101,5 eller med ca. 2,9 m.

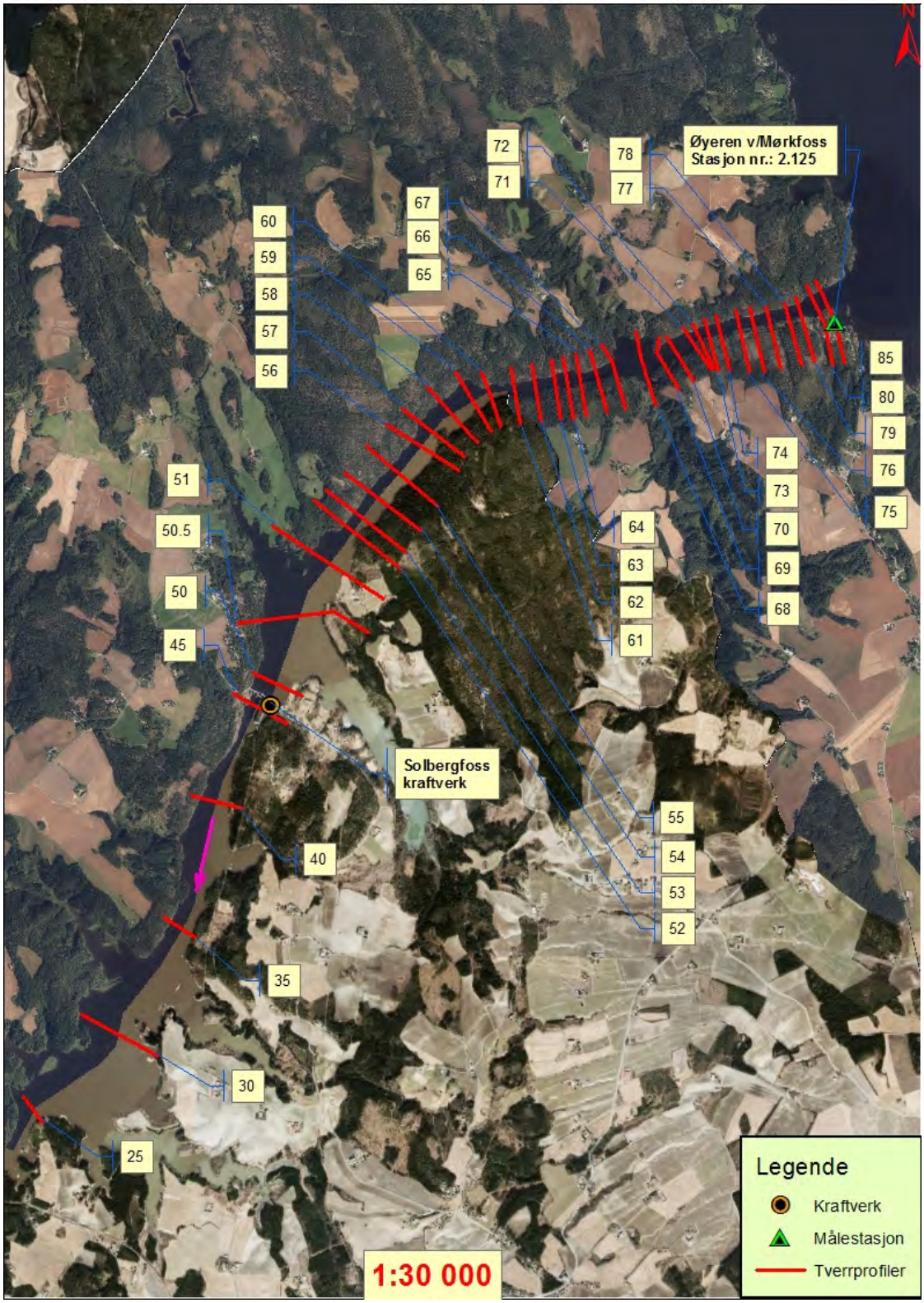
I tillegg er vannstandene ved flommen 10. og 15. juni 1995, som ble registrert på en rekke steder på strekningen mellom Mørkfoss og Solbergfoss, benyttet i kalibreringen. Det er godt samsvar mellom observerte og simulerte verdier også på denne strekningen, se tabell 3.1.

Kvaliteten på de beregnede vannlinjene er totalt sett god. Avvik mellom beregnet og observert vannstand ligger innenfor -0,25 til +0,31 m. Dette kan skyldes både at det var *”urolig vannstand ved registreringen av vannstanden (vannspeilet pendlet ±0,20 m enkelte steder), og stor vannhastighet i hovedstrømmen slik at vannstanden inne i bakevjer og lignende ikke er helt samsvarende. En rygg midt i elveløpet ble registrert flere steder.*”/7/.

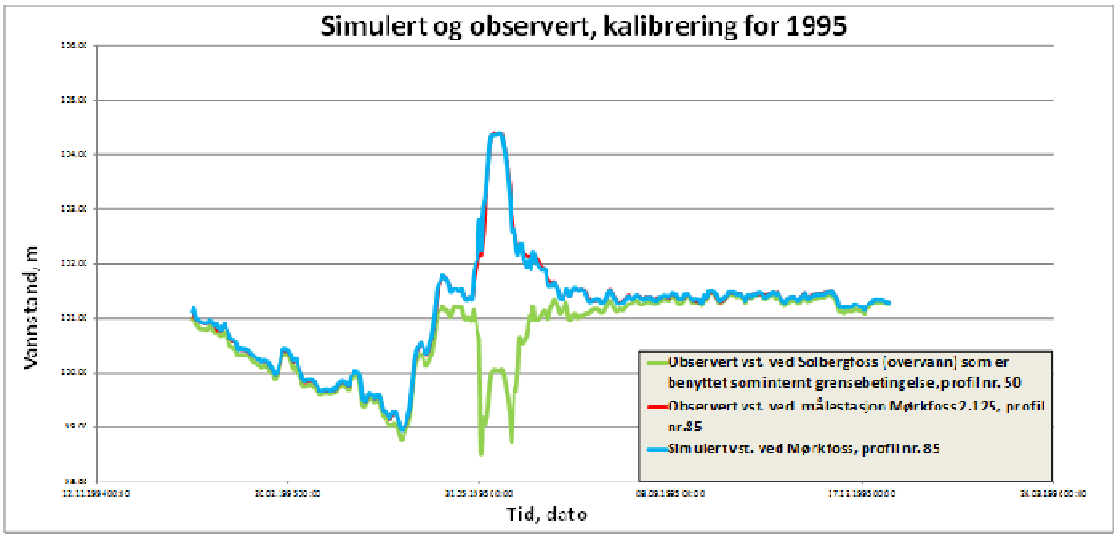
Den hydrauliske modellen er derfor godt tilpasset strekningen fra Solbergfoss til Mørkfoss for vannstander/ vannføringer opp mot ca. 3600 m^3/s. For høyere vannstander/ større vannføringer er det antatt samme ruhet (samme Mannings tall) som for vannføringer omkring 3500 – 3600 m^3/s.

Tabell 3.1. Resultat fra kalibreringen, observer og simulert vannstander langs i strekningen.

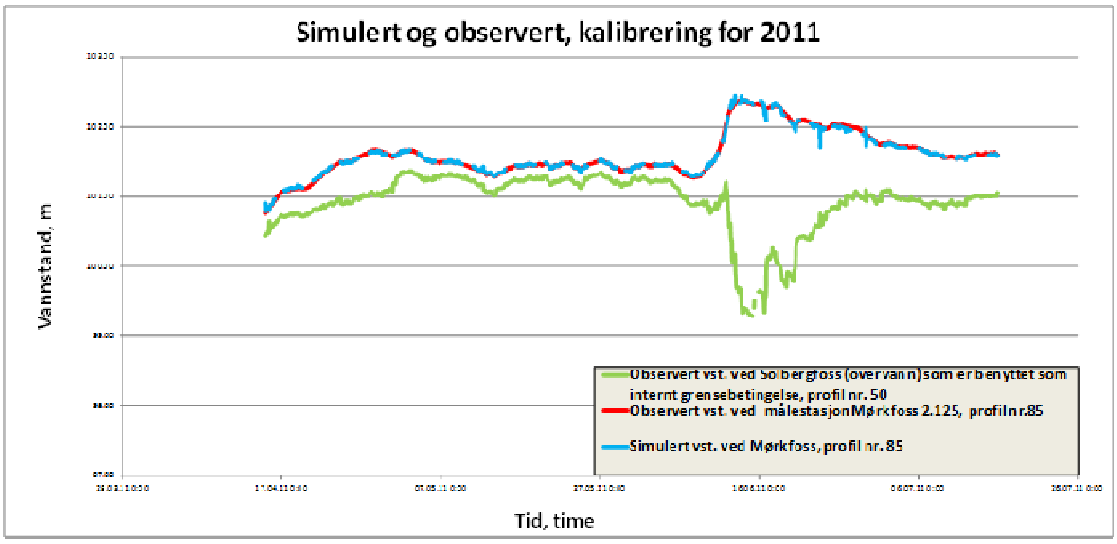
Profil nr. i HEC-RAS	**Observerte vannstander**		**Simulerte vannstander**		**Differanse (observert minus simulert)**	
	10. juni 1995	**15. juni 1995**	**10. juni 1995**	**15. juni 1995**	**10. juni 1995**	**15. juni 1995**
85	104,38	103,64	104,38	103,49	0,00	0,15
76	103,42	102,72	103,36	102,49	0,06	0,23
74	103,10	102,40	103,35	102,51	-0,25	-0,11
Mellom 70 og 71	102,65	101,93	102,80	102,10	-0,15	-0,17
68	102,75	101,98	102,65	102,02	0,10	-0,04
66	101,90	101,35	101,67	101,11	0,23	0,24
Mellom 61og 62	101,40	100,70	101,32	100,68	0,08	0,02
58	101,14	100,50	101,12	100,48	0,02	0,02
55	100,70	100,05	100,39	99,79	0,31	0,26
Mellom 52 og 53	100,25	-	100,23		0,02	
50	100,04	99,35	100,03	99,47	0,01	-0,12



Figur 3.1. Avgrensning av analyseområdet og plassering av benyttede tverrprofiler.



Figur 3.2. Sammenligning mellom observert og simulert vannstand ved målestasjon Mørkfoss 2.125.



Figur 3.3. Sammenligning mellom observert og simulert vannstand ved målestasjon Mørkfoss 2.125.

3.4 Beregningsresultater

For vannføringer opp til 1500 m^3/s (vannstand 102,04 m ved Mørkfoss) er kapasitetskurven basert på data fra GLB for en "normal" driftssituasjon.

For vannføringer fra 1500 – 2680 m^3/s (fra vannstand 102,04 m til 102,14 m) er kapasiteten basert på resultater fra den hydrauliske modellen som strekker seg fra Bingsfoss til Mørkfoss. Denne modellen er blant annet kalibrert mot observasjoner fra flommen i 2008 som var på ca. 2700 m^3/s /14/, se også figur 1.2. Under flommen i 2008 var omløpstunnelen, som ble benyttet under flommen i 1995, støpt igjen og erstattet av en ny segmentluke.

For vannføringer større enn 2680 m^3/s er beregningene utført for følgende tre alternativer:

- Alternativ-1: Normal drift av kraftverk opp til 4000 – 4500 m^3/s.
- Alternativ-2: Et kraftverk i drift opp til 4000 m^3/s.

- Alternativ-3: Ingen kraftverk i drift.

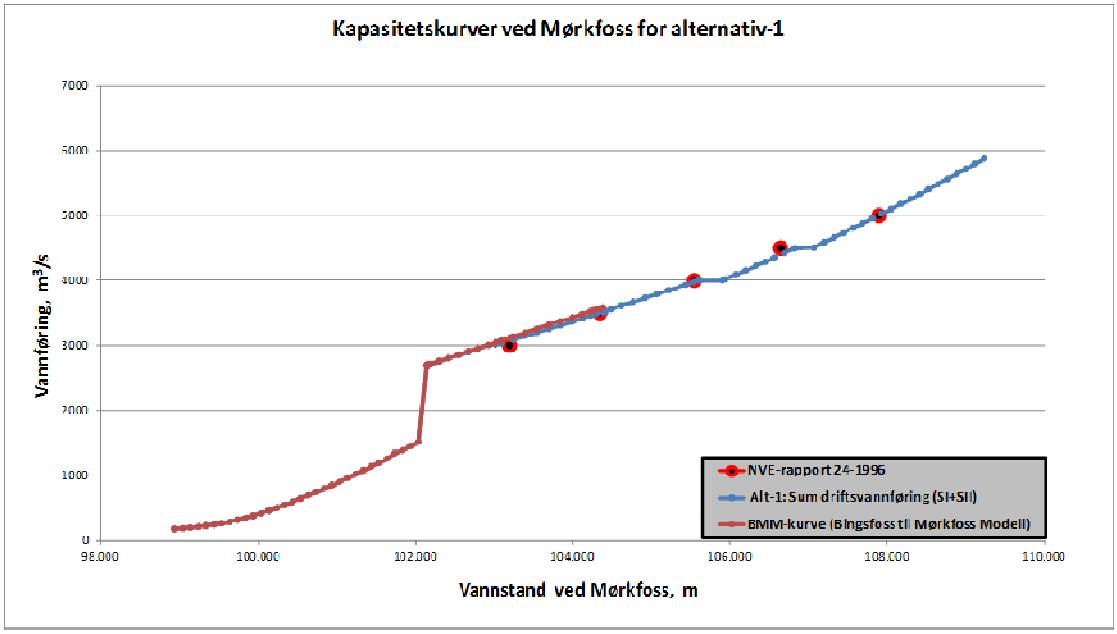
Alternativene er nærmere beskrevet i kapittel 2.2, og i vedlegg 5.1-3 er det gitt detaljerte oversikter over samhørende vannstander/ vannføringer ved Solbergfoss for de ulike alternativene.

3.4.1 Kapasitetskurve for alternativ-1

Basert på forutsetninger i andre kolonne i tabell 2.2 og beregningen vist i vedlegg 5.1 er det utarbeidet kapasitetskurve for Øyeren ved Mørkfoss. Figur 3.4 nedenfor viser kapasitetskurven ved Mørkfoss for alternativ-1(blå kurve) sammen med kapasitetskurven som er basert på en hydraulisk modellering fra Bingsfoss til Mørkfoss (rød kurve). Sirklene viser resultater fra en tidligere hydraulisk beregning som ble utført av Eirik Traae (NVE, RS) i 1996 /7/. Dette ble gjort i forbindelse med ombyggingen av flomavledningsorganene ved Solbergfoss etter 1995-flommen.

Fra dette arbeidet er sammenligningen gjort mot det som i /7/ er omtalt som alternativ IV, det vil si fire åpne luker (tre valseluker og en segmentluke) og drift av kraftverk. I /7/ er det forutsatt en driftsvannføring på 825 m^3/s for vannføringer opp mot 4500 m^3/s og 400 m^3/s for større vannføringer. For vannføringer under 3500 m^3/s er dette noe mindre enn det som er lagt til grunn nå (se tabell 2.2), mens for større vannføringer i vassdraget ble det tidligere antatt noe høyere driftsvannføringer. Dette tatt i betraktning, er det svært god overensstemmelse mellom de hydrauliske beregningene som ble utført i /7/ og de beregningene som er utført i dette prosjektet.

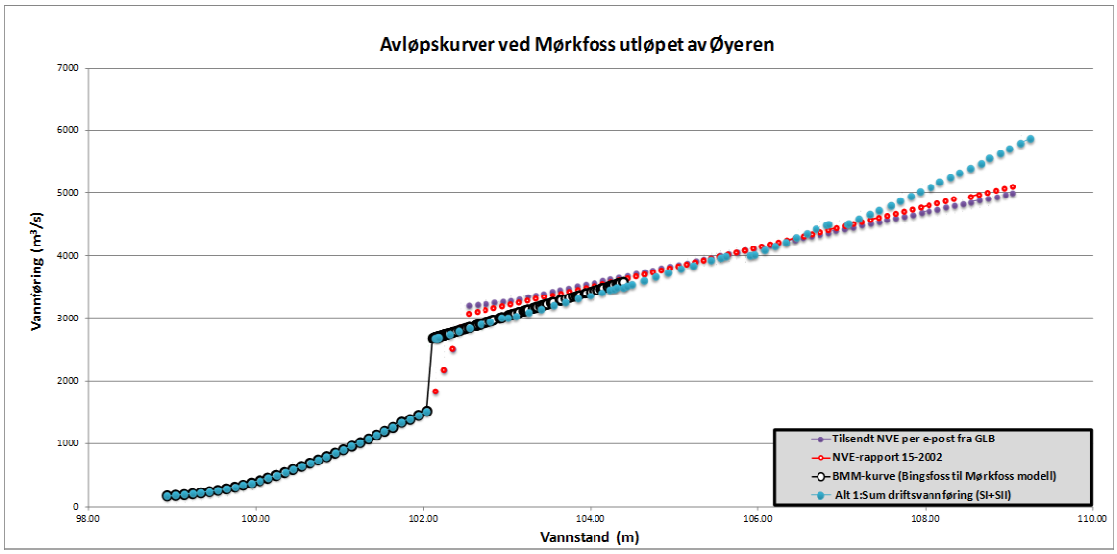
Tabell 3.2 viser samhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss. Kapasitetskurven og samhørende vannstand – vannføring dataene er basert på hydraulisk modelleringer (Mørkfoss til Solbergfoss) med forutsetninger som gitt for alternativ-1.



Figur 3.4 Avløpskurve ved Mørkfoss for alternativ-1 sammen med avløpskurve fra Bingsfoss til Mørkfoss modell (BMM-kurve.)

Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)
102.142	2684	103.698	3255	105.548	3978	107.448	4733
102.153	2689	103.850	3311	105.609	4003	107.570	4806
102.165	2694	104.000	3367	105.910	4005	107.691	4879
102.176	2699	104.122	3415	105.949	4025	107.813	4954
102.186	2703	104.233	3463	106.077	4090	107.934	5028
102.303	2753	104.272	3480	106.206	4157	108.054	5103
102.423	2803	104.315	3500	106.330	4223	108.175	5179
102.549	2853	104.391	3508	106.453	4290	108.296	5255
102.679	2904	104.428	3525	106.576	4358	108.415	5331
102.798	2950	104.491	3555	106.698	4426	108.534	5408
102.932	3002	104.624	3614	106.820	4495	108.653	5485
103.020	3012	104.771	3673	106.832	4502	108.771	5563
103.095	3038	104.920	3733	107.065	4509	108.888	5641
103.247	3092	105.075	3793	107.077	4516	109.006	5720
103.396	3146	105.225	3850	107.202	4588	109.123	5799
103.547	3200	105.441	3934	107.325	4660	109.241	5879

Tabell 3.2 Sanhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss for vannstand over 102,14 m. Dataene er basert på hydrauliske modellering med forutsetninger sim er gitt for alternative-1.

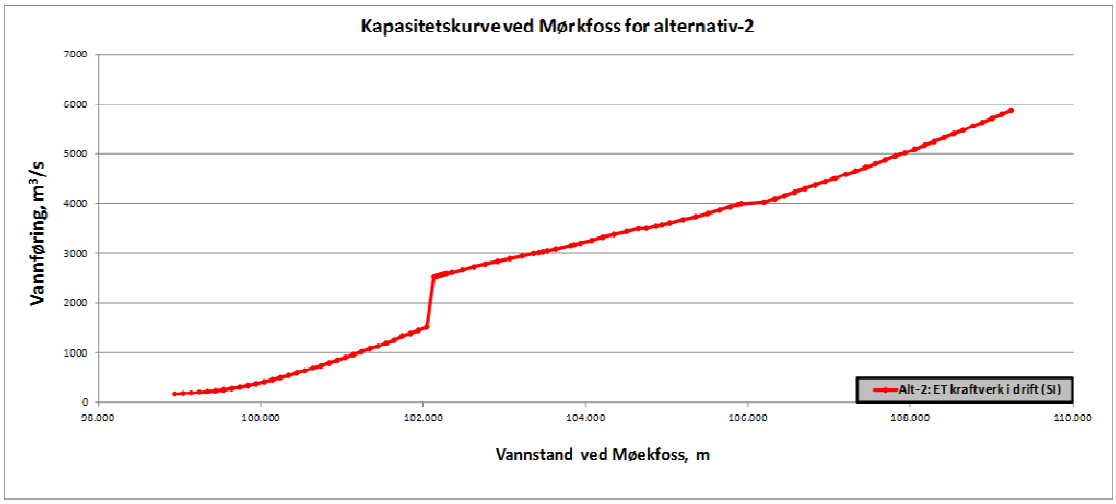


Figur 3.5. Avløpskurve ved Mørkfoss for alternativ-1 sammen med figur 1.2.

I figur 3.5 er kapasitetskurvene som er vist i figur 1.2 sammenlignet med de som nå er beregnet. Disse viser at de kurvene man de senere år har benyttet, blant annet i forbindelse med flomsonekartlegging, gir for høy avløpskapasitet for flommer opp til ca. 4300 m^3/s, mens de for større flommer gir for liten kapasitet. Det vil si at kurvene fra figur 1.2 gir for lave vannstander ved Mørkfoss for flommer med gjentaksintervall på opp mot 500 år (ca. 4300 m^3/s).

3.4.2 Kapasitetskurve for alternativ-2

Basert på forutsetninger i tredje kolonne i tabell 2.2 og beregningen vist i vedlegg 5.2 er det utarbeidet kapasitetskurve for Øyeren ved Mørkfoss. Figur 3.6 nedenfor viser kapasitetskurven ved Mørkfoss for alternativ-2. Tabell 3.3 viser samhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss. Kapasitetskurven og samhørende vannstand – vannføring dataene er basert på hydraulisk modelleringer (Mørkfoss til Solbergfoss) med forutsetninger som er gitt for alternativ-2.



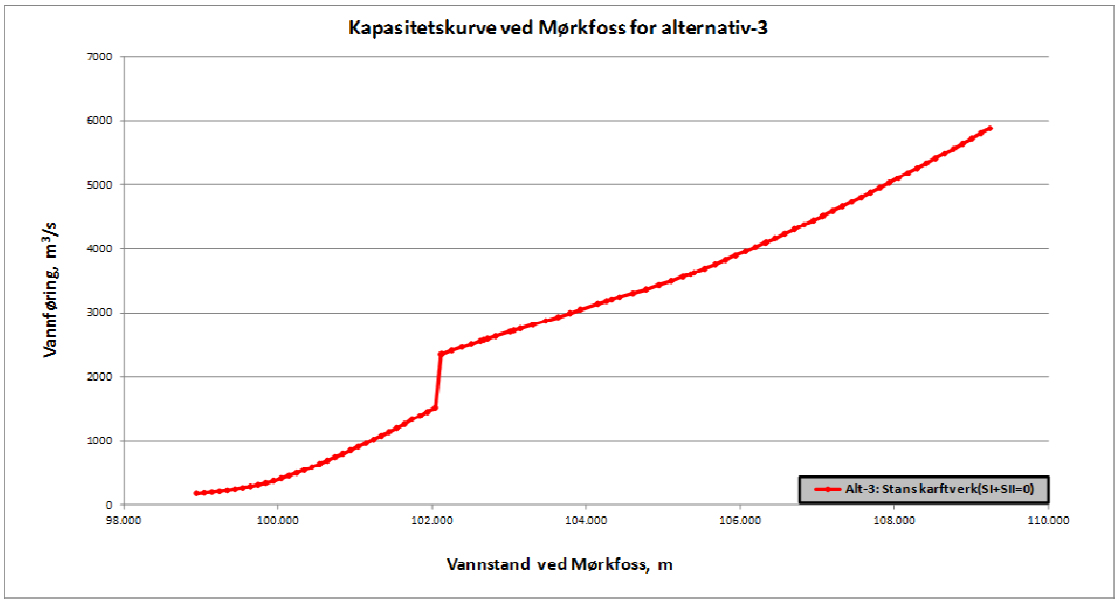
Figur 3.6 Avløpskurve ved Mørkfoss for alternativ-2.

Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)
102.231	2528	103.067	2896	105.198	3578	107.448	4733
102.242	2533	103.218	2952	105.354	3741	107.570	4806
102.255	2539	103.357	3000	105.505	3805	107.691	4879
102.267	2544	103.424	3013	105.647	3870	107.813	4954
102.278	2549	103.471	3030	105.762	3934	107.934	5028
102.290	2554	103.525	3050	105.876	3980	108.054	5103
102.203	2560	103.630	3088	105.916	4000	108.175	5179
102.214	2565	103.817	3158	106.197	4026	108.296	5255
102.225	2570	103.861	3175	106.325	4095	108.415	5331
102.237	2575	103.936	3205	106.338	4102	108.534	5408
102.250	2581	104.075	3264	106.451	4164	108.653	5485
102.262	2586	104.206	3323	106.576	4233	108.771	5563
102.274	2591	104.349	3383	106.702	4303	108.888	5641
102.288	2597	104.504	3443	106.828	4374	109.006	5720
102.350	2623	104.646	3500	106.952	4444	109.123	5799
102.483	2677	104.748	3509	107.065	4509	109.241	5879
102.622	2731	104.868	3553	107.077	4516	109.123	5799
102.761	2785	104.938	3578	107.202	4588	109.241	5879
102.914	2840	105.035	3615	107.325	4660		

Tabell 3.3 Samhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss for vannstand over 102,13 m. Dataene er basert på hydrauliske modellering med forutsetninger sim er gitt for alternative-2.

3.4.3 Kapasitetskurve for alternativ-3

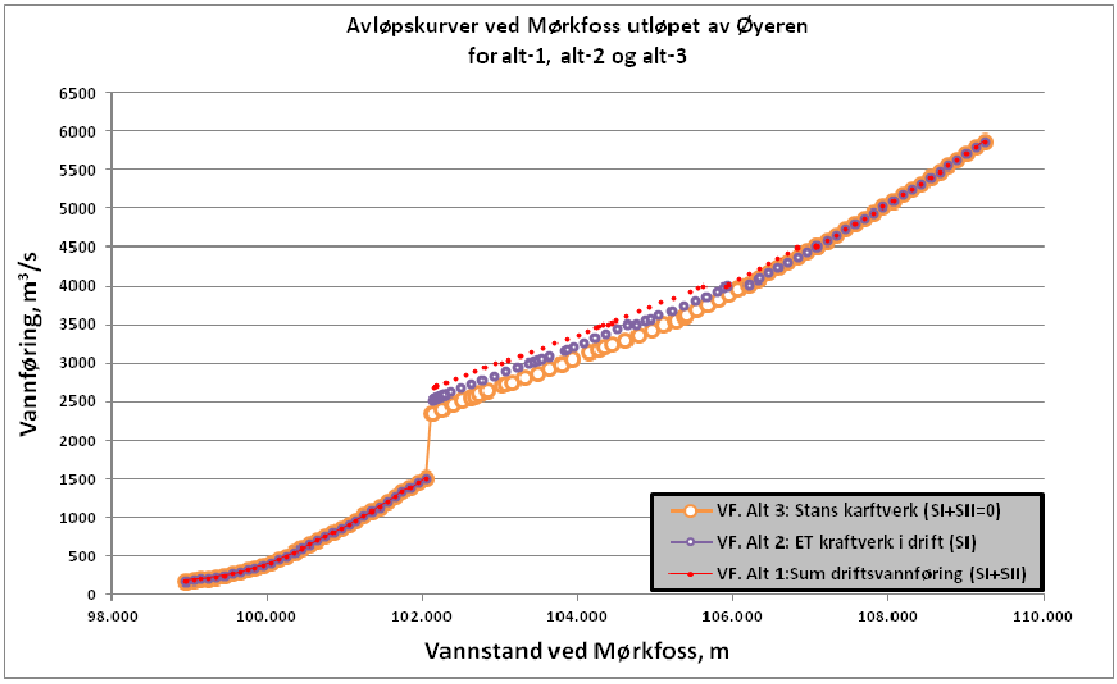
Basert på forutsetninger i fjerde kolonne i tabell 2.2 og beregningen vist i vedlegg 5.3 er det utarbeidet kapasitetskurve for Øyeren ved Mørkfoss. Figur 3.7 nedenfor viser kapasitetskurven ved Mørkfoss for alternativ-3. Tabell 3.4 viser samhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss. Kapasitetskurven og samhørende vannstand – vannføring dataene er basert på hydraulisk modelleringer (Mørkfoss til Solbergfoss) med forutsetninger som er gitt for alternativ-3.



Figur 3.7 Avløpskurve ved Mørkfoss for alternativ-3.

Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)	Vst. (m)	Vf. (m^3/s)
102.113	2350	104.331	3203	106.702	4303	108.886	5641
102.125	2355	104.432	3240	106.828	4374	109.006	5720
102.253	2411	104.607	3303	106.952	4444	109.123	5799
102.387	2467	104.778	3366	107.065	4500	109.241	5879
102.509	2515	104.944	3430	107.077	4516		
102.627	2563	105.104	3495	107.202	4588		
102.670	2580	105.255	3559	107.325	4660		
102.719	2600	105.357	3605	107.448	4733		
102.823	2633	105.401	3625	107.570	4806		
103.013	2708	105.539	3690	107.691	4879		
103.061	2725	105.675	3757	107.813	4954		
103.145	2755	105.808	3823	107.934	5028		
103.310	2814	105.940	3890	108.054	5103		
103.475	2873	106.069	3958	108.175	5179		
103.636	2933	106.197	4026	108.296	5255		
103.789	2993	106.325	4095	108.415	5331		
103.924	3050	106.338	4102	108.534	5408		
104.149	3134	106.451	4164	108.653	5485		
104.264	3173	106.576	4233	108.771	5563		

Tabell 3.4 Samhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss for vannstand over 102,11 m. Dataene er basert på hydrauliske modellering med forutsetninger sim er gitt for alternative-3.



Figur 3.8 Avløpskurver ved Mørkfoss for alternativ-1, alternativ-2 og alternativ-3.

I figur 3.8 er avløpskurvene ved Mørkfoss illustrert for alle de tre alternativene. For vannføringer over 4500 m3/s er det i alle tre alternativene antatt at Solbergfoss kraftverk står, og kurvene blir derfor sammenfallende. Alternativ 1 og 2 er sammenfallende også fra 4000 m3/s.

3.4.4 Overvannstand Solbergfoss, virkning på vannstand ved Mørkfoss?

Det har vært reist spørsmål om vannstanden i overvannet ved Solbergfoss har noen betydning for vannstanden og dermed også avløpskapasiteten ved Mørkfoss? De hydrauliske beregningene som er dokumentert i denne rapporten viser at dette er tilfelle, vannstanden ved Solbergfoss har betydning for Mørkfoss.

Ved å sammenstille resultatene som er gitt i tabell 3.2-4 og vedlegg 5.1-3, finner en for eksempel at ved en totalvannføring på 3500 m3/s og stans i et kraftverk, vil overvannstanden ved Solbergfoss øke med ca. 80 cm og ved Mørkfoss med ca. 30 cm (tabell 3.5) i forhold til en situasjon med normal drift. Hvis begge kraftverkene stanser, vil vannstanden ved Solbergfoss øke med omkring 150 cm og ved Mørkfoss med ca 80 cm.

Tabell 3.5 Endring av vannstand ved Solbergfoss og Mørkfoss i forhold til alternativ-1 (normal drift av kraftverk).

Totalvannføring (m^3/s)	Alternativ-2 (et kraftverk i drift til og med 4000 m^3/s)		Alternativ-3 (ingen kraftverk i drift)	
	Solbergfoss overvann (m)	Mørkfoss (m)	Solbergfoss overvann (m)	Mørkfoss (m)
3000	0,9	0,4	1,7	0,9
3500	0,8	0,3	1,5	0,8
4000	0,7	0,3	1,2	0,5

3.4.5 Endring av vannstand Solbergfoss og Mørkfoss ved flom som i 1995

Under flommen i 1995 kulminerte vannstanden ved Mørkfoss på 104,39 moh. Største vannføring var da 3580 m3/s. Samtidig var overvannstanden ved Solbergfoss 100,05 moh. Det vil si at det var et fall på ca. 4,3 m på den ca. 5 km lange strekningen mellom Mørkfoss og Solbergfoss.

Ved en tilsvarende flom som i 1995, vil overvannstanden ved Solbergfoss bli ca. 100,55 moh, eller ca. 50 cm høyere enn i 1995, ved normal drift av kraftverkene (alternativ-1). Ved Mørkfoss ville vannstanden bli ca. 104,50 moh eller ca. 10 cm høyere enn observert i 1995. Årsaken til vannstandsøkningene er at den nye flomluka har noe mindre kapasitet enn den gamle flomtunnelen ved flommer opp til omkring 1995-nivå. Det er likevel verdt å merke seg at økningen er betydelig mindre ved Mørkfoss enn ved Solbergfoss.

Med en flomvannføring som i 1995 og kun et kraftverk i drift (alternativ-2), ville vannstanden blitt drøyt 50 cm (kote 104,94) høyere enn i 1995, og hvis alle kraftverkene står (alternativ-3) ca. 90 cm høyere (ca. kote 105,30).

Disse resultatene harmonerer også svært godt med beregningene i /7/ og /8/, hvor det ved alternativ IV, som er nokså likt det som i denne rapporten er omtalt som alternativ-1, ble beregnet en vannstand på 104,53 moh ved Mørkfoss ved en vannføring som i 1995.

4 Referanser

/1/ Chow, 1988. Ven Te Chow, Open Channel Hydraulics.

/2/ US Army Corps of Engineers, HEC-RAS 4.1.0 Hydraulic Reference Manual, 2010.

/3/ US Army Corps of Engineers, HEC-RAS 4.1.0 User's Manual, 2010.

/4/ DHI MIKE 11, 2011. DHI MIKE 11, User Manual.

/5/ DHI, MIKE 11, Reference Manual, 2011.

/6/ Pettersson Lars-Evan. Flomberegning for nedre Glomma. NVE Dokument 15-2002.

/7/ Eirik Traae. Beregning av avløpskurver for Øyeren. NVE-rapport 24-1996.

/8/ Einar Beheim m.fl. Flomavledning ved Mørkfoss/ Solbergfoss. NVE-rapport 26-1996.

/9/ Lawrence Deborah og Hisdal Hege. Hydrological projections for floods in Norway under a future climate. NVE-Report 5-2011.

/10/ Flomsonekart, Delprosjekt Fetsund 6-2004

/11/ Flomsonekart, Delprosjekt Lillestrøm 13-2005

/12/ E-post fra E-CO Energi AS datert 22.11.2011, NVE-dok. 201106555-3).

/13/ E-post fra E-CO Energi AS datert 31.01.2012, NVE-dok. 201103203-4).

/14/ Ajourføring av flomsonekart for Lillestrøm og Fetsund (under arbeid).

5 Vedlegg

5.1 Beregnende vannføringene til modellen for Alternativ-1

5.2 Beregnende vannføringene til modellen for Alternativ-2

5.3 Beregnende vannføringene til modellen for Alternativ-3

5.4 Brev, kapasitetskurve Mørkfoss under flom

Vedlegg 5.1. Beregnende vannføringene til modellen for Alternative-1, Normal drift av kraftverk

Vst. Solbergfoss	valseluker	segmentluke	sum luker	Alt-1:Sum driftsvannføring (SI+SII)	Total vf.
98.00	1155	288	1443	1025	2468
98.07	1181	295	1476	1025	2501
98.20	1229	307	1536	975	2511
98.30	1267	316	1583	975	2558
98.40	1305	326	1631	975	2606
98.50	1344	336	1680	975	2655
98.51	1348	337	1684	975	2659
98.52	1352	338	1689	975	2664
98.53	1356	339	1694	975	2669
98.54	1360	340	1699	975	2674
98.55	1363	341	1704	975	2679
98.56	1367	341	1709	975	2684
98.57	1371	342	1714	975	2689
98.58	1375	343	1719	975	2694
98.59	1379	344	1724	975	2699
98.60	1383	345	1728	975	2703
98.70	1423	355	1778	975	2753
98.80	1463	365	1828	975	2803
98.90	1503	375	1878	975	2853
99.00	1544	386	1929	975	2904
99.09	1581	395	1975	975	2950
99.19	1622	405	2027	975	3002
99.35	1690	422	2112	900	3012
99.40	1711	427	2138	900	3038
99.50	1754	438	2192	900	3092
99.60	1797	449	2246	900	3146
99.70	1841	460	2300	900	3200
99.80	1885	471	2355	900	3255
99.90	1929	482	2411	900	3311
100.00	1974	493	2467	900	3367
100.09	2012	503	2515	900	3415
100.17	2051	512	2563	900	3463
100.20	2065	516	2580	900	3480
100.23	2080	520	2600	900	3500
100.42	2167	541	2708	800	3508
100.45	2181	545	2725	800	3525
100.50	2204	550	2755	800	3555
100.60	2251	562	2814	800	3614
100.70	2299	574	2873	800	3673
100.80	2347	586	2933	800	3733
100.90	2395	598	2993	800	3793
100.99	2441	610	3050	800	3850
101.13	2508	626	3134	800	3934
101.20	2543	635	3178	800	3978
101.24	2563	640	3203	800	4003
101.87	2885	720	3605	400	4005
101.90	2900	724	3625	400	4025
102.00	2953	737	3690	400	4090
102.10	3006	751	3757	400	4157
102.20	3059	764	3823	400	4223
102.30	3113	777	3890	400	4290
102.40	3167	791	3958	400	4358
102.50	3222	805	4026	400	4426

102.60	3276	818	4095	400	4495
102.61	3282	820	4102	400	4502
103.19	3608	901	4509	0	4509
103.20	3613	902	4516	0	4516
103.30	3671	917	4588	0	4588
103.40	3729	931	4660	0	4660
103.50	3787	946	4733	0	4733
103.60	3845	960	4806	0	4806
103.70	3904	975	4879	0	4879
103.80	3964	990	4954	0	4954
103.90	4023	1005	5028	0	5028
104.00	4083	1020	5103	0	5103
104.10	4144	1035	5179	0	5179
104.20	4205	1050	5255	0	5255
104.30	4266	1065	5331	0	5331
104.40	4327	1081	5408	0	5408
104.50	4389	1096	5485	0	5485
104.60	4451	1112	5563	0	5563
104.70	4514	1127	5641	0	5641
104.80	4577	1143	5720	0	5720
104.90	4640	1159	5799	0	5799
105.00	4704	1175	5879	0	5879

Vedlegg 5.2. Beregnende vannføringene til modellen for Alternative-2, Ett kraftverk i drift.

Vst. Solbergfoss	valseluker	segmentluke	sum luker	Alt-2 Et kraftverk i drift (SI)	Total vf.
98.00	1155	288	1443	525	1968
98.07	1181	295	1476	525	2001
98.20	1229	307	1536	525	2061
98.30	1267	316	1583	525	2108
98.40	1305	326	1631	525	2156
98.50	1344	336	1680	525	2205
98.60	1383	345	1728	525	2253
98.70	1423	355	1778	525	2303
98.80	1463	365	1828	525	2353
98.90	1503	375	1878	525	2403
99.00	1544	386	1929	525	2454
99.09	1581	395	1975	525	2500
99.19	1622	405	2027	485	2512
99.20	1626	406	2033	485	2518
99.21	1631	407	2038	485	2523
99.22	1635	408	2043	485	2528
99.23	1639	409	2048	485	2533
99.24	1643	410	2054	485	2539
99.25	1647	411	2059	485	2544
99.26	1652	412	2064	485	2549
99.27	1656	414	2069	485	2554
99.28	1660	415	2075	485	2560
99.29	1664	416	2080	485	2565
99.30	1668	417	2085	485	2570
99.31	1673	418	2090	485	2575
99.32	1677	419	2096	485	2581
99.33	1681	420	2101	485	2586
99.34	1685	421	2106	485	2591
99.35	1690	422	2112	485	2597
99.40	1711	427	2138	485	2623
99.50	1754	438	2192	485	2677
99.60	1797	449	2246	485	2731
99.70	1841	460	2300	485	2785
99.80	1885	471	2355	485	2840
99.90	1929	482	2411	485	2896
100.00	1974	493	2467	485	2952
100.09	2012	503	2515	485	3000
100.17	2051	512	2563	450	3013
100.20	2065	516	2580	450	3030
100.23	2080	520	2600	450	3050
100.30	2111	527	2638	450	3088
100.42	2167	541	2708	450	3158
100.45	2181	545	2725	450	3175
100.50	2204	550	2755	450	3205
100.60	2251	562	2814	450	3264
100.70	2299	574	2873	450	3323
100.80	2347	586	2933	450	3383
100.90	2395	598	2993	450	3443
100.99	2441	610	3050	450	3500
101.13	2508	626	3134	375	3509
101.20	2543	635	3178	375	3553
101.24	2563	640	3203	375	3578
101.30	2593	648	3240	375	3615
101.40	2643	660	3303	375	3678
101.50	2694	673	3366	375	3741

101.60	2745	686	3430	375	3805
101.70	2796	698	3495	375	3870
101.80	2848	711	3559	375	3934
101.87	2885	720	3605	375	3980
101.90	2900	724	3625	375	4000
102.50	3222	805	4026	0	4026
102.60	3276	818	4095	0	4095
102.61	3282	820	4102	0	4102
102.70	3332	832	4164	0	4164
102.80	3387	846	4233	0	4233
102.90	3443	860	4303	0	4303
103.00	3500	874	4374	0	4374
103.10	3556	888	4444	0	4444
103.19	3608	901	4509	0	4509
103.20	3613	902	4516	0	4516
103.30	3671	917	4588	0	4588
103.40	3729	931	4660	0	4660
103.50	3787	946	4733	0	4733
103.60	3845	960	4806	0	4806
103.70	3904	975	4879	0	4879
103.80	3964	990	4954	0	4954
103.90	4023	1005	5028	0	5028
104.00	4083	1020	5103	0	5103
104.10	4144	1035	5179	0	5179
104.20	4205	1050	5255	0	5255
104.30	4266	1065	5331	0	5331
104.40	4327	1081	5408	0	5408
104.50	4389	1096	5485	0	5485
104.60	4451	1112	5563	0	5563
104.70	4514	1127	5641	0	5641
104.80	4577	1143	5720	0	5720
104.90	4640	1159	5799	0	5799
105.00	4704	1175	5879	0	5879

Vedlegg 5.3. Beregnende vannføringene til modellen for Alternative-3, Ingen kraftverk i drift.

Vst. Solbergfoss	valseluker	segmentluke	sum luker	Alt 3: ingen kraftverk i drift	Total vf.
98.00	1155	288	1443	0	1443
98.07	1181	295	1476	0	1476
98.20	1229	307	1536	0	1536
98.30	1267	316	1583	0	1583
98.40	1305	326	1631	0	1631
98.50	1344	336	1680	0	1680
98.60	1383	345	1728	0	1728
98.70	1423	355	1778	0	1778
98.80	1463	365	1828	0	1828
98.90	1503	375	1878	0	1878
99.00	1544	386	1929	0	1929
99.09	1581	395	1975	0	1975
99.19	1622	405	2027	0	2027
99.20	1626	406	2033	0	2033
99.21	1631	407	2038	0	2038
99.22	1635	408	2043	0	2043
99.23	1639	409	2048	0	2048
99.24	1643	410	2054	0	2054
99.25	1647	411	2059	0	2059
99.26	1652	412	2064	0	2064
99.27	1656	414	2069	0	2069
99.28	1660	415	2075	0	2075
99.29	1664	416	2080	0	2080
99.30	1668	417	2085	0	2085
99.31	1673	418	2090	0	2090
99.32	1677	419	2096	0	2096
99.33	1681	420	2101	0	2101
99.34	1685	421	2106	0	2106
99.35	1690	422	2112	0	2112
99.40	1711	427	2138	0	2138
99.50	1754	438	2192	0	2192
99.60	1797	449	2246	0	2246
99.70	1841	460	2300	0	2300
99.71	1845	461	2306	0	2306
99.72	1849	462	2311	0	2311
99.73	1854	463	2317	0	2317
99.74	1858	464	2322	0	2322
99.75	1863	465	2328	0	2328
99.76	1867	466	2333	0	2333
99.77	1871	467	2339	0	2339
99.78	1876	468	2344	0	2344
99.79	1880	470	2350	0	2350
99.80	1885	471	2355	0	2355
99.90	1929	482	2411	0	2411
100.00	1974	493	2467	0	2467
100.09	2012	503	2515	0	2515
100.17	2051	512	2563	0	2563
100.20	2065	516	2580	0	2580
100.23	2080	520	2600	0	2600
100.30	2111	527	2638	0	2638
100.42	2167	541	2708	0	2708
100.45	2181	545	2725	0	2725
100.50	2204	550	2755	0	2755
100.60	2251	562	2814	0	2814

100.70	2299	574	2873	0	2873
100.80	2347	586	2933	0	2933
100.90	2395	598	2993	0	2993
100.99	2441	610	3050	0	3050
101.13	2508	626	3134	0	3134
101.20	2543	635	3178	0	3178
101.24	2563	640	3203	0	3203
101.30	2593	648	3240	0	3240
101.40	2643	660	3303	0	3303
101.50	2694	673	3366	0	3366
101.60	2745	686	3430	0	3430
101.70	2796	698	3495	0	3495
101.80	2848	711	3559	0	3559
101.87	2885	720	3605	0	3605
101.90	2900	724	3625	0	3625
102.00	2953	737	3690	0	3690
102.10	3006	751	3757	0	3757
102.20	3059	764	3823	0	3823
102.30	3113	777	3890	0	3890
102.40	3167	791	3958	0	3958
102.50	3222	805	4026	0	4026
102.60	3276	818	4095	0	4095
102.61	3282	820	4102	0	4102
102.70	3332	832	4164	0	4164
102.80	3387	846	4233	0	4233
102.90	3443	860	4303	0	4303
103.00	3500	874	4374	0	4374
103.10	3556	888	4444	0	4444
103.19	3608	901	4509	0	4509
103.20	3613	902	4516	0	4516
103.30	3671	917	4588	0	4588
103.40	3729	931	4660	0	4660
103.50	3787	946	4733	0	4733
103.60	3845	960	4806	0	4806
103.70	3904	975	4879	0	4879
103.80	3964	990	4954	0	4954
103.90	4023	1005	5028	0	5028
104.00	4083	1020	5103	0	5103
104.10	4144	1035	5179	0	5179
104.20	4205	1050	5255	0	5255
104.30	4266	1065	5331	0	5331
104.40	4327	1081	5408	0	5408
104.50	4389	1096	5485	0	5485
104.60	4451	1112	5563	0	5563
104.70	4514	1127	5641	0	5641
104.80	4577	1143	5720	0	5720
104.90	4640	1159	5799	0	5799
105.00	4704	1175	5879	0	5879

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

NVE

Eli Øydvin
NVE-SVK

Vår dato: 11.05.2012
Vår ref.: 201103203-7 hv/eri
Arkiv:
Deres dato:
Deres ref.:

Saksbehandler:
Erik Holmqvist

Kapasitetskurve Mørkfoss under flom

Bakgrunn

Det er gjennomført detaljerte hydrauliske modelleringer av områdene fra Solbergfoss kraftverk, til Mørkfoss/ Øyeren og videre oppover Glomma til Bingsfoss kraftverk. På møtet i NVE 26.04.2012 ble resultater fra modelleringene presentert. Det ble også presentert en kapasitetskurve for Mørkfoss under flom. Denne bygger blant annet på gjeldende kapasitetskurver for Solbergfoss kraftverk.

Det ble på møtet enighet om å utarbeide et notat/ brev for å presentere kapasitetskurven for Mørkfoss.

Konklusjon

E-CO Energi AS, GLB og NVE er enige om at ut fra dagens kunnskap, er kapasitetskurven som er vedlagt dette brevet, den beste vi har for Mørkfoss under flom.

Underskrifter

Jens Kristian Tingvold (GLB)

Øystein Rafoss (E-CO Energi AS)

Sverre Husebye (NVE-HV)

Håvard Østhagen (NVE-SV)

Lars Grøttå (NVE-KD)

E-post: nve@nve.no, Postboks 5091, Majorstuen, 0301 OSLO, Telefon: 09575, Internett: www.nve.no
Org nr.: NO 970 205 039 MVA Bankkonto: 7694 05 06971

Hovedkontor	Region Midt-Norge	Region Nord	Region Sør	Region Vest	Region Øst
Middelthunsgate 29	Vestre Rosten 81	Kongens gate 14-16	Anton Jenssensgate 7	Naustdalsvn 1B	Vangsveien 73
Postboks 5091, Majorstuen	7075 TILLER	8514 NARVIK	Postboks 2124	Postboks 53	Postboks 4223
0301 OSLO			3103 TØNSBERG	6801 FØRDE	2307 HAMAR

Begrunnelse

Kapasitetskurven for Mørkfoss bygger i hovedsak på følgende:

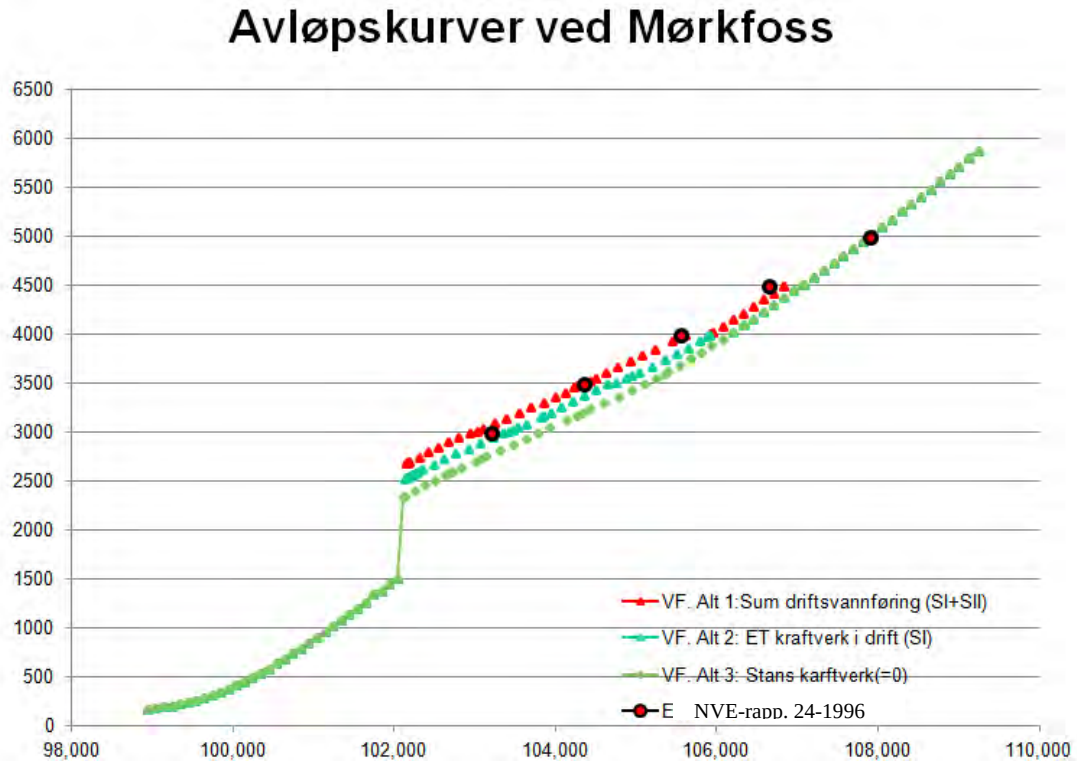
- Kapasitetskurver for valseluker og flomluker ved Solbergfoss.
    - Fullt åpne luker
- Driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverk under flom (se også tabell 1 neste side).
    - Alternativ 1: Normal drift av kraftverk opp til 4000 – 4500 m3/s.
    - Alternativ 2: Et kraftverk i drift opp til 4000 m3/s.
    - Alternativ 3: Ingen kraftverk i drift.
- Oppmålt bunntopografi mellom Solbergfoss og Mørkfoss.
- Hydraulisk modellering (HEC-RAS).
    - Kalibrering av modell mot observerte vannstander/ vannføringer fra flommene i 1995, 2008 og 2011. Følgende observerte data er benyttet:
        - Vannføring Solbergfoss (driftsvannføringer + vannføring gjennom flomløp), overvannstand Solbergfoss kraftverk, vannstand Mørkfoss.
        - Enkeltobservasjoner av vannstander på strekningen Solbergfoss – Mørkfoss ved flere flommer.

Tabell 1. Driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverk under flom ved alternativ 1- normalt drift av kraftverk, alternativ 2 - ett kraftverk i drift og alternativ 3 – ingen kraftverk i drift.

Sum vannføring (m^3/s) Mørkfoss/ Solbergfoss	*Alternativ 1, driftsvannføring (m^3/s) Solbergfoss kraftverk*	*Alternativ 2, driftsvannføring (m^3/s) Solbergfoss kraftverk*	*Alternativ 3, driftsvannføring (m^3/s) Solbergfoss kraftverk*
- 2500	*1025*	*525*	*0*
2500 – 3000	*975*	*485*	*0*
3000 – 3500	*900*	*450*	*0*
3500 – 4000	*800*	*375*	*0*
4000 – 4500	*400*	*0*	*0*
➢ 4500	*0*	*0*	*0*

For vannføringer opp til 1500 m^3/s (vannstand 102,04 moh ved Mørkfoss) er kapasitetskurven basert på data fra GLB for en ”normal” driftssituasjon. For vannføringer fra 1500 – 2680 m3/s (fra vannstand 102,04 til ca. 102,14 moh) er kapasiteten basert på observasjoner fra flommen i 2008. For større vannføringer er kurven beregnet som beskrevet ovenfor. Resultatet av beregningene er vist i figur 1. I tabell 2 er resultatene for alternativ 1 tabulert.

Figur 1. Avløpskurver for Mørkfoss. For vannføringer opp til 2680 m3/s er kurven basert på observerte vannføringer/ vannstander fra Solbergfoss/ Mørkfoss. For vannføringer over 2680 m3/s er kurven basert på hydrauliske modelleringer utført i 2011/2012 med forutsetninger som gitt for alternativ 1, 2 og 3. Sirklene viser resultater fra en tidligere hydraulisk beregning som ble utført i forbindelse med ombyggingen på Solbergfoss etter 1995-flommen (ref NVE-rapport 24/1996, Beregning av avløpskurver for Øyeren).



Tabell 2. Samhørende vannstand – vannføring ved Mørkfoss for vannføringer over 2680 m3/s. Dataene er basert på hydrauliske modelleringer med forutsetninger som gitt for alternativ 1.

Vst	m^3/s	Vst	m^3/s	Vst	m^3/s	Vst	m^3/s
102,14	2684	103,70	3255	105,55	3978	107,45	4733
102,15	2689	103,85	3311	105,61	4003	107,57	4806
102,17	2694	104,00	3367	105,91	4005	107,69	4879
102,18	2699	104,12	3415	105,95	4025	107,81	4954
102,19	2703	104,23	3463	106,08	4090	107,93	5028
102,30	2753	104,27	3480	106,21	4157	108,05	5103
102,42	2803	104,32	3500	106,33	4223	108,18	5179
102,55	2853	104,39	3508	106,45	4290	108,30	5255
102,68	2904	104,43	3525	106,58	4358	108,42	5331
102,80	2950	104,49	3555	106,70	4426	108,53	5408
102,93	3002	104,62	3614	106,82	4495	108,65	5485
103,02	3012	104,77	3673	106,83	4502	108,77	5563
103,10	3038	104,92	3733	107,07	4509	108,89	5641
103,25	3092	105,08	3793	107,08	4516	109,01	5720
103,40	3146	105,23	3850	107,20	4588	109,12	5799
103,55	3200	105,44	3934	107,33	4660	109,24	5879

Grunnlag for avløpskurve ved Mørkfoss

Solbergfoss kraftverk

NVE har mottatt kapasitetskurver for valseluker og segmentluke ved Solbergfoss kraftverk (notat fra E-CO Energi As datert 22.11.2011, NVE-dok. 201106555-3).

Dernest har vi mottatt oversikt over hvilke driftsvannføringer gjennom Solbergfoss kraftverkene det er rimelig å regne med ved ulike flomvannføringer (e-post fra E-CO Energi AS datert 31.01.2012, NVE-dok. 201103203-4). Også ved normal drift (alternativ 1) er det forutsatt at kraftverket Solbergfoss I stanser ved en vannføring på ca. 4000 m3/s og Solbergfoss II ved en vannføring på ca. 4500 m3/s. Dette skyldes først og fremst problemer med undervannet, som ved så store vannføringer gir stor fare for vanninntregning i kraftstasjonen.

Disse dataene er benyttet som inngangsdata til den hydrauliske modellen.

Strekningen Solbergfoss – Mørkfoss

Det er gjennomført en omfattende kartlegging av dybdeforholdene mellom Solbergfoss og Mørkfoss av NVE høsten 2011. Dette ble utført for å få en best mulig beskrivelse av de hydrauliske forholdene, for blant annet å kunne beskrive fallet mellom Mørkfoss og Solbergfoss på en god måte.

Hydraulisk modellering

Det er kalibrert en ikke-stasjonær hydraulisk modell (HecRas) for strekningen mellom Solbergfoss og Mørkfoss. Modellen har gitt svært gode resultater sammenlignet mot faktisk observerte vannstander. Etter flommen i 1995 ble det også gjennomført en hydraulisk modellering av denne strekningen i forbindelse med at omløpstunnelen ved Solbergfoss ble erstattet av en ny flomluke (NVE-rapp. 24 og 26-1996). Solbergfossanlegget ble bygget om i perioden 1988-2000. De nye beregningene harmonerer svært godt også med disse tidligere analysene (figur 1).

Resultatene fra Solbergfoss-Mørkfoss-modellen brukes som inngangsdata i en annen hydraulisk modell (MIKE 11) som dekker områdene fra Øyeren ved Mørkfoss og opp til Bingsfoss. Også denne er ikke-stasjonær. Ved å benytte ikke-stasjonære modeller kan en blant annet ta hensyn til virkningen av at vannstand/ vannføring ikke kulminerer til samme tid i Øyeren og i Glomma oppstrøms Øyeren.

De hydrauliske beregningene har vist at vannstanden ved Solbergfoss påvirker vannstanden ved Mørkfoss (utløpet av Øyeren), som igjen har virkning på områdene både rundt Lillestrøm og langs Glomma ved Fetsund og helt opp til Bingsfoss. De hydrauliske modelleringene vil bli dokumentert i egne NVE-rapporter.

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

Utgitt i Rapportserien i 2012

Nr. 1 Kvikkleireskred ved Esp, Byneset i Trondheim. Kari Øvrelid (20 s.)

Nr. 2 Årsrapport for tilsyn 2011 (40 s.)

Nr. 3 Første inntrykk etter ekstremværet Dagmar, julen 2011 (28 s.)

Nr. 4 Energy consumption. Energy consumption in mainland Norway (59 s.)

Nr. 5 Climate change impacts and uncertainties in flood risk management: Examples from the North Sea Region (62 s.)

Nr. 6 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 4. kvartal 2011. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.) (86 s.)

Nr. 7 Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet 2012. Inger Sætrang (53 s.)

Nr. 8 Flomrisikoplan for Gaula ved Melhus. Et eksempel på en flomrisikoplan etter EUs flomdirektiv (78 s.)

Nr. 9 Inntak Viddal – FoU-prosjekt på tilbakespyling. Sluttrapport. Jan Slapgård (31 s.)

Nr. 10 Oversikt over vedtak og utvalgte saker. Tariffer og vilkår for overføring av kraft 2011 (15 s.)

Nr. 11 Flomsonekart: Delprosjekt Ålen: Kjartan Orvedal, Julio Pereira

Nr. 12 NVEs årsmelding 2011

Nr. 13 Vannet vårt. Hydrologi i Norge 2011

Nr. 14 Capacity building in Hydrological Services Course in Water Level recording and Data Processing at Ministry of Water and Energy 13th – 16th February 2012. Documentation (23 s.)

Nr. 15 Landsomfattende mark- og grunnvannsnett. Drift og formidling 2011. Jonatan Haga og Per Alve Glad (40 s.)

Nr. 16 Challenges in Flood Risk Management Planning. An example of a Flood Risk Management Plan for the Finnish-Norwegian River Tana. Eirin Annamo (59 s.)

Nr. 17 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 1. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)

Nr. 18 Eksempelsamling. Risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen

Nr. 19 Annual Report 2011 The Norwegian Energy Regulator

Nr. 20 Flomberegning for Levangselva. Lars-Evan Pettersson

Nr. 21 Driften av kraftsystemet 2011. Karstein Brekke (red.)

Nr. 22 Annual report 2009 The cooperation between the Norwegian Agency for Development Cooperation (Norad), the Ministry of Foreign Affairs (MFA) and the Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE)

Nr. 23 Flaumsonekart. Delprosjekt Naustdal Siss-May Edvardsen, Camilla Meidell Roald

Nr. 24 Årsrapport for utførte sikrings- og miljøtiltak 2011

Nr. 25 Kvartalsrapport for kraftmarknaden. 2. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)

Nr. 26 Glimt fra NVEs historie. Per Einar Faugli

Nr. 27 Glimses form the history of NVE. Per Einar Faugli

Nr. 28 Regiontjenesten 100 år. Per Einar Faugli

Nr. 29 Flomsonekart. Delprosjekt Vigeland. Per Ludvig Bjerke og Julio Pereira

Nr. 30 Energibruksrapporten 2012. Energibruk i husholdningene.

Nr. 31 Flom og stor vannføring forårsaket av ekstremværet Frida august 2012

Nr. 32 Bioressurser i skog – kartlegging av økonomisk potensial. Even Bergseng, Tron Eid, Per Kristian Rørstad og Erik Trømborg, UMB

Nr. 33 Naturfareprosjektet: Kvikkleireworkshop. En nasjonal satsing på sikkerhet i kvikkleireområde. Teknologidagene, Trondheim, 2012

Nr. 34 Naturfareprosjektet: Delprosjekt Kvikkleire. Datarapport for Kvikkleireskred ved Esp i Byneset i januar 2012

Nr. 35 Naturfareprosjektet: Skredvarsling, beredskap og sikring Erfaringer fra studietur til Ministry of Transportation (British Columbia) og Canadian Avalanche Center Teknologidagene, Trondheim, 2012

Nr. 36 Tid for ny markedsdesign? Finn Erik Ljåstad Pettersen, Anne Sofie Ravndal Risnes

Nr. 37 Flomberegning for Fagernes (012.LZ). Ingeborg Kleivane

Nr. 38 Inventory of Norwegian glaciers. Liss M. Andreassen and Solveig H. Winsvold (Eds.)

Nr. 39 Totalavløpet fra Norges vassdrag 1900-2010. Lars-Evan Pettersson

Nr. 40 Naturfareprosjektet: Programplan 2012-2015 for etatsprogrammet "NATURFARE – infrastruktur, flom og skred (NIFS)"

Nr. 41 Vinden som blåste i fjor. Hvor sterk var Dagmar?

Nr. 42 Kartlegging av grunnvannsressurser. Dimakis Panagotis

Nr. 43 Kvartalsrapport for kraftmarknaden 3. kvartal 2012. Finn Erik Ljåstad Pettersen (red.)

Nr. 44 Isstorm. Ising på kraftforsyningsnettet. Roger Steen (red.)

Nr. 45 Trær til besvær. Lærdommer om skogrydding i etterkant av ekstremværet Dagmar

Nr. 46 Naturfareprosjektet: Detektering av kvikkleire fra ulike sonderingsmetoder

Nr. 47 Havvind – Strategiske konsekvensutredninger

Nr. 48 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – fiskerinteresser

Nr. 49 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – skipstrafikk

Nr. 50 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – teknologi- og kostnadsutvikling

Nr. 51 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – verdiskaping og sysselsetting

Nr. 52 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – kulturminner og kulturmiljø

Nr. 53 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – sjøfugl

Nr. 54 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – landskap, friluftsliv og reiseliv

Nr. 55 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – forholdet til lover og internasjonale konvensjoner

Nr. 56 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – petroleumsinteresser

Nr. 57 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – miljørisiko og beredskap

Nr. 58 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – kraftsystem og nettilknytning

Nr. 59 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – kraftproduksjon og vindforhold

Nr. 60 Fagrapport til strategisk konsekvensutredning av fornybar energiproduksjon til havs – bunnsamfunn, fisk og sjøpattedyr

Nr. 61 Kostnadseffektivitet hos selskap med distribusjonsnett

Nr. 62 Revidering av regelverket for beredskap i energiforsyningen og forslag til forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen (beredskapsforskriften)

Nr. 63 Visuelle virkninger av transformatorstasjoner. Matilde Anker (red.9

Nr. 64 Beregning av kapasitetskurver for Øyeren ved Mørkfoss. Demissew Kebede Ejigu og Erik Holmqvist

Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no