

Aurland kommune

Flomsonekart i Flåm



Leinafossen kraftverk

Oppdragsnr.: 5161024 Dokumentnr.: 1 Versjon: C01
2016-09-15

Oppdragsgiver: Aurland kommune
Oppdragsgivers kontaktperson: Bjørn Sture Rosenvold
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Arne J. Carlsen
Fagansvarlig: Carolina Frias Uribe
Andre nøkkelpersoner:

C01	2016-09-15	For gjennomgang hos oppdragsgiver	Arne J. Carlsen	Carolina Frias Uribe	Arne J. Carlsen
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Norconsult AS utarbeidet i 2009 på oppdrag fra Aurland kommune et flomsonekart for tettstedet Flåm. Vassdraget ble i august 2014 utsatt for en stor flom som medførte betydelige skader. På grunn av massetransport og ulike ras har det skjedd endringer i selve elveløpet, men også i omkringliggende terreng. Dette er bakgrunnen for at kommunen ønsker utarbeidet et nytt flomsonekart. Det nye flomsonekartet er basert på en laserscanning utført av Terratec AS 30. mars 2016. Det var svært lav vannføring da laserscanningen ble utført. Usikkerheten i høydedataene oppgis til +/- 10 cm. På bakgrunn av laserdataene er det utarbeidet en terrengmodell med grid på 1 x 1 m.

Flomsonekartet er laget med MIKE21 som er en to-dimensjonal beregningsmodell. Broer er lagt direkte inn i modellen. Kartet dekker området fra utløpet i Aurlandsfjorden til rett nedenfor Leinafossen kraftverk. Dette er en strekning på ca. 6 km. Det er ikke foretatt en direkte kalibrering av modellen da dette vil være problematisk siden Vm 72.5 Brekke bro ble ødelagt i flommen og at det skjedde betydelige endringer i terrenget som følge av flommen. Det er derfor lagt til grunn friksjonsforhold basert på erfaringstall fra tilsvarende elvebunn. Det ble i 2009 foretatt en følsomhetsanalyse av friksjonskoeffisienter. Denne viste at resultatene for det aller meste er lite følsomt for valg av friksjonskoeffisient.

Det er utarbeidet flomsoner for to vannføringer: Q_{200} og $1,4 \times Q_{200}$. Klimatillegget i området ansees å være i området 20 - 40 %. For Q_{200} er det benyttet en vannføring på 290 m³/s og for $1,4 \times Q_{200}$ en vannføring på 400 m³/s. Vannføringene er kulminasjonsvannføringer og beregnet av NVE. Resultatene for de to beregningene er vist på samme kart for lettere å kunne foreta en sammenligning. Det er usikkerheter primært knyttet til to forhold.

1. Forhold knyttet til broer

Brekke bro ble ødelagt i flommen og er fjernet. Det er ikke lagt inn noen bro her i den nye modellen. Dersom det kommer en ny bro her, må den legges inn i modellen. Den forrige broen hadde en klar oppstuvende effekt.

Broen ved skolen ble også ødelagt. Det er laget en erstatningsbro som en lett fagverkskonstruksjon. I motsetning til tidligere bro, vil erstatningsbroen ha liten oppstuvende effekt. Når utforming av ny bro er kjent, må denne legges inn i modellen.

2. Forhold knyttet til terrengmodell

Terrengmodellen er, som tidligere nevnt, basert på slik terrenget var i mars 2016. Terrenget bearbeides fortsatt. Det bør også tas noen detaljerte profiler særlig nedenfor der hvor E16 krysser elva. I prinsipp bør det derfor foretas en ny laserscanning når alle forbygninger og oppretting av terreng er foretatt.

Innhold

1	Innledning	5
2	Beregning av flommer	6
2.1	Generelt	6
2.2	Frekvensanalyse	6
3	Hydrauliske beregninger	8
3.1	Generelt	8
3.2	Grensebetingelser	8
3.3	Beskrivelse av vassdraget	8
4	Resultater av vannlinjeberegningen	14
4.1	Berørte områder	14
4.2	Mulige forbedringer av kartene	14
4.3	Arealplanlegging og byggesaker	15
5	Referanser	16

1 Innledning

Norconsult AS utarbeidet i 2009 på oppdrag fra Aurland kommune et flomsonekart for tettstedet Flåm jf. (1). Vassdraget ble i oktober 2014 utsatt for en stor flom som medførte betydelige skader. På grunn av massetransport og ulike ras har det skjedd endringer i selve elveløpet, men også i omkringliggende terreng. Dette er bakgrunnen for at kommunen ønsker utarbeidet et nytt flomsonekart. Kartet dekker området fra utløpet i Aurlandsfjorden til rett nedenfor Leinafossen kraftverk. Dette er en strekning på ca. 6 km.

2 Beregning av flommer

2.1 Generelt

En oversikt over feltet er vist i bilag 1 og er basert på NVE-Nevina. Feltet er på 282 km² til utløpet i Aurlandsfjorden. Vm 72.5 Brekke bro ligger i vassdraget og har et felt på 265 km². Vannmerket er derfor svært representativt for analysefeltet. Det har observasjoner fra 1939 og frem til det ble ødelagt under flommen i 2014.

Generelt vil en dimensjonerende tilløpsflom være bestemt gjennom den risiko (eller sannsynlighet) for overskridelse man velger å ta i det enkelte tilfellet samt det tidsrom man betrakter. Dimensjonerende tilløpsflom er derfor karakterisert ved et gitt gjentaksintervall. Det vil ofte også være hensiktsmessig å angi sannsynligheten for overskridelse av denne flommen i løpet av en gitt periodelengde. I tabell 2-1 er vist en slik sammenheng:

Gjentaksintervall (L)	10	50	100	200	500	1000
50	18	64	87	98	100	100
200	5	22	39	63	92	99
1000	1	5	10	18	39	63

Tabell 2- 1. Sannsynlighet i prosent for overskridelse av 50, 200 og 1000 – årsflom i en periode på L år

I løpet av de nærmeste 50 år vil altså sannsynligheten for at 200-års flommen overskrides være 22 %.

2.2 Frekvensanalyse

I etterkant av 2014-flommen har NVE foretatt en grundig analyse av Vm 72.5 Brekke bro. Dette er beskrevet i NVE-notat av 14.01.2015 (2). NVE har utvidet serien både med observasjoner for perioden 1908-39 og med observasjoner fra de senere år samt fra storflommen i 2014. I tabell 2-2 er vist utdrag av NVEs resultater og basert på (1).

Alternativ	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀₀ (m ³ /s)
Uten klimatillegg	240	290	360
Med klimatillegg (20%)	290	350	430
Med klimatillegg (40%)	330	400	500

Tabell 2- 2. Frekvensanalyse av Vm 72.5 Brekke bro (kulminasjonsverdier)

Flåmselva ligger i et av de områdene i Norge hvor klimafremskrivningene gir størst økning i flomstørrelser frem mot år 2100. NVE opererer med klimapåslag på både 20 % og 40 % i sine beregninger. Ved fremstilling av kartene er det som tidligere nevnt benyttet Q_{200} og $1,4 \times Q_{200}$. Den siste vannføringen representerer omtrent Q_{1000} med 20 % klimapåslag jf. tabell 2-2.

NVE har også sammenlignet sine beregninger med de som ble utført av Norconsult, jf. (1). Det er liten forskjeller mellom NVEs nye og Norconsults tidligere beregninger. Som kulminasjonsfaktor er det i (1) benyttet 1,35, mens NVE mener at 1,38 kan være et noe riktigere tall. I (1) ble Q_{500} beregnet til ca. $320 \text{ m}^3/\text{s}$, mens NVEs beregning gir $330 \text{ m}^3/\text{s}$. Flommen i 2014 er av NVE beregnet til ca. $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette er anslått å være en 50 - 100 årsflom. På grunn av ras og massetransport vil vannstandene ha et høyere gjentaksintervall.

Vm 72.5 Brekke bro er nå nedlagt og er erstattet av Vm 72.77 Flåm som ligger ca. 1,5 km ovenfor Brekke bro. Dataregistreringen startet 6. 4.2016, men det foreligger ikke kvalitetskontrollerte data fra dette vannmerket enda.

3 Hydrauliske beregninger

3.1 Generelt

Vannlinjene er beregnet med MIKE 21 (3). Programmet er en to-dimensjonal modell. I en to-dimensjonal modell legges det ikke inn profiler da det er hele terrengmodellen som danner grunnlag for beregningene. I en en-dimensjonal modell representeres elva som en interpolasjon mellom profilene noe som gir en unøyaktig beskrivelse. Det er imidlertid lagt inn tverrlinjer nedover vassdraget på de nye flomsonekartene. Dette er mer å betrakte som referanse steder og har ingen funksjon i selve beregningene. Som nevnt tidligere er terrengmodellen basert på laserscanning 30. mars 2016 og en terrengmodell med 1 x 1 m grid er laget på basis av dette.

3.2 Grensebetingelser

Som øvre grensebetingelse er lagt inn de to vannføringene hhv. 290 m³/s og 400 m³/s. Som nedre grensebetingelse er benyttet vannstanden i Aurlandsfjorden. Det er benyttet 1-års stormflo som vannstand i fjorden. Denne er ikke oppgitt direkte for Flåm, men er beregnet for Bergen til 1,99 m over sjøkartnull. For Bergen ligger dette 90 cm under landkartnull. Det er antatt at det er samme forskjell mellom sjøkartnull og landkartnull i Flåm og Bergen. I Statens Kartverk Sjø - rapport om tidevann fra 2006 er det angitt en omregningsfaktor fra Bergen til Flåm på 1,15. 1-års stormflo ved Flåm blir dermed: $(1,99 - 0,90) \times 1,15 \Rightarrow 1,25$ m o.h. (referert landkartnull).

3.3 Beskrivelse av vassdraget

Beregningsstrekningen er ca. 6 km lang. Elvebunnen er for det meste flat og består gjennomgående av stein og grov stein 0,1 - 0,7 m og en del finere masser. De etterfølgende bilder er tatt 16. juni 2016. Profilnummer angir profilnummer vist på flomsonekartene.

I figur 3-1 og figur 3-2 er vist bilder av området rundt Leinafossen kraftverk som ligger øverst i analyseområdet.



Figur 3-1: Leinafossen kraftverk



Figur 3-2: Rett nedstrøms kraftverket

I figur 3-3 er vist bilde av bro ved det nye vannmerket. Vannmerket sees i høyre i bildet. Brodekket ligger på 27,5 m o.h. og er 33,3 m langt. Lysåpningen er 30,8 m fratrukket midtpilar på 0,9 m. Fra topp brodekke er det ca. 3,5 m til bunn av elv.

Området rundt kirken som er vist i figur 3-4 ble oversvømmet av flommen i 2014. Kirken skal nå sikres mot flomskader.

Figur 3-5 viser midlertidig bro rett nedenfor skolen. Den opprinnelige broen ble ødelagt av flommen i 2014. Brodekket ligger på 21,1 m o.h. og er 46 m langt.

I figur 3-6 vises rester av Brekke bro som ble ødelagt av flommen i 2014. Det er planlagt at det skal bygges en ny bro her.



Figur 3-3. Bro ved Vm 72.77 Flåm (profil 653)



Figur 3-4. Området ved kirken (mellom profil 653 og 795)



Figur 3-4. Midlertidig bro rett nedenfor skolen (profil 1425)



Figur 3-5. Rester av Brekke bro (profil 2505)

Figur 3-6 viser området Orøyane hvor det er planlagt nye hybelbygg som erstatning for eksisterende brakker.

Figur 3-7 viser bro for E16 og en lokal bro. Som det fremgår av bildet ligger broen for E16 høyt og berøres ikke av flommene som er blitt beregnet. Brodekket for den mindre broen ligger på 5,1 m o.h. og er 29,5 m langt. Tykkelsen på brodekke er 1,8 m.

I figur 3-8 er vist bro i Flåm sentrum. Brodekket ligger på 3,9 m o.h. og er 29,6 m langt. Brodekket er 1,4 m tykt.

Figur 3-9 er et bilde av den siste broen på strekningen og ligger rett ovenfor utløpet til fjorden. Brodekket ligger 2,6 m o.h. og er 37,6 m langt.



Figur 3-6. Ved Orøyane (profil 3612)



Figur 3-7. Bro for E 16 samt lokal bro (profil 3878)



Figur 3-8. Bro i Flåm sentrum (profil 4458)



Figur 3-9. Bro ved utløpet til fjorden (profil 4714)

4 Resultater av vannlinjeberegningen

4.1 Berørte områder

Beregningen er foretatt for Q_{200} (290 m³/s) og $1,4 \times Q_{200}$ (400 m³/s). De hydrauliske beregningene er gjort med MIKE21 som er en to-dimensjonal modell. Det er utarbeidet to kart for strekningen. De to vannføringsalternativene er lagt inn i samme kart slik at det er lettere å foreta en sammenligning. Kartene er vist i vedlegg 1 og er lagt opp på ortofoto som ble tatt 30. mars 2016. I kartene er det også vist profiler. Disse benyttes ikke i selve beregningen i en to-dimensjonal modell og er laget kun med tanke på å gi referansepunkter i vassdraget.

Flere boliger vil bli berørt allerede ved en 200 - års flom. Kirken og området her blir oversvømt. Dette skjedde også under flommen i 2014. Skolen berøres ikke på de nye flomsonekartene. På flomsonekartet fra 2009 er dette området oversvømt. Det var da en brokonstruksjon her som ga betydelig oppstuvning. Erstatningsbroen som er en lett fagverkskonstruksjon har ikke samme effekt.

Nedre del av området (kart 2) gir relativt god overenstemmelse med tidligere kart. For eksempel gjelder dette ved Orøyane. Det nye kartet viser at en liten del av Fretheim hotell i nordvestre ende blir berørt. Fra bro i Flåm sentrum og til utløp til fjorden er det en del avvik i kartene. Området her er meget flatt og vil være følsomt for interpolering i en en-dimensjonal modell. Det nye flomsonekartet viser at hele dette området oversvømmes.

Vannstandene i de ulike profiler som er angitt på kartene er vist i bilag 2. I en 2-dimensjonal modell vil vannstanden kunne variere over tverrsnittene. De angitte høydene er tatt ut av flomsonekartet i profilene og midt i elva.

4.2 Mulige forbedringer av kartene

De nye kartene er basert på en 2-dimensjonal beregning og laserdata og med grid på 1 x 1 m. Dette tilsier en god nøyaktighet.

Største usikkerheten ligger antagelig i at terrenget bearbejdes fortsatt etter flommen i 2014 og er forskjellig fra mars 2016. I tillegg vil eventuelle nye broer ha en oppstuvende effekt og påvirke vannstanden og bør legges inn i modellen når utforming av disse er fastlagt.

Selv om vannstanden var lav i elva da terrenget ble scannet, bør det foretas oppmålinger i noen profiler. Dette gjelder primært området fra brokrysning med E16 og ut i fjorden. Laserdataene viser en vannstand i dette området på ca. -0,1 til -0,2 m og skyldes lav vannstand i fjorden på denne dagen. Terrengmodellen i elveløpet her må deretter justeres på bakgrunn av eventuelle nye målinger. De nye kartene kan derfor være noe konservative i dette området.

4.3 Arealplanlegging og byggesaker

Ved oversiktsplanlegging kan en bruke flomsonene direkte for å identifisere områder som ikke bør bebygges uten nærmere vurdering av faren for flomskader og mulige tiltak. Ved detaljplanlegging og ved dele- og byggesaksbehandling må en ta hensyn til at flomsonekartene har avgrenset nøyaktighet. Primært må en ta utgangspunkt i beregnede vannstander og kontrollere terrenghøyden i felt mot disse. En sikkerhetsmargin skal alltid legges til ved praktisk bruk. Sikkerhetsmarginen bør tilpasses det aktuelle prosjekt. I dette prosjektet er terrengmodellen basert på høydepunkter med en usikkerhet på +/- 10 cm og dermed av god kvalitet. Det er en del usikkerhet forbundet med nivå for elvebunnen, men elven er gjennomgående bred og for det meste grunn. Det har ikke vært mulig å foreta en kalibrering av den hydrauliske modellen slik at det er usikkerheter knyttet til valg av friksjonskoeffisienter. På den annen side er de benyttet 2-dimensjonale beregninger som gir god nøyaktighet. Det er også regnet med 40 % klimapåslag.

I NVEs retningslinje for "Flaum- og skredfare i arealplanar" jf. (4) anbefales å benytte en sikkerhetsmargin på mellom 0,3 og 0,5 m. Basert på forhold som er beskrevet ovenfor anbefaler vi ut i fra dette at et påslag på 0,4 m på de beregnede vannstandene for å dekke opp usikre faktorer i beregningen. Dette bør gjennomføres ved praktisk anvendelse. Tillegget er ikke medtatt i flomsonekartene. For å unngå flomskade må dessuten dreneringen til et bygg ligge slik at avløpet fungerer under flom.

5 Referanser

- (1) Flomsonekartlegging i Flåmvassdraget. Oppdrag 5010938. Norconsult AS. 2009.
- (2) Flomberegning for Flåm ved Brekke bru (072.), Aurland kommune i Sogn og Fjordane. NVE - notat. 14.01.2015.
- (3) MIKE 21 - A modelling system for rivers and channels Danish Hydraulics Institute (DHI), 2008.
- (4) Flaum- og skredfare i arealplanar. NVE. Revidert 22. mai 2014.

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 072.2A
Kommune: Aurland
Fylke: Sogn og Fjordane
Vassdrag: FLÅMSELVI

Feltparametere	
Areal (A)	282.2 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0.7 %
Elvelengde (E _L)	50.9 km
Elvegradient (E _G)	31.2 m/km
Elvegradient _{100s} (G _{100s})	30.9 m/km
Feltlengde(F _L)	31.6 km
H _{min}	1 moh.
H ₁₀	765 moh.
H ₂₀	984 moh.
H ₃₀	1105 moh.
H ₄₀	1197 moh.
H ₅₀	1263 moh.
H ₆₀	1318 moh.
H ₇₀	1372 moh.
H ₈₀	1436 moh.
H ₉₀	1503 moh.
H _{max}	1761 moh.
Bre	2.9 %
Dyrket mark	0.4 %
Myr	0.5 %
Sjø	4.0 %
Skog	13.2 %
Snaufjell	75.4 %
Urban	0.0 %

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	61.1 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	4.1 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	3.9 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	20.6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	2.9 l/(s*km ²)
Base flow	28.1 l/(s*km ²)
BFI	0.5

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	1578 mm
Sommernedbør	600 mm
Vinternedbør	978 mm
Årstemperatur	-1.0 °C
Sommertemperatur	4.4 °C
Vintertemperatur	-4.9 °C
Temperatur juli	6.2 °C
Temperatur August	7.5 °C

1) Verdien er editert



Norges vassdrags- og energidirektorat 

Kartbakgrunn: Statens Kartverk
Kartdatum: EUREF89 WGS84
Projeksjon: UTM 33N

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

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

9/12/2016 10:58:02 © nevin.a.nve.no

BILAG 2 - side 1

Flomsonekart i Flåm				
2 dimensjonal modell er basert på terreng i mars 2016				
Vannstander				
Profil		Q200 (290 m3/s) m o.h.	1,4 x Q200 (400 m3/s) m o.h.	Differanse m
501		27.29	27.83	0.54
636	Ved bro	27.27	27.86	0.59
653		24.77	25.58	0.81
795		24.00	24.43	0.43
907		23.54	23.90	0.36
1081		22.17	22.58	0.41
1179		21.67	22.14	0.47
1374	Ved skole	20.03	20.57	0.54
1425		19.34	19.64	0.30
1590		17.53	17.84	0.31
1659		17.45	17.81	0.36
1719		16.90	17.38	0.48
1839		16.27	16.88	0.61
1909		16.15	16.75	0.60
1943		15.67	15.80	0.13
1991		15.35	15.61	0.26
2159		13.11	13.61	0.50
2246		12.87	13.57	0.70
2369		12.17	12.94	0.77
2435		12.22	12.96	0.74
2465		11.78	12.50	0.72
2492		10.00	10.82	0.82
2505	Bro tatt av flommen	10.18	10.85	0.67
2527		9.92	10.32	0.40
2636		8.95	9.48	0.53
2771		8.55	9.16	0.61
2820		7.95	8.42	0.47
2909		7.05	7.37	0.32
3020		6.12	6.19	0.07
3183		5.75	6.13	0.38
3255		5.46	5.89	0.43
3338		5.33	5.71	0.38
3496		4.97	5.38	0.41
3612		4.79	5.28	0.49
3728		4.79	5.28	0.49
3795		4.76	5.26	0.50
3866	Ved bro ovenfor motorveg	4.62	5.15	0.53
3878		4.17	4.65	0.48
3964		4.05	4.53	0.48
4118		3.81	4.25	0.44
4205		3.74	4.10	0.36
4301		3.48	3.87	0.39

BILAG 2 - side 2

Flomsonekart i Flåm				
2 dimensjonal modell er basert på terreng i mars 2016				
Vannstander				
Profil		Q200 (290 m ³ /s) m o.h.	1,4 x Q200 (400 m ³ /s) m o.h.	Differanse m
4371		3.28	3.50	0.22
4144		3.34	3.64	0.30
4458	Ved bro i Flåm sentrum	2.84	3.07	0.23
4478		2.80	3.07	0.27
4638		2.62	2.76	0.14
4714	Trebro	2.42	2.66	0.24
4868		1.72	1.83	0.11
4930	Utløp i fjord	1.25	1.25	0.00

VEDLEGG 1
Flomsonekart