

RAPPORT

STATENS VEGVESEN

Ny E6 Ulsberg-Vindåsliene-Korporalsbrua-Støren
KAPASITETSBEREGNING FOR BRU OG KULVERT TIL ELV OG BEKKEKRYSSING



VER.	DATO	ENDRING	KONTR. AV	UTARB. AV
00	28.05.2015	-	NOWOLF	NOCAPU

RAPPORT

Ny E6 Ulsberg-Vindåsliene-Korporalsbrua-Støren KAPASITETSBEREGNING FOR BRU OG KULVERT TIL ELV- OG BEKKEKRYSSING

Rapport no.: 11927014-2	Oppdrag no.: 11927001	Dato: 29.05.2015	
Kunde: Statens vegvesen			
Ny E6 Ulsberg-Vindåsliene-Korporalsbrua-Støren KAPASITETSBEREGNING FOR BRU OG KULVERT TIL ELV OG BEKKEKRYSSING			
Sammendrag:			
<p>Rapporten dekker bekke- og elvekryssinger med hydrologiske og hydrauliske beregninger for ny E6 fra Ulsberg (sør) til Støren (nord).</p> <p>Det ble utført flomberegning for alle bekke- og elvekryssing (70).</p> <p>Det ble deretter beregnet nødvendig kulvertstørrelse for bekkekryssing og utført vannlinjeberegning, inkludert oppmåling i elva, for ny bruer ved Soknedal og Larshus.</p>			
Rev.	Dato	Revisjonen gjelder	Sign.
Utarbeidet av: Capucine Thomas Lepine		Sign.: <i>Capucine Thomas-Lepine</i>	
Kontrollert av: Wolf Marchand NVE godkjent fagansvarlig fagområde IV og V		Sign.: <i>W-M Marchand</i>	
		Oppdragsleder: Jan Håvard Øverland	

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn	2
2	Flomberegning	3
2.1	Rasjonale metode for små felt	3
2.1.1	Flomberegning med Rasjonale metode	3
2.1.2	Valg av nedbørdata	4
2.2	Skalering for elvene (brusteder)	4
3	Hydraulisk beregning	5
3.1	Kulvertkapasitet	5
3.2	Vannlinjeberegning for bruene	5
3.2.1	Ila ved Larshus (Profil Nr. 26050)	6
3.2.2	Sokna ved Soknedal	10
4	Tabellarisk oversikt over resultatene for stikkrenner og bruer	14

1 Bakgrunn

Sweco Norge AS (Gruppen for hydrologi og vassdragshydraulikk) i Trondheim har fått i oppdrag fra Statens Vegvesen å vurdere bekke- og elvekryssing av ny E6 fra Ulsberg til Støren. Det finnes 73 elv- og bekkekryssing på denne strekningen. 44 av dem er registrert som konstruksjon (stikkrenne, kulvert eller bru). Denne rapporten beskriver flomberegning og kapasitetsberegning for de 73 elvekryssing. Kartet under viser plassering av bekke- og elvekryssing. Det ble utført befaring av Wolf Marchand og feltarbeid av Capucine Thomas og Frøydis Sjøvold for nærmere oppmålinger for bruer ved Larshus og Soknedal.



Oversiktskart

2 Flomberegning

Det ble beregnet 200-årsflom som er dimensjonerende flom for ny stor veginfrastruktur i Norge. For små bekker med små nedbørfelt (opp til 5 km²) er rasjonale metode mest egnet. For elvene med større felt ble det valgt å skalere til en nær og representativ elv med kjent flomberegningene. Sistnevnte flomverdier er også sammenlignet med egne beregninger for brustedene. Metoder er beskrevet i følgende avsnitt, og resultat er oppsummert i tabell.

2.1 Rasjonale metode for små felt

2.1.1 Flomberegning med Rasjonale metode

Flomberegning med rasjonelle formel gjelder for felt mindre enn 2-5 km². I den presenterte beregningen er fem stikkrenner/kulverter med feltstørrelse mellom 5 og 10 km². Det har blitt valgt å beregne også disse med Rasjonal metode, selv om dette gir litt for store flomverdier for disse feltene (konservativ).

Rasjonale formel:

$$Q = K \cdot c \cdot i \cdot A$$

Hvor	Q [m ³ /s]	avrenning
	K [-]	sikkerhetsfaktor avrenning og klima K ₂₀₀ = 1,3 x 1,5 (fra SVV N200)
	c [-]	avrenningsfaktor, 0 < c < 1. Skogsområdet og dyrket mark, c < 0,5
	A [km ²]	Avrenningsfelt area fra NVE atlas
	i [m ³ /s.km ²]	Dimensjonerende (200-års) nedbørintensitet $i = 0.278 \frac{n}{60 \cdot T_c} = 16,67 \frac{n}{T_c}$
		Hvor n [mm] er nedbørintensitet i konsentrasjonstid T _c [min], og 1mm/time er lik 278 l/s.km ²
		$T_c = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0.5} + 3000 \cdot Ase$
		Hvor L [m] er feltlengde H[m] er høydeforskjell i felt Ase [%] er effektivt innsjø areal i feltet i andel, 0 < Ase < 1.

Referanser:

NVE	Vassdragshandsboka	2010	(side 52)
	Flomberegning rapport	1991	
	Retningslinje Flomberegning	2011	
SVV	Handbok N200	2014	(side 140)

2.1.2 Valg av nedbørdata

Feltareal og feltkarakteristikk er hentet fra NVE Atlas, eller direkte fra GIS kart for de mindre felt (under 0,1 km²). Nedbørsdata (IVF kurve) er hentet fra met.no. Valg av representativ stasjon er basert på de nyeste NIFS rapporter. Soknedal stasjon ligger i prosjektområdet, men har ikke minutt måling og kan derfor ikke brukes direkte på grunn av små størrelse ved de aktuelle feltene. Høyeste registrert nedbør fra stasjonene Soknedal, Sunndalsøra III og Kvikne ble sammenlignet. Det viste seg at Sunndalsøra, selv om ikke den geografisk nærmeste stasjon, var den mest representative stasjonen med sammenlignbare nedbørverdier. Derfor ble nedbørsverdier fra IVF kurven fra Sunndalsøra III stasjon brukt i den videre beregningen.

Tabell under viser nedbørsverdi for stasjonene Soknedal, Sunndalsøra III og Kvikne.

NEDBØR VERDI FOR E6 FRA ULSBERG TIL STØREN:				AKTUELLE KONSENTRASJONSTID													
år	år	St Nr	Retur period	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.		
2007-	7	67280	Soknedal	høyeste målt					9		14.2	24.5	32.2	49.7	59.8	mm	
			Sundalsøra III	høyeste målt					10.8		14.6	21.2	30.2	39.4	61.6	mm	
1968-1984	15	66830	Kvikne	høyeste målt					25.9		27.7	28.3	28.9	33	43.2	mm	
1978-1987	10	63420	Sundalsøra III	100år	9,2	10,2	10,6	11,3	12,2	13,2	15,4	18,4	25,8	36,3	48,4	84,7	mm
			Sundalsøra III	200år	10,1	11,1	11,5	12,2	13,0	14,1	16,4	19,5	27,8	38,7	51,8	91,6	mm
			Kvikne	100år	9,2	13,2	16,0	21,4	30,9	37,0	37,3	37,5	37,9	38,8	40,2	55,3	mm
			Kvikne	200år	9,6	14,0	17,1	23,1	33,8	40,6	40,7	40,8	41,3	41,7	42,8	58,8	mm
			Sundalsøra III	100år	154,0	113,1	88,0	62,6	45,0	36,7	28,6	25,5	23,9	16,8	11,2	9,8	l/s/ha
			Sundalsøra III	200år	168,0	123,0	95,5	67,5	48,2	39,1	30,4	27,1	25,7	17,9	12,0	10,6	l/s/ha
			Kvikne	100år	153,1	146,6	133,2	119,0	114,5	102,7	69,1	52,1	35,1	18,0	9,3	6,4	l/s/ha
			Kvikne	200år	159,8	155,1	142,2	128,4	125,0	112,7	75,4	56,7	38,3	19,3	9,9	6,8	l/s/ha

2.2 Skalering for elvene (brusteder)

Tabell under viser flomverdier fra de lokale feltene for brustedene, skalert fra flomverdien for Sokna (NVE 2000):

	Area	Q ₂₀₀ uten klima tillegg	Q ₂₀₀ *1.5 (klima og usikkerhet)	
	m ²	m ³ /s	m ³ /s	
SOKNA v Støren	565.5	411	617	Flomberegning 2000
Ila v Fagerlia	122.4	89	133	Skalert fra Sokna
Ila v Larshus	146.49	106	160	Skalert fra Sokna
Sokna v Soknedal	321.2	233	350	Skalert fra Sokna
Skauma	16.1	12	18	Skalert fra Sokna
Stavåa	50	36	55	Skalert fra Sokna

Resultatene fra skaleringen omfatter 200-årsflom uten tillegg og med et tillegg som dekker usikkerhet og klimaendringer. Det er valgt å benytte en faktor på 1,5 totalt.

Det ble også utført en egen flomberegning for alle feltene (notat av Frøydis Sjøvold datert 19.12.2014 og oppdatert 27.05.2015). Verdiene for 200-årsflom, inkl. 20 % klimatillegg fra denne beregningen er i samme størrelsesorden som Q₂₀₀ × 1,5 verdiene i tabellen ovenfor. Verdiene ovenfor er noe høyere og derfor mer konservative.

Verdiene fra tabellen ovenfor (Q₂₀₀ × 1,5) er benyttet i den videre beregningen.

3 Hydraulisk beregning

Kulverter kan benyttes opp til rundt 20 m³/s vannføring, mens bru benyttes før vassdrag med større (flom-) vannføring. De følgende avsnitt presenterer beregningsmetode for nødvendig kulvertstørrelse og for bestemmelse av nødvendig høyde for underkant bru i en flomsituasjon.

3.1 Kulvertkapasitet

Kulvertene beregnes enkelt og konservativt, basert på valg av maks nødvendig størrelse fra innløps- eller utløpskontroll. Resultatene skal gi en grov oversikt over nødvendig størrelse av kulvertene. Detaljert prosjektering er ikke mål i denne rapporten, for eksempel kan innløp/utløpsforhold forbedres ved gunstig hydraulisk utforming, for å øke kulvertkapasitet. Det gjøres oppmerksom på at godt vedlikehold er nødvendig for å opprettholde den beregnede kapasiteten. Det beregnes for sirkulær betongkulvert. Rektangulær utforming av kulvertene kan gi større kapasitet. Det henvises til NVE vassdragshandboka, SVV N200 handbok og Sintef rapport Flomberegning og Kulvertdimensjonering (1992).

Resultatene fra kulvertberegningen er oppgitt i oversiktstabellen i kapittel 4.

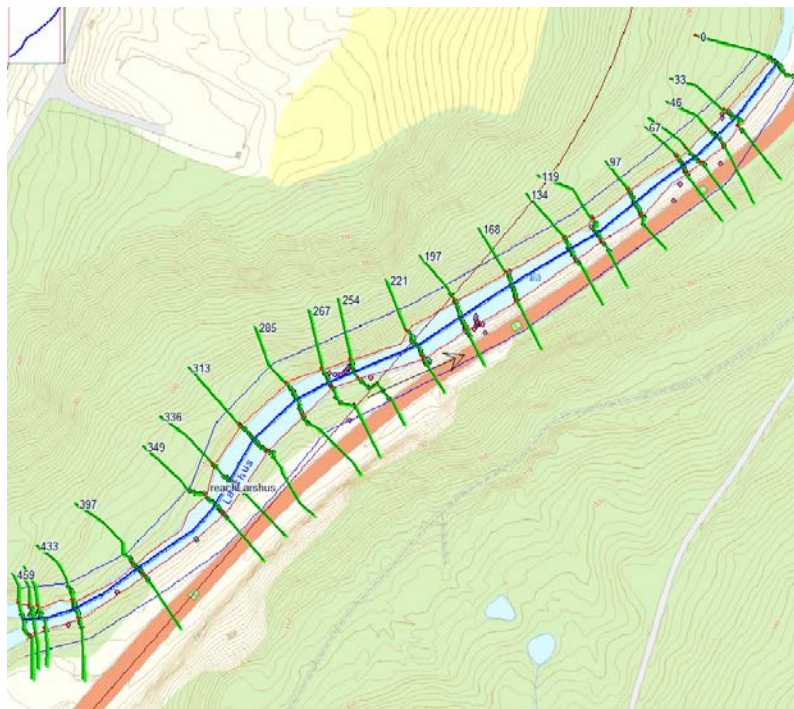
3.2 Vannlinjeberegning for bruene

Vegen krysser større elver med bru. Vannlinjeberegning ved bruene bestemmer nødvendig underkant brubjelke, som sikrer at bruene ligger over flomvannstand med tilfredsstillende sikkerhetsmargin for isgang eller drivgods ved 200-årsflom. Vannlinjeberegning ble utført med HEC-RAS modellen. De nødvendige tverrprofiler for modell terrengdata ble målt i elva med GPS (C-Pos).

Det ble utført vannlinjeberegning for tre bruer: Ila ved Fagerlia, Ila ved Larshus og Sokna ved Soknedal. Vegtrase ble endret, slik at Ila ved Fagerlia bru utgår. Resultatene for Ila ved Larshus og Sokna ved Soknedal er presentert i denne rapporten. Det finnes flere bruer på strekningen Ulsberg – Støren som har veldig høy klaring på grunn av terrengets utforming (bratte daler/juv) og disse har ikke blitt modellert hydraulisk.

3.2.1 Ila ved Larshus (Profil Nr. 26050)

3.2.1.1 Modell



Oversikt over tverrprofiler ved Larshus bru, HEC RAS modell



Feltarbeid 20-11-2014. Noe is. Oppstrøms bru



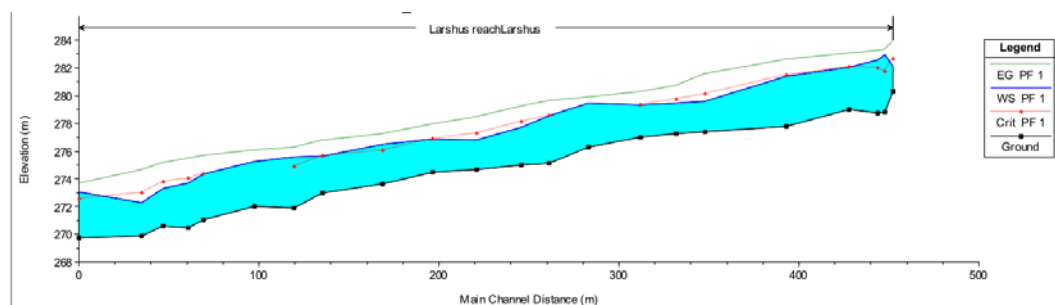
Feltarbeid 20-11-2014. Noe is. Nedstrøms bru

Følgende forutsetningene og inngangsdata er benyttet i vannlinjeberegningen:

<u>Datagrunnlag</u>	laserdata for elvebredder og tverrprofiler målt med GPS i elveløpet
<u>Grensebetingelser</u>	bratt elv, dH = 281-269.8 = 11,2 m over L = 460 m dvs. 11.2/460 = 0.024 Upstream boundary condition = normal depth (So=0.05) Downstream boundary condition = normal depth (So=0.01)
<u>Manningstall</u>	fra NVE Vassdragshandboka side 120 <u>Elveløp</u> : Naturlig vassdrag små bekker bredde 9 til 17 m < 30 m, Kulper og stein eller bunn av store steiner gir M = 22 dvs. N = 1/M = 0.045 <u>Elvebredder</u> : flom over åpent landskap, <u>Venstre lik høyre</u> : skog M= 8 n=0.125
<u>Bru</u>	Profil 205-235 (skrå bru) Modellert først uten bru. Modellert deretter med bru (underkant 278,44 moh.) med landkar og søyler. Det ble modellert søyler, avstand 10 meter (ugunstig situasjon søyle i midten av elven) og 20 meter (prosjektert bru).
<u>Vannføring</u>	Q = 159 m ³ /s (skalert fra Sokna med tilleggskfaktor 1.5 for klima og usikkerhet)
<u>Beregning</u>	Stasjonær strømning, over- og underkritisk (mixed flow)

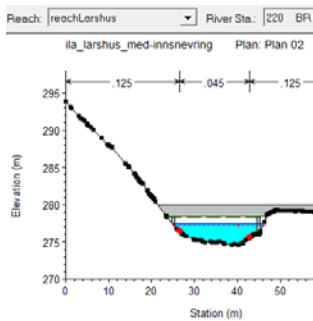
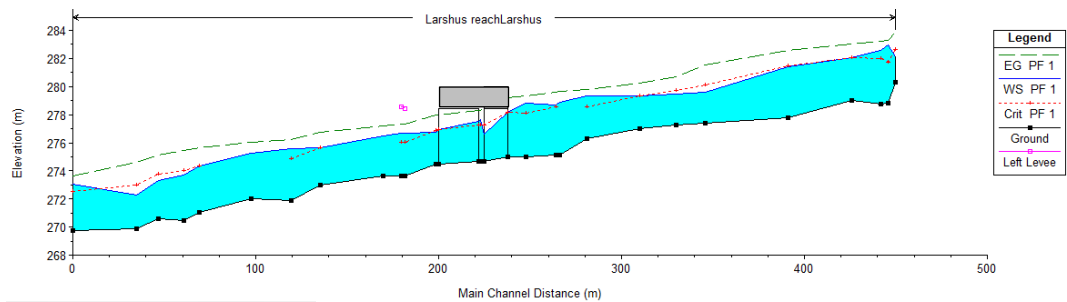
3.2.1.2 Resultater Larshusbrua

1. uten bru i modell (dagens situasjon)

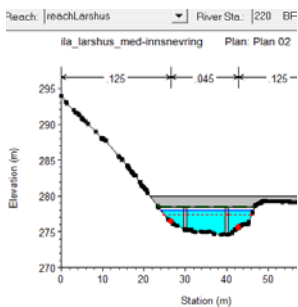
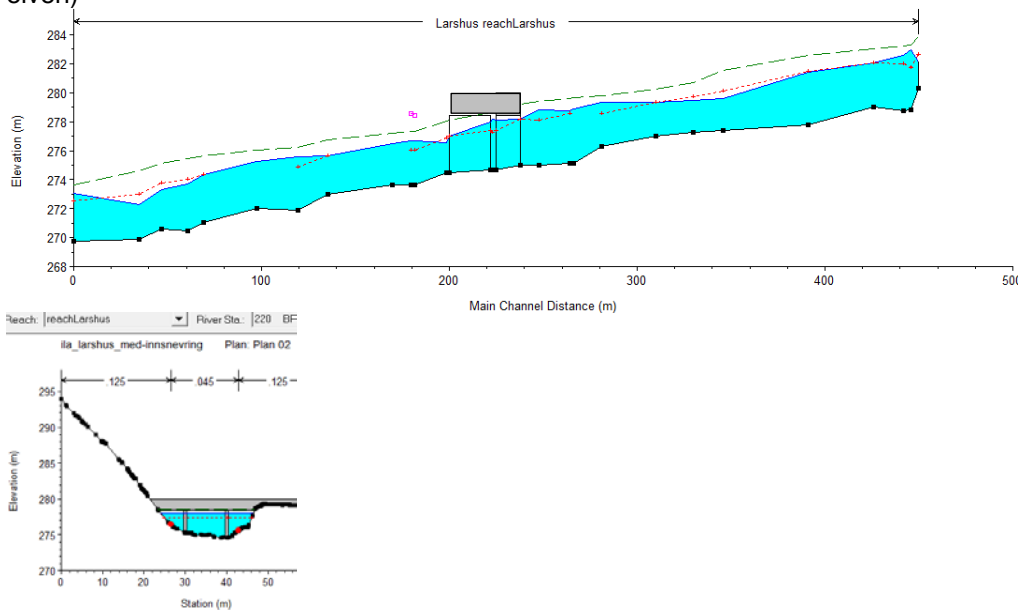


Ved profiler 202-235 er vannstand 277.0 moh. (vanndybden 2.15 m) med overkritisk strømning. Energilinje ligger på 278.44 moh.

2. bru i modell med landkar og søyle avstand 20meter (prosjektert bru)



3. bru i modell med landkar og søyle avstand 10meter (ugunstig situasjon med pilar i elven)

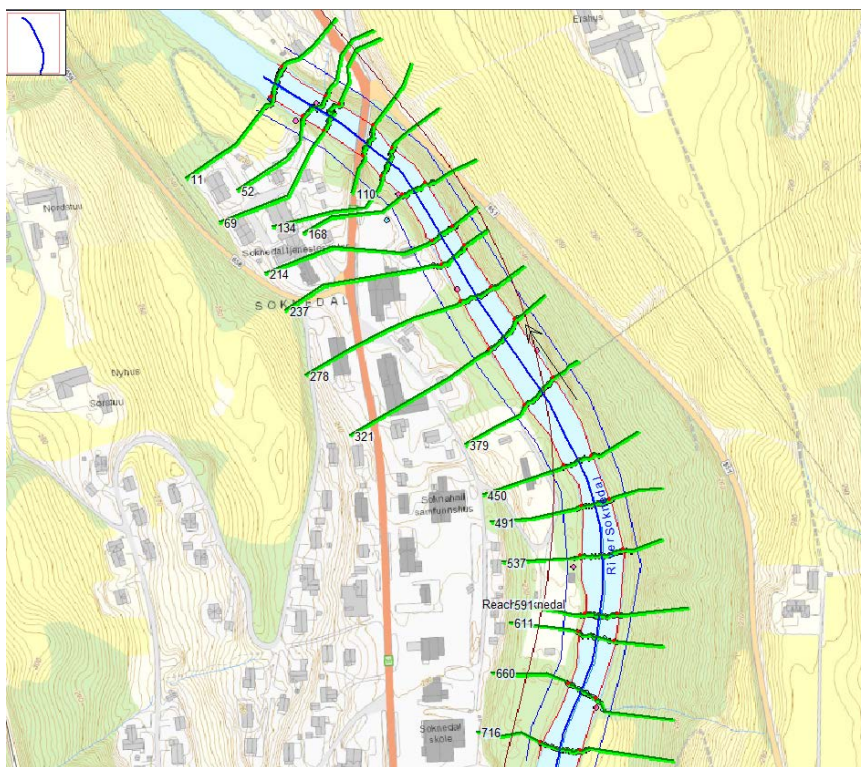


3.2.1.3 *Anbefaling Larshusbrua*

Anbefalt minste høyde for underkant bru er 278.70 moh. (høydesystem NN2000), dette inkluderer en halv meter margin for eventuell isgang og drivgods. Selve 200-årsflom vannstand er beregnet til 278,20 moh.

3.2.2 Sokna ved Soknedal

3.2.2.1 *Modell*



Oversikt over tverrprofiler ved planlagt Soknedal bru, HEC RAS modell



Feltarbeid 20.11.2014. Noe is. Ved planlagt bru.



Feltarbeid 20-11-2014. Noe is. Nedstrøms ny bru



Feltarbeid 20-11-2014. Noe is. Oppstrøms planlagt bru

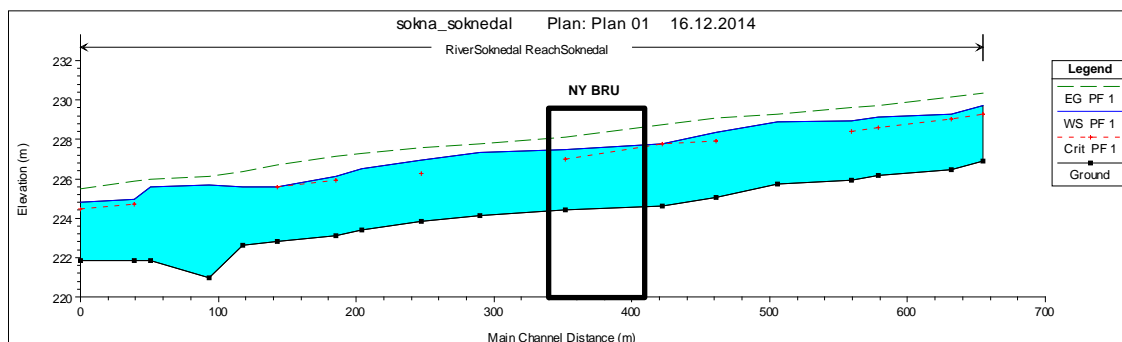
Følgende forutsetningene og inngangsdata er benyttet i vannlinjeberegningen:

<u>Datagrunnlag</u>	Laserdata for elvebredder og tverrprofiler malt med GPS i elveløpet
<u>Grensebetingelser</u>	Jevn helling, $dH = 226.8 - 221.8 = 5,0$ m over $L = 700$ m dvs. helning $5/700 = 0.007$ Upstream boundary condition = normal depth ($S_o = 0.007$) Downstream boundary condition = normal depth ($S_o = 0.007$)
<u>Manningstall</u>	fra NVE Vassdragshansboka side 120 <u>Elveløp</u> : Naturlig vassdrag større elver bredde $35\text{ m} > 30\text{ m}$, ujevne løp og grove bunn og sideforhold gir $M = 25$ dvs. $n = 1/M = 0.04$ <u>Elvebredder</u> : flom over åpent landskap, <u>Venstre lik høyre</u> : skog $M = 8$ dvs. $n = 0.125$
<u>Bru</u>	Planlagt bru skal ligge på profilene 343 til 415 (skrå bru) Bua er ikke lagt inn i modellen.
<u>Vannføring</u>	$Q = 349.5\text{ m}^3/\text{s}$ (skalert fra Sokna med tilleggsfaktor 1.5 for klima og usikkerhet)
<u>Beregning</u>	Stasjonær strømning, over- og underkritisk (mixed flow)

3.2.2.2 Resultater Soknedalsbrua

Ved profil 450 er vannstanden på 227.76 moh. og energilinje er på 228.75 moh. Strømningen er underkritisk, dvs. vannstand er over kritisk dybde. Elvebunnen er på 224.6 moh., det vil si vanndybden er 3.1 m.

Elveleiet har stort sett nok kapasitet til 200-årsflom, unntatt profilene 611 til 379, hvor den laveste flomsletten på vestsiden av elva vil bli satt under vann.



3.2.2.3 Anbefaling Soknedalsbrua

Anbefalt minstehøyde for underkant bru er på 228.75 moh. Dette er like høyt som energilinja, som er potensiell topp bølgenivå, noe som gir rundt 1,0 m høy klaring over beregnet vannstand.

NB! NVE notatet fra 19.11.2009 av Per Ludvig Bjerke for ny bru i Soknedal beskriver et noe høyere flomnivå, fordi NVE modellen ikke var basert på målte tverrprofiler i elva og derfor brukte en elvebunn omtrent 1,5 m høyere enn virkelighet ved ny bru plassering. Dette som fører til en høyere vannstand. Vi vurderer at resultatet fra ny beregning i dene Sweco Rapport er mer nøyaktig.

4 Tabellarisk oversikt over resultatene for stikkrenner og bruer

Konstr. nr.	Profil nr.	Navn	Type	Feltareal	Q200 inkl.	Diameter (ved sirkulært tverrsnitt)
				[km ²]	*1.3 avrenning *1.5 klima (store bruer er beregnet separat)	
				[m ² /s]	[m]	
K20	1000	Jønnåa ved Ulsberg	Bru	7.10	18.8	2.8
	1670	Bekk Søndre Toset	Stikkrenne	0.40	1.5	1.1
K30	1750	Bekk Nordre Toset	Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	2730	Bekk sør for Tjønmyra	Stikkrenne	0.20	0.9	1.0
K60	4350	Bekk Toseberget	Stikkrenne	1.20	3.6	1.5
K70	4500	Bekk Toseberget lille	Stikkrenne		2.0	1.2
	4850	Langvella	Stikkrenne	0.50	1.9	1.2
	5350		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	5460		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K100	5800	Seterbekken	Stikkrenne	0.90	2.7	1.4
K110	5850	Lille Seterbekken			1.0	1.0
	6180		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K120	6250	Ea	Stikkrenne	8.60	19.2	2.8
	6450		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K130	6850	Stavåa	Bru	50.00	55.0	
K170	8300	Skauma	Bru	16.10	18.0	
	10400 og 10550	Elva innløp Byvatnet	Stikkrenne	1.50	4.4	1.9
K210	11750		Stikkrenne	0.10	0.4	0.7
K220	11950		Stikkrenne	0.10	0.3	0.7
K230	12020		Stikkrenne	0.10	0.4	0.7
K240	12050		Stikkrenne	0.10	0.4	0.7
K250	12130		Stikkrenne	0.10	0.4	0.7
K260	12200		Stikkrenne	0.05	0.2	0.7
K270	12270		Stikkrenne	0.05	0.2	0.7
K280	12400		Stikkrenne	0.20	0.8	1.0
K290	12480		Stikkrenne	0.20	0.8	1.0
K300	12700		Stikkrenne	0.20	0.6	1.0
	13100		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K310	13150	Bjørbekken (fra Byvatnet)	Bru samlet	9.60	25.4	3.2
	13880		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	14100		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	14350		Stikkrenne	0.40	1.1	1.0
	14550		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	14580		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	14620		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	14650		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K340	15050		Stikkrenne	0.30	0.8	1.0
K350	15550	Hammerbekken	Stikkrenne	1.50	4.0	1.9
K360	16000	Vadløkkjebekken	Bru	4.80	12.7	2.5
K370	16550	Øyabekken	Stikkrenne	0.50	1.5	1.1
K380	17300	Kvernåa	Bru	8.50	21.3	3.0
K400	18900	ca.	Bru samlet	0.60	1.6	1.1
K410	19050		Stikkrenne	0.90	2.3	1.3
	19250		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	19460		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	19550		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	20280		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K430	21550		Bru samlet	0.00		
K440	21900	lengde 37m krysse svinge	Bru	6.30	15.8	2.8
K450	22430		Bru	2.10	5.5	1.9
	23400		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
	24150		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K460	24250	Foss bru	Bru	2.70	7.1	1.9
K470	25280		Stikkrenne	0.10	0.7	1.0
K480	25430	Vindåslibekken	Stikkrenne	2.00	5.3	1.9
K490	25600		Halvbru		160.0	
K500	25750		Stikkrenne	0.40	1.5	1.1
K510	26050	Larshus Ila	Bru		160.0	
K520	26600		Stikkrenne	0.20	0.8	1.0
K560	28050	Soknedalsbru	Bru		350.0	
	32060	Eggabekken	Stikkrenne	2.10	6.2	1.9
K590	32550	Ny Korporalsbru Sokna	Bru		x	
	34150		Stikkrenne	0.50	2.3	1.3
	34250		Stikkrenne	0.60	2.3	1.3
	34350		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K620	34600	kryssing lokal veg	Stikkrenne	0.20	1.3	1.1
K630	35180		Bru	1.50	5.7	1.9
	35600		Stikkrenne	0.10	1.0	1.0
K650	36550		Stikkrenne	0.90	3.4	1.9
K660	36950	Grøva	Stikkrenne	5.50	16.3	2.8
K670	37200	Djypdalsbekken	Stikkrenne	1.00	3.8	1.9
	38650		Stikkrenne	1.30	5.0	1.9
	39600	SLUTT - Støren				