

NOTAT

OPPDRAAG	Birkelid bru	DOKUMENTKODE	10205474-RIVass-NOT-001
EMNE	Flomberegning og vannlinjeberegning	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Songdalen kommune	OPPDRAAGSLEDER	Rune Mykland
KONTAKTPERSON		SAKSBEHANDLER	Eloi Denamur
KOPI		ANSVARLIG ENHET	10105070 Hydrologi Oslo

SAMMENDRAG

Det er utført flomberegning og vannlinjeberegninger for Birkelid bru i Songdalen kommune. Beregninger av 200-årsflom er utført ved hjelp av flomfrekvensanalyse og regional analyse, og det er tatt hensyn til klimaendring og til usikkerheten i hydrologiske beregninger. Hydrauliske simuleringer (vannlinjeberegning) er utført i Mike21, hvor 200-årsflom er simulert.

Beregnete kulminasjonsverdier er presentert i tabellen under:

	q_m	$Q_{200 \text{ d\o g n}}$	$Q_{200 \text{ mom}}$	$Q_{200 \text{ mom}} +$ klimapåslag + sikkerhetsfaktor	Maksimal vannstand under brua
	$l/s/km^2$	m^3/s	m^3/s	m^3/s	moh
Birkelid bru	384	194	252	333	15.60

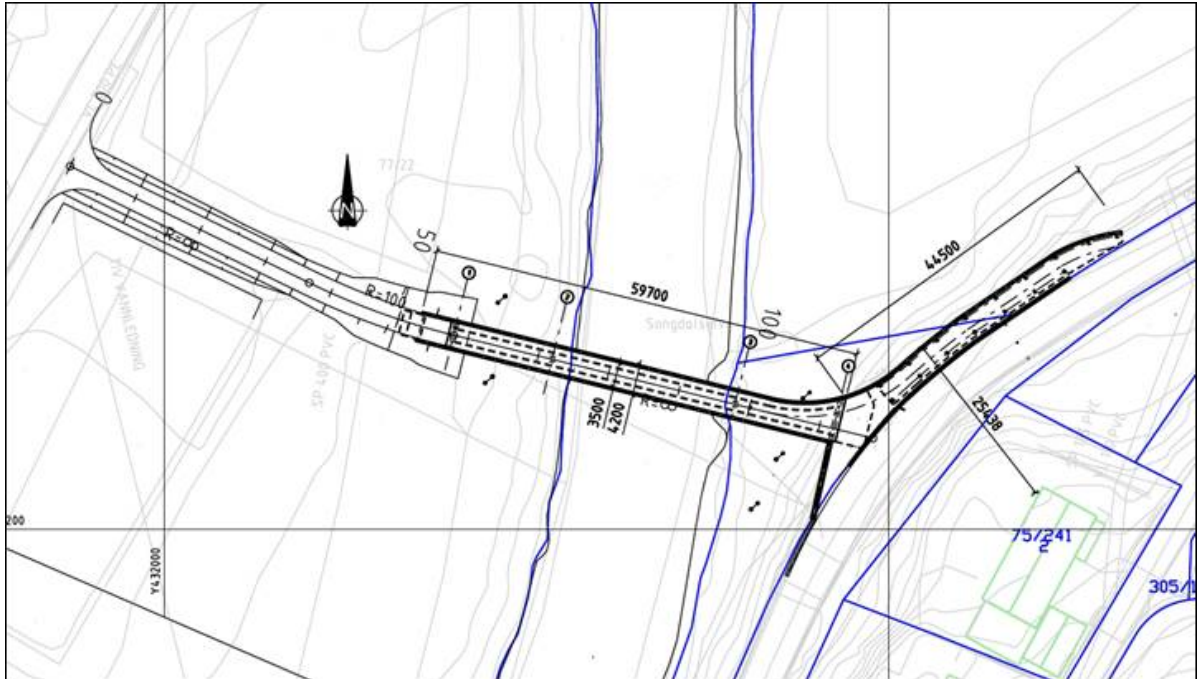
00	01.03.2019	Til konkurransegrunnlag	ELD	AGB	RMY
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

Referanse:

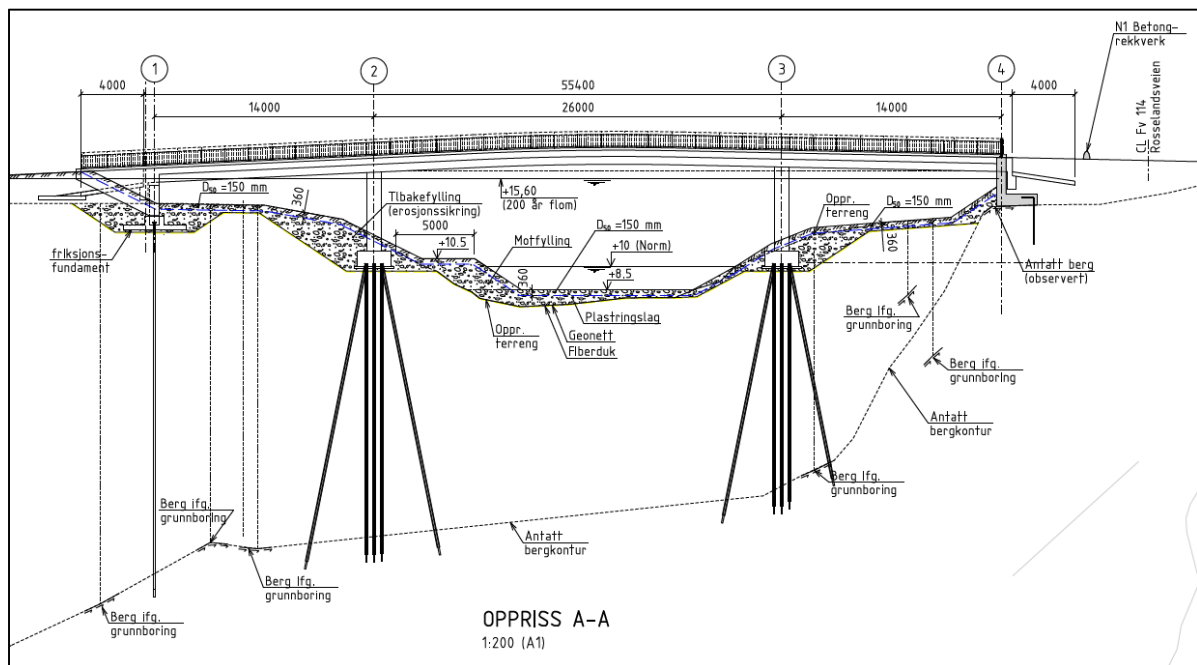
- [1] NVE. (2002). *Flomberegning for Søgneelva.*
- [2] NVE. (2003). *Flomsonekart, Delprosjekt Søgne.*
- [3] NVE. (2009). *Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein.*
- [4] NVE. (2011). *Retningslinjer for flomberegninger.* Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- [5] NVE. (2016). *Flomdata. Utvalg og kvalitetssikring av flomdata for flomfrekvensanalyser*
- [6] NVE. (2017). *Klimaprofil Agder*
- [7] Statens vegvesen. (2015). *Håndbok 400 Bruprosjektering.*
- [8] Statens vegvesen. (2018). *Håndbok N200 Vegbygging.*
- [9] Kartverket.no

1 Innledning

Multiconsult har utført flomberegninger og vannlinjeberegninger i forbindelse med planlagt reetablering av gang- og sykkel bru over Songdalselva mellom Rosselandsvegen på østsiden og Oasen skole på vestsiden.



Figur 1-1. Oversiktstegning ny gang- og sykkel bru over Songdalselva



Figur 1-2. Utforming av ny gang- og sykkel bru

Flomberegningen er utarbeidet av Eloi Denamur og kontrollert av Arnt G. Bugten, som er NVE-godkjent i fagområde IV og V for alle damklasser.

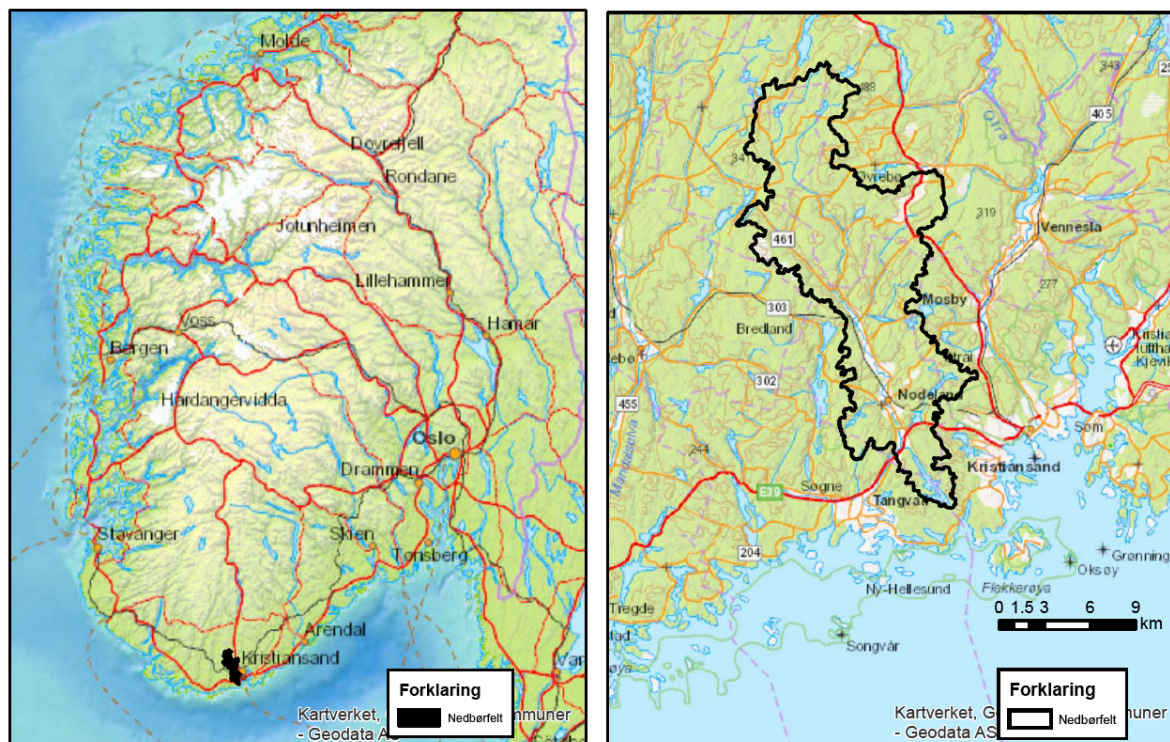
Beregningene er utført etter gjeldende retningslinjer for flomberegninger (NVE, 2011).

Vannlinjeberegning er utført etter en 2D hydraulisk modell (Mike 21) som er justert mot en tidligere kalibrert 1D modell (HEC-RAS) utarbeidet av NVE i 2003.

2 Datagrunnlag

Datagrunnlag for flomfrekvensanalyse er hentet fra NVEs database Hydra. Digital terrengmodell for vassdraget er laget basert på høydedata fra *hoydedata.no* og på gamle innmålinger av tverrprofiler av elva, utført i 2011 (temakart.nve.no).

2.1 Nedbørfelt



Figur 2-1. Oversiktskart

Tabell 2-1. Nedbørsfelt i Birkelid med middelavrenning hentet fra NVEs Nevina

Felt	Nedbørfelt, lokalt	Årsnedbør	Spesifikk middelvannføring (61-90)	Konsentrasjonstid, felt
	km^2	mm	$l/s/km^2$	timer
Birkelid bru	191,4	1546	31,1	25

2.2 Vassdrag

Songdalselva oppviser på den aktuelle strekningen store meandere langs en relativt flat elvebunn (liten helning langs elven). Elven ligger i et dypt løp som har store flate områder rundt (flomutsatte områder).

Flomberegning og vannlinjeberegning



Figur 2-2. Oversikt over studieområdet



Figur 2-3. Tidligere bru og elv fra Google street view

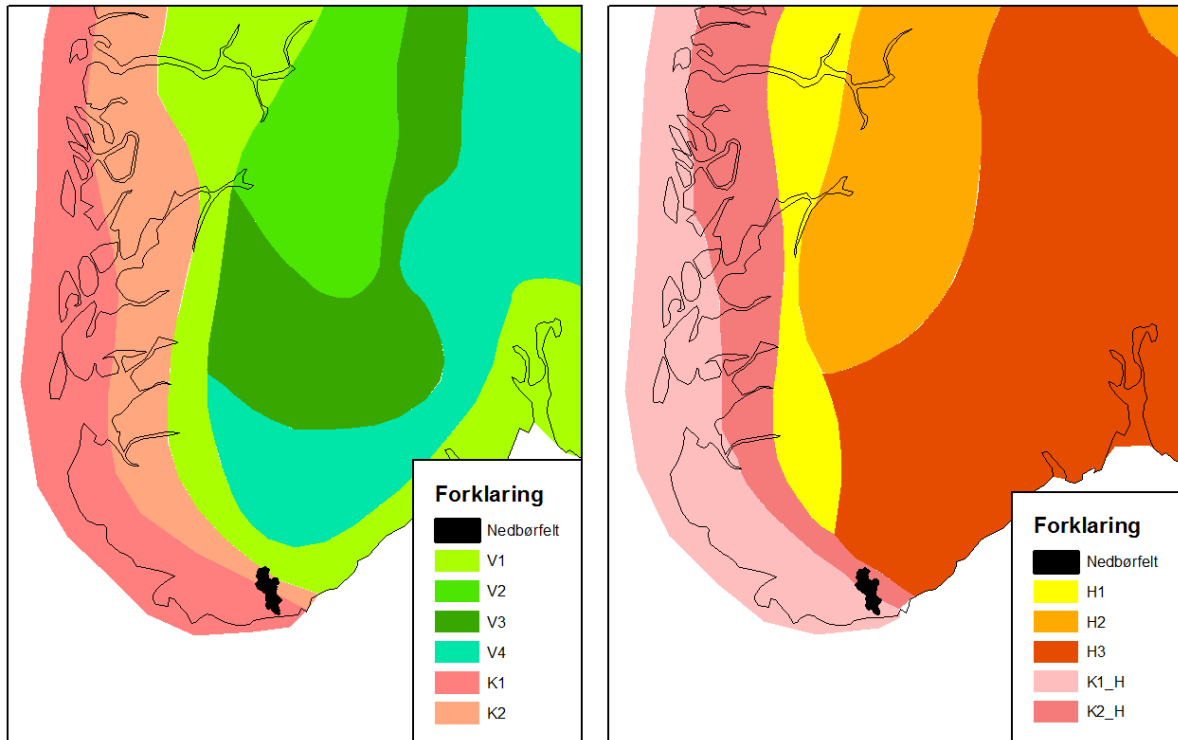
2.3 Aktive vannføringsstasjoner

Målestasjon 22.22 Søgne ligger ca. 7 km nedstrøms Birkelid bru og har data fra 1974 til 2017. Andre målestasjoner finnes i nærheten av Søgneelva, men ingen så nær som 22.22 Søgne. Ettersom måleren presenterer gode data over en relativt lang periode, har vi valgt å bruke den for å utføre flomfrekvensanalysen. Serien har hull kun i 1992, som medførte at dette året ikke ble brukt i analysen.

3 Flomfrekvensanalyse

3.1 Regionale flomformler

Som det kommer fram i Figur 3-1, ligger nedbørfeltet i årsflomregion K1-K2. Flomstørrelser beregnet med de regionale flomformlene er mye mindre enn beregnet med flomfrekvensanalysen.



Figur 3-1. Flomregioner, vår (venstre) og høst (høyre)

Tabell 3-1. Flomverdier basert på regionale flomformler

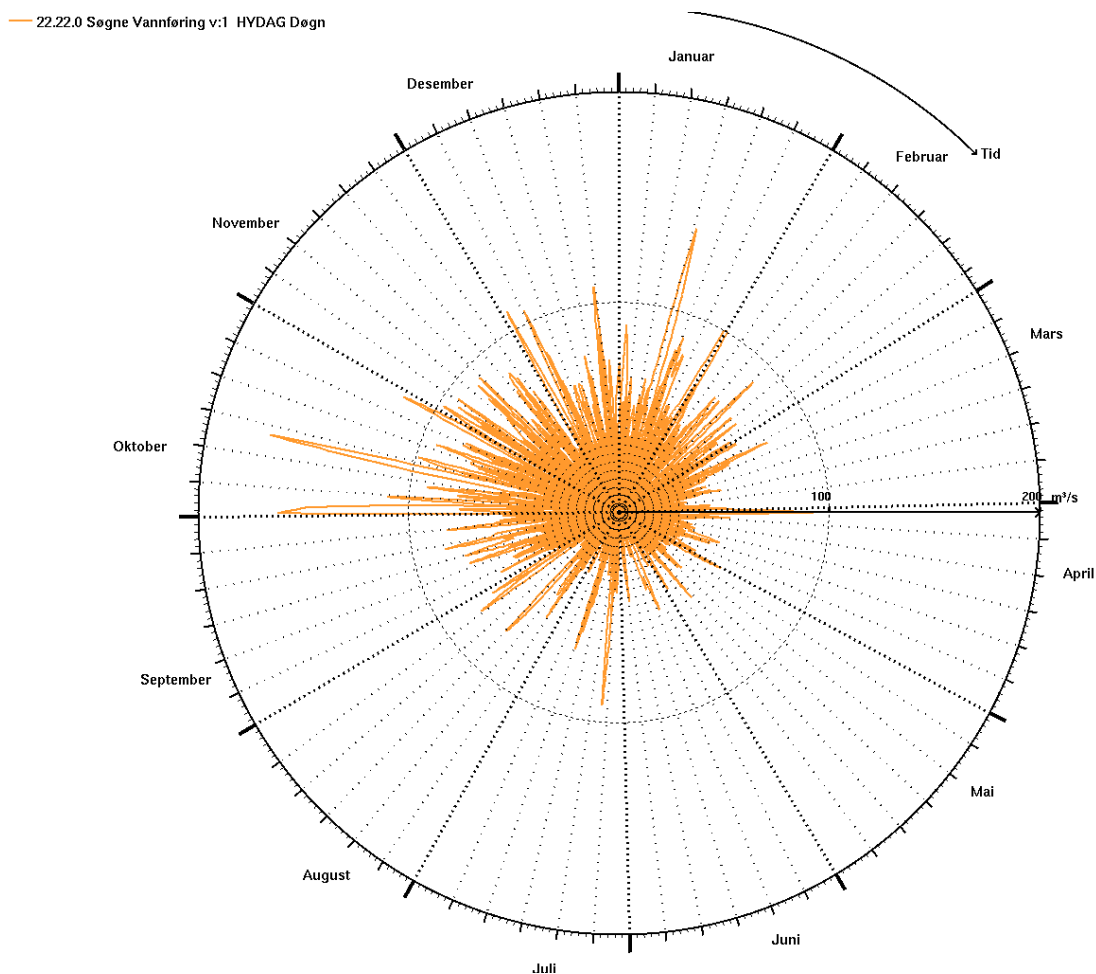
	Vekt	q_m	q_{200}/q_m	q_{200}	Q_{200}	$Q_{mom}/Q_{døgn}$
		$l/s/km^2$		$l/s/km^2$	moh	
Årsflom K1	0.5	205	2.4	574	110	1.3*
Årsflom K2	0.5	251	2.3	754	144	1.3*
TOTAL		228	2.35	664	127	1.3*

*Antatt verdi. Se kapittel 3.3.1

3.2 Flomhistorikk

Figur 3-2 viser med en flomrose hva slags flommer som har inntruffet i feltet tidligere. Som det kommer fram i figuren, er flommene ved stasjon fordelt over hele året, men de største opptrer mellom oktober og januar.

Flomberegning og vannlinjeberegning



Figur 3-2. Flomrose for VM 20.20.0 Søgndal

De største flommene har størrelse på drøyt 160 m³/s.

3.3 Statistisk analyse

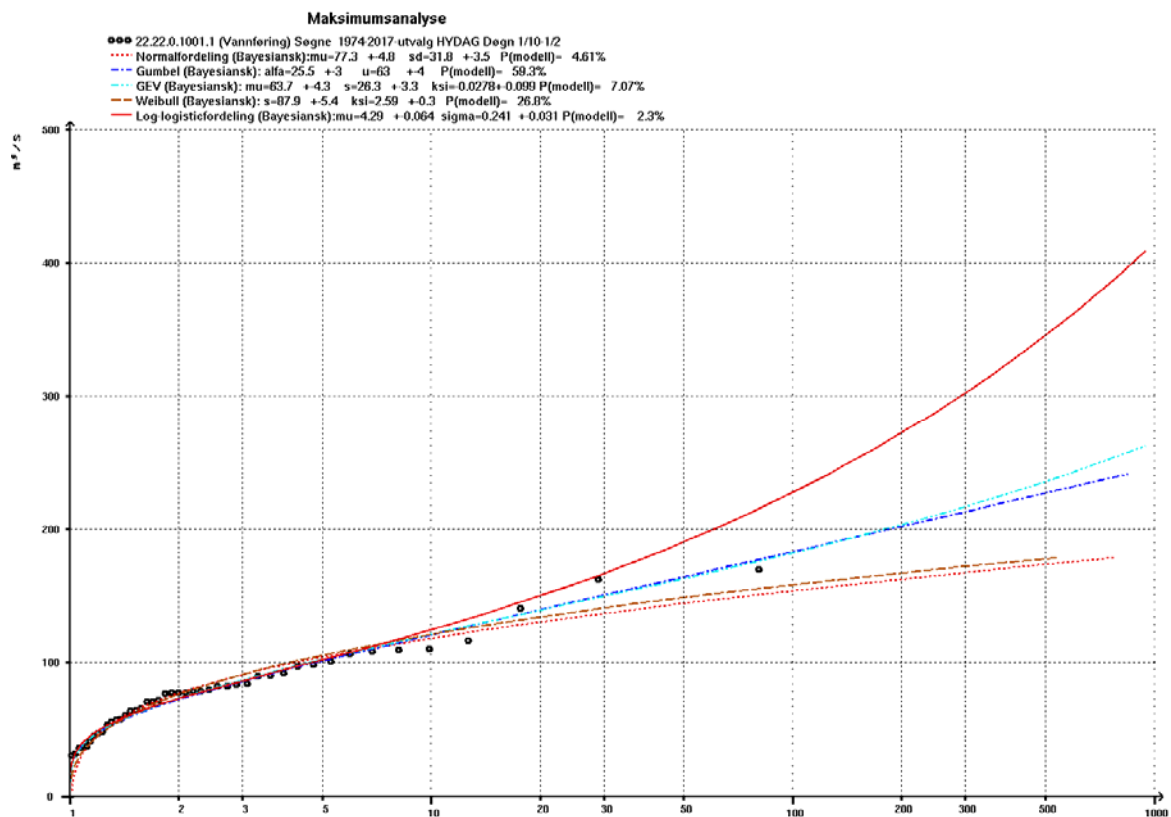
Flomfrekvensanalysene er utført i NVEs program DAGUT.

Flommene ved stasjonen opptrer oftest i perioden oktober - januar. Derfor er det valgt å utføre flomfrekvensanalysen for denne perioden. Sammenligning av resultater fra denne perioden mot hele året viser noe større verdier (5-10%).

Tabell 3-2. Oppsummering av resultatene fra flomfrekvensanalyse. Flomvarighet 1 døgn.

Navn	Q _M m ³ /s	q _M l/s/km ²	Q ₂₀₀ m ³ /s	Q ₂₀₀ /Q _M	q ₂₀₀ l/s/km ²	Valgt fordeling	Kurve- kvalitet
22.22 Søgne	78	384	205	2.6	1014	GEV	Bra

Flomberegning og vannlinjeberegning



Figur 3-3. FFA for VM 22.22 Søgne

3.3.1 Momentanflom

Data (forholdstall mellom døgnmiddel og kulminasjon) fra de ti største flommene i vassdraget er vist i nedenstående tabell. Tabellen, som i sin tid ble utarbeidet av NVE og vist i rapport *Flomberegning for Søgneelva (2002)*, er oppdatert med data fra 2002 til 2017. Resultatene vises i følgende tabell:

Tabell 3-3. De ti største flommene ved 22.22 Søgne i perioden 1974-2017. Data for året 1992 mangler

Dato	Døgnmiddel <i>m³/s</i>	Kulminasjon <i>m³/s</i>	Forholdstall
1. oktober 2017	165	188	1.14
14. oktober 1976	160	217*	1.36
16. januar 2008	146	154	1.06
30. oktober 1990	112	118*	1.05
4. oktober 2004	110	135	1.23
6. desember 2015	106	115	1.08
2. desember 2001	106	120*	1.13
25. desember 1984	104	108*	1.04
17. oktober 1987	95	124*	1.31
2. november 1979	94	112*	1.19

*Beregnet av NVE i Flomberegning for Søgneelva (2002)

Forholdstallene varierer fra 1.04 til 1.36, med et middel på 1.16.

Flomberegning og vannlinjeberegning

I retningslinjene for flomberegninger for flomsonekart er det gitt følgende formler for beregning av forholdstallet mellom momentanflom og døgnmiddelflom:

$$\text{Vårflom: } Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{døgn}} = 1.72 - 0.17 \log A - 0.125 A_{SE}^{0.5}$$

$$\text{Høstflom: } Q_{\text{momentan}}/Q_{\text{døgn}} = 2.29 - 0.29 \log A - 0.270 A_{SE}^{0.5}$$

A er feltareal og A_{SE} er effektiv sjøprosent.

For Søgneelva gir disse formlene et forholdstall på 1,29 for vårflommer og 1,55 for høstflommer. Observasjonene i vassdraget tyder på at formlene her gir for høye forholdstall. Som representativ verdi benyttes samme verdi som ble brukt av NVE i 2002, dvs. 1,3.

3.3.2 Resultater

Resultatene fra flomfrekvensanalysen ved bruk av målestasjon 22.22 Søgne vises i følgende tabell:

Tabell 3-4. Flommer beregnet for Søgneelva ved Birkelid bru

T år	Q_T/Q_M	q_T l/s/km ²	Q_T m ³ /s	$Q_{T,mom}$ m ³ /s
Q_M	-	384.4	73.6	95.7
5	1.2	461.3	88.3	114.8
10	1.4	545.9	104.5	135.8
20	1.6	595.9	114.1	148.3
50	1.9	730.4	139.8	181.7
100	2.1	807.3	154.5	200.9
200	2.6	1014.0	194.1	252.3
500	3.1	1179.2	225.7	293.4
1000	3.5	1327.7	254.1	330.3

3.4 Klimapåslag og sikkerhetsfaktor

Ifølge Statens vegvesen sin *Håndbok N200 (juli 2018)* om Vegbygging, skal det brukes en **klimafaktor på 1.2** for store nedbørsfelt (areal > 10 km²) i Vest-Agder. Samme anbefaling finnes i rapport *Klimaprofil Agder (juli 2017)* fra NVE.

I tillegg mener Håndbok N200 at en faktor skal brukes for å ta hensyn til usikkerheten ved hydrologiske beregninger (sikkerhetsfaktor F_u). Faktoren skal bestemmes ut fra vannvegens sikkerhetsklasse (F1, F2 eller F3), som er definert i *Plan og bygningslovens § 7-2 Sikkerhet mot flom og stormflo*. Ifølge normen, dersom den årlige sannsynligheten for dimensjonerende flom er 1/200 (200-årsflom), er det sikkerhetsklasse F2 som gjelder. Denne klassen fører til en **sikkerhetsfaktor F_u på 1.1**.

3.5 Konklusjon

Målestasjon 22.22 Søgne oppviser en 43 år lang serie med gode data. Måleren er aktiv per i dag og er lokalisert kun 7 km nedstrøms Birkelid bru. Ingen annen målestasjon finnes så nær eller innenfor

Flomberegning og vannlinjeberegning

vasdraget. Derfor brukes resultatene fra flomfrekvensanalysen for denne målestasjonen i vannlinjeberegningen. Vannføringsberegninger for bruer over vassdrag gjennomføres med utgangspunkt i beregnet vannstand for 200 årsflom (Håndbok N400, kap. 14.2.7).

Resultater fra flomfrekvensanalysen viser en vannføring ved en 200-årsflom på 252 m³/s, som er ca. 4% høyere enn den som var beregnet av NVE i 2002. Forskjellen mellom de to beregningene er at i den nåværende er det brukt en lengre serie med sesongfordeling; det er kun brukt registrerte flomverdier fra og med oktober til og med januar.

En klimafaktor på 1.2 og en sikkerhetsfaktor på 1.1 er lagt til 200-årsflom verdien. Dimensjonerende vannføring blir da ($Q_{dim,200}$) **333 m³/s**.

4 Vannlinjeberegning

4.1 Metodikk

4.1.1 Programvare

Hydrauliske simuleringer av 200-årsflommen + 20% klimafaktor + 10% sikkerhetsfaktor er utført i Mike 21 (2D) som er utviklet av Dansk Hydraulisk Institutt (DHI). En todimensjonal modell er valgt for bedre å kunne representere strømningsforhold rundt brua, samt å beskrive vannretning i svinger og flomsletter når vannet går ut over hovedelveløpet.

4.1.2 Modelloppbygning

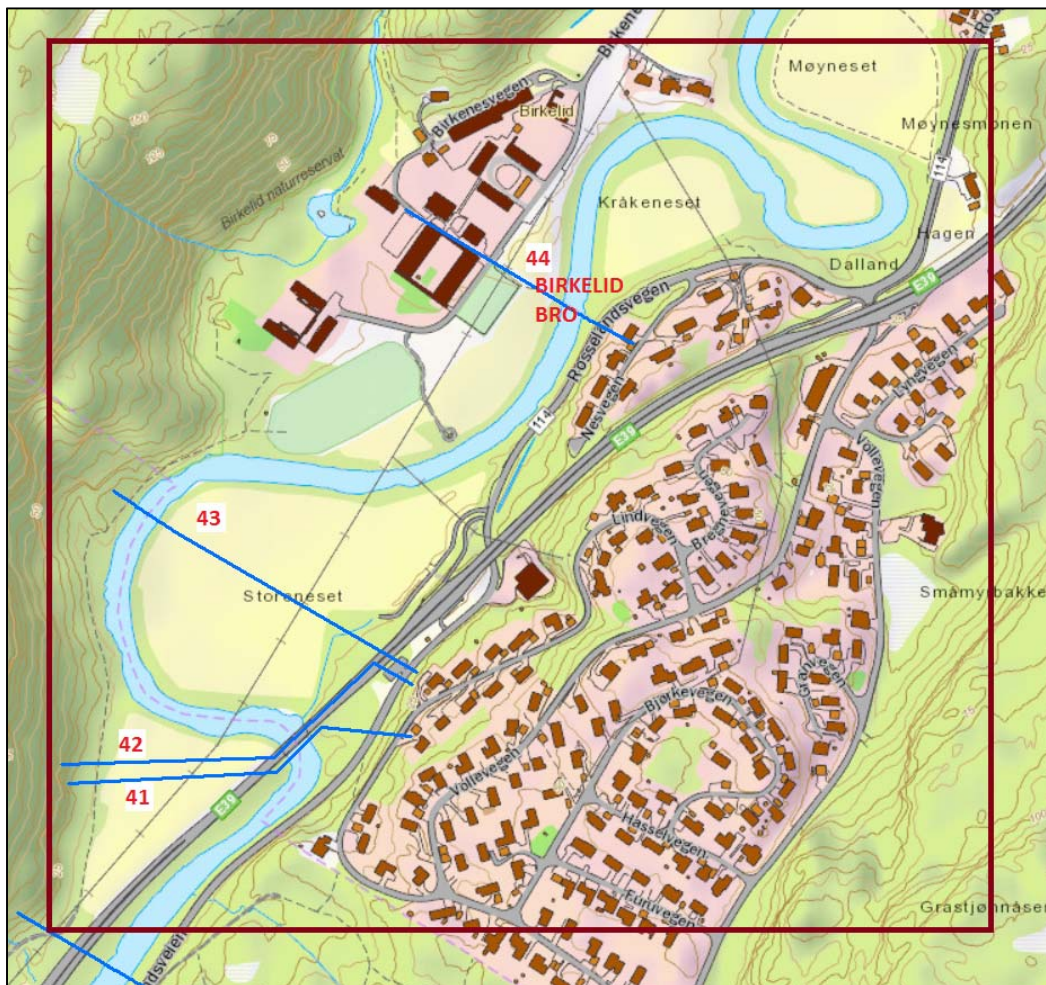
For en slik hydraulisk modell er terrenget veldig viktig. Terrenngmodellen er bygd etter følgende skannede data hentet fra www.hoydedata.no:

- Kristiansand 2014
- Søgne 2013

I tillegg er det brukt innmålte tverrprofiler som NVE utførte i 2003.

For elvebunnen er det brukt de innmålte tverrprofilene, mens for elveslettene er det brukt de skannede høydene. Terrenngmodellen er til slutt definert med en gridstørrelse på 1x1 meter, slik at strømningsforholdene rundt den nye brua blir godt representert.

Grensene til modellen er lagt 1100 meter nedstrøms og 700 meter oppstrøms den nye brua. Songdalselven er relativt flat på den aktuelle strekningen (ca. 0,1% fall). Det vil si at strømmingen i elva vil være, mest sannsynlig, underkritisk ved store flommer og da vil hydrauliske forhold nedstrøms i elva kunne påvirke hydrauliske forhold oppstrøms i elva. Derfor er modellens begrensning satt relativt langt nedstrøms. I tillegg, ligger brua til E39 ca. 800 meter nedstrøms. Den var viktig å ta med i den hydrauliske modellen. Figur 4-1 viser grensene til modellen samt noen av de innmålte tverrprofilene som er brukt til å representere elvebunnen.



Figur 4-1. Grensene til hydraulisk modell (brun). Innmålte tverrprofiler i 2003 (blå).

4.1.3 Usikkerhet i modellen og kalibrering

Hydrauliske modeller brukes for å få en representasjon av det som kommer til å skje i virkeligheten. Det er mange parametere i modellen som vil gjøre at modellen blir mer eller mindre representativ. Kvaliteten og oppløsning til innmålinger og skannet data kan føre til en del usikkerhet i resultatene. Andre parametere, som for eksempel ruhekskoeffisient, viskositet og grensebetingelser opp- og nedstrøms fører også til usikkerhet. Derfor er det viktig å kalibrere disse modellene mot vannføring og vannstand som er målt inn ved store flomhendelser i samme studieområde.

Songdalselva ble flomkartlagt av NVE i 2003 [2]. En hydraulisk modell (HEC-RAS 1D) ble bygd og kalibrert mot to innmålte flommer: 1976 og 2001. Innenfor studieområdet vårt (Figur 4-1) ble det kun målt vannstand i tverrprofil nr. 42 (Figur 4-1). Siden den hydrauliske modellen fra 2003 ble kalibrert mot flere tverrprofiler over en mye lengre strekning, er det bestemt å bruke den til å kalibrere M21 modellen vår (2D). Disse to modellene kan da sammenlignes ved flere tverrprofiler: nr. 41, 42, 43 og 44 (Figur 4-1).

Mike 21-modellen er kalibrert mot en vannføring på 242 m³/s, som representerer en 200-årsflom ifølge NVE sine flomberegninger fra 2002 [1]. NVEs flomkartlegging rapport [2] viser vannstander i elva ved denne flommen og det er disse som er brukt til å justere Mike 21-modellen. Resultatene fra kalibreringen vises i følgende tabell:

Tabell 4-1. Resultater fra kalibrering av hydraulisk modell (Mike 21)

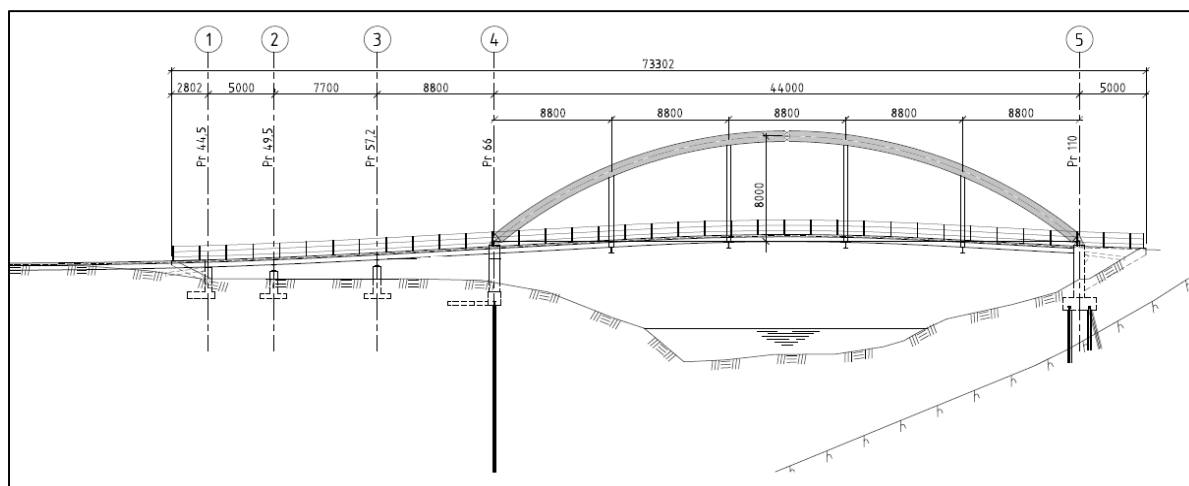
Q = 242 m ³ /s		
Profil	Vannstand HEC-RAS 1D (NVE 2003) NN2000 moh.	Vannstand Mike 21 2D (Multiconsult 2019) NN2000 moh.
41	14.4	14.50
42	14.5	14.54
43	14.73	14.70
44 (ved Birkelid bru)	14.95	14.97

Vi ser at vannstanden ved profilene 42, 43 og 44 justeres veldig bra. Justering ved profil 41 er mindre da den ligger nærmest grensebetingelsen nedstrøms. Vannstandsdiifferansen mellom 41 og 42 representerer singulærtapet ved brua til E39. Vi ser at i Mike 21 er tapet mindre. Imidlertid er justering ved profilene oppstrøms (43, 44) veldig god. Derfor kan den hydrauliske modellen anses som kalibrert.

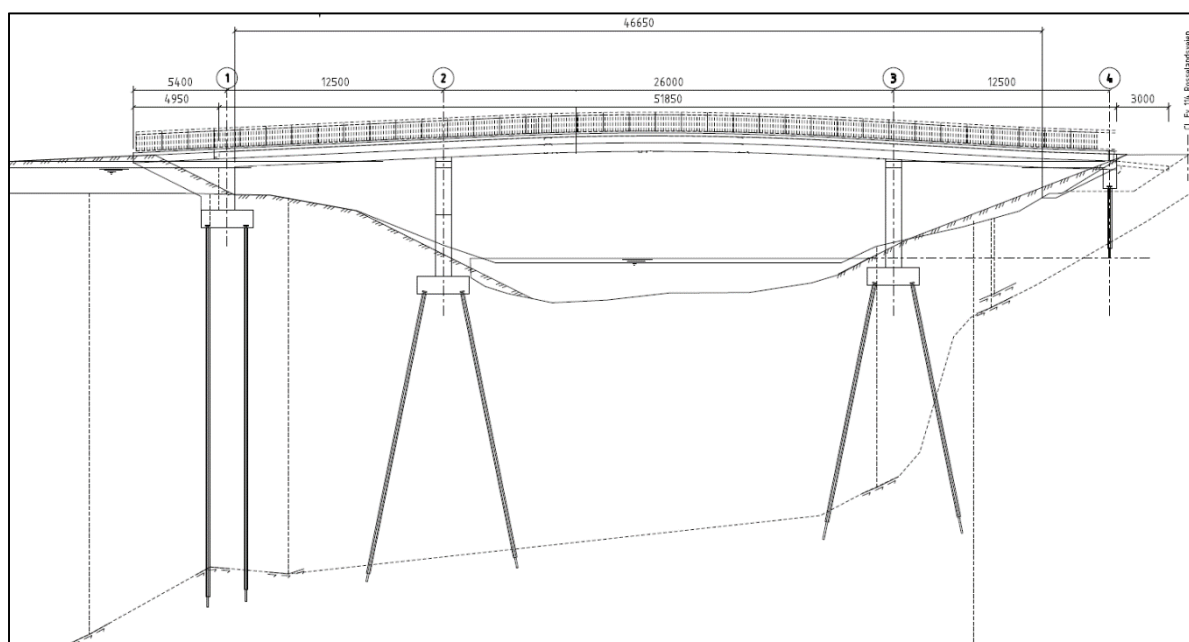
4.2 Resultater

4.2.1 Vurdering av brualternativ

Det ble vurdert 3 bru-alternativer: trebru, stålbru og betongbru. Størst forskjell mellom dem var selve brugeometrien: trebrua hadde 4 piler på vestsiden av elven, mens de andre hadde kun en piler på samme side (de andre 3 pilarene ble erstattet med fylling). Mens brumaterialene har liten effekt på hydrauliske forhold rundt brua (vannstand og hastighet), kan brugeometrien ha mer å si dersom strømningsarealet under brua reduseres. Derfor ble det kjørt to simuleringer: en med trebru (pilarer) og den andre med betongbru (fylling).



Figur 4-2. Alternativ med trebru



Figur 4-3. Alternativ med betongbru

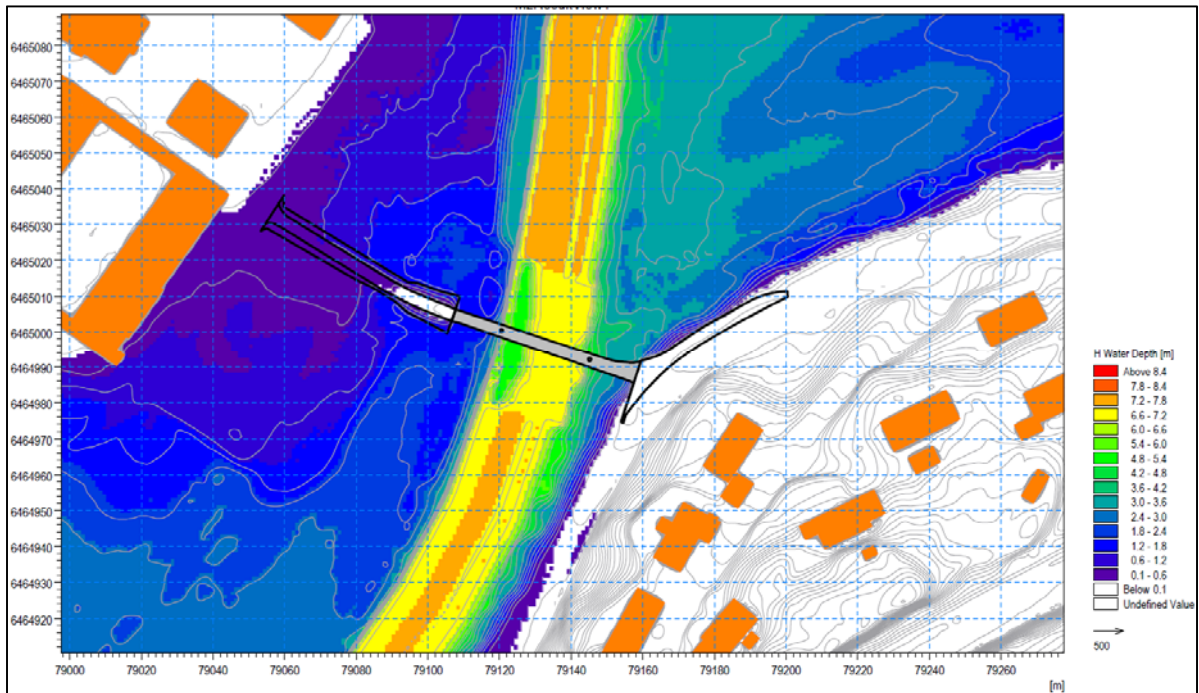
Resultatene fra den hydrauliske modellen viser liten forskjell i hydrauliske forhold mellom disse to alternativene. Alternativet med betongbru (fylling) gir en vannstandsøkning på 1-2 cm, mens hastigheten øker med ca. 10% ift. alternativet med trebru. Derfor er det konkludert med at, hydraulisk sett, finnes det ikke noen grunn til å velge ett alternativ framfor et annet.

4.2.2 Resultater fra det valgte brualternativet

Betongbru er valgt som endelig alternativ og vises detaljert i Figur 1-1 og Figur 1-2. Modellen er oppdatert med den nye brugeometrien og bunnutformingen etter de anbefalte erosjonssikringstiltak (se Figur 4-7).

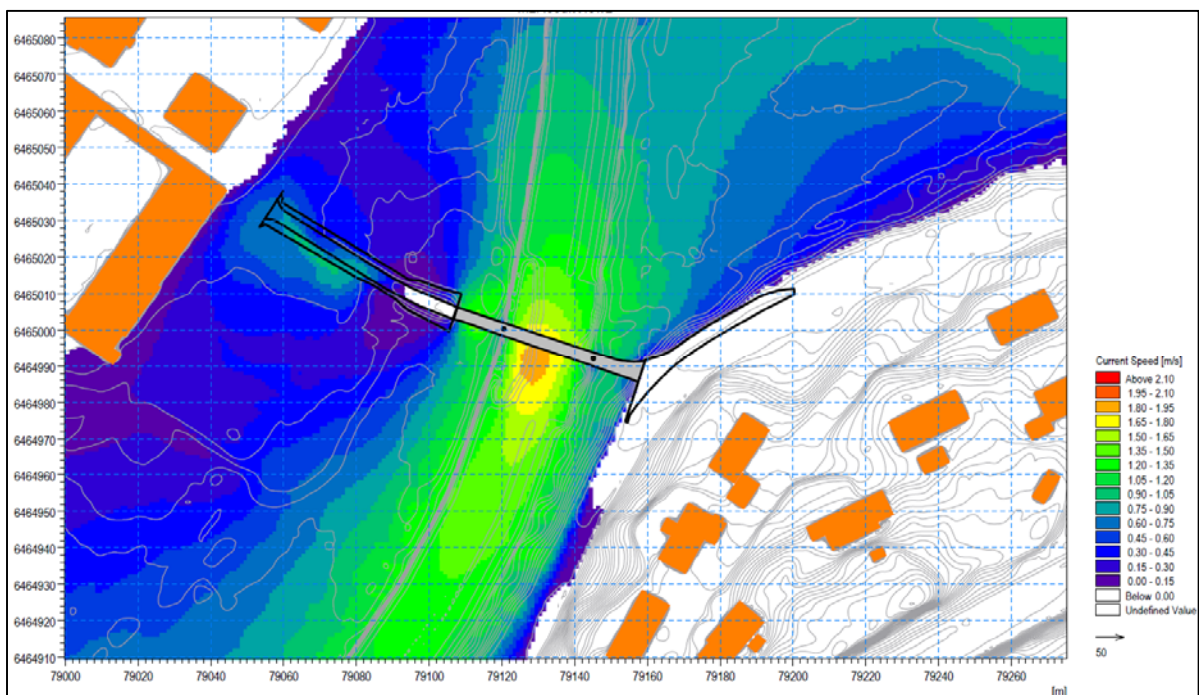
Figur 4-4 viser resultater for vanddybde fra den hydrauliske modellen ved en 200-årsflom + klimafaktor (20%) + sikkerhetsfaktor (10%). Vannstanden oppstrøms brua ligger på 15.57 moh. Maks vanddybde i elveløpet er 7.1 meter, mens det mellom pilaren på vestsiden og landkaret er 1.75 meter dypt. Mellom pilaren på østsiden og landkaret er vanddybden 3.3 meter. Vi ser også tydelig grensen mellom det nye erosjonssikringstiltaket og dagens elvebunn. I modellen er ikke denne overgangen modellert, men den bør bygges jevn for å unngå turbulens og erosjon i størst mulig grad langs denne grensen.

Flomberegning og vannlinjeberegning



Figur 4-4. Resultater for vanndybde (m) fra hydraulisk modell ved en 200-årsflom + KF (20%) + SF (10%)

Figur 4-4 viser resultater for hastighet (m/s) fra den hydrauliske modellen ved en 200-årsflom + klimafaktor (20%) + sikkerhetsfaktor (10%). Vi ser tydelig bruas påvirkning på vannhastighetene; disse øker under brua grunnet reduksjon i strømningsareal.

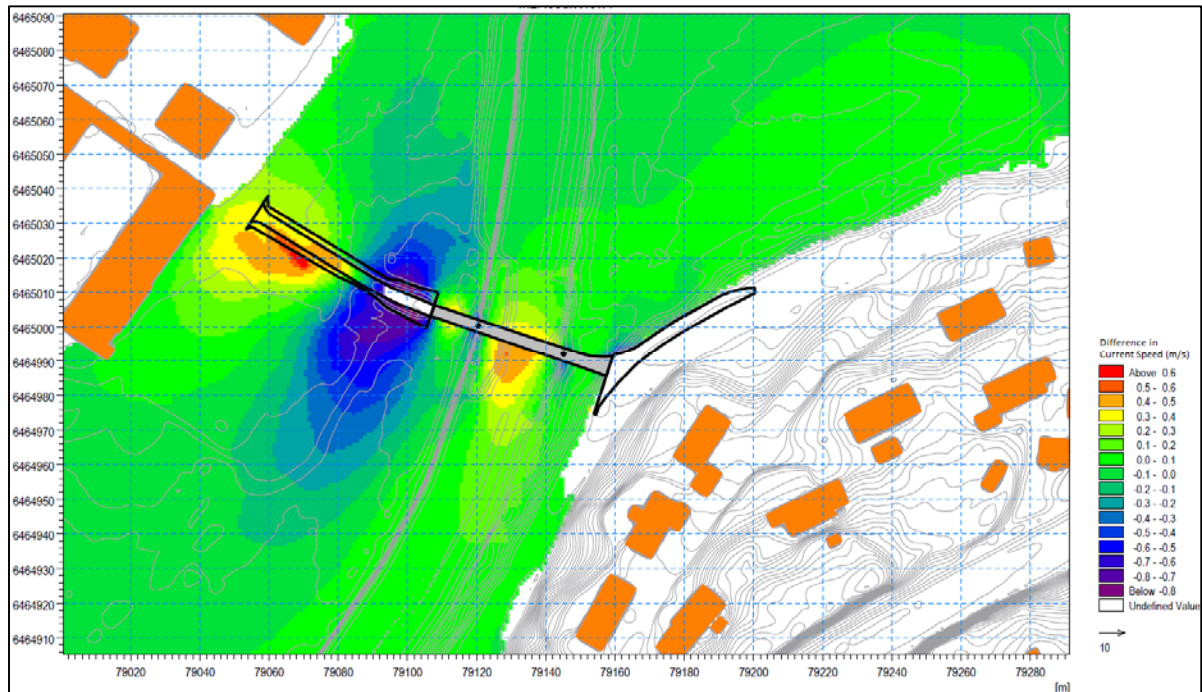


Figur 4-5. Resultater for hastighet (m/s) fra hydraulisk modell ved en 200-årsflom + KF (20%) + SF (10%)

Den største hastigheten mellom pilarene er 1.9 m/s, mens det mellom pilar og landkar opptrer vannhastigheter på 1.5 m/s på vestsiden og 1.1 m/s på østsiden. Rett oppstrøms pilarene er hastigheten 1.2 m/s.

4.2.3 Erosjonssikring

Den nye konstruksjonen vil redusere strømningsarealet under brua. Dette vil føre til en endring i strømningsforhold rundt brukonstruksjonen. Denne forskjellen er viktig for å bestemme hvor stort erosjonssikringstiltaket skal være. Figuren under viser forskjellen i vannhastighet mellom dagens situasjon og etter brua er bygd.

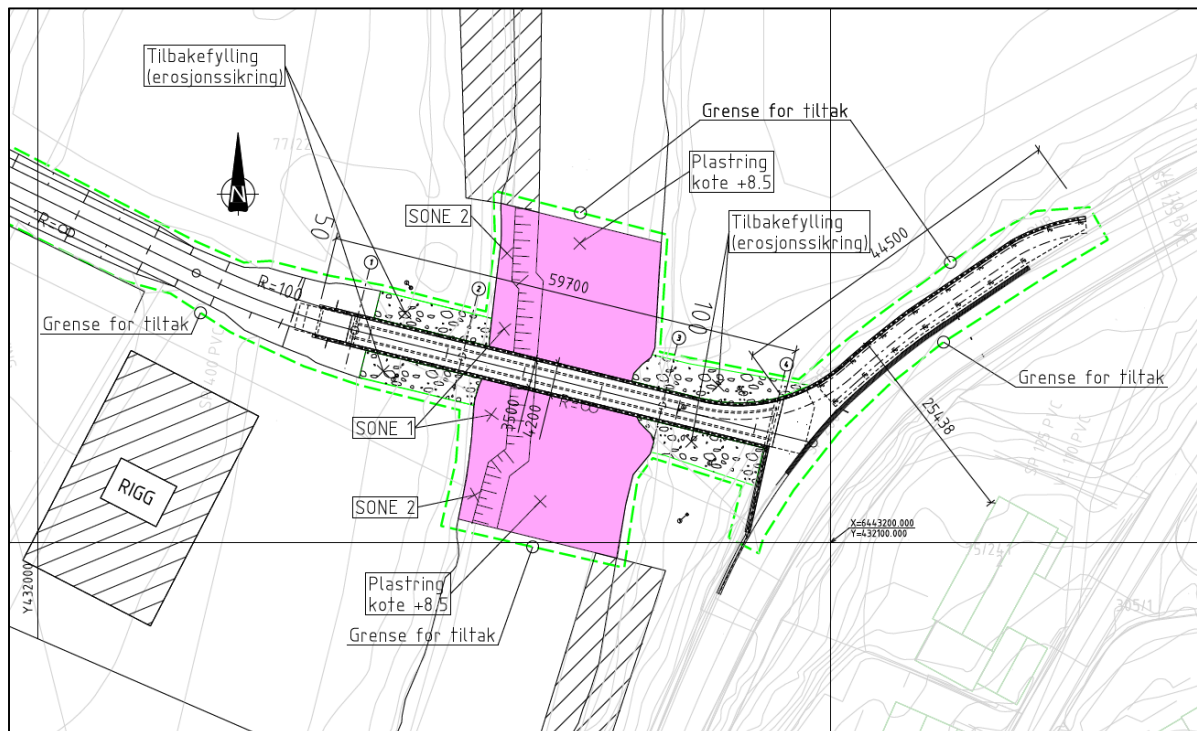


Figur 4-6. Forskjellen i vannhastighet etter utbygging av Birkelid bru (positive verdier viser en økning i vannhastighet ift. dagens situasjon)

Vannhastighetene øker mest mellom pilarene ift. dagens situasjon, med verdier rundt +0.5 m/s som sprer seg til ca. 10 meter nedstrøms brua. Verdier på +0.3 m/s finner vi fram til ca. 20 meter nedstrøms brua. Vannhastigheten øker også mellom pilarer og landkar (ca. 0.4 m/s). Der fyllingen bygges ser vi to forskjellige resultater: der vannstanden stiger over fyllingen vil vannhastighetene øke, mens der vannstanden ikke stiger over fyllingen ser vi en reduksjon i vannhastighet.

Erosjonssikringstiltak bør bygges der vannhastighetene øker mest og der det kan være fare for undergraving av brufundamentene (pilarer og landkar). Selv om vannhastighetene øker langt nedstrøms brua (+0.1 m/s ca. 70 meter nedstrøms brua), er økningen mye mindre, og eventuell erosjon så langt ned vil ikke påvirke bruas stabilitet.

Figur 4-7 viser områdene der erosjonssikringstiltaket bør implementeres.



Figur 4-7. Oversikt over erosjonssikringstiltaket.

Tykkelse, utstrekning og steinstørrelse til erosjonssikringstiltak er bestemt etter NVE sin rapport *Veileder for dimensjonering av erosjonssikring av stein* [3], og resultater fra den hydrauliske modellen.

Elveløp

Tiltaket bygges i elveløpet (bunn og sideskrånninger) under brua og forlenges ca. 20 meter både opp- og nedstrøms. På den måten kobles det nye tiltaket med det eksisterende som ligger i yttersvingen av elva. Som nevnt skal det være en jevn overgang mellom det nye tiltaket og dagens elvebunn for å unngå, eller i størst mulig grad redusere, turbulens og erosjon ved tiltakets grenser.

Steinstørrelse som trenges i dette området er $D_{50}=10$ cm. Pga. liten forskjell mellom størrelser i de forskjellige områder, kan denne størrelsen brukes både i elvebunn og sideskrånninger. Tykkelsen skal være minst 30 cm.

Pilarene

Sikring rundt de to pilarene legges med en lengde (i vannets strømningsretning) på ca. 12 meter (6 meter oppstrøms og 6 meter nedstrøms) og en bredde på minst på 4 meter (2 meter til hver side).

Steinstørrelse rundt pilarene må være minst $D_{50}=12$ cm. Tykkelsen skal være minst 36 cm.

Landkar

På vestsiden legges sikringen minimum 4 meter opp- og nedstrøms de ytterste kantene til landkarene, mens på østsiden må denne avstanden økes til minst 7 meter.

Steinstørrelse ved landkarene må være minst $D_{50}=15$ cm. Tykkelsen skal være minst 30 cm.

Parametere brukt for å beregne de nevnte steinstørrelsene vises i følgende tabeller:

Flomberegning og vannlinjeberegning

Tabell 4-2. Korreksjonsfaktor brukt for beregning av steinstørrelse i sideskråninger

Korreksjon for sideskråning		
Parameter	Brattest sideskråning	
Friksjonsvinkel erosjonssikring	φ	45
Sideskråningens horisontalkomponent	z	1.5
Korreksjonsfaktor (tradisjonell)	K_1	0.62
Alternativ korreksjonsfaktor (Escarameia)	K_1	0.71

Tabell 4-3. Parametere brukt for beregning av steinstørrelse i elvebunn og sideskråninger

Erosjonssikring Maynords formel, slake elver, fall mindre enn 2 %			
Parameter	Elvebunn		
Sikkerhetsfaktor	S_f		1.20
Bunnhelning	S_0		0.00
Midlere vannhastighet	V	m/s	1.90
Vanndybde	y_0	m	7.20
Bredde av hovedløp	W	m	12.00
Kurveradius	R	m	500
Stabilitetskoeffisient	C_s		0.30
Relativ radius	R/W		41.67
	C_v kurve		1.00
Koeffisient for vertikal hastighetsfordeling	C_v		1.00
Koeffisient for sikringstykkelse	C_t		1.00
Steinvekt	W_s	kg/m ³	2600
	U	m/s	2.38
	y_{0ss}	m	5.76
	U_{ss}	m/s	1.90
	d₃₀		0.06
	d₃₀ side		0.07
	d₅₀	m	0.08
	d₅₀ side	m	0.09

Tabell 4-4. Parametere brukt for beregning av steinstørrelse rundt pilarene

Brupilarer, beregning etter Lagasse 2007			
Parameter	Pilar øst og vest		
Formfaktor	K_f	-	2.3
Spesifikk tetthet	s	-	2.6
Middelhastighet	V	m/s	1.20
Hastighetskoeffisient	K_v	-	1.3
Hastighet ved brupilar	V_{lokal}	m/s	1.6
Dimensjonerende steinstørrelse	D₅₀	m	0.12

Tabell 4-5. Parametere brukt for beregning av steinstørrelse ved landkar

Landkar, beregning etter Barkdoll 2007				
Parameter			Landkar vest	Landkar øst
Vanndybde ved landkar	y	m	1.75	3.3
Innrykk	L_i	m	0	0
Innrykksforhold	IF	-	0	0
Karakteristisk hastighet	V_{kar}	m/s	1.5	1.1
Spesifikk tetthet	s	-	2.6	2.6
Froudetall	Fr	-	0.4	0.2
Dersom $Fr < 0.8$				
Formfaktor	K	-	1.02	1.02
Dimensjonerende steinstørrelse	D_{50}	m	0.15	0.08

5 Konklusjon

Reetablering av ny gang- og sykkelbru over Songdalelva vil påvirke strømningsforhold rundt konstruksjonen ift. dagens situasjon. Selv om vannstand oppstrøms brua ikke vil bli særlig påvirket, vil det være en økning i vannhastighet.

Vannstand ved en 200-årsflom, med 20% klimapåslag og 10% sikkerhetsfaktor, vil nå opp til kote 15.60. Selv om det ikke blir 0.5 m fribord i hele brulengden, er dette fribordet øket på den sentrale delen av brua (ca. 35 meter).

På grunn av en reduksjon i strømningsareal vil vannhastigheten under brua øke ift. dagens situasjon. Den største økningen vil være mellom pilarene, med en økning på ca. 0.5 m/s. Mellom pilarene og landkar er økningen omtrentlig 0.3-0.4 m/s. På grunn av denne vannhastighetsøkningen må erosjonssikringstiltak implementeres rundt konstruksjonen. Steinstørrelsen D_{50} varierer fra 8 cm til 15 cm. Tykkelsen varierer fra 30 cm til 36 cm. Grunnet denne liten forskjellen i steinstørrelse og tykkelse, anbefales det å bruke $D_{50}=15$ cm og tykkelse=36 cm over hele erosjonssikringstiltaket.