



Statens vegvesen

KOMMUNEDELPLAN

Høringsutgåve



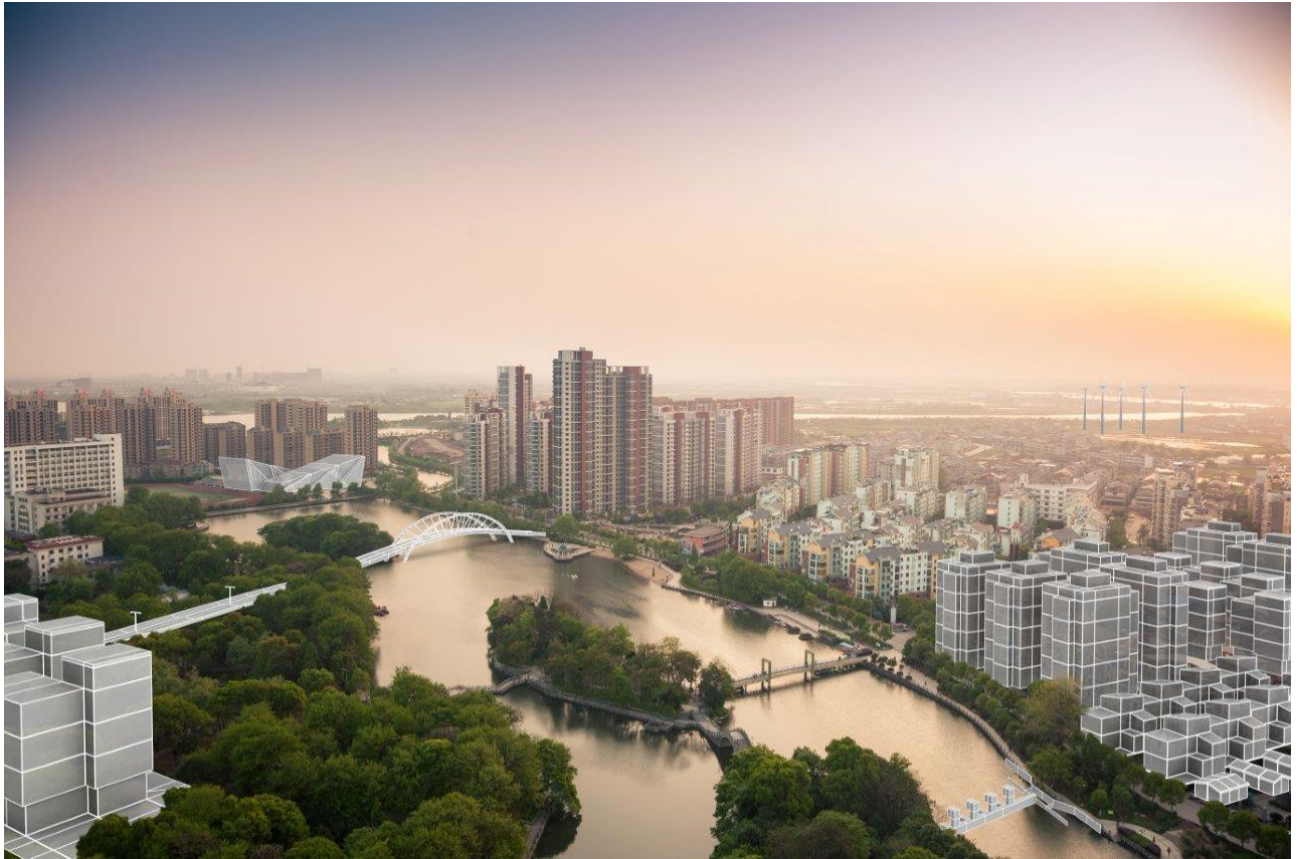
E39 Byrkjelo - Grodås

Flom- og vannlinjeberegninger i Byrkjelo og Hornindal

Kommunar: Gloppen, Stryn, Hornindal

RAPPORT

Flom- og vannlinjeberegninger i Byrkjelo og Hornindal



Kunde:	Statens vegvesen		
Prosjekt:	E39 Byrkjelo - Grodås – Flaumberekninger for kommunedelplan		
Prosjektnummer:	28231001		
Dokumentnummer:	28231001-A01	Rev.:	1

Sammendrag:

I forbindelse med ny E39 strekning Byrkjelo - Grodås har det blitt gjennomført todimensjonal numerisk modellering av 200-årsflom i elvene Storelva og Myklebustdalselva ved Byrkjelo, og Horndøla i Hornindal. Det ble beregnet vannlinjer, oversvømt areal og vannhastigheter for dagens situasjon, samt størrelse på nødvendig areal ved brusteder, som grunnlag for vegtrasévalg.

Flomvannføringer med 200-års gjentakintervall, inklusive klimapåslag, ble beregnet til 696 m³/s for Storelva, 323 m³/s for Myklebustdalselva og 306 m³/s for Horndøla.

Modellberegningene for Byrkjelo viser at store deler av Byrkjelo sentrum står under vann ved 200-årsflom i Storelva og Myklebustdalselva. Storelva oversvømmer store deler av flomslettene. Vann renner delvis over dagens E39. Alternative bruer skissert i planprogrammet krysser Storelva der vannstrømmene er mellom 400 og 500 m brede ved 200-årsflom. Særlig brusted 2 ligger ugunstig pga. at elva deler seg. Hvis det bygges tunnelinngang i Byrkjelo i området mellom Meierivegen og Lonevatnet, anbefales det å utrede flomveier som vann eventuelt kan ta ned fra Lonevatnet ved høy flomvannstand.

Langs den øvre, bratte delen av Horndøla går elva i liten grad over breddene ved 200-årsflom. Nedstrøms eksisterende E39 brua går elva over sine bredder og fyller flomslettene særlig i innersvingene. Det er ugunstig å plassere ei bru på en flomslette slik som det er planlagt for brusted 1. Kunstgressbanen blir oversvømt. Eventuelle vegfyllinger i Hornindal bør legges slik at flomslettene ikke blir innsnevret. Ved idrettsplassen og videre nedstrøms renner vann delvis over flomvollene og oversvømmer Hornindal kirke og eksisterende E39.

Nødvendig tverrsnittsareal ved tre potensielle brusteder over Storelva ved Byrkjelo ble beregnet til henholdsvis 1000, 510 og 2180 m². Ved to potensielle brusteder over Horndøla i Hornindal ble nødvendig tverrsnittsareal beregnet til 190 m² på begge steder.

Etter informasjon fra NVE er det ikke registrert problemer med is i Storelva nedstrøms Bergheimsvatnet. I Horndøla har isgang vært et kjent problem og kan forårsake oppstuvning på strekningen fra idrettsplassen til utløp i Hornindalsvatnet. De to alternative brustedene i Hornindal ligger oppstrøms problemstrekningen. Det er mindre sannsynlig at is kommer til å forårsake problemer på de to brustedene. Høy vannhastighet langs en brattere elvestrekning fører til at is transporteres ned elva og ikke stuver seg opp.

De modellerte vannstandsverdiene er vurdert til å være realistiske. Modellresultatene gjelder for dagens veg- og terrengsituasjon. Brukonstruksjonene skal planlegges slik at vannstrømning blir minst mulig påvirket under en 200-årsflom, og konstruksjonene ikke fører til høyere vannstander andre steder gjennom oppstuvning. Avhengig av hvor bruene plasseres, hvilken geometri de får, og fremtidig veggeometri med fyllinger, kan det være nødvendig å beregne vannlinjer for den fremtidige veg- og terrengsituasjonen. Langs bratte partier av elva og eller steder hvor vannhastigheten er høy bør det brukes en høyere sikkerhetsmargin enn 0,5 m.

Det påpekes at ethvert inngrep som endrer strømningsmønsteret i en elv kan forårsake erosjonsskader, særlig utsatt er elver som renner gjennom løsmasser som f. eks. Storelva og Horndøla.

Rapportstatus:

- ☒ Endelig
☐ Oversendelse for kommentar
☐ Utkast/internt

Utarbeidet av:	Sign.:
Julian Sauterleute, Capucine Thomas-Lepine	 Digitally signed by Julian Sauterleute Date: 2017.06.09 15:43:06 +02'00'
Kontrollert av:	Sign.:
Samuel Vingerhagen	 Digitally signed by Samuel Vingerhagen Date: 2017.06.09 15:44:23 +02'00'
Prosjektleder:	Prosjekteier:
Julian Sauterleute	Wolf-Dietrich Marchand

Revisjonshistorikk:

0	01.06.2017	Versjon 1	nosaut	nosavi
1	09.06.2017	Redigert etter kommentarer fra kunden	nosaut	nosavi
Rev.	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet av	Kontrollert av

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
2	Flomvannføringer.....	8
2.1	Byrkjelo: Storelva og Myklebustdalselva	8
2.2	Hornindal: Horndøla	12
3	Vannlinjer og oversvømt areal	13
3.1	Hydrauliske modeller.....	13
3.2	Modellsensitivitet.....	17
3.3	Hydrauliske resultater.....	18
3.3.1	Byrkjelo	18
3.3.2	Hornindal	21
3.4	Begrensninger i hydrauliske modeller	24
4	Nødvendig tverrsnittsareal bruer.....	24
4.1	Byrkjelo.....	24
4.2	Hornindal	27
5	Problemer med is.....	30
6	Oppsummering	30
6.1	200-årsflom.....	30
6.2	Brusteder	30
6.2.1	Byrkjelo.....	31
6.2.2	Hornindal	31
7	Referanser	32

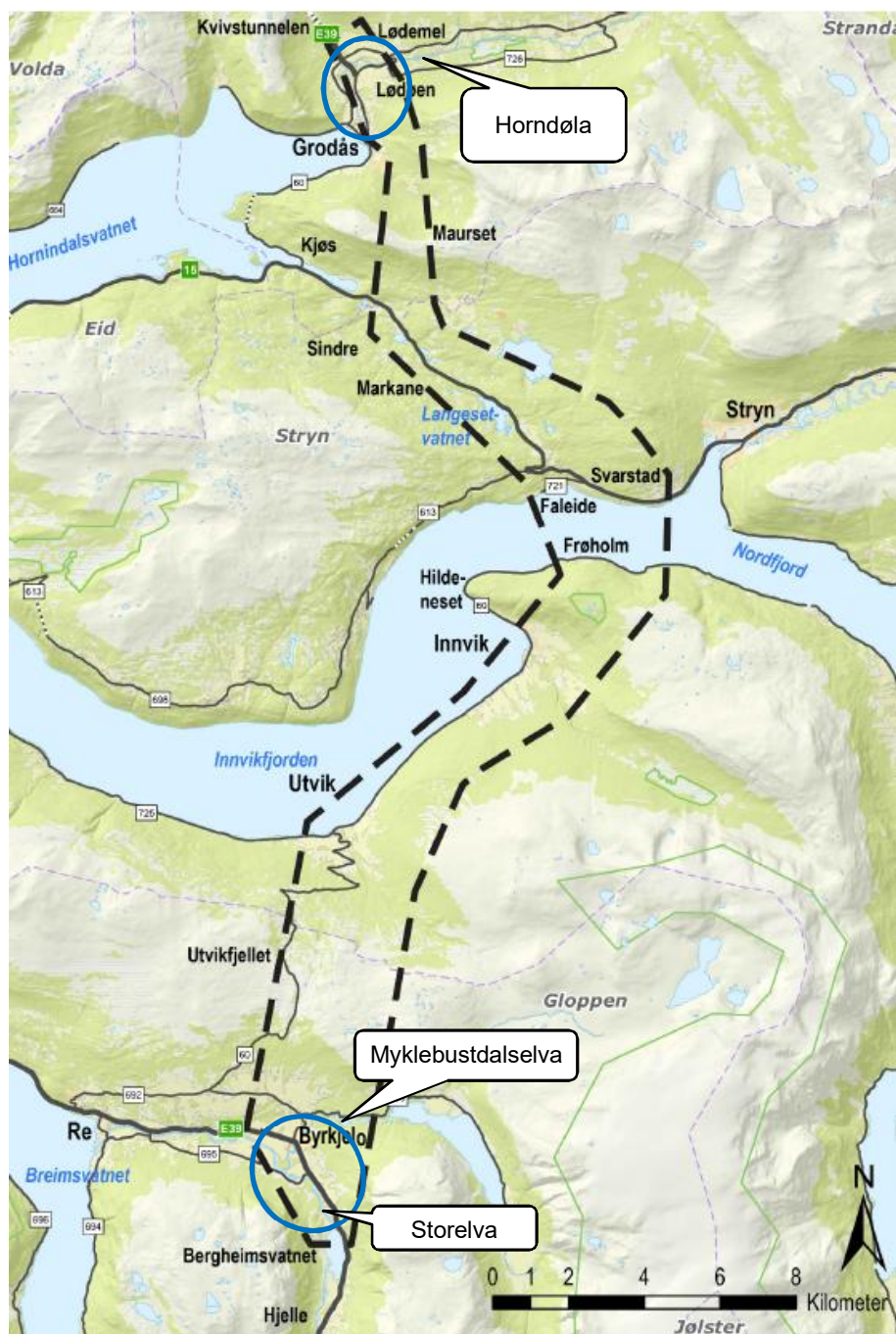
Vedlegg

- 1 Nedbørfeltparametere fra NEVINA
- 2 Flomfrekvensanalyse
- 3 Kart med modellresultater Byrkjelo
- 4 Kart med modellresultater Hornindal
- 5 Profiler Byrkjelo
- 6 Profiler Hornindal

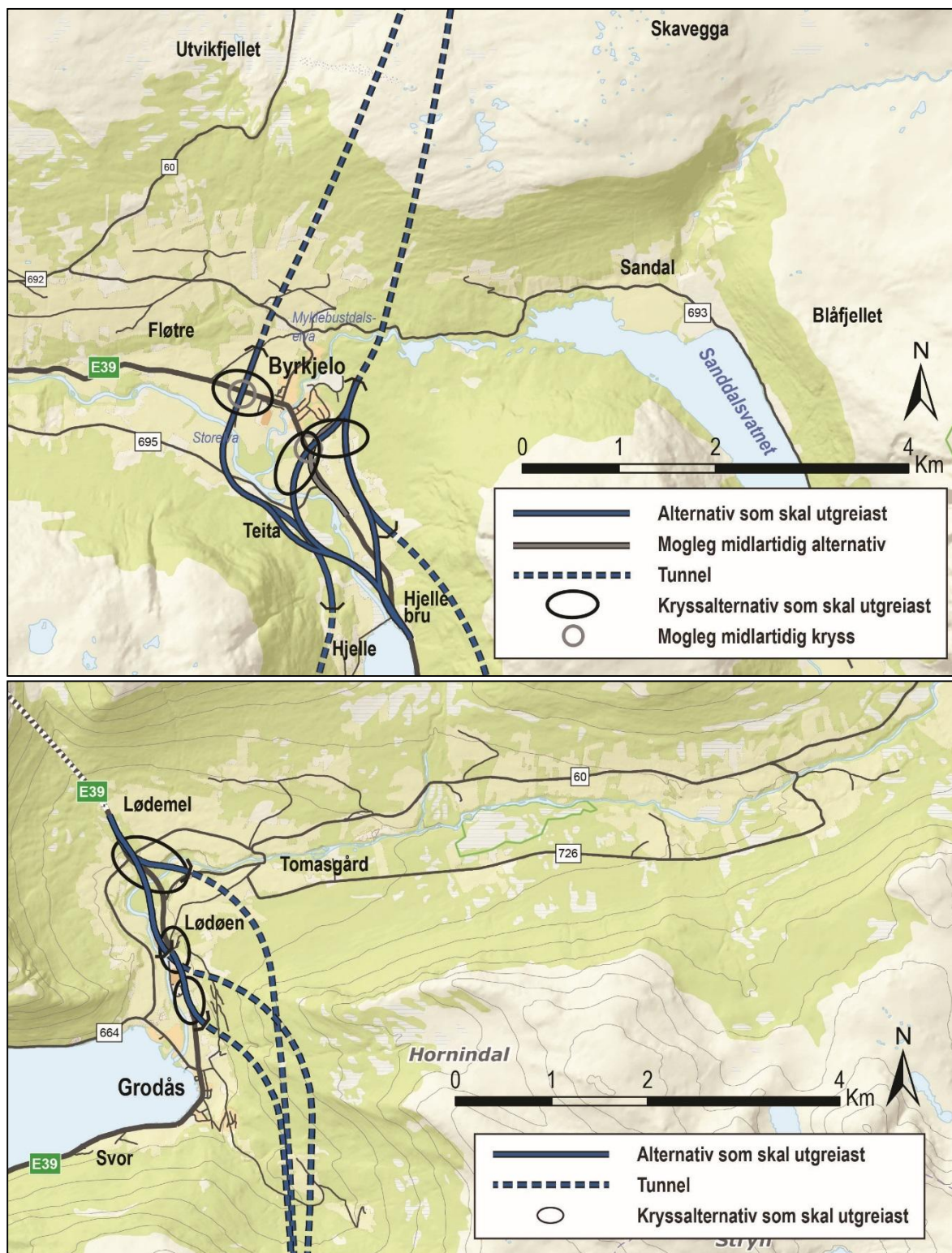
1 Innledning

På oppdrag fra Statens vegvesen har Sweco utført flomvurderinger i Byrkjelo og Hornindal i forbindelse med planlegging av ny E39 på strekningen Byrkjelo til Grodås. Denne rapporten er en delrapport til kommunedelplanen. Rapporten inneholder beregninger av vannlinjer, oversvømt areal og vannhastigheter ved 200-årsflom i aktuelle elver, samt nødvendig størrelse på lysåpninger av bruer, som grunnlag for vegtrasévalg.

Beregningene ble utført i to områder langs E39 (Figur 1 og Figur 2): Byrkjelo med elvene Storelva og Myklebustdalselva; og Hornindal med Horndøla. 200-årsflom i de aktuelle elvene ble beregnet, inklusive klimafaktorer. Vannlinjer, vanndybder, vannhastigheter og flomsoner ble beregnet for dagens situasjon ved bruk av en todimensjonal numerisk modell. Ut ifra modellresultatene ble nødvendig tverrsnittsareal ved alternative brusteder beregnet, som grunnlag for vurdering av nødvendige lysåpninger av planlagte bruer over Storelva og Horndøla. Informasjon om eventuelle problemer med is i Storelva og Horndøla ble hentet inn fra NVE.



Figur 1: Planavgrensning E39 Byrkjelo - Grodås med modellerte områder (blå sirkler) og elver i Byrkjelo og Hornindal. Kart fra SVV (2016).



Figur 2: Alternative vegtraséer ved Byrkjelo og i Hornindal. Kart fra SVV (2016).

2 Flomvannføringer

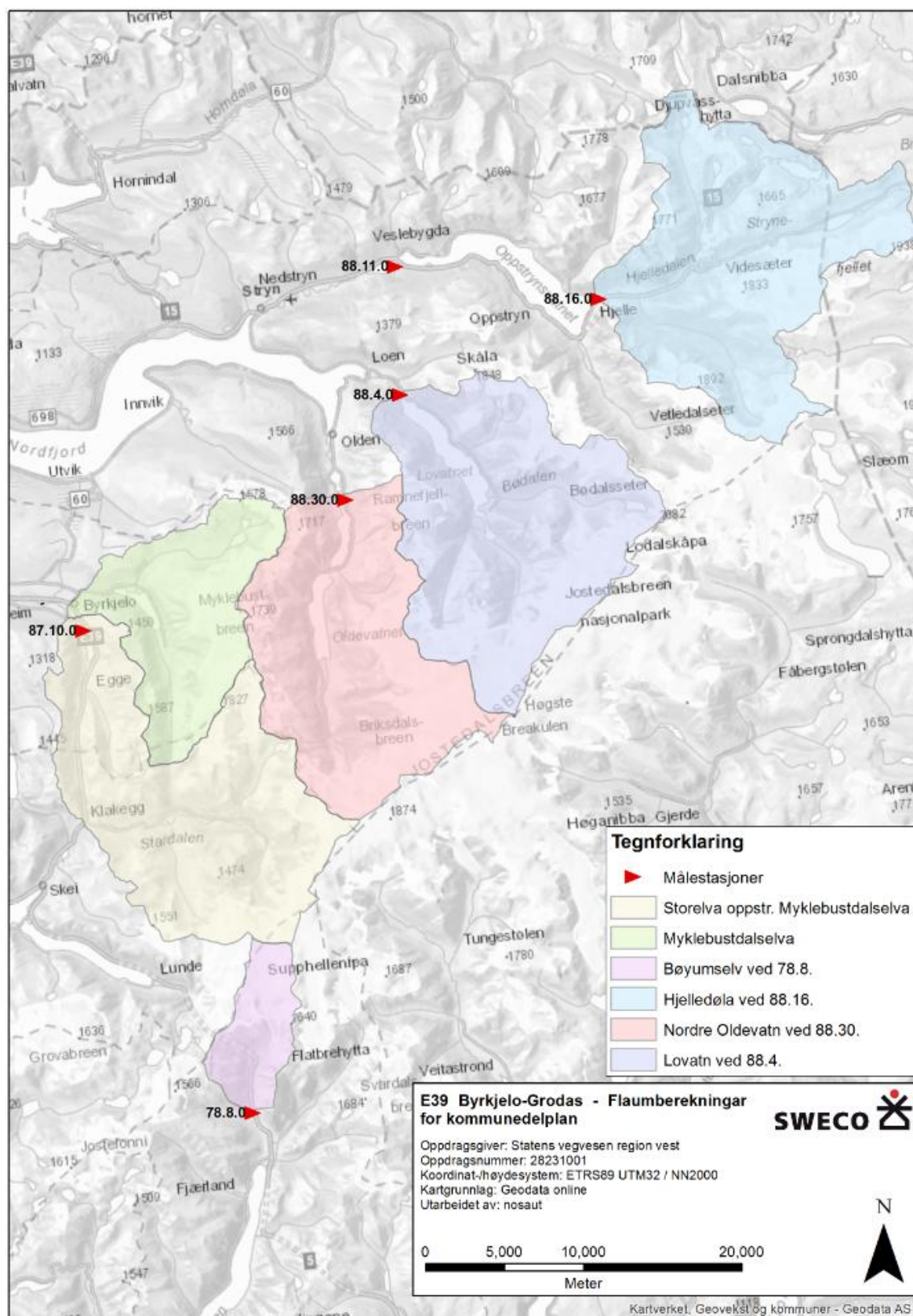
Dimensjonerende flom for planleggingen av ny E39 er 200-årsflommen (Q_{200}), inklusive påslag for fremtidige klimaendringer og sikkerhetsmargin (SVV, 2013; SVV 2014). Klimapåslag ble bestemt på grunnlag av NVE sine anbefalinger for regionale endringer i 200-årsflom (NVE, 2016a).

2.1 Byrkjelo: Storelva og Myklebustdalselva

Størrelsen på 200-årsflom i Storelva og Myklebustdalselva ble bestemt ved hjelp av flomfrekvensanalyse med NVE sine verktøy og vannføringsdata i HYDRA databasen. Fem målestasjoner i regionen (Figur 3) ble valgt ut som aktuell for analysen og skalering til Storelva og Myklebustdalselva, med hensyn til geografisk avstand, beliggenhet i forhold til Jostedals- og Myklebustbreen, datatilgjengelighet og vannkraftregulering. For de fem utvalgte målestasjonene ble feltparametere hentet fra NEVINA (<http://nevina.nve.no/>, Vedlegg 1) og sammenlignet med hverandre (Tabell 1). Nedbørfeltene inkluderer en del vannkraft. Siden det er stort sett småkraft vurderes reguleringseffekten imidlertid som så liten at den kan ses bort ifra for beregning av 200-årsflommen.

For nedbørfeltet «Storelva oppstrøms Myklebustdalselva» er det åpenbart at målestasjon 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim er best egnet. Målestasjonen ligger i Storelva, ca. 1,6 km oppstrøms samløpet med Myklebustdalselva (Figur 3). Til tross for god lengde av vannføringsserien (år 1971-2015) ble 200-årsflommen også beregnet basert på målestasjon 88.33.0 Nordre Oldevatn. Denne målestasjonen er stasjonen med lignende feltparametere til nedbørfeltet Storelva oppstrøms Myklebustdalselva som ligger nærmest (avstand ca. 20 km). 88.30.0 Nordre Oldevatn har høyere sjøprosent og høyere breandel enn målestasjon 88.16.0 Hjelledøla (avstand ca. 40 km). Det ble vurdert at avstanden i retning øst-vest i denne regionen har mer å si enn høyere sjøprosent og breandel.

For nedbørfeltet «Myklebustdalselva» er også målestasjon 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim best egnet. Denne stasjonen har kortest avstand og egner seg best med tanke på normalavrenning, min./maks. høyde og breandel, men har lavere sjøprosent og elvegradient enn nedbørfeltet Myklebustdalselva (Tabell 1). Til sammenligning ble derfor 200-årsflommen også beregnet basert på målestasjon 88.33.0 Nordre Oldevatn.



Figur 3: Kart over vannføringsmålestasjoner og nedbørfelt som grunnlag for flomberegningen ved Byrkjelo.

Tabell 1: Feltparametere til nedbørfelt i regionen som grunnlag for valg av målestasjoner for flomfrekvensanalyse og skalering til Storelva og Myklebustdalselva.

	Storelva oppstrøms Myklebust- dalselva	Myklebust- dalselva	87.10.0 Glommenelva v/Bergheim	88.30.0 Nordre Oldevatn	88.4.0 Lovatn	78.8.0 Bøyumselv	88.16.0 Hjelledøla
År	-	-	1971- 2016	1902- 2016	1900- 2016	1983- 2015	1982- 2015
Avstand fra samløp Myklebustdalselva med Storelva (km)	-	-	1,6	20	25	33	40
Feltareal (km ²)	222	116	219	201	235	40	232
Normalavrenning 1961- 1990 (l/s/km ²)	78,7	79,7	79,3	75,5	64,8	108,4	66,8
Effektiv sjøprosent (%)	0,3	2,1	0,3	3,4	4,5	0,2	0,1
Elvegradient (‰)	39	52	40	60	71	75	54
Feltlengde (km)	25	15	24	20	22	11	21
Min. høyde (moh)	131	130	138	33	52	39	41
Maks. høyde (moh)	1844	1820	1844	1953	2076	1732	1933
Bre (%)	17	26	17	37	34	42	17
Dyrket mark (%)	3	2	3	2	< 1	< 1	< 1
Myr (%)	< 1	< 1	< 1	0	0	< 1	< 1
Innsjø (%)	1,2	3,6	1	4	5	< 1	3
Skog (%)	18	16	17	18	16	19	14
Snaufjell (%)	52	47	53	36	43	31	62
Urban (%)	0	< 1	0	0	0	0	0
Vannkraftverk	5 små	1 med et lite magasin, 1 små	4 små	1 små	ingen	ingen	1 små

For hver vannføringsserie ble det valgt den best egnede frekvensfordelingen (se Tabell 2 og Vedlegg 2). Vekstfaktorer for 200-årsflommen (Q_{200} delt med middelflom Q_M) er vist i Tabell 2.

Tabell 2: Valgte frekvensfordelinger og resulterende vekstfaktorer.

	87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim	88.30.0 Nordre Oldevatn
Fordeling	Gumbel I-moment	GEV Maximum Likelihood
Vekstfaktor (Q_{200}/Q_M)	2,53	1,68

For å beregne kulminasjonsflomverdier ble forholdstall mellom momentanflom og døgnmiddelflom beregnet iht. formelen for høstflom gitt i NVE (2011): 1,46 for Storelva oppstrøms Myklebustdalselva og 1,30 for Myklebustdalselva. Resultater av flomberegningen er vist i Tabell 3 og Tabell 4.

Til sammenligning ble 200-årsflom i Storelva oppstrøms Myklebustdalselva og i Myklebustdalselva i tillegg beregnet med flomformler for breflomregion fra regional flomfrekvensanalyse gitt i NVE (2011). Vekstfaktoren Q_{200}/Q_M ble bestemt til 2,3. Resultater er vist i Tabell 3 og Tabell 4.

De to elvene ligger i et område der NVE har beregnet en økning i 200-årsflommen for utvalgte vassdrag på mellom 41 % og 60 % som følge av forventede klimaendringer (NVE, 2016a). Klimapåslaget for Myklebustdalselva og Storelva ble valgt til 40 %, i henhold til NVE sin anbefaling (Tabell 3 og Tabell 4).

Tabell 3: Resultater av flomberegningen for Storelva oppstrøms Myklebustdalselva. Forholdstall momentanverdi/døgnverdi 1,46; klimapåslag 40 %. Valgt flomverdi brukt i hydraulisk modell er avmerket i grått.

	Storelva oppstrøms Myklebustdalselva		
Basert på	87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim	88.30.0 Nordre Oldevatn	Flomformel brefflomregion
Middelflom (m^3/s)	134	86	122
Spesifikk middelflom ($l/s/km^2$)	606	385	549
200-årsflom, døgnverdi (m^3/s)	340	144	280
200-årsflom, momentanverdi (m^3/s)	497	210	410
200-årsflom, momentanverdi inkl. klimapåslag (m^3/s)	696	294	574

Tabell 4: Resultater av flomberegningen for Myklebustdalselva. Forholdstall momentanverdi/døgnverdi 1,30; klimapåslag 40 %. Valgt flomverdi brukt i hydraulisk modell er avmerket i grått.

Basert på	Myklebustdalselva		
	87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim	88.30.0 Nordre Oldevatn	Flomformel breflomregion
Middelflom (m ³ /s)	70	45	65
Spesifikk middelflom (l/s/km ²)	606	385	560
200-årsflom, døgnverdi (m ³ /s)	178	75	162
200-årsflom, momentanverdi (m ³ /s)	231	98	210
200-årsflom, momentanverdi inkl. klimapåslag (m ³ /s)	323	137	294

Resultater av flomberegningen viser stor sprekk mellom verdiene beregnet ved skalering fra de to valgte målestasjonene og ved flomformler for breflomregion. Hydrologisk datagrunnlag er vurdert som godt. Både 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim og 88.30.0 Nordre Oldevatn har lang vannføringsserie og god vannføringskurve iht. HYDRA database. De mye lavere flomverdiene ved bruk av målestasjon 88.30.0 Nordre Oldevatn kan være relatert til høyere effektiv sjøprosent og beliggenhet av nedbørfeltet i forhold til Storelva og Myklebustdalselva. 88.30.0 Nordre Oldevatn ligger ca. 20 km øst for Byrkjelo, på andre siden av Myklebustbreen. Flomformler for breflomregion fra regional flomfrekvensanalyse gir flomverdier som ligner mer resultatet fra flomfrekvensanalyse basert på målestasjon 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim (Tabell 3 og Tabell 4). Derfor ble det valgt flomverdiene fra flomfrekvensanalyse basert på målestasjon 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim. Målestasjonen anses som representativ, så dette er et realistisk valg.

2.2 Hornindal: Horndøla

NVE har nylig utført flomberegning i Horndøla (NVE, 2016b). Denne beregningen er en oppdatering av en tidligere flomberegning utført i forbindelse med flomsonekartprosjektet i Hornindal (NVE, 2001a,b). Flomverdier ble beregnet ved to punkter i Horndøla: ved Sagøyna ca. 0,5 km oppstrøms Storebrua, og ved utløp i Hornindalsvatnet (Figur 5, Tabell 5). Sistnevnte verdi inkluderer vann fra sidevassdrag. NVE (2016b) vurderer usikkerheten i flomberegningen som svært stor, pga. begrenset hydrologisk grunnlag.

Horndøla ligger i et område der NVE har beregnet en økning i 200-årsflommen på 20 % som følge av forventede klimaendringer (NVE, 2016a,b). I hydrauliske beregningen for denne rapporten ble det således brukt et klimapåslag på 20 % på 200-årsflommen, i henhold til NVE sin anbefaling (Tabell 5).

Tabell 5: Oppsummering av flomverdier i Horndøla beregnet av NVE (2016b); klimapåslag 20 %. Valgt flomverdi brukt i hydraulisk modell er avmerket i grått.

	Horndøla ved Sagøyna	Horndøla ved utløp i Hornindalsvatnet
Middelflom (m³/s)	66	76
Spesifikk middelflom (l/s/km²)	580	550
200-årsflom, døgnerverdi (m³/s)	150	171
200-årsflom, momentanverdi (m³/s)	255	291
200-årsflom, momentanverdi inkl. klimapåslag (m³/s)	306	349

I arbeidet for denne rapporten ble det valgt å bruke flomverdien fra NVE sine beregninger, uten å legge til en sikkerhetsmargin for usikkert hydrologisk grunnlag. Siden hovedfokus ift. elvekryssing ligger i øvre del av den modellerte strekningen av Horndøla, ble det valgt å ikke legge til vannføring fra sidevassdrag (Horndøla ved utløp i Hornindalsvatnet, se Tabell 5) i hydrauliske modellen (jf. kapittel 3.1).

3 Vannlinjer og oversvømt areal

3.1 Hydrauliske modeller

Programvaren HEC-RAS 5.0.3 (USACE, 2016) ble brukt til å beregne vannlinjer og oversvømt areal under 200-årsflom. Vanndybde og vannhastighet i horisontale retninger (2D) ble beregnet.

Terrengmodeller ble laget basert på laserdata, mottatt av Statens vegvesen:

- Byrkjelo: oppmåling september 2010, koordinatsystem Euref1989 UTM sone 32, høydesystem NN1954; punkttetthet > 1 pkt/m²
- Hornindal: oppmåling august 2013, koordinatsystem Euref1989 UTM sone 32, høydesystem NN1954; punkttetthet > 2 pkt/m²

Laserdataene ble konvertert fra høydesystem NN1954 til NN2000 (Byrkjelo +3 cm, Hornindal +2 cm) ved å sammenligne høyder på fastmerker (www.norgeskart.no).

Terrengmodeller for begge områder ble bygd opp ved bruk av laserdata og dagens veggeometri. Terrengmodellene ble generert ved å interpolere lineært mellom laserdata punktene til raster med 0,2 m oppløsning. Laser måler ikke under vann, men vannoverflaten. Det betyr at elvebunn i modellene ligger høyere enn i virkeligheten. I modellsimuleringene ble det brukt beregningsgrid med gjennomsnittlig celledimensjon på henholdsvis 10 m og 5 m. Bruer, bygninger og lignende

infrastruktur ble ikke modellert, dvs. eventuell oppstuvning ved bruer eller bygg kommer ikke frem i modellene. Sidebekker ble ikke inkludert.

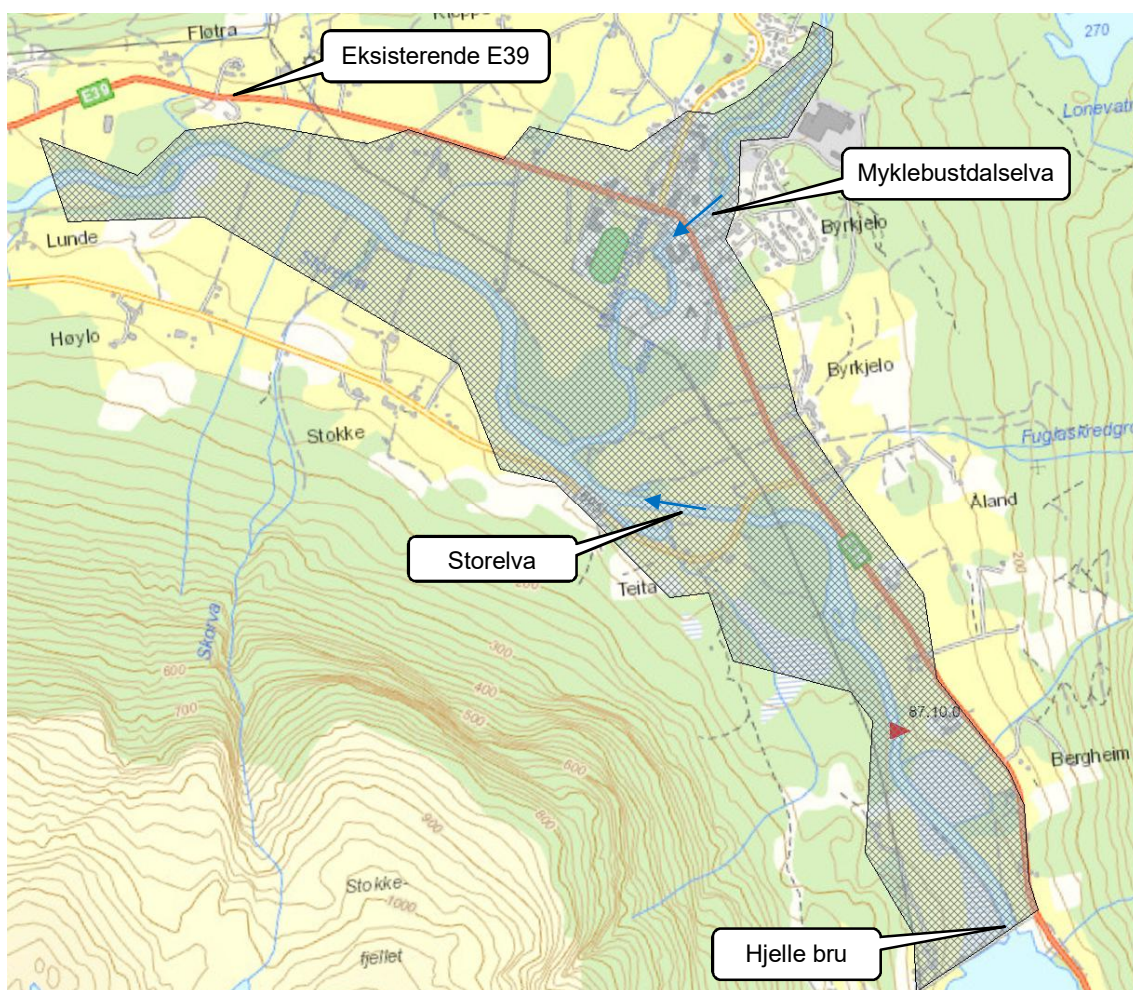
I Byrkjelo omfattet den hydrauliske modellen et område som inkluderer Storelva på ca. 5 km lengde, fra Hjelle bru til fossen nedstrøms Lunde, og Myklebustdalselva på ca. 2 km lengde, fra oppstrøms stedet der elva deler seg til samløpet med Storelva (Figur 4). Nedstrøms modellgrense ble lagt til nedstrøms et snitt med overkritisk strømning, for å utelukke at nedstrøms grensebetingelse påvirker vannstanden oppstrøms. Nedstrøms grensebetingelse ble satt som gitt vannstand. Som oppstrøms grensebetingelse ble de beregnede 200-års flomverdiene for Storelva og Myklebustdalselva brukt (jf. kapittel 2.1). Grunnlagsdata til å kalibrere modellen var ikke tilgjengelig. Etter informasjon fra NVE er vannstanden for målestasjon 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim bare tilgjengelig i lokalt høydesystem, dvs. vannstandsmålingene kunne ikke brukes til kalibrering.

I Hornindal omfattet den hydrauliske modellen et område som inkluderer Horndøla, fra ca. 500 m nedstrøms Storebrua til Hornindalsvatnet (Figur 5). Basert på 200-årsflomvannstanden i Hornindalsvatnet i flomsonekartet (54,5 moh NN1954, uten klimaendringer; NVE, 2001b) ble vannstanden antatt til 55 moh i innsjøen som nedstrøms grensebetingelse. Oppstrøms grensebetingelse ble satt lik 200-års flomverdien for Horndøla ved Sagøyna (jf. kapittel 2.2). Grunnlagsdata til å kalibrere modellen var ikke tilgjengelig. I den nedre delen av Horndøla finnes flomsonekart med vannstander, men kalibrering hadde forutsatt bunngeometri av elva.

Elvenes og terrengets ruhet (strømningsmotstand), uttrykt ved Mannings ruhetstall, ble lagt inn i modellene (Tabell 6). Verdiene er basert på litteraturverdier (Chow, 2009), flybilder (www.norgebilder.no), overflater fra arealtype kart AR5 (<http://kilden.skogoglandskap.no>) og estimat ved hjelp av Jarrets ligning.

Tabell 6: Mannings ruhetstall i hydrauliske modeller i Byrkjelo og Hornindal.

Mannings ruhetstall for ulike overflater	
- elveløp	5 til 7,5 m ^{1/3} /s i stryk, 10 til 12 m ^{1/3} /s ellers
- skog	10 m ^{1/3} /s
- dyrket mark	20 m ^{1/3} /s
- bebygd	20 m ^{1/3} /s



Figur 4: Modellgrense hydraulisk modell Byrkjelo (grå skravur); beliggenhet av målestasjon 87.10.0 Gloppenelv v/Bergheim (rød trekant). Bakgrunnskart: Geodata online.

3.2 Modellsensitivitet

Sensitiviteten av modellene for en rekke parametere ble testet, for å velge mest realistiske forutsetninger eller sikre konservative valg, dvs. sikre at vannstander ikke blir beregnet for lave. Modellresultatene ble testet for variasjon av beregningsmetode, tidsintervall, cellestørrelse, ruhet og nedstrøms grensebetingelse. Resultatene av sensitivitetsanalysene er oppsummert i Tabell 7 og Tabell 8. Tabellene gir oversikt over hvilke varianter som ble modellert, hvilke effekter det hadde på vannstand (og eventuelt vannhastighet), og hvilke verdier som ble brukt for sluttresultatene presentert i kapittel 3.3.

Tabell 7: Sensitivitet av hydraulisk modell i Byrkjelo for ulike parametere.

Parameter	Modell Byrkjelo		
	Modellerte varianter	Resultat	Valg
Beregningsmetode	Full Momentum / Diffusion Wave ¹	Betydelig høyere vannstand med Full Momentum pga. nøyaktigere modellering av bratte/turbulente strekninger og oppstuvningseffekter ved innsnevring	Full Momentum
Tidsintervall	1 s / 0,5 s / 0,1 s	Korte tidsintervaller gir litt høyere vannstand i bratte områder og stabilere beregning	0,1 s
Cellestørrelse	10 x 10 m / 5 x 5 m	Like vannstander, men oversvømt areal mer detaljert ved mindre celler; noe høyere hastigheter lokalt ved innsnevring	10 x 10 m
Ruhet	20 m ^{1/3} /s / varierende etter overflate / varierende etter overflate -50 %	Opptil 0,3 m høyere vannstand ved varierende ruhet, særlig i øvre del av Storelva til brua på veg 695; opptil 0,2 m høyere i Myklebustdalselva; opptil 0,5 m høyere vannstand ved enda høyere ruhet (-50 %)	Varierende etter overflate
Nedstrøms grensebetingelse	Gitt vannstand 108 moh / 111 moh	Ingen forskjell, til og med nært nedre modellgrense	108 moh

¹ «Diffusion Wave» bruker et forenklet sett av ligninger som er tilstrekkelig ved sakte, underkritiske strømninger; «Full Momentum» er nødvendig ved raske, overkritiske, dynamiske strømninger.

Tabell 8: Sensitivitet av hydraulisk modell i Hornindal for ulike parametere.

Parameter	Modell Hornindal		
	Modellerte varianter	Resultat	Valg
Beregningsmetode	Full Momentum / Diffusion Wave	Betydelig høyere vannstand med Full Momentum, særlig i øvre bratte/turbulente del	Full Momentum
Tidsintervall	1 s / 0,1 s / 0,05 s / 0,02 s	Kort tidsintervall gir opptil 0,1 m høyere vannstand i bratte områder; ingen forskjell mellom 0,05 og 0,02	0,05 s
Cellestørrelse	10 x 10 m / 5 x 5 m	Mindre celler gir opptil 0,2 m lavere vannstander på deler av elvestrekningen; lik vannstand ved eksist. E39 bru; noe mindre oversvømt areal i nedre del; lokalt ca. 0,5 m/s høyere hastigheter.	5 x 5 m
Ruhet	17 m ^{1/3} /s / 40 m ^{1/3} /s / varierende etter overflate / varierende etter overflate -50%	Opptil 0,5 m høyere vannstand ved høyere ruhet (17 vs. 40 m ^{1/3} /s); opptil 1,2 m høyere vannstand i bratt strekning ved enda høyere ruhet (varierende -50%)	varierende etter overflate
Nedstrøms grensebetingelse	Gitt vannstand 54,0 / 54,5 / 55,0 moh	Ingen forskjell i Hornødla lengre opp enn 100 m fra Hornindalsvatnet	55,0 moh

3.3 Hydrauliske resultater

Resultatene fra modellsimuleringene er kort beskrevet for henholdsvis Byrkjelo (kapittel 3.3.1) og Hornindal (kapittel 3.3.2). Detaljerte kart over vannstand, oversvømt areal, vanndybde og vannhastighet er vist i Vedlegg 3 (Byrkjelo) og Vedlegg 4 (Hornindal).

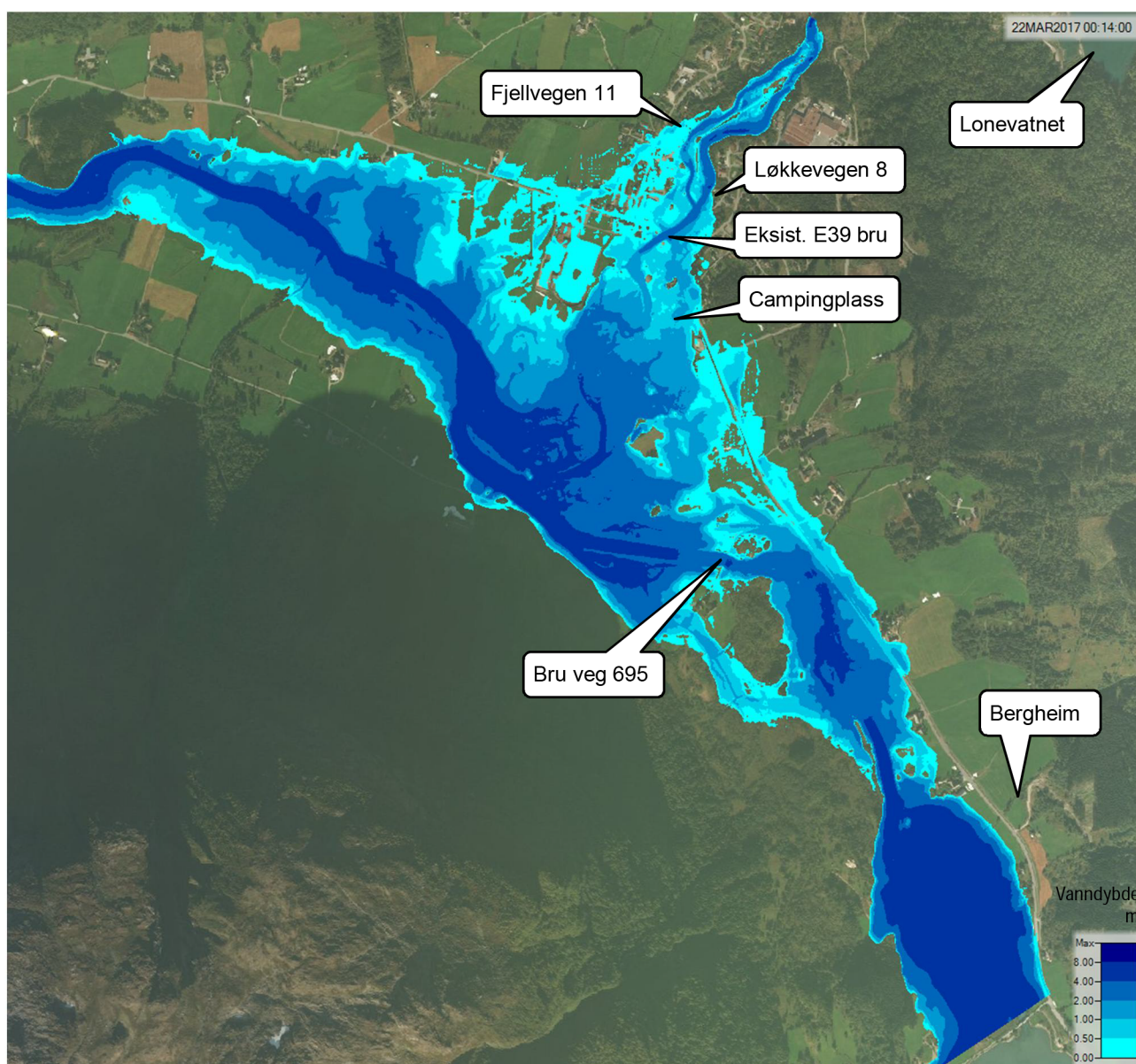
3.3.1 Byrkjelo

Myklebustdalselva

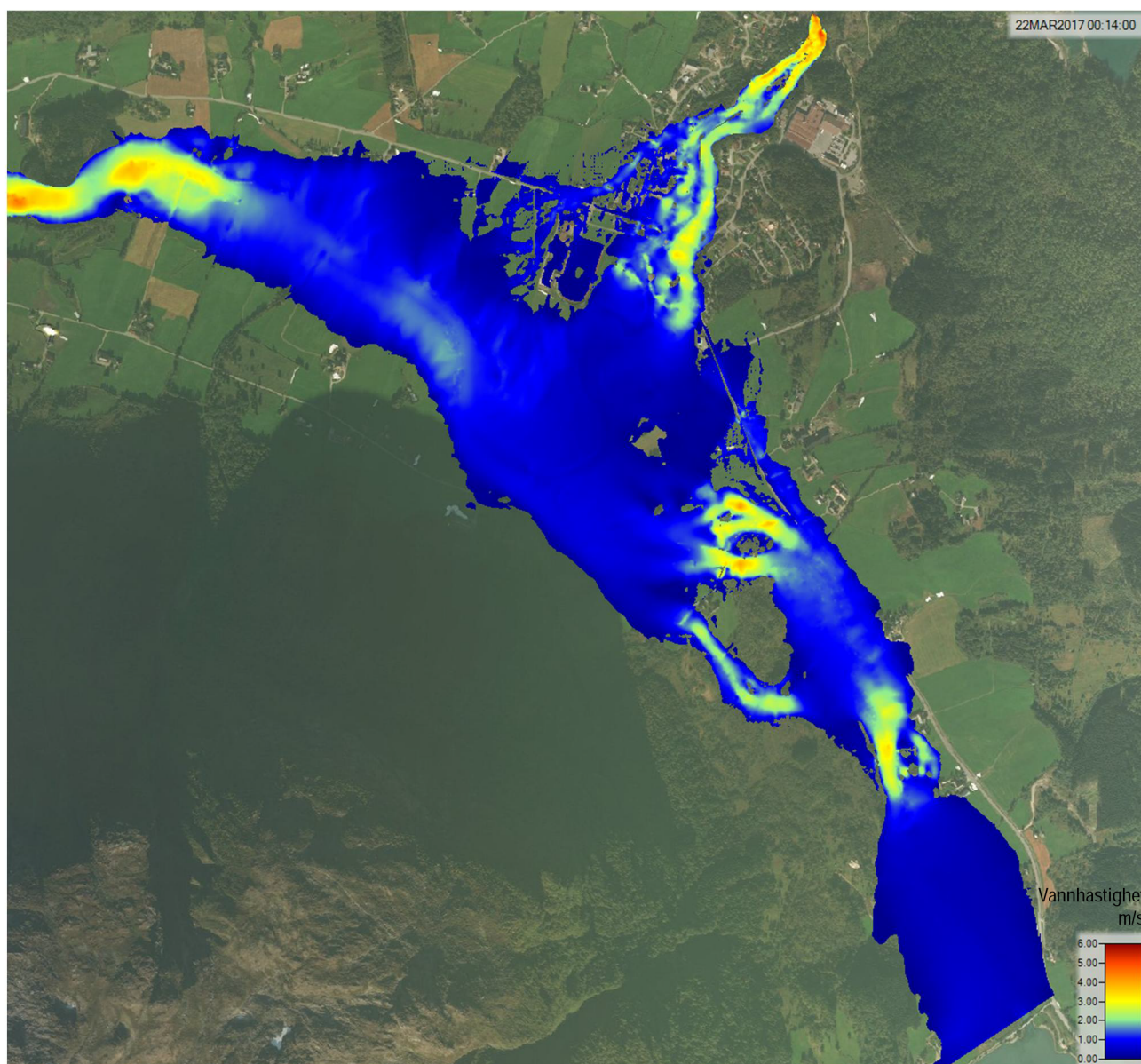
Figur 6 og Figur 7 viser oversvømt areal, vanndybde og vannhastighet ved 200-årsflom i Storelva og Myklebustdalselva. Store deler av Byrkjelo sentrum står under vann. Myklebustdalselva går over høyre (når man ser nedover elva) elvebredd ved Fjellvegen 11 og nedstrøms. Vann renner gjennom Byrkjelo Vest i retning sør og sør-vest, med vanndybde stort sett under 0,5 m (Figur 6) og vannhastighet opptil ca. 2,5 m/s (Figur 7). På venstre elvebredd renner vann ut av elveløpet ved Løkkevegen 8 og nedstrøms. Vann renner gjennom Byrkjelo Øst i retning sør, over dagens E39 og gjennom campingplassen, med vanndybde opptil ca. 1,5 m. Vannhastigheter er høye i den øvre, bratte delen av Myklebustdalselva. Iht. modellberegningene er hastigheten opptil 5 m/s (Figur 7). Utenfor elveløpet er vannhastigheter særlig høye der elva går over venstre elvebredd og gjennom Byrkjelo Øst i området oppstrøms dagens E39 bru (opptil 3 m/s).

Storelva

Storelva oversvømmer store deler av flomslettene. Delvis renner vann over dagens E39. Nedstrøms Bergheim deler elva seg (Figur 6). En vannstrøm renner gjennom myra forbi Teita, over veg 695 og tilbake i elveløpet ved Teitaøya. To vannstrømmer utenfor elveløpet dannes på nordsiden av brua på veg 695. Ved og nedstrøms samløpet med Myklebustdalselva er flomsone mellom 300 og 550 m bred, før den blir smalere igjen mot det brattere partiet mot nedstrøms modellgrense. Høye vannhastigheter opptrer ved innsnevring (Figur 7): Nedstrøms Bergheim opptil 4 m/s; i de to vannstrømmene nord for brua på veg 695 opptil 3,5 m/s; i elveløpet ved brua på veg 695 opptil 4 m/s; og i det brattere nederste partiet opptil 4,5 m/s.



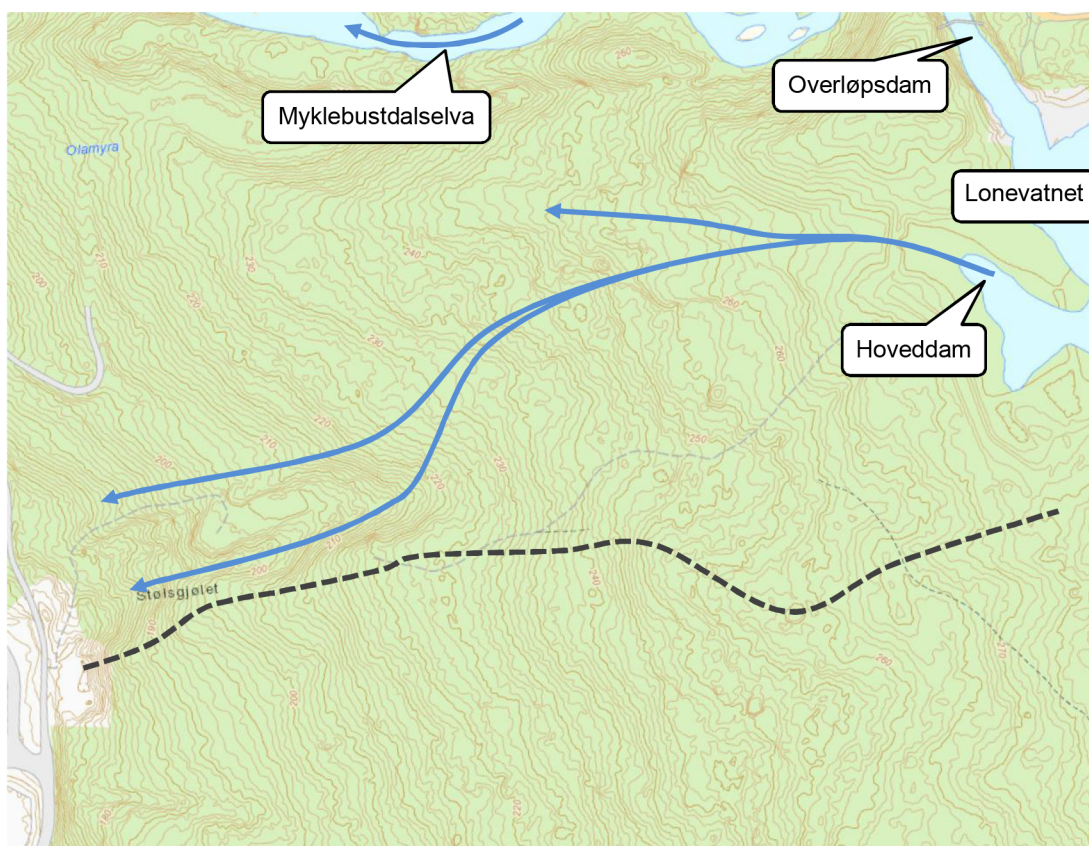
Figur 6: Modellresultat for vanndybde (m) ved 200-årsflom i Storelva og Myklebustdalselva, inklusive 40 % klimapåslag. Kartbakgrunn fra ArcGIS World Imagery.



Figur 7: Modellresultat for vannhastighet (m/s) ved 200-årsflom i Storelva og Myklebustdalselva, inklusive 40 % klimapåslag. Kartbakgrunn fra ArcGIS World Imagery.

Lonevatnet

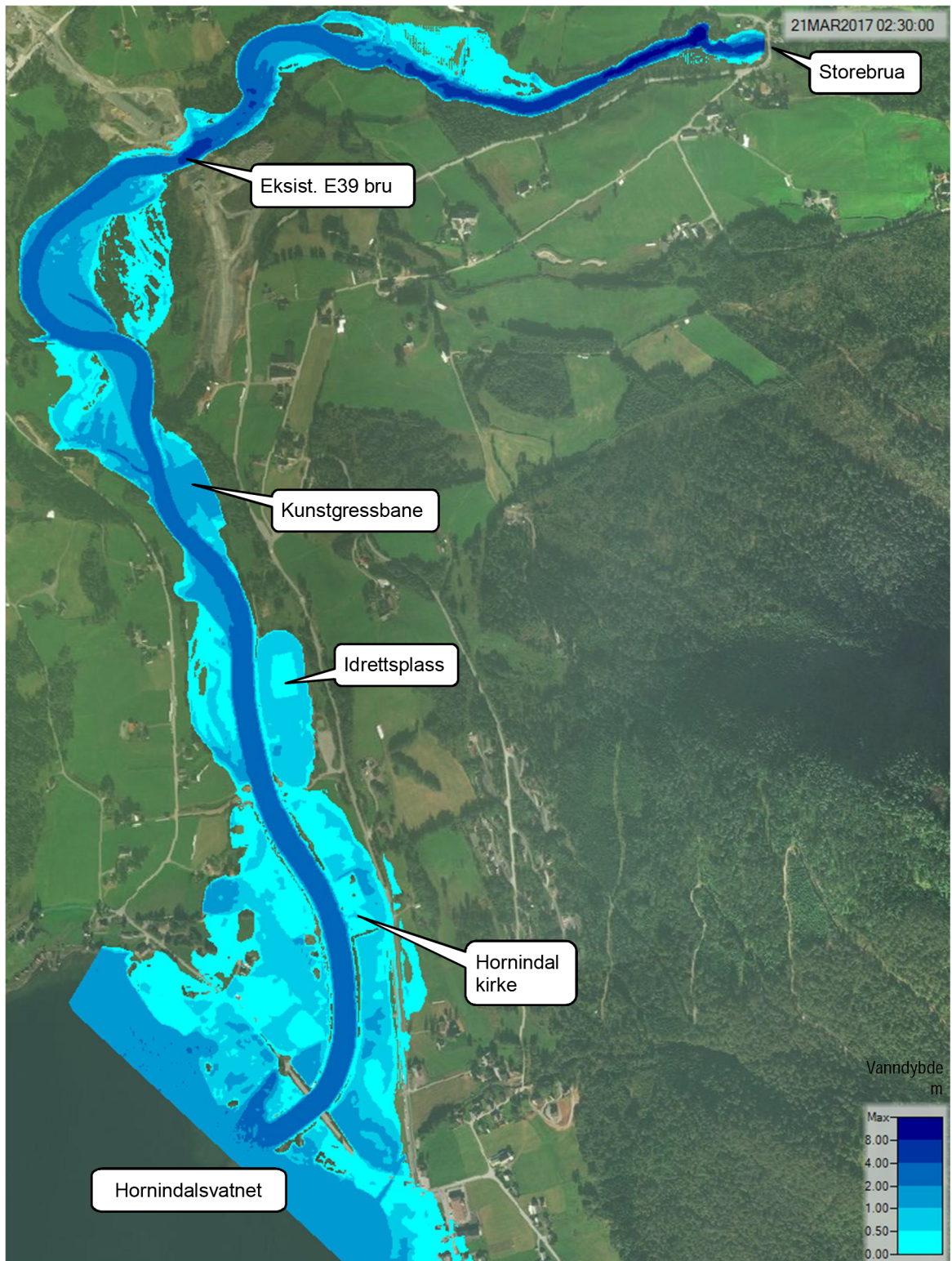
Modellgrensen ble satt nedstrøms Lonevatnet. For å svare på spørsmålet om vann kunne renne andre veger ut fra Lonevatnet enn å følge løpet av Myklebustdalselva, ble det foretatt en skjønnsmessig vurdering basert på terrengforhold i digitalt kart. I tilfelle at vann ved høy flomvannstand i Lonevatnet renner over Lonevatn hoveddam, vil vannet renne i vestlig retning og følge driftsvegen og/eller følge terrenget i sør-vestlig retning ned mot Stølgjølet (Figur 8). Det anbefales derfor å utrede flomveier nærmere hvis vegalternativet i dette området blir valgt. En løsning kan være å starte tunnelen tidligere.



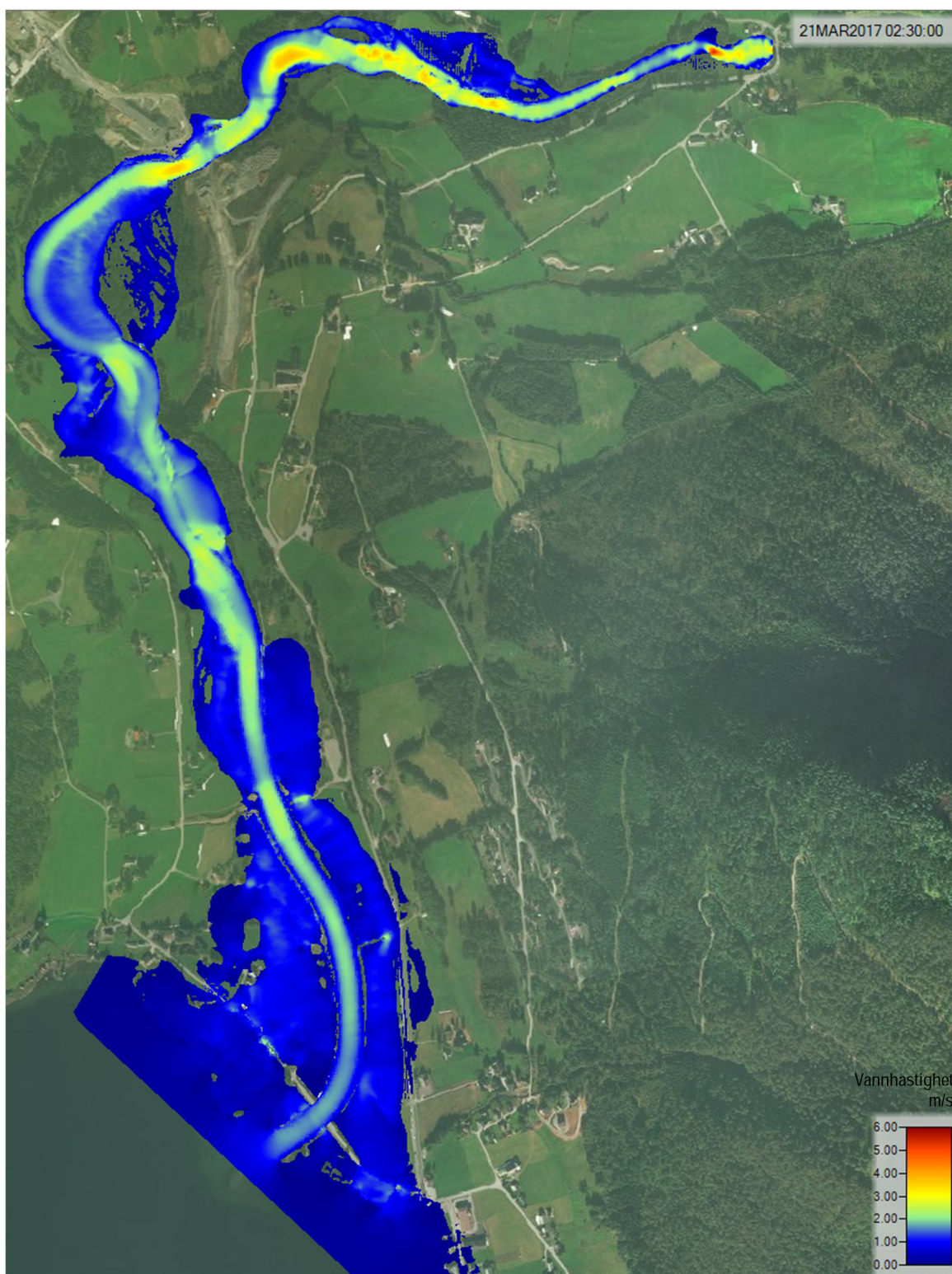
Figur 8: Skjønsmessig vurdering av veger vann muligens tar ved høy flomvannstand i Lonevatnet (blåe piler) i området der det vurderes å bygge tunnelinngang. Ryggen (stiplet svart linje) fungerer som naturlig sperre i terrenget mot sør.

3.3.2 Hornindal

Figur 9 og Figur 10 viser oversvømt areal, vanndybde og vannhastighet ved 200-årsflom i Hornindøla. Elveløpet er bratt og dypt i den øvre delen fra Storebrua ned til eksisterende E39 bru (Figur 9). På denne strekningen går vann over bredden, først og fremst på høyre elvebredd. Modellberegningen viser høy vannhastighet med stort sett over 2 m/s, og opptil 5,5 m/s i den bratteste strekningen nedstrøms Storebrua (Figur 10). Nedstrøms eksisterende E39 bru går elva over sine bredder og fyller flomsletten særlig i innersving. Kunstgressbanen er oversvømt med opptil 1,5 m dypt vann (vannhastighet opptil 2 m/s). Fra Idrettsplassen og ned til Hornindalsvatnet renner vann delvis over flomvollene og oversvømmer Hornindal kirke og eksisterende E39 i østlig retning, og bebyggelsen i vestlig retning. I dette området viser modellberegningen lave vannhastigheter og liten vanndybde, stort sett under henholdsvis 1 m/s og 1 m.



Figur 9: Modellresultat for vanndybde (m) ved 200-årsflom i Hornindøla, inklusive 20 % klimapåslag.
Kartbakgrunn fra ArcGIS World Imagery.



Figur 10: Modellresultat for vannhastighet (m/s) ved 200-årsflom i Horndøla, inklusive 20 % klimapåslag. Kartbakgrunn fra ArcGIS World Imagery.

3.4 Begrensninger i hydrauliske modeller

Det er viktig å nevne at det er knyttet usikkerhet til modellberegningene med HEC-RAS. Grunnlagsdata til å kalibrere modellene var ikke tilgjengelig. Terrengmodellene inkluderer vannoverflater, ikke bunngeometrier av elvene, men avviket ventes ikke å påvirke resultatet betydelig. Det ble tatt realistiske valg, også ved hjelp av sensitivitetsanalyse på modellparametere (cellestørrelse, tidsintervall, grensebetingelser, etc.). Imidlertid ble verken konstruksjoner, som bruer og dammer, eller bygg implementert i terrengmodellen. Eventuelle lokale oppstuvningseffekter ved konstruksjoner kommer således ikke fram i modellresultatene. Modellberegningene tar ikke høyde for hydrauliske effekter som følge av eventuell sedimenttransport eller is.

Spredning av vann utover flater ved liten vanddybde er spesielt usikker (f.eks. i sør-vestlig retning gjennom Byrkjelo Vest, brusted 2 Byrkjelo og brusted 1 Hornindal). Nøyaktigere resultater av slik spredning av vann krever mer detaljerte modeller, med mindre celledørrelse og bygg implementert i terrengmodellen.

4 Nødvendig tverrsnittsareal bruer

Som første grunnlag for planlegging av brukonstruksjoner på ny E39 ble nødvendig tverrsnittsareal beregnet ved aktuelle brusteder over Storelva og Hornedøla, basert på modellresultatene.

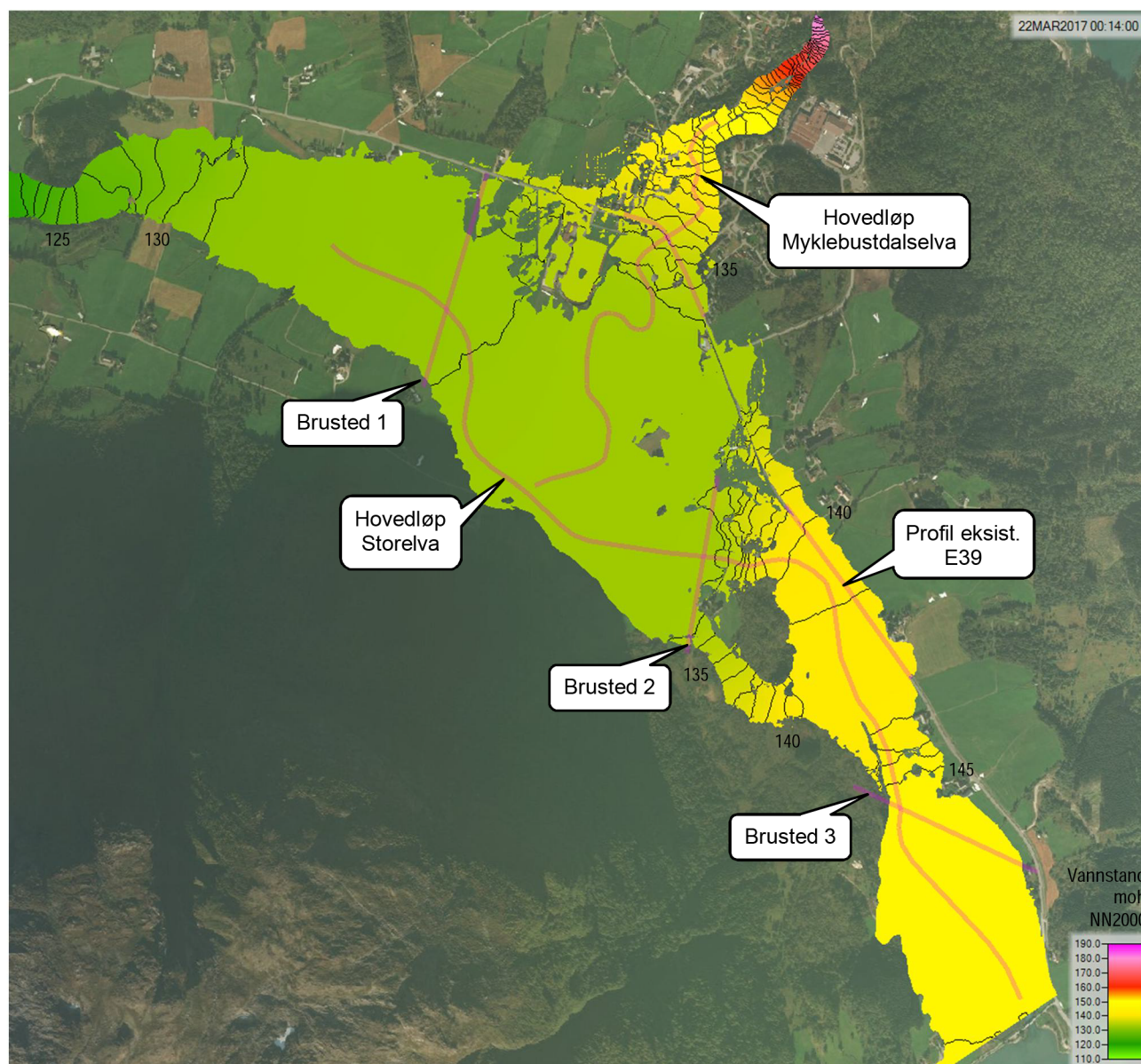
Nødvendig tverrsnittsareal er arealet av vannet i et loddrett snitt langs brua, forutsatt vannspeilnivå på samme høyde som før bygging av brua ved 200-årsflom. Eventuelle pilarer kan gi økt krav til nødvendig tverrsnittsareal. Det er ikke tatt hensyn til hydrauliske effekter rundt brukonstruksjoner som følge av f.eks. fyllinger eller pilarer. Når nærmere utforming og plassering av bruene er kjent, kan det være behov for detaljerte beregninger av vannstander for å bestemme bru høyder mer nøyaktig, sikre krav på klaring på minst 0,5 m mellom vannspeil og underkant bru (SVV, 2015), og sjekke virkning av konstruksjoner på vannstander oppstrøms. Hvis det er stor vannhastighet ($v > 2$ m/s) på valgt brusted bør sikkerhetsmarginen på 0,5 m økes med vannhastighetshøyden: $v^2/2g$, hvor $g = 9,81$ m/s².

4.1 Byrkjelo

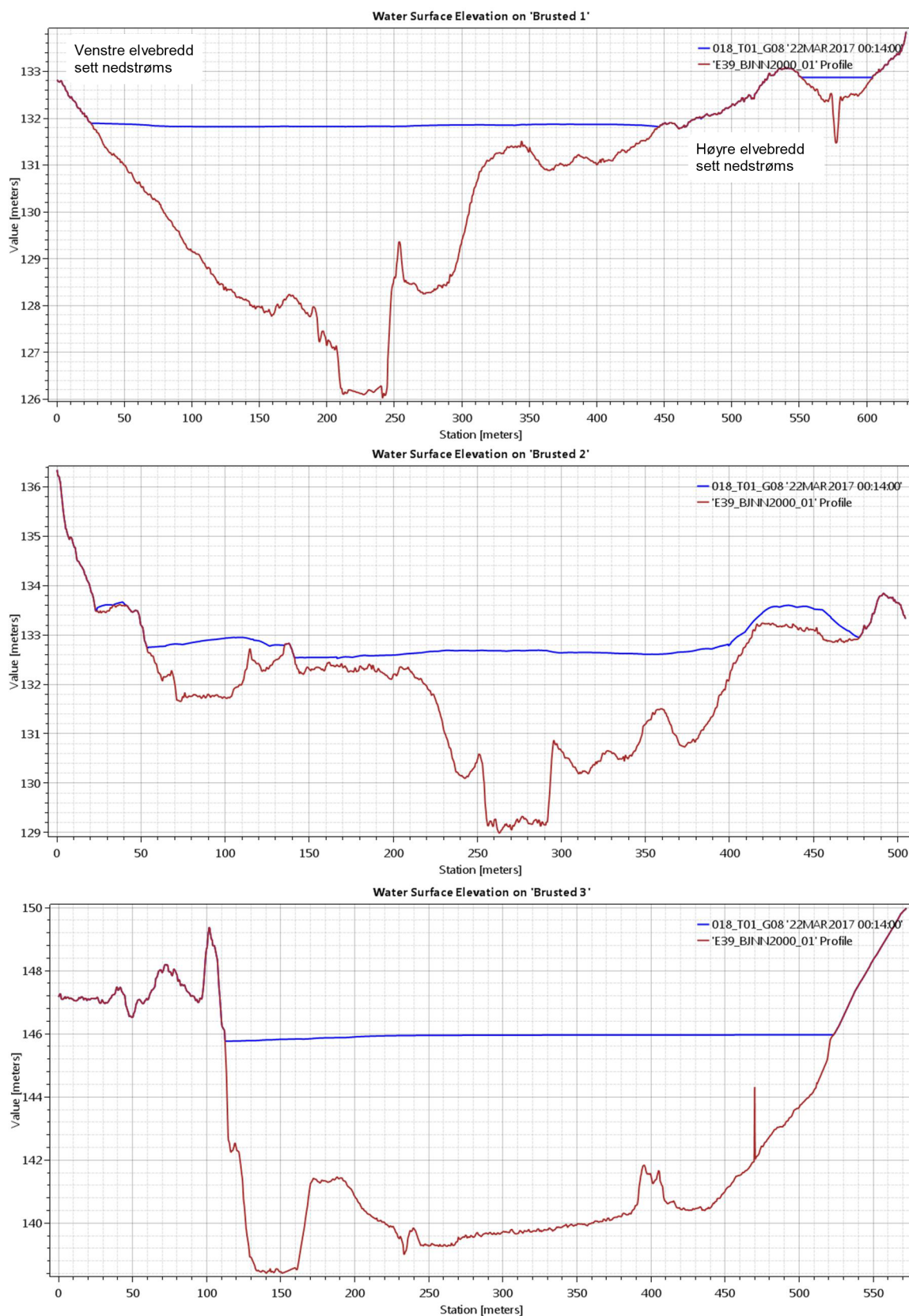
Omtrentlig plassering av potensielle bruer og modellert vannspeil er vist i Figur 11. Ut ifra tverrprofiler ved brustedene (Figur 12) ble det beregnet nødvendig tverrsnittsareal. Resultater er vist i Tabell 9.

Tabell 9: Nødvendig tverrsnittsareal ved brusteder i Byrkjelo.

	Brusted 1	Brusted 2	Brusted 3
Tverrsnittsareal (m ²)	1000	510	2180



Figur 11: Modellresultat for vannspeil (moh) ved 200-årsflom i Storelva og Myklebustdalselva, inklusive 40 % klimapåslag, og omtrentlig plassering av brualternativer og profiler (fiolette linjer). Isolinjer med 1 m ekvidistanse er vist med svarte linjer. Kartbakgrunn fra ArcGIS World Imagery.



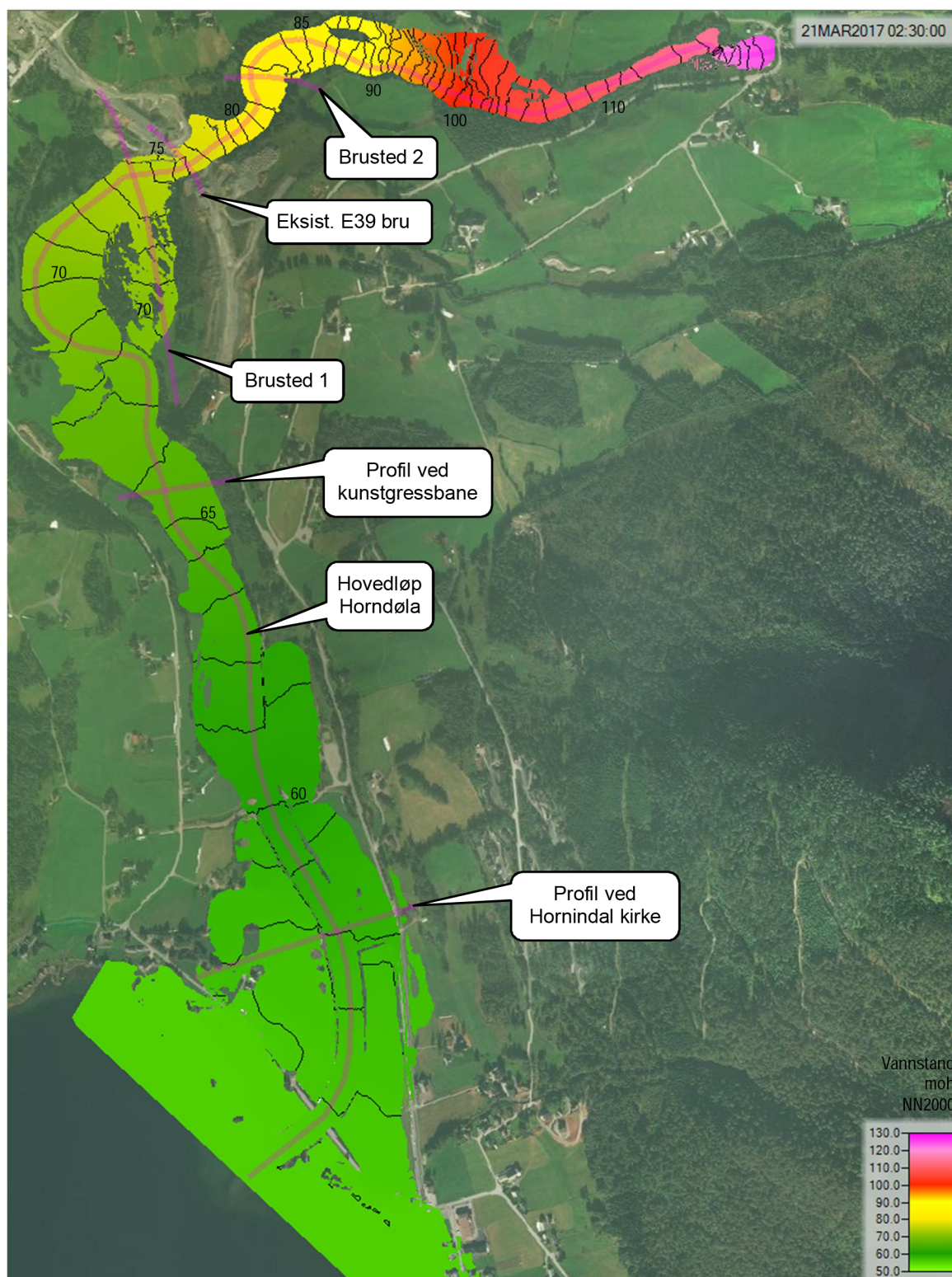
Figur 12: Tverrprofiler ved brustedene; dagens terreng (rød linje) og 200-års flomvannstand (blå linje) i moh.

4.2 Hornindal

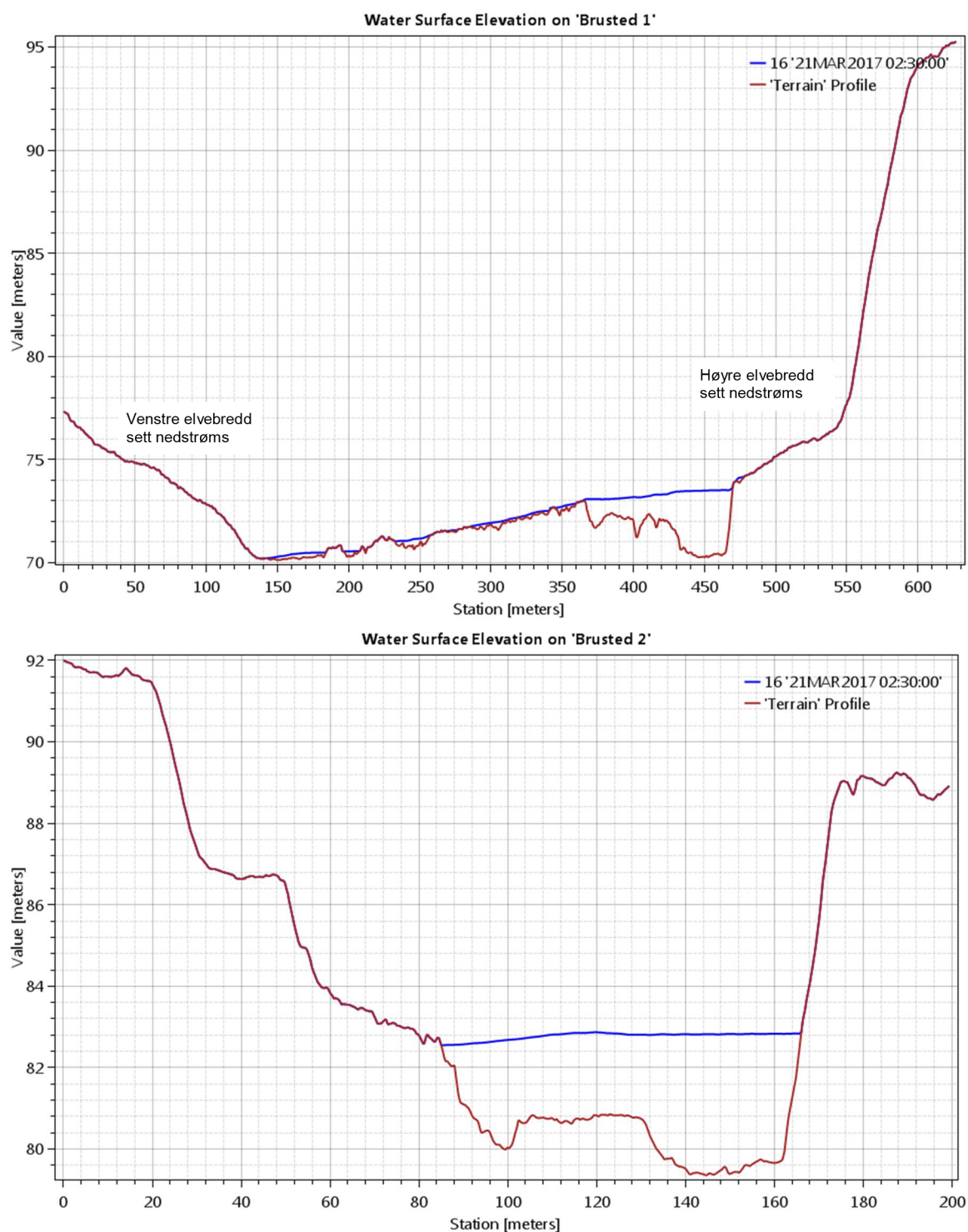
Omtrentlig plassering av potensielle bruer og modellert vannspeil er vist i Figur 13. Ut ifra tverrprofiler ved brustedene (Figur 14) ble det beregnet nødvendig tverrsnittsareal. Resultater er vist i Tabell 10.

Tabell 10: nødvendig tverrsnittsareal ved brusteder i Hornindal.

	Brusted 1	Brusted 2
Tverrsnittsareal (m ²)	190	190



Figur 13: Modellresultat for vannspeil (moh) ved 200-årsflom i Horndøla, inklusive 20 % klimapåslag, og omtrentlig plassering av brualternativer og profiler (fiolette linjer). Isolinjer med 1 m ekvidistanse er vist med svarte linjer. Kartbakgrunn fra ArcGIS World Imagery.



Figur 14: Tverrprofiler ved brustedene i Hornindal; dagens terreng (rød linje) og 200-års flomvannstand (blå linje) i moh.

5 Problemer med is

Etter informasjon fra NVE regionskontor vest er det ikke registrert problemer relatert til is i Storelva nedstrøms Bergheimsvatnet.

I Horndøla har isgang vært et kjent problem. Ifølge NVE var siste større isgang i år 2011. Is skaper først og fremst problemer på strekningen fra idrettsplass til utløp i Hornindalsvatnet. Ofte stuver isen seg opp ved brua på veg 664 rett oppstrøms utløpet i Hornindalsvatnet. I NVE (2001b) er det nevnt at isproblemene har vært mindre etter forbygning/kanalisering av elva og etablering av bru uten pilarer på 80-tallet. Dannelse av bunnis har forekommet ved lav vannføring om vinteren, noe som fører til høyere vannstand.

Ved de to alternative nye brustedene i Hornindal er det mindre sannsynlig at is kommer til å forårsake problemer. Brustedene ligger oppstrøms problemstrekningen. Særlig brusted 2 ligger i en brattere del av Horndøla, der høy vannhastighet sørger for at is transporteres ned elva og ikke stuver seg opp. I nedre, slakere del av Horndøla kan is føre til at vannstanden er høyere enn modellresultatene viser som følge av oppstuvning, i tilfelle av en ekstremisituasjon dersom 200-årsflom og isgang opptrer samtidig.

6 Oppsummering

6.1 200-årsflom

Flomvannføringer med 200-års gjentakintervall ble beregnet for Storelva og Myklebustdalselva i Byrkjelo ved bruk av flomfrekvensanalyse. Flomverdier for Horndøla i Hornindal ble hentet fra NVEs flomberegning. 200-års flomverdier som inngangsparametere i de hydrauliske modellene ble valgt som fremgår av Tabell 11.

Tabell 11: Sammenstilling av flomverdier brukt i hydrauliske modellene. Flomverdiene for Storelva og Myklebustdalselva i Byrkjelo er basert på flomfrekvensanalyse; 40 % klimapåslag. Flomverdien for Horndøla i Hornindal er tatt fra NVE (2016b); 20 % klimapåslag.

	Byrkjelo		Hornindal
	Storelva oppstrøms Myklebustdalselva	Myklebustdalselva	Horndøla
200-årsflom, momentanverdi (m³/s)	497	231	255
200-årsflom, momentanverdi inkl. klimapåslag (m³/s)	696	323	306

6.2 Brusteder

Brukonstruksjonene skal planlegges slik at vannstrømninger blir minst mulig påvirket under en 200-årsflom, og konstruksjonene ikke fører til høyere vannstander andre steder gjennom oppstuvning. Avhengig av hvor bruene plasseres og hvilken geometri de får, kan det være nødvendig å beregne vannlinjer for den fremtidige vegsituasjonen. Inngrep som endrer strømningsmønsteret i en elv kan forårsake erosjonsskader. Særlig utsatt er elver som renner gjennom løsmasser som f. eks. Storelva og Horndøla.

De modellerte vannstandsverdiene er vurdert til å være realistiske. Følgende vurderinger er basert på modellresultatene for dagens situasjon.

6.2.1 Byrkjelo

Bruene er plassert på steder der elva oversvømmer store deler av flomsletten ved 200-årsflom. Vannstrømmen er mellom 400 og 500 m bred ved brustedene. Særlig brusted 2 ligger ugunstig siden vann renner i flere strømmer, særlig nord for hovedveløpet.

Hvis det bygges tunnelinngang i Byrkjelo i området mellom Meierivegen og Lonevatnet, anbefales det å bygge den sør for ryggen i terrenget, som vil fungere som en naturlig sperre for vann som muligens kan renne ned fra Lonevatnet ved høy flomvannstand (se Figur 8).

6.2.2 Hornindal

Brusted 1 ligger ugunstig på flomsletten i innersving av elva. Under flom vil vann renne parallelt til brua/vegtraséen. Eventuelle vegfyllinger bør legges slik at flomsletten ikke blir innsnevret.

7 Referanser

Chow, V.T. (2009) Open-channel Hydraulics. McGraw-Hill civil engineering series, Blackburn Press, 680 p.

NVE (2016a) Klimaendring og framtidige flommer i Norge. NVE Rapport 81/2016.

NVE (2016b) Flomberegning for Horndøla. NVE Rapport 7/2016.

NVE (2001a) Flomberegning for Hornindalsvassdraget. Flomsonekartprosjektet, NVE Dokument 4/2001.

NVE (2001b) Flaumsonekart, delprosjekt Grodås. NVE Dokument 7/2001.

SVV (2016) Planprogram for kommunedelplan E39 Byrkjelo - Grodås, planprogram revidert etter høyring, november 2016.

SVV (2015) Håndbok N400 Bruprosjektering.

SVV (2014) Håndbok N200 Vegbygging.

SVV (2013) Håndbok N100 Veg- og gateutforming.

USACE (2016) «HEC-RAS 5.0.3», U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis CA 95616-4687.



Statens vegvesen
Region vest
Ressursavdelinga
Postboks 43 6861 LEIKANGER
Tlf: (+47) 22073000
firmapost-vest@vegvesen.no

vegvesen.no

Trygt fram sammen