

NOTAT

OPPDRAAG	Prosjektering av fylling i Nidelva	DOKUMENTKODE	10200316-02-RIVass-NOT-002
EMNE	Hydrauliske forhold med ny fyllingsgeometri	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Studentersamfundet i Trondheim	OPPDRAAGSLEDER	Hilde Bendiksen Grunnan
KONTAKTPERSON		SAKSBEHANDLER	Eirik Aal
KOPI		ANSVARLIG ENHET	Multiconsult ASA

SAMMENDRAG

På grunn av ny fyllingsgeometri er hydraulisk modell for strekningen oppstrøms Elgeseter Bru og Nidelven terrasse oppdatert. I nyeste versjon av 2D-modellen inkluderer dette både fylling og rekkene med bropilarer under Elgeseter Bru.

Dette notatet vurderer forhold rundt erosjonssikring ved støttefylling, endring i vannhastighet ved bropilarene ved høy vannføring og strømningsmønster ved lav vannføring.

Sikringstiltak mot erosjon fra Nidelva ved ny støttefylling ved Studentersamfundet i Trondheim anbefales utført som en kombinasjon av røyset stein / samfengte masser og plastring, med et avrettingslag under plastringen.

De samfengte massene skal være velgraderte og ha en midlere steinstørrelse på minst 0,6 m for å være stabil. Dette betyr at 50 vektprosent av massene skal ha større diameter enn 0,6 m.

Plastringen skal utføres som flatplastring, det vil si med lengste akseretning langs strømningsretningen og korteste akseretning med helling inn mot fyllingen. Plastringssteinene må minst ha midlere steinstørrelse $d_{50} = 0,6$ m. For plastring betyr dette at for hver stein skal gjennomsnitt av lengste, korteste og midlere akseretning være større enn 0,6 m. Et eksempel på minste stein som er godkjent er en avlang, kubisk stein på 0,4 m x 0,6 m x 0,8 m. Steinene skal være større enn dette, og kan gjerne være over 1 m lange. De bør ha relativt lik tykkelse, da variasjon i tykkelse ved flatplastring blir veldig synlig. Det anbefales en relativt homogen plastring, slik at det forblir en plastring og ikke en rauset fylling.

Hydrauliske 2D-simuleringer viser at vannhastigheten rundt bropilarene ikke blir drastisk påvirket ved dimensjonerende vannføring og endret strømningsareal pga støttefyllingen, hverken ved lav eller høy vannstand. Størst påvirkning blir det ved lav vannstand, hvor hastigheten midt mellom to rekker av bropilarer øker med 8,7 %, fra 1,73 m/s til 1,88 m/s. I resten av profilet er hastigheten stort sett upåvirket, og stedvis redusert. Største reduksjon i hastighet er på 57,8 % nærmest land ved fyllingen, fra 1,66 m/s til 0,7 m/s. Største reduksjon i vannhastighet nær bropilarer ute i elva er på 17,6 %, fra 2,62 m/s til 2,16 m/s.

Simulering med lave vannføringer viser at fyllingen gir liten påvirkning på strømningsmønster og vannhastighet. Strømningsmønsteret virker relativt uendret, med en liten økning i vannhastighet særlig mellom Pirumbanken og den nye fyllingen. Ved «Profil 27» i dette området øker vannhastigheten på det meste ca. 0,1 m/s fra 0,3 til 0,4 m/s. Dette er små hastigheter, og vår vurdering er at fyllingen ikke gir noen betydelig endring i strømningsmønster eller vannhastighet ved lave vannføringer.

Alle høyder i notatet er angitt etter høydedatum NN2000.

REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
01	26.06.2019	Ny geometri, bropilarer, strømning og vannhastighet ved lav vannføring.	EIA	Mulugeta B. Zelelew	Hilde B Grunnan
00	03.06.2019	Beskrivelse, dimensjoner og prinsippkisse av plastring / sikring	EIA		

1 Grunnlag

I rapporten 10200316-02-RIVass-RAP-001 beregnes nødvendig steinstørrelse for å hindre erosjon i Nidelva mellom Elgeseter Bru og Nidelven Terrasse ved vannføringer på opptil 995 m³/s.

Forrige notat (10200316-02-RIVass-NOT-001) beskrev utforming av plastring og filter for erosjonssikring ved fyllingen langs høyre bredd på samme strekning som i ovennevnte rapport. Pga. behov for mer stabilitet skal fyllingen utvides ytterligere i tåen av den opprinnelige planlagte fyllingen.

Dette notatet tar derfor for seg utforming og steinstørrelser på denne fyllingen for å sikre at den er erosjonssikker mot flom. I tillegg vurderes vannhastighet rundt rekkene av bro Pilarer ved Elgeseter Bru med og uten fylling ved dimensjonerende vannføring og både høy og lav vannstand, og strømningsforhold i elva ved lav vannføring med og uten fylling.

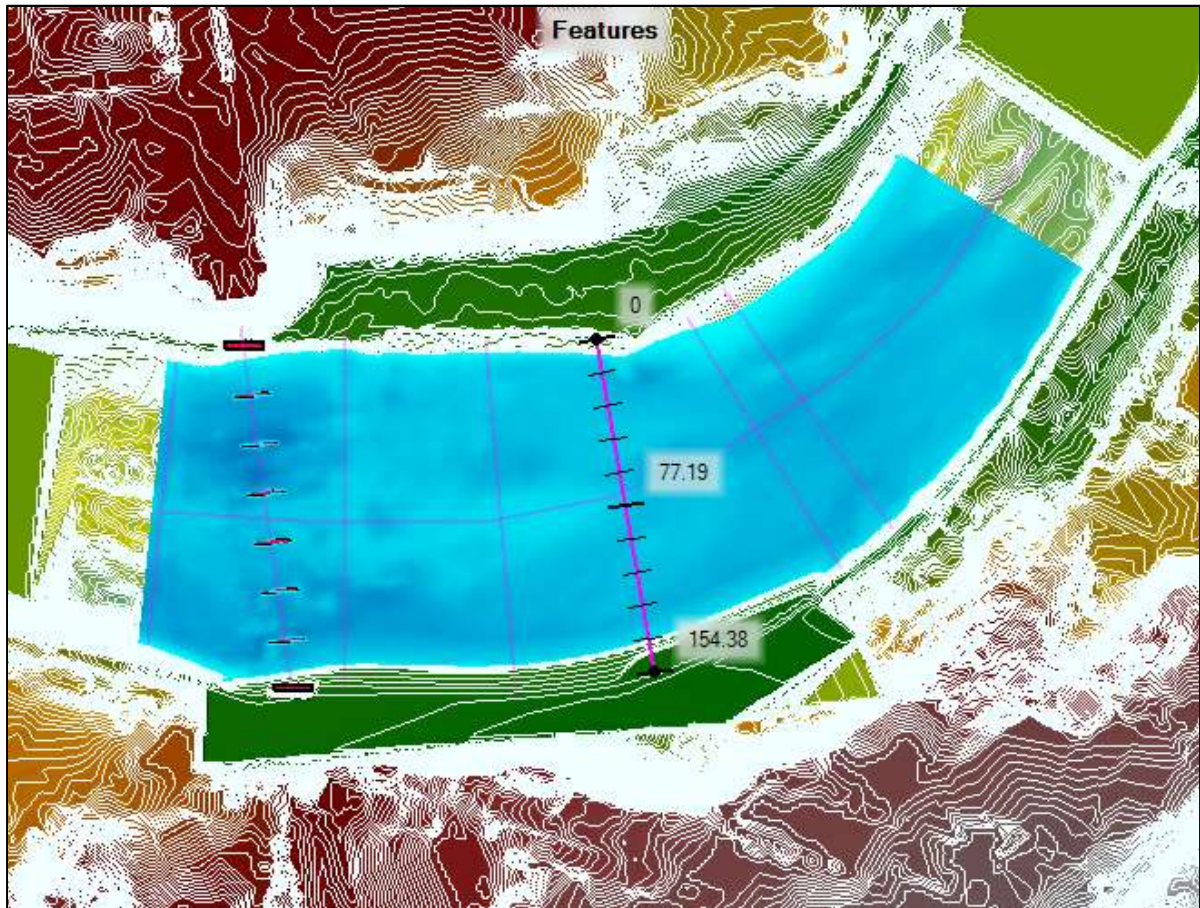
Det legges fortsatt til grunn dimensjonerende vannføring lik 200-årsflom med klimapåslag, som beskrevet i rapporten «Sluppen Bru – Hydrauliske beräkningar» (DHI, 2006): $Q_{200, \text{klima}} = 840 \text{ m}^3/\text{s}$. Som nedre grensebetingelse i modellen brukes en vannstand ved fjære på -1,0 moh for erosjonssikringsberegningene, da kombinasjonen høy vannføring og lav vannstand gir størst erosjonsfare. Vannstand ved fjære på -1,0 moh tilsvarer til middel lavvann. For beregningene ved bro pilarene med høy vannstand er det lagt til grunn vannstand for tidevann med 1 års gjentaksintervall: 1,87 moh.

Hydraulisk modell fra 10200316-02-RIVass-RAP-001 er oppdatert med ny terrengmodell, og nye simuleringer er gjort for å finne vannstand, dybder og vannhastigheter.

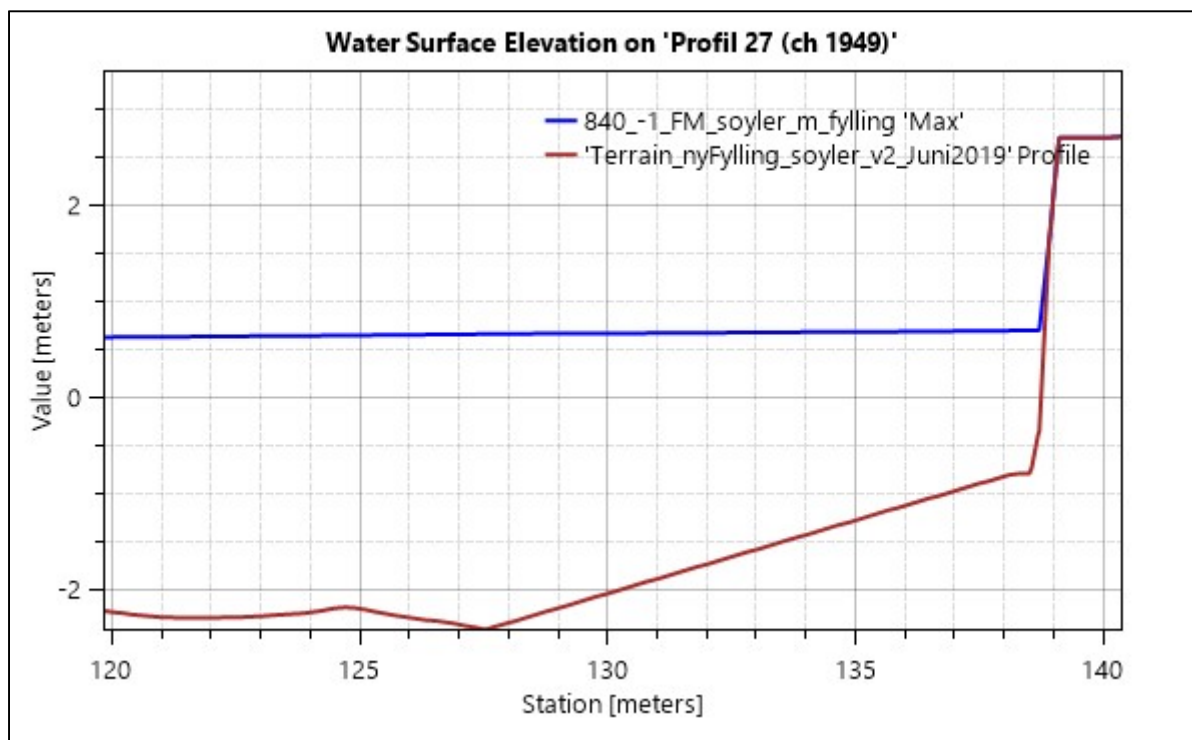
2 Erosjonssikring

Utsnitt fra modell med ny fyllingsgeometri, rekker av bropilarer og plassering av Profil 27 (midtprofil ved støttefylling) er vist i figur 1, mens hastighetsplott og vannstandsplott fra profilet er vist i figur 2 og 3.

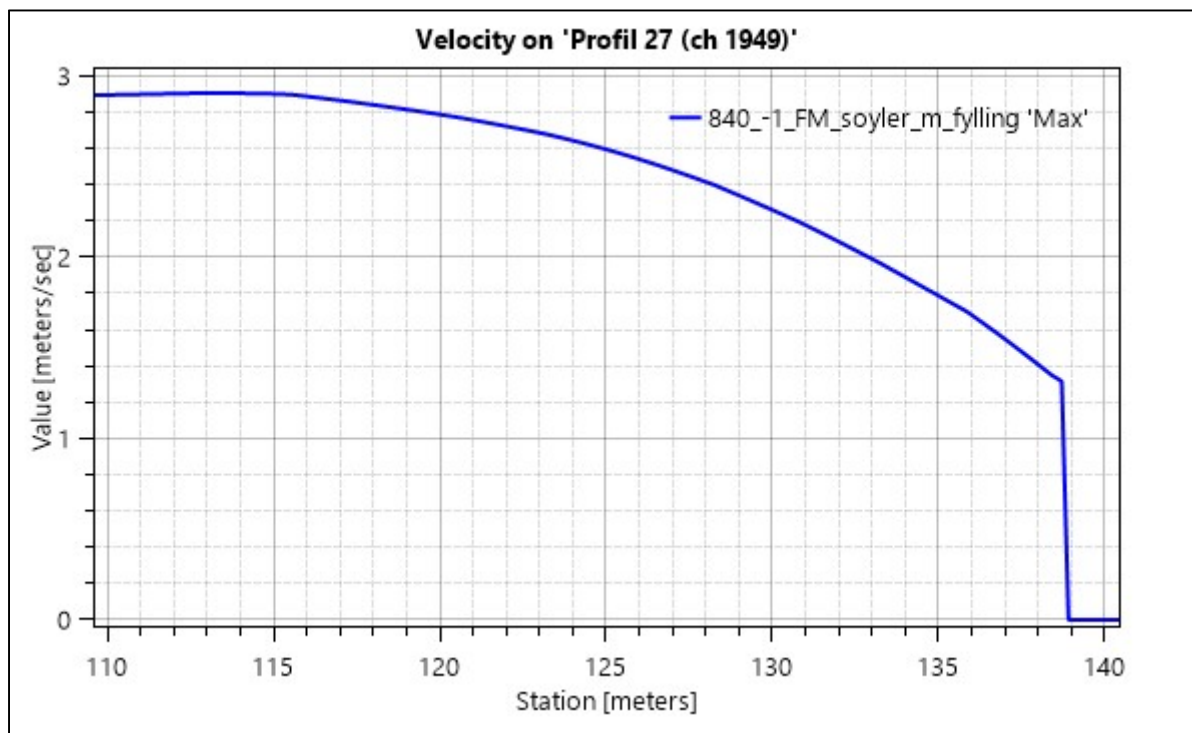
Som nevnt i grunnlaget benyttes dimensjonerende flom på $840 \text{ m}^3/\text{s}$ og vannstand på $-1,0 \text{ moh.}$ nedstrøms som grensebetingelser. Hydrauliske beregninger ble utført ved hjelp av hydraulisk modellering i HEC-RAS 2D.



Figur 1 Plassering av profiler i 2D-modell. Profil 27 uthevet som magenta linje med avstandsmål fra venstre bredd (sett fra oppstrøms mot nedstrøms).



Figur 2 Vannstand ved sikringstiltak i profil 27



Figur 3 Vannhastighet nær fylling og sikringstiltak i profil 27

2.1 Steinstørrelser

Vannhastigheten varierer langs hvert profil i elva, men det er av interesse å vite vannhastigheten ved sikringstiltaket. Som vist i figur 2, er vannstanden ved «Station 127,5 m» i profil 27 ca. 0,66 moh., som gir en vanddybde på omtrent 3,1 m. Dette er like ved skråningsfoten ute i elva. Vannhastigheten samme sted er da ca. 2,5 m/s. Der vannhastigheten er høyest på denne siden av elven drøyt 10 m lengre ut, er vannhastigheten omtrent 2,9 m/s, og denne lille økningen i vannhastighet påvirker steinstørrelsen. 3 m/s er derfor brukt i beregningene for å regne konservativt.

Beregning av stabil steinstørrelse er vist i tabell 1.

Tabell 1 Nødvendig stabil steinstørrelse

Erosjonssikring Maynords formel, slake elver, fall mindre enn 2 %			
Sikkerhetsfaktor	S_f		1
Bunnhelning	S_0		0,3 %
Midlere vannhastighet	V	m/s	3,0
Vanddybde	y_0	m	3,1
Bredde av hovedløp	W	m	90
Kurveradius	R	m	500
Stabilitetskoeffisient	C_s		0,3
Relativ radius	R/W		5,56
Koeffisient for sikringstykkelse	C_t		1
Steinvekt	W_s	kg/m ³	2600
Beregnet stabil steinstørrelse d_{30}	d_{30}		0,20
	d_{30} side		0,35
Avledet stabil steinstørrelse d_{50}	d_{50}	m	0,26
	d_{50} side	m	0,45

Stabil steinstørrelse beregnes til $d_{50} = 0,26$ m for bunnsikring og 0,45 m for sidesikring. Bunnsikring blir ikke relevant i dette tilfellet, da dette er et sidesikringstiltak, og med en sikkerhetsfaktor på 1,2 øker størrelsen til 0,55 m for sidesikring. For å være sikker på at sikringen har stor nok stein anbefales derfor en midlere steinstørrelse på 0,6 m. Det betyr at 50 vektprosent av massene skal være like stor som eller større enn 0,6 m.

Beregningsmetoden er i utgangspunktet myntet på velgraderte masser, og sikringen av skråningsfoten anbefales utført med samfengt masse / røyset stein med dimensjoner som angitt.

I øvre del av skråningsfoten er det ytret ønske om at sikringen utføres som plastring, da dette gir et bedre visuelt inntrykk i overgangen mot forblendingsmuren. Plastringen skal utføres som flatplastring og det må gis nok rom til å legge plastring ved utlegging av de sikringsmassene (røyset stein / samfengte masser som beskrevet over). Det må sikres at tåsteinen (nederste rad av stein) ligger stabilt, da dette danner grunnlaget for hvor stabilt resten av plastringen ligger.

Plastringssteinen må også ha en midlere steinstørrelse minst lik 0,6 m. For plastringsstein betyr midlere steinstørrelse gjennomsnittet av korteste, mellomste og lengste akseretning. Eksempel på liten stein som så vidt oppfyller kravet er en stein med nokså kubisk, men avlang form og dimensjonene 0,8 m * 0,6 m * 0,4 m, som gir et gjennomsnitt på 0,6 m. Plastringssteinene må altså være større enn dette.

Nokså kubisk stein vil være mest stabilt, og svært skifrig eller stenglig stein bør unngås. Ved flatplastring skal lengste akseretning følge strømningsretningen, altså langs fyllingen. Korteste akseretning skal ha være med fall inn mot fyllingen. Som ved annen plastring skal steinene legges

Steinstørrelse for erosjonssikring / plastring

med overlapp og det skal være god innbyrdes kontakt mellom plastringssteinene, både i side og mot underliggende stein. «Muring» / stabling av plastringsstein skal unngås, da dette lett gir lengre tverrgående sprekker og manglende overlapp.

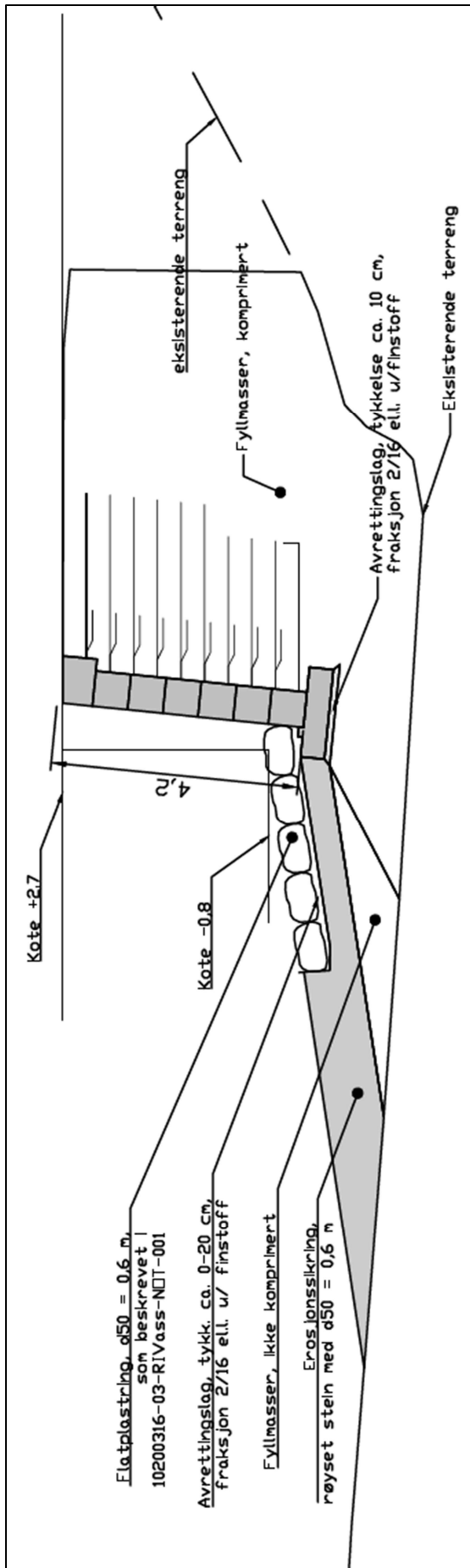
Det kan gjerne benyttes et avrettingslag mellom plastringen og det underliggende sikringslaget. Dette for å sikre at plastringen får en jevnest mulig utforming.

For å forhindre undergraving ved foten av forblendingsmuren må plastringen avsluttes tett på muren. Dette kan løses ved at øverste rad plastringsstein legges på samme nivå som nederste stein over bunnblokken i forblendingsmuren (se prinsippskisse).

Ettersom sikringsmassene av røyset stein skal utføres med grove masser som beskrevet (også under plastringen), vil det ikke være ekstra behov for filtermasser, da fyllingen i seg selv vil fungere som filter. Noe finstoff må regnes med å bli vasket ut over tid.

Prinsippskisse er vist i figur 4 på neste side, som er et utsnitt fra tegning 10200316-02-RIVass-TEG-001.

Steinstørrelse for erosjonssikring / plastring



Figur 4 Prinsippskisse – utsnitt fra tegning 10200316-02-RIVass-TEG-001

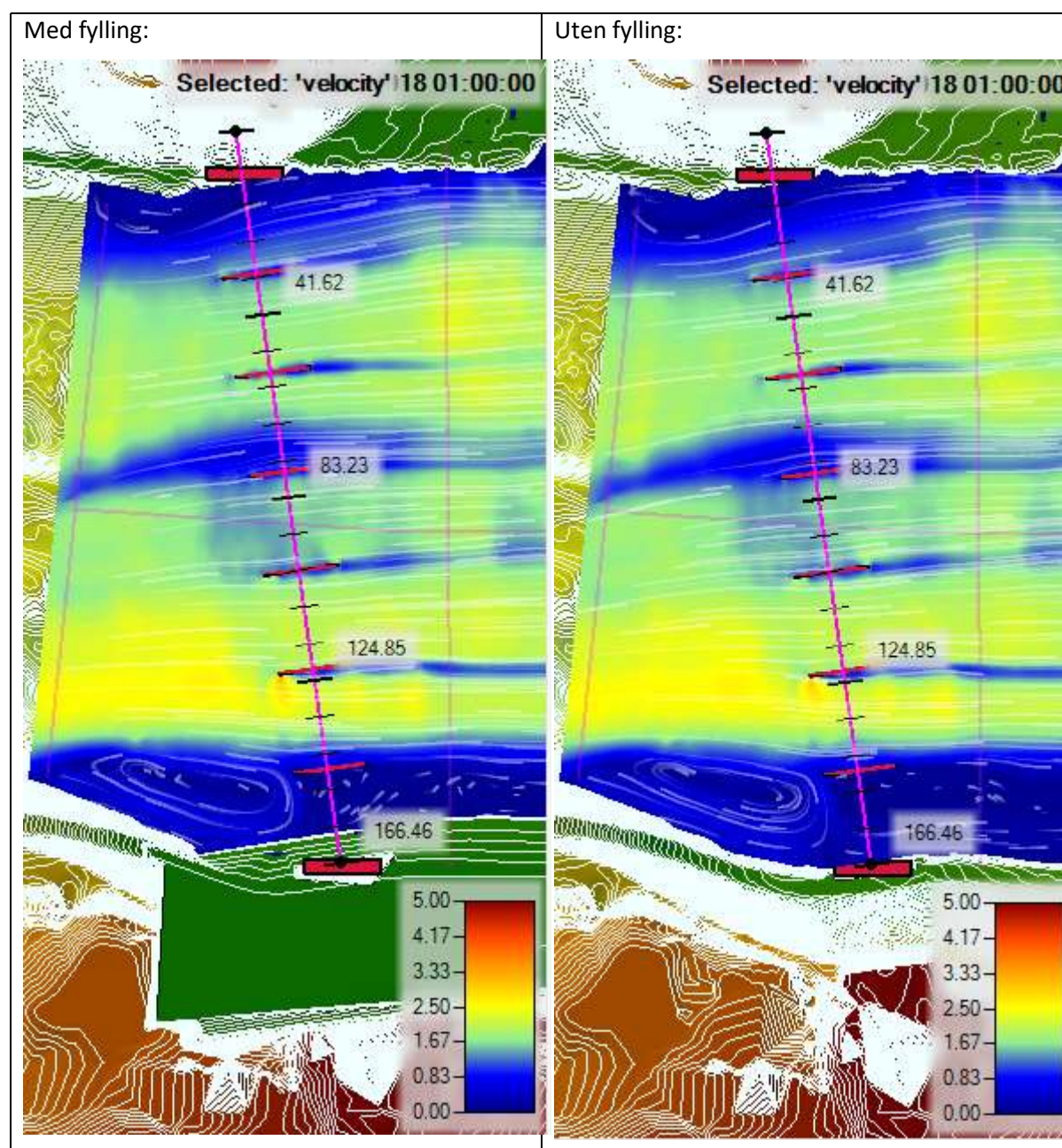
3 Vannhastighet ved bro Pilarer

Vannhastighet og strømningsforhold rundt bropilarer ved Elgeseter bru med og uten ny fylling er vurdert for dimensjonerende flom med både høy og lav vannstand som nedstrøms grensebetingelse, dvs. vannstander på henholdsvis +1,87 moh. og -1,0 moh. nedstrøms modellen.

Det er brukt bokshydrogram, dvs. vannføring konstant lik den maksimale istedenfor trekanthydrogram eller lignende flomforløp. Dette vurderes konservativt.

Bropilarer er inkludert i terrenngmodellen som ble benyttet som grunnlagsdata for modelleringen, da Hec-RAS 2D ikke klarer å gjengi hver enkelt bropilar nøyaktig nok, og dette uansett er godt nok. Vannhastighetene er dessuten små.

Figur 5 viser strømningsforhold og vannhastighet rundt bropilarer med og uten fylling ved høy vannstand.

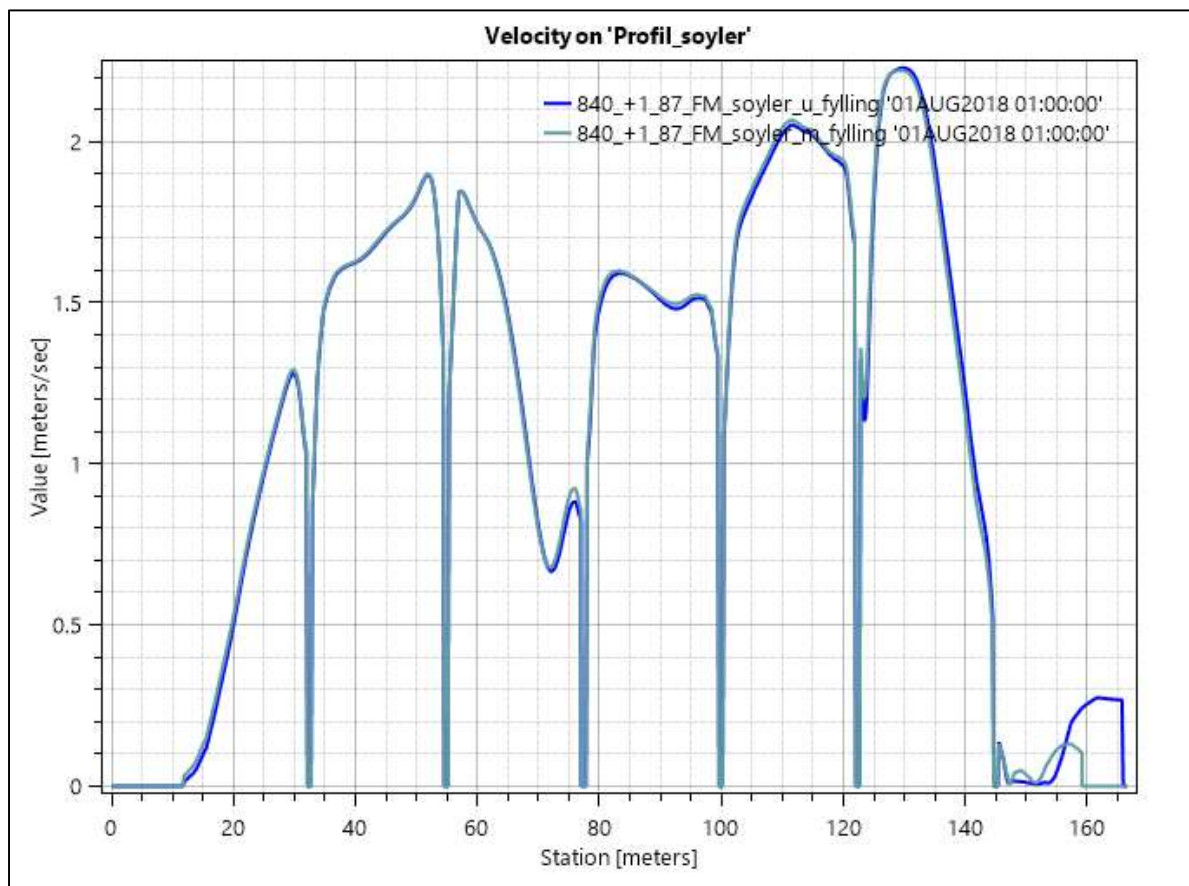


Figur 5 Strømningsforhold og vannhastighet ved bropilarer med og uten ny fylling ved lav vannstand (dvs., nedstrøms grensebetingelse på kt. -1 moh.)

Steinstørrelse for erosjonssikring / plastring

Som figur 5 viser, er vannhastighetene små i området rundt brupillarene til Elgeseter bru ved dimensjonerende flom og høy vannstand, og det er ingen store tydelige forskjeller i vannhastighet eller strømningsmønster før og etter bygging av ny fylling.

Figur 6 viser hastighet i et profil under Elgeseter Bru ved høy vannstand. Profilets plassering med lengdemål er synlig i figur 5.

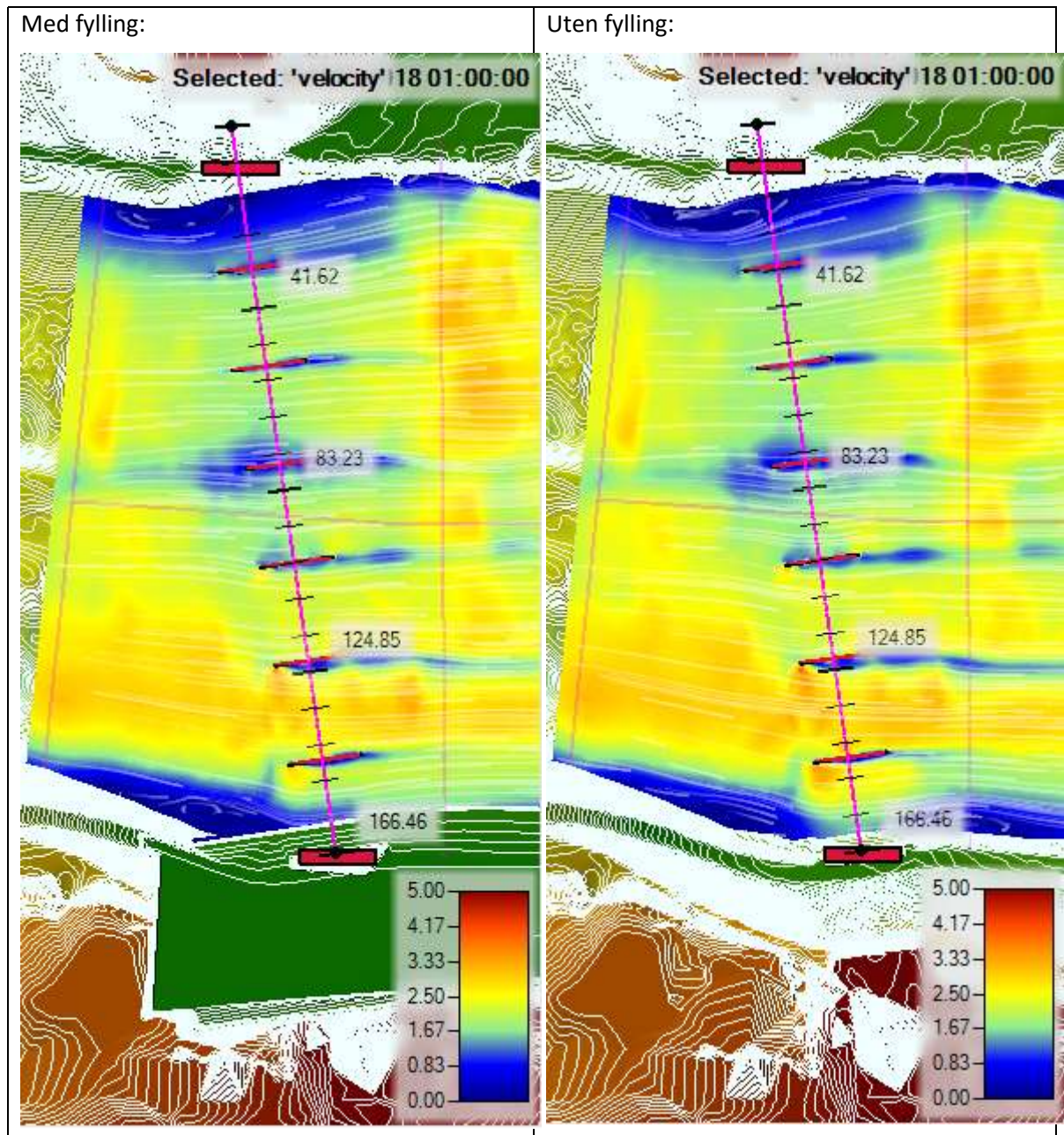


Figur 6 Hastighetsprofil under Elgeseter Bru ved dimensjonerende vannføring (dvs., $Q = 840 \text{ m}^3/\text{s}$) og høy vannstand (dvs., nedstrøms grensebetingelse på kt. 1,87 moh).

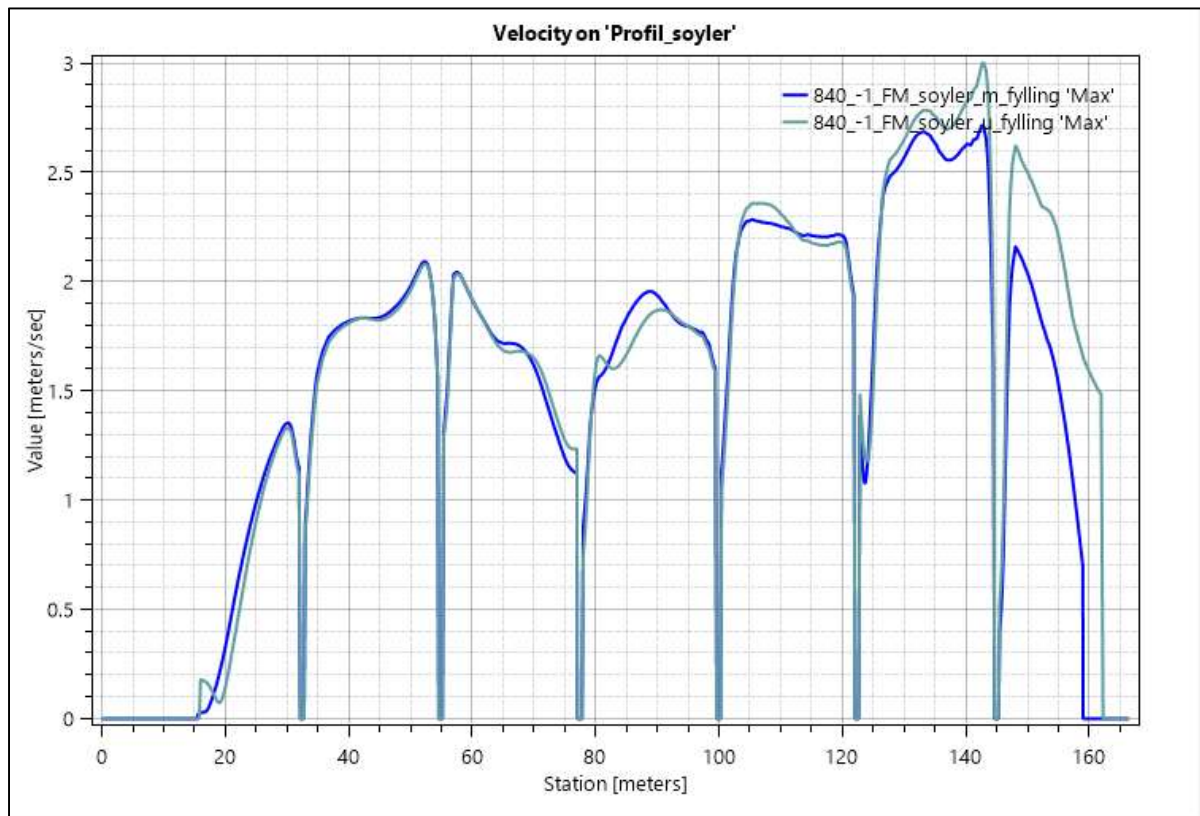
Som figur 6 viser, er hastighetsprofilene svært like med og uten ny fylling. Størst økning kan observeres ved ca. «Station 76» på figuren, der vannhastigheten øker fra 0,88 til 0,92 m/s, altså en økning på ca. 4,6%. Det understrekes at disse vannhastighetene er lave.

Figur 7 viser strømningsforholdene rundt bropillarene med og uten fylling ved dimensjonerende vannføring og lav vannstand. Endring i vannhastighet er nå marginalt mer synlig enn ved høy vannstand.

Figur 8 viser hastighetsprofil under Elgeseter bru ved dimensjonerende flom og lav vannstand.



Figur 7 Strømningsforhold ved bro Pilarer med og uten ny fylling ved lav vannstand (dvs., nedstrøms grensebetingelse på kt. -1 moh.)



Figur 8 Vannhastighet ved dimensjonerende flom (dvs., $Q = 840 \text{ m}^3/\text{s}$) og lav vannstand (dvs., nedstrøms grensebetingelse på kt. -1 moh)

Som figur 8 viser, gir fyllingen stedvis en reduksjon i vannhastighet i profilet under brua. Størst reduksjon nær en rekke bropilarer er det ved «Station 148», mens størst økning er det ved «Station 86», som ligger omtrent midt mellom to rekker av bropilarer. Aller størst reduksjon er det ved land på sørenden av brua, der hastigheten blir mer enn halvert. Merk at det fortsatt er snakk om små hastigheter.

Økningen ved «Station 86» er på ca. 8,7 %, fra 1,73 m/s til 1,88 m/s.

Reduksjonen ved «Station 148» er på 17,6 %, fra 2,62 m/s til 2,16 m/s.

Reduksjonen ved land (ca. «Station 159») er på 57,8 %, fra 1,66 m/s til 0,7 m/s.

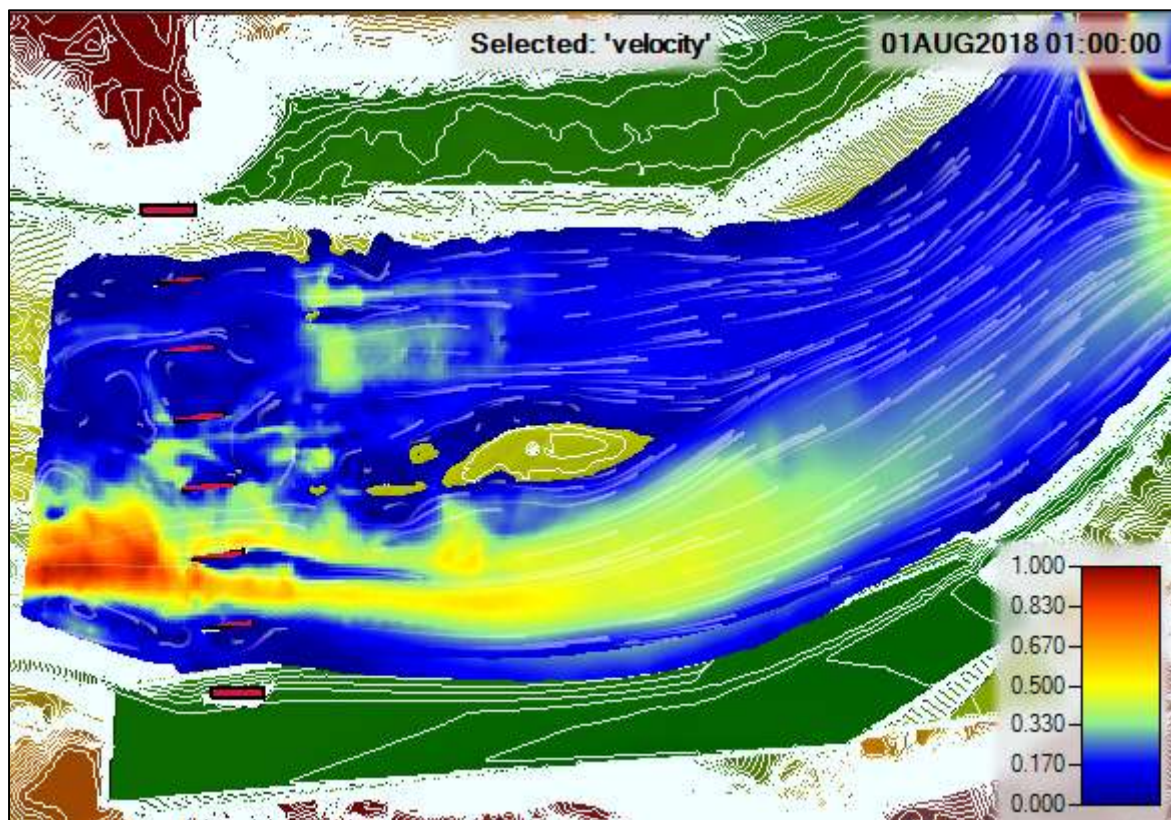
Som figurene over viser, er det hovedsakelig små endringer i vannhastighet under Elgeseter Bru som følge av den nye utfyllingen. De største endringene under brua er redusert hastighet enkelte steder ved den mest kritiske situasjonen – stor vannføring og lav vannstand. Den største økningen i vannhastighet er på under 9 %, inntreffer ikke nær bropilarene og det er i tillegg snakk om relativt lave vannhastigheter.

4 Strømningsmønster ved lav vannføring

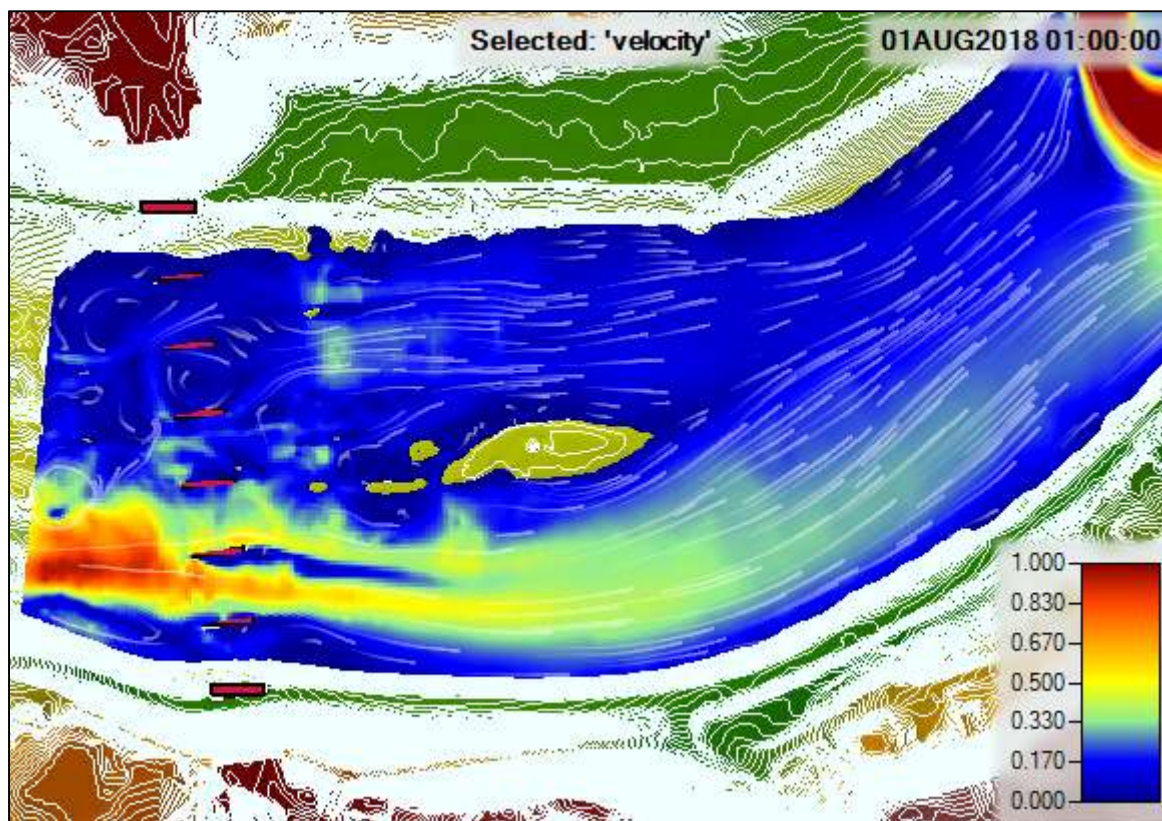
Sikringstiltakets påvirkning på strømningsmønsteret ved lav vannføring har blitt vurdert ved å gjennomføre simuleringer med lav vannføring og lav vannstand (lav vannstand gir større forskjell på vannhastigheten med og uten fylling enn høy vannstand).

Simuleringer har derfor blitt utført både med og uten fylling, med vannføring på $30 \text{ m}^3/\text{s}$ og nedstrøms vannstand på -1 moh .

Figur 9 viser strømningsmønster på strekningen med ny fylling, og figur 10 viser tilsvarende uten fylling. Vær obs på at det er snakk om svært små vannhastigheter, og at fargeskalaen derfor nå går fra 0 til 1 m/s .



Figur 9 Strømningsmønster og vannhastighet med fylling og ved lav vannføring (dvs., $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$) og lav vannstand (dvs., nedstrøms grensebetingelse på kt. -1 moh)



Figur 10 Strømningsmønster og vannhastighet uten fylling og ved lav vannføring (dvs., $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$) og lav vannstand (dvs., nedstrøms grensebetingelse på kt. -1 moh)

Som figurene viser, er strømningsmønsteret på strekningen hovedsakelig det samme, og fyllingen gir kun en marginal økning i vannhastighet, særlig nedstrøms Pirumbanken på siden mot den nye fyllingen. Denne økningen er på det meste ca. 0,1 m/s, fra 0,3 m/s til 0,4 m/s, så det er fortsatt snakk om svært små vannhastigheter. Vår vurdering er at fyllingen ikke gir noen betydelig endring i strømningsmønster eller vannhastighet ved lave vannføringer.