

E6 Ranheim – Værnes

Strømningsmodellering – Hellstranda. Stjørdal

E6RV-MUL-HI-MEM-CA#00-0002



Revision record			
Revision	Status	Date	Reason for Issue
01	IFR	16.03.2020	Issued for Client Review

Multiconsult					
	Produced by:	Checked by:	Approved by:	Reviewed by:	Reviewed by:
Name:	Mulugeta B. Zelelew	Øyvind Pedersen			
Position:	Discipline leader and Advisor, Hydrology	Discipline leader and Advisor, Hydraulikk			
Signature:	MZ	OYP			

[illegible]

LIST OF CONTENT

1	INNLEDNING.....	4
1.1	BAKGRUNN	4
1.2	BESKRIVELSE AV PLANOMRÅDE OG STØTTEFYLLING.....	4
2	UTFØRTE UNDERSØKELSER.....	6
2.1	DATAGRUNNLAG	6
2.2	HYDRAULISK MODELLERING.....	8
2.3	GRENSEBETINGELSER.....	10
2.4	VANNFØRING I VASSDRAGET OG VANNSTAND I SJØEN.....	11
2.5	FRIKSJONSFORHOLD	12
2.6	SCENARIOER FOR HYDRAULISKE SIMULERINGER OG VURDERINGER.....	12
3	RESULTATER	14
3.1	ENDRING I VANNHASTIGHET I ELVEBREDD	14
3.2	ENDRING I STRØMNINGSMØNSTER	24
3.3	OPPSTUVING OPPSTRØMS VED FLOM OG HØY VANNFØRING.....	28
3.4	ENDRING I EROSJONSFARE OG BUNNMATERIAL.....	31
3.5	UTSKIFTING AV VANN	33
4	KONKLUSJONER	34
5	REFERANSER.....	37
	VEDLEGG	38

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Nye veier ser på alternativer for utvidelse av E6 veglinjer mellom Helltunnelen og Hellstranda i Stjørdal kommune. For å oppnå tilstrekkelig kjørehastighet ved denne delstrekningen, vurderes to alternativer for veglinjer. Etablering av ny E6 med utvidelse av veglinje ved denne delstrekningen vil kreve støttefyllinger i sjøen langs sørlige bredden av Trondheimsfjorden.

Foreliggende fagrapport omhandler utførte vassdragstekniske vurderinger av støttefyllingens konsekvenser på strømningsforhold og strømningsmønster ved utløpets til Stjørdalselva i sjøen og ved elvas strekning mellom Helltunnelen og Hellstranda. Fagrapporten er utarbeidet til reguleringsendring for ny E6 Ranheim-Værnes for delstrekning Helltunnelen – Hellstranda, dvs. ZP110, og ZP110-Revidert. Gjeldende reguleringsplan (ZP90): E6 Ranheim – Værnes, delstrekning Helltunnelen – Værneskrysset, ble vedtatt 19.05.2016.

1.2 Beskrivelse av planområde og støttefylling

Støttefyllingen planlegges utført langs Trondheimsfjorden sørlige bredd, på en strekning på cirka 900 m fra like vest for påhugget til Helltunnelen og østover til Hellstranda badestrand. Se beliggenhet og illustrasjoner i Figur 1.



Figur 1. Beliggenhet av støttefylling området vist med svart rektangel. Kart kilde: Norgeskart.

I denne fagrapporten er hydrauliske konsekvenser av 3 alternativer for støttefyllinger vurdert;

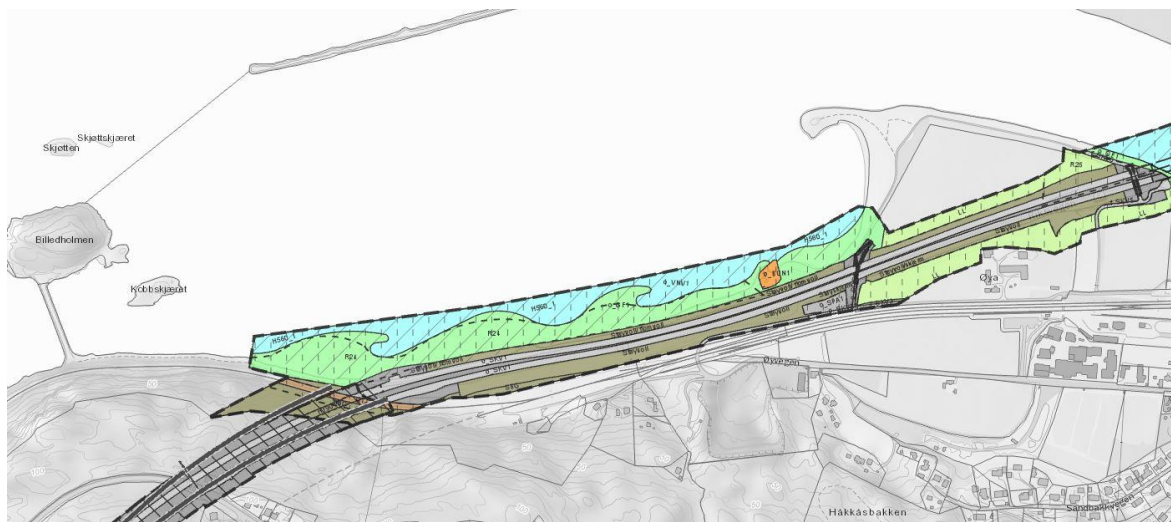
- Nullalternativet er gjeldende reguleringsplan for 90 km/t.
- Alternativ 1; planforslag sendt inn til førstegangsbehandling
- Alternativ 2; revidert planforslag med redusert fylling sammenlignet med alternativ 1

Beskrivelser av alternativene er vist nedenfor.

Alternativ-0: Gjeldende plan (ZP90)

- Dimensjonering for fartsgrense 90 km/t
- Fylling – ca. 26,300 m² i sjøen

0-alternativet, som er gjeldende plan, er vist i Figur 2.

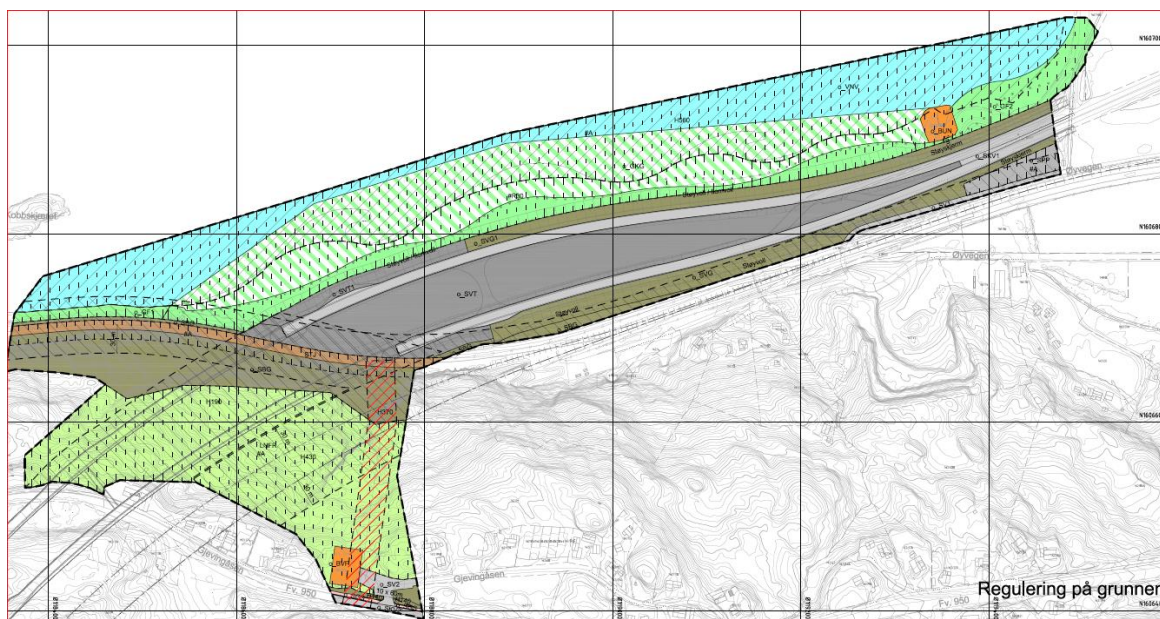


Figur 2. Plankart til reguleringsplan for 90 km/t (ZP90). Kilde: Multiconsult, kartgrunnlag fra Kartverket.

Alternativ-1: Forslag til planendring (ZP110)

- Dimensjonering for fartsgrense 110 km/t
- Fylling – ca. 67,500 m² i sjøen

Alternativ 1, forslag for planendring, er vist i Figur 3.

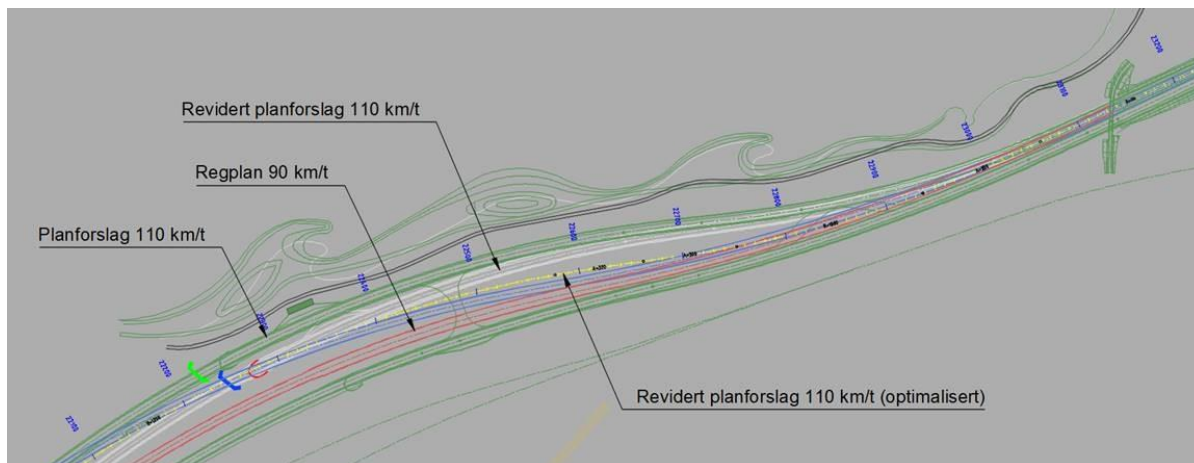


Figur 3. Plankart til forslag til reguleringsplan for 110 km/t (ZP110) datert 11.09.2019. Kilde: Multiconsult, kartgrunnlag fra Kartverket.

Alternativ-2: Forslag til planendring (ZP110-Revidert)

- Dimensjonering for fartsgrense 110 km/t
- Fylling ved Alternativ-2 er en mellomløsning mellom Alternativ-0 og Alternativ-1, cirka 45 000 m².

Støttefyllingen ved Alternativ 1 er det som strekker seg lengst ut i sjøen, og nullalternativet strekker seg minst ut i sjøen. Planforslagene for utfylling i sjøen ved Alternativ 1, Alternativ 2 samt utfyllingen ved nullalternativet er vist i Figur 4.



Figur 4. Oversikt over planforslag for utfylling i sjø ved Alternativ-0, Alternativ-1 og Alternativ-2.

2 UTFØRTE UNDERSØKELSER

Det er gjennomført hydrauliske analyser for å vurdere om:

- 1) hastigheten på elva endret seg som følge av en ny fylling
- 2) støttefyllingen ut i sjøen vil medføre endringer i strømningsmønster som kan medføre endringer for elvas bunnforhold (bunnsubstrater), og utskifting av vann i strandsonen ved det gamle elveleiet og Billedholmen (se Figur 1 for forklaring).

Strømhastighetene i Stjørdalselva ved de tre ulike alternativene er vurdert i en to-dimensjonal hydraulisk modell.

2.1 Datagrunnlag

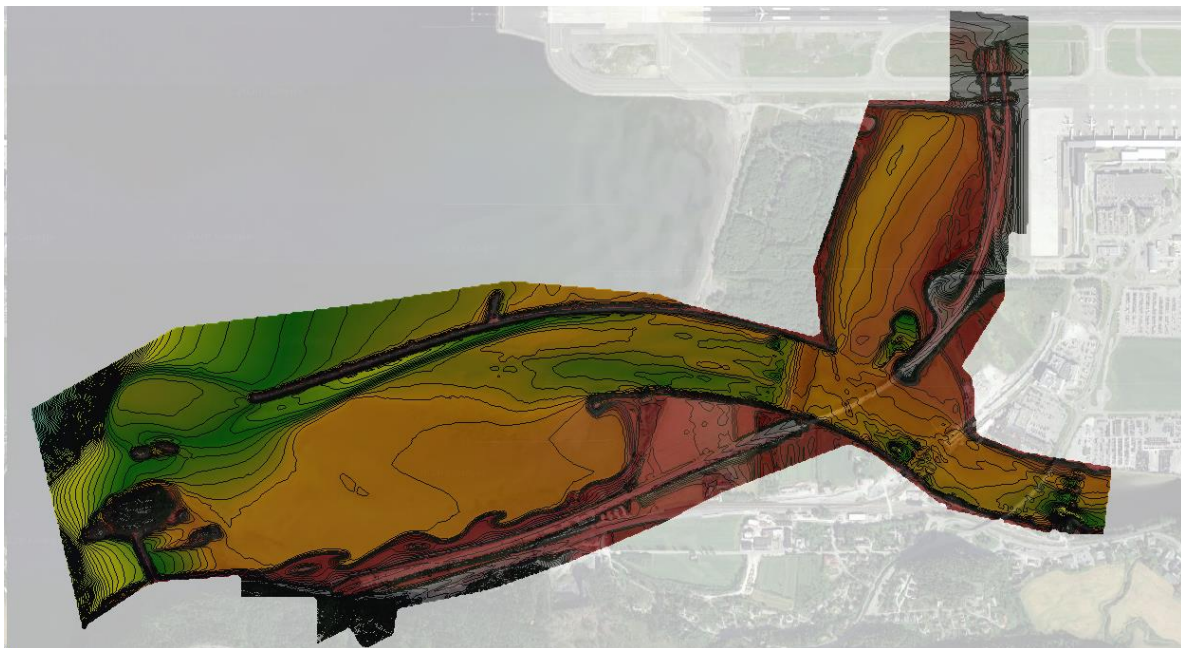
Gode topografiske data er svært viktig for å oppnå gode resultater ved bruk av hydrauliske modeller. Det er utarbeidet et bunnkotekart ved utløpet til Stjørdalselva og i nedre deler av elva (2019). Bunnkotekartet viser detaljer av topografien under vannet, og oppmålingen er vurdert til å være tilstrekkelig for analysen. Området for bunnkotekart oppmålinger er vist i Figur 5.

En laserskannet terrengmodell fra 2015 med minimum 2 pkt/m² og oppløsning på 0,5 m og med vertikal høydereferanse NN2000 fra prosjektområdet er brukt i analysen (www.hoydedata.no). Denne terrengmodellen er benyttet som grunnlag

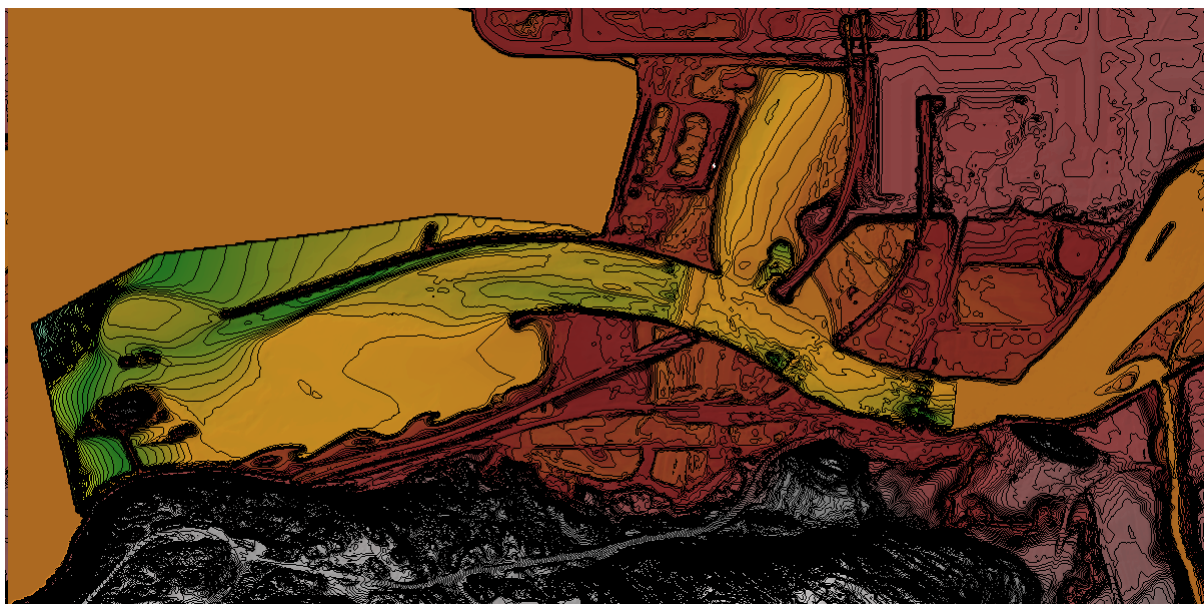
for å supplere data for elveleiet og flomslette områder der elvebunnskotekart oppmålinger ikke ble utført.

Veg og støttefylling modeller for Alternativ-0, Alternativ-1 og Alternativ-2, oppmålte bunnskoter fra 2019 og laserskannede terrengmodellen fra 2015 ble kombinert i ett lag for å danne en terrengmodell. I tillegg er høyder på pilarer for gamle og nye Sandfærhus bro inkludert i terrengmodellen. Eksempel på terrengmodellen som er brukt i hydraulisk analyse ved Alternativ-0 (ZP90) er vist i Figur 6.

Vertikal høydereferanse for terrengmodellene benyttet i denne analysen er NN2000.



Figur 5. Oversikt over området for bunnoppmålinger.



Figur 6. En kombinert terrengmodell for hydrauliske analyser ved Alternativ-0 (ZP90).

2.2 Hydraulisk modellering

Basert på at det er noen endringer i elvas geometri ved utløpet til sjøen ble det gjort hydraulisk modellering for den aktuelle strekningen. Formålet med analysen har vært å se på endringer i vannhastigheten og strømningsmønsteret i utløpet og nedre deler av Stjørdalselva, ved Billedholmen og i elvebredd langs den planlagte støttefyllingen og eksisterende molo på nordsiden av elva.

Elvas utløp er grunt og relativt stilleflytende ved normalvannføring mot den planlagte fyllingen og dypere langs molen. Strømningsmønsteret, særlig med store vannføringer i elva, kan ikke bestemmes ut fra en en-dimensjonal modell. Hovedstrømmen av elvevatnet går langs moloen og ut i Trondheimsfjorden (Figur 6). Modelleringen ble derfor gjort ved å bruke en 2D hydraulisk modell. Modellverktøyet er HEC-RAS (5.0.7), i et 2-dimensjonalt (2D) beregningsnettverk. En 2D modell gir vesentlig mer detaljert informasjon om strømningsforholdene rundt den planlagte fyllingen og i Stjørdalselva enn strømningsforholdene som kan oppnås ved bruk av 1-dimensjonal modell.

Ved bruk av 2-dimensjonale modellberegninger hensyntar man f.eks. transversal strømming og evt. returstrømmer. Det brukes Saint Venants likninger og brukeren kan velge enten full dynamisk eller diffusiv beregning i modellen. Her er det valgt å bruke en full dynamisk beregningsmetode. Denne metoden er egnet der vannstander stiger og faller raskt, og elveutløp er påvirket av tidevann. Metoden beregner endringer i lokale hastigheter og strømningsmønstre med en rimelig nøyaktighet.

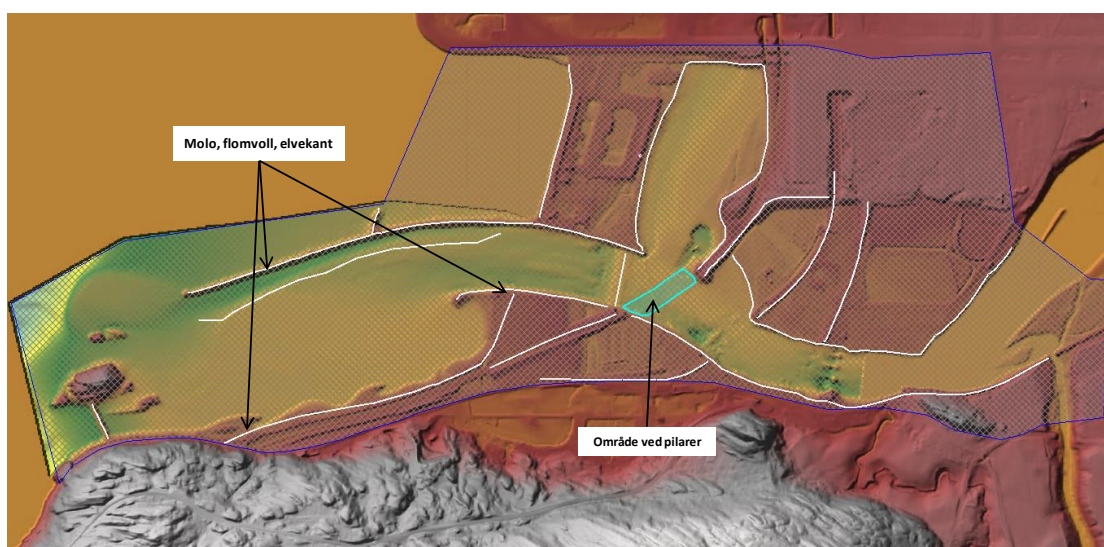
I NVEs rapport for flomsonekartlegging for Stjørdal beskrevet at vannstanden på grunn av ekstremvannstander i sjøen strekker seg oppstrøms til elvestrekningen ved Hellberget, og denne situasjonen gir de høyeste vannstandene i elva. Oppstrøms ende av den hydrauliske modellen er derfor forlenget ca. 800 m oppstrøms Hellberget, og avsluttes ved Kapteinsøra. Totalt er ca. 3,8 km av

strømningstrekningen, og ca. 3,3 km² arealet ved Hellstranda modellert. Nedstrøms enden av modellen avsluttes nedstrøms Billedholmen. Modellert område er vist i Figur 7.



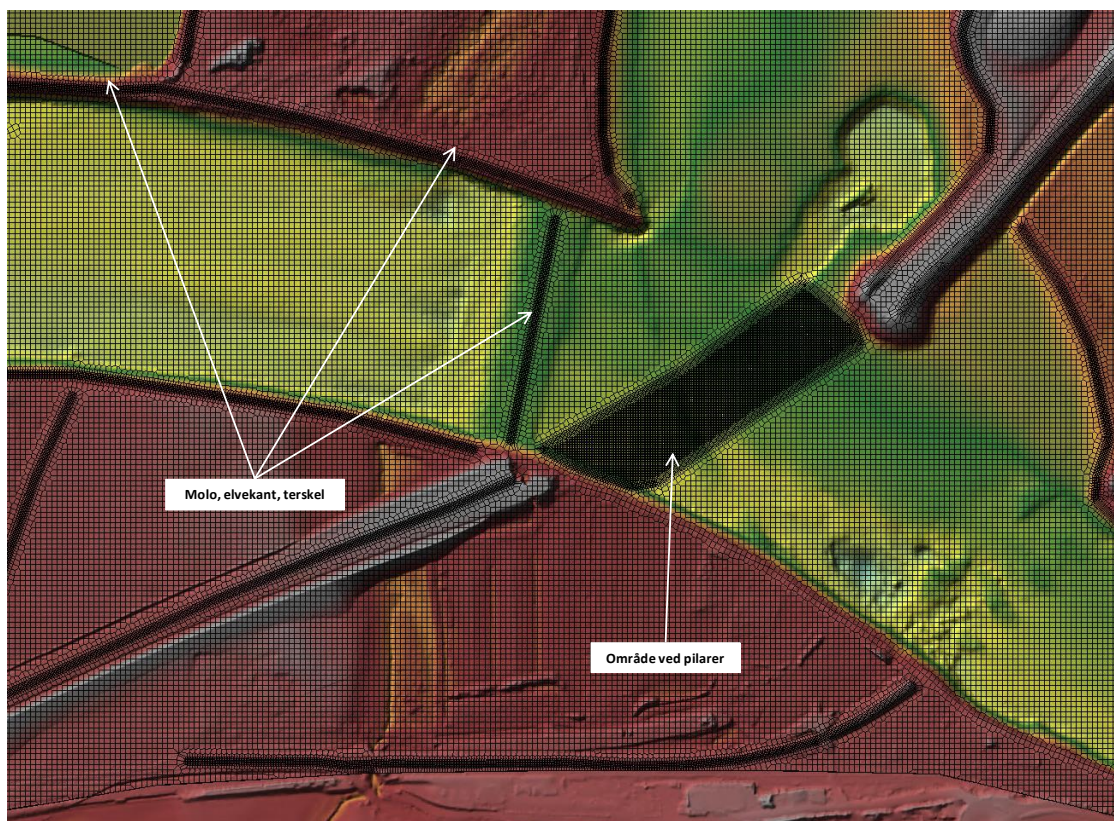
Figur 7. Oversikt over modellert strekning.

For å få fornuftige resultater ut fra 2D hydrauliske modellsimuleringer bør elveløp, fylling på veier, terskler, moloer, flomvoller, elvekanter, bratte områder, osv., være godt representert i modelleringsområdet. Dette kan oppnås ved å trekke ei linje langs senterlinjene for elveløp, veifyllinger, terskler, moloer, flomvoller, elvekanter og å tegne en «raffinement-region» i områder der terrengforholdet endrer seg mye. Terrengmodellen som brukes for hydrauliske beregninger kan deretter endres ved å tvinge disse strukturene i terrengmodellen. Et eksempel denne på prosessen er vist i Figur 8.



Figur 8. Oversikt over modellert område sammen med terrengmodell og konstruksjoner (molo, terskel, elvekanter, osv.) ved Alternativ-0 (ZP90).

Det er gjort en vurdering av hvor store beregningsceller som er egnet til de hydrauliske beregningene for vannhastighet og strømningsmønster ved støttefyllingen på Hellstranda. Beregningsceller med 1 meters lengde både i X- og Y-retning på molo, elvekanter veifyllinger, terskel og ved område for pilarer; eller celler med 4 meters lengde både i X- og Y-retning på resten av det modellerte området er vurdert å være en fornuftig beregningscelle-fordeling i denne analysen. Et detaljering av beregningscellene for en del av det modellerte området er vist i Figur 9.



Figur 9. Detaljerte beregningsceller på en del av det modellerte området.

2.3 Grensebetingelser

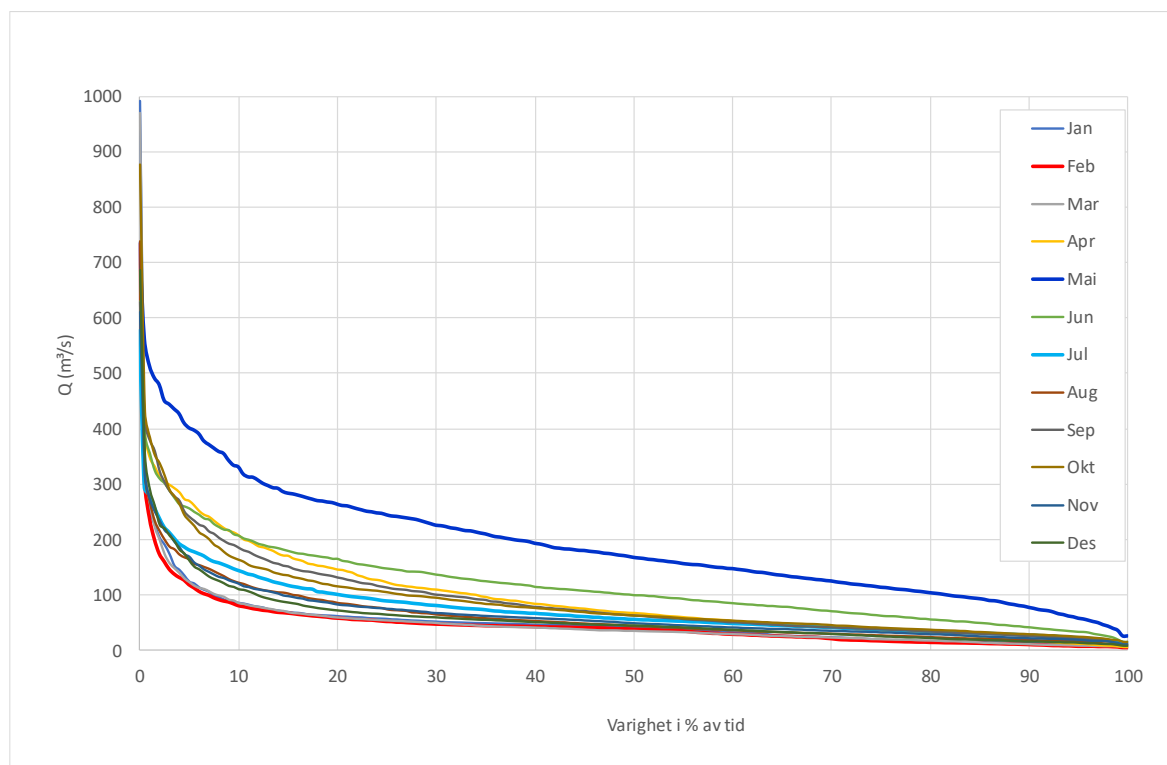
I den hydrauliske 2D-modellen for Hellstranda må det legges inn initialbetingelser og grensebetingelser. Disse beskriver enten vannstand eller vannføring ved modellens oppstrøms og nedstrøms ende.

200-årsflommen beregnet av NVE og oppskalerte normale lave- og høye vannføringer i vassdraget er benyttet som oppstrøms grensebetingelse for modellen. Normale vannføringer ved Stjørdalselva utløp ved sjøen er beregnet basert på tidsserier fra målestasjonen ved Hegra bru (VM 124.12) og oppskaleringfaktor basert på nedbørfeltets areal ved Stjørdalselva utløp og målestasjonen (dvs., $2112 / 1871 = 1,13$).

En vannstand i sjøen er satt til som nedre grensebetingelse for modellen. Vannføringen i vassdraget og vannstanden i sjøen bestemmes avhengig av simuleringsscenarioet beskrevet i Tabell 2.

2.4 Vannføring i vassdraget og vannstand i sjøen

200-års kulminasjonsvannføringen ved Stjørdalselva utløp hentet ut fra NVEs rapport , og er 1860 m³/s. Vannføringsvarighetskurven for Stjørdalselva viser at det er månedene februar og mars som har minste vannføringer i vassdraget og mai som har høyeste vannføringer i vassdraget (se Figur 10 for forklaring).



Figur 10. Vannføringsvarighet for Stjørdalselva

Data for middel lavvann, middel høyvann, lav observerte vannstand og høy observerte vannstand ved sjøen ved Stjørdalselva utløp er hentet ut fra www.sehavniva.no (se vedlegg 1 og vedlegg 2). Tidevannet i februar er den gjennomsnittlig høyeste og er dermed benyttet i analysen (se vedlegg 3). Vannføringer i vassdraget og vannstander i sjøen benyttet for analysen er oppsummert i tabellen under.

Tabell 1. Vannføringer i vassdraget og vannstand i Trondheimsfjorden ved Stjørdalselva utløp.

Vannføring/Vannstand	Enhet	Verdi
200-årsflom, kulminasjon	m ³ /s	1860
Normal lavvannføring (gjennomsnitt i måneden februar)	m ³ /s	62
Normal høyvannføring (gjennomsnitt i måneden mai)	m ³ /s	170
Middel lavvann	moh	-1,00
Middel høyvann	moh	0,87
Lav observerte vannstand	moh	-2,00
Høy observerte vannstand	moh	2,00
Tidevann i februar (lav vannstand)	moh	-1,74
Tidevann i februar (høy vannstand)	moh	1,58

2.5 Friksjonsforhold

For å ta hensyn til steiner, gress, vegetasjon og andre større eller mindre hindringer i vannveien defineres Mannings friksjonsfaktor for ulike deler av modellerte arealet. I denne analysen vurderes friksjonen ut fra bilder og angis i modellen som Mannings tall.

Elva ved Hellstranda har en veldefinert vannvei med noe buskas/gress på elvekantene. Elveløpet er svært slak. Flomslettene er hovedsakelig bebygd område. Et gjennomsnitt Manningtall på 22 er vurdert å være en fornuftig friksjonsfaktor for modellerte område.

2.6 Scenarier for hydrauliske simuleringer og vurderinger

Ulike scenarier som kan medføre erosjonsskader og strømningsmønster i elvemunningen er undersøkt. Elveleiematerialet kan eroderes bort hvis vannhastigheten i elva øker betydelig. Dette kan f.eks. skje hvis det oppstår store flommer i vassdraget og lav vannstand i sjøen. Grensebetingelsene beskrevet i Tabell 2 er benyttet for å definere hydrauliske simuleringsscenarier i elva, vurdere påvirkning av støttefyllingen på hastigheter i elvebredden, og vurdere utskifting av vann i strandsonen ved det gamle elveleiet og Billedholmen.

Tabell 2. Simuleringsscenarioer

Alternativer	Grensebetingelse i elva/vassdraget	Grensebetingelse i sjøen
Alt-0: ZP90	200-årsflom	Middel lavvann
Alt-1: ZP110	200-årsflom	Middel lavvann
Alt-2: ZP110-Revidert	200-årsflom	Middel lavvann
Alt-0: ZP90	200-årsflom	Middel høyvann
Alt-1: ZP110	200-årsflom	Middel høyvann
Alt-2: ZP110-Revidert	200-årsflom	Middel høyvann
Alt-0: ZP90	Høyvannføringsperiode (mai)	Lav observerte vannstand
Alt-1: ZP110	Høyvannføringsperiode (mai)	Lav observerte vannstand
Alt-2: ZP110-Revidert	Høyvannføringsperiode (mai)	Lav observerte vannstand
Alt-0: ZP90	Lavvannføringsperiode (feb)	Høy observerte vannstand
Alt-1: ZP110	Lavvannføringsperiode (feb)	Høy observerte vannstand
Alt-2: ZP110-Revidert	Lavvannføringsperiode (feb)	Høy observerte vannstand
Alt-0: ZP90	Høyvannføringsperiode (mai)	Tidevann (feb)
Alt-1: ZP110	Høyvannføringsperiode (mai)	Tidevann (feb)
Alt-2: ZP110-Revidert	Høyvannføringsperiode (mai)	Tidevann (feb)
Alt-0: ZP90	Lavvannføringsperiode (feb)	Tidevann (feb)
Alt-1: ZP110	Lavvannføringsperiode (feb)	Tidevann (feb)
Alt-2: ZP110-Revidert	Lavvannføringsperiode (feb)	Tidevann (feb)

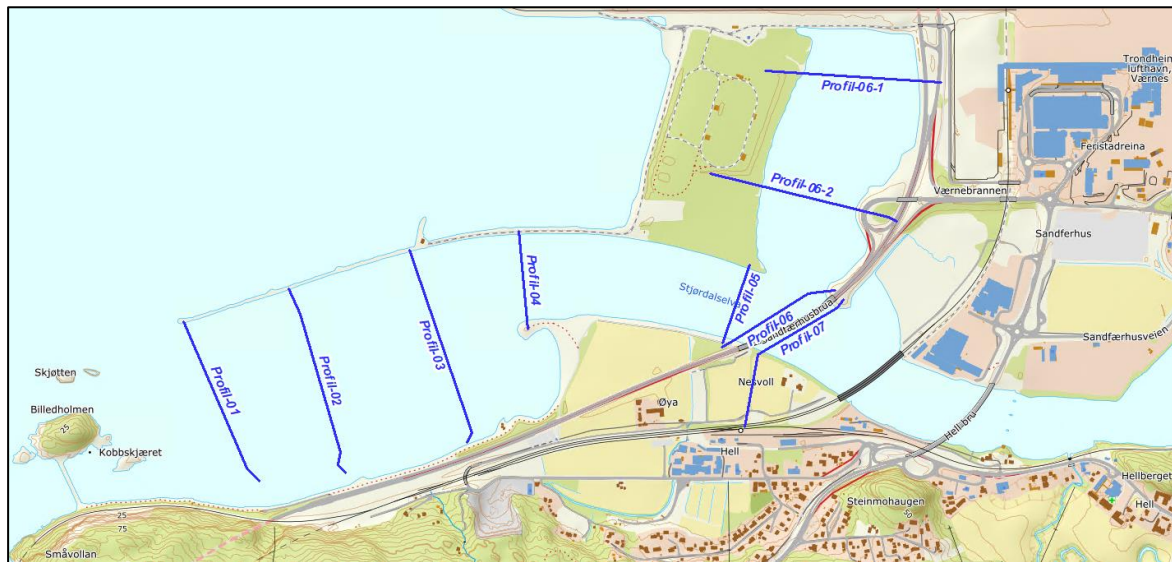
3 RESULTATER

For å vurdere om støttefyllingen kunne medføre vannhastigheter og noen endringer i strømningsmønsteret i elvebredden og langs molen, for eksempel retningsendringer på strømming, ble det utført 2D modellering av utløpet av Stjørdalselva for alle tre alternativene. Fokuset var her på om de nye forslagene for støttefyllingen ved Hellstranda kunne være problematiske ved at den kunne styre strømmingen inn mot midten av elva eller mot støttefyllingen. Dette er nå modellert i detalj og simuleringsresultatene er beskrevet nedenfor.

3.1 Endring i vannhastighet i elvebredd

Tverrsnittene vist i Figur 11 er benyttet for å beskrive resultatene fra de hydrauliske simulerings scenarioene vist i Tabell 2. Profil 06 ligger nedstrøms pilarene for nye E6. Profil 06-1 og profil 06-2 ligger i det gamle elveleiet. Terskelen i elva nedstrøms nye E6 ligger ved profil 05. De nordre endene av profilene 04, 03, 02 og 01 er plassert på de høyeste punktene langs molen, og de sørlige endene av profilene 03, 02 og 01 er plassert langs støttefyllingen ved Hellstranda. Profil 04 ligger oppstrøms for planlagte støttefyllingen, og profil 01 ligger nedstrøms for planlagte støttefyllingen og oppstrøms Billedholmen.

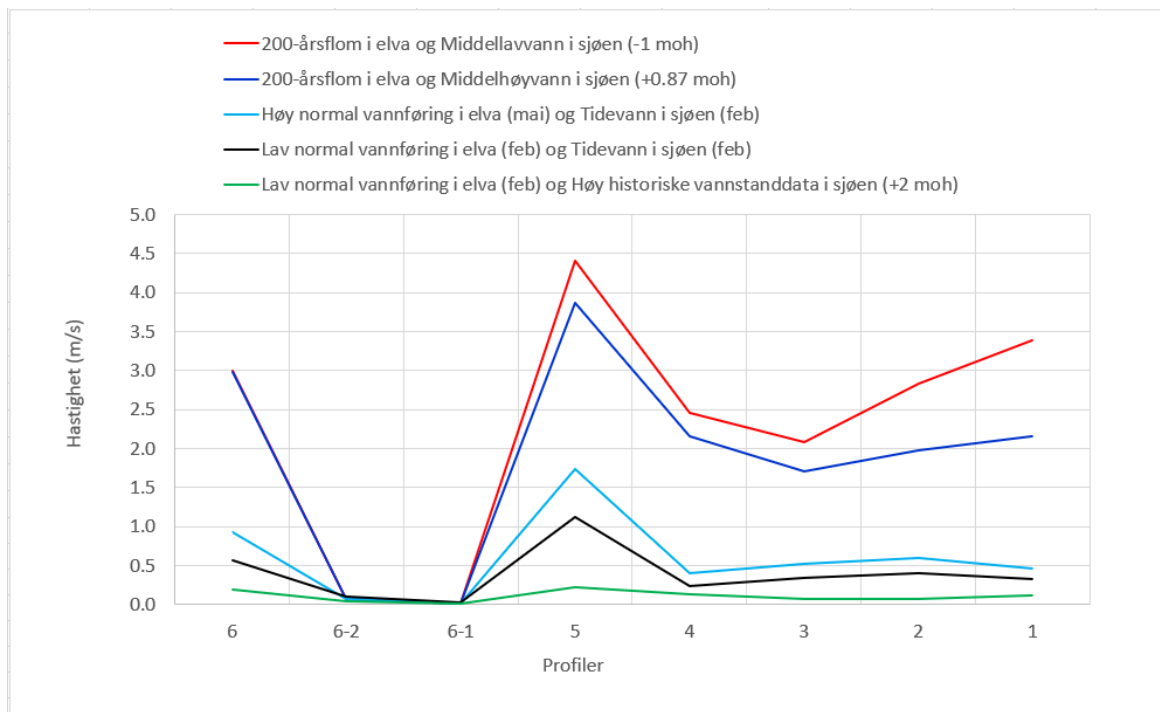
Simuleringene ved *Alternativ-0: Gjeldende plan (ZP90)*, er basis, og er dermed sammenlignet med simuleringene ved *Alternativ-1 (ZP110)* og *Alternativ-2 (ZP110-Revidert)*.



Figur 11. Plassering av profiler benyttet for å beskrive hydrauliske vurderinger.

Av de simuleringsscenarioene, gir scenarioene med 200-årsflom i elva og middel lavvann og middel høyvann i sjøen høyeste hastigheter i elvebredden og langs støttefyllingen (dvs. i profiler 04-01) (Figur 12). Simuleringene med høy- og lav normal vannføring i elva og tidevann i sjøen, og med lav normal vannføring i elva og høy historiske vannstanddata i sjøen gir laveste hastigheter i elvebredden og langs støttefyllingen.

Elvestrømmeningen med høy normal vannføring i elva og lav historiske vannstand i sjøen renner kun langs den dypeste delen av elva og langs moloen på nordre elvebredd. Hastigheten i elva påvirkes derfor ikke av støttefyllingen ved Hellstranda.



Figur 12. Maks hastigheter ved elvebredden ved ulike simuleringsscenarioer.

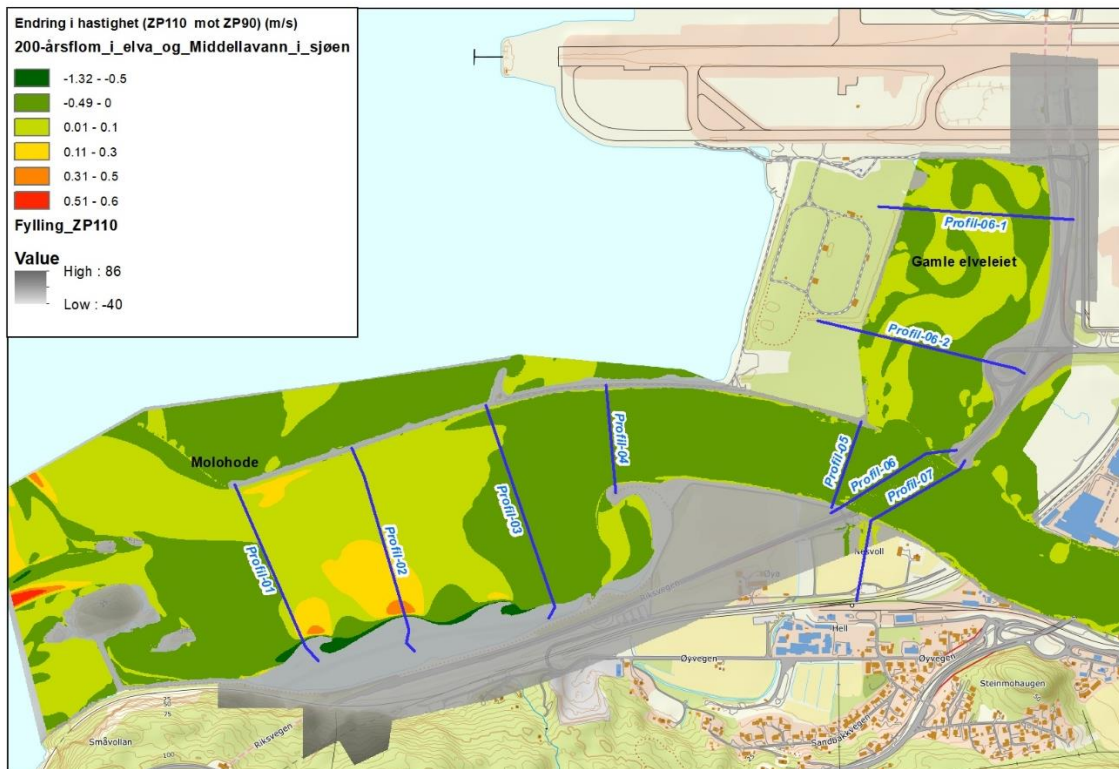
Tabellene under viser hovedresultater på hastighetsendringer i elveløpet ved å bruke de ulike simuleringsscenarioer. Oppgitte hastigheter i tabellen er maks hastighet i profilet, og for det meste er dette langs den dypeste delen av elva langs moloen på nordre elvebredd.

Tabell 3. Hastighet endringer ved 200-årsflom i elva, og middel lavvann og middel høyvann i sjøen som grensebetingelser.

200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen (-1 moh)								
Tverrprofil	06	06-2	06-1	05	04	03	02	01
Hastighet ZP90 (m/s) (basis)	3,00	0,08	0,02	4,42	2,49	2,09	2,77	3,29
Hastighet ZP110 (m/s)	3,00	0,08	0,02	4,40	2,46	2,08	2,83	3,38
Hastighet ZP110-Revidert (m/s)	3,00	0,08	0,02	4,42	2,48	2,09	2,79	3,31
% endring (ZP90 mot ZP110)	0,0	0,0	0,0	-0,5	-1,2	-0,5	2,2	2,7
% endring (ZP90 mot ZP110-Revidert)	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,0	0,7	0,6
200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen (+0,87 moh)								
Hastighet ZP90 (m/s) (basis)	2,98	0,07	0,01	3,88	2,18	1,70	1,91	2,10
Hastighet ZP110 (m/s)	2,98	0,07	0,01	3,86	2,16	1,71	1,97	2,15
Hastighet ZP110-Revidert (m/s)	2,97	0,07	0,01	3,88	2,18	1,71	1,92	2,11
% endring (ZP90 mot ZP110)	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,9	0,6	3,1	2,4
% endring (ZP90 mot ZP110-Revidert)	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,5	0,5
Evaluering	Hastighetsendringer: < 0,1 %				Lite / ingen endring			
	Hastighetsendringer: 0,1 – 3,5 %				Noe endring			

Maks hastighet i profilet ved 200-årsflom i elva og middel lavvann og middel høyvann i sjøen ga som Tabell 3 viser en økning på 0,02-0,09 m/s, 0,5-3,1% økning, i de meste påvirkede tverrprofilene, profil 02 og profil 01.

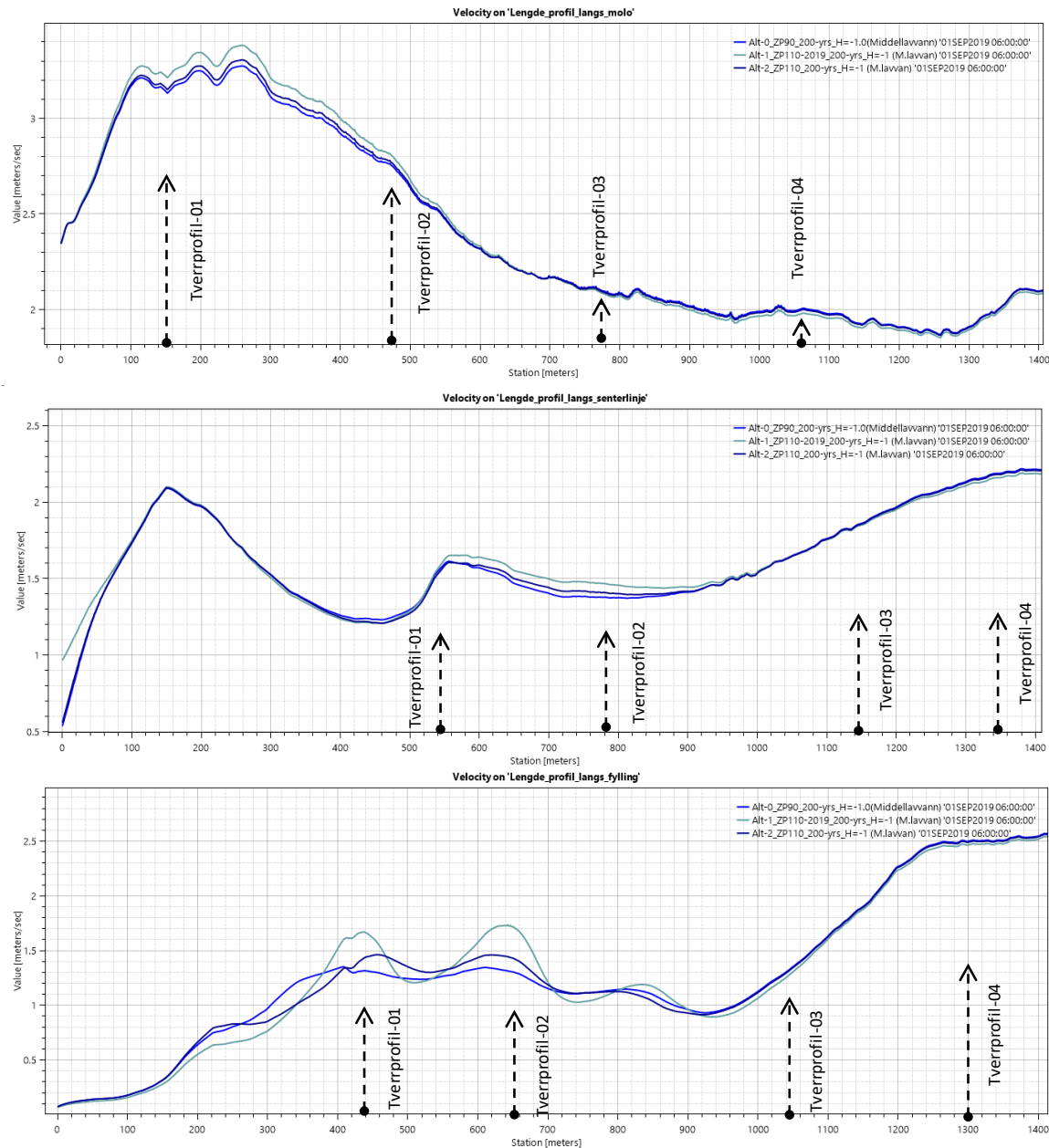
Figur 13 og Figur 14 viser hastighetsendringer for den modellerte strekningen ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen. I profil 02 og oppstrøms profil 01 og langs støttefyllingen har hastigheten på grunn av fyllingen for ZP110, økt med ca. 0,1 - 0,5 m/s (Figur 13). Ved ZP110-Revidert forslag er strømningsarealet med økt hastighet marginalt sammenlignet med strømningsarealet med økt hastighet ved ZP110 forslag (se Figur 14 for forklaring). For det meste delen av elveleiet er hastighets økningene mindre enn 0,1 m/s ved både ZP110 og ZP110-Revidert forslagene. Absoluttverdiene for gjennomsnittlig vannhastighet i situasjonen uten fylling er økt fra 1,75 m/s til 1,86 m/s ved ZP110 og fra 1,75 m/s til 1,77 m/s ved ZP 110-Revidert forslag, og i den meste påvirkede elvestrekningen mellom profil 02 og profil 01 (se Figur 15 og Figur 16 for forklaring).



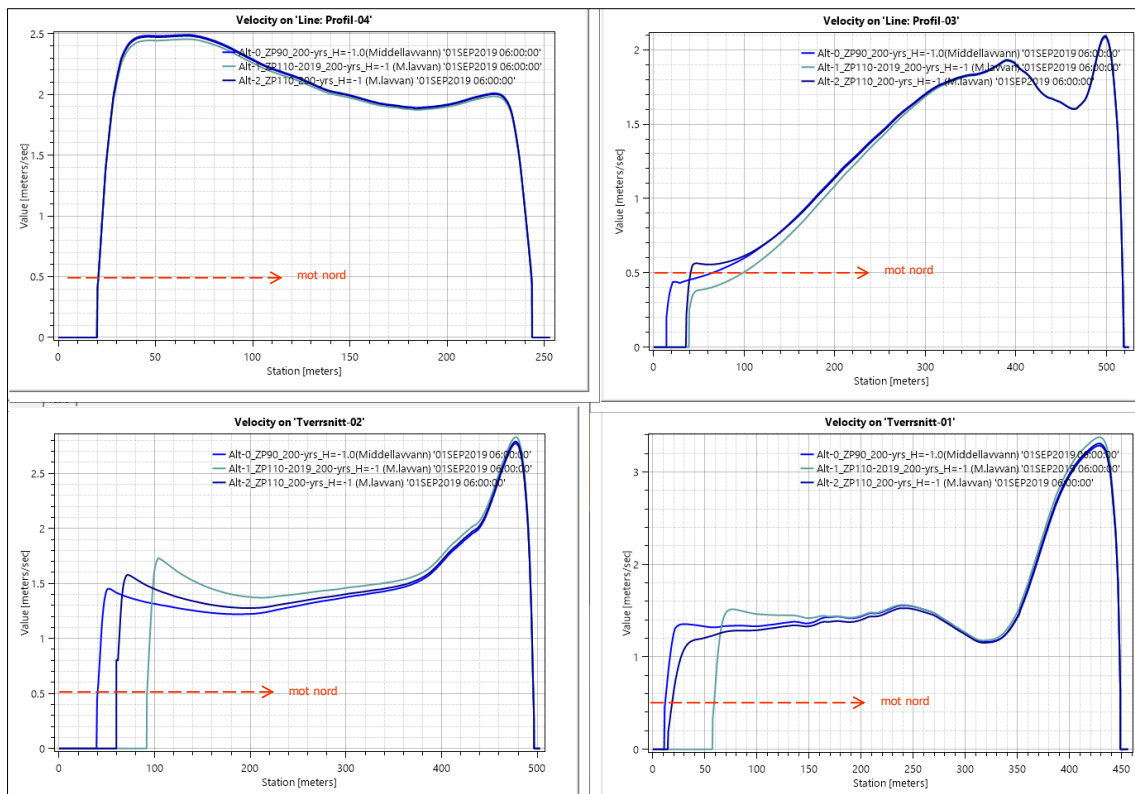
Figur 13. Endringer i hastighet (m/s) ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser (dvs. mellom fyllingene ved ZP90 og ZP110).



Figur 14. Endringer i hastighet (m/s) ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser (dvs. mellom fyllingene ved ZP90 og ZP110-Revidert).

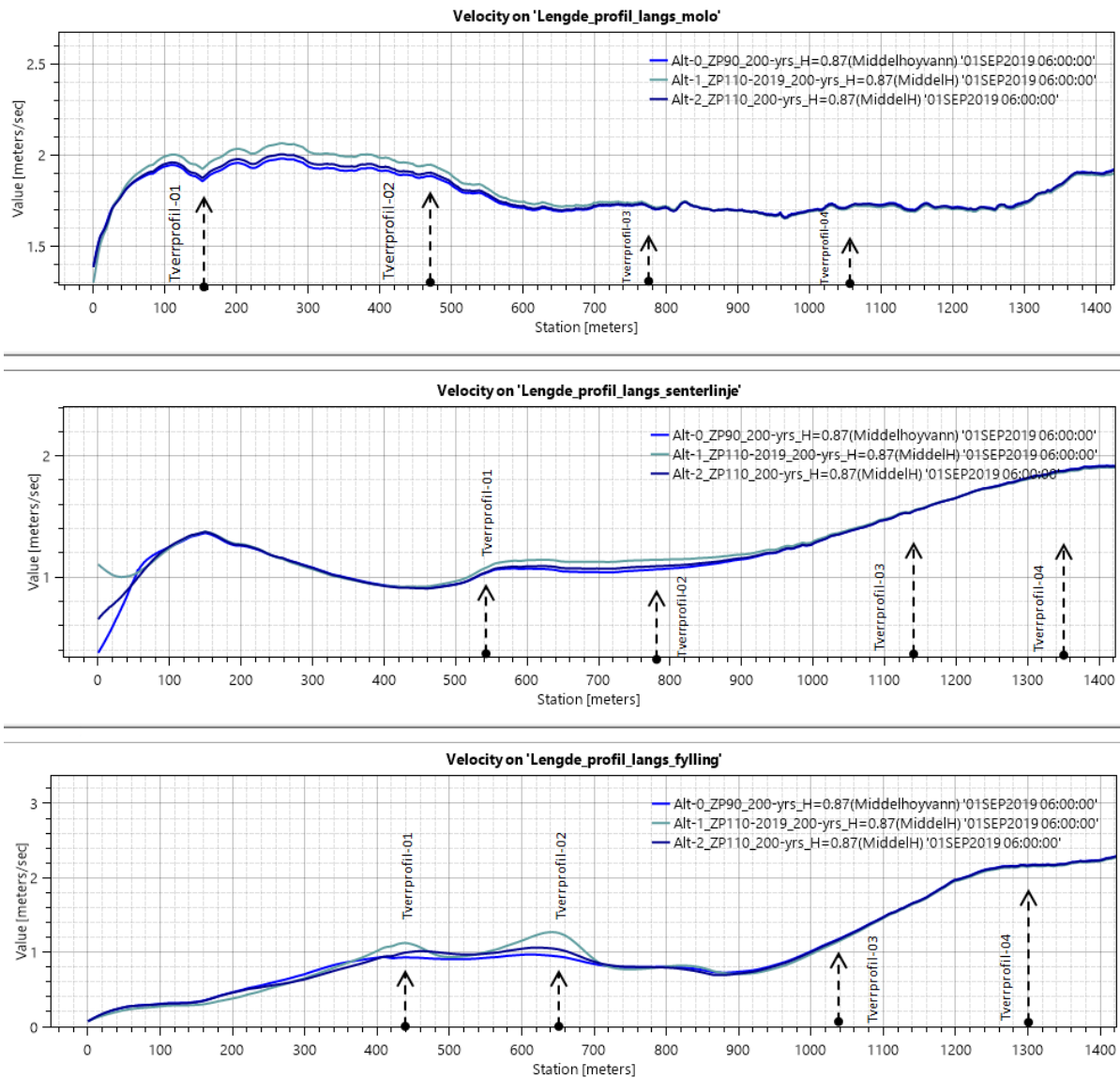


Figur 15. Vannhastigheter langs elva (dvs., langs dypeste delen av elva langs moloen (øverst), midt i elva (midtre), og langs fyllingen (nederst)) ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser



Figur 16. Vannhastigheter langs elvas bredd ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser.

Simuleringen med 200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen påvirker vannhastigheter i elva på tilsvarende måte som simuleringen med 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen. Hastigheten med 200-års flom i elva og middel høyvann i sjøen medførte imidlertid en hastighetsreduksjon på ca. 18 - 36%, i de meste påvirkede tverrprofilene, profil 03, profil 02 og profil 01 (se Tabell 3 og Figur 17 for forklaring).



Figur 17. Vannhastigheter langs elva (dvs., langs dypeste delen av elva langs moloen (øverst), midt i elva (midtre), og langs fyllingen (nederst)) ved 200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen som grensebetingelser.

Simuleringen med lav normal vannføring i elva og høy historiske vannstand i sjøen medfører ikke endringer i hastighet i elvebredden og langs støttefyllingen (se Tabell 4 for forklaring).

Tabell 4. Hastighet endringer ved lav normalvannføring i elva og høy historiske vannstanddata i sjøen som grensebetingelser.

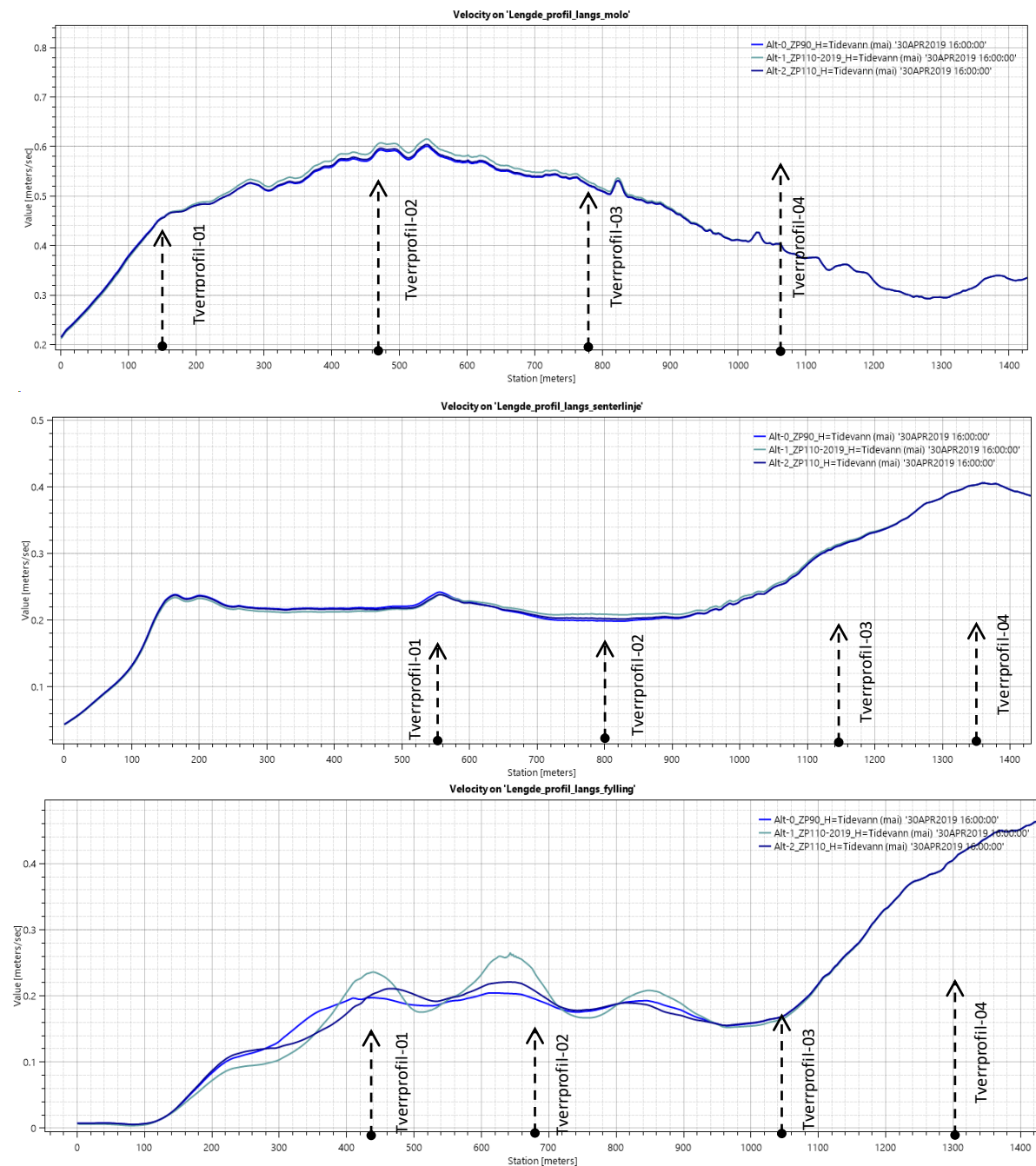
Lav normal vannføring i elva (feb) og høy historiske vannstanddata i sjøen (+2 moh)								
Tverrprofil	06	06-2	06-1	05	04	03	02	01
Hastighet ZP90 (m/s) (basis)	0.19	0.04	0.01	0.23	0.13	0.08	0.08	0.12
Hastighet ZP110 (m/s)	0.19	0.04	0.01	0.23	0.13	0.08	0.08	0.12
Hastighet ZP110-Revidert (m/s)	0.19	0.04	0.01	0.23	0.13	0.08	0.08	0.12
% endring (ZP90 mot ZP110)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% endring (ZP90 mot ZP110-Revidert)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evaluering	Hastighetsendringer: < 0,1 %				Lite / ingen endring			
	Hastighetsendringer: 0,1 – 3,5 %				Noe endring			

Tabell 5. Hastighet endringer ved høy- og lav normalvannføring i elva og tidevann i sjøen som grensebetingelser.

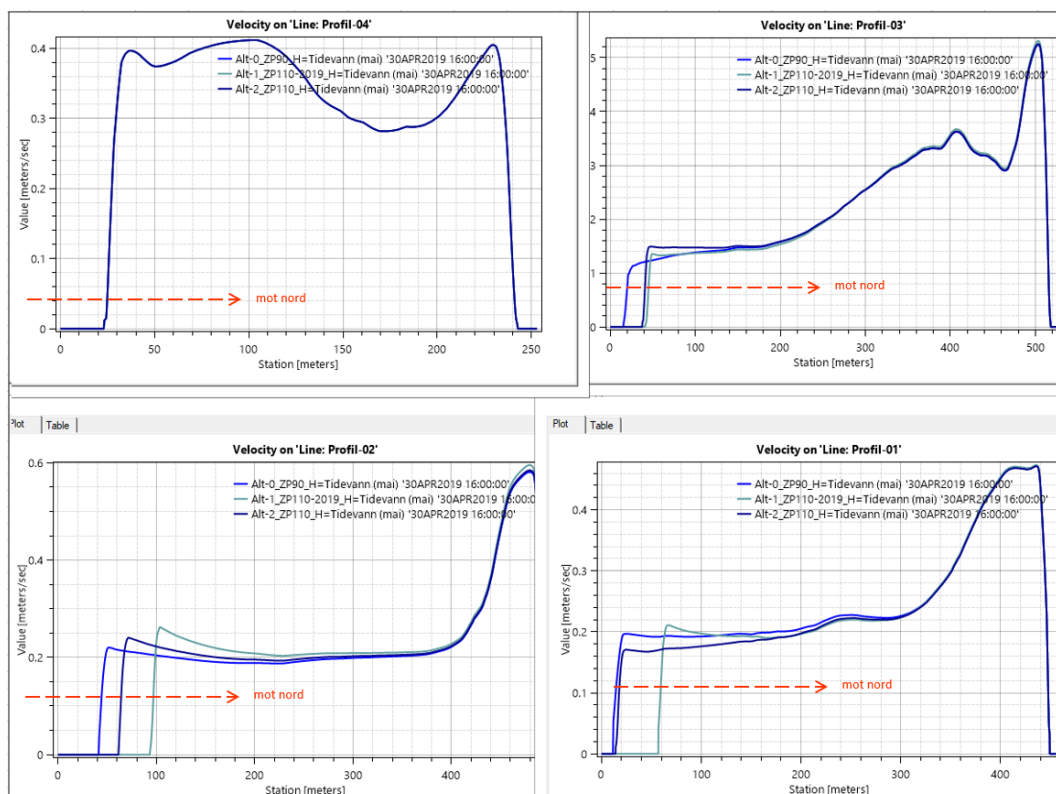
Høy normal vannføring i elva (mai) og Tidevann i sjøen (feb)								
Tverrprofil	06	06-2	06-1	05	04	03	02	01
Hastighet ZP90 (m/s) (basis)	0,93	0,07	0,02	1,74	0,41	0,52	0,58	0,47
Hastighet ZP110 (m/s)	0,93	0,07	0,02	1,74	0,41	0,53	0,60	0,47
Hastighet ZP110-Revidert (m/s)	0,93	0,07	0,02	1,74	0,41	0,53	0,58	0,47
% endring (ZP90 mot ZP110)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	3,4	0,0
% endring (ZP90 mot ZP110-Revidert)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0
Lav normal vannføring i elva (feb) og Tidevann i sjøen (feb)								
Hastighet ZP90 (m/s) (basis)	0,57	0,11	0,03	1,13	0,24	0,34	0,40	0,33
Hastighet ZP110 (m/s)	0,57	0,11	0,03	1,13	0,24	0,34	0,40	0,33
Hastighet ZP110-Revidert (m/s)	0,57	0,11	0,03	1,13	0,24	0,34	0,40	0,33
% endring (ZP90 mot ZP110)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% endring (ZP90 mot ZP110-Revidert)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Evaluering	Hastighetsendringer: < 0,1 %				Lite / ingen endring			
	Hastighetsendringer: 0,1 – 3,5 %				Noe endring			

En kombinasjon av høy normal vannføring i elva og tidevann i sjøen ga som Tabell 5 viser en hastighet økning på 0,01 - 0,02 m/s, 3,4% økning, i de meste påvirkede tverrprofilene, profil 02 og profil 03. Figur 17 og Figur 18 viser hastighetsprofiler for den modellerte strekningen ved høy normal vannføring i elva og tidevann i sjøen. Ved profil 02 og profil 01 og langs støttefyllingen har hastigheten på grunn av fyllingen for ZP110 forslag, øket med ca. 0,02 -0,06 m/s, og for det meste delen av elveleiet er hastighets økningene mindre enn 0,02 m/s (se Figur 17 og Figur 18 for forklaring). Absoluttverdiene for gjennomsnittlig vannhastighet i situasjonen uten fylling er økt fra 0,29 m/s til 0,30 m/s, i den meste påvirkede elvestrekning mellom profil 02 og profil 01.

En kombinasjon av lav normal vannføring i elva og tidevann i sjøen ga en marginal hastighet økning på 0,01 - 0,04 m/s, og ingen endringer på de høysete hastigheter langs den dypeste delen av elva langs moloen ved på nordre elvebredden (se Tabell 5 for forklaring). Absoluttverdiene for gjennomsnittlig vannhastighet i situasjonen uten fylling er økt fra 0,21 m/s til 0,22 m/s, i den meste påvirkede elvasstrekning ved profil 02 og profil 01.



Figur 17. Vannhastigheter langs elva (dvs., langs dypeste delen av elva langs moloen (øverst), midt i elva (midtre), og langs fyllingen (nederst)) ved høy normal vannføring i elva (mai) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.



Figur 18. Vannhastigheter langs elvas breidd ved høy normal vannføring i elva (mai) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.

3.2 Endring i strømningsmønster

Strømningsmønstre er relativt uendret for de fleste simuleringsscenariene som ble beskrevet i Tabell 2. Det som derimot vil skje er at det ved 200-årsflom i elva og middel lavvannstand i sjøen vil kapasiteten til den dypeste delen av strømningsområdet ved Billedholmen bli noe redusert (se områdene markert med en sirkel på Figur 19).

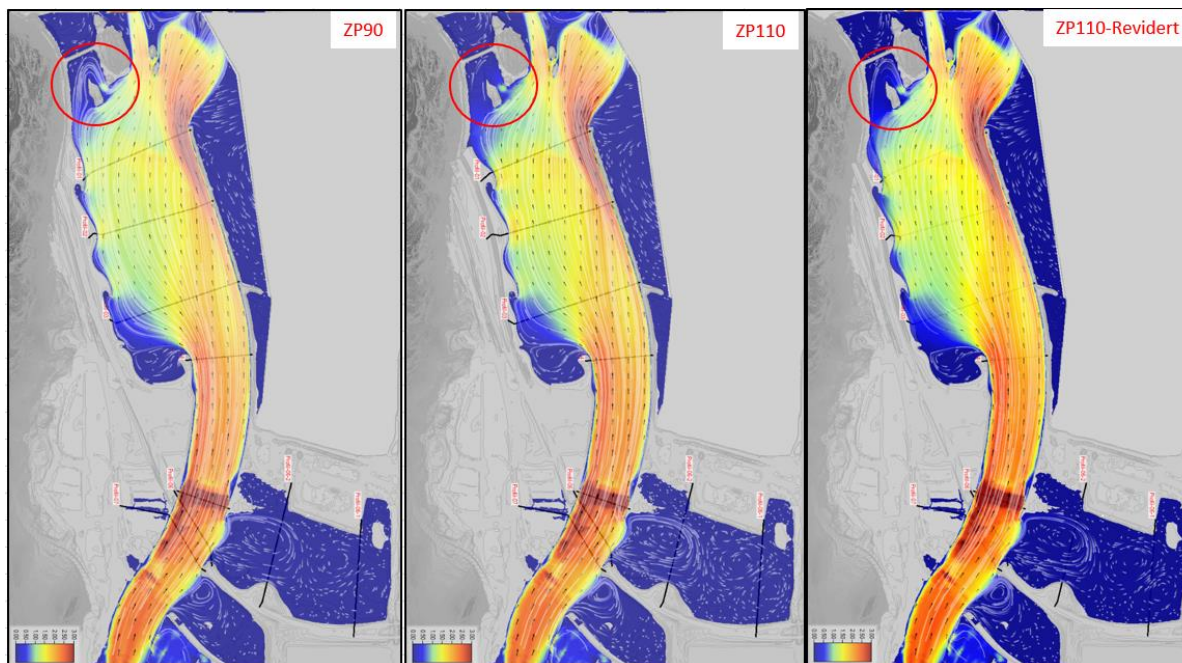
Støttefyllingen for ZP110 forslaget ved profil 02 og profil 01 er større og strekker seg lenger ut i sjøen sammenlignet med støttefyllingene ved ZP90 og ZP110-Revidert (se Figur 4 og Figur 11 for forklaring), og dette innsnevrer strømningsarealet noe.

Innsnevringen på strømningsarealet på dette stedet har flyttet hastighetsfeltene lenger ut i sjøen, og medfører derfor til en marginal reduksjon i strømningskapasiteten av det dypeste partiet ved Billedholmen (se Figur 20). Hastigheten ved det dypeste partiet ved Billedholmen redusert fra 0,17 m/s til 0,15 m/s (Figur 21), vannstanden redusert med 4 cm (Figur 22) og vannføringen gjennom dypeste delen redusert fra 18 m³/s til 16 m³/s (Figur 23). Disse endringene i hastighet, vannføring eller vannstand på dette stedet er relativt ubetydelige og vil dermed ikke bringe vesentlige endringer på strømningsforholdene gjennom den dypeste delen ved Billedholmen.

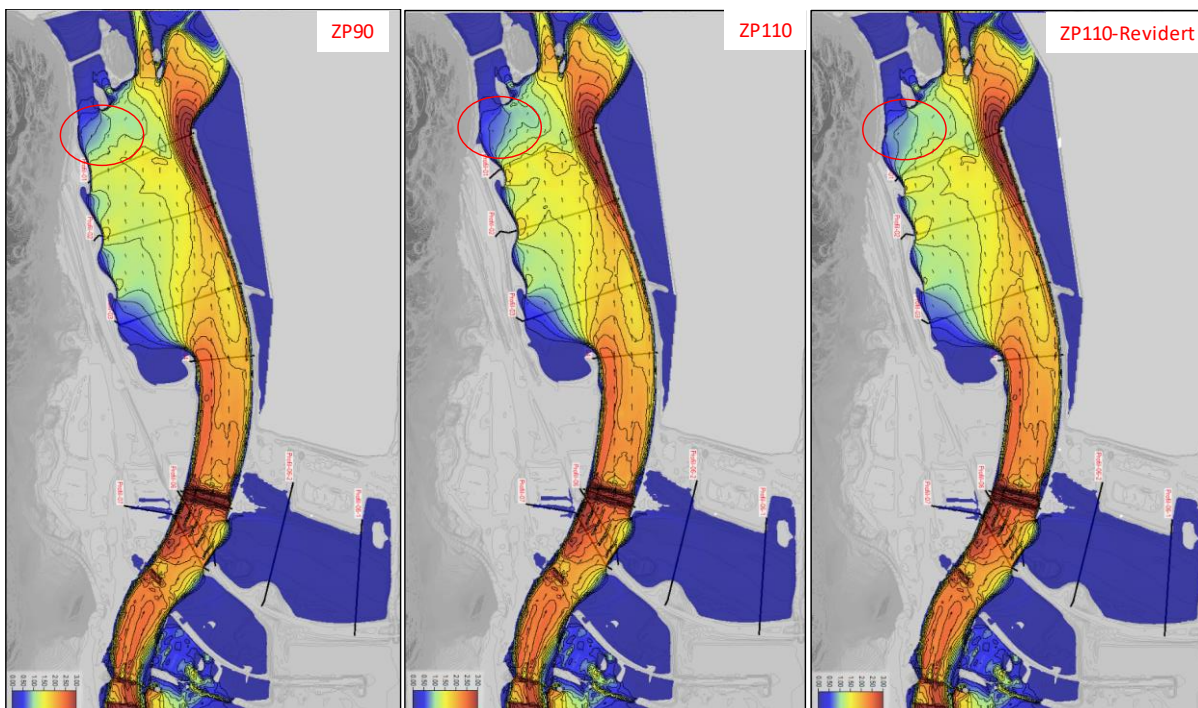
For alle tre alternativene vil det i noen situasjoner dannes en virvelstrøm mellom profil 04 og profil 03, og ved det gamle elveleiet. Strømningen utenfor disse

områdene og ved alle forslagene for støttefyllingen langs den sørlige bredd av Trondheimsfjorden, vil gå relativt uendret.

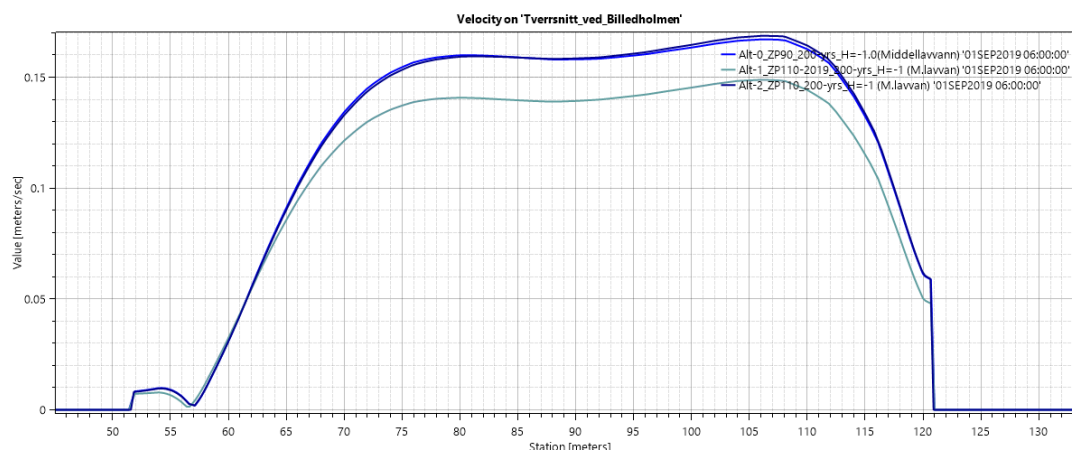
Situasjoner ved 200-årsflom i elva og middel høyvannstand i sjøen (Figur 24), og ved høy normal vannføring i elva og tidevann i sjøen (Figur 25) som grensebetingelser medføre ikke noe betydelige endringer i strømningsmønster.



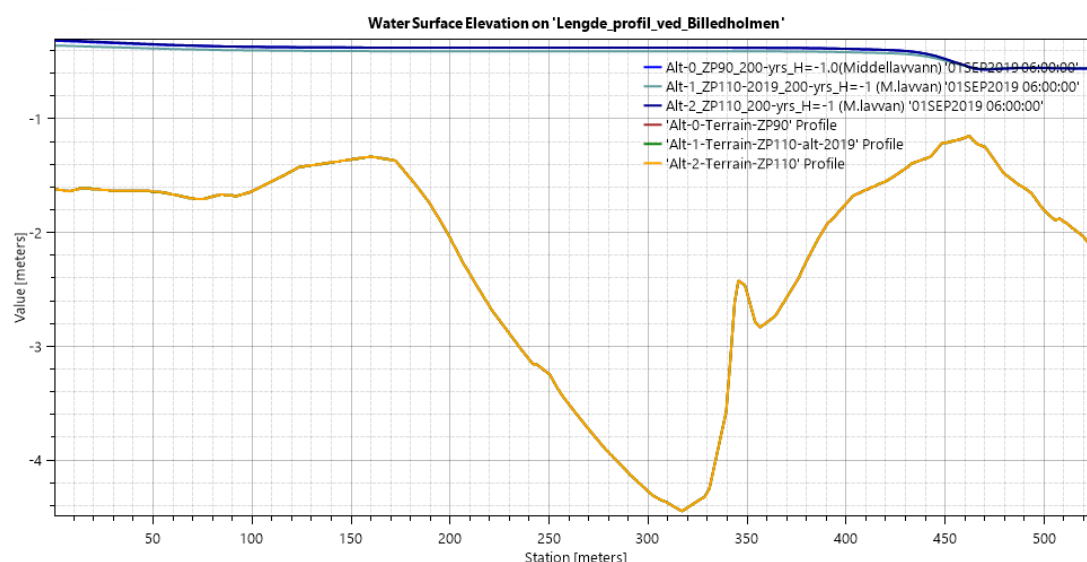
Figur 19. Strømningsmønstre ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser.



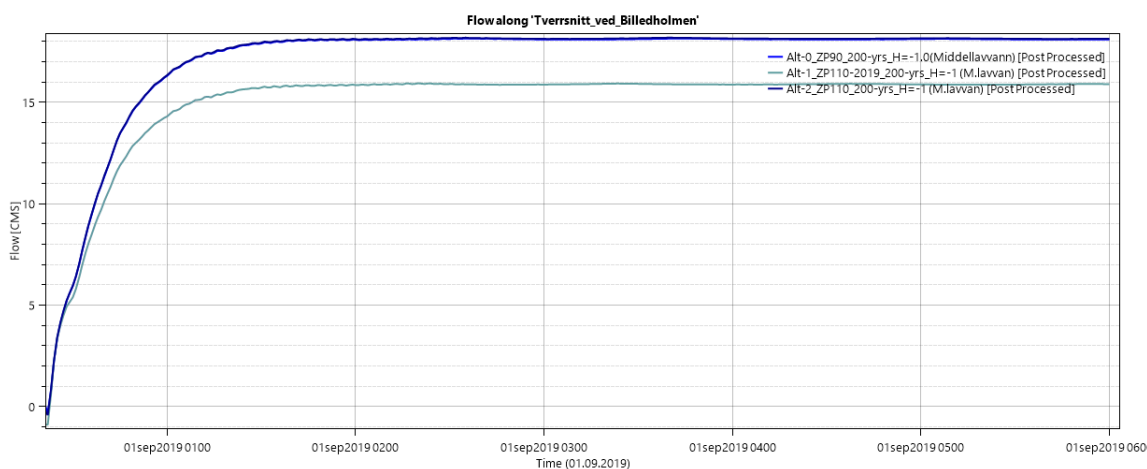
Figur 20. Hastighetsfelter ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser.



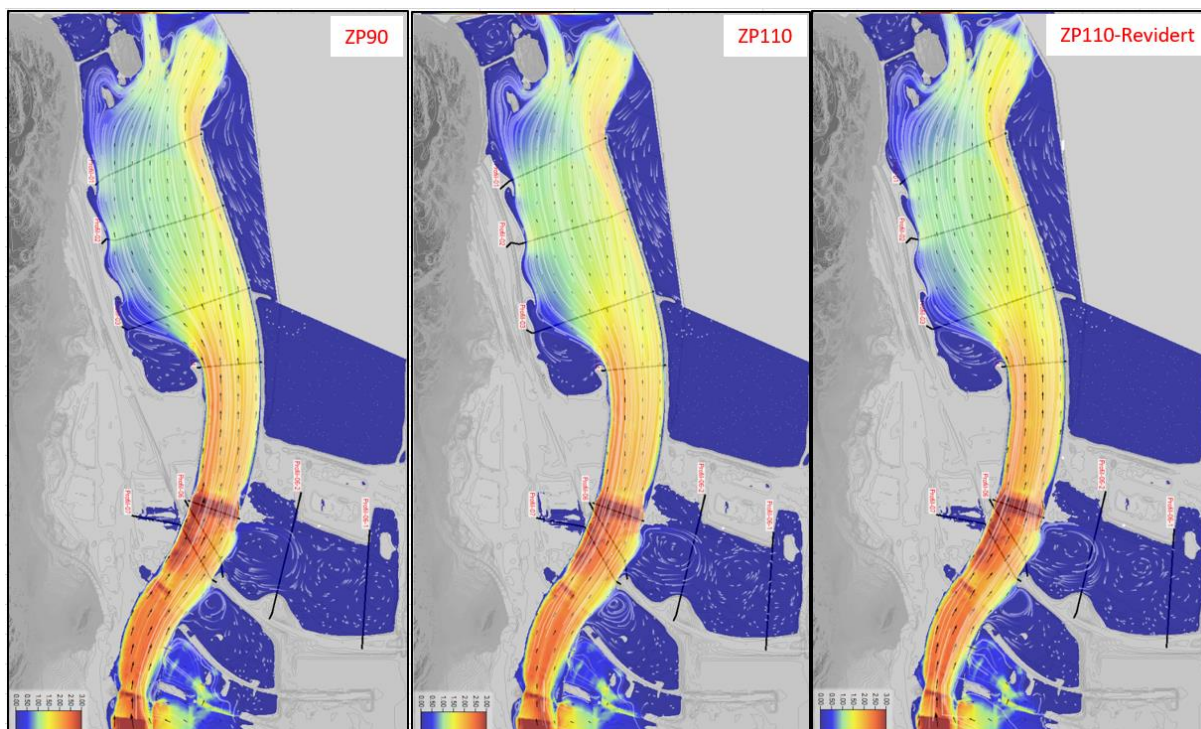
Figur 21. Hastighetsreduksjon ved det dypeste partiet ved Billedholmen ved 200-årsflom i elva og middel lavvannstand i sjøen som grensebetingelser.



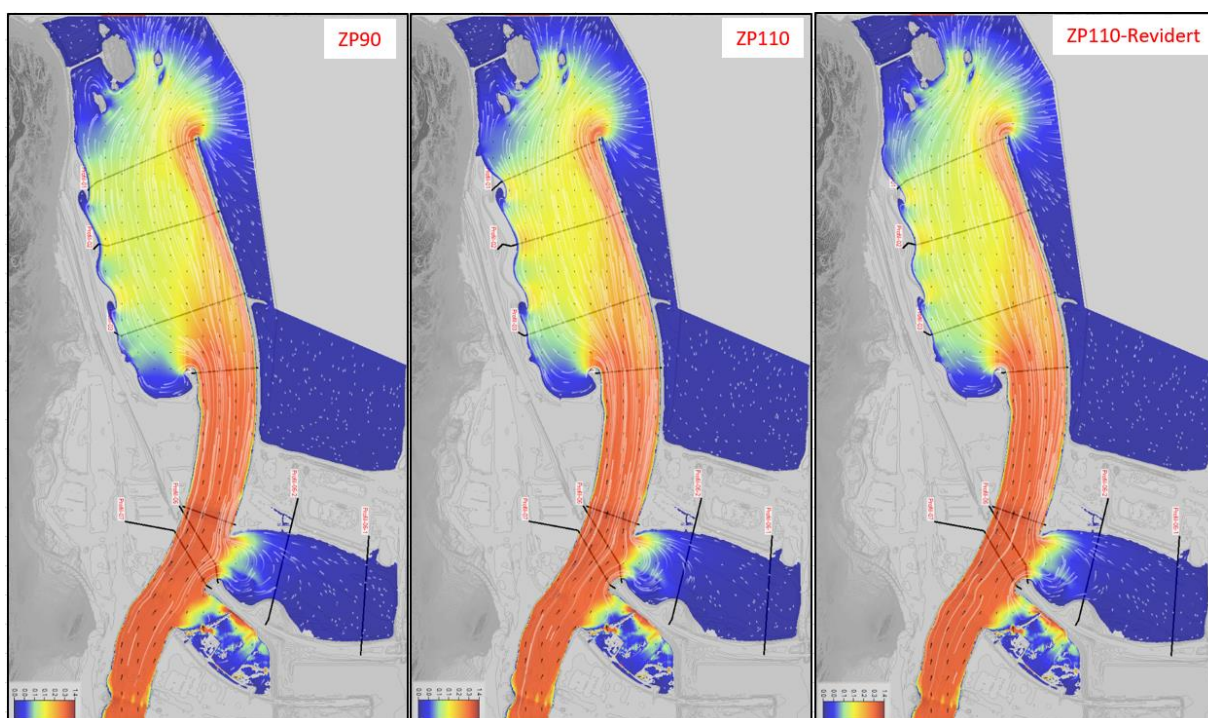
Figur 22. Vannstandsreduksjon ved det dypeste partiet ved Billedholmen ved 200-årsflom i elva og middel lavvannstand i sjøen som grensebetingelser.



Figur 23. Reduksjon i vannføring ved det dypeste partiet ved Billedholmen ved 200-årsflom i elva og middel lavvannstand i sjøen som grensebetingelser.



Figur 24. Strømningsmønstre ved 200-årsflom i elva og middel høyvannstand i sjøen som grensebetingelser.



Figur 25. Strømningsmønster ved høy normal vannføring i elva (mai) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.

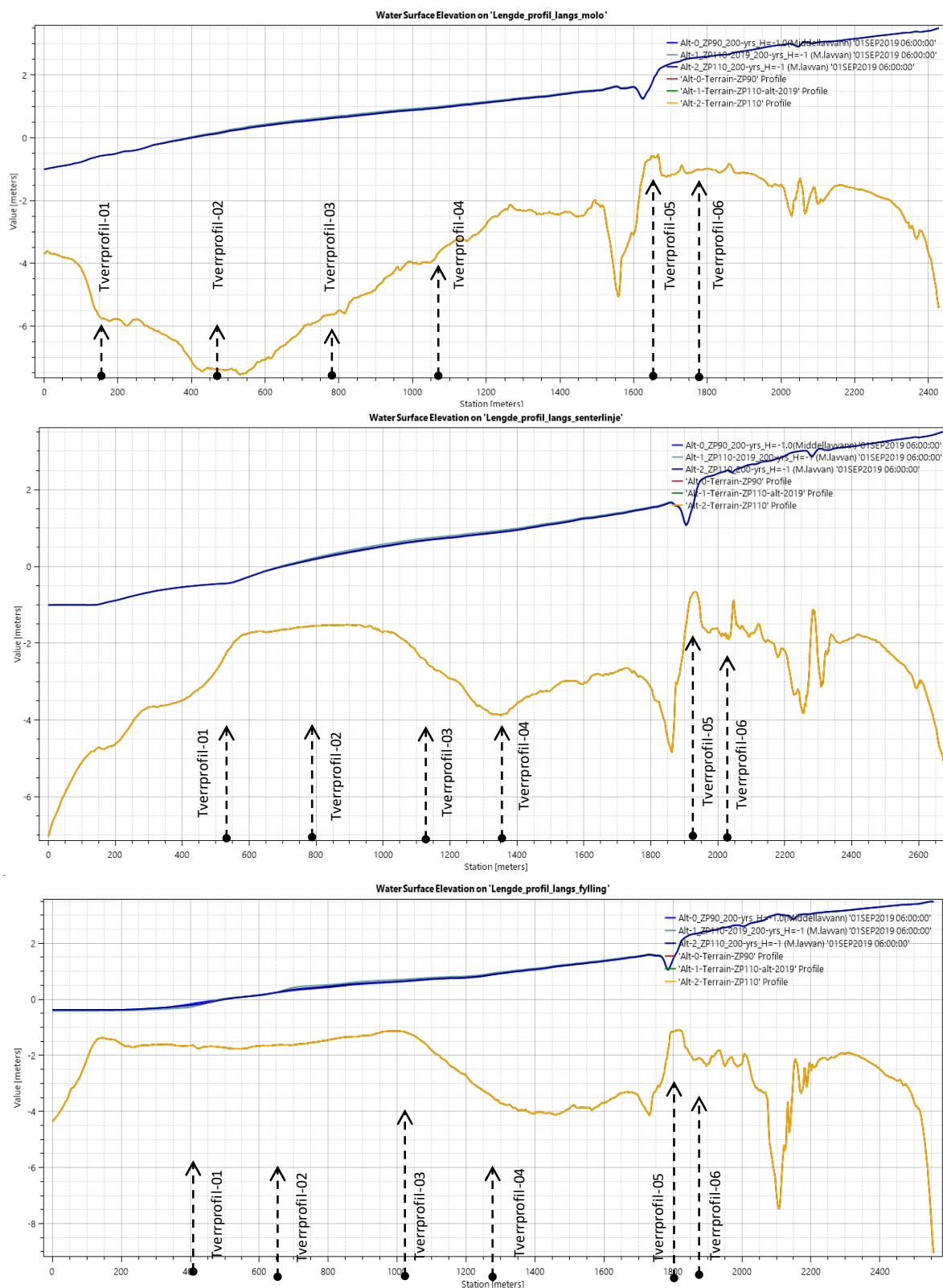
3.3 Oppstuvning oppstrøms ved flom og høy vannføring

Rapporten har også sett på den oppstuvende effekten av støttefyllingen, denne viser seg å være svært begrenset med en beregnet oppstuvning på 5 cm i elvas sterkening mellom profil 04 og profil 01 ved en 200-års flom i elva og middel lavvann i sjøen og for planforslaget ZP110 (Tabell 6). Oppstuvningen ved en 200-års flom i elva og middel høyvann i sjøen for elvas sterkening mellom profil 04 og profil 01 er 3 cm. Oppstuvningen for strekningen oppstrøms terskelen (profil 5) er beregnet til 1 cm. De tilsvarende oppstuvningene ved planforslag ZP110-Revidert og ved bruk av de samme grensebetingelsene er mindre enn 1 cm. Oppstuvningen ved en høy normal vannføring i elva og tidevann i sjøen for hele elvestrekningen er beregnet til mindre enn 1 cm. Dette er vannstand endringer som vurderes å være ubetydelig i praksis.

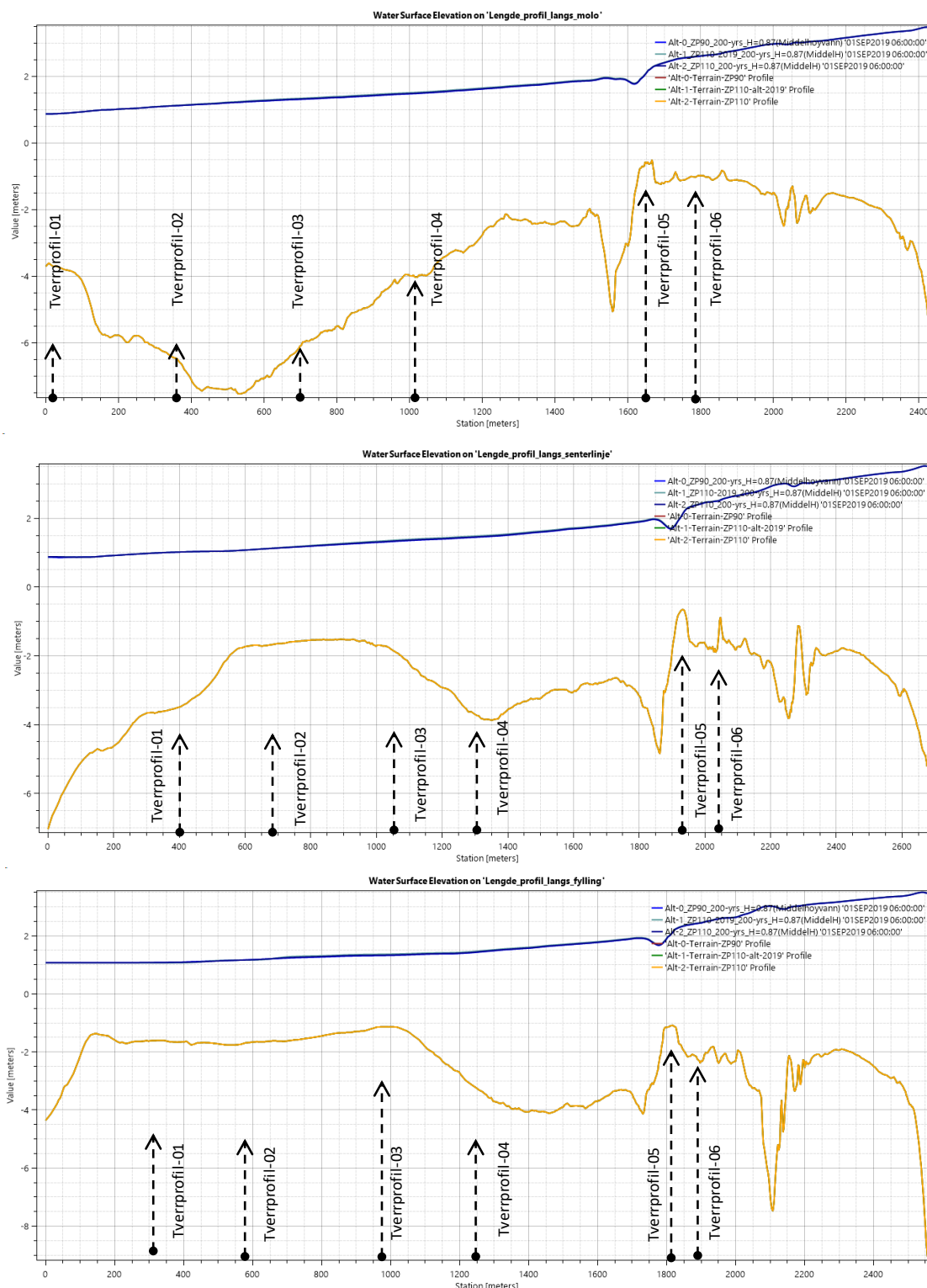
Figur 28, Figur 29 og Figur 30 viser beregnede vannstander ved den modellerte elvestrekningen ved hhv. 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen, 200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen og høy normal vannføring i elva og tidevann i sjøen som grensebetingelser.

Tabell 6. Oppsummering av oppstuvning.

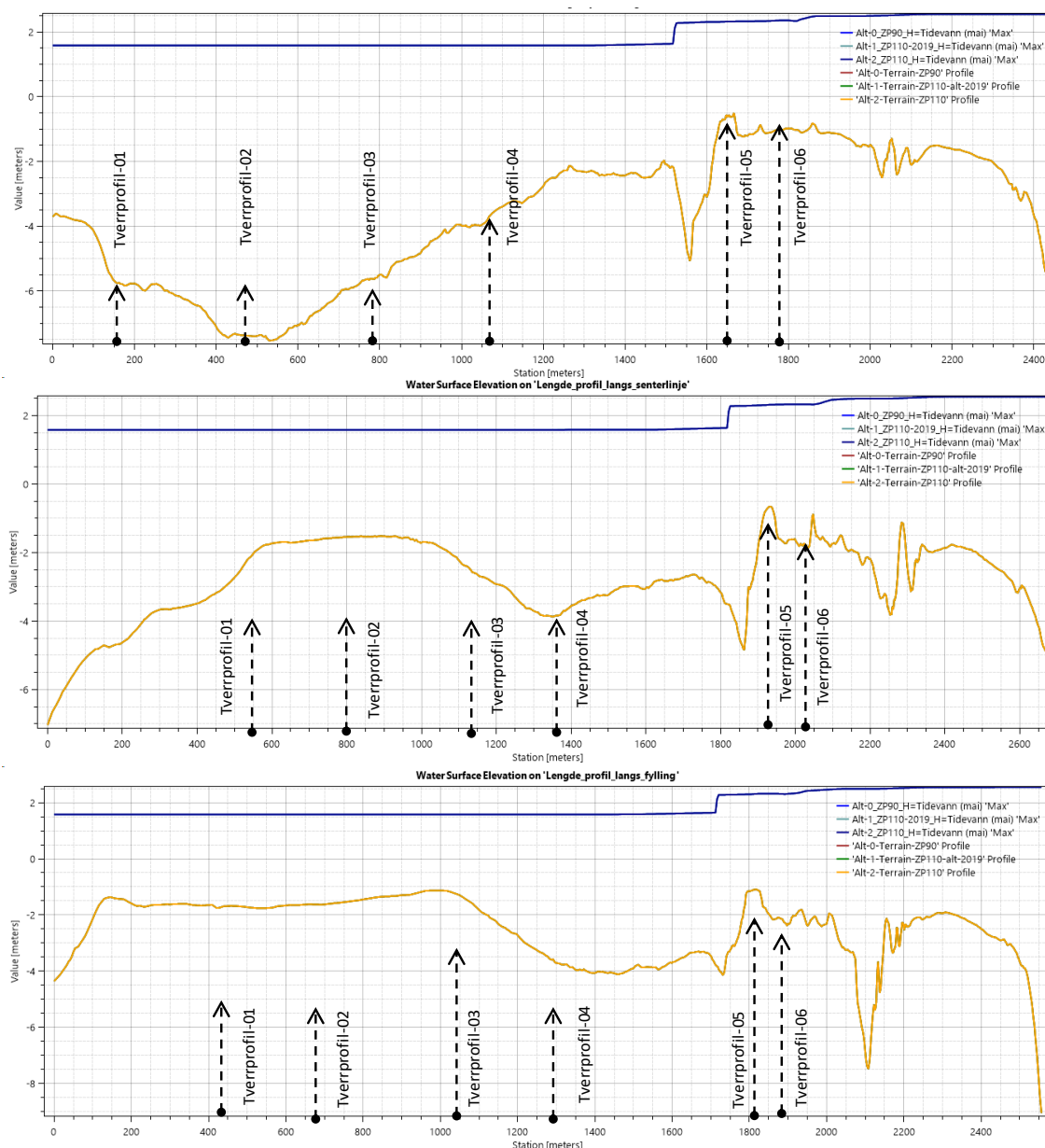
Simuleringsscenario	Sted	Oppstuvning (ZP110 mot ZP90) (cm)	Oppstuvning (ZP110- Revidert mot ZP90) (cm)
200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen	Oppstrøms terskel (profil 05)	1	<1
	Langs støttefylling	5	<1
200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen	Oppstrøms terskel (profil 05)	1	<1
	Langs støttefylling	3	1
Høy normal vannføring i elva og Tidevann i sjøen	Oppstrøms terskel (profil 05)	<1	<1
	Langs støttefylling	<1	<1



Figur 26. Vannstand ved den modellerte strekningen (dvs., langs dypeste delen av elva langs moloen (øverst), midt i elva (midtre), og langs fyllingen (nederst)) ved 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser.



Figur 27. Vannstand ved den modellerte strekningen (dvs., langs dypeste delen av elva langs moloen (øverst), midt i elva (midtre), og langs fyllingen (nederst)) ved 200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen som grensebetingelser.



Figur 28. Vannstand ved den modellerte strekningen (dvs., langs dypeste delen av elva langs moloen (øverst), midt i elva (midtre), og langs fyllingen (nederst)) ved normal høy vannføring i elva (mai) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.

3.4 Endring i erosjonsfare og bunnmaterial

Rapporten vurderer hastighetsfordeling i elveløpet og langs støttefyllingen for bedre å kunne vurdere erosjonsfaren og utskifting av elvebunnmaterialet.

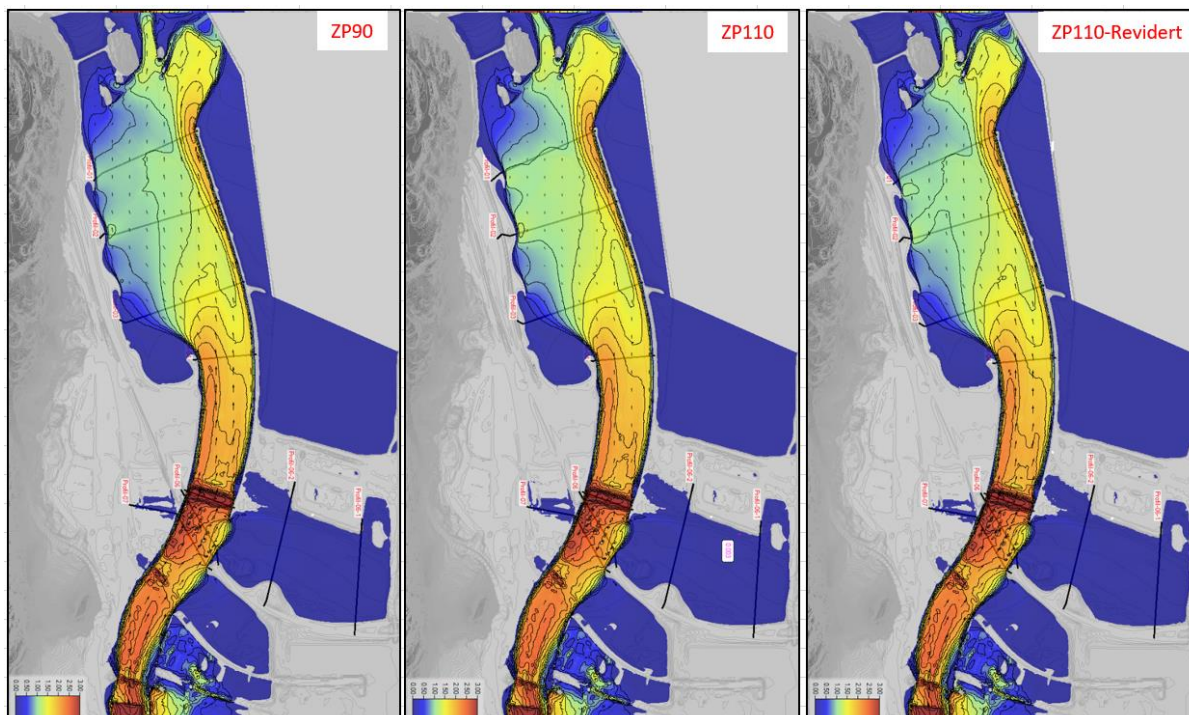
Figur 13 og Figur 14 viser at endringene i vannhastigheter ved de to planforslagene for støttefylling (dvs. ved ZP110 og ZP110-Revidert) ikke er betydelig forskjellig fra nullalternativet.

En 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som grensebetingelser dannes de største vannhastighetene ved elvebredden (dvs., gjennomsnittlige hastigheter på 1,70-1,90 m/s) (Figur 15 og Figur 16), og det kan forventes størst risiko for

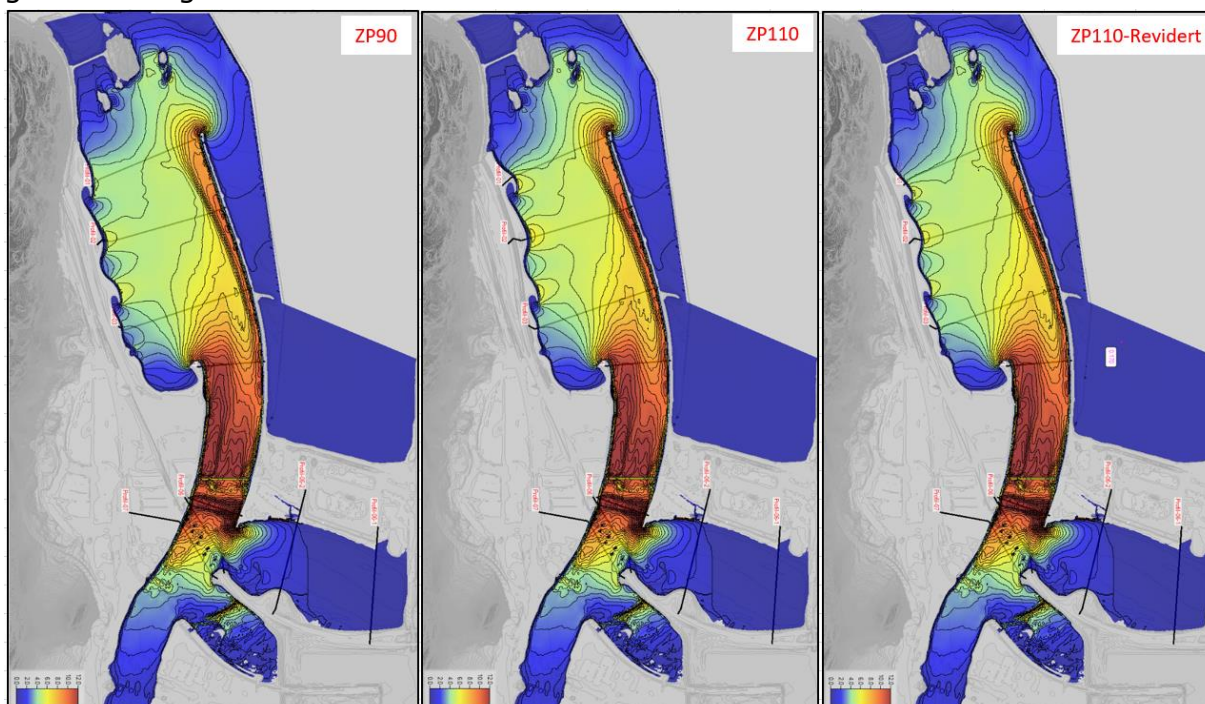
erosjonsskader. De beregnede hastighetene ved elvebredden ved dette simuleringsscenarioet og ved de tre planforslagene for støttefylling (dvs., ZP90, ZP110 og ZP110-Revidert) er sammenlignbare (se Tabell 3). Støttefyllingen ved ZP110 planforslaget gir imidlertid relativt høye vannhastighetsendringer (0,3-0,5 m/s) i elvebredden mellom profil 01 og oppstrøms profilen 02 (se Figur 13 for forklaring). Støttefyllingen ved ZP110 forslaget ved denne strekningen innsnevrer strømningsarealet noe, og dette medfører noe høyere hastigheter. Risikoen for erosjon og utskifting av elvebunnmateriale langs støttefyllingen ved ZP110 planforslaget vil derfor øke noe. Området der det er noe høyere hastighetsendringer på grunn støttefyllingen ved ZP100-Revidert er imidlertid svært begrenset. Risiko for erosjon og utskifting av elvebunnmateriale er ikke forventet ved ZP110-Revidert planforslaget (se Figur 14 for forklaring).

Beregnete maks vannhastigheter for de beskrevet simuleringsscenariene (Tabell 2) og bortsett fra simuleringsscenarioet med 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen som en grensebetingelse, er relativt lave (dvs., < 2 m / s) (se Tabell 3, Tabell 4, Figur 16 og Figur 15 for forklaring), og for det meste er dette langs den dypeste delen av elva langs moloen på nordre elvebredd. Det er dermed forventes ikke store erosjonsfare eller utskifting av elvebunnmateriale. Beregnede maks vannhastigheter langs støttefyllingen medføre ikke noe betydelige endringer i strømningsmønster

Ut fra beregnete hastighetsfelter i Figur 20, Figur 29 og Figur 30, finnes ikke store lokale hastighetsendringer som potensielt kunne skape lokale erosjonsskader av elveleiets materiale. Erosjonsfaren for elvebunnen utenfor elvebredden mellom profil 01 og oppstrøms profilen 02 ved ZP110 planforslaget, vil derfor være relativt likt ved alle planforslag for støttefylling langs sørbredden av Trondheimsfjorden ved Hellstranda.



Figur 29. Hastighetsfelter ved 200-årsflom i elva og middel høyvann i sjøen som grensebetingelser.

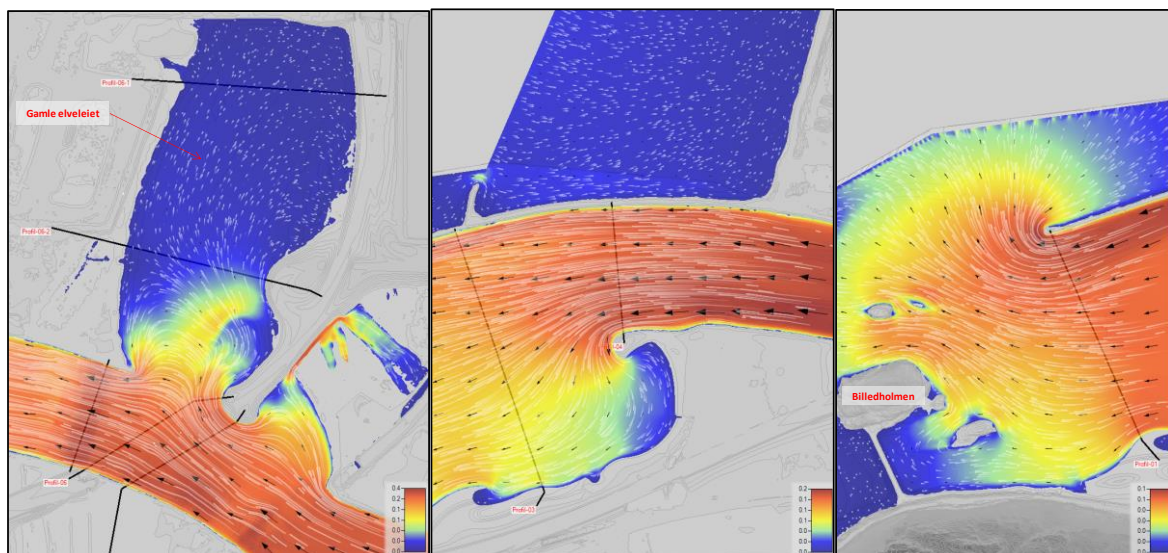


Figur 30. Hastighetsfelter ved høy normal vannføring i elva (mai) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.

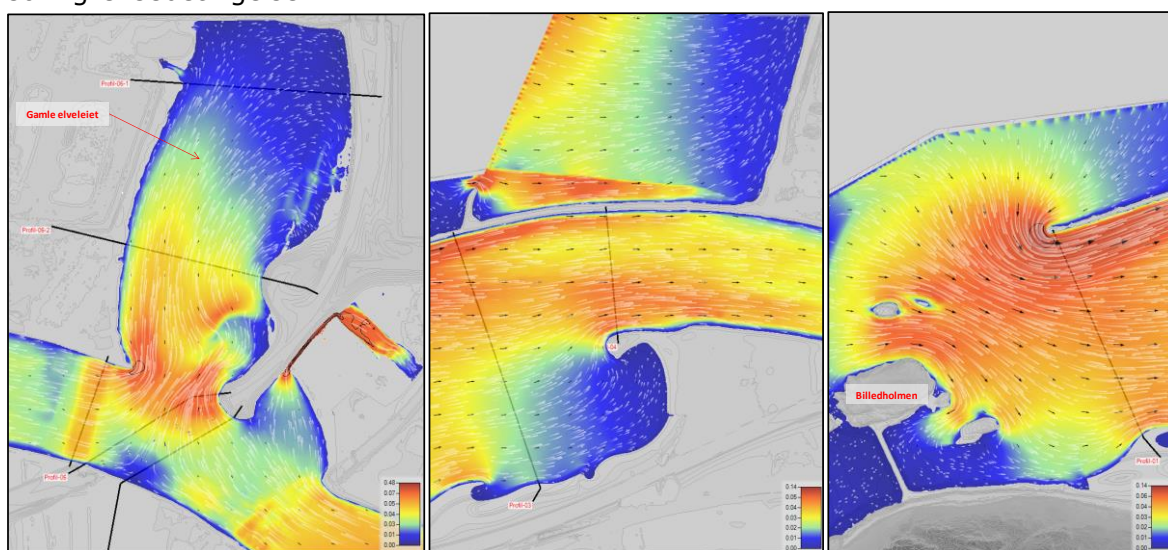
3.5 Utskifting av vann

Vannutskifting i strandområdet ved det gamle elveleiet og Billedholmen skjer når det er høye og moderate vannføringer i elva samtidig med lavvann i sjøen, eller

omvendt. Denne situasjonen ble simulert i modellen og det viser seg at det blir aktive inn- og ut vannstrømninger ved disse områdene (se Figur 33 og Figur 34 for forklaring). Strømningshastigheten er imidlertid veldig lav, 0,2-0,5 m/s, og strømningsforholdene ved ZP90, ZP110 og ZP110-Revidert er like og uendret.



Figur 31. Vann utskifting ved normal høy vannføring i elva (mai) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.



Figur 32. Vann utskifting ved normal lav vannføring i elva (feb) og tidevann i sjøen (feb) som grensebetingelser.

4 KONKLUSJONER

Endring i vannhastighet i elvebredd:

Hydrauliske beregninger viser at ingen av planforslagene for støttefying langs sørbredden av Trondheimsfjorden vil medføre en vesentlig økning i vannhastigheter, vannstand og strømningsmønstre. Endringene i vannhastigheter ved de to planforslagene for støttefylling (dvs. ved ZP110 og ZP110-Revidert) er

ikke vesentlig forskjellige sammenlignet med hastighetsendringene forårsaket av støttefylling for nullalternativet (planslaget ZP90).

Av de simulerte scenarioene, gav scenarioet med 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen de høyest hastighetene langs elvebredden og langs støttefyllingen. Simuleringene med høy- og lav normalvannføring i elva og tidevann i sjøen, og med lav normalvannføring i elva og høy observerte vannstand i sjøen ga laveste hastigheter i elvebredden og langs støttefyllingen.

Ved de mest påvirkende tverrprofilene, profil 02 og profil 01 og langs støttefyllingen har hastigheten på grunn av 200-årsflom i elva og middel lavvann i sjøen og støttefyllingen for ZP110 forslag, økt med ca. 0,1 -0,5 m/s. Ved ZP110-Revidert forslag er utstrekningen av arealet med økt hastighet marginalt utvidet sammenlignet med arealet med økt hastighet ved ZP110 forslaget. For den største delen av elveleiet er hastighetsøkningene mindre enn 0,1 m/s ved både ZP110 og ZP110-Revidert forslag. Absoluttverdiene for gjennomsnittlig vannhastighet i situasjonen uten fylling er økt fra 1,75 m/s til 1,86 m/s ved ZP110 og fra 1,75 m/s til 1,77 m/s ved ZP 110-Revidert forslag, dette i den mest påvirkede elvestrekningen i utløpet mellom profil 02 og profil 01.

Endring i strømningsmønster:

Strømningsmønstrene er relativt uendret for de fleste simuleringsscenariene. Støttefyllingen for ZP110 forslaget ved profil 02 og profil 01 strekker seg lengst ut i sjøen sammenlignet med støttefyllingene ved ZP90 og ZP110-revidert forslag. Innsnevringen i strømningsareal på dette stedet har flyttet hastighetsfeltene lenger inn i sjøen, og medfører derfor en marginal reduksjon i vannføringen gjennom det dypeste partiet ved Billedholmen. Hastigheten ved dette området er redusert fra 0,17 m/s til 0,15 m/s, vannstanden redusert med 4 cm, og vannføringen redusert fra 18 m³/s til 16 m³/s. Disse endringene i hastighet, vannføring eller vannstand på dette stedet er ubetydelige og vil ikke bringe vesentlige endringer på strømningsforholdene gjennom den dypeste delen ved Billedholmen.

I noen situasjoner dannes det virvelstrømning på strekningen mellom profil 04 og profil 03 (dvs., mot støttefyllingen i Figur 19), og ved gamle elveleiet. Disse strømningsmønstrene forekommer imidlertid for det gjeldende forslag ZP90. Elvestrømmingen utenfor disse områdene og ved alle forslagene for støttefylling langs den sørlige bredd av Trondheimsfjorden, vil gå relativt uendret.

Oppstuvningseffekten av støttefyllingen:

Oppstuvningseffekten av støttefyllingen er svært begrenset med en beregnet oppstuvning på 5 cm i elvas strekning mellom profil 04 og profil 01 ved en 200-års flom i elva og middel lavvann i sjøen og for planforslaget ZP110. Oppstuvningen ved en 200-års flom i elva og middel høyvann i sjøen for elvas sterkening mellom profil 04 og profil 01 er 3 cm. Oppstuvningen for strekningen oppstrøms terskelen (profil 5) er beregnet til 1 cm. De tilsvarende oppstuvningene ved planforslag ZP110-Revidert og ved bruk av de samme grensebetingelsene er mindre enn 1 cm. Oppstuvningen ved en høy normal vannføring i elva og tidevann

i sjøen for hele elvestrekningen er beregnet til mindre enn 1 cm. Disse endringenes i vannstand er vurderes å være ubetydelig i praksis.

Erosjonsfare:

Støttefyllingen ved ZP110 forslaget ved profil 01 og oppstrøms profil 02 innsnevrer strømningsarealet noe, og medfører noe høyere hastighetsendringer ved store flommer i elva og lav vannstand i sjøen. Risikoen for erosjon og utskifting av elvebunnmateriale langs støttefyllingen ved ZP110 planforslaget vil derfor øke litt. Strømningsarealet med noe høyere hastighetsendringer på grunn støttefyllingen ved ZP100-Revidert er svært begrenset, og risiko for erosjon og utskifting av elvebunnmateriale er ikke forventet ved ZP110-Revidert planforslaget. De hydrauliske simuleringene ved simuleringsscenarioene beskrevet i Tabell 2 viser at det for det meste ikke er store endringer lokal hastighetsfordeling. Erosjonsfaren for elvebunnen utenfor elvebredden mellom profil 01 og oppstrøms profil 02 og langs støttefyllingen ved ZP110 planforslaget, vil derfor være relativt likt ved alle planforslagene.

Utskifting av vann:

Simuleringer med høye og moderate vannføringer i elva samtidig med lavvann i sjøen hydrauliske tilstandene viser at det blir aktive inn- og ut strømninger ved strandområdene ved det gamle elveleiet og Billedholmen. Imidlertid er hastighetene i disse områdene svært lave, dvs., en hastighet på 0,2-0,5 m/s. Strømningsforholdene ved ZP90, ZP110 og ZP110-Revidert er like og uendret.

Totalt sett medfører støttefyllingen ved ZP110-Revidert forslaget små endringer i hastighet, vannstand og strømningsmønster sammenlignet med endringer på hastighet, vannstand og strømningsmønster på grunn av støttefyllingen ved ZP110 forslaget.

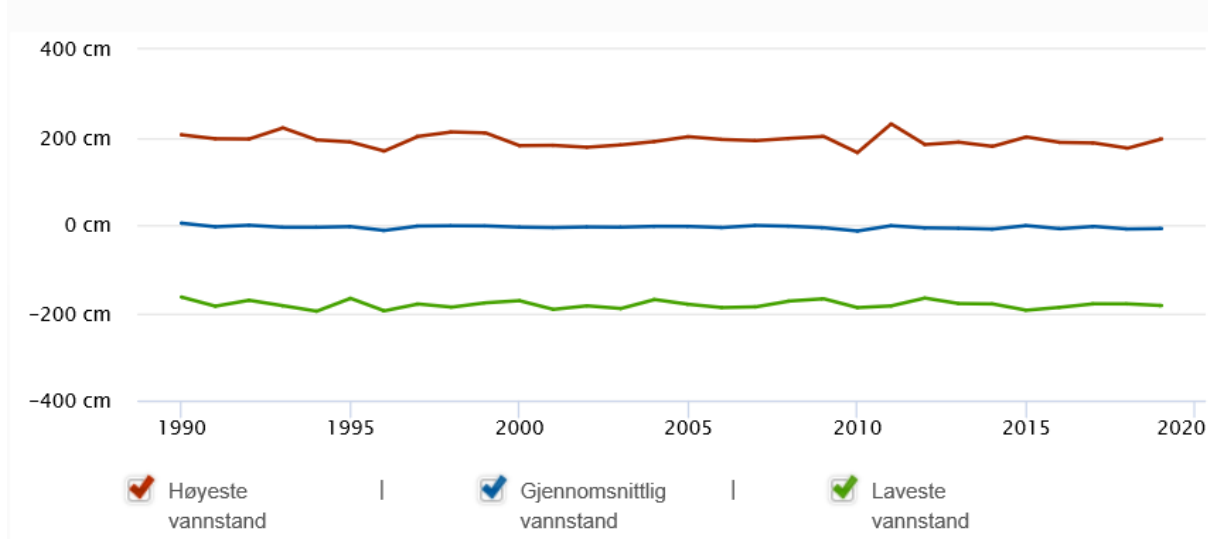
5 REFERANSER

- [1] U. A. C. o. Engineers, «HEC-RAS, River Systems Analysis, User's manual.,» 2016.
- [2] B. Sæter, «Flomsonekart, Delprosjekt Hell,» NVE, 2004.

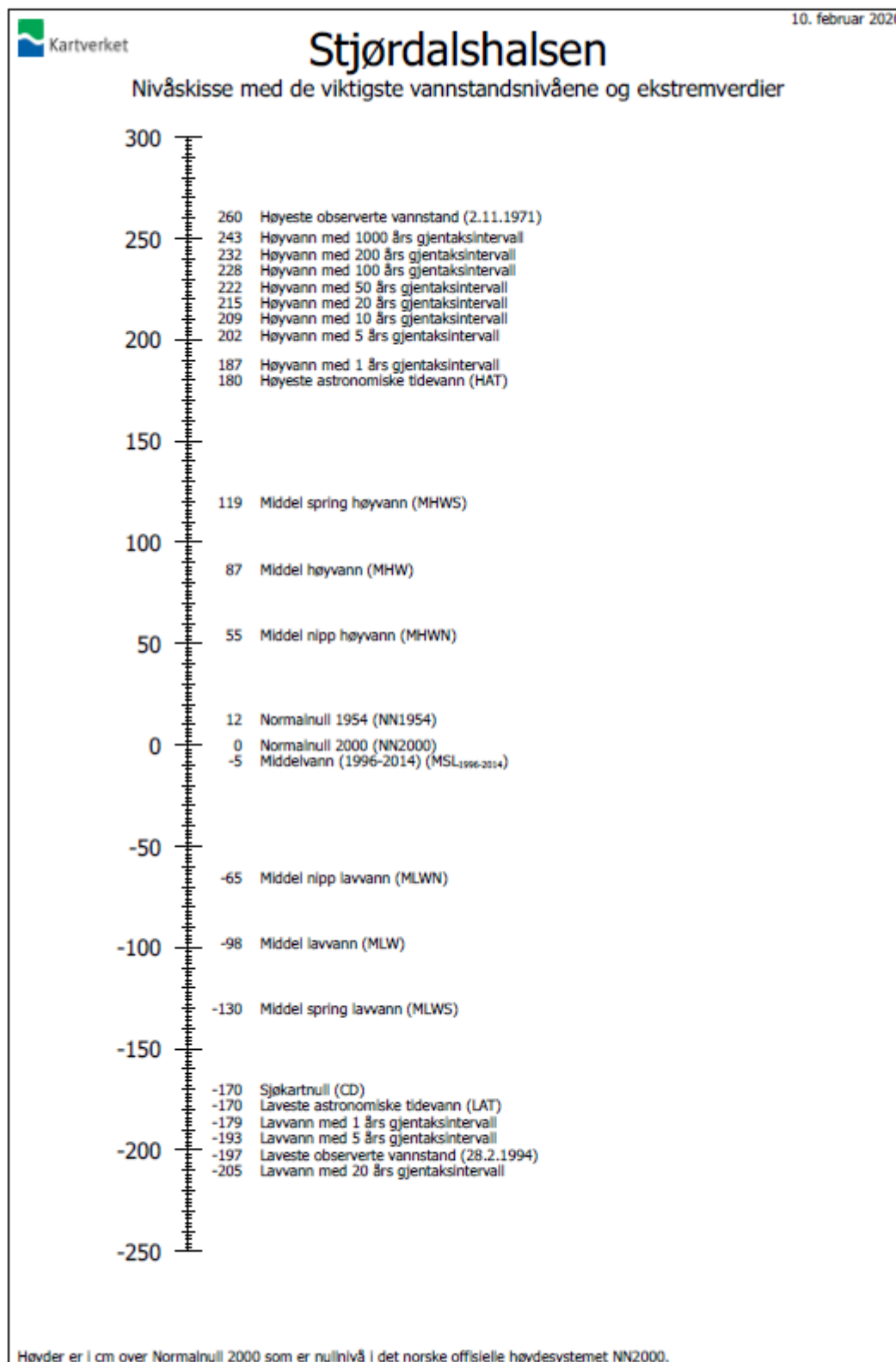
VEDLEGG

Vedlegg 1: Observerte historiske vannstand, Stjørdalshalsen (kilde: <https://kartverket.no/sehavniva/sehavniva-lokasjonside/?cityid=968545&city=Stj%C3%B8rdalshalsen#>).

Historiske vannstandsdata



Vedlegg 2: Vannstands nivå, Stjørdalshalsen (Kilde: www.sehavniva.no)



Vedlegg 3: Tidevann i februar, Stjørdalshalsen (Kilde: www.sehavniva.no)

1. februar - 28. februar 2019

