

# Todimensjonal numerisk modellering av strømning i elver og renne

**Magnus Mikkelsen Bjerkeli**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juli 2016

Hovedveileder: Nils Reidar Bøe Olsen, IVM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk



## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet for å oppfylle kravene til mastergrad innen vassdragsteknikk ved Norges Tekniske-Naturvitenskaplige universitet. Oppgaven er utført ved Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, på Institutt for Vann- og Miljøteknikk.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min hovedveileder Prof. Nils Reidar B. Olsen som har hjulpet meg gjennom hele våren.

Jeg vil også rette en stor takk til Samuel Vingerhagen hos Sweco, for opplæring og hjelp med oppsett av Hec-ras modellene.

Videre vil jeg også takke Joshua Lampe for samarbeidet med målingene i laboratoriet modellen av Eggafossen.



## Sammendrag

Med siste versjon av Hec-ras er det mulig å beregne todimensjonal vannstrømning i programmet. For å finne ut hvor godt programmet klarer å beregne todimensjonal vannstrømning er det gjort to laboratoriet forsøk, og resultatene fra disse er sammenliknet med de beregnede resultatene fra programmet. Det er også av interesse å finne ut hvordan programmet måler seg opp mot andre to-dimensjonale programmer for beregning av vannstrømning. Hec-ras er derfor blitt testet i samme forsøk som programmet Riverflow 2D ble testet i prosjektoppgaven til Magnus Bjerkeli (Bjerkeli, 2015). Forsøket ble gjennomført i en renne med enkel geometri hvor det ble målt vannhastigheter og vannstand i området rundt en innsnevring i renna. Renna er så blitt modellert i Hec-ras og sammenliknet med resultatene fra modelleringen i Riverflow.

For å finne ut hvordan Hec-ras håndterer en mer variert strømnings situasjon er det også gjort et forsøk i en fysisk modell av Eggafossen. Her er det målt vannhastigheter i tverrsnitt og vannstander i lengdeprofiler. For å teste Hec-ras ble det gjort målinger for både høy og lav vannføring i den fysiske modellen som gir to vidt forskjellige strømningsforhold. Det ble så laget en Hec-ras modell fra terreng-filen som ble brukt til å lage den fysiske modellen. Modellen ble testet for hver vannføring. Det ble også gjennomført en test av påvirkningen av de viktigste input parameterne som en bruker av programmet kan velge når man setter opp en Hec-ras modell. Hensikten med dette var å teste hvor sensitiv de forskjellige parameterne er i forhold til resultatene man får i programmet.

Resultatene fra det første forsøket viste at både Hec-ras og Riverflow ga akseptable resultater for både vannhøyder og vannhastigheter, men at det var Riverflow som hadde de mest nøyaktige resultatene sammenliknet med verdiene som ble målt i det fysiske forsøket. Hastighetene beregnet i Hec-ras var litt høye i forhold til målte verdier og vannhøydene klarte ikke å vise lokale endringer i vannstandene like godt som Riverflow. Lengdeprofilen av både de målte vannhøydene og vannhøydene fra Riverflow beregningen viser at strømmingen går fra underkritisk til overkritisk etterfulgt av et vannstandssprang. Med Hec-ras forsvinner nesten dette vannstandsspranget og man får en mye flatere lengdeprofil. Til gjengjeld bruker Hec-ras betydelig kortere tid på beregningen sammenliknet med Riverflow.

Beregningene i Eggafoss modellen viser at Hec-ras klarer å beregne vannføringen forbi fossen som oppstår på lav vannføring, men beregningene gir en noe redusert vannstanden oppstrøms fossen sammenliknet med de målte verdiene. Når man ser på resultatene med stor vannføring i modellen ser man at vannhøydene fra Hec-ras er gode sammenliknet med målingene, men at de raske endringene i vannstand man har mellom de målte punktene forsvinner. I tillegg kan en se at lengdeprofilen man får fra Hec-ras beregningen viser en mye flatere vannlinje enn målingene. Basert på disse resultatene gir Hec-ras gode beregninger dersom man kun ønsker en litt grovere oversikt over vannstandene i et området, mens programmet ikke gir like gode resultater dersom man ønsker en mer detaljert beregning av vannstander i detaljer i vassdraget som områder med raske lokale vannstands endringer eller vannstandssprang.

Parametertesten for Hec-ras i Eggafossen viste at det er viktig å ha en gode målinger for alle parameterne. Vannføring og nedstrøms vannstand kan gi store utslag på målingene dersom de har verdier som avviker mye fra den fysiske modellen. Dette er til gjengjeld verdier som er målbare med en stor grad av nøyaktighet og det er derfor mulig å unngå dette problemet med

gode målinger gjort i den fysiske modellen. Mannings tallet kan ikke beregnes fra den fysiske modellen på samme måte som vannføringen, men kan bestemmes fra tabeller med empiriske data med ganske god nøyaktighet. Resultatene fra programmet blir ikke påvirket i stor grad så lenge man klarer å gjøre et noenlunde riktig valg av mannings tall. Testen som hadde den største forskjellen i vannstander var valget av likningssett. Hec-ras kan bruke både Full momentum likningene eller den forenklete Diffusion wave likningen. Resultatene fra denne testen viste at Full momentum ga et betydelig bedre resultat sammenliknet med Diffusion wave. Dersom man har en stabil modell og den ekstra beregningstiden som programmet bruker med Full momentum ikke er en stor ulempe, er dette likningssettet å anbefale for å få bedre resultater. Testen av cellestørrelse var den testen som ga minst endringer på vannhøydene i lengdeprofilene. Det var kun høydeforskjeller på 2-3 mm for de forskjellige cellestørrelsene som ble testet i Hec-ras. Dette kan tyde på at metoden for å beregne terrenghøyden i cellene, som skal gi en mer nøyaktig representasjon av terrenget ved bruk av større celler, gir så gode resultater som forespeilet av utviklerne. Grunnet modellens størrelse og Hec-ras sin begrensning med 0.1 s som korteste tidskritt, var det ikke mulig å få modellen stabil med en mindre cellestørrelse enn den minste som det er testet for. Derfor er testen av cellestørrelse noe begrenset for å kunne konkludere med hvor stor påvirkning cellestørrelsen har på beregningene.

## Abstract

With the last version of Hec-ras it is now possible to compute two dimensional water flow using this program. To be able to investigate how well the program computes two dimensional water flow, two laboratory experiments were conducted. The results from these experiments were then compared with the calculated results from the program. It was also a point of interest to investigate how the results from this program were compared to other two dimensional programs developed for computation of water flow. Hec-ras was therefore tested for the same experiment modeled with Riwerflow 2D, as described in the project paper written by Magnus Bjerkeli (Bjerkeli 2015). The experiment was conducted in a flume with simple geometry in which it was done measurements of water velocities and water levels around a constriction in the flume. The flume was then modeled in Hec-ras and compared with the results from the model in Riverflow.

To be able to investigate how Hec-ras manages a more diverse flow situation, it was also conducted an experiment in a physical model of Eggafossen. Here the water velocities was measured in cross sections and the water levels were measured in longitudinal profiles. To test Hec-ras it was done measurements for both high and low discharge in the physical model, which gives two widely different flowing conditions. The same terrain file used to create the physical model, was then used to create a Hec-ras model of Eggafossen. The Hec-ras model was then tested for each of the discharge. Tests of the most important input parameters users of the program can choose between when setting up a Hec-ras model were also carried out. The aim of these tests were to investigate how sensitive the different parameters are regarding the results obtained with the program.

The results from the first experiment showed that both Hec-ras and Riverflow gave acceptable results for both water levels and water velocities, but it was Riverflow that had the most accurate results compared to the values measured in the physical experiment. The velocities computed with Hec-ras were slightly too high compared to the measured values, and the computation of the water levels did not manage to show the local variations in the water level as well as the computation using Riwerflow. A longitudinal profile of both the measured water level and the water level computed with Riverflow shows that the flow changes from subcritical to supercritical followed by a hydraulic jump. When using Hec-ras this hydraulic jump almost disappears resulting in a more flat longitudinal profile. In return, Hec-ras uses significantly shorter computation time compared to Riverflow.

The computations of the Eggafossen model shows that Hec-ras is able to compute discharge passing the fall (which occurs at low discharge in this model), but the calculations also showed a somewhat reduced water level upstream the waterfall compared to the measured values. When looking at the results obtained from the high discharge in the model it can be seen that the water levels from Hec-ras are good compared to the measurements, but the rapid changes in water level between the measured points disappears. In addition, it was found that the longitudinal profile obtained from the calculations in Hec-ras shows a much more flat water level than the measurements. Based on these results can we say that Hec-ras gives good calculations for a rough computation of the water level in an area. However, the programs performance is not as good if the goal is detailed water levels in a smaller area for example with rapid changes in water level or with a hydraulic jump.

The parameter tests for Hec-ras in Eggafossen showed that it is important to have good approximations for all of the different parameters. Discharge and downstream water level can give significant differences in the measured water levels if they have values that differ considerably from the physical model. In return, these are measurable values with a high degree of accuracy in the physical model, and therefore it is possible to avoid this problem with good field measurements. Manning number cannot be calculated from the physical model in the same way as for the discharge, but can also be determined from tables with empirical data with good accuracy. The results Manning test shows that the manning number does not significantly affect as long as a somewhat correct Manning number is chosen. The test that had the largest differences in water level was the test considering the choice of equation set. Hec-ras can use either the full momentum equation or the simplified diffusion wave equation. The results from this test showed that the full momentum equation gave the better results compared with the diffusion wave equation. If the model is stable, and the extra computation time that the full momentum equation requires compared to the diffusion wave equation, is not a major drawback, this equation set is recommended in order to obtain better results. The test considering the size of the cells was the test that gave the smallest change in the water levels of the longitudinal profiles. It was only height differences of 2-3 mm for the different cell sizes, which were tested in Hec-ras. This may indicate that the method used to calculate the terrain heights in the cells, which should give a more accurate representation of the terrain when using larger cells, performs as well as predicted by the developers. Due to the size of the model, and Hec-ras boundary of 0.1s as the shortest time step, it was not possible to get the model stable with a smaller cell size than the smallest size used in the test. Therefore, the test of the change in cell size is somewhat limited in respect to determine the influence cell size has on the calculations.



# Innhold

Forord .....	I
Sammendrag .....	III
Abstract .....	V
Figurliste .....	IX
Tabelliste .....	X
1. Innledning .....	1
2. Teori.....	3
Full momentum og Diffusion wave likningssett i Hec-ras .....	3
Grid (nett) i Hec-ras .....	5
3. Metode .....	7
3.1 Renne.....	7
3.1.1 Fysisk forsøk i renne .....	7
3.1.2 Modellering av renne .....	11
3.2 Eggafossen.....	14
3.2.1 Fysisk forsøk i modell av Eggafoss .....	14
3.2.2 Modellering av Eggafoss modellen i Hec-ras.....	19
4. Resultater og Diskusjon .....	25
4.1 Renne i Riverflow og Hec-ras.....	25
4.1.1 Vannhastigheter .....	25
4.1.2 Vannstander .....	28
4.2 Eggafoss modellen i Hec-ras.....	30
4.2.1 Vannhastigheter .....	30
4.2.2 Vannhøyder .....	35
4.2.3 Testing av Parametere i Hec-ras.....	40
5. Konklusjon .....	49
6. Referanser .....	51
7. Vedlegg .....	53
Vedlegg 1 .....	53
Målepunkter i Eggafossen .....	53
Vedlegg 2 .....	56
Resultater fra parameter testen .....	56
Vedlegg 3 .....	92
Vannhastigheter målt i Eggafossen .....	92
Vedlegg 4 .....	97

Renne: Situasjon 1 .....	97
Vedlegg 5 .....	104
Renne: situasjon 2 .....	104
Vedlegg 6 .....	111
Lengdeprofil av renne for situasjon 2.....	111

## Figurliste

Figur 1: Lengdeprofil av renna med geometri og tverrsnitt sett fra siden av renna.....	7
Figur 2: plantegning av renna med tverrsnitt og geometri.....	8
Figur 3: Vannlinja forbi boksen sett fra høyre side av renna med strømningssituasjon 1.....	8
Figur 4: Måling av vannhøyde i tverrsnitt 3 for situasjon 2.....	10
Figur 5: Geometri av renna i Arcmap .....	11
Figur 6: Arcmap filer, fra venstre: Shape, TIN, Raster .....	12
Figur 7: Detalj av grid.....	13
Figur 8: Grid i Hec-ras: Geometric data .....	13
Figur 9: Koordinatsystem i Eggafossen modellen.....	15
Figur 10: Hastighets tverrsnitt og lengdeprofiler for vannhøyde.....	16
Figur 11: Fysisk modell av Eggafossen med vannføring på 6 l/s. Området i midten av modellen med hovedfossen til venstre i elveleiet.....	17
Figur 12: Eggafoss modellen med 6 l/s vannføring. Oppstrøms ende av modell.....	17
Figur 13: Eggafoss modellen med 234 l/s vannføring.....	18
Figur 14: Terrenget i STL filen vist i 3D builder .....	19
Figur 15: Terrenget i Hec-ras: Ras mapper .....	19
Figur 16: Området med overheng i den fysiske modellen vist i Hec-ras. ....	20
Figur 17: Grid eggafoss 0.055m celler i begge retninger.....	21
Figur 18: Detalj av grid ved foss og break line.....	21
Figur 19: Vannhastigheter rundt boksen i Situasjon 1 med hastigheter i m/s.....	26
Figur 20: Vannhastigheter rundt boksen i Situasjon 2 med hastigheter i m/s.....	27
Figur 21: Lengdeprofil med vannstander langs kanalkanten med Situasjon 2 .....	29
Figur 22: Til venstre: Tverrsnit 1 ved vannføring på 6 l/s. Til høyre: Tverrsnitt 2 ved vannføring på 6 l/s. .....	31
Figur 23: kart over Hastigheter i m/s ved 6 l/s vannføring i Hec-ras.....	31
Figur 24: Detalj ved fossen (hastigheter ved 6 l/svannføring) .....	32
Figur 25: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 1 med vannføring på 6 l/s .....	33
Figur 26: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 2 med vannføring på 6 l/s .....	33
Figur 27: kart over Hastigheter i m/s ved 234 l/s vannføring i Hec-ras .....	34
Figur 28: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 1 med vannføring på 234 l/s .....	35
Figur 29: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 2 med vannføring på 234 l/s .....	35
Figur 30: Vanndybde i meter for vannføring på 6 l/s i Hec-ras .....	36
Figur 31: Vannstander med 6 l/s vannføring i Lengdeprofil 1.....	37
Figur 32: Vannstander med 6 l/s vannføring i Lengdeprofil 2.....	37
Figur 33: Vanndybde i meter for vannføring på 234 l/s i Hec-ras .....	38
Figur 34: Vannstander med 234 l/s vannføring i Lengdeprofil 1.....	39
Figur 35: Vannstander med 234 l/s vannføring i Lengdeprofil 2.....	39
Figur 36: Lengdeprofil 1 ved 234 l/s med test av nedstrøms vannstand .....	40
Figur 37: Lengdeprofil 1 ved 6 l/s med test av vannføring.....	41
Figur 38: Lengdeprofil 1 ved 6 l/s med test av mannings tall.....	43
Figur 39: Lengdeprofil 1 ved 234 l/s med test av mannings tall .....	43
Figur 40: Lengdeprofil 2 ved 234 l/s med test av cellestørrelse .....	44
Figur 41: Lengdeprofil 1 ved 6 l/s med test av likningssett.....	45
Figur 42: Lengdeprofil 2 ved 234 l/s med test av likningssett.....	46
Figur 43: Lengdeprofil 2 ved 234 l/s med test av Tidskritt.....	47

## Tabelliste

Tabell 1: Eddy viskositets konstant .....	4
Tabell 2: Parametere for vannføring på 6 l/s i Hec-ras med mindre annet er spesifisert.....	23
Tabell 3: Parametere for vannføring på 234 l/s i Hec-ras med mindre annet er spesifisert.....	23

# 1. Innledning

US Army Corps of Engineers har nylig kommet med en ny versjon av Hec-ras som er et av verdens mest brukte endimensjonale programmer for beregning av vannstrømninger i vassdrag. I den nye versjonen, Hec-ras 5.0, er det mulig å utføre todimensjonale beregninger av vannstrømning. Hec-ras kan lastes ned gratis, og det er derfor stor interesse for hvor gode resultater programmet klarer å levere sammenliknet med andre kommersielle programmer som finnes på markedet. I denne oppgaven vil man prøve å svare på hvor godt Hec-ras klarer å beregne vannstandene og vannhastighetene i en renne, og sammenlikne resultatene med programmet Riverflow 2D. Riverflow er et kommersielt program som konsultentselskapet Sweco har lisens på. Riverflow ble testet i prosjektoppgaven til Magnus Bjerkeli og Hec-ras vil bli testet opp mot resultatene fra denne oppgaven.

Man ønsker også finne ut hvordan Hec-ras klarer å beregne vannstrømning i et naturlig elveprofil. For å få bedre målinger ble det besluttet å bruke en modell av Eggafossen som var tilgjengelig i vassdragslaboratoriet til NTNU framfor å gjøre målinger i en elv utendørs. I vassdragslaboratoriet har man muligheten til å bestemme vannføring og regulere nedstrøms vannhøyde, og man har også mulighet til å gjøre målinger over flere dager med stabile strømningsforhold. I modellen av Eggafossen er det gjort målinger av vannhastighet og vannstander med både liten og stor vannføring. Målingene er så sammenliknet med resultatene fra Hec-ras. For å finne ut mer om hvordan Hec-ras fungerer og hvordan de forskjellige input parameterne som blir valgt av brukeren påvirker resultatene ble det til slutt gjennomført en parametertest av de viktigste input parameterne for programmet.

I denne oppgaven vil man gå gjennom hvilke formler og parametere som brukes i Hec-ras og hvordan gridet i Hec-ras fungerer. Deretter vil det bli forklart hvordan man gjorde målingene i de fysiske forsøkene i vassdragslaboratoriet. Det vil bli kort forklart hvordan man lager modellene i Hec-ras og Riverflow, og hvordan input parameterne ble bestemt for hver modell. I resultat- og diskusjonsdelen vil resultatene fra de ulike forsøkene og modelleringene bli vist og diskutert, før man til slutt kommer fram til en konklusjon.



## 2. Teori

Full momentum og Diffusion wave likningssett i Hec-ras

Hec-ras har to likningssett tilgjengelig for todimensjonale beregninger med funksjonen unsteady flow simulation: Full Saint Venants likningene og Diffusion wave likningene. Saint Venants likningene går under navnet Full Momentum når man er i programmet. I referansemanualen og brukermanualene går den også under navnet full Shallow water likningene. Diffusion wave er satt som standard i programmet, men man kan enkelt bytte mellom de to i innstillingene. Diffusion wave gir en raskere beregning og den kan gjøre beregninger med lengere tidskritt enn Full momentum. Full momentum har en lengere beregningstid og trenger et kortere tidskritt for å oppnå stabilitet, men dersom de to likningssettene gir forskjellige resultater skal man alltid anta at beregningen med Full momentum er mer nøyaktig (US Army Corps of Engineers, 2016a).

Full momentum likningene som brukes i Hec-ras finner man i referansemanualen (US Army Corps of Engineers, 2016b).

Likningene er gitt som:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u \quad (2)$$

$u$  og  $v$  er hastighetene i  $x$ - og  $y$ -retning,  $g$  er tyngdekraften,  $v_t$  er den horisontale eddy (virvel) viskositeten,  $c_f$  er bunn friksjons koeffisienten,  $R$  er den hydrauliske radiusen og  $f$  er Coriolis parameteren. På venstre side av likningen finner man akselerasjonsbetingelsene, mens høyre side representerer de interne og eksterne kreftene som virker på væsken (US Army Corps of Engineers, 2016b).

Mer nøyaktig beskrivelse av akselerasjonsbetingelsene og gravitasjonen kan man finne i referansemanualen side 2-57 og 2-58 (US Army Corps of Engineers, 2016b). Disse delene av likningen blir ikke endret av noen av input parameterne som brukeren kan velge for modellen.

Eddy viskositeten er gitt som:

$$v_t = D h u_* \quad (3)$$

Hvor  $D$  er en ikke dimensjonal empirisk konstant og  $u_*$  er skjærhastigheten som i programmet er gitt som:

$$u_* = \sqrt{gRS} = \frac{\sqrt{g}}{C} |V| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{\frac{1}{6}}} |V| \quad (4)$$

Hvor R er den hydrauliske radiusen og n er Mannings tallet ( $s/m^{1/3}$ ) gitt av brukeren. Den empiriske konstanten D er gitt av brukeren og har en default verdi i programmet lik 0. Denne ble ikke endret for noen av beregningene i Hec-ras i denne oppgaven, og eddy viskositeten i alle beregningene er derfor 0. I referansemanualen s. 2-59 er det en tabell med forslag til D for forskjellige strømnings situasjoner (US Army Corps of Engineers, 2016b).

D	Mixing Intensity	Geometry and surface
0.11 to 0.26	Little mixing	Straight channel, smooth surface
0.3 to 0.77	Moderate mixing	Gentle meanders, moderate surface irregularities
2.0 to 5.0	Strong mixing	Strong meanders, rough surface

Tabell 1: Eddy viskositets konstant

Bunnfriksjonen i likningene er gitt som:

$$c_f = \frac{g|V|}{C^2 R} \quad (5)$$

Hvor  $|V|$  er størrelsen på hastighetsvektoren, g er gravitasjonen, R er hydraulisk radius og C er Chézy koeffisienten. Chézy koeffisienten kan tilnærmes med Mannings tallet med  $C=R^{1/6}/n$ .

Bunnfriksjonskoeffisienten blir da:

$$c_f = \frac{n^2 g |V|}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (6)$$

Hvor R er den hydrauliske radiusen og n er Mannings tallet. Mannings tallet er bestemt av brukeren.

Det siste leddet i likningene er Coriolis effekten. Den tar for seg effekten av at jorda roterer om sin egen akse. Den vertikale delen av Coriolis effekten er sett bort ifra i modellen og det er kun den horisontale delen som er gitt som:

$$f = 2\omega \sin\phi \quad (7)$$

r  $\omega=0.00007292115855306587/s$  vinkelhastigheten til jorda og  $\phi$  er breddegrad. Bruk av Coriolis effekten er en på/av funksjon under innstillingene i programmet. Dersom man skrur på denne funksjonen må man velge breddegrad for prosjektet som en verdi mellom 90 og -90, der verdier større enn 0 er for den nordlige halvkule, mens verdier lavere enn 0 er for den sørlige halvkule (US Army Corps of Engineers, 2016a). For beregningene i denne oppgaven er det valgt å ikke bruke denne funksjonen siden det vil ha en helt ubetydelig effekt for en modellering som er så begrenset i tid og rom som laboratorieforsøkene i denne oppgaven.

Dersom man forenkler full momentum likningssettet kan man isteden bruke Diffusion wave likningssettet ved å anta barotropisk trykkgradient, tettheten til væska er kun bestemt av trykk gradienten, som balanseres av bunnfriksjonen (US Army Corps of Engineers, 2016b).



Diffusion wave likningssettet forenkles også ved å se bort ifra turbulens, Corioliseffekten, adveksjon og de ikke stasjonære betingelsene i Full momentum likningssettet (US Army Corps of Engineers, 2016b). Diffusion wave likningen tilsvare likning 1 og 2 for Full momentum med leddene til venstre i likningen lik null. I Hec-ras har Diffusion wave likningen heller ikke Coriolis eller eddy viskositetsleddet slik at man ender opp med denne formelen:

$$-g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (8)$$

$$-g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (9)$$

Grid (nett) i Hec-ras

Gridet i Hec-ras kan lages av celler med 3-8 sider. Når programmet generer grid automatisk innenfor området man har merket av som strømningsområdet, består hoveddelen av gridet av firkantede ortogonale celler. Langs kantene og break lines (brudd linjer) blir derimot cellene tilpasset slik at cellekantene følger brudd linjene og kantene på strømningsområdet. Dersom man ønsker det, kan man også lage cellene manuelt og variere cellestørrelsen innad i gridet.

Høydeverdiene fra terrenget blir registrert som tverrsnitt langs celleveggene til hver celle framfor en enkelt høydeverdi i hver celle. Dette gjør at Hec-ras kan modellere med større celler og fortsatt ha en nøyaktig representasjon av det underliggende terrenget (US Army Corps of Engineers, 2016a). For å få en best mulig representasjon av terrenget er det viktig at cellekantene er lokalisert langsmed hindringer for vannstrøm som f.eks. elvebredder, veier eller andre høye punkter og linjer i terrenget. Dette kan man oppnå ved å lage deler av gridet manuelt, men den enkleste måten å gjøre dette på er å bruke break line funksjonen i programmet. Med break line funksjonen tegner man en linje langs høydedrag eller andre viktige barrierer for vannstrømning. Når man så genererer gridet vil cellene legge seg langsmed bruddlinja. Dette gjør at terrenget blir registrert i celleveggene slik at vannet ikke krysser linja før vannhøydene er høyere enn terrenget.

Når man velger cellestørrelse er det også viktig å tenke på overflatehelningen på vannet. Høyden på vannstanden er beregnet med en enkelt verdi i midten av hver celle. Størrelsen på cellene øker derfor avstanden mellom hvert beregningspunkt som vannstandene interpoleres mellom. Store celler med få målepunkter for vannstand kan være greit for områder med liten variasjon i vannstanden, mens det kan gi dårlige resultater i områder med større variasjon i vannstandene. I områder med varierende vannstander bør man legge inn mindre celler i gridet for å bedre resultatene av vannstandsberegningene (US Army Corps of Engineers, 2016a).



### 3. Metode

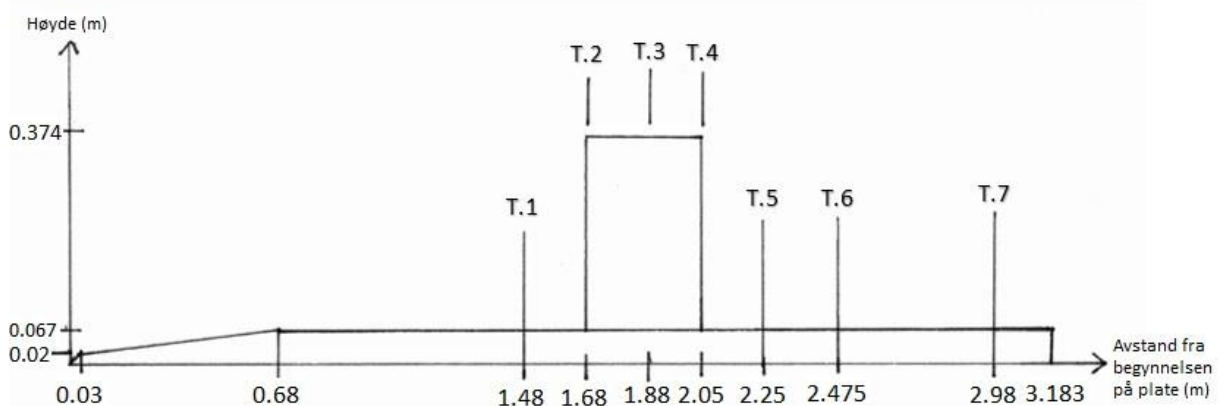
I denne oppgaven ble det gjennomført to forsøk i vassdragslaboratoriet til NTNU. Det første forsøket ble gjort i en renne, og vil derfor bli referert til som Renne i denne oppgaven. Det andre forsøket ble gjort i en modell av Eggafossen, og vil dermed bli referert til som Eggafossen i denne oppgaven. Begge forsøkene ble så modellert ved bruk av numeriske modelleringsverktøy, og resultatene ble sammenliknet med resultatene fra de fysiske forsøkene.

#### 3.1 Renne

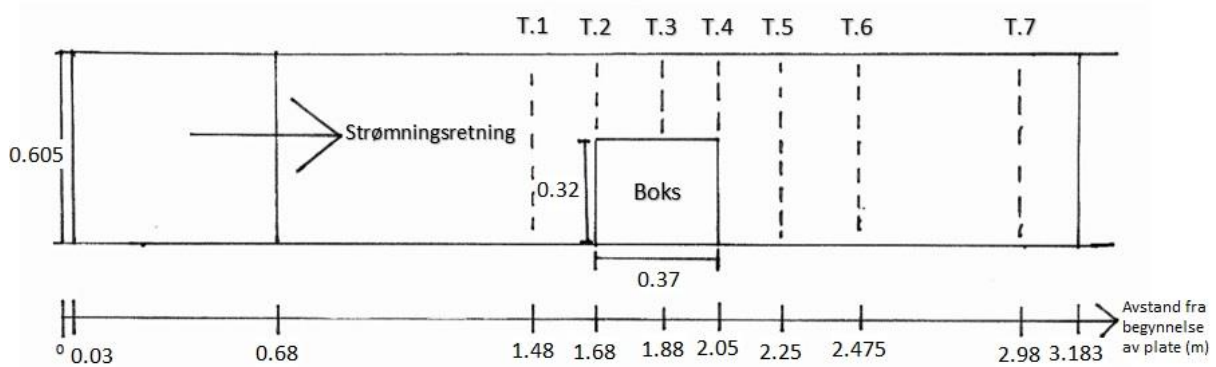
Dette forsøket ble gjennomført i forbindelse med prosjektoppgaven til Magnus Bjerkeli (2015), og dette delkapittelet er derfor basert på denne oppgaven. Renne- forsøket ble modellert ved bruk av både Hec-ras og Riverflow. Modelleringen gjort i Riverflow er også gjort i forbindelse med prosjektoppgaven, mens modelleringen i Hec-ras ble gjort i forbindelse med masteroppgaven. I de følgende avsnittene vil først det fysiske forsøket gjort i laboratoriet bli forklart, og deretter vil henholdsvis modelleringen i Riverflow og modelleringen i Hec-ras bli forklart.

##### 3.1.1 Fysisk forsøk i renne

Forsøket ble gjort i en renne med veldefinert og enkel geometri. Renna hadde en bredde på 0.605 m med flat bunn, rette kanter og en lengde på rundt 10 m. Under forsøket lå det en plate i renna som dekket hele bredden til renna. Plata hadde en lengde på 3.183 m og en høyde på 67 mm. På plata var det plassert en boks langs den høyre kanten av renna med lengde på 0.37 m og bredde på 0.32 m. Innsnevringen i renna som boksen forårsaket ga strømnings situasjonen som ble målt i forsøket. Utformingen av plata var som vist i figur 1 og 2. Alle høyder er høyder over rennebunnen med mindre annet er spesifisert.



Figur 1: Lengdeprofil av renna med geometri og tverrsnitt sett fra siden av renna.

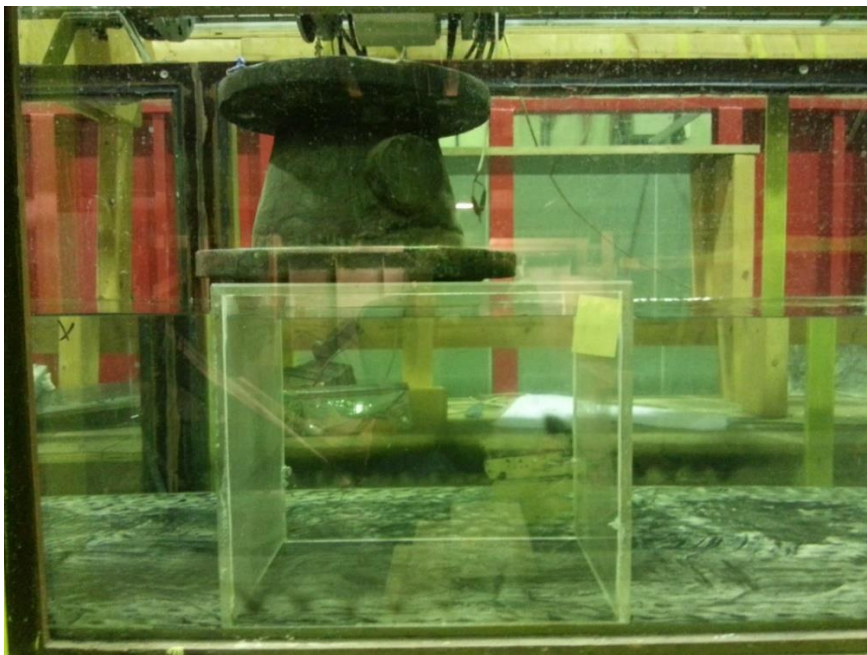


Figur 2: plantegning av renna med tverrsnitt og geometri

Vannføringen under forsøket var 30 l/s, og den ble opprettholdt av en enkelt pumpe. Pumpa pumpet vann fra et basseng nedstrøms renna, og vannet gikk derfor i en loop. Siden det ikke var et høydebasseng som stabiliserte vannføringen, og fordi renna hadde noen lekkasjer, viste den elektroniske vannføringsmåleren noe variasjon i vannføringen under forsøket. De registrerte vannføringene var alle på  $30 \pm 0.2$  l/s og det antas at dette ikke har noen betydning for resultatene.

Forsøket ble gjennomført med to forskjellige nedstrøms vannstander. En lem nederst i renna ble tilpasset slik at høyden på vannspeilet kunne variere. Den første nedstrøms vannstanden var på 0.343 m over rennebunnen, mens den andre nedstrøms vannstanden var på 0.16 m over rennebunnen.

Forsøket med nedstrøms vannstand på 0.343 m vil heretter bli referert til som situasjon 1, mens forsøket med nedstrøms vannføring på 0.16 m vil bli referert til som situasjon 2.



Figur 3: Vannlinja forbi boksen sett fra høyre side av renna med strømningssituasjon 1

Vannstanden ble målt i målepunkt i syv tverrsnitt i renna. I fire av disse tverrsnittene ble det også gjort hastighetsmålinger (tverrsnitt 1, 3, 6 og 7). Posisjonen til tverrsnittene er som vist i figur 1 og 2. I tverrsnitt 1, 5, 6 og 7 er det 9 målepunkt på tvers av renna med første målepunkt 0.1 m fra den venstre rennekanten sett i strømningsretningen. De resterende målepunktene er plassert med 0.05 m mellom hvert målepunkt. Tverrsnittene 2, 3 og 4 ligger i innsnevringen av renna og har derfor kun fire målepunkt.

Hastighetene i målepunktene ble målt med en ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) kalt Vectrino+. I situasjon 1 ble hastighetene målt i en høyde lik 0.25 m, og for situasjon 2 ble målehøyden flyttet til 0.115 m siden vannstanden i denne situasjonen er betydelig lavere. Vectrino+ gir hastigheter i x-, y- og z-retning. Siden målingene skulle sammenliknes opp mot resultater fra todimensjonale programmer, ble hastighetene i z-retningen sett bort ifra. Den enkle geometrien i renna resulterte i at hastighetene for det meste var klart størst i hovedstrømningsretningen (x-retning), og hastighetene i y-retningen ble derfor også sett bort ifra. Alle resultatene fra hastighetsmålingene i renna er derfor hastigheter målt i rennas lengderetning. Resultatene fra ADV'en ble behandlet i Excel og ikke i et etterbehandlingsprogram, noe som resulterte i at dårlige verdier med lav korrelasjon ikke ble luket ut. Korrelasjon er en prosentverdi som programmet bruker til å si noe om kvaliteten på resultatene. Med korrelasjon på over 95 % i alle vannhastighetsmålingene gjort i renna for situasjon 1, har dette trolig ikke påvirket disse resultatene i større grad. For situasjon 2 ble ikke innstillingene til ADV'en endret slik at de passet med de større vannhastighetene som kom som et resultat av at nedstrøms vannstand ble senket. Her er derfor mangelen på kunnskap om programmet i tiden målingene ble tatt med på å gjøre disse resultatene dårlige for målepunkter med høy vannhastighet.

Vannhøydene ble målt med en målestav i alle målepunktene i tverrsnittene. Det ble også målt opp ett lengdeprofil for situasjon 2 langs den venstre kanten av renna, på motsatt side av kanalen enn boksen. Første målepunkt var 1.48 m nedenfor starten på plata, samme avstand som tverrsnitt 1. Så ble det gjort en ny høydemåling for hver 0.1 m med siste målepunkt 2.88 m nedenfor starten på plata.



*Figur 4: Måling av vannhøyde i tverrsnitt 3 for situasjon 2.*

### 3.1.2 Modellering av renne

Renna ble modellert både i Riverflow og Hecras.

*Modellering av renne i Riverflow*

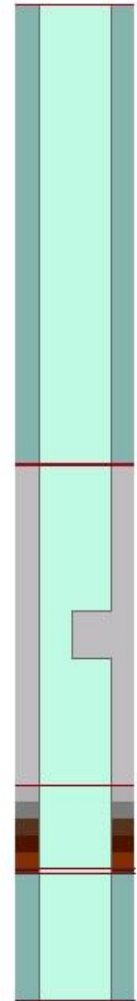
Følgende avsnitt er mye basert på prosjektoppgaven til Magnus Bjerkeli (2015)

#### **Renne geometrien i Arcmap**

Geometrien til renna er laget i programmet Arcmap, versjon 10.3. Høydene er plottet med linjer som markerer høydene i knekkpunktene for geometrien til plata som ligger i renna. På enden av plata har den en helt rett kant. Denne er modellert som en slak helning med to høydestreker 0.01 m fra hverandre som har høydeverdier på henholdsvis 0.067 m og 0 m. Shapefilen med disse enkle linjene med tilhørende høydeverdier er så brukt til å lage et TIN (Triangular Irregular Networks) gjennom Arcmap funksjonen «Create TIN». TIN filen blir konvertert til et raster med funksjonen «TIN to Raster», før denne igjen blir konvertert til en punkt-fil med funksjonen «Raster to Point». Alt man har gjort nå er å lage en punkt-fil som inneholder høydedata, men som ikke begrenser plangeometrien til renna. Dette gjøres ved at man lager en ny shape-fil som bestemmer strømningsområdet tilsvarende rennas geometri sett ovenfra. Hele Arcmap filen blir så eksportert til dataprogrammet ArgusOne.

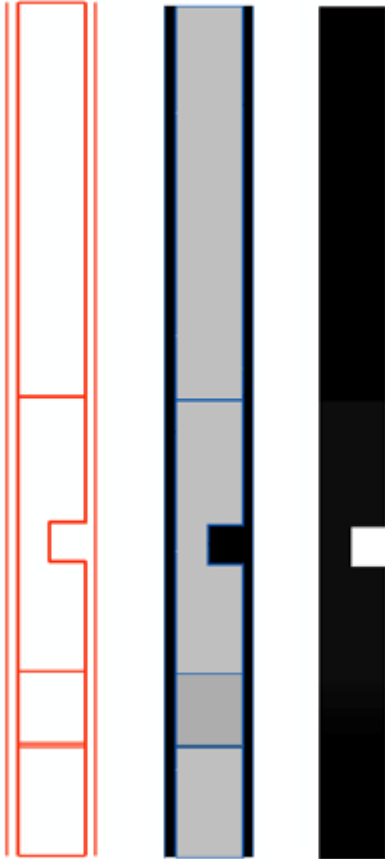
#### **Oppsett i ArgusOne og test i Riverflow**

I ArgusOne ble gridet utformet og man definerte et område i den nedre enden av modellen for innstrømning, og et tilsvarende i øvre ende for utstrømning. For situasjon 1 ble det satt et Mannings tall for modellen lik 0.02 og det ble gjennomført en test med nedre vannstand lik den målte verdien i renna lik 0.343 m. Siden modellen kjørte fint, og siden den så ut til å gi gode resultater, ble det ikke gjort flere forsøk på å optimalisere modellen. For Situasjon 2 ble Riverflow kjørt med en nedre vannstand lik 0.16 m. Det var noen problemer med å få konvergens i modellen, og i et forsøk på å forbedre ytelsen ble modellen forlenget med en meter og gridet ble laget med en liten innsnevring i utløpsområdet. Med forlengelsen ble programmet stabilt, men man så at vannstandene man fikk i modellen med en nedstrøms vannstand lik 0.16m var for høye. For å få gode resultater forsøkte man å redusere Mannings tallet til 0.01 og det ble testet forskjellige nedstrøms vannstander. Vannstanden man endte opp på var 0.117 m nedstrøms.



Figur 5: Geometri av renna i Arcmap

## Renne geometrien i Arcmap



For modelleringen i Hec-ras er programmet ArcMap brukt for å tegne geometrien. Geometrien til renna er tegnet i en shape-fil med enkle streker mellom punkter med tilhørende høydeverdier. Shape-filen er så omgjort til en TIN (triangular irregular network) fil. Fra Tin filen lages så en raster-fil som importeres av Hec-ras som terrenget for modellen. Siden Hec-ras kun importerer raster-filen og ikke hele Arcmap prosjektet, kan man ikke lage en linje som avgrenser renna. Dermed må formen på renna være representert i shape-filen. Dette er løst ved at man i shape-filen har tegnet inn bunnen på renna i riktig størrelse. Deretter er det lagt til en ny linje et par cm utenfor med høyde lik 1 m. Dette gir en bratt kant tilnærmet lik kanalens egentlige loddrette vegger. For at dette ikke skal påvirke resultatet, er gridet i Hec-ras forsøkt lagt helt likt som bunnen av renna slik at helningen på kanten ikke påvirker resultatet.

Figur 6: Arcmap filer, fra venstre: Shape, TIN, Raster

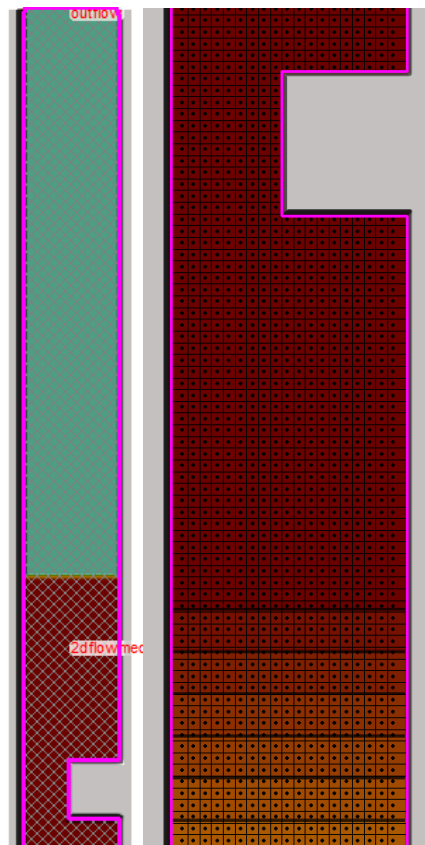


## Oppsett av Hec-ras modellen

Raster-filen importeres som et terrenglag i RAS Mapper og brukes som grunnlaget for Hec-ras modellen. Et grid genereres ved at man tegner området man ønsker skal modelleres med funksjonen 2D Flow Area i Geometric Data. Man definerer ønsket lengde på cellene i x- og y-retning og gridet genereres automatisk av programmet. For renna er det valgt et kvadratisk grid med celler på 0.03m i begge retninger. Dette gir 4801 celler i gridet. Hoved andelen av cellene følger dette, mens cellene langs kantene og ved eventuelle break lines, blir tilpasset for å passe med grensene til flow area. Hvis man har en klar strømningsretning, som i denne modellen, kan man velge lengre celler i strømningsretningen dersom man har problemer med å få konvergens når programmet kjører.

I Geometric Data setter man også opp grensebetingelsene langs kanten av 2D flow area. Langs nedre kant i figuren er det satt en BC (Boundary Condition) line for øvre grensebetingelse som beskriver vannføringen i  $m^3/s$ , og langs øvre kant er det satt opp en BC line som gir verdiene for nedstrøms grensebetingelse med høyder for vannstand i meter. Det er også her man velger Mannings tall for modellen.

Under unsteady flow data ligger linjene vi satt for grensebetingelser. Her kan man sette opp hvordan man vil at programmet skal kjøre med grensebetingelser oppstrøms og nedstrøms. Siden renna har en konstant strømnings situasjon for begge kjøringene er ikke grensebetingelsene variert over tid, men konstante for begge situasjonene. Oppstrøms er det gitt en verdi på  $0.03 m^3/s$  vannføring, mens vannstanden nedstrøms er på 0.343 meter og 0.158 meter. Under unsteady flow simulation setter man tidsperioden for kjøringen og komputasjonsintervall før man starter beregningen. Etter å ha prøvekjørt modellen noen ganger ble tidsperioden for kjøringen satt til 2 minutter. Siden det er en enkel geometri med lite variasjoner i vannstand er det ingen problemer med å få modellen til å konvergere. Komputasjonsintervallet ble satt til 0.1s, som er den minste verdien Hec-ras tillater. Dette ble valgt for å få en mest mulig stabil beregning og fordi modellen er relativt liten med små celler. Et lengre intervall kan føre til konvergeringsproblemer dersom hastighetene blir for store i forhold til cellene og komputasjonsintervallet.



Figur 7: Detalj av grid

Figur 8: Grid i Hec-ras: Geometric data

## 3.2 Eggafossen

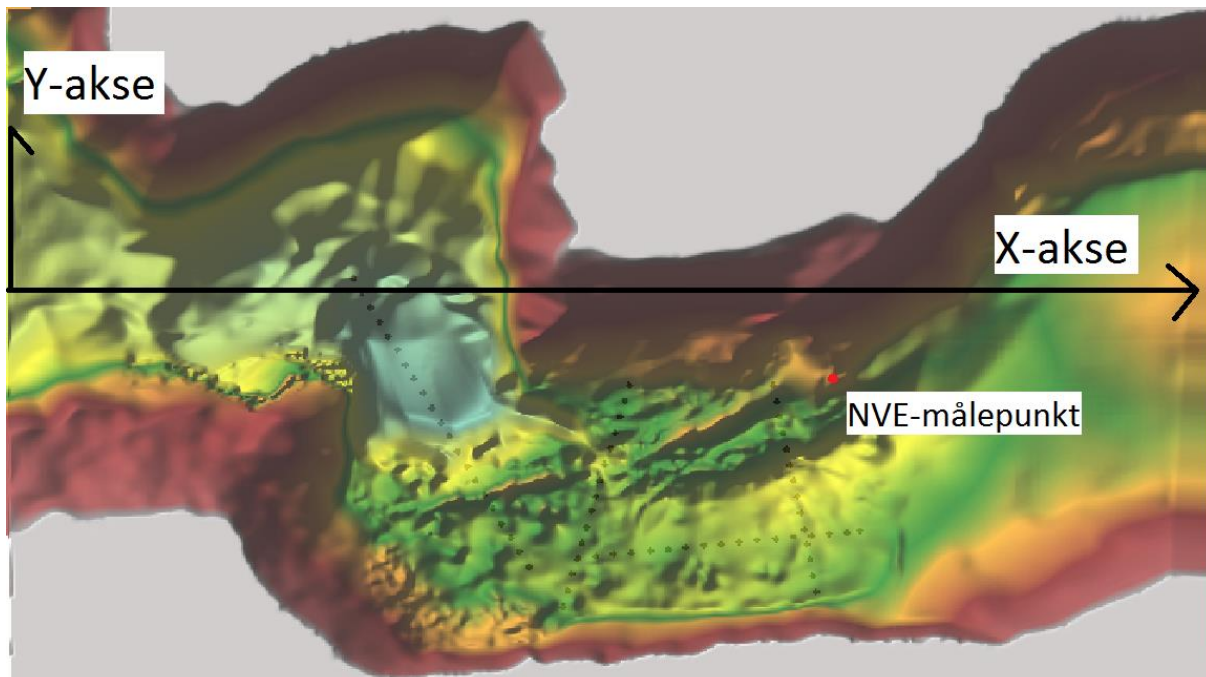
Våren 2016 ble det gjort forsøk i en modell av Eggafossen i vassdragslaboratoriet til NTNU. Denne modellen ble så modellert ved bruk av Hec-ras. I de følgende avsnittene vil først det fysiske forsøket gjennomført i laboratoriet bli beskrevet, og deretter vil modelleringen i Hec-ras bli beskrevet.

### 3.2.1 Fysisk forsøk i modell av Eggafoss

Modellen av Eggafossen har en markant foss i midten med en fallhøyde på ca. 250 mm ved lav vannføring. Oppstrøms fossen er det et slakt elveleie. Modellen har grovere detaljer i oppstrøms ende av modellen sammenliknet med området rundt fossen. Nedenfor fossen er det en dyp grop som fylles med vann under kjøring av modellen før det renner ut av modellen i nedstrøms ende. I nedstrøms ende er det påmontert en lem som gjør at man kan regulere nedstrøms vannstand. Modellen er koblet til hovedpumpesystemet i vassdragslaboratoriet og har tilgang til to pumper. Den ene pumpa har en kapasitet på 200 l/s mens den andre kan pumpe 100 l/s. Pumpene pumper vann til et høydebasseng med en lang overløpsterskel. Dette gjør at vannføringen til modellen holder seg konstant uavhengig av endringer i modellen. Fra høydebassenget går det to rør med ventiler som regulerer vanntilførselen inn i modellen. Begge rørene har elektroniske vannføringsmålere som er brukt til å måle vannføringen i forsøket.

#### *Koordinatsystemet i modellen*

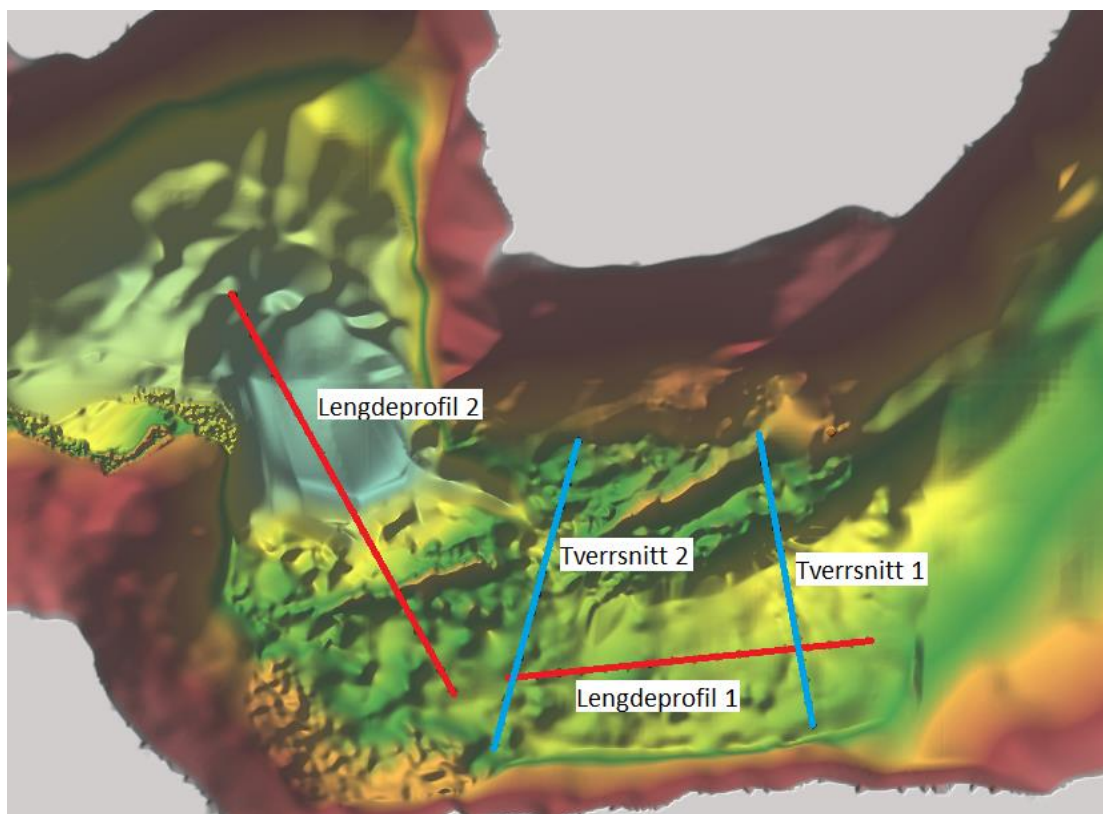
Koordinatsystemet brukt i forsøket er adoptert fra andre som har brukt modellen tidligere. Origo ligger ca. midt i elveleiet i utløpet av modellen med x-aksen oppover elva, og y-aksen langs med kanten av modellen som vist i figuren under. Z-aksen angir høyden, og har en nullverdi lavere enn det laveste punktet i modellen. Dette kommer av at koordinatsystemet mest sannsynlig stammer fra STL-filen som ble brukt til å lage modellen. I denne filen, som er brukt som basis for Hec-ras modellen, har en plan flate som ligger under terrenget fått høyde lik 0 m. Høydeverdien til modellen blir også bestemt av et NVE målepunkt som har fått høyde lik 1 m. Dette betyr at terrenget i innløpet til modellen har høyder på i området rundt 0.9 m, mens terrenget i utløpet har høyder rundt 0.55 til 0.60 m. Det laveste punktet i terrenget som ligger nedstrøms fossen har en høyde på ca. 0.12 m, mens terrenget ovenfor fossen ligger på ca. 0.8 m.



Figur 9: Koordinatsystem i Eggafossen modellen

Det ble registrert vannhastigheter i to tverrsnitt ovenfor fossen. Tverrsnittene ble plassert slik at de i størst mulig grad skulle være 90 grader på strømningsretningen til vannet. Plasseringen av tverrsnittene er som vist i figur 10. Hastighetsmålingene ble gjort med en ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) kalt Vectrino+. Hastighetene ble målt i 2 min per punkt med hundre målinger i sekundet. Programmet WinADV ble brukt for å luke ut resultater med dårlig korrelasjon for så å finne gjennomsnittet av de øvrige målingene. Disse verdiene blir så brukt som vannhastigheten i hvert av målepunktene.

Målingene av vannhastighet ble gjort av flere personer og er det er derfor gjort med litt varierende metode. Forsøket ble gjennomført med to forskjellige vannføringer på 6 l/s og 234 l/s. Med vannføring på 6 l/s er det gjort målinger på tre forskjellige høyder for tverrsnitt 1. Vannhøydene er målt for høydene 0.855 m, 0.83 m og 0.805 m. Noen av målepunktene får flere hastighetsmålinger i samme punkt, mens andre målepunkt ikke har noen hastighetsmålinger i det hele tatt. Dette kommer av det varierende terrenget, og at ADV måleren får problemer når den kommer for nære terrenget på den siden den foretar målingene. I punkter med registrerte vannhastigheter i flere lag er det beregnet et gjennomsnitt av hastighetene i laget, slik at man får en hastighet som gjelder for punktet. For de øvrige tverrsnittene er det gjort kun en måling i hvert punkt. I tverrsnitt 2 med vannføring på 6 l/s ble hastighetene registrert i en høyde på 0.855 m. For vannføring på 234 l/s er hastighetene målt i en høyde på 0.945 i begge tverrsnittene.



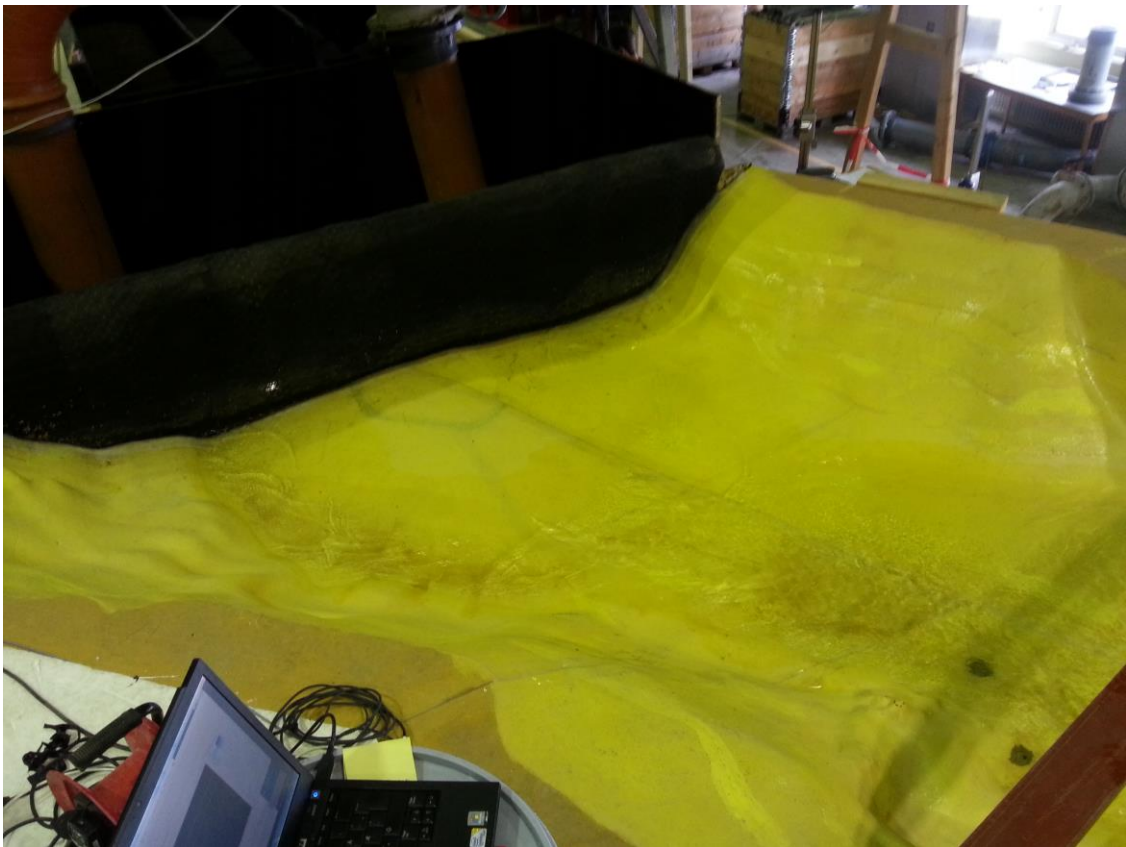
Figur 10: Hastighets tverrsnitt og lengdeprofiler for vannhøyde

Vannstandene ble målt i to lengdeprofiler i modellen. Et i elveleiet oppstrøms fossen og et gjennom fallet til siden for hovedfossen som vist i figur 10. Vannstandene ble målt med et ultrasonisk måleapparat som registrerer avstand ned til vannspeilet. Siden vannspeilet ikke er helt stasjonert, men stadig beveger seg litt, ble det også her gjort målinger over 2 min for hvert punkt og et gjennomsnitt av verdiene ble brukt som vannstand i punktet. En detaljert oversikt over alle målepunktene i Eggafoss modellen finnes i Vedlegg 1.

I Eggafoss modellen ble det gjort forsøk med to vannføringer. Den ene vannføringen var på 6 l/s. Med denne vannføringen var det rolig strømmende vann oppstrøms og nedstrøms fossen, og med vann i tilnærmet fritt fall over fossekanten. Lemmen i nedstrøms ende av modellen var ikke tatt i bruk, noe som resulterer i at modellens geometri blir bestemmende for nedstrøms vannstand.



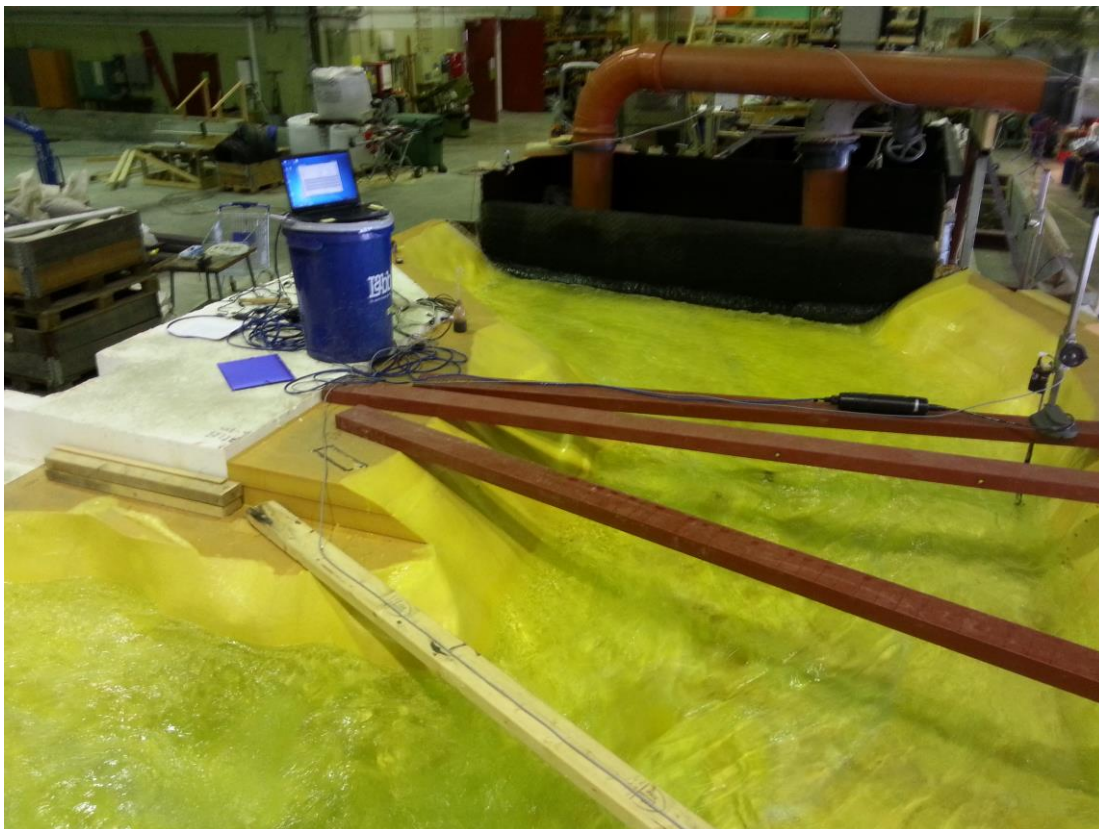
*Figur 11: Fysisk modell av Eggafossen med vannføring på 6 l/s. Området i midten av modellen med hovedfossen til venstre i elveleiet.*



*Figur 12: Eggafoss modellen med 6 l/s vannføring. Oppstrøms ende av modell.*

Det ble også gjort forsøk med vannføring på 234 l/s. Med denne vannføringen ble hele modellen fylt og vannoverflaten ble sammenhengende over hele lengden med fossen kun som en krumning i vannspeilet. Denne vannføringen tilsvarer en flomsituasjon i elva, og det er derfor naturlig at det er høy vannstand også nedenfor modellens område. Lemmen som regulerer nedstrøms vannstand er derfor satt slik at det ble en vannhøyde lik 1.00 meter ved utløpet av modellen. Dette ble målt ved hjelp av et stigerør installert i nedre del av modellen.

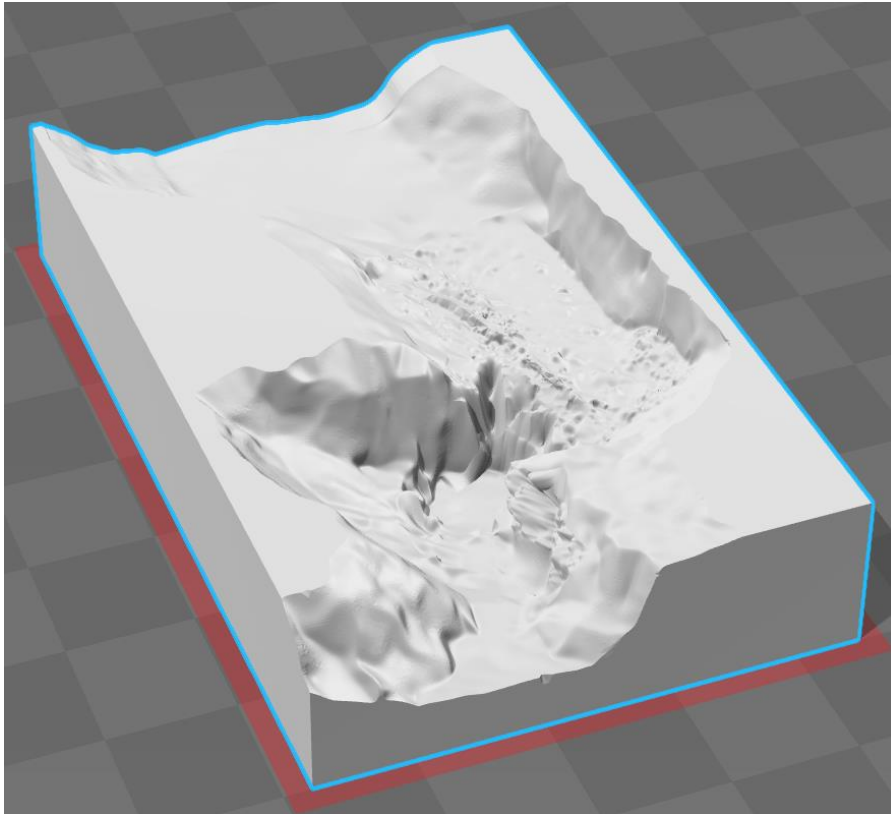
Siden det ble gjort mange forsøk og forsøkene gikk over flere dager var det også stigerør installert i oppstrøms ende av modellen. Disse ble brukt for å passe på at modellen stabiliserte seg med tilnærmet like verdier uavhengig av dagen forsøkene ble målt på. Alle resultatene som er tatt med i denne oppgaven hadde gode stabile stigerørsmålinger fra dag til dag med minimale endringer i vannstanden i stigerørene. I tillegg til de nevnte vannførings situasjonene på 6 og 234 l/s ble det også utført et målesett med vannføring lik 234 l/s men med en nedstrøms vannhøyde lik 1.05 m. Denne situasjonen i modellen var derimot veldig ustabil og varierte i nedstrøms vannhøyde ganske mye. Vannstanden i stigerøret nedstrøms endret seg mye selv ved små endringer på lemmen i nedstrøms ende av modellen. Selv uten endringer på lemmen eller vannføringen inn i modellen endret vannstanden seg fortsatt med flere cm over en periode på 15 min. Det ble utført vannhastighets- og vannstandsmålinger for 1.05 m nedstrøms vannstand, men pga. usikkerhetene rundt målingene ble det besluttet å droppe dem og heller fortsette med de to andre stabile strømnings situasjonene.



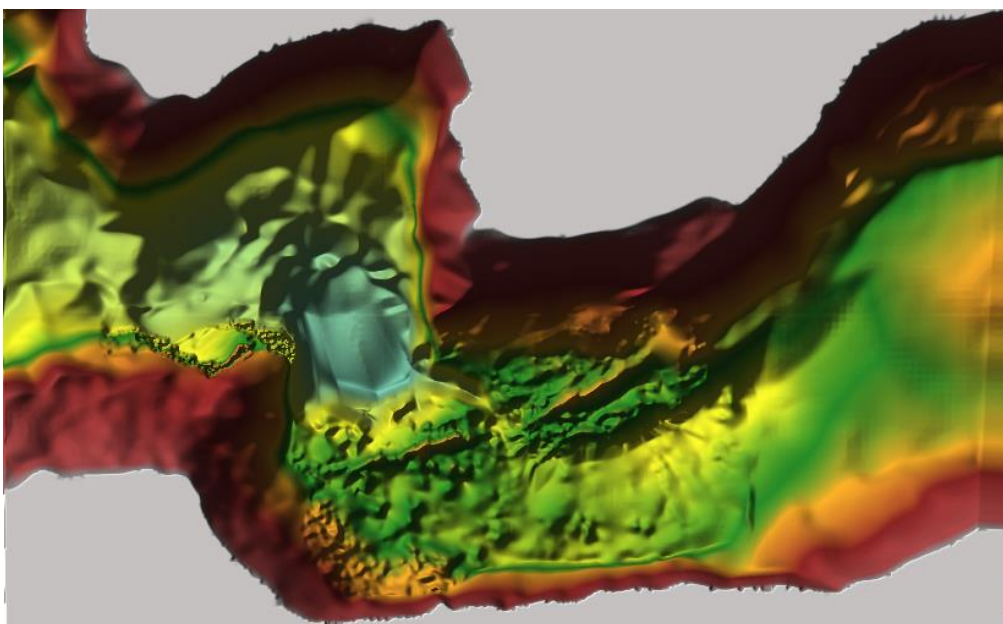
*Figur 13: Eggafoss modellen med 234 l/s vannføring*

### 3.2.2 Modellering av Eggafoss modellen i Hec-ras

Grunnlaget for terrenget i Hec-ras modellen til Eggafossen er hentet fra STL filen som ble brukt for å lage den fysiske modellen av Eggafoss. Terrenget som man ser på toppen av boksen i figur 14 er brukt for å lage en raster-fil i programmet Arcmap. Raster-filen er så lastet opp som terreng i Ras mapper i Hec-ras.

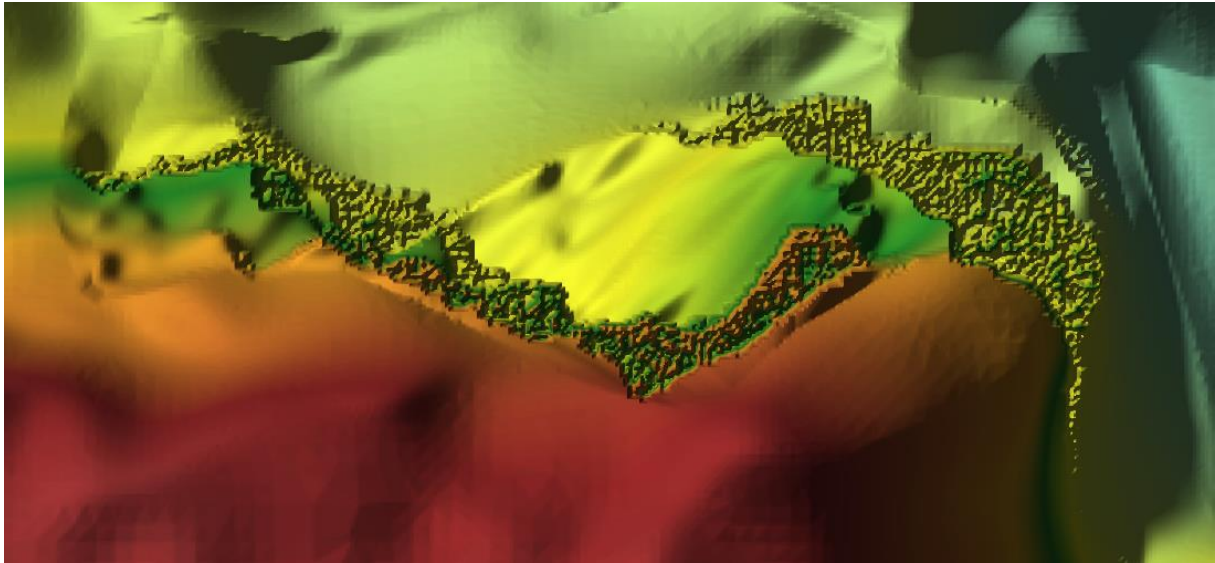


*Figur 14: Terrenget i STL filen vist i 3D builder*



*Figur 15: Terrenget i Hec-ras: Ras mapper*

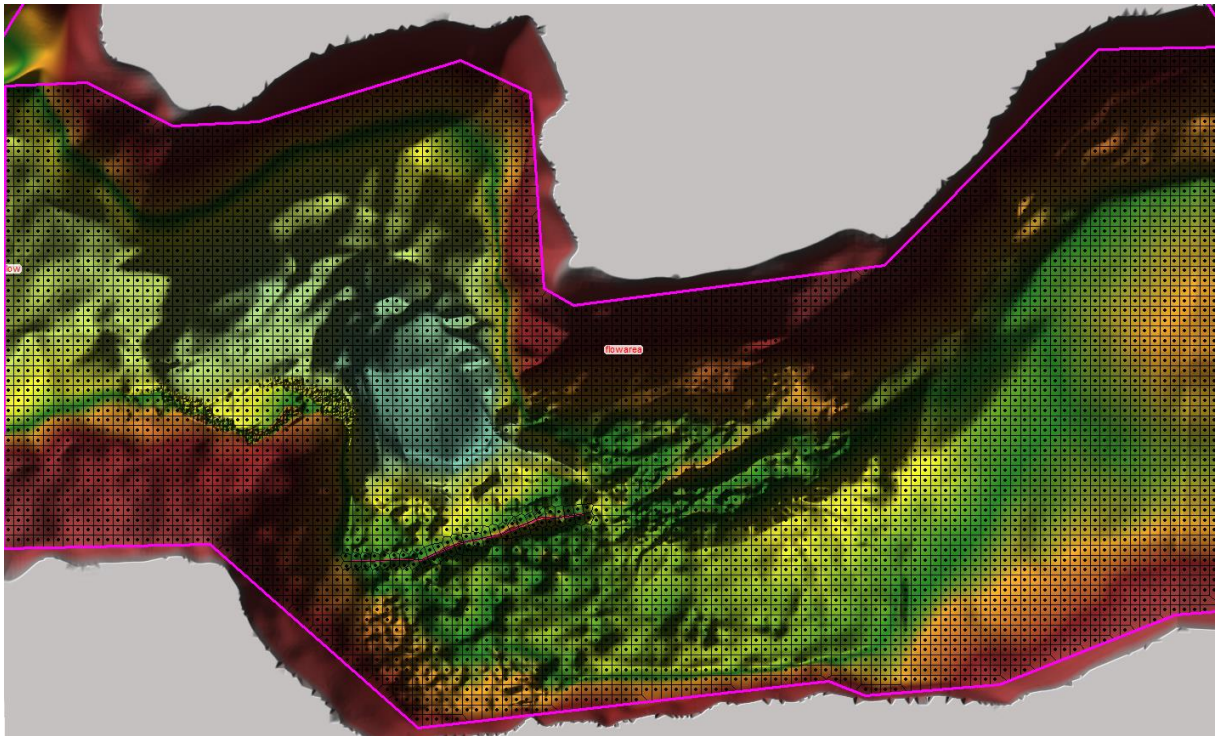
Siden STL- filen er tredimensjonal, mens Hec-ras kun bruker to dimensjoner, er det noe som går tapt i overgangen til en 2D raster fil. Områdene med overheng i den fysiske modellen har overflatepunkter med 3 forskjellige z-verdier i samme x- og y-koordinater. Dermed blir det umulig for en todimensjonal modell å framstille dette riktig i forhold til den fysiske modellen. Områder med overheng får derfor en kombinasjon av flere z-verdier, og det er uvisst akkurat hvordan dette påvirker modellen. For Eggafossen var dette aktuelt i et område nedstrøms fossen. Siden området er nedstrøms målepunktene og ligger litt oppå siden av modellen er det antatt at det ikke har gjort noen merkbare utslag for resultatene fra modelleringen.



*Figur 16: Området med overheng i den fysiske modellen vist i Hec-ras.*

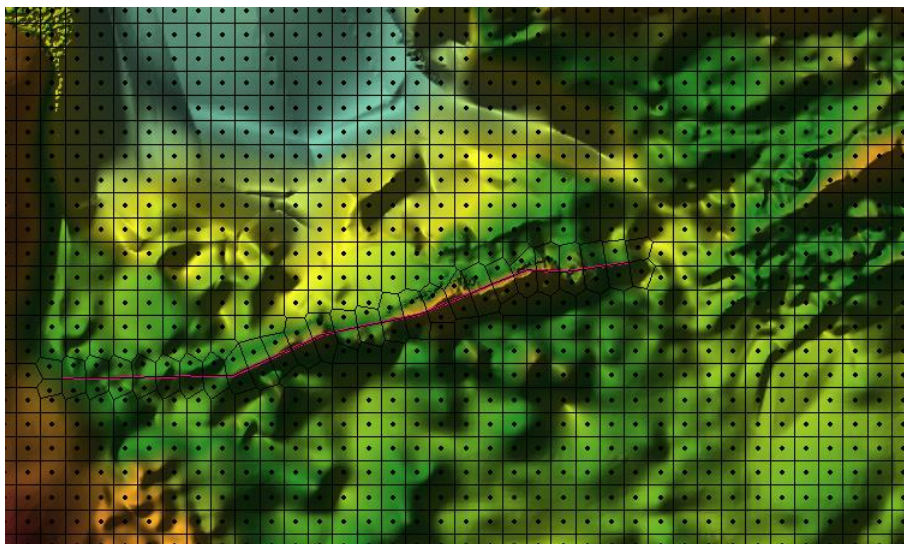
Grid lages ved at man definerer et flow area i Geometric Data som minimum dekker området med vannstrømning. Grid genereres automatisk av programmet innenfor det definerte flow area. Som standardverdi for kjøring i Hec-ras modellen ble det valgt et grid med cellestørrelse på 0.055 m i både x- og y-retning. Sammenliknet med modellen av renna er dette et grovere grid med nesten 4 ganger så store celler. Grunnen til dette er at kjøring med mindre grid i enkelte tilfeller hadde store konvergeringsproblemer og dermed ikke klart å gi tilfredsstillende resultater. En grunn til dette kan være Hec-ras sin begrensning når det kommer til komputasjonsintervall. Det korteste tidskrittet det er mulig å velge er på 0.1 sekunder. Dette skaper problemer når man får små celler og høye hastigheter i deler av modellen slik som man får i fossefallet. For denne modelleringen ble det derfor valgt å ha en større cellestørrelse enn først tiltenkt. Alternativt kan man skalere hele terrenget og lage en større modell. Dette omgår problemet ved at man får større avstander og tiden i Hec-ras modellen ikke lenger tilsvarer tiden i den fysiske modellen av fossen.





Figur 17: Grid eggafoss 0.055m celler i begge retninger.

Det er også satt inn en break line i terrenget i midten av elva ovenfor fossen. Denne sørger for at cellene legger seg inntil linja og dermed får den beste representasjonen av terrenget i cellene. For beregninger med lav vannføring ga det en mer stabil modell for lavere celledørrelser, mens for stor vannføring så det ikke ut til å ha noen effekt og kunne kanskje vært fjernet for den delen av beregningene.



Figur 18: Detalj av grid ved foss og break line.

Som for renne modellen lages det også her linjer for oppstrøms og nedstrøms grenseverdier langs kantene av flow area. I innløpet til modellen langs høyre kant i figur 17 velges det en

oppstrøms grenseverdi på henholdsvis 6 l/s og 234 l/s, mens det nedstrøms langs venstre side i figur 17 velges en vannstand på henholdsvis 0.61 m og 1.00 m. Mannings tallet settes til 0.02 som standard. Komputasjonsintervallet ble satt til 0.1 sekunder som er det korteste Hec-ras tillater, mens tidsperioden ble satt til 10 min slik at man er helt sikker på at man får stabile resultater. Alle beregningene er gjort med like lang tidsperiode slik at dette ikke påvirker beregningstiden når denne sammenliknes senere.

#### *Standard parametere i Hec-ras*

Det første som ble gjort da Hec-ras modellen var klar for å gi resultater var å lage et sett med standardparametere for beregningene i modellen. Disse er brukt for beregningene av vannhastighetene og som utgangspunkt for testene av enkeltparametere senere i resultatdelen.

Parameterne som kunne finnes fra det fysiske modellforsøket er stort sett valgt tilsvarende det man fant dem til å være i labben. Vannføringen var målt relativt nøyaktig, og med pumpeystemet som var tilgjengelig var det meget stabil vannføring til modellen. Vannføring lik 6 l/s og 234 l/s er brukt for de to forskjellige strømnings situasjonene.

Som nedstrøms vannstand er vannhøydene 0.61 m og 1.00 m brukt for henholdsvis 6 l/s og 234 l/s. 1.00 m er samme verdi som for stigerøret som målte vannhøyden når lemmen ble justert i forsøket, og dette er derfor en ganske nøyaktig verdi selv om stigerøret ikke var plassert helt i enden av modellen. For forsøket med 6 l/s var det derimot ikke satt opp noen lem og vannet nedstrøms rant bare over kanten i enden av modellen. Siden vannspeilet var helt flatt nedstrøms fossen i dette forsøket, og det ikke ble registrert noen vannhøyde i stigerøret, ble først verdien 0.6 m brukt som nedstrøms vannstand. De tidlige kjøringene av programmet ble ofte stoppet på grunn av feilmelding om konvergeringsfeil i celler. Av uvisse grunner ble dette problemet mindre av en liten økning av nedstrøms vannstand og man endte derfor opp med 0.61 m som nedstrøms grensebetingelse for forsøket med 6 l/s vannføring.

Tidskrittet i Hec-ras har en begrensning ved at det laveste tidskrittet er på 0.1 s. Dette er derfor valgt som standard tidskritt for Hec-ras modelleringen. Dette er valgt i mangel på andre alternativer. Hadde det fantes et tidskritt som hadde vært kortere enn 0.1 s hadde dette blitt valgt isteden, men med Hec-ras 5.0.1 er dette det korteste man får. For modellering av elver i naturlig skala er ikke dette et problem. Problemet oppstår kun fordi den fysiske Eggafossen modellen allerede er skalert ned til en mye mindre modell enn den virkelige fossen. En skalering av Hec-ras modellen hadde vært løsningen på problemet med begrensningene som ligger i programmet, men det ble det ikke tid til i forbindelse med denne oppgaven.

Hec-ras kan velge mellom to likningssett for beregningene. Enten Diffusion wave eller Full Momentum. Testing av de to likningssettene viste at resultatene ved bruk av Full Momentum likningene ga en riktigere representasjon av vannstandene. Diffusion wave likningssettet gir alt for lav vannstand i alle tester som ble gjort, og vannlinjen blir nesten helt flat uavhengig av hvor det er i modellen. Full momentum likningssettet er derfor valgt som standard for Hec-ras.

Mannings tallet er en parameter det er vanskeligere å bestemme. Det er ikke en parameter det er lett å måle fra den fysiske modellen, og det er heller ikke noe åpenbart valg fra Hec-ras sin side siden programmet ikke gir noen begrensninger for hva man kan velge som mannings tall for modellen. Testing med Hec-ras modellen ga heller ikke noe entydig svar på hvilken verdi Mannings tallet bør ha, da samsvaret med de målte vannstandene varierte stort for kjøring på

6 l/s og 234 l/s. Dette kan man se i testen av Mannings parameteren senere i resultatdelen. Ut ifra testing med 234 l/s så det ut som 0.02 var en verdi som kunne brukes. Selv om dette ikke gir de beste resultatene for modellen med 6 l/s var dette en verdi på Mannings tallet som fungerte i renna også, og 0.02 ble derfor valgt som standard Mannings tall for Hec-ras modellen.

Siste standard parameter som måtte bestemmes var størrelsen på cellene. Her var det et ønske om å ha så små celler som mulig uten at det ga konvergeringsproblemer.

Konvergeringsproblemene kommer som en følge av for høye hastigheter gjennom cellene med begrensningen som 0.1 s tidskritt gir i Hec-ras modellen. Det ble først forsøkt å bruke samme cellestørrelse som for renna med kvadratiske celler med sider på 0.03 m. Det viste seg imidlertid å være vanskelig å få en stabil beregning for alle de forskjellige parameterjusteringene man ønsket å teste. Spesielt for kjøring på 6 l/s ga denne cellestørrelsen problemer med stabiliteten. Ut ifra hvilke celler programmet rapporterte om konvergeringsfeil i så det ut som det var i området rundt fossen at det oppstod problemer. Maks antall itereringer ble økt fra Hec-ras sin default innstilling på 20 til ny maks på 40, men det ga ingen endring i resultatene. Det var viktig for å sikre godt resultater at standard innstillingene ble satt godt innenfor hva programmet klarte uten å få problemer med konvergering i enkelt celler. Derfor ble standard cellestørrelse for Hec-ras satt til 0.055 m kvadratiske celler. Dette ga handlingsrom for å kjøre test av hvordan cellestørrelsen påvirker resultatene med både større og mindre celler enn standard oppsettet, og det ga en god margin for problemer som følge av manglende konvergering i celler når man kjørte programmet.

<b>Vannføring 6 l/s</b>	
Nedre grensebetingelse	0.61 m
Tidskritt	0.1 sekunder
Liknings sett	Full Momentum
Mannings tall	0.02
Cellestørrelse	0.055 m x 0.055 m

*Tabell 2: Parametere for vannføring på 6 l/s i Hec-ras med mindre annet er spesifisert*

<b>Vannføring 234 l/s</b>	
Nedre grensebetingelse	1.00 m
Tidskritt	0.1 sekunder
Liknings sett	Full Momentum
Mannings tall	0.02
Cellestørrelse	0.055 m x 0.055 m

*Tabell 3: Parametere for vannføring på 234 l/s i Hec-ras med mindre annet er spesifisert*



## 4. Resultater og Diskusjon

### 4.1 Renne i Riverflow og Hec-ras

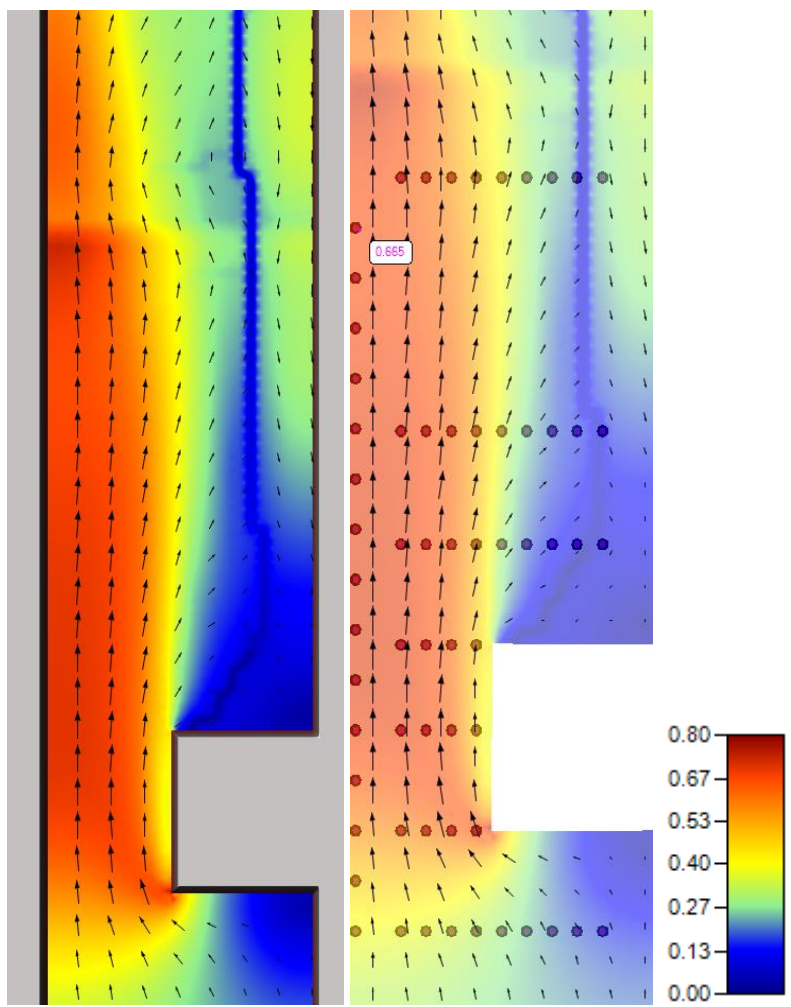
I denne delen av oppgaven vil resultatene fra Hec-ras beregningene i Renna bli sammenliknet med resultatene som er beregnet i Riverflow, fra prosjektoppgaven til Magnus Bjerkeli (Bjerkeli, 2015), og de målte verdiene fra laboratorieforsøket gjort i samme oppgave.

#### 4.1.1 Vannhastigheter

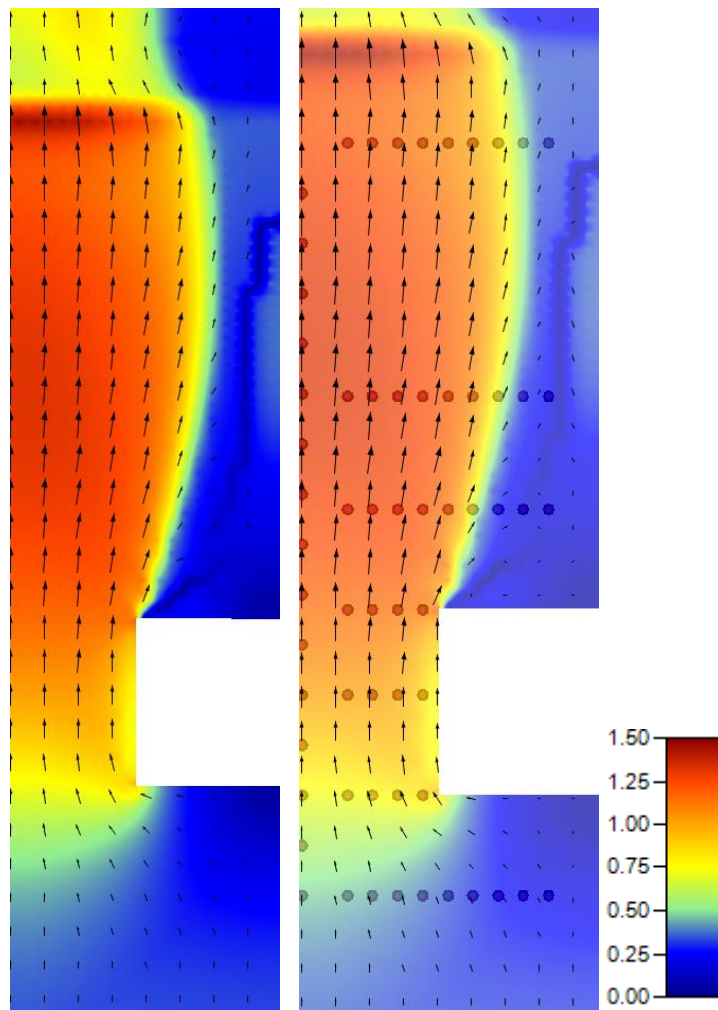
Vannhastighetene målt i Hec-ras kommer i form av et kart over hastighetene i Ras Mapper. Hastigheten i hvert enkelt punkt er gitt som den høyeste hastigheten i punktet. Det betyr at man ikke får retningsvektorer i x- og y-retning slik man får i Riverflow og fra Vectrino+. I de fleste målepunktene vil ikke dette påvirke resultatene mye fordi vannstrømningen i kanalen er parallell med lengden på kanalen i de fleste punktene, men det vil påvirke noen av målepunktene som ligger i området foran og bak klossen siden denne påvirker strømningsmønsteret i renna.

Alle beregningsresultatene fra renna ved Situasjon 1 ligger i vedlegg 4, mens resultatene fra Situasjon 2 ligger i vedlegg 5 og 6.

Et overblikk over hastighetene fra Hec-ras beregningen av situasjon 1 kan sees i figur 19. Til venstre i figuren kan man se hastighetene i området forbi boksen med hastighetsvektorer slik de vises i Hec-ras: Ras-mapper, og til høyre vises samme området med målepunktene fra alle tverrsnittene. Hastighetene er høyest fra og med boksen der det reduserte tverrsnittet tvinger opp farten for å få den samme vannmengden forbi på et mindre tverrsnitts areal. Hastighetene fortsetter å være store i området etter boksen og man kan se at det dannes en resirkulasjonssone bak boksen. Denne resirkulasjonssonen med negative vannhastigheter opprettholder den økte hastigheten forbi boksen. Vannhastigheten i resten av tverrsnittet må øke for å kompensere for den negative hastigheten i resirkulasjonssonen. I tillegg til at det reduserer tverrsnittet der vannet renner i hovedretningen. For at vannføringen skal holde seg konstant reduseres derfor ikke farten tilbake til slik den var i renna før boksen. Man kan også se at hastighetene reduseres helt øverst i figuren. Dette er fordi plata som ligger i bunnen av renna ender her og vannet får større dybde og dermed mindre hastighet.



Figur 19: Vannhastigheter rundt boksen i Situasjon 1 med hastigheter i m/s



Figur 20: Vannhastigheter rundt boksen i Situasjon 2 med hastigheter i m/s

Vannhastighetene for situasjon 2 er vist i figur 20. Her er det ca. en dobling av den høyeste hastigheten. Senkningen av nedstrøms vannstand fører til en lavere vannstand i hele modellen og dermed et redusert strømningsstverrsnitt, noe som fører til høyere hastigheter i renna. Området med stor hastighet (rødt i figuren) forbi boksen, som fortsetter videre på venstre side av renna er her mye større enn det var for situasjon 1. Hvis man ser på hastighetsvektorene så er strømmingen mer ensrettet nedover modellen og det er knapt plass til resirkulasjonssonen som nesten forsvinner helt. Reduksjonen i vannhastighetene som følge av at plata slutter er enda tydeligere her fordi den økte dybden i området etter plata får større innvirkning siden vannhybden er redusert i forhold til situasjon 1.

Vannhastighetene fra tverrsnitt 1, 3, 6 og 7 for situasjon 1 viser at Hec-ras generelt har en for høy hastighet i forhold til de målte verdiene. Også i de to punktene der hastighetene er negative (siste punkt i tverrsnittene 6 og 7) gir Hec-ras for store hastigheter. Noe av dette kan skyldes at det er den totale hastigheten som vises i Hec-ras, men som man ser i figur 20 er det flere målepunkter der hastighetsvektorene peker rett nedover renna, uten at dette ser ut til å gjøre at hastighetene blir likere de målte verdiene i samme punktet. Hastighetsberegningene fra Riverflow ser ut til å gjøre en mye bedre jobb med å vise vannhastigheten i renna.

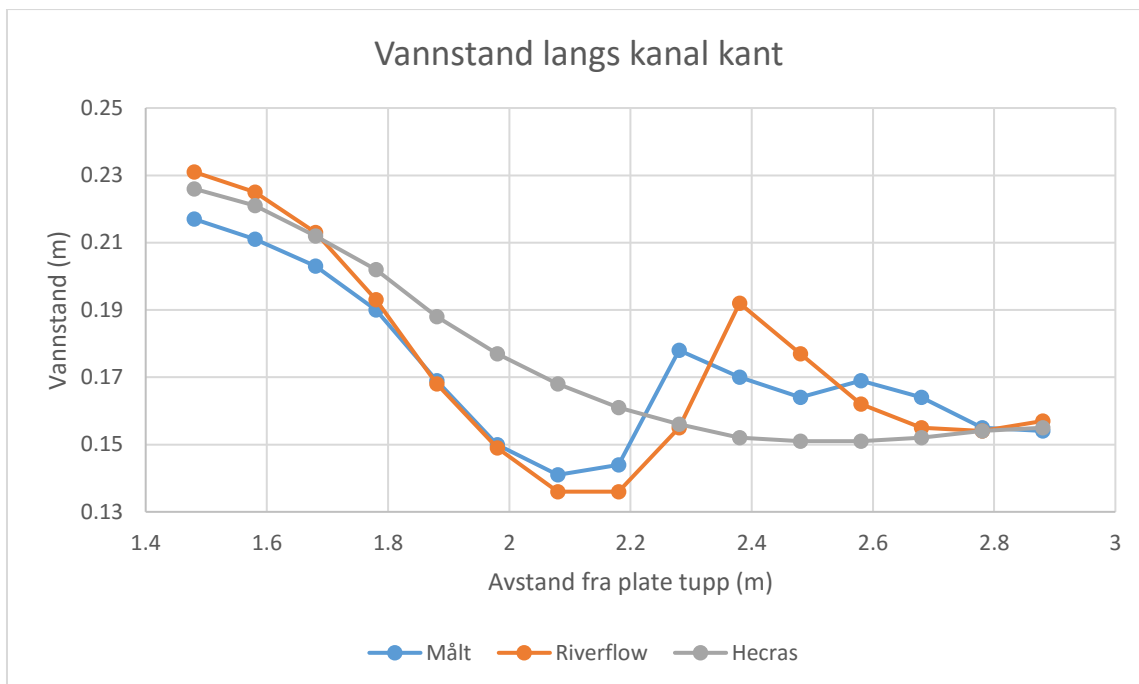
Vannhastighetene fra situasjon 2 er dessverre ikke like informative siden ADV'en hadde feil innstillinger for å måle større hastigheter, og det er derfor bare de punktene med lavere hastigheter hvor resultatene er til å stole på. Vannhastighetene for tverrsnitt 1 er de eneste som ikke har målepunkt ødelagt av feil ADV innstillinger. Her ser man at vannhastighetene beregnet av Hec-ras treffer mye bedre sammenliknet med de målte hastighetene og hastighetene fra Riverflow. Siden hastighetene som er større enn ca. 0.5 m/s ikke har blitt registrert riktig av ADV'en blir det vanskelig å si noe om hastighetene fra Hec-ras sammenliknet med de målte verdiene. Dersom man isteden sammenlikner med Riverflow så kan de se ut som om hastighetsberegningene fra Hec-ras blir bedre ved høyere hastigheter, men uten målt hastigheter å sammenlikne med er dette langt fra sikkert.

#### 4.1.2 Vannstander

Fra tverrsnittene for situasjon 1 kan man se at både Hec-ras og Riverflow beregningene gir gode resultater når man sammenlikner vannstandene med de målte vannstandene i renna. I de fleste tverrsnittene, med unntak av tverrsnitt 3, ser det ut som om Hec-ras treffer enda bedre enn Riverflow, men det er snakk om en forskjell på noen få mm mellom de forskjellige vannhøydene i de fleste målepunktene. Med målinger utført med målestav er dette uansett innenfor feilmarginen man kan forvente fra de fysiske målingene. Begge modellene presterer å beregne vannstandene godt, men det er også å forvente av en beregning av en strømningsituasjon som har minimal endring av vannstanden gjennom modellen.

For situasjon 2 var vannstandene i renna mye mer varierende, noe man kan se fra de målte verdiene. Her er forskjellene på de målte verdiene og vannhøydene beregnet med Hec-ras og Riverflow mye større. I tverrsnitt 1 oppstrøms boksen har både Hec-ras og Riverflow vannstander som ligger rundt 15 mm høyere enn de målte. Forholdet mellom punktene er imidlertid god hvis man ser bort ifra at de ligger for høyt. I Tverrsnittene 2-4 som ligger i innsnevringen forbi boksen, gjør Riverflow en bedre jobb enn Hec-ras som konstant ligger 10 til 20 mm over de målte verdiene. Hec-ras gir heller ikke vannhøyder som gjenspeiler de raske endringen i vannstandene forbi boksen som man kunne se under forsøket, og som de målte verdiene viser. Riverflow gir bedre resultater sammenliknet med de målte verdiene og i tverrsnitt 3 og 4 ser man at Riverflow følger endringen i vannstanden bedre enn Hec-ras. De siste tre tverrsnittene (5, 6 og 7) ligger nedenfor boksen og man kan se fra de målte verdiene for vannstanden at det er en ganske urolig vannoverflate med raske endringer i vannhøydene. Dette vises også fra Riverflow beregningene som gir et beregnet froude tall for hvert punkt. Nesten alle froude tallene fra dette området ligger på pluss/minus 1 som betyr at det er akkurat på grensen mellom overkritisk- og underkritiskstrømning. Når forsøket ble gjennomført i laboratoriet kunne man se at det var veldig urolig vann og det så ut som det var vannstandsprang flere steder nedenfor boksen. Sprangene var så små og mange at det var vanskelig å finne et klart definert vannstandssprang. Tverrsnitt 5-7 forsterker inntrykket av at det er Hec-ras som trekker det korteste strået når vannspeilet ikke lenger er flatt. Riverflow følger de målte verdiene bedre selv om vannstandene fra Riverflow også bommer med 10-15 mm i enkelte målepunkt. Vannstandene beregnet i Hec-ras legger seg derimot nesten helt flatt gjennom hele tverrsnittet og det er nesten ingen indikasjon på at det er en strømningsituasjon med raske endringer i vannstandene.





Figur 21: Lengdeprofil med vannstander langs kanalkanten med Situasjon 2

Lengdeprofil fra Situasjon 2, vist i figur 21, viser vannstandene langs den venstre kanalkanten. Riverflow gir vannhøyder som følger de målte verdiene relativt bra. Vannhøydene er litt store i de første målepunktene oppstrøms boksen. I området forbi boksen gir Riverflow verdier som er nesten identiske som de målte verdiene, og selv om verdiene ikke treffer helt på vannlinjen nedenfor boksen så gir vannlinjen et godt bilde på hvordan strømningssituasjonen er nedstrøms boksen. Vannhøydene fra Hec-ras holder seg mye mer stabile og det er ikke de samme store endringene i vannhøydene fra punkt til punkt som de målte verdiene viser. Vannhøydene fra Hec-ras følger hverandre fra punkt til punkt med små endringer, noe som gir et mye flatere lengdeprofil enn det man får fra både Riverflow og det målte lengdeprofilet. Både toppene og bunnene på lengdeprofilet blir flatet ut og man kan ikke lenger se noe vannstandssprang, noe som kommer tydelig fram for de to andre kurvene.

Tidsbruken for beregningene i Riverflow ble ikke registrert når disse beregningene ble utført. Til Hec-ras beregningen ble det brukt en privat bærbar data til å utføre beregningene, mens Riverflow som er lisens basert, ble beregningene utført hos Sweco som har en betydelig kraftigere data. Uten at det er registrert noen nøyaktig tid på hvor lang beregningstiden i Riverflow var, er det vært å merke seg at beregningstiden til Hec-ras er betydelig kortere selv med en svakere datamaskin.

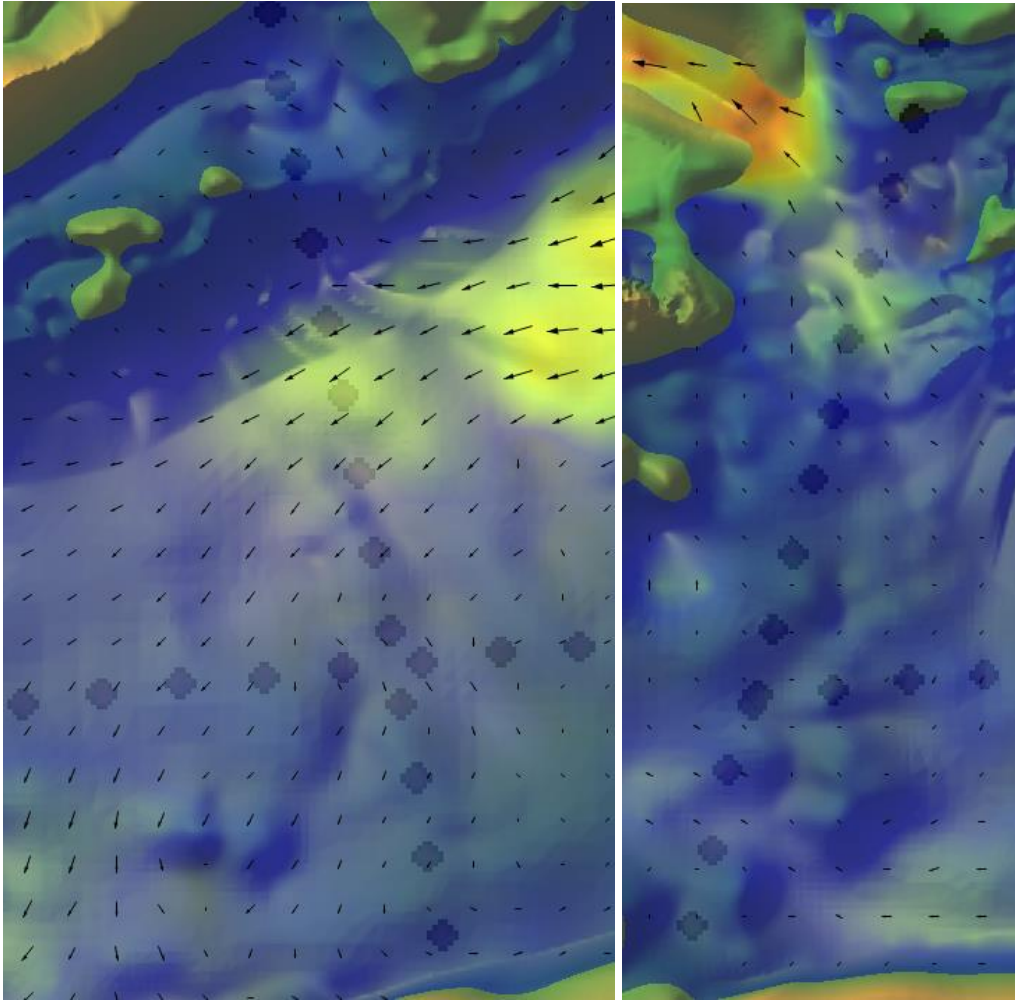
## 4.2 Eggafoss modellen i Hec-ras

I denne delen av oppgaven vil først resultatene fra modelleringen av Eggafossen i Hec-ras bli sammenliknet med de målte verdiene fra det fysiske modell forsøket. Deretter vil det bli sett på hvordan de forskjellige input parameterne påvirker resultatene fra Hec-ras.

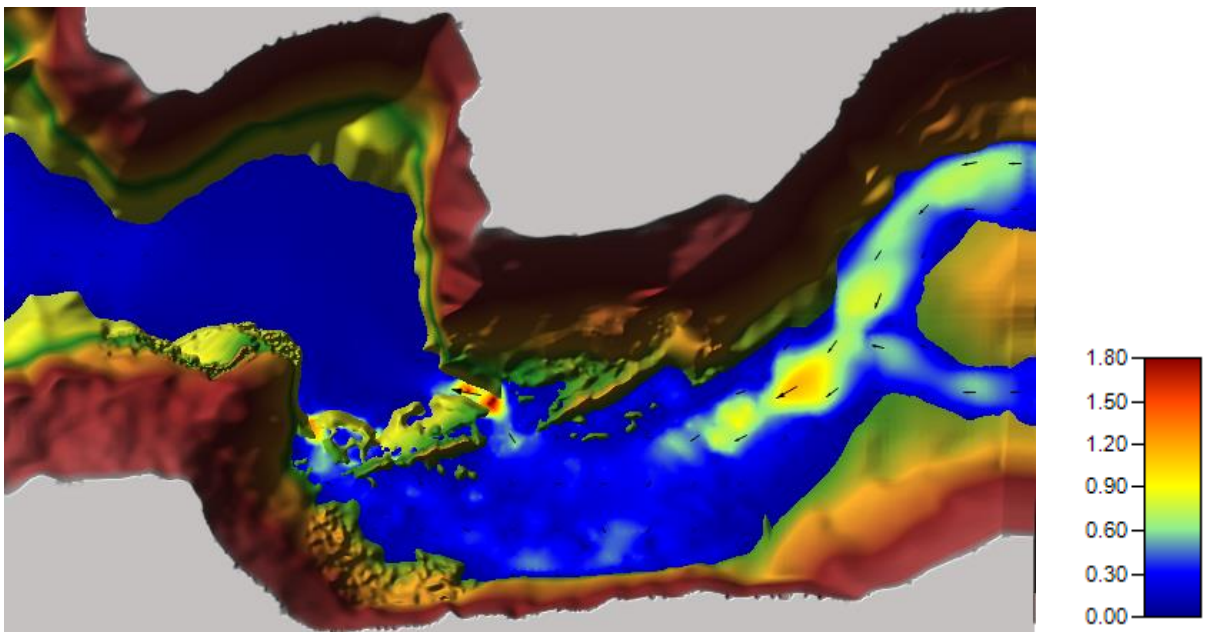
### 4.2.1 Vannhastigheter

Alle beregningsresultatene for vannføring i eggafossen finner man i vedlegg 3.

Når man sammenlikner vannhastighetene fra målingene i den fysiske modellen med resultatene fra Hec-ras er det noen begrensninger som må tas hensyn til når det kommer til å lese resultater fra Hec-ras. Resultatene fra Hec-ras kommer i form av et kartlag i Ras-Mapper og leses av ved å holde over punktet i modellen man ønsker verdien fra. Dette fungerer fint for vannstander, men har noen begrensninger når det kommer til å lese av hastighetene. Hastighetene vises som høyeste hastighet i hvert punkt av modellen, men det framkommer ikke hvilken retning denne hastigheten har i punktet. Får å finne strømningsretningen kan man legge på et felt med vektorer for kartlaget. Dette fungerer greit for større hastigheter og der det er en markant strømningsretning. I områder der hastighetene er lave og i områder med bakevjer med strømning i motsatt retning av hovedstrømningsretningen er det veldig vanskelig å bestemme hvilken retning vannet strømmer. Dette kan man se i figur 22. Hastighetene målt i forsøket er derfor er derfor omgjort fra x-, y-, z-hastigheter slik at x- og y-hastighetene blir en ny total hastighet ved bruk av Pytagoras. Hastigheter i z-retning er ikke tatt hensyn til siden det sammenliknes med en todimensjonal numerisk modell.

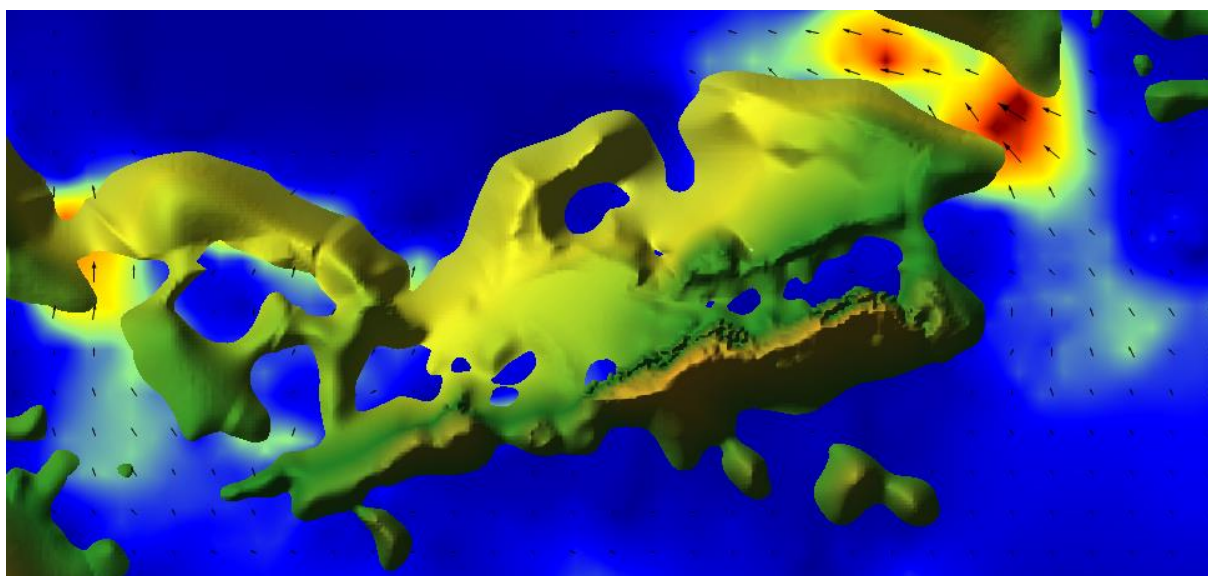


Figur 22: Til venstre: Tverrsnit 1 ved vannføring på 6 l/s. Til høyre: Tverrsnitt 2 ved vannføring på 6 l/s.



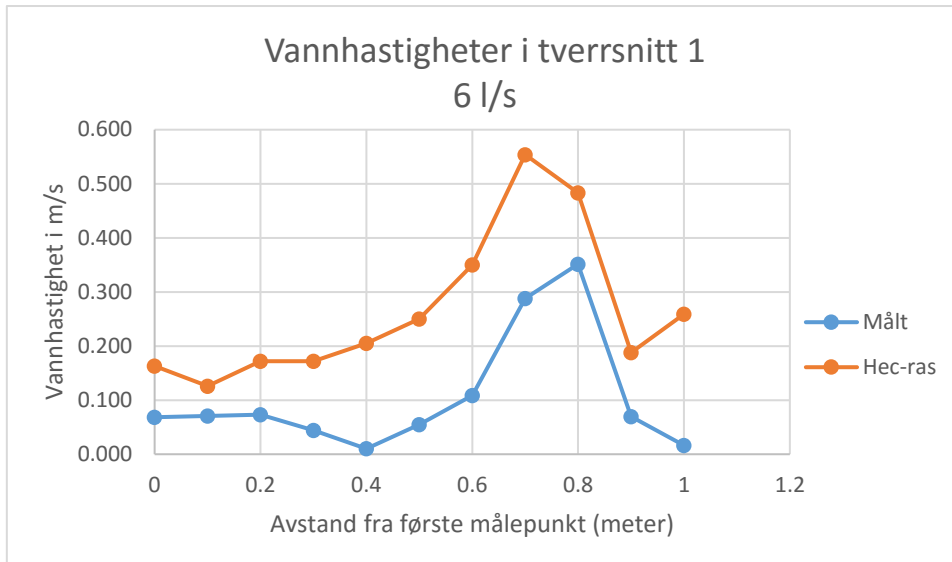
Figur 23: kart over Hastigheter i m/s ved 6 l/s vannføring i Hec-ras

I figuren over vises hastighetene beregnet i Hec-ras med vannføring lik 6 l/s. Hastighetene er for det meste veldig lave. Nedstrøms fossen i nederste del av modellen er det meget rolige strømningsforhold med liten bevegelse på vannet. Oppstrøms fossen holder vannet en høyere hastighet da det her er mye grunnere enn det er nedstrøms. Innsnevringene i øverste ende av modellen fører til økt hastighet der, mens den klart største hastigheten kommer i fossen i midten av bildet. I den fysiske modellen er vannet her nærme å være i fritt fall og det ser ut som om Hec-ras har klart å beregne et kontinuerlig vannspeil på den høyre siden av fossen. På den andre siden av fossen er det mer uklart hva som har skjedd. Her viser økningen i vannhastigheten og hastighetsvektorene klart hvilken retning vannet går i, men det ser ikke ut som Hec-ras har beregnet et kontinuerlig vannspeil. I den fysiske modellen så var det helt klart at noe vann gikk i dette området også selv om mesteparten fulgte hovedløpet til høyre i figuren. Om dette betyr at Hec-ras har beregnet fritt fall på vannet i denne delen av modellen og derfor ikke har et kontinuerlig vannspeil, eller om det er en følge av for store celler brukt i beregningen, er usikkert. Resultatet ble uendret ved å redusere cellestørrelsen til 0.045 m x 0.045 m og mindre celler enn dette klarer ikke Hec-ras å kjøre med den modellen som er laget.

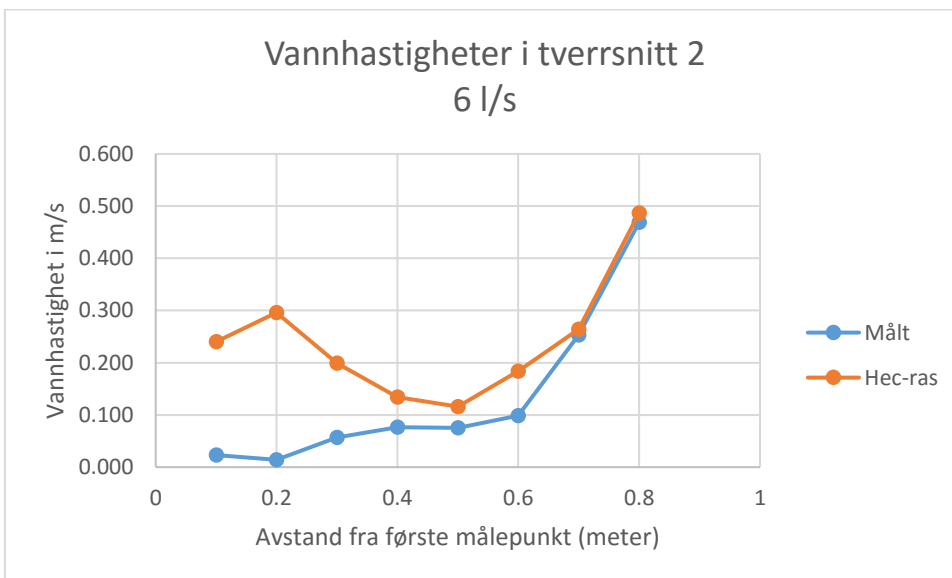


Figur 24: Detalj ved fossen (hastigheter ved 6 l/svannføring)

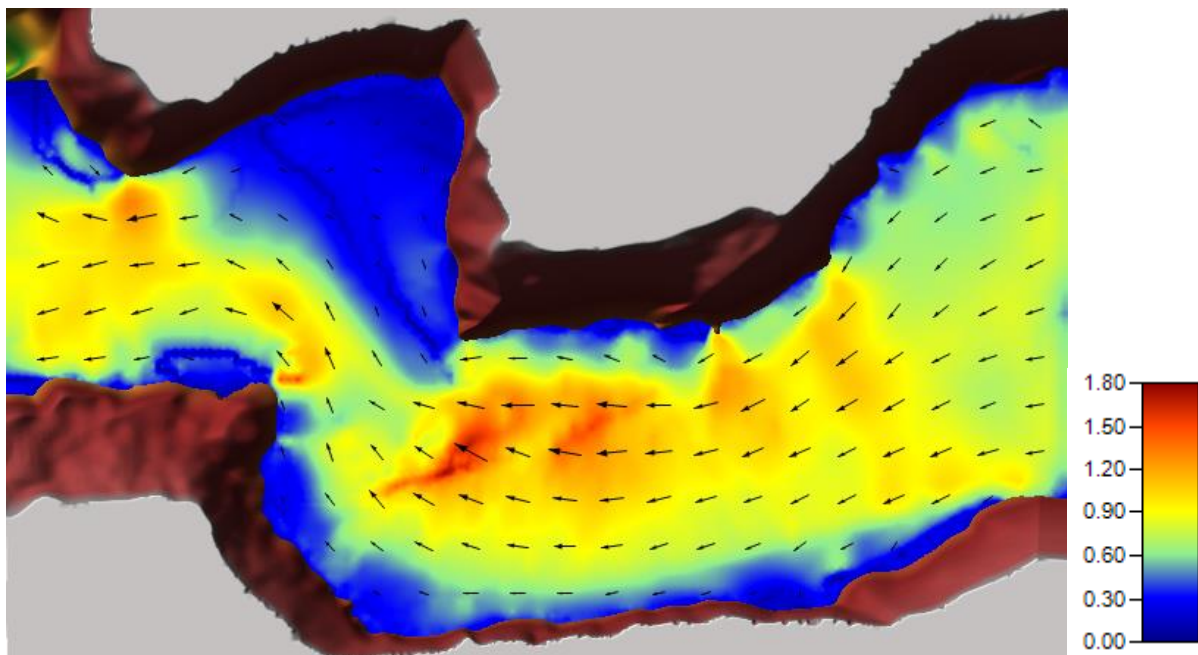
For vannføring på 6 l/s ser man at det er ganske store forskjeller på de målte vannhastighetene og hastighetene man får fra Hec-ras. I tverrsnitt 1, figur 25, beregner Hec-ras en høyere hastighet i samtlige av målepunktene. I tverrsnitt 2, figur 26, er det litt bedre resultater, og for de siste målepunktene er det god sammenheng mellom de målte hastighetene og de beregnede. Dette er punktene som ligger nærmest fossen og det er også punktene med høyest hastighet. Det kan også se ut som om Hec-ras ikke klarer å beregne hastighetene like bra langs kanten av modellen der vannet får redusert hastighet.



Figur 25: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 1 med vannføring på 6 l/s



Figur 26: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 2 med vannføring på 6 l/s

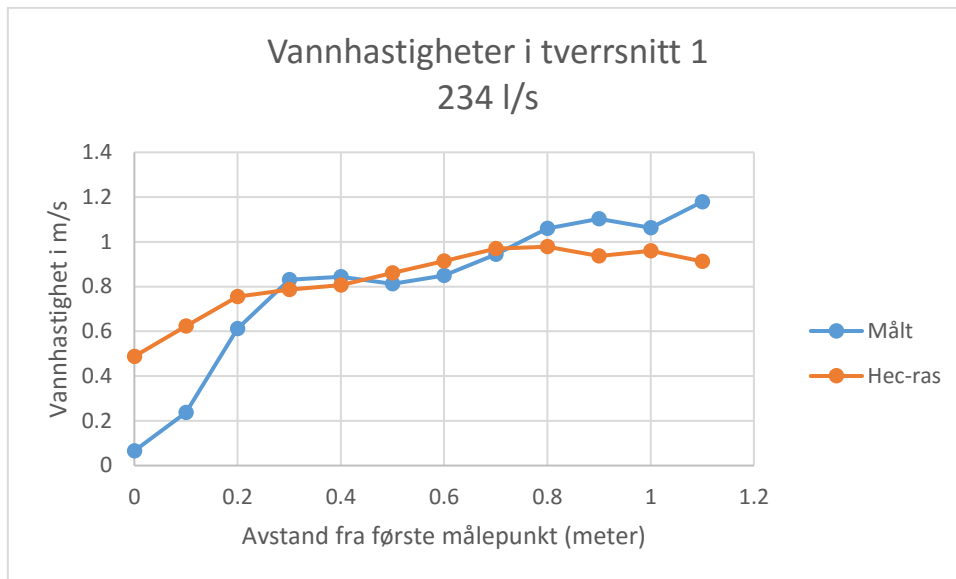


Figur 27: kart over Hastigheter i m/s ved 234 l/s vannføring i Hec-ras

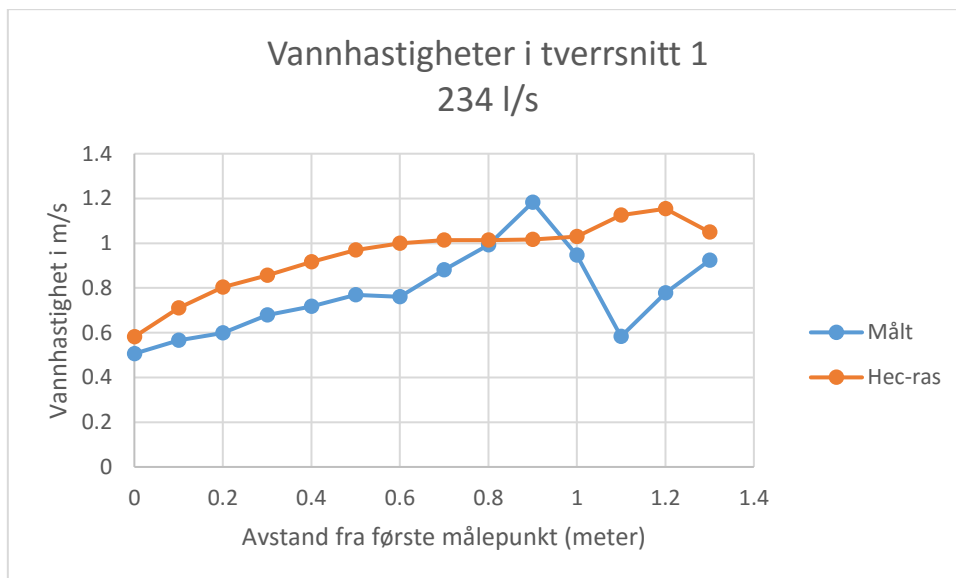
Med vannføring på 234 l/s gir Hec-ras vannhastigheter som vist i figur 27. Med denne vannføringen er den klart definerte fossen borte og vannet strømmen jevnt i hele modellen. Hastighetene er generelt høyere selv om den høyeste hastigheten fortsatt ligger på rundt 1.8 m/s. Det er et mer tradisjonelt elveleie med høye hastigheter i midten av elva og avtagende hastighet langs kanten av modellen. Man kan se på hastighetsvektorene at vannet beveger seg nedover modellen uten at det er oppstått noen store bakevjer slik det var enkelte plasser med vannføring på 6 l/s. Det er betydelig lettere å lese informasjon fra denne figur 27 sammenliknet med figur 22. Når vannhastighetene er jevnt fordelt og man har klare strømningsretninger i modellen fungerer Hec-ras sin måte å framlegge resultatene på mye bedre enn når det er store forskjeller på hastighetene i forskjellige deler av modellen.

Resultatene fra vannføring på 234 l/s viser langt bedre samsvar mellom hastighetene målt i modellen og hastighetene beregnet fra Hec-ras sammenliknet med resultatene fra 6 l/s. I tverrsnitt 1, figur 28, er det først og fremst i de første målepunktene i ytterkanten av modellen det er en forskjell i vannhastighet. Der er den målte hastigheten svært lav, mens Hec-ras beregner en mye høyere hastighet. Tverrsnitt 2, figur 29, har også meget god sammenheng mellom de to kurvene, selv om Hec-ras her ligger nesten konsekvent over de målte verdiene for hele tverrsnittet med unntak av et enkelt punkt. Fra disse resultatene kan det se ut som hastighetene beregnet i Hec-ras treffer bedre der det er større hastigheter, mens programmet overdriver hastigheten i punkt der den målte hastigheten er lav. Man skal være litt forsiktig med å trekke for mange konklusjoner siden posisjonen til hastighetsmålingene kan være veldig avgjørende for resultatet av disse målingene. I vedlegg 3 ser man at hastighetene målt i samme punkt, men i forskjellige høyder, kan ha store forskjeller. Som eksempel har man målt tre hastigheter i x-retning (90 grader på tverrsnittet) i Punkt H8. I en høyde på 0.855 m er det målt en hastighet på 0.184 m/s, i en høyde på 0.83 m er det målt en hastighet på 0.192 m/s,

mens hastigheten i en høyde på 0.805 er målt til 0.470 m/s. Hastigheten kan derfor variere stort avhengig av hvor man plasserer måleapparatet i den fysiske modellen.



Figur 28: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 1 med vannføring på 234 l/s



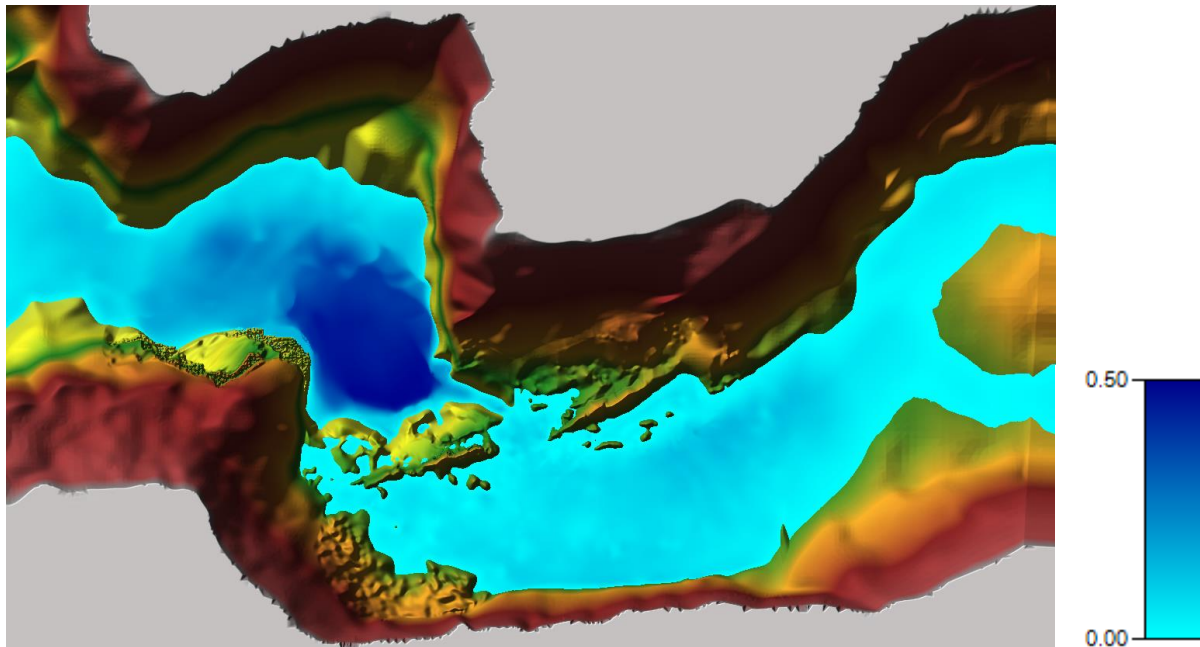
Figur 29: Vannhastighets resultater for tverrsnitt 2 med vannføring på 234 l/s

#### 4.2.2 Vannhøyder

Vannhøydene i Hec-ras er beregnet med standardparameterne med unntak av enkelt parameterne i parameter testen. Vannhøydene for med standardparameterne finner man i vedlegg 2, med standard parameterne markert i Oransje.

For beregning av vannhøyder er et todimensjonalt program som Hec-ras godt egnet. Det finnes bare en verdi for vannhøyden i hvert x-, y- koordinat i den fysiske modellen og dette

gjør at man ikke har de samme utfordringene når det kommer til hvor man velger å måle vannhøydene som man har for hastighetene. Siden vannhøydene kun er en verdi med en benevning og ikke har noen retning slik som hastighetene, er Hec-ras' sin måte å framlegge resultater på i Ras-Mapper mye bedre egnet for dette.

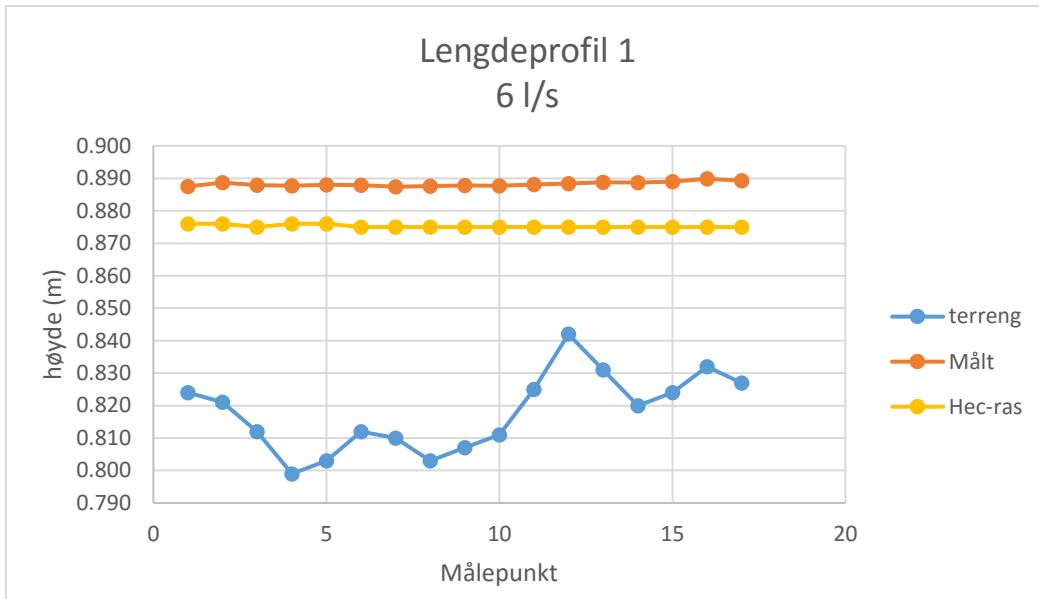


Figur 30: Vanndybde i meter for vannføring på 6 l/s i Hec-ras

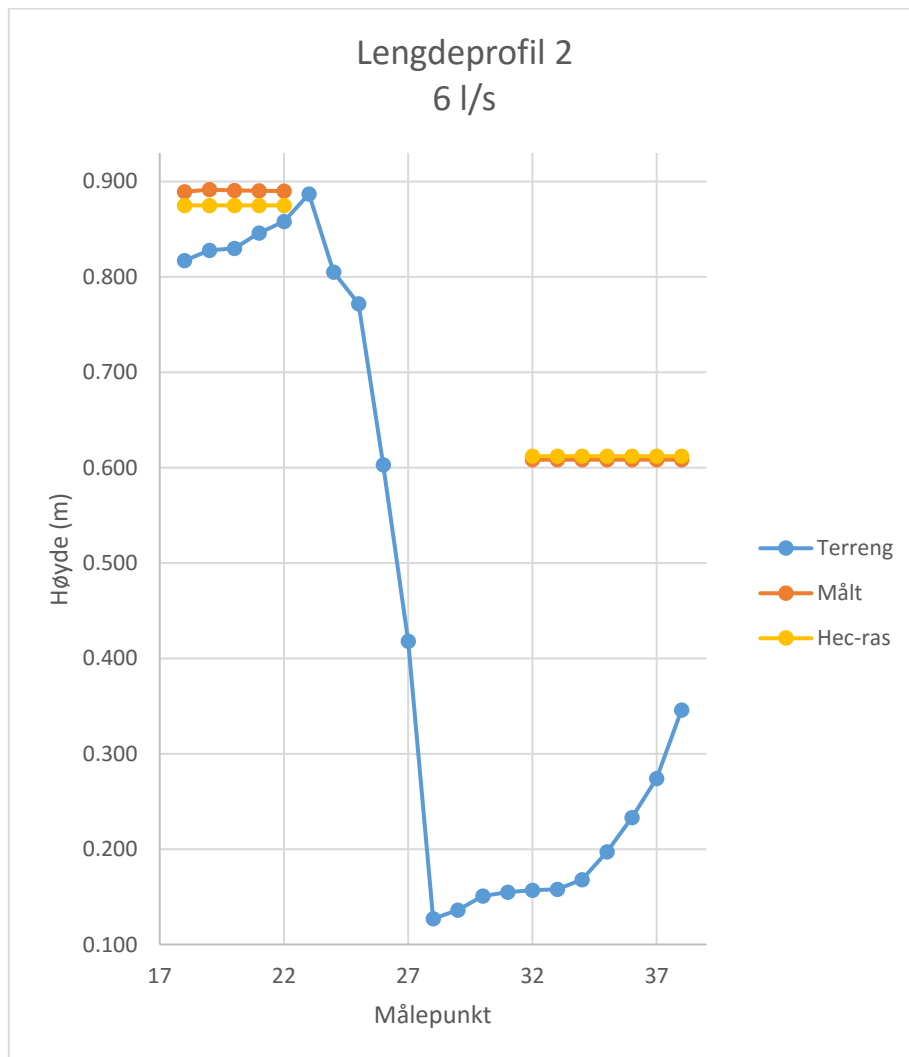
Vanndybdene fra Hec-ras beregningen viser at det er ganske grunt i hele modellen med unntak av dypet som følge av at terrenget ligger mye lavere enn resten av modellen i området nedenfor fossen. Vannstanden i modellen med vannføring på 6 l/s er delt i to vannspeil som man kan se i figur 32. Det er en tilnærmet flat vannstand ovenfor fossen og en helt flat vannstand nedenfor fossen. Akkurat forbi fossen er det kun et lite område der det er kontinuerlig vannspeil gjennom hele modellen. Det meste av området rundt fossen er tørrlagt og vannspeilet er kun akkurat i hovedløpet gjennom fossen. Når man ser kun på vandybdene er det ikke like lett å skjønne at det renner vann også på den vestre siden av fossen slik som man kunne se med hastighetskartet.

Nedenfor fossen er høydene på vannstanden beregnet i Hec-ras og målt i den fysiske modellen nesten identiske, mens vannstanden beregnet av Hec-ras ovenfor fossen ligger ganske langt under vannstanden som ble målt i den fysiske modellen. Dette kan skyldes feil valg av parametere for Hec-ras beregningen, men som man ser i figur 35 gir de samme parametere mye bedre resultater for beregningen med 234 l/s. Det er derfor mer sannsynlig at programmet ikke klarer å beregne vannstanden helt riktig opp fossen. Dette er kanskje årsaken til den lave vannstanden i oppstrøms ende av modellen.

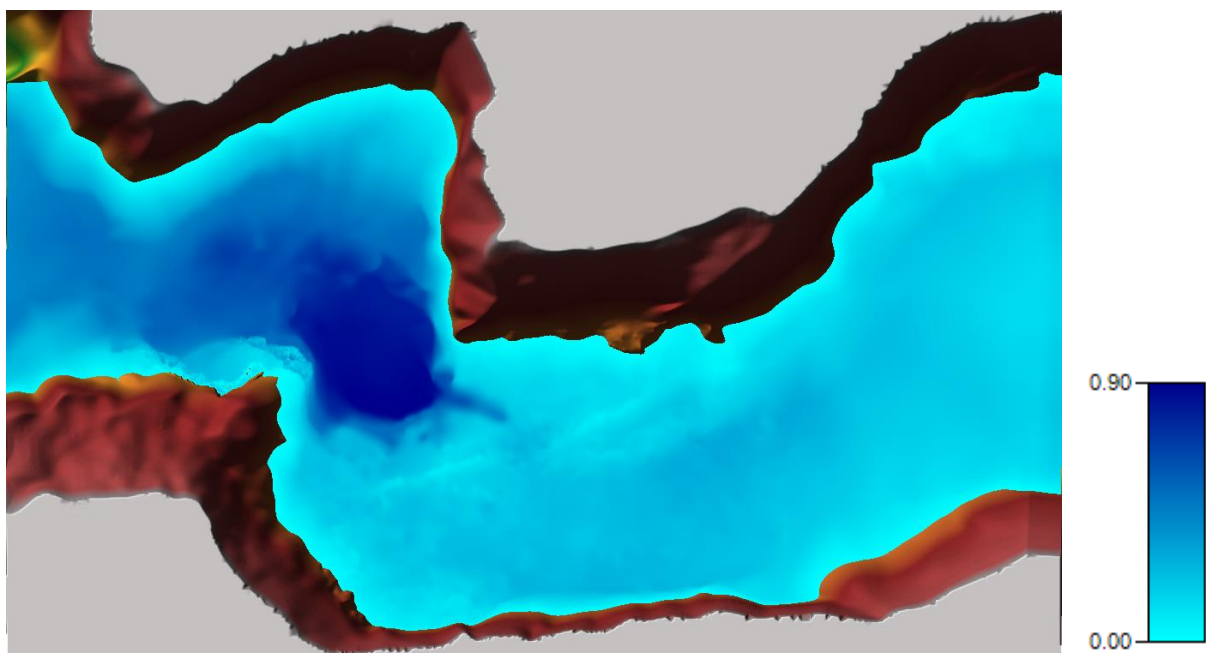




Figur 31: Vannstander med 6 l/s vannføring i Lengdeprofil 1



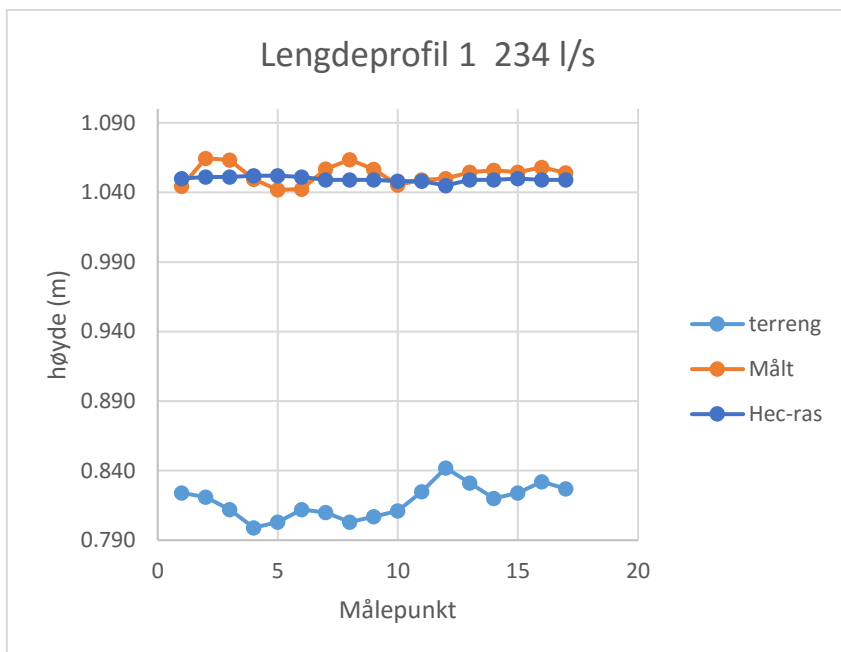
Figur 32: Vannstander med 6 l/s vannføring i Lengdeprofil 2



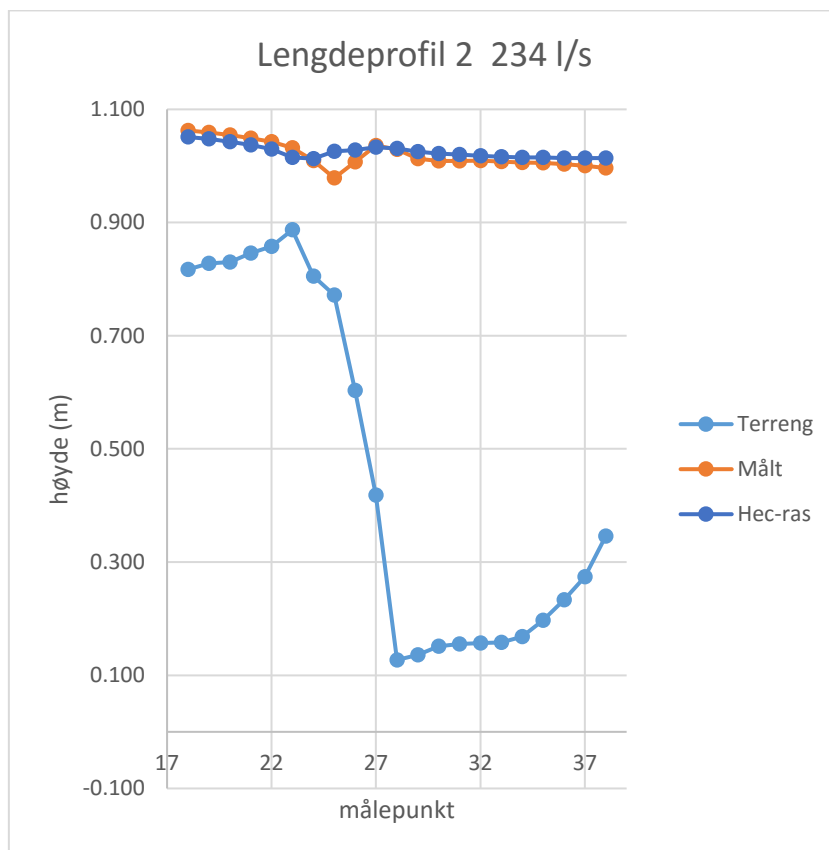
Figur 33: Vanndybde i meter for vannføring på 234 l/s i Hec-ras

Vanndybde for vannføring på 234 l/s viser at nesten hele modellen dekket av vann og området rundt fossen er her helt oversvømt. Dette gir en kontinuerlig vannstand oppgjennom hele modellen med ganske jevn økning i vannstanden gjennom lengdeprofilene i figur 34 og 35. Det er også betydelig bedre sammenheng mellom de målte vannhøydene og høydene beregnet med Hec-ras. Siden det er usikkert hvor nøyaktig Hec-ras klarer å beregne vannføring forbi en foss, er det lagt større vekt på resultatene fra vannføring på 234 l/s når standard parameterne ble valgt. Den gode sammenhengen mellom vannlinjene i figurene nedenfor er en viktig grunn til at man endte opp med standard parameterne som ga gode resultater for denne vannføringen framfor de som ga bedre resultater for vannføring på 6 l/s.

Selv om vannlinjene fra Hec-ras gir gode resultater sammenliknet med de målte verdiene er det noen avvik det er verdt å merke seg. Hec-ras profilen følger ikke de raske endringene i vannhøyder og er mye flatere enn de målte verdiene. Den har en liten bunn der det ser ut som de målte verdiene går gjennom et lite vannstandssprang akkurat over kanten der fossen ligger, men med Hec-ras verdiene blir det mer en krusning i vannspeilet.



Figur 34: Vannstander med 234 l/s vannføring i Lengdeprofil 1



Figur 35: Vannstander med 234 l/s vannføring i Lengdeprofil 2

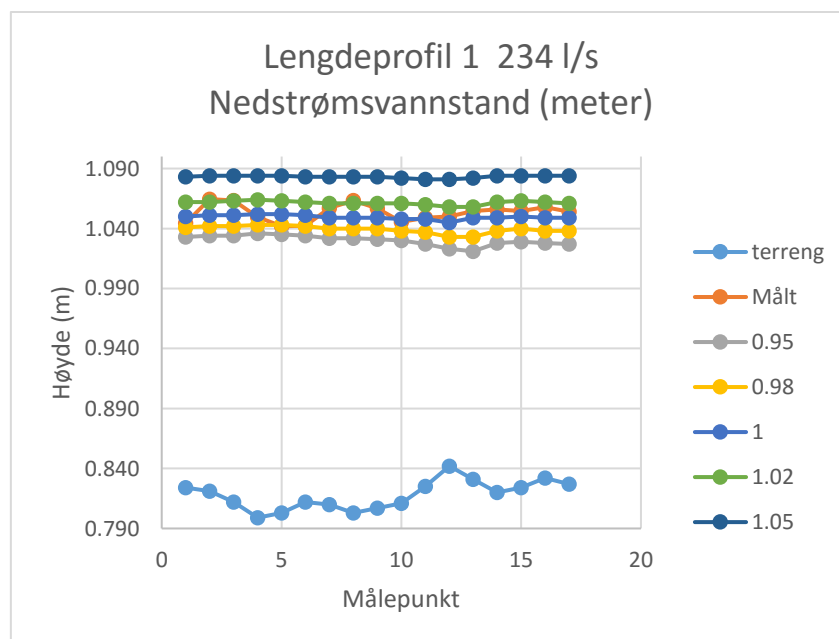
#### 4.2.3 Testing av Parametere i Hec-ras

For å se hvordan de forskjellige parametere i Hec-ras påvirker resultatene man får fra programmet, ble flere av dem testet ved å systematisk endre en og en av parametere. For at resultatene lettere skal kunne sammenliknes ble standard parametere som er beskrevet tidligere i resultatdelen brukt som utgangspunkt for parametertesting. Hver parameter ble testet for seg og alle dataene fra testingen ligger i vedlegg 2. Parameteren som blir testet er fargekodet blå i tabellen og er den eneste som blir endret i hver enkelt test. Resultatene som kommer fra en beregning der alle parametere tilsvarer standard parametere er markert med oransje i tabellen. Når man endrer tidskrittet slik at det blir lenger klarer ikke lenger programmet å kjøre med cellestørrelse på 0.055 og cellestørrelsen er derfor endret til 0.1 m x 0.1 m. Dermed er det ingen av resultatene fra denne testen som har alle parametere tilsvarende standard parametere.

*Nedre grensebetingelse, nedstrøms vannhøyde.*

Når nedstrøms vannstand blir endret for vannføring på 6 l/s blir vannstanden nedenfor fossen endret nesten helt tilsvarende endringen nedstrøms. Dette kommer av at vannet har en lav hastighet i denne delen av modellen. Oppstrøms fossen derimot skjer det ingen endring i vannspeilet for noen av parameterendringene. Dette kommer av at det er et område med overkritiskstrømning forbi fossen når vannføringen er så liten. Siden endringen skjer nedstrøms dette overkritiske partiet blir ikke vannstandene påvirket i området ovenfor fossen.

Med vannføring på 234 l/s endrer også vannstanden seg ca. tilsvarende endringen i nedstrøms vannstand. Med denne høye vannføringen er ikke modellen lenger delt i en del ovenfor fossen og en del nedenfor. Dermed blir endringen nederst i modellen gjeldene helt opp til det øverste målepunktet i tverrsnitt 1. Man kan også se at kurvene blir rettere med mindre endringer i vannhøydene når vannstanden blir høyere, og blir mindre påvirket av Batymetrien i elva. I lengdeprofil 2 kan man se at med nedstrøms vannhøyde på 1.05 er vannstandsspranget så godt som borte. For nedstrøms vannhøyde på 0.95 er derimot vannstandsspranget nesten like definert som for de målte verdiene fra modellen i laboratoriet.

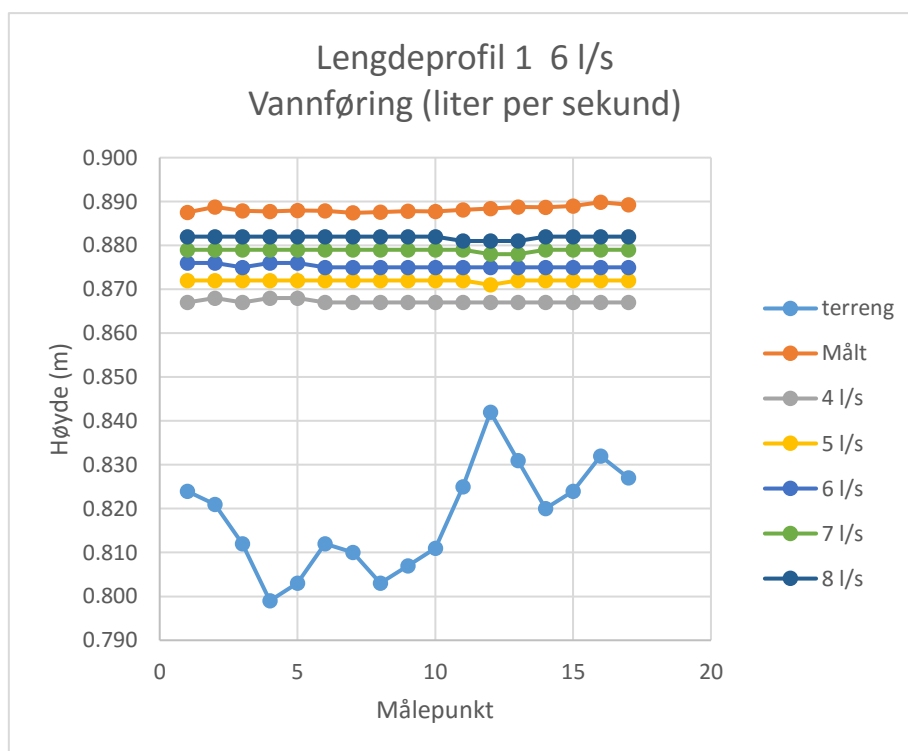


Figur 36: Lengdeprofil 1 ved 234 l/s med test av nedstrøms vannstand

Øvre grensebetingelse, vannføring.

Vannføringen for 6 l/s er endret til 4,5,6,7 og 8 l/s som er en ganske stor variasjon i vannføring med tanke på hvor lite vann det er i modellen med 6 l/s som standard verdi. Som forventet blir det ganske store endringer, og endringen er nesten motsatte av de vi fikk av å endre nedstrøms vannhøyde. Nedenfor fossen endres vannstanden kun med 3 mm forskjell fra laveste verdi på 4 l/s til høyeste verdi på 8 l/s. Dette kommer av at det i denne delen er veldig dypt sammenliknet med resten av modellen og mye av vannet er relativt stillestående i den store «kulpen» nedenfor fossen. Dette gjør at endringene i vannføring får en liten effekt, men ikke på langt nær så fremtredende som i resten av modellen. Ovenfor fossen derimot gir det mye større utslag med endring i vannstanden på rundt 15 mm fra 4 l/s til 8 l/s. I enkelte målepunkter gir dette nesten en dobling av vanddybden. Økningen i vannstand er ganske jevn for hver endring i vannføring. Selv med 8 l/s, som er 33% høyere vannføring enn vannføringen som ble målt i den fysiske modellen, ligger vannstanden fortsatt lavere enn den målte vannstanden.

For standarden med vannføring på 234 l/s ble vannføringen endret til 228, 231, 234, 237 og 240 l/s for parametertesten. Dette er en større endring i l/s sammenliknet med 6 l/s testen beskrevet over, men den prosentvise endringen fra 234 l/s er mye mindre. Dette gjør at alle resultatene fra Hec-ras beregningene gir nesten identiske vannlinjer med forskjeller fra høyeste til laveste vannføring på kun 2-3 mm i de fleste punktene. Ut ifra disse resultatene kan man konkludere med at den prosentvise endringen i vannføring fra utgangspunktet er viktigere enn endringen i l/s for modellen. Dette kommer blant annet av at en større vannføring dekker et større tverrsnitts areal og det holder også en større hastighet. Dette gjør at en endring på noen få l/s ikke blir så betydelig som for strømming med lavere vannføring med mindre strømmingstverrsnitt og en lavere hastighet på vannet.



Figur 37: Lengdeprofil 1 ved 6 l/s med test av vannføring

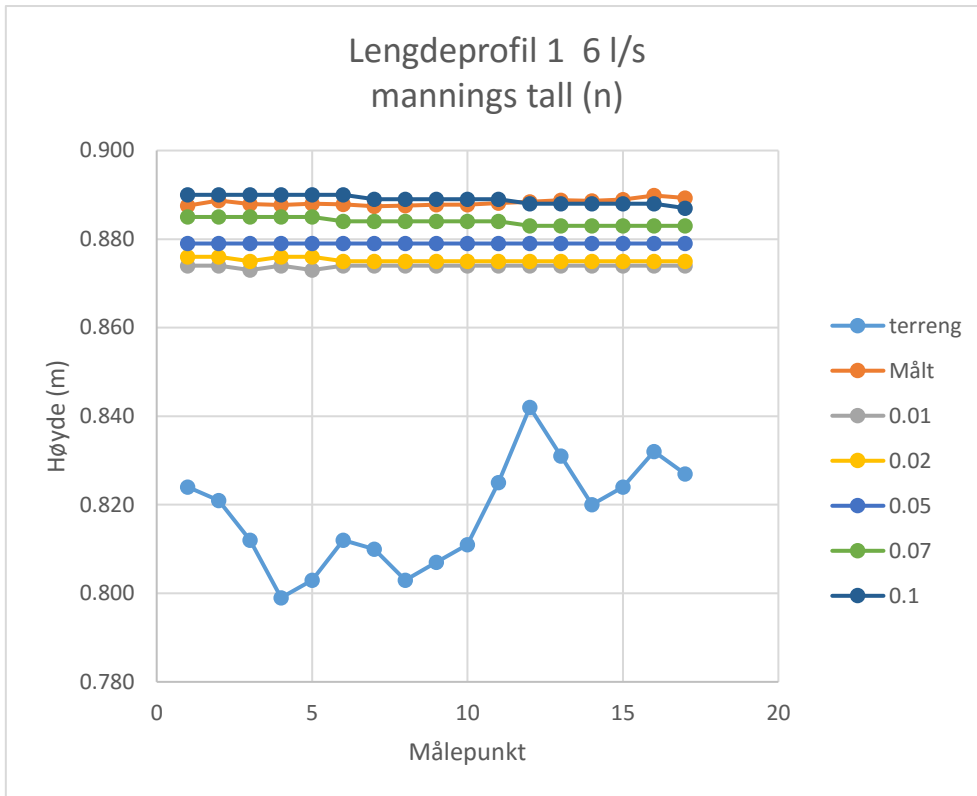
### *Mannings tall*

Parametertesten for Mannings tall er testet med en veldig stor variasjon i Mannings tallene. Mannings tall fra 0.01 helt opp til 0.1 er testet, selv om 0.1 definitivt er et høyere Mannings tall enn materialet modellen er laget av har. Grunnen til at Mannings tallet er testet med så stor variasjon er testene i Hec-ras modellen da det skulle velges standard parameterne som er brukt i denne oppgaven. Beregninger med Mannings tall på 0.1 var de eneste Hec-ras beregningen som ga en vannlinje der vannstanden var så høy at den matchet vannstandene målt i den fysiske modellen. Det ble derfor besluttet å ta med disse resultatene her for å diskutere dem.

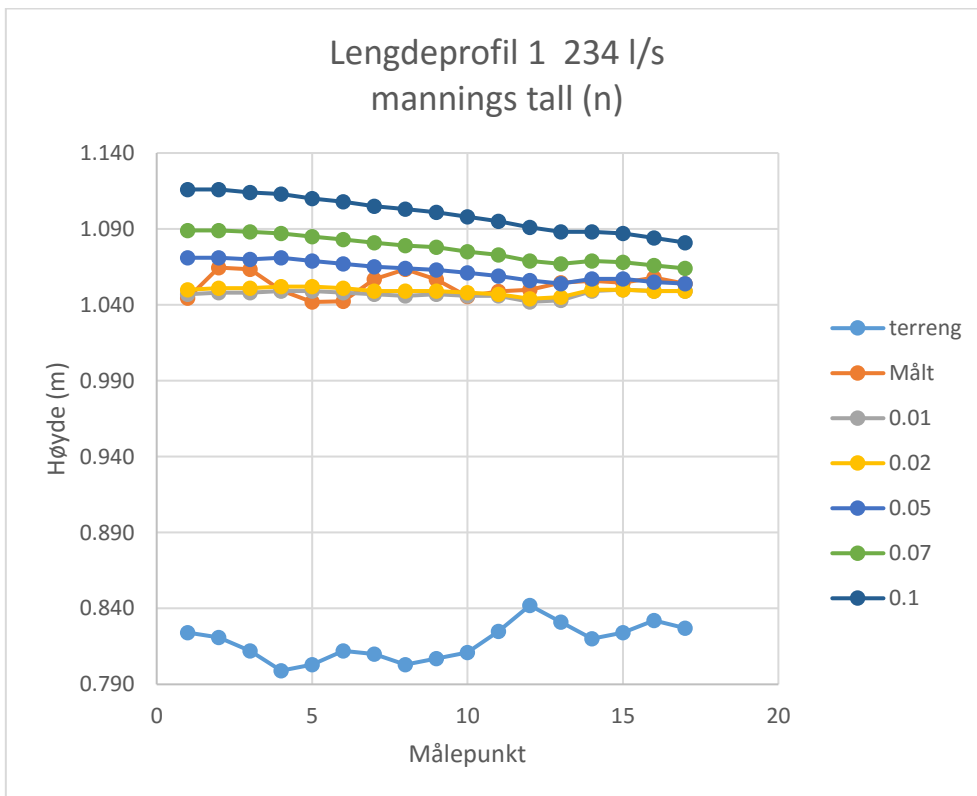
Resultatene fra vannføring på 6 l/s viser at med de Mannings tallene som er brukt i denne parametertesten, gir det store utslag på høyden på vannlinjene. Høydene nedstrøms fossen endrer seg ikke like mye som verdiene oppstrøms. Dette kommer av at her er hastigheten lavere og strømningsarealet er større, som igjen gir et lavere forhold mellom strømningsareal og våt periferi. Oppstrøms fossen er ikke vanndybene like store slik at Mannings tallet får større innflytelse på vannstrømningen. Hvis man kun ser på verdiene oppstrøms fossen kan man få inntrykk av at et Manningstall på 0.02, som er standard Mannings tall i denne oppgaven, er helt feil. Kun med disse vannstandene i tankene ser det ut som et Mannings tall på 0.1 gir en mye bedre vannlinje opp mot de målte verdiene selv om man kan merke seg at det gir en noe høy vannstand nedenfor fossen.

Når man ser på verdiene for vannføring på 234 l/s blir det derimot klart at et Manningstall på 0.1 gir en altfor stor representasjon av ruheten i modellen. For siste målepunkt helt nederst i modellen gir Mannings tall på 0.1 en vannstand som er rundt 30 mm høyere enn de målte verdiene. I motsatt ende av lengdeprofilene gir dette Mannings tallet en vannhøyde som er 72 mm høyere enn det som ble målt. Med resultatene fra denne vannføringen ser man at et Mannings tall på rundt 0.02 gir vannlinjer som best representerer de målte vannlinjene.

Med bakgrunn i denne parametertesten er det konkludert med at det ikke er feil valg av Mannings tall som fører til at vannhøydene beregnet i Hec-ras ikke gir en god tilnærming til de målte vannlinjene oppstrøms fossen ved lavere vannstander. Det er nærliggende å tro at problemet har med utfordringen det er å beregne vannlinjer gjennom kritiske strømnings situasjoner. Spesielt vanskelig er det når vannet får tilnærmet fritt fall og det ikke er en kontinuerlig vannoverflate i deler av modellen.



Figur 38: Lengdeprofil 1 ved 6 l/s med test av mannings tall



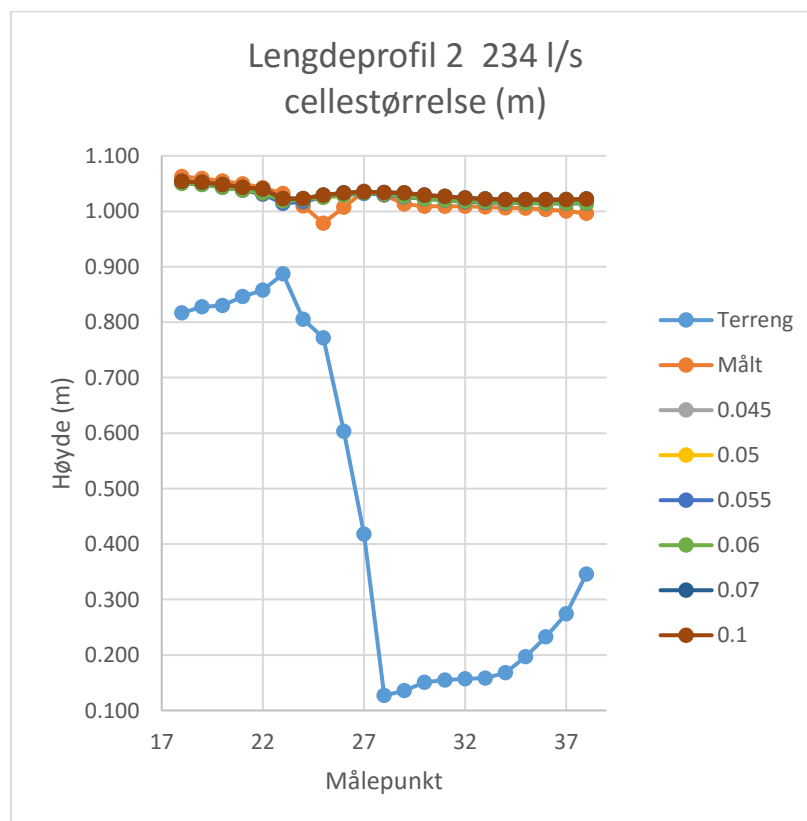
Figur 39: Lengdeprofil 1 ved 234 l/s med test av mannings tall

*Cellestørrelse (Bilde av grid med forskjellige cellestørrelser i vedlegg)*

Størrelsen på cellene i Hec-ras gridet er alle variert med kvadratiske celler med cellelengder på 0.045, 0.05, 0.055, 0.06, 0.07 og 0.1 m. Med vannføring på 6 l/s skjer det ikke noen endring i vannhøydene nedstrøms fossen, og oppstrøms er den største forskjellen i vannstander kun på ca. 4 mm. Det er heller ikke noe klart mønster som f.eks. mindre celler gir høyere vannstand, og det ser ut som om det er tilfeldig hvilke cellelengder som gir hvilken vannhøyde.

Med vannføring på 234 l/s ser man det samme. Alle cellestørrelsene gir relativt like vannlinjer og det er heller ikke noe klart mønster i hvilke cellestørrelser som gir hvilke vannhøyder. Også her er det kun snakk om noen millimeter forskjell på vannhøydene mellom kurvene, så det er vanskelig å si noe om hvordan cellestørrelsen påvirker resultatene.

Parametertesten for cellestørrelse hadde vært en av testene som det ville vært mest interessant å foreta med en skalert Hec-ras modell. Med en modell i større skala og med å bruke skaleringslover, fortrinnsvis Froude skalering, kunne man hatt en modell med et langt finere grid. Det man kan se fra resultatene fra modellen brukt i denne oppgaven, er at man får gode resultater med alle gridene. Dette kan komme av måten terrenget er implementert i cellene. Dersom dette viser seg å stemme for andre tester av Hec-ras kan det bety at programmet har et godt potensial for beregninger med store celler. For eksempel ved beregninger av lange elvestrekninger der beregningstiden kan bli veldig lange som følge av størrelsen på området som skal modelleres kan det tenkes at man kan bruke Hec-ras med større celler og spare mye beregningstid. Det må uansett testes mer før man kan trekke noen klare konklusjoner.



Figur 40: Lengdeprofil 2 ved 234 l/s med test av cellestørrelse

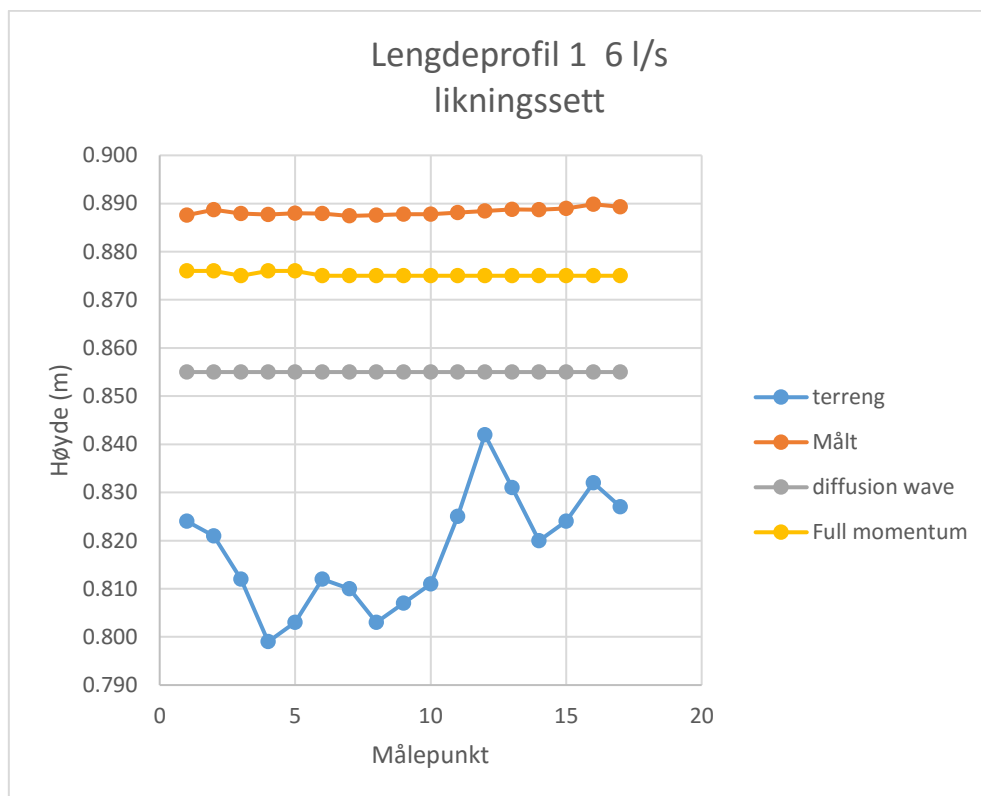


### Liknings sett

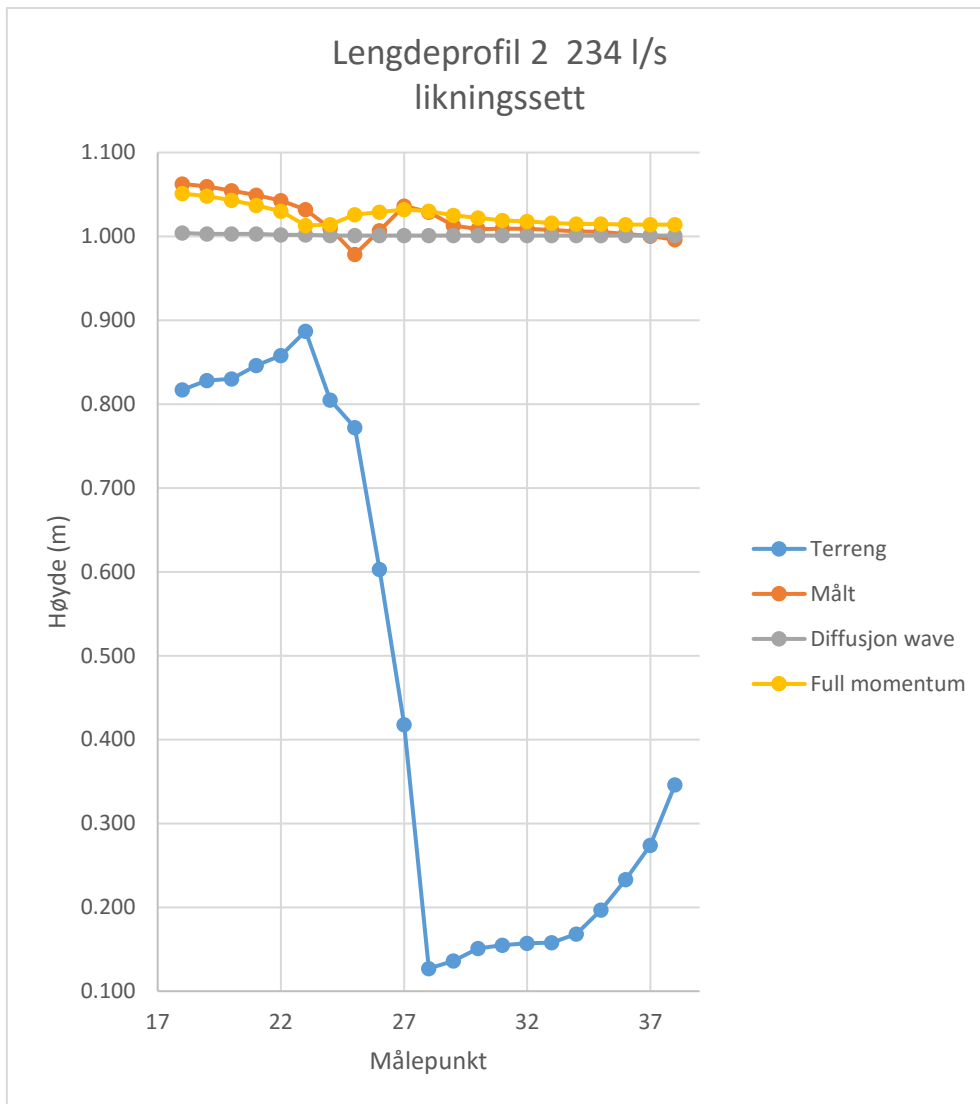
Med Hec-ras kan man velge mellom to likningssett for unsteady flow simulation. Testen for likningssett viser at Full momentum gir mye bedre resultater sammenliknet med diffusion wave. Med vannføring på 6 l/s er det liten forskjell på vannlinjene med de to likningssettene nedstrøms fossen. Men oppstrøms fossen ligger vannlinja fra diffusion wave beregningen langt under både den målte vannlinja og vannlinja beregnet med diffusion wave. Vannlinja ligger mer enn 30 mm lavere enn de målte verdiene og gir en klart dårligere beregning av vannhøydene enn det full momentum beregningen gir.

For vannføring på 234 l/s ser det ut som om vannhøyden for diffusion wave har en grei høyde i de nederste målepunktene i lengdeprofil 2. Deretter holder vannstandene seg mer eller mindre konstante oppgjennom lengdeprofilene og i første målepunkt i profil 1 ender den opp ca. 30 mm lavere enn vannhøydene som er målt eller beregnet med full momentum.

Fra disse beregningene er det ikke mye som taler for å velge diffusion wave framfor full momentum. Beregningstiden i Hec-ras er en av de få tingene jeg kan tenke på som kan gjøre at man velger diffusion wave. Beregningstiden ble omtrent halvert med diffusjon wave. Vannlinjene man fikk fra diffusion wave var veldig rette med lite variasjoner fra punkt til punkt. Dersom man har en elv med liten helning og lave hastigheter kan det hende at diffusion wave gir tilfredsstillende resultater og at man derfor velger dette likningssettet for å redusere beregningstiden.



Figur 41: Lengdeprofil 1 ved 6 l/s med test av likningssett

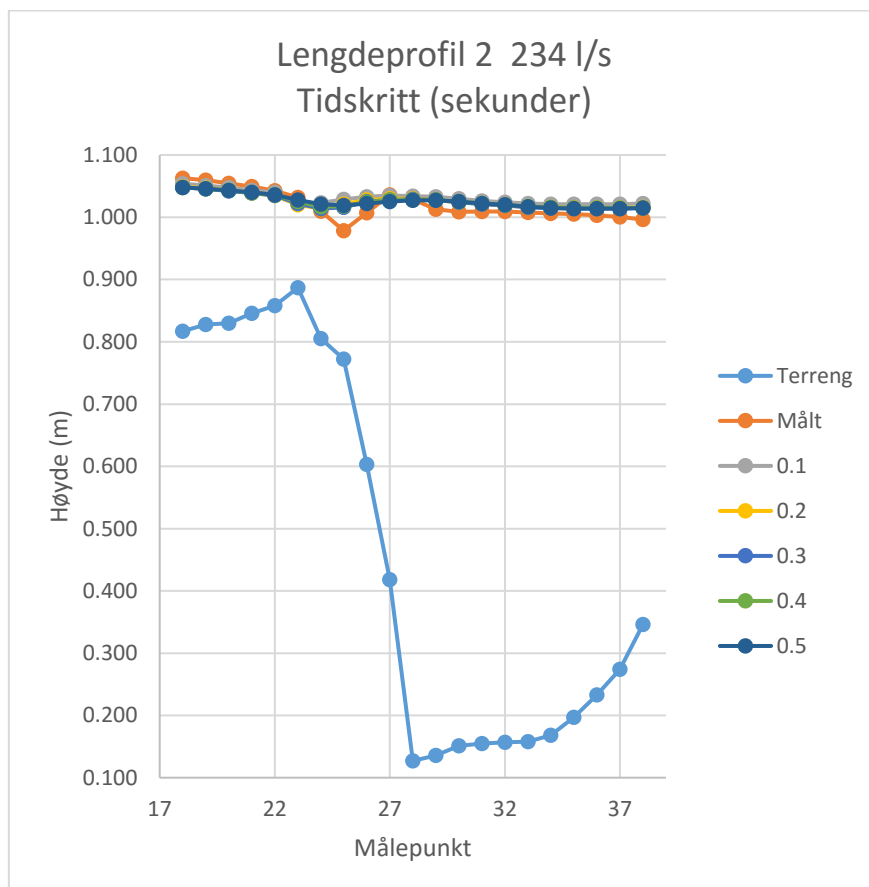


Figur 42: Lengdeprofil 2 ved 234 l/s med test av likningssett

### Tidskritt

For å kunne teste forskjellige tidskritt måtte cellestørrelsen økes for at Hec-ras skulle klare å gjøre beregningene. Cellestørrelsen for denne testen er derfor økt slik at gridet er laget av kvadratiske celler med cellekanter på 0.1 m. Tidskrittet varierer med verdiene 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 og 0.5 sekunder. Med vannføring på 6 l/s er det ingen forskjell nedstrøms fossen, mens oppstrøms fossen er det en forskjell på 4-5 mm fra laveste vannhøyder til høyeste. Selv om forskjellene er små så kan man se at kortere tidskritt gir høyere vannstand og dette gjelder systematisk for alle tidskrittene som er testet.

Med vannføring på 234 l/s ser man det samme mønsteret ved at kortere tidskritt gir en høyere vannstand selv om det også her kun er snakk om ca. 7 mm som største forskjell mellom vannlinjene. I denne modellen er det egentlig ikke noen grunn til å bruke noe annet tidskritt enn 0.1 siden det gir muligheten til å ha det mest detaljerte gridet. For en modell av en mye lengere elvestrekning kan det derimot være lite hensiktsmessig å bruke et så kort tidskritt fordi det vil gjøre beregningstiden mye lenger enn nødvendig. Endringene i vannstand er såpass små at det ikke er lett å si noe helt sikkert, men det ser ut som man får litt bedre resultater dersom man bruker et kortere tidskritt. Det viktigste når det kommer til valg av tidskritt er allikevel påvirkningen det har på konvergeringsfeil i cellene dersom man har for små celler i forhold til tidskritt i beregningene. Det har i det minste vist seg å være det avgjørende for en liten modell som Eggafoss modellen brukt i denne oppgaven.



Figur 43: Lengdeprofil 2 ved 234 l/s med test av Tidskritt

### *Beregningstid*

Beregningstiden avhenger i stor grad av datamaskinen som er brukt for beregningene og kan variere mye avhengig av kraften til hver enkelt maskin. Alle beregningene er derfor gjort på samme datamaskin og med samme beregningsperiode på 10 min. Ingen av beregningene trengte en beregningstid på mer enn 2 min for å få stabilisert seg på en vannstand, så 10 min er valgt kun for å ha en fast sammenlikningstid for beregningstiden. Beregningstiden til hver enkelt beregning står som et eget punkt under parameterne i vedlegget. Det første man kan merke seg er at det er relativ stor variasjon i beregningstid mellom alle kjøringene med standard parameterne (de som er merket med oransje). Fra verdiene med vannføring på 6 l/s har kjøringene med standard parameterne disse verdiene: 2:27, 1:45, 1:54, 1:47, 1:56. Man ser at det er en variasjon på nesten 45 sekunder fra den korteste til den lengste beregningstiden for beregninger med helt identiske input parametere i Hec-ras. Når testene er kjørt har man forsøkt å passe på å skru av alle andre programmer som kan tenkes å stjele datakraft, men det kan være en av grunnene til at det er så stor variasjon i beregningstiden. Dette gjør at det skal være ganske markante endringer i beregningstid for at man kan si noe sikkert om hvordan de forskjellige parameterne påvirker tidsbruken.

De to parameterne som klart påvirker tidsbruken er cellestørrelsen og likningssettet. Dette er som forventet. Mindre celler betyr flere celler som igjen fører til at programmet må foreta flere beregninger og dette øker tidsbruken for beregningen. Full momentum likningen krever større beregningstid en diffusion wave og ender opp med en lengre beregningstid. Det er også naturlig å tro at et kortere tidskritt gir en lengere beregningstid. Dette ser man til en viss grad fra resultatene, men siden alle beregningene som tester tidskrittet er kjørt med et grovere grid er beregningstiden så kort fra før at det er vanskelig å si noe helt sikkert uten å få testet dette på en modell som fører til en lengere beregningstid.

### *Theta*

Man kan velge en Theta i programmet mellom 0.6 og 1.0. Theta bestemmer i hvilken grad løsningen er implisitt eller eksplisitt. 1.0 er helt implisitt og er default valget til programmet. En høyere Theta skal gi mer stabilitet, men kanskje ikke like stabile resultater. Det ble gjennomført en test med Theta lik: 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 og 1.0. For Theta lik 0.8-1.0 ble det ingen endring i resultatene, mens for 0.6 og 0.7 krasjet programmet og man fikk ingen resultater.

## 5. Konklusjon

Fra resultatene fra hastighets- og vannstandsmålingene i renna ser man at Riverflow gir bedre resultater enn Hec-ras sammenliknet med de målte verdiene. Riverflow treffer bedre på både hastighetene og vannstandstverrsnittene, men spesielt på lengdeprofilen ser man at Riverflow gir en vannlinje som gjenspeiler den målte vannlinjen bedre enn Hec-ras. Dersom man er interessert i veldig nøyaktige vannstander og vannhastigheter viser resultatene at Riverflow er det beste programmet. Når det kommer til beregningstiden for modellene er det Hec-ras som bruker kortest tid på beregningene uten at man kan si så mye mer enn det uten å teste beregningstiden til de to programmene med helt like forhold. Kanskje den største fordel som Hec-ras har er at programmet kan enkelt lastes ned og brukes uten å betale for det. Dermed appellerer programmet til en mye større gruppe enn Riverflow som er et lisensbasert program som man må betale for å ta i bruk.

Modelleringen av Eggafossen i Hec-ras viste at programmet klarer å modellere forbi en strekning med et klart skille mellom vannstandene, slik det var forbi fossen i den fysiske modellen med vannføring på 6 l/s. Resultatene av modelleringen viste at vannstandene oppstrøms fossen var ca. 15 mm lavere enn de målte verdiene. Dette er rundt 20% av den målte dybden. Modellen ga dermed noe lave vannstander oppstrøms kritiske tverrsnitt.

For beregningen med 234 l/s ga vannstandene gode resultater sammenliknet med de målte verdiene, hvis man ser på den generelle vannhøyden gjennom lengdeprofilene. Som for resultatene i renna klarte ikke Hec-ras å beregne de små endringene i vannstander fra punkt til punkt, men endte opp med en mye flatere lengdeprofil enn det som ble målt. Dette forsterker inntrykket fra renna om at Hec-ras gir gode resultater dersom man vil beregne vannstandene i grovere trekk, men at programmet ikke er like godt egnet dersom man ønsker å modellere detaljer i vassdraget, som for eksempel lokale vannstandsendringer og vannstandssprang.

Fra parameter testen i Eggafossen var det spesielt to parametere som skilte seg ut. Valget av likningssett viste seg å være det som hadde størst innflytelse på resultatet. Beregningen med bruk av Full momentum ga mye bedre resultater enn beregningene med Diffusion wave. Beregningene med forskjellige celledørrelser viste at det ikke ble en signifikant forskjell i vannstandene med de forskjellige celledørrelsene som ble testet. Dette viser at metoden for å beskrive terrenget i cellene, som utviklerne av programmet mener skal gjøre at man får gode resultater selv med større celler, ser ut til å levere disse resultatene. Det må påpekes at grunnet modellens størrelse var det ikke mulig å gjøre forsøk med så små celler som ønsket. Det er derfor mulig at en test med større variasjon i celledørrelsen vil gi et annet resultat.



## 6. Referanser

Bjerkeli, M. (2015). *Todimensjonal numerisk modellering av strømming i en kanalinnsvring med bruk av Riverflow 2D*.

US Army Corps of Engineers (2016a). *HEC-RAS River Analysis System. 2D Modeling User's Manual*. Version 5.0. Hydrologic Engineering Center

US Army Corps of Engineers (2016b). *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Version 5.0. Hydrologic Engineering Center





## 7. Vedlegg

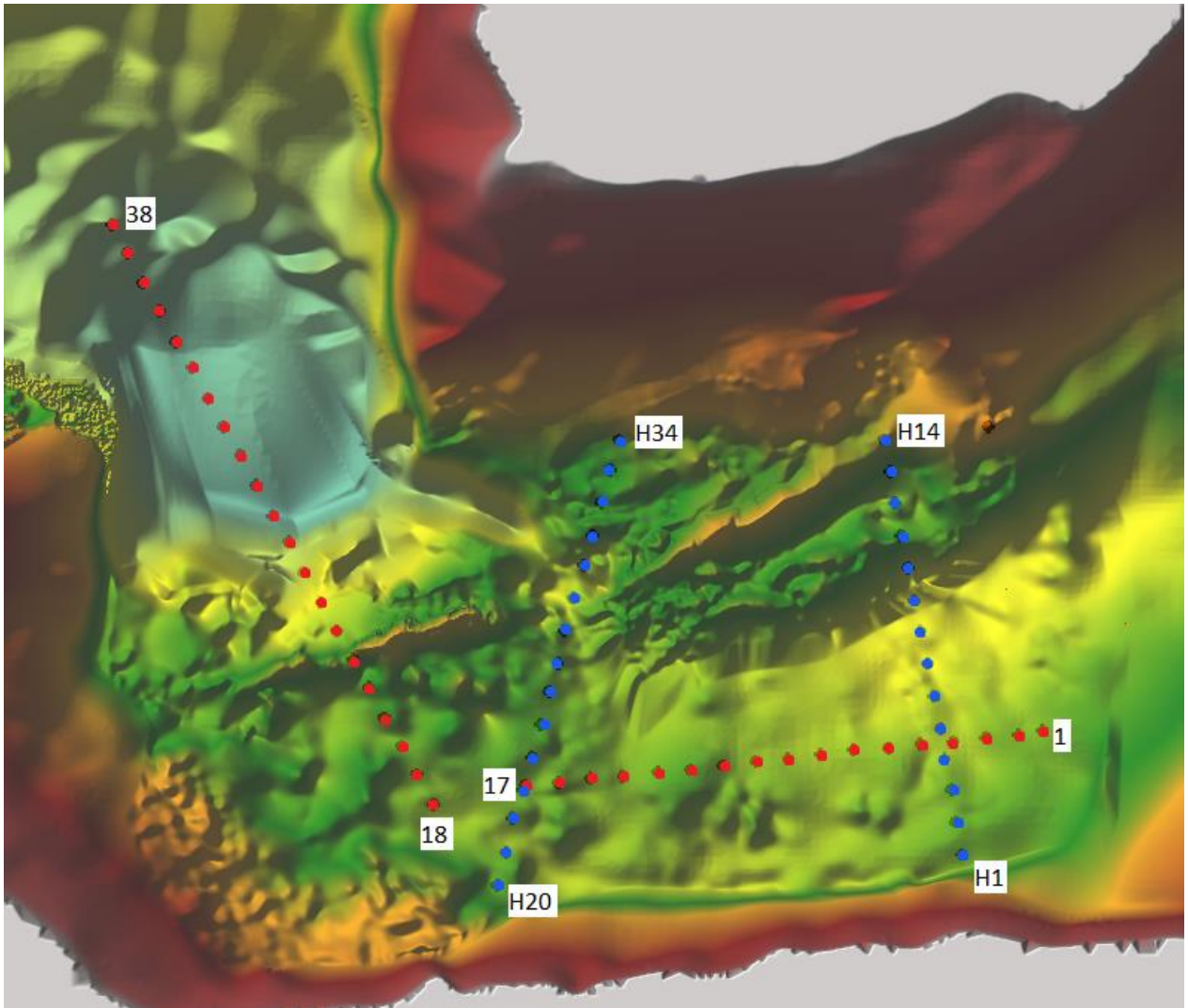
### Vedlegg 1

#### Målepunkter i Eggafossen

	Målepunkt	Posisjon [m]		Terreng
		x	y	
Lengdeprofil 1	1	4.785	-1.480	0.824
	2	4.710	-1.490	0.821
	3	4.610	-1.500	0.812
	4	4.510	-1.510	0.799
	5	4.410	-1.520	0.803
	6	4.310	-1.530	0.812
	7	4.210	-1.540	0.810
	8	4.110	-1.550	0.803
	9	4.010	-1.560	0.807
	10	3.910	-1.570	0.811
	11	3.810	-1.585	0.825
	12	3.710	-1.595	0.842
	13	3.610	-1.605	0.831
	14	3.505	-1.615	0.820
	15	3.405	-1.625	0.824
	16	3.305	-1.635	0.832
	17	3.205	-1.645	0.827
Lengdeprofil 2	18	2.930	-1.700	0.817
	19	2.880	-1.610	0.828
	20	2.830	-1.525	0.830
	21	2.780	-1.435	0.846
	22	2.730	-1.345	0.858
	23	2.685	-1.260	0.887
	24	2.635	-1.170	0.805
	25	2.585	-1.085	0.772
	26	2.535	-0.995	0.603
	27	2.485	-0.905	0.418
	28	2.440	-0.820	0.127
	29	2.390	-0.730	0.136
	30	2.340	-0.640	0.151
	31	2.290	-0.555	0.155
	32	2.240	-0.465	0.157
	33	2.195	-0.375	0.158
	34	2.145	-0.290	0.168
	35	2.095	-0.200	0.197
	36	2.045	-0.115	0.233
	37	1.995	-0.025	0.274
	38	1.950	0.065	0.346

	Målepunkt	Avstand fra kant	x [m]	y [m]
<b>Tverrsnitt 1</b>	H1	0	4.540	-1.855
	H2	10	4.520	-1.755
	H3	20	4.505	-1.655
	H4	30	4.485	-1.565
	H5	40	4.470	-1.470
	H6	50	4.450	-1.370
	H7	60	4.430	-1.275
	H8	70	4.410	-1.175
	H9	80	4.395	-1.080
	H10	90	4.375	-0.980
	H11	100	4.355	-0.880
	H12	110	4.335	-0.785
	H13	120	4.320	-0.690
	H14	130	4.300	-0.590
<b>Tverrsnitt 2</b>	H20	0	3.120	-1.945
	H21	10	3.150	-1.845
	H22	20	3.170	-1.745
	H23	30	3.200	-1.655
	H24	40	3.230	-1.555
	H25	50	3.255	-1.455
	H26	60	3.280	-1.355
	H27	70	3.305	-1.270
	H28	80	3.330	-1.175
	H29	90	3.355	-1.075
	H30	100	3.385	-0.975
	H31	110	3.410	-0.880
	H32	120	3.440	-0.785
	H33	130	3.465	-0.685
H34	140	3.490	-0.590	

Kart som viser lokasjonen til de forskjellige målepunktene i Eggafossen. De røde punktene representerer målepunktene for lengdeprofilene, mens de blå punktene representerer målepunktene for tverrsnittene.



## Vedlegg 2

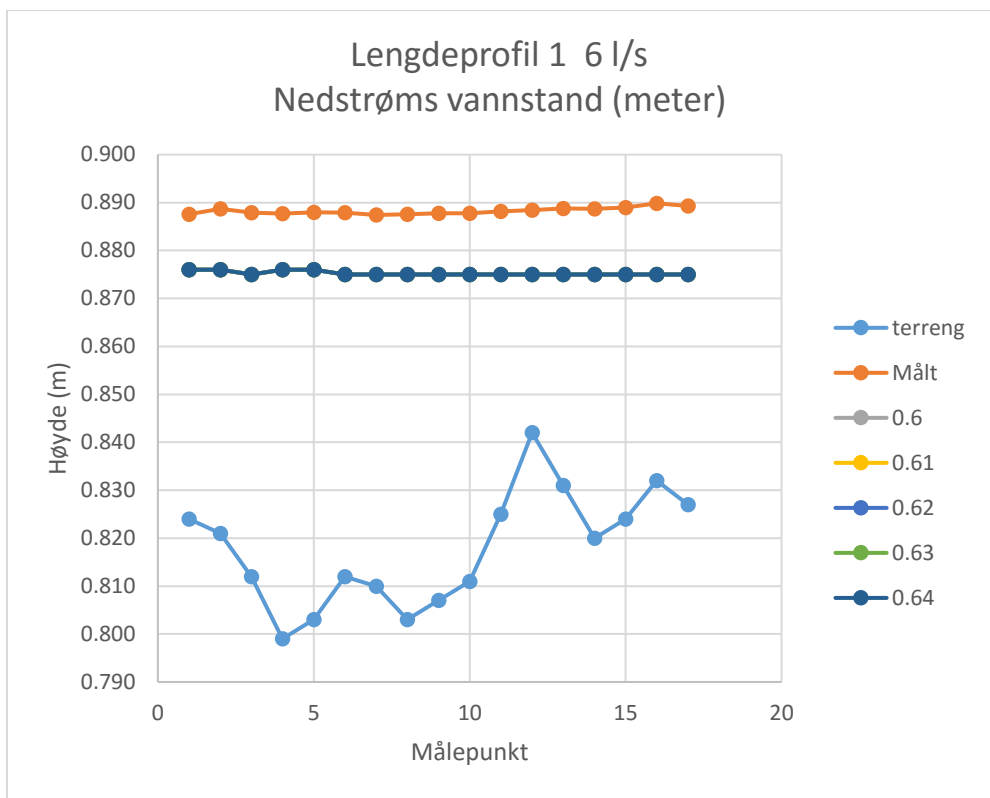
Resultater fra parametertesten

Endret parameter: Nedstrøms vannstand ved 6ls

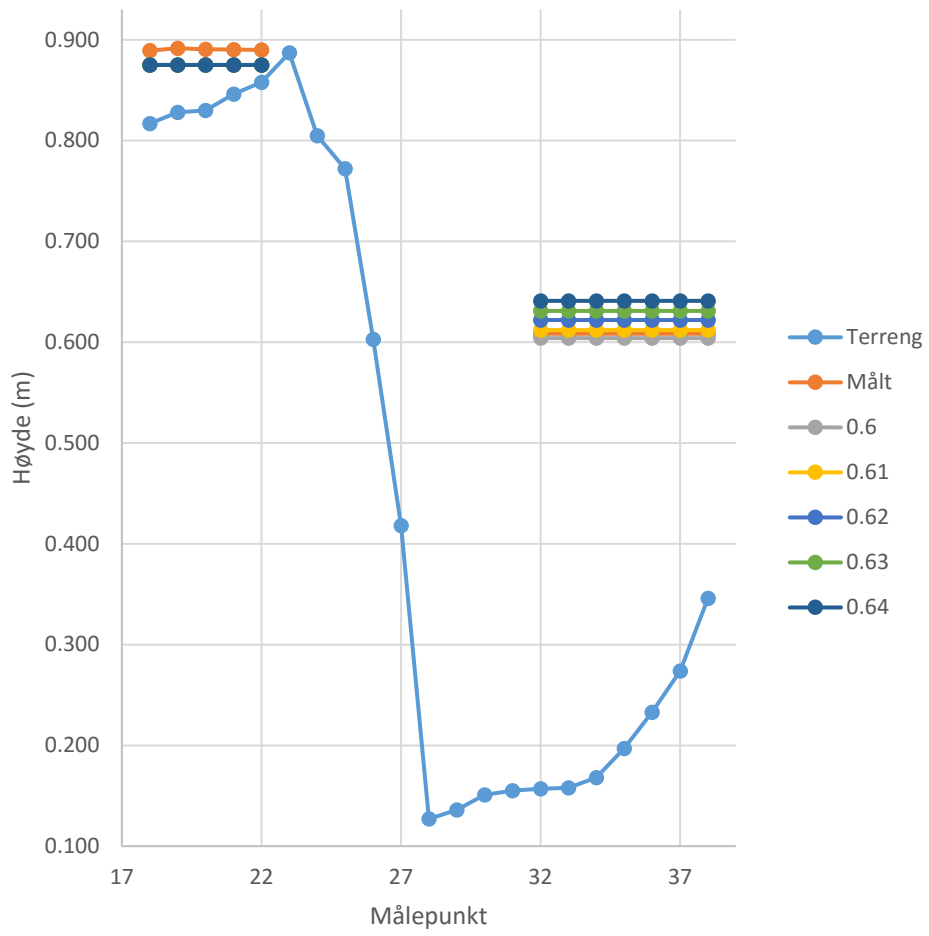
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	6	6	6	6	6
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030	6030	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	0.6	0.61	0.62	0.63	0.64
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	01:37	02:27	01:50	02:07	01:57

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet
Lengdeprofil 1	1	0.888	0.876	0.876	0.876	0.876
	2	0.889	0.876	0.876	0.876	0.876
	3	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	4	0.888	0.876	0.876	0.876	0.876
	5	0.888	0.876	0.876	0.876	0.876
	6	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	7	0.887	0.875	0.875	0.875	0.875
	8	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	9	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	10	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	11	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	12	0.888	0.875	0.875	0.875	0.875
	13	0.889	0.875	0.875	0.875	0.875
	14	0.889	0.875	0.875	0.875	0.875
	15	0.889	0.875	0.875	0.875	0.875
	16	0.890	0.875	0.875	0.875	0.875
	17	0.889	0.875	0.875	0.875	0.875
Lengdeprofil 2	18	0.889	0.875	0.875	0.875	0.875
	19	0.892	0.875	0.875	0.875	0.875
	20	0.891	0.875	0.875	0.875	0.875
	21	0.890	0.875	0.875	0.875	0.875
	22	0.890	0.875	0.875	0.875	0.875
	23					
	24					
	25					
	26					
	27					
	28					
	29					
	30					
	31					
	32	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631
	33	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631

	34	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631	0.641
	35	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631	0.641
	36	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631	0.641
	37	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631	0.641
	38	0.608	0.604	0.612	0.622	0.631	0.641



### Lengdeprofil 2 6 l/s Nedstrøms vannstand (meter)

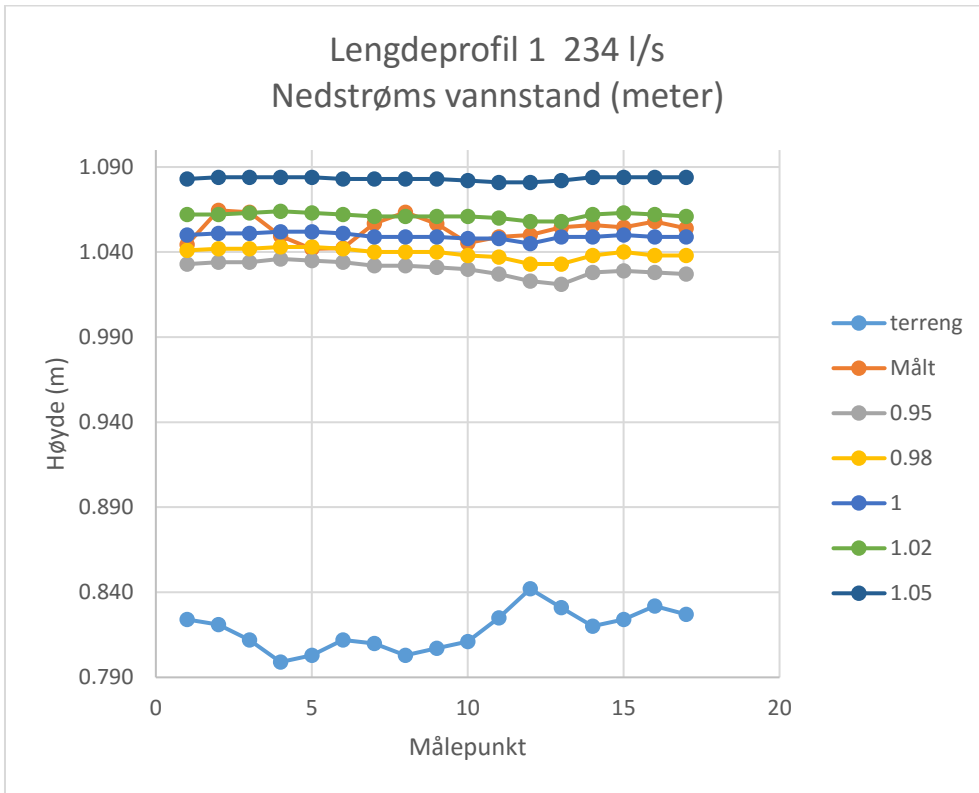


Endret parameter: Nedstrøms vannstand ved 234l/s

Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	234	234	234	234	234
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030	6030	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	0.95	0.98	1	1.02	1.05
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	01:55	02:00	01:49	01:57	01:53

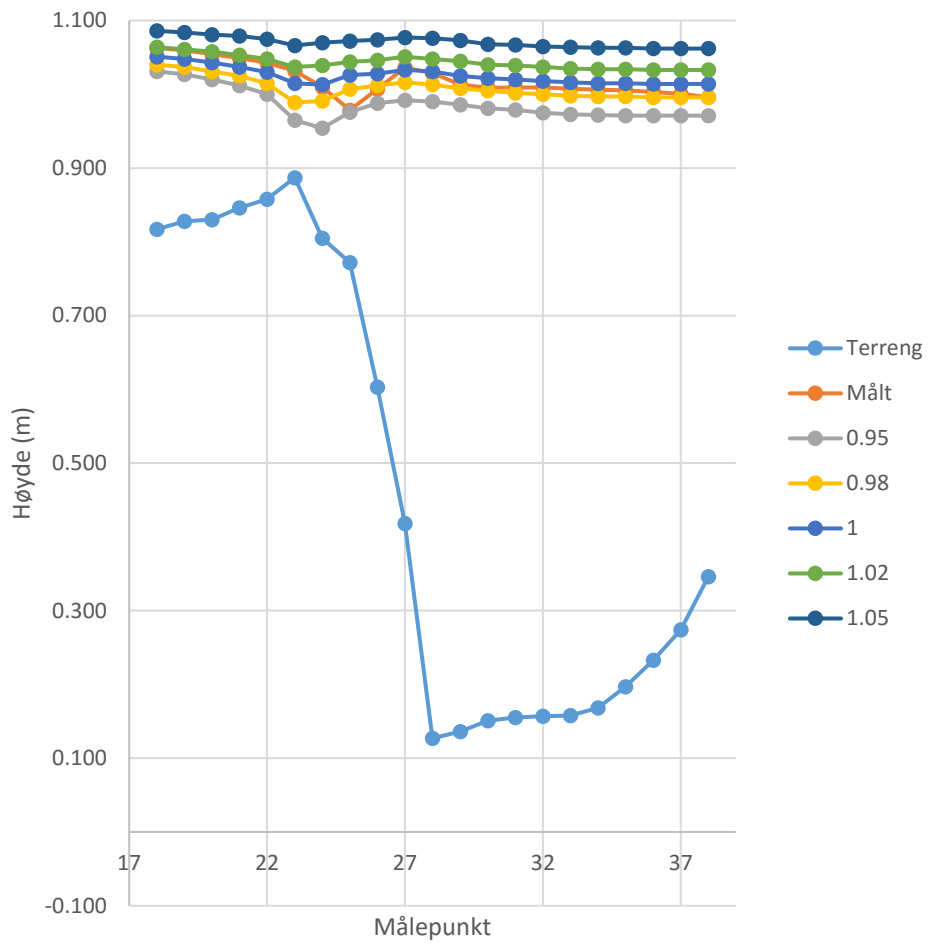
Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	1.044	1.033	1.041	1.050	1.062	1.083
	2	1.065	1.034	1.042	1.051	1.062	1.084
	3	1.063	1.034	1.042	1.051	1.063	1.084
	4	1.049	1.036	1.043	1.052	1.064	1.084
	5	1.042	1.035	1.043	1.052	1.063	1.084
	6	1.042	1.034	1.042	1.051	1.062	1.083
	7	1.057	1.032	1.040	1.049	1.061	1.083
	8	1.063	1.032	1.040	1.049	1.061	1.083
	9	1.057	1.031	1.040	1.049	1.061	1.083
	10	1.045	1.030	1.038	1.048	1.061	1.082
	11	1.049	1.027	1.037	1.048	1.060	1.081
	12	1.050	1.023	1.033	1.045	1.058	1.081
	13	1.055	1.021	1.033	1.049	1.058	1.082
	14	1.056	1.028	1.038	1.049	1.062	1.084
	15	1.055	1.029	1.040	1.050	1.063	1.084
	16	1.058	1.028	1.038	1.049	1.062	1.084
	17	1.054	1.027	1.038	1.049	1.061	1.084
Lengdeprofil 2	18	1.063	1.031	1.040	1.051	1.064	1.086
	19	1.059	1.027	1.037	1.048	1.061	1.084
	20	1.054	1.020	1.031	1.043	1.058	1.081
	21	1.049	1.012	1.025	1.037	1.053	1.079
	22	1.043	1.000	1.015	1.030	1.048	1.075
	23	1.032	0.965	0.989	1.015	1.037	1.066
	24	1.010	0.954	0.991	1.013	1.039	1.070
	25	0.979	0.976	1.007	1.026	1.044	1.072
	26	1.007	0.988	1.012	1.028	1.046	1.074
	27	1.036	0.992	1.016	1.033	1.051	1.077
	28	1.029	0.990	1.013	1.031	1.048	1.076
	29	1.013	0.986	1.008	1.025	1.045	1.073
	30	1.009	0.981	1.005	1.022	1.040	1.068
	31	1.009	0.979	1.002	1.020	1.039	1.067
	32	1.009	0.975	1.000	1.018	1.037	1.065
	33	1.008	0.973	0.998	1.016	1.035	1.064
	34	1.006	0.972	0.997	1.015	1.034	1.063
	35	1.005	0.971	0.997	1.015	1.034	1.063
	36	1.003	0.971	0.996	1.014	1.033	1.062
	37	1.000	0.971	0.996	1.014	1.033	1.062

	38	0.996	0.971	0.996	1.014	1.033	1.062
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------





### Lengdeprofil 2 234 l/s Nedstrøms vannstand (meter)

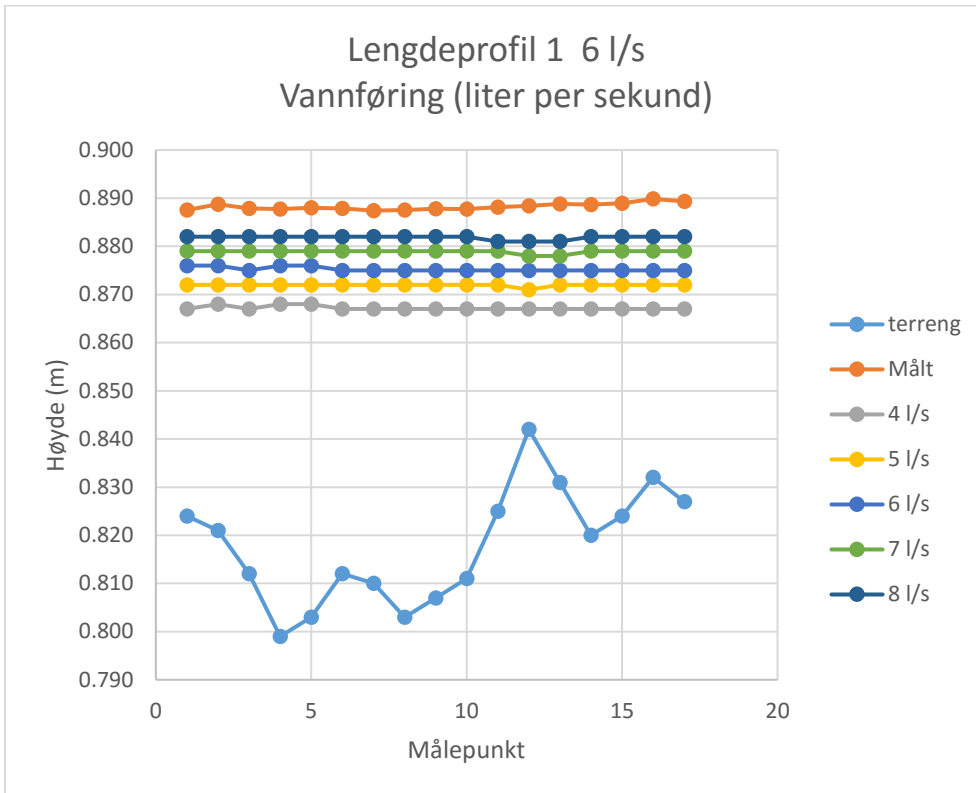


Endret parameter: Vannføring ved 6l/s

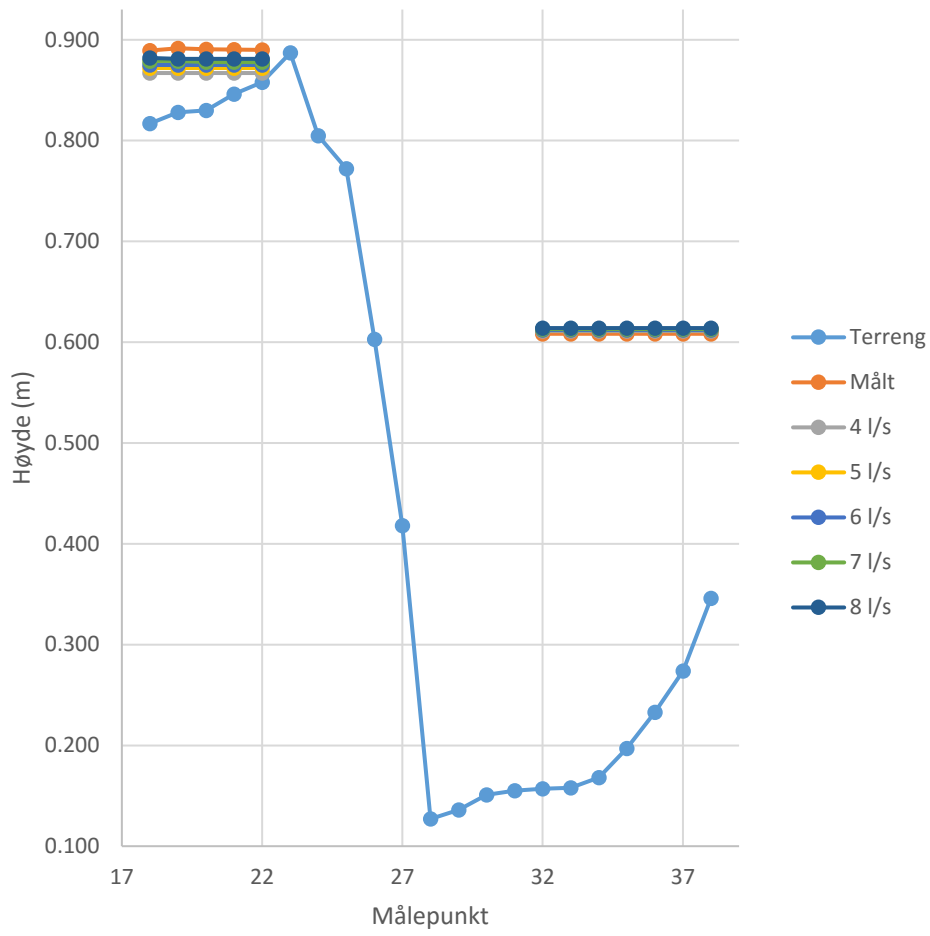
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	4	5	6	7	8
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030	6030	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	01:29	01:47	01:45	01:53	02:10

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	0.888	0.867	0.872	0.876	0.879	0.882
	2	0.889	0.868	0.872	0.876	0.879	0.882
	3	0.888	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	4	0.888	0.868	0.872	0.876	0.879	0.882
	5	0.888	0.868	0.872	0.876	0.879	0.882
	6	0.888	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	7	0.887	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	8	0.888	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	9	0.888	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	10	0.888	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	11	0.888	0.867	0.872	0.875	0.879	0.881
	12	0.888	0.867	0.871	0.875	0.878	0.881
	13	0.889	0.867	0.872	0.875	0.878	0.881
	14	0.889	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	15	0.889	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	16	0.890	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	17	0.889	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
Lengdeprofil 2	18	0.889	0.867	0.872	0.875	0.879	0.882
	19	0.892	0.867	0.872	0.875	0.879	0.881
	20	0.891	0.867	0.872	0.875	0.878	0.881
	21	0.890	0.867	0.872	0.875	0.878	0.881
	22	0.890	0.867	0.872	0.875	0.878	0.881
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
	32	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614
	33	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614
	34	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614
35	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614	
36	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614	
37	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614	

	38	0.608	0.611	0.612	0.612	0.613	0.614
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------



### Lengdeprofil 2 6 l/s Vannføring (liter per sekund)

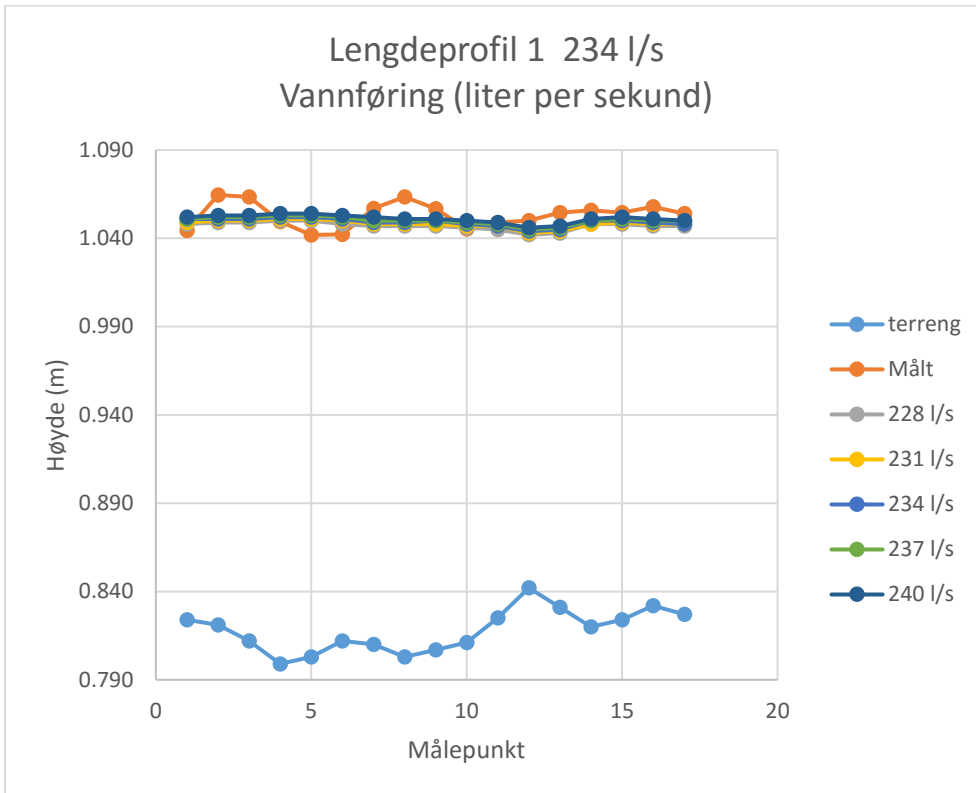


Endret parameter: Vannføring ved 234 l/s

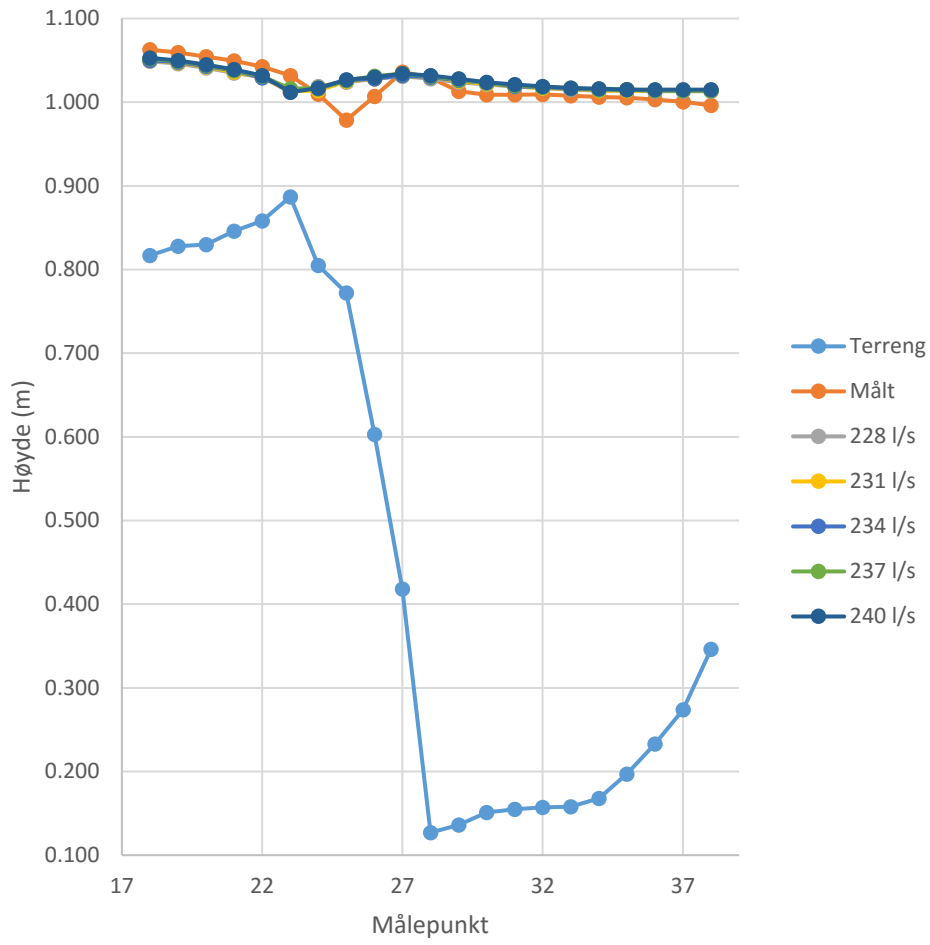
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	228	231	234	237	240
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030	6030	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	1	1	1	1	1
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	01:57	02:31	02:03	02:32	02:48

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	1.044	1.048	1.049	1.051	1.051	1.052
	2	1.065	1.049	1.050	1.051	1.052	1.053
	3	1.063	1.049	1.050	1.051	1.052	1.053
	4	1.049	1.05	1.051	1.052	1.053	1.054
	5	1.042	1.05	1.051	1.052	1.053	1.054
	6	1.042	1.048	1.050	1.051	1.052	1.053
	7	1.057	1.047	1.048	1.049	1.050	1.052
	8	1.063	1.047	1.048	1.049	1.050	1.051
	9	1.057	1.047	1.048	1.050	1.050	1.051
	10	1.045	1.046	1.047	1.048	1.049	1.050
	11	1.049	1.045	1.047	1.047	1.048	1.049
	12	1.050	1.042	1.043	1.044	1.045	1.046
	13	1.055	1.043	1.044	1.045	1.046	1.047
	14	1.056	1.048	1.048	1.050	1.050	1.051
	15	1.055	1.048	1.049	1.050	1.051	1.052
	16	1.058	1.047	1.048	1.049	1.050	1.051
	17	1.054	1.047	1.048	1.048	1.050	1.050
Lengdeprofil 2	18	1.063	1.049	1.050	1.050	1.052	1.053
	19	1.059	1.046	1.047	1.048	1.049	1.050
	20	1.054	1.041	1.042	1.043	1.044	1.045
	21	1.049	1.035	1.036	1.038	1.038	1.039
	22	1.043	1.03	1.030	1.029	1.031	1.032
	23	1.032	1.012	1.013	1.015	1.016	1.012
	24	1.010	1.019	1.014	1.016	1.017	1.017
	25	0.979	1.024	1.025	1.026	1.026	1.027
	26	1.007	1.028	1.028	1.028	1.031	1.030
	27	1.036	1.031	1.032	1.032	1.034	1.034
	28	1.029	1.028	1.030	1.030	1.031	1.032
	29	1.013	1.024	1.025	1.026	1.027	1.028
	30	1.009	1.021	1.022	1.023	1.023	1.024
	31	1.009	1.019	1.019	1.019	1.020	1.021
	32	1.009	1.017	1.017	1.018	1.018	1.019
	33	1.008	1.015	1.016	1.016	1.017	1.017
	34	1.006	1.014	1.014	1.015	1.015	1.016
	35	1.005	1.014	1.014	1.015	1.015	1.015
	36	1.003	1.013	1.014	1.014	1.014	1.015
	37	1.000	1.013	1.014	1.014	1.014	1.015

	38	0.996	1.013	1.014	1.014	1.014	1.015
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------



### Lengdeprofil 2 234 l/s Vannføring (liter per sekund)



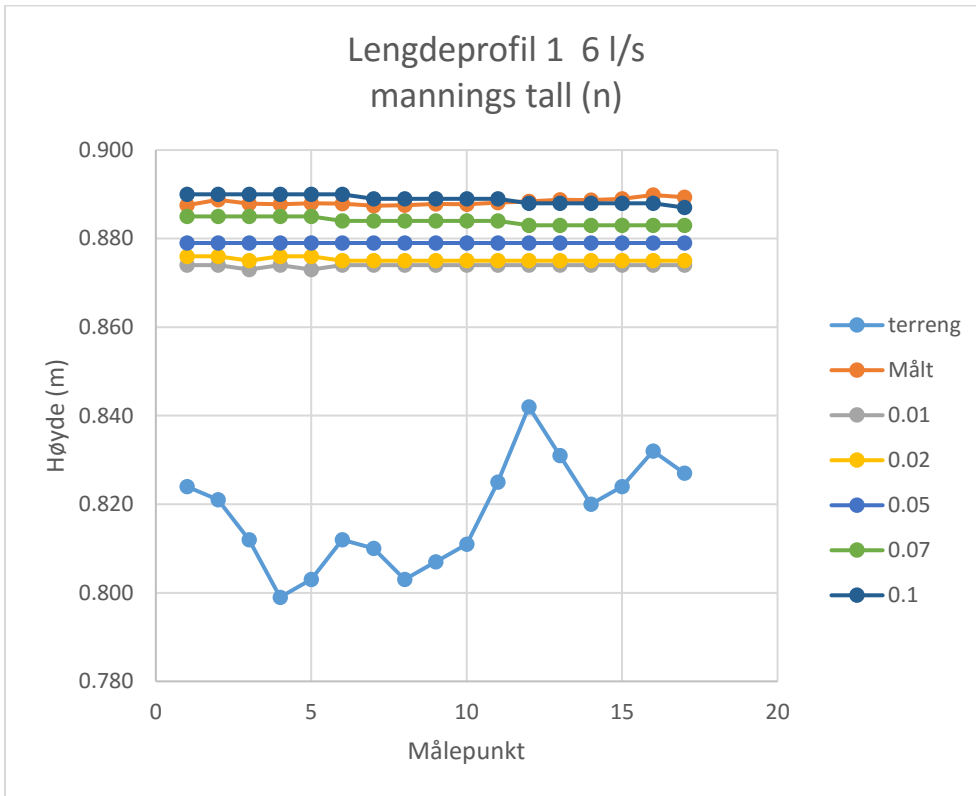
Endret parameter: Manningstall ved 6l/s

Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	6	6	6	6	6
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030	6030	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Manningstall (n)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.1
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	01:59	01:54	01:38	01:32	02:15

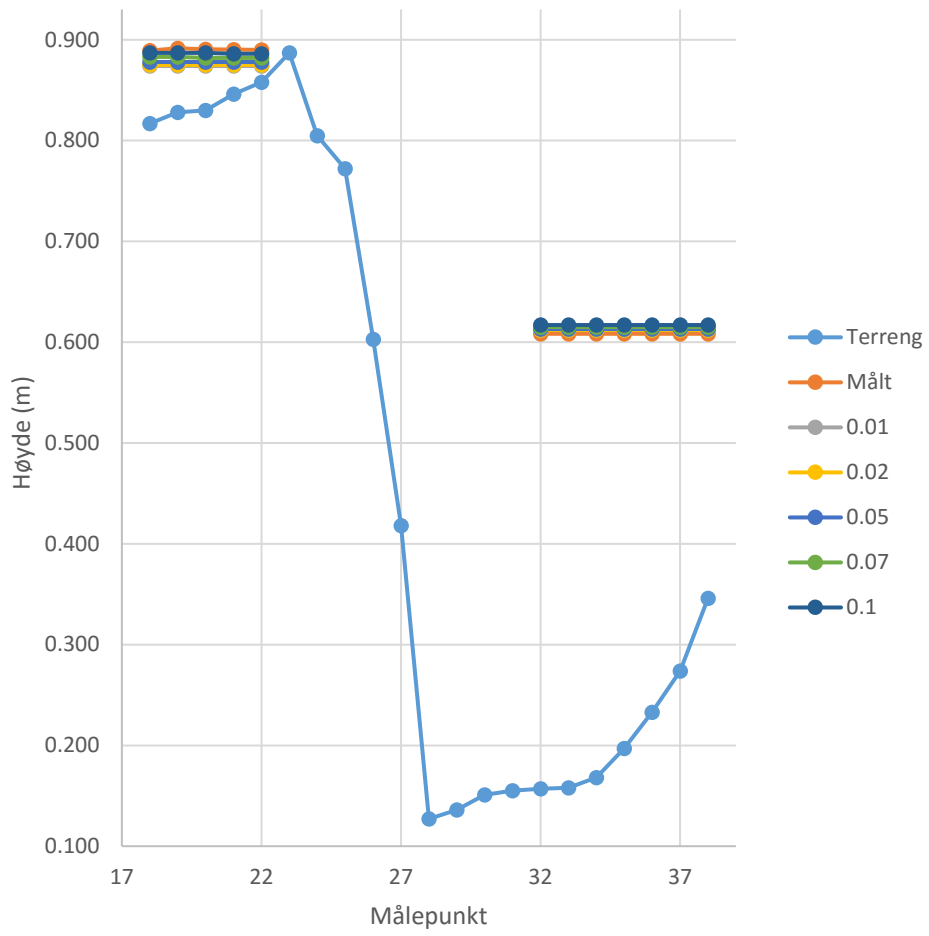
Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	0.888	0.874	0.876	0.879	0.885	0.890
	2	0.889	0.874	0.876	0.879	0.885	0.890
	3	0.888	0.873	0.875	0.879	0.885	0.890
	4	0.888	0.874	0.876	0.879	0.885	0.890
	5	0.888	0.873	0.876	0.879	0.885	0.890
	6	0.888	0.874	0.875	0.879	0.884	0.890
	7	0.887	0.874	0.875	0.879	0.884	0.889
	8	0.888	0.874	0.875	0.879	0.884	0.889
	9	0.888	0.874	0.875	0.879	0.884	0.889
	10	0.888	0.874	0.875	0.879	0.884	0.889
	11	0.888	0.874	0.875	0.879	0.884	0.889
	12	0.888	0.874	0.875	0.879	0.883	0.888
	13	0.889	0.874	0.875	0.879	0.883	0.888
	14	0.889	0.874	0.875	0.879	0.883	0.888
	15	0.889	0.874	0.875	0.879	0.883	0.888
	16	0.890	0.874	0.875	0.879	0.883	0.888
	17	0.889	0.874	0.875	0.879	0.883	0.887
Lengdeprofil 2	18	0.889	0.874	0.875	0.878	0.883	0.887
	19	0.892	0.874	0.875	0.878	0.883	0.887
	20	0.891	0.874	0.875	0.878	0.882	0.887
	21	0.890	0.874	0.875	0.878	0.882	0.886
	22	0.890	0.874	0.875	0.878	0.882	0.886
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
	32	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617
	33	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617
	34	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617
	35	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617
	36	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617
	37	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617



	38	0.608	0.612	0.612	0.613	0.615	0.617
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Lengdeprofil 2 6 l/s  
mannings tall (n)

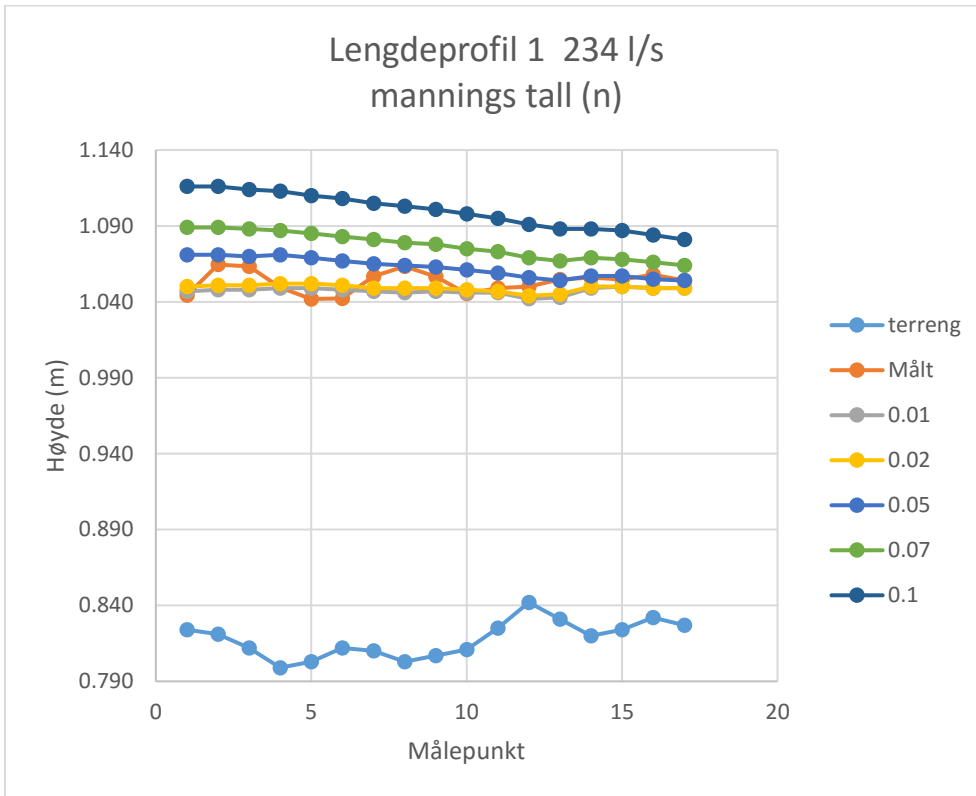


Endret parameter: Manningstall ved 234l/s

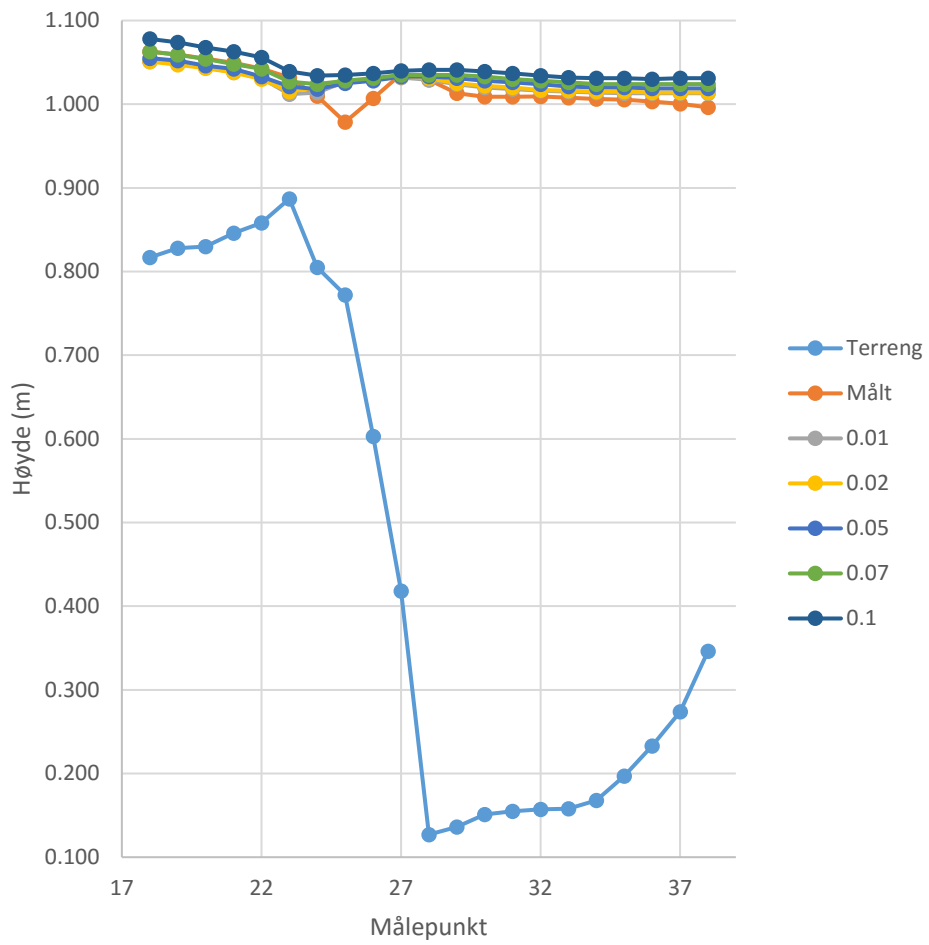
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	234	234	234	234	234
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030	6030	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	1	1	1	1	1
Manningstall (n)	0.01	0.02	0.05	0.07	0.1
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	01:57	02:27	01:58	01:59	02:18

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	1.044	1.047	1.050	1.071	1.089	1.116
	2	1.065	1.048	1.051	1.071	1.089	1.116
	3	1.063	1.048	1.051	1.070	1.088	1.114
	4	1.049	1.049	1.052	1.071	1.087	1.113
	5	1.042	1.049	1.052	1.069	1.085	1.110
	6	1.042	1.048	1.051	1.067	1.083	1.108
	7	1.057	1.047	1.049	1.065	1.081	1.105
	8	1.063	1.046	1.049	1.064	1.079	1.103
	9	1.057	1.047	1.049	1.063	1.078	1.101
	10	1.045	1.046	1.048	1.061	1.075	1.098
	11	1.049	1.046	1.047	1.059	1.073	1.095
	12	1.050	1.042	1.044	1.056	1.069	1.091
	13	1.055	1.043	1.045	1.054	1.067	1.088
	14	1.056	1.049	1.050	1.057	1.069	1.088
	15	1.055	1.050	1.050	1.057	1.068	1.087
	16	1.058	1.049	1.049	1.055	1.066	1.084
	17	1.054	1.049	1.049	1.054	1.064	1.081
Lengdeprofil 2	18	1.063	1.051	1.051	1.055	1.063	1.078
	19	1.059	1.049	1.047	1.052	1.059	1.074
	20	1.054	1.044	1.043	1.046	1.054	1.068
	21	1.049	1.038	1.038	1.042	1.048	1.063
	22	1.043	1.031	1.030	1.033	1.042	1.056
	23	1.032	1.012	1.015	1.021	1.027	1.039
	24	1.010	1.014	1.020	1.018	1.024	1.034
	25	0.979	1.027	1.026	1.025	1.028	1.035
	26	1.007	1.030	1.029	1.028	1.031	1.037
	27	1.036	1.032	1.033	1.033	1.035	1.040
	28	1.029	1.029	1.031	1.033	1.035	1.041
	29	1.013	1.024	1.025	1.031	1.035	1.041
	30	1.009	1.020	1.022	1.028	1.033	1.039
	31	1.009	1.018	1.020	1.026	1.030	1.037
	32	1.009	1.016	1.017	1.024	1.028	1.034
	33	1.008	1.015	1.016	1.021	1.026	1.032
	34	1.006	1.014	1.015	1.020	1.024	1.031
	35	1.005	1.013	1.015	1.020	1.024	1.031
	36	1.003	1.013	1.014	1.019	1.024	1.030
	37	1.000	1.013	1.014	1.019	1.024	1.031

	38	0.996	1.013	1.014	1.019	1.024	1.031
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Lengdeprofil 2 234 l/s  
mannings tall (n)

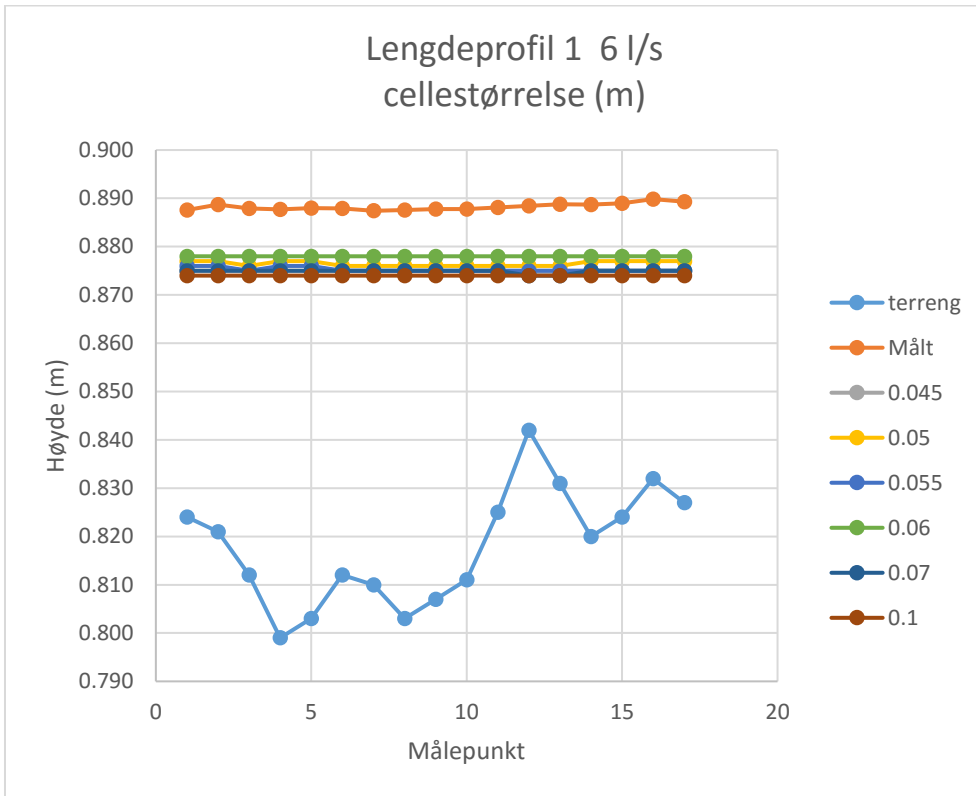


Endret parameter: cellestørrelse ved 6l/s

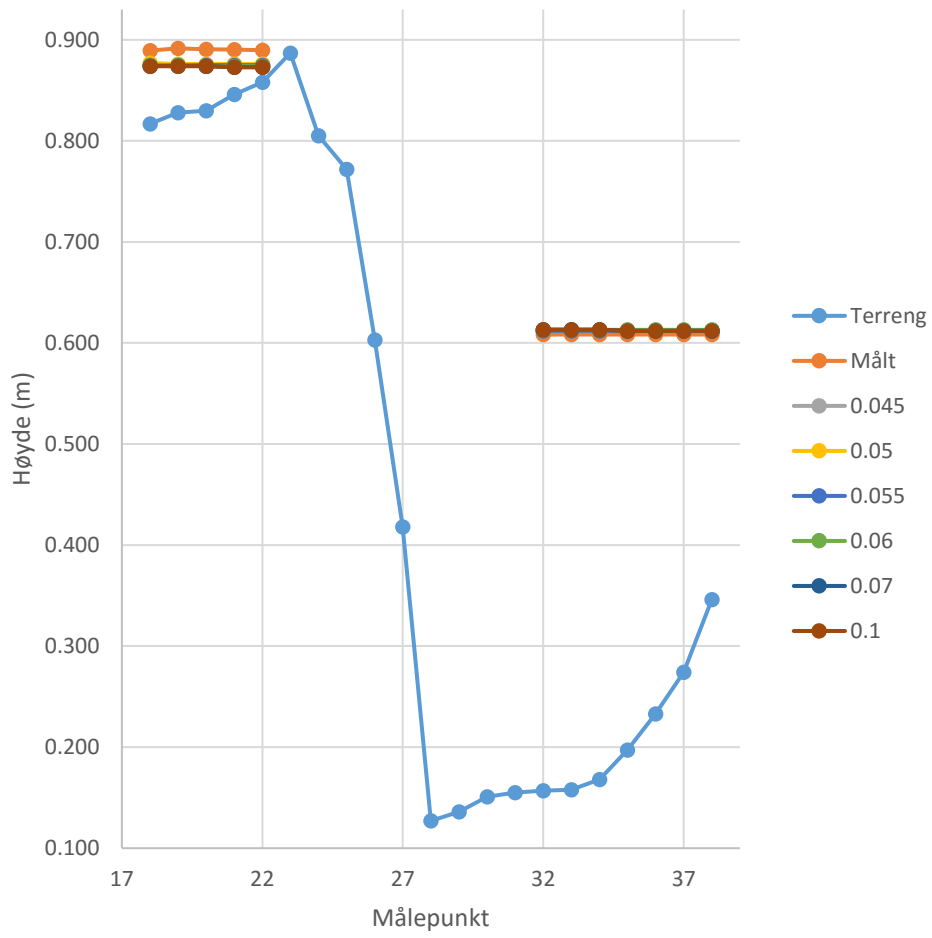
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	6	6	6	6	6	6
Cellestørrelse (meter)	0.045	0.05	0.055	0.06	0.07	0.1
Antall celler	9012	7302	6030	5055	3716	1808
Nedstrøms vannstand (meter)	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	03:38	02:27	01:47	01:50	01:00	00:28

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	0.888	0.875	0.877	0.876	0.878	0.875	0.874
	2	0.889	0.875	0.877	0.876	0.878	0.875	0.874
	3	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	4	0.888	0.875	0.877	0.876	0.878	0.875	0.874
	5	0.888	0.875	0.877	0.876	0.878	0.875	0.874
	6	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	7	0.887	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	8	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	9	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	10	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	11	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	12	0.888	0.875	0.876	0.875	0.878	0.874	0.874
	13	0.889	0.875	0.876	0.875	0.878	0.874	0.874
	14	0.889	0.875	0.877	0.875	0.878	0.875	0.874
	15	0.889	0.875	0.877	0.875	0.878	0.875	0.874
	16	0.890	0.875	0.877	0.875	0.878	0.875	0.874
	17	0.889	0.875	0.877	0.875	0.878	0.875	0.874
Lengdeprofil 2	18	0.889	0.875	0.877	0.875	0.878	0.875	0.874
	19	0.892	0.875	0.876	0.875	0.878	0.875	0.874
	20	0.891	0.875	0.876	0.875	0.878	0.874	0.874
	21	0.890	0.875	0.876	0.875	0.878	0.874	0.873
	22	0.890	0.875	0.876	0.875	0.878	0.874	0.873
	23							
	24							
	25							
	26							
	27							
	28							
	29							
	30							
	31							
	32	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.613
	33	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.613
	34	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.613
35	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.612	
36	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.612	
37	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.612	

	38	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.613	0.612
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Lengdeprofil 2 6 l/s  
cellestørrelse (m)



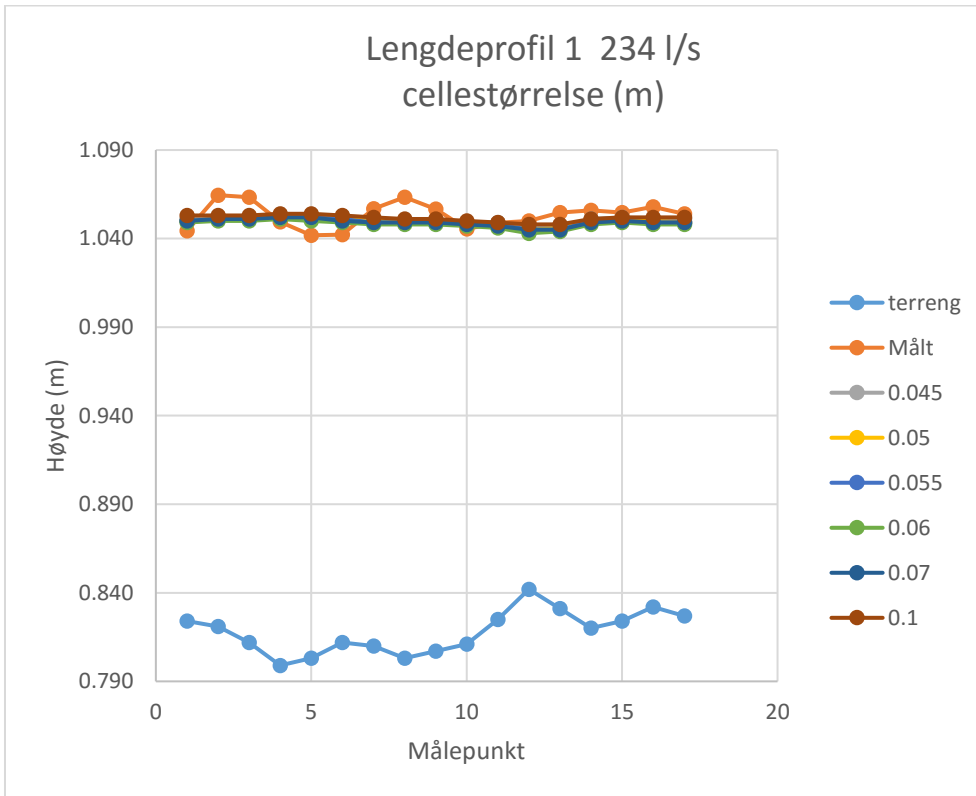


Endret parameter: cellestørrelse ved 234 l/s

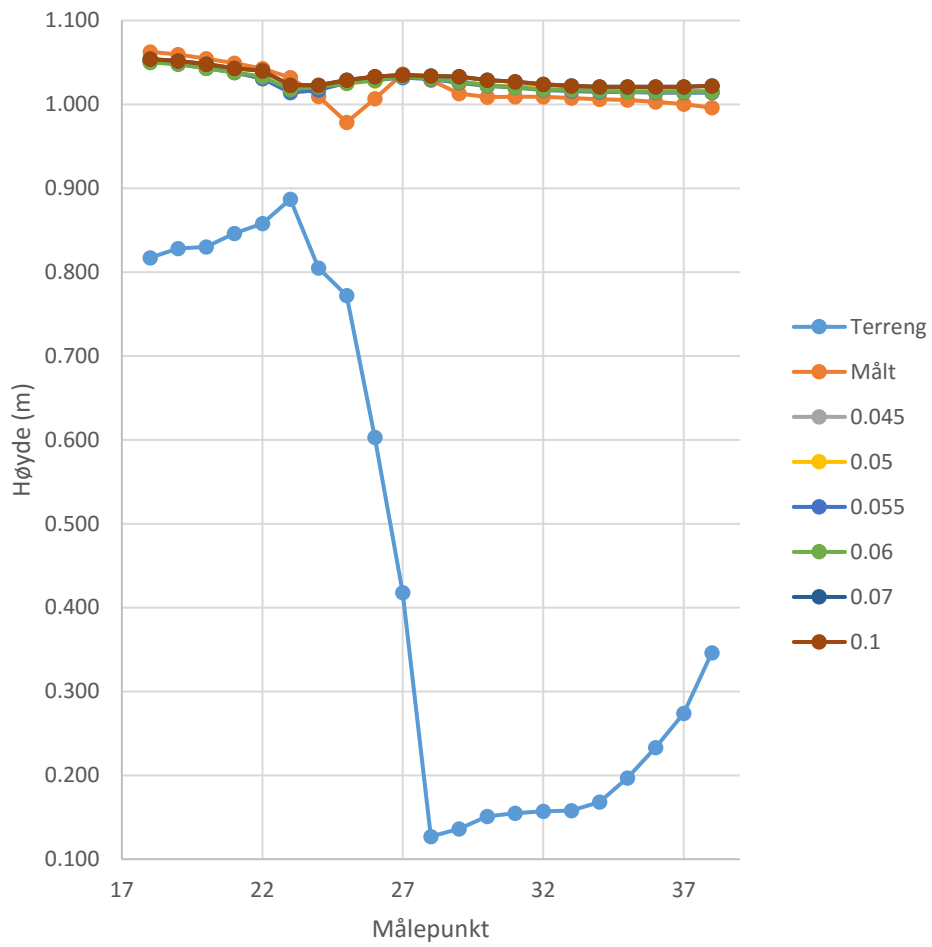
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	234	234	234	234	234	234
Cellestørrelse (meter)	0.045	0.05	0.055	0.06	0.07	0.1
Antall celler	9012	7302	6030	5055	3716	1808
Nedstrøms vannstand (meter)	1	1	1	1	1	1
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	03:39	02:39	02:26	01:57	01:25	00:44

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	1.044	1.051	1.050	1.050	1.049	1.050	1.053
	2	1.065	1.052	1.051	1.051	1.050	1.051	1.053
	3	1.063	1.051	1.051	1.051	1.050	1.051	1.053
	4	1.049	1.053	1.053	1.052	1.051	1.052	1.054
	5	1.042	1.053	1.052	1.052	1.050	1.052	1.054
	6	1.042	1.051	1.051	1.051	1.049	1.050	1.053
	7	1.057	1.05	1.050	1.049	1.048	1.049	1.052
	8	1.063	1.05	1.050	1.049	1.048	1.049	1.051
	9	1.057	1.05	1.050	1.050	1.048	1.049	1.051
	10	1.045	1.049	1.048	1.048	1.047	1.048	1.050
	11	1.049	1.049	1.048	1.048	1.046	1.047	1.049
	12	1.050	1.046	1.045	1.045	1.043	1.045	1.048
	13	1.055	1.046	1.046	1.045	1.044	1.045	1.048
	14	1.056	1.051	1.050	1.050	1.048	1.049	1.051
	15	1.055	1.052	1.051	1.050	1.049	1.050	1.052
	16	1.058	1.051	1.050	1.049	1.048	1.049	1.052
	17	1.054	1.051	1.049	1.049	1.048	1.049	1.052
Lengdeprofil 2	18	1.063	1.053	1.052	1.051	1.050	1.050	1.054
	19	1.059	1.05	1.049	1.048	1.047	1.048	1.052
	20	1.054	1.044	1.044	1.043	1.042	1.043	1.048
	21	1.049	1.039	1.038	1.038	1.038	1.038	1.043
	22	1.043	1.031	1.031	1.031	1.031	1.033	1.040
	23	1.032	1.017	1.019	1.014	1.012	1.018	1.023
	24	1.010	1.02	1.019	1.017	1.018	1.021	1.023
	25	0.979	1.027	1.025	1.026	1.025	1.025	1.029
	26	1.007	1.03	1.028	1.029	1.029	1.029	1.033
	27	1.036	1.035	1.034	1.032	1.032	1.033	1.035
	28	1.029	1.032	1.031	1.030	1.030	1.031	1.034
	29	1.013	1.028	1.026	1.026	1.025	1.027	1.033
	30	1.009	1.023	1.022	1.022	1.022	1.023	1.029
	31	1.009	1.021	1.021	1.020	1.019	1.020	1.027
	32	1.009	1.02	1.019	1.017	1.017	1.018	1.024
	33	1.008	1.019	1.017	1.016	1.016	1.017	1.022
	34	1.006	1.018	1.016	1.015	1.015	1.016	1.021
	35	1.005	1.017	1.016	1.015	1.014	1.015	1.021
	36	1.003	1.016	1.015	1.014	1.014	1.015	1.021
	37	1.000	1.016	1.015	1.014	1.014	1.015	1.021

	38	0.996	1.016	1.015	1.014	1.014	1.015	1.022
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Lengdeprofil 2 234 l/s  
cellestørrelse (m)

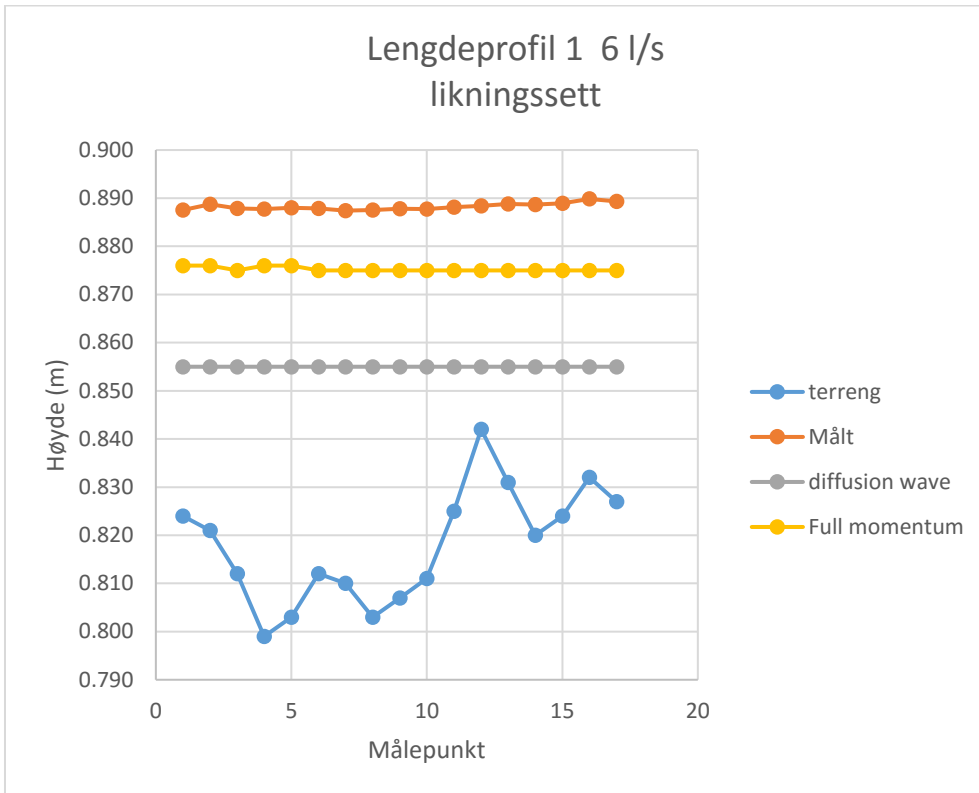


Endret parameter: full momuntum/ diffusjonswave ved 6l/s

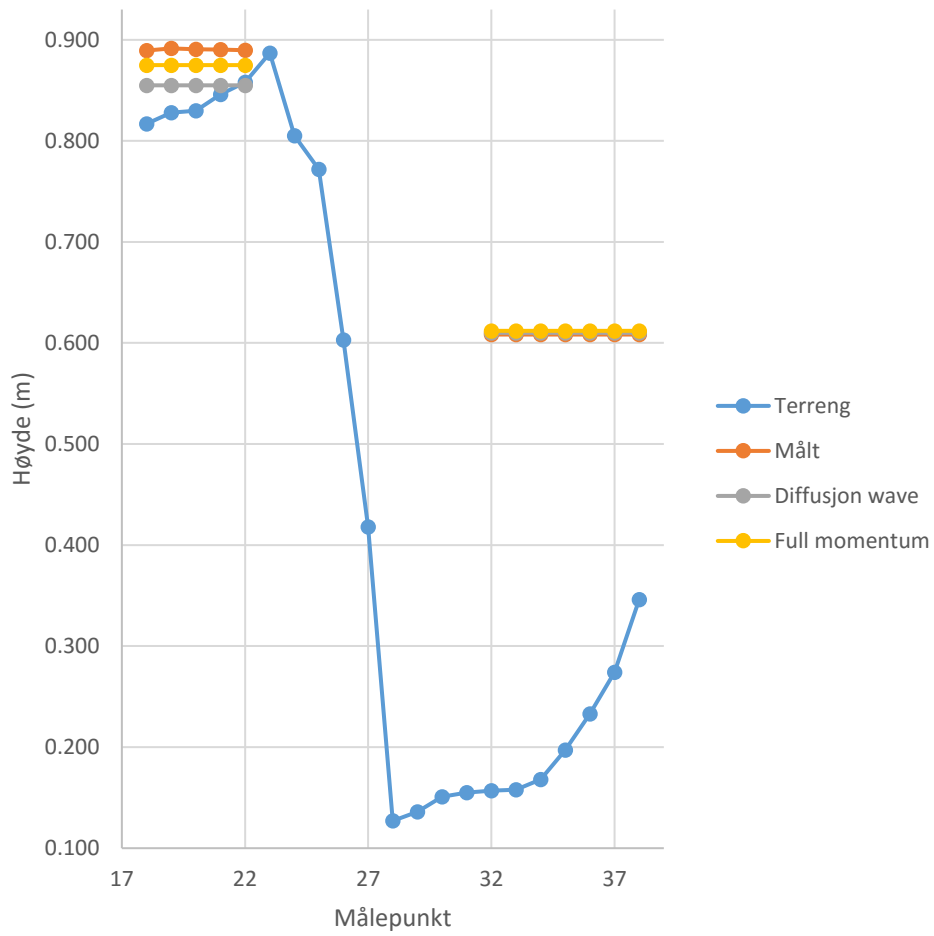
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	6	6
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	0.61	0.61
Manningstall (n)	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	Diff wave	full M
Beregningstid (min:sek)	01:11	01:56

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	0.888	0.855	0.876
	2	0.889	0.855	0.876
	3	0.888	0.855	0.875
	4	0.888	0.855	0.876
	5	0.888	0.855	0.876
	6	0.888	0.855	0.875
	7	0.887	0.855	0.875
	8	0.888	0.855	0.875
	9	0.888	0.855	0.875
	10	0.888	0.855	0.875
	11	0.888	0.855	0.875
	12	0.888	0.855	0.875
	13	0.889	0.855	0.875
	14	0.889	0.855	0.875
	15	0.889	0.855	0.875
	16	0.890	0.855	0.875
	17	0.889	0.855	0.875
Lengdeprofil 2	18	0.889	0.855	0.875
	19	0.892	0.855	0.875
	20	0.891	0.855	0.875
	21	0.890	0.855	0.875
	22	0.890	0.855	0.875
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			
	29			
	30			
	31			
	32	0.608	0.61	0.612
	33	0.608	0.61	0.612
	34	0.608	0.61	0.612
	35	0.608	0.61	0.612
	36	0.608	0.61	0.612
	37	0.608	0.61	0.612

	38	0.608	0.61	0.612
--	----	-------	------	-------



Lengdeprofil 2 6 l/s  
likningssett

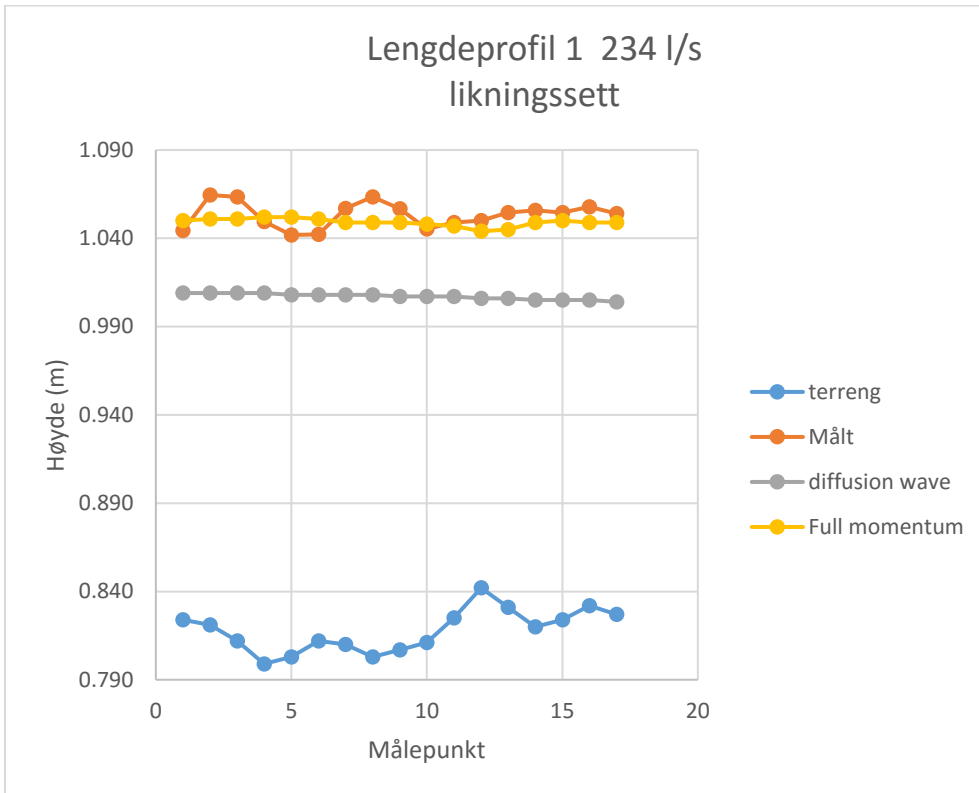


Endret parameter: full momentum/diffusjonswave ved 234 l/s

Tidskritt (sekunder)	0.1	0.1
Vannføring (liter/sekund)	234	234
Cellestørrelse (meter)	0.055	0.055
Antall celler	6030	6030
Nedstrøms vannstand (meter)	1	1
Manningstall (n)	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	Diff wave	full M
Beregningstid (min:sek)	00:55	02:00

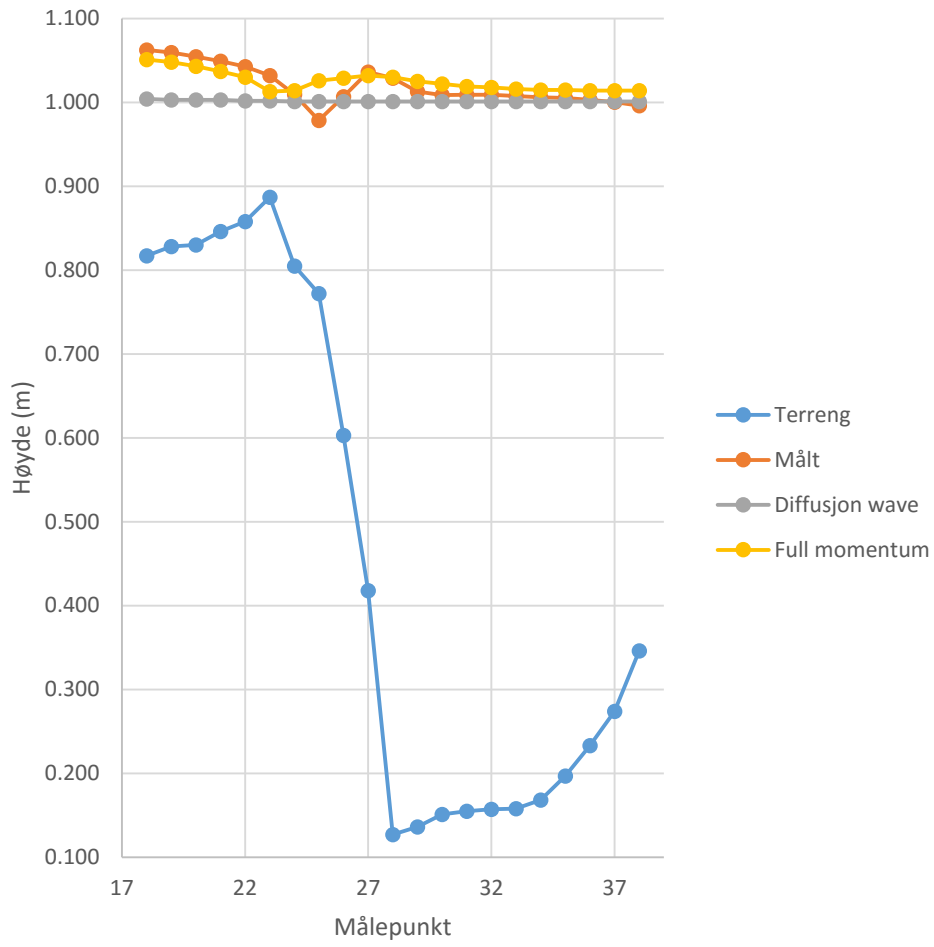
Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	1.044	1.009	1.050
	2	1.065	1.009	1.051
	3	1.063	1.009	1.051
	4	1.049	1.009	1.052
	5	1.042	1.008	1.052
	6	1.042	1.008	1.051
	7	1.057	1.008	1.049
	8	1.063	1.008	1.049
	9	1.057	1.007	1.049
	10	1.045	1.007	1.048
	11	1.049	1.007	1.047
	12	1.050	1.006	1.044
	13	1.055	1.006	1.045
	14	1.056	1.005	1.049
	15	1.055	1.005	1.050
	16	1.058	1.005	1.049
	17	1.054	1.004	1.049
Lengdeprofil 2	18	1.063	1.004	1.051
	19	1.059	1.003	1.048
	20	1.054	1.003	1.043
	21	1.049	1.003	1.037
	22	1.043	1.002	1.030
	23	1.032	1.002	1.013
	24	1.010	1.001	1.014
	25	0.979	1.001	1.026
	26	1.007	1.001	1.029
	27	1.036	1.001	1.032
	28	1.029	1.001	1.030
	29	1.013	1.001	1.025
	30	1.009	1.001	1.022
	31	1.009	1.001	1.019
	32	1.009	1.001	1.018
	33	1.008	1.001	1.016
	34	1.006	1.001	1.015
	35	1.005	1.001	1.015
	36	1.003	1.001	1.014
	37	1.000	1.001	1.014

	38	0.996	1.001	1.014
--	----	-------	-------	-------





### Lengdeprofil 2 234 l/s likningssett

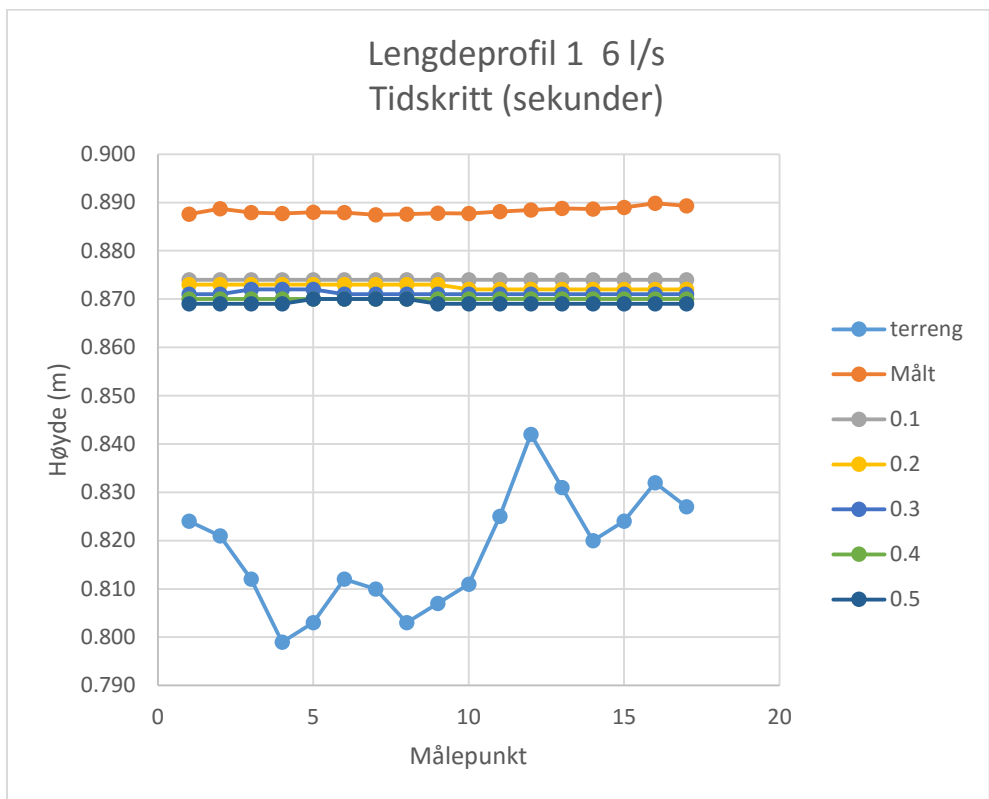


Endret parameter: tidskritt ved 6 l/s

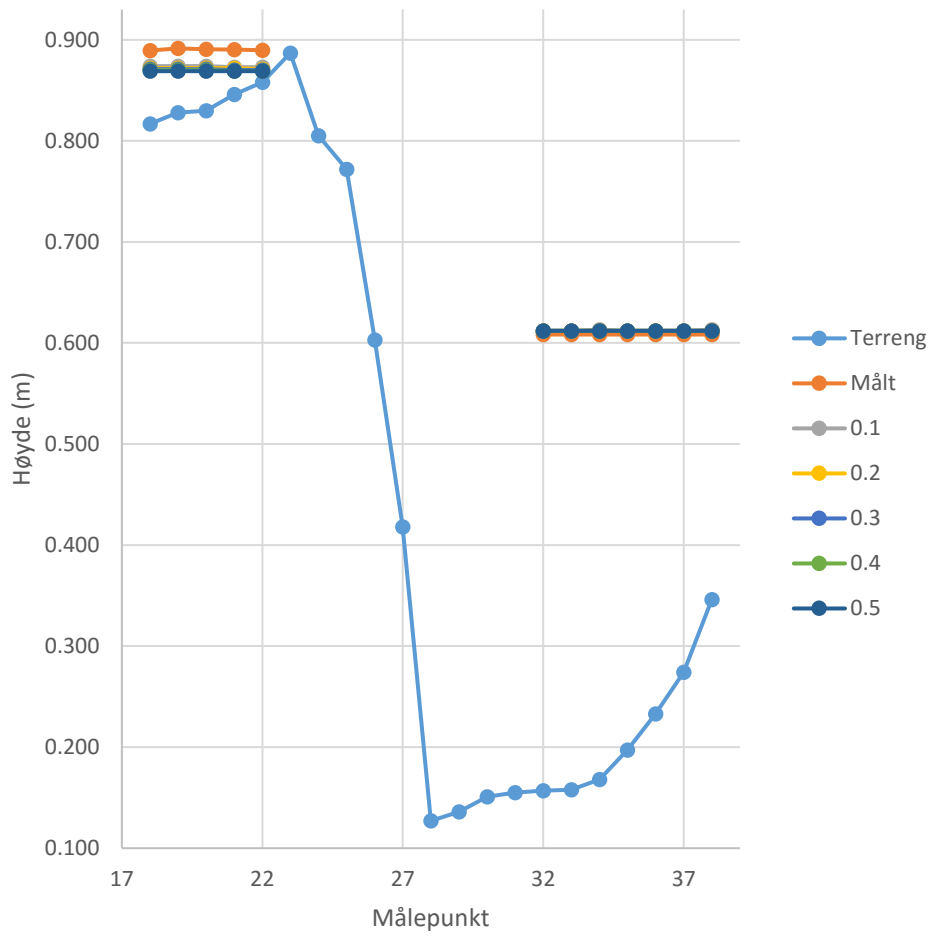
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Vannføring (liter/sekund)	6	6	6	6	6
Cellestørrelse (meter)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Antall celler	1808	1808	1808	1808	1808
Nedstrøms vannstand (meter)	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	00:30	00:15	00:14	00:20	00:17

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	0.888	0.874	0.873	0.871	0.870	0.869
	2	0.889	0.874	0.873	0.871	0.870	0.869
	3	0.888	0.874	0.873	0.872	0.870	0.869
	4	0.888	0.874	0.873	0.872	0.870	0.869
	5	0.888	0.874	0.873	0.872	0.870	0.870
	6	0.888	0.874	0.873	0.871	0.870	0.870
	7	0.887	0.874	0.873	0.871	0.870	0.870
	8	0.888	0.874	0.873	0.871	0.870	0.870
	9	0.888	0.874	0.873	0.871	0.870	0.869
	10	0.888	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	11	0.888	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	12	0.888	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	13	0.889	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	14	0.889	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	15	0.889	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	16	0.890	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	17	0.889	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
Lengdeprofil 2	18	0.889	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	19	0.892	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	20	0.891	0.874	0.872	0.871	0.870	0.869
	21	0.890	0.873	0.872	0.870	0.869	0.869
	22	0.890	0.873	0.871	0.870	0.869	0.869
	23						
	24						
	25						
	26						
	27						
	28						
	29						
	30						
	31						
	32	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612
	33	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612
	34	0.608	0.613	0.612	0.612	0.612	0.612
	35	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612
	36	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612

	37	0.608	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612
	38	0.608	0.613	0.612	0.612	0.612	0.612



### Lengdeprofil 2 6 l/s Tidskritt (sekunder)

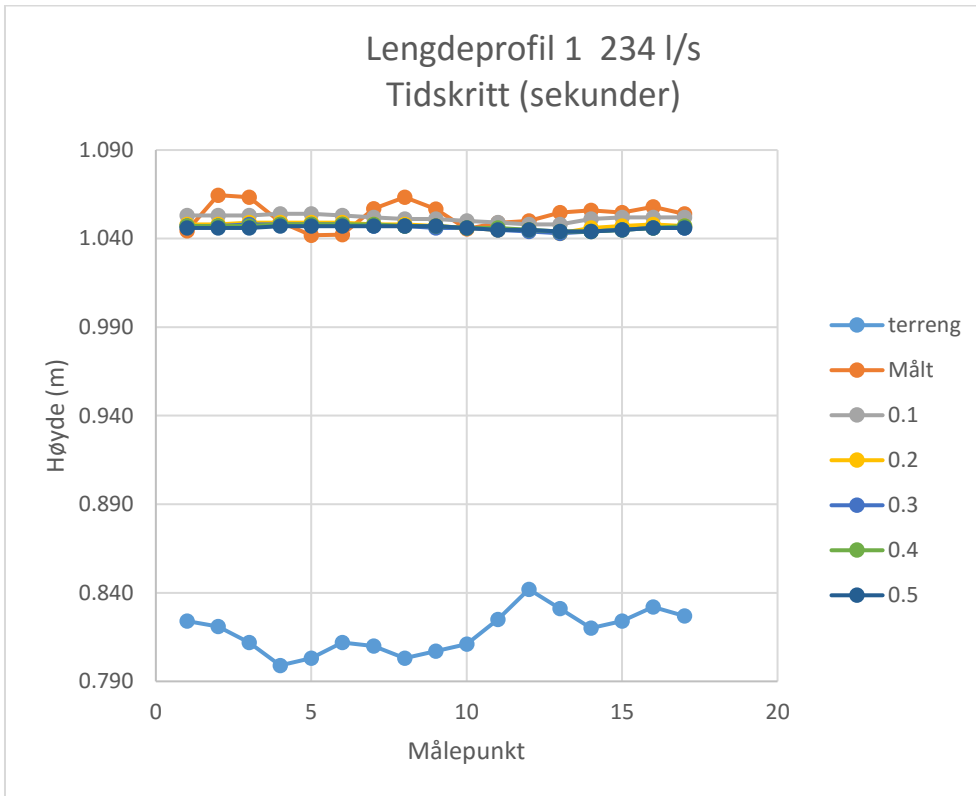


Endret parameter: Tidskritt ved 234 l/s

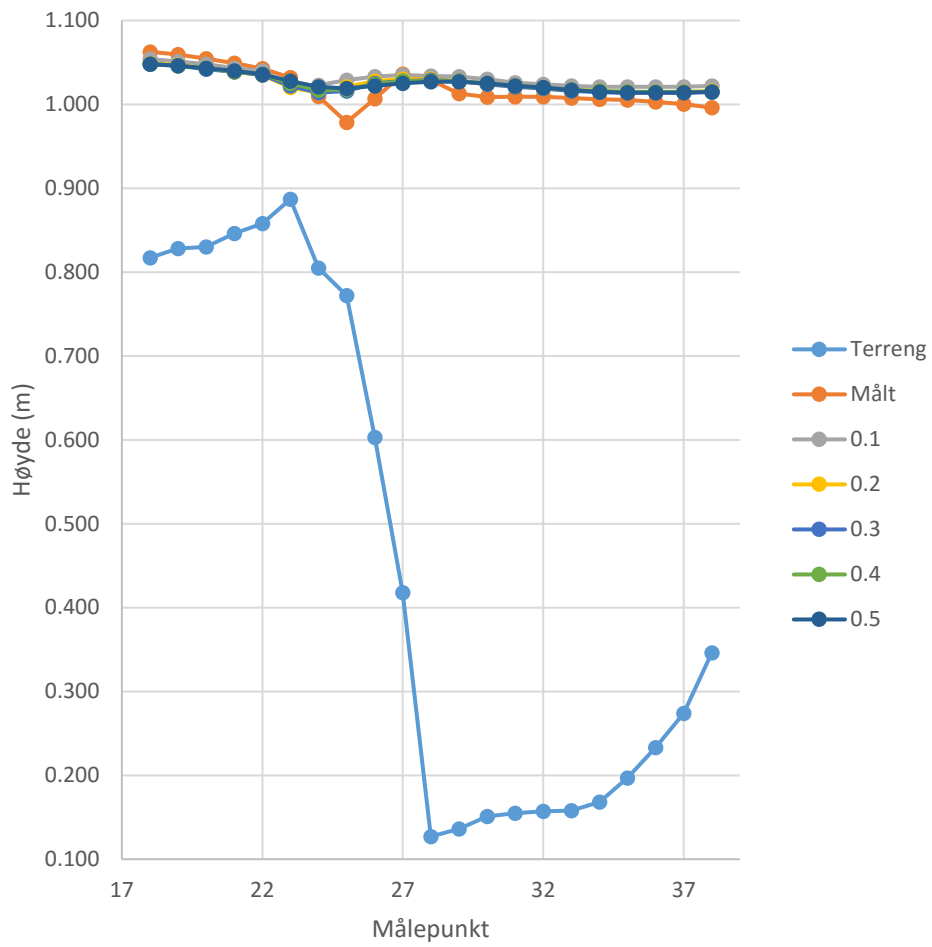
Tidskritt (sekunder)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Vannføring (liter/sekund)	234	234	234	234	234
Cellestørrelse (meter)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Antall celler	1808	1808	1808	1808	1808
Nedstrøms vannstand (meter)	1	1	1	1	1
Manningstall (n)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Full momentum/diffusjonwave	full M	full M	full M	full M	full M
Beregningstid (min:sek)	00:30	00:16	00:11	00:10	00:10

Målepunkt	Målt	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	Beregnet	
Lengdeprofil 1	1	1.044	1.053	1.048	1.047	1.047	1.046
	2	1.065	1.053	1.048	1.047	1.047	1.046
	3	1.063	1.053	1.049	1.048	1.047	1.046
	4	1.049	1.054	1.049	1.048	1.048	1.047
	5	1.042	1.054	1.049	1.048	1.048	1.047
	6	1.042	1.053	1.049	1.048	1.048	1.047
	7	1.057	1.052	1.048	1.047	1.048	1.047
	8	1.063	1.051	1.048	1.047	1.047	1.047
	9	1.057	1.051	1.047	1.046	1.047	1.047
	10	1.045	1.05	1.046	1.046	1.046	1.046
	11	1.049	1.049	1.045	1.045	1.046	1.045
	12	1.050	1.048	1.045	1.044	1.045	1.045
	13	1.055	1.048	1.043	1.043	1.044	1.044
	14	1.056	1.051	1.046	1.044	1.044	1.044
	15	1.055	1.052	1.047	1.045	1.045	1.045
	16	1.058	1.052	1.048	1.046	1.046	1.046
	17	1.054	1.052	1.047	1.046	1.047	1.046
Lengdeprofil 2	18	1.063	1.054	1.049	1.048	1.048	1.048
	19	1.059	1.051	1.047	1.046	1.046	1.046
	20	1.054	1.048	1.043	1.042	1.043	1.043
	21	1.049	1.043	1.039	1.039	1.039	1.040
	22	1.043	1.04	1.035	1.035	1.036	1.036
	23	1.032	1.022	1.020	1.022	1.025	1.028
	24	1.010	1.023	1.014	1.014	1.017	1.021
	25	0.979	1.029	1.021	1.016	1.018	1.019
	26	1.007	1.033	1.028	1.025	1.024	1.022
	27	1.036	1.035	1.030	1.028	1.028	1.025
	28	1.029	1.034	1.030	1.029	1.028	1.027
	29	1.013	1.033	1.028	1.028	1.028	1.027
	30	1.009	1.03	1.024	1.024	1.025	1.025
	31	1.009	1.026	1.022	1.021	1.022	1.022
	32	1.009	1.024	1.019	1.019	1.020	1.020
	33	1.008	1.022	1.017	1.016	1.017	1.017
	34	1.006	1.021	1.016	1.015	1.016	1.015
	35	1.005	1.021	1.015	1.014	1.015	1.014
	36	1.003	1.021	1.015	1.014	1.015	1.014
	37	1.000	1.021	1.015	1.014	1.015	1.014

	38	0.996	1.022	1.016	1.015	1.015	1.015
--	----	-------	-------	-------	-------	-------	-------



### Lengdeprofil 2 234 l/s Tidskritt (sekunder)



### Vedlegg 3

Vannhastigheter målt i Eggafossen

#### 6 l/s vannføring:

##### Tverrsnitt 1

	Høyde		0.855	m
Punkt	x	y	z	
H1	-0.06778	0.008761	0.033855	
H2	-0.07024	0.010422	0.044503	
H3	-0.07229	0.010563	0.022042	
H4	-0.03258	-0.00681	0.001394	
H5	0.004682	-0.01781	-0.0015	
H6	0.055329	-0.02521	0.00268	
H7	0.103841	-0.02747	0.005647	
H8	0.184227	-0.05483	-0.00496	
H9	0.289043	-0.05724	0.057048	
H10	0.1347	0.032812	-0.1615	
H11	-0.01573	0.003911	0.010369	

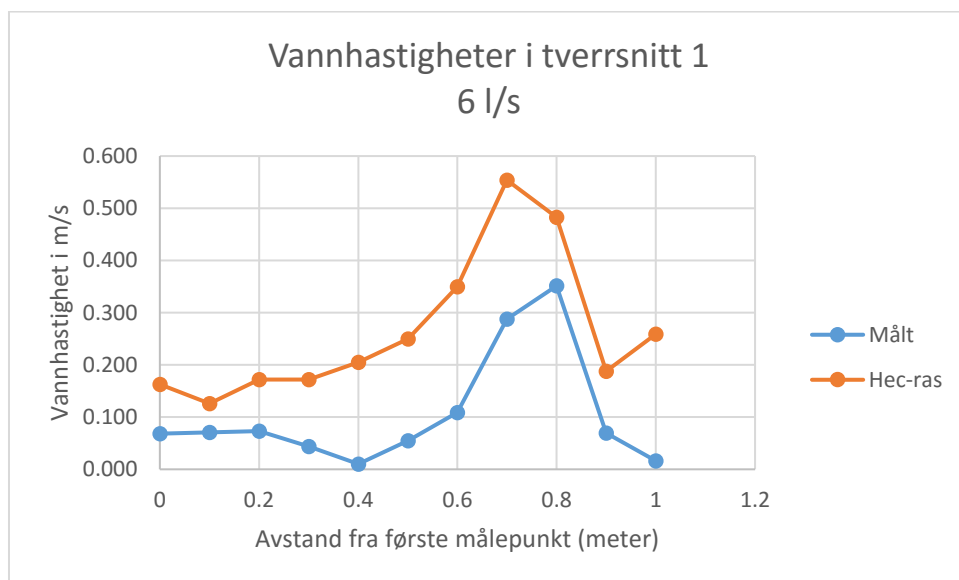
	Høyde		0.83	m
Punkt	x	y	z	
H4	-0.05518	0.0151	0.011613	
H5	-0.00467	-0.00255	-0.0013	
H6	0.049467	-0.00751	-0.00336	
H7	0.100356	-0.00634	0.002181	
H8	0.19267	-0.0309	-0.03538	
H9	0.297086	-0.05867	0.164837	
H10	0.000274	0.000073	-0.00113	

	Høyde		0.805	m
Punkt	x	y	z	
H7	0.118218	-0.01408	-0.00164	
H8	0.470009	-0.08188	-0.14373	
H9	0.463511	0.018591	-0.93202	



Total hastigheter i m/s

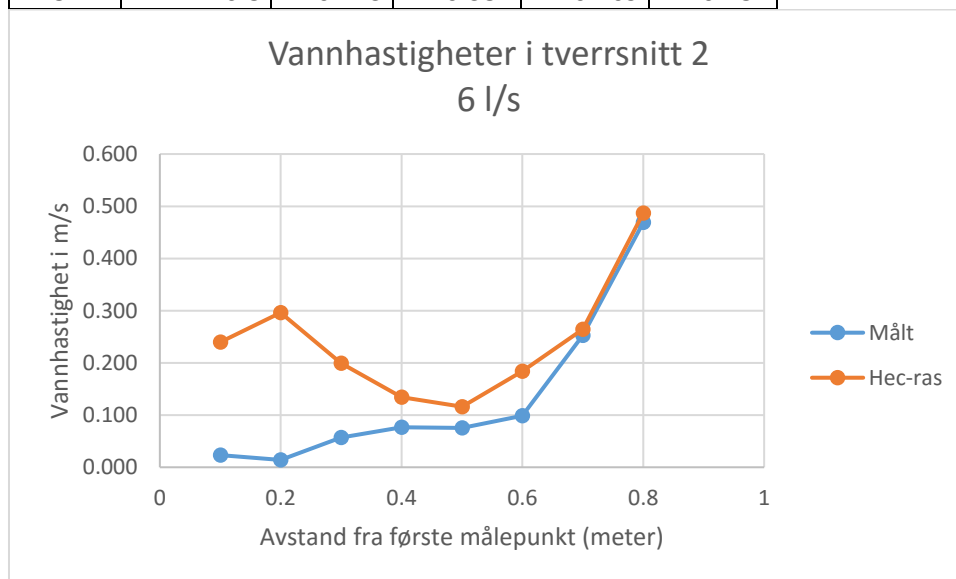
Punkt	Avstand	x	y	Total	Hec-ras
H1	0	-0.068	0.009	0.068	0.163
H2	0.1	-0.070	0.010	0.071	0.126
H3	0.2	-0.072	0.011	0.073	0.172
H4	0.3	-0.044	0.004	0.044	0.172
H5	0.4	0.000	-0.010	0.010	0.205
H6	0.5	0.052	-0.016	0.055	0.25
H7	0.6	0.107	-0.016	0.109	0.35
H8	0.7	0.282	-0.056	0.288	0.554
H9	0.8	0.350	-0.032	0.351	0.483
H10	0.9	0.067	0.016	0.069	0.188
H11	1	-0.016	0.004	0.016	0.259



## Tverrsnitt 2

Total hastigheter i m/s

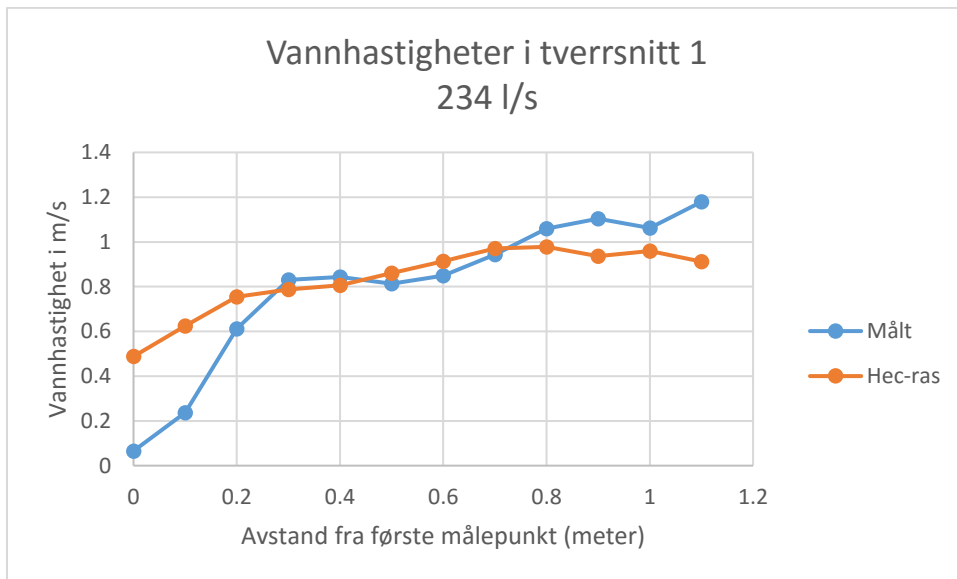
Punkt	avstand	x	y	Total	Hec-ras
H21	0.1	-0.015	-0.018	0.023	0.24
H22	0.2	0.009	-0.011	0.014	0.296
H23	0.3	0.055	-0.013	0.057	0.199
H24	0.4	0.076	-0.005	0.077	0.134
H25	0.5	0.075	0.003	0.075	0.116
H26	0.6	0.092	0.036	0.099	0.184
H27	0.7	0.192	0.164	0.253	0.264
H28	0.8	0.273	0.381	0.469	0.487



## 234 l/s vannføring:

### Tverrsnitt 1

Punkt	Avstand	x	y	z	Total (x,y)	Hec-ras
H1	0	0.065	0.009487	-0.06357	0.0656887	0.488
H2	0.1	0.234334	-0.03315	0.040706	0.2366674	0.624
H3	0.2	0.609371	-0.05799	-0.00364	0.6121242	0.755
H4	0.3	0.827345	-0.07873	-0.01468	0.8310822	0.787
H5	0.4	0.843757	0.006949	-0.0473	0.8437856	0.806
H6	0.5	0.811385	0.049123	-0.0076	0.8128706	0.861
H7	0.6	0.84534	0.085176	0.014083	0.8496203	0.914
H8	0.7	0.939777	0.081309	0.035588	0.9432878	0.97
H9	0.8	1.058983	0.03083	0.113601	1.0594317	0.978
H10	0.9	1.102247	0.044897	0.156897	1.103161	0.936
H11	1	1.031987	0.254381	0.142504	1.0628767	0.959
H12	1.1	1.168333	0.159355	-0.04144	1.1791505	0.912



## Tverrsnitt 2

Punkt	Avstand	x	y	z	Total (x,y)	Hec-ras
H21	0	0.505853	-0.02254	0.012831	0.506355	0.582
H22	0.1	0.56618	0.01613	-0.01847	0.5664097	0.71
H23	0.2	0.597967	0.018152	0.031636	0.5982424	0.803
H24	0.3	0.678216	0.016966	0.002024	0.6784282	0.856
H25	0.4	0.714645	0.063154	0.044827	0.7174301	0.916
H26	0.5	0.764694	0.080373	0.057026	0.7689062	0.969
H27	0.6	0.754784	0.089045	0.146449	0.7600184	1
H28	0.7	0.865122	0.16398	0.068634	0.8805257	1.014
H29	0.8	0.950848	0.284164	-0.00459	0.9924017	1.014
H30	0.9	1.161342	0.222699	-0.14339	1.1825016	1.016
H31	1	0.932033	0.16202	-0.02249	0.9460106	1.03
H32	1.1	0.554441	-0.17915	0.114152	0.5826659	1.125
H33	1.2	0.775984	-0.04398	-0.10517	0.7772291	1.154
H34	1.3	0.920638	-0.0683	-0.06705	0.9231677	1.049

## Vedlegg 4

### Renne: Situasjon 1

#### Vannstander

##### Vannstand: målt

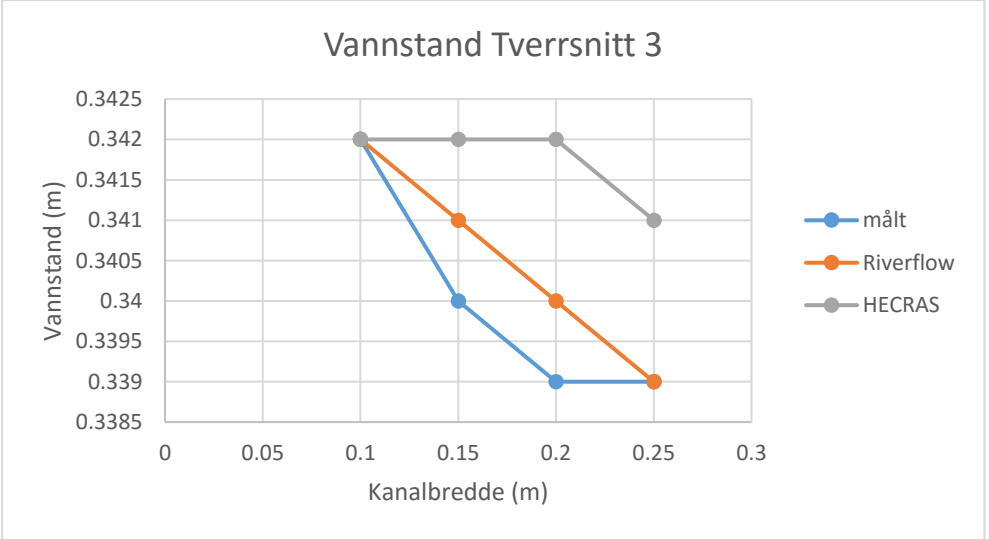
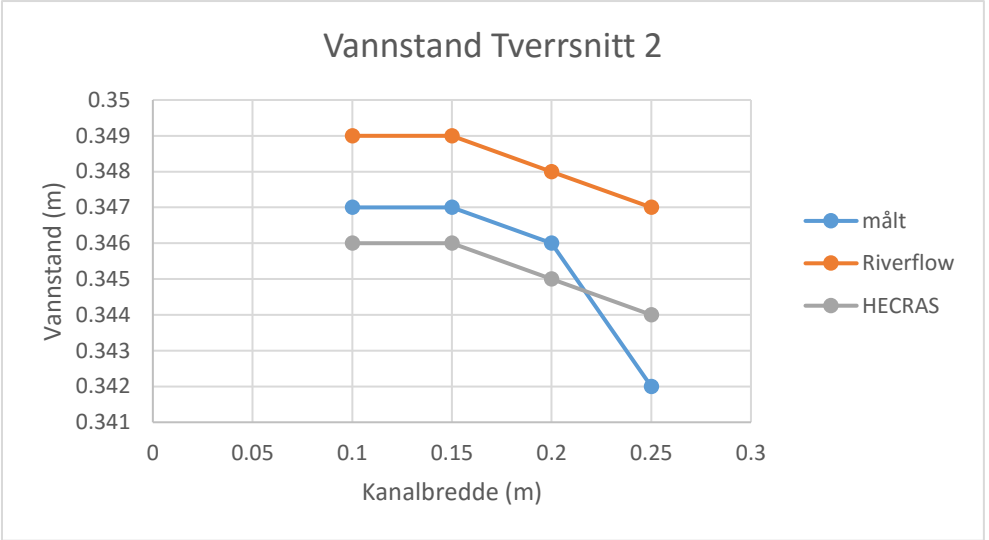
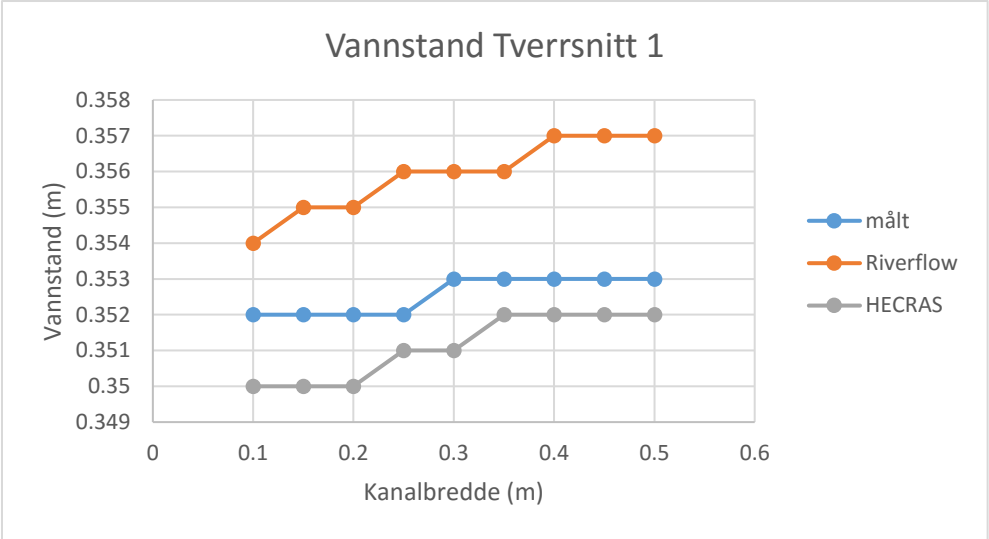
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.352	0.352	0.352	0.352	0.353	0.353	0.353	0.353	0.353
2	0.347	0.347	0.346	0.342					
3	0.342	0.34	0.339	0.339					
4	0.343	0.342	0.342	0.342					
5	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343
6	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343
7	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343

##### Vannstand: Riwerflow

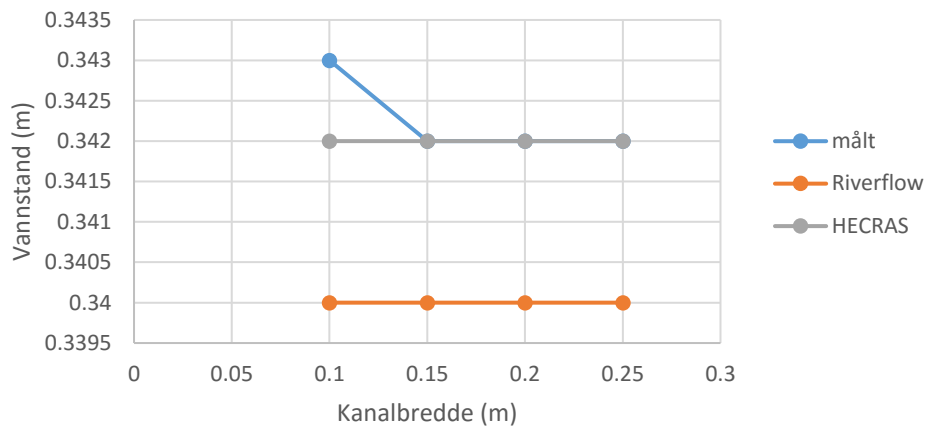
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.354	0.355	0.355	0.356	0.356	0.356	0.357	0.357	0.357
2	0.349	0.349	0.348	0.347					
3	0.342	0.341	0.34	0.339					
4	0.34	0.34	0.34	0.34					
5	0.34	0.34	0.341	0.341	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
6	0.339	0.338	0.337	0.336	0.337	0.338	0.339	0.34	0.34
7	0.341	0.341	0.341	0.341	0.341	0.341	0.341	0.341	0.341

##### Vannstand: Hecras

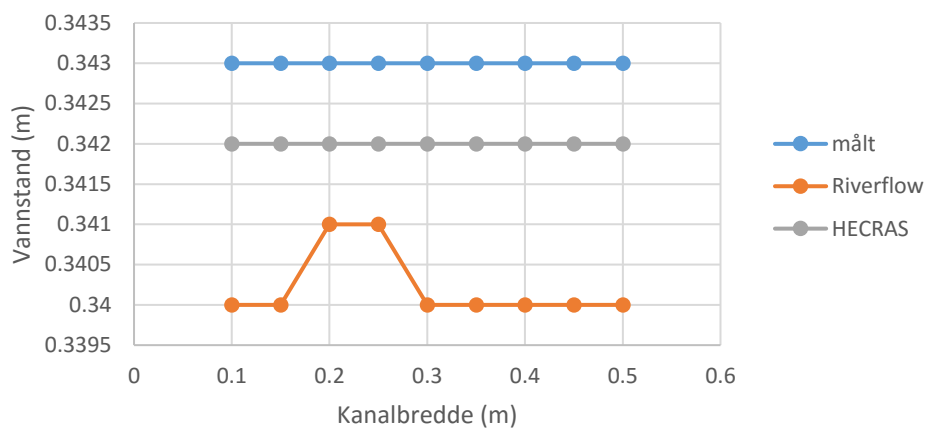
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.35	0.35	0.35	0.351	0.351	0.352	0.352	0.352	0.352
2	0.346	0.346	0.345	0.344					
3	0.342	0.342	0.342	0.341					
4	0.342	0.342	0.342	0.342					
5	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342
6	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342
7	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342	0.342

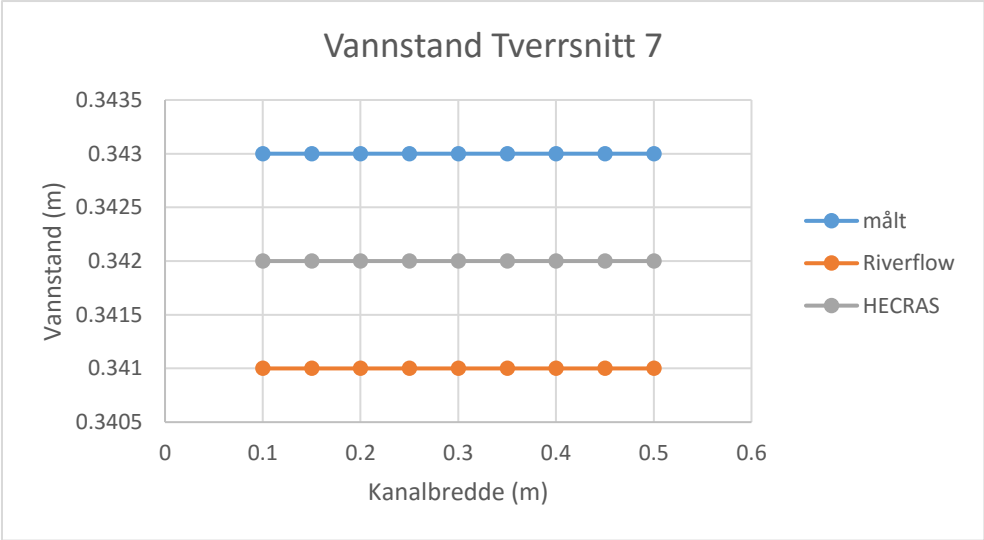
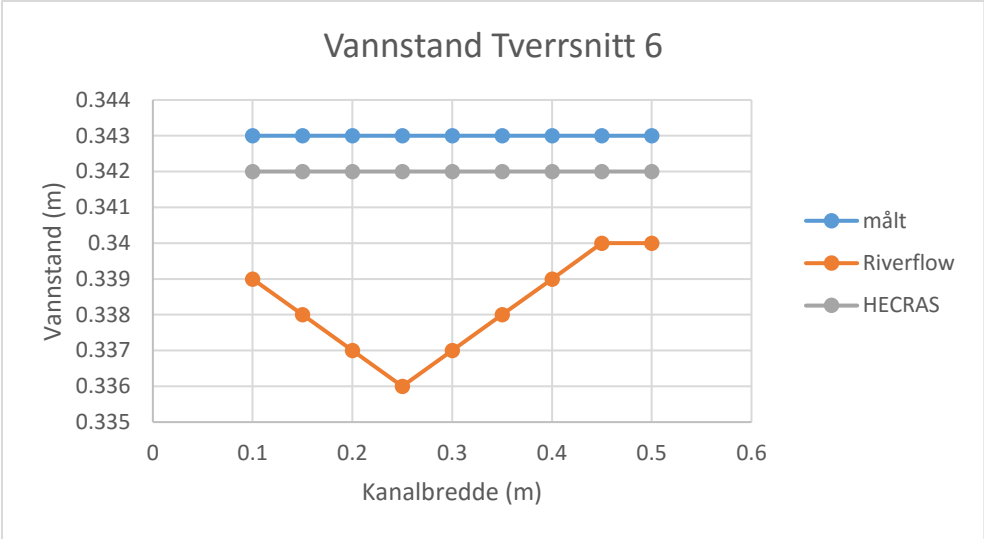


### Vannstand Tverrsnitt 4



### Vannstand Tverrsnitt 5







vannhastigheter

Vannhastighet: Målt

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.261	0.249	0.237	0.209	0.184	0.153	0.142	0.114	0.092
2									
3	0.48	0.492	0.504	0.07					
4									
5									
6	0.447	0.426	0.375	0.276	0.141	0.05	-0.015	-0.044	-0.045
7	0.426	0.398	0.337	0.285	0.195	0.126	0.038	-0.017	-0.042

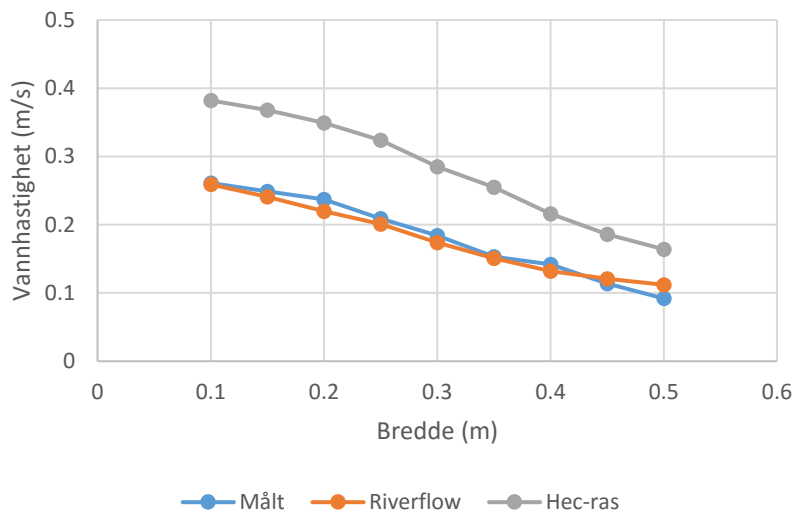
Vannhastighet: Riverflow

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.259	0.241	0.22	0.201	0.174	0.151	0.132	0.121	0.112
2	0.406	0.396	0.382	0.332					
3	0.556	0.563	0.387	-0.086					
4	0.582	0.569	0.324	-0.122					
5	0.587	0.559	0.281	0.113	0.028	-0.011	-0.031	-0.041	-0.051
6	0.572	0.577	0.468	0.257	0.04	-0.076	-0.063	-0.059	-0.085
7	0.542	0.427	0.302	0.232	0.176	0.109	0.033	-0.029	-0.097

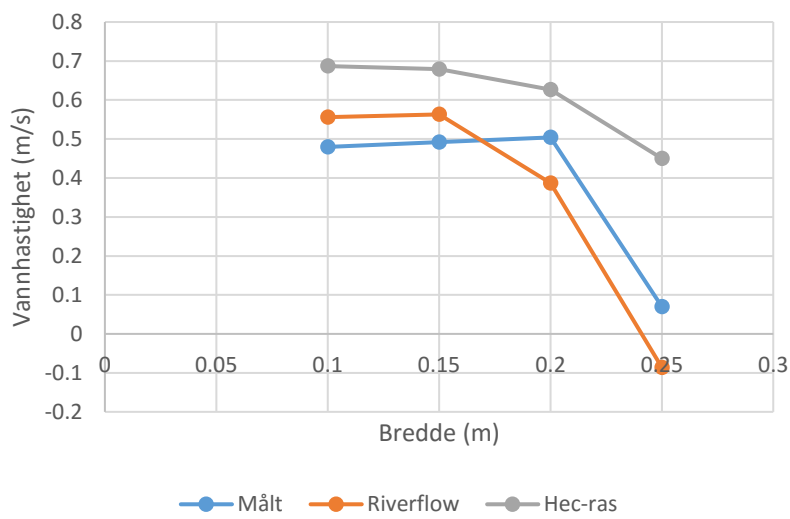
Vannhastighet: Hecras

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.382	0.368	0.349	0.324	0.285	0.255	0.216	0.186	0.164
2									
3	0.687	0.679	0.627	0.45					
4									
5									
6	0.686	0.671	0.63	0.522	0.362	0.262	0.193	0.158	-0.105
7	0.658	0.626	0.555	0.474	0.383	0.305	0.252	0.147	-0.257

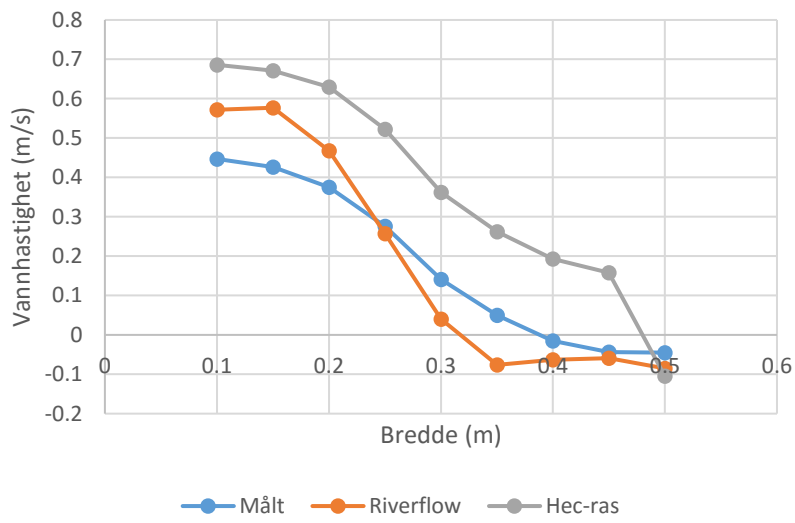
### Vannhastighet Tverrsnitt 1



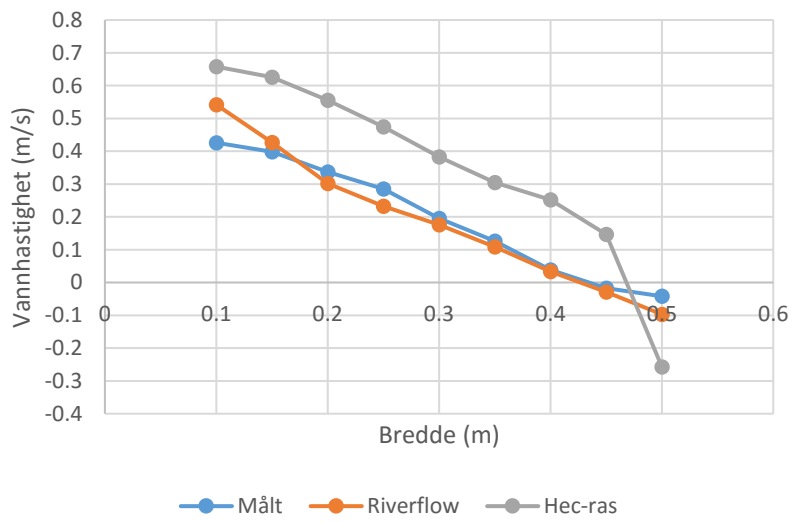
### Vannhastighet Tverrsnitt 3



### Vannhastighet Tverrsnitt 6



### Vannhastighet Tverrsnitt 7



## Vedlegg 5

Renne: situasjon 2

*Vannstand*

Vannstand: Målt

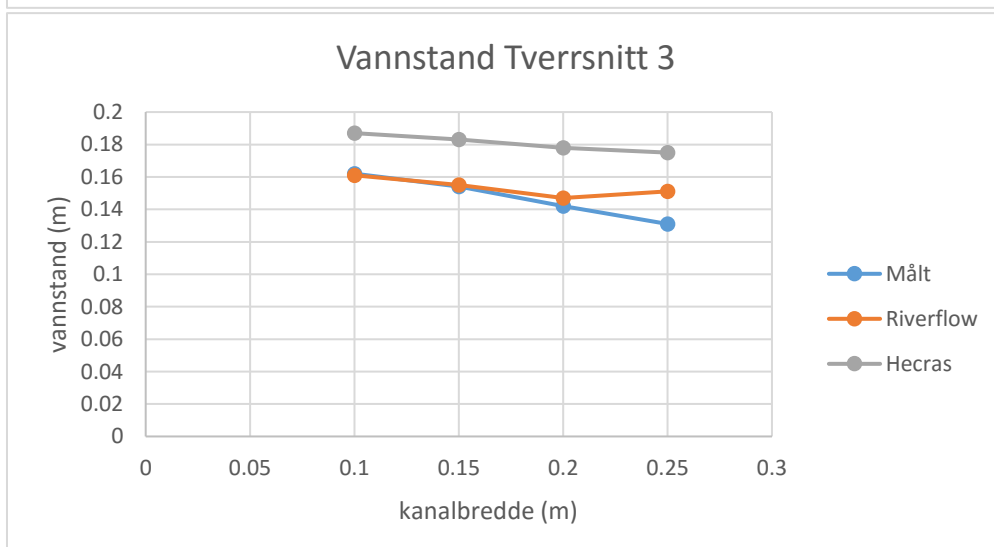
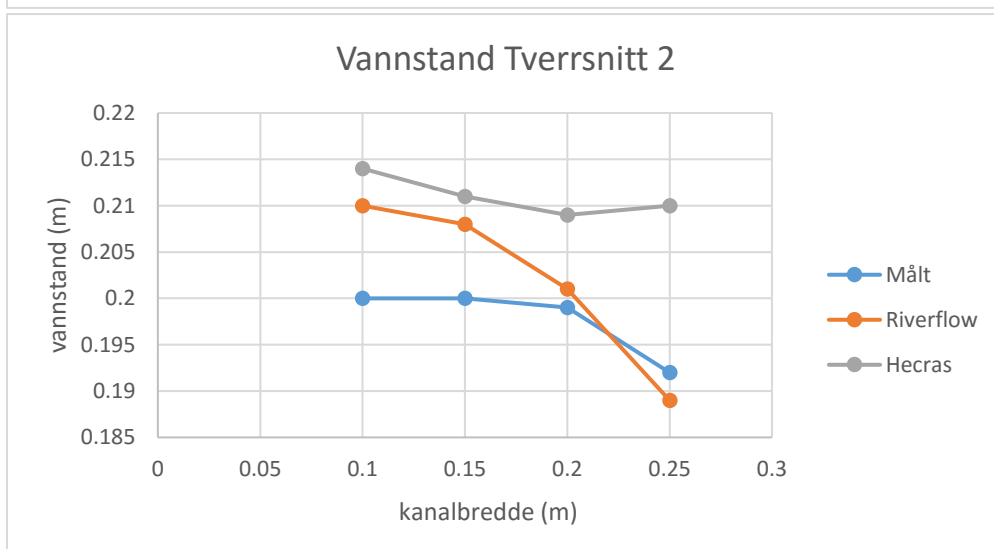
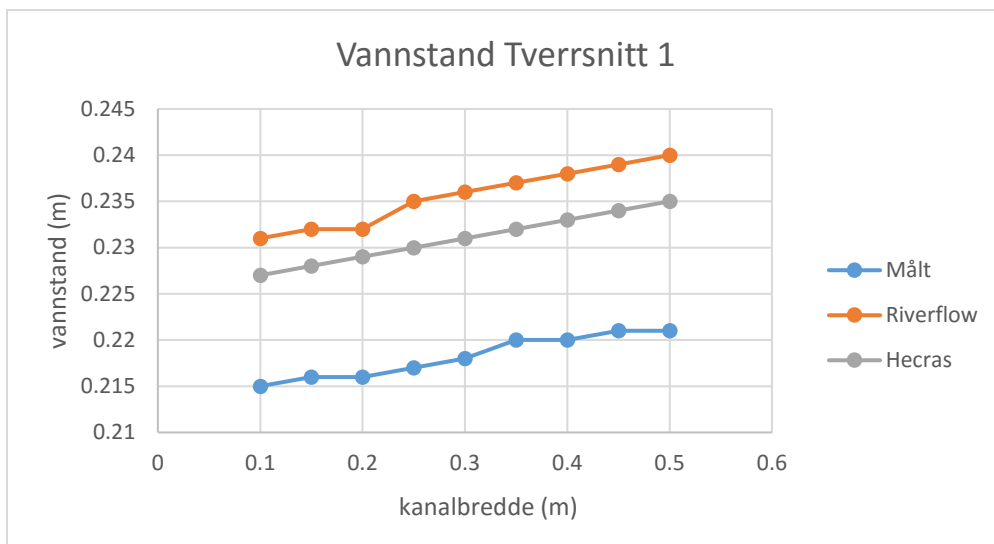
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.215	0.216	0.216	0.217	0.218	0.22	0.22	0.221	0.221
2	0.2	0.2	0.199	0.192					
3	0.162	0.154	0.142	0.131					
4	0.141	0.149	0.162	0.171					
5	0.152	0.155	0.153	0.156	0.163	0.163	0.159	0.159	0.16
6	0.181	0.184	0.174	0.165	0.162	0.161	0.159	0.159	0.16
7	0.163	0.162	0.168	0.169	0.164	0.162	0.159	0.158	0.159

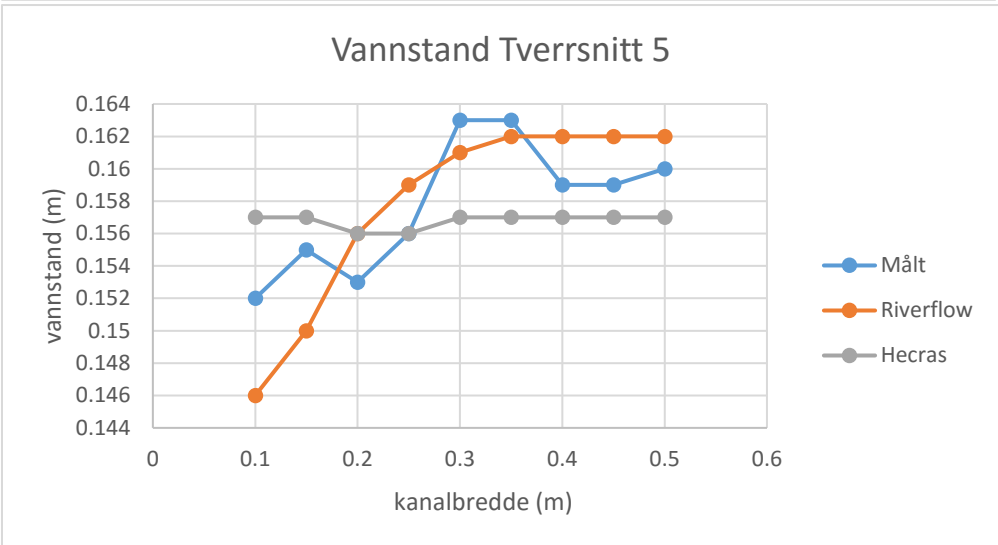
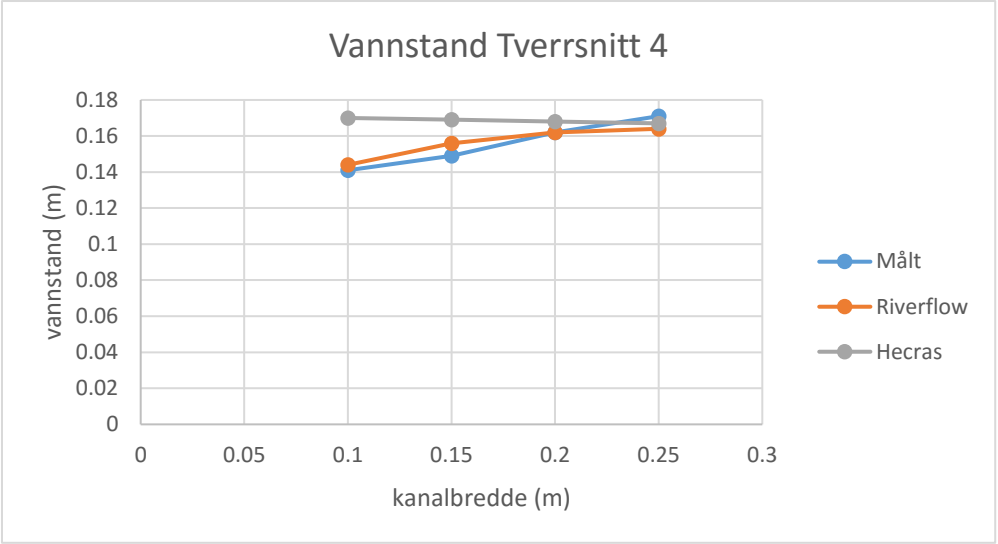
Vannstand: Riverflow

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.231	0.232	0.232	0.235	0.236	0.237	0.238	0.239	0.24
2	0.21	0.208	0.201	0.189					
3	0.161	0.155	0.147	0.151					
4	0.144	0.156	0.162	0.164					
5	0.146	0.15	0.156	0.159	0.161	0.162	0.162	0.162	0.162
6	0.175	0.17	0.164	0.16	0.158	0.159	0.16	0.16	0.161
7	0.156	0.157	0.158	0.16	0.161	0.161	0.16	0.159	0.158

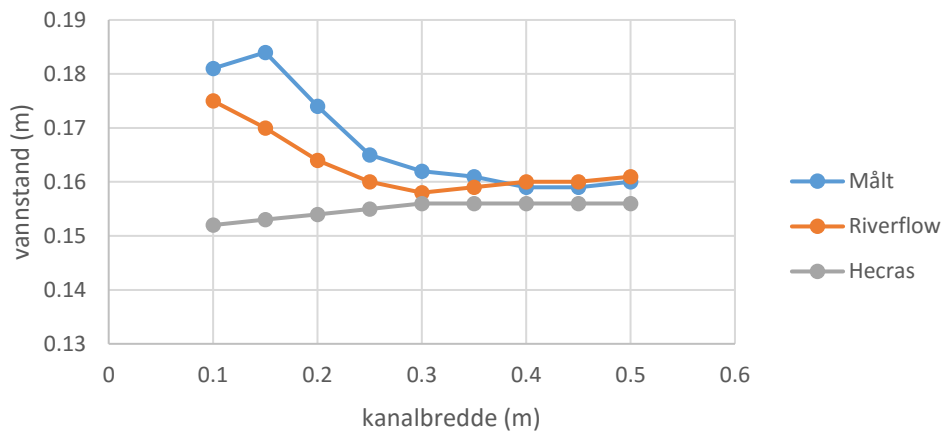
Vannstand: Hecras

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.227	0.228	0.229	0.23	0.231	0.232	0.233	0.234	0.235
2	0.214	0.211	0.209	0.21					
3	0.187	0.183	0.178	0.175					
4	0.17	0.169	0.168	0.167					
5	0.157	0.157	0.156	0.156	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157
6	0.152	0.153	0.154	0.155	0.156	0.156	0.156	0.156	0.156
7	0.153	0.154	0.154	0.154	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155

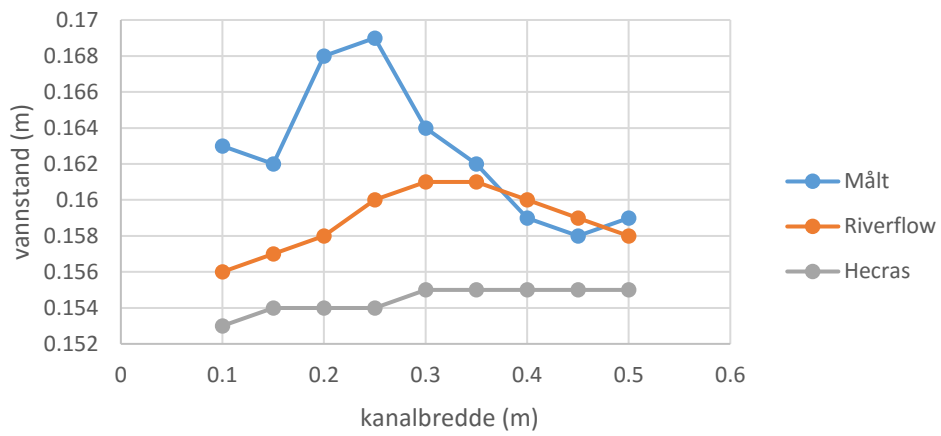




### Vannstand Tverrsnitt 6



### Vannstand Tverrsnitt 7



Vannhastighet

Vannhastighet: Målt

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.456	0.423	0.387	0.348	0.301	0.26	0.235	0.212	0.229
2									
3	0.087	0.115	0.075	0.05					
4									
5									
6	0.589	0.47	0.431	0.331	0.227	0.042	0.04	0.043	0.057
7	0.66	0.586	0.432	0.394	0.356	0.215	0.081	0.002	-0.124

Vannhastighet: Riverflow

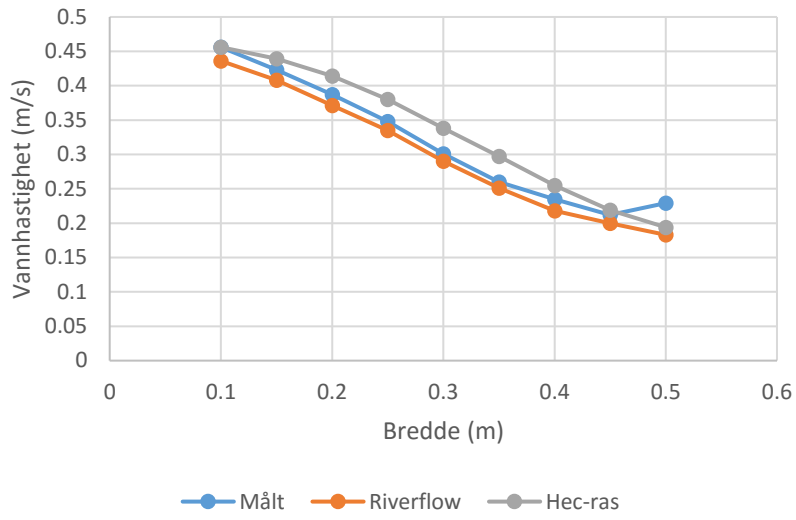
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.436	0.408	0.371	0.335	0.29	0.251	0.218	0.2	0.183
2	0.775	0.778	0.8	0.765					
3	1.242	1.279	1.32	1.186					
4	1.367	1.274	1.223	1.141					
5	1.349	1.317	1.272	1.157	0.168	0.075	0.034	-0.016	-0.073
6	1.093	1.129	1.162	1.032	0.144	0.082	0.043	-0.011	-0.08
7	1.252	1.24	1.194	0.905	0.415	0.153	0.043	-0.039	-0.134

Vannhastighet: Hecras

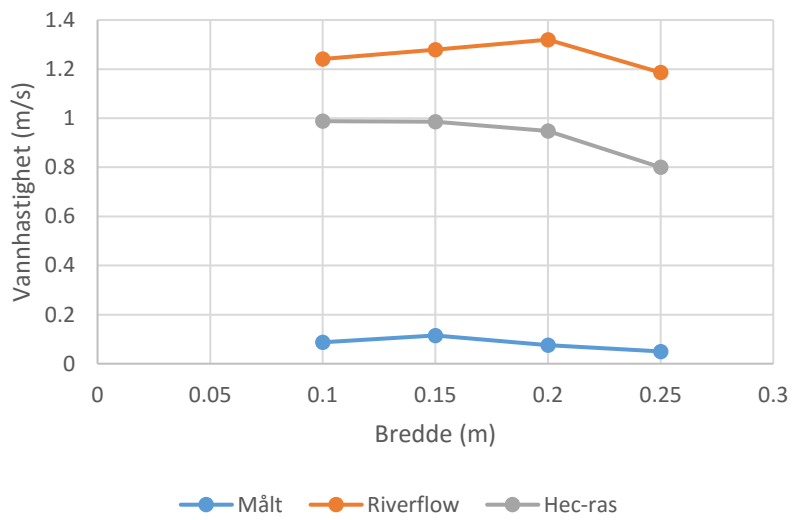
	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
1	0.456	0.439	0.414	0.38	0.338	0.297	0.255	0.219	0.194
2									
3	0.988	0.986	0.948	0.8					
4									
5									
6	1.167	1.146	1.11	1.034	0.801	0.352	0.099	0.019	-0.071
7	1.113	1.097	1.063	0.987	0.789	0.484	0.209	0.007	-0.095



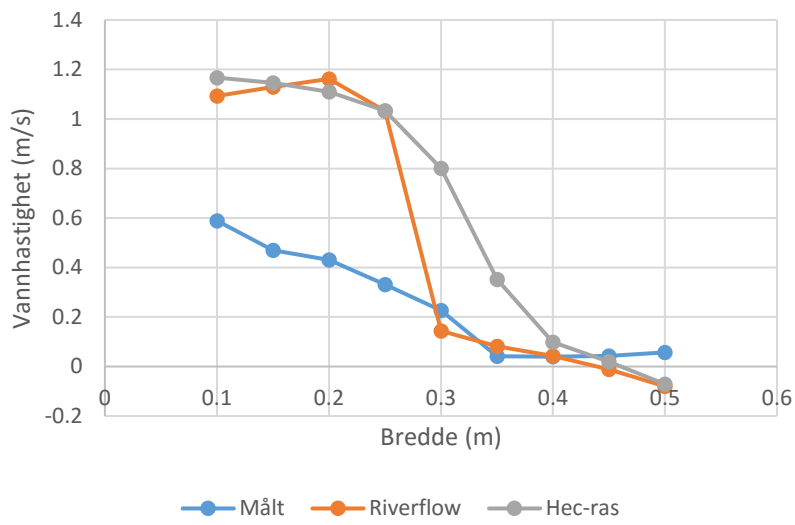
### Vannhastighet Tverrsnitt 1



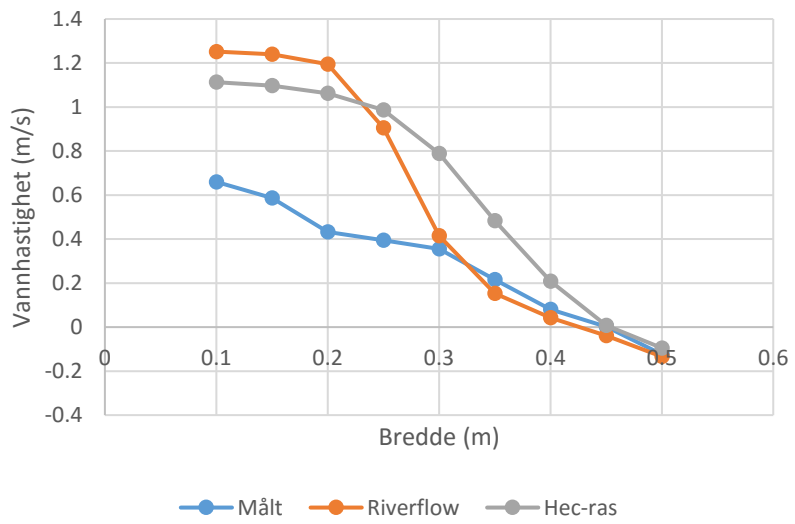
### Vannhastighet Tverrsnitt 3



### Vannhastighet Tverrsnitt 6



### Vannhastighet Tverrsnitt 7



## Vedlegg 6

Lengdeprofil av renne for situasjon 2

Vannhøyde langs kanalens venstre side

	1.48	1.58	1.68	1.78	1.88	1.98	2.08	2.18	2.28	2.38	2.48	2.58	2.68	2.78	2.88
Målt	0.217	0.211	0.203	0.199	0.1969	0.195	0.1941	0.1944	0.1978	0.197	0.1964	0.1969	0.1964	0.1955	0.1954
Riverflow	0.231	0.225	0.213	0.2093	0.2068	0.2049	0.2036	0.2036	0.2055	0.2092	0.2077	0.2062	0.2055	0.2054	0.2057
Hecras	0.226	0.221	0.212	0.202	0.1988	0.1977	0.1968	0.1961	0.1956	0.1952	0.1951	0.1951	0.1951	0.1952	0.1955

