

BACHELOROPPGÅVE

Hydrologiske målingar i Anestølselva, Sogndal

Hydrological measurements in Anestølen River, Sogndal

Samuel Eide &

Camilla T.M. Hatland

Kandidatnummer: 114 og 108

Geologi og Geofare 16H

Fakultet for Ingeniør og Naturvitskap (FIN)/

Sogndal/*Geologi og Geofare*

Rettleiar: Jacob C. Yde

Innleveringsdato: 03.06.2019

Eg stadfestar at arbeidet er sjølvstendig utarbeida, og at referansar/kjeldetilvisingar til alle kjelder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10

Hydrologiske målinger i Anestølselva, Sogndal

Samuel Eide og Camilla T. M. Hatland



Inn mot Anestølen. Foto: Samuel Eide

Bacheloroppgåve

Geologi og Geofare

Høgskulen på Vestlandet
Sogndal

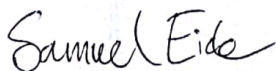
Innleveringsdato: 3. juni 2019

Føreord

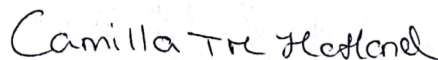
Dette er den avsluttande oppgåva for bachelorprogrammet Geologi og Geofare ved Høgskulen på Vestlandet, campus Sogndal. Oppgåva har gitt oss moglegheita til å studere korleis vassføringa i Anestølselva i Sogndalsdalen blir påverka av ulike faktorar som nedbør og temperaturar, noko som har vore interessant og lærerikt.

Vi ønskjer å takke vår rettleiar Professor Jacob C. Yde for god hjelp og rettleiing, samt mange gode samtalar. Vi vil òg takke Norges Vassdrags- og Energidirektorat, NVE, og Meteorologisk Institutt for tilgang på nedbørdata – utan desse dataa hadde ikkje denne bacheloroppgåva vore mogleg å skrive. Ikkje minst ein stor takk til dykk som assisterte oss under feltmålingar: Hydrogeologist Oddmund Soldal, Avdelingsingeniør ved HVL Sigurd Daniel Nerhus og Tale Kvalheim Thorgrimsen.

Sogndal, 02. juni 2019



Samuel Eide



Camilla T. M. Hatland

Samandrag

Hydrologiske målingar vart gjort i Anestølselva i Sogndalsdalen, Sogndal kommune, i perioden 20. juni til 7. november 2018. Det vart gjort hastigheitsmålingar med ein flügel (OTT C31 Current Meter) i eit fast, markert profil i elva ved ulike vasstandar for å rekne ut og finne korrelasjonar (rating curves) mellom vassføringa, Q , og vasstanden, h . Vasstanden vart målt med dataloggarar (2 stykk Solinst Levellogger og 1 stykk Solinst Barologger) som målte sant vasstrykk. Desse vart plassert i felt 21. juni 2018 og henta inn under siste vassføringsmåling 7. november.

Det topografiske nedbørfeltet til Anestølselva målt frå det faste målepunktet er 28.41 km² stort. Målte, estimerte vassføringar har blitt analysert saman med lokal nedbørdata frå klimastasjonen på Anestølen og på Selseng. Det er funne ein responstid på om lag 2 timar mellom nedbør og målbar endring i vassføring. Etter enda nedbør av betyding går det om lag 24 timar før vassføringa er tilbake til same nivå som før nedbøren byrja. I juli til oktober kom det til saman 185.0% av normal mengde nedbør på Selseng.

Det var venta å finne høgast vassføring i elva sin døgnvariasjon rundt klokka 18, den varmaste tida på døgnet, og lågast rundt klokka 06, den kaldaste tida. Derimot synte vassføringa sin døgnvariasjon høgast vassføring rundt midnatt, og lågast vassføring midt på dagen, ei forseinking frå hypotesen på 6 timar. Dette kjem truleg av at smeltevatnet frå Steindalsbreen ovanfor Anestølen samlast i innsjøar før det renn vidare til Anestølselva. Desse innsjøane kan òg fungere som oppsamlarar av sediment, og kan forklare kvifor det ikkje vart funne målbare verdiar av suspenderte sediment i vassprøver ved målepunktet. Derimot fraktar elva mykje grove sediment som botntransport, noko som kom tydeleg fram i kor mykje det faste, markerte profilet endra seg over sommaren og hausten.

Det har blitt estimert at det har passert rundt 244 millionar kubikkmeter vatn gjennom målepunktet i elva gjennom heile måleperioda.

Abstract [English]

Hydrological measurements were executed in Anestølen River in Sogndalsdalen, Sogndal community, Norway, in the period of June 20th to November 7th 2018. Water speeds were measured using a flügel instrument (OTT C31 Current Meter) in a permanent, marked profile in the river at different water levels to calculate and find correlations (rating curves) between the water discharge, Q , and water level, h . The water levels were measured using data loggers (2 Solinst Levellogger and 1 Solinst Barologger) measuring the true water pressure. The data loggers were placed in the field on June 20th and collected on the last day of measuring water discharges November 7th.

The topographic drainage basin of Anestølen River measured from the permanent profile's location is 28.41 km² large. Measured, estimated water discharges have been analyzed with respect to local precipitation data both from Anestølen and from Selseng. It is found a response time of approximately 2 hours between precipitation and noticeable changes in the water discharge. After precipitation of significance it takes around 24 hours for the water discharge to go back to the same levels as before the precipitation started. In the period of July to October there were 185.0% of the normal amount of precipitation in Selseng.

It was expected to find the highest water discharges of the river's daily cycles to be around 6 pm, that is the warmest part of the day, and to be the lowest around 6 am, the coldest part during the day. However, the measured discharge levels show that the river's daily cycles have the highest discharge around midnight, and the lowest discharge around midday. This gives a delay of 6 hours compared to the hypothesis. This is probably because the melted waters from Steindalen Glacier above Anestølen is collected in lakes before running down to the Anestølen River. These lakes could also work as sediment traps, which may explain why there were no measurable levels of suspended sediments in water samples taken at the permanent profile's location. On the other hand, the river transports coarse sediments as bedload, which is quite evident by how much the river bedding changed at the permanent profile over the course of the summer and fall.

It has been estimated that approximately 244 million cubic meters of water has passed through the measuring location during the entire measuring period.

Innholdsfor-teikning

1	Innleiing	1
2	Studieområdet	2
2.1	Geografisk plassering.....	2
2.2	Feltlokalitet i Anestølselva.....	2
2.3	Berggrunnsgeologi.....	5
2.4	Kvartærgeologi	6
2.5	Vegetasjon og klima på Anestølen og Selseng.....	7
2.6	Tidlegare undersøkingar.....	8
3	Metodar	9
3.1	Klimastasjonen ved Anestølen	9
3.1.1	Nedbørmålaren i klimastasjonen	9
3.1.2	Atmosfæretrykk og lufttemperatur	10
3.2	Klimastasjonen ved Selseng.....	10
3.3	Utstyr nytta i felt	11
3.3.1	Flügel: <i>OTT C31 Universal Current Meter</i> og <i>OTT Z400 Signal Counter Set</i>	11
3.3.2	Dataloggarar: <i>Solinst Levellogger</i> og <i>Solinst Barologger</i>	12
3.3.3	Differensial-GPS: <i>Topocon HiPer V</i>	13
3.4	Feltarbeid	13
3.4.1	Andre målemetodar for vassføring	13
3.4.2	Førebuingar ved feltlokalitet	14
3.4.3	Dataloggarar	14
3.4.4	Framgangsmåte for gjennomføring av målingar av vassføringa.....	14
3.5	Framstilling av data.....	17
3.5.1	ArcGIS og NEVINA	17
3.5.2	Behandling av innsamla data frå dataloggarar	17
3.5.3	Utrekning av vassføring (Q-verdi) med Harlacher's metode og GeoGebra.....	17
3.5.4	Korrigeringar av trykkloggar-data i Microsoft Excel (h-verdi)	18
3.5.5	Korrelering av Q- og h-verdiar	19
3.5.6	Funksjonar for Q og h (rating curves)	19
3.5.7	Nedbørdata	19
3.6	Feilkjelder og usikkerheiter.....	20
4	Resultat	23
4.1	Topografisk nedbørfelt.....	23
4.2	Differensial-GPS.....	25
4.2.1	Målte punkt	25
4.2.2	Elvas helling ved måleprofilen.....	25
4.3	Vass- og lufttemperaturar ved Anestølen.....	26
4.3.1	Døgnvariasjonar	26
4.3.2	Sesongvariasjonar.....	26
4.4	Målte h-verdiar (trykksensordata).....	29
4.5	Målte vassføringar.....	32
4.6	Q-h-relasjon, rating curves.....	32

4.7	Estimert vassføring	34
4.8	Nedbørdata	37
4.9	Variasjonar i Q (vassføring) og h (vasstand)	40
4.9.1	Sesongvariasjonar	40
4.9.2	Døgnvariasjonar	40
4.10	Anestølselva si respons på nedbør	41
4.10.1	Mønster i endring av vassføring som følgje av nedbør	41
4.10.2	Responstid mellom nedbør og endring i vassføring	42
4.11	Sedimenttransport og endringar i elveprofilen gjennom måleperioda	43
4.11.1	Suspenderte sediment	43
4.11.2	Sediment som botntransport	44
4.12	Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient og Froude-tal	46
4.12.1	Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient, n	46
4.12.2	Froude-tal, F_r	47
5	Diskusjon	48
5.1	Nedbørdata frå Anestølen og Selseng	48
5.2	Nedbørfeltet	48
5.3	Isbrear	49
5.4	Hastigheitsmålingar med flügel	49
5.5	Vassføring, vasstand og nedbør	50
5.6	Døgnvariasjonar i Anestølselva	51
5.6.1	Vassføringa	51
5.6.2	Differansen i målte h-verdiar	52
5.7	Suspenderte sediment	52
5.8	Botntransport av sediment	53
5.9	Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient og Froude-tal	53
5.10	Forslag til vidare forskning	54
6	Konklusjonar	55
7	Referansar	57
8	Vedlegg	- 1 -
8.1	Detaljerte nedbøranalysar	- 2 -

Figurliste

Figur 1 - Oversiktskart over feltområde ved Anestølselva.....	3
Figur 2 - Ortofoto som syner oversikt over feltområde ved Anestølen.....	4
Figur 3 - Kartutsnitt med legende frå berggrunnskart 1:250 000.....	5
Figur 4 - Kartutsnitt frå kvartærgeologisk kart M 1:250 000.....	6
Figur 5 - Gjennomsnittleg månadsnedbør ved Selseng, 1940-2014.....	8
Figur 6 - Montering av flügel i felt.....	11
Figur 7 - Flügel nytta i felt: OTT C31 Universal Current Meter.....	12
Figur 8 - Differensial-GPS i bruk. Foto: Sigurd Nerhus.....	13
Figur 9 - Flügel i bruk av Camilla Hatland. Foto: Jacob C. Yde.....	16
Figur 10 - Feltmålingar i Anestølselva 20. juni 2018. Foto: Jacob C. Yde.....	16
Figur 11 - Topografisk nedbørfelt for feltlokalitet i Anestølselva.....	23
Figur 12 - Temperaturdata, døgnleg gjennomsnitt.....	27
Figur 13 – Temperaturdata, 20 minutt oppløysing.....	28
Figur 14 - Målt vasstand, ukorrigerte data.....	29
Figur 15 - Ukorrigert differanseverdi mellom Levellogger 2022477 og 2067910.....	30
Figur 16 - Korrigert differanseverdi mellom Levellogger 2022477 og 2067910.....	30
Figur 17 - Målt vasstand, korrigerte verdiar.....	31
Figur 18 – Rating curve, Q-h relasjon (1).....	32
Figur 19 – Rating curve, Q-h relasjon (2).....	33
Figur 20 - Estimert akkumulert vassføring mellom kvar loggarmåling (20 minutt intervall).....	34
Figur 21 - Estimert døgnleg vassføring i millioner m ³	35
Figur 22 - Døgnleg luft- og vasstemperatur og estimert akkumulert vassføring i millioner m ³	36
Figur 23 - Rådata frå nedbørmålaren ved Anestølen (12.06.2018-30.11.2018).....	37
Figur 24 Døgnleg vassføring og -nedbør. Nedbørdata er frå målestasjonen på Selseng.....	39
Figur 25 - Auke (ending) i vassføring [$\Delta m^3 s^{-1}$] i Anestølselva korrelert til lokal nedbør [mm].....	41
Figur 26 – Auke (ending) i vassføring per time nedbør i Anestølselva [$\Delta m^3 s^{-1}/time$] korrelert til [mm/time].....	42
Figur 27 - Vassprøve med heilt klart vatn.....	44
Figur 28 - Elveprofilets utvikling over tid.....	45

Tabelliste

Tabell 1 - Fordeling av areal i nedbørfeltet.....	24
Tabell 2 - Liste over innsamla GPS-punkt, oppgitt som UTM-koordinat.....	25
Tabell 3 – Korrelerande målte Q- og h-verdiar.....	32
Tabell 4 - Avvik frå normalnedbør juli-oktober 2018 ved Selseng. Normalnedbør er lest av frå Figur 5.....	38
Tabell 5 - Analyse av vassføring og nedbør (Anestølen) mellom 22. juni og 21. august.....	41
Tabell 6 - Responstid mellom nedbør og elvas vassføring	43
Tabell 7 - Ruheitskoeffisientar for ulike typer elvekanalar, tilpassa frå Hornberger et. al. (2014).	46

1 Innleiing

Klimaendringar er eit tema som stadig blir snakka om i media, i politikken og blant folk i kvardagen. Dei siste 30-40 åra har klimaet, ikkje berre på Vestlandet, men i heile Norge blitt både varmare og våtare (Meteorologisk Institutt, 2019). Meir nedbør, og meir ekstremnedbør er blitt vanlegare dei siste tiåra (Ruddiman, 2014), noko som kan føre til fleire flaumar og fleire jord- og lausmasseskred (Jaedicke, et al., 2008). Døme på dette er flaumen på Austlandet i 1995 (kjend som Vesleofsen), jordskredet ved Anestølen i Sogndal 15.-16. november 2013 (Olsen, Wenaas, & Saurin, 2015), oktoberflaumen i 2014 i Odda, Lærdal, Aurland og Voss kommune, og flaumen i Gloppen og Utvik 24. juli 2017. Alle desse hendingane førte til store materielle øydeleggingar på både offentlege og private eigendomar.

Undersøking av vassføringa i elvar i fjell er ikkje berre viktig med tanke på flaum og flaumsikring, men kan òg vere interessant med tanke på potensial for utbygging av vasskraft eller til utakk av grunnvatn for bustadar. Elver i fjellområde er òg viktige for erosjon av berggrunn og lausmassar (Lutgens & Tarbuck, 2014), som vidare bidreg til transport av sediment og næringsstoff til nedstraums økosystem (Nichols, 2009). Isbrear er primært svært viktige for erosjon, og tilfører store mengder sediment og næringsstoff i vassdrag (Benn & Evans, 2010). Mengda, fluksen, av suspenderte sediment avhenger i stor grad av vassføringa (Nichols, 2009), og klimaendringar kan føre til endringar i fluksen av næringsstoff i vatnet (Kaste, et al., 2006). Difor er det viktig å få meir detaljert kunnskap om vassføringa i fjellområde.

Denne bacheloroppgåva tek for seg undersøkingar av hydrologiske målingar i Anestølselva i Sogndal kommune. Det er tidlegare gjort fleire bacheloroppgåver ved Høgskulen på Vestlandet om skred og skredavsetjingar i området rundt Anestølen (Grønli & Norheim (2016); Kimerud & Hansen (2018); Olsen et. al. (2015)), men det er ikkje blitt gjort tilsvarende hydrologiske undersøkingar i Anestølselva før. Difor er denne bacheloroppgåva viktig og relevant for å betre forståingar for elvas vassføring og sedimenttransport.

Problemstillingane for oppgåva blir då:

- 1) Å finne ut korleis vassføringa i Anestølselva utviklar seg gjennom måleperioden,
- 2) Å finne ut korleis Anestølselva responderer på nedbør.
- 3) Å finne ut kva sedimenttransport det er i elva – ved ulike tider på døgnet og gjennom sesongen.

2 Studieområdet

2.1 Geografisk plassering

Anestølen (61.3655°N, 6.9069°E) ligg lengst nord og inst i Sogndalsdalen, om lag 23 km frå Sogndalsfjøra (Figur 1). Det er to dalføre som kjem ned mot Anestølen, Langedalen og Tverrdalen (Figur 1C). Langedalselvi og Tverrdalselvi går saman ved Anestølen, og formar Anestølselva. Anestølselva renn ut i nordsida av Anestølsvatnet (441 m.o.h.), som fyller den smale glasialeroderte U-dalen (Figur 1D og Figur 2A). Anestølsvatnet strekk seg i nord-sør retning og er om lag 1,3 km langt og mellom 270 og 370 meter breidt, og har eit areal på 0.4189 km².

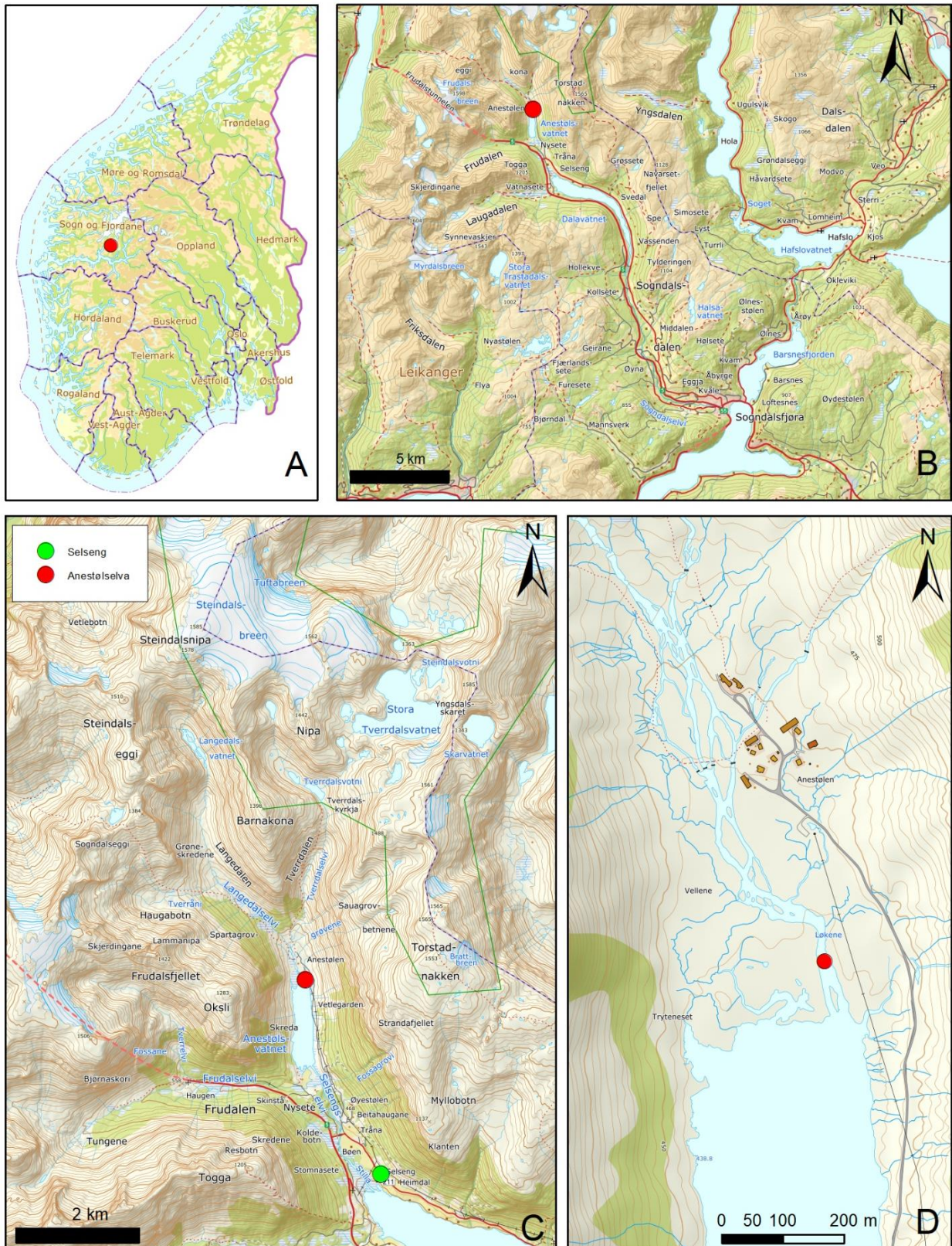
Det er to større elver som munnar inn i Anestølsvatnet – Anestølselva i nord (Langedalselvi og Tverrdalselvi), og Frudalselvi i sør. I den søraustlege enden av Anestølsvatnet renn Selsengselvi ut og ned mot Dalavatnet, som gjer at Anestølsvatnet er ein hydrologisk open innsjø. Frå Dalavatnet renn Sogndalselvi ned mot Sogndal og sidan ut i Sognefjorden.

Fjellområdet rundt Anestølen er prega av spisse, alpine egger og tindar, dalar og fleire botnar og mindre isbrear (Figur 1B og C). I Figur 1C ser ein at Anestølen er omgitt av fleire fjell. Mot aust ligg Torstadsnakken (1565 m.o.h.), mot vest ligg Frudalsfjellet (1422 m.o.h.) og Frudalsbreen, som er ved opplandets høgaste punkt (1598 m.o.h.). Mot sør ligg Togga (1205 m.o.h.), og mot nord ligg Barnakona (1398 m.o.h.) og Steindalsbreen (topp: 1585 m.o.h.). Steindalsnipa ligg i breens sørvestlege ende, og er 1578 m.o.h.

2.2 Feltlokalitet i Anestølselva

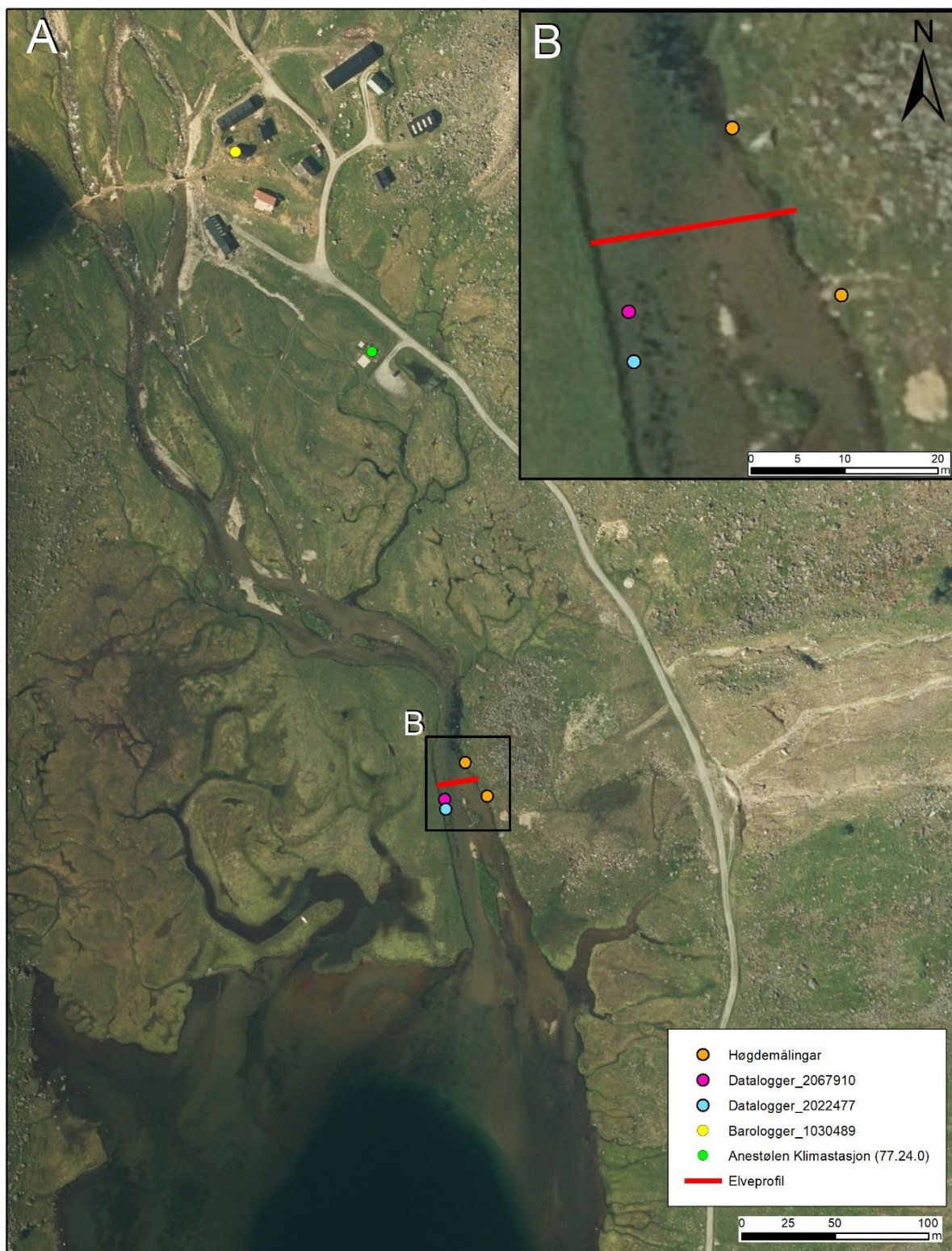
Ved målepunktet (Figur 2B) var elvebotnen prega av grus og grov sand ved det grunne partiet ved venstre elvebreidd, grov grus og stein typisk rundt 5-10 cm i diameter midt i elva, som vart gradvis større mot det djupare partiet ved høgre elvebreidd, 10-15 cm diameter med enkelte større steinar. Det var svært lite vegetasjon på elvebotnen. Posisjonen vart valt her grunna at elva var relativt rett og ikkje svingete – det var ein god rett strekning på minst 10 meter over og 10 meter ned forbi målepunktet med god vassføring utan hinder. I tillegg var elva om lag 20 meter brei på dette punktet, og ikkje djupare enn rundt 60 cm, noko som var ideelt for å utøve vasshastigheitsmålingar.

Oversiktskart over feltlokalitet: Anestølselva, Sogndal Kommune



Samuel Eide og Camilla Hatland

Figur 1 - Oversiktskart over feltområde ved Anestølselva markert med raud prikk. UTM-koordinat sone 32V: 388193.73E 6804984.33N.



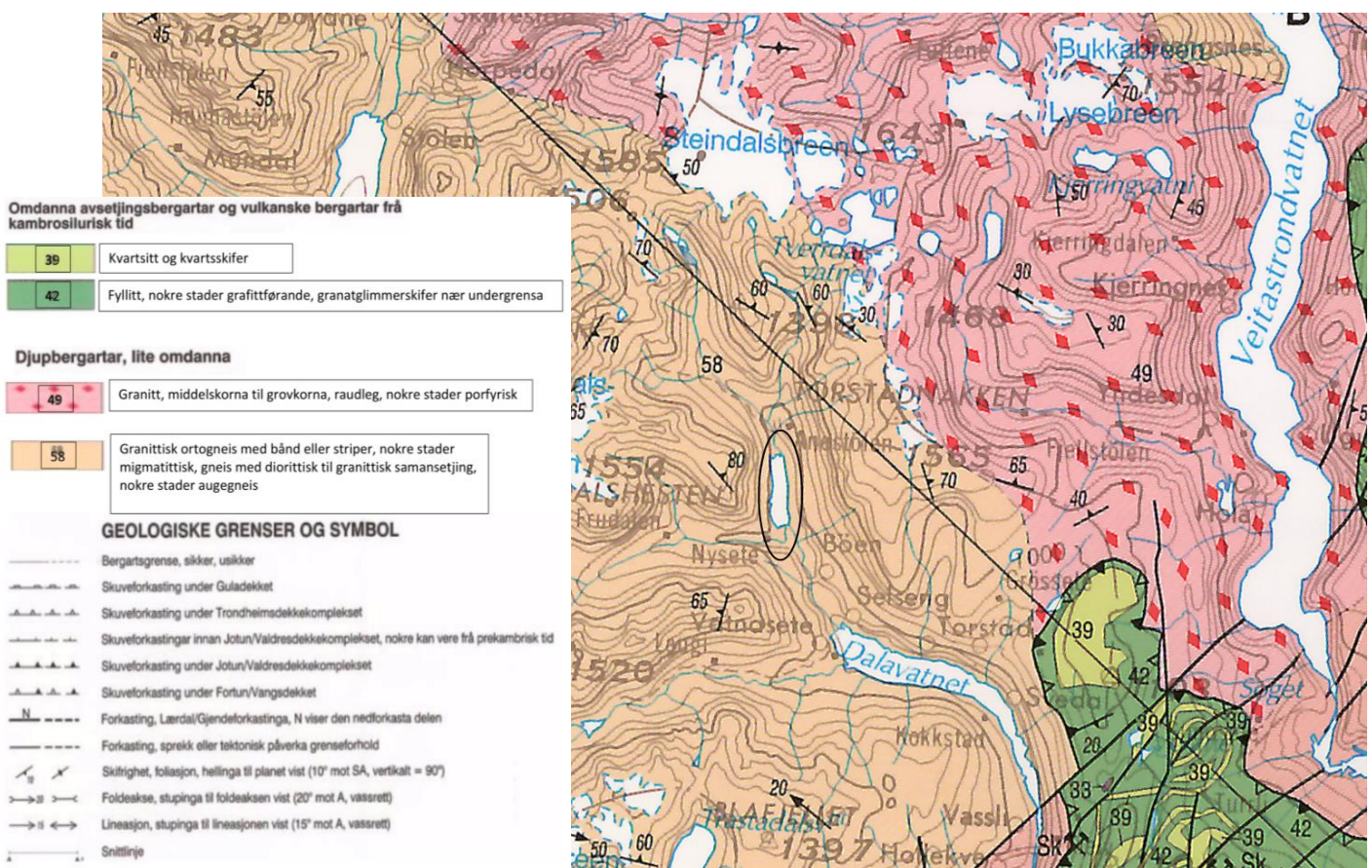
Figur 2 - Ortofoto som viser oversikt over feltområde ved Anestølen, samt plassering av målepunkt og dataloggarar i feltet.

2.3 Berggrunnsgeologi

Berggrunnen rundt Anestølsvatnet består hovudsakeleg av basaltisk skjolda granitt og granittisk gneis danna i Prekambrisk urtid (Figur 3). Ved seinare tid i Ordovicium og Devon vart Balticaplata, noverande Europa og Skandinavia, forskyvd og falda under danninga av den kaledonske fjellkjeda (Anundsen, 1974).

Den kaledonske orogenese sette sitt preg i grunnfjellet som vart sterkt deformert og omdanna til kaledonide bergartar som til dømes fyllitt og leirmineral, som ved store soner i dag pregar grunnfjellet i Sogn og fjordane, samt skyvedekkenene som til dømes Jotundekket som vart skyvd over Hardangervidda.

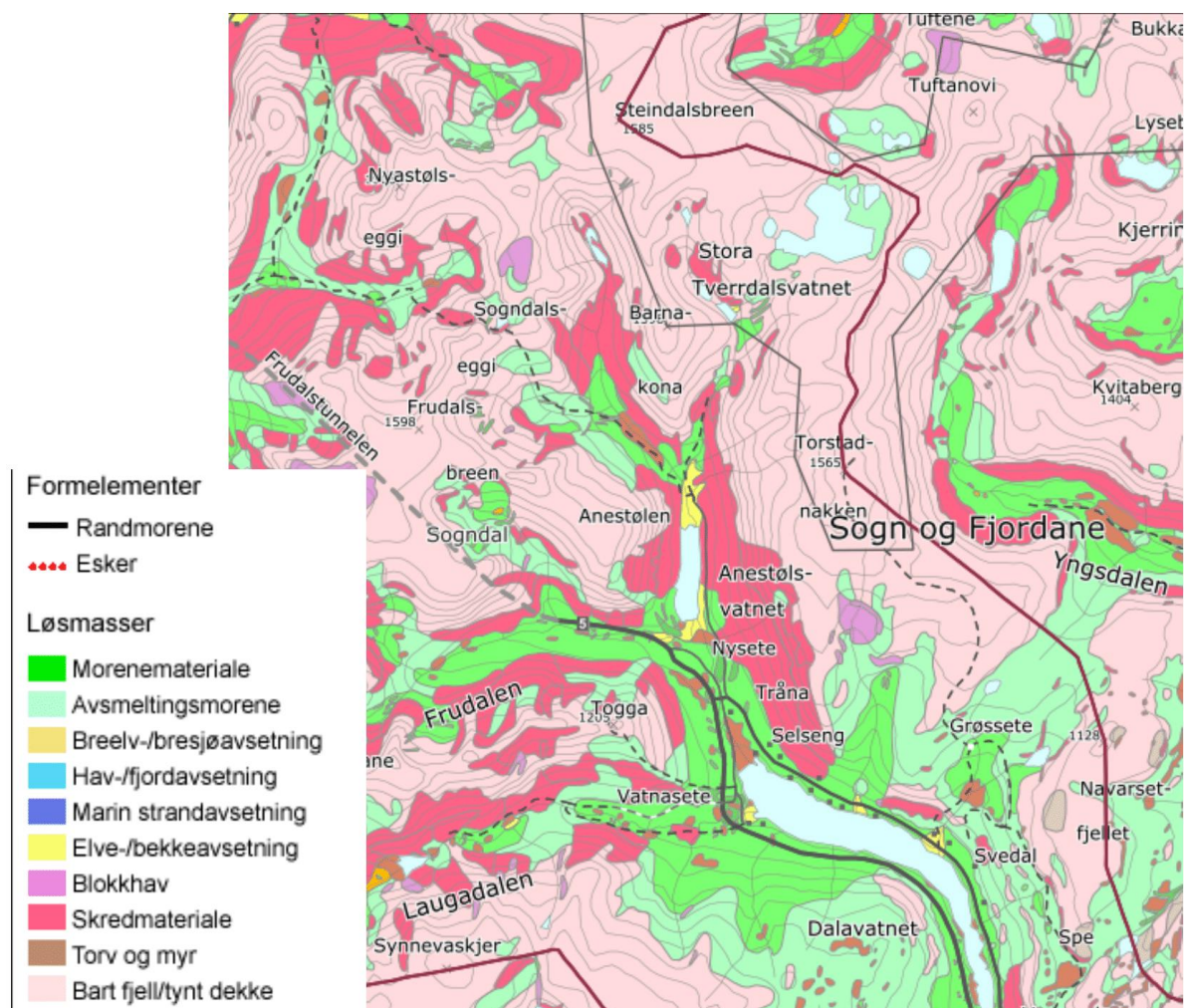
I nedbørfeltet til Anestølsvatnet består berggrunnen av augegneis, migmatitt og granittisk til diorittisk gneis, med enkelte stadar porfyriske bergartar som er opphaveleg frå grunnfjellet (NGU, 2019a). I dag er desse bergartane komne opp i dagen ettersom dei kaledonske dekkene har blitt erodert ned med årene.



Figur 3 - Kartutsnitt med legende frå berggrunnskart 1:250 000. Svart sirkel indikerer Anestølsvatnet. (NGU, 2019a)

2.4 Kwartærgeologi

Då isen smelta og brefrontane trakk seg tilbake ved slutten av den siste istida for om lag 10,000 år sidan vart det danna ein morene ved Nysete der Frudalen i dag møter sørenden av Anestølsvatnet (Figur 1C, Figur 4) (Bryhni, Anundsen, Aa, & Sønstegaard, 1986). Denne morenen gjorde at dalen vart demma opp, og Anestølsvatnet var 18-20 meter høgare enn i dag. Ved seinare tid har Selsengselvi erodert seg gjennom moreneavsetjinga og vassnivået i Anestølsvatnet sank til noverande vasstand (Anundsen, 1974; Bryhni, et al, 1986). Som følgje av dette har store førekomstar av sand og grus kome fram i dagen i sørenden av Anestølsvatnet, kor det no er grustak, og Anestølen er plassert på deltaavsetjingar i nordenden av Anestølsvatnet. Fleire tusen år med forvitring etter siste istid syner att i skredavsetjingar som steinur og talusar frå steinsprang langs begge dalsider, men mest på vestsida av Anestølsvatnet. Den austlege dalsida berer preg av fleire jordskred (Figur 4).



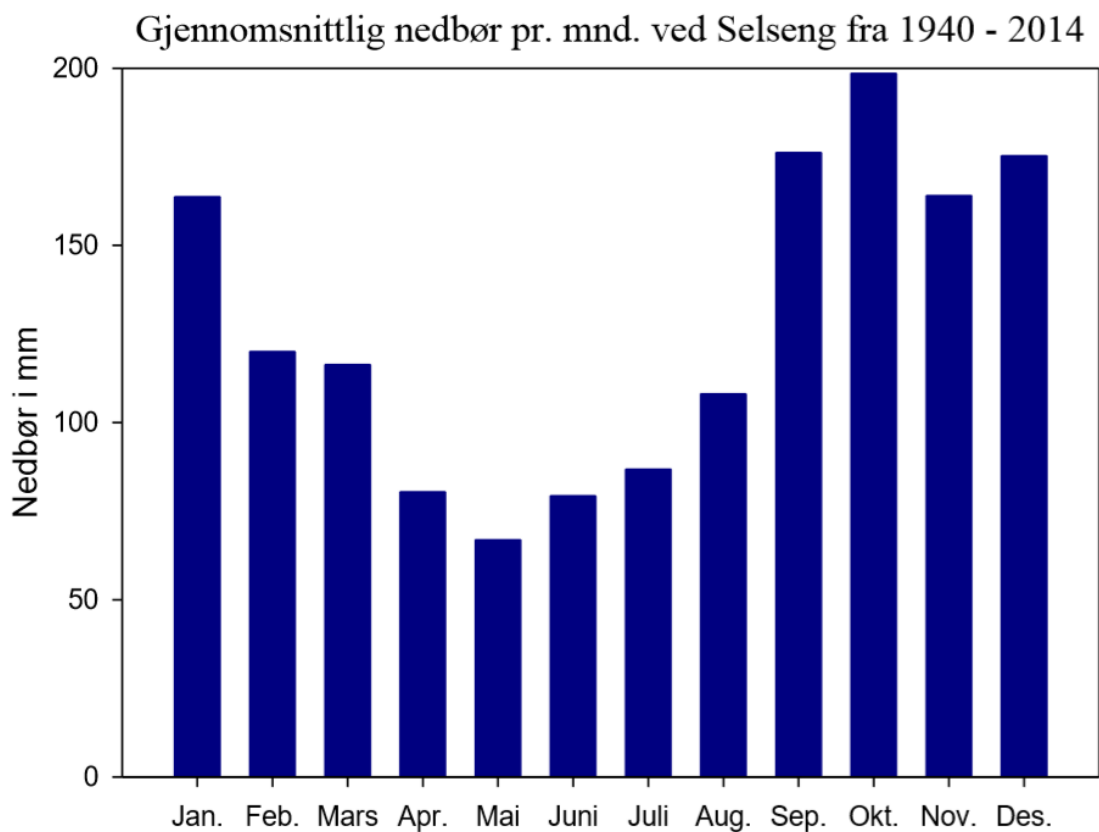
Figur 4 - Kartutsnitt frå kvartærgeologisk kart M 1:250 000. (NGU, 2019b)

2.5 Vegetasjon og klima på Anestølen og Selseng

Rundt Anestølselva er den primære vegetasjonen gras som dekker heile deltaet, mens i dalsidene består vegetasjonen i tillegg av spreidd bjørk. Tregrensa varierer, men går opp mot 800-850 m.o.h. Den vestlege dalsida er meir prega av snøskredaktivitet som fører til mindre vegetasjon. Ettersom gras dominerer deltaet og dalen, kan dette påvirke responstida til elva av to moglege faktorar. Ein moglegheit kan vere at grunnvatnet drenerer ut i elva frå dalsidene og elva blir eit utstrøymingsområde, den andre moglegheita er at elva matar grunnvassmagasinet og elva blir då eit innstrøymingsområde for grunnvatn. Ved feltundersøkingar var bakken våt nokre meter opp og inn mot land, noko som kan tolkast som kjeldehorisontar. Kjeldehorisontar opptrer når lausmassane består av sand og grus, og grunnvasspegelen kjem opp til overflata og skjærer eller tangerer terrengoverflata over elvas vassnivå (Lutgens & Tarbuck, 2014). Ein kjeldehorisont blir òg kalla ein «seepage zone» langs elver, grunna at grunnvasstraumen får ein vertikal innsnevring frå oppadgåande vasstraum mot elva samt den er avhengig av den hydrauliske gradienten, lausmassemektigheit og elveprofilen, kan kjeldehorisonten ligge frå nokre få cm til meter over elvenivået.

Selseng ligg ved den nordvestlege enden av Dalavatnet (Figur 1C), om lag 3.5 km sør for Anestølen. Vegetasjonen på Selseng er noko annleis enn ved Anestølen ettersom berggrunnen er ulik. I følgje Lutro & Tveten (1999) og Henry (2010) er dalsidene prega av banda diorittisk til granittisk gneis og toppen av fjellet består av eit fyllittdekke med overlagra kvartsitt frå Fortun-Valdresdekkekomplekset. NGUs lausmassekart (Figur 4) (NGU, 2019b) syner lausmassar med samanhengande og stadvis mektige moreneavsetjingar nedst i dalen, og ved fjelltoppane er det tynt og usamanhengande morenedekke, bart fjell eller skredmaterial. Vidare er primær vegetasjon grasdekke opp til kote 500 med vaksande blandingsskog av fjellbjørk og gran oppover dalsidene til kote 1000 (Grue, Henriksen, & Kronholm, 2017).

Ved Selseng kjem det gjennomsnittleg 1535 mm nedbør i året (Figur 5). Den våtaste månaden er oktober, med 198 mm normalnedbør, og den tørraste månaden er mai, med 66 mm normalnedbør. Olsen et. al. (2015) fann i sitt studie at det kom i gjennomsnitt 18.65% meir nedbør på Anestølen enn ved Selseng som følgje av fenomenet orografisk nedbør (Ruddiman, 2014).



Figur 5 - Gjennomsnittleg månadsnedbør ved Selseng, 1940-2014. Frå www.eKlima.met.no (Meteorologisk Institutt, u..å.)

2.6 Tidlegare undersøkingar

Det er tidlegare gjort fleire undersøkingar i området, særleg skredundersøkingar i høve tidlegare bachelorarbeid ved Høgskulen på Vestlandet (tidlegare Høgskulen i Sogn og Fjordane). Det er blant anna blitt gjort analyser av undersjøiske skredavsetjingar frå Anestølsvatnet (Grønli & Norheim, 2016), analysar av innsjøsediment (Kimerud & Hansen, 2018), og undersøkingar av eit jordskred som gjekk i den austre dalsida november 2013 (Olsen et. al. 2015). Anestølen og det kringliggande området har vore ein populær stad å utøve feltarbeid for høgskulestudentar då dalføret er svært lett tilgjengeleg med bil frå Sogndal, og byr på fleire ulike forskingsmoglegheiter.

3 Metodar

3.1 Klimastasjonen ved Anestølen

I 2010 vart det ønska at Noregs Vassdrags- og Energidirektorat, NVE, skulle utvikle ei regional operativ overvakings- og varslingsteneste for lausmasseskred på Vestlandet, og i 2011 inngjekk Høgskulen i Sogn og Fjordane (sidan 2017 – Høgskulen på Vestlandet) eit samarbeid med NVE og det vart oppretta eit pilotprosjekt for å auke kunnskapsnivået om tidleg varsling for flaum og skred ved Anestølen (NVE, 2012). NVE trengte ein god lokasjon med fare for lausmasseskred og Høgskulen hadde allereie gjort ein del arbeid i dette området. I dalbotnen nær elvelaupet vart ein klimastasjon installert, samt tre grunnvassrør frå NVE og eitt grunnvassrør frå Høgskulen vart installert i den austlege dalsida. Målingar frå desse grunnvassrøra er no integrert i NVE's flaumvarslingsteneste på www.varsom.no. Klimastasjonen er plassert på eit flatt homogent terreng utan hindringar i dalbotnen og måler lufttemperatur, relativ luftfuktigheit, vind, nedbør, global stråling, netto stråling, snøens vassekvivalent, snødjupne og -temperatur og grunnvasstand.

3.1.1 Nedbørmålaren i klimastasjonen

Nedbørmålaren har vore i drift sidan installasjon i 2011. NVE publiserer nedbørdata på www.sildre.nve.no med stasjonsnummer 77.24.0 (NVE, 2019). www.sildre.nve.no er ei nettside som syner oversikt over hydrologiske målestasjonar og måledata i Noreg, utvikla av seksjon for hydrologisk informatikk (HI) ved NVE.

Nedbørmålaren ved klimastasjonen er av typen OTT Pluvio². Målaren har ein automatisk bestemming av oppsamling av akkumulert nedbør, og har integrert temperatursensor som kompenserer for temperaturendringar i vegemekanismen. Nedbøren blir samla opp i ei bøtte, og bøttas tørre vekt blir trekt frå den aktuelle vekta. Slik får ein tal på samla, akkumulert nedbør. Kvart 6. sekund kontrollerer OTT Pluvio² akkumulert nedbør i bøtta med ei oppløysing på 0.001 mm (rådata). Ein filteralgoritme vil forhindre ukorrekte måleresultat som følgje av effekten frå vind. Ved om lag 800 mm akkumulert nedbør er bøtta full og må tømmast manuelt, og ei full bøtte veg rundt 35 kg. Nettopp fordi at bøtta må tømmast manuelt har den stått full i periodar, og måledata i desse periodane er ikkje pålitelege. Produsenten av nedbørmålaren anbefalar å tømme bøtta når den har nådd 80% kapasitet eller meir (OTT, 2019b).

3.1.2 Atmosfæretrykk og lufttemperatur

Atmosfæretrykk og lufttemperatur vert målt med ein Campbell CS215 Temp & Humidity sensor installert på hovudmasta til klimastasjonen. Den målar det atmosfæriske trykket digitalt kvart 15 min med ein feilmargin på; $\pm 2\%$ (10% til 90% rekkevidde) ved 25°C og $\pm 4\%$ (0% to 100% rekkevidde) ved 25°C.

Måleinstrumentet Campbell CS215 målar samtidig lufttemperatur. Campbell CS215 har en feilmargin på $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (ved 25°C), $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (ved 5° til 40°C) og $\pm 0.9^{\circ}\text{C}$ (ved -40° til +70°C).

3.2 Klimastasjonen ved Selseng

I 1895 vart det storsatsing på å kartlegge og forstå klimaet i Noreg betre, og det vart oppretta manuelle klimastasjonar rundt i landet, blant anna på Selseng i Sogndalsdalen. På denne tida, før vêrvarsling kom på radio og tv, var det normalt at gardsbruka fekk betalt for å være observatørar og rapportere tilbake vêrdata.

Målestasjonen på Selseng ligger 421 m.o.h. og om lag 3.5 km sør for Anestølen. Stasjonen målar temperatur, nedbør og snødjupne. Nedbørstolpen er av jern og den må være 50 cm høgare enn snødjupna om vinteren. Målestasjonen ser ut som ei firkanta ramme med ein botn, fastklinka på fire jernstenger. Regnmålaren kviler på stativets ramme, mens snømålarer går gjennom ramma og kviler på botnen. Stolpen og stativet må stå støtt og loddrett slik at målaren er i vater. Sjølv regnmålaren er lagd av sink og kopar med ei rund opning av skarp ubehandla messing. Inne i regnmålaren vert nedbøren samla i ein behaldar som er beskytta mot fordunsting. Regnvatnet må manuelt helles over i eit tilpassa måleglas kor ein kan lese av millimeter nedbør.

På vêrharde stadar kan vinden hindre målaren og fange all nedbør og målinga blir usikker. Då vart det installert ein nedbørskjerm for sikkerheit. Skjermen er forma som ei trakt og lagd av galvanisert jernblikk som festes på stolpen. På www.eklima.met.no publiserast nedbørdata frå Selseng under stasjonsnummer 55730.

3.3 Utstyr nytta i felt

I tillegg til kamera, vadebukser, markeringspålar, skjema for logging av målingane, flaskar for vassprøver, måleband og meterstokk vart følgjande utstyr og instrument nytta under feltarbeidet:



Figur 6 - Montering av flügel i felt. I kassa kan ein òg sjå OTT Z400 Signal Counter Set. Foto: Camilla Hatland.

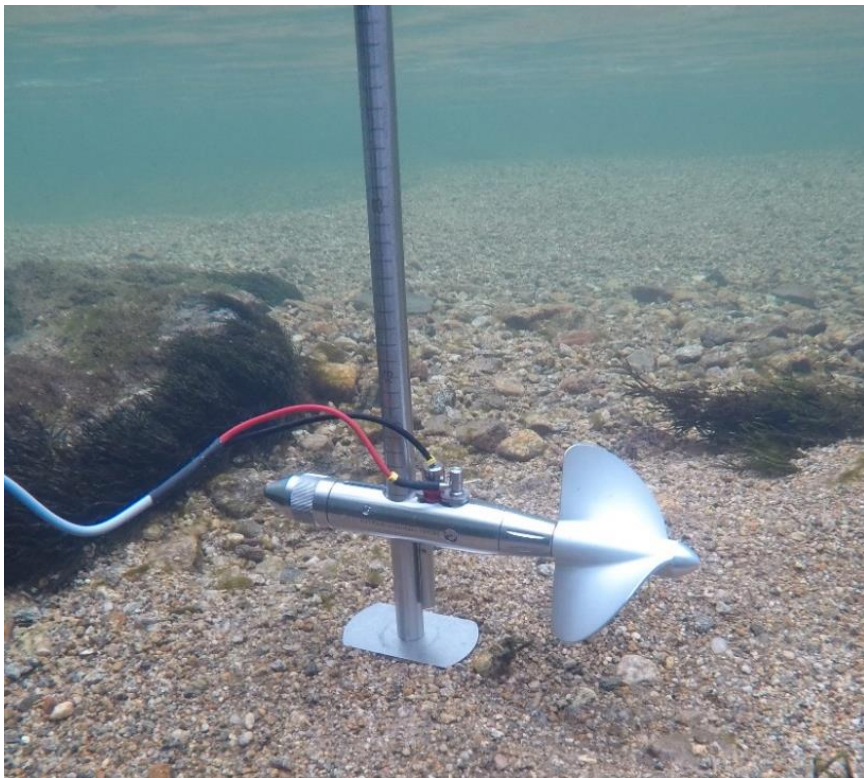
3.3.1 Flügel: OTT C31 Universal Current Meter og OTT Z400 Signal Counter Set

Ein flügel av typen OTT C31 Universal Current Meter vart nytta under feltarbeid. Dette er eit måleinstrument som målar vasshastigheita i rennande vatn. Ein propell blir stilt i gitt høgde over elvebotnen som er avmerkt i cm på ein metallstong. Produsenten har eit utval av propellar til ulike behov og vasshastigheiter. Etter råd frå rettleiar Jacob C. Yde vart det alltid brukt propell nummer 1, som er best eigna til lågare vasshastigheiter (mindre enn 10 m s^{-1}). Denne propellen lagar eit elektrisk signal for kvar omdreieing den gjer, og dette signalet går i ei leidning frå C31 Current Meter under vatn og opp til ein computer av typen OTT Z400 Signal Counter Set, som operatøren berer rundt halsen. Denne computeren reknar om tal omdreieingar til

propellen over ein bestemt tidsperiode til vasshastigheit målt i m s^{-1} , som kjem til syne på ein skjerm. Vasshastigheita blir rekna ut etter følgjande formel:

$$v = k \times n + \Delta$$

der k er propellens hydrauliske frekvens, det vil seie kor mange meter vasstraumen renn per omdreiging [m/rev], n er propellens målte omdreingar per sekund [rev/s], og Δ er ein korreksjonskonstant [m/s]. Både k og Δ er unikt testa for kvar propell frå produsenten (OTT, 2019a).



Figur 7 - Flügel nytta i felt: OTT C31 Universal Current Meter. Foto: Camilla Hatland.

3.3.2 Dataloggarar: *Solinst Levellogger* og *Solinst Barologger*

Totalt 2 dataloggarar av typen *Solinst Levellogger* (serienummer 2022477 og 2067910) og 1 av typen *Solinst Barologger* (serienummer 1030489) vart nytta i feltarbeidet for måling av vasstrykk og atmosfæretrykk (sjå plassering av dataloggarane i Figur 2A og B). Desse sensorane gjer gjennomsnittsmålingar av både trykk og temperatur over 20 minutt, og loggar data kontinuerleg til dei er samla inn eller batteriet går tomt.

3.3.3 Differensial-GPS: *Topocon HiPer V*

Differensial-GPS av merke Topocon (*Topocon HiPer V* mottakar og *Topocon FC-3361* Field Controller) (Figur 8) vart nytta under feltarbeid 14. september til å finne eksakt posisjon til det faste måleprofil, samt posisjonar til levelloggarane, som vist i Figur 2.



3.4 Feltarbeid

3.4.1 Andre målemetodar for vassføring

Figur 8 - Differensial-GPS i bruk. Foto: Sigurd Nerhus

Saltfortynningsmetoden er mest brukt i svært turbulente elvesystem kor det ikkje er mogleg å måle vassføringa med flügel. Metoden går ut på at ein kjend mengde oppløyst salt vert tilført elva oppstrams for målepunktet. Konsentrasjonen av salt vert målt etter vatnet leiingsevne, som er lineær med saltkonsentrasjonen. Ut frå dette kan ein finne saltkonsentrasjonen, og dermed kor stor vassføringa er. Det er viktig at saltet blandar seg heilt homogent med vatnet i elva, og må difor tilsetjast i elva langt nok oppstrams for målepunktet for at det skal blande seg godt i elvevatnet (NVE, 2015). Av praktiske årsaker vart det ikkje valt å nytte denne metoden sidan Anestølselva har svært gode forhold for å gjere målingar med flügel.

Velocity Area Method er ein enklare måte å gjennomføre målingar med flügel på. Denne metoden går ut på å dele elveprofilet opp i fleire rektangel, og gjere éin representativ hastigheitsmåling i kvart rektangel. Dette gjerast i ei høgde i vassøyyla 0.4 gongar det gjennomsnittlege djupet i kvart rektangel i elveprofilet. Målingar ved denne relative høgda i vatnet vil gje den gjennomsnittlege vasshastigheita ved dette punktet, då det er vist at i turbulent straum vil hastigheitsprofilet vere tilnærma gitt med ein logaritmisk funksjon (Hornberger, Wiberg, Raffensperger, & D'Odorico, 2014) Alle dei representative snitthastigheitene vert multiplisert med arealet av det aktuelle rektangla i profilet og lagt saman. Slik får ein den gjennomsnittlege vassføringa for heile elveprofilet. Denne metoden vart ikkje valt, då det var ønskja å gjere meir nøyaktige målingar.

3.4.2 Førebuingar ved feltlokalitet

Ved gjennomføring av feltarbeidet vart det valt å utføre målingane på same stad kvar gong, med eit ønskje om å ha same pålitelege referanse både for våre eigne målingar, og for andre framtidige forskingsprosjekt ved HVL. Ved å gjere dette ville det òg gje moglegheita til å sjå om det var større endringar i elvas profil gjennom sesongen. Profilet vart målt opp horisontalt og normalt over elva og alltid loggført frå venstre (austleg) til høgre (vestleg) elvebreidd (UTM32V: venstre elvebreidd: 388193.737E, 6804984.333N. Høgre elvebreidd: 388171.692E, 6804980.776N).

For å ha ein kontrollert innsamling av data, vart det under fyrste dag med feltarbeid 20. juni 2018 plassert ein trepåle i bakken på kvar side av elvebreidda som eit referansepunkt. Dette vart gjort slik at ein skulle vere sikker på at profilet ikkje vart forskyvd anten opp- eller nedover elva frå dette referansepunktet ved seinare målingar gjennom sommaren og hausten.

Før kvar måling vart djupet til eit fast merke på ein stor stein som låg i elva målt, nokre meter ovanfor profilet som skulle målast. Dette var eit viktig referansemål, då det ville gjere det enklare å få ein idé om kor mykje vatn det var i elva ved nye målingar.

3.4.3 Dataloggarar

Før andre feltmåling 21. juni 2018 vart det plassert ut to dataloggarar av typen Solinst Levellogger i elva, liggande uforstyrta i eit djupt parti ved høgre elvebreidd på nedsida av profilet i elva. Desse ville kontinuerleg gjennom sommaren og hausten gjere gjennomsnittlege vassstemperatur- og trykkmålingar kvart 20. minutt. Det vart òg plassert ein Solinst Barologger oppunder taket på ei hytte på Anestølen som skulle måle atmosfæretrykk og lufttemperatur. Dette vart gjort slik at ein kan rekne ut sant vassstrykk ved å trekke atmosfæretrykket frå totaltrykket målt av dataloggarane i elva. Alle målingar basert på døgnlege verdiar vil vere rekna frå og med 22. juni 2018, fyrste heile døgn etter at dataloggarane vart plassert i felt, og til og med 6. november 2018, siste heile døgn før dataloggarane vart samla inn.

3.4.4 Framgangsmåte for gjennomføring av målingar av vassføringa

Eit måleband vart strekt over elva mellom referansepunkta (Figur 10). Vassdjup vart målt med ein meterstokk og vasshastigheita i elveprofilet vart målt med ein flügel av typen OTT C31 Current Meter saman med OTT Z400 Signal Counter Set (Figur 9). Dette vart gjort ved faste

intervall på 1 meter etter målebandet (til dømes ved 5, 6, 7 meter osv.). Derimot var det ved venstre elvebreidd ein lokalt mykje sterkare straum, og det vart gjort måling av vasshastigheita med eit intervall på 0.5 meter akkurat her. Inntil høgre elvebreidd vart det òg gjort målingar med eit intervall på mindre enn 1 meter for å komme so nær breidda som mogleg med ei representativ måling.

Flügelen var fyrst stilt til å måle 10 cm over elvebotnen, horisontalt og vinkelrett i høve målebandet. So 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm og 60 cm over elvebotnen. Flügelens propell har ein radius på 7 cm, og heile propellen må vere under vassoverflata for at det skal bli ei representativ måling. Dette medfører at den minste, målbare vasstanden ved eit gitt punkt er 17 cm. Om det er mindre enn 17 cm vatn vil ein ikkje kunne få nokon måling ved dette punktet.

Det var svært viktig at operatøren av flügelen heldt flügelen heilt loddrett, og samtidig vinkelrett på målebandet, sjølv om vasstraumen kanskje var skrå i forhold til målebandet. Dette var gjort fordi det var ønskja å måle den effektive vassføringa som går vinkelrett gjennom profilet. Operatøren måtte òg passe på å ikkje stå for nære flügelen, men halde den på armlengds avstand. Om operatøren står for nære flügelen, vil det kunne påverke målinga i form av at det lagast ein bølge framfor operatøren som kan hindre vatnet å renne fritt forbi flügelen.

Flügelens computer, OTT Z400 Signal Counter Set, var stilt til å rekne ut ei snitthastigheit på vatnet målt over 30 sekund. Instrumentet var òg stilt til å måtte registrere minimum 2 heile omdreiingar på flügelen for å kunne rekne ut ei snitthastigheit til vatnet over 30 sekund. Ei anna måte å måle snitthastigheita på hadde vore å stille computeren til å måle tida det ville ta for flügelen å gjere nøyaktig 10 omdreiingar. Dette vart ikkje valt, då det ville gitt unøyaktige målingar særleg ved elvebreidda kor vatnet renn svært sakte, eller det til og med kan vere ei lita bakevje. Då kunne det hende at flügelen aldri ville fått 10 heile omdreiingar og difor vart det til fordel valt å stille flügelen til å måle eit snitt over 30 sekund.

Alle hastigheitsmålingane vart fortløpande logga på papir, og seinare overført i eit Excel-dokument som sikkerheitskopi av rådata.



Figur 9 - Flügel i bruk av Camilla Hatland. Foto: Jacob C. Yde



Figur 10 - Feltnålinger i Anestølselva 20. juni 2018. Foto: Jacob C. Yde

3.5 Framstilling av data

3.5.1 ArcGIS og NEVINA

Kartprogrammet ArcMAP levert av Esri vart nytta for å framstille oversiktskart (Figur 1). I mangel på dekning av høgdedata frå Kartverket vart NVE si teneste NEVINA (Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse), www.nevina.nve.no, nytta for å framstille topografisk nedbørfelt for Anestølselva (Figur 11). Tenesta kan lage eit topografisk nedbørfelt ut frå eit gitt punkt ved å framstille eit polygon med grenser som går normalt på høgdekotene rekna ut frå dette punktet. Metoden er enkel og effektiv, men kan gje unøyaktige grenser i flatare terreng. Dette vart tydeleg på den resulterande polygonen i området nærast målepunktet, kor det er svært flatt terreng (Figur 1D). Nokre små manuelle korrigeringar måtte difor gjerast på polygonen. Polygonen kan deretter lastast ned til eigen datamaskin som ein shape-fil med tilhøyrande attributt-tabell og nyttast vidare i ArcGIS. WMS-tenesta *Topografisk Norgeskart 4* vart nytta som bakgrunnskart (Kartverket, 2019).

3.5.2 Behandling av innsamla data frå dataloggarar

Data samla inn frå dataloggarane vart fyrst behandla i Solist Levellogger Software ver. 4.3.3. Dette programmet, levert av produsenten for dataloggarane, vil bruke dei innsamla data frå barologgaren til å rekne ut sant vasstrykk frå dataloggarane som låg i elva. Seinare vart all behandling av data samla av dataloggarane vidare brukt og analysert i Microsoft Excel.

3.5.3 Utrekning av vassføring (Q-verdi) med Harlacher's metode og GeoGebra

Dei målte vasshastigheitene i heile elveprofilet vart nytta for å rekne ut elvas vassføring (Q-verdi) målt i $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ med Harlacher's metode for alle hastigheitsmålingane som var gjennomført. Metoden går ut på å bruke manuell integrering for alle hastigheitsmålingane i elvas vertikale høgde ved kvart målepunkt for å finne ein samla vassføring gjennom profilet. Det vart med fordel valt å gjere dette ved å nytte det matematiske rekne- og teikneprogrammet GeoGebra Classic 5 for desse utrekningane (www.geogebra.org). Med dette konstruksjonsprogrammet kan ein leggje inn punkt i eit koordinatsystem, trekke linjer mellom punkta og soleis lage polygonar som ein kan få oppgitt eksakt areal for. Dette var både tidssparande og mykje meir nøyaktig enn om det skulle bli teikna for hand på millimeterpapir og telje arealet til polygonane

manuelt. Q-verdiar, det vil seie elvas vassføring målt i $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, vart rekna ut for alle dei 12 vasshastigheitsmålingane som var utført gjennom sommaren og hausten.

3.5.4 Korrigeringar av trykkloggar-data i Microsoft Excel (h-verdi)

Det var visst at minst éin av dataloggarane som låg i elva hadde blitt flytta på i løpet av måleperioden. Ved måling 21. juli vart loggar 2067910 funnen heilt i elvebreidda, truleg dratt opp av geiter som beiter i området. Begge dataloggarane vart etter denne hendinga sikra ekstra godt i elvebotnen for å unngå at noko slikt skulle skjje igjen.

Av denne årsaka ville det bli store «hopp» i dataa frå loggaren som vart flytta på. Dette måtte korrigerast for før ein kunne få representative datasett. Når alle målingane frå begge loggarane vart lagt inn i ein graf i Microsoft Excel var det tydeleg at fleire gongar hadde loggar 2067910 blitt flytta på. Som følgje av dette synte det markante endringar i høgda til vassøyla, mest i perioden 26. juni til 21. juli (Figur 14).

For å gjere desse endringane meir tydeleg vart det laga éin graf til som syner differansen mellom dei målte verdiane til loggar 2022477 og 2067910 (Figur 15). Dette vart gjort for å enklare korrigere feildata, det vil seie når ein av dataloggarane hadde flytta seg i vassøyla i forhold til den andre. Hadde begge dataloggarane lagt heilt i ro burde denne grafen vore parallell med x-aksa utan å endre y-verdi. Der den eine dataloggaren har flytta seg i vassøyla utan at den andre har gjort det same, ville det vere eit markant hopp i grafen. Ved hjelp av denne grafen var det no veldig enkelt å sjå nøyaktig kor ein måtte korrigere alle påfølgjande data etter gitte tidspunkt kor ein av dataloggarane hadde flytta på seg.

For å vite kor mykje ein måtte korrigere for, vart det sett på differanseverdien som vist i Figur 15. Om dei målte vasstandsverdiane hadde ei nøytral trendutvikling, vart denne eksakte endringa i differanseverdien brukt for å korrigere alle påfølgjande målte verdiar. Om trenden i dei målte verdiane frå trykksensorane var stigande eller søkkande vart det justert litt på korrigeringa slik at det vart ei naturleg utvikling i trenden. Dermed ville ikkje trenden for dei målte trykksensorverdiane gå i markante "trappetrinn" der det vart gjort korrigeringar for feildata. Data frå sensor 2022477 måtte korrigerast berre éin gong, mens data frå sensor 2067910 måtte korrigerast 8 gongar for alle dei 10 021 målingane. Målet med korreksjonane var å få grafen som syner differansen mellom målingane for dei to sensorane skulle vere so jamn og flat som mogleg, som vist i Figur 16. Når dette var gjort stod ein att med korrigererte h-verdiar for høgda på vassøyla ved dei to dataloggarane gjennom heile måleperioden.

3.5.5 Korrelering av Q- og h-verdiar

Etter at Q-verdiane var rekna ut måtte dei korrelerast til dei korrigerde h-verdiane frå trykksensorane som låg nærast i tid til dei målte vassføringsverdiane. Trykksensorane gjorde gjennomsnittsmålingar kvart 20. minutt, og det var difor enkelt å finne h-verdiar som stod til tidene for vassføringsmålingane.

3.5.6 Funksjonar for Q og h (rating curves)

Dei utrekna Q-verdiane og dei korrelerande h-verdiane frå begge dataloggarane vart samla i eit Excel-dokument og presentert i to X-Y -diagram, eitt kor h er ein funksjon av Q, og eitt kor Q er ein funksjon av h (Figur 18 og Figur 19). Det vart nytta Excel sitt trend-verktøy for å finne ein power-funksjon for vassføringa med skrivemåten:

$$Q = a_1 h^{b_1}$$

og ein power-funksjon for vasstanden (rating curve) med skrivemåten:

$$h = a_2 Q^{b_2}$$

der Q er vassføringa, h er den korrigerde vasstanden til trykksensorane, og a_1 , b_1 , a_2 og b_2 er konstantar. Det vart funne rating curves med omsyn til både Q og h for målte, korrigerde data frå begge dataloggarane som målte vasstanden.

3.5.7 Nedbørdata

Nedbørdata frå klimastasjonen på Anestølen vart nytta for detaljerte nedbøranalysar med 10 minutt oppløysing. Sidan denne nedbørmålaren vart full og ikkje tømd etter 22. august vart det ikkje gjort slike nedbøranalysar for data etter denne dato. Av same årsak vart det nytta nedbørdata frå Selseng for døgnglege nedbørmålingar for heile måleperioden. Excel vart nytta for å framstille nedbørdataa på ein god måte.

3.6 Feilkjelder og usikkerheiter

Det var fleire feilkjelder knytt til feltarbeidet samt analyse av data.

Det var tydeleg at elvebotnen endra seg mellom målingane som følgje av botntransport av grovkorna sediment som sand og grus – dermed ville ein ikkje kunne måle det eksakt same profilet i elva to gongar, sjølv med markerte punkt på kvar side av elva.

Ved siste dag med feltarbeid og vasshastigheitsmålingar 7. november 2018 hadde grunneigaren nyleg brukt traktoren sin og henta grus i elva akkurat der det faste måleprofilen vårt var. Dermed måtte det gjerast hastigheitsmålingar på ein annan stad i elva ovanfor det faste profilet. I teorien burde det ikkje vere stor forskjell i mengda vatn som renn gjennom to profil med berre nokre meter mellom seg, men det bør takast i betraktning like vel når alle andre målingar vart gjort på same profilet.

Målebandet vart alltid plassert mellom markeringspålane på kvar side av elva. Men det kunne variere kor langt inn på land målebandet var festa, og dermed òg kor på målebandet elvebreidda var. Dette ville gje litt forflyttingar av metermerka på målebandet over elva mellom målingane.

Det kan ha vore nokre centimeter avvik i nøyaktigheita i plasseringa av flügelen langs målebandet. Om det til dømes var ein stein i vegen som gjorde det ueigna å sette flügelen akkurat ved eit merke på målebandet vart flügelen til fordel sett ved sidan av for å unngå hindringa. Det kan òg vere usikkerheiter i om flügelen vart haldt heilt beint, og normalt, på profilet ved kvar måling. Nokre gongar under feltarbeid ville vind gjere at målebandet svaia og/eller stod i ein stor boge i vindens retning, som medførte at profilet vart endra tilsvarande. Høgdejusteringa til flügelen kan òg ha variert, då det ikkje var so enkelt å montere han i ei eksakt høgde på stonga.

Flügelen trengde minimum 17 cm vatn for å gje ei måling. Om det var mindre enn 17 cm djup i elva vart dette registrert som «inga måling», sjølv om det kunne vere god straum i vatnet.

OTT Z400 Signal Counter Set hadde blitt stilt til å ha ei nedre målegrense på to heile omdreiingar på flügelen for å kunne gje ei måling. Ved venstre elvebreidd kunne straumen i vatnet vere svært svak, og ikkje alltid vere sterk nok til å gje to heile omdreiingar på flügelens propell. Dermed fekk ein ikkje ei teljande måling.

Elva er turbulent, det er usikkert om dei målte verdiane faktisk er reelle. Det vart ved nokre høve prøvd å gjere fleire målingar på same stad utan å flytte flügelen, noko som resulterte i litt ulike hastigheitsmålingar kvar gong.

Produsenten av flügelen, OTT, opplyser sjølv på heimesidene sine at produktet har ein nøyaktigheit på $\pm 2\%$. Kvar flügel-propell produsert av OTT er individuelt testa av produsenten og har eigne korrigeringsfaktorar som Z400 Signal Counter Set må stilles inn for før bruk for å kunne gje korrekte verdiar.

Dataloggarane som låg i elva vart flytta på, truleg av geiter eller sauer som beiter i området. Då vi kom til Anestølselva for å gjere feltarbeid 21. juli 2018 vart vi møtt av synet av ei geit som togg på og drog i forankringssnora til den eine loggaren. Det er dermed ikkje å utelate at noko tilsvarande kan ha skjedd meir enn denne eine gongen. Dette såg vi att på dei registrerte måledata som måtte gjerast manuelle korrigeringar for, som omtala i avsnitt 3.5.4. Ved innsamling av dataloggarane 7. november 2018 hadde dei blitt nesten heilt nedgrave av sand- og grusmassar, som kan ha påverka måleresultata, det vil seie h-verdiane seinare nytta i utrekningar.

Dei utvikla rating curves er basert på innsamla data frå dataloggarane korrelert til målte Q-verdiar. Ved den målinga med høgast vassføring (Q-verdi), syner dataloggarane ein vasstand på om lag 70 cm. Derimot er den høgaste verdien registrert av dataloggarane på om lag 170 cm. Dette betyr at den utvikla formelen for Q-h-relasjon berre er nøyaktig ved lågare vassføringar, og er ikkje nøyaktig ved høg vasstand og vassføring, men heller indikativ då det manglar datagrunnlag for so høge verdiar.

Rating curve-funksjonane tek ikkje omsyn til at når vasstanden i elva stig, kan elva gå ut over sine breidder. Dermed vil den faktiske vassføringa kunne vere mykje større enn den som blir estimert ved svært høg vasstand.

Dei estimerte vassføringsmålingane er basert på den resulterande Q-h-relasjonen. Om berre hastigheita på vatnet i elva aukar, kan vassføringa stige ein viss grad utan at vasstanden vil auke tilsvarande.

Nedbørdata ved klimastasjonen på Anestølen er i utgangspunktet svært nøyaktige, men oppsamlarbøtta i nedbørmålaren for akkumulert nedbør må tømme manuelt når den blir full. Nedbørmålaren vil alltid fungere og kontinuerleg lagre data, men vil ikkje gje pålitelege data

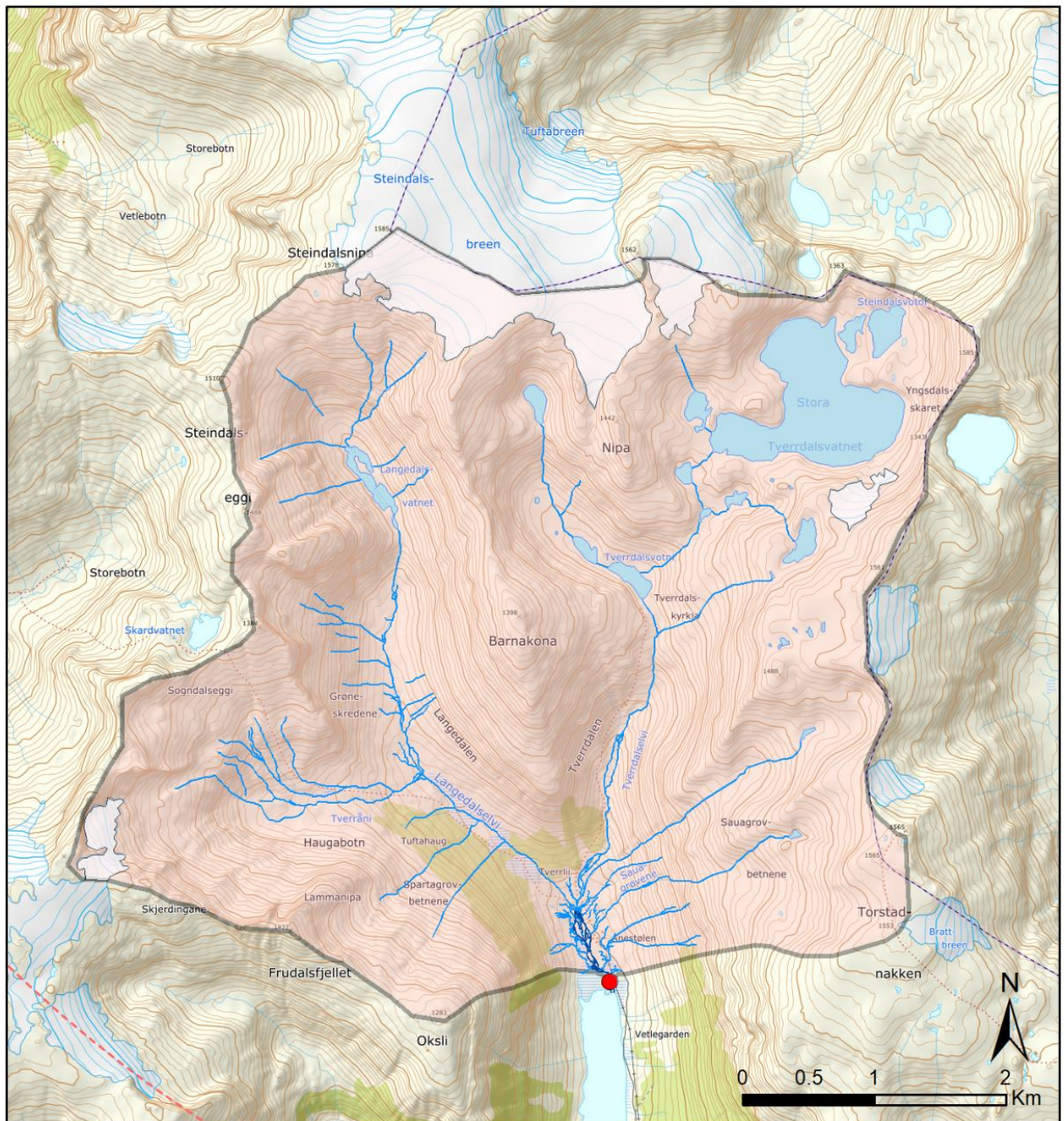
før den er blitt tømt igjen. Nedbørmålaren på klimastasjonen på Anestølen vart full 22. august 2018, og vart ikkje tømt sidan i den aktuelle måleperioden fram til 7. november. Dermed har vi ikkje nøyaktige nedbørdata frå Anestølen for denne perioden. Som følgje av dette vart det nytta døgnlige nedbørverdiar frå klimastasjonen på Selseng for heile måleperioden 21. juni til 7. november, og detaljerte nedbørdata frå Anestølen vart berre nytta for tidsrommet 21. juni til 21. august. Døgnlige nedbørdata frå Selseng er òg ei feilkjelde, då det er vist at det er lokalt meir nedbør på Anestølen enn på Selseng (Olsen et. al, 2015).

Q-verdiane vart rekna ut med Harlacher's metode. Prosessen for denne utrekninga gjer fleire antakingar, mellom anna: (1) At det er ein lineær endring i vasshastigheita mellom to målehøgder. (2) At vasshastigheita ved elvebotnen er 0. (3) At det er konstant vasshastigheit mellom øvste målehøgde og vassoverflata. Til dømes vil (1) og (2) ikkje gje nøyaktige resultat for dei målingane som er nærast elvebotnen. I tillegg vil (3) ikkje ta omsyn til friksjon frå luft.

Til slutt vil det òg vere moglege feilkjelder i samband med tolking av data. Det skal ikkje sjåast vekk frå at data kan ha blitt feiltolka i prosessane for å framstille resultatata.

4 Resultat

4.1 Topografisk nedbørfelt



Figur 11 - Topografisk nedbørfelt for feltlokalitet i Anestølselva – markert med raud prikk. UTM-koordinat sone 32V: 388193.73E 6804984.33N. (NVE, NEVINA, 2019)

Nedbørfeltet til Anestølselva ved målepunktet er 28.41 km² stort. Tenesta NEVINA vart nytta for å framstille nedbørfeltet (NVE, NEVINA, 2019). I ArcMAP syner attributtabelen følgjande arealfordelingar:

Tabell 1 - Fordeling av areal i nedbørfeltet

Vatn/sjø	Bre	Skog	Myr	Snaufjell
4.45%	5.21%	3.08%	0.59%	74.18%

74.18% av nedbørfeltet for Anestølselva er snaufjell, det vil seie fjellområde over skoggrensa. Dette bør gje relativt rask avrenning av nedbør som overflatevatn, og derav rask responstid mellom nedbør og vassføringa i elva.

5.21% av nedbørfeltet består av isbre. På nedbørfeltkartet (Figur 11) kan ein sjå at den sørvendte sida av Steindalsbreen kjem inn i opplandet for Anestølselva. Totalt er eit areal på 1.236 km² av Steindalsbreen innanfor grensene til det topografiske nedbørfeltet. Kartet syner òg at smeltevasselvane som kjem ned frå breen endar i innsjøar i Langedalen (Langedalsvatnet) og Tverrdalen (Stora Tverrdalsvatnet og Tverrdalsvotni). Sidan renn vatnet vidare i Langedalselvi og Tverrdalselvi som renn ned til Anestølen kor dei går saman til å bli Anestølselva. Vest for Anestølen kan ein òg sjå at ein mindre del av Frudalsbreen, 0.137 km², kjem inn i opplandet for Anestølselva. Det er òg ein mindre, namnlaus bre sør for Stora Tverrdalsvatnet (0.099 km²). Dette gir eit totalt bre-areal i heile nedbørfeltet på 1.472 km².

Det er om lag 4.2 km elv frå Langedalsvatnet til det målte elveprofilet i Anestølselva ved munninga til Anestølsvatnet, og om lag 3.3 km elv frå Tverrdalsvotni til det same punktet.

4.2 Differensial-GPS

4.2.1 Målte punkt

Tabell 2 - Liste over innsamla GPS-punkt, oppgitt som UTM-koordinat

GPS-punkt nr	UTM32V – E	UTM32V – N	Høgde over havnivå [m]	Info
100	388186.817	6804993.129	438.916	Høgdemåling 1
102	388198.567	6804975.164	438.909	Høgdemåling 2
104	388193.737	6804984.333	438.929	Venstre elvebreidd
106	388171.692	6804980.776	439.022	Høgre elvebreidd
108	388175.721	6804973.409	438.319	Levellogger 2067910
110	388176.277	6804968.060	438.254	Levellogger 2022477

4.2.2 Elvas helling ved måleprofil

For å finne elvas helling ved måleprofil, det vil seie den gjennomsnittlege hellinga mellom målte GPS-punkt 100 og 102, treng ein å vite nøyaktig avstand og høgdeforskjell mellom punkta (Tabell 2). Sidan UTM-koordinat er eit metrisk rutenett, kan avstand mellom to UTM-koordinat i same sone finnast ved å nytte Pytagoras:

$$\text{Avstand i meter} = \sqrt{(E_1 - E_2)^2 + (N_1 - N_2)^2}$$

Der E_1 og N_1 er eitt sett med austlege og nordlege UTM-koordinat, og E_2 og N_2 er det andre settet med UTM-koordinat. Ved å setje inn verdiane for GPS-punkt 100 og 102 får ein:

$$\sqrt{(388186.817 - 388198.567)^2 + (6804993.129 - 6804975.164)^2} = 21.466m$$

Dette gir ei helling på $\frac{438.916m - 439.909m}{21.466m} = 0.000326097m/m$, eller 0.0187° .

Resultatet kan virke urealistisk lite, då det var forventat at hellinga skulle vere større.

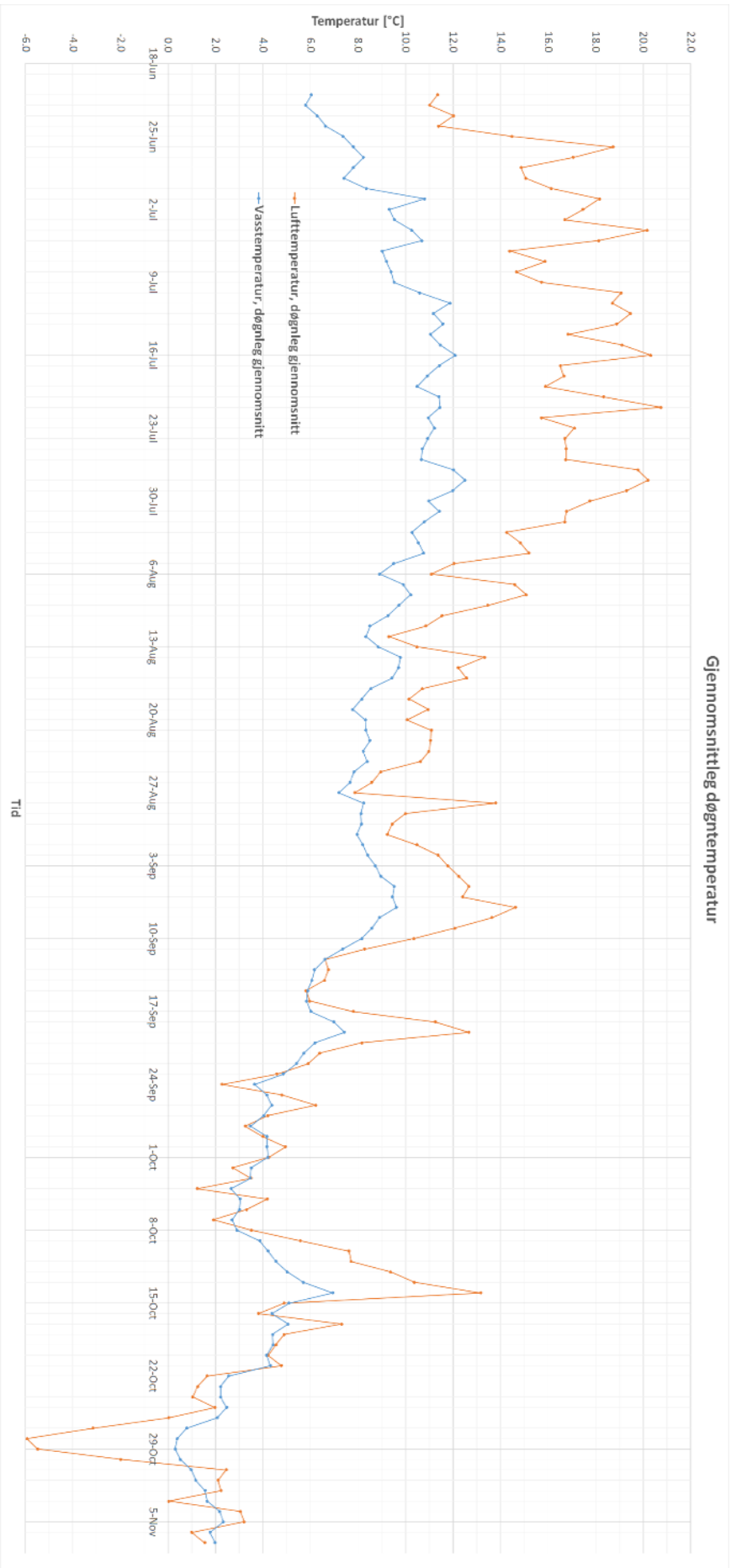
4.3 Vass- og lufttemperaturar ved Anestølen

4.3.1 Døgnvariasjonar

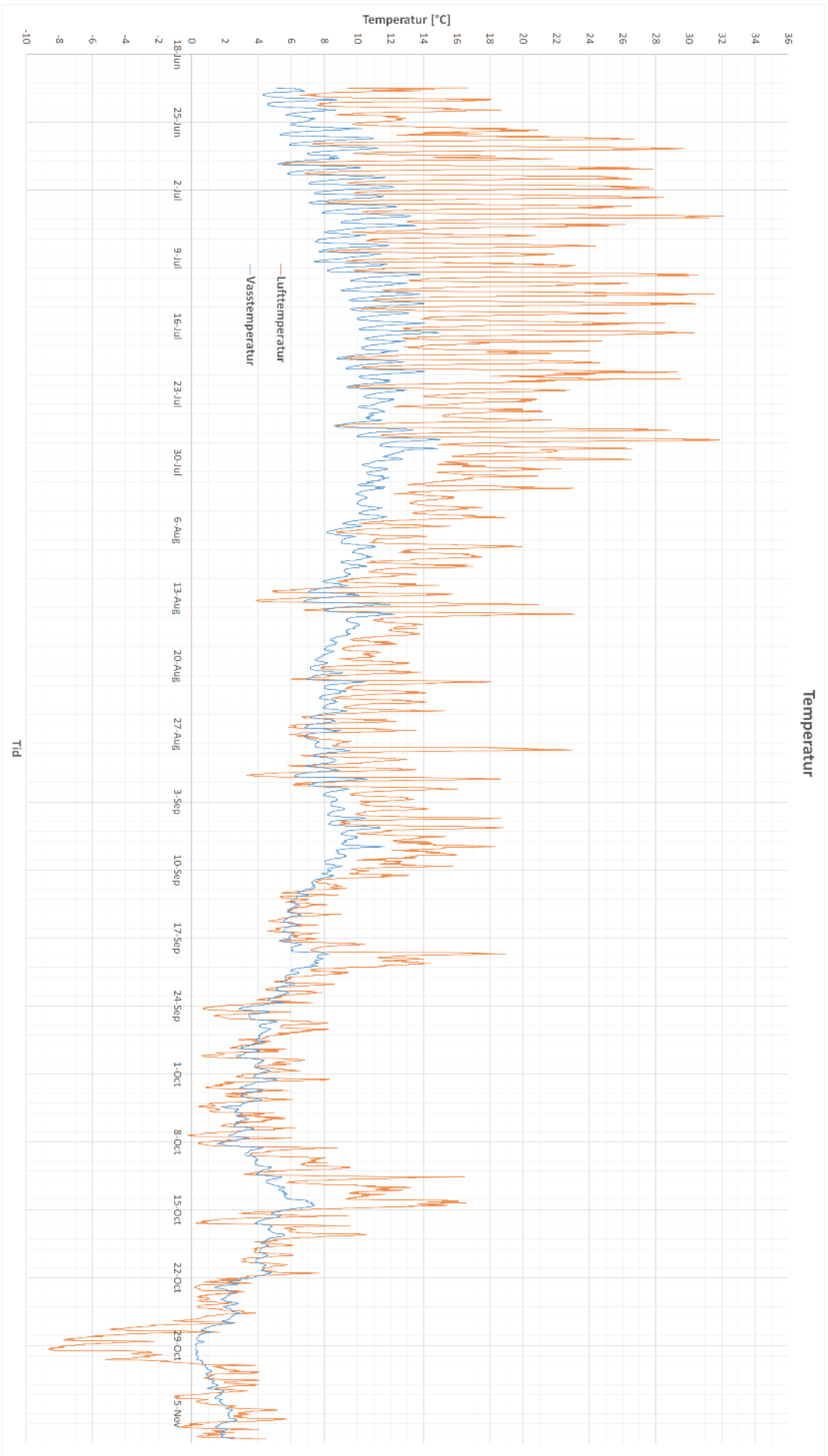
Lufttemperaturen er typisk varmest mellom klokka 15 og 19 og kaldast mellom klokka 04 og 09. Varmaste lufttemperatur var 32.1°C, og vart målt 4. juli kl. 15:40. Det er typisk varmest vass-temperaturar mellom klokka 15 og 18, og typisk kaldast vass-temperatur mellom klokka 06 og 09. Varmaste vass-temperatur registrert var 15.0°C målt 27. juli kl. 16:00. Døgnvariasjonane for både luft- og vass-temperaturen er størst på sommaren og ut juli månad, og blir deretter mindre og mindre til lengre ut på hausten ein kjem (Figur 13). Frå slutten av oktober og ut måleperioden er det ikkje lenger ein synleg, fast døgnrytme i vass-temperaturen når vatnet blir kaldare enn om lag 2°C.

4.3.2 Sesongvariasjonar

Sommaren 2018 var den varmaste og tørraste sommaren på mange tiår (Mamen & Hygen, 2019). Dette gjenspeglast i dei høge temperaturane ved Anestølen i juni og juli i Figur 12 som syner gjennomsnittlege døgntemperaturar. Det blir gradvis kaldare utover hausten. Fyrste veka i oktober er det lufttemperaturar ned mot 0°C, før det er ein kort, varmare periode frå 9. til 15. oktober 2018, kor den varmaste dagen var 14. oktober med ein gjennomsnittleg døgntemperatur på 13.2°C, og makstemperatur 16.5°C. Etter dette blir det kaldare, kor det 26. til 30. oktober er temperaturar lik eller under 0°C. Vass-temperaturane følgjer same mønster, berre med mindre utslag.

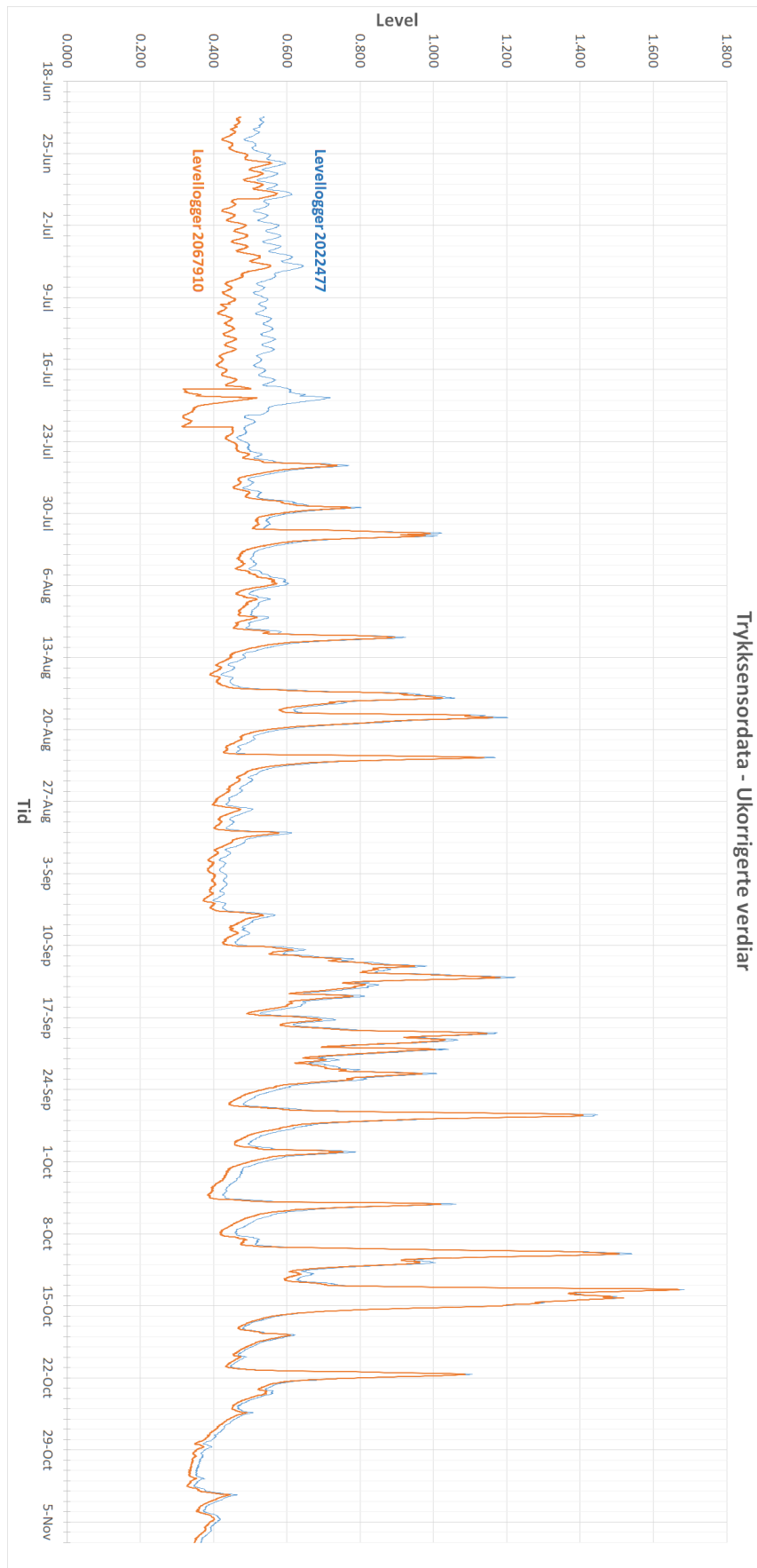


Figur 12 - Temperaturdata, døgntleg gjennomsnitt

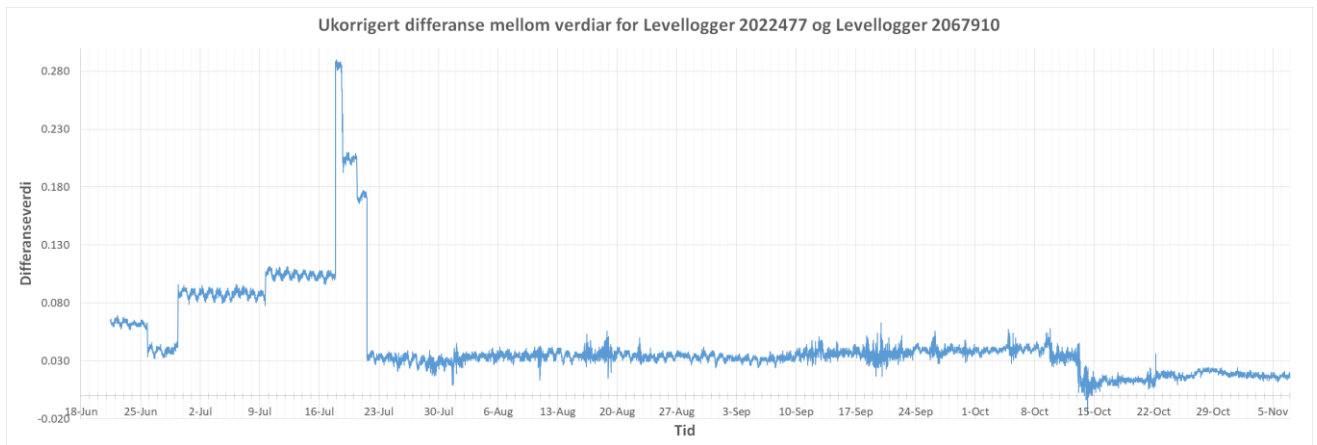


Figur 13 – Temperaturdata, 20 minutt oppløysing

4.4 Målte h-verdiar (trykksensordata)

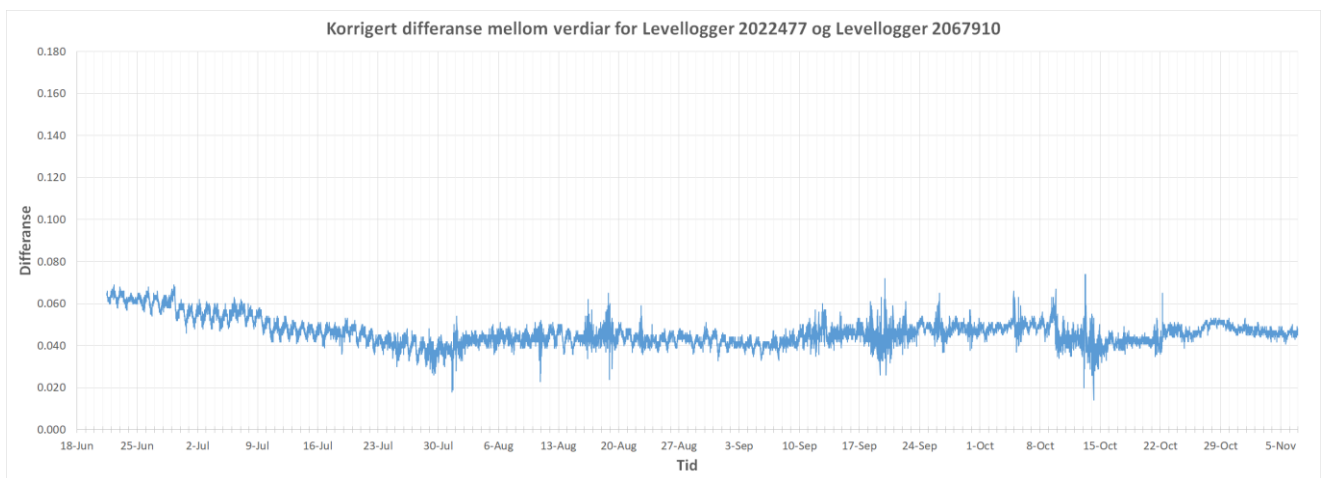


Figur 14 - Målt vassstand, ukorrigerde data



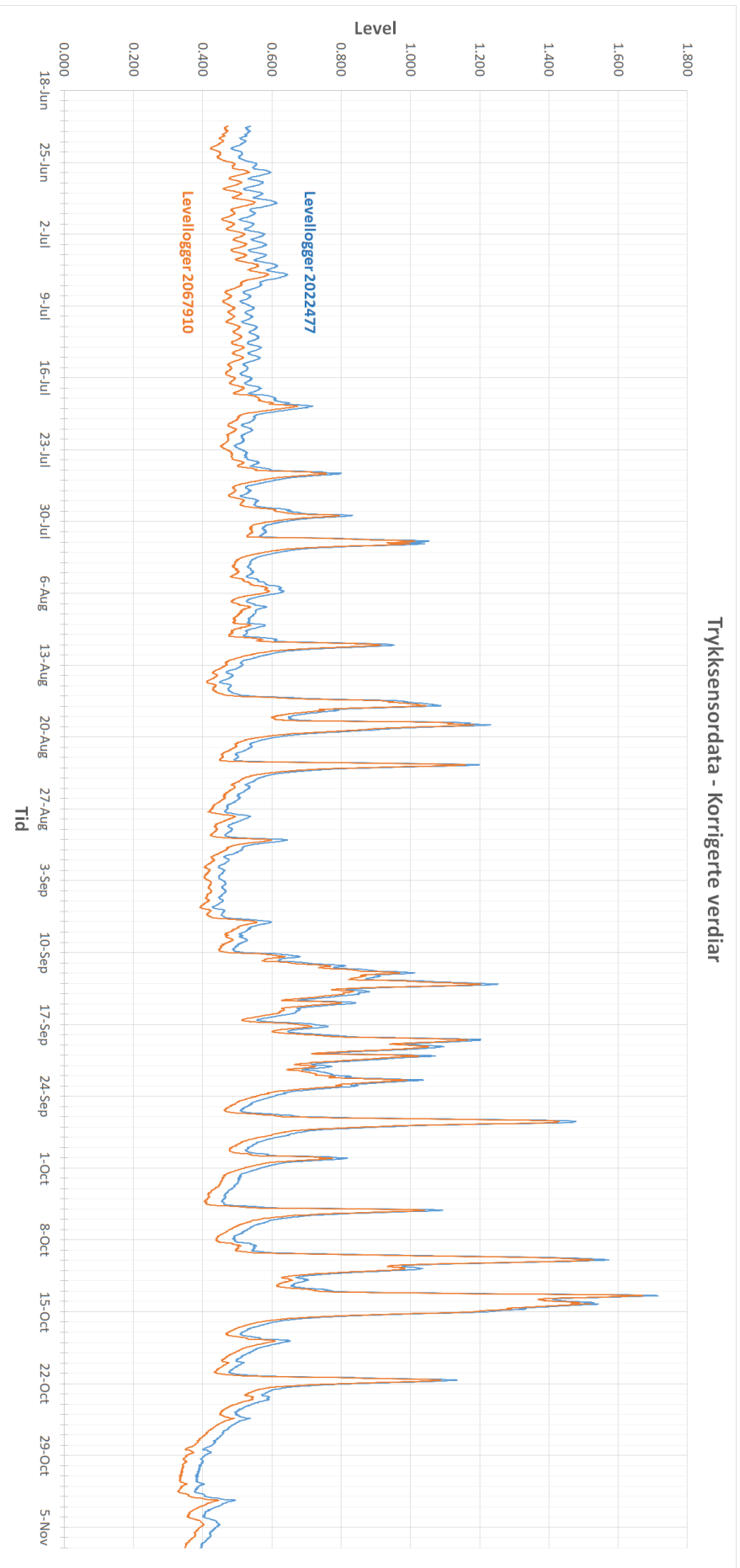
Figur 15 - Ukorrigeret differanseverdi mellom Levellogger 2022477 og 2067910

Differanseverdiane mellom trykkdataa frå dei to dataloggarane presentert i Figur 15 vart nytta for å korrigere feildata i dei målte h-verdiane. Målet var at når dataa var ferdig korrigeret skulle denne grafen bli parallell med x-aksen. Differanseverdiane for dei korrigerte dataa er vist i Figur 16. Merk at det er ulik skala på y-aksen i Figur 15 og Figur 16. Grafen i Figur 16 er ikkje heilt parallell med x-aksen, då det er noko støy i dei målte dataa. Dei korrigerte h-verdiane for dataloggarane er presentert i Figur 17.



Figur 16 - Korrigeret differanseverdi mellom Levellogger 2022477 og 2067910

Figur 16 syner òg at då sensorane vart lagt ut i elva 20. juni var det om lag 6 cm forskjell i høgda på vassøyla over dei. Ein kan sjå at denne differansen minkar litt gjennom juli månad, men er relativt stabil i heile måleperioden. Ein kan òg sjå at det er døgnlege variasjonar i differanseverdiane, det er størst differanse rundt midnatt og lågast differanseverdi midt på dagen.



Figur 17 - Målt vassstand, korrigerte verdier

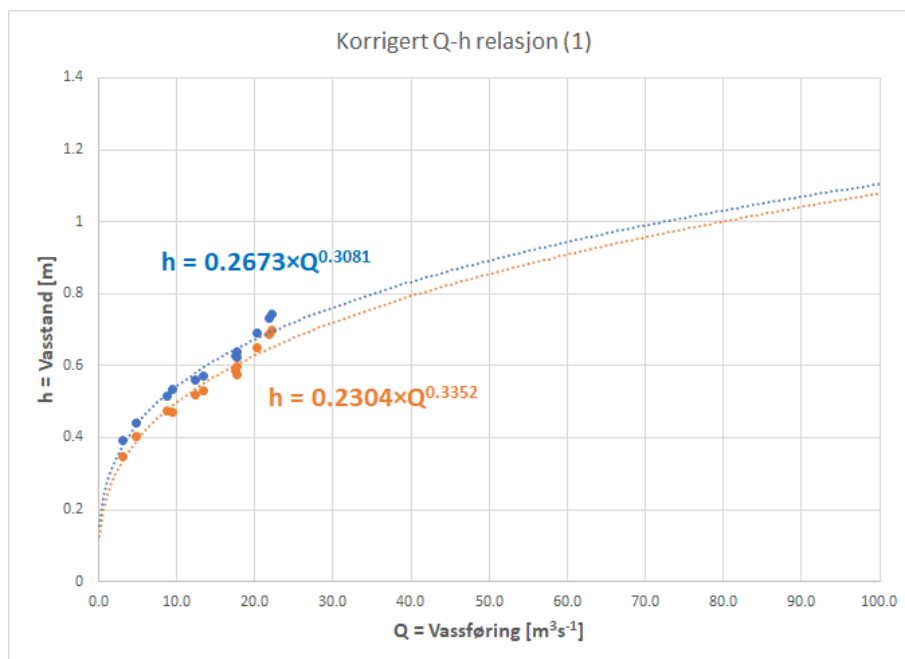
4.5 Målte vassføringar

Tabell 3 – Korrelerande målte Q- og h-verdiar

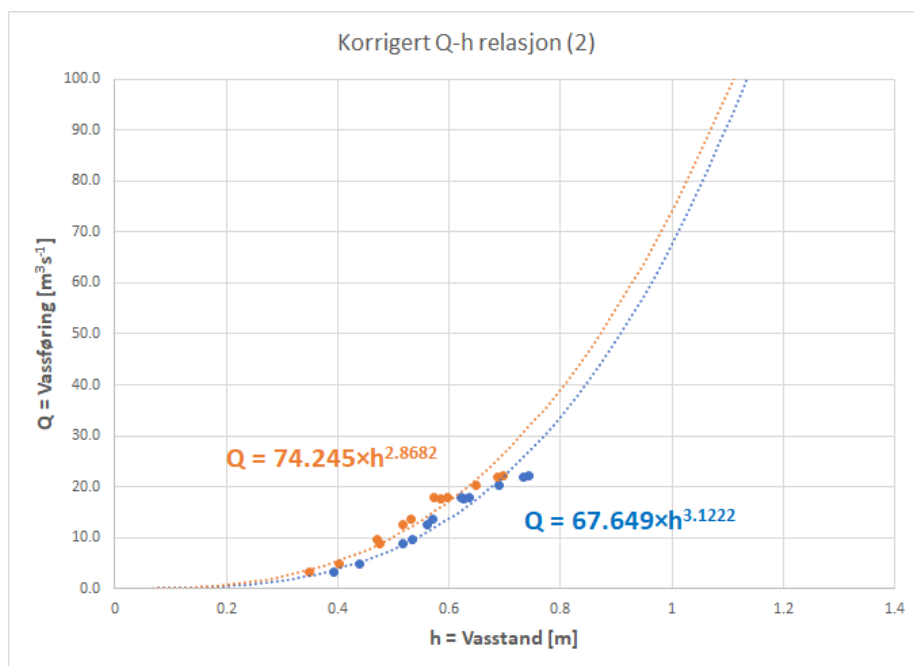
Dato	Klokkeslett, Start	Klokkeslett, Slutt	Vasstand til steinen [cm]	Målt vassføring [m ³ /sek] = Q	LEVEL (2022477) = h ₁ [m]	LEVEL (2067910) = h ₂ [m]
2018-06-20	11:50	12:50	37.5	16.780	-	-
2018-06-21	10:37	11:31	27.6	9.547	0.535	0.470
2018-07-21	15:02	15:35	26.5	8.721	0.517	0.475
2018-08-04	16:10	17:11	30.5	12.441	0.560	0.518
2018-08-04	21:22	22:19	31.5	13.504	0.570	0.531
2018-08-05	7:59	9:29	36.5	17.802	0.622	0.574
2018-08-05	11:24	12:36	37	17.624	0.627	0.585
2018-08-11	9:19	11:05	46.75	22.190	0.743	0.698
2018-08-11	12:00	13:27	41.25	20.239	0.689	0.649
2018-08-11	15:42	17:00	37.5	17.790	0.637	0.597
2018-09-05	17:28	18:30	18.2	4.829	0.439	0.402
2018-09-14	11:00	13:00	45.75	21.833	0.733	0.688
2018-11-07	14:15	15:26	17.25	3.167	0.392	0.348

Alle vasshastigheitsmålingane vart rekna om til vassføring i m³ s⁻¹ med Harlacher's metode, og er presentert i Tabell 3 med korrelerande h-verdiar. Dei utrekna vassføringsmålingane verker noko urealistisk høge etter kva som var tolka og observert under feltarbeidet i Anestølselva.

4.6 Q-h-relasjon, rating curves



Figur 18 – Rating curve, Q-h relasjon (1). Blå graf er data frå sensor 2022477, oransje graf er data frå sensor 2067910.

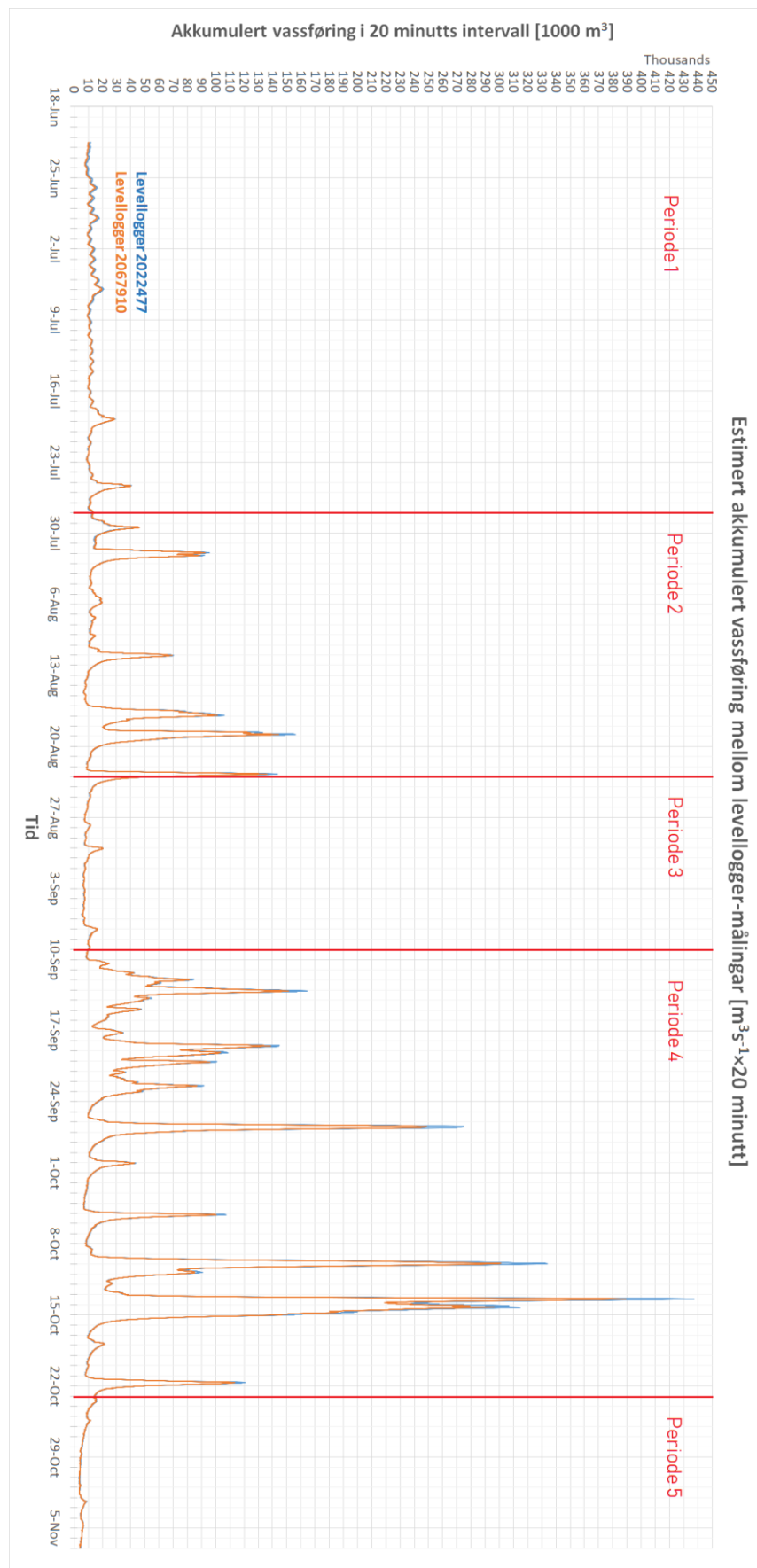


Figur 19 – Rating curve, Q-h relasjon (2). Blå graf er data frå Levellogger 2022477, oransje graf er data frå Levellogger 2067910.

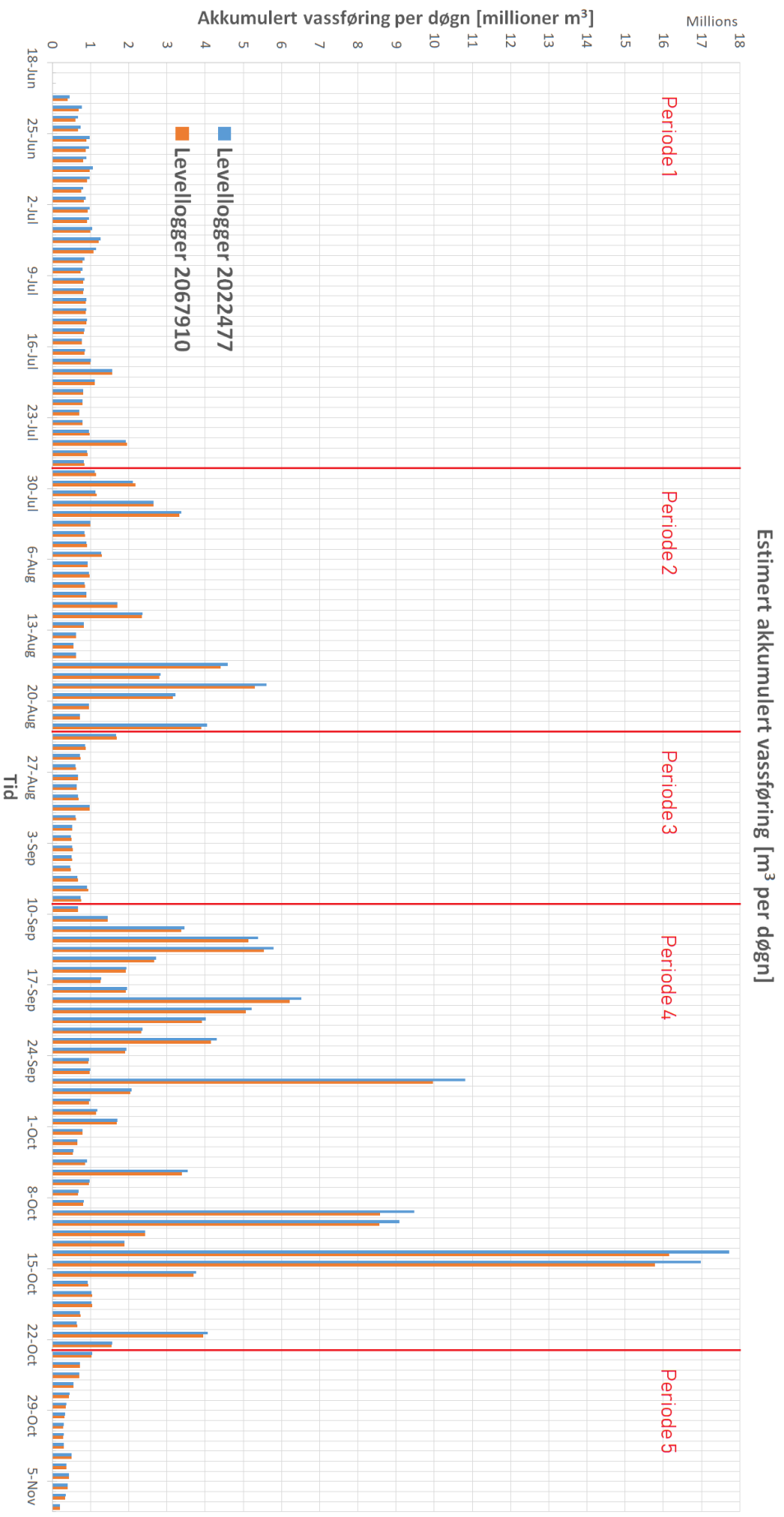
Q-h-relasjonen syner at dei framstilte rating curve-funksjonane for trendlinjene vil gje svært nøyaktige resultat for estimering av Q-verdi ved h-verdiar opp til om lag 0.6 til 0.7 meter. Den høgaste målte Q-verdien var målt ved h-verdi 0.743 og 0.698 meter høvesvis for dataloggar 2022477 og 2067910. I Figur 18 og Figur 19 ser ein at desse punkta ikkje ligg like fint inntil den kalkulererte trendlinja. Den høgaste h-verdien målt av dataloggarane var over 1.7 meter, meir enn éin meter høgare vasstand enn kva det finst korrelerande målingar av Q-verdiar for. Dette kan bety at rating curve-funksjonane ikkje vil gje eit nøyaktig estimat av vassføringa ved h-verdiar høgare enn om lag 0.7 meter.

4.7 Estimert vassføring

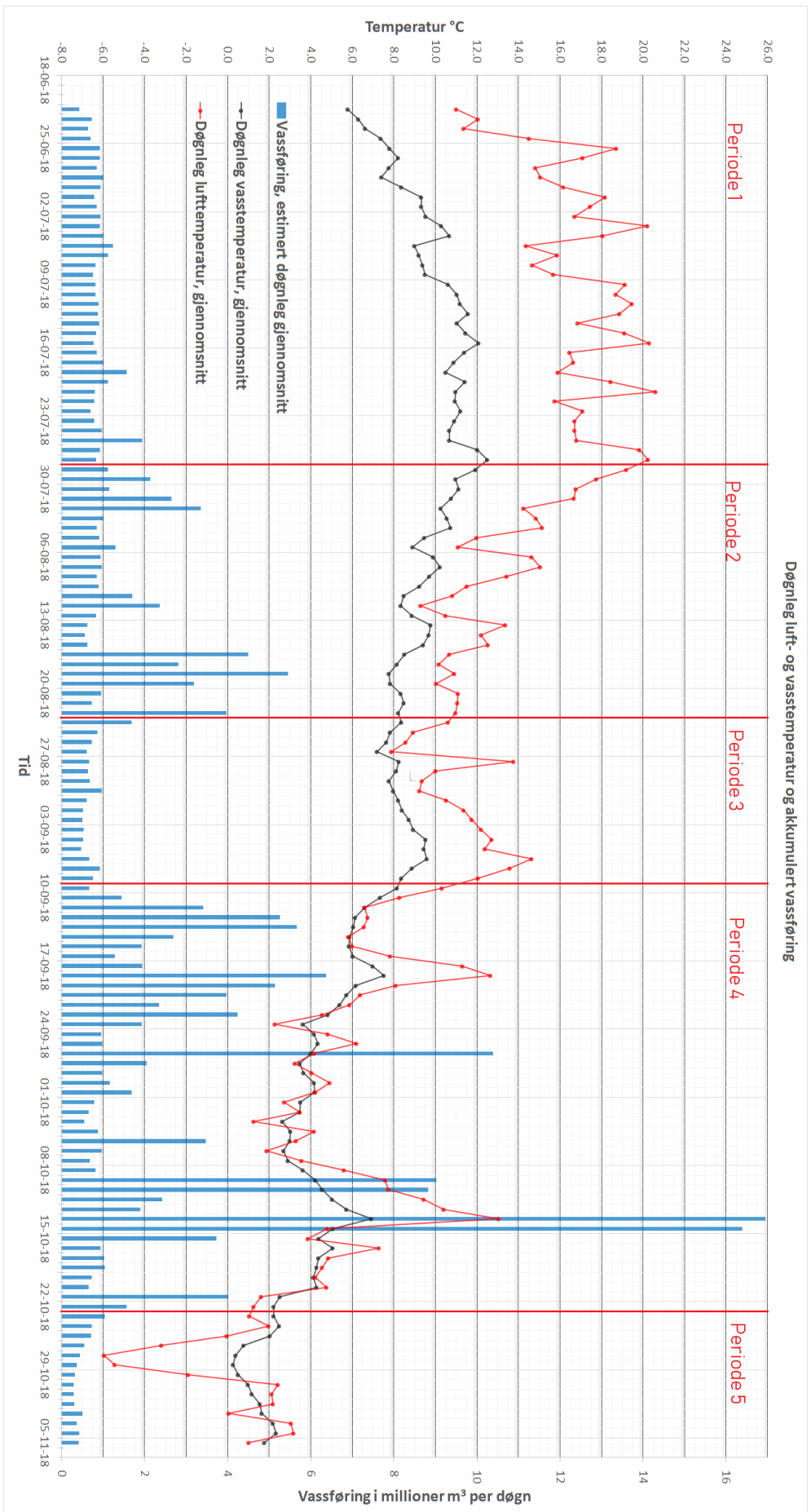
Rating curve-funksjonane i Figur 19 er nytta for å framstille estimerte vassføringar ut frå dei målte h-verdiane for både Levellogger 2022477 og Levellogger 2067910 for heile måleperioden, som vist i Figur 20, 21, 22 og 24.



Figur 20 - Estimert akkumulert vassføring mellom kvar loggarmåling (20 minutt intervall).



Figur 21 - Estimert døgntleg vassføring i millioner m³

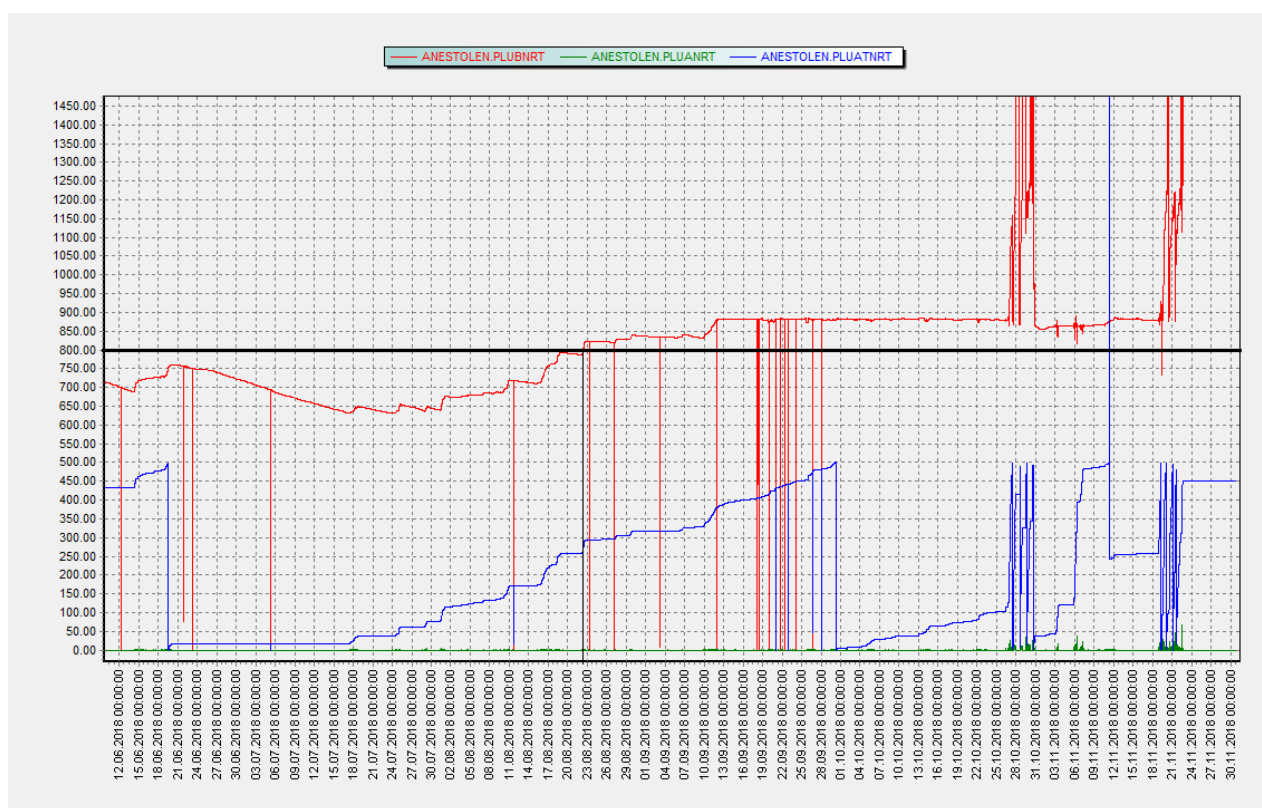


Figur 22 - Døgnlæg luft- og vassstemperatur og estimert akkumulert vassføring i millioner m³

4.8 Nedbørdata

Nedbørdata fra klimastasjonen på Anestølen er henta frå www.sildre.nve.no (NVE, 2019). Nedbørmålaren har levert pålitelege data fram til og med 21. august 2018. Sidan nedbørbøtta må tømmast manuelt når den blir full, har oppsamlerbøtta i nedbørmålaren stått full sidan 22. august 2018 og ut måleperioden (7. november 2018). Nedbørmålaren har dermed ikkje levert pålitelege data i dette tidsrommet (Figur 23).

I perioden frå og med 22. juni til og med 21. august (61 dagar) var det registrert til saman 239.57 mm akkumulert nedbør ved Anestølen.



Figur 23 - Rådata frå nedbørmålaren ved Anestølen (12.06.2018-30.11.2018). Y-aksa syner mengde vatn i bøtta ekvivalent med akkumulert mm nedbør. Raud graf syner at nedbørbøtta vert full ved 800 mm akkumulert nedbør den 22. august. Grafen er motteke på mail frå Knut M. Møen ved NVE.

Nedbørmålaren på Selseng gav pålitelege data gjennom heile måleperioden (www.eklima.met.no, Meteorologisk Institutt). Rekna frå og med 22. juni til og med 6. november var det registrert til saman 1072.80 mm akkumulert nedbør ved klimastasjonen på Selseng. I den perioden nedbørmålaren på klimastasjonen ved Anestølen var operativ, frå og med 22. juni til og med 21. august var det registrert 234.60 mm nedbør ved klimastasjonen på Selseng.

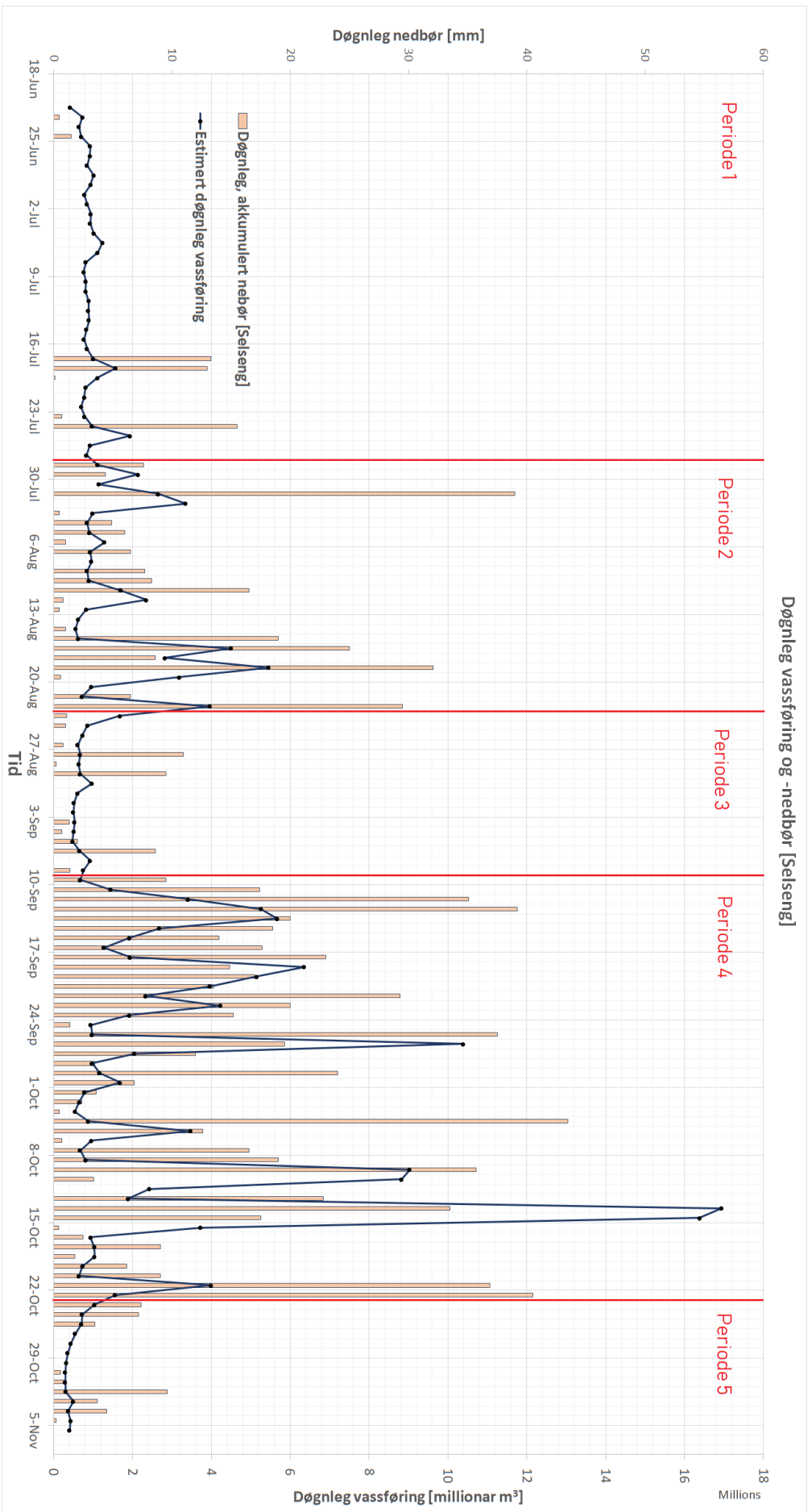
Dette syner at det var 4.97 mm, eller 2.12% meir nedbør ved Anestølen enn ved Selseng i denne perioden på 61 dagar (22. juni til 21. august) med påliteleg nedbørdata frå Anestølen. Olsen et. al. (2015) viser eit resultat på gjennomsnittleg 18.65% meir nedbør ved Anestølen enn ved Selseng, då målt over totalt 186 dagar i fem separate periodar med påliteleg nedbørdata frå Anestølen. I høve resultata til Olsen et. al. (2015) var det tydeleg at det var store variasjonar i kor stor forskjellen i nedbør mellom Anestølen og Selseng var i ulike tider på året.

Sidan nedbørdata frå klimastasjonen på Anestølen ikkje er pålitelege etter 21. august, vart det nytta nedbørdata frå Selseng for å framstille døgnlege nedbørverdiar for heile måleperioden, som synt i Figur 24.

I Tabell 4 er det presentert dei målte nedbørdata ved Selseng for heile juli, august, september og oktober. Dataa syner at det i august til september var mykje meir nedbør enn normalen (gjennomsnitt rekna frå 1940 til 2014).

Tabell 4 - Avvik frå normalnedbør juli-oktober 2018 ved Selseng. Normalnedbør er lest av frå Figur 5.

Månad	Normalnedbør, Selseng	Målt nedbør, Selseng 2018	Avvik i %
Juli	87 mm	93.6 mm	107.6%
August	108 mm	198.6 mm	183.9%
September	176 mm	422.9 mm	240.3%
Oktober	198 mm	337.7 mm	170.6%
<i>Samla</i>	<i>569 mm</i>	<i>1052.8 mm</i>	<i>185.0%</i>



Figur 24 Døgnleg vassføring og -nedbør. Nedbørdata er frå målestasjonen på Selseng. Merk at nedbørdata er her presentert i kolonnar, og den døgnlige vassføringa som ein linjegraf. Dette er fordi Excel ikkje ville presentere to sett med kolonnar med ulik y-akse på ein god måte.

4.9 Variasjoner i Q (vassføring) og h (vasstand)

4.9.1 Sesongvariasjonar

Ut frå dei resulterande data kan heile måleperioden delast inn i fem mindre periodar med følgjande sesongvariasjonar (Figur 20, 21, 22 og 24):

Periode 1: 21. juni til 27. juli – Lite nedbør og svært varm og tørr sommar gav stabile forhold i elva i denne perioden. Normalvassføring i Anestølselva frå grunnvatn, snø- og bresmelte utan påverknad frå nedbør er her mellom 0.8×10^6 og 0.9×10^6 m³ vatn per døgn. Høgaste estimerte vassføring på eitt døgn var 1.95×10^6 m³ den 26. juli.

Periode 2: 28 juli til 22. august – Fleire toppar i vasstandsmålingane som følgje av meir nedbør. Høgaste estimerte vassføring på eitt døgn var $5,46 \times 10^6$ m³ den 19. august.

Periode 3: 23. august til 8. september – Varmare og tørrare periode med lågare og meir stabil vassføring i elva. Utan påverknad av nedbør er normalvassføringa om lag 0.5×10^6 m³ per døgn i denne perioden.

Periode 4: 9. september til 22. oktober – Store og varierende mengder nedbør i denne perioden gir høg vasstand og vassføring i elva. Høgaste estimerte vassføring på eitt døgn var 16.94×10^6 m³ den 13. oktober, og 16.38×10^6 m³ den 14. oktober. I tillegg stig både vass- og lufttemperaturen betrakteleg den 13. oktober. Det er kjend at det var flaum fleire stadar i Sogn og Fjordane 14. oktober 2018, blant anna i Luster og Gloppen (NRK, 2018).

Periode 5: 23. oktober til 7. november – Lite nedbør, kaldare periode og generelt lågare vassføring. Normalvassføring utan påverknad frå nedbør er om lag 0.3×10^6 m³ per døgn i denne perioden.

Samla, total vassføring gjennom heile måleperioden, rekna frå og med 22. juni til og med 6. november 2018 er estimert til å vere 243.87×10^6 m³.

4.9.2 Døgnvariasjonar

Utan påverknad av nedbør, særleg i Periode 1, er det typisk høgast vasstand og vassføring rundt midnatt, og varierer frå kl. 2200 til kl. 0300. Lågast vasstand og vassføring er typisk rundt kl. 13, men varierer frå kl. 1000 til 1800.

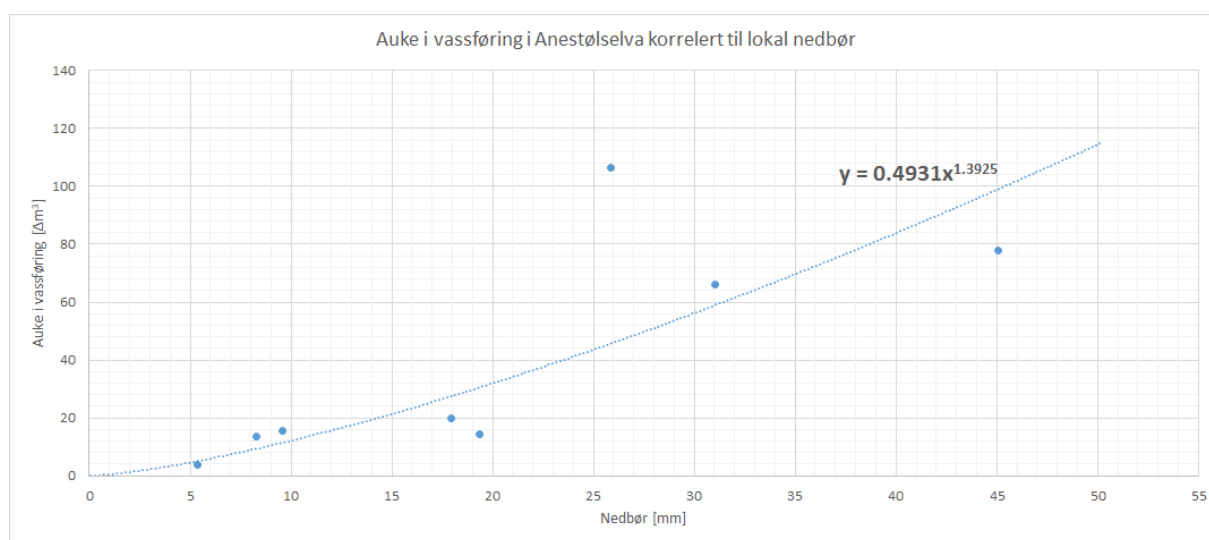
Differansen av dei målte h-verdiane (Figur 16) frå dei to trykksensorane følgde same mønster: ved høgare vasstand rundt midnatt vart forskjellen mellom dei målte verdiane større, og ved lågaste vasstand midt på dagen var forskjellen minst.

4.10 Anestølselva si respons på nedbør

4.10.1 Mønster i endring av vassføring som følge av nedbør

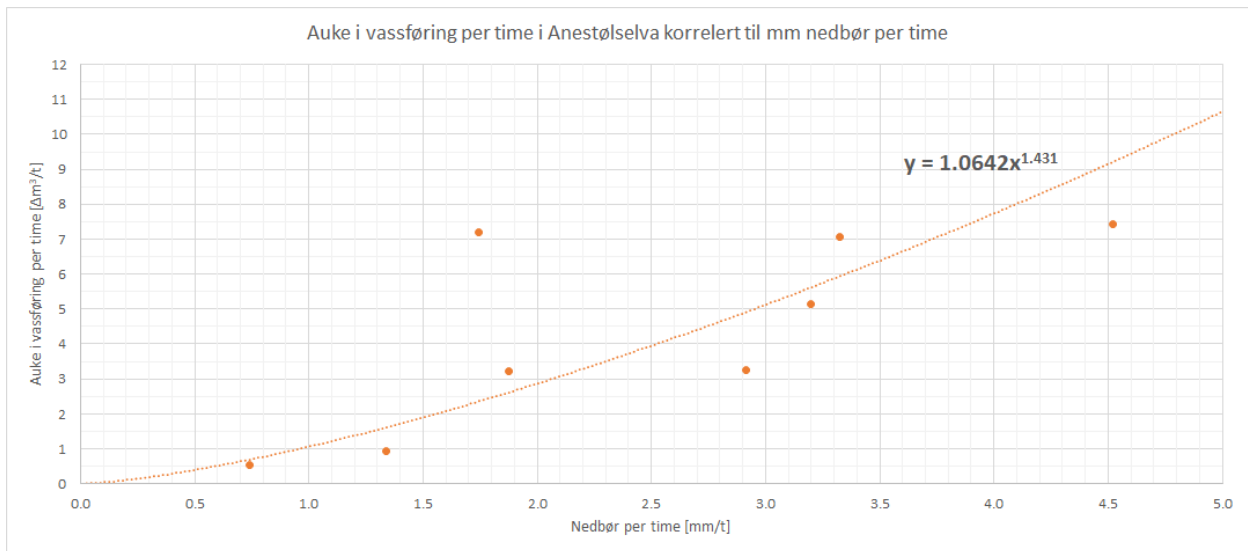
Tabell 5 - Analyse av vassføring og nedbør (Anestølen) mellom 22. juni og 21. august

Dato	Auke i Vassføring [$\Delta m^3/sek$]	Nedbør [mm]	Tid med nedbør	Nedbør per time [mm/t]	Auke i vassføring per time med nedbør [$\Delta m^3/sek/t$]
17-07-18	14.39	19.36	26:10:00	0.74	0.55
24-07-18	3.72	5.35	4:00:00	1.34	0.93
25-07-18	19.99	17.96	6:10:00	2.91	3.24
29-07-18	15.45	9.60	3:00:00	3.20	5.15
31-07-18	66.08	31.01	9:20:00	3.32	7.08
01-08-18	13.61	8.29	1:50:00	4.52	7.42
16-08-18	77.65	45.06	24:00:00	1.88	3.24
18-08-18	106.62	25.89	14:50:00	1.75	7.19



Figur 25 - Auke (endring) i vassføring [$\Delta m^3 s^{-1}$] i Anestølselva korrelert til lokal nedbør [mm]

Figur 25 syner korreleringa mellom mengde nedbør målt i mm og kor stor endring det var i vassføringa frå normalnivå før nedbøren byrja, målt i m^3/sek (Tabell 5). Excel sitt trendverktøy gir funksjonen $y = 0.4931x^{1.3925}$, der y er total auke i vassføring og x er total mengde nedbør i mm.



Figur 26 – Auke (endring) i vassføring per time nedbør i Anestølselva [$\Delta m^3 s^{-1}/time$] korrelert til nedbørintensitet [mm/time]

Figur 26 syner korreleringa mellom endring i vassføringa $m^3 s^{-1}$ per time med nedbør, og nedbørintensiteten målt i mm/time. Excel sitt trendverktøy gir funksjonen $y = 1.0642x^{1.431}$, der y er auke i vassføring per time med nedbør, og x er nedbørintensitet i mm/time.

4.10.2 Responstid mellom nedbør og endring i vassføring

Analysar av detaljerte grafar av akkumulert nedbør frå klimastasjonen på Anestølen og estimert vassføring syner at ved markant og/eller kraftigare nedbør er det gjennomsnittleg om lag 2 timar responstid frå nedbøren byrjar til det er utslag på vassføringa i elva. Det er òg om lag 2 timar responstid frå nedbøren stoppar til vassføringa når topp (Tabell 6). Etter at nedbøren har stoppa tek det om lag 24 timar for elva å komme tilbake til same vasstand og vassføring som før nedbøren byrja. Detaljerte grafar av akkumulert nedbør og vassføring i m^3/s brukt i analysen er å sjå i vedlegga i kapittel 8.1 Detaljerte nedbøranalysar, Vedleggfigur 1-5 og Vedleggtabell 1-5.

Tabell 6 - Responstid mellom nedbør og elvas vassføring

Dato	Elvas responstid, start nedbør	Elvas responstid, slutt nedbør
17-07-18	1:40:00	2:30:00
24-07-18	1:20:00	2:10:00
29-07-18	1:50:00	2:10:00
31-07-18	2:00:00	2:00:00
01-08-18	2:00:00	1:50:00
15-08-18	2:10:00	2:10:00
18-08-18	2:50:00	0:40:00
Gjennomsnitt	1:58:34	1:55:43

4.11 Sedimenttransport og endringar i elveprofilen gjennom måleperioda

4.11.1 Suspenderte sediment

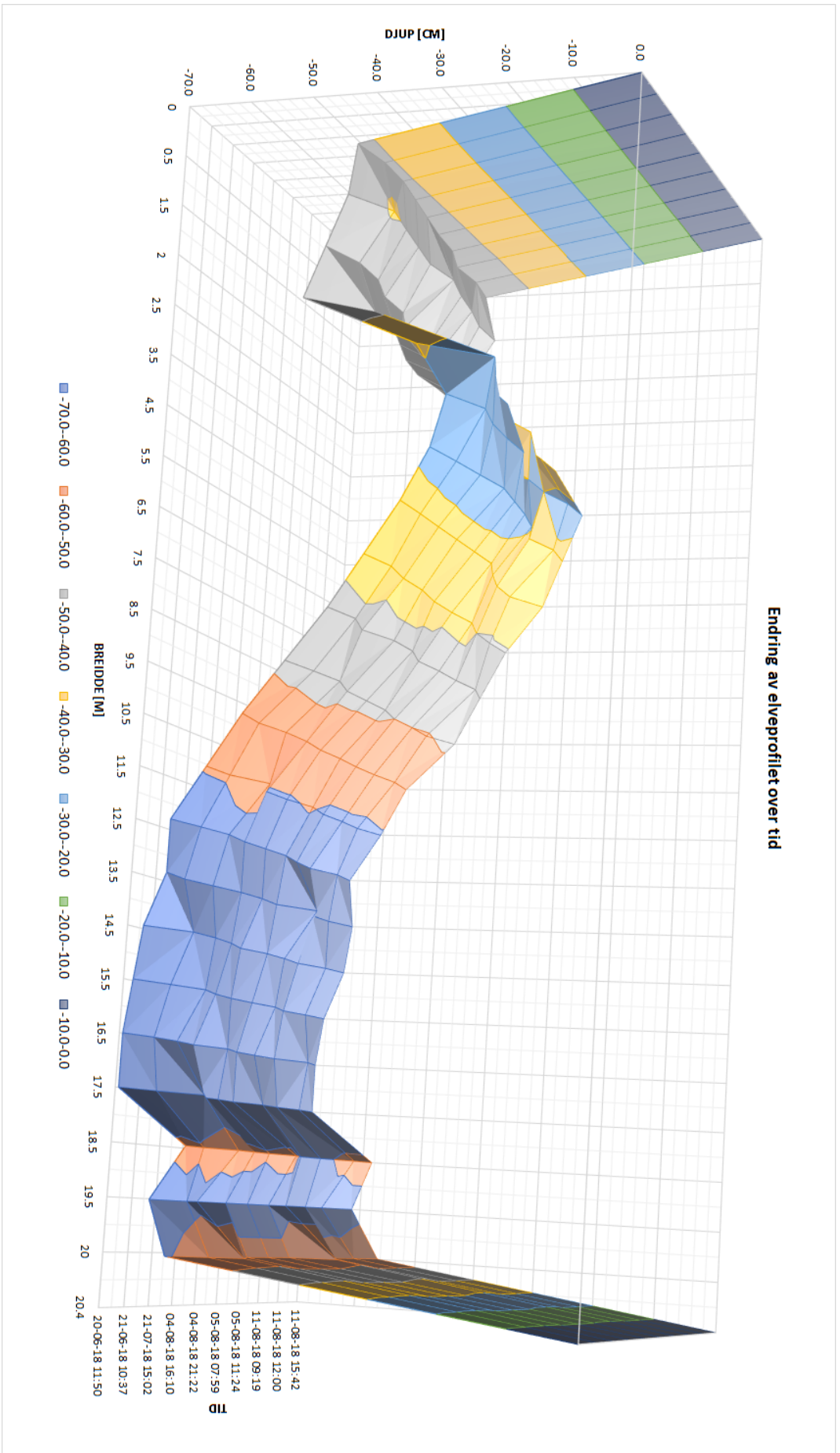
Under feltarbeid ved Anestølselva gjennom sommaren og hausten vart det forsøkt samla vassprøver for å analysere suspenderte sediment i vatnet (Figur 27). Det viste seg at kvar gong det vart gjort feltarbeid var vatnet i elva heilt krystallklart, til og med etter store mengder nedbør og ved høg vasstand og vassføring. I Figur 7, som syner flügelan i bruk under vatn, kan ein òg sjå at det er heilt klart vatn med meir enn 10 meter sikt. Etter desse forholda vart det etter råd frå rettleiar Jacob C. Yde ikkje gjort innsamlingar av vassprøver for vidare analysar av suspenderte sediment i vatnet. Dette grunna at dei aktuelle måleverdiane ville vere lågare enn feilmarginen ein må rekne med i analyseprosessen, og dermed ville det ikkje ha hensikt å gjennomføre slike målingar.



Figur 27 - Vassprøve med heilt klart vatn. Foto: Camilla Hatland

4.11.2 Sediment som botntransport

Gjennom måleperioda var det derimot tydeleg at elvebotnen var i stadig endring. For å visualisere dette har dei målte djupa i elveprofilet frå og med 20. juni til og med 11. august blitt sett saman i ein tredimensjonal graf (Figur 28) Det vart her ikkje tatt med seinare målingar, då det var usikkert om det faste referansepunktet på den store steinen i elva hadde flytta seg ved feltmåling 5. september 2018, og ved siste måling 7. november hadde grunneigaren henta grus i elva og øydelagt det faste profilet. I grafen er x-, y- og z-aksa høvesvis definert som elvas breidde i meter frå venstre til høgre elvebreidd, elvas djup i cm og måletidspunkt. Alle djupnemålingar er korrigererte i høve vasstanden målt ved det faste målepunktet på steinen i elva (sjå avsnitt 3.4.2). Denne tredimensjonale grafen syner tydeleg at det har vore ei utgraving av sediment ved venstre elvebreidd, mens det har vore meir stabile forhold ved høgre elvebreidd. Merk at i Figur 28 er det ikkje eit fast tidsintervall på z-aksa, men i staden er det tidpunktet for dei aktuelle målingane, om det skulle vere fem timar eller fem veker mellom dei. Grafen vart framstilt på denne måten fordi Excel ikkje var viljug til å gjere dette annleis.



Figur 28 - Elveprofilens utvikling over tid, merk at det ikke er et fast tidsintervall på z-aksen.

4.12 Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient og Froude-tal

4.12.1 Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient, n

Gauckler-Manning's likning er gitt ved:

$$V = \frac{k}{n} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

der V er snitthastigheita til vassmassane i elvas tverrprofil, k er ein konstant = $1 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, n er Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient, R_h er hydraulisk radius som er gitt av $R_h=A/p$, der A er tverrprofilets areal og p er den våte perimenter (lengda av elvas botnprofil), og S er elvas helling i m/m (Hornberger, Wiberg, Raffensperger, & D'Odorico, 2014).

Ein kan endre likninga for å finne Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient, n :

$$n = \frac{1}{V} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient n er ein dimensjonslaus parameter, og fortel om kor ru elvebotnen er. Vanlege verdier for n er vist i Tabell 7:

Tabell 7 - Ruheitskoeffisientar for ulike typer elvekanalar, tilpassa frå Hornberger et. al. (2014).

Type elvekanal	Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient n
Glas (laboratorium)	0.010
Glatt betong	0.012
Jord/sand	0.020
Naturlege elvar	0.024-0.075
Svært bratte elvar	0.075-?? (>1)

Det var dermed forventa å finne verdiar for Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient til å vere ein stad mellom 0.024 og 0.075, for naturlege elvar. Derimot vart det funne verdiar som var om lag 10 gongar mindre enn forventa. Døme frå den fyrste vassføringsmålinga, utøvd 20. juni 2018, med følgjande målte verdiar: $V = 2.279$ m/s, $A = 8,35$ m², $p = 20.770$ m, $R_h = 0.402$ m, og $S = 0.000326097$ m/m. Om ein set desse verdiane inn for parametrane i likninga for Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient, vil ein få ein verdi for $n = 0.0043$. Nokon av dei målte parametrane i likninga må difor vere feil. Truleg er det forårsaka av at vasshastigheitsmålingane må vere for høge, noko som gir for høg snitthastigheit V , og/eller den målte hellinga til elva, S , er for liten.

4.12.2 Froude-tal, F_r

Froude-tal, F_r , er gitt ved formelen:

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gh}}$$

der U er snitthastigheita til vassmassane i elvas tverrprofil, g er gravitasjonskonstanten (9.81 m/s²) og h er den målte snittdjupna i elvas tverrprofil. Froude-talet F_r er ein dimensjonslaus parameter, og er eit forhold mellom vasshastigheita i elva og bølgehastigheita i vatnet (Leeder, 1999). Om $F_r < 1$, er bølgehastigheita større enn vasshastigheita, og vasstraumen er subkritisk (tenk at ein stein blir kasta i elva, og ringane frå steinen vil forplante seg mot straumen). Dette gjeld for ein djupare og saktare vasstraum. Om $F_r > 1$, er bølgehastigheita mindre enn vasshastigheita, og vasstraumen er superkritisk. Dette gjeld for rask og grunn vasstraum (ringane frå steinen vil gå ned elva med straumen). Om $F_r = 1$, er vasstraumen kritisk, bølgehastigheita og vasshastigheita er lik (ringane frå steinen vil stå stille mot straumretninga) (Leeder, 1999; Hornberger et. al., 2014; Benn & Evans, 2010). Kva Froude-tal ein vasstraum har, avgjer kva type sedimentasjonsprosessar ein kan forvente å finne (Nichols, 2009).

Froude-tal skulle bli funne for alle vassføringsmålingane gjort i felt, men med tanke på resultata frå utrekningane av Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient i avsnitt 4.12.1 ovanfor vil det ikkje vere hensikt i å gjere desse utrekningane då det var påvist at det truleg var feil i hastigheitsmålingane utøvd i felt.

5 Diskusjon

5.1 Nedbørdata frå Anestølen og Selseng

Bøtta i nedbørmålaren ved klimastasjonen på Anestølen vart full 22. august 2018, og ikkje tømd sidan. Dette er ein uheldig konsekvens av dårlege rutinar i høve tømning av nedbørbøtta ved klimastasjonen på Anestølen. Det kan ha konsekvensar for framtidig forskning i området om det ikkje blir betre rutinar på tømning av nedbørbøtta. For å vere trygg på at bøtta ikkje blir full kan den til dømes tømmast fast éin gong i månaden.

Olsen et. al. (2015) fann, basert på 186 dagar med pålitelege nedbørdata, at det kom i gjennomsnitt 18.65% meir nedbør ved Anestølen enn ved Selseng som følge av lokal orografisk nedbør. I den perioden nedbørmålaren gav pålitelege data i dette studiet, 22. juni til 21. august 2018 (61 dagar), var det funne at det berre var 2.12% meir nedbør ved Anestølen enn ved Selseng. Dette kan komme av at denne perioden var prega av tørke og lite nedbør, og berre 61 dagar med påliteleg nedbørdata er ikkje nok til å fastslå eit sikkert nedbørmønster mellom Anestølen og Selseng. I tillegg viste Olsen et. al. (2015) at det varierte i kor stor forskjellen var til ulike periodar med nedbør.

Gjennom hausten kom det mykje meir nedbør enn normalen (Tabell 4). Samanlikna med normal nedbør for Selseng (Figur 5), kom det i august 183.9%, i september 240.3%, og i oktober 170.6% av normal mengde nedbør målt på klimastasjonen på Selseng. Samla for heile juli til oktober kom det 1052.8 mm nedbør, 185.0% av normal nedbørmengd. Hausten 2018 var svært våt, og det vart sett fleire nedbørrekordar fleire stadar på Vestlandet, blant anna vart den våtaste tremånaders-perioden i Bergen registrert frå august til oktober 2018 (Mamen & Hygen, 2019).

5.2 Nedbørfeltet

Det topografiske nedbørfeltet er 28.41 km² stort. Dette kan avvike frå det faktiske, hydrologiske nedbørfeltet, det vil seie det nedbørfeltet kor grunnvatn vil renne ned til det same punktet som vist i Figur 11. Sidan det er vanskeleg å måle det eksakte hydrologiske nedbørfeltet vart det i dette studiet berre fokusert på det topografiske nedbørfeltet.

5.3 Isbrear

Isbreane kan ha smelta meir sidan kartet vart laga. Reelt areal av isbreane kan, og vil variere både gjennom sesongane og frå år til år. Truleg er arealet av breane mindre enn kva kartet syner, i og med at det har vore ein generell tilbaketrekking av brefrontar i Norge dei siste tiåra (Nesje, Bakke, Dahl, Lie, & Matthews, 2008).

5.4 Hastigheitsmålingar med flügel

Under feltarbeidet vart vasshastigheiter målt med flügel av type OTT C31 Universal Current meter og OTT Z400 Signal Counter Set etter instruks frå rettleiar Jacob C. Yde. Det viste seg at det har blitt gjort feilmålingar for alle innsamla hastigheitsmålingar gjort i felt, og alle hastigheitsmålingar har for høge verdiar. Dette vart oppdaga fyrst når Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient skulle reknast ut måndag 27. mai 2019 og det vart funne verdiar 10 gongar lågare enn kva det burde vere. Då var det mindre enn éi veke før innlevering av denne bacheloroppgåva. Dette er svært uheldig, då det ikkje var nok tid til å gjere resultata på nytt med rette verdiar, lage nye figurar og presentere desse.

Etter samtale med rettleiar Jacob C. Yde 28. mai 2019, er det kome fram til at dette truleg er forårsaka av at computeren, Z400 Signal Counter Set, må ha resetta seg då det vart byta batteri i den før fyrste feltmåling 20. juni 2018. Computeren må stilles inn for kvar flügel-propell som nyttast, jamfør avsnitt 3.3.1, då kvar propell har unike verdiar som er testa av produsenten. Det kan òg hende at computeren hadde resett seg til å vere innstilt til å måle med ein annan type propell enn den som vart nytta, propell nummer 1. Det er framleis i skrivande stund ikkje kjend kva innstilling som Z400 Signal Counter Set var stilt inn på under feltmålingar, so det kan enno ikkje bli utført korreksjonar på dei målte data. Derimot er dette ein lineær korreksjon, som ikkje burde vere vanskeleg å korrigere for når det blir kjend nøyaktig kva feilen kjem av.

Resultatet av dette er at alle hastigheitsmålingar utført i Anestølselva gjennom heile måleperioden er lineært høgare enn kva dei skal vere. Som følgje av dette er alle dei utrekna vassføringane (Q-verdiane) for høge, og alle dei estimerte vassføringane rekna ut etter Q-h-relasjonen (omtala i avsnitt 4.6) er òg for høge. Dermed har alle dei analyserte vassføringsdata for høge verdiar òg.

Det skal nemnast at dette ikkje har gått ut over dei målte h-verdiane. Dette betyr at alle kurvene på alle grafane som syner den estimerte vassføringa som er presentert i denne bacheloroppgåva bør vere reelle ut frå h-verdiane. Dermed bør det berre vere skalaen på y-aksane som er feil som følgje av dette.

5.5 Vassføring, vasstand og nedbør

Det kjem fram i resultatata at vassføringa i Anestølselva er lett påverka av nedbør (Figur 24 og avsnitt 4.10). Elvas responstid på 2 timar tyder på at det er rask avrenning av nedbør som overflatevatn frå fjellside og ned til elva. Derimot tek det rundt 24 timar for elva å komme tilbake til den same vassføringa som det var før det kom nedbør av betydning. Dette er truleg ein forseinka respons som følgje av nedbør som infiltrerer bakken, og brukar dermed lengre tid å renne ned til elva som markvatn og grunnvatn.

Ut frå dei målte data er det presentert i Figur 25 og Figur 26 modellar for kor stor auke det er i vassføringa i forhold til nedbørmengda og kor stor auke det er i vassføringa per time i forhold til nedbørintensiteten. Som omtala ovanfor er ikkje dei målte vasshastigheitene, og dermed òg vassføringane, korrekte. Difor kan ein ikkje konkludere noko for desse modellane før det er oppklart i ei korrigering for dei målte vasshastigheitsverdiane. Det kan òg vere at det ikkje er godt nok datagrunnlag for desse modellane, då dei er basert på berre 8 analysmålingar av nedbørdata frå Anestølen i perioden 22. juni til 21. august.

Periode 1, 3 og 5 kjenneteiknast med lite nedbør (Figur 24). I desse periodane kjem Anestølselva si vassføring, upåverka av nedbør, godt fram. Ut frå dei målte data er det i Periode 1 (21. juni til 27. juli) estimert ein døgnleg, upåverka vassføring på mellom 0.8×10^6 og 0.9×10^6 m³ vatn per døgn, i Periode 3 (23. august til 8. september) om lag 0.5×10^6 m³ per døgn, og i Periode 5 (23. oktober til 7. november) om lag 0.3×10^6 m³ per døgn. Denne utviklinga gir meining då det gjennom sesongen blir både kaldare, og det blir mindre snø og is att i fjellet og på breane som kan smelte og gje stabil vassføring i elva.

Dei utrekna rating curves, som vist i Figur 18 og Figur 19, er truleg ikkje nøyaktige ved målte vasstandar høgare enn om lag 0.7 meter, då det ikkje er datagrunnlag for Q-verdiar for høgare vasstandar enn dette. Den høgaste målte vasstanden og estimerte vassføringa gjennom måleperioden var 13. oktober 2018. Då vart det registrert ein topp i vasstanden på 1.672 meter (Levellogger 2067910) og 1.715 meter (Levellogger 2022477). Dette er nesten 1 meter høgare

vasstand enn kva det var under feltmåling 11. august 2018, då det vart gjennomført den høgaste vassføringsmålinga (Tabell 3). Det er estimert etter dei målte data at det var ei samla vassføring i Anestølselva på $16.94 \times 10^6 \text{ m}^3$ den 13. oktober, og $16.38 \times 10^6 \text{ m}^3$ den 14. oktober. Det er kjend at det 14. oktober var flaum fleire stadar i Sogn og Fjordane, særleg i Indre Sogn (NRK, 2018).

Til trass for at det vart målt høgast vasstand og vassføring 13. og 14. oktober, var det ikkje desse dagane det kom mest nedbør på Selseng gjennom måleperioden (Figur 24) – den 12., 13. og 14. oktober kom det høvesvis 22.8, 33.5 og 17.5 mm nedbør på Selseng. Til samanlikning kom det 21. og 22. oktober 36.9 og 40.5 mm nedbør ved Selseng, og den estimerte vassføringa var høvesvis $4.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ og $1.56 \times 10^6 \text{ m}^3$ per døgn. I perioden frå og med 10. september til og med 23. september kom det ikkje mindre enn 13.5 mm nedbør kvar dag, og kor det kom 35.1 og 39.2 mm nedbør den 11. og 12. september, som gav ein topp i vassføringa den 13. september på $5.67 \times 10^6 \text{ m}^3$. Den største mengda med nedbør på eitt døgn ved Selseng gjennom måleperioden var 4. oktober, då det kom 43.5 mm nedbør, som resulterte i ei vassføring på $3.47 \times 10^6 \text{ m}^3$ den 5. oktober.

Dette viser tydeleg at vassføringa i Anestølselva ikkje kan knytast direkte til nedbøren målt på Selseng. Det kan vere svært store lokale forskjellar i nedbør som følgje av orografisk nedbør (Ruddiman, 2014), noko som kom tydeleg fram i arbeidet til Olsen et. al. (2015), som fann at det var 18.65% meir nedbør på Anestølen enn på Selseng.

5.6 Døgnvariasjonar i Anestølselva

5.6.1 Vassføringa

Lite nedbør på sommaren (i Periode 1) gir stabile forhold i elva, og den døgnlege variasjonen i vasstanden og vassføringa kjem svært tydeleg fram. I teorien burde det vere høgast vassføring litt etter den varmaste tida på dagen, med tanke på is- og snøsmelting, rundt klokka 18. Etter same prinsipp burde det vere lågast vassføring rundt den kaldaste tida av dagen, rundt klokka 06. Derimot var det observert høgast vasstand/vassføring rundt midnatt, og ikkje rundt kl. 18, og lågast vasstand/vassføring var observert rundt kl. 13 på dagen, og ikkje rundt kl. 06 slik som det var trudd. Steindalsbreen er sørvendt i nedbørfeltet og får dermed mykje sol på dagen. Bresmelte renn ned i glasialeroderte botnar, og samlast i innsjøane Langedalsvatnet i Langedalen og Tverrdalsvatni i Tverrdalen. Innsjøane kan dermed fungere som ein buffer –

bassenget må bli fylt opp til eit visst nivå før vassføringa i elva nedanfor vil byrje å auke. Dette, saman med lengdene på Langedalselvi (om lag 4.2 km) og Tverrdalselvi (om lag 3.3 km) kan forklare kvifor det var observert ei forseinking på om lag 6 timar i det døgnlege vassføringsmønsteret frå den teoretiske døgnrytmen.

5.6.2 Differansen i målte h-verdiar

Differanseverdiane mellom dei målte vasstandane frå dataloggarane (Figur 16) følgjer same mønster som den døgnlege variasjonen i vasstanden/vassføringa – høgast differanseverdi rundt midnatt, og lågast differanseverdi rundt kl. 13 på dagen, med ein amplitude på opp til om lag 1 cm endring i forskjellen mellom dei målte h-verdiane. Dette kan komme av at ved høgare vassføring i elva kan det ved endra straummønster lokalt bli høgare vasstand éin stad, men ikkje ein annan. Dette kan skje som følge av uregelmessig elvebotn, til dømes ein litt større stein som stikk litt opp frå botnen, som kan skape lokale bølger i elva som vert større ved høgare vasstand/vassføring.

I tillegg er det tydeleg i Figur 16 at differanseverdien mellom dei innsamla data frå dataloggarane er svakt, men jamt minkande frå 21. juni og ut juli månad. Dette kan forklarast ved at den eine dataloggaren har endra høgde i forhold til den andre sakte men sikkert. Truleg har dette skjedd i form av at sediment har blitt vaska vekk av elva rundt og under den eine dataloggaren, som då har blitt senka lenger ned i elvebotnen gjennom juni og juli månad.

5.7 Suspenderte sediment

Det var ikkje målbare mengder med suspenderte sediment i vatnet i Anestølselva under feltarbeid. Dette kan komme av at finkorna sediment frå Steindalsbreen kan bli avsett i Langedalsvatnet og Tverrdalsvatni før vatnet renn vidare i Langedalselvi og Tverrdalselvi. Det var heller ikkje suspenderte sediment i elvevatnet under feltarbeid 11. august 2018: då hadde det kome meir enn 30 mm nedbør ved Anestølen dagen og natta i førevegen, og den høgaste vassføringa, Q-verdien, gjennom heile måleperioden vart målt 11. august mellom kl. 09:19 og 11:05. Ved so høg vassføring som årsak av kraftig nedbør burde det vore mykje jord og finstoff i vatnet, men vatnet i elva var framleis like klart denne dagen òg. På veg til Anestølen denne dagen vart det observert at Votedalselva i Gloppen og Jølster kommune var heilt brunfarga av

suspenderte sediment, når denne elva vanlegvis er svakt turkis frå breeroderte finstoff. Kvifor dette ikkje var tilfelle i Anestølselva òg den 11. august 2018, er framleis usikkert.

Sjølv om det ikkje vart funne målbare mengder suspenderte sediment i Anestølselva under feltarbeid, skal det ikkje sjåast vekk ifrå at det kan ha vore det ved andre høve. Likevel, som diskutert ovanfor, kan det vere grunn til å tru at det generelt er svært lite suspenderte sediment i Anestølselva.

5.8 Botntransport av sediment

Det kom tydeleg fram frå feltmåling til feltmåling at det var store endringar i elvebotnen, som framstilt i Figur 28. Dette tyder på at det er mykje botntransport av grovare sediment i Anestølselva ved målepunktet. Under feltarbeid vart det ved fleire høve ved middels og høgare vassføring observert grov sand og fin grus som for med straumen mens det vart utført hastigheitsmålingar med flügelen, særleg i det grunnare partiet ved venstre elvebreidd. I Figur 28 kan ein sjå at det har vore ein generell utgraving av sediment ved venstre elvebreidd, mens det har vore meir stabile forhold i det djupe partiet ved høgre elvebreidd.

Sjølv om det ikkje var observert suspenderte sediment i Anestølselva, er det under feltarbeid vist at elva er prega av botntransport. Dette kan sjåast att på det store, oppbygde elvedeltaet som synt i ortofotoet i Figur 2, som består av gradvis finare sand til lenger ut ein kjem.

5.9 Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient og Froude-tal

Det var ved utrekning av Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient at det vart oppdaga at det truleg måtte vere for høge hastigheitsmålingar gjort under feltarbeid, og/eller at det var målt for lita helling på elva med differensial-GPS. Når dette er eit faktum, var det inga hensikt å rekne ut og arbeide vidare med verdiar basert på feildata, då dette vil gjere store utslag på resultatata for både Gauckler-Manning's ruheitskoeffisient og Froude-tal.

5.10 Forslag til vidare forskning

Fleire målingar frå fleire stadar i det same vassdraget kunne hjelpt å sett kor lang tid det tek for vatnet å respondere på nedbør og snøsmelte, samt kor lang tid det tek for vatnet å renne frå eitt punkt i elva til eit anna. Det kunne til dømes blitt gjort hydrologiske målingar ved ein eller to stadar i Langedalselvi i tillegg til ved Anestølselva sitt utlaup til Anestølsvatnet.

Saltfortynningsmetoden vart ikkje nytta under feltarbeid i Anestølselva i høve denne bacheloroppgåva. Denne metoden kan gjerne, om det let seg gjennomføre, bli nytta som eit supplement til flügelmålingane. Til dømes kunne saltløysninga blitt helt i Langedalselva og det kunne vore sett opp fleire måleinstrument på to eller tre stadar nedover mot Anestølsvatnet for å få nøyaktige resultat ved fleire målepunkt.

Det kunne blitt brukt dataloggarar som òg målar til dømes pH-verdi og elektrisk konduktivitet. Det kunne då bli gjort tilsvarende målingar på grunnvatnet, og samanlikne resultatata med overflatevatnet i elva for å bestemme kor mykje grunnvatnet påverkar elvas vassføring.

Dataloggarane burde blitt forankra i noko fast, og dei burde vere beskytta mot å bli gravne ned, det vil seie at dei ikkje ligg eksponert på elvebotnen. Dette kan ved vidare forskning løysast med å feste dataloggarane i til dømes eit stativ eller liknande som er sikra og står støtt, eller lage til blokkar av betong som dataloggarane kan festast til på toppen av. Om det er mogleg å kamuflere dataloggarane slik at dei ikkje er like synlege frå elvebreidda vil dette vere ideelt i område kor det beiter husdyr – spesielt geiter er naturleg nysgjerrige av seg, noko som vart erfart under feltarbeid 21. juli 2018 då ei geit togg på og hadde dratt i forankringssnora til den eine dataloggaren, slik at den var dratt heilt opp i elvebreidda.

Analysar av både suspenderte og avsette sediment frå Langedalsvatnet og Tverrdalsvotni kan vere avgjerande for å bekrefte eller avkrefte teorien om at finstoff blir avsett i desse innsjøane før vatnet renn vidare i Langedalselvi og Tverrdalselvi. Då det under feltarbeid i Anestølselva ikkje vart funne suspenderte sediment i vatnet hadde det vore veldig interessant å finne ut om dette faktisk er tilfelle.

6 Konklusjonar

Det var gjort feil i vasshastigheitsmålingane med flügelen under feltarbeid. Alle dei målte vasshastighetane er difor for høge. Dei framstilte grafane for dei estimerte vassføringane vil som følgje av dette ha for høge verdiar på y-aksen.

Det er estimert, basert på dei målte vasshastigheitene, at det har passert om lag 244 millionar kubikkmeter vatn gjennom målepunktet i Anestølselva i heile måleperioda frå og med 22. juni til og med 6. november 2018. Dette er truleg meir enn kva som er reelt, med tanke på at dei målte vasshastigheitene er for høge.

Nedbørmålaren på klimastasjonen ved Anestølen stod full frå og med 22. august 2018 og ut resten av måleperioden. Det er føreslått å få betre rutinar på tømning av nedbørbøtta, til dømes fast éin gong i månaden for å vere sikker på at den ikkje vil stå full i lengre tidperioder og gje feil data for framtidig forskning.

Det er om lag 2 timar responstid mellom lokal nedbør og målbare endringar i vassføringa i Anestølselva. Etter enda nedbør av betydning tek det om lag 24 timar for vassføringa å komme tilbake til same utgangspunkt som før nedbøren byrja.

Modellar for auke i vassføringa i Anestølselva i forhold til nedbørmengda, samt auke i vassføringa per time i forhold til nedbørintensiteten er føreslått, men er truleg ikkje pålitelege når dei er basert på feilmålingar av vassføringa.

Utan påverknad frå nedbør er vassføringa i Anestølselva mellom 0.8×10^6 og 0.9×10^6 m³ vatn per døgn i Periode 1 (21. juni til 27. juli), om lag 0.5×10^6 m³ per døgn i Periode 3 (23. august til 8. september), og om lag 0.3×10^6 m³ per døgn i Periode 5 (23. oktober til 7. november). Denne utviklinga gjennom måleperioden kjem av at det blir mindre snø og is i fjellet og på breane, samtidig som det blir kaldare temperaturar på hausten.

Juni og byrjinga av juli var prega av tørke. I juli, august, september og oktober 2018 kom det til saman 185.0% av den normale mengda med nedbør på Selseng. I september åleine kom det 422,9 mm nedbør, 240.3% av den normale nedbørmengda.

Det vart ikkje funne suspenderte sediment i elva nokon av gongane det vart utført feltarbeid. Innsjøane inst i Tverrdalen (Tverrdalsvotni og Stora Tverrdalsvatnet) og Langedalen

(Langedalsvatnet) kan fungere som oppsamlarar av sediment frå smeltevattet frå Steindalsbreen. Vidare forskning på dette er føreslått.

Døgnvariasjonane i vassføringa syner at det er høgast vassføring rundt midnatt og lågast vassføring midt på dagen, noko som var i strid med hypotesen. Forseinkinga i døgnvariasjonane kan komme av at smeltevattet frå Steindalsbreen samlast i Tverrdalsvatni og Langedalsvatnet, som fungerer som ein buffer, før det renn vidare mot Anestølen. Lengdene på Langedalselvi og Tverrdalselvi kan òg vere bidragande til denne forseinkinga.

Anestølselva transporterar grove sediment som botntransport. Dette kom tydeleg fram i endringane i det faste elveprofilen over tid, kor det særleg ved venstre elvebreidd hadde vore ei større utgraving av sediment.

7 Referansar

- Anundsen, K. (1974). *Geologien i Sogndal Kommune*. Sogndal: Sogndal Sogelagsbok.
- Benn, D. I., & Evans, D. J. (2010). *Glaciers & Glaciation* (2. utg.). Hodder Education.
- Bryhni, I., Anundsen, K., Aa, A. R., & Sønstegaard, E. (1986). Geologien i Sogndal. I *Sogndal Bygdebok* (ss. 80-117). Sogndal.
- Grønli, M. J., & Norheim, S. (2016). *Geofysisk kartlegging av undersjøiske skredavsetninger i Anestølsvatnet*. Bacheloroppgåve, Høgskulen i Sogn og Fjordane, Sogndal.
- Grue, H. G., Henriksen, H., & Kronholm, K. (2017). *NVE-rapport nr 35-2017, Skredfarekartlegging i Sogndal Kommune*. Oslo. Henta april 30, 2019 frå http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_35.pdf
- Henry, A. (2010). Berggrunsskart Solvorn 1417 IV. M 1:50 000. Trondheim.
- Hornberger, G. M., Wiberg, P. L., Raffensperger, J. P., & D'Odorico, P. (2014). *Elements of Physical Hydrology* (2. utg.). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L. H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., . . . Mestl, H. (2008). Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(4), 893-904.
- Kartverket. (2019). Topografisk Norgeskart 4. Henta frå <https://openwms.statkart.no/skwms1/wms.topo4?>
- Kaste, Ø., Wright, R. F., Barkved, L. J., Bjerkeng, B., Engen-Skaugen, T., Magnusson, J., & Sælthun, N. R. (2006). Linked models to assess the impacts of climate change on nitrogen in a Norwegian river basin and fjord system. *Science of The Total Environment*, 365(1-3), 200-222.
- Kimerud, J. K., & Hansen, T. F. (2018). *Karakterisering av skredsignaturer basert på innsjøsedimenter fra Anestølsvatnet, Sogn*. Bacheloroppgåve, Høgskulen på Vestlandet, Fakultet for Ingeniør og Naturvitskap (FIN), Sogndal.

- Leeder, M. R. (1999). *Sedimentology and Sedimentary Basins: from Turbulence to Tectonics*. Oxford: Blackwell Science.
- Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2014). *Essentials of Geology, Global Edition* (12. utg.). Pearson Higher Ed USA.
- Lutro, O., & Tveten, E. (1999). Bergrunskart kart Årdal, 1:250 000, NGU kart. Trondheim.
- Mamen, J., & Hygen, H. O. (2019, januar 31). *Meteorologisk Institutt*. Henta april 29, 2019 frå 2018 i et klimaperspektiv: <https://www.met.no/nyhetsarkiv/2018-i-et-klimaperspektiv>
- Meteorologisk Institutt. (2019, mars 7). Henta april 29, 2019 frå Klima siste 150 år: <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar>
- Meteorologisk Institutt. (u.å.). *eKlima*. Henta april 19, 2019 frå www.eKlima.met.no
- Nesje, A., Bakke, J., Dahl, S. O., Lie, Ø., & Matthews, J. A. (2008). Norwegian mountain glaciers in the past, present and future. *Global and Planetary Change*(60), 10-27.
- NGU. (2019a). Henta mai 13, 2019 frå NGU Berggrunskart N250: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/>
- NGU. (2019b). Henta mai 27, 2019 frå NGU Lausmassekart: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* (2. utg.). Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons.
- NRK. (2018, oktober 14). Henta januar 23, 2019 frå NRK Sogn og Fjordane: <https://www.nrk.no/sognogfjordane/sja-bileta-av-flaumen-1.14247968>
- NVE. (2012). *Vannet Vårt, NVE-rapport 13:2012*. Noregs Vassdrags- og Energidirektorat. Henta februar 4, 2019 frå http://publikasjoner.nve.no/rapport/2012/rapport2012_13.pdf
- NVE. (2015, desember 12). *Målinger og metoder*. Henta mai 25, 2019 frå <https://www.nve.no/hydrologi/vannstand-og-vannforing/maalinger-og-metoder/>
- NVE. (2019). Henta frå Sildre.nve: <http://sildre.nve.no/Sildre/Station/77.24.0>

NVE, NEVINA. (2019). Henta mars 4, 2019 frå Noregs Vassdrags- og Energidirektorat:
www.nevina.nve.no

Olsen, O., Wenaas, S., & Saurin, K. (2015). *Nedbørintensitet og grunnvannsnivå ved utløsning av jordskred 15/16. november 2013 ved Anestølen*. Bacheloroppgåve, Høgskulen i Sogn og Fjordane, Sogndal.

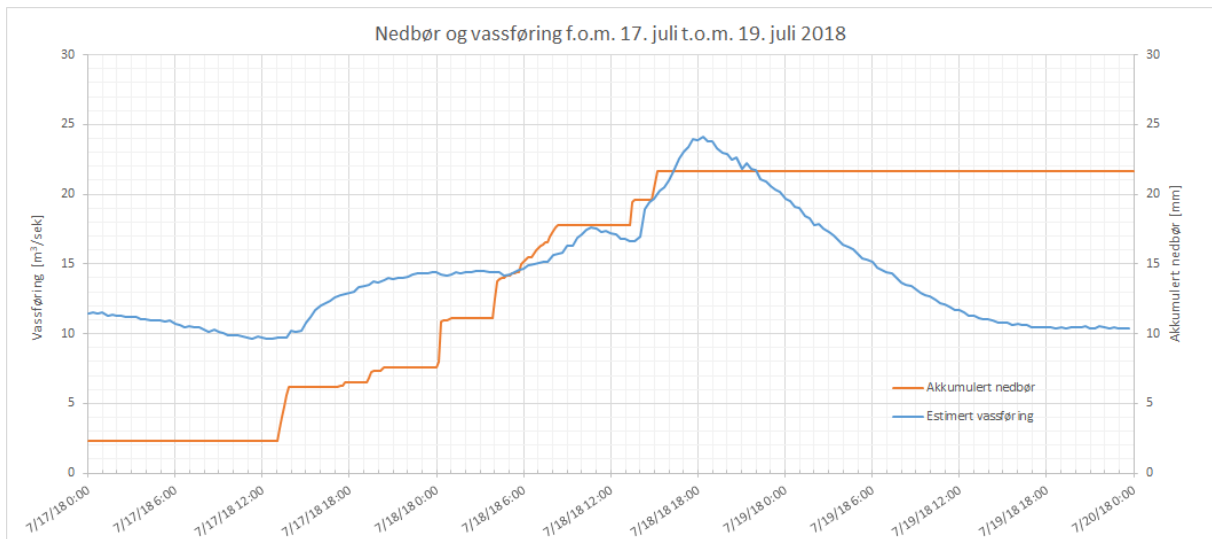
OTT. (2019a). OTT C31 Universal Current Meter leaflet. Henta mai 29, 2019 frå
<https://www.ott.com/download/leaflet-universal-current-meter-ott-c31-1/>

OTT. (2019b). Henta mars 26, 2019 frå OTT Pluvio² - Weighing Rain Gauge:
<https://www.ott.com/en-us/products/meteorological-sensors-26/ott-pluvio2-weighing-rain-gauge-963/>

Ruddiman, W. F. (2014). *Earth's Climate, Past and Future* (3. utg.). New York: W.H. Freeman and Company.

8 Vedlegg

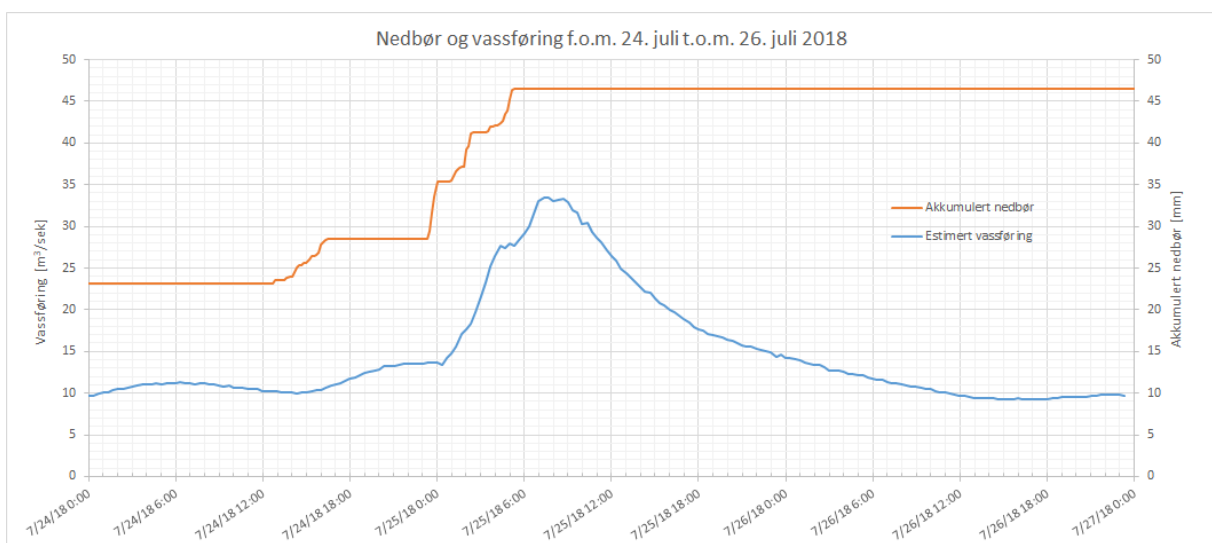
8.1 Detaljerte nedbøranalysar



Vedleggfigur 1

Vedleggtabell 1

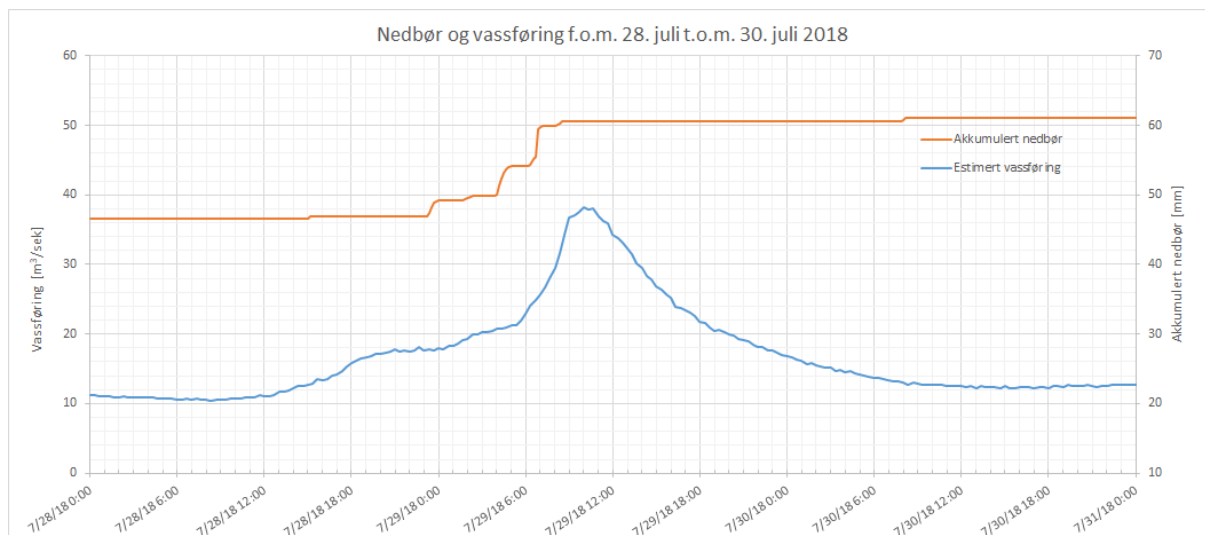
Nedbør byrjar	Vassføring byrjar å auke	Tidsforskel	Nedbør stoppar	Vassføring når topp	Tidsforskel
8-17-18 13:00	8-17-18 14:40	1:40:00	8-18-18 15:10	8-18-18 17:40	2:30:00



Vedleggfigur 2

Vedleggtabell 2

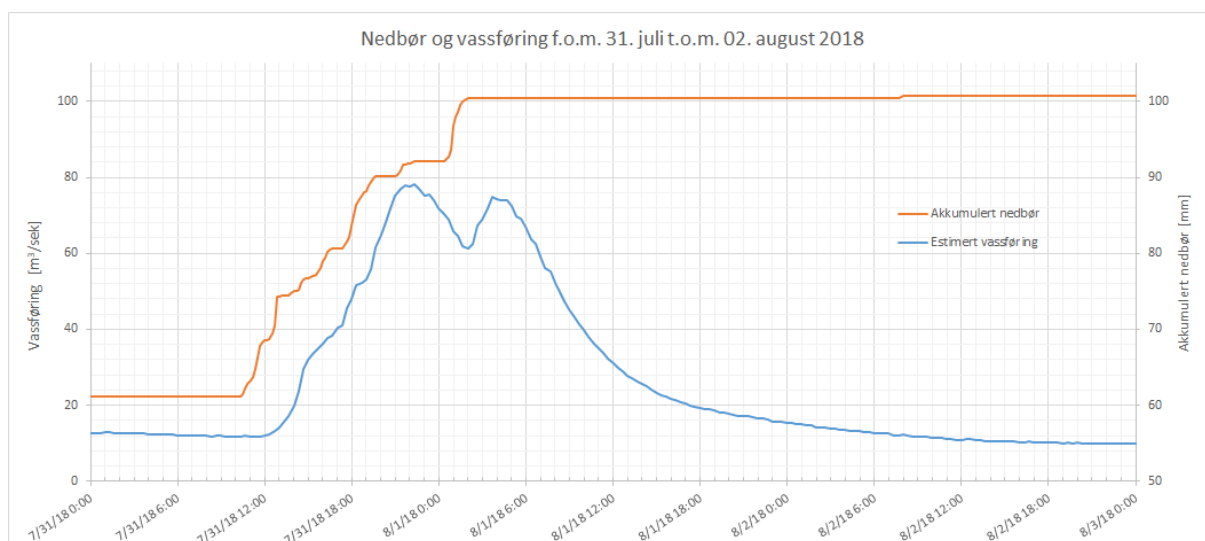
Nedbør byrjar	Vassføring byrjar å auke	Tidsforskel	Nedbør stoppar	Vassføring når topp	Tidsforskel
7-24-18 23:20	7-25-18 0:40	1:20:00	7-25-18 5:30	7-25-18 7:40	2:10:00



Vedleggfigur 3

Vedleggtabell 3

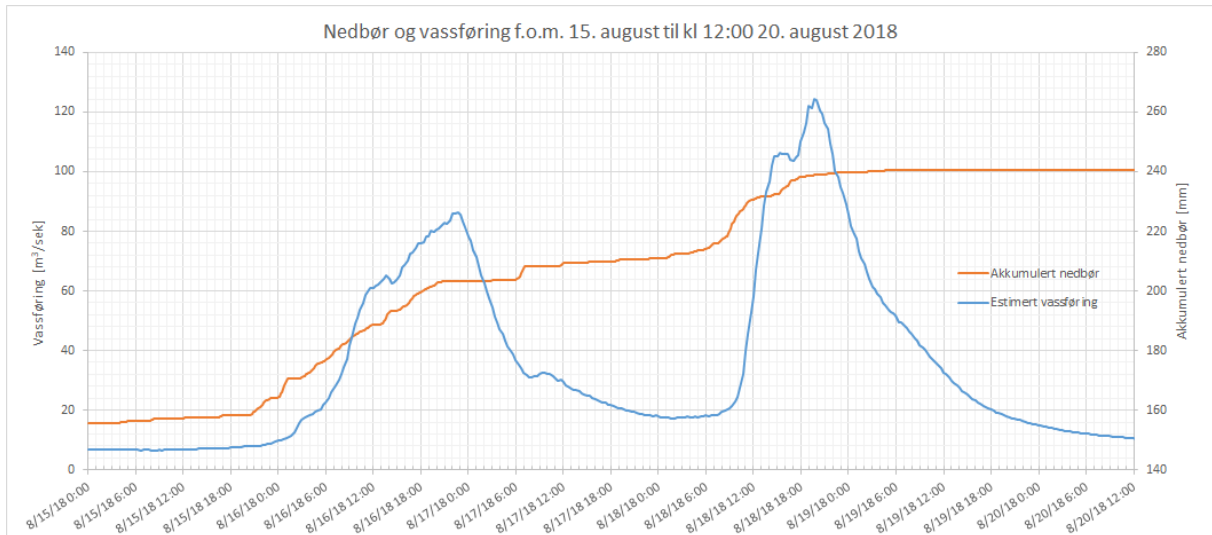
Nedbør byrjar	Vassføring byrjar å auke	Tidsforskjel	Nedbør stoppar	Vassføring når topp	Tidsforskjel
7-29-18 3:50	7-29-18 5:40	1:50:00	7-29-18 6:50	7-29-18 9:00	2:10:00



Vedleggfigur 4

Vedleggtabell 4

Nedbør byrjar	Vassføring byrjar å auke	Tidsforskjel	Nedbør stoppar	Vassføring når topp	Tidsforskjel
7-31-18 10:20	7-31-18 12:20	2:00:00	7-31-18 19:40	7-31-18 21:40	2:00:00
8-1-18 00:20	8-1-18 02:20	2:00:00	8-1-18 02:10	8-1-18 04:00	1:50:00



Vedleggfigur 5

Vedleggtabell 5

Nedbør byrjar	Vassføring byrjar å auke	Tidsforskel	Nedbør stoppar	Vassføring når topp	Tidsforskel
8-15-18 20:30	8-15-18 22:40	2:10:00	8-16-18 20:30	8-16-18 22:40	2:10:00
8-18-18 04:10	8-18-18 07:00	2:50:00	8-18-18 19:00	8-18-18 19:40	0:40:00