

Identifikasjon av step-pool geometri ved bruk av differensiell GPS i Vekveselva

Et sammenlignende studie av en bratt fjellelv i Trollheimen, Norge, med eksisterende litteratur

Martin Berg Volden
Master i Geografi

Trondheim, Mai 2015
Veileder: Geir Vatne

Abstract

Steep mountain streams have traditionally received less attention than larger, alluvial streams due to resources such as fish in lowland rivers. In a wetter and wilder future there's a need for increased attention regarding mountain streams to understand their properties during flood, and thereby limit damages in the downstream direction. Investigation of step-pools, which is a fluvial and climate-sensitive landform, can give important information concerning streams in mountainous areas.

This thesis identifies the step-pool geometry in Vekveselva, a steep mountain stream in Trollheimen, Norway, and investigates how it can be compared to existing literature.

Step-pools and their geometry were identified by application of a differential GPS over a one-year period, leading to a combination of longitudinal and cross-sectional profiles. Geometry was further investigated by a correlation analysis to see how different parameters covariate.

Step-width is narrower than pool-width in Vekveselva, and pool-length correlates with parameters such as grain size. Pool-width seems to correlate with dimensions for height and grain-size in the upstream step. These correlations can be compared to existing literature where there are found similar results from other areas. In contrast there's no covariance between parameters such as step-height and grain size, or drop-height and pool-depth, which contradicts existing literature.

It is concluded that step-pool geometry in Vekveselva shows both similarities and dissimilarities with other empirical studies, and that dimensions for width and length in pools seems to covariate with step-height and grain-size.

Forord

Fem år ved NTNU nærmer seg slutten og endelig er masteroppgaven i boks. De to siste årene ved masterprogrammet i Geografi har vært spesielt utviklende faglig sett, og jeg kan med hånden på hjertet si at jeg er stolt av meg selv. Prosessen med å skrive en avhandling, som en masteroppgave må kalles, har vært krevende men også lærerik. Underveis har jeg støtt på både opp- og nedturer, der progresjonen har variert mye fra dag til dag. Til slutt kom jeg endelig i mål, og det føles utrolig bra her jeg sitter i dag!

Tusen takk til veileder, Geir Vatne, for gode råd og ideer underveis.

Tusen takk til feltassistentene Åsmund Ertshus Mathisen, Ida Marie Hennig, Synnøve Gabrielsen, Vadim Afanasyeu, Sindre Heimland Kjeldsberg og Monica Devik Rian for uvurderlig hjelp med datainnsamling.

Og sist men ikke minst, tusen takk til alle medstudenter på rom 6483 for faglige og ikke-faglige diskusjoner i hverdagen.

Takk for meg!

Trondheim, 10. mai 2015

Martin Berg Volden

PS: Alle bilder uten kildehenvisning i oppgaven er for øvrig tatt av undertegnede.

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|----|
| 1. Introduksjon..... | 1 |
| 1.1 Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2 Hvorfor studere geometri i step-pools?..... | 2 |
| 1.3 Problemstilling og forskningsspørsmål..... | 2 |
| 2. Områdebeskrivelse..... | 5 |
| 2.1 Vekveselva..... | 5 |
| 2.1.1 Nedbørfelt og utstrekning..... | 5 |
| 2.1.2 Morfologi og materiale..... | 6 |
| 2.1.3 Flomhendelser..... | 7 |
| 3. Teori..... | 9 |
| 3.1 Step-pools..... | 9 |
| 3.2 Step-pools dannelse og flommers påvirkning..... | 9 |
| 3.3 Betydning av kobling og tilgang på sedimenter..... | 11 |
| 3.4 Geometri..... | 12 |
| 3.5 Hydraulikk..... | 13 |
| 3.6 Step-pool og skala..... | 14 |
| 4. Metode..... | 17 |
| 4.1 Initial klassifisering..... | 17 |
| 4.2 Metodebruk og feltarbeid..... | 18 |
| 4.2.1 Valg av metode..... | 18 |
| 4.2.2 Differensiell GPS og nøyaktighet..... | 19 |
| 4.2.3 Oppsett og bruk av differensiell GPS i felt..... | 20 |
| 4.2.4 Sampling..... | 21 |
| 4.2.4.1 Lengdeprofiler og tverrprofiler..... | 21 |
| 4.2.4.2 Kornstørrelse i steps..... | 23 |
| 4.3 Behandling av data..... | 24 |
| 4.3.1 Karakterisering av steps og pools..... | 25 |
| 4.3.2 Valg og utregning av geometriske parametere..... | 26 |
| 4.3.3 Korrelasjonsanalyser ved bruk av SPSS..... | 29 |
| 5. Resultater..... | 33 |
| 5.1 Visuell karakterisering av steps og pools..... | 33 |
| 5.1.1 Lengdeprofiler..... | 33 |
| 5.1.2 Tverrprofiler..... | 36 |
| 5.1.3 Kornstørrelse i steps..... | 38 |
| 5.2 Geometrisk analyse..... | 39 |
| 5.2.1 Fremhevede bivariate korrelasjonsanalyser..... | 39 |
| 5.2.2 Bivariate og multivariate regresjonsanalyser..... | 41 |
| 6. Diskusjon..... | 45 |
| 6.1 Oppbygning..... | 45 |
| 6.2 Lengdeprofil, identifiserte step-pools og fremtredende egenskaper..... | 45 |
| 6.3 Tverrprofiler..... | 45 |
| 6.4 Geometri..... | 47 |
| 6.4.1 Resultater som motstrider eksisterende litteratur..... | 47 |
| 6.4.2 Resultater som stemmer med eksisterende litteratur..... | 50 |
| 6.5 Vurdering av metodebruk i felt og databehandling..... | 51 |
| 6.5.1 Feltarbeid og design..... | 51 |

| | |
|--|----|
| 6.5.2 Databehandling..... | 52 |
| 7. Konklusjon | 53 |
| 8. Råd til videre forskning i Vekveselva | 55 |
| 9. Referanser | 57 |

Figurliste

| | |
|---|----|
| Figur 1: Vekveselvas nedbørfelt, med lokalitet i forhold til Oppdal sentrum. Sedimentasjonsdam og overføringstunell vises med lilla markør (Hentet og modifisert fra NVE 2015)..... | 5 |
| Figur 2: Løsmassekart over området (Hentet og modifisert fra NGU 2015)..... | 6 |
| Figur 3: Karakteristisk step-pool morfologi fra Vekveselva. | 9 |
| Figur 4: Illustrasjon av karakteristisk step-pool morfologi, med definisjoner på mål av relevante geometriske parametere. Strømningsretning mot høyre (Hentet og modifisert fra Chartrand et al. 2011:142)..... | 11 |
| Figur 5: Aktivt skredsår, "Brede-veggen", tilkoblet kanal..... | 17 |
| Figur 6: Oversiktsbilde over utvalgt elvestrekke, markert i rødt (Hentet og modifisert fra Google Earth 2011)..... | 18 |
| Figur 7: Illustrasjon av valgt målepunkt i elvebunnen med rover på toppen av målestang..... | 22 |
| Figur 8: Feltsesongen på hell. Is har delvis lagt seg i steps, og vanskeliggjør måling av nøkkelsteiner. | 23 |
| Figur 9: Illustrasjon av hvordan geometriske parametere i en step-pool enhet ble definert. | 27 |
| Figur 10: Illustrasjon av bredder i steps og pools. | 28 |
| Figur 11: Første lengdeprofil, fra 24.10.13. Røde linjer markerer pools..... | 34 |
| Figur 12: Andre lengdeprofil, fra 14.05.14. Røde linjer markerer pools..... | 35 |
| Figur 13: Step-profil fra Vekveselva ved lav vannføring. | 37 |
| Figur 14: Step-profilet ved høy vannføring. | 38 |

Tabelliste

| | |
|--|----|
| Tabell 1: Gjennomsnittlige verdier for spesifikke parametere for begge lengdeprofiler. | 36 |
| Tabell 2: Gjennomsnittlige verdier for målte bredder i step-pools. | 36 |
| Tabell 3: Verdier for gjennomsnittlig kornstørrelse og største nøkkelstein i hvert enkelt step. | 38 |
| Tabell 4: Total gjennomsnittlig kornstørrelse og verdi for største nøkkelstein. . | 39 |
| Tabell 5: Bivariat analyse av drop-høyde og pool-dybde. | 40 |
| Tabell 6: Bivariat analyse av kornstørrelse og step-høyde. | 40 |
| Tabell 7: Alle korrelasjonsanalyser av geometri fra lengdeprofilet. | 43 |

Terminologi

Engelske faguttrykk fra naturgeografisk litteratur har sjelden dekkende oversettelser til norsk. Under følger en liste over sentrale faguttrykk i oppgaven, og hvordan de kan forklares på norsk.

Step: Trappetrinn i elvas morfologi. Ligger oppstrøms av pool.

Pool: Kulp, ligger i nedkant av oppstrøms step.

Drop-høyde: Fallhøyde fra step og ned i pool.

Keystone: Nøkkelstein. Grovt materiale som legger grunnlag for oppbygning av step, da sedimenter i transport kan fanges og avsettes i bakkant.

Wetted perimeter (Wp): Et parameter som beskriver hvor mye av elvebunnen som "er i kontakt" med vann. Baseres på tredimensjonal avstand mellom målt start- og slutt punkt i et tverrprofil av elvas bunnmorfologi, og tar dermed hensyn til ruhet og høydeforskjeller i elvebunnen.

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Bratte fjellelver har tradisjonelt sett fått mindre oppmerksomhet fra vitenskapen enn lavereliggende, alluviale elver, som inneholder ressurser av større interesse for mennesker som for eksempel fisk (Benda et al. 2005). I de senere årene har dette derimot endret seg i takt med et våtere og villere klima. Det foreligger vitenskapelige bevis for at ekstreme nedbørshendelser vil forekomme oftere, og som en respons på dette vil ekstreme flomhendelser bli vanligere, særlig i bratte vassdrag med kort responstid (Kundzewicz et al. 2005, Keiler et al. 2010).

Effektene av endret klima og mer ekstreme flomhendelser på geomorfologi i bratte vassdrag er mindre kjente, men basert på tidligere hendelser ser det ut til at hyppigere jordras og flomhendelser med stor bunntransport er sekundære responser (Keiler et al. 2010). I tillegg til dette sier Keiler et al. (2010) at geomorfologiske prosesser i elver med høy gradient i stor grad påvirkes av sedimenttilgjengelighet, og at skadepotensiale øker i nedstrøms retning. En essensiell faktor som skiller bratte fjellelver fra lavereliggende elver er deres egenskaper ved flom, der transportkapasitet er svært høy (Chiari & Rickenmann 2011). Under større flomhendelser vil store mengder materiale kunne gå i transport dersom en kanal har stor sedimenttilgjengelighet, og dette vil skape problemer nedstrøms hvor materialet avsettes med avtagende transportkapasitet. Dette kan skape farlige situasjoner, der elver har potensiale til å endre løp og dermed gjøre skade på omliggende elementer som infrastruktur og bebyggelse (Yager et al. 2012). Det er derfor et stort behov for forskning på geomorfologi i bratte fjellelver for å forstå systemenes atferd, og kunne begrense skader ved flomhendelser (Mazzorana et al. 2011).

I bratte fjellelver med stor tilgang på materiale forekommer ofte den fluviale landformen step-pools. Selve landformens karakteristika blir mer grunnleggende gjort

rede for i kapittel 3, men det som er viktig å poengtere innledningsvis er step-pools rolle i bratte fjellelver i forhold til flomhendelser og dermed samfunnsrelevans.

1.2 Hvorfor studere geometri i step-pools?

Step-pools i bratte fjellelver endrer seg med tiden, og innehar en syklisk atferd som avhenger av flommer og materialtilgang. Step-pools primære oppgave er å bidra med strømningsmotstand i kanaler, og dermed minske strømningshastighet (Chin 2003). Hvordan step-pools fremstår i en elv, og hvor mobile de er avhenger av mange ulike faktorer. Dette gjør at man kan forstå mye av et systems atferd ved å studere hvordan landformen opptrer i tid og rom. I og med at step-pools påvirkes av flom og materialtilgang, kan de sies å være en klimasensitiv landform, da flomhendelser vil forekomme hyppigere (Keiler et al. 2010). Med bakgrunn i dette vil det være viktig å studere utformingen av step-pools for å forstå hvordan klimaendringer påvirker geomorfologi i bratte fjellelver.

Studier av geometrien til step-pools har vært særlig viktig for å undersøke kausalitet (Chin & Wohl 2005). Ved å måle og analysere endringer i geometri kan man si mer om hvordan landformen fremstår, og hvilke faktorer som kontrollerer dens oppbygning.

1.3 Problemstilling og forskningsspørsmål

Step-pools rolle som en klimasensitiv landform i bratte fjellelver med stort skadepotensiale ligger til grunne for hvorfor jeg ønsker å studere step-pool geometri i Vekveselva. Ved å undersøke hvordan geometrien til step-pools fremstår, og sammenligne med eksisterende empiri, ønsker jeg og bidra til et fagfelt med samfunnsrelevans som trenger mer kunnskap for og begrense fremtidige skader.

Dette muner ut i min problemstilling:

”Hvordan kan step-pool geometri i Vekveselva beskrives med GNSS-målinger, og hvordan kan geometrien sammenlignes med eksisterende litteratur?”

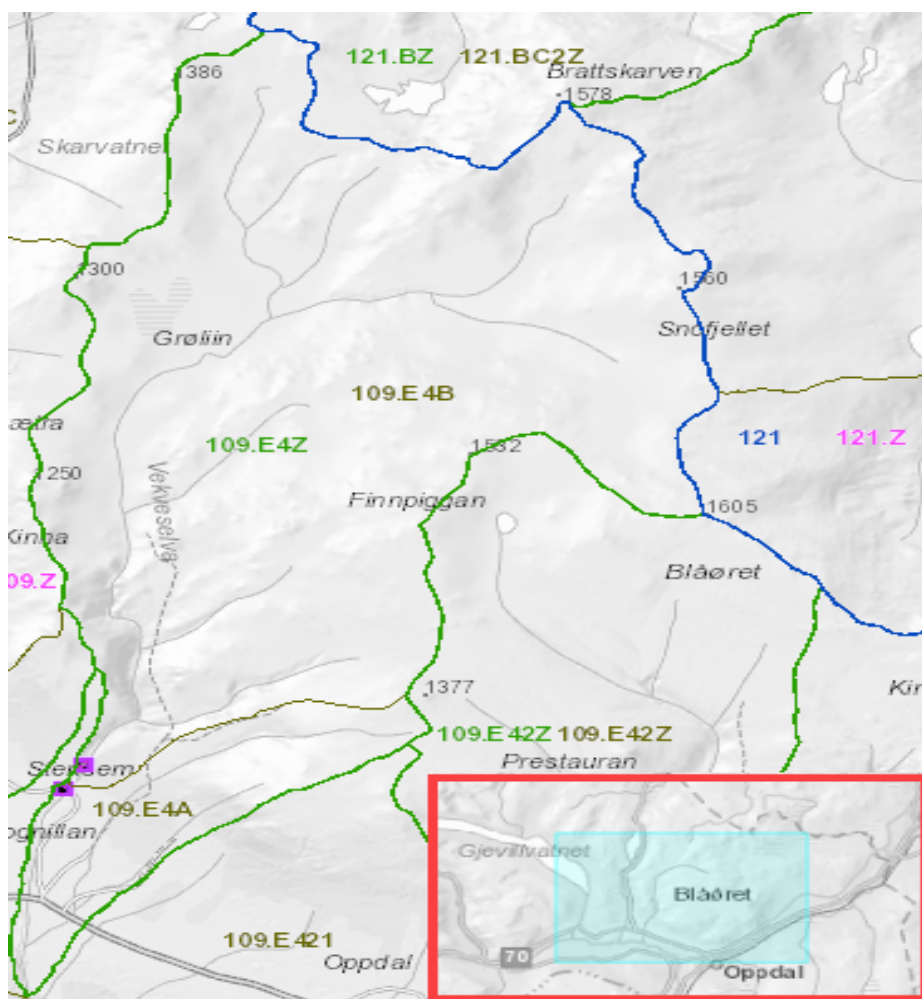
I tillegg til problemstillingen har jeg også et underliggende forskningsspørsmål som jeg ønsker å besvare gjennom feltarbeid og databehandling. Forskningsspørsmålet går direkte inn på samvariasjon mellom parametere i step-pool geometri, og lyder som følger:

Hvordan samvarierer step-høyde og kornstørrelse i steps med dimensjoner i nedstrøms pool i Vekveselva?

2. Områdebeskrivelse

2.1 Vekveselva

Vekveselva er en typisk bratt fjellelv i Trollheimen, Norge. Trollheimen er et fjellområde som ligger på grensen mellom fylkene Møre og Romsdal og Sør-Trøndelag. Selve elva er lokalisert ca. 5 km nordøst for Oppdal sentrum.



Figur 1: Vekveselvas nedbørfelt, med lokalitet i forhold til Oppdal sentrum. Sedimentasjonsdam og overføringstunell vises med lilla markør (Hentet og modifisert fra NVE 2015).

2.1.1 Nedbørfelt og utstrekning

Kanalen i Vekveselva er en del av et nedbørfelt som strekker seg fra Vognillan i sør opp mot Brattskarven i nord, og grenser mot Blåøret i øst og mot Skarvatnet i vest (Figur 1). Elvas kilde er i retning Kutjønna (se Figur 2) som ligger i nedbørfeltets nordlige utkant ved Brattskarven, og den munner ut nedstrøms i elva Driva. Total lengde på Vekveselva er 12,83 km (NVE Atlas 2015). Nedbørfeltet har en størrelse på

28,3 km², ett årlig tilsig på 26,39 millioner m³ og gjennomsnittlig årsavrenning i perioden 1961-1990 var 29,01 liter/sekund pr. km² (NVE Atlas 2015).

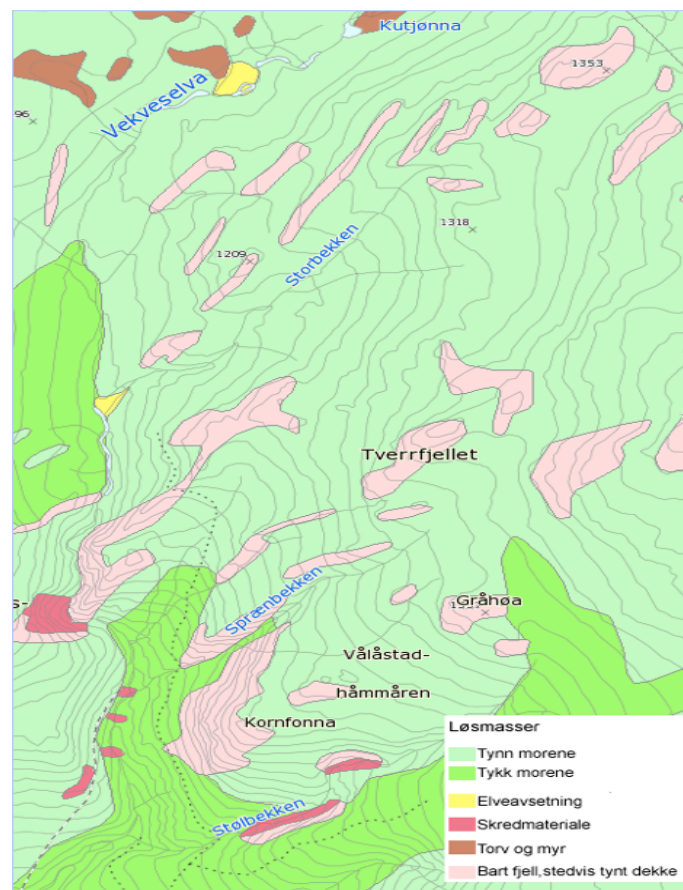
Fra kilden ved Kutjønnå som ligger på høyfjellet, renner elva sørover i retning Vognillan, hvor den er nedskjært i morene.

2.1.2 Morfologi og materiale

Vekveselva er nedskjært i en utpreget V-dal, som har store forekomster av tykk og tynn morene (Figur 2). Morenematerialet ligger tett inntil elvebredden, noe som fører til en sterk kobling mellom skråning og kanal.

Sedimentsammensetning i kanalen er heterogent, noe som kommer av kombinasjonen mellom sterk kobling og tilgang på morene.

Morfologien i selve elva er preget av step-pools, og har en høy andel grovt materiale.



Figur 2: Løsmassekart over området (Hentet og modifisert fra NGU 2015).

Kanalen til Vekveselva begrenses lateralt av den omliggende morenen, og ved flom har elva liten plass å boltre seg på. Dette gjør at elva kan fylle hele dalbunnen ved høyere vannføring.

Lateralt av elvas hovedløp er det flomløp som aktiviseres ved større vannføring. Hovedløpet og flomløpene skilles av markante elvebanker hvor det ligger svært grovt materiale i form av store steiner og blokker. Noen av disse blokkene er så store at de mest sannsynlig har vært der i lang tid, og kanskje er de avsatt ved nedsmelting av innlandsis ved slutten av siste istid.

2.1.3 Flomhendelser

Sterk kobling mellom kanal og omliggende skråninger har ført til problemer under flom i Vekveselva. Frem til 2003 var det ingen problemer tilknyttet sedimenttransport ved flom, men under en flomhendelse endret dette seg. I etterkant ble større mengder materiale satt i transport ved høy vannføring på grunn av økt sedimenttilgjengelighet, og dette skapte problemer nedstrøms hvor Trønderenergi har en overføringstunnel (lilla markeringspunkt i Figur 1). Tunnelen fører deler av vannet fra elva videre til et kraftverk, og økt sedimenttransport resulterte i at tunnelen ble tettet (Hoel & Sønner 2011).

I 2007 ble det derfor bygget en sedimentasjonsdam direkte oppstrøms av tunnelen, dette for å få materiale i transport til og bli avsatt her, og ikke inne i tunnelen (Hoel & Sønner 2011).

I etterkant av flomhendelsen i 2003 har det gått flere ulike skred inn i kanalen. Noen av skredsårene er fortsatt aktive, og fører til at kolluvialt materiale periodevis avsettes i kanalen. Ved større vannføring kan dette materialet settes i transport, og skape problemer nedstrøms i systemet.

I senere tid har det også vært store flomhendelser av betydning i Vekveselva. Den største registrerte flommen de siste årene var i juni 2011, da 2800 m³ materiale ble satt i transport og avsatt i sedimentasjonsdammen i løpet av 8 timer, som tilsvarer store deler av elvas sedimentbudsjett i forhold til output (Mevik 2013). Dette illustrer den store transportkapasiteten til Vekveselva under flom, og sedimenttilgjengelighet.

3. Teori

3.1 Step-pools

Bratte fjellelver har ofte en morfologi som er karakterisert av bunnformer som step-pools (Chin & Wohl 2005). Step-pool morfologi er lett gjenkjennelig da elvebunnen har et trappelignende utseende i sin lengdeprofil (Figur 3). Et step består av blokker eller større steiner, som strekker seg på tvers av kanalen, etterfulgt av et pool der finere materiale periodevis blir avsatt (Chin & Wohl 2005). Vann strømmer over steps, og faller videre ned i pools der det skapes turbulens. Forekomster av dominerende og kontinuerlig step-pool morfologi er blitt påvist ved gradienter høyere enn 7 % (Church 2002), og opp til 20 % i følge Church & Zimmermann (2007).



Figur 3: Karakteristisk step-pool morfologi fra Vekveselva.

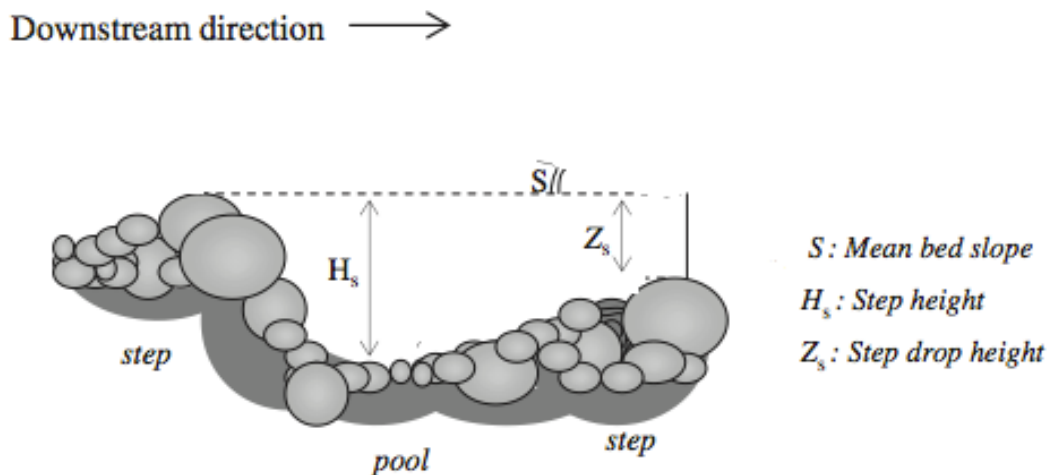
3.2 Step-pools dannelse og flommers påvirkning

Ulike teorier for dannelsen av step-pools har blitt foreslått.

Zimmermann og Church (2001) foreslår at step-pools er et resultat av en suksesjon av prosesser, hvor prosessen starter ved at en nøkkelstein, som ikke kan transporteres ved normal vannføring avsettes i kanal. Nøkkelsteiner fører til at andre steiner i transport avsettes bak eller ved siden, og man får dannet et step. Når et step har blitt dannet formes et hydraulisk sprang med en fallende vannstrøm over step, som eroderer ut et nedstrøms pool (Zimmermann & Church 2001). Andre konkluderer også med at opprinnelsen til step-pool sekvenser ligger i en miks av ulike prosesser (Curran 2007).

Størrelse og gjentaksintervall av flommer, og selvorganiseringsprosesser er blitt påvist og ha betydning for step-pool morfologi i bratte fjellelver (Chartrand et al. 2011, Chin & Phillips 2006, Molnar et al. 2010). Gjentaksintervall og størrelse på flommer kan ha ulike morfologiske og geometriske konsekvenser, der større flommer med gjentaksintervall på opp mot 50 år (Lenzi 2001, Molnar et al. 2010) kan føre til store geometriske endringer (e.g. Chartrand et al. 2011). Molnar et al. (2010) viser til at en større flom førte spesielt til en endring i step-høyde og step-avstand. I motsetning vil mindre flommer med gjentaksintervall på opp mot fem år (Lenzi 2001) kunne bidra til å endre geometri i step-pools til lignende forhold som var gjeldende i forkant av større, ødeleggende flommer (Chartrand et al. (2011), og flomrelaterte endringer i morfologi vil kunne være forskjellig i ulike elvestrekker innad i samme elv.

Chin & Phillips (2006) forklarer mindre flommers bidrag til reforming av geometri ved at det foregår en romlig selvorganisering. Step-pools innehar en syklisk atferd hvor destruksjon av enheter følges av reorganisering av steps og pools, som igjen fører til økt strømningsmotstand, stabilitet og vertikal sinuositet og en situasjon hvor systemet søker balanse (Chin & Phillips 2006). Etter en større flomhendelse hvor step-pools har blitt ødelagt eller spylt ut, vil altså en periode med reorganisering følge. I denne perioden vil nye steps, og etterhvert pools, dannes for å øke strømningsmotstand mot vannet i elva. Weichert et al. (2008) sier også at bratte fjellelver har potensial for å modifisere sin struktur gjennom mindre flomhendelser til en geometri der maksimal strømningsmotstand og stabilitet kan oppnås.



Figur 4: Illustrasjon av karakteristisk step-pool morfologi, med definisjoner på mål av relevante geometriske parametere. Strømningsretning mot høyre (Hentet fra Chartrand et al. 2011:142).

3.3 Betydning av kobling og tilgang på sedimenter

Bratte fjellelver er forbundet med områder med høy gradient, og har ofte stor sedimenttilgjengelighet (Knighton 1998). Dette bidrar til å forme elvebunnens morfologi, og Gomi et al. (2003) sier at sedimenttilgang har stor betydning for utforming av steps og småskala morfologi i kortere elvestrekker, som kan bidra til å endre morfologi i steps på romlig og temporal skala.

Sedimenttilgang og transport vil videre påvirke stabilitet og mobilitet i step-pools (Church & Zimmermann 2007, Comiti 2009, Koll et al. 2000, Recking et al. 2012), og det vises til at elvestrekker med sterk kobling og stor sedimenttilgjengelighet har større mobilitet (Church & Zimmermann 2007). Ulike studier demonstrerer at grovere sedimenter mobilitet øker med andel fine sedimenter som tilføres ved større sedimenttilførsel (Curran & Wilcock 2005), og Recking et al. (2012) sier videre at step-pools i koblede elvestrekker har et reorganiseringsintervall på 20-50 år, i motsetning til ikke-koblede strekker der intervallet er på over 50 år. Dette illustrerer betydningen av sedimenttilgjengelighet for mobilitet i step-pools.

Et annet aspekt i forhold til stabilitet i step-pools er betydning av mengde sedimenter som går i transport. Church & Zimmermann (2007) sier at steps destabiliseres av erosjon i nedstrøms pool og at dette vil skje i faser med *lav* sedimenttransport- og tilførsel, siden høy sedimenttransport vil avsette finere sedimenter i pools og begrense mulige erosjonsdybder (Comiti 2009). På en annen side sier Koll & Dittrich (2001) at også faser med *høy* sedimenttransport vil kunne bidra til destabilisering av steps, da

pools fylles med sedimenter, strømningsmotstand minker gjennom mindre vertikal sinuositet og lavere formruhet, og lavere friksjon kan føre til mobilisering av elvebunnen.

3.4 Geometri

Geometri i step-pools kan beskrives gjennom ulike parametere. Basert på Chartrand et al. (2011) defineres geometriske parametere ut fra spesifikke mål (Figur 4):

- Gjennomsnittlig gradient (S) for en step-pool enhet måles som forholdet mellom antall meter i lengderetning, og antall meter fall.
- Step-høyde (H_s) måles som vertikal avstand mellom dypeste punkt i pool og høyeste punkt i oppstrøms step.
- Drop-høyde (Z_s) er vertikal avstand mellom høyeste punkt i et step, og høyeste punkt i nedstrøms step.

Studier av geometri er nødvendig for å undersøke kausale forhold til step-pools opprinnelse, og en tilnærming har for eksempel vært å relatere parameter som step-høyde til andre kanalvariabler som gradient og kornstørrelse (Chin & Wohl 2005).

Det har blitt gjort flere ulike studier på korrelasjoner mellom parametere i step-pools, og resultater varierer fra sted til sted. Noen finner positiv korrelasjon mellom step-lengde og kornstørrelse i steps (Chartrand & Whiting 2000) og noen finner ingen korrelasjon mellom slike parametere (Chin 1999). Slike motsetninger kan oppstå, og Wooldridge & Hickin (2002) forklarer at en positiv korrelasjon mellom step-lengde og kornstørrelse kan oppstå ettersom kornstørrelse vil ha betydning for oppbygningen av et enkelt step.

Andre observasjoner av geometriske sammenhenger er at kornstørrelse i steps kontrollerer step-høyde (Chartrand & Whiting 2000, Chin 1999), og step-høyde har en tendens til å bli høyere ved brattere gradient (Chin 1999, Gomi et al. 2003). Som nevnt er det gjort flere undersøkelser på dimensjoner i parametere som step-høyde og step-frekvens, og forholdet mellom disse har fått spesiell oppmerksomhet. Forholdet mellom høyde og lengde sier noe som hvor mye step-pools bidrar til elvas totale fall i høydemeter, og Church & Zimmermann (2007) sier at steps kan kontrollere nesten alt fall i step-pool kanaler.

Forhold mellom drop-høyde og kornstørrelse viser ved andre tilfeller positiv korrelasjon der gjennomsnittlig drop-høyde varierer fra 0,5 til 1 i størrelsesorden i forhold til kornstørrelse, og Okazaki et al. (2006) foreslår at drop-høyde mellom steps er direkte kontrollert av kornstørrelse. En annen observasjon er at step-bredde korrelerer med kornstørrelse i steps, og i gjennomsnitt er step-bredde 4-7 ganger større en kornstørrelse, et forhold som minker med økende kanalgradient (Okazaki et al. 2006).

Okazaki et al. (2006) har også undersøkt geometri i pools, og sier at pool-lengde, pool-bredde og erosjonsdybde viser en positiv korrelasjon med hverandre, noe som tilsier en gjennomsnittlig samvarierende geometri ved ekspansjon eller kontraksjon i pool-volum. Geometri i pools viser også en positiv korrelasjon med kornstørrelse, hvor pool-lengde og bredde er omtrentlig 3 ganger større en kornstørrelse, og erosjonsdybde er 0.7 ganger større enn kornstørrelse (Okazaki et al. 2006). Ut i fra dette har pool-volum et positivt forhold til drop-høyde, der volum øker med drop-høyde, og Okazaki et al. (2006) konkluderer med at generell geometri i pools kontrolleres av kornstørrelse, gradient og vannføring.

3.5 Hydraulikk

Step-pool som bunnform er svært viktig for bratte fjellelver da deres form bidrar med hydraulisk motstand (Chin 2003). Det oppstår friksjon når vann strømmer over grove elementer i steps, og videre forsvinner det potensiell og kinetisk energi når vannet stuper videre ned i pools (Wohl & Thompson 2000). Videre sier Chin & Wohl (2005) at step-pools forårsaker et vertikalt fall i overgangen fra step til pool, som minsker mengden potensiell energi som ellers kunne bidratt til økt erosjon og sedimenttransport i nedstrøms retning. Dersom fallet ned i pools er vertikalt vil et hydraulisk sprang oppstå (Church & Zimmermann 2007), og energien som frigjøres bidrar til erosjon i pools.

I temporal sammenheng vil step-pools gå gjennom perioder med ulik vannføring, der spesielt perioder med stor vannføring har potensial til å modifisere og reorganisere morfologi. Hydrauliske forhold på tvers av kanalbredde vil, i følge Chartrand et al. (2011), bety mye for etablering av step-pool morfologi. Under perioder med høyere

vannføring og ”submerged flow”, som vårfloem eller styrtfloem, vil vann strømme over hele bredden i steps og kunne føre til lateral erosjon av elvebanker i nedstrøms pool (Chartrand et al. 2011). Dersom en eksisterende morfologi som har blitt initiert av mindre flomhendelser i etterkant opplever en større flomhendelse, vil dette kunne føre til lateral erosjon nedstrøms av steps inntil tilstrekkelig dimensjon i elvebanker er oppnådd for å møte eksisterende kinetisk energi (Chartrand et al. 2011).

En slik tilnærming til hydraulisk forhold på tvers av kanalbredde støttes opp av Wyrick & Pasternack (2008), som numerisk illustrerer at energitap ved spesiell hydraulisk geometri er større for step-pool enheter der kanalen snevres inn over steps og vides ut i nedstrøms pools.

Slike hydrauliske forhold kan være grunnen til at det ofte presenteres resultater der kanalbredde er større i pools enn i steps (Wyrick & Pasternack 2008).

Step-pools vil med tiden gå gjennom faser med ulik vannføring, og Church & Zimmermann (2007) deler disse inn i ulike strømningsregimer. I perioder med lavere vannføring har man forhold der vann faller fritt over steps og ned i pools, og et slikt strømningsregime kalles ”nappe flow” (Chanson 2001). I faser med høyere vannføring vil vann strømme over hele bredden i steps, og strømmingen blir ikke i like stor grad påvirket av det vertikale fallet fra step til pool da vannhøyden er hevet betraktelig over steps. En slik strømning defineres som submerged flow (Wu & Rajaratnam 1998). Generelt sett kan man si at step-pools opplever strømning med nappe flow ved lav vannføring, og at man har oversvømte strømningsforhold ved høy vannføring (Church & Zimmermann 2007).

3.6 Step-pool og skala

Skala har stor betydning for step-pools egenskaper, og egenskapene vil variere med tid og i rom. Chartrand et al. (2011) viser til at geometriske justeringer i step-pools på grunn av en flomhendelse kan variere mye fra enhet til enhet i samme kanal. Altså kan step-pools i et elvestrekke respondere annerledes på en flom enn step-pools som ligger direkte nedstrøms, eller oppstrøms, i samme kanal. Dette indikerer at geometri i ulike step-pools kan representere ulik grad av stabilitet over ulike tidsskalaer (Chartrand et al. 2011).

Ved studie av step-pools på et gitt tidspunkt vil man kun få et innblikk i hvordan step-pools fremstår der og da, og man må ta hensyn til at utformingen er en del av en tilpasningsprosess over stor tidsskala (Chin & Wohl 2005). Videre sier Lenzi &

D'Agostino (2000) at step-pools er et resultat av suksessive flommer, hvor større flomhendelser kan destruere og reforme step-pools og øke avstand mellom steps. Mindre flommer kan i motsetning bidra til selvorganisering og økning av strømningsmotstand ved å initiere flere steps, og dermed minske avstand mellom steps og minske step-høyde (Lenzi & D'Agostino 2000).

Et annet aspekt er betydningen av størrelsen på steps over en lengre tidsskala. Step-pools bidrar til å minske strømningshastigheten i kanal, og deres evne til å bremse vil øke med størrelse på steps da mer energi kan frigjøres gjennom hydrauliske sprang (Chin 2003). Over en lengre tidsskala sier også Chin (2003) at store steps i større grad vil bidra som strømningsmotstand enn mindre, da disse lettere vil bli oversvømt ved økende vannføring og heller kan betegnes som ruhetselementer i elvebunnen (Chin 2003).

Generelt vil step-pools fungere som stabile, uavhengige variabler som regulerer strømningsmotstand og hydraulisk regime på liten romlig og temporal skala, men på større skala vil stabiliteten minke og step-pools blir avhengige variabler som varierer med vannføring og sedimenttilgang (Chin 1998). På en mindre temporal skala har man forhold der form kontrollerer prosess, men på en større temporal skala vil prosess i større grad kontrollere form (Schumm & Lichty 1965). Dermed er det viktig å være klar over at et studie av morfologi og geometri i step-pools på en liten temporal skala kun er et innblikk i deres syklus. Det vil kreve et studie som går over lengre tid for å kunne registrere romlige endringer i step-pools.

4. Metode

I metodekapittelet presenteres de ulike stegene som oppgaven har vært gjennom, fra innledende tilnærming til feltarbeid og databehandling. Sampling under feltarbeid og valg ved databehandling blir trinnvis presentert for å illustrere mine valg underveis som har formet resultatene.

4.1 Initial klassifisering

Ved oppstart av feltarbeid høsten 2013 var tanken å fokusere på generelle egenskaper ved step-pools i Vekveselva med data fra et lengre elvestrekke. Data ble samlet inn i henhold til dette gjennom relativt lange lengdeprofiler. Etterhvert som innfallsvinkel til oppgaven gikk gjennom en modningsprosess med tiden ble dette endret, og jeg valgte å heller fokusere på et kortere elvestrekke, som presenteres i Figur 6. Datainnsamling foretatt høsten 2014 ble da fra et kortere, utvalgt elvestrekke, som lå innenfor allerede målte lengdeprofiler. Slik kunne data fra både 2013 og 2014 kombineres.



Figur 5: Aktivt skredsår, "Brede-veggen", tilkoblet kanal.

Det utvalgte elvestrekket strekker seg over ca. 100 kanalmeter og innehar flere markerte step-pools. I den øverste delen av elvestrekket ligger kanalen tett inntil et lateralt aktivt, skredsår (Figur 5), og i nedre del har en bekk innløp i kanalen. Dette er faktorer som er interessante for betydningen av step-pool geometri, da materialtilgang har betydning for stabilitet (Church & Zimmermann 2007).



Figur 6: Oversiktsbilde over utvalgt elvestrekke, markert i rødt (Hentet og modifisert fra Google Earth 2011).

4.2 Metodebruk og feltarbeid

Feltarbeid ble gjennomført over en periode på ett år, fra høsten 2013 til høsten 2014. De to lengdeprofilene ble målt i oktober 2013 og mai 2014, og resterende tverrprofiler ble målt i september 2014. Kornstørrelse i steps ble målt i november 2014.

Utstyret som ble brukt var henholdsvis differensiell GPS av og håndholdt laseravstandsmåler, begge av merket Leica Geosystems.

4.2.1 Valg av metode

Ved oppstart av feltarbeid høsten 2013 ble jeg introdusert til differensiell GPS som feltmetode. Differensiell GPS kan i motsetning til eldre, manuelle metoder måle punkter av interesse med større effektivitet og frekvens (Higgitt & Warburton 1999).

Dette gjør metoden godt egnet til bruk i en masteroppgave hvor man typisk ikke har mange feltdager til rådighet på grunn av utfordringer knyttet til logistikk og økonomi. Videre er geografisk institutt ved NTNU i besittelse av en differensiell GPS som er disponibel til feltarbeid. Dermed falt valget på denne metoden på grunn av tilgjengelighet og egnethet til aktuelt feltarbeid.

4.2.2 Differensiell GPS og nøyaktighet

GNSS (Global Navigation Satellite System) er en fellesbetegnelse på globale navigasjonssystemer som brukes til posisjonsbestemmelse av en antenne eller mottaker på Jorden (Statens kartverk 2009). Differensiell GPS som metode som gir satellittbaserte posisjonsbestemmelser med GNSS og posisjonsbestemmelsen blir gjort ved måling relativt i forhold til en annen mottaker (Statens kartverk 2009).

Hvert enkelt målte punkt blir oppgitt med en X, Y og Z-verdi. Disse tre verdiene oppgir i meter hvor langt ethvert målt punkt befinner seg fra et referansepunkt, der X-verdi representerer antall meter øst, Y-verdi representerer antall meter nord og Z-verdi representerer antall meter over havet.

I motsetning til metoder som benytter enkeltpunktbestemmelse gir bruk av differensiell GNSS høyere nøyaktighet, og denne nøyaktigheten kan variere fra 10-20 mm pr. punkt, avhengig av ulike faktorer (Statens kartverk 2009).

I følge Statens kartverk (2009) vil nøyaktighet i måling avhenge av faktorer som satellittdekning, satellittgeometri, forstyrrelser i atmosfæren, menneskelige feil og systematiske feil.

Satellittdekning vil naturlig variere gjennom et døgn avhengig av satellittenes posisjon i forhold til feltområdet, og ved bruk av differensiell GPS kreves det at minst 5 satellitter er synlige.

Geometrien til tilgjengelige satellitter vil også variere gjennom døgnet, og en god geometri gir større nøyaktighet i posisjonsbestemmelsene av et enkelt punkt.

Et annet aspekt er betydningen av forstyrrelser innenfor atmosfæren. Når signaler fra satellittene sendes blir disse påvirket ved passering gjennom tropos- og ionosfæren, noe som vil påvirke nøyaktigheten dersom man er uheldig med den atmosfæriske aktiviteten under feltarbeid.

De to siste faktorene avhenger mer av menneskelige egenskaper, og forhold i feltområdet som påvirker systemets nøyaktighet. Menneskelige feil kan gjøres ved at utstyret stilles opp feil, noe som påvirker nøyaktigheten kraftig, og systematiske feil er ukontrollerbare faktorer innad i feltområdet som vegetasjon. Dersom vegetasjon skjerner signalet mellom kjent fastpunkt (basestasjon) og rover vil dette påvirke nøyaktighet og signal. En menneskelig feil som kan gjøres ved oppsett av utstyret er innstillingen av instrumenthøyde. Selve roveren plasseres under måling på toppen av en målestav, og høyden på målestaven i forhold til underlaget med tas hensyn til. Instrumenthøyden må stilles på samme verdi på gjentatte målinger for å få sammenlignbare data.

På grunn av disse faktorenes betydning for nøyaktigheten til systemet fremheves det at man ikke skal stole blindt på posisjonene som differensiell GPS oppgir, og det anbefales å gjøre flere uavhengige målinger som vil avdekke hvilke data som skiller seg ut med avvik fra de andre målingene (Statens kartverk 2009).

4.2.3 Oppsett og bruk av differensiell GPS i felt

Bruk av differensiell GPS under feltarbeid krever bruk av basestasjon (sender), rover (mottaker) og en målebok (Statens kartverk 2014).

Før feltarbeid kan begynne settes basestasjonen opp som et fastpunkt med kjente koordinater i nærheten av feltområdet, slik at rover kan beregne sin egen posisjon ut i fra korrigerte avstandsmålinger mellom satellitter og basestasjon (Statens kartverk 2009). Roveren, eller mottaker, er selve målestangen som brukes aktivt under måling av bestemte punkter under feltarbeid. Basestasjon og rover kommuniserer seg i mellom ved bruk av UHT radioforbindelse, og når kommunikasjon er opprettet kan differensiell posisjonsbestemmelse av interessante punkter i feltområdet begynne (Statens kartverk 2009). Roveren styres trådløst av en bærbar datamaskin, eller målebok, som man aktivt bruker til å fjernstyre når punkter skal bli målt.

Både basestasjon og rover er to-frekvente enheter, som gjør at differensiell GPS foretar sanntidsmåling av punkter basert på tradisjonell RTK (Real Time Kinematic), altså blir punkter målt med rover posisjonsbestemt i sanntid (Statens kartverk 2009).

Under feltarbeid i Vekveselva ble først basestasjon satt opp som et fastpunkt med kjente koordinater på toppen av en ås i nedkant av det aktuelle elvestrekket. Deretter

ble det opprettet kontakt mellom rover og basestasjon via UHT radioforbindelse, slik at differensielle posisjonsbestemmelser kunne foretas.

Når kontakt mellom rover og basestasjon var opprettet, og satellittdekningen var tilstrekkelig begynte måling av punkter i elvebunnen. Selve markeringen og målingene av enkeltpunkt ble gjort ved at rover ble festet på toppen av en målestang (se Figur 7), som ble stukket ned i elvebunnen. Deretter ble måleboken brukt til markere for måling av hvert punkt i sanntid.

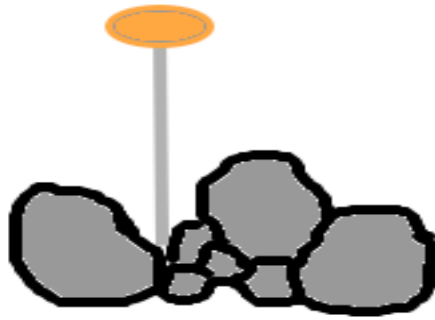
4.2.4 Sampling

Tradisjonelt sett har masteroppgaver i geografi fra Vekveselva med bruk av differensiell GPS fokusert på data fra lengdeprofiler. Innledningsvis i denne oppgaven var også mitt fokus på lengdeprofiler, men ved valg av et kortere elvestrekk var det naturlig og også inkludere tverrprofiler og fokusere på en tredimensjonal tilnærming til utbredelsen av step-pools. Buffington et al. (2002) sier at lengdeprofiler tradisjonelt sett har fått størst oppmerksomhet i studier av step-pools, og at man vet mindre om geometri i pools og tverrprofil i steps. På bakgrunn av dette har jeg valgt å kombinere lengde- og tverrprofiler.

4.2.4.1 Lengdeprofiler og tverrprofiler

Punkter til lengdeprofiler ble målt i djupål, den delen av elvas tverrsnitt hvor vannet er dypest. For å karakterisere steps og pools best mulig ble punkter konsekvent målt ved markante endringer i gradient. I tillegg ble det målt punkter i dypeste punkt i pool, og laveste punkt i steps. Det ble også målt punkter for hver omtrentlige halvmeter i elvestrekket for å opprettholde en høy oppløsning på lengdeprofilene.

Ved måling av punkt i elvebunnen ble målestangen plassert på dypeste tilgjengelige punkt i elvebunnen, og ikke på toppen av større steiner (Figur 7). Denne framgangsmåten ble brukt for alle målte punkt, dette er for å få frem et mest mulig representativt bilde av elvebunnen. Hadde jeg vært inkonsekvent ved utvalg av punkter, og vekslet mellom å måle på dypeste tilgjengelige punkt og på toppen av store steiner ville det ført til ulik sampling. Med en konsekvent målemetode blir ikke lengdeprofilene i like stor grad på virket av ruhet i elvebunnen.



Figur 7: Illustrasjon av valgt målepunkt i elvebunnen med rover på toppen av målestang.

Det ble målt tre tverrprofiler for hver step-pool enhet innad i elvestrekket. Et profil i steps, et profil midt i mellom påfølgende steps sentralt i pools, og et profil for elvebunnen direkte nedstrøms av steps.

Hvert enkelt profil ble målt gjennom fem punkter der det var mulig, fra elvebredde til motsatt elvebredde, i henhold til Nickolotsky & Pavlowksy (2007); et punkt i dypeste del av kanalens tverrsnitt, altså i djupål, to punkter for elvebreddene og to ekstra punkter lokalisert midt i mellom elvebredden og djupål.

Ved oppmåling av tverrprofiler møtte jeg en utfordring i hvordan elvebreddene skulle defineres. I Vekveselva har man ingen klart definert elvebredde på grunn av kaotisk elveløp med svært grove sedimenter. Jeg valgte derfor å fokusere på den delen av elvas tverrsnitt hvor det var rennende vann tilstede, og ”elvebreddene” ble da definert som det stedet der elvestrømmen sluttet ut mot sidene. En mangel med et slikt valg er at jeg har gått glipp av informasjon om de områdene av tverrprofilene som under feltarbeid var tørrlagt. Men oppmålingen ble vertfall gjort konsekvent for hver profil, og det hadde muligens vært enda mindre nøyaktig å prøve og måle seg frem til en tenkt elvebredde.

I visse deler av elvestrekket ble det målt noe mindre enn fem punkter pr. profil. En grunn til dette var problemer med signal mellom rover og basestasjon på grunn av lokal topografi og vegetasjon. En annen grunn var at tverrprofiler ble målt av ulike personer, som ikke var like kjent med sampling og feltdesign. På grunn av dette har jeg satt en grense på minimum 4 punkter pr. profil, og profiler som i etterkant inneholdt færre punkter ble forkastet før beregning av gjennomsnittlige verdier i resultatbehandling.

Måling av bestemte punkter i elvebunnen ble gjennomført på samme måte som i lengdeprofiler, for å unngå påvirkning fra elvebunnens ruhet (se Figur 7).

4.2.4.2 Kornstørrelse i steps

I tillegg til lengde- og tverrprofiler ble det det målt kornstørrelser i steps, ettersom kornstørrelse ser ut til å være et kontrollerende parameter for geometri (Chartrand & Whiting 2000, Okazaki et al. 2006, Wooldridge & Hickin 2002).

Kornstørrelse var den delen av feltarbeid som ble gjennomført sist, på slutten av feltsesongen høsten 2014. Dette skapte utfordringer for sampling da temperaturen hadde stabilisert seg på minusgrader i feltområdet, og det var en del is tilstede i kanalen (Figur 8).



Figur 8: Feltlesongen på hell. Is har delvis lagt seg i steps, og vanskeliggjør måling av nøkkelsteiner.

Spesifikke utfordringer isen skapte var for eksempel hvilke steiner i steps som visuelt kunne defineres som nøkkelsteiner, ettersom deler av steps var dekket av is. I tillegg til dette skapte isen utfordringer med tanke på sikkerhet.

Kornstørrelse ble karakterisert gjennom måling av B-akse av de fem største steinene i hvert enkelt step, basert på Nickolotsky & Pavlowsky (2007). Utvalg av hva som var nøkkelsteiner ble basert på visuell vurdering av hvilke steiner som så ut til å være viktigst for hvert enkelt steps oppbygning. Isen skapte her utfordringer da det var vanskelig å se hvilke steiner som var dominante i oppbygningen, og gjorde det

vanskelig og få målt aksene. B-akse ble derfor målt i steiner som helt sikkert ut fra overnevnte kriterier kunne defineres som nøkkelsteiner. I tillegg ble det tatt hensyn til at et utvalg av de største steinene i et step er en visuell vurdering, derfor målte jeg bevisst ikke de aller største steinene som grenset mot å kunne klassifiseres som blokker (Nickolotsky & Pavlowsky 2007). Store blokker ble ikke tatt med som nøkkelsteiner da Nickolotsky & Pavlowsky (2007) sier at disse kan være immobile. En nøkkelstein i et steps oppbygning skal kunne være mobil ved høyere vannføring, da den tidligere har blitt avsatt (Zimmermann & Church 2001).

Nøkkelsteinene ble målt på tvers av hvert enkelt step, fra høyre til venstre med kanalens strømningsretning.

B-akser ble målt av undertegnende med hjelp fra feltassistent, og ble definert som den lengste aksens som lå vinkelrett på den lengste aksens (A-akse). Lengde ble målt ved at undertegnende holdt lasermåler ved aksens start mot aksens endepunkt. Ved endepunktet holdt feltassistent en målestav, som fungerte som bruddpunkt for lasermålerens stråle.

4.3 Behandling av data

Målte punkter av lengdeprofiler og tverrprofiler fra Vekveselva ble først importert fra målebok til Microsoft Excel. Alle punkter ble her behandlet for videre og kunne karakterisere step-pools innenfor elvestrekket og deres geometri.

Behandling av punkter ble gjort ved følgende utregninger:

1. Beregning av todimensjonal avstand mellom påfølgende punkter ved bruk av Pytagoras' teorem:

$$\sqrt{(L2 - L1)^2 + (B2 - B1)^2}$$

Formelen tar hensyn til forhold mellom lengde og bredde mellom punkt, men ikke høyde (Z-verdi).

2. Beregning av lengdeprofilers kumulative lengde: summen av påfølgende avstand mellom alle punkter.

3. Beregning av høydeforskjell mellom påfølgende punkter: eksempelvis et punkts høydeverdi subtrahert med forrige punkts høydeverdi.

Etter at de tre overnevnte operasjonene var gjennomført fikk man oversikt over lengde og høydeforskjeller innad i lengde- og tverrprofilene.

4.3.1 Karakterisering av steps og pools

Neste steg var visuell karakterisering av step-pools i elvestrekket ved bruk av punktplott i Excel. Som Iversen (2013) kunne jeg også valgt å karakterisere step-pools ved bruk av numeriske metoder. Dette krever derimot klassifiseringskriterier som er normalisert opp mot kanalbredde, altså gjennomsnittlig verdi av bankfull bredde (Zimmermann et al. 2008), noe som anses som umulig i dette tilfellet på grunn av lokale faktorer. Vekveselva har som tidligere nevnt et kaotisk elveløp med høy andel grovt, avsatt materiale, og en udefinert elvebredde. Dette gjør det vanskelig å definere gjennomsnittlig bankfull bredde.

Dette medfører at visuell karakterisering kan være et bedre alternativ for Vekveselva, ettersom høydeforskjeller i overgang fra pool til step kan være store nok til identifisere step-pools visuelt.

Både lengde- og tverrprofiler blir fremstilt i markerte punktplott, der man har høydeverdi for hvert enkelt punkt på Y-aksen og kumulativ lengde på X-aksen.

På grunn av bruk av samme fremgangsmåte ved fremstilling av lengde- og tverrprofiler blir synsvinkelen på profilene forskjellig. Lengdeprofilene sees fra siden med strømningsretning mot venstre (Figur 11 og 12), og tverrprofilene blir sett forfra direkte mot strømningsretning (Figur 13 og 14).

I fremstillingen av tverrprofil i punktplott blir et profil illustrert ved ulik vannføring, som er tegnet inn ved hjelp av tegneprogram. Vannhøyden er altså ikke målt i felt, men kun eksempelvis illustrert.

Karakterisering av steps og pools ble basert på høydeverdier og visuelle gradientbrudd i punktplottet fra lengdeprofilene. Ut i fra tidligere nevnt empiri er det et krav at et pool må være tilstede for at et oppstrøms step kan identifiseres (Chin &

Wohl 2005). Derfor ble pools først karakterisert visuelt ved at jeg markerte manuelt i punktplottet (Figur 11 og Figur 12), deretter gikk jeg inn på de spesifikke, markerte punktene innad i pools for videre utregning av parametere.

Når pools var karakterisert ble oppstrøms step identifisert som det punktet oppstrøms med størst høydeverdi, der påfølgende punkt hadde en lavere høydeverdi og høydekurven var nedadgående i overgangen til neste oppstrøms pool.

Til tross for lik karakterisering ble det oppdaget at lengdeprofilene har svært forskjellige egenskaper. Det ble karakterisert færre step-pools i profilet fra mai 2014 kontra oktober 2013, men samtidig har disse grovere geometriske verdier i tillegg til en lavere gradient. Profilet fra mai har høyere gjennomsnittlig verdi for step-høyde, drop-høyde, pool-dybde og pool-lengde, og profilet fra oktober har størst gradient.

Når jeg sammenlignet de to lengdeprofilene (Figur 11 og 12) ble det oppdaget at de også starter på ulik høyde over havet. Profilet fra mai 2014 har i tillegg usannsynlige grove verdier for step-høyde og pool-dybde (Tabell 1).

I etterkant av databehandling ble det oppdaget at feilen lå i oppsett av rover ved å se på rådatafilen til profilet. Ved oppstart av feltarbeid i mai 2014 har roveren uheldigvis blitt programmert til å akseptere punkter av lavere nøyaktighet enn det som kreves, ved bruk av RTK Float istedenfor bruk av RTK Fixed, som gir større nøyaktighet pr. punkt.

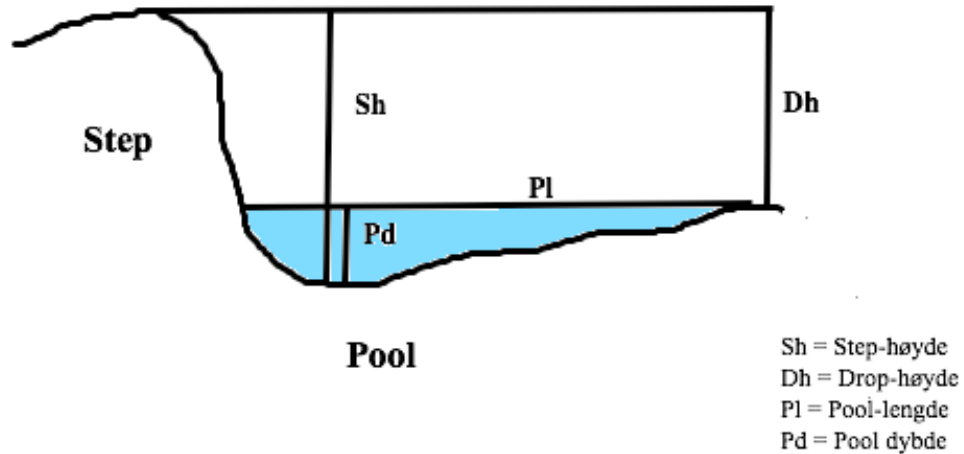
Lengdeprofilet fra mai er derfor ikke gyldig, og vil ikke tas med videre i geometrisk analyse (Kapittel 5.2) og diskusjon (Kapittel 6). Jeg velger likevel å presentere profilet i resultatdelen med punktplott (Figur 12) og dets egenskaper i Tabell 1, dette for å fremheve betydningen av og være nøyaktig og konsekvent i felt, og for og vise betydningen av gjentatte målinger (Statens kartverk 2009).

4.3.2 Valg og utregning av geometriske parametere

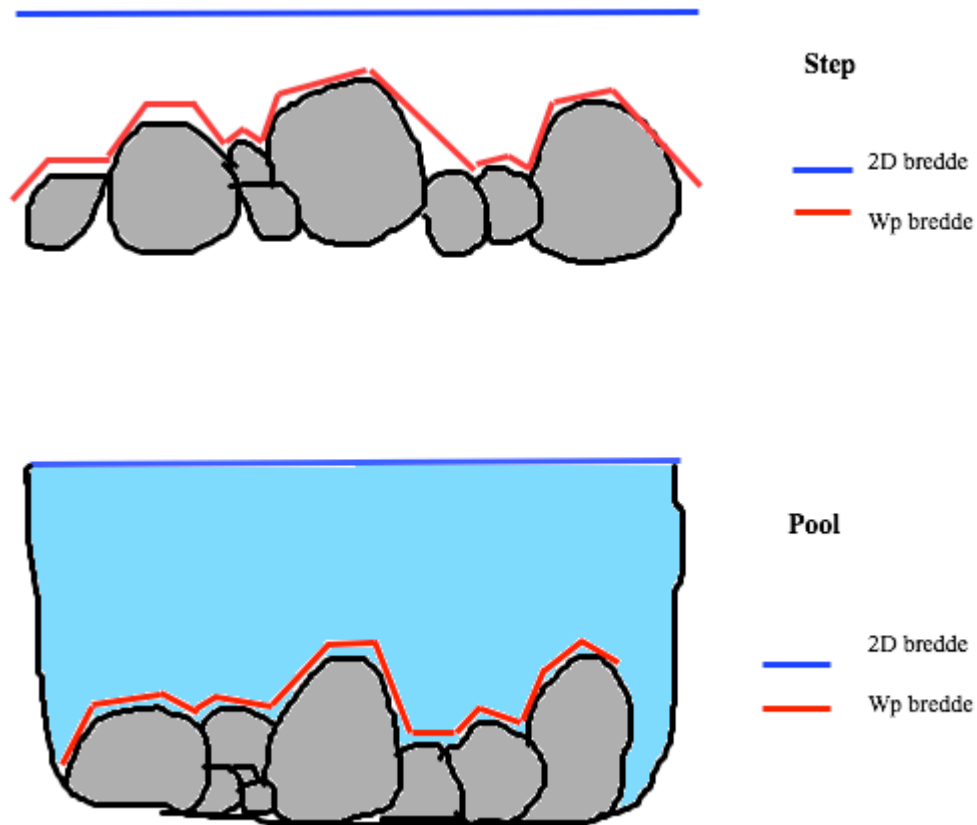
Når steps og pools var karakterisert ble geometriske parametere for hvert enkelt step-pool definert ved å se på lengde, bredde og høydeverdiene til hvert punkt innad i hver step-pool enhet. Step-høyde, drop-høyde, pool-lengde og pool-dybde blir illustrert i Figur 9, og bredder i steps og pools illustreres i Figur 10.

I tillegg til disse parameterne ble verdier for nøkkelsteiner i steps, basert på måling av kornstørrelse, tatt med i den geometriske analysen. Her opereres det med to

parametere, en verdi for gjennomsnittlig størrelse på nøkkelsteiners B-akse i hvert enkelt step og en verdi for største nøkkelsteins B-akse i hvert enkelt step. Grunnen til bruk av to parametere for nøkkelsteiners størrelse er å undersøke om gjennomsnittlig, eller største, nøkkelsteins størrelse er av størst betydning for oppbygningen av step-pool geometri.



Figur 9: Illustrasjon av hvordan geometriske parametere i en step-pool enhet ble definert.



Figur 10: Illustrasjon av bredder i steps og pools.

De geometriske parameterne ble definert som følger:

- Step-bredde
Bredden i steps ble regnet ut på to forskjellige måter.
Først ble den regnet ved å se på todimensjonal avstand mellom første og siste punkt i hvert tverrprofil, altså horisontal avstand mellom start- og slutt punkt. Step-bredde med denne utregningen presenteres i resultatdel som ”step-bredde 2D”.
Deretter ble bredden regnet ut ved å summere todimensjonal avstand mellom alle påfølgende punkter i hvert step. Dette gir en lengdeverdi for ”Wetted perimeter” (W_p), som medberegner bunnforhold i forhold til step-bredde. Step-bredde med denne utregningen presenteres i resultatdel som ”step-bredde W_p ”.
- Step-høyde
Høydeforskjellen mellom laveste punkt i step og høydeverdi i nedstrøms pool. Sees som ” Sh ” i Figur 9.
- Drop-høyde

Drop-høyden til hvert step ble regnet ut ved å subtrahere høydeverdien til et step med høydeverdien til nedstrøms step. Sees som "Dh" i Figur 9.

- Gradient

Gjennomsnittlig gradient ble regnet ut ved å se på antall meter fall i forhold til kumulativ lengde på elvestrekket.

- Pool dybde

Pool dybde ble regnet ut ved å subtrahere et steps høydeverdi med høydeverdien til dypeste punkt i oppstrøms pools. Sees som "Pd" i Figur 9.

- Pool lengde

Todimensjonal avstand mellom startpunkt og sluttunkt for pools. Sees som "Pl" i Figur 9.

- Pool bredde

Pool bredde ble regnet ut på samme måte som bredde i steps, dette for å se på forskjellen mellom todimensjonal avstand mellom elvebreddene og W_p . I motsetning til steps har bredde i pools blitt målt på to steder i hvert pool, et tverrprofil i midtre deler av pools og et tverrprofil i pool direkte nedstrøms av step.

Pool bredde presenteres henholdsvis i resultatdel som "pool mot step $2D/W_p$ ", og "midt pool $2D/W_p$ ".

Ved bruk av overnevnte definisjoner for geometriske parametere innenfor hver step-pool enhet ble verdiene regnet ut i Excel. Filen med verdiene ble deretter eksportert til SPSS, der korrelasjonsanalysene ble gjennomført.

4.3.3 Korrelasjonsanalyser ved bruk av SPSS

Bivariate og multivariate analyser ble kjørt ved å definere hva som kan være uavhengige variabler for andre avhengige variabler ut fra eksisterende litteratur.

Et typisk eksempel på dette er at i følge empiri vil kornstørrelse i steps styre step-høyde (Chin 1999, Chartrand & Whiting 2000). Med utgangspunkt i et slikt standpunkt ble kornstørrelse lagt inn som en uavhengig variabel opp mot step-høyde i en bivariat analyse.

Et annet eksempel er å bruke parametere som drop-høyde og kornstørrelse i steps som kontrollerende faktorer for pool-dybde i en multivariat analyse. Andre variabler kunne ikke kjøres opp mot hverandre fordi de ikke er uavhengige. Et eksempel på dette er

pool-dybde og step-høyde, der verdiene er satt på bakgrunn av felles målepunkt i elvebunnen.

Mange av korrelasjonsanalysene ble altså gjennomført på bakgrunn av hva som kunne sammenlignes med eksisterende empiri fra faglitteratur. I tillegg ble det også kjørt andre analyser som ikke hadde bakgrunn i empiri, dette for å se om samvariasjon mellom ulike parametere kunne eksistere likevel.

Et annet poeng ved å gjøre korrelasjonsanalyser som er ”mindre logiske” var å unngå utbredt teoriavhengighet, og dermed prøve å tenke utenfor boksen. Det er ikke gitt at andres empiriske resultater vil stemme overens med mitt eget arbeid.

I resultatdelen presenteres forholdene mellom parametere i korrelasjonsanalysene ved bruk av statistiske begrep som korrelasjonskoeffisient og signifikans.

Korrelasjonskoeffisient presenteres i resultatdel gjennom målet Pearsons r , eller Pearson produktmomentkorrelasjon. Pearsons r angis på en skala som strekker seg fra -1 til 1 , og definerer både hvilken type samvariasjon og hvor sterk den er mellom variabler (Johannessen 2009). En korrelasjon på 0 betyr at det ikke er noe korrelasjon tilstede, og en korrelasjon på 1 angir en perfekt positiv samvariasjon mellom variabler der en høy verdi for en variabel også vil gi en høy verdi for den andre variabelen, eller at en lav verdi for en variabel gir lav verdi for den andre variabelen (Johannessen 2009).

Motsatt vil en korrelasjon på -1 tilsa en negativ samvariasjon mellom variabler. Når en variabels verdi øker vil den andre variabelens verdi minke.

I følge Johannessen (2009) er det ingen klar fasit på hva som regnes som en sterk, eller pålitelig, korrelasjon. Dette fordi det vil avhenge av hva som undersøkes. Derimot regnes verdier mellom $0 - 0,20$ som svake, verdier mellom $0,30 - 0,40$ som relativt sterke og verdier over $0,50$ som meget sterke korrelasjoner.

Jeg har i likhet med Johannessen (2009) valgt å definere korrelasjonskoeffisienter på over $0,50$ som sterke, eller pålitelige, dersom de også er signifikante. Korrelasjoner som ligger under $0,50$ har jeg definert som mindre sterke, og ikke valgt å stole like mye på.

Statistisk signifikans er et mål som brukes for å definere om en verdi, eller korrelasjon i dette tilfellet, kan være et resultat av tilfeldigheter eller ikke (Davis 2002). Signifikans oppgis i en verdi mellom 0 og 1, der en lavere verdi vil tilsa at det er mindre sjanse for at et resultat er tilfeldig.

I følge Davis (2002) må man innledningsvis i et studie definere signifikansnivå og sette en grense for hva som oppfattes som et troverdig resultat. Forskeren må selv definere nivået, og han må være klar over risikoen for å falsifisere sanne hypoteser dersom en setter et strengt signifikansnivå (Davis 2002). I geologi opererer man ofte med usikre verdier, og det kan være urealistisk å sette et for strengt nivå da dette kan føre til at man aldri vil se sammenhenger, i følge Davis (2002). Det anbefales derfor å velge et mer beskjedent nivå for signifikans, selv om dette kan føre til falske konklusjoner (Davis 2002).

I denne oppgaven opereres det generelt med en del usikre parametere, og det er vanskelig å finne noen korrelasjoner som går igjen på tvers av andres studier som gjør det vanskelig og ta utgangspunkt i eksisterende litteratur. Ulike personer forsker i ulike feltområder med forskjellige lokale faktorer, og anvender også ulike forskningsdesign.

Forskningsdesignet er delvis basert på andres metoder, og delvis basert på egne vurderinger. I tillegg er Vekveselva et spesielt studieområde som innehar spesielle egenskaper. På grunn av dette er det sannsynlig at en kan få spredte verdier i korrelasjonsanalysene, og det ble valgt et signifikansnivå som på 0,10. Davis (2002) poengterer at signifikansnivå ned mot 0,05 vil være for strengt, og det ble derfor satt en mildere verdi.

Det må altså være mindre enn 10 % sjanse for at et resultat er tilfeldig for at det ansees som pålitelig.

5. Resultater

I resultatdelen vil punktplott for lengde- og tverrprofiler med karakteriserte steps og pools bli presentert sammen med tilhørende tabeller. I tillegg vil det presenteres korrelasjonsanalyser for forhold mellom geometriske parametere i step-pools, og data fra måling av kornstørrelse i steps.

5.1 Visuell karakterisering av steps og pools

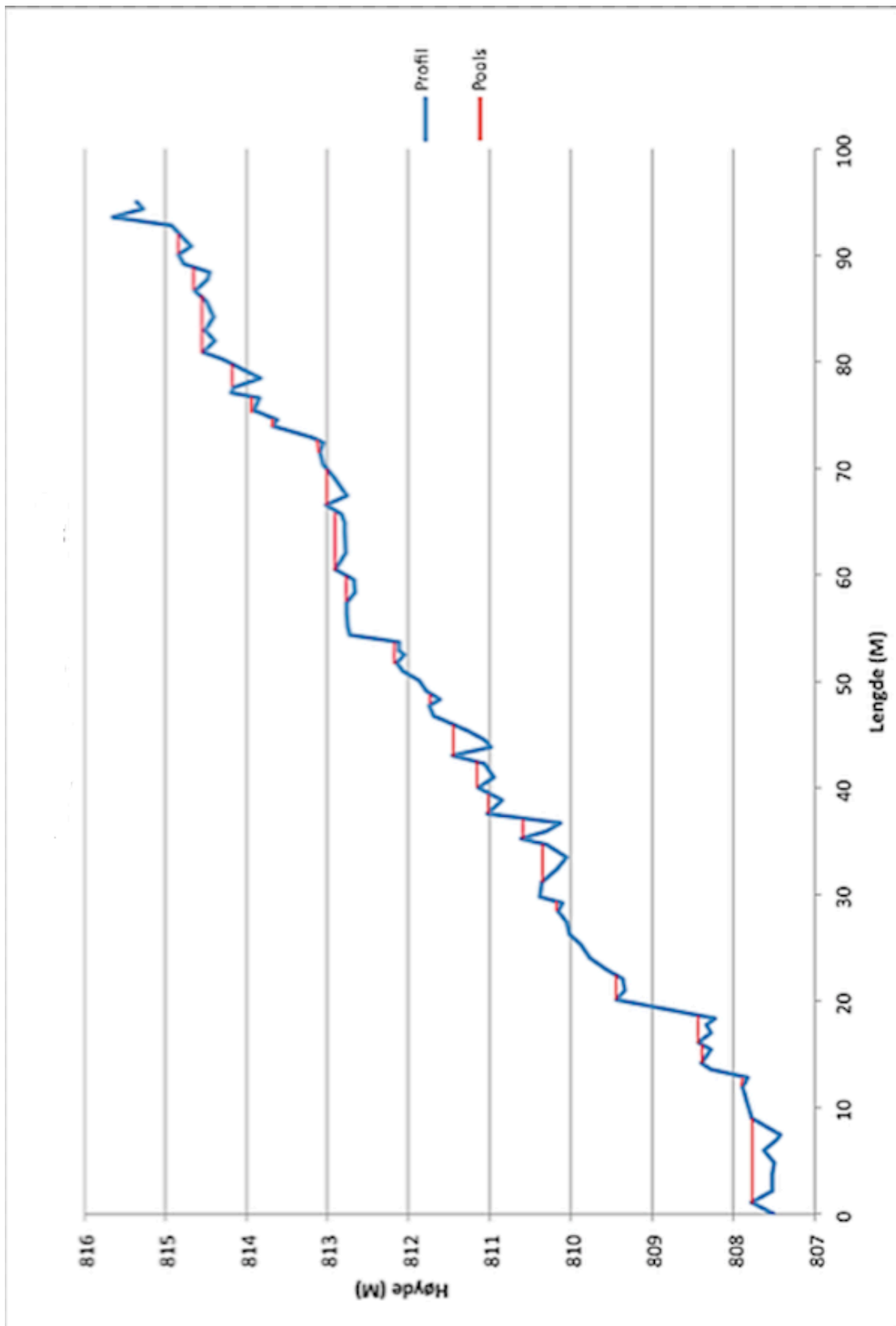
Først blir punktplott for lengdeprofiler presentert sammen med tilhørende tabeller, deretter blir det samme gjort for tverrprofilene. I lengdeprofilene er pools markert med røde horisontale linjer, dette for å skille steps og pools fra hverandre.

5.1.1 Lengdeprofiler

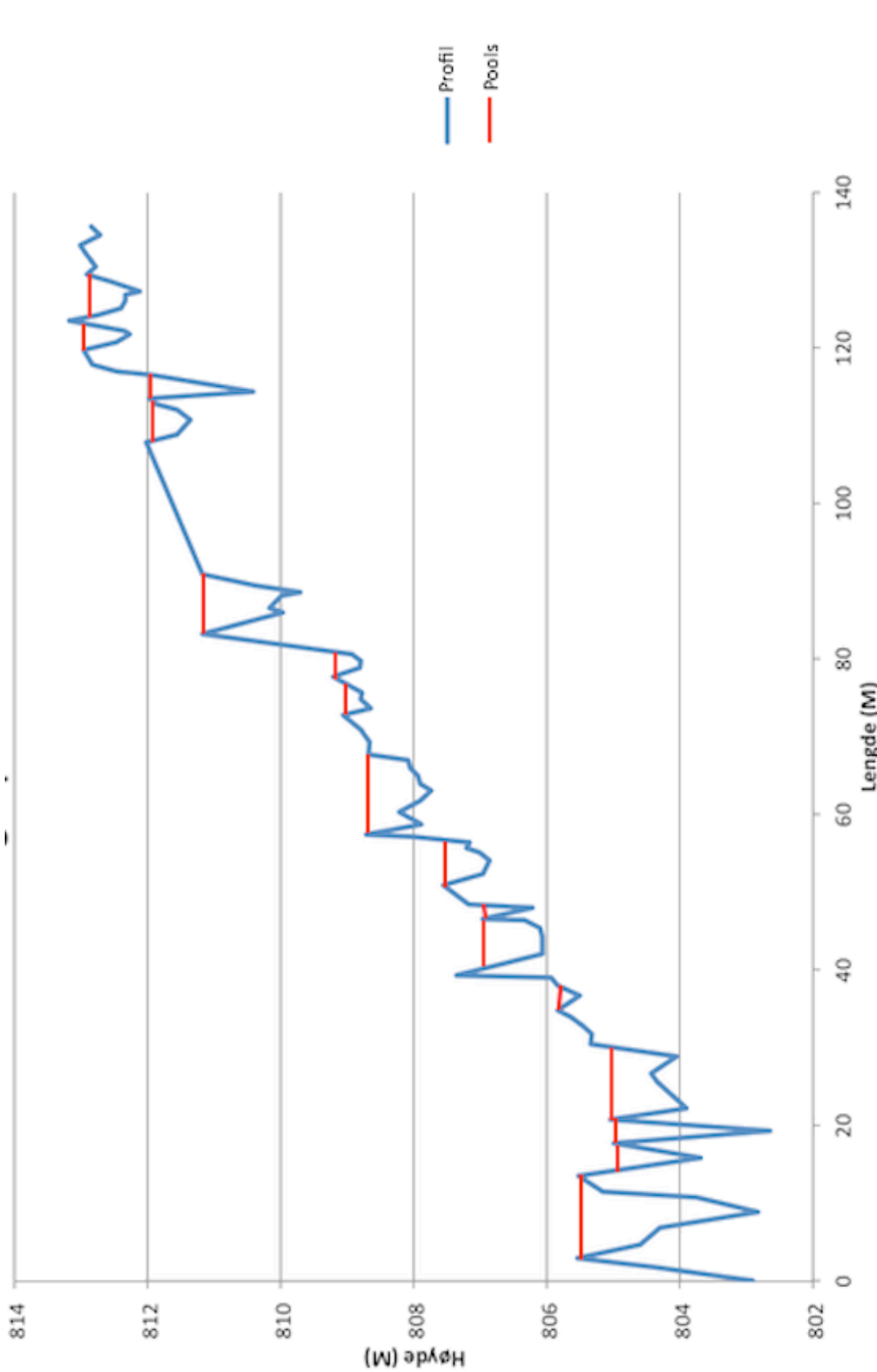
Profilet fra oktober 2013 (Figur 11) er noe kortere i lengde enn profilet fra mai 2014 (Figur 12), men har en høyere oppløsning og er basert på flere punkter. Dette gjør at det første profilet er mer detaljert enn det andre, og får frem mer detaljer om høydeforhold i elvebunnen.

Elvebunnens morfologi i henhold til punktene fra differensiell GPS viser utbredelsen av step-pools. I det første lengdeprofilet er overgangen fra step til pool mer markant i starten (0-50 m.) og slutten av elvestrekket (80-100 m.), og mindre markant i midtre deler (50-80 m.) der det ser ut til at pools er grunnere (Figur 11).

Lengdeprofilet fra mai 2014 (Figur 12) er ugyldig og viser en grovere bunnmorfologi på grunn av nevnte faktorer som unøyaktighet i felt.



Figur 11: Første lengdeprofil, fra 24.10.13. Røde linjer markerer pools.



Figur 12: Andre lengdeprofil, fra 14.05.14. Røde linjer markerer pools.

Spesifikke parametere for hvert profil presenteres i Tabell 1, hvor de to lengdeprofilenes egenskaper settes opp mot hverandre og en tydelig ser forskjellen i grovhet på geometriske parametere.

Tabell 1: Gjennomsnittlige verdier for spesifikke parametere for begge lengdeprofiler.

| Lengdeprofil | 24.10.13 | 14.05.14 |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| Kumulativ lengde | 95 m | 135,6 m |
| Gradient | 8,3 % | 7,3 % |
| M/M | 0,08 m | 0,07 m |
| Antall steps | 23 | 16 |
| Antall pools | 23 | 16 |
| Step-høyde | 0,35 m | 1,03 m |
| Høyeste step | 1,21 m | 2,40 m |
| Drop-høyde | 0,34 m | 0,72 m |
| Pool-dybde | 0,18 m | 1,14 m |
| Dypeste pool | 0,48 m | 2,35 m |
| Pool-lengde | 2,35 m | 3,00 m |

5.1.2 Tverrprofiler

Data til tverrprofiler innenfor elvestrekket er basert på 39 ulike målinger.

Profilene er både fra steps og pools, og gjennomsnittlige verdier for ulike bredder presenteres i Tabell 2.

Tabell 2: Gjennomsnittlige verdier for målte bredder i step-pools.

| Type profil | Antall | 2D bredde | Wetted perimeter (Wp) |
|--------------------|---------------|------------------|------------------------------|
| Alle profiler | 39 | 2,92 m | 3,00 m |
| Profiler i steps | 13 | 2,73 m | 2,80 m |
| Profiler i pools | 26 | 2,99 m | 3,17 m |

Det ble totalt målt 13 profiler i steps, og 26 profiler i pools. Profilene presenteres ut i fra todimensjonal bredde og kumulativ bredde gjennom Wetted perimeter (Wp).

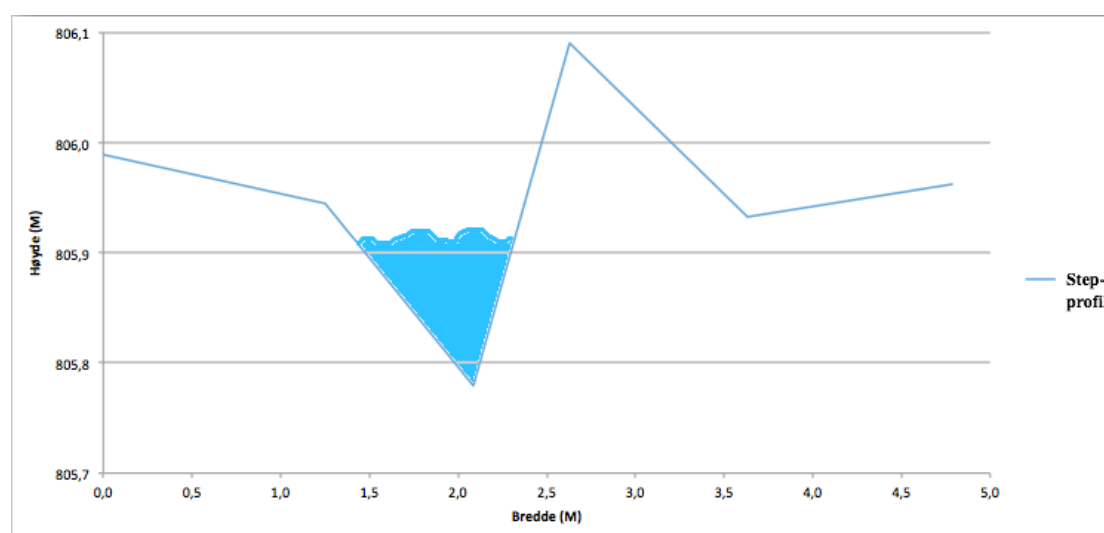
Tverrprofilene blir generelt bredere ved måling med Wp, og noe smalere når de presenteres ved todimensjonal avstand mellom første og siste punkt.

Forskjellen mellom 2D bredde og wetted perimeter er derimot overraskende liten.

I Figur 13 og 14 sees et tverrprofil fra et step i Vekveselva ved ulike vannføring. Tverrprofilet er basert på punkter fra differensiell GPS, og vannhøyde er eksempelvis illustrert for å vise betydning av ulike strømningsforhold.

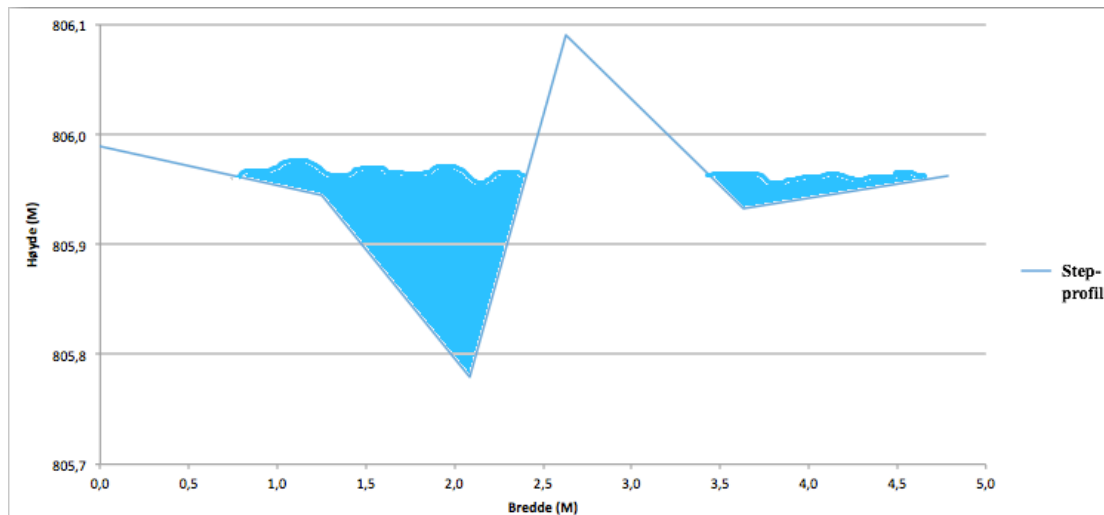
Steppet er nesten 5 meter bredt, og har en høydeforskjell fra dypeste til grunneste punkt på omtrentlig 30 cm.

Figur 13 viser strømningsforholdene ved normal, lav vannføring, der kun den dypeste delen av steppet er aktivisert. Den lave vannføringen fører til at store deler av steppet er tørrlagt og ligger synlig i dagen.



Figur 13: Step-profil fra Vekveselva ved lav vannføring.

I Figur 14 sees det samme steppet ved høy vannføring, eller submerged flow. Her er større deler av step-profilet aktivisert, og mindre ligger synlig i dagen. Ved å sammenligne de to figurene ser en betydningen vannføring for hvordan et tverrprofil kan se ut, og man kan diskutere betydningen av dominerende, eller aktuelt, strømningsregime for oppbygningen av geometri i en step-pool enhet.



Figur 14: Step-profil ved høy vannføring.

5.1.3 Kornstørrelse i steps

I Tabell 3 presenteres verdier fra målinger av kornstørrelse i 7 steps innenfor elvestrekket. Verdiene er basert på B-akse av fem nøkkelsteiner i hvert step, og det vises til en verdi for gjennomsnittlig kornstørrelse i hvert enkelt step, og en verdi for den største nøkkelsteinen i hvert step.

I den geometriske analysen brukes derimot gjennomsnittlig kornstørrelse basert på alle observasjoner av nøkkelsteiner (35 stk.) og gjennomsnittlig størrelse av største nøkkelstein i alle steps, noe som gir et mer nøyaktig gjennomsnitt da verdiene er basert på flere enheter. Disse verdiene presenteres i Tabell 4.

Tabell 3: Verdier for gjennomsnittlig kornstørrelse og største nøkkelstein i hvert enkelt step.

| Step | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kornstørrelse | 0,99 m | 1,27 m | 1,20 m | 1,05 m | 1,06 m | 1,37 m | 1,11 m |
| Største nøkkelstein | 1,35 m | 1,64 m | 1,77 m | 1,37 m | 1,20 m | 1,82 m | 1,22 m |

Tabell 4: Total gjennomsnittlig kornstørrelse og verdi for største nøkkelstein.

| | |
|---|--------|
| Gjennomsnittlig kornstørrelse | 1,15 m |
| Største nøkkelstein (gjennomsnitt) | 1,48 m |

5.2 Geometrisk analyse

Under følger ulike bivariate og multivariate korrelasjonsanalyser mellom geometriske parametere fra step-pools.

Innledningsvis presenteres tabeller (Tabell 5 og 6) for to analyser som er fremhevet fra lengdeprofilen fra 2013.

Disse analysene er fremhevet da forholdene basert på empiri skal korrelere (Chin 1999, Chartrand & Whiting 2000, Okazaki et al. 2006), og for å illustrere hvordan resultatene kom frem ved bruk av SPSS.

Regresjonstabellen i de fremhevende analysene viser korrelasjonskoeffisient, og tabellen for "ANOVA-test" viser statistisk signifikans for korrelasjonsanalysen.

I hoveddelen av geometrisk analyse presenteres en tabell for alle geometriske forhold, med fokus på korrelasjonskoeffisient og signifikans. Her presenteres alle forhold mellom relevante variabler, og de geometriske parameterne fra lengdeprofilen er supplert med parametere fra tverrprofilene. I tillegg blir verdier fra lengdeprofilen og tverrprofiler analysert opp mot verdier for nøkkelsteiner, der gjennomsnittlig kornstørrelse i hvert enkelt step presenteres som "kornstørrelse" og verdi for største nøkkelstein presenteres som "største nøkkelstein". Slik ble en analyse av både lengde, bredde og dybde i step-pools gjort mulig.

5.2.1 Fremhevede bivariate korrelasjonsanalyser

1. Forhold mellom drop-høyde (uavhengig variabel) og pool-dybde (avhengig variabel).

Tabell 5: Bivariat analyse av drop-høyde og pool-dybde.

| Regresjon | | | | | |
|------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|--|
| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | |
| 1 | .197 ^a | .039 | -.009 | .132972 | |

| ANOVA-test | | | | | | |
|-------------------|------------|----------------|----|-------------|------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | .014 | 1 | .014 | .808 | .380 ^b |
| | Residual | .354 | 20 | .018 | | |
| | Total | .368 | 21 | | | |

Korrelasjonskoeffisienten (R) til de to variablene har en verdi på 0,197, altså en meget svak positiv korrelasjon. ANOVA-testen viser at dette resultatet ikke er signifikant, med en signifikansverdi (Sig.) på 0,38. Det er 38 % sjanse for at resultatet kommer av tilfeldigheter.

2. Forhold mellom kornstørrelse i steps (uavhengig variabel) og step-høyde (avhengig variabel).

Tabell 6: Bivariat analyse av kornstørrelse og step-høyde.

| Regresjon | | | | | |
|------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|---------|
| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | |
| 1 | .409 ^a | .167 | | .001 | .289159 |

| ANOVA-test | | | | | | |
|-------------------|------------|----------------|----|-------------|-------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | .084 | 1 | .084 | 1.003 | .362 ^b |
| | Residual | .418 | 5 | .084 | | |
| | Total | .502 | 6 | | | |

Med kornstørrelse som kontrollerende variabel for step-høyde får man en svak positiv korrelasjon på 0,409. Sammenhengen kan komme av tilfeldigheter da signifikans er på 0,362, som er klart høyere enn satt signifikansnivå på 0,10.

Som sagt fungerer de to øvrige forholdene med tabeller som eksempler på hvordan

regresjonsanalysene kom frem i praksis. I Tabell 7 følger en oversikt over alle geometriske forhold der de har blitt supplert med parametere fra tverrprofiler.

5.2.2 Bivariate og multivariate regresjonsanalyser

I Tabell 7 kan man se at det kommer frem resultater som stemmer med eksisterende litteratur, og resultater som ikke stemmer med litteratur i den geometriske analysen av lengdeprofilet fra 2013.

Det er gjort relativt mange utregninger, og derfor blir kun de mest interessante resultatene trukket fram skriftlig.

Geometriske forhold som **ikke** stemmer med empiri:

- Ingen samvariasjon mellom drop-høyde og pool-dybde.
- Ingen sterk positiv samvariasjon mellom kornstørrelse og step-høyde.
- Ingen samvariasjon mellom kornstørrelse og drop-høyde.
- Ingen samvariasjon mellom pool-lengde og todimensjonal bredde i midtre deler av pools.
- Ingen samvariasjon mellom kornstørrelse og step-bredde.

Geometriske forhold som **stemmer** med empiri:

- Positiv samvariasjon mellom kornstørrelse og pool-lengde.
- Positiv samvariasjon mellom største nøkkelstein og pool-lengde.
- Positiv samvariasjon mellom kornstørrelse/step-høyde og todimensjonal bredde i pools direkte nedstrøms av step.
- Positiv samvariasjon mellom største nøkkelstein/step-høyde og todimensjonal bredde i pools direkte nedstrøms av step.

Ut fra korrelasjonsanalysene kan man se en tendens til at bredde og lengde i pools øker med dimensjoner i oppstrøms step.

Den mest fortrolige samvariasjonen som kommer frem er forholdet mellom gjennomsnittlig kornstørrelse og step-høyde, og todimensjonal bredde i pool direkte nedstrøms av step. Her er det sterk positiv korrelasjon, og resultatet er signifikant.

De andre samvariasjonene som stemmer overens med empiri er ikke signifikante ut fra satt signifikansnivå, men jeg velger likevel å anse de som korrelasjoner som samsvarer med eksisterende litteratur. Dette fordi signifikansverdiene ikke er langt

over satt signifikansnivå på 0,10, da de strekker seg fra 0,16 til 0,20.

Tabell 7: Alle korrelasjonsanalyser av geometri fra lengdeprofilen.

| Analyse | Uavhengig variabel | Avhengig variabel | Korrelasjon | Signifikans |
|----------------|--|--------------------------|--------------------|--------------------|
| Bivariat | Drop-høyde | Pool-dybde | 0,20 | 0,38 |
| Bivariat | Kornstørrelse | Step-høyde | 0,41 | 0,36 |
| Bivariat | Kornstørrelse | Drop-høyde | 0,19 | 0,68 |
| Bivariat | Kornstørrelse | Pool dybde | 0,11 | 0,82 |
| Bivariat | Kornstørrelse | Pool lengde | 0,60 | 0,16 |
| Bivariat | Største nøkkelstein | Pool lengde | 0,59 | 0,16 |
| Multivariat | Kornstørrelse/step-høyde | Pool lengde | 0,71 | 0,25 |
| Bivariat | Pool lengde | Midt pool bredde 2D | 0,27 | 0,39 |
| Multivariat | Step-høyde/drop-høyde | Bredde pool mot step Wp | 0,04 | 0,99 |
| Multivariat | Step-høyde/step-bredde 2D/step-bredde Wp | Midt pool bredde Wp | 0,42 | 0,66 |
| Multivariat | Step-høyde/step-bredde 2D/step-bredde Wp | Midt pool bredde 2D | 0,49 | 0,51 |
| Multivariat | Drop-høyde/step-bredde 2D/step-bredde Wp | Pool dybde | 0,41 | 0,66 |
| Multivariat | Bredde pool mot step 2D og Wp/midt pool 2D og Wp | Pool lengde | 0,59 | 0,49 |
| Bivariat | Kornstørrelse | Step bredde Wp | 0,03 | 0,94 |
| Multivariat | Kornstørrelse/step-høyde | Bredde pool mot step 2D | 0,82 | 0,1 |
| Multivariat | Største nøkkelstein/step-høyde | Bredde pool mot step 2D | 0,74 | 0,2 |
| Multivariat | Kornstørrelse/step-høyde og 2D/Wp bredde i steps | Bredde pool mot step 2D | 0,86 | 0,46 |
| Multivariat | Kornstørrelse/step-høyde/2D og Wp bredde i steps | Pool lengde | 0,75 | 0,7 |

6. Diskusjon

6.1 Oppbygning

I følgende analyse vil resultatene fra identifikasjon av step-pools og deres geometri bli gjennomgått. Hovedfokus er å diskutere og forklare identifisert geometri, og sammenligne med eksisterende litteratur.

Det legges størst vekt på fremtredende funn fra geometrisk analyse, og en kombinasjon av lengdeprofil og tverrprofiler for å beskrive step-pool geometri.

Avslutningsvis blir det presentert en kritisk tilnærming til mine resultater og metodebruk, og basert på dette presenteres konkrete råd til videre forskning på step-pools i Vekveselva.

6.2 Lengdeprofil, identifiserte step-pools og fremtredende egenskaper

Innenfor lengdeprofilet fra 2013 er det ikke alle steps som har tilknytning til markerte pools. Fra ca. 50 til 70 meter ut i lengdeprofilet fremstår steps som markante, men det er et fravær av et nedstrøms pool (Figur 11).

En forklaring på dette kan være at det utvalgte elvestrekket som er målt under feltarbeid har direkte kobling til sedimentkilder som aktive skredsår. Strekningen som mangler markerte pools ligger direkte nedstrøms av skredsåret "Brede-veggen" (se Figur 5) som kan bidra til at kolluvialt materiale periodevis blir avsatt i pools, og dermed fremstår ikke pools som markante ved karakterisering. Knighton (1998) sier at elvestrekker med kanalgradient over 5% generelt har stor sedimenttilgjengelighet, og i følge Gomi et al. (2003) har sedimenttilgang stor betydning for småskala morfologi. Dette stemmer med mine observasjoner da elvestrekket har en kanalgradient på 8,3% (Tabell 1) og pools ser ut til å være fylt med sedimenter.

6.3 Tverrprofiler

Ut i fra de gjennomsnittlige verdiene for tverrprofilene fra Vekveselva kan en se en romlig tendens med tanke på utforming. Verdiene for bredde i steps er smalere enn bredden i pools, og verdiene for Wetted perimeter er bredere enn todimensjonale

bredder. Dette tilsier en innsnevring av kanalbredde over steps, og en økning av kanalbredde i nedstrøms pool. Et slikt funn kan tyde på spesielle hydrauliske forhold på tvers av kanalbredde i Vekveselva, i henhold til Chartrand et al. (2011). I perioder med høyere vannføring og submerged flow kan vann strømme over hele bredden i steps, og dermed frigjøre et større potensial for lateral erosjon i nedstrøms pools. Dette kan føre til at elvebanker i pools har blitt gravd ut, og at tverrprofiler derfor er bredere. Det poengteres at en slik situasjon kan oppstå dersom eksisterende morfologi i Vekveselva har blitt initiert av mindre flommer, og at større flomhendelser kan føre til økning av kanalbredde i pools (Chartrand et al. 2011). Vekveselva har i tillegg til flomhendelsen i 2003 også opplevd andre større flomhendelser som i 2011, og dette kan være en grunn til at jeg finner størst kanalbredder i pools.

Et annet aspekt som kan være medvirkende til et slikt resultat er lokale forhold i feltområdet. Som tidligere nevnt kan elva fylle hele dalbunnen i Vekve ved flom, og den har liten plass å boltre seg på i bredden på grunn av omliggende morene. Under en flomhendelse vil vannet erodere lateralt på den omliggende morenen, noe som har resultert i sterk kobling mellom skråning og kanal. I tillegg vil mye av strømningsenergien gå til å erodere i seg selv, siden elva har så klart definert lateral begrensning. Dette skaper stort potensiale for erosjon, og eventuell mobilisering av elvebunnen i Vekveselva under flom.

Med utgangspunkt i de gjennomsnittlige verdiene for målte tverrprofiler er ikke forskjellen på 2D bredde og Wetted perimeter særlig markant. Forskjellen er minst i steps, og størst er den for verdier i pools der gjennomsnittlig forskjell er 18 cm i fordel wetted perimeter. Dette illustrerer betydningen av ruhetselementer i elvebunnen, og betydningen av sedimenttilgang for oppbygningen av kanal. Innad i steps er forskjellen i bredde liten, og den er litt større i pools. Vekveselva har kobling mellom sedimentkilder og kanal, og Chin & Wohl (2005) sier finere sedimenter periodevis blir avsatt i pools. En slik tilnærming kan være bakgrunn for at jeg finner større ruhet i pools kontra steps.

På en annen side består steps av grove sedimenter som blant annet nøkkelsteiner. Det ville vært naturlig at Wetted perimeter også her skulle vært markant større en todimensjonal bredde på grunn av stor ruhet. Til tross for dette er ruhet større i pools, noe som illustrerer stor sedimenttilgang og kobling.

I Figur 13 og 14 illustreres et step-profil fra Vekveselva og hvordan det ser ut ved ulik vannføring. Ved lav vannføring er det kun små deler av steppet som er aktivisert (Figur 13), og dette kan være medvirkende til mine resultater for bredder i steps og pools. Når tverrprofiler ble målt høsten 2014 var det lav vannføring i kanal og det er sannsynlig at flere steps hadde lite av bredden sin aktivisert. Dette kan ha ført til at bredder i steps ble målt til å være smalere enn de virkelig er, da det ikke er noen klart definert kanalbredde i Vekveselva og det er vanskelig og tyde hvor elvebredden starter. Hadde det vært høyere vannføring i kanalen under feltarbeid ville større deler av step-profiler vært aktivisert, og step-bredde ville muligens blitt målt til å være bredere.

6.4 Geometri

I den geometriske analysen kommer det frem resultater som stemmer overens, og resultater som ikke stemmer med eksisterende litteratur.

Med bakgrunn i empiri forekommer det at resultater fra step-pool geometri ikke samsvarer fra et område til et annet, der noen finner korrelasjoner mellom parametere på et sted som ikke stemmer med andres resultater (Chin 1999, Chartrand & Whiting 2000). Dette kan forklares ved at studier blir gjennomført i ulike elver, der ulike faktorer har betydning for oppbygningen av step-pools, og ved at ulike forskere velger å definere geometriske parametere på ulik måte (Nickolotsky & Pavlowsky 2007). Blant annet kan verdien til et parameter som step-høyde variere så mye som opp til 30% fra sted til sted, avhengig av hvordan det er definert i følge Nickolotsky & Pavlowsky (2007).

6.4.1 Resultater som motstrider eksisterende litteratur

I mine resultater fra korrelasjonsanalysene av geometri finner jeg kun en svak positiv korrelasjon mellom gjennomsnittlig kornstørrelse i steps og step-høyde i profilet fra 2013, som ikke er signifikant (Tabell 6). Dette motstrider empiri da det vises til at kornstørrelse kontrollerer step-høyde i andre områder (Chin 1999, Chartrand & Whiting 2000). Mangelen på korrelasjon er ulogisk da Vekveselva har stor tilgang på kolluvialt materiale som periodevis avsettes i kanalen, og en skulle tro at kornstørrelsen ville ha betydning for step-høyden. En må være klar over at mine resultater ikke strekker seg over flere år, og kun er et innblikk i en del av syklusen til

step-pool morfologi der romlig selvorganisering foregår (Chin & Phillips 2006). Det er dermed mulig at ulike flomhendelser i forkant av mitt studie har ført til en geometri der kornstørrelse ikke korrelerer med step-høyde. Molnar et al. (2010) sier at større flomhendelser kan føre til store endringer i step-høyde, og flommen i 2011 i Vekveselva kan ha vært stor nok til å endre step-høyden markant slik at jeg ikke finner noen sterk korrelasjon. En endring i step-høyde kunne muligens vært bevist dersom man hadde hatt tilgang på data i forkant av flommen i 2011.

Ut i fra Tabell 5 er det heller ingen korrelasjon mellom drop-høyde og pool-dybde i profilet fra 2013. At det ikke er noen sammenheng mellom disse variablene er ikke overraskende når man ser på lengdeprofilet fra oppmålingen (Figur 11), der en tydelig ser at steps i visse deler av elvestrekket mangler markerte pools. Som tidligere diskutert kan tilknytning til aktive sedimentkilder være grunnen til dette, og dette beviser at selv om man har relativt store steps med markert drop-høyde så trenger ikke dybden i nedstrøms pool være stor på grunn av periodevis avsatt materiale.

En annen faktor som kan ha betydning for mangelen på korrelasjon mellom drop-høyde og pool-dybde er vannføring i forhold til step-profil (Figur 13 og 14). Verdier for drop-høyde er basert på høydeforskjellen mellom dypeste punkt i påfølgende steps. Vannføring var lav ved måling av lengdeprofiler, og dette kan ha ført til at drop-høyde ble målt til å være lavere enn den virkelig vil være ved høyere vannføring. Med mer vann tilstede i kanalen under feltarbeid ville jeg muligens gjort andre vurderinger av hva som faktisk er djupål, og dermed kunne verdier i steps blitt målt i høyere deler av steps. Ved større vannføring vil vann strømme over høyere deler av steps (Figur 14), og skape større drop-høyde enn det som var tilfelle under feltarbeid. Med en høyere verdi for drop-høyde ville man muligens fått en positiv korrelasjon, der drop-høyde styrer pool-dybde, siden det vil skapes hydraulisk sprang ved vertikalt fall som frigjør energi til erosjon i pools (Church & Zimmermann 2007). På en annen side ville dette også krevd at det var mindre avsatt materiale tilstede i pools, slik at pools hadde vært dypere.

I tillegg til mangelen på korrelasjon mellom parameterne i Tabell 5 og 6 er det også andre geometriske forhold som ikke samvarierer, eller som ikke stemmer med eksisterende litteratur.

Okazaki et al. (2006) sier at drop-høyde er direkte kontrollert av kornstørrelse, og at forholdet mellom disse vil variere fra 0,5 – 1 i størrelsesorden. I Vekveselva finner jeg ingen korrelasjon mellom disse parameterne, da kornstørrelse er mye større enn drop-høyde. I motsetning til Okazaki et al. (2006) sine resultater blir aldri drop-høyde like stor, eller halvparten så stor som kornstørrelse i Vekveselva, da drop-høyde er 0,34 meter og gjennomsnittlig kornstørrelse er 1 meter eller mer i hvert enkelt step. En mulig forklaring på at kornstørrelse generelt er større enn drop-høyde i Vekveselva kontra andre steder er betydningen av sedimenttilførsel for småskala morfologi, der kobling til aktive sedimentkilder som skredsår bidrar til grovt og usortert materiale i kanalen.

Andre observasjoner av Okazaki et al. (2006) er at step-bredde korrelerer med kornstørrelse, der bredden i steps er 4 – 7 ganger større enn kornstørrelse, og at lengde- og breddeforhold i pools samvarierer, hvor pool-lengde og bredde er 3 ganger større enn kornstørrelse.

I Vekveselva er det ingen korrelasjon mellom step-bredder og kornstørrelse, og størrelsesforholdet er mindre enn i andre studier (Okazaki et al. 2006). Gjennomsnittlig kornstørrelse i ulike steps innenfor elvestrekket varierer fra 0,99 m – 1,37 m, og gjennomsnittlig verdi for todimensjonal step-bredde er 2,73 meter. Her burde bredder i steps vært på rundt 4 meter og oppover for å stemme overens med empiri. Dette avviket fra eksisterende litteratur kan forklares ut fra lokale forhold i Vekveselva som tilgang på kolluvialt materiale, og lateral begrensning av kanal. Tilgang på grovt materiale kan medføre at kornstørrelsen i Vekveselva generelt er grovere enn andre steder hvor geometri har blitt undersøkt, og den laterale begrensningen som kanalen i Vekve har kan være medvirkende til at steps er smalere enn andre steder.

Korrelasjonsanalyser mellom parametere for bredder og lengde i pools i Vekve viser heller ingen samvariasjon. I bivariat analyse mellom pool-lengde og todimensjonal bredde i midtre deler av pools er det ingen positiv samvariasjon (Tabell 7), som tilsier at bredde og lengde i pools øker med hverandre. I en multivariat analyse mellom alle målte bredder i pools opp mot pool-lengde kommer det frem en positiv korrelasjon (Tabell 7), men resultatet er ikke signifikant.

6.4.2 Resultater som stemmer med eksisterende litteratur

Nå er det ikke slik at det kun kommer frem resultater fra Vekveselva som enten ikke er pålitelige, eller som ikke stemmer overens med litteratur. I Tabell 7 er det også forhold der parametere har positiv samvariasjon, og samtidig stemmer med eksisterende litteratur.

I lengdeprofilen fra 2013 ser man en tendens til at pool-lengde korrelerer med kornstørrelse og største nøkkelstein. Dette samsvarer med Okazaki et al. (2006) som sier at geometri i pools blant annet kontrolleres av kornstørrelse.

I de bivariate analysene mellom kornstørrelse og største nøkkelstein i forhold til pool-lengde varierer korrelasjonskoeffisienten fra 0,59 til 0,60 (Tabell 7). Sterkest positiv korrelasjon er det i den bivariate analysen hvor kornstørrelse brukes som uavhengig variabel opp mot pool-lengde. Ingen av resultatene er statistisk signifikante viss man tar hensyn til satt signifikansnivå på 0,10, men verdiene for de bivariate analysene er svært nærme med en signifikansverdi på 0,16. Dette kan anses som ganske pålitelig, og en kan se en tendens til at større dimensjoner i kornstørrelse og største nøkkelstein fører til lengre pools i Vekveselva.

De mest pålitelige funnene som kommer frem i analysen av step-pool geometri er to multivariate analyser.

De multivariate analysene viser at todimensjonal bredde i pools, direkte nedstrøms step, samvarierer med kornstørrelse/største nøkkelstein og step-høyde.

Den mest pålitelige samvariasjonen mellom disse to er når gjennomsnittlig kornstørrelse og step-høyde brukes som uavhengige variabler. Man får da en positiv korrelasjonskoeffisient på 0,82 som er statistisk signifikant. Dersom man bytter ut kornstørrelse med største nøkkelstein i den samme analysen får man en korrelasjonskoeffisient på 0,74, og en signifikansverdi på 0,2.

Grunnen til at man får en sterkere korrelasjon ved bruk av gjennomsnittlig kornstørrelse i tverrprofil fra step kontra største nøkkelstein er naturlig, da kornstørrelse baseres på målinger fra hele tverrprofilens bredde og største nøkkelstein kun er basert på verdien til en stein i hvert enkelt step. Det er logisk med størst korrelasjon ved bruk av kornstørrelse siden det sammenlignes opp mot todimensjonal bredde i nedstrøms pool, som også strekker seg over hele bredden til pool.

Med bakgrunn i disse multivariate analysene vil todimensjonal bredde i pools kontrolleres av dimensjoner som step-høyde og kornstørrelse, der større step-høyde og kornstørrelse fører til et bredere nedstrøms pool.

For å forklare en slik sammenheng må man igjen se tilbake på hydraulikk for oppbygning av step-pool morfologi og geometri. I perioder med større vannføring og submerged flow vil vann strømme over større deler av tverrprofil i steps i Vekveselva, og dermed føre til større potensial for lateral erosjon i nedstrøms pool (Chartrand et al. 2011). Dette kan føre til at bredder i pools utvides under flomhendelser viss eksisterende morfologi er initiert av mindre flomhendelser (Chartrand et al. 2011), noe som kan være tilfelle med tanke på flommen i Vekveselva i 2011. Et annet poeng som må trekkes frem er betydningen av størrelsen på steps for utformingen av nedstrøms pool. Korrelasjonsanalysene viser at pool-bredde øker med størrelse på oppstrøms step, altså er pool-bredde størst nedenfor de største steppene i feltområdet. Chin (2003) sier at store steps har større strømningsmotstand enn mindre, noe som spesielt sees på en lengre temporal skala da mindre steps lettere blir oversvømt. De største steppene har større potensial for å frigjøre energi til erosjon gjennom større drop-høyde og hydrauliske sprang, og det er dermed naturlig at pool-bredden er størst i tilknytning til disse.

6.5 Vurdering av metodebruk i felt og databehandling

Avslutningsvis i diskusjonen er det naturlig å rette et kritisk blikk på hvordan bruk av metode og databehandling har påvirket resultatene.

6.5.1 Feltarbeid og design

Under selve feltarbeidet og innsamling av data er det noen valg som kan ha hatt større og mindre betydning.

Jeg valgte innledningsvis å se bort i fra en numerisk tilnærming til identifisering av steps og pools i lengdeprofil ved hjelp av kanalbredde som normaliseringsverdi. Til tross for dette ble jeg likevel nødt til å definere en kanalbredde ved oppmåling av bredder i steps og pools under feltarbeid. Dette er altså en motsigelse, men for å få en tredimensjonal tilnærming til geometri var jeg nødt til å sette en grense for skille mellom elva og elvebankene. Denne grensen ble som sagt definert ved å måle tverrprofiler i den delen av elva som under feltarbeid var aktivisert, og sto under vann.

Dette kan ha ført til at breddene i steps og pools ikke er korrekte, men de er målt på en konsekvent måte som gjør de sammenlignbare med hverandre.

6.5.2 Databehandling

Valg som er gjort underveis i behandling av datamaterialet vil også påvirke endelige resultater.

Tidligere i diskusjonsdelen har mangel på samvariasjoner mellom parametere i step-pools blitt forklart ut i fra lokale faktorer i feltområdet. En annen faktor som vil ha påvirkning er valg av satt signifikansnivå. I oppgaven ble nivået satt til 0,10, og korrelasjoner med høyere verdier ble ansett til å ikke være valide. Det strenge signifikansnivået kan være en ulempe ved at man får mindre gyldige resultater (Davis 2002), men samtidig vet man at de resultatene man faktisk får er valide. Valg av satt signifikansnivå innen geologi og geografi er en balansegang, der et mildt nivå kan føre til mange usikre resultater og et strengt nivå kan føre til at man aldri ser sammenhenger (Davis 2002).

I resultatene fra Vekveselva er det få korrelasjoner som ut fra satt signifikansnivå er valide. Muligens er satt nivå på 0,10 noe strengt da det opereres med flere usikre verdier innenfor elvestrekket, men de resultatene som er signifikante kan vertfall ansees som valide. Med et mildere signifikansnivå ville man sett flere sammenhenger, men derimot risikert mindre pålitelighet.

Et annet aspekt i forhold til oppgavens statistikkdel er valg av signifikanstest og signifikansmål. Jeg har brukt ANOVA-test til å kontrollere om korrelasjonskoeffisientene er signifikante eller ikke, og har ikke tatt hensyn til hvor mange enheter og variabler korrelasjonsanalysene er basert på.

Det jeg muligens burde gjort er å definere hvor mange enheter hver enkelt bi- eller multivariate analyse er basert på, og derifra konkludert ut i fra en eksisterende korrelasjonstabell om koeffisienter er signifikante eller ikke. I en slik tabell settes det ulike signifikansmål for hver enkelt analyse basert på hvor mange observasjoner den inneholder (Davis 2002). Ved bruk av et slikt oppsett kunne den geometriske analysen i min oppgave sett annerledes ut.

7. Konklusjon

Ut i fra GNSS-målinger bærer step-pool geometri i Vekveselva preg av en innsnevring i bredde over steps, og en utvidelse av bredde i pools. Bredden i pools øker med verdier for høyde, kornstørrelse og største nøkkelstein i oppstrøms step. Det er også en tendens til at pool-lengde øker med dimensjoner for kornstørrelse og største nøkkelstein i oppstrøms step.

Kombinasjon av lengdeprofil og tverrprofiler tilsier at utvidelse av bredde i pools skyldes lateral erosjon ved høy vannføring, der større deler av tverrprofil i steps blir aktivisert. Dette bekreftes med en positiv samvariasjon mellom step-høyde/kornstørrelse og todimensjonal bredde i nedstrøms pool, der pools med størst todimensjonal bredde er tilknyttet de største steppene.

Sammenlignet med eksisterende litteratur kommer det frem resultater fra geometri i Vekveselva som ikke stemmer overens med empiri, og resultater som stemmer med empiri.

Det er ingen samvariasjon mellom parametere som drop-høyde og pool-dybde, kornstørrelse og step-høyde, kornstørrelse og drop-høyde og kornstørrelse og step-bredde. Forhold mellom lengde og bredde i pools ser heller ikke ut til å samvariere, noe som motstrider empiri.

På en annen side er det samvariasjon mellom dimensjoner for kornstørrelse og største nøkkelstein i step, og lengde i nedstrøms pool. I tillegg samvarierer todimensjonal bredde i pools med dimensjoner for høyde og kornstørrelse i oppstrøms step, noe som stemmer med eksisterende litteratur.

8. Råd til videre forskning i Vekveselva

I etterkant er det lett å se seg tilbake og reflektere over ting som kunne vært gjort annerledes. Typisk nok er det som regel slik at feil må gjøres før man tar lærdom av det.

I oppstartsfasen med masteroppgaven hadde jeg relativt lite kjennskap til differensiell GPS som metode, og relativt liten erfaring med planlegging av feltdesign. Når feltarbeid var gjennomført ble det oppdaget noen feil og mangler som dette dessverre førte til. Disse erfaringene presenteres avslutningsvis i oppgaven, slik at andre som skal jobbe med differensiell GPS opp mot step-pools i Vekveselva kan notere seg dette bak øret.

Før feltarbeid skal startes er det svært viktig at forskeren allerede har kjennskap til hvordan differensiell GPS fungerer i praksis, og hvordan utstyret skal settes opp. Oppsett av basestasjon kan være en tidkrevende prosess, som vil spise masse tid dersom man ikke har gjort det før. Under feltarbeid opplevde jeg flere ganger at det ble brukt for mye tid til oppsett, slik at jeg fikk mindre tid til spesifikt feltarbeid. Et tips kan derfor være å øve på oppsett av utstyret på skolen før man drar i felt.

Ved behandling av mine GPS-data er det spesielt to elementer jeg har savnet i datamaterialet, som ville effektivisert behandlingen og økt kvaliteten.

Under oppmåling av lengdeprofiler burde det blitt tatt bilder av hver enkelt step-pool enhet med det innebygde kameraet i måleboken som tilhører differensiell GPS. Dette kameraet har GPS-funksjon, slik at alle bilder i etterkant kan knyttes opp mot hvert enkelt step og pool. Med tilgang på bilder kan numeriske data for parameter som step-høyde, step-bredde og kornstørrelse lettere gjenkjennes og illustreres.

Et annet element som ville økt kvaliteten på datamaterialet er måling av eksakt vannhøyde i hvert enkelt pool ved feltarbeid. Dersom jeg hadde hatt en verdi for vannhøyde i pools ville verdier for parametere som pool-dybde og drop-høyde blitt mer eksakte, og jeg ville muligens fått flere sterke positive korrelasjoner i den geometriske analysen.

Alt i alt vil jeg anbefale å starte med feltarbeid svært tidlig, og ha kjennskap til metodebruk på forhånd. Vær ekstremt nøye med feltdesign, og vær på forhånd bevisst på hva man faktisk ønsker å måle. Når målet med datainnsamling er definert bør man

deretter spørre seg: Hvilke data må jeg ha for og kunne beskrive parameterne på en best mulig måte, og hvordan skal jeg måle det?

Som masterstudent har man sjelden erfaring med relevant metodebruk, og typisk er det få feltdager til rådighet. Jeg anbefaler sterkt å starte med feltarbeid tidlig, slik at man også kan starte databehandlingen i god tid. Feil og mangler med feltarbeid blir som regel ikke oppdaget før man får sett data på en PC-skjerm, og det er dermed viktig at man fortsatt har tid til å gjøre mer feltarbeid.

Et siste råd går til de som eventuelt ønsker å videreføre forskning på step-pool geometri i Vekveselva. Vær klar over at Vekve er et kaotisk system med tilgang på svært grovt materiale, og en udefinert kanalbredde. Min oppgave har fokusert på et kort elvestrekke med tilknytning til aktive sedimentkilder, noe som i etterkant ikke kan ansees som ideelt.

Jeg vil derfor anbefale å analysere geometri i strekker av elva som ligger lengre nedstrøms i retning sedimentasjonsdammen. Her er elveløpet mer uniformt, og en har en tydeligere definert kanalbredde som lettere kan brukes i analyse. Målinger av geometri step-pools vil her være enklere da kolluvialt materiale ikke vil påvirke elvebunnen i like stor grad, og en kan få data for parametere i geometri som lettere er sammenlignbare.

9. Referanser

- Benda, L., Hassan, M. A., Church, M., & May, C. L. 2005: Geomorphology of Steepland Headwaters: The Transition from Hillslopes to Channels, i *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, Vol. 41(4), 835-851.
- Buffington, J. M., Lisle, T. E., Woodsmith, R. D., & Hilton, S. 2002: Controls on the size and the occurrence of pools in coarse-grained forest rivers, i *River Research and Applications*, Vol. 18, 507-531.
- Chanson, H. 2001: *The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways*. Brookfield, Vermont.
- Chartrand, S. M., Jellinek, M., Whiting, P. J., & Stamm, J. 2011: Geometric scaling of step-pools in mountain streams: Observations and implications, i *Geomorphology*, Vol. 129 (1-2), 141-151.
- Chartrand, S. M., & Whiting, P. J. 2000: Alluvial architecture in headwater streams with special emphasis on step-pool topography, i *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 25 (6), 583-600.
- Chiari, O., & Rickenmann, D. 2011: Back-Calculation of bedload transport in steep channels with a numerical model, i *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 36, 805-815.
- Chin, A. 1998: On the Stability of Step-Pool Mountain Streams, i *The Journal of Geology*, Vol. 106 (1), 59-70.
- Chin, A. 1999: The morphologic structure of step-pools in mountain streams, i *Geomorphology*, Vol. 27 (3-4), 191-204.
- Chin, A. 2003: The geomorphic significance of step-pools in mountain streams, i *Geomorphology*, Vol. 55 (1-4), 125-137.

- Chin, A., & Phillips, J. D. 2006: The self-organization of step-pools in mountain streams, i *Geomorphology*, Vol. 83 (3-4), 346-358.
- Chin, A., & Wohl, E. 2005: Toward a theory for step pools in stream channels, i *Progress in Physical Geography*, Vol. 29 (3), 275-296.
- Church, M. 2002: Geomorphic thresholds in riverine landscapes, i *Freshwater Biology*, Vol. 47 (4), 541-557.
- Church, M., & Zimmermann, A. 2007: Form and stability of step-pool channels: Research progress, i *Water Resources Research*, Vol. 43 (3), 1-21.
- Comiti, F., Cadol, D., & Wohl, E. 2009: Flow regimes, bed morphology, and flow resistance in self-formed step-pool channels, i *Water Resources Research*, Vol. 45, 1-18.
- Curran, J. C. 2007: Step-pool formation models and associated step spacing, i *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 32 (11), 1611-1627.
- Curran, J. C., & Wilcock, P. R. 2005: Characteristic dimensions of the step-pool bed configuration: An experimental study, i *Water Resources Research*, Vol. 41 (2), 1-11.
- Davis, J. C. 2002: *Statistics and Data Analysis in Geology*. Kansas Geological Survey, The University of Kansas.
- Gomi, T., Sidle, R. C., Woodsmith, R. D., & Bryant, M. D. 2003: Characteristics of channel steps and reach morphology in headwater streams, southeast Alaska, i *Geomorphology*, Vol. 51 (1-3), 225-242.
- Google Earth. 2011: *DigitalGlobe*. Hentet 11.11.14 fra <https://www.google.com/earth/> Google, Mountain View, California.

- Higgitt, D. L., & Warburton, J. 1999: Applications of differential GPS in upland fluvial geomorphology, i *Geomorphology*, Vol. 29 (1-2), 121-134.
- Hoel & Sønner. 2011: *Vekve Sedimenteringsdam*. Hentet 19.03.15 fra <http://www.hoelogsonner.no/Referanse%20Vekve%20sedimenteringsdam.html>
- Hoel & Sønner AS, Oppdal.
- Iversen, M. 2013: *Kartlegging av step-pool-morfologi med differensiell GPS*. Geografisk Institutt, NTNU, Trondheim.
- Johannessen, A. 2009: *Introduksjon til SPSS*. Abstrakt forlag, Oslo.
- Keiler, M., Knight, J., & Harrison, S. 2010: Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps, i *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, Vol. 368, 2461-2479.
- Knighton, D. 1998: *Fluvial Forms and Processes*. Hodder Education, London.
- Koll, K., & Dittrich, A. 2001: Influence of sediment transport rates on armoured surfaces, i *International Journal of Sediment Resources*, Vol. 16, 201-206.
- Koll, K. J., Aberle, J., & Dittrich, A. 2000: *Bed instability in steep mountain streams*. EROSLOPE II, Universität Fridericiana zu Karlsruhe: Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. Karlsruhe, Tyskland.
- Kundzewicz, Z., Ulbrich, U., Brücher, T., Graczyk, D., Krüger, A., Leckebusch, G., Menzel, L., Pinskiwar, I., Radziejewski, M., & Szwed, M. 2005: Summer floods in Central Europe - climate change track? I *Natural Hazards*, Vol. 36, 165-189.
- Lenzi, M. A. 2001: Step-pool evolution in the Rio Cordon, northeastern Italy, i *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 26 (9), 991-1008.
- Lenzi, M. A., & D'Agostino, V. 2000: *Step pool evolution in an Alpine torrent*. Department of Land and Agroforest Environments, University of Padova, Legnaro (Padova), Italia.

- Mazzorana, B., Comiti, F., Scherer, C., & Fuchs, S. 2011: Developing consistent scenarios to assess flood hazards in mountain streams, i *Journal of Environmental Management*, Vol. 94, 112-124.
- Mevik, C. 2013: *Morfometrisk analyse av step-pools i Vekveselva, Trollheimen*. Geografisk Institutt, NTNU, Trondheim.
- Molnar, P., Densmore, A. L., McArdell, B. W., Turowski, J. M., & Burlando, P. 2010: Analysis of changes in the step-pool morphology and channel profile of a steep mountain stream following a large flood, i *Geomorphology*, Vol. 124 (1-2), 85-94.
- Nickolotsky, A., & Pavlowsky, R. T. 2007: Morphology of step-pools in a wilderness headwater stream: The importance of standardizing geomorphic measurements, i *Geomorphology*, Vol. 83, 294-306.
- NGU. 2015: *Løsmasser. Nasjonal løsmassedatabase*. Hentet 19.03.15 fra <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> Norges geologiske undersøkelse, Trondheim.
- NVE. 2015: *NVE Atlas*. Hentet 19.03.15 fra <http://atlas.nve.no/SilverlightViewer/?Viewer=NVEAtlas> Norges Vassdrags- og energidirektorat, Oslo.
- Okazaki, T., Gonda, Y., Nishii, Y., & Kawabe, H. 2006: Characteristics of Step-Pool Morphology in the Mountain Streams of Japan, i *Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides*, 379-390.
- Recking, A., Leduc, P., Liebault, F., & Church, M. 2012: A field investigation of the influence of sediment supply on step-pool morphology and stability, i *Geomorphology*, Vol. 139, 53-66.
- Schumm, S. A., & Lichty, R. W. 1965: Time Space and Causality in Geomorphology, i *American Journal of Science*, Vol. 263 (2), 110-119.

Statens kartverk. 2009: *Satellittbasert posisjonsbestemmelse*. Hentet 22.04.15 fra http://kartverket.no/Documents/Standard/Bransjestandarder%20utover%20SOSI/satba_spossystemer.pdf Statens kartverk Geodesi, Hønefoss.

Statens kartverk. 2014: *CPOS brukerveiledning*. Hentet 22.04.15 fra <http://kartverket.no/Posisjonstjenester/CPOS/CPOS-brukerveiledning/> Statens kartverk Geodesi, Hønefoss.

Weichert, R. B., Bezzola, G. R., & Minor, H. E. 2008: Bed morphology and generation of step-pool channels, i *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 33 (11), 1678-1692.

Wohl, E. E., & Thompson, D. M. 2000: Velocity characteristics along a small step-pool channel, i *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 25 (4), 353-367.

Wooldridge, C. L., & Hickin, E. J. 2002: Step-pool and cascade morphology, Mosquito Creek, British Columbia: a test of four analytical techniques, i *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 39 (4), 493-503.

Wu, S., & Rajaratnam, N. 1996: Submerged flow regimes of rectangular sharp-crested weirs, i *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 122, 412-414.

Wyrick, J. R., & Pasternack, G. B. 2008: Modeling energy dissipation and hydraulic jump regime responses to channel nonuniformity at river steps, i *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, 1-25.

Yager, E. M., Turowski, J. M., Rickenmann, D., & McArdeell, B. W. 2012: Sediment supply, grain protrusion, and bedload transport in mountain streams, i *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, 1-5.

Zimmermann, A., & Church, M. 2001: Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel, i *Geomorphology*, Vol. 40 (3-4), 311-327.

Zimmermann, A. E., Church, M., & Hassan, M. A. 2008: Identification of steps and pools from stream longitudinal profile data, i *Geomorphology*, Vol. 102 (3-4), 395-406.