

**Masteroppgave ved Geografisk Institutt, NTNU**

Magnus Iversen

**Kartlegging av step-pool-  
morfologi med differensiell GPS**

Trondheim, mai 2013



## **Abstract**

Selected reaches of a step-pool-river in Oppdal, Norway were surveyed using differential GPS. Step-pools is a morphology characteristic of upland rivers with high gradient and large supply of coarse sediments, where channel units are restructured by floods of high magnitude. Differential GPS produces real-time corrected, highly accurate satellite-based positioning and height measurements.

The goal of the study was to measure changes in morphologic variables from the spring flood period between 2011 and 2012, and also to determine if differential GPS produces valid, comparable results without subjective bias.

The analysed field data proved inconclusive. For many reaches, the chosen measuring points from the two years were as much as 5 meters apart, while others overlapped well. In some cases, individual steps could be identified in data from both years, while other reaches showed little similarity. Statistical analysis of variables like step wavelength, height etc. showed relatively large deviations in the measured data.

Researcher subjectivity must be seen as a large source of these deviations. Field classification of study units leaves different operators with the possibility of choosing different measuring points. In some cases, actual channel change could be verified with pictures, but lack of further verification in the form of discharge data makes it difficult to establish what is actual change and what is subjectivity.

Some key improvements are listed for future studies: Train extensively in the use of D-GPS equipment before field work, document the field work with as many pictures as possible, and discuss the selection of measuring points during the actual field work. D-GPS, with the right preparations, has the potential of becoming a useful tool for fluvial-geomorphological field work.





Trondheim, 10. mai 2013

## Forord

Sju innholdsrike studieår tigger ubønnhørlig mot slutten, og jeg skal prøve å oppsummere dem gjennom et givende og interessant forord til masteroppgaven min. Men i stedet for svevende metaforer, livsfilosofi og Paulo Coelho-sitater, tror jeg at jeg bare går rett på sak og ærer dem som æres bør. (For pretensiøse sitater, se side 4)

Det er mange som må takkes for innsats og hjelp med å løse meg gjennom studietida generelt og masteroppgaven spesielt. Alle mine medstudenter på lesesal 7357 har bidratt til å gjøre de siste to årene til en fantastisk sosial, morsom og faglig konstruktiv tid. I feltarbeidet har jeg hatt god hjelp av de supre feltassistentene Kristoffer, Jørn, Emil, Ida, Line, Johanne og Linda, stor takk til dere!

Det lille, men fullstendig uovertrufne naturgeografiske fagmiljøet på Geografisk Institutt representert ved Geir Vatne og Ivar Berthling må også nevnes: Mange gode forelesninger og feltkurs gjennom årene fikk meg til å oppdage og opprettholde min lidenskap for naturgeografi. En spesielt stor takk til Geir som også har vært min veileder i arbeidet med masteroppgaven.

Takk også til Ole-Gunnar, Elin og Emma for korrekturlesing, påfyll av fisk og grønnsaker i et ellers pølsebasert kosthold, og generelt for å være mine aller beste venner.

Og sist men ikke minst: takk til mamma Marit og pappa Gunnar for all støtte, oppmuntring og god oppdragelse dere har bidratt med gjennom årene. Jeg kunne ikke fått bedre foreldre enn det dere er!

... og med det erklærer jeg meg offisielt ferdig med min reise gjennom det norske skoleverket. Takk for meg!

Hilsen Magnus 



# Innholdsfortegnelse

<b>Abstract</b> .....	I
<b>Forord</b> .....	III
<b>Figurliste</b> .....	VII
<b>Tabell-liste</b> .....	VIII
1 Innledning.....	1
1.1 Områdebeskrivelse .....	2
1.2 Problemstilling/forskningsmål.....	4
1.3 Oppgavens struktur.....	5
2 Teori .....	7
2.1 Step-pool-morfologi .....	7
2.1.1 Step-pool-fagfeltet i dag.....	7
2.1.2 Morfologisk beskrivelse av step-pool-systemer.....	7
2.1.3 Step-pool-systemers rolle .....	9
2.1.4 Prosessene bak step-pool-systemer .....	9
3 Metode.....	13
3.1 Globale navigasjonssatelittsystemer.....	13
3.1.1 GPS.....	13
3.1.2 Andre globale navigasjonssatelittsystemer .....	13
3.2 Teknikken bak .....	14
3.2.1 Differensiell GPS og sanntidskorreksjoner .....	15
3.3 Differensiell GPS/GNSS i geomorfologisk forskning.....	15
3.4 Måleutstyret brukt i denne studien .....	16
3.5 Feltarbeid.....	17
3.6 Analysemetoder .....	19
3.6.1 Klassifisering av enheter .....	20
3.6.2 Komparabilitet med eksisterende datasett.....	22
3.7 Målekriterier i tilsvarende studier.....	24
4 Resultater.....	27
4.1 Komparative strekk av elva .....	27
4.1.1 Strekning 1 .....	29
4.1.2 Strekning 2 .....	31
4.1.3 Strekning 3 .....	33
4.1.4 Strekning 4 .....	35
4.1.5 Strekning 5 .....	37
4.1.6 Strekning 6 .....	39

4.1.7	Strekning 7 .....	41
4.1.8	Strekning 8 .....	43
4.2	Endringer i step-pool-faktorer mellom målesettene .....	45
4.3	Vannføringsdata.....	45
5	Diskusjon/drøfting av resultater .....	49
5.1	Hva er grunnen til forskjellen i måleresultatene mellom årene? .....	49
5.1.1	Faktiske forandringer i elvekanalen .....	49
5.1.2	Snittlengder .....	51
5.1.3	Læringskurve på praktisk bruk av metoden .....	52
5.1.4	Forskjell i lokale forhold mellom måleperiodene .....	53
5.2	Valg av målepunkter og måleintervaller .....	55
5.2.1	Kvalitativ utvelgelse av datapunkter og teoriavhengighet .....	55
5.2.2	Skala .....	57
5.2.3	Gode metodologiske forbilder.....	58
5.3	Praktisk bruk av differensiell GPS i feltarbeid .....	59
5.4	Et forbedret forskningsdesign.....	61
6	Konklusjon .....	65
7	Referanser.....	67
7.1	Referanseliste.....	67

## Figurliste

Figur 1: En 3D-fremstilling av studieområdet. De orange buene viser de oppmålte elvestrekkene. Sedimenteringsdammen synes i nedre venstre hjørne. Synsvinkelen i bildet peker nordover. (Høydedata: N50-kartserien fra Statens Kartverk, ortofoto: norgebilder.no) .....	2
Figur 2: Oversiktskart over løsmasseforholdene i studieområdet. (Geologisk kartdata fra Norges geologiske undersøkelse (www.NGU.no), ortofoto hentet fra Norgeskart.no).....	3
Figur 3: Vanlige variabler i bruk for å uttrykke step-pool-morfologi (Hentet og tilpasset fra Chin & Wohl (2005)). .....	8
Figur 4: En av Geografisk Institutt's Altus APS-3-enheter satt opp som basestasjon i Vekve under feltarbeidet i september 2012. ....	16
Figur 5: Mini-PCen som kjører programvaren som kontrollerer GPS-enhetene. (Bilde: Handheld Group, www.nautiz.com) .....	17
Figur 6: Forholdene i Vekve under forsøket på feltarbeid 23. mai 2012. Høy vannføring, dårlig sikt i vannet og mye snø rundt elva gjorde at feltarbeidet ble avlyst av sikkerhetsgrunner.....	18
Figur 7: Illustrasjon av vanskeligheten med å definere "bankfull width". Bildet er tatt i de øverste delene av strekning 7. (Foto: Caroline Mevik).....	21
Figur 8: Illustrasjon av kystlinjeparadokset i geografiske data. Tallene representerer total lengden på linjene. ....	23
Figur 9: Kartfremstilling av de ulike måletraseene i strekning 1. ....	29
Figur 10: Høydedata for de to strekkene. Strekningen fra 2011 har lavere snittavstand mellom målingene og får dermed en lengre kumulativ lengde, selv om den dekker samme område som 2012-målingene. ....	30
Figur 11: Horisontal fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 2.....	31
Figur 12: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.....	32
Figur 13: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 3. ....	33
Figur 14: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.....	34
Figur 15: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 4. ....	35
Figur 16: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.....	36
Figur 17: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 5. ....	37
Figur 18: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012. Legg også merke til ca 10 meters forskjell i absolutte høydeverdier mellom målesettene. ....	38
Figur 19: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 6. ....	39
Figur 20: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012. Legg merke til at selv om intervallene på Y-aksen er lik (1 meter), er de absolutte verdiene forskjellige.....	40
Figur 21: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 7. ....	41
Figur 22: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.....	42
Figur 23: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 8. ....	43
Figur 24: Lengdeprofilen til de to måleseriene fra henholdsvis august og september 2012. ....	44
Figur 25: Vannføringsdata fra sedimenteringsdammen i Vekveselva for mai og juni 2011.....	46
Figur 26 (over): Vekveselva under flomvannføring i juni 2010. Bildet er tatt ca 50 meter oppstrøms for sedimenteringsdammen. (Foto: Geir Vatne) .....	47
Figur 27: Det samme området i oktober 2011 på normal vannføring. Legg merke til posisjonen til de to store steinene i midten av begge bildene som referansepunkt. (Foto: Geir Vatne).....	47
Figur 28: Innløpet til sedimenteringsdammen under feltarbeidet i 2011. Legg merke til posisjonen til betongrørene og den store steinen under. (Foto: Geir Vatne) .....	49
Figur 29: Innløpet til sedimenteringsdammen under feltarbeid i 2012. Betongrørene og den store steinen i underkant er referansepunkter fra forrige bilde. Fotografen står nå omtrent på samme sted som operatøren i Figur 28. ....	50
Figur 30: Valg av målepunkter under feltarbeid i 2011. (Foto: Geir Vatne).....	54
Figur 31: Bildet viser valg av målepunkt på tilsvarende sted som Figur 30, fra feltarbeidet i 2012.....	54
Figur 32: Bildet er tatt under feltarbeid i 2011, og illustrerer Vekveselvas morfologi. (Foto: Geir Vatne).....	57
Figur 33: Forskjell i korrelasjon mellom step-høyde og bølgelengde ved bruk av forskjellige analysemetoder. (Nickolotsky & Pavlowsky 2007) .....	59

## Tabell-liste

Tabell 1: Oversikt over et utvalg av studier som har involvert feltmålinger av step-pool-morfologi... 25	25
Tabell 2: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 1..... 30	30
Tabell 3: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 2..... 32	32
Tabell 4: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 3..... 34	34
Tabell 5: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 4..... 36	36
Tabell 6: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 5..... 38	38
Tabell 7: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 6..... 40	40
Tabell 8: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 7..... 42	42
Tabell 9: Endring i analyserte faktorer mellom målesettene. Stepbølgelengde og målepunktlengde oppgis i prosent, mens antall steps og gradient som oppgis i absolutte tall. .... 45	45

## 1 Innledning

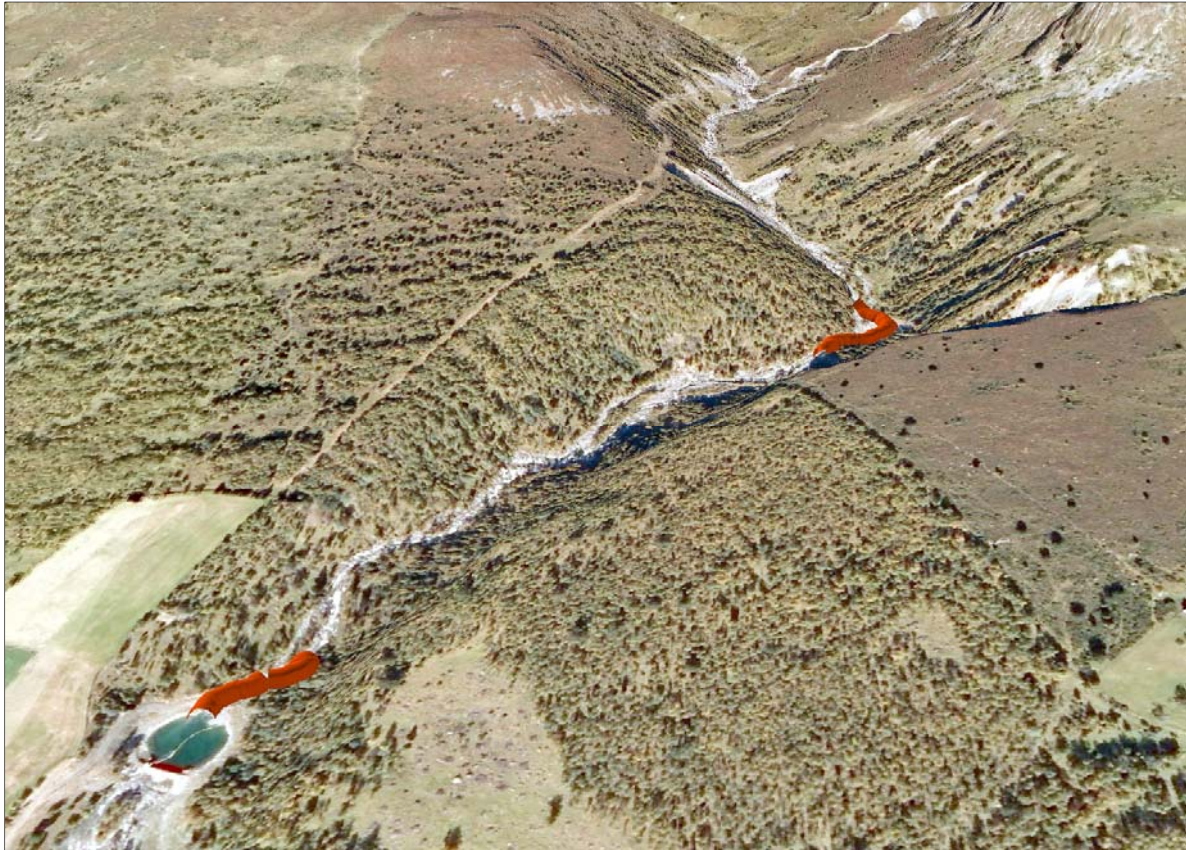
Når man som naturgeograf bedriver feltarbeid og kartlegger naturlige enheter, er det lett å få en overdreven tro på representativiteten i datagrunnlaget man samler inn, naturen kan jo tross alt ikke lyve! Likevel kan det være sunt for vitenskapsfeltet å kaste et nærmere blikk på feltarbeid og det resulterende datagrunnlaget som er råmateriale for analyser og konklusjoner i forskningen. I hvilken grad kan man se felldata løsrevet fra forskerens innflytelse og valg?

Nytt moderne og nøyaktig teknologisk utstyr bidrar også til at man får en større tro på at dataene man samler inn gir det riktige bildet av naturen slik vi ser den. Man bør likevel gjøre noen undersøkelser om effektiviteten til ny teknologi i geomorfologisk forskning før man tar det ukritisk i bruk.

I denne oppgaven kombineres dette fagfilosofiske og metodiske perspektivet med en studie av step-pool-morfologi i en fjellelv ved Oppdal. Dette er et fagfelt som har vært i stor vekst i de siste 10-15 årene, noe teoridelen av oppgaven også vil vise til. Kunnskap om hvordan steps og pools i elvekanalen blir til og utvikler seg er viktig på områder som f.eks forvaltning av fjellelver som ligger i områder hvor de er i samspill med menneskelig innflytelse. Dette er Vekveselva et godt eksempel på, siden den er en del av inntaksgrunnlaget for et kraftverk. I tillegg har oppbygging av step-pool-morfologi blitt et viktig trinn i prosessen med å restaurere elvekanaler som har blitt utsatt for antropogen innvirkning. Dermed er håpet at denne masteroppgaven kanskje kan bidra til faglig fremgang på dette området.

## 1.1 Områdebeskrivelse

Denne studien er utført i Vekveselva i Oppdal kommune i Sør-Trøndelag. Elva ligger omtrent 5 km vest for Oppdal sentrum. Studieområdet er en strekning av elva hvor den går gjennom en bratt nedskjært V-dal. Figur 1 viser en 3D-fremstilling av studieområdet.



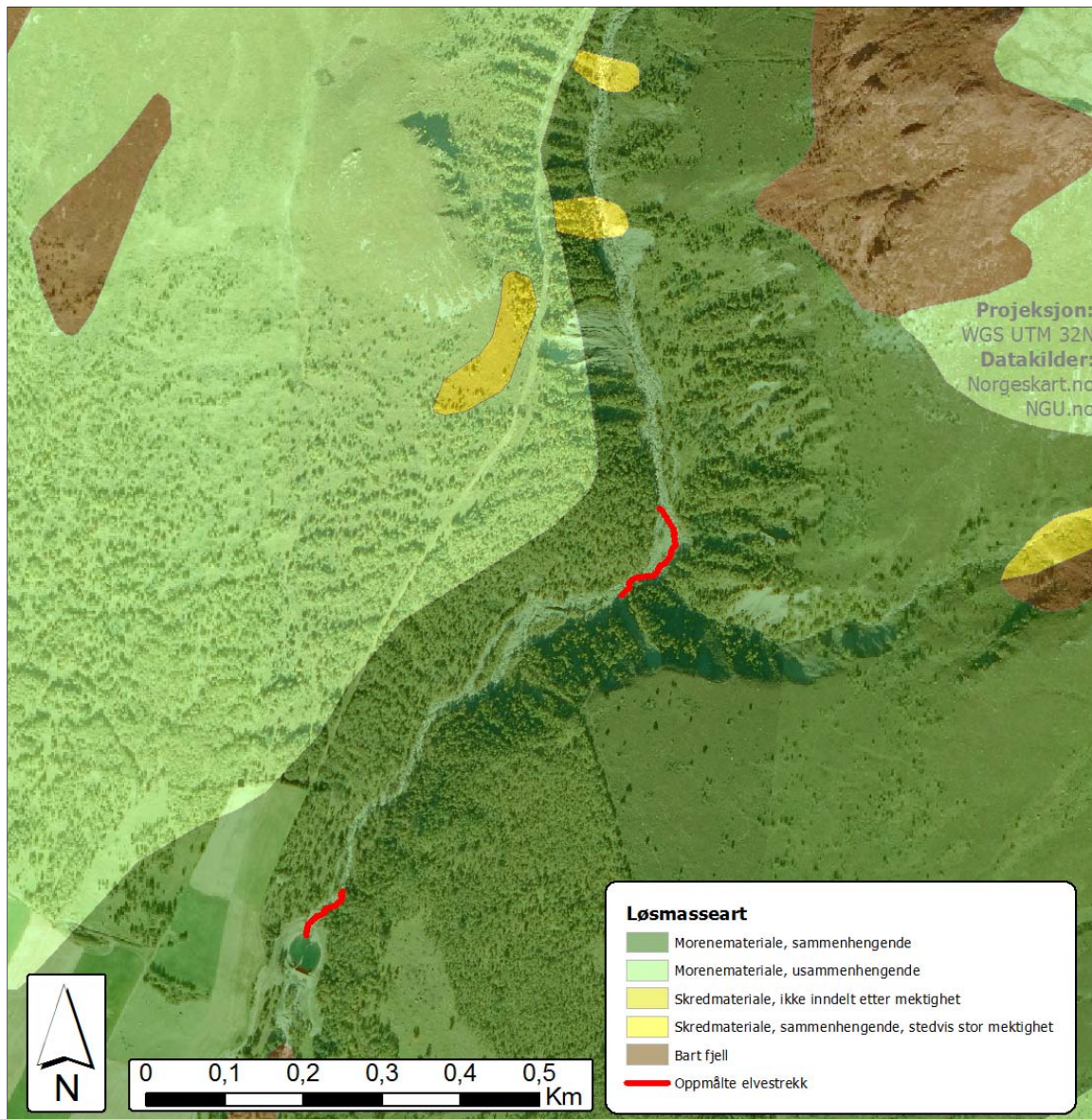
**Figur 1:** En 3D-fremstilling av studieområdet. De orange buene viser de oppmålte elvestrekkene. Sedimenteringsdammen synes i nedre venstre hjørne. Synsvinkelen i bildet peker nordover.  
(Høydedata: N50-kartserien fra Statens Kartverk, ortofoto: norgebilder.no)

Elva har en tappetunnel lengre nedstrøms som fører til et kraftverk. For å hindre at tunnelen fylles opp med sedimenter som blir transportert og avsatt av elva, ble det i 2007 bygd en sedimenteringsdam omtrent ved utløpet av Vekvedalen (Hoel & Sønner AS 2013). Det er farbar bilveg helt opp til dammen, noe som gjør området lett tilgjengelig.

Geografisk institutt ved NTNU har i flere år brukt Vekve-området som feltlaboratorium, og har utført forskning på både skråningsprosesser og hydrologi. Skråningene inneholder både aktive og relikte skredsår. Dammen samler opp sedimentene fra disse slik at man kan få presise estimater av sedimenttransport i elvesystemet.

Sedimenteringsdammen ligger i ca 750 meters høyde over havet. Elva har sin opprinnelse ca 1330 m.o.h, men området hvor målingene i oppgaven er tatt, strekker seg fra sedimenteringsdammen og oppstrøms ca en kilometer, til ca 840 meters høyde. Disse tallene blir nærmere presentert i kapittel 4 (Resultater).





**Figur 2:** Oversiktskart over løsmasseforholdene i studieområdet. (Geologisk kartdata fra Norges geologiske undersøkelse ([www.NGU.no](http://www.NGU.no)), ortofoto hentet fra [Norgeskart.no](http://Norgeskart.no))

Vekvedalen har et jordsmonn som er preget av tettpakket morenejord av gammel alder. Figur 2 viser et jordart-temakart over studieområdet.

Vekveselva er preget av at den har stor tilgang på grovkornet materiale og har et løp med relativt høy gradient. Dette er to av hovedkriteriene som må være til stedet for at en elv skal få en step-pool-morfologi, noe som vil bli videre presentert i teoridelen (kapittel 2). Elva har vært subjekt for andre forskningsprosjekt på step-pool-morfologi (Engvik 2011; Mevik (upublisert); Waldum 2011), noe som viser at det er faglig enighet om klassifikasjonen av Vekveselva som en step-pool-elv.

## 1.2 Problemstilling/forskningsmål

*”Ingen slagplan overlever det første møtet med fienden.”*

-Den tyske militærstrategen Helmut von Moltke.

Feltarbeidet for denne oppgaven la til grunn en forskningsdesign som var noe annerledes enn problemstillingen i den ferdige oppgaven. Planen var å foreta målinger på tre forskjellige tidspunkt og sammenligne disse for å spore endringer i elvas vertikale profil. Etter hvert som utfordringene med feltarbeidet gjorde seg gjeldende (se senere kapitler), måtte denne planen endres til å sammenligne en oppmåling med et eksisterende datagrunnlag. Når så dataene viste seg å inneholde til dels store avvik, ble det igjen nødvendig å modifisere forskningsmålet til å få et mer metodisk fokus.

Derfor ble den ferdige problemstillingen delt opp i flere sidestilte problemstillinger som er følgende:

- På hvilken skala man man påvise og spore endringer i en elvs lengdeprofil ved hjelp av differensiell GPS etter en flomperiode?
- Hvordan er validiteten og reproduserbarheten i et datasett som er samlet inn etter tilsynelatende objektive kriterier?
- Hvilke utfordringer (og mulige løsninger) er forbundet med å benytte differensiell GPS som fluvialgeomorfologisk feltverktøy?
- Hvordan kan man forbedre forskningsdesignet for å redusere subjektivitet og andre feilkilder under datainnsamling?

Resultatene som presenteres i kapittel 4, vil vise nødvendigheten av det metodiske fokuset i problemstillingene. Dette blir også drøftet nærmere i kapittel 5.

### 1.3 Oppgavens struktur

Etter denne innledningsdelen med problemstilling i kapittel 1, gir kapittel 2 en innføring i relevant bakgrunnsteori for å få en forståelse av step-pool-enhetene som er sentral i studien. Kapittel 3 er en sentral del av oppgaven, som tar for seg bakgrunnsteori om differensiell GPS og den praktiske bruken av dette, samt et sammendrag av feltarbeid og analysemetoder.

Kapittel 4 presenterer så resultatene av analysen i form av både kart, grafer og statistikk og kommentarer til disse. Kapittel 5 forsøker først og fremst å forklare resultatene fra forrige kapittel, men drøfter også omkring bruken av differensiell GPS som feltverktøy, subjektivitet i datainnsamling og ideer til et forbedret forskningsdesign. Til slutt vil konklusjonen i kapittel 6 kobles opp mot problemstillingen.

Figurer og tabeller nummereres i stigende rekkefølge uten referanse til kapittel. Der ingenting annet er oppgitt, er bildene som er brukt kreditert forfatteren selv.



## 2 Teori

Denne oppgaven handler om kartlegging av step-pool-morfologi, og dermed er det naturlig å vie noen sider av den til en gjennomgang av det teoretiske grunnlaget på fagfeltet. Siden oppgaven likevel har et hovedsakelig metodisk fokus, vil en stor del av teorien på metodevalg og -bruk bli presentert i metodekapitlet. Dermed vil teoridelen være relativt kort, men forhåpentligvis gi en god og dekkende redegjørelse for morfologi og prosesser knyttet til step-pool-utvikling.

### 2.1 Step-pool-morfologi

Step-pool-morfologi er karakteristisk for fjellelver med en løpsgradient på mer enn 3-5 %, og kjennetegnes av at elva får en trappelignende oppbygning (Knighton 1998). Trinn (steps) bestående av relativt grovt materiale, i samme størrelsesorden som kanaldybde og i enkelte tilfeller –bredde, går på tvers av elvekanalen. Den økte vannhastigheten og vannturbulensen nedstrøms for steps eroderer ut en dypere sone preget av finere materiale, hvilket kalles for pools.

#### 2.1.1 Step-pool-fagfeltet i dag

I de siste 20-25 årene har interessen for og kunnskapen om step-pool-morfologi økt betraktelig (Chin & Wohl 2005). Chin & Wohl kobler det sammen med en økt interesse for fluviale prosesser i fjellområder generelt, og peker på at fjellelver har en disproportjonalt stor regional innflytelse i forhold til dreneringsområde på for eksempel sedimenttransport. Det økte fokuset på dette forskningsområdet har vist at mange forenklinger og antagelser lagd for elver i lavereliggende terreng, ikke klarer å beskrive fjellelver på en adekvat måte. Derfor har step-pool-morfologi fått faglig anerkjennelse som en kategori bunnform og som en subkanaltype innenfor en større kategori fjellelver.

#### 2.1.2 Morfologisk beskrivelse av step-pool-systemer

I artikkelen *Toward a theory for step pools in stream channels* (2005), gir Anne Chin og Ellen Wohl en god generell introduksjon til dette emnet. Steps og pools er en dominerende kanalmorfologi i fjellelver i bratt terreng. De to bestanddelene består av partikler på størrelsesnivå av type småstein (cobbles) og steinblokker (boulders) for steps, og finere sedimenter i pools<sup>1</sup>. I tillegg kan også trær og annet organisk materiale utgjøre deler av steps.

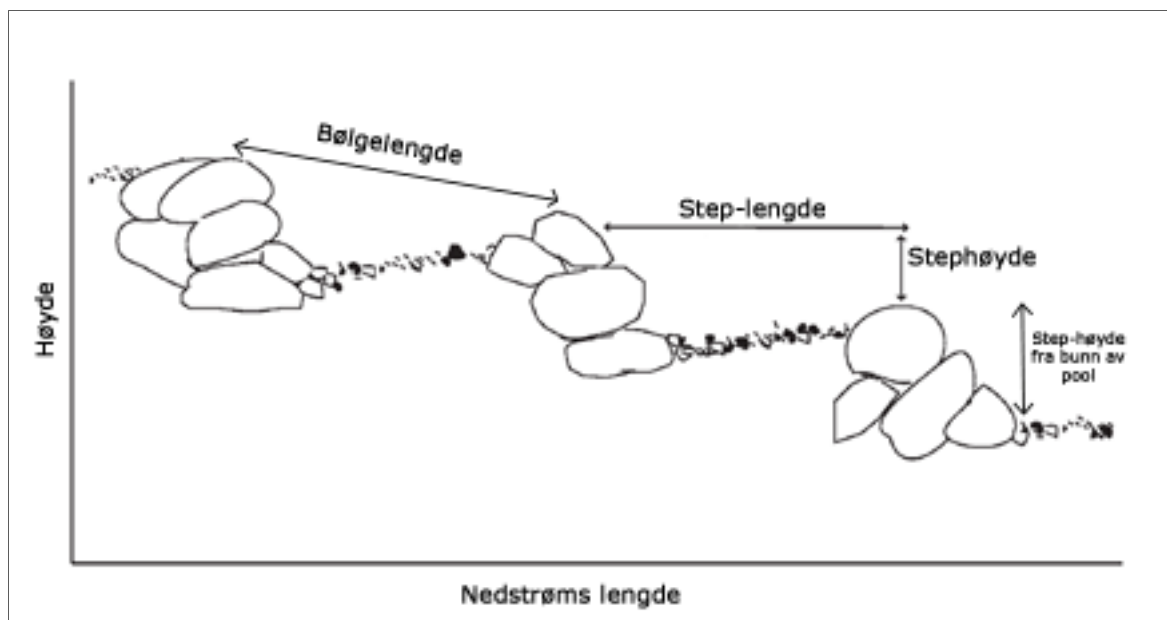
Et hovedtrekk ved step-pool-morfologi er at den oppstår hvor bunnmaterialet er av relativ stor størrelse i forhold til elvekanalen (Grant et al. 1990). Dermed finnes de ofte i elvenes

---

<sup>1</sup> I resten av oppgaven kommer begrepene ”steps” og ”pools” til å bli brukt. Man kunne eventuelt oversatt disse til henholdsvis ”trinn” og ”kulp” f.eks, men for å unngå begrepsforvirrelse brukes de anerkjente engelske begrepene i størst mulig grad.

opprinnelsesområde, fordi dette er områder hvor skråningsgradienten overstiger ca. 0,02 (Chin & Wohl 2005) og det er overvekt av materialer i den nødvendige størrelsesordenen. Steps og pools har også blitt påvist i en rekke forskjellige klimaforhold, fra nedbørsrike til tørre områder.

Enhetene og variablene som oftest brukes til å beskrive steps og pools (Figur 3) er bølgelengde i elvas lengderetning, det vil si lengden mellom steps medregnet høydeforskjellen (Chin & Wohl 2005). Den andre variabelen beskriver den vertikale utviklingen, og da spesifikt høyden på steps. I tillegg er også steplengde (lengde mellom steps uten hensyn til høydeforskjell,) tatt med som variabel i en del studier. Det samme gjelder stephøyde målt fra laveste punkt i nedstrøms pool. Forskjellige studier har sammenlignet disse to variablene, og forholdet mellom dem ser ut til å variere med den totale gradienten i elva. Resulterende tall har variert fra et lengde/høyde-forhold på fra ca 5:1 til 9:1 i "headwaters", til 17:1 lengre nedstrøms, altså et spenn i forholdstall fra 0.06 til 0.20.



**Figur 3:** Vanlige variabler i bruk for å uttrykke step-pool-morfologi (Hentet og tilpasset fra Chin & Wohl (2005)).

Lengdeforholdet mellom step-pool-enhetene har også en sammenheng med bredden på elvekanalen (Whittaker 1987). Forskjellige studier har påvist en step-pool-lengde på fra en til fire kanalbredder. Typetallet ser ut til å ligge mellom i underkant av en og opp til to bredder. Selv om variabiliteten er stor, ser dette ut til å foreslå at step-pool-utvikling er en del av en gjensidig justering mellom vannføring, kanalmorfologi og energiutladning.

Det har blitt gjort forsøk på å kvantifisere step-pool-formen gjennom ligninger som beskriver forholdet mellom forskjellige kanalfaktorer (step-pool-bølgelengde, stephøyde, gradient for å nevne noen av de viktigste). En rekke studier (Chin & Wohl 2005) har påvist en sammenheng

mellom gradient og steplengde, ved at lengden mellom steps minsker ved økende elvegradient. Dette forholdet har blitt uttrykt som følgende ligning (Judd 1963):

$$L=K/CS^Z$$

Hvor L = steplengde, S = kanalgradient (slope), K = bunnelementenes representative høyde, og C og Z = konstanter.

Chin & Wohl (2005) viser til at selv om enkelte studier ikke demonstrerer denne sammenhengen like åpenbart, er antagelsen om at stepfrekvens blir hyppigere ved økt gradient akseptert som et grunnlag for videre forskning. Andre studier utbroderer dette bildet gjennom å påvise det samme grunnleggende forholdet, men med andre resultater for konstantene i Judds ligning. En annen sammenheng som er påvist, er at partikkelstørrelsen i steps kontrollerer høyden på stepet (Billi et al. 1998).

I tillegg viser Chin og Wohl (2005) til en rekke studier som fant til dels motstridende resultater på sammenheng mellom faktorer som step-lengde og dreneringsområde, step-lengde og kanalbredde, steplengde og stephøyde, og stephøyde og partikkelstørrelse. Flere av disse studiene blir presentert og drøftet i avsnitt 3.7. Selv om step-pool-systemer har økt i popularitet som studieobjekter, er det et stykke igjen til man når en enhetlig faglig metodestandarisering. Gjennomsnittutregninger vil heller ikke alltid representere virkeligheten korrekt og dermed vil skalavalg og avgrensning ha betydning for sammenlignbarheten, og varierende definisjoner og avgrensninger fra forsker til forsker kan påvirke resultatet i stor grad.

### **2.1.3 Step-pool-systemers rolle**

Steps og pools ser ut til å bidra med en energiutladende effekt på elver med høy gradient (Abrahams et al. 1995). Dette skjer gjennom at vannet strømmer over grove kanalelementer som utgjør steps og faller ned i pools nedstrøms, noe som fremtvinger turbulent (tumbling) flow og gjør at energi blir utladet gjennom virveldannelse. I tillegg bidrar fallet fra stepsene til at mindre energi blir tilgjengelig gjennom en lateral komponent som ellers ville bidratt til erosjon og sedimenttransport. Dette har særlig stor betydning for elver som går i trange dalløp og ikke har mulighet til verken meandering eller å utvikle multiple elvekanaler. Elvers tendens til å utvikle step-pool-morfologi kan sees på som en form for vertikal meandering (Chin 2002).

### **2.1.4 Prosessene bak step-pool-systemer**

Steps og pools formes av flomhendelser av stor størrelsesorden og med lav frekvens (Chin & Wohl 2005). Chin og Wohl skiller mellom to kategorier step-pools: På den ene siden finner

man step-pools skapt av de herskende fluviale prosesser, altså hvor elva selv har behandlet materialene som fantes i området fra før. På den andre siden finner man step-pools hvor steps er et resultat av ekstern massetilførsel, f.eks skred eller glasialt behandlet materiale. I det første tilfellet ser step-pool-sekvensene ut til å være stabile på lav, normal vannføring, men flomhendelser med 1-5 års frekvens kan likevel omstrukturere deler av step-pool-oppygningen. Step-pools i områder med glasialt avsatt materiale ser ut til å være mer stabil og utvise mindre intern organisering (Zimmerman & Church 2001).

Step-pool-utvikling er knyttet til "keystones", store enkeltpartikler som enten er fullstendig fluvialt immobile eller bare kan flyttes av flomperioder med 50 års intervaller eller mer (Knighton 1998). Mindre partikler blir fanget opp rundt de store partiklene, og det oppstår en selvforsterkende effekt som etter hvert fører til at et step bygges opp på tvers av kanalen. I et velutviklet step-pool-system er step-partiklene gjensidig fastlåst av hverandre til den grad at det utvikles et "armour layer" som gjør step-oppyggingen enda mer motstandsdyktig mot flomerosjon.

En svakhet ved det meste av det eksisterende forskningsgrunnlaget, er at målingene i stor grad er foretatt ved lav vannføring (Chin & Wohl 2005). Step-pool-systemer er stabile ved lav vannføring (Gintz et al. 1995), og det er samtidig åpenbare vanskeligheter med å utføre studier og målinger på høy vannføring. Man kan trekke frem utfordringen med å finne relevante måleinstrumenter og bruken av disse under perioder med stor vannføring, samt det grunnleggende problemet at hyppigheten av flomhendelser med stor nok energi til å omrokkere store steps kan være på 50 år eller mer. På grunn av dette har man i tidlige studier ofte brukt data samlet inn på lav vannføring til å trekke slutninger om prosesser på høy vannføring. Rekonstruksjon av strømforhold på normal vannføring har vist at deler av steps kan mobiliseres under nettopp disse forholdene (Chin 1998; Grant et al. 1990). I tillegg ble det etter at flere og flere step-pool-systemer ble oppmålt og studert, kommet frem til at disse elvene utviste en påfallende regularitet. Ut fra dette ble det trukket slutningen om at dette ikke var tilfeldige kaostilfeller, men at de måtte være skapt ut fra interne reguleringsmekanismer som justerer seg mot maksimal energiutladning.

Prosessfokuserte studier av step-pool-elver (i motsetning til formbaserte studier som har fokusert på morfologisk beskrivelse) har delt seg inn i tre hovedprosesser: Bunntransport, hydraulikk og "flow resistance". En rekke studier har benyttet seg av forskjellige verktøy og metoder for å identifisere prosesser bak bunntransport i step-pool-systemer (Chin & Wohl 2005). Gjennom dette arbeidet har man kommet frem til noen grunnleggende trekk som har gått igjen i flere studier, disse følger nå kort oppsummert. Når det gjelder sedimenttilgang,



---

kommer den fra nærliggende skråninger og fra kanalen selv. Bunntransportratene er både romlig og temporært varierende. Geometrien på elvekanalen utøver en viktig kontroll over sedimentbevegelsen, og pools er en særlig viktig lokasjon for både lagring og mobilisering av sedimenter. Elvebunnen er hovedsakelig stabil på lav-normal vannføring, og transporterer kun sand og finere grus over et grovere overflatelag. Under disse forholdene utviser kanalen hysteresis (forskjellige transport/erosjonsrater mellom stigende/synkende kurve på samme vannføring), og er preget av equal-mobility transport, dvs. at partikler av forskjellig størrelse har samme muligheten for å bli transportert som mindre (Knighton 1998). Ekstraordinære flomhendelser eller styrtflommer som mobiliserer hele elvebunnen forårsaker veldig høye bunntransportrater som kan vare fra timer opp til uker.



### 3 Metode

Siden denne oppgaven har et nokså metodisk fokus, er metodekapitlet sentralt og utfyllende. En generell gjennomgang av globale navigasjonssatelittsystemer kommer først, fulgt av en nærmere presentasjon av differensiell GPS og måleutstyret som er brukt i denne oppgaven. Etter det blir feltarbeidet og databehandling/analyse gått gjennom, også med fokus på hvordan lignende datainnsamling i andre studier har blitt gjennomført.

#### 3.1 Globale navigasjonssatelittsystemer

##### 3.1.1 GPS

Det mest kjente GNS-systemet er det amerikanske NAVSTAR GPS-systemet (NAVigation Satellite with Time And Ranging – Global Positioning System). Det består av 24 satellitter fordelt på seks baneplan med fire satellitter i hver bane (Skogseth 1998). Satelittene sender ut signaler på to frekvenser, og disse signalene er påmodulert informasjon som brukes av mottakerenhetene på jorda til å regne ut sin posisjon. I tillegg til satelittene og mottakerene består systemet av en tredje del, et nettverk av fem kontrollstasjoner spredt rundt på jorda for å sikre at systemet virker som det skal.

###### 3.1.1.1 Historie

GPS-systemet eies og drives av det amerikanske forsvarsdepartementet, og har sin opprinnelse i militære formål (Van Sickle 2008). Det amerikanske militæret trengte et system som med stor presisjon kunne fastslå posisjon, tid og hastighet, være lett å bruke, samt muligheten til å nekte andre brukere tilgang. GPS-systemet ble utviklet mellom starten på utviklingen i 1973 og den begynnende operasjonelle statusen i 1989. På grunn av den militære opprinnelsen var signalet kodet, slik at bare godkjente brukere med en spesiell kode hadde anledning til å bruke det. Nedskytingen av et koreansk passasjerfly over sovjetisk territorium i 1983<sup>2</sup> fikk imidlertid daværende president Ronald Reagan til å frigi systemet for sivil bruk, dog i form av et tilleggssignal som hadde lavere nøyaktighet enn det fortsatt kodede militære signalet. Denne ”forskjellsbehandlingen” (kalt ”Selective Availability”) ble opphevet i 2000, i stor grad fordi differensielle korreksjonsmetoder (som vil bli presentert senere i teksten) hadde eliminert den militære fordelene uansett.

##### 3.1.2 Andre globale navigasjonssatelittsystemer

I tillegg til det amerikanske GPS-systemet, finnes det per 2013 et alternativt operativt GNSS, det russiske GLONASS (GLObalnaya NAVigationaya Sputnikovaya Sistema, direkte

---

<sup>2</sup> Korean Air Lines flight 007 var på vei fra Alaska til Seoul, men kom ut av kurs pga en misforståelse av det treghetsbaserte navigasjonssystemet i flyet. Da flyet kom inn over sovjetisk luftrom ble det tolket som et spionfly, og ble skutt ned av russiske jagerfly. Et posisjoneringssystem som GPS, basert på absolutte i stedet for relative posisjoner ville kunne fortalt pilotene hvor de faktisk befant seg før katastrofen var et faktum.

oversatt ”globalt navigasjonssatellittsystem”) (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Formålet med og teknikken bak det er i all hovedsak identisk med GPS, og kommer derfor ikke til å bli beskrevet i detalj i denne oppgaven. Det fikk operativ status i 1993, og har etter år med lite midler og dårlig vedlikehold fått en kraftig oppussing på 2000-tallet.

Den europeiske romfartsorganisasjonen ESA (European Space Agency) holder på med utviklingen av enda et GNSS kalt Galileo, som skal være et EU-styrt alternativ til GPS og GLONASS (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Det er forventet å nå full operativ status nærmere 2020. I tillegg er både kinesiske og indiske ekvivalenter under utvikling.

### 3.2 Teknikken bak

GPS-målingene baserer seg på avstandsmålinger fra satellittene, og for å foreta disse målingene finnes det to metoder (Skogseth 1998). Som tidligere nevnt, er signalene fra satellittene påmodulert informasjon: Tidsangivelse for når signalet er sendt fra satellitten, basert på en svært nøyaktig klokke innebygd i den, data om satellittens bane slik at brukeren kan regne ut satellittens posisjon på et gitt tidspunkt, og tilsvarende banedata for de andre satellittene i jordomløp. Den ene måten å foreta avstandsmålingen mellom satellitt og bruker på, er å regne ut tidsforskjellen mellom tidsangivelsen fra satellitten og tidspunktet for mottaket hos brukerenheten. Klokker som er like nøyaktig som satellittenes innebygde er imidlertid dyre og kompliserte, slik at de fleste GPS-enhetene leveres med en klokke som har et akseptabelt avvik i nøyaktighet, som igjen fører til unøyaktighet dersom man baserer avstandsmålingen på denne tidsforskjellen.

Den andre metoden, som er mer nøyaktig enn tidsavvik-metoden, er å måle faseforskjeller i bølgelengden på signalet mellom en satellitts to posisjoner (Skogseth 1998). Siden disse bølgelengdene er kjent (henholdsvis 19 og 24 cm på de to frekvensene), kan man potensielt komme ned på centimeters nøyaktighet med denne metoden.

Når en så kjenner avstanden til satellittene, kan man begynne å triangulere, eller ”trilateralere” sin posisjon på jordkloden (Skogseth 1998). For å bestemme posisjon i tre plan (X, Y og Z) er man avhengig av tre satellittobservasjoner. Men siden vi også vet at mottakeren har et tidsavvik pga mindre presis klokke, må man også ha med en fjerde satellittobservasjon for å måle dette avviket. Dette er grunnen til at man trenger signaler fra minst fire GPS-satellitter for å få en posisjonsbestemmelse ved hjelp av dette systemet.

Koordinatsystemet som GPS oppgir posisjonen i, er basert på et bestemt datum, i dette tilfellet WGS1984 (Hofmann-Wellenhof et al. 2008). Et datum er en fremstilling av jorda som en geometrisk form med glatt overflate, uten ruheten som fjell, daler og andre overflatefenomen

fører med seg. WGS1984 er et ellipsoidisk datum som er i utstrakt bruk som en geomatisk standard i hele verden.

### 3.2.1 Differensiell GPS og sanntidskorreksjoner

Som tidligere nevnt, ble Selective Availability-sperren i GPS-systemet fjernet i 2000 fordi det var korreksjonsmetoder tilgjengelig som eliminerte hele denne feilkilden. Dette er grunnlaget for differensiell GPS som høynøyaktighets måleverktøy (Van Sickle 2008). Et differensielt GPS-system fungerer ved at en mottaker settes opp på et fastpunkt med kjente koordinater. Siden denne er stasjonær, kan den regne ut feilkilden i satelittsignalet, og dermed utarbeide signalnøyaktighetskorreksjoner. Disse korreksjonene kan enten lagres og tilføyes måleresultater i ettertid, eller overføres til den aktive bevegelige måleenheten (roveren) i sanntid ved hjelp av enten radio- eller mobildataoverføring. Det siste kalles Real-time Kinematic (RTK). RTK-baserte GPS-enheter har blitt veldig populær for landmålingsformål.

### 3.3 Differensiell GPS/GNSS i geomorfologisk forskning

GPS-systemets muligheter innenfor naturgeografisk forskning har lenge vært anerkjent. Muligheten for å integrere geografisk databehandling mellom innsamling ved GPS og behandling i GIS er blitt fremhevet og demonstrert så tidlig som 1994 (Cornelius et al. 1994). I artikkelen *Applications of differential GPS in upland fluvial geomorphology* (Higgitt & Warburton 1999) demonstrerer forfatterene bruken av differensiell GPS for å kartlegge endringer i elvekanalers utvikling, men da med fokus på laterale endringer, i motsetning til høyde- og lengdeendringer innad i elvekanalen, som er fokuset i denne oppgaven.

Som det vil bli vist senere i oppgaven, har det ikke vært mulig å finne noen eksempler på bruk av differensiell GPS til å måle opp step-pool-morfologi. Det som virker å være den mest utstrakte bruken av DGPS i geomorfologisk forskning, er oppmåling av overflateprofiler på f.eks permafrostlandformer (Lambiel & Delaloye 2004), geologiske foldestrukturer (Pearce et al. 2006), strandsonemorfologi (Baptista et al. 2007), eller snøfonner som i SPARC-prosjektet som Geografisk institutt ved NTNU deltar i. Disse profilene kan så brukes til å interpolere digitale høydemodeller som kan sammenlignes temporært for å spore endringer.

Som forrige avsnitt viste, er RTK-korrigert GPS blitt et populært og utstrakt brukt verktøy innenfor landmåling. Det fører til at enhetene som selges, gjerne er optimalisert for dette formålet i stedet for bruk i geomorfologisk feltarbeid. Dette kan by på utfordringer når man foretar målinger i områder med ulendt terreng og vegetasjon (Skogseth 1998). For det første, er som nevnt GPS-systemet avhengig av minst fire satelitter for å kunne bestemme posisjonen. De 24 forskjellige satelittbanene er lagt opp på en måte som garanterer fri sikt til minst fire satelitter fra et hvert punkt på jorda, men denne teoretiske jorda er flat og tar ikke

hensyn til den ekte jordoverflatas fjell og daler. Dermed kan den lokale geografien ha stor innvirkning på det faktiske antallet tilgjengelige satellitter. I tillegg er radiosignalene fra satellittene såpass svake at de har problemer med å trenge gjennom vegetasjon i form av f.eks blader på trær. Det betyr at dette er ting som må tas med i planleggingen av et godt feltarbeid, men som er fullt mulig å jobbe rundt. For eksempel kan satellittgeometri for et gitt punkt på jorda kalkuleres ved hjelp av gratis programvare fra bl.a. den store GPS-produsenten Magellan (Magellan GPS 2013), slik at man kan legge feltarbeidet til dagen og tidspunktet med så gunstig satellittdekning som mulig. Det er også et faktum at en konsentrert satellittgeometri hvor man kun kan ta inn satellitter fra et smalt område på himmelen, kan påvirke nøyaktigheten, og da særlig høydemålingene på det vertikale planet (Skogseth 1998).

### 3.4 Måleutstyret brukt i denne studien

Målingene fra 2011 ble foretatt med differensiell GPS-utstyr innleid fra et landmålingsfirma. Denne var av merket Leica, et av de mest kjente og brukte merkene på landmålingsfronten.



**Figur 4:** En av Geografisk Instituttets Altus APS-3-enheter satt opp som basestasjon i Vekve under feltarbeidet i september 2012.

I etterkant av det første feltarbeidet har Geografisk institutt gått til anskaffelse av tre DGPS-enheter av merket Altus APS-3, som ble brukt for å foreta målingene i 2012. Enhetene kan brukes både som rover og basestasjon om hverandre (Altus Positioning Systems Inc 2011).

Dersom måleområdet har GSM-dekning, kan roveren ved hjelp av et innebygd datamodem motta RTK-korreksjoner via mobilnett. Dette foregår i så fall ved bruk av Statens Kartverks C-POS-tjeneste, som sender ut sanntidskorreksjonsdata til abonnenter på tjenesten. Dersom det ikke er mulig eller ønskelig å bruke mobildatabasert korreksjon, kan en ekstra av antenneenhetene settes opp som basestasjon (Figur 4) som overfører korreksjonsdataene i sanntid til roveren via UHF-radio.



**Figur 5:** Mini-PCen som kjører programvaren som kontrollerer GPS-enhetene. (Bilde: Handheld Group, [www.nautiz.com](http://www.nautiz.com))

Enhetene styres via bluetooth av en robust og vanntett mini-PC som kjører programvaren FieldGenius, hvor måledataene også blir lagret for senere eksportering (Figur 5).

### 3.5 Feltarbeid

Datagrunnlaget for den komparative analysen, er målinger foretatt over et år, men hovedsakelig høsten 2011 og høsten 2012 (med en kort måleserie foretatt i august 2012). Målingene er foretatt i samkjøring med feltkurs i GEOG2004 ved NTNU samt på egen hånd.

Forfatteren var ikke med under innsamlingen av data fra 2011, men fikk informasjon om måleintervaller, kriterier for utvelgelse av målepunkter osv. fra veileder. Kriteriene var som følger:

1. Målinger foretas ved tydelige brudd i gradient, ett målepunkt ved starten på gradientbruddet og et målepunkt på toppen.
2. Dersom avstanden mellom gradientbruddene var større enn en meter, tas målinger ved ca en meters mellomrom.
3. Målepunktet foretas i sonen av elva som ser ut til å ha størst vannføring/høyest hastighet, for å få et representativt bilde av elvas senterlinje.

Dette legger åpenbart en del subjektivitet inn i målingene, siden utvelgelsen i høy grad baserer seg på operatørens kvalitative estimat. For metodisk diskusjon angående datainnsamlingen i 2011, henvises det til masteroppgaven som den var grunnlag for (Mevik (upublisert)).



Som nevnt i problemstillingen ble ikke datainnsamlingen i 2012 som forventet. Dette kunne man ha skrevet mye og utfyllende om, men for korthets skyld er det som følger en kort oppsummering av gjennomføringen og utfordringene man blir møtt med i naturgeografisk feltarbeid.

Som et ledd i den opprinnelige problemstillingen, skulle en oppmåling av elva foretas før vårflommen. Den var planlagt til 23. mai, men dessverre begynte vårflommen for alvor natt til 22. mai, og målingen ble avlyst av sikkerhetsgrunner (Figur 6).



**Figur 6:** Forholdene i Vekve under forsøket på feltarbeid 23. mai 2012. Høy vannføring, dårlig sikt i vannet og mye snø rundt elva gjorde at feltarbeidet ble avlyst av sikkerhetsgrunner.

Neste forsøk ble gjort 14. august. Denne gangen ble det bare mulig å måle en strekning på ca 45 meter før GPS-enheten ikke fikk korreksjoner fra CPOS pga dårlig mobildekning i området.

Neste sjanse ble så feltkurset i GEOG2004 fra 17-21 september, hvor forfatteren var med som feltassistent. Antageligvis dels på grunn av terrengets utforming og dels på grunn av begrenset kunnskap til nytt utstyr, oppsto det store problemer med å få tilstrekkelig satellittdekning til å få målt opp hele det overlappende strekket fra 2011. Utfordringene med å bruke differensiell GPS til feltarbeid i ulendt terreng blir drøftet videre i diskusjonsdelen av oppgaven. Etter dette feltarbeidet ble det anslått at selv om datagrunnlaget var noe tynt, var det tilstrekkelig for å



kunne bruke det til komparativ analyse. Det er liten tvil om at et mer overlappende strekk fra 2012 ville gjort konklusjonene fra analysen enda sikrere. Oppgaven kan nok kritiseres på dette punktet, men ekstra feltarbeid må avveies opp mot både tids- og pengebudsjett.

### 3.6 Analysemetoder

GPS-enheten lagrer målepunktene i en tabell hvor hvert punkt får lengde- og breddegrad samt høyde over havet i meter. Koordinatene blir oppgitt i UTM-format, altså i antall meter øst og nord for et utgangspunkt. Både koordinatene og meter over havet blir oppgitt med tre desimaler, slik at man potensielt kan fastsette et punkt ned til millimeters nøyaktighet. Som tidligere vist, er imidlertid nøyaktigheten i selve GPS-systemet noe mindre, men i analysen blir tallene analysert med tre desimaler likevel. Verktøyene som ble brukt til databehandling og kvantitativ analyse, er ESRI's ArcGIS og Microsofts Excel. ArcGIS er et geografisk informasjonssystem som kan brukes til både fremstilling og analyse av romlig data, mens Excel burde være kjent for de fleste som et av de vanligste regneark- og tallbehandlingsprogrammene.

Det første steget i analysen er å overføre rådata fra den håndholdte mini-PCen tilhørende GPS-systemet. Dette kan da importeres inn i både Excel og ArcGIS for nærmere analyse. I resultatdelen av oppgaven er punktene gjort om til en sammenhengende linje som igjen er lagt over en ortofotofremstilling av studieområdet.

Selve analysen av dataene har blitt foretatt i Excel støttet av ArcGIS. Måle-IDen og de tre faktorene lengde- og breddegrad samt høyde over havet kan danne utgangspunkt for en hel rekke utregninger av relevante mål. Siden de tre faktorene er oppgitt i samme enhet (meter), kan man bruke Pytagoras' læresetning for å regne avstander mellom dem.

Faktorene som har blitt utregnet, er:

- Avstand fra forrige punkt
  - Todimensjonal avstandsforskjell mellom påfølgende målepunkter, uten hensyn til høydeforskjell:

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

hvor L1 og L2 er de påfølgende lengregradskoordinatene, og B1 og B2 er påfølgende breddegradskoordinater.

- Kumulativ lengde
  - Dette er det som blir brukt som X-aksen på den grafiske fremstillinga av elvas lengdeprofil. Den regnes ut ved å summere lengden fra punkt 1 og alle de påfølgende målepunktene.

- Høydeforskjell fra forrige punkt
  - Forskjellen mellom punktenes Z-verdi.
- Luftlinjeavstand fra et fast punkt
  - Er tatt med for enkel navigasjon innad i datasettet, langs elva som ei tenkt rett linje. Fastpunktet er det første målepunktet i datasettet fra 2011. Igjen brukes en pytagoreansk formel som ser slik ut:

$$\sqrt{(L1 - L^{FP})^2 + (B1 - B^{FP})^2}$$

hvor  $L^{FP}/B^{FP}$  er lengde/breddegradskoordinatene til fastpunktet og  $L1/B1$  er lengde/breddegradskoordinatene til det aktuelle målepunktet.

- Todimensjonal avstand fra forrige step.
  - Denne faktoren er avstanden mellom punktene på et flatt plan, altså uten hensyn til høydeforskjellen mellom dem. Formelen er den samme pytagoras-formelen som i avstand mellom enkeltpunktene, men med punkter som representerer påfølgende steps i stedet.
- Step-bølgelengde
  - Step-bølgelengden er den faktiske, tredimensjonale avstanden mellom toppen av påfølgende steps. Det er fremdeles Pytagoras som brukes, men høydeforskjellen mellom punktene er også tatt med som en faktor. Det resulterer i følgende ligning:

$$\sqrt{(H2 - H1)^2 + ((L2 - L1)^2 + (B2 - B1)^2)}$$

Hvor  $L^X$  og  $B^X$  er lengde- og breddegradskoordinationer på de aktuelle punktene, mens  $H^X$  representerer høydeverdien på de samme punktene.

### 3.6.1 Klassifisering av enheter

De første fire utregningene trenger ingen brukerinput i form av definisjoner og avgrensinger, men når man kommer til punktene som involverer steps blir det raskt mer komplisert. Som sett, har dataene blitt innsamlet etter et subjektivt estimat i felt av hva som er steps. Derfor er det umiddelbart intuitivt å tenke på et step som den siste målingen med positiv høydeforskjell fra forrige punkt, før et punkt med negativ høydeforskjell. Imidlertid vet vi også at feilkilden i GPS-målingene ligger på mellom 3 og 5 centimeter. Høydeforskjeller i datasettet som ligger under 3 centimeter kan altså ikke regnes som sikre. Hvordan denne nøyaktigheten påvirkes av kornstørrelsen og elvebunnens ruhet, vil også bli diskutert nærmere i metodekritikkseksjonen av oppgaven.

I artikkelen *Identification of steps and pools from stream longitudinal profile data* (Zimmerman et al. 2008) foreslår forfatterene et sett med klassifiseringskriterier som er

normalisert opp mot kanalbredde. Bredde defineres som et gjennomsnitt av ”bankfull width” ( $W_b$ ): Elvekanalens grenser definert av f.eks gradientbrudd, fravær av vegetasjon osv (Knighton 1998). Step-pool-variablene kan dermed uttrykkes som en fraksjon av  $W_b$ . Minimum step-lengde etter denne klassifikasjonen er 2,25 % av  $W_b$ , mens minimum step-høyde er 3,3 % av  $W_b$ .

Problemet med bruken av denne metoden er først og fremst at man ikke har tilgjengelige målinger av  $W_b$ . Det kan også diskuteres om det i det hele tatt går an å kvantifisere dette som et gjennomsnittstall på en representativ måte for Vekveselva. Som Figur 7 illustrerer, er det noen steder et stort område uten vegetasjon ved siden av den nåværende vannførende kanalen som er nokså bredt (anslagsvis 10 meter eller mer). Andre steder begrenser kanalen seg til mye smalere løp med vegetasjon helt inn mot vannet.



**Figur 7:** Illustrasjon av vanskeligheten med å definere ”bankfull width”. Bildet er tatt i de øverste delene av strekning 7. (Foto: Caroline Mevik)

Normaliseringen er et nøkkelverktøy for å kunne sammenligne dataserier fra forskjellige elver. Siden denne studien baserer seg på oppmålinger av samme elv og samme strekning på forskjellige tidspunkt, er det viktigste kriteriet at man bruker samme normaliseringverdi på de forskjellige målesettene. Etter målinger ut fra ortofoto, samt kvalitativ vurdering av

tilgjengelige bilder fra oppmålingene, vil jeg forsøke en tentativ  $W_b$ -verdi på 6 meter. Det vil i såfall gi en minimum step-lengde på 13,5 cm, og en minimum step-høyde på 20 cm.

For den rent kvantitative klassifikasjonen av step-grenser, ligger dermed følgende til grunn: Et step er den siste målingen med positiv høydeforskjell før et punkt med negativ høydeforskjell på mer enn 0,2 meter. Siden det er knyttet stor usikkerhet til  $W_b$ -anslaget, må man bruke en del skjønn i klassifikasjonen. Man har lettere for å kjenne igjen trender og strukturer i visuelle fremstillinger istedenfor rene tall, så det kanskje beste verktøyet for å identifisere steps har vært en framstilling i form av et punktplott som har blitt brukt for å kontrollere step-klassifikasjonen der det har vært tvilstilfeller som ligger nær 20-cm-grensen. Steplengdene var i alle tilfeller mye lengre enn minimumsgrensen på 13,5 cm, så dette ble det ikke nødvendig å supplere kvalitativt. Dette ble lagd ut fra målingene i Excel, med den kumulative avstandsfaktoren på X-aksen, og høyde over havet på Y-aksen. Resultatet blir da en graf som fremstiller elvas lengdeprofil. Den kvantitative klassifiseringen ble altså supplementert med et kvalitativt estimat der hvor det var tvilstilfeller i defineringen.

### 3.6.2 Komparabilitet med eksisterende datasett

Som tidligere nevnt, overlapper datasettet fra 2012 bare delvis med målingene fra 2011. Det som er interessant for denne oppgaven, er sammenligningen mellom de to, og dermed må de overlappende strekningene identifiseres og settes opp mot hverandre. Ideelt sett skal begge målingene ha fulgt den samme tenkte linja representert ved elvas senterlinje. Dermed kan man sette opp regnestykket som regner ut hvert enkelt punkts avstand fra et fast startpunkt, og bruke dette til å identifisere overlappende strekninger. Dette kan selvfølgelig også gjøres i ArcMap, men for enkelthets skyld ble luftlinje-utregningen i Excel brukt først og fremst, og så kontrollert for overlapping i ArcMap etterpå.

De overlappende strekkene ble så delt opp i så sammenhengende enheter som mulig. Kriteriet for utvalg her var at maks avstand mellom målepunktene innad i settet ikke skulle være større enn 4 meter. Dersom det var tilfellet, ble strekket delt opp med spriket over 4 meter som delepunkt. Grunnen til dette er er valgt, er at den høyeste punktavstanden som opptrer med noenlunde regularitet er ca 3,3 meter. Standardavviket i måleintervaller i datasettene er ca 0,7, dermed representerer 4 meters-kriteriet et normalytterpunkt pluss ett standardavvik.

Et generelt problem for hele datasettet, er at de absolutte høydedataene er forskjellig mellom noen av målingene. I det store bildet, overlapper datasettene bra: Dataene fra 2011 har et spenn i høydemeter fra 751,2 til 828,34, mens dataene fra 2012 går fra 751,1 til 816,7. Men når man går nærmere inn på strekk som skal overlappe basert på lengde- og breddegrad, stemmer ikke høydeverdiene for de to overens. Dette kan muligens til en viss grad skyldes at

målingene er foretatt med forskjellige

basestasjonplasseringer, men også den ene målingen som er foretatt ved bruk av CPOS, har ca to meters forskjell i høydeverdiene

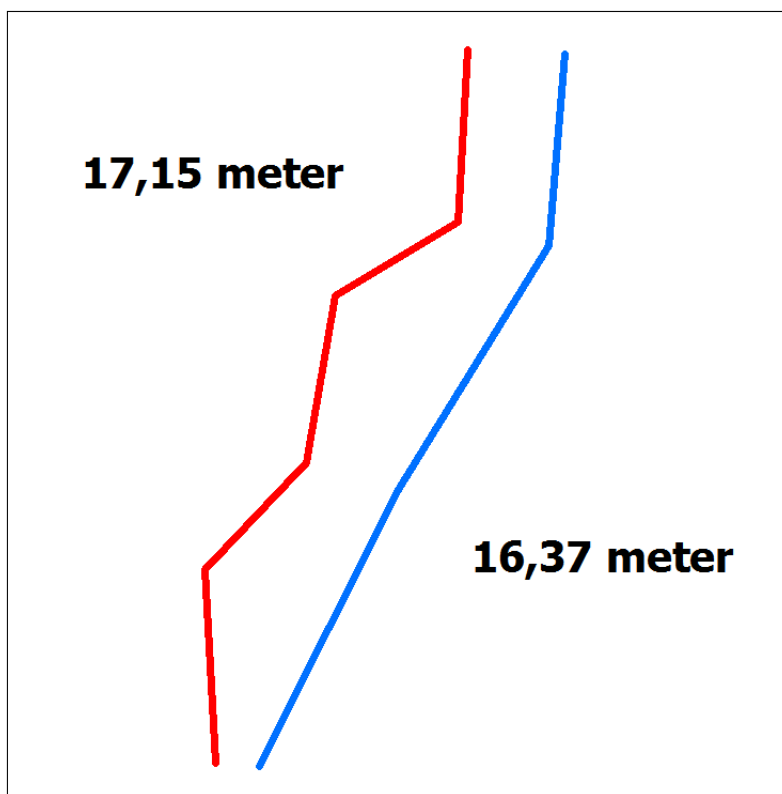
sammenlignet med det overlappende strekket fra 2011. Som seksjonen om differensiell GPS viste, er GPS-systemet ikke like nøyaktig på høydemålinger som med

lenge- og breddegrader, og dette kan også være med

på å skape høydeforskjellene i dataene. De relative høydeforskjellene innad i datasettene virker likevel å være korrekte, og blir fremstilt her uten noe videre forsøk på å korrigere høydeverdiene for å stemme nøyaktig overens mellom oppmålingene.

Et annet problem som viste seg i fremstillingen av datasettet, er beslektet med det som ofte kalles "kystlinjeparadokset" (Longley et al. 2011). Dette fenomenet går ut på at et geografisk fenomen som f.eks en kystlinje, får forskjellige totallengder alt etter hvilken skala fenomenet blir kartlagt i. Jo større oppløsning og mer nøyaktige målinger, jo lengre blir totallengden. Figur 8 illustrerer dette: Begge linjene er tenkte oppmålinger av samme elvestrekk. Streken til venstre har et måleintervall som er halvparten av den til høyre. Selv om de begge representerer samme fenomen, vil den høyere romlige oppløsningen i målingen til venstre resultere i en totallengde som er ca 5 % lengre. Med andre forskjeller i måleintervaller kan forskjellen bli både større og mindre, samtidig som den vil bli kumulativt større i større datasett.

Som tidligere nevnt, var måleintervallene i datainnsamlingen lagt opp til at målingene ble foretatt ved gradientbrudd, samt ca hver meter dersom avstanden mellom gradientbruddene var større enn dette. Vurderingen av en tilnærmet meter var opp til operatøren selv. Det som viste seg under databehandlingen, var at det var en konsekvent forskjell i



**Figur 8:** Illustrasjon av kystlinjeparadokset i geografiske data. Tallene representerer totallengden på linjene.

gjennomsnittavstanden mellom målepunktene fra datasettet fra 2011 til 2012. I 5 av 7 tilfeller var snittavstanden lengre i dataene fra 2012. Dette relaterer seg til kystlinjeparadokset på den måten at kumulativ lengde-faktoren ikke er lik for datasettene mellom årene. Det vil da føre til at f.eks den grafiske fremstillingen ikke vil bli lik dersom en bruker samme intervall på X-aksen som representerer kumulativ lengde. Dette blir bemerket på de strekningene det gjelder for i neste kapittel.

For å bøte på dette, kan man vurdere å bruke luftlinjeavstandsfaktoren som X-variabel. Denne er basert på et likt fast punkt for alle målingene, men vil produsere noen underlige resultater der hvor elveløpet svinger, eller steps ikke ligger vinkelrett på elva. Siden forskjellen i måleintervaller er såpass liten i absolutt forstand (10-20 cm over et elvestrekk på totalt 980 meter), blir den kumulative lengde-faktoren brukt som X-variabel, men likevel med målelengdeforskjellen i bakhodet som mulig feilkilde.

### **3.7 Målekriterier i tilsvarende studier**

Før en ser på resultatene av de komparative målingene, er det interessant å se på hvordan andre studier som innebærer oppmåling av step-pool-morfologi har gått frem. Spesielt er det relevant å se på hva publikasjonene oppgir om hvilket måleinstrument eller –metode som er brukt, hvilke måleintervaller som er brukt, og hvilke kriterier for utvelgelse av målepunkter som har blitt brukt.

Som Tabell 1 (side 25) viser, er det et nokså stort sprik mellom metodene i de forskjellige studiene. Først og fremst er det stor forskjell på hvor stort fokus det er på det metodiske, og i denne sammenheng hvor viktig forfatteren(e) har ansett det å beskrive i detalj. I det ene ytterpunktet finner vi Chin (1999) som ikke oppgir mer om den metodiske delen av feltarbeidet enn at det har blitt brukt ”standard leveling techniques”, uten å oppgi noe om intervaller mellom og utvelgelseskriterier for målepunktene. I den andre enden finner vi Gomi et. al (2003) som oppgir både detaljer om utstyret som har blitt brukt, samt en relativt detaljert beskrivelse av hvordan man har valgt ut målepunktene i studien.

En annen ting som er åpenbart ut fra tabellen er at ingen av studiene har brukt differensiell GPS. Samtlige av de utvalgte feltarbeidene har blitt utført med vanlig landmålingsutstyr av typen nivelleringskikkert eller teodolitt/totalstasjon. Avveininger rundt valget av måleutstyr er ikke drøftet i noen av studiene i tabellen over. Differensielle GPS-enheter velegnet til feltarbeid har vært tilgjengelig i (minst) de siste 15 år (Higgitt & Warburton 1999), slik at det ikke bør være tilgangen på utstyr som gjør at DGPS glimter med sitt fravær. Det er kanskje rimelig å tro at bruken av nivelleringsutstyr er blitt en standardmetode innenfor dette fagfeltet,

Referanse	Måleinstrument	Måle-intervaller	Valg av målepunkter
(Montgomery et al. 1995)	Nivellerings-kikkert, målebånd.	Ikke oppgitt.	Subjektivt estimat av "centerline channel".
(Wohl et al. 1997)	Nivellerings-kikkert, målebånd.	Ikke oppgitt.	Ikke oppgitt, men ser ut til å være basert på et operatør-estimat av hva som er steps.
(Chin 1999)	Nivellering	Ikke oppgitt.	Ikke oppgitt.
(Maxwell & Papanicolaou 2001)	Totalstasjon	Ikke oppgitt	Ikke oppgitt.
(Madej 2001)	Nivellerings-kikkert	¼ av kanalbredde.	Målepunkter på ¼ av kanalbredde, pluss målinger på store gradientbrudd.
(Lenzi 2001)	Totalstasjon	Topp av steps pluss minst fire målepunkter i pools.	Topp høyde på steps basert på operatørestimat av "median height".
(Duckson Jr. & Duckson 2001)	Totalstasjon	Ikke oppgitt.	Målepunkter ved operatør-klassifikasjon av steps og pools.
(Wooldridge & Hickin 2002)	Nivellerings-kikkert	0,6 meter	Fast på 0,6 meters intervall, ingen ekstra punkter ved f.eks gradientbrudd.
(Chin 2002)	Nivellerings-kikkert	0,5 meter	0,5 meter, i tillegg ved steptopp, dypeste område av pools og andre tydelige gradientbrudd.
(Gomi et al. 2003)	Nivellerings-kikkert, målebånd.	5 meter.	Hver femte meter, samt på steps med høyde over 0,1 meter. Topp og bunn av gradientbrudd.
(Nickolotsky & Pavlowsky 2007)	Totalstasjon	Ingen faste intervaller	Operatør-definerte topp og bunn av steps, samt det dypeste punktet av pools.
(Zimmerman et al. 2008)	Nivellering, totalstasjon.	Kombinasjon av 20 cm eller ved gradient-brudd	Operatør-definert klassifikasjon av steps og pools.
(Molnar et al. 2010)	Elektronisk teodolitt, GPS-totalstasjon	1 meter.	Ved topp og bunn av gradientbrudd.

**Tabell 1:** Oversikt over et utvalg av studier som har involvert feltmålinger av step-pool-morfologi.

hvor nøyaktigheten i målingene er såpass god at man ikke har blitt tvunget over til å bruke annet nyere utstyr.

En fellesnevner for alle studiene (med et unntak for Nickolotsky & Pavlowsky (2006), som vil bli diskutert senere i oppgaven) er at de bruker lite eller ingen plass på å drøfte validiteten av feltdataene sine, men bruker dem som analysegrunnlag på et tilsynelatende ukritisk vis. Man kan selvfølgelig ikke vite om forskerene har problematisert datagrunnlaget sitt uten å ha tatt det med i den ferdige studien, men det er likevel et interessant metodisk fellestrekk.



## 4 Resultater

### 4.1 Komparative strekk av elva

Som tidligere vist dekker oppmålingene fra 2011 til sammen grovt regnet en kilometer. De overlappende målingene fra 2012 er konsentrert hovedsakelig i to bolker: tre forskjellige målesett av noenlunde det samme området i de første 70-80 metrene oppstrøms av dammen, samt omtrent 100 meter med sammenhengende målinger rundt den store svingen på elva ca 600 meter oppstrøms for dammen. Selv om resultatene er delt inn i strekk, er 2011-målingene de samme hvor fastpunktavstanden for strekkene er lik. Dette dreier seg om de tre første strekkene.

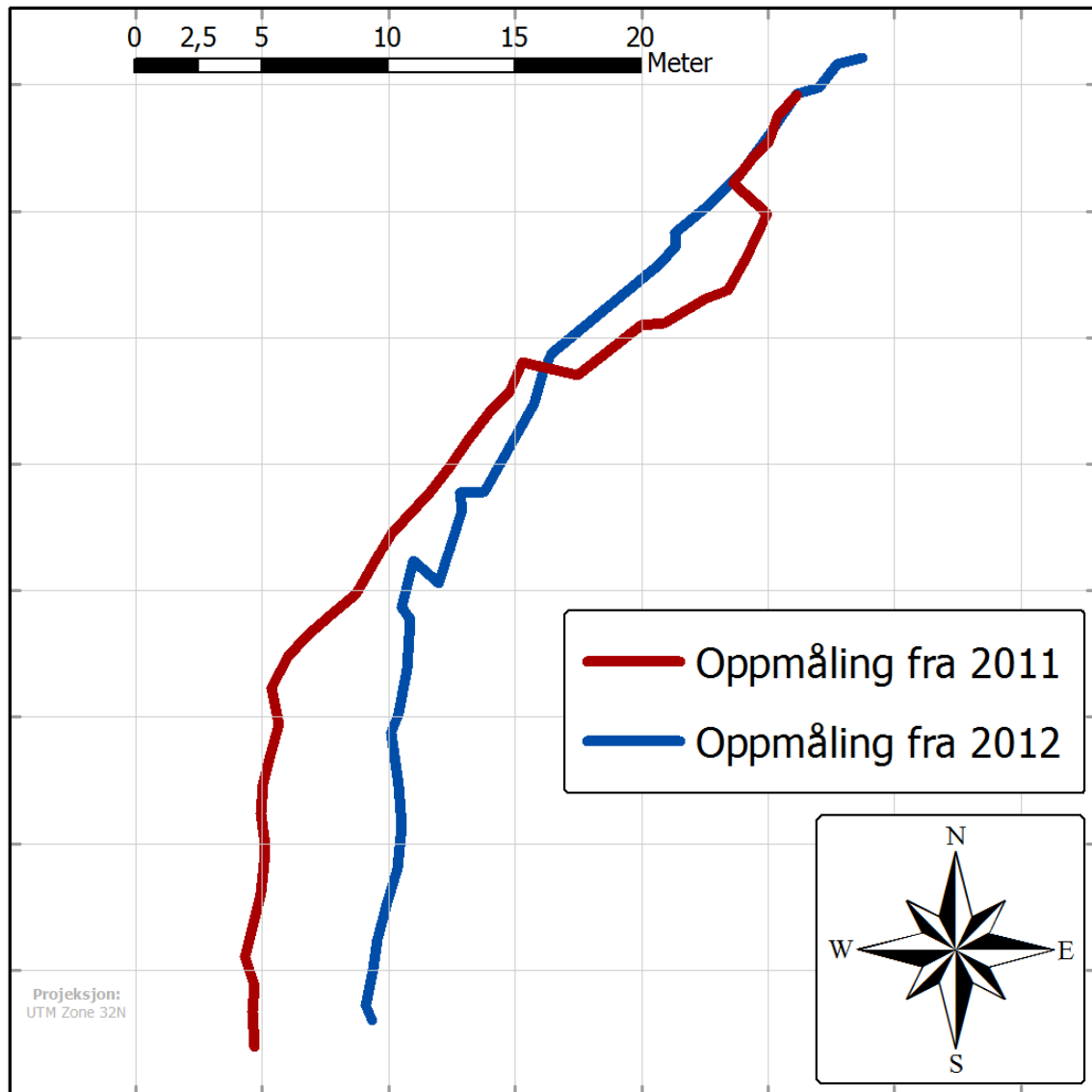
Dataene blir presentert grafisk i form av et oversiktskart som fremstiller måleseriene som en linje interpolert ut fra den korteste avstanden mellom målepunktene. Den vertikale dimensjonen blir fremstilt i form av en graf hvor Y-aksen er høyde over havet, og X-aksen er punktets kumulative lengde fra og med det første målepunktet. Dette skaper enkelte fremstillingsproblemer pga forskjellig kumulativ lengde på linjene som dekker samme oppmålte område (jfr kystlinjeparadokset, side 23). Det ble forsøkt med alternative fremstillingsmetoder, f.eks en 3D-graf, men etter forfatterens egen avveining ble dette lite egnet til å vise resultatene på papir.

I tillegg er nøkkeltallene fra de forskjellige strekkene satt opp i en tabell for hver del. Tallene og den grafiske fremstillingen blir også kort kommentert, mens den sentrale og generelle drøftingen av resultatene kommer i kapittel 5.

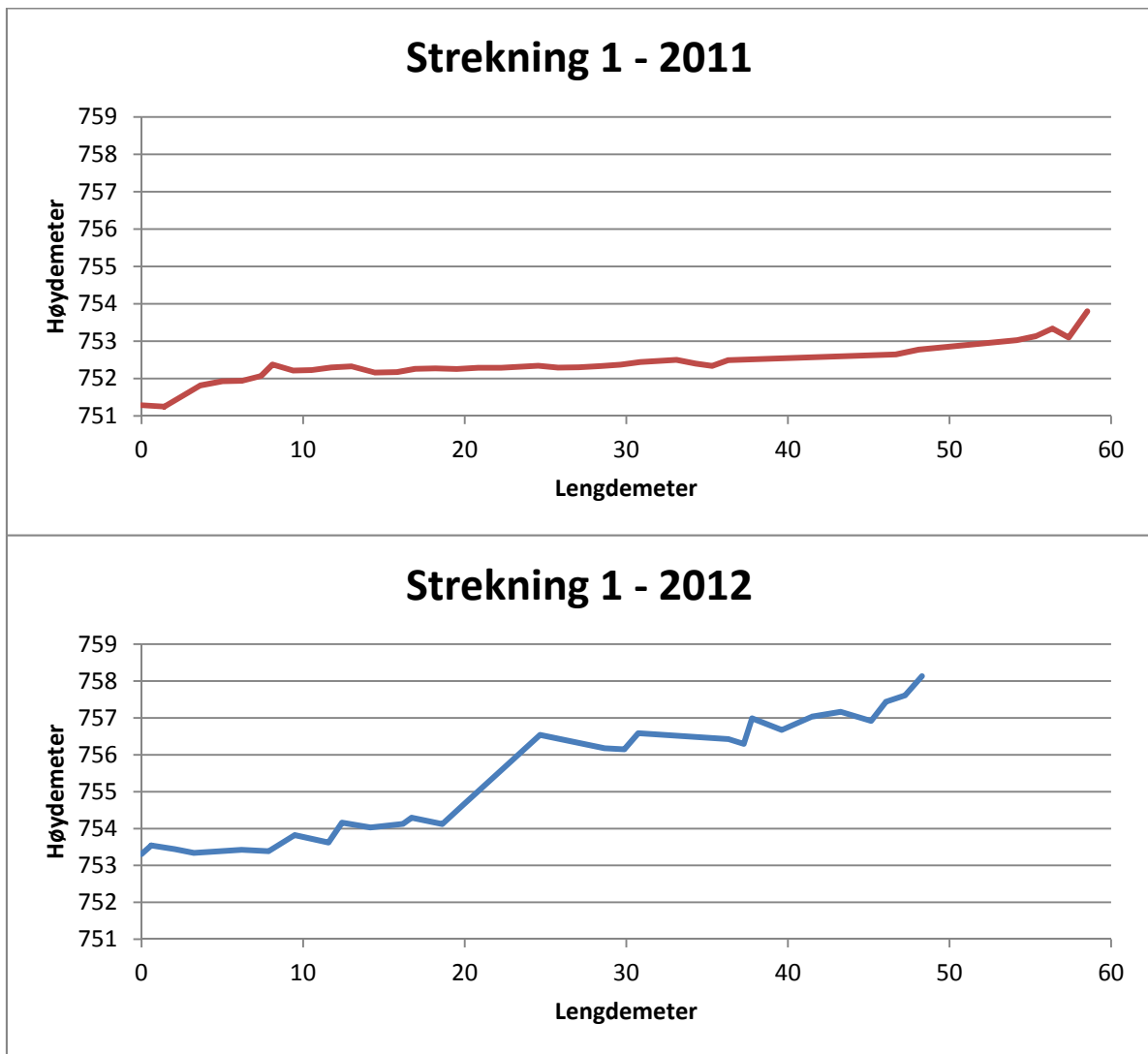


### 4.1.1 Strekning 1

Denne strekningen har en luftlinjefaktor fra 0 til 43 meter, og ble målt opp på feltkurset i GEOG2004 i 2012. Som Figur 9 viser, er valg av målepunkter relativt lite samfallende. På enkelte steder er det opp til fem meters avstand mellom de to linjene.



Figur 9: Kartfremstilling av de ulike måletraseene i strekning 1.



**Figur 10:** Høydedata for de to strekkene. Strekkingen fra 2011 har lavere snittavstand mellom målingene og får dermed en lengre kumulativ lengde, selv om den dekker samme område som 2012-målingene.

Hvis en sammenligner lengdeprofilen av de to oppmålingene i Figur 10, samsvarer de relativt lite. Det er vanskelig (hvis overhodet mulig) å finne igjen de samme stepsene mellom dem. Et annet interessant funn er at gradienten er dobbelt så stor i målingene fra 2012. I dette målesettet har resultatene et spenn fra rundt 753 meter over havet opp til over 758 moh, mens i målingene fra 2011 er bare på rundt 3 meter. En mulig forklaring på dette blir drøftet i diskusjonsdelen.

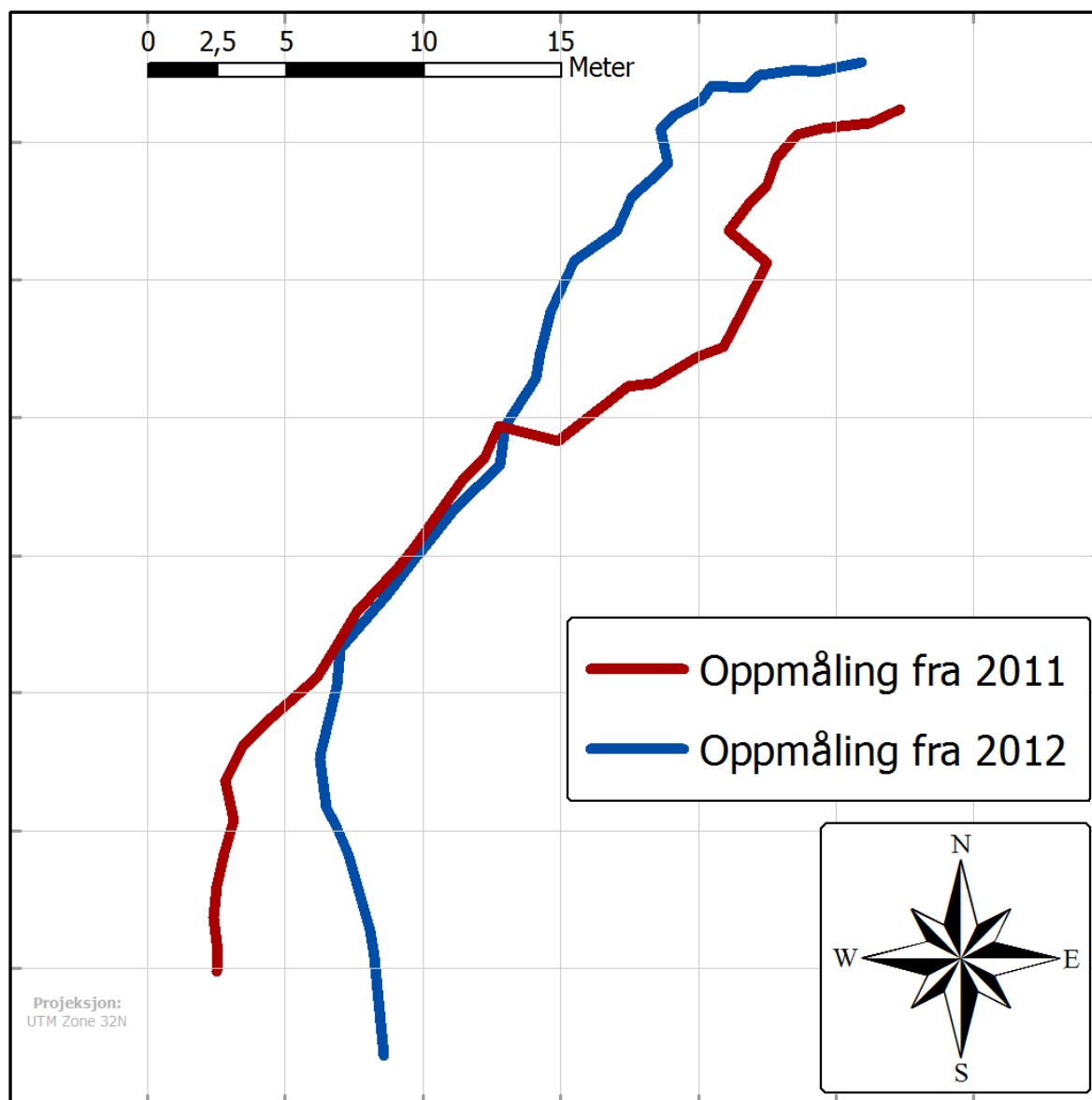
Gjennomsnittsbølgelengden er ca 27 % kortere i 2012. (Tabell 2)

**Tabell 2:** Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 1.

Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,058	4	8,347	1,395
2012	0,113	7	6,13	1,61

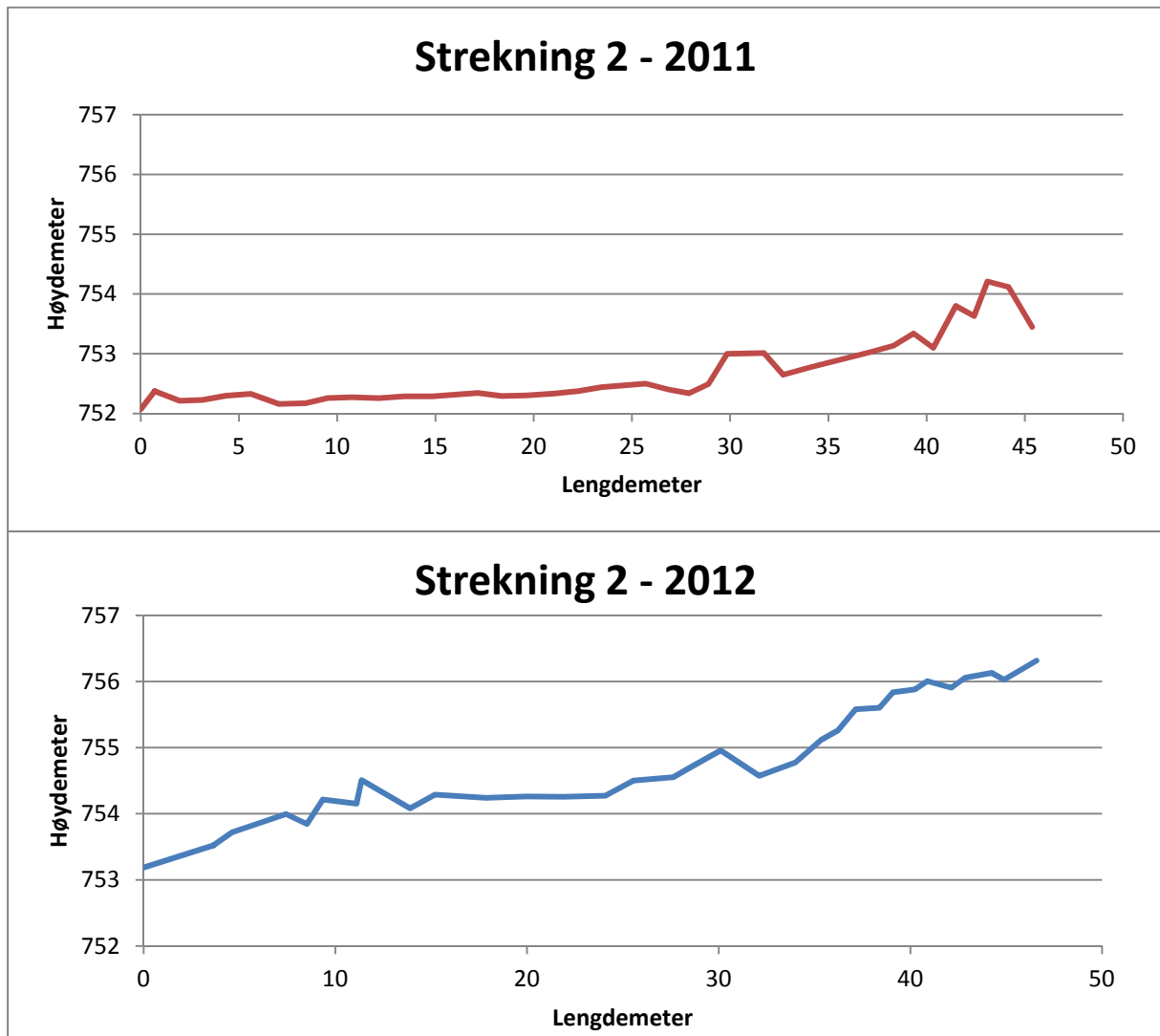
### 4.1.2 Strekning 2

Denne strekningen har en luftlinjefaktor fra 7 til 47 meter, og ble målt opp i august 2012. Dette var også den eneste målingen som ble foretatt ved bruk av C-POS i stedet for basestasjon. Som luftlinjefaktoren viser, er sammenligningsgrunnlaget i store deler det samme som fra strekning 1. Den horisontale utstrekningen av strekkene vises i Figur 11.



**Figur 11:** Horisontal fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 2.

I dette tilfellet er de to grafene over elvas lengdeprofil noe mer sammenfallende (Figur 12). En kan for eksempel se det ene store stepet med tilhørende pool etter ca 30 meter, med en skarp økning i gradient i etterkant. Et merkelig fenomen ser ut til å være at linjene som representerer veivalget i elva ser ut til å skille lag på samme stedet hvor det ser ut til å være sammenfallende på høydegrafene. I denne delen av oppmålingen er linjene opp til seks meter fra hverandre.



Figur 12: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.

Tabell 3: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 2.

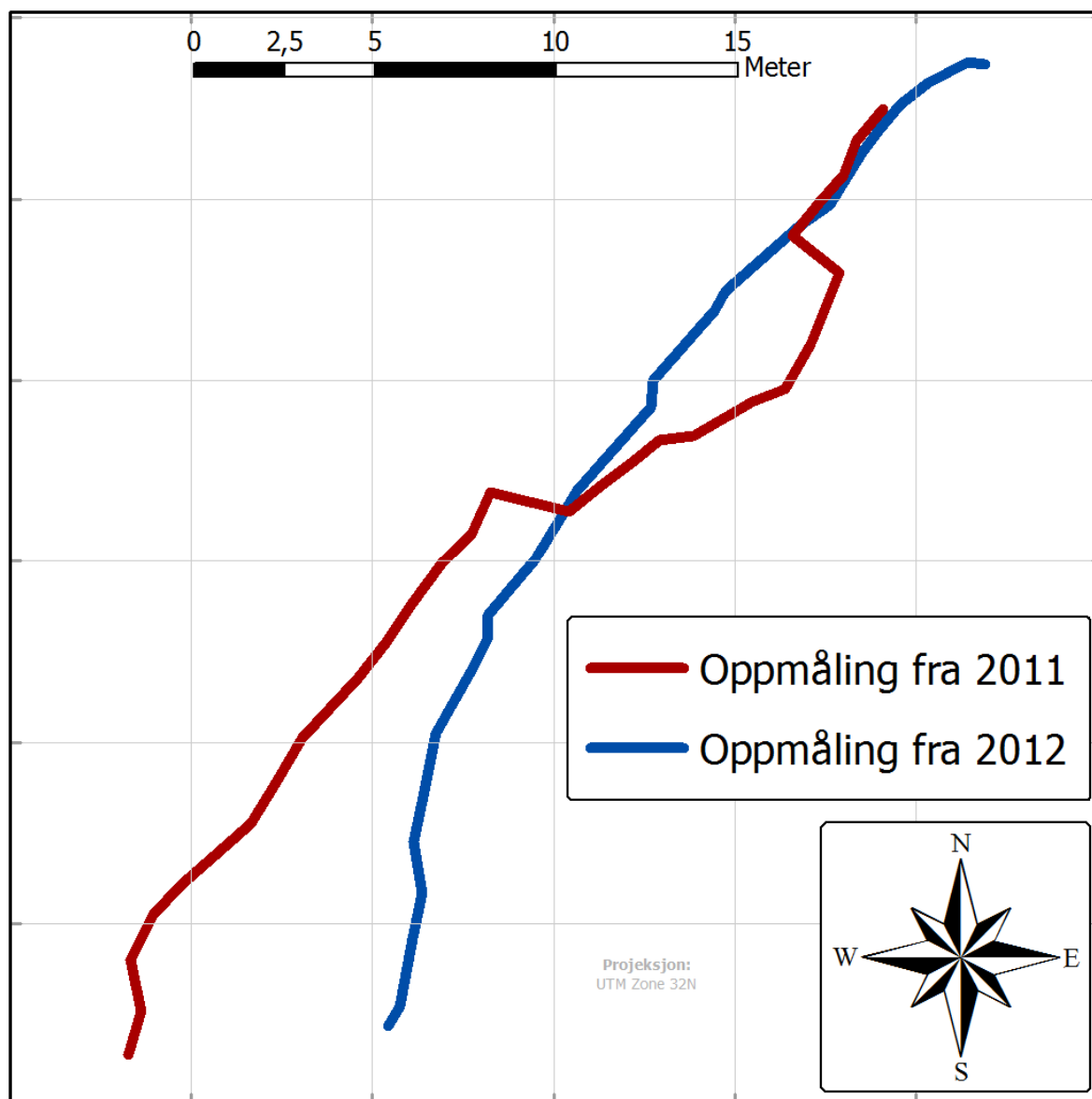
Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,05	6	7,088	1,296
2012	0,078	7	6,716	1,503

Dette betyr at snittbølgelengden er ca 5 % kortere i målingene fra 2012 (Tabell 3).

I dette målesettet ser en også at spennet i høydeverdier ikke er likt mellom målesettet. I dette tilfellet er det spesielt interessant, siden dataene fra 2012 baserer seg på korreksjoner fra CPOS, og skal dermed i teorien være fri fra påvirkninger fra f.eks flytting av basestasjoner. Dersom en fjerner de ytterste punktene i begge målesettene, ligger begge godt innenfor et spenn på ca 2,5 meter fra topp til bunn, slik at de relative forskjellene innad bør være korrekt representert.

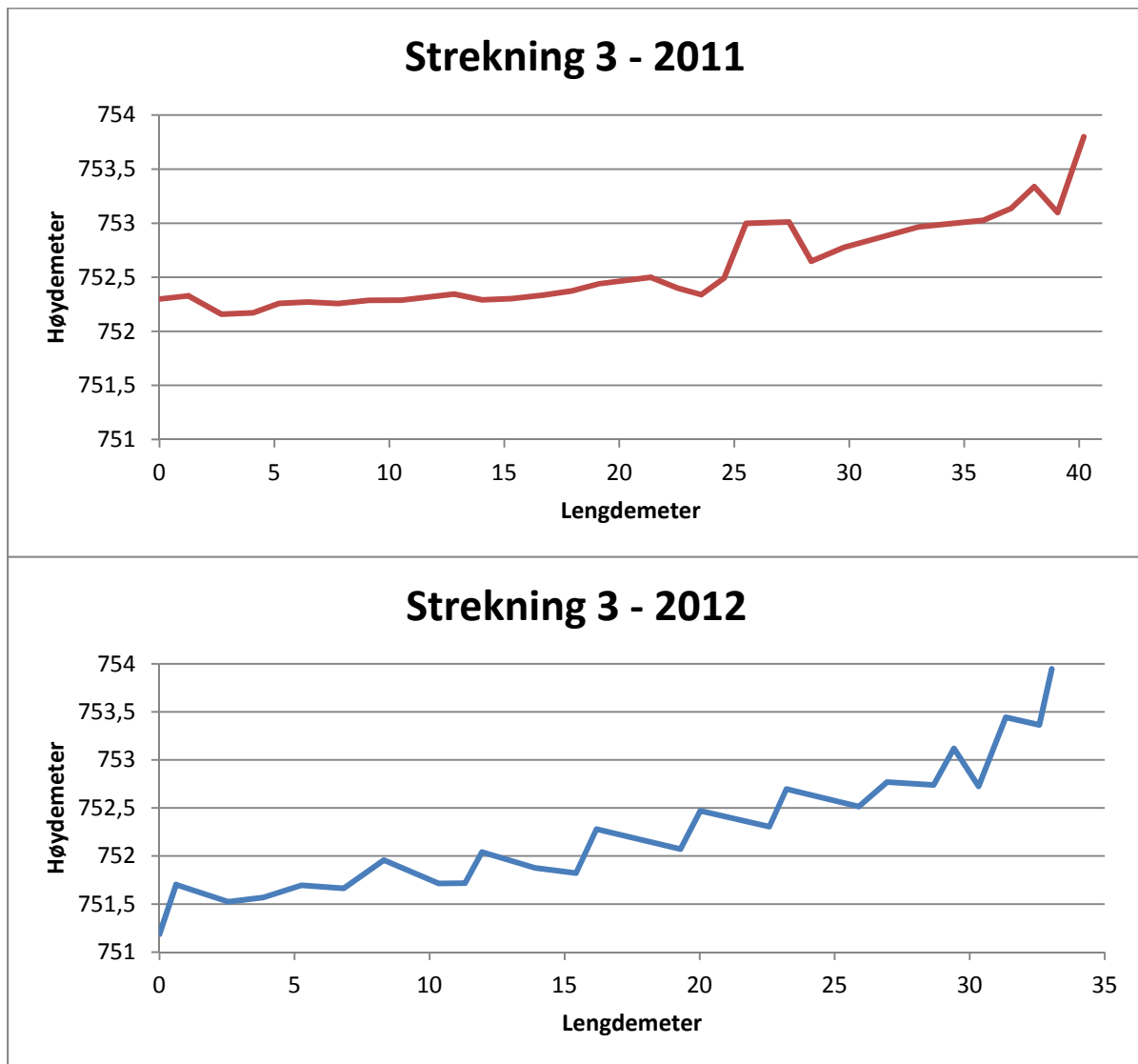
### 4.1.3 Strekning 3

Strekning nr 3 har en luftlinjefaktor fra 11 til 44 meter. Ut fra kartfremstillingen (Figur 13) ser disse to datasettene ut til å overlappet noe bedre i horisontal utstrekning, og selv om avstanden er stor i den nederste delen, er avstanden lengre opp avvikende med maks 2 meter.



Figur 13: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 3.

Grafene som fremstiller den vertikale profilen (Figur 14) er ikke så lett å tolke. Med et veldig overfladisk blikk har begge en jevn stigning i starten som blir mer konkav mot slutten, men det store steppet som ligger på rundt 25-30 meter (og som var synlig på begge målingene i det andre overlappende datasettet), er ikke synlig i 2012-målingene.



Figur 14: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.

Tabell 4: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 3.

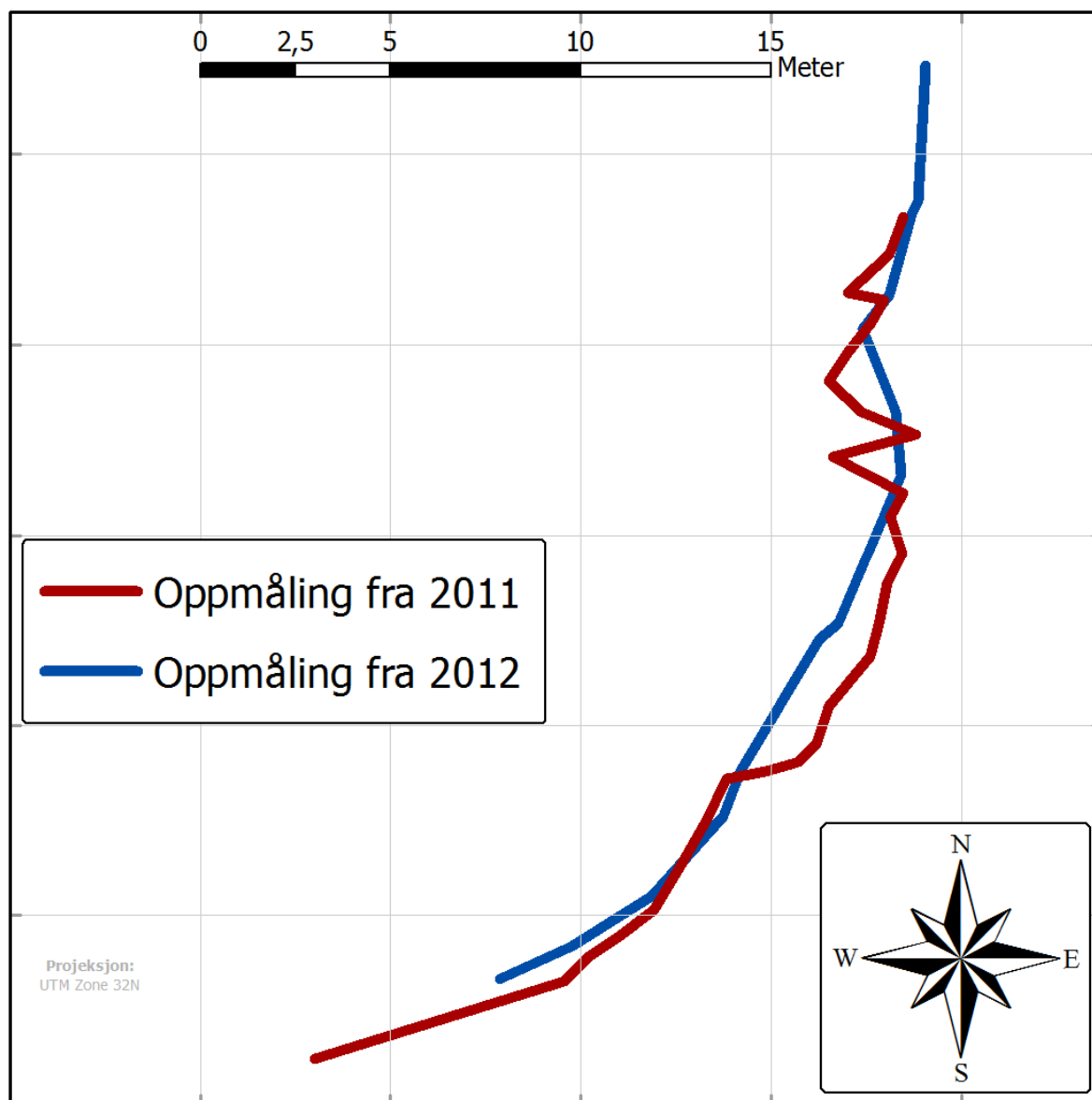
Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,04	7	6,138	1,513
2012	0,075	10	3,494	1,376

Som Tabell 4 viser, er det lite samsvar mellom disse to profilene. Snittbølgelengden er ca 43 % lengre i 2011-settet. Dette er også den ene av kun to strekninger hvor snittmåleavstanden er lavere for 2012-dataene enn 2011-målingene. Høydedataene er ikke helt overlappende i dette settet heller. Begge har toppverdier på rett under 754 meter, mens startpunktene har nesten en meters forskjell.



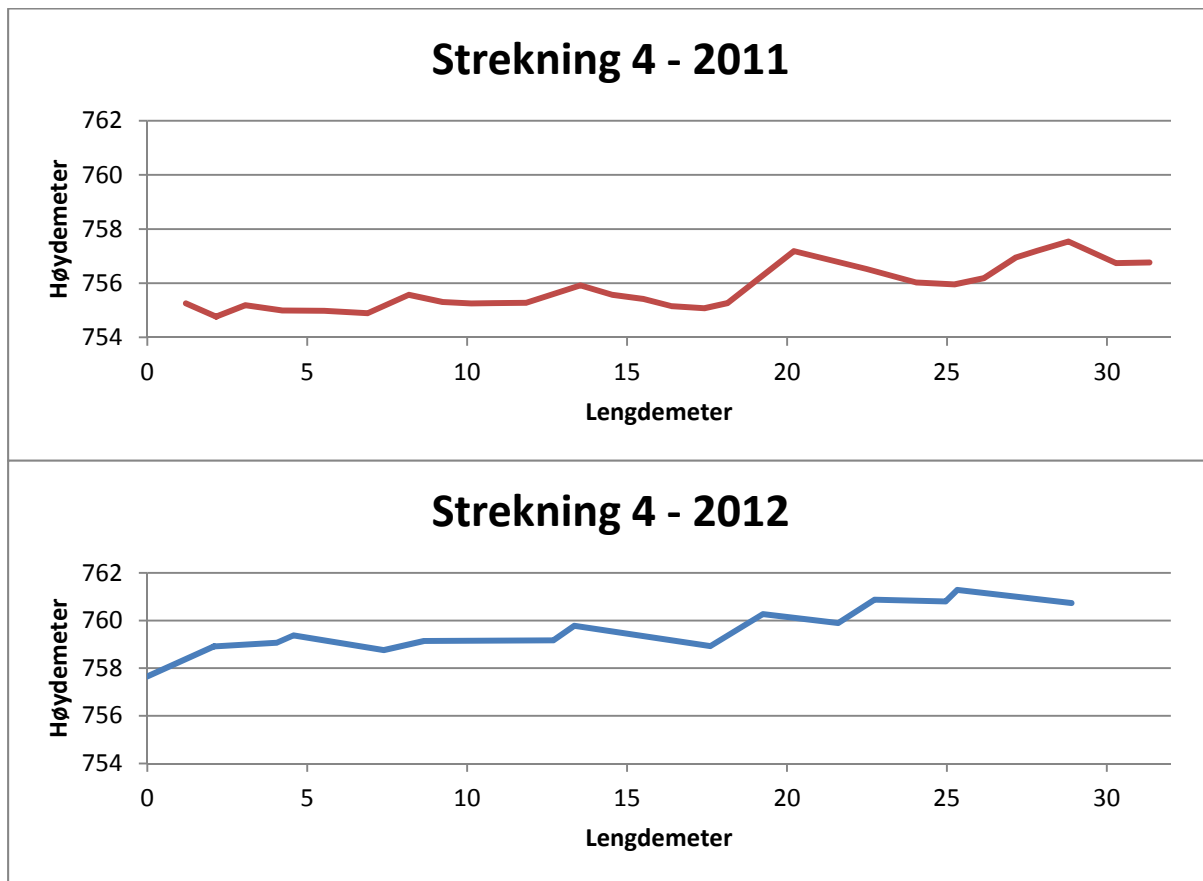
#### 4.1.4 Strekning 4

Strekning nr 4 har en luftlinjefaktor fra 46-74 meter. Kartfremstillingen i Figur 15 viser at det er noen drastisk forskjellige trasevalg i deler av strekningen, og forskjellen i lengde på måleintervallene viser seg ganske tydelig. Som resten av tallmaterialet vil vise, er det grunn til å tvile på validiteten til akkurat denne strekningen.



**Figur 15:** Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 4.

Den vertikale grafiske fremstillingen av de to profilene (Figur 16) viser tydelige steps i begge settene, men det er vanskelig å identifisere de samme steppene i begge. I tillegg ser vi også at de absolutte høydeverdiene er forskjellig med rundt fire meter i starten av settene.



Figur 16: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.

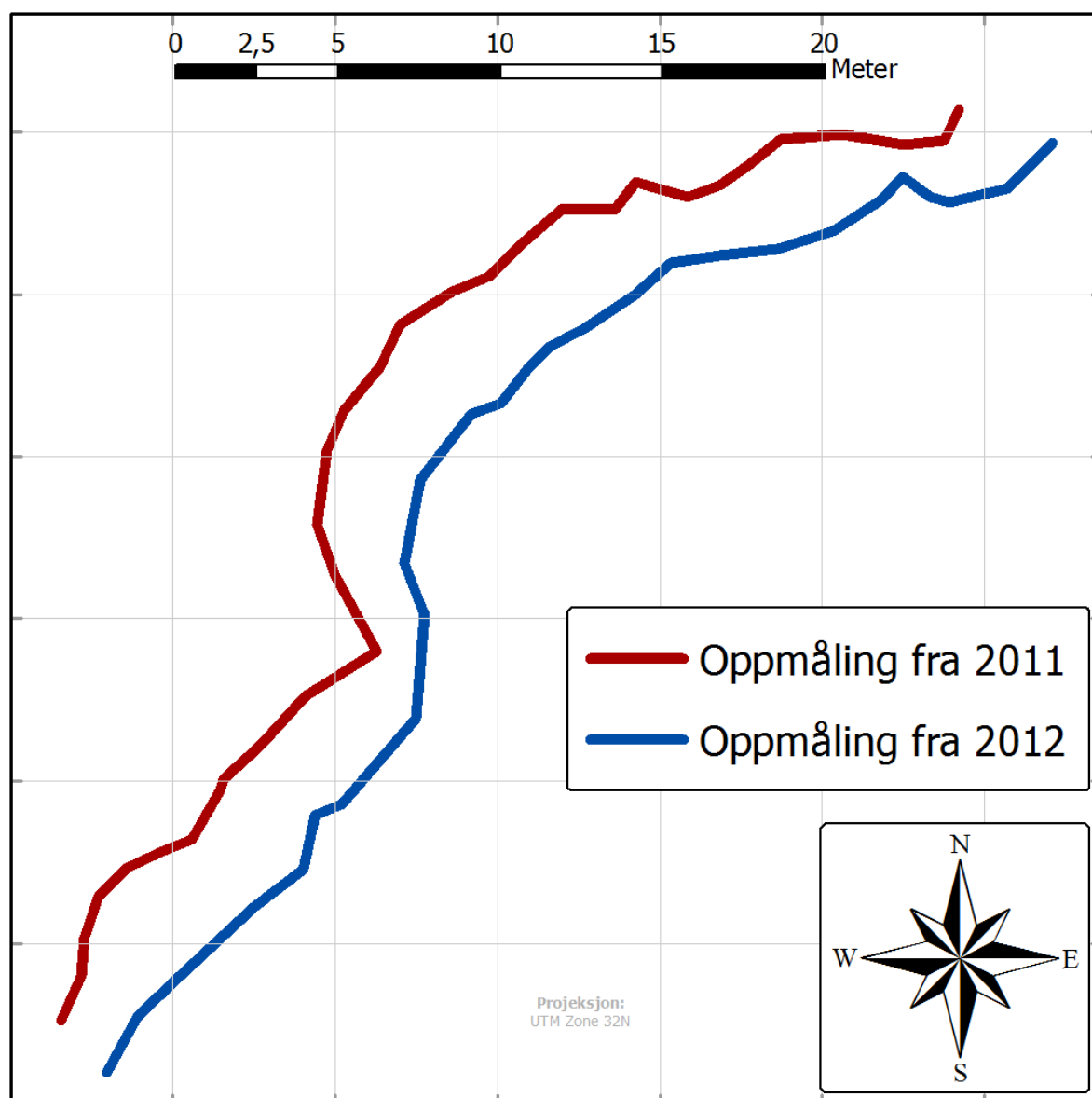
Tabell 5: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 4.

Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,123	6	5,548	1,4
2012	0,09	7	3,906	2,064

Her ser vi at snittmålelengden er ca 50 % lengre i 2012, mens den gjennomsnittlige bølgelengden er ca 30 % kortere i tilsvarende tidsrom. Samtidig er ikke avviket like stort i verken gradient eller antallet identifiserte steps.

#### 4.1.5 Strekning 5

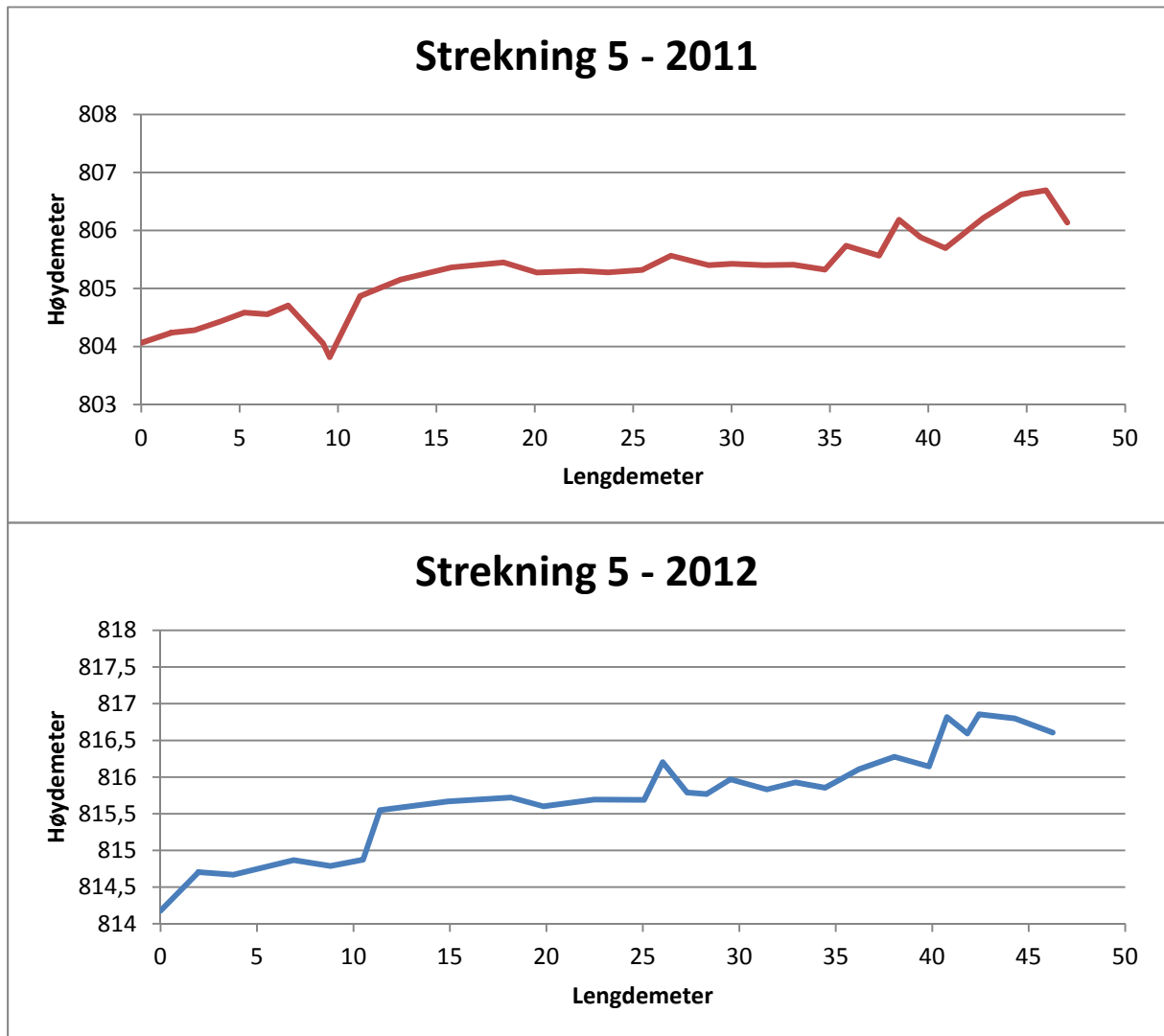
Strekning 5 har en luftlinjefaktor fra 589 til 628 meter. Som kartet i Figur 17 viser, har de to strekningene et nokså sammenfallende trasèvalg. Imidlertid ser 2012-målingene ut til å være forskjøvet i sørøstlig retning når de blir kontrollert mot georefererte ortofoto, og avviket er anslagsvis mellom 2 og 3 meter. Grunnen til dette er sannsynligvis innstillinger i GPS-systemet, se diskusjonen i avsnitt 5.1.3 for mer om dette. Det er forsøkt å regne ut korreksjon, men siden avviket ikke ser ut å være likt gjennom hele datasettet, har det blitt lagt inn slik som det er. De relative forskjellene innad i målingene skal være lik, og dermed kunne gi et dekkende bilde av step-pool-vareblene.



Figur 17: Fremstilling av de ulike måletrasèene i strekning 5.

I dette tilfellet ligner grafene hverandre i større grad enn hva som har blitt vist så langt (Figur 18). Begge viser en relativt bratt gradient opp til ca 15-20 meter, hvor det så kommer et flattere

parti frem til en serie med større steps og gradientøkning fra ca 30 meter og videre. En kan til en viss grad kjenne igjen individuelle steps, slik som det som viser seg rundt 27 meter i begge datasettene. Høydene på disse ser likevel ut til å være representert forskjellig mellom de to målingene.



**Figur 18:** Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012. Legg også merke til ca 10 meters forskjell i absolute høydeverdier mellom målesettene.

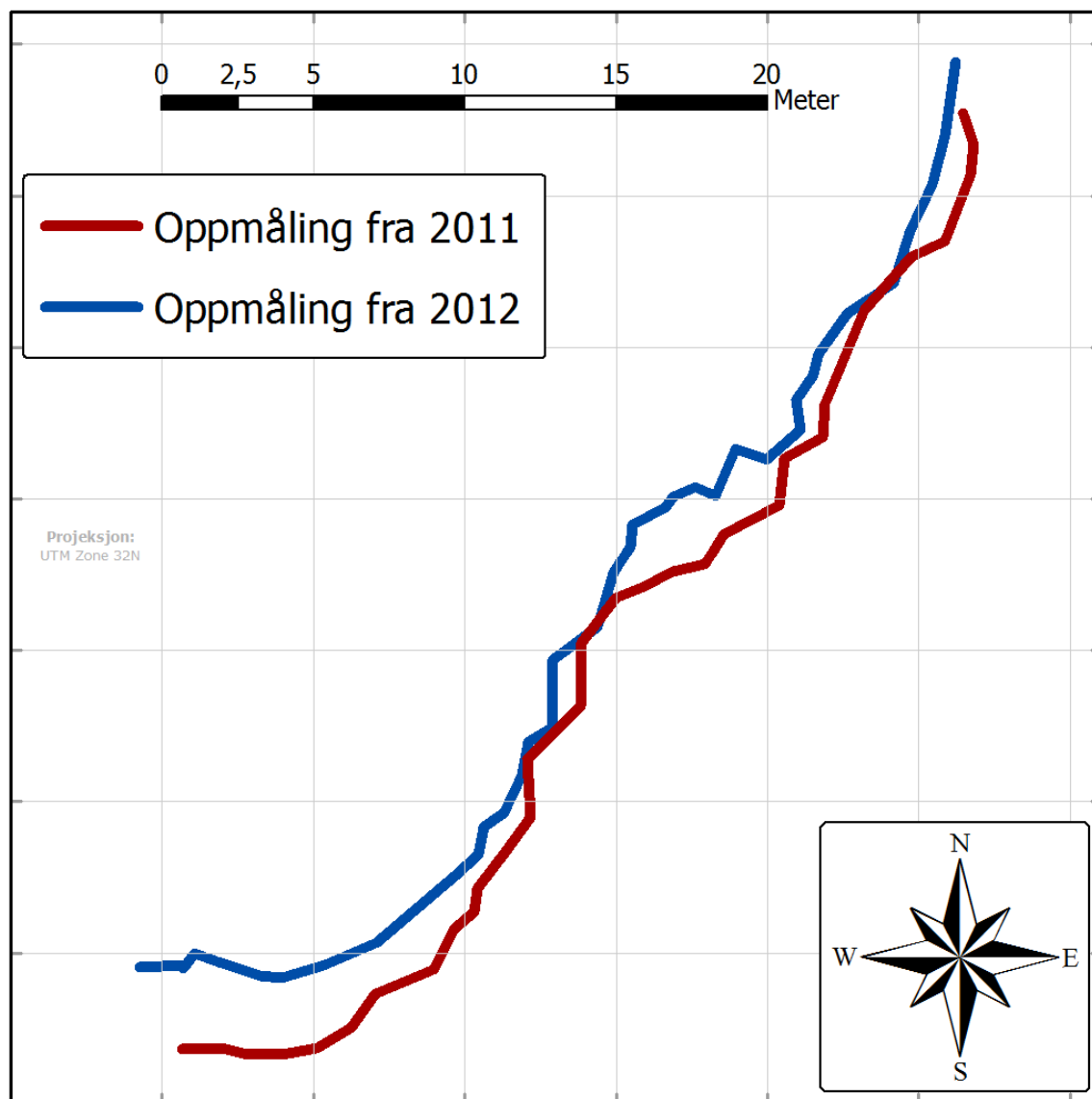
**Tabell 6:** Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 5.

Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,05	8	6,22	1,523
2012	0,06	10	4,062	1,713

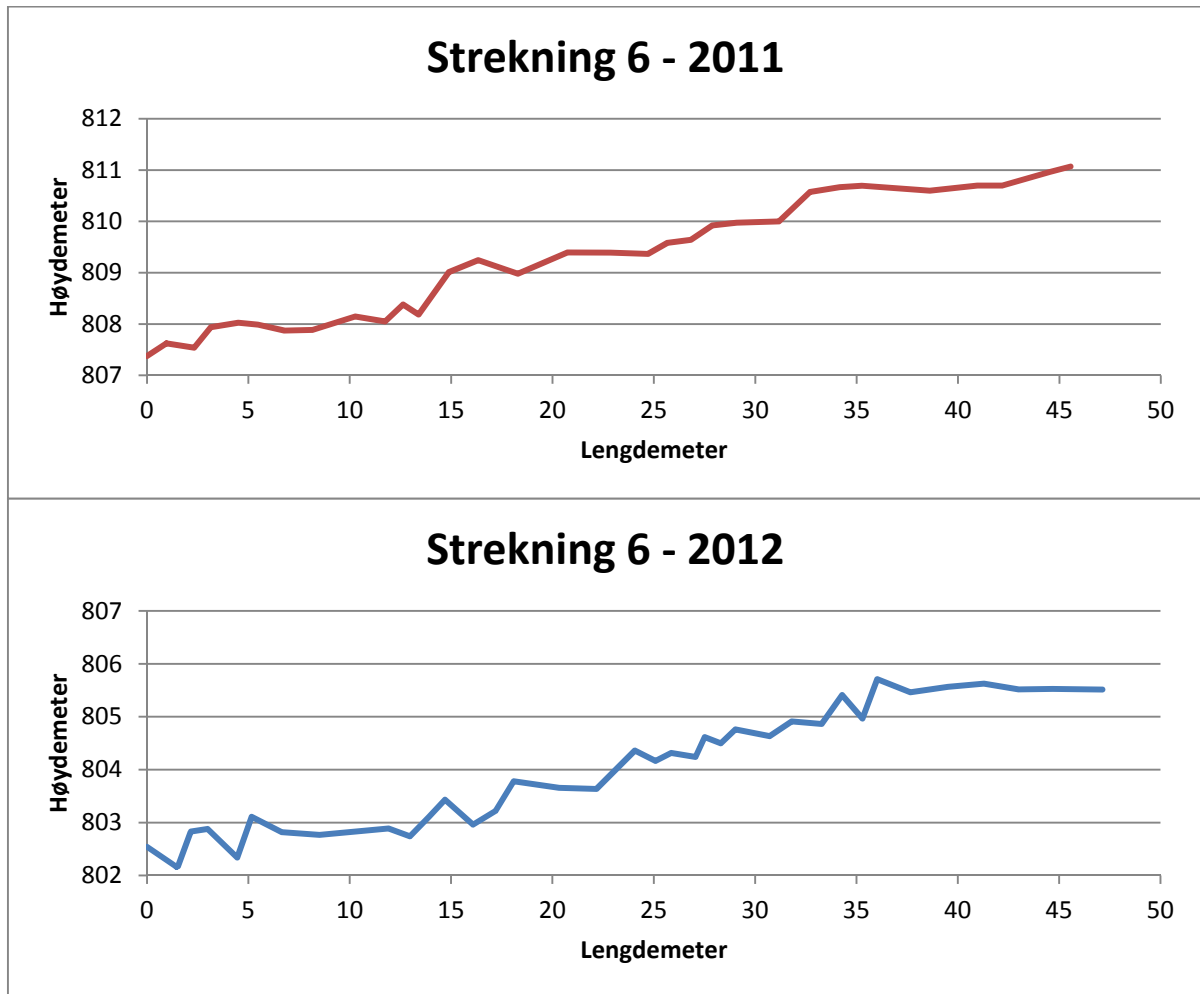
Denne målingen ble foretatt på feltkursets siste dag, etter en uke med prøving og feiling når det gjaldt å bruke den differensielle GPSen i praksis. Flere ting tyder på at det er først nå man begynner å få kontroll på metoden: Trasevalget er nokså sammenfallende (til tross for forskyvningen), antallet steps og gradienten er begge relativt like (Tabell 6). Til tross for dette er gjennomsnittsbølgelengden så mye som 35 % kortere i 2012.

### 4.1.6 Strekning 6

Rett oppstrøms for strekning 5 ligger strekning 6, som har en luftlinjefaktor fra 631 til 670 meter. Som Figur 19 viser, er trasèvalget mer sammenfallende enn hva som er tilfellet lengre ned i elva. I det nederste området er det ca 2 meters horisontal forskjell mellom målingene, mens de er så godt som sammenfallende andre steder.



Figur 19: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 6.



**Figur 20:** Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012. Legg merke til at selv om intervallene på Y-aksen er lik (1 meter), er de absolutte verdiene forskjellig.

Grafene for de to oppmålingene (Figur 20) er vanskelig å si noe konklusivt om. Man kan her også kjenne igjen enkelte trekk mellom dem, slik som de to påfølgende stepsene med et relativt flatt område oppstrøms fra ca 14- 25 meter. Men selv disse har ganske store interne høydeforskjeller mellom målingene, og jevnt over er det stort sett bare den totale gradienten som ligner.

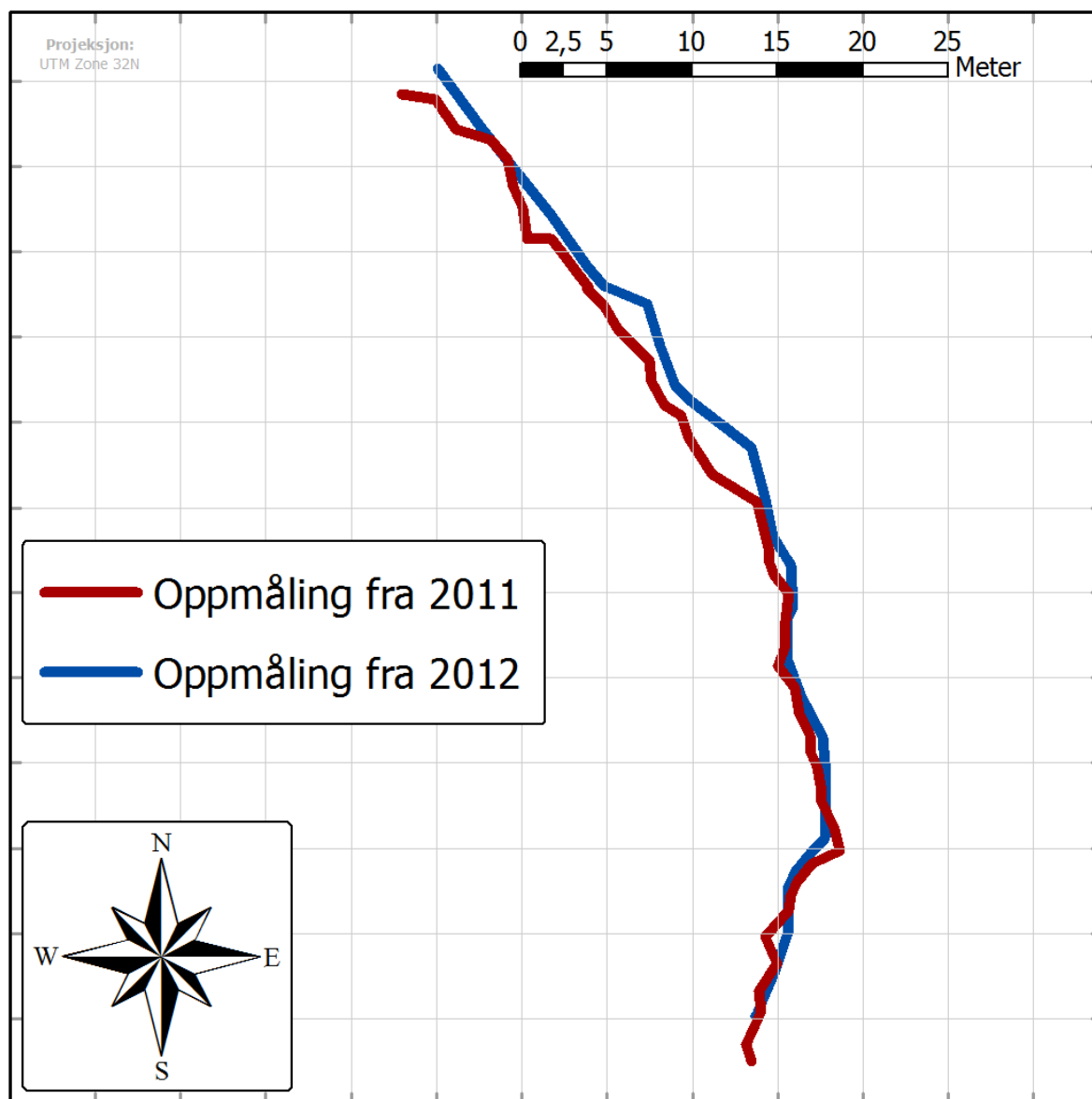
**Tabell 7:** Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 6.

Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,09	10	4,342	1,504
2012	0,07	12	3,46	1,288

Det som først skiller seg ut fra statistikken ovenfor (Tabell 7), er den store forskjellen i identifiserte steps. Det er et av de største avvikene i step-antall i hele datasettet. Det er også ca 20 % forskjell i stepbølgelengde, noe som er ganske likt strekning 5. Forskjellen i målelengde er lignende, 14 % for å være helt presis.

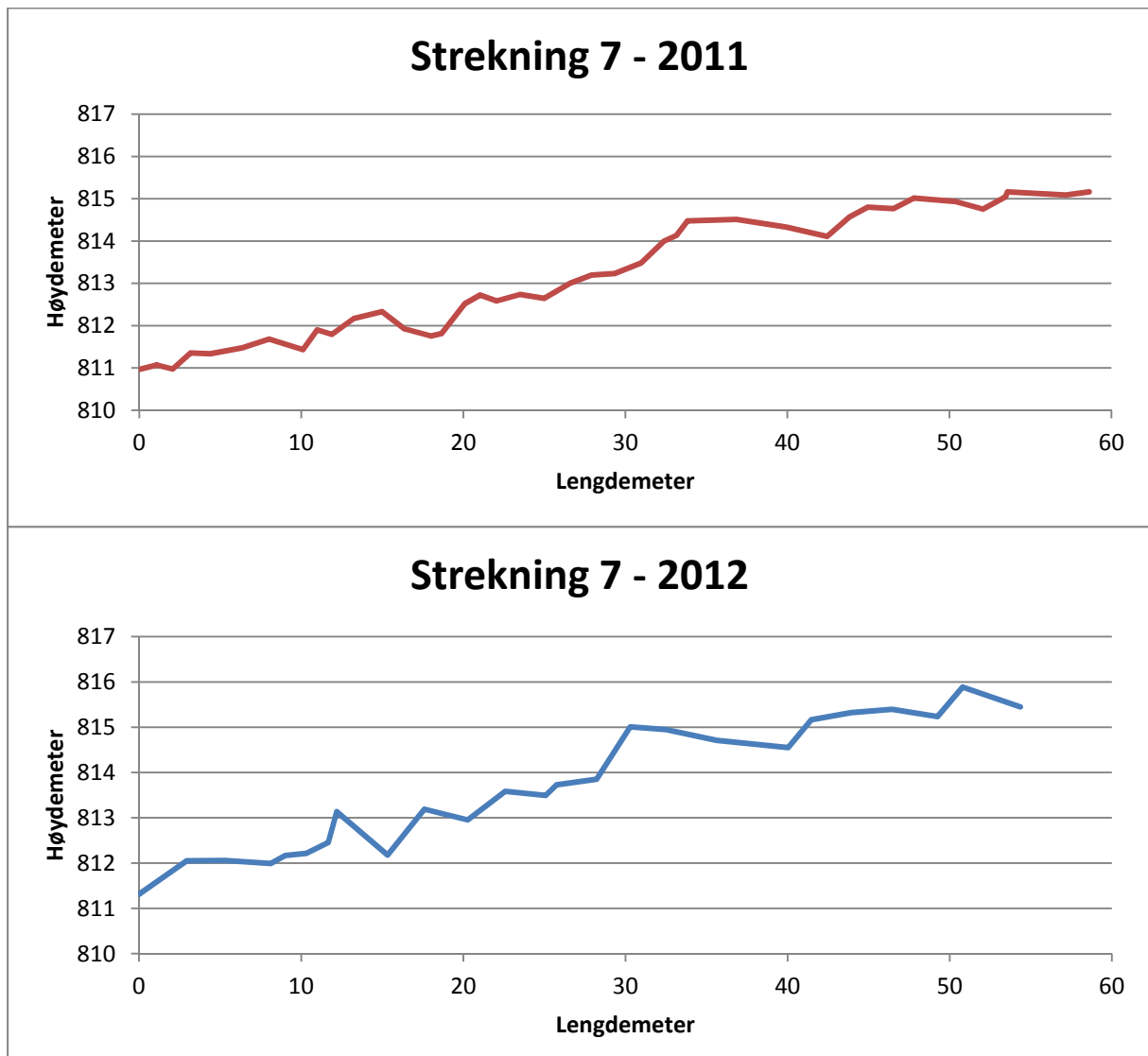
#### 4.1.7 Strekning 7

Strekning 7 har en luftlinjefaktor fra 670 til 705 meter. Kartet viser at dette er målingen som sammenfaller aller mest i horisontal utstrekning (Figur 21), og trasélinjene krysser hverandre flere ganger.



Figur 21: Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 7.

Grafen i Figur 22 er også kanskje den av alle 2012-målingene som stemmer best overens med kurven fra 2011. I hvertfall er det flere tydelige trekk av elva som kan kjønes igjen på tvers av datasettene. Det store step-pool-settet rundt ca 15-20 meter, samt den meterhøye plutselige stigningen på ca 30-35 meter er eksempler på det.



Figur 22: Høydedata for de to strekkene fra henholdsvis 2011 og 2012.

Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
2011	0,1	12	5,696	1,537
2012	0,09	7	5,358	2,013

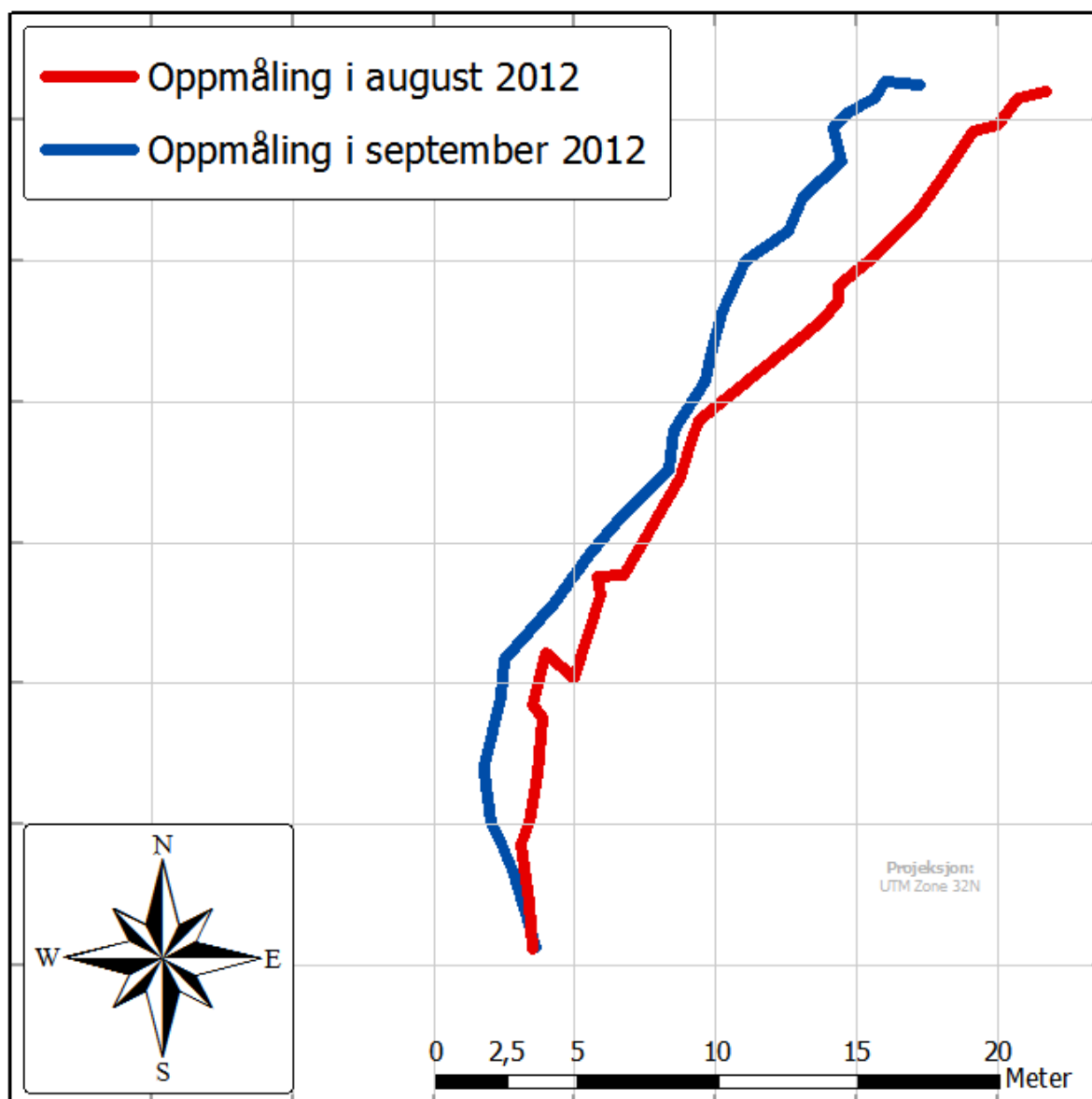
Tabell 8: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 7.

På dette strekket er avviket mellom bølgelengdesnittene bare 6 prosent (Tabell 8). Gradienten er også rimelig lik for de to. Samtidig er det et stort avvik i antallet identifiserte steps mellom de to målingene, men på grunn av gjennomsnittsmålingene vil et step som ikke er plukket opp av måleinstrumentene bli en del av et større step. Det vil over hele strekket jevne seg ut, og det er denne profilen et eksempel på. Snittmålelengden er ca 25 % lengre i 2012-datasettene, og dette er en mulig (og ganske sannsynlig) kilde til den større unøyaktigheten i disse målingene.



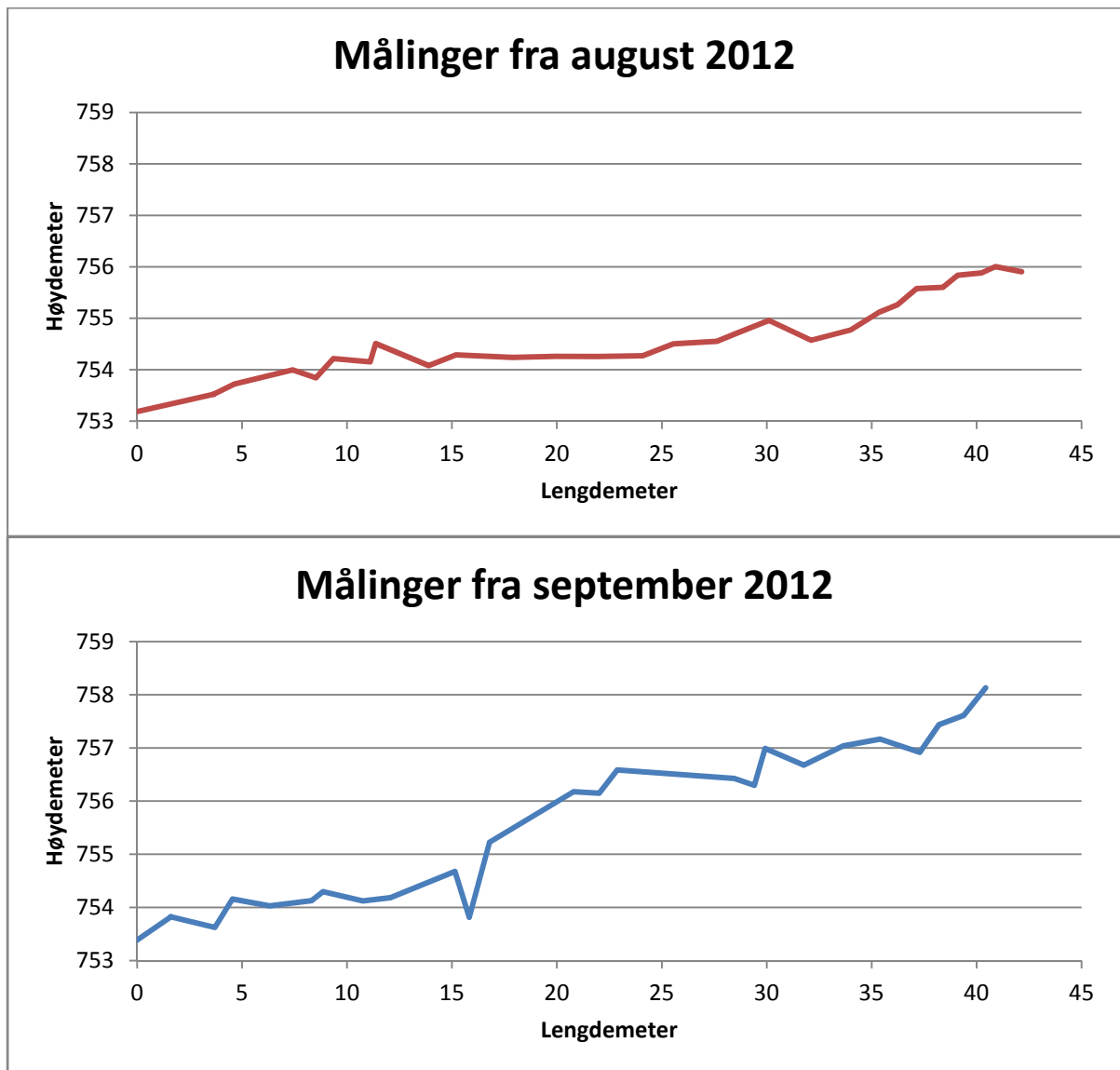
#### 4.1.8 Strekning 8

Strekning 8 har en luftlinjefaktor fra 7 til 44 meter. I motsetning til de syv forrige strekningene, er denne en sammenligning av to overlappende målinger fra samme år, fra henholdsvis august og september 2012 (Figur 23).



**Figur 23:** Fremstilling av de ulike måletraseene i strekning 8.

Målingene er foretatt med ca en måneds mellomrom, dermed har det ikke vært noen flomperiode i mellomtiden, og elva skal dermed ikke ha endret løpet sitt nevneverdig. Likevel ser man tydelige forskjeller mellom de to oppmålingene (Figur 24), som dermed må kunne sies å være et godt bevis på hvor mye trasevalg spiller inn på datainnsamlingen.



Figur 24: Lengdeprofilen til de to måleseriene fra henholdsvis august og september 2012.

Måleserie	Gradient	Antall steps	Gjennomsnittlig bølgelengde	Gjennomsnittlig måleavstand
August 2012	0,07	5	8,389	1,561
September 2012	0,13	7	5,120	1,684

Tabell 9: Komparativ statistikk for de to målesettene i strekning 5.

Et merkelig trekk ved disse datasettene er den store forskjellen i gradient. Der augustmålingene (foretatt med C-POS) har et spenn i høydeverdier på ca 3 meter, har septembermålingene (foretatt med basestasjon) et tilsvarende spenn på ca 5 meter. Som nevnt, bør ikke elva ha vært utsatt for nevneverdige løpsendringer i løpet av en sommer/høstmåned, slik at avvikene må tilskrives andre feilkilder. Snittbølgelengden er også blitt 39 % kortere, og det kan også vanskelig forklares med fysiske endringer i elva.

## 4.2 Endringer i step-pool-faktorer mellom målesettene

Tabellen under viser endringer i de forskjellige faktorene mellom målesettene fra 2011 og 2012 der det er tilfelle, pluss strekning 8 hvor begge målesettene er fra 2012.

**Tabell 10:** Endring i analyserte faktorer mellom målesettene. Stepbølgelengde og målepunktlengde oppgis i prosent, mens antall steps og gradient som oppgis i absolutte tall.

Luftlinjefaktor	Antall steps	Stepbølgelengde	Gradient	Målepunktlengde
0-43	+ 3	- 27 %	+ 0,06	+ 15 %
7-47	+ 1	- 5 %	+ 0,03	+ 16 %
11-44	+ 3	- 43 %	+ 0,04	- 9 %
46-74	+ 1	+ 50 %	- 0,03	+ 51 %
589-628	+ 2	- 35 %	+ 0,01	+ 12 %
631-670	+ 2	- 20 %	- 0,02	- 14 %
670-705	- 5	- 6 %	- 0,01	+ 31 %
08.2012 – 09.2012	+ 2	- 39 %	+ 0,06	+ 7 %

Det som er åpenbart ut fra denne tabellen, er at det er til dels store forskjeller i målingene fra påfølgende år, og det er vanskelig å se noen klare trender og tydelige sammenhenger mellom variablene.

En trend som står ut, er at stepbølgelengden med kun ett unntak er kortere i 2012 enn i 2011. Det er likevel ikke noe tydelig prosentmessig samsvar i denne innkortingene mellom de oppmålte strekkene. På en lignende måte er det i alle unntatt ett strekk funnet flere steps i 2012-målingene enn året før. En annen trend (som blir drøftet i diskusjonsdelen av oppgaven) er at i 5 av 7 målinger er snittavstanden mellom målingene større i 2012 enn i 2011.

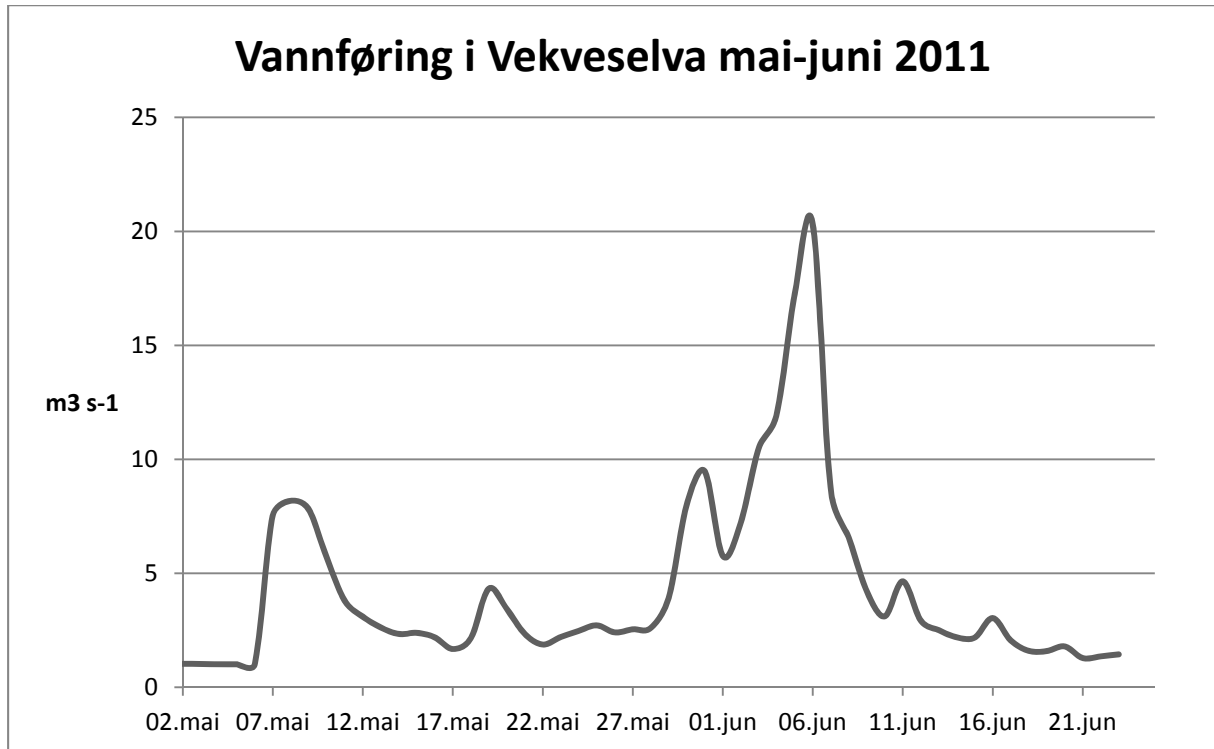
Forskjellene i gradient er også sprikende. Siden step-pool-morfologi innebærer mange spredte gradientendringer, er det ikke sikkert at et gjennomsnittstall for hele strekket er tilstrekkelig representativt.

## 4.3 Vannføringsdata

Siden vannføring og spesifikt store flomhendelser har stor betydning for utvikling av step-pool-morfologi (se avsnitt 2.1.4), er det naturlig å hente inn vannføringsdata som kan brukes til å kontrollere resultatene fra DGPS-oppmålingen. Den relative størrelsen på flomhendelsene fra år til år kan vise om flomtoppen mellom målehendelsene har vært ekstraordinært stor nok til å utføre betydelig endring av elvekanalen.

Norges Vassdrags- og Energidirektorat har et stort antall målestasjoner i ulike vassdrag rundt om i Norge som måler forskjellige parametre, deriblant vannføring (NVE 2013). Dette kan overvåkes i sanntid via NVEs internettsider. Imidlertid har ikke NVE målestasjoner i Vekveselva, og den nærmeste ligger omtrent to mil nedstrøms i elva Driva, som Vekveselva

renner ut i. Avstanden er nok for stor til at man kan bruke dataene fra denne stasjonen for å ekstrapolere vannføringsdata for Vekve. NTNU har vannføringsdata fra en egen målestasjon ved sedimenteringsdammen for begrensede tidsrom. Det er kun tilgjengelig data fra begrensede tidsrom for vannføringen i Vekveselva. Dessverre er ingen av disse dataene dekkende for hele perioden mellom oppmålingene som danner grunnlaget for denne oppgaven.



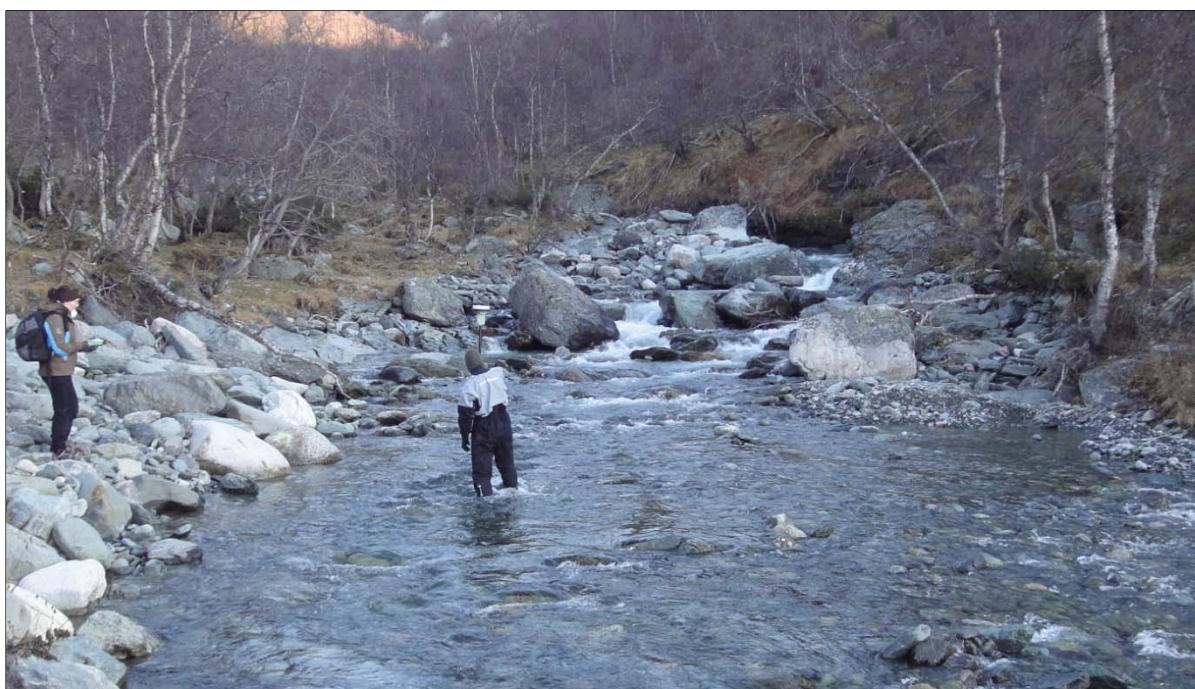
**Figur 25:** Vannføringsdata fra sedimenteringsdammen i Vekveselva for mai og juni 2011.

Figur 25 viser vannføringsdata for vårflomperioden i 2011. Den viser tydelig at flomtoppen inntreffer brått og med veldig mye større vannføring enn hva som er normalen fra perioden før snøsmeltingen begynner rundt midten av mai. Det betyr at Vekveselva opplever flomhendelser med stor styrke og av kort varighet, med tilhørende stort potensiale for materialtransport og erosjon av elvekanalen. Tallene i figuren er døgngjennomsnitt, slik at kortere enkelthendelser kan være enda større. For eksempel er maksverdien i disse målingene fra 6. juni på  $42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

En annen generell illustrasjon på hvordan en flomperiode arter seg i Vekve, er Figur 26 og Figur 27. De viser hvor stor forskjellen mellom normal og flomvannføring kan være i elva. På flombildet ser vi at hele elvekanalen er fylt opp til vegetasjonsgrensen. Dermed ser vi at elva i flomperioder har potensiale til både å erodere og transportere i hovedløpet, men også mobilisere materiale som ligger godt utenfor elvas normalløp. Dette er noe man må ha i bakhodet når man skal tolke avvik mellom målesettene fra de to årene.



**Figur 26 (over):** Vekveselva under flomvannføring i juni 2010. Bildet er tatt ca 50 meter oppstrøms for sedimenteringsdammen. (Foto: Geir Vatne)



**Figur 27:** Det samme området i oktober 2011 på normal vannføring. Legg merke til posisjonen til de to store steinene i midten av begge bildene som referansepunkt. (Foto: Geir Vatne)





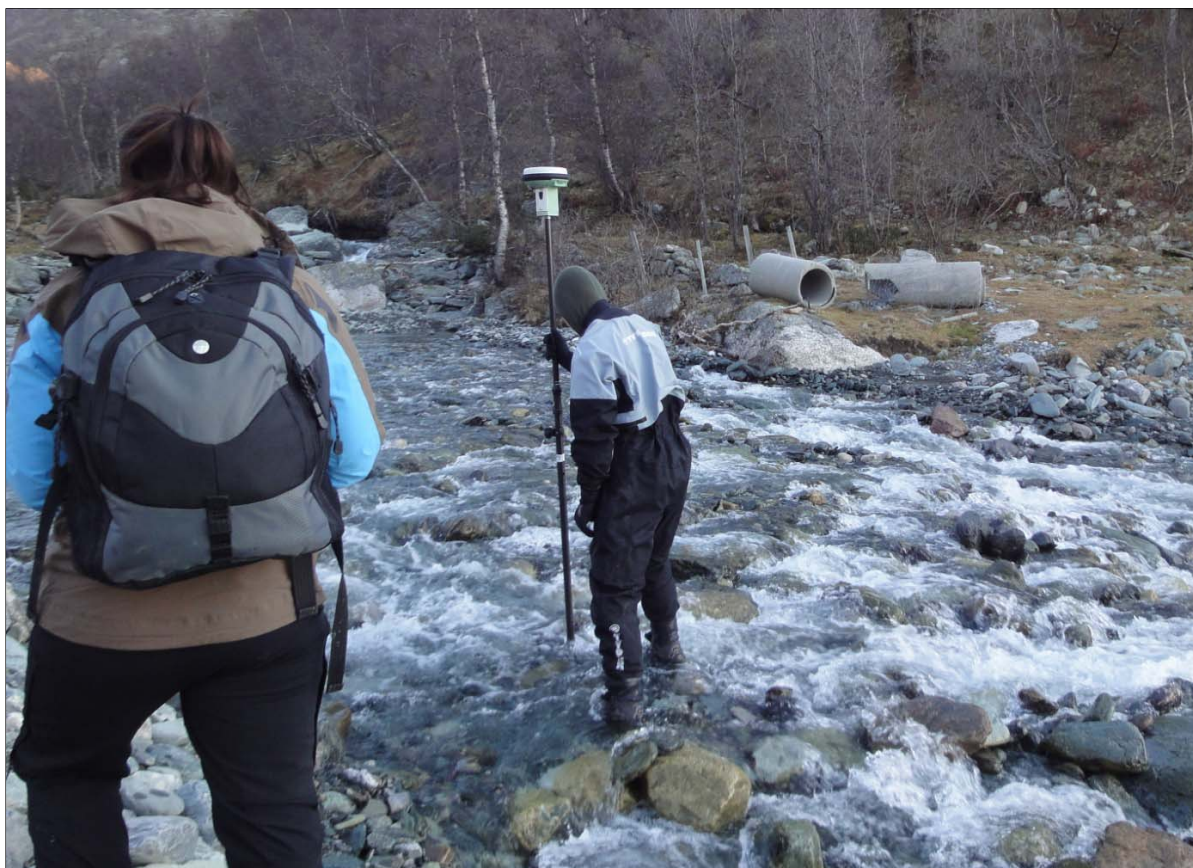
## 5 Diskusjon/drøfting av resultater

### 5.1 Hva er grunnen til forskjellen i måleresultatene mellom årene?

Som resultatseksjonen viste, er det en del sprik i resultatene, både mellom 2011 og 2012, men også innad i datasettene. Dersom en kunne stolt fullt og helt på at dataene var representative og sammenlignbar, ville det betydd at elva hadde vært utsatt for store endringer, både i horisontal løpsutstrekning og i vertikal step-pool-profil. Men når det også er rare utslag i for eksempel absolutte høydeverdier mellom overlappende strekk, er det naturlig å se på hvilke faktorer som kan ligge bak avvikene i målesettene.

#### 5.1.1 Faktiske forandringer i elvekanalen

I minst ett av tilfellene av drastiske forskjeller i måleseriene, kan det bekreftes med andre kilder at kanalformen har forandret seg. I 2011 var det et markant delta som hadde bygget seg opp ved innløpet til sedimenteringsdammen, men i tidsrommet mellom målingene har hele dammen blitt tømt for sedimenter (av gravemaskiner og lastebiler, og ikke naturen selv).



**Figur 28:** Innløpet til sedimenteringsdammen under feltarbeidet i 2011. Legg merke til posisjonen til betongrørene og den store steinen under. (Foto: Geir Vatne)

Figur 28 viser et bilde av hvordan starten på deltaet i damutløpet så ut i 2011, og det kan sammenlignes med bildet i Figur 29, som er tatt i 2012. Med forbehold om hvordan forskjellene i bildene kommer frem i trykt form, kan man si at bildene viser en brattere gradient med større og tydeligere steps i 2012 enn i 2011. Disse endringene kan man til en

viss grad spore i resultatene, hvor både strekning 1, 2 og 3 dekker dette området. Dermed kan man kanskje se på avvikene i disse strekkene som reelle endringer siden de til en viss grad kan verifiseres.



**Figur 29:** Innløpet til sedimenteringsdammen under feltarbeid i 2012. Betongrørene og den store steinen i underkant er referansepunkter fra forrige bilde. Fotografen står nå omtrent på samme sted som operatøren i Figur 28.

En annen endring som også vises tydelig på bildene, er at i 2011 er elvekanalen ganske bred, kanskje opp mot 8-10 meter, og uten et tydelig hovedleie. I 2012 har løpet konsentrert seg på et mye smalere løp på østsiden av elvekanalen (mot høyre i bilderetningen), noe som gjør det mye lettere å estimere hva som er området med størst vannføring hvor målingene skal foretas.

Denne endringen er et resultat av menneskelig inngripen i form av masseuttak, men den viser likevel hvor raskt elva kan endre løp og profil i respons til en ny erosjonsbasis. Det kan ikke utelukkes at elva på enkelte steder hvor målingene avviker, har forandret sitt løp i løpet av flomperioden mellom målingene. Vannføringsdata fra vårflommen mellom de to måleperiodene ville kunne bidratt til å si noe om transport/erosjonskapasiteten under flomtoppen. I tillegg er det mulig at elvas endrede erosjonsbasis pga tømningen, har ført til at faktiske endringer i step-pool-oppbyggingen har forplantet seg lengre oppstrøms enn damutløpet. På dette punktet ser man viktigheten av god bildedokumentasjon av feltarbeidet,



slik at store løpsendringer som er tydelig nok til å ses på bilder som i de foregående figurene, kan påvises ved hjelp av referansepunkter utenfor elveløpet. Dette er særlig viktig for steps som består av fast fjell. Siden de ikke kan flytte seg, kan de brukes som faste kalibreringspunkt for måleseriene.

### 5.1.2 Snittlengder

Det som Tabell 10 viser, er blant annet at for fem av åtte målinger i 2012-datasettet er det registrert en lengre snittlengde for måleintervallene enn 2011-dataene. Et noe underlig trekk er at forskjellene i målelengde ikke er konsekvent, den spriker fra å være 14 % kortere til både 31% og 51% lengre. I utgangspunktet var måleintervallene satt til å være lik mellom de to forskjellige datasettene (se senere i teksten for videre diskusjon om valg av måleintervaller), men tallene viser at den praktiske utførelsen av dette i felt har vært forskjellig.

Det som også må ligge i bakhodet er at en gjennomsnittsutregning av måleintervallene ikke nødvendigvis gir et fullstendig riktig bilde av helheten. For eksempel vil enkelte store hopp mellom målepunktene (som likevel er innenfor delegrensen på fire meter) kunne ha relativt stor innvirkning på snittet dersom det er få målepunkter i strekket.

Men siden måleintervallene i felt har vært bestemt ut fra et anslag av operatøren som selv står ute i elva, er det kanskje mulig å dra en slutning ut fra dette: man bør ta med seg en form for måleverktøy i felt for å unngå at man overvurderer hvor lang en meter er (noe som flere forskjellige operatører har gjort). Enkel logikk tilsier at hvis målekriteriene har blitt fulgt til punkt og prikke, og man hadde foretatt målinger ved hver hele meter samt ved gradientbrudd, skulle gjennomsnittsmålelengden ideelt sett være *under* én meter. Dette er likevel vanskelig å oppnå i praksis. Elva har enkelte pools som er opp mot to meter dype, slik at det er umulig å få plassert måleutstyr der. Andre steder er det steps som har et fall på over en meter over glatt grunnfjell, hvor man av sikkerhetshensyn ikke kan bevege seg. Da må man nødvendigvis hoppe over punkter hvor man burde tatt målinger, men det viktigste er å sette sikkerheten i høysetet slik at man unngår skader under feltarbeid.

Avvikene i måleavstand betyr at de to forskjellige målesettene har ulik romlig oppløsning. Siden dataene fra 2011 er tatt med tettere intervaller enn dataene fra 2012, kan det bety at den vertikale profilen er mer detaljert og nyansert på det eldre datasettet. Men det trenger ikke å bety at steps ikke har blitt registrert, siden metoden som er fulgt i begge datainnsamlingene baserer seg på at alle betydelige gradientbrudd skal måles uansett.

### 5.1.3 Læringskurve på praktisk bruk av metoden

En annen faktor som må tas med inn i beregningen, er at begge målingene er foretatt med nytt og avansert utstyr, som man nødvendigvis må lære seg bruken av for å produsere gode resultater. Målingene fra 2011 ble foretatt med differensiell GPS-utstyr som ble leid inn fra et entreprenørfirma, mens måleseriene fra 2012 ble utført ved hjelp av Geografisk institutts nyinnkjøpte GPSer. I tillegg utvikler operatørene underveis i feltarbeidet en bedre forståelse av hva som er de riktige punktene å foreta målinger på. For eksempel ble målingene i de første 50-100 metrene av 2011-feltarbeidet foretatt ikke i midten, men på den vestlige siden av elveløpet. Dette kan man se på bildet i Figur 28. I tillegg ble det målt på det høyeste punktet på steps i stedet for det laveste, noe som forvrenger fremstillingen av profilen og forsterker forskjellene mellom målesettene.

Det er nok rimelig å anta at lignende feiloppfatninger kan være tilfellet med dataene fra 2012 også. Det vises godt i strekning 8 (side 43) som sammenligner målingene fra august og september 2012. Begge disse måleseriene ble tatt tidlig i prosessen, og de store forskjellene i de analyserte faktorene gjenspeiler nok dette, siden det kan utelukkes at elva har blitt omstrukturert i så stor grad i løpet av en måned. Det er neppe en tilfeldighet at datasettene som er foretatt i den øvre delen av elva overlapper bedre både i horisontal og vertikal retning, fordi man på dette stadiet begynner å få bedre kontroll på og erfaring med både teknikk og utførelse av metode. Strekning 7 (side 41), som er strekket lengst oppstrøms av alle, er det som overlapper best mellom årene, både i trasévalg og i vertikal profil.

Tilsynelatende små tekniske kuriositeter med utstyret kan også gi utslag på nøyaktigheten og validiteten i målingene. For å kunne bruke GPS-antennene på en praktisk måte ute i elva, er de montert på en stang som både holder dem unna vannet, samt gir dem bedre mulighet til å plukke opp satelittsignalene i høyden. Dersom en ikke har kompensert for dette via innstillingene i programvaren på styringsenheten til GPSen, vil måleresultatet være feil tilsvarende lengden på stanga. Denne feilkilden vil være lik på alle målingene, slik at de relative forskjellene innad i datasettet er uforandret. Likevel skaper det problemer når en prøver å sammenligne med resultater fra en GPS-enhet av et annet merke. Dataene fra 2012 har innlagt den korrekte korreksjonen for lengden på stanga, mens det er usikkert om det samme er tilfellet for måleserien fra 2011.

Når man bruker differensiell GPS-systemet med basestasjon, er man avhengig av at basestasjonen kjenner sin posisjon med en høy grad av nøyaktighet for at den skal kunne korrigere roverens signaler effektivt. Dette kan gjøres ved at man enten setter den opp i et fastpunkt med kjente koordinater som legges inn i programvaren, eller så kan basestasjonen

selv regne ut gjennomsnittsavviket i satelittmålinger tatt over et visst tidspunkt. Jo flere målinger over lengre tidsrom basestasjonen kan basere seg på, jo mer nøyaktig blir festingen av posisjonen. I strekning 6 har målingene blitt parallellforskøvet, og en sterk mistanke om grunnen til dette kan rettes mot oppsettet av basestasjon, fordi denne ble flyttet mellom målingene i strekning 5 og 6. Sannsynligvis har den ikke hatt mange nok målinger til å regne ut posisjonen sin helt nøyaktig, og dermed bidratt med feil i korreksjonen av den absolutte posisjoneringen til roveren.

Det finnes også en annen mulig feilkilde som har ført til at tilsynelatende overlappende strekk har fått større avvik i høydeverdiene, og det er valg av datum for koordinatene. Som tidligere nevnt i teoridelen, er et datum en ellipsoide som representerer en idealisert jordklode. WGS1984-datumet er altså det vanligste datumet i bruk i dagens geomatikk. Men programmet som styrer GPS-enhetene er et mini-GIS (geografisk informasjonssystem) som er avansert nok til å kunne bruke alternative datum hvis det skulle være ønskelig. Den lokale forskjellen mellom de forskjellige datumene kan være nok til å skape forskyvninger både i horisontal, men mest i vertikal utstrekning. Så vidt som det har vært mulig å kontrollere, har datasettene brukt WGS1984-datumet, men det kan ikke utelukkes at det i bruken av nytt og ukjent utstyr har blitt brukt feil innstillinger på et punkt. Alle målestrekkene med unntak av nr 2 og nr 7 har avvik i absolutte høydeverdier som kanskje kan tilskrives datuminnstillinger eller oppsett av basestasjon.

#### **5.1.4 Forskjell i lokale forhold mellom måleperiodene**

Selv om målesettene skal være foretatt etter de samme kriteriene, er det ikke sikkert at forholdene som spiller inn på elveløpet er de samme under de forskjellige feltarbeidene. En nøkkelfaktor her vil være vannføringen i elva. Vekveselva kan beskrives som en kaotisk elv, på den måten at vannstrømmen blir delt opp av store partikler, grunnfjell eller lignende. Forskjellige vannføringer kan føre til at delen av elveløpet som har størst hastighet (og dermed er hvor målingen skal foretas), flytter seg.

Avvikene i strekning 2 (side 31) kan forklares under denne overskriften. Figur 30 viser utvelgelsen av et målepunkt ved toppen av et step fra datainnsamlingen i 2011. Ut fra bildet ser det ut til at operatøren i elva har valgt å foreta målingen på punktet hvor vannføringen og vannhastigheten er størst. Vi ser at dette er på østsiden av elva, mot bredden lengst unna fotografen på bildet.

Figur 31 viser den samme strekningen av elva som i Figur 30, de to store steinene i hver sin bildekant samt trærne langs elvebredden viser dette. Bildet er tatt under feltarbeidet i august 2012. Av dette bildet fremgår det tydelig at det er vesentlig større vannføring i elva enn hva

som var tilfellet under 2011-målingene. Vi ser også at operatøren (i dette tilfellet forfatteren selv) har valgt et annet løp nærmere kameraet som elvas hovedtrasè. Dette fører til at målingene mellom de to årene er foretatt med en avstand på flere meter fra hverandre, uten at man nødvendigvis har gjort noe annet enn å følge de samme kriteriene som sist.



**Figur 30:** Valg av målepunkter under feltarbeid i 2011. (Foto: Geir Vatne)



**Figur 31:** Bildet viser valg av målepunkt på tilsvarende sted som Figur 30, fra feltarbeidet i 2012.

## 5.2 Valg av målepunkter og måleintervaller

Forskningsdesignet som har ligget til grunn for denne studien, bør også gjennomgå nærmere for å se hvilken innflytelse det har på de ferdige resultatene.

### 5.2.1 Kvalitativ utvelgelse av datapunkter og teoriavhengighet

Som metodedelen viser, har denne studien brukt en kvalitativ definisjon av steps for utvelgelsen av målepunktene i felt. Avsnitt 3.7 viser at det samme er tilfellet for de fleste andre studiene som oppgir detaljer om målepunktvalget. Det betyr altså at en legger til grunn eksistensen av studieobjektene før man kartlegger dem. Har denne teoriavhengigheten innflytelse på validiteten av dataresultatene?

Geomorfologi har historisk blitt ansett som en fagretning uten noen fagfilosofisk dybde, fordi man observerte naturlige enheter og mente at naturen var slik som den ble observert (Rhoads & Thorn 1996). Men observasjonen av de naturlige studieobjektene er på flere nivåer farget av forskerens forhold til og bruk av eksisterende teorier. Rhoads og Thorn (1996) nevner en rekke punkter som viser at observasjonsresultater aldri kan ses på som objektive og teorinøytrale. Teoriavhengighet nr 1 viser til at objektene vi observerer allerede er farget av teoriene vi legger til grunn for observasjonen. Teoriavhengighet nr 2 sier at vitenskapsfolk kan ha en tendens til (bevisst eller ubevisst) å overse observasjoner som motsier teorien som ligger til grunn for observasjonen. Teoriavhengighet nr 3 advarer om at studier som legger etablert teori til grunn kan bli en selvoppfyllende profeti, på den måten at man skreddersyr studien for å påvise objektene/fenomenene som man leter etter. Teoriavhengighet nr 4 er at den herskende teorien på et fagfelt styrer hvilke undersøkelser en forsker bestemmer seg for å gjøre.

Disse punktene er alle relevante for en studie av den typen som denne oppgaven er. Både denne datainnsamlingen samt de fleste andre tilsvarende studier legger til grunn en eksisterende teori for utvelgelsen av punkter til datainnsamlingen, og går dermed under alle fire kategoriene. Det er også viktig å få med at i følge Rhoads & Thorn (1996) er ikke teoriavhengighet nødvendigvis et problem i seg selv, men heller et aspekt ved forskningsdesignen som enhver forsker må være klar over sitt eget standpunkt til.

Det største problemet som teoriavhengighet skaper for denne oppgaven, er når forskjellige operatører skal velge målepunkter ut fra et tilsynelatende objektivt kriterie. Som resultatdelen viste, var det til tider store avvik mellom målepunktene fra de to årene. Seksjon 5.1 prøver å forklare noen av disse avvikene, men forfatterens teori er at den største kilden til avvik er at forskjellige operatører har tolket step-pool-enhetene forskjellig under utvelgelsen. Klassifikasjon av steps i lengderetningen er relativt lett, siden formen spenner over hele

elvekanalen, men utvelgelsen av et representativt punkt for stepets midtpunkt byr på store tolkningsforskjeller. I planene for feltarbeidet er det satt som et kriterie at en skal ta målepunktet på det laveste punktet på delen av stepet med størst vannføring. Dette betyr at det er tre variabler som må anslås av operatøren: 1. definisjonen av et step, 2. definisjonen av hovedkanalen i stepet, altså løpet med størst vannføring, og 3. definisjonen av hva som er det laveste punktet på stepet i hovedkanalen. Dermed blir datagrunnlaget i stor grad farget av hva som er operatørens oppfattelse og forståelse av teorien som ligger til grunn for arbeidet.

Zimmerman et al. (2008) utførte en studie som demonstrerer hvor ulikt forskjellige forskere kan tolke den samme step-pool-dataen. 11 forskjellige step-pool-forskere fikk en grafisk fremstilling av tre oppmålte elvestrekk på mellom 40-60 meter, og fikk beskjed om å identifisere steps og pools ut fra dette. Det viste seg at standardavviket i antallet step-pools fra de ulike respondentene var mellom 1,3 og 3,8 enheter, noe som er relativt mye på et elvestrekk av denne lengden. Det er rimelig å anta at ulikheten i identifisering av steps og pools er like gjeldende når man skal finne de samme enhetene for utvelgelse av målepunkter i feltarbeid. For denne studien er snittforskjellen i antall steps mellom komparative målesett på 1,1, noe som faktisk ligger under standardavviket i Zimmermann et al. (2008). Dette viser at subjektivitet kan forplante seg gjennom hele forskningsprosessen, fra feltarbeid til analyse.

Figur 32 (side 57) illustrerer utfordringene med å velge det mest representative punktet for elvas sentrale løp. Her ser man at elvekanalen på flere steder blir delt opp i forskjellige løp av store enkeltsteiner eller samlinger av flere store partikler. For disse delte løpene er det vanskelig å kun ved hjelp av det blotte øye avgjøre hvor vannføringen er størst, slik at utvelgelsen av målepunktene kan få en betydelig subjektiv skjevhet. Bildet illustrer også et annet vesentlig problem som påvirker både de analyserte tallene og identifisering av steps på tvers av år. Det viser at steps ikke nødvendigvis ligger vinkelrett på elvekanalen, slik at et utvalgt målepunkt på forskjellige steder langs stepet vil kunne gi nokså store utslag i step-lengdefaktoren. Hvis man bruker Figur 32 som et eksempel, kan et målepunkt på venstre eller høyre side av det nærmeste stepet variere i lengde fra forrige målepunkt med potensielt over en meter.

Feltarbeidet i 2012 ble utført av fire forskjellige operatører, og den tilsvarende datainnsamlingen i 2011 ble også utført av minst to forskjellige operatører. Dataene sier dessverre ingenting om hvilke operatører som har stått ute i elva på de forskjellige punktene, men dette kunne vært en interessant faktor å analysere for å se om avvikene mellom måleseriene er betydelig forskjellig mellom operatørene.





**Figur 32:** Bildet er tatt under feltarbeid i 2011, og illustrerer Vekveselvas morfologi. (Foto: Geir Vatne)

Dette viser dermed at det kan oppstå en betydelig usikkerhet i datamateriale som er samlet inn av andre enn forskeren selv. Det er rimelig å anta at en datainnsamling foretatt av en og samme operatør på to forskjellige tidspunkt ville overlape bedre enn datasettene i denne oppgaven, fordi denne ene personen ville ha brukt en konsekvent lik metode på hele det oppmålte strekket og på de forskjellige tidspunktene. Men dette er ikke alltid praktisk gjennomførbart for en forsker med begrenset mulighet til å foreta egne målinger, og i tillegg er det et generelt vitenskapelig prinsipp at observasjoner skal være reproducerbare uavhengig av forskeren selv (Gattrell & Bierly 2012). Derfor vil det i avsnitt 5.4 bli forsøkt satt opp et nytt og forbedret forskningsdesign for utførelsen av feltarbeid for denne typen studier.

### 5.2.2 Skala

I en hver naturgeografisk studie kommer man ikke utenom en diskusjon om skala. Når man velger studieobjekt, må man også gjøre en avveining om på hvilken romlig oppløsning man skal studere objektet (Burt 2009). I overført betydning betyr det at man må velge hvilke objekter og prosesser man skal studere, og hvilke man kan se bort fra.

Step-pool-fagfeltet er relativt nytt og i stadig utvikling, og har ikke fått en gjennomført standardisert forskningsmetode enda. Siden denne studien er et rent morfologisk forskningsprosjekt, er det rimelig å se på hva andre tilsvarende studier har brukt som romlig oppløsning, jfr Tabell 1 (side 24). En av konklusjonene man kan trekke fra tabellen er at

intervallene mellom målepunktene spriker i mange størrelsesordner. De fleste studiene har noen faste målepunkter, f.eks ved topp og bunn av step, dypeste punkt av pool osv. Men pga irregularitet i avstanden mellom disse er det nødvendig å foreta målinger ved jevnlig intervaller, og disse spriker (i tilfellene der de er oppgitt) fra 20 cm (Zimmerman et al. 2008) opp til hele 5 meter (Gomi et al. 2003), eller som en fraksjon ( $\frac{1}{4}$ ) av kanalbredden (Madej 2001). Men siden disse er tatt med for å fylle ut datasettet mellom enhetene som er sentral i studien (steps og pools), er skalaen uløselig knyttet til størrelsen på disse.

Ettersom det i teorien er oppgitt at stepavstand og bølgelengde kan korreleres med elvas bredde, er det logisk å tenke at måleintervallene i studien også bør variere ut fra størrelsen på elva man kartlegger. Dersom en bruker Madej (2001) sin metode, er måleintervallen  $\frac{1}{4}$  av det man må anta å være en gjennomsnittlig elvebredde for hele målestrekken. Et ofte brukt uttrykk for elvebredde er "bankfull discharge", som indikerer vannføringen hvor elvekanalen er helt full (Knighton 1998). For mange elver er bankfull-discharge-grensene lett å identifisere og å måle, men i Vekve byr dette på vanskeligheter. Det er ikke så mange klare gradientbrudd langs kanten av kanalen, men heller et bredt kaotisk område preget av store steiner. I tillegg varierer bredden på den normale vannførende delen av kanalen sterkt over hele studiestrekningen. På den måten er ikke nødvendigvis en gjennomsnittsutregning av elvas bredde heller et representativt tall. Basert på en kvalitativt anslag er de benyttede intervallene på 1 meter kanskje et godt anslag på  $\frac{1}{4}$  kanalbredde. Når en i ettetid kan se at gjennomsnitts stepavstand og bølgelengde er i en størrelsesorden på flere meter, støtter det opp om bruken av meter-intervallene.

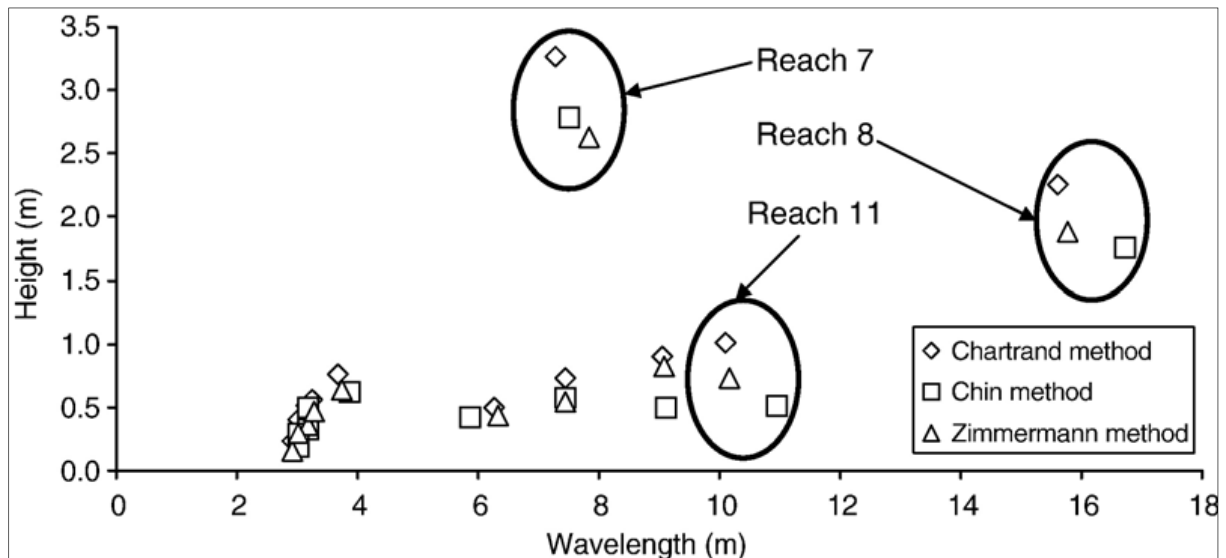
### 5.2.3 Gode metodologiske forbilder

Som nevnt i metoddelen i kapittel 3.7 (side 24) har andre studier som involverer oppmåling av step-pool-morfologi i de fleste tilfellene vært sparsomme med opplysninger om hva som ligger til grunn for utførelsen av feltarbeidet. Et par av publikasjonene utmerker seg likevel i positiv retning på dette området, og bidrar med noen interessante synspunkter for denne oppgaven.

I *Morphology of step-pools in a wilderness headwater stream: The importance of standardizing geomorphic measurements* (Nickolotsky & Pavlowsky 2007) har forfatterene brukt forskjellige enhetsinndelinger i analysen av feltresultatene sine. Disse klassifikasjonskriteriene er hentet fra studier gjort av andre forskere på området. Forskjellene går ut på hvilke punkter som danner grunnlaget for både høyde-, lengde- og bølgelengdemålingene, og siden dette hovedsakelig er relatert til databehandling og analyse vil jeg ikke



gå nærmere inn på disse. Resultatene til Nickolotsky og Pavlowsky viser at det er et visst avvik i variablene avhengig av hvilke kriterier som blir brukt, se Figur 33.



**Figur 33:** Forskjell i korrelasjon mellom step-høyde og bølgelengde ved bruk av forskjellige analysemetoder. (Nickolotsky & Pavlowsky 2007)

Som sagt er dette ikke direkte relatert til selve datainnsamlingsdelen av en step-pool-studie. Men en konklusjon man kan trekke ut fra dette, er at en som forsker bør sørge for at datamaterialet sitt er reproduserbart og så langt som mulig støtter andre analysemetoder enn det man selv har tenkt å bruke. Et eksempel her er en av metodene som Nickolotsky & Pavlowsky har brukt, hvor step-bølgelengden måles mellom det dypeste punktet i påfølgende pools. Datagrunnlaget i denne oppgaven ville neppe støttet en slik analyse, fordi det i utgangspunktet er valgt å fokusere på step-formen, og forholdet mellom topp og bunn på denne. Dersom en hadde redusert måleintervallene utenfor gradientbrudd til det halve eller kanskje enda mindre, ville en kanskje fått et bedre bilde av forholdene i pools som en positiv bieffekt uten at man trengte å fokusere noe mer på klassifikasjon og utvelgelse av disse.

I tillegg er Gomi et al. (2003) en forbilledlig publikasjon med tanke på den detaljerte metodiske beskrivelsen både av feltarbeid og analyse. Selv om man vanskelig kan gjøre datainnsamlinger som er fri for subjektivitet, er det nest beste å være åpen og beskrivende omkring alle aspekter ved feltarbeidet sitt. Det bidrar til at andre forskerene som ønsker å etterprøve eller bygge videre på resultatene kan reprodusere datainnsamlingsmetodene på en så god måte som mulig.

### 5.3 Praktisk bruk av differensiell GPS i feltarbeid

Det kan være interessant å se nærmere på differensiell GPS som geomorfologisk feltverktøy, og hvilke fordeler og ulemper som knytter seg til bruken av denne. Som avsnitt 3.7 viste, har ingen andre studier av step-pool-morfologi brukt differensiell GPS, men heller holdt seg til

annet nivelleringsutstyr. Kan det tenkes at bruken av GPS-utstyr gjør at det er behov for endringer i forskningsdesignet?

En av D-GPS-systemets styrker som datainnsamlingsverktøy, er at det kan samle inn store mengder målepunkter med høy nøyaktighet på veldig kort tid og på en veldig enkel måte. Der nivelleringsutstyr oftest trenger to personer (Skogseth 1998) og hvor målingene må tas manuelt og kanskje skrives ned for hånd, kan GPSen betjenes av en person alene dersom det skulle være nødvendig. Man bruker vanligvis omtrent 10 sekunder pr punkt på å foreta en måling, og dataene blir automatisk lagret i et dataformat som lett kan eksporteres for analyse. Denne metodiske enkeltheten kan etter mitt syn utnyttes på to forskjellige måter: Man kan enten benytte den til å måle opp lengre strekk med samme tidsbruk sammenlignet med nivelleringsutstyret, eller man kan ta flere målepunkter og skape et datasett med høyere oppløsning over en mindre romlig utstrekning. I denne studien har GPSens fordeler blitt utnyttet på den første måten. Det er likevel interessant å diskutere om kvalitet (bedre oppløsning) foran kvantitet (lengre strekk) også kan ha sine fordeler.

Som avsnitt 3.3 viste, er den mest utstrakte bruken av differensiell GPS i geomorfologisk feltarbeid innsamling av høydeprofiler for å kunne interpolere en overflate ut fra disse. Det kunne kanskje vært et interessant prosjekt å prøve å gjøre noe lignende ved å først måle tverrprofiler av elva langs topp og nedstrøms kant av steps samt ved jevne intervaller i pools. Disse profilene kan så lastes inn i et geografisk informasjonssystem (GIS) hvor de danner grunnlaget for interpolering av en overflate. Denne overflaten blir da en 3D-modell av elvebunnens morfologi i områdene som målepunktene dekker. Siden punktene representerer absolutte koordinater, vil en ny måleserie som blir foretatt på en senere tidspunkt også kunne bli fremstilt på samme måte som en 3D-modell. Ved hjelp av denne metoden kan man visualisere endringer i en ekstra dimensjon og dermed på en helt annen måte enn ved tradisjonell fremstilling av elva som en todimensjonal graf. Det ville også i stor grad eliminert problemet ved å estimere kanalens midtpunkt og området med høyest vannføring, siden man får et tverrsnitt av elva på hvert måleintervall. I tillegg er det en måte å unngå dekningsproblemene i enkelte områder på, ved at man heller konsentrerer seg om å foreta detaljerte oppmålinger i et område som man er sikret god dekning i stedet for å bruke mye tid og energi (og frustrasjon) over dårlige satelittsignaler. Dette metodiske forslaget er selvfølgelig ikke uten sin egen problematikk. Dersom en skal foreta målinger ved topp og bunn av steps, er man fremdeles ikke kvitt teoriavhengigheten ved at man allerede har definert enhetene man ønsker å studere. I tillegg vil nøyaktigheten til tverrprofilene reflektere hvor tett målepunktene er lagt, og det blir igjen en avveining mellom oppløsning og tidsbruk.

I tillegg er det et vesentlig problem at nøyaktigheten i en differensiell GPS kombinert med heterogeniteten og ruheten i en elvebunn som Vekveselva har, kan skape en del støy i datagrunnlaget. En forskjell i valg av målepunkt på bare et par cm i horisontal utstrekning kan for eksempel treffe en stein som stikker flere titalls cm eller mer opp fra resten av elvebunnen. Dette er et generelt problem ved bruken av differensiell GPS, uansett om man foretar målinger på tvers eller på langs. Enkelte partikler kan være på størrelse med eller større enn de minste stephøydene, og kan føre til feilklassifisering i databehandlingen etter feltarbeidet. Dette kan vanskelig unngås på andre måter enn at operatøren er bevisst på valg av målepunkt, og for eksempel tester flere nære plasseringer av måleutstyret slik at man er sikker på at man ikke får med store feilutslag.

Det fins også en enkel mulighet innebygd i GPS-systemet til å gi en operatør en referanse opp mot tidligere målepunkter. På den håndholdte dataenheten har man muligheten til å laste inn de gamle dataseriene og vise dem, samtidig som skjermen også viser den nåværende posisjonen til antenneenheten. Slik kan man få en viss anelse om hvilken linje de foregående målingene har fulgt, og man kan bruke dette som et utgangspunkt. Selvsagt må man ikke følge denne tidligere linjen slavisk, siden man er ute etter å fange opp faktiske endringer i elvas løp.

#### **5.4 Et forbedret forskningsdesign**

For å summere opp det som har blitt gjennomgått i drøftingskapittelet, vil jeg forsøke å skissere opp en ny og forbedret forskningsdesign i korte trekk.

Et godt forskningsdesign starter med å definere hvilke enheter man vil studere og hvilke variabler man ønsker å studere. I dette tilfellet var studieobjektene bundet av en eksisterende datainnsamling som skulle brukes som sammenligningsgrunnlag. Ved en fremtidig studie er det kanskje aller mest ønskelig at forskeren(e) selv er involvert i alle datainnsamlingene. På den måten får man størst mulig frihet til å velge hvilke aspekter ved step-pool-morfologien man vil se på.

Dette er beslektet med valg av metode også. Når man har bestemt seg for å bruke differensiell GPS som i denne studien, bør man sette seg grundig inn i hvordan måleutstyret fungerer. I denne studien var utstyret testet og innøvd på forhånd, men dessverre ikke under faktiske feltforhold. Som nevnt i metoddelen kan man med enkle grep regne ut satelittgeometrien for et gitt område på et gitt tidspunkt, noe som bør tas med inn i planleggingen av feltarbeidet. I tillegg kan vegetasjon, og da særlig blad på trærne, stenge ute satelittsignalene. Dersom en skal legge feltarbeidet til perioder uten løv, må man også ta hensyn til at studieområdet ligger ca 800 moh og får snøfall tidligere på høsten og snøsmelting senere på våren enn

lavereliggende områder. Det beste tidspunktet på året er nok da i løpet av oktober\november, dette er også en periode med generelt lav vannføring i elva.

Neste skritt vil være å sette opp kriterier for utvelgelsen av målepunktene. Kriteriene som er brukt i denne studien avviker ikke særlig fra det som ser ut til å være herskende metodisk standard på fagfeltet, men de har likevel produsert avvikende resultater. Det fins to måter å forbedre overlappingen mellom trasévalgene på. Den første er en god fotodokumentasjon av hele oppmålingsprosessen. Dette var i utgangspunktet planlagt for hele feltarbeidet, men pga tekniske utfordringer med GPSen, ble det bare tid og anledning til sporadisk bildedekning. Likevel var bildene som faktisk ble tatt, til stor hjelp i prosessen med å analysere og begrunne endringene i datasettene. Den andre muligheten er som nevnt å laste inn tidligere målepunkter i dataenhetene til GPSen og sammenligne det med nåværende situasjon.

En kan også kvalitetssikre utvelgelsen av målepunkter ved at ikke bare personen som står ute i elva står for utvelgelsen. Hvis en har med seg feltassistenter, noe en absolutt bør ha både av effektivitets- og sikkerhets-hensyn, er det lurt å få en annen mening og en diskusjon i tilfeller hvor det er mulig med flere trasévalg.

Kjennskap til grunnleggende geodesi i form av datumvalg og koordinatsystemer er også en god kunnskap å ha med seg når man skal samle inn og behandle geografiske data. Riktige innstillinger på datasystemet som styrer GPS-enhetene vil eliminere noen av mulighetene for at tilsynelatende tilfeldige høydeforskjeller oppstår mellom datasettene.

Spørsmålet om hvor lange faste intervaller man bør ha mellom målepunktene er et spørsmål om hvor mye tid man har tilgjengelig, samt hvilke enheter man ser på som viktige å kartlegge. Selv om denne studien har kalt seg for en studie av step-pool-morfologi, er det ikke tvil om at hovedfokuset ligger på stepformen og forholdet mellom de ulike steps. Det gir nok en god representasjon av utviklingen i step-bølgelengde og step-høyde, men siden et step-pool-system består av begge de to variablene i navnet, bør kanskje måleintervallene gjøres såpass korte at pools også blir representert i datasettet. Zimmerman et al. (2008) bruker intervaller nede i 20 cm, noe som kanskje kan være verdt et forsøk i en fremtidig studie. Uansett gikk det også tydelig frem fra både datasettene fra 2011 og 2012 at operatørene hadde overvurdert hvor lang en meter er. For å kompensere for dette, kan man kanskje gjøre noe så enkelt som å tørrtrene på å estimere måleintervallene ut fra egen skrittlengde før man drar ut i felt.

I tillegg kan det være interessant å få testet ut den alternative målemetoden som bruker tverrprofiler og interpolering. Dersom en velger seg ut et sted som lett lar seg finne tilbake til ved hjelp av spesielle steiner eller lignende, kan man gjøre dette som en småskala eksperiment

---

for å se om den faktiske 3D-modellerte representasjonen blir representativ. En overkommelig størrelse på eksperimentet vil være et strekk på 15-20 meter. Innenfor dette strekket måler man opp tverrprofiler langs topp og bunn av tydelige gradientbrudd med f.eks 20 cm avstand mellom målepunktene (for å bruke Zimmerman et al. (2008) sine intervaller). Mellom gradientbruddene i form av steps tar man tverrprofiler med en nedstrøms avstand på 20 cm, og samme breddeintervall. I prinsippet burde den differensielle GPSen gi resultater som har høy nok oppløsning til å interpolere en representativ elvebunn, men med erfaringene om forskjellen mellom teori og praksis innen naturgeografisk feltarbeid er det ikke lett å si om det vil fungere i praksis eller ikke. Denne metodiske spekulasjonen blir likevel tatt med som et tips til eventuelle påfølgende studier utført av andre forskere.



## 6 Konklusjon

For å oppsummere oppgaven, er det logisk å gå tilbake til problemstillingen for å se om det har vært mulig å besvare forskningsspørsmålene.

På spørsmålet om hvilke endringer det har vært mulig å spore og hvilken skala det har vært mulig på, må svaret nok bli ukonklusivt. Resultatene viser en del avvik mellom årene, både i den målte senterlinjen av elva, men også i de kvantifiserte variablene. I de tilfellene der det kan dokumenteres, spesifikt innløpet til sedimenteringsdammen, har målemetoden plukket opp endringene på en adekvat måte. Men som resultatene i kapittel 4 viste, har datasettene store avvik som blir vanskelig å validere når en ikke har data på vannføring i flomsesongen. Noen av strekkene samsvarer mer enn andre, og spesielt på målingene lengre oppstrøms. Dette kan tyde på at erfaring med metodebruken har ført til at validiteten i målingene ikke er like god gjennom hele datasettet. Det som dette viser, er at metoden kan være effektiv, men er avhengig av alternative datakilder for å validere funnene.

Dette fører oss over til neste punkt i problemstillingen. Datainnsamlingen ble utført etter det man mente var objektive utvelgelseskriterier for målepunktene, men realiteten viste som nevnt til dels store avvik mellom de to måleperiodene. Det kan nok settes store spørsmålsteget ved objektiviteten i resultatene. En faktor som spiller inn, er operatørens subjektive valg av elvas hovedløp, som kan være vanskelig å anslå og være påvirket av forhold som forskjellig vannføring i elva. I tillegg kan det være problematisk at man baserer datainnsamlingen på en subjektiv definisjon av enhetene man prøver å påvise i studien. Når forskjellige operatører vurderer hva som er et signifikant gradientbrudd på forskjellige måter, skaper det usikkerhet og subjektivitet i datasettet som igjen går ut over validiteten.

Differensiell GPS har mange muligheter som kan utnyttes i geomorfologisk feltarbeid. Styrken til D-GPS systemet ligger i enkelheten og hastigheten data kan samles inn med, uten at nøyaktigheten går ned i forhold til annet landmålingsutstyr. Men nøyaktigheten gjør at valg av målepunkt blir kritisk for at målingene skal bli mest mulig støyfri og representativ. Siden det er et avansert utstyr, kreves det en del kunnskap og erfaring med bruken for å utnytte det effektivt. Differensiell GPS brukes ofte til å ta målepunkter som man kan interpolere overflater ut fra, og det kan være interessant å forsøke å ta tverrsnittprofiler av elva for dette formål. I såfall går man ned på kvantiteten når det gjelder lengden på elvestrekket som dekkes, for å øke den romlige oppløsningen med et større antall målepunkter.

Essensen av oppgaven kan kanskje sies å ligge i forslagene til et forbedret forskningsdesign til fremtidige studier. Noen viktige leksjoner har blitt lært i arbeidet med denne oppgaven. Først og fremst bør man maksimere opplæringen sin på nytt og ukjent utstyr slik at man unngår

f.eks datumfeil og unøyaktige basestasjoner som påvirker måleresultatene. En bør også sikre seg tilleggsdata, hovedsakelig i form av bildedokumentasjon på målestedene, men også vannføringsdata dersom det er mulig. Som vist i diskusjonen, var bildene fra samme sted på forskjellig tidspunkt til svært stor nytte når det gjaldt å påvise hva som var grunnen til avvikene i oppmålingen. I tillegg kan en sunn diskusjon med medforskere/feltassistenter bidra til en større enighet om hva som er relevante målepunkter.

Til tross for utfordringene, ser differensiell GPS ut til å være et meget nyttig feltverktøy for naturgeografisk forskning, og mulighetene er store for god utnyttelse av fordelene som ligger i systemet. Det er avansert teknisk utstyr må læres godt for å kunne brukes mest mulig effektivt, men kan effektivisere og forenkle datainnsamling samt senere analyse av innsamlede data.



## 7 Referanser

- Abrahams, A. D., Li, G. & Atkinson, J. P. (1995). Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance. *Water Resources Research*, 31 (10): 2593-2602.
- Altus Positioning Systems Inc. (2011). *Altus APS-3 User Manual*. 2 utg. Torrance, California: Altus Positioning Systems Inc.
- Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Cunha, T. & Dias, J. (2007). Monitoring Sandy Shores Morphologies by DGPS — A Practical Tool to Generate Digital Elevation Models. *Journal of Coastal Research*, 24 (6): 1516-1528.
- Billi, P., D'Agostino, V., Lenzi, M. A. & Marchi, L. (1998). Bedload, slope and channel processes in a high-altitude torrent. I: Klingemann, P. C., Beschta, R. L., Komar, P. D. & Bradley, J. B. (red.) *Gravel-bed rivers in the environment*. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications.
- Burt, T. (2009). Scale: Resolution, Analysis and Synthesis in Physical Geography. I: Clifford, N. J., Holloway, S. L., Rice, S. P. & Valentine, G. (red.) *Key Concepts in Geography*. London: Sage Publications Ltd.
- Chin, A. (1998). On the Stability of Step-Pool Mountain Streams. *The Journal of Geology*, 106 (1): 59-70.
- Chin, A. (1999). The morphologic structure of step-pools in mountain streams. *Geomorphology*, 27: 191-204.
- Chin, A. (2002). The periodic nature of step-pool mountain streams. *American Journal of Science*, 302: 144-167.
- Chin, A. & Wohl, E. (2005). Toward a theory for step pools in stream channels. *Progress in Physical Geography*, 29 (3): 275-296.
- Cornelius, S. C., Sear, D. A., Carver, S. J. & Heywood, D. I. (1994). GPS, GIS and geomorphological field work. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19: 777-787.
- Duckson Jr., D. W. & Duckson, L. J. (2001). Channel bed steps and pool shapes along Soda Creek, Three Sisters Wilderness, Oregon. *Geomorphology*, 38: 267-279.
- Engvik, T. (2011). *Bunntransport i Vekveselva - Et felteksperiment for å undersøke egnetheten til passive integrerte transpondere i fjellelver*. Trondheim: NTNU, Geografisk Institutt.
- Gattrell, J. D. & Bierly, G. D. (2012). Data and Methods in Spatial Science. I: Gattrell, J. D., Bierly, G. D. & Jensen, R. R. (red.) *Research Design and Proposal Writing in Spatial Science*.

- Gintz, D., Hassan, M. A. & Schmidt, K.-H. (1995). Frequency and magnitude of bedload transport in a mountain river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 433-445.
- Gomi, T., Sidle, R. C., Woodsmith, R. D. & Bryant, M. D. (2003). Characteristics of channel steps and reach morphology in headwater streams, southeast Alaska. *Geomorphology*, 51: 225-242.
- Grant, G. E., Swanson, F. J. & Wolman, M. G. (1990). Stepped-Bed Morphology in High-Gradient Streams, Oregon. *Geological Society of America Bulletin*, 102 (3): 340-352.
- Higgitt, D. L. & Warburton, J. (1999). Applications of differential GPS in upland fluvial geomorphology. *Geomorphology* (29): 121-134.
- Hoel & Sønner AS. (2013). *Vekve sedimenteringsdam*. Oppdal. Tilgjengelig fra: <http://www.hoelogsonner.no/Referanse%20Vekve%20sedimenteringsdam.html>.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. & Wasle, E. (2008). *GNSS - Global Navigation Satellite Systems - GPS, GLONASS, Galileo and more*. Wien/New York: Springer.
- Judd, H. E. (1963). *A Study of Bed Characteristics in Relation to Flow in Rough, High Gradient, Natural Channels*: Utah State University. Department of Civil and Irrigation Engineering.
- Knighton, D. (1998). *Fluvial Forms & Processes: A new perspective*. London: Hodder Arnold.
- Lambiel, C. & Delaloye, R. (2004). Contribution of Real-time Kinematic GPS in the Study of Creeping Mountain Permafrost: Examples from the Western Swiss Alps. *Permafrost and Periglacial Processes* (15): 229-241.
- Lenzi, M. A. (2001). Step-pool evolution in the Rio Cordon, northeastern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 991-1008.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. & Rhind, D. W. (2011). *Geographic Information Systems & Science*. 3 utg. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Madej, M. A. (2001). Development of channel organization and roughness following sediment pulses in single-thread, gravel bed rivers. *Water Resources Research*, 37 (8): 2259-2272.
- Magellan GPS. (2013). *Magellan GPS*: MiTAC International Corporation.
- Maxwell, A. R. & Papanicolaou, A. N. (2001). Step-pool morphology in high-gradient streams. *International Journal of Sediment Research*, 16 (3): 380-390.
- Mevik, C. ((upublisert)). *Masteroppgave med ukjent tittel om step-pool-morfologi i Vekveselva*. Trondheim: NTNU. Upublisert manuskript.

- 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. *Geomorphology* (124): 85-94.
- Montgomery, D. R., Buffington, J. M., Smith, R. D., Schmidt, K. M. & Pess, G. (1995). Pool spacing in forest channels. *Water Resources Research*, 31 (4): 1097-1105.
- Nickolotsky, A. & Pavlowsky, R. T. (2007). Morphology of step-pools in a wilderness headwater stream: The importance of standardizing geomorphic measurements. *Geomorphology* (83): 294-306.
- NVE. (2013). *Hydrologiske sanntidsdata: Norges Vassdrags- og Energidirektorat. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Data-databaser/Sanntidsdata/>* (lest 20.02.2013).
- Pearce, M. A., Jones, R. R., Smith, S. A. F., McCaffrey, K. J. W. & Clegg, P. (2006). Numerical analysis of fold curvature using data acquired by high-precision GPS. *Journal Of Structural Geology* (28): 1640-1646.
- Rhoads, B. L. & Thorn, C. E. (1996). Observation in Geomorphology. I: Rhoads, B. L. & Thorn, C. E. (red.) *The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology held 27-29 September 1996*. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.
- Skogseth, T. (1998). *Grunnleggende landmåling*. 2 utg. Oslo: Universitetsforlaget.
- Van Sickel, J. (2008). *GPS for Land Surveyors*. 3 utg. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Waldum, S. (2011). *Et aktivt skredsårs effekt på bunntransport og kornstørrelsestreng i en fjellelv*. Trondheim: NTNU, Geografisk Institutt.
- Whittaker, J. G. (1987). Sediment transport in step-pool streams. I: Thorne, C. R., Bathurst, J. C. & Hey, R. D. (red.) *Sediment transport in gravel-bed rivers*. Chichester: Wiley.
- Wohl, E., Madsen, S. & MacDonald, L. (1997). Characteristics of log and clast bed-steps in step-pool streams of northwestern Montana, USA. *Geomorphology*, 20: 1-10.
- Wooldridge, C. L. & Hickin, E. J. (2002). Step-pool and cascade morphology, Mosquito Creek, British Columbia: a test of four analytical techniques. *Canadian journal of Earth Sciences*, 39: 493-503.
- Zimmerman, A. E. & Church, M. (2001). Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel. *Geomorphology*, 40: 311-327.
- Zimmerman, A. E., Church, M. & Hassan, M. A. (2008). Identification of steps and pools from stream longitudinal profile data. *Geomorphology* (102): 395-406.

