

Fredrik Rendall Berg

Trinn-kulpmorfometri i Vekveselva, Oppdal

- Elvekurvers påvirkning på dannelsen av trinn- og
kulpformasjoner i bratte fjellelver.

Masteroppgave i geografi
Veileder: Ivar Berthling
Trondheim, mai 2017

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for samfunns- og utdanningsvitenskap
Institutt for geografi

Abstract

This study focuses on the effect lateral hydraulic stress has on step-pool morphology in a steep mountain stream. The locality studied is Vekveselva in Oppdal, Norway. Step and pool height and length have been measured with a Leica 250M digital level for land surveying, resulting in cross profiles of the landforms used in data analysis. Step-pools have been measured across the active (existing waterflow) channel at the time. The data are used to explore the relationship between bottom topography across step and pool landforms and their position in curves of the river. This is done to test if there is a significant difference in mean step and pool height closer to the inner versus outer bank of the river's curves. The hypothesis tested stated that step and pool bottom topography would be lower closer to outer curves versus inner curves. Although some tendencies in the data to support the hypothesis were found, the majority of results of independent t-tests found no statistically significant difference of height in step-pool morphology. In 2 out of 5 independent t-tests of mean difference were there significant difference of height in step-morphology in outer versus inner parts of river curves. In no cases were there a significant difference of height in pool-morphology. The study concludes the hypothesis as disproven, although it does acknowledge that some supportive tendencies were found in relation to step-morphology. This could be an indication that lateral working hydraulic effects in river curves has a significant impact on step formation and morphology. However, to assert this further studies and tests are needed. To further test and explore the hypothesis some suggestions for further research are discussed. Suggestions include measuring grain size and dispersion in step-pool morphologies in relation to inner/outer bank proximity, and increasing measurement length outside of active channel restriction by including maximum channel width, instead of only the active channel at the time of measurement.

Sammendrag

Denne studien ser på effekten lateralt hydraulisk stress har på trinn-kulpers (step-pool) dannelse og morfologi i bratte fjellelver. Feltområdet studien er utført ligger i Vekveselva i Oppdal i Sør-Trøndelag. Trinn og kulpers høyde og lengde har blitt målt med en Leica 250M nivelleringskikkert, som har ført til tverrprofiler av landformene. Formene har blitt målt i den aktive elvekanalen, altså der det på feltarbeidets tidspunkt var vannføring. Data er så brukt for å utforske sammenhengen mellom bunntopografi i trinn og kulp ut fra beliggenhet i sving av elva. Dette er gjort for å se om det er en signifikant nivåforskjell i gjennomsnittlig høyde/dybde nærmere elvas yttersving versus innersving. Den framsatte hypotesen sier bunntopografi i trinn og kulp vil være lavere i en svings ytterside enn innerside. Selv om noen tendenser i data er funnet for å støtte deler av hypotesen, indikerer de fleste resultatene at det ikke er funnet noe signifikant forskjell i høyde i trinn-kulpmorfologi. Unntak finnes i 2 av 5 uavhengige utvalgs t-tester for trinnmorfologi. Ved ingen tilfeller ble det funnet signifikant nivåforskjell i dybde for kulpmorfologi. Studien konkluderer med at hypotesen avvises som helhet, men anerkjenner at det er noen støttende tendenser når det kommer til trinnmorfologi. Dette kan være en indikator på at hydrauliske effekter i kurver av elva har en signifikant effekt på trinnformasjon og morfologi. Det anses som nødvendig med videre studier for å avklare denne delen av hypotesen endelig. Forslag til videreutvikling av dette inkluderer måling av kornstørrelse i trinn og kulp ut fra deres beliggenhet nært yttersving eller innersving, samt å øke måleavstand av trinn og kulp til å inkludere hele elvekanalens bredde, i stedet for bare den aktive kanalen på måletidspunktet.

Forord

Endelig, etter sju års sammenhengende studier er jeg i mål. Det gjør meg både sprudlende glad og noe vemodig på samme tid. På den ene siden ser jeg frem til å starte på nye prosjekter, men jeg ser også tilbake på mange fine og lærerike år som geografistudent i Trondheim. Det siste året har i stor grad vært preget av det arbeidet du skal lese om nå. For min del har det vært et utrolig lærerikt år med mange timer arbeid både i felt og ved skrivebordet. Dette har jeg ikke klart helt alene, men ved hjelp av en rekke flotte, kunnskapsrike mennesker.

Jeg vil først takke tidligere førsteamanuensis Geir Vatne som satte meg på ideen til denne oppgaven. Tusen takk til alle medstudentene mine for faglig påfyll, interessante diskusjoner og ikke minst et slabberas en gang iblant. Takk til Daniel og Sondre for både samboerskapet og gode tilbakemeldinger. Uten «Vekvegruppa», Vegard, Johannes og Vegard, hadde feltarbeidet i elva vært umulig å gjennomføre. Takk til dere alle tre! Jeg vil også takke familien min som har motivert meg til å stå på for å fullføre det prosjektet jeg nå endelig er ferdig med. Til sist vil jeg takke Ivar Berthling som veileder til denne masteroppgaven. Til tross for en unormalt stor gruppe studenter å veilede dette kullet, har du vært superkjapp til å lese utkast og komme med tilbakemeldinger. Det er rett og slett imponerende! Uten de faglige diskusjonene og solide tilbakemeldingene fra deg hadde dette arbeidet aldri blitt ferdig.

Tusen takk alle sammen!

Trondheim, 07.05.2017

Fredrik Rendall Berg

Innholdsfortegnelse

ABSTRACT	I
SAMMENDRAG	II
FORORD	III
FIGURLISTE	V
TABELLISTE	VI
1.0 INNLEDNING	1
1.1 INTRODUKSJON AV TEMA	1
1.2 PROBLEMSTILLING OG HYPOTESE	3
1.3 TERMINOLOGI	4
2.0 OMRÅDEBESKRIVELSE	5
3.0 TEORI	9
3.1 HYDRAULIKK	9
3.2 TRINN-KULPER	10
3.2.1 <i>Trinn- og kulpdannelse</i>	11
3.2.2 <i>Trinn-kulpers funksjon</i>	13
4.0 METODOLOGI	14
4.1 FELTMETODIKK	14
4.1.1 <i>Høydemålinger</i>	15
4.2 FELTUTSTYR	17
4.3 FELTARBEID	18
4.4 ANALYTISKE METODER	20
4.4.1 <i>Databehandling</i>	20
4.4.2 <i>Analyse</i>	21
4.5 KRITIKK AV METODIKK	22
5.0 RESULTATER	23
5.1 PUNKTDIAGRAMMER AV HØYDEMÅLINGER	24
5.2 T-TESTER	25
6.0 DISKUSJON	32
6.1 KULPER	32
6.2 TRINN	33
6.3 TRINN-KULPER	35
6.4 RELIABILITET	37
6.5 VALIDITET	37
7.0 KONKLUSJON	38
8.0 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	39
9.0 REFERANSER	41
APPENDIKS A – PUNKTDIAGRAM TRINN	45
A1 – TRINN FRA FØRSTE FELTPERIODE OG ØVRE DEL AV FELTOMRÅDET	45
A2 – TRINN FRA ANDRE FELTPERIODE OG NEDRE DEL AV FELTOMRÅDET	48
APPENDIKS B – PUNKTDIAGRAM KULP	54
B1 – KULPER FRA FØRSTE FELTPERIODE OG ØVRE DEL AV FELTOMRÅDET	54
B2 – KULPER FRA ANDRE FELTPERIODE OG NEDRE DEL AV FELTOMRÅDET	60

Figurliste

Figur 1. Kartutsnitt som illustrerer feltområdet lokasjon i Norge	5
Figur 2. Utsnitt av det nedre feltområdet	6
Figur 3. Utsnitt fra Norgei3D av den øvre delen av feltområdet	6
Figur 4. Kart som viser nedbørsfeltets utstrekning	7
Figur 5. Nedbørs- og temperaturdata for feltområdet	8
Figur 6. Illustrasjon av trinn-kulpssekvens	11
Figur 7. Illustrasjon på anvendt metode – Høydemåling av trinn	15
Figur 8. Illustrasjon på anvendt metode – Høydemåling av kulp	16
Figur 9. Foto av høydemåling m. Johannes Flesjø.....	18
Figur 10. Foto av feltnotatboken som ble anvendt.....	19
Figur 11. Punktdiagram over datapunkter for trinnmåling.....	24
Figur 12. Punktdiagram over datapunkter for kulpmåling	25
Figur 13. Kartutsnitt som viser undersøkt område i de to ulike feltperiodene.....	29

Tabelliste

Tabell 1. Resultater av t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet – deskriptiv data	26
Tabell 2. Resultater av t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet – sig.-data	26
Tabell 3. Resultater t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet – deskriptiv data	26
Tabell 4. Resultater av t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet – sig.-data.....	27
Tabell 5. Resultater t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (<25% vs. >75%) av lengdeprofilen – deskriptiv data.....	27
Tabell 6. Resultater av t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (<25% vs. >75%) av lengdeprofilen – sig.-data.....	27
Tabell 7. Resultater av t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (25-50% vs. 50-75%) av lengdeprofilen – deskriptiv data	27
Tabell 8. Resultater av t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (25-50% vs. 50-75%) av lengdeprofilen – sig.-data	28
Tabell 9. Resultater av t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (<25% vs. >75%) av lengdeprofilen – deskriptiv data.....	28
Tabell 10. Resultater t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (<25% vs. >75%) av lengdeprofilen – sig.-data.....	28
Tabell 11. Resultater av den t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (25-50% vs. 50-75%) av lengdeprofilen – deskriptiv data	28
Tabell 12. Resultater av t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling (25-50% vs. 50-75%) av lengdeprofilen – sig.-data	28
Tabell 13. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel i den øverste halvdel av elvesystemet. 9 enheter totalt.	30
Tabell 14. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel i den øverste halvdel av elvesystemet. 9 enheter totalt.	30
Tabell 15. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.	30
Tabell 16. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.	30
Tabell 17. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den øvre halvdel av elvesystemet. 12 enheter totalt.	30
Tabell 18. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den øvre halvdel av elvesystemet. 12 enheter totalt.	31

Tabell 19. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.	31
Tabell 20. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.	31

1.0 Innledning

Denne masteroppgaven omhandler det fluvialgeomorfologiske fenomenet step-pools i bratte fjellelver. Først vil temaområdet, problemstilling og relevant terminologi introduseres i kapittel 1. Etter det følger en beskrivelse av feltområdet i kapittel 2, mens kapittel 3 omhandler relevant teori. I kapittel 4 vil det diskuteres metodologi samt kritikk av anvendte metoder. Resultater blir presentert i kapittel 5 og blir tatt opp og diskutert i kapittel 6. I tillegg vil resultatenes reliabilitet og validitet vurderes i samme kapittel. Studiens konklusjoner og avslutning kan leses om i kapittel 7 og forslag til videre arbeid tas opp i kapittel 8. Det er også vedlagt to appendiks, A og B, som begge presenterer tverrprofiler for hver trinn- og kulpenhet som er målt i feltarbeidet.

1.1 Introduksjon av tema

Forståelse for erosjon i bratte fjellelver er blitt et stadig viktigere tema i fagfeltet i senere år. Særlig knyttes dette til prognoser som varsler flere flomhendelser med framtidige klimaendringer i nordlige Europa (Lehner, et al., 2006). Særlig er dette interessant ved at flere prognoser varsler økt flomfrekvens, også i bratte fjellelver i fremtiden. I bratte fjellelver er det videre erosjonsskader man ser som et særlig risikomoment, noe man så ved enkelte elver under flommen på Vestlandet i 2014 for eksempel (Langsholt, et al., 2015). Mer kunnskap om slike elvers betydning ved store nedbørsmengder og hva flomhendelser kan føre til kan sies å ha en økt samfunnsbetydning. Det sees som viktig å øke kunnskapsnivået rundt dette i fagfeltet, noe denne studien er ment å gi et bidrag til.

Step-pools, heretter omtalt som trinn-kulper, er i denne oppgaven definert som mikroskala (se delkapittel 1.3) fluvialgeomorfologiske landformer som oppstår i bratte fjellelver. De kan kortest beskrives som trappetrinnlignende former på tvers av elvekanalens lengdeprofil, der man ser trinn etterfulgt av en kulp, som igjen følges av et nytt trinn og kulp i vekslende sekvenser nedover elva. Trinn-kulper som et morfologisk fenomen har lenge vært kjent for forskere i feltet. Likevel er det en landform det er forsket relativt lite på sammenlignet med andre fluviale landformer. Noen av de første studiene som omtaler fenomenet og gir det navn er fra 60-tallet (Gradowczyk, 1968), men det er ikke før på 80-tallet at det er gjort studier på selve landformen. Kanskje en av de mer innflytelsesrike studiene er Anne Chins artikkel *Step pools in stream channels* fra 1989 (Chin, 1989), som kan sies å ha bidratt i bevisstgjøringen

om fenomenet for geomorfologer. Chin beskriver også i hvilke miljø denne landformen observeres i; hovedsaklig elver i bratte fjellområder med tilgang på særlig grove sedimenter.

Trinn-kulper er som nevnt et relativt nytt tema i det geografiske feltet. Med en noe treg utvikling slik Anne Chin påpeker i sin artikkel (Chin, 1989), har det derimot blitt gjort en rekke studier de siste 15-20 årene. Det er likevel fortsatt et område det er verdt å studere enda nærmere. Noen av de nylige studiene har særlig sett på fordelingen av slike landformer i elvesystemer ut fra gradient, slik som Church og Zimmermanns *Form and stability of step-pool channels: Research progress* (Church & Zimmermann, 2007). Andre studier har sett på om dannelsen av trinn-kulpmorfologi i hovedsak styres av såkalte nøkkelsteiner. Slike nøkkelsteiner tenkes å føre til at tilførte sedimenter låses og kiles inntil dem og ut fra det bygger ut trinnformasjonen og den påfølgende kulpformasjon på tvers av elvas lengderetning (Church, 2002).

Bratte fjellelver som begrep har ikke noen entydig definisjon per i dag, og kanskje er det ikke hensiktsmessig å ha det heller da det alltid vil eksistere glidende overganger mellom faglige klassifikasjoner. Likevel kan noen avgrensninger gjøres. En måte er at bratte fjellelver kjennetegnes ved at de er elver av lav orden med sterk kobling til omkringliggende sediment i landskap med relativt høy gradient (Benda, et al., 2005). Elvers hierarki ble foreslått av Robert E. Horton (1945) og senere revidert noe av Arthur Newell Strahler (1952). Ifølge denne klassifiseringen er de minste kanalene (bekker) av første orden, mens de største elvene i verden av høyeste orden, som omtales som tolvte orden (Briney, 2017). Mellom disse vil det være et spekter av elver ut fra størrelse og hvordan de renner inn i større elver som plasserer dem på ordensskalaen. Elver av lav orden vil si elver langt nede i «elvehierarkiet» som ofte forer vann inn i større elver av høyere orden.

I denne oppgaven diskuteres trinn-kulpmorfologi og dannelse i lys av gjeldende hydrauliske teorier om svinger i elveløp. Tanken med dette arbeidet er at trinn- og kulpformasjoners dannelse i betydelig grad påvirkes av svinger i elva i tillegg til rådende teorier om for eksempel nøkkelsteiner og teorier om selvorganisering. Selv om det er gjort en rekke studier innenfor andre områder om trinn-kulpmorfologi, slik som de to nevnte teoriene, er det foreløpig ikke kjent for undertegnede gjort studier på om trinn-kulpmorfologi blir påvirket av elveløpets kurvatur. Det kan tenkes at like hastighetsgradienter på tvers av elva i en sving som en ser i meanderende systemer, også vil gjelde innenfor trinn-kulpsystemer og vil kunne påvirke denne morfologien. Dette sees på som et kunnskapshull i denne delen av fagfeltet som kan tettes, og resultater av dette kan bidra til å utvikle allerede eksisterende teorier om

fenomenet. Dette er en av hovedgrunnene for valg av nevnte tema. utfordringen med at ingen, kjent for meg, har utført lignende studier før denne, er at det har vært vanskelig å finne eksisterende litteratur og teori å diskutere resultater opp mot. I lys av dette blir derfor resultatene diskutert opp mot generell teori rundt elvehydraulikk og trinn-kulper.

I tillegg til å utforske dette, ønsker forfatteren å introdusere en fornyelse av step-poolterminologien i geografifaget; trinn-kulper. Derfor vil, som nevnt, step-pool i denne oppgaven omtales med dette begrepet. Forslaget til terminologi vil beskrives nærmere i delkapittel 1.3.

1.2 Problemstilling og hypotese

Elvekanalers morfologi vil i de fleste tilfeller være sterkt påvirket av stress fra vannstrømmens hydrauliske effekt (se delkapittel 3.1). Unntak kan sies å være kanaler der grunnlaget er fast fjell og ikke sedimenter. Påstanden og problemstillingen er at trinn-kulpmorfologi vil være signifikant påvirket av elvas hydraulikk i svinger av elva. Dette er basert på eksisterende teori om elveerosjon som kort fortalt sier at slik erosjon i størst grad vil grave ut sedimenter i elvekurvers yttersving, der det er mest kraft, og avsette sedimenter i innersving der det er minst kraft.

Ut fra nevnte problemstilling er det derfor utledet én hypotese som søkes å avkrefte i denne studien. Tydelig avvisning av denne vil kunne avfeie denne oppgavens problemstilling, mens mangel på avvisning vil kunne styrke den.

Hypotesen som denne studien har forsøkt å utforske og avkrefte er følgende:

«Da elva graver i yttersvinger vil trinn og kulper i trinn-kulpformasjoner være relativt sett lavere i den ytre delen (mot elvas yttersving) enn de er mot innersiden (mot elvas innersving) i et tverrsnitt av elva.»

Problemstillingen og hypotesen er testet ved å måle bunntopografien over trinn og kulper med beliggenhet i svinger av elva.

1.3 Terminologi

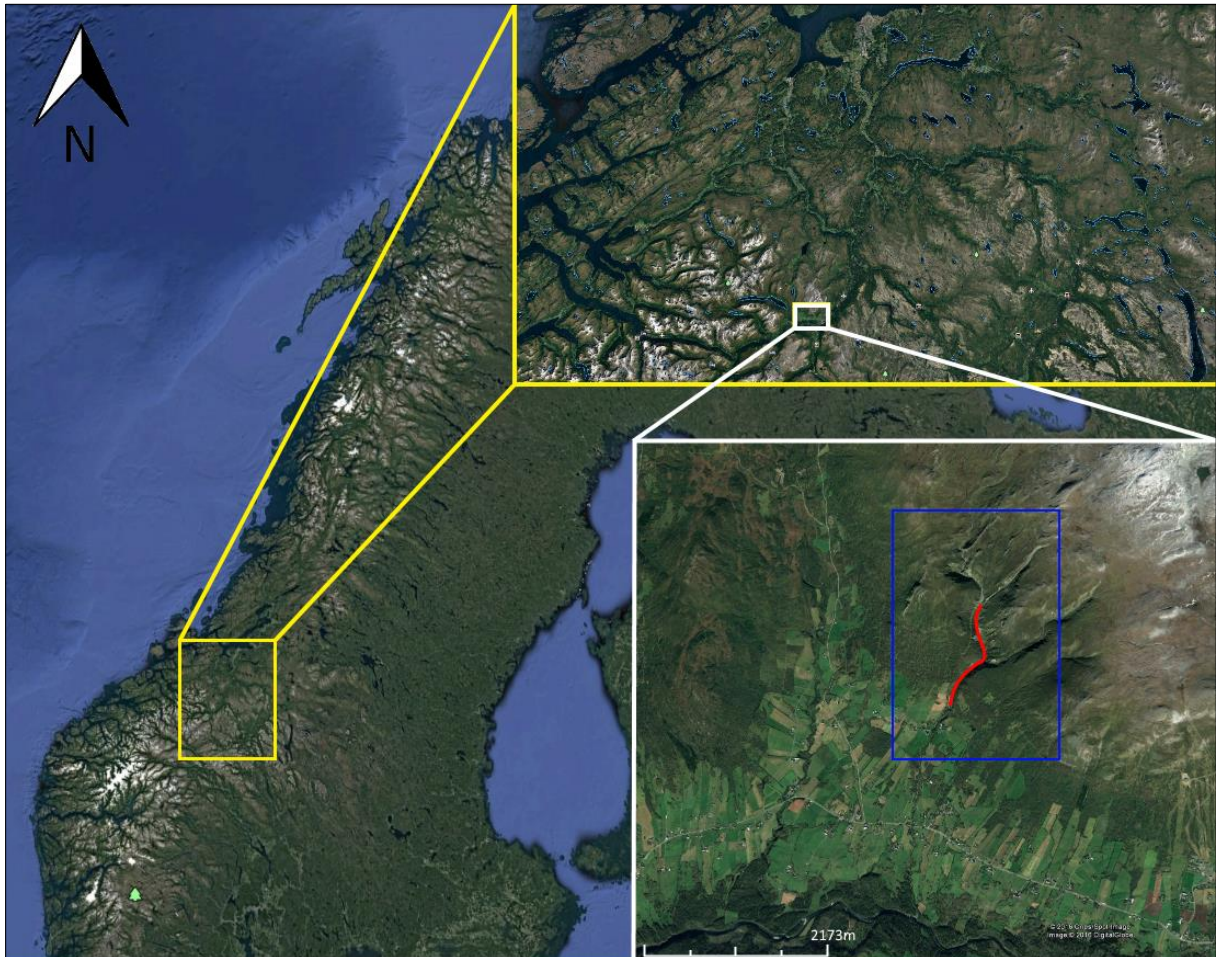
Step-pools er en sedimentær landformtype assosiert med bratte fjellelver. Inntil i dag er det ikke et allment akseptert fagfornorsket begrep for dette fenomenet i fagterminologien. Denne oppgaven ønsker også derfor å framsette og bygge opp under et slikt alternativ; trinn-kulp. Norske begreper er viktige for faget som helhet, fra akademisk nivå ned til skolefaget, da dette kan bidra til å binde sammen profesjonen i større grad, og øke forståelsen for fagområdet i et allment perspektiv. Valget av trinn-kulp som begrep er at dette kan fungere som en nær direkte oversettelse fra det engelske begrepet, men også være mer beskrivende og forståelig enn andre alternativer (f.eks. trinn-basseng, terskel-dam ol.). Et trinn er, for de fleste norsktalende, selvforklarende og synonymt med andre typer trinn (eksempelvis trappetrinn), en mye brukt analogi når man beskriver landformen, mens kulp er definert som en «*[...] naturlig eller kunstig utdypning av et evleleie [...]*», ifølge Store norske leksikon (2009).

I denne oppgaven har trinn-kulper blitt behandlet på det som kan kalles et mikronivå. Med dette menes en romlig skala opp til 0,5km i utstrekning, eller 0,25km² i areal. Nivået over dette betegnes som mesoskala der man ser på objekter som måler fra 0,5km til 10km i lengde, eller mellom 0,25km² til 10km². Denne definisjonen er basert på Michael A. Summerfields skalaklassifisering av landformer (Summerfield, 1991, p. 13).

Geomorfologi er definert som «*[...] vitenskapen om jordoverflatens former og deres opprinnelse [...]*», ifølge Store norske leksikon (2009). Fluvialgeomorfologi er her ment som et mer spisset begrep under geomorfologiparaplyen, der det undersøkes landformer ut fra at de er et resultat av fluviale (vannpåvirkede) prosesser.

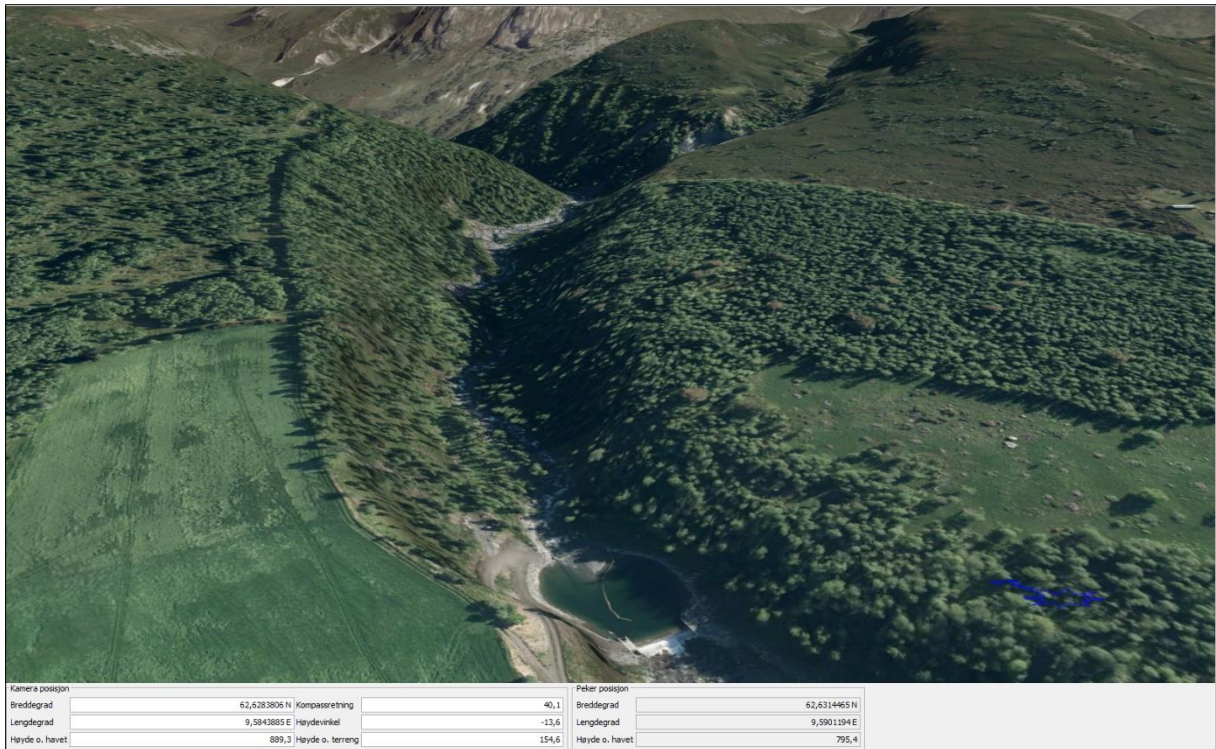
2.0 Områdebeskrivelse

Feltområdet der undersøkelser er utført heter Vekveselva og ligger i Oppdal kommune i fjellmassivet Trollheimen. Elva er en bratt fjellelv (se kapittel 3.1) og ligger i en sør-vestvendt fjellside på nordsiden av Drivdalen. Lokasjonen er illustrert nærmere i Figur 1.

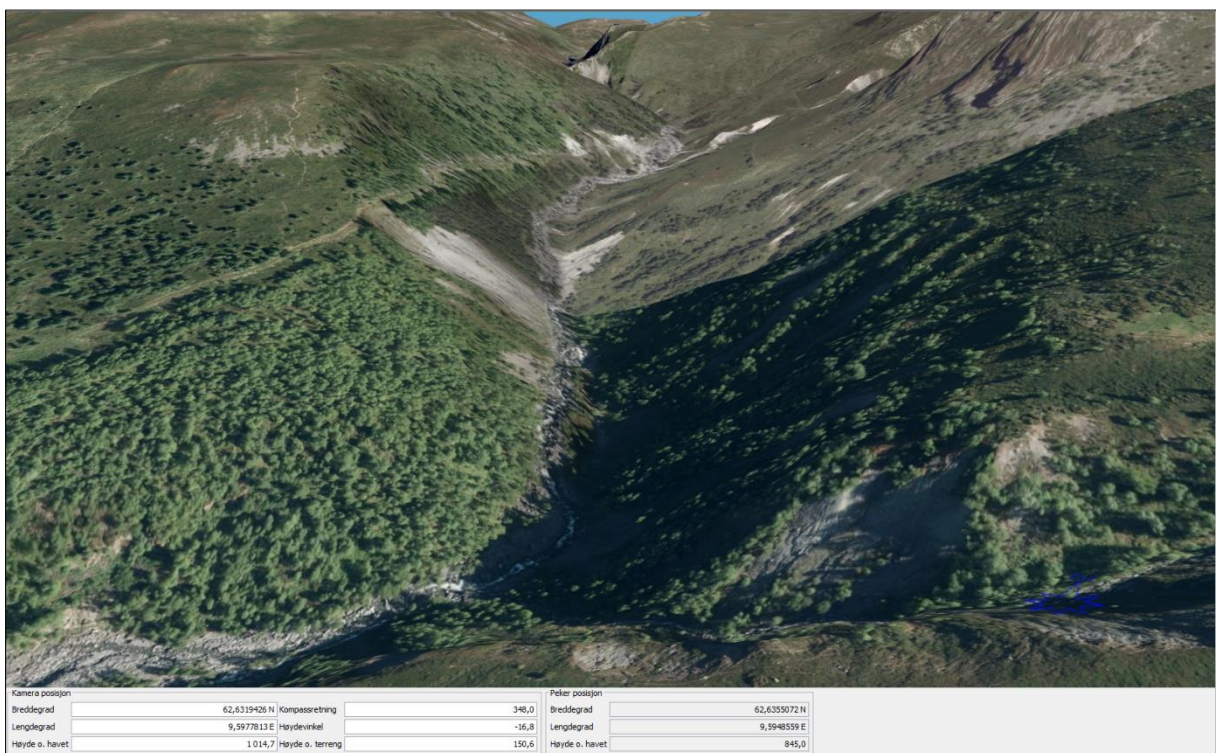


Figur 1. Kartutsnitt som illustrerer feltområdets lokasjon i Norge. Den røde streken i utsnittet nede til høyre indikerer elveleiet og lengden som er undersøkt (egen illustrasjon av skjermdump fra Google Earth).

Elveleiet ligger i bunnen av en v-dal nedskjært i gammelt morenemateriale, sannsynligvis av varierende alder. Det er tegn på god konnektivitet til skråningene rundt sett ved for eksempel flere skredsår i skråninger ned mot elveløpet. Dette gjør at sedimentene elva har tilgang til gjennom de omkringliggende skråningene er usortert og består av både finkornete og svært grovkornete masser. Nederst i vassdraget er det anlagt en sedimenteringsdam i sammenheng med kraftproduksjon. Denne dammen og demningen kan sees i Figur 2.



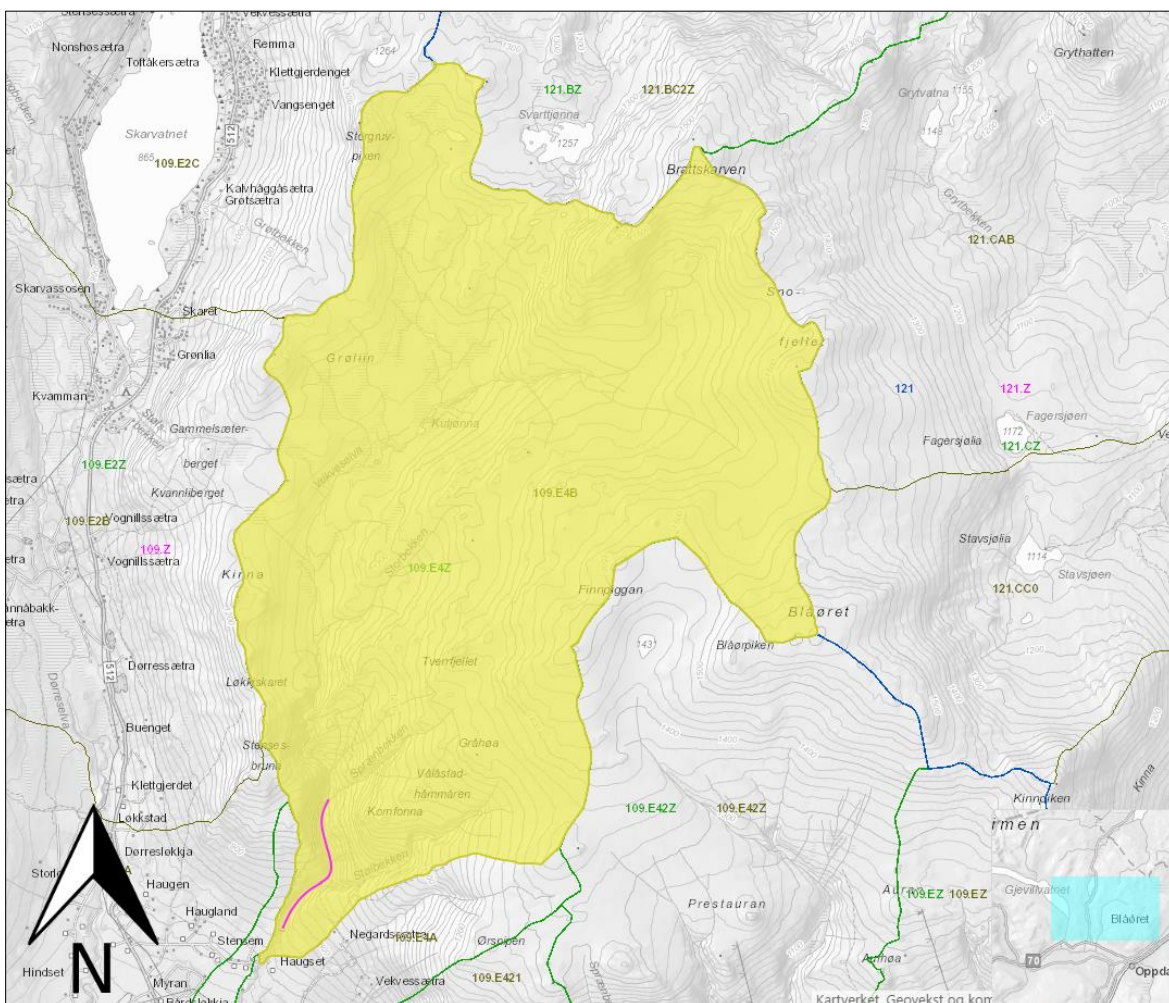
Figur 2. Utsnitt av det nedre feltområdet. Den omtalte sedimenteringsdammen kan sees nede i midten av utsnittet skjermdump fra Norgei3D).



Figur 3. Utsnitt fra Norgei3D av den øvre delen av feltområdet. Det er elveleiet som fortsetter opp midten av utsnittet som er undersøkt (skjermdump fra Norgei3D).

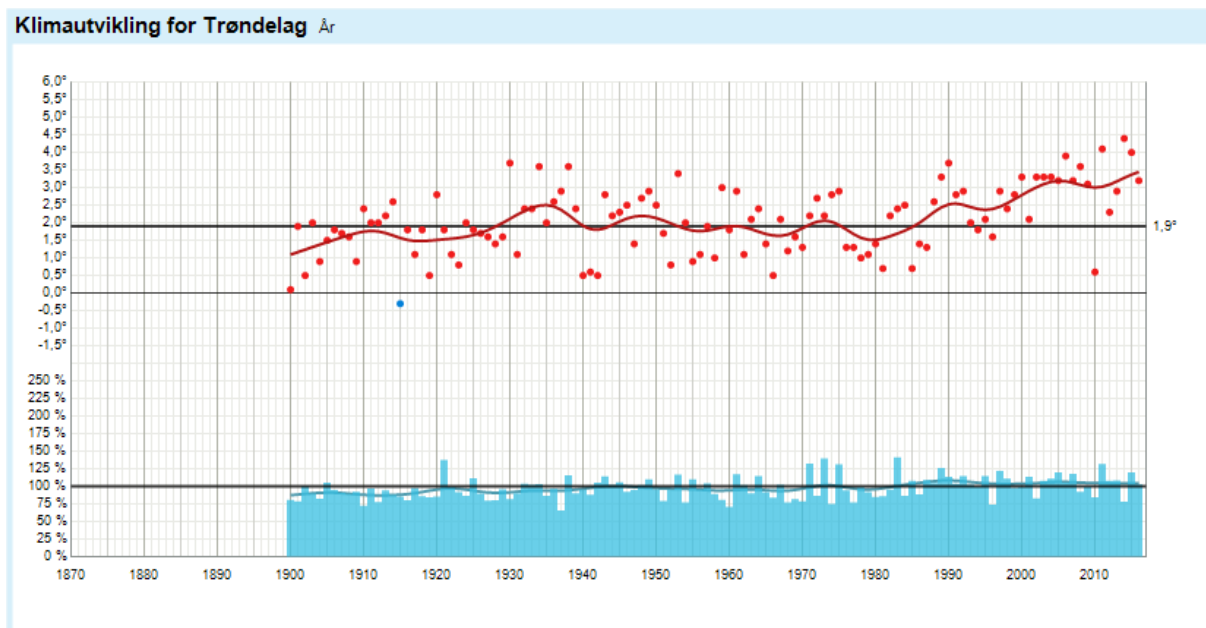
Feltområdet ligger i det som best kan beskrives som i et skille mellom en nordboreal vegetasjonssone og en alpin sone (Moen, 1998). Mesteparten av feltområdet er dominert av bjørkekræver samt annen løvskog, mens i den øvre delen avtar dette og vegetasjon blir begrenset til lyng og lav da det ligger opp mot dagens tregrense. Fra Figur 2 og 3 kan man se denne vegetasjonen, hovedsakelig gjennom et øvre gresslag i jorda og løvtrær. Dette bidrar til å binde sammen skråningene som kan motvirke utrasing. Likevel er det noen markante skredår som kan observeres i eksempelvis Figur 3, som vitner om at elva har særlig tilgang til sedimenter for transport gjennom disse skredårene.

Hele nedbørsfeltet (vassdragsnummer 109.E4B hos NVE), inkludert sidednbørsfeltet (109.E4A), har et areal på 28,97 km² med en total elvelengde på 13,12 km. Tilsiget er på 28,57 mill.m³ per år, som tilsvarer rett under en kubikkmeter vann per sekund i gjennomsnitt (NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat, 2017). En oversikt over feltets geografiske utstrekning kan sees i Figur 4.



Figur 4. Kart som viser nedbørsfeltets utstrekning merket i gul farge. Den utforskede elvestrekken er merket i rosa farge (skjermdump fra NVE Atlas).

Gjennomsnittlig årlig temperatur i området har hatt en markant økning, særlig de siste 25 årene. Så langt ser det ikke ut til at denne temperaturøkningen har ført til en økning i nedbør enn så lenge og nedbøren har ligget rundt normalen de siste 30-40 årene. Dette kan man se eksemplifisert i Figur 5. Normalperioden er basert på nedbørsdata i tidsrommet 1961-1990 (Yr værtjeneste, 2017).



Figur 5. Grafen viser langtidstatistikk for temperatur og nedbør for hele året. Prikkene viser gjennomsnittlig middeltemperatur, mens linjen er en utjevning for 10 år. Normalen vises som en tykk horisontal strek. De blå stolpene i bunnen viser hvor mye nedbør sammenlignet med normalen, som er beregnet ut fra tidsrommet 1961-1990 (tykk strek over stolpene) (Yr værtjeneste, 2017).

3.0 Teori

I dette kapitlet vil de sentrale teoriene bundet til dette arbeidet bli presentert for å gi tilstrekkelig bakgrunnsinformasjon til å se hva slags metode som er anvendt, hvordan resultater dette har ført til og grunnlaget data er tolket opp mot.

Geomorfologi er i den enkleste forstand læren og studiet om hvordan ytre krefter tærer ned og omdanner landskapet på kloden. I denne oppgaven er det særlig det mer spissede området fluvialgeomorfologi som står sentralt (jamfør delkapittel 1.3). Delkapittel 3.1 omhandler generelle hydrauliske teorier knyttet til elveerosjon og trinn-kulper. Trinn-kulper som landform og mulig kanaltype vil bli sett nærmere på i delkapittel 3.2 og underkapitler. I samme kapittel vil det også gås nærmere inn på trinn-kulpdannelse og landformenes funksjon i elva.

3.1 Hydraulikk

I denne oppgaven er det anvendt grunnleggende hydraulisk teori for å utforske og besvare problemstillingen og hypotesen. Newtons første lov dikterer at vannstrømmen i et elveløp vil fortsette i den retningen den allerede er satt i bevegelse i. Det vil si at i en kurvatur i elva, vil vann ovenfra strømme rett fram mot elvekanalens yttersving. Sentrifugalkreftene som oppstår som følge av dette gir et økt stress mot den ytre elvebanken og et lavere stress mot den indre. Dette bidrar til at elva i større grad graver i kanalens yttersving enn innersving, og i en ideell situasjon vil avsette materiale i den indre svingen. Mer presist kan man si at den økte vannstanden i yttersvingen fører til at det dannes en sekundærstrøm langs elvebunnen som dreies mer mot svingens innerside (Gilvear & Jefferies, 2012). Denne sekundærstrømmen fører til avsetning i svingens innerside.

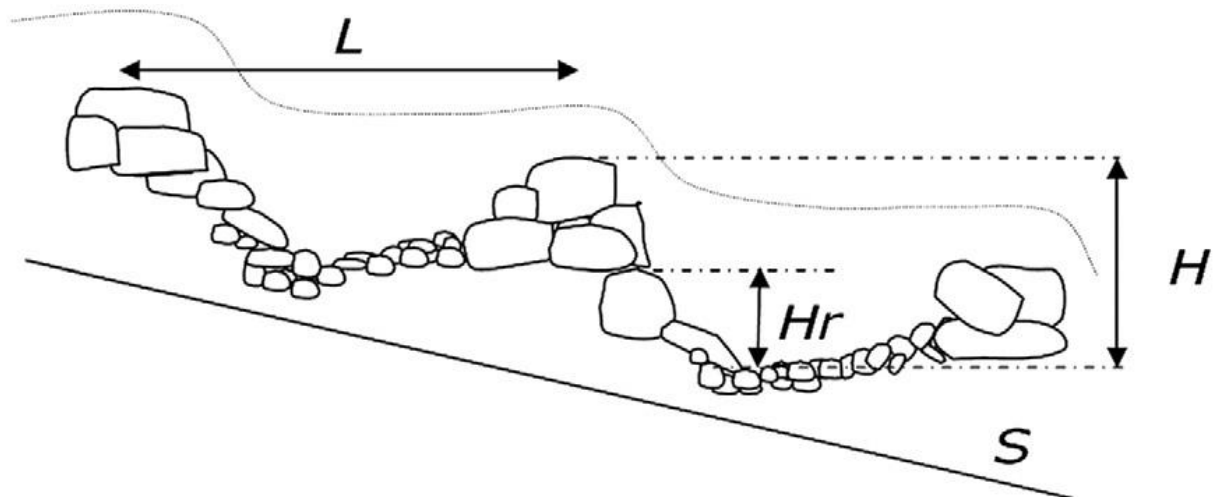
Det har i lang tid vært debattert hvordan trinn og kulper oppstår. Sentralt for flere teorier rundt dette er en rekke tanker om påvirkning av det hydrauliske regimet i elva. I en rekke studier om trinn-kulper nevnes hydrauliske begreper som subkritisk, kritisk og superkritisk strøm. En måte å finne kritisk strøm på er å finne den dybden på vannstrømmen relativt til elvebunnen og elvebredden som gir høyest flux med minst mulig energibruk i systemet (Civil Engineering Portal, 2009). En subkritisk strøm vil være en strøm som er dypere enn kritisk strøm (lavere hastighet), mens en superkritisk strøm vil være grunnere enn kritisk strøm (høyere hastighet) (Bengtson, 2010). En superkritisk strøm kan også defineres ved når hastigheten på væsken

overgår bølgehastigheten i den. Slik sett kan den sammenlignes med et supersonisk smell i gass.

3.2 Trinn-kulper

Det er flere ulike definisjoner på hva trinn-kulper er, hvordan de er dannet og hvilken funksjon de har i et elvesystem der de opptrer. Det følgende delkapittelet vil ta for seg noen av de dominerende teoriene rundt trinn-kulper, både når det kommer til hva de er, deres dannelse og funksjon i elveløpet.

Trinn-kulper kan isolert sett sies å være en fluvialgeomorfologisk landform (Weichert, et al., 2008) i bratte fjellelver, der elveløpet demmes opp lokalt av grovere løsmasser som strekker seg i et tverrsnitt fra elvebredd til elvebredd. Nedenfor denne oppdemningen (trinnet) får man en kulpformasjon. Det er også typisk ulik kornfordeling i trinn og kulp, der trinnet består av en høyere andel grove korn med steiner og blokker, mens kulper har en høyere andel relativt fine korn bestående av sand og grus. Årsaken til dette er koblet med teorier om hvordan kulper dannes som en følge av en bremsende, energifrigjørende effekt (se delkapittel 3.2.2) som sørger for at finere materiale som fraktes nedover elva avsettes i kulpene. Det er karakteristisk at denne landformen gjentas vekselvis nedover elvekanalen i trappetrinnlignende sekvenser (Chin, 1989) (Church, 2002) (Church, et al., 2008). En illustrasjon av en typisk trinn-kulp kan sees i Figur 6. Det er også foreslått at trinn-kulper er en egen kanaltype på lik linje med, og distinkt fra, for eksempel cascades (Church & Zimmermann, 2007, pp. 2-4). Den kan altså sees som en egen mesoskala kanalform på linje med meandrerende systemer for eksempel i stedet for en isolert landform på mikronivå.



Figur 6. Figuren illustrerer en trinn-kulpssekvens i elvas lengdeprofil (Recking, et al., 2011).

3.2.1 Trinn- og kulpdannelse

I eksisterende litteratur er det etablert at trinn-kulpdannelse er avhengig av en viss landskapsgradient og sedimenttilgang i elvesystemet. Det er likevel ingen akseptert enighet om hvilken gradient som er nødvendig for trinn-kulpdannelse, verdier rundt dette varierer noe mellom ulike studier. Zimmermann og Church (2007) diskuterer dette inngående. Blant annet er det litteratur som sier at trinn-kulper starter å opptre i systemer med en helning i elvas lengdeprofil på 3% (Abrahams, et al., 1995) (Aberle & Smart, 2003). Comiti og Lenzi (2003) og (2006), mener derimot man ikke ser at trinn-kulper dannes ved gradienter under 4,5% helning. Andre (Chin, 1989) (Grant, et al., 1990) (Montgomery & Buffington, 1997) (Whittaker & Jaeggi, 1982) har videre funnet at individuelle trinn-kulper oppstår ved rundt 4% gradient, mens sammenhengende trinn-kulpssekvenser oppstår ved 7% landskapsgradient, dette gjengitt av Church og Zimmermann (2007).

Tidlig var tanken at trinn er styrt av større flomhendelser og dannes nærmest utelukkende som et resultat av hydrauliske prosesser. Judd (1963) gjengitt av Church og Zimmermann (2007), var tidlig inne på tanken om at ett trinn dannes først, et såkalt initialtrinn. Dette fører til et fall for vannstrømmen i det den passerer over trinnet, som så resulterer i høyere hastighet (superkritisk strøm), som vil føre til en stående bølge. Resultatet er at et nytt trinn dannes, da den stående bølgen eroderer en kulp nedenfor initialtrinnet. Kulpens nedstrøms grense tenkes dermed å være starten på et nytt trinn. Prosessen vil så forplante seg videre ned i systemet. En beslektet teori foreslått av Allen (1983) henviser til at trinn dannes av store grovkornede løsmasser som befinner seg i elvekanalen. Når vann strømmer over disse fører dette til et

hydraulisk sprang i det vannet treffer elvebunnen nedstrøms, som bidrar til dannelsen av kulper og potensielt trinn med lignende mekanismer som det tidligere foreslått av Judd. En videre svært omtalt teori av Whittaker og Jaeggi (1982) er at trinn formes under kanten av antidyner, som så stabiliseres av større materiale avsatt der som vil føre til nye avsetninger bak dette igjen og danne et trinn. Antidyner er småskala landformer som dannes av sand på tvers av elvebunnen. Det er pekt særlig på at dette skjer når vannhastigheten øker i et system (Holden, 2012), som ved økt gradient eller flomsituasjoner. I denne teorien pekes det også til at det nydannede trinnet fører til at det overstrømmende vannet som oppnår høyere hastighet, på grunn av et økt vertikalt fall, skurer elvebunnen nedstrøms for trinnet og skaper en kulp (Church & Zimmermann, 2007). De sedimentene som utgjør trinnet kan da tenkes å være masser elva ikke klarer å transportere vekk ved lavere vannføring. Altså vil dette kunne bety at trinn dannes når en tilstand med høyere vannføring enn normalt, slik som flomhendelser, er på tur ned og elvas transporterende evne forsvinner.

En nyere utvikling er i form av at trinns plassering og dannelse er mer et resultat av tilfeldigheter. Trinndannelse og plassering er ifølge Church og Zimmermann (2001) tilfeldig ut fra hvor større sedimenter, kalt nøkkelsteiner, raser ut i fra skråninger tilknyttet elva eller avsettes etter å ha blitt fraktet nedstrøms etter større flomhendelser. Bak, eller ovenfor, en slik nøkkelstein vil det ifølge dem så kunne låses og kiles fast nye steiner og andre sedimenter som til slutt vil danne et trinn. Trinnets vil til slutt spenne hele elvekanalens breddeprofil. Dette vil så kunne føre til et hydraulisk sprang og/eller en stående bølge nedstrøms for trinnet som bidrar til å danne en kulpformasjon, likt de tidligere omtalte teoriene rundt kulpdannelse i dette kapitlet (Church & Zimmermann, 2001)

Det er fra flere hold (Grant, et al., 1990) (Lenzi, 2001) etablert at trinn-kulper påvirkes og dannes under ulike flomhendelser i systemet. De større trinnene påvirkes bare under de største flommene i et system, mens mindre trinn kan påvirkes under mindre flomhendelser. Det er blant annet gjort studier som viser at normal og lav vannføring i en elv påvirker trinn-kulpmorfologi i svært liten grad, og forhindrer erosjon og transport av sedimenter gjennom systemet (Hooke, (2003), gjengitt av Molnar et. al. (2010)). Lenzi har vist at det bare er etter større flommer, slik som 30- og 50-årsflommer man ser tydelige store endringer i trinnmorfologi og plassering på mikroskala (2001). Senere har Lenzi et. al. (2006) vist at mindre flomhendelser ikke påvirker trinns morfologi i utstrakt grad. Molnar et. al. (2010) konkluderte med at trinn-kulpmorfologi endres under store flomhendelser, etter å ha observert at så mye som 60% av trinn i elva Erlenbach i Sveits, hadde blitt flyttet av en større

flomhendelse i 2007. De viste også til at selv noen av de største, mest grovkornede trinnene hadde blitt satt i bevegelse (Molnar, et al., 2010). Basert på tilgjengelige studier kan det derfor se ut som at trinn dannes under flomhendelser, eller idet flomhendelsen avtar og sedimenter under transport begynner å avsettes etter hvert som elvas transportevne faller i takt med at vannstrømmen avtar. Videre er det klart at trinn i stor grad destrueres under flomhendelser, kanskje med unntak av de mest grovkornede trinnene i systemet. Det er fortsatt noen usikkerhetsmomenter rundt flompåvirkning av trinndannelse og destruksjon, som skyldes at det naturlig nok er svært krevende og vanskelig å observere elvebunnen under flomhendelser, samt at det kan utgjøre en betydelig helse- og sikkerhetsrisiko for mennesker og stiller høye krav til utstyrs robusthet.

3.2.2 Trinn-kulpers funksjon

Trinn-kulper er vist å føre til et særegent hydraulisk system som avviker fra en del andre kanalformer. Mye av teori rundt dannelse av trinn og særlig kulper (se delkapittel 3.2.1) er basert på at trinnets geometri fører til at vann som strømmer over trinnet oppnår kritisk eller superkritisk hastighet som fører til et hydraulisk sprang eller en stående bølge der det treffer vannet nedstrøms for trinnet. Dette frigjør mye av vannstrømmens energi og fører så til at vannet går over til en subkritisk strøm (Grant, et al., 1990) (Montgomery & Buffington, 1997) (Wilcox, et al., 2011). Wilcox et. al. (2011) fant ut at så mye som 2/3 av energien frigjøres i denne prosessen. Zimmermann og Curch (2007) mener at en konstant tilstedeværelse av superkritisk strøm ville destabilisere de aller fleste elvekanaler, og at vannstrømmen i et trinn-kulpsystem heller veksler mellom superkritisk og subkritisk strøm. Dette mener de er det som er avgjørende for trinn-kulpsystemers observerte stabilitet. De peker også på at en slik veksling fortsatt vil frigjøre store mengder energi (Church & Zimmermann, 2007), noe som er viktig for forståelsen av kanaltypens funksjon i elvesystemet de opptrer i. Dette kan tyde på at trinn-kulper er sentrale for elvas evne til stabilisering og selvregulering, og man kan trekke linjer mellom trinn-kulpers funksjon til meandersvingers, med den forskjellen at trinn-kulper jobber vertikalt, i stedet for lateralt slik meandere gjør. Kort fortalt ser det ut til at trinn-kulper fungerer som en bremsende og energifrigjørende prosess for vannstrømmen i elva.

4.0 Metodologi

Dette kapitlet handler om hvilke metoder som er brukt for datainnsamling, gjøre utvalg slik at eventuelle bias kan unngås og hvilke analyser som er gjort i et forsøk på å avvise de framsatte hypotesene. Delkapittel 4.1 og underdeler skal handle om hvilke metoder som er anvendt i felt, mens 4.2 vil gi en redegjørelse for utstyret som er anvendt til dette. Delkapittel 4.3 er et kort referat av feltarbeidet som helhet, mens 4.4 tar for seg de analytiske metodene som er anvendt i ettertid. I delkapittel 4.5 tas det opp noe av kritikken som kan rettes mot de anvendte metodene.

4.1 Feltmetodikk

For å teste hypotesene er det utført høyde- og lengdemålinger av trinn og kulper i svinger av elvekanalen. Dette er gjort ved å måle høydepunkter på tvers av elva med en nivelleringskikkert og målestav. Den aktuelle kikkerten er omtalt i nærmere detalj i delkapittel 4.2.

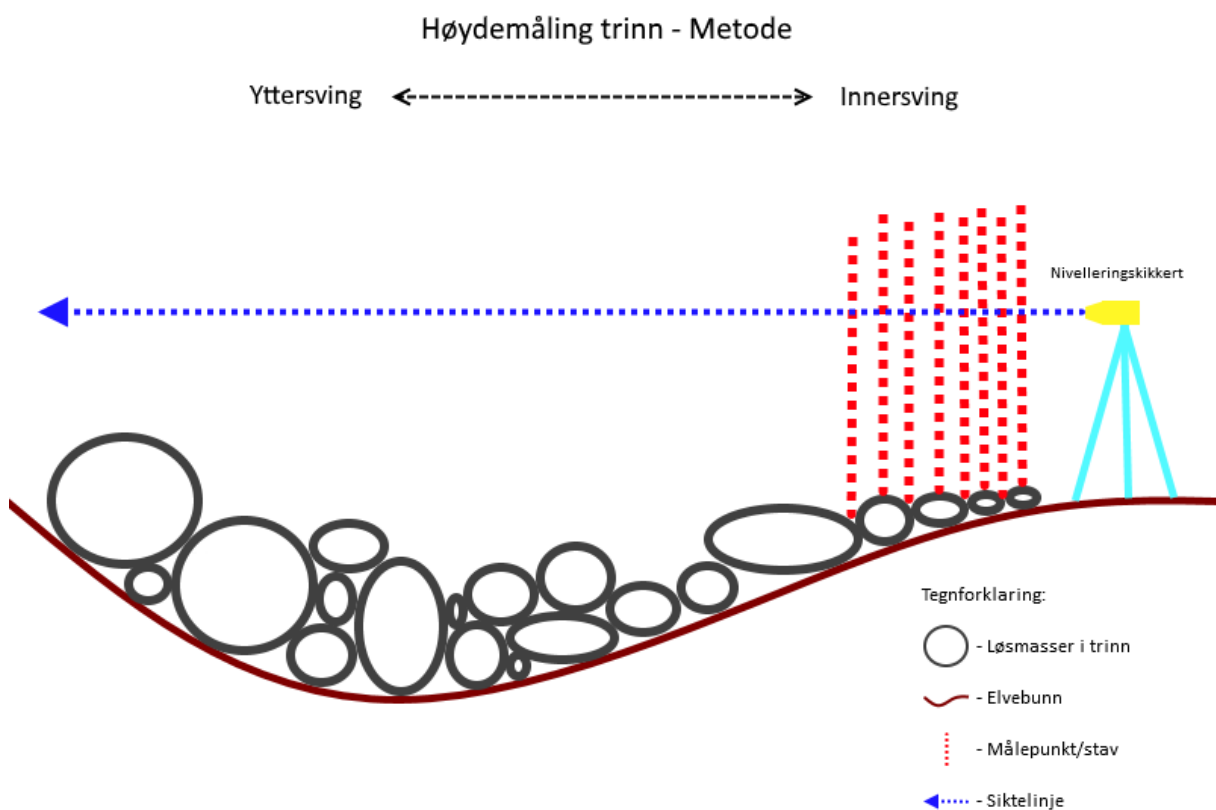
Før feltarbeid ble innledet ble det bestemt gitte kriterier, basert på tidligere publikasjoner sitert i denne oppgaven, for at en formasjon i elveløpet skulle blitt klassifisert og tolket som en trinn-kulp. Dette er gjort for å få en konsekvent vurdering av hva som er en trinn-kulp under feltarbeid og forhindre noe bias ved utvalg av enheter. De to kriteriene er følgende:

1. Trinnet må uavbrutt spenne hele den aktive elvekanalen i et tverrsnitt. Med aktiv elvekanal menes den delen som på feltarbeidets tidspunkt har vannføring.
2. Det må være en tydelig kulpformasjon nedenfor og/eller ovenfor gitte trinn.

Utvalg av enheter er gjort ut fra de kriteriene listet opp over og ved tilfeldig utvalg. Nærmere forklart har potensielle enheter måttet oppfylle de nevnte kriteriene for at de skulle vurderes som mulig for datagrunnlaget. Videre, for å forhindre bias, er kun hver annen mulige enhet valgt ut til måling etter den første målte trinn-kulpsekvensen.

4.1.1 Høydemålinger

Høydemålingene av trinnene i en trinn-kulp er gjort langs hele trinnets lengde ut fra de på forhånd gitte kriteriene, ved å måle et startpunkt for enheten for deretter måle det første tydelige høypunktet eller lavpunktet etter trinnets start fra en elvebredd til en annen. Etter første punkt har altså hvert neste punkt blitt plassert i første tydelige knekkpunkt langs trinnet, enten om det er høyere eller lavere enn foregående punkt. Målet med denne metoden er å kunne få en snitthøydekurve av trinnet som viser trinnets gjennomsnittlige høyde ut fra lengde i elvekanalens tverrsnitt. En illustrasjon for hvordan dette er utført kan sees i Figur 7.

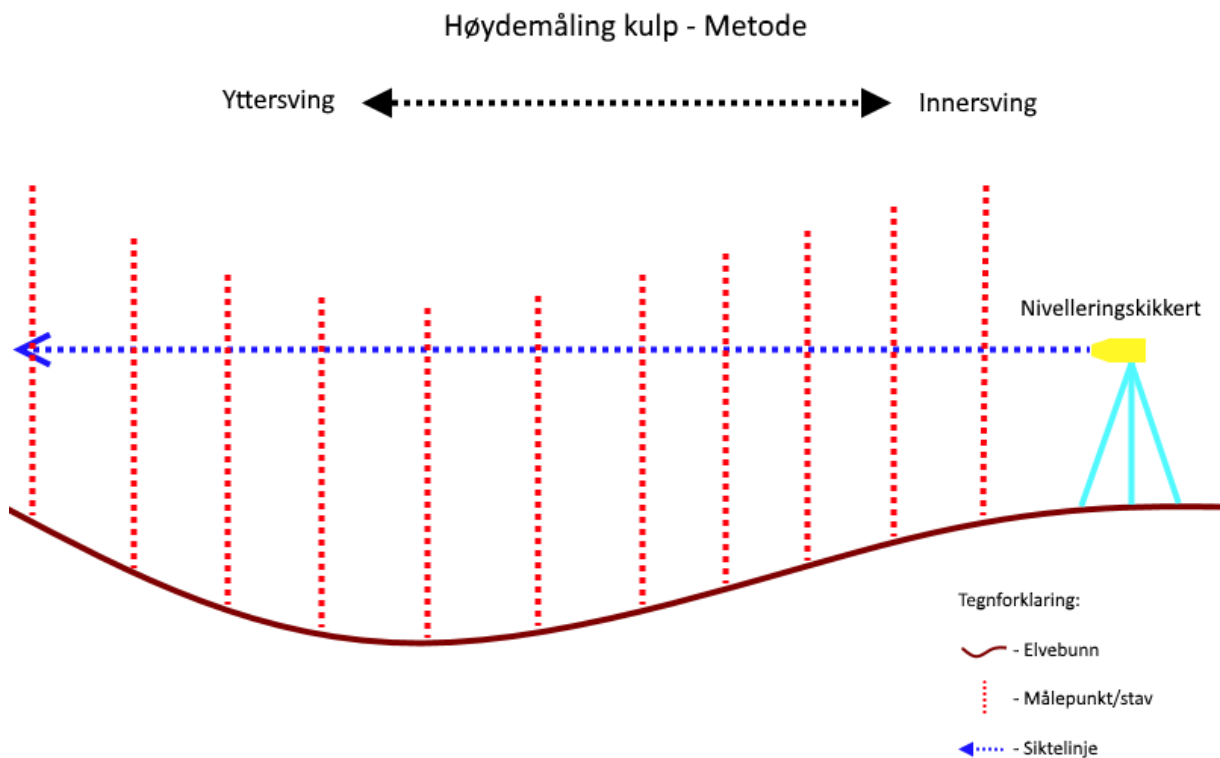


Figur 7. Figuren er en illustrasjon på hvordan høydemålingene av trinn er utført (egen illustrasjon).

Måling av kulper er gjort forholdsvis likt, men med det unntak at hvert målepunkts plassering ikke er definert ut fra punktets relative høyde i målelinjen fra foregående punkt i måleserien. Dette ble bestemt ut fra noen praktiske årsaker, hvorav følgende er de viktigste:

1. Det ville vært vanskelig og tidkrevende å finne høyeste/laveste punkt i en bestemt målelinje under vannflaten.
2. Grunnet at elvebunnens strukturelle overflate i en kulp er mer homogen (jevne) ville dette vært mindre hensiktsmessig å gjøre for å få relevant data.

Ut fra dette ble det heller bestemt at hvert målepunkt skulle plasseres med en relativt jevn avstand fra hvert foregående punkt. Figur 8 illustrerer hvordan disse målingene ble foretatt. Måling av kulper ble gjort over midten av kulpen på tvers av elvas lengdeprofil. Kulpmålinger er kun målinger av elvebunnen i kulpen. Nullpunkt i høyde er derfor ikke en klar indikator på hvor vannoverflaten går.



Figur 8. Illustrasjon av hvordan en høydemåling i kulp ble gjort (egen illustrasjon).

4.2 Feltutstyr

Det viktigste feltutstyret som er anvendt i dette arbeidet er en nivelleringskikkert av merket *Leica Geosystems* og type *Sprinter 250M*, kombinert med tilhørende automatisk målestav i aluminium. Denne gjør at man kan peke kikkertens trådkors mot stavens strekkodeside, trykke på kikkertens måleknapp og få en automatisk avlesning. Da får man både en høydeavlesning av staven og en måling av stavens avstand til kikkerten. Denne kombinasjonen ble ansett som et kraftig verktøy for å utføre det arbeidet denne tesen omhandler på en presis og tidsbesparende måte av flere grunner:

1. Presisjon; Standardavvik i avlesning på høyde er mellom 0,6mm-1mm med den medfølgende originale målestaven som er anvendt (Leica Geosystems, 2017).
2. Manuell måling av stavens avstand til kikkerten og stavens høyde i siktelinjen unngås.
3. Manuell loggføring av høyde og lengdedata er unødvendig og store mengder data lagres i kikkertens internminne.
4. Automatisk logging gjør at import av data for etterbehandling i statistikkprogramvare går raskere.
5. Man trenger kun to stykker for å gjennomføre arbeidet, en stavholder og en kikkertoperatør.

Kikkertens brukergrensesnitt ble også sett på som en fordel, da forholdsvis lite opplæring var nødvendig for å kunne innhente den nødvendige dataen for å belyse problemstillingen og teste de framsatte hypotesene. Bilde av kikkerten og den medfølgende staven kan sees i Figur 9 i slutten av dette delkapittelet.

Utover nivelleringskikkerten og målestaven ble det også anvendt konvensjonelt vadeutstyr for å kunne oppholde seg i elva og utføre arbeidet effektivt.



Figur 9. I bildet ser man nivelleringskikkerten til venstre på stativet. Målestaven holdes av Johannes Flesjø, uvurderlig feltmedarbeider. Eget foto.

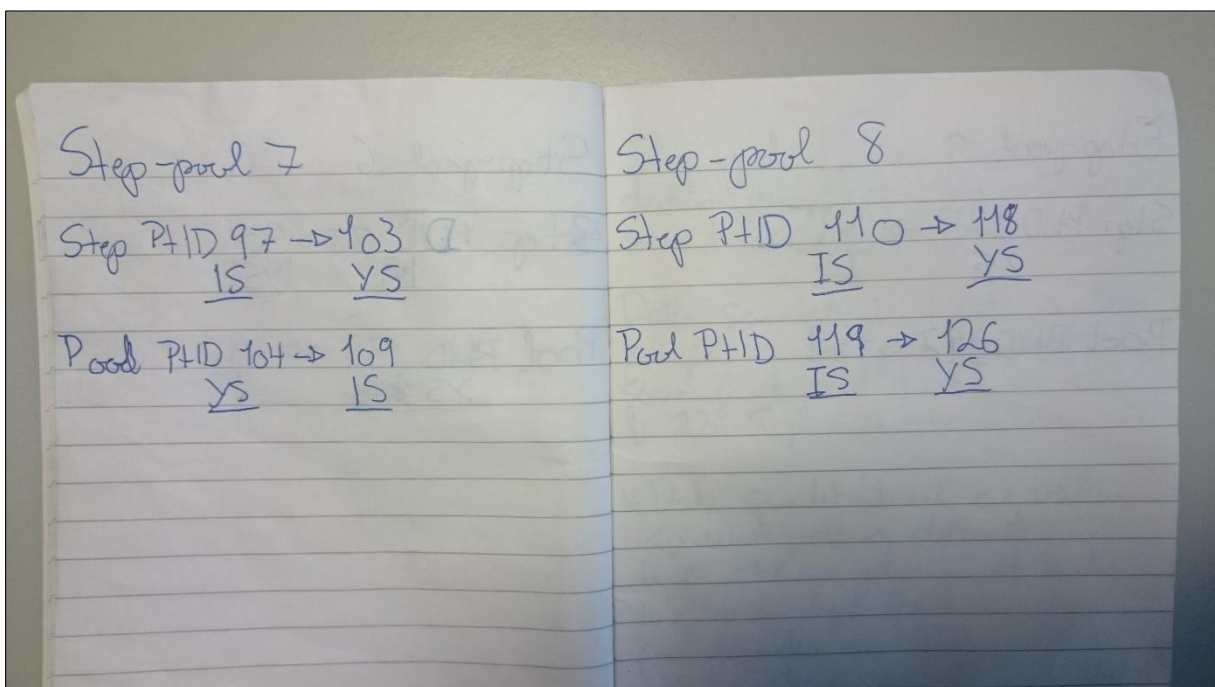
4.3 Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført i to ulike perioder i 2016. Den første perioden fant sted mellom den 01.06.2016 og den 03.06.2016. Andre feltperiode varte fra den 19.09.2016 til den 22.09.2016. Da vi var flere som skulle bruke området i Vekve som feltområde for våre masteroppgaver ble det koordinert og satt sammen en feltgruppe. Dette ble ansett som fordelaktig både for å kunne hjelpe hverandre med utførelsen av arbeidet, deling av kostnader i tilknytning til periodene, samt at det var viktig å være flere i området samtidig av HMS-årsaker. Gruppen på fire stykk bestod av undertegnede, Johannes Flesjø, Vegard Sulebakk og Vegard Slåen Sæther.

Den første perioden var hovedsakelig tenkt å brukes til utforskning av feltområdet og teste den da foreslåtte metodikken. Innhenting av data relativt tidlig i sesongen ble sett på som en bonus. I utgangspunktet var det ment å bruke nivelleringskikkertens innebygde nivåfunksjon for å automatisk måle opp og regne ut høydekurver over trinn og kulper. Dette ble forsøkt for noen enheter, men ble etter hvert skrinlagt til fordel for å måle enkeltpunkter i stedet og manuelt notere en måleseries startpunkt og slutt punkt. Årsaken til dette var at det viste seg i felt noe vanskelig å få denne funksjonen til å fungere slik ønsket. En måleserie (en høydekurve av trinn eller kulp), ble manuelt notert ned i en feltnotatbok ved å skrive ned

enhetens første punkt-ID og siste punkt-ID. Disse ytterpunktene i en måleserie ble også merket av om hvor de lå i elvens kurvatur (ytter- eller innersving). Senere ble dette kodet inn i etterbehandlingen av data (se delkapittel 4.4.1). Et eksempel på hvordan dette så ut i feltnotatene kan sees i Figur 10. Totalt ble det i første feltperiode samlet inn data for 22 enheter, 9 trinn og 13 kulper. Årsaken til at det er data for flere kulper enn trinn er at det tidlig ble samlet data for både den oppstrøms liggende kulpen og den nedstrøms liggende for trinnet. Dette gikk man etter hvert bort fra for å spare tid, da det var kulpen nedstrøms for et trinn som ble ansett som mest interessant i et konnektivitetsperspektiv og man hadde derfor et ønske om å heller samle mer data av flere trinn-kulpsier enn å bruke tid på en oppstrøms kulp som strengt tatt tilhører en annen trinn-kulpsierie enn den man primært utførte målinger for.

I den andre feltperioden fokuserte man på å samle mer data med de justeringene i metode som var gjort på erfaring fra den første feltperioden. I denne perioden ble det samlet data for 23 enheter, 11 trinn og 12 kulper.



Figur 10. Bilde av feltnotatboken som ble anvendt. I bildet ser man hvordan man noterte ned en måleseries start og sluttpunkter, samt deres beliggenhet i elvas sving. IS=innersving, YS=Yttersving. Eget foto.

4.4 Analytiske metoder

I bearbeiding og analyse av data er det brukt to statistikkprogrammer. Det ene er *Microsoft Excel*, hvor det meste av rekoding og grunnleggende utregninger er gjort. Det andre programmet er *IBM SPSS*, der de mer dyptgående analysene er utført, slik som sammenligning av gjennomsnitt.

Delkapittel 4.4.1 tar for seg den nevnte rekodingen som er gjort i *Microsoft Excel* og framgangsmåten for dette. Delkapittel 4.4.2 omtaler de analysene som er utført på den rekodede dataen både i *Microsoft Excel* og *IBM SPSS*.

4.4.1 Databehandling

Datasettet er først splittet opp i egne deler for hvilken enhet de tilhører. Hver enhet (trinn eller kulp) består av flere datapunkter som innehar variabler for høyde og lengde. Så er det lagt til en variabel for å indikere hvilke to punkter som er enhetens ytterpunkter for henholdsvis ytter- og innersving i elvekanalen. Da rådataen viser avstander ut fra nivelleringskikkertens plassering viser den ikke enhetens reelle lengde. For å eliminere kikkertens plassering som fungerende nullpunkt ble ytterpunktet i yttersvingen satt som nullpunkt i enheten. For å finne hver enhets faktiske lengde er deretter avstanden fra det nye nullpunktet til de påfølgende punktene i hver serie utregnet. Siden målinger ikke alltid ble utført fra en elvesvinges ytterside vil denne framgangsmåten kunne føre til negative lengdeverdier. Derfor var det nødvendig å sette de nye utregningene av lengdedata som absolutte verdier for å forhindre dette. For høydedata er den samme framgangsmåten fulgt med nullpunkt på samme datapunkt som lengdedata i hver enhet. Her ble det ikke benyttet absolutte verdier da det ble sett som hensiktsmessig for visualisering å ha potensielle negative verdier.

Etter dette ble høyde- og lengdedata fra enhetene normalisert til verdier mellom -1 og 1 for høydedata og 0 til 1 for lengdedata. Dette ble gjort ved å dele alle de nylig utregnede differansemålene på enhetens høyeste mål i hver variabel (høyde og lengde). Forholdet mellom verdiene bevares, og man kan lettere sammenligne med andre serier som kanskje hadde hatt ulike maksverdier.

En siste operasjon som er utført før analyse og tolkning av data er å invertere mål fra høydedata. Dette var nødvendig da målingene var gjort ved enkeltavlesninger av målestaven, dermed vil en stav som står lavere i terrenget i forhold til foregående punkt få en høyere verdi.

I et punktdiagram vil dette gi seg utslag i at et lavere punkt plottes som høyere enn det reelt er. For å fikse dette problemet ble fortegn på alle høydedatas fortegn snudd ved å gange alle høydeverdiene med -1.

4.4.2 Analyse

Etter databehandling slik beskrevet i 4.4.1 er det i *Microsoft Excel* laget punktdiagrammer av den samlede dataen med trendlinje som et verktøy for å se tendenser i dataen. Disse diagrammene kan sees i Figur 11 og 12 for henholdsvis trinn og kulper under kapittel 5. Det er også laget slike diagrammer uten trendlinje for hver enkelt enhet separat. Disse kan sees i appendiks A og appendiks B for henholdsvis data for trinn og kulp. I framvisning av disse diagrammene er det valgt å bruke en polynomial trendlinje av 6. grad for å vise gjennomsnittet av alle høydeprofilene (se delkapittel 5.1). Årsaken til dette var at det var ved dette man fikk en r-kvadratverdi som ligger nærmest 1. Kort fortalt vil det si at når r-kvadrert verdi for en trendlinje er nærmest verdien 1 representerer dette tendensen i dataen mest presist. I tillegg er det tenkt at dette visualiserer ulikheter i gjennomsnittlig høyde mellom inner- og yttersving på en tydeligere måte.

Etter dataen ble behandlet slik beskrevet delkapittel 4.4.1, er den importert inn i *IBM SPSS*. Her er så det utført deskriptiv analyse av data der man kan se videre tendenser i datamaterialet utover det Figur 11 og 12 viser. Det er så utført en uavhengige utvalgs t-test mellom gjennomsnittet av høydepunkter i trinn og kulper, der skillet er basert på hvor i lengdeprofilen punktene ligger. Dette skillet er først satt ved 0,5 og sammenligner derfor hver halvpart av trinn og kulpers lengderetning i elvas tverrsnitt mot hverandre. Etter dette er det sammenlignet ulike kvartiler i trinn og kulpers lengdeprofil mot hverandre. Skillet er gjort mellom under 0,25 lengde mot over 0,75 lengde og mellom 0,25-0,5 mot 0,5-0,75 lengde. Tabell 1 til 12 i kapittel 5 viser resultatet av t-testene for henholdsvis trinn og kulper. For at statistisk signifikant forskjell i gjennomsnitt ved en slik t-test skal påvises må p-verdien (Sig. (2-tailed) i tabellene) være på 0,05 eller lavere ved et 95% konfidensintervall. Det vil si at når p-verdien ved en t-test har en slik verdi eller lavere, er det under 5% sjans for at ulikhetene i gjennomsnittene som sammenlignes er tilfeldig.

Etter testing av trinn- og kulpdata for systemet som helhet er det utført flere identiske t-tester som de foregående, men av to ulike deler av datasettet i et forsøk på å validere resultatene fra settet som helhet. Skillet i datasettet går på fra hvilken feltperiode dataen ble samlet på, da de

ulike periodene grovt sett har hentet data fra to noe ulike halvdelar av den undersøkte delen av elvas lengde. Data fra den første feltperioden er testet først, så data fra den andre feltperioden. Dette er gjort i et forsøk på å validere dataen ytterligere samt for å se om ulik helning på elveløpet kan ha noe betydning, da strekningene av elva undersøkt i de ulike periodene har noe ulik gjennomsnittlig gradient.

4.5 Kritikk av metodikk

Den største fordelen med metoden som er anvendt til innsamling av data er at den er enkel, lite tidkrevende og innhenter relativt presis data.

En svakhet som burde trekkes fram ved måling av trinn og kulper er at man går glipp av 3-dimensjonell data ved å bruke den metoden som er beskrevet i 4.1.1. Med dette menes det at man vil kun få høyde og lengdedata av trinn og kulps tverrprofil, mens dybdedata faller bort. Dette gjør at man kan få et mindre presist bilde av trinn og kulp morfologien for hver målte tverrsnitt. I en mer dyptgående studie ville dette vært en større svakhet enn den anses som i dette tilfellet. Likevel ønskes denne svakheten å trekkes fram, da 3-dimensjonell data kunne avdekket andre interessante momenter ved trinn- og kulp morfologi relatert til problemstillingen.

Videre kritikk som kan rettes mot selve målemetoden er at den åpner opp for et relativt stort rom for menneskelig feil. For å få nøyaktige målinger er det nødvendig at stavholderen klarer å holde staven i lodd eller i det minste noenlunde vertikalt. Hvis ikke vil dette både påvirke nivelleringskikkertens evne til å få korrekt avstand til staven og en nøyaktig høydeavlesning. Den staven som er brukt til dette arbeidet er ikke utstyrt med vater. Dette momentet kompliseres ytterligere ved at man erfaringsvis ser at staven er noe vanskeligere å kontrollere med høy vannføring i elva, da dette vil nærmest dra med seg staven. Dette vil potensielt påvirke de samlede dataenes reliabilitet.

Når det kommer til utvalgsmetoden av enheter har den noen styrker som beskrevet i delkapittel 4.1.2. Likevel kan det rettes noe kritikk mot dette også. Den første åpenbare svakheten som ble opplevd i felt var at man hoppet over potensielle målbare enheter, noe som til slutt begrenset antall enheter man kunne innlemme i et datasett mot slutten. Lavt antall enheter i en studie som baserer seg på statistisk signifikans må sies å være en potensiell svakhet som kan senke validiteten betraktelig.

5.0 Resultater

I dette kapitlet presenteres resultater. Delkapittel 5.1 viser i hovedsak punktdiagrammer av gjennomsnittlige lengde- og høydeprofiler av trinn og kulp gjort i *Microsoft Excel*. Delkapittel 5.2 tar for seg utputt av tidligere nevnte t-tester og deskriptiv data utført i *IBM SPSS*.

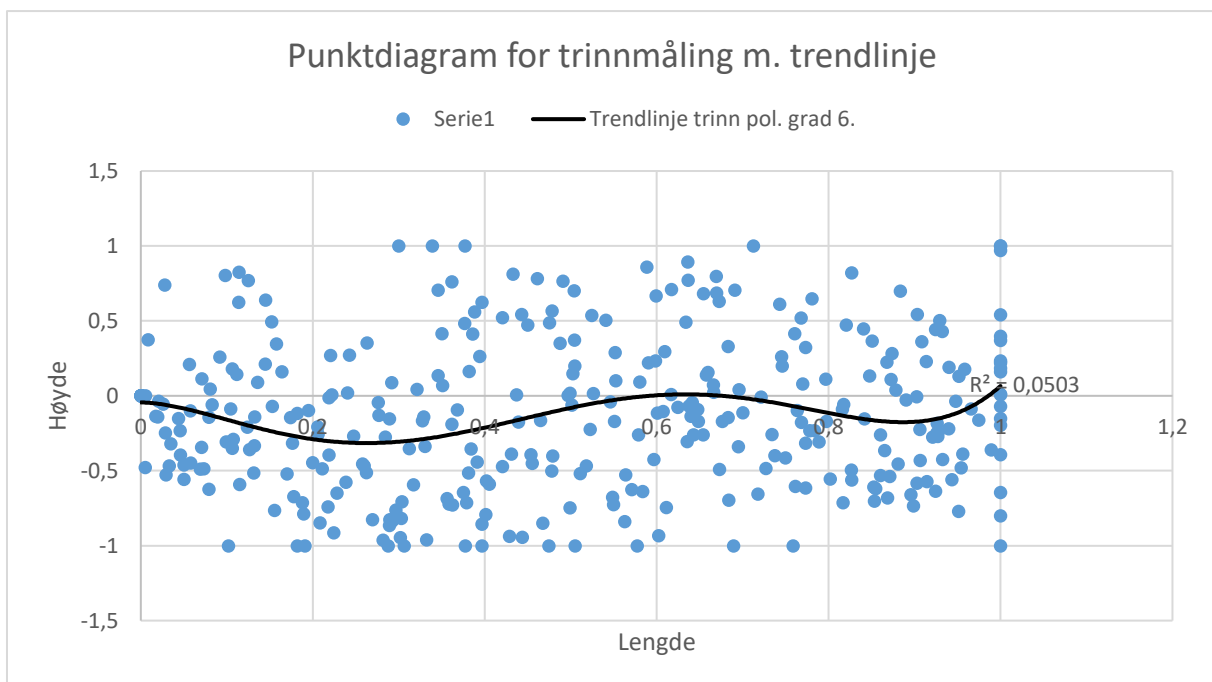
Resultater vil tas opp til nærmere diskusjon i kapittel 6. Nullpunkt i all data for tverrprofiler representerer elvas yttersving.

Generelt kan det nevnes at sedimentene i elveløpet er noe finere lenger ned i systemet i det området man ser av elva i Figur 2. Lengre opp i området (se Figur 3) er det grovere løsmasser og man ser større tendens til et mer kaotisk system, enn det mer ordnede man forbinder med trinn-kulpkanaler.

5.1 Punktdiagrammer av høydemålinger

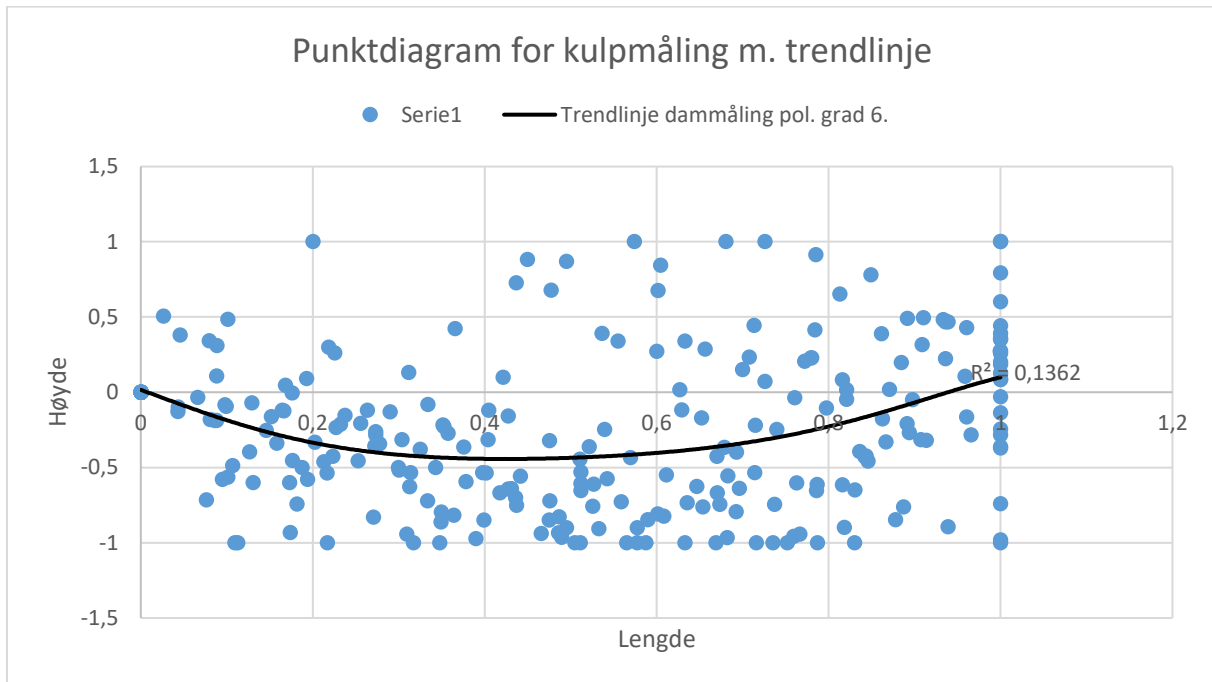
Det følgende diagrammet i Figur 11 viser en punktplotting av alle datapunkter fra alle trinnhetene i trinn-kulproformasjonene som er undersøkt. I tillegg er det lagt på en polynomial trendlinje av 6. grad da dette så ut til å gi høyest r-kvadrert verdi. Dette er gjort for å kunne si noe om det er en sammenheng mellom størrelsene for punktene i diagrammet. R-kvadrat verdi angitt ved R^2 nært eller likt 1 eller -1 vil indikere en sammenheng mellom størrelsene, mens det motsatte, verdier nær 0, vil indikere liten sammenheng.

Grunnlagsdataen for de påfølgende diagrammene i Figur 11 og 12 kan sees som egne diagrammer for hver enhet i appendiks A og B. For å bruke grunnlagsdataen i Figur 11 og 12 er den først normalisert for hver enhet slik beskrevet i delkapittel 4.4.1. Etter det er den samlet i ett datasett hvorpå alle de normaliserte punktene er plottet på ett diagram før trendlinjen ble lagt på.



Figur 11. Figuren viser et punktdiagram over alle datapunkter for trinnmåling. Det er også lagt inn polynom trendlinje av 6. grad da denne viser høyest r-kvadratverdi. 0-punktet representerer elvas ytteresving.

Det neste diagrammet, Figur 12, viser i stor grad det samme som det nevnt i forrige avsnitt og sett i Figur 11 og er gjort av de samme årsakene. Forskjellen er at Figur 12 omhandler punkter fra kulpenheter, i stedet for trinnenheter.



Figur 12. Figuren viser et punktdiagram av målepunkter for kulpmåling og polynom trendlinje av grad 6 da denne viser høyest r-kvadratverdi av mulige trendlinjer. 0-punktet representerer elvas yttersving.

5.2 T-tester

De følgende tabellene er resultater av t-tester, eller sammenligninger av gjennomsnitt av høyde i trinn og kulp. Disse er utført for å si om det er signifikant ulikhet i trinnhøyde og kulpdybde i innersving versus yttersving av elva. Alle tabellene listes i par (en oddetalls og en partallsnummerert). Den første tabellen i hvert par viser deskriptiv statistikk, mens parets andre tabell viser resultater av selve t-testen. De viktigste verdiene i disse tabellene er gjennomsnittet (mean) vist i hvert tabellpars første tabell (group statistics), og Sig. (2-tailed) verdiene i tabellparenes andre tabell (Independent Samples Test). Sig. (2-tailed)-verdien (signifikans), vil indikere sannsynligheten for at det er tilfeldig eller ikke at gjennomsnittene er ulike. En verdi på under 0,05 vil indikere at det er mindre enn 5% sannsynlighet for at forskjellen i gjennomsnitt er tilfeldig. Når Sig. (2-tailed)-verdien er under 0,05 kalles dette for signifikans. Dette kan bidra til å vise at det finnes noen styrende, avhengige faktorer som fører til et mer konsekvent utfall. I dette tilfellet vil dette si at om signifikans påvises styrker dette

hypotesen om at lateralt virkende hydraulikk kan ha en betydelig effekt for et trinn eller kulps morfologi, mens manglende signifikans (Sig.-verdi over 0,05) peker mot at det ikke er tydelige nok høydeforskjeller til å indikere at dette er en faktor. De første fire tabellene deler lengdeprofilene i to like deler og sammenligner gjennomsnittet av høyde mellom dem. Etter dette (Tabell 5-12) følger det flere t-tester der lengdeprofilene av trinn og kulp er delt inn i kvartiler som så sammenlignes. Til slutt (Tabell 15 til 20) vises noen t-tester som gjør de samme sammenligningene som de foregående for trinn, der datasettet er splittet opp ut fra trinnenes beliggenhet i elveløpets øvre eller nedre del.

Tabell 1. Tabellen viser beskrivende data fra t-test av trinn med inndeling i data mellom den innerste halvdel (Step_length >=,5) av trinnet og den ytterste (Step_length <,5). Data er for enheter fra hele elvestrekket. «N» viser antall enheter i hver inndeling og «mean» er gjennomsnitt av høyden.

Group Statistics					
	Step_length	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Step_height	>= ,500000	171	-,06643665	,478994443	,036629621
	< ,500000	181	-,18487530	,490738964	,036476340

Tabell 2. Tabellen viser resultater av en uavhengige utvalgs t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med inndeling i data mellom den innerste halvdel (Step_length >=,5) av trinnet og den ytterste (Step_length <,5).

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
Step_height	Equal variances assumed	,050	,823	2,290	350	,023	,118438649	,051729515	,016698850	,220178449	
	Equal variances not assumed			2,291	349,624	,023	,118438649	,051693834	,016768647	,220108652	

Tabell 3. Tabellen viser beskrivende data fra t-test av kulper med inndeling i data mellom den innerste halvdel (Pool_length >=,5) av kulpene og den ytterste (Pool_length <,5). Data er for enheter fra hele elvestrekket. «N» viser antall enheter i hver inndeling og «mean» er gjennomsnitt av høyden.

Group Statistics					
	Pool_length	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pool_height	>= ,500000	139	-,23647917	,563798360	,047820753
	< ,500000	133	-,27912271	,421204215	,036523037

Tabell 4. Tabellen viser resultater av en uavhengige utvalgs t-test for høydemåling av kulper i hele elveløpet med inndeling i data mellom den innerste halvdel (Pool_length >=,5) av kulpene og den ytterste (Pool_length <,5).

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Pool_height	Equal variances assumed	17,816	,000	,704	270	,482	,042643544	,060551719	-,076570016	,161857104
	Equal variances not assumed			,709	255,178	,479	,042643544	,060172723	-,075854843	,161141931

Tabell 5. Tabellen viser beskrivende data fra t-test av trinn med inndeling mellom de ytterste kvartilene i trinnlengde. Kvartilet lengst fra midten i yttersvingen (Step_length_quartiles <,25) versus det lengst fra midten i innersving (Step_length_quartiles >,75). «N» viser antall enheter i hver inndeling og «mean» er gjennomsnitt av høyden.

Group Statistics				
Step_length_quartiles (Binned)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Step_height <,25	99	-,15601934	,392493974	,039447129
>,75	94	-,09736506	,459323951	,047375648

Tabell 6. Tabellen viser resultater av en uavhengige utvalgs t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling av lengdeprofilen. Under 25% av lengdeprofil versus over 75% av lengdeprofil.

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Step_height	Equal variances assumed	4,062	,045	-,955	191	,341	-,058654280	,061398548	-,179760582	,062452022
	Equal variances not assumed			-,951	183,125	,343	-,058654280	,061648423	-,180286801	,062978240

Tabell 7. Tabellen viser beskrivende data fra t-test av trinn med inndeling i data er mellom de mest sentrerte kvartilene i trinnenes lengde. Kvartilet nærmest midten i yttersving (Step_length_quartiles ,25-50) versus det nærmest midten i innersving (Step_length_quartiles ,50-75). «N» viser antall enheter i hver inndeling og «mean» er gjennomsnitt av høyden.

Group Statistics				
Step_length_quartiles (Binned)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Step_height ,25-,50	82	-,21971359	,588673386	,065008100
,5-,75	77	-,02867989	,502407084	,057254601

Tabell 8. Tabellen viser resultater av en uavhengige utvalgs t-test for høydemåling av trinn i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling av lengdeprofilen. Mellom 25-50% av lengdeprofil versus 50-75% av lengdeprofil.

		Independent Samples Test									
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
Step_height	Equal variances assumed	4,206	,042	-2,194	157	,030	-,191033702	,087058329	-,362990371	-,019077033	
	Equal variances not assumed			-2,205	155,610	,029	-,191033702	,086626454	-,362149209	-,019918195	

Tabell 9. Tabellen viser beskrivende data fra t-test av kulp med inndelingen i data mellom de ytterste kvartilene i kulpenes lengde. Kvartilet lengst fra midten i yttersving (Pool_length_quartiles <,25) versus det lengst fra midten i innersving (Pool_length_quartiles >,75). «N» viser antall enheter i hver inndeling og «mean» er gjennomsnitt av høyden.

Group Statistics					
Pool_height	Pool_length_quartiles (Binned)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pool_height	<,25	73	-,16778502	,360448329	,042187286
	>,75	77	-,10119655	,530339249	,060437767

Tabell 10. Tabellen viser resultater av en uavhengige utvalgs t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling av lengdeprofilen. Under 25% av lengdeprofil versus over 75% av lengdeprofil.

		Independent Samples Test									
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
Pool_height	Equal variances assumed	15,635	,000	-,895	148	,372	-,066588477	,074437304	-,213685708	,080508753	
	Equal variances not assumed			-,903	134,419	,368	-,066588477	,073705432	-,212360838	,079183884	

Tabell 11. Tabellen viser beskrivende data fra t-test av kulp med inndeling i data mellom de mest sentrerte kvartilene i kulpenes lengde. Kvartilet nærmest midten i yttersving (Pool_length_quartiles ,25-50) versus det nærmest midten i innersving (Pool_length_quartiles ,50-75). «N» viser antall enheter i hver inndeling og «mean» er gjennomsnitt av høyden.

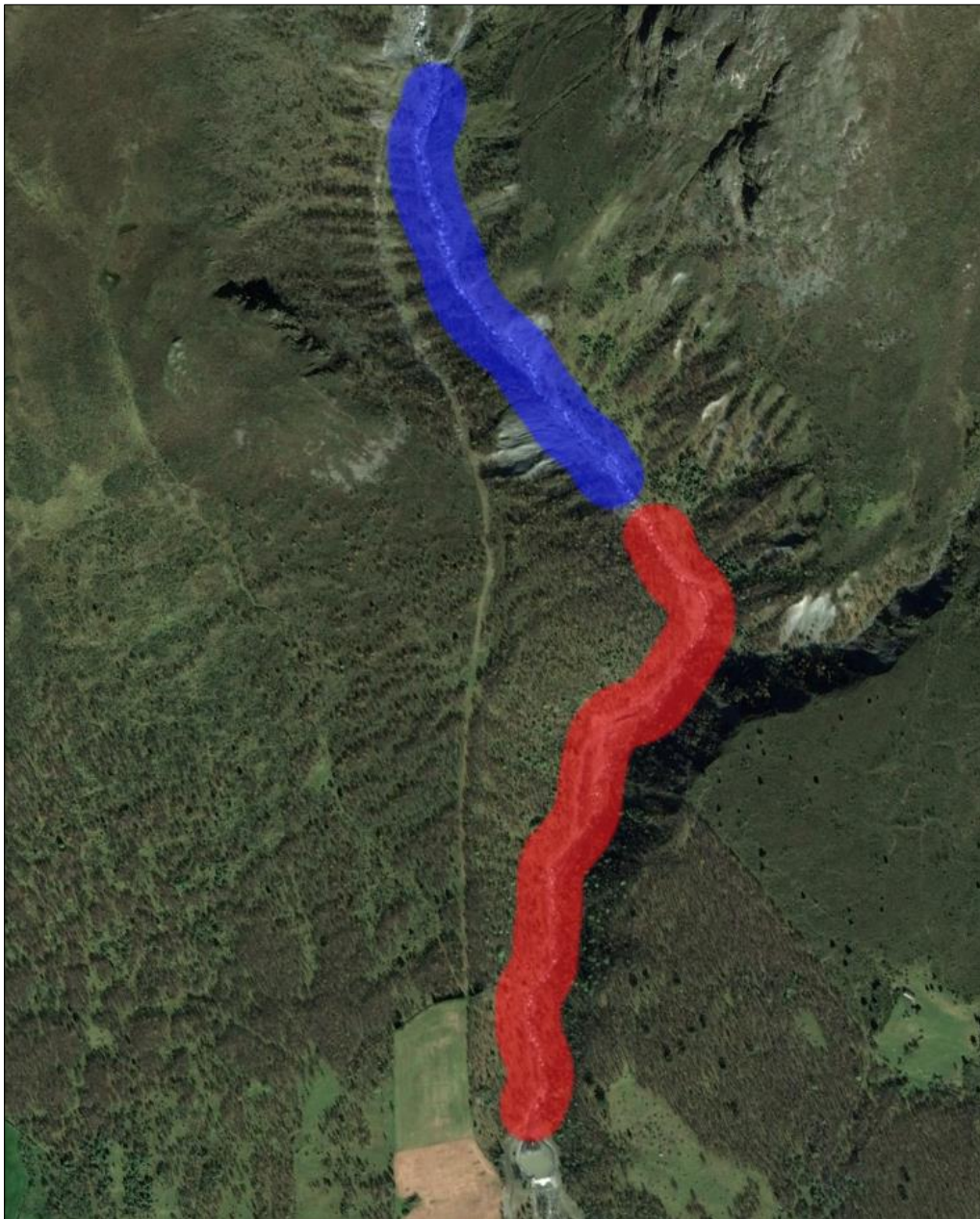
Group Statistics					
Pool_height	Pool_length_quartiles (Binned)	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pool_height	,25-,50	60	-,41458356	,452079311	,058363188
	,50-,75	62	-,40449145	,562936914	,071493060

Tabell 12. Tabellen viser resultater av en uavhengige utvalgs t-test for høydemåling av kulp i hele elveløpet med kvartalsvis inndeling av lengdeprofilen. Mellom 25-50% av lengdeprofil versus 50-75% av lengdeprofil.

		Independent Samples Test									
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
Pool_height	Equal variances assumed	3,062	,083	-,109	120	,913	-,010092110	,092620296	-,193473850	,173289631	
	Equal variances not assumed			-,109	116,090	,913	-,010092110	,092290407	-,192883404	,172699185	

De påfølgende t-testene er tester utført der datasettet er splittet opp ut fra om enhetene ligger oppe eller nede i elveløpet som er utforsket. Området disse enhetene ligger i kan sees i Figur 13, som er et kartutsnitt der de strekningene dataen er hentet fra vises. Testene er utført på likt vis som de foregående, og kan derfor leses likt.

GPS-data innhentet i samme feltperioder som arbeidet med denne oppgaven viser at øvre halvdel av elveløpet har en gjennomsnittlig gradient på cirka 10% helning, mens den nedre halvdel har en helning på cirka 7,5% helning.



Figur 13. Kartutsnitt som viser de to ulike strekningene data er samlet fra i de to ulike feltperiodene. Det blåmerkede feltet indikerer den øvre delen av området, mens den røde indikerer den nedre delen.

Tabell 13. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel i den øverste halvdel av elvesystemet. 9 enheter totalt.

Group Statistics					
	Step_length	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Step_height	>= ,500000	50	-,01032019	,494244157	,069896679
	< ,500000	44	-,24130972	,419857431	,063295889

Tabell 14. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel i den øverste halvdel av elvesystemet. 9 enheter totalt.

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Step_height	Equal variances assumed	,318	,574	2,424	92	,017	,230989531	,095285768	,041743772	,420235290
	Equal variances not assumed			2,450	91,895	,016	,230989531	,094296953	,043704804	,418274258

Tabell 15. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.

Group Statistics					
	Step_length	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Step_height	>= ,500000	121	-,08962527	,472687017	,042971547
	< ,500000	137	-,16675037	,511509163	,043701177

Tabell 16. T-test av trinnenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means				
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Step_height	Equal variances assumed	,380	,538	1,252	256	,212	,077125106	,061590336	-,044163134	,198413346
	Equal variances not assumed			1,258	255,465	,209	,077125106	,061289042	-,043571005	,197821217

Tabell 17. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den øvre halvdel av elvesystemet. 12 enheter totalt.

Group Statistics					
	Pool_length	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pool_height	>= ,500000	47	-,22033811	,643553048	,093871860
	< ,500000	49	-,23634479	,459205683	,065600812

Tabell 18. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den øvre halvdel av elvesystemet. 12 enheter totalt.

		Independent Samples Test					t-test for Equality of Means			
		Levene's Test for Equality of Variances								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Pool_height	Equal variances assumed	12,147	,001	,141	94	,888	,016006687	,113740803	-,209828343	,241841718
	Equal variances not assumed			,140	82,943	,889	,016006687	,114522455	-,211776180	,243789555

Tabell 19. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.

Group Statistics					
	Pool_length	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pool_height	>= ,500000	43	-,18547650	,645494085	,098436925
	< ,500000	45	-,22449033	,459826957	,068546956

Tabell 20. T-test av kulpenheter, ytre halvdel mot indre halvdel for den nedre halvdel av elvesystemet. 11 enheter totalt.

		Independent Samples Test					t-test for Equality of Means			
		Levene's Test for Equality of Variances								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Pool_height	Equal variances assumed	11,516	,001	,328	86	,744	,039013828	,119054321	-,197658329	,275685985
	Equal variances not assumed			,325	75,632	,746	,039013828	,119952129	-,199910318	,277937974

6.0 Diskusjon

I dette kapitlet vil dataen presentert i kapittel 5 diskuteres opp mot teorien lagt til grunn i kapittel 3. Først vil trinn-kulphenomenet deles opp i to separate deler der data fra kulper vil bli diskutert i delkapittel 6.1. Trininformasjoner vil bli sett nærmere på i delkapittel 6.2, mens i delkapittel 6.3 vil de sees i sammenheng med hverandre. Videre vil kapitlet avsluttes med å si noe om studiens reliabilitet samt validitet i henholdsvis delkapittel 6.4 og 6.5.

6.1 Kulper

Ut fra polynomlinjen for høydemåling av kulper i Figur 12 ser man tidlig noen klare tendenser. Jevnt over er høydekurven nært normalfordelt mellom inner- og yttersving. Det ser ut som det er klare indikasjoner på at hydraulikken knyttet til en sving ikke er dominerende i formasjon av kulper. Data av høydemålinger i kulpen av trinn-kulpformasjoner viser videre lite antydning til tydelige nivåforskjeller mellom inner- eller yttersving i elva. Polynomlinjen i Figur 12 indikerer som sagt svært liten nivåforskjell fra ytter- (0-punkt) til innersving (1) i diagrammet. Dette underbygges videre med resultatene av t-testene utført av gjennomsnittshøyden i ulike deler av kulpenes tverrprofil (se Tabell 3, 4 og 9 til 12). I Tabell 3 og 4 er det utført en sammenligning mellom gjennomsnittlig høyde for den ytre halvdel (0-0,5) av kulpen og den indre halvdel (0,5-1). Ut fra p-verdien (Sig. (2-tailed)) på 0,482 i Tabell 4 ser man altså ingen statistisk signifikant ulikhet i gjennomsnittlig høyde, ut fra et 95% konfidensintervall, med denne inndelingen av data. I Tabell 9 til 12 er denne samme dataen delt inn i kvartiler for sammenligning. I Tabell 9 og 10 sammenlignes de ytterste kvartilene, der 0-0,25 er i yttersving og 0,75-1 er innersving. I denne t-testen kan det heller ikke påvises noen statistisk signifikant ulikhet i gjennomsnittlig høyde. Tabell 11 og 12 viser en lik sammenligning som i Tabell 9 og 10, men her er det de to midterste kvartilene i kulpenes lengdeprofil som sammenlignes. Heller ikke i denne sammenligningen ser man noen signifikant ulikhet i kulphøyde.

I tabellene 17 til 20 er det utført lignende tester som det vist i Tabell 3 og 4, men med den forskjellen at dette er tester av enheter fra ulike deler av den undersøkte elvestrekningen, som nevnt i delkapittel 4.4.2. Dette er gjort for å forsøke å ytterligere validere resultatene vist i tabellene 3, 4, og 9 til 12, men også for å se om man ser tydelig forskjeller i resultat basert på elvas gradient. Tabell 18 viser t-test for data fra feltområdet øvre halvdel, mens Tabell 20 viser resultater fra feltets nedre halvdel. Ut fra den omtalte p-verdien ser man at heller ikke i

de to ulike sonene er det signifikans eller særlig antydning til ulik høyde mellom ytter- og innersving i kulpene.

Disse resultatene styrker indikasjonen om at kulpers morfologi er svært lite påvirket av de lateralt virkende hydrauliske forholdene som diskutert i delkapittel 3.1. Det peker mot at det er andre mekanismer som har en større rolle i kulpdannelse og morfologi. Dette til tross for at man burde kunne forvente at kulper er lettere påvirket av lateralt virkende hydraulikk da de består av betydelig finere sedimenter enn trinnene.

Samlet sett er resultatene en tydelig forsterkning av teoriene om at kulper dannes som et resultat av det hydrauliske regimet det oppstrøms liggende trinnet forårsaker. Et eksempel på dette er ved at vannet når kritisk eller subkritisk strøm i det det renner over trinnet oppstrøms fra kulpen (se delkapittel 3.2.2). Da vannet så treffer elvebunnen/vannoverflaten nedenfor kan dette føre til effekter, slik som for eksempel et hydraulisk sprang, som så eroderer en kulpformasjon nedstrøms fra trinnet med påfølgende energitap, som fører til avsetninger av også finere materiale i kulpen før neste trinn- og kulpsekvens tiltar. Dette avviser i stor grad hypotesen om at kulpdannelse påvirkes av lateralt virkende hydraulikk slik postulert i hypotesen til dette arbeidet. Videre er dette med på å styrke teorier rundt trinn-kulpers funksjon (se delkapittel 3.2.2) i en elv som en måte å bruke opp energi slik at systemet havner i balanse og blir mer stabilt. Med andre ord kan det se ut som at den energidrepende effekten trinn-kulpformasjoner er postulert å ha i andre teorier, er effektiv nok til å overstyre eventuelle effekter sentrifugalkraften i vannstrømmen kunne hatt.

6.2 Trinn

Diagrammene i delkapittel 5.1 kan ved første øyekast se ut til å vise noen tendenser til nivåforskjeller i høydeprofiler langs trinnlengden. I Figur 11 kan det, ut fra polynomlinjen, se ut som at det generelt er noe høyere i innersving kontra yttersving. Dette er i utgangspunktet styrkende for hypotesen framsatt i delkapittel 1.2. For å teste denne observerte tendensen i dataen ytterligere kan man se på resultater fra t-testene presentert i delkapittel 5.2. Den første t-testen vist i Tabell 1 og 2, kan sies å styrke hypotesen ytterligere. P-verdien (Sig. 2-tailed) vist i Tabell 2, som her er under 0,05, vil i dette tilfellet indikere at det er under 5% sjans for at ulikheten i gjennomsnittshøyde mellom trinnets indre del av svingen og trinnets ytre del av svingen er tilfeldig. Videre ut fra Tabell 1 ser man at gjennomsnittlig høyde for trinnets indre

del ($>,50$) har en høyere verdi, derfor er den signifikante forskjellen i gjennomsnittshøyde i tråd med det hypotesen predikerer. Slik kan hypotesen sies å være styrket.

Denne konklusjonen får derimot noe mer utrygg grunn å stå på basert på resultatene som kan sees i Figur 5 til 8. Her ser man at ved å sammenligne de ytterste kvartilene i trinnets lengdeprofil, altså gjennomsnittet i det innerste kvartilet ($>,75$) og det ytterste ($<,25$) sett i Tabell 6, forsvinner denne signifikansen som sees ved en enkel todeling av datasettet som er gjort i Tabell 2. Dette resultatet bidrar til en avvisning av hypotesen og kan peke mot at hydraulikk i sving av elva har mindre påvirkning i dannelse av trinn enn problemstillingen foreslår. Denne antydningen kan også sees visuelt på polynomlinjen i Figur 11, der nivået nærmest yttersvingen (nært 0-punkt) og nært innersvingen (1) har relativt like høydeverdier. En mulig forklaring på dette er at de ytterste kvartilene blir for nært elvebreddene til at man vil se tydelige utslag fra lateral hydraulisk påvirkning av trinnet både i ytter- og innersvingen. Denne forklaringen kan støttes ved at gjennomsnittshøyden (se Tabell 5) i et trinn likevel er noe lavere (ca. $-,15$) i trinnets yttersving enn i innersvingen (ca. $-,09$). Dette kan være en indikasjon på at selv om forskjellen i høyde ikke er signifikant i disse kvartilene, er det likevel en viss observert ulikhet som ikke direkte avviser hypotesen på dette punktet. Videre ved å sammenligne de to midterste kvartilene med hverandre, sett i Tabell 7 og 8, er det igjen signifikant forskjell i høyden mellom innersving og yttersving, der det indre midtkvartilet i snitt er høyest. Dette kan sees som et tegn på at elvas hydrauliske forhold i sving har en signifikant påvirkning på trinnmorfologi, noe som vil kunne ha påvirkning på andre teorier om trinndannelse beskrevet i delkapittel 3.2.

Tabell 13 til og med 16 viser resultater av t-tester utført der dataen er splittet mellom hvor enhetene ligger i systemet. Se Figur 13 for mer detaljert beskrivelse. Sammenligner man resultatene i Tabell 14 og 16 er det tydelig at signifikant høydeforskjell i trinn av elva kan ha noe med elvas gradient i landskapet. Tabell 14 er data hentet fra elvas øvre, brattere, halvdel. Her er det signifikant høydeforskjell mellom inner- og yttersving, noe som understøtter hypotesen. I Tabell 16, som er basert på data fra systemets nedre slakere halvdel, er det derimot ikke signifikans. Dette kan tyde på at det er i brattere områder kurvaturer i elva vil ha størst påvirkning på trinndannelse, noe kontraintuitivt sett opp mot generell teori om elvemeandere for eksempel der svinger er et resultat av hydrauliske effekter som oppstår i slakere terreng. En forklaring på dette er at de svingene som sees i Vekve ikke er et resultat av primært hydrauliske effekter, men snarere er påtvunget av det omkringliggende landskapet. Det er derfor mulig at de hydrauliske forholdene når trinn dannes, sannsynligvis rett etter

flomtopper, i noen grad kan være tydelig påvirket av tilstedeværelsen av kurver i elveløpet når gradienten er bratt nok. En mulig årsak til dette er at ved brattere gradient blir energien i vannstrømmen stor nok til å overstyre andre, tidligere nevnte, hydrauliske mekanismer knyttet til trinn-kulpformasjon.

6.3 Trinn-kulper

Den signifikansen man ser mellom høyden i innersving og yttersving i trinn kan tyde på at lateralt virkende hydrauliske krefter kan ha en betydning ved dannelsen og formingen av trinn, og noe som kan være verdt å undersøke nærmere, eller tas høyde for i videre studier av trinn-kulpformer. Innspill til videre arbeid innen dette kan leses om i kapittel 8. Generelt tolkes resultatene presentert i kapittel 5 til å peke mot en avvisning av hypotesen. Dette vil i så fall virke styrkende for andre teorier rundt trinn- og kulpdannelse. Dette kan være særlig utslagsgivende når man ser data fra kulp og trinn samlet. At man ikke ser noen signifikans i høydeforskjell i kulpene tyder langt på vei at det er andre prosesser, slik beskrevet i kapittel 3.2.1, som er dominerende for kulpdannelse. Det er interessant at resultatene for kulpenes bunnprofil er så entydig når det kommer til dette punktet, da det er her man skulle forventet at hypotesen lettest ville blitt bekreftet. Dette ved at det er i kulpene man ser de minste kornstørrelsene, mens det er grovere korn i trinn. Logisk nok burde det derfor være i kulper man skulle sett en betydelig effekt av erosjon knyttet til elvesvinger, men i stedet er det kun i trinn det kan påvises en effekt og da kun med små antydninger. Slik sett er resultatene en avvisning av hypotesen som helhet og bidrar til å styrke de teoriene som er omtalt i kapittel 3 som angår trinn-kulpdannelse.

Et videre viktig moment ved resultatene er at disse er målt ved dagens vannføring i feltperiodene. Dette anslås til å være moderat til lav vannføring for systemet. Slik sett reflekterer resultatene kun hvordan trinn og kulper påvirkes av et slikt vannføringsnivå, og sier ingenting om hvordan landformene påvirkes av høy vannføring, slik det er teoretisert over at har størst innvirkning på dannelsesprosessen av trinn (se delkapittel 3.2.1). Poenget er at med de resultatene som foreligger fra studien, er det lite trolig at lateralt virkende hydraulikk er den dominerende effekten ved trinn-kulpmorfologi ved daværende (under feltarbeid) vannføring, men dette kan være tilfelle, særlig for trinn, ved høyere vannføringsnivåer. Se kapittel 8 for forslag til endringer ved dette arbeidet som kunne blitt gjort for å undersøke dette momentet nærmere.

Resultatene fra denne studien kan videre ikke brukes til å si noe om det er selvorganiserende prosesser som er styrende for trinn- og kulplassering eller en tilfeldig prosess basert på for eksempel hvor nøkkelsteiner eller andre løsmasser faller ut, eller plasseres, i elvekanalen. Et mulig spørsmål man kan stille ut fra den framlagte dataen i dette arbeidet er om større steiner, som for eksempel nøkkelsteiner, har en tendens til å være sentrert i midten av elveløpet. Dette fører så til at vannstrømmen og da bunnmorfologien for trinn justeres til hver side av denne og er styrende for den videre morfologien og løpsutviklingen til elva. En viss antydning til dette kan observeres i Figur 11 der man ser en tendens til en forhøyning av høydekurven nærmere midten av lengdeprofilen med to forsenkninger ut mot sidene. Noen lignende enkelttilfeller kan observeres ved flere trinn i appendiks A. I trinn 1, 9 og 20 (se appendiks A) ser man særlig tydelig noen enkeltpunkter sentrert mot midten som gir store utslag i høydeprofilen. En slik observasjon er derimot spekulativt, da man kan argumentere for tilfeller av det motsatte i trendlinjer for trinn 2, 8 og 14. Videre er det flere av de individuelle trinnene som havner en plass mellom disse og viser tegn på et mer kaotisk system. Det som derimot er tydelig er at en avvisning av hypotesen framsatt i delkapittel 1.2 vil styrke begge disse teoretiske retningene da de begge baserer seg på andre forklaringsmekanismer enn lateralt virkende hydraulikk. Slik resultatene foreligger er dette tilfelle i denne studien, da det er tydelig at vannføring på normalnivå, slik forholdene var da målingene ble utført, ikke kan sies å dominere for utviklingen av trinnmorfologi.

At man ser en viss signifikant forskjell i høyde for trinn (jamfør Tabell 1, 2, 7 og 8) mellom ytter- og innersving i elva kan trekkes inn som et argument for at hydraulisk teori knyttet til sving i elva, slik beskrevet i delkapittel 3.1, har en betydelig påvirkning på trinndannelse. Man kan ut fra dette påstå at disse resultatene svekker teorier rundt trinndannelse som baserer seg på at dette er et resultat av en selvorganiserende hydraulisk prosess, og teori om tilfeldig plassering og nøkkelsteiner som omtalt i delkapittel 3.2.1. Resultatene som er lagt frem her om dette må påpekes å være såpass usikre at de ikke kan brukes til å konkludere rundt validiteten til de nevnte mulighetene for trinndannelse diskutert så langt. Denne usikkerheten må da også tvert om tolkes som styrkende for de eksisterende teoriene om trinn-kulpdannelse omtalt i kapittel 3 og underkapitler. Likevel ser man en viss signifikans og indikasjoner som kan tolkes som en tendens og er potensielt verdt å utforske videre.

6.4 Reliabilitet

Resultatenes reliabilitet vurderes til å være høy i denne studien. Årsaker til dette er blant annet som nevnt i del 4.2 at måleutstyret har høy presisjon og er forholdsvis enkelt å bruke. Sjansen for menneskelig feil anses også redusert av at data har blitt registrert av nivelleringskikkerten og ikke manuelt nedskrevet.

Likevel er det også noen mulige feilkilder. Den manuelle loggføringen av datapunktets enhetstilhørelse kan være en potensiell feilkilde da muligheten for å registrere feil enhetsstart er tilstede. Enda en mulig feilkilde vil være at resultater kan ha blitt mindre korrekt av at målestaven brukt til registrering av data var forholdsvis vanskelig å holde i lodd i vannstrømmen, noe som kan ha påvirket både avstands- og høydemåling. Dette kan antas å være en beskjeden effekt, men likevel en mulighet.

6.5 Validitet

I denne studien har det kommet fram antydninger som ikke direkte avfeier den framsatte hypotesen. Eksempelvis ved at man finner en viss signifikant forskjell i høyde mellom inner- og yttersving på trinnformasjoner ved enkelte av testene vist i kapittel 5. Slik ser man en viss korrelasjon mellom trinnhøyde ut fra plassering i sving av elva. Likevel er det klart at det er flere ting som tyder på det motsatte som bidrar til avvisning av hypotesen. Resultatene er derfor noe tvetydige.

Resultatenes validitet må sies å kunne trekkes noe i tvil av noen årsaker. En er at det er relativt få enheter av de to typene landformer (trinn og kulp) som er undersøkt og målt. Med 20 målte trinn og 25 målte kulper kan man argumentere for at det er for få enheter til å trekke noen entydig konklusjon. Videre kan det også sies å være en svakhet at studien kun henter data fra ett feltområde. Slik sett vil resultatene kun si noe om tendenser i Vekveselva i seg selv, og kan ikke direkte brukes for å generalisere rundt trinn-kulper som fenomen.

At få variabler er testet kan også trekke ned resultatenes validitet. Reelt sett er det kun en variabel som har blitt testet i denne undersøkelsen, trinn- og kulphøyde ut fra plassering i inner- og yttersving. Hvordan dette kunne vært gjort og kan forbedres kommer jeg tilbake til i kapittel 8.

7.0 Konklusjon

Hypotesen og problemstillingen denne studien er bygd på anses som delvis avvist på dette tidspunktet. Dette vil være styrkende for andre teorier rundt trinn-kulpers morfologi og dannelse slik omtalt i kapittel 3. Konklusjonen tar ikke hensyn til hvilke spesifikke teorier som er mer sannsynlig enn andre. Det er klare indikasjoner på at andre hydrauliske mekanismer enn de tradisjonelt lateralt virkende er dominerende i trinn-kulpsystemer. Dette skiller seg fra det man ser i andre elvesystemer.

Når det kommer til kulper er det klart at elvas hydraulikk i sving ikke har noen påviselig effekt på morfologi og dannelse. Det er derfor overveiende sannsynlig at kulper dannes som et resultat av hydrauliske effekter forårsaket av trinnmorfologien oppstrøms for kulpen etter trinndannelse. Dette er klart styrkende for tidligere nevnte teorier rundt kulp-morfologi og dannelse. Denne delen av hypotesen er helt tydelig avvist.

Det er funnet indikasjoner i resultatene som kan understøtte problemstillingen og hypotesen når det gjelder trinnformasjoner. Oppsummert er det i de bratteste partiene av elva man ser klare antydninger til at hypotesen kan stemme og det er tegn på at elvas effekt i sving av elva kan ha signifikant betydning for trinndannelse og -morfologi. Likevel er resultater om trinnmorfologi noe tvetydig og usikre av flere nevnte årsaker. Dette fører til at en ikke ønsker å konkludere helt for dette området av hypotesen på nåværende tidspunkt. Videre inngående studier som utforsker samme problemstilling og/eller hypotese kan potensielt styrke denne delen av problemstillingen ytterligere. Forslag til videre arbeid innen dette diskuteres i kapittel 8.

Resultatene sees som at de kan bidra til å stille nye forskningsspørsmål i tilknytning til temaet utforsket i dette arbeidet. Det har vært nevnt nøkkelsteinsplassering på horisontalt plan, samt at det er gjort erfaringer i studien av undertegnede som kan komme til nytte for videre undersøkelser som tas opp i siste kapittel.

8.0 Forslag til videre arbeid

Ut fra de konklusjonene som kan trekkes ut fra det arbeidet som er gjort vil jeg komme med noen forslag til videre arbeid som kan gjøres for å videre utforske de koblingene som kommer fram i diskusjon av resultater. Jeg vil også foreslå noen mulige forbedringer og arbeider som kan bidra til å belyse effekten av lateralt virkende hydraulisk kraft i trinn-kulpdannelse.

Foruten om å gjøre like studier i andre feltområder med data fra flere enheter ønsker jeg å framsette noen flere forslag til videre utvikling av arbeidet gjort her som kan belyse denne eller lignende problemstillinger i større grad.

Det første jeg ønsker å framsette er å gjøre en lignende analyse av trinn-kulper i svinger av elv, men med et fokus på kornfordeling i trinn og kulp, i stedet for eller i tillegg til høydemåling. Dette kan være med på å styrke eller svekke de funn som er presentert i dette arbeidet. En mulig hypotese til dette vil kunne være at hvis hydraulikk skal ha utslag i trinns laterale morfologi, vil dette vise seg med ulik kornfordeling i trinnets ytre del (mot yttersving) kontra innersving, gjennom grovere kornfordeling i yttersving versus finere korn i innersving. Dette kan forklares ved at den hydrauliske kraften er større i den ytre delen av en kurve i elva, vil det som eventuelt avsettes der være grovere korn som overstiger elvas transportpotensiale, mens i innersving vil det kunne avsettes finere materiale da det her vil være noe lavere krefter. En slik undersøkelse kan videre kobles med like eller identiske høydemålinger utført i det arbeidet beskrevet i denne oppgaven for å øke resultatenes validitet, da man kan anta at trinns høyde og kornfordeling lateralt kan henge sammen, og burde reflektere hverandre.

En annen interessant vinkling som kunne vært fruktbart å se nærmere på er hvor større steiner i trinn, eller såkalte nøkkelsteiner, ser ut til å plasseres i elvekanalen. Spørsmål som kan stilles er om slike ofte plassert i senter av lengdekanalens laterale utstrekning, om de tenderer til å plasseres ut mot en spesifikk side, eller om det er tilfeldig plassering. Dette kunne vært gjort med en lignende metode som den anvendt i denne studien, der man kunne sett på nøkkelsteiners plassering i svinger i elva for å se om hydraulikk påvirker plassering av disse og påfølgende trinn-kulpmorfologi.

En siste mulig videreutvikling jeg ønsker å foreslå er muligheten for å gjøre en lik studie som det gjort her, men å utvide målinger av profiler til å spenne elvekanalen under en høyere projisert vannføring. Som nevnt i delkapittel 4.1 har trinn og kulpers tverrprofil blitt målt i den bredden av elva det var vannføring under feltarbeid. Om trinn dannes når flomhendelser avtar slik diskutert i delkapittel 6.2 kan en slik måling føre til mer korrekte resultater ved å

måle trinnlengde og høyde over den maksimale utbredelsen til elvekanalen. Dette kan potensielt føre til at man i større grad vil se en tydeligere effekt av sentrifugalkrefters påvirkning av trinndannelse.

9.0 Referanser

Aberle, J. & Smart, G. M., 2003. The influence of roughness structure on flow. *Journal of Hydraulic Research*, Issue 3, pp. 259-269.

Abrahams, A. D., Li, G. & Atkinson, J. F., 1995. Step-pool streams: Adjustment to maximum flow resistance. *Water Resources Research*, Oktober, Issue 10, pp. 2593-2602.

Allen, J. R. L., 1983. A simplified cascade model for transverse stone-ribs. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 8 Februar, Issue 1789, pp. 253-266.

Benda, L., Hassan, M. A., Church, M. & May, C. L., 2005. Geomorphology of steepland headwaters: The transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association*, August, Issue 4, pp. 835-851.

Bengtson, H., 2010. *bright hub engineering*. [Internett]

Available at: <http://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/53261-open-channel-flow-basics-2-supercritical-flow/>

[Funnet 20 Februar 2017].

Briney, A., 2017. *about education*. [Internett]

Available at: <http://geography.about.com/od/physicalgeography/a/streamorder.htm>

[Funnet 16 Februar 2017].

Chin, A., 1989. Step pools in stream channels. *Progress in Physical Geography*, 18 August, Issue 3, pp. 391-407.

Chin, A. & Wohl, E., 2005. Toward a theory for step pools in stream channels. *Progress in Physical Geography*, Issue 3, pp. 275-296.

Church, M., 2002. Geomorphic thresholds in riverine landscapes. *Freshwater Biology*, 1 April, 47(4), pp. 541-557.

Church, M., Hassan, M. A. & Zimmermann, A. E., 2008. Identification of steps and pools from stream longitudinal profile data. *Elsevier*, 15 December, Issue 3-4, pp. 395-406.

Church, M. & Zimmermann, A., 2001. Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during. *Elsevier - Geomorphology*, Oktober, Issue 3-4, pp. 311-327.

Church, M. & Zimmermann, A., 2007. Form and stability of step-pool channels: Research progress. *Water Resources Research*.

Civil Engineering Portal, 2009. *Civil Engineering Portal*. [Internett]

Available at: <http://www.engineeringcivil.com/critical-depth-of-open-channel-flow.html>

[Funnet 20 Februar 2017].

Comiti, F. & Lenzi, M. A., 2006. Dimensions of standing waves at steps in mountain rivers. *Water Resources Research*, 14 Mars, Issue 3, pp. 1-13.

Comiti, F. & Lenzo, M. A., 2003. Local scouring in natural and artificial step pool systems. *Elsevier - Geomorphology*, 30 September, Issue 1-4, pp. 97-109.

Gilvear, D. J. & Jefferies, R., 2012. Fluvial geomorphology and river management. I: J. Holden, red. *An Introduction to Physical Geography and the Environment*. 3 red. Harlow(Essex): Pearson Education Limited, pp. 336-367.

Gradowczyk, M. H., 1968. Wave propagation and boundary instability in erodible-bed channels. *Journal of Fluid Mechanics*, Juli, Issue 1, pp. 93-112.

Grant, G. E., Swanson, F. J. & Wolman, M. G., 1990. Pattern and origin of stepped-bed morphology. *Geological Society of America Bulletin*, Issue 3, pp. 340-352.

Holden, J., 2012. *An Introduction to Physical Geography and the Environment*. 3 red. Harlow: Pearson Education Limited.

Hooke, J. M., 2003. Coarse sediment connectivity in river channel systems: A conceptual framework and methodology. *Geomorphology*, November, Issue 1, pp. 79-94.

Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the geological society of America*., Mars, Issue 56, pp. 275-370.

Langsholt, E., Roald, L. A., Holmqvist, E. & Fleig, A., 2015. *Flommen på Vestlandet oktober 2014*, Oslo: NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat.

Lehner, B. et al., 2006. Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. *Climatic Change*, Issue 273.

Leica Geosystems, 2017. *Leica Sprinter family brochure*. s.l.:Leica Geosystems.

Lenzi, M. A., 2001. Step-pool evolution in the Rio Cordon, northeastern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, August, Issue 9, pp. 991-1008.

Lenzi, M. A., Mao, L. & Comiti, F., 2006. Effective discharge for sediment transport in a mountain river: Computational approaches and geomorphic effectiveness. *Journal of Hydrology*, Juli, Issue 1, pp. 257-276.

Moen, A., 1998. *Atlas: Vegetasjon*. Hønefoss: Norges geografiske oppmåling.

Molnar, P., Densmore, A. L., McArdeell, B. W. & Burlando, P., 2010. Analysis of Changes in the Step-Pool Morphology and Channel Profile of a Steep Mountain Stream Following a Large Flood. *Geomorphology*, Desember, Issue 1, pp. 85-94.

Montgomery, D. R. & Buffington, J. M., 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, Mai, Issue 5, pp. 596-611.

NVE - Norges vassdrags- og energidirektorat, 2017. *NVE Atlas*. [Internett]

Available at: <http://atlas.nve.no/html5Viewer/?viewer=nveatlas>

[Funnet 10 April 2017].

Recking, A., Leduc, P., Liébault, F. & Church, M., 2011. A field investigation of the influence of sediment supply on step-pool morphology. *Elsevier - Geomorphology*, 14 Oktober, pp. 53-66.

Store norske leksikon, 2009. *Geomorfologi*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/geomorfologi>

[Funnet 6 Mars 2017].

Store norske leksikon, 2009. *Kulp*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/kulp>

[Funnet 6 Mars 2017].

Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the geological society of America*, November, pp. 1117-1142.

Summerfield, M. A., 1991. *Global Geomorphology*. London: Pearson Education Limited.

Weichert, R. B., Bezzola, G. R. & Minor, H.-E., 2008. Bed morphology and generation of step-pool channels. *Earth Surface Processes and Landforms*, Issue 11, pp. 1678-1692.

Whittaker, J. G. & Jaeggi, M. N. R., 1982. Origin of step-pool systems in mountain streams. *Journal of the Hydraulics Division*, Issue 6, pp. 758-753.

Wilcox, A. C., Wohl, E. E., Comiti, F. & Mao, L., 2011. Hydraulics, morphology, and energy dissipation in an alpine step-pool channel. *Water Resources Research*, 8 Juli, Issue 7.

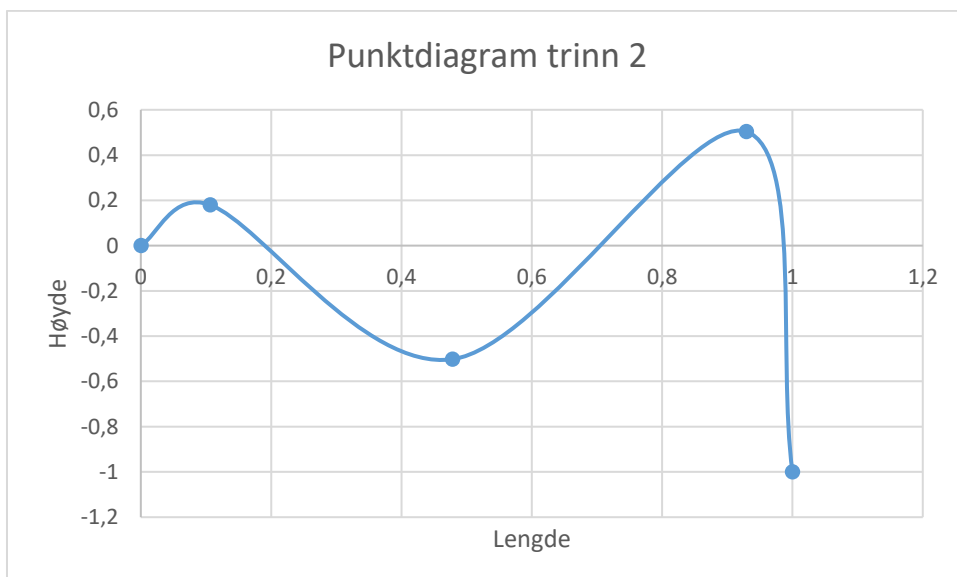
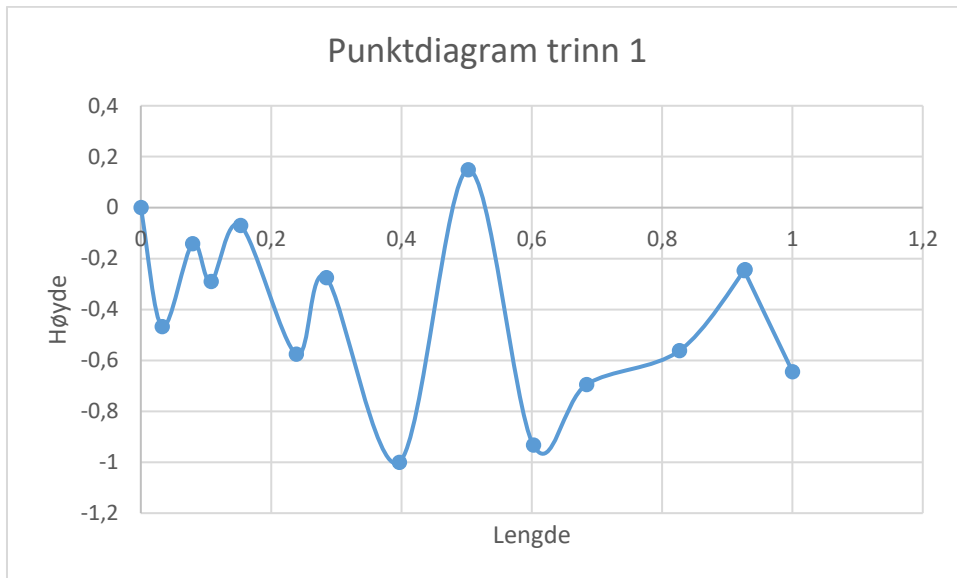
Yr værtjeneste, 2017. *Yr.no - Været som var (klima) - Vekveselva, Oppdal (Sør-Trøndelag)*.
[Internett]

Available at: <http://www.yr.no/sted/Norge/S%C3%B8r-Tr%C3%B8ndelag/Oppdal/Vekveselva/klima.html>

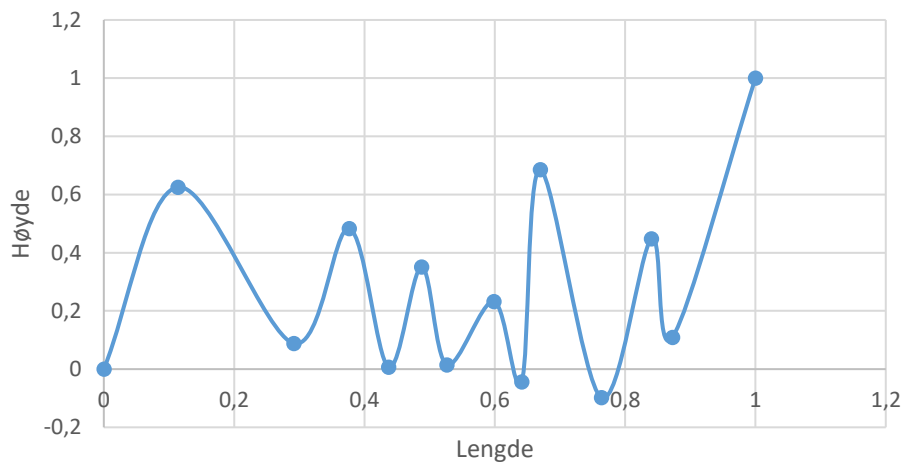
[Funnet 30 Januar 2017].

Appendiks A – Punktdiagram trinn

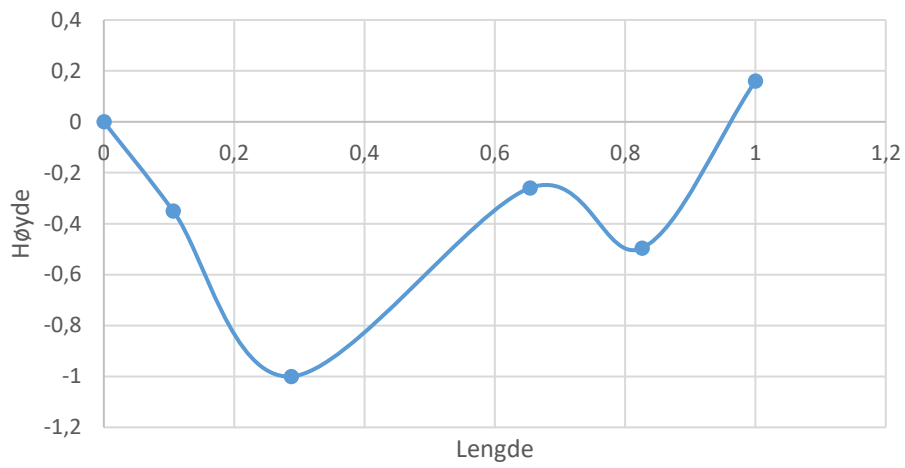
A1 – Trinn fra første feltperiode og øvre del av feltområdet.



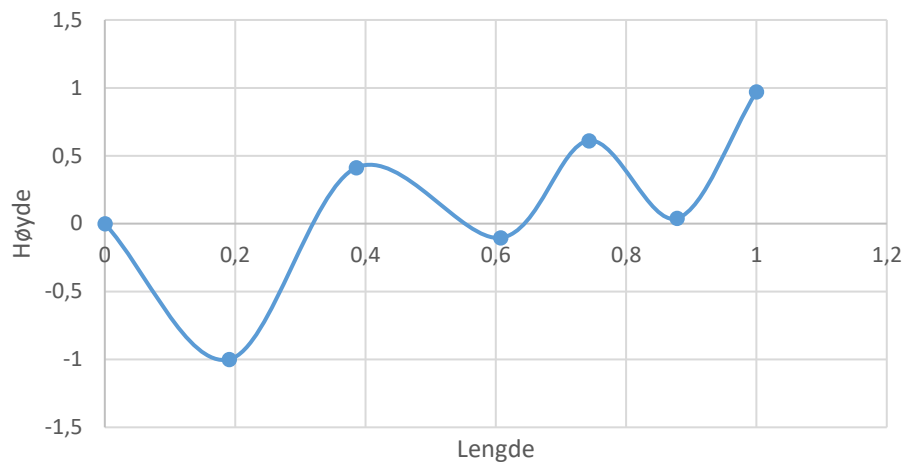
Punktdiagram trinn 3



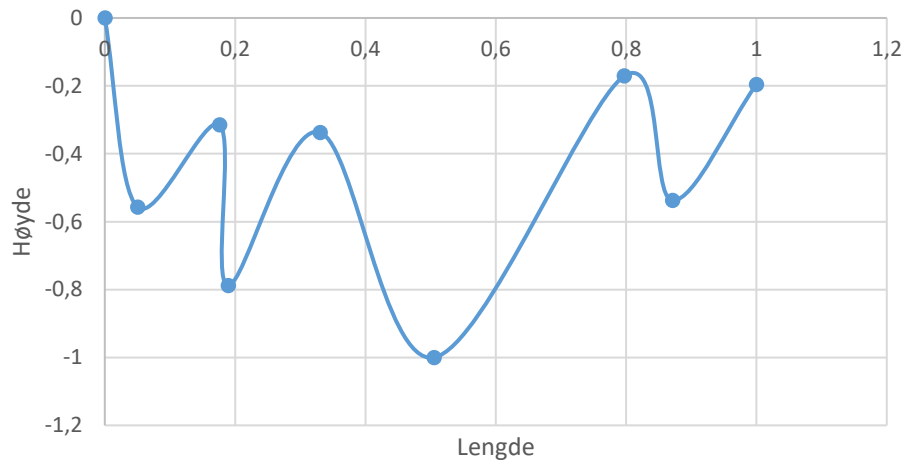
Punktdiagram trinn 6

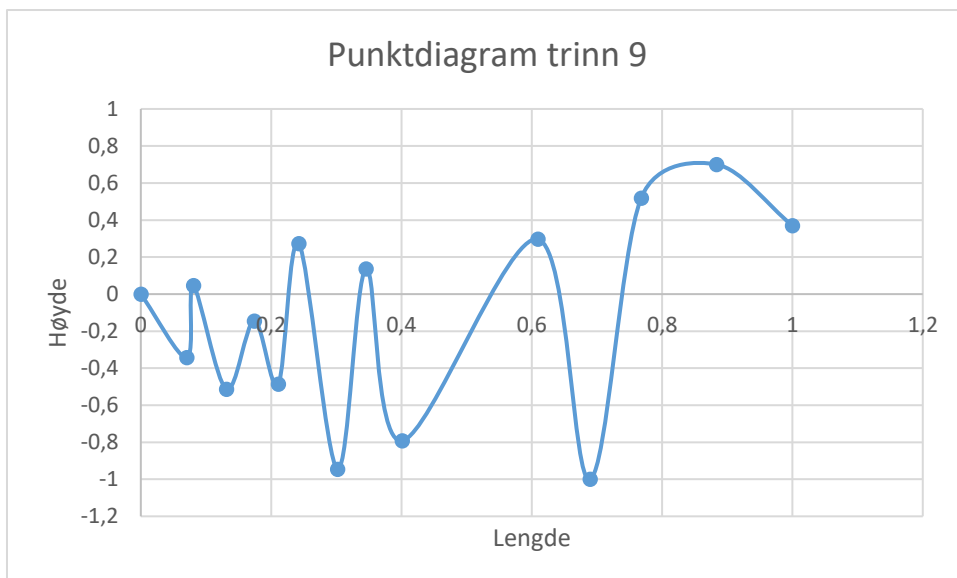


Punktdiagram trinn 7

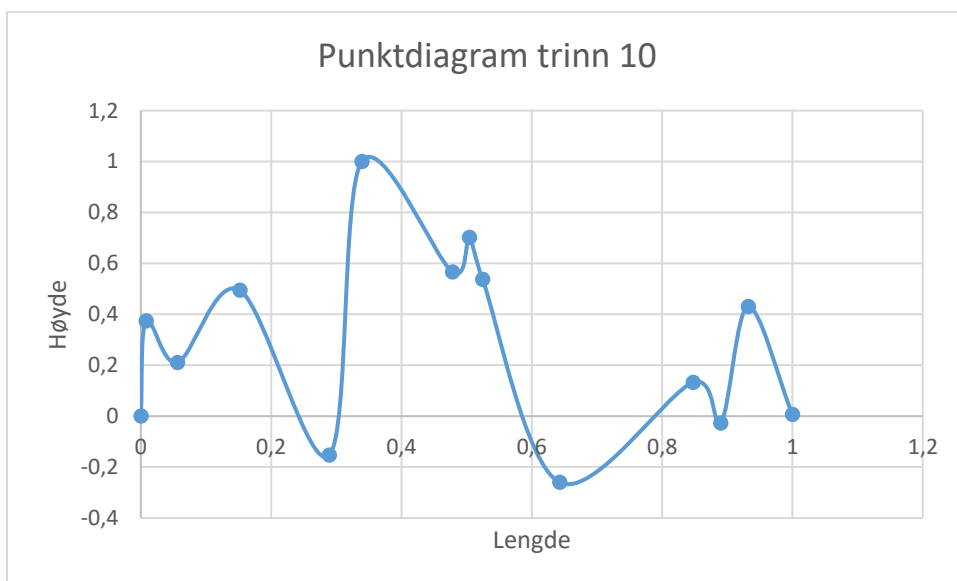


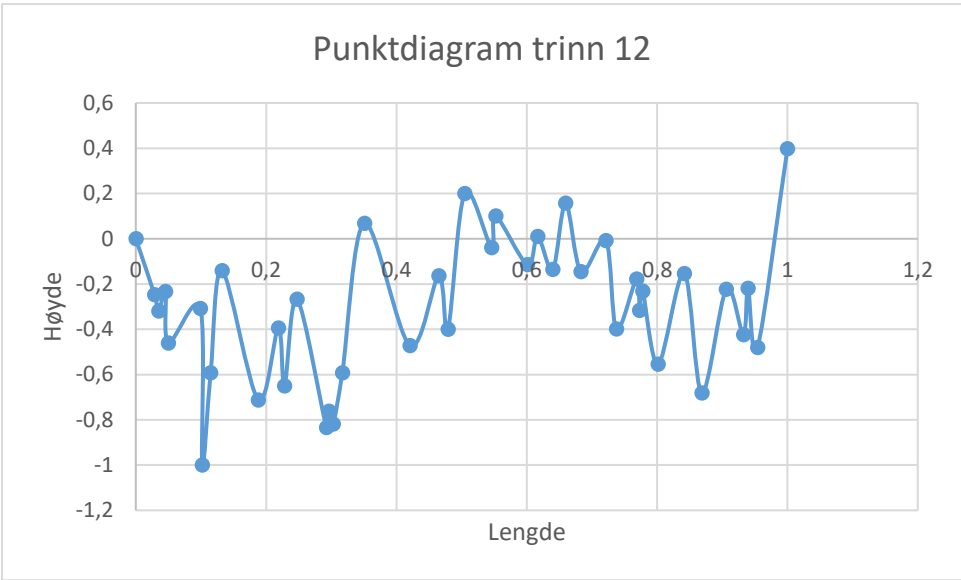
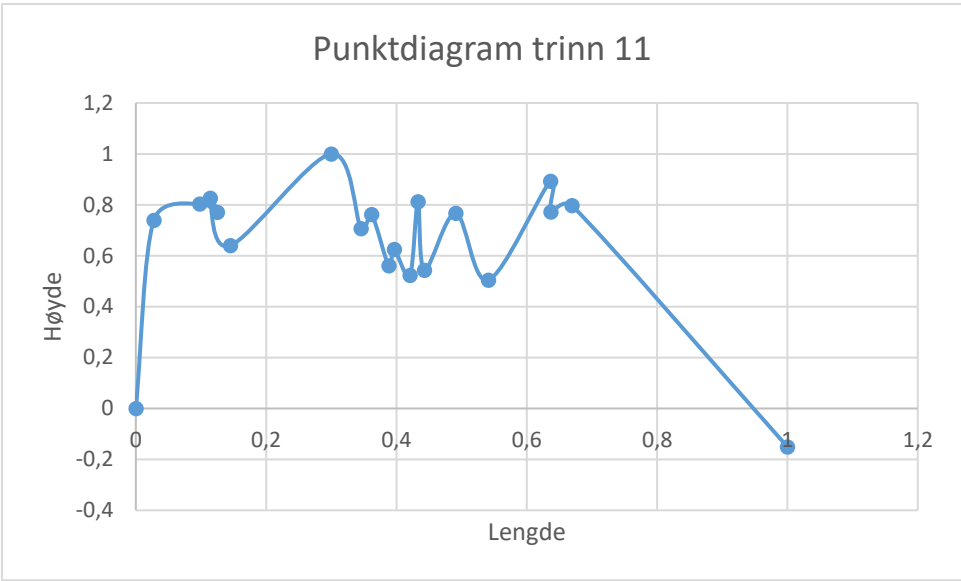
Punktdiagram trinn 8

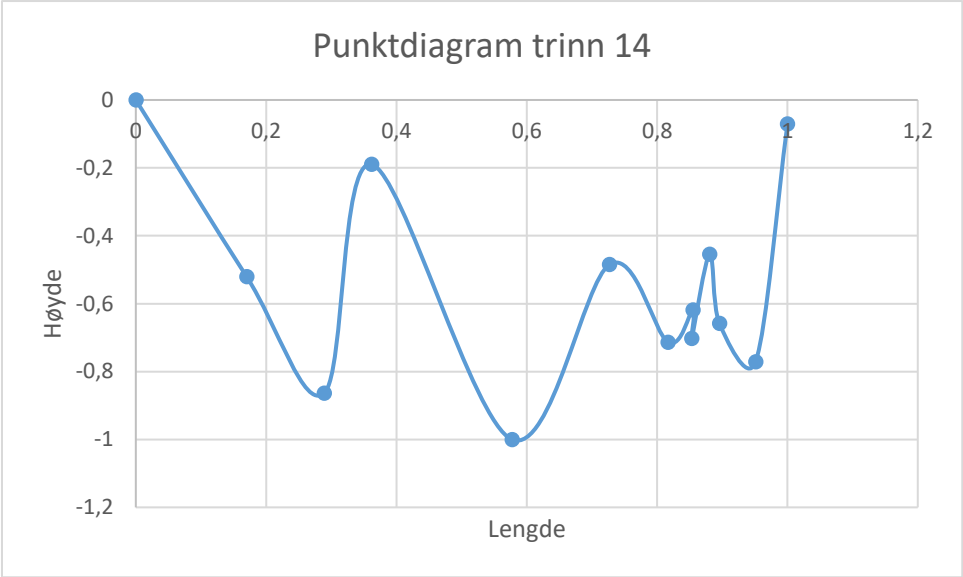
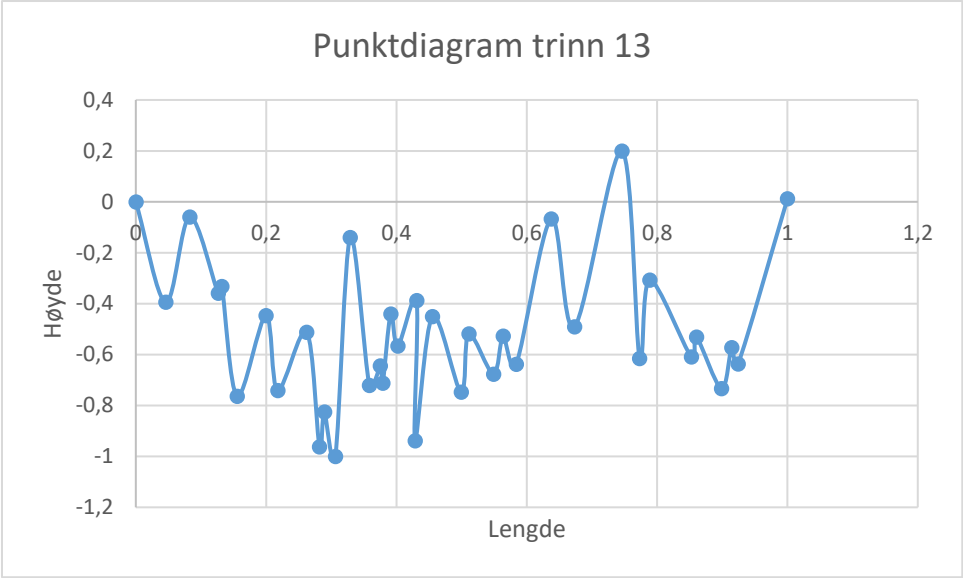




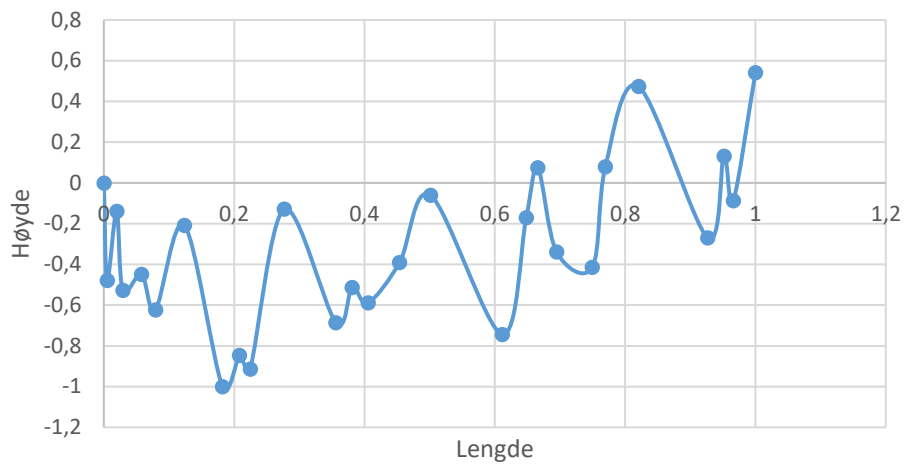
A2 – Trinn fra andre feltperiode og nedre del av feltområdet.



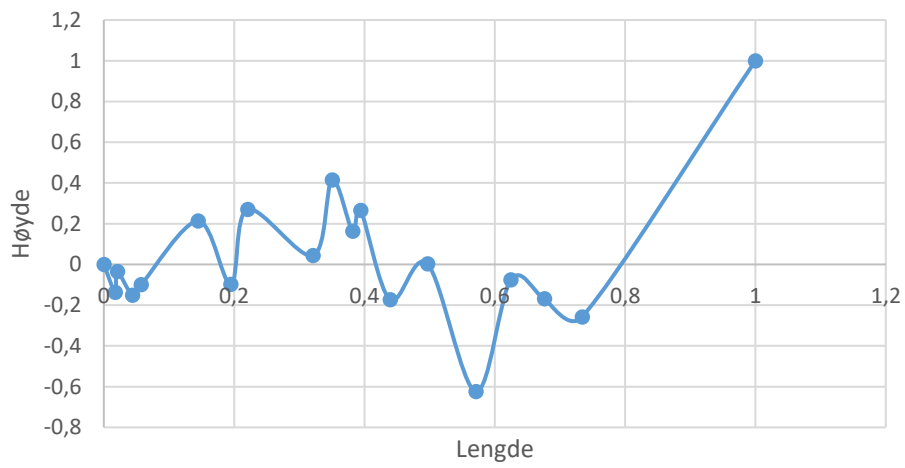




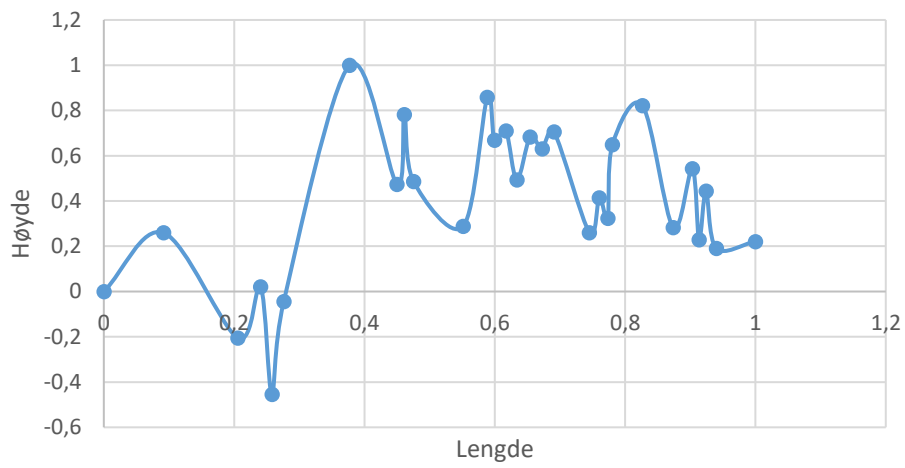
Punktdiagram trinn 15



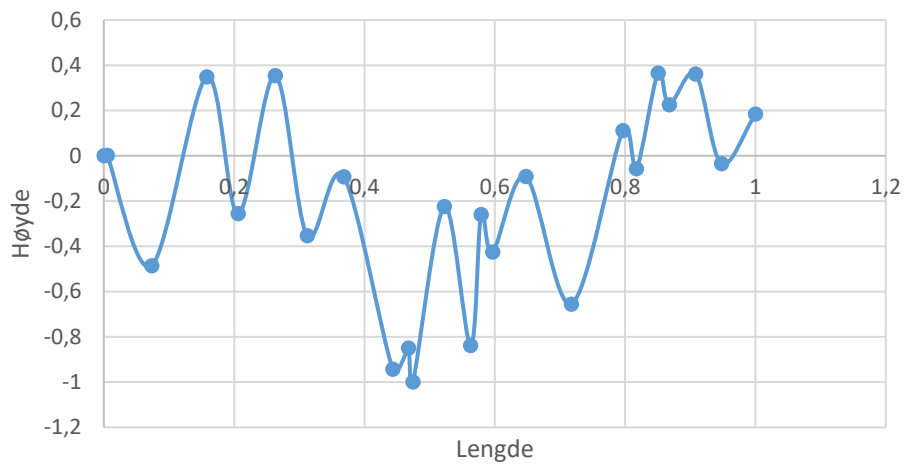
Punktdiagram trinn 16

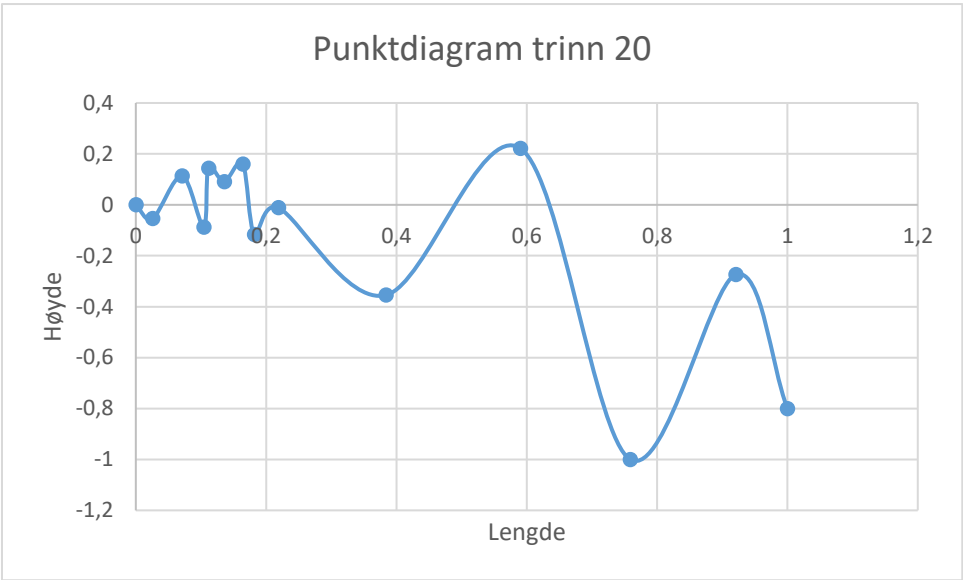
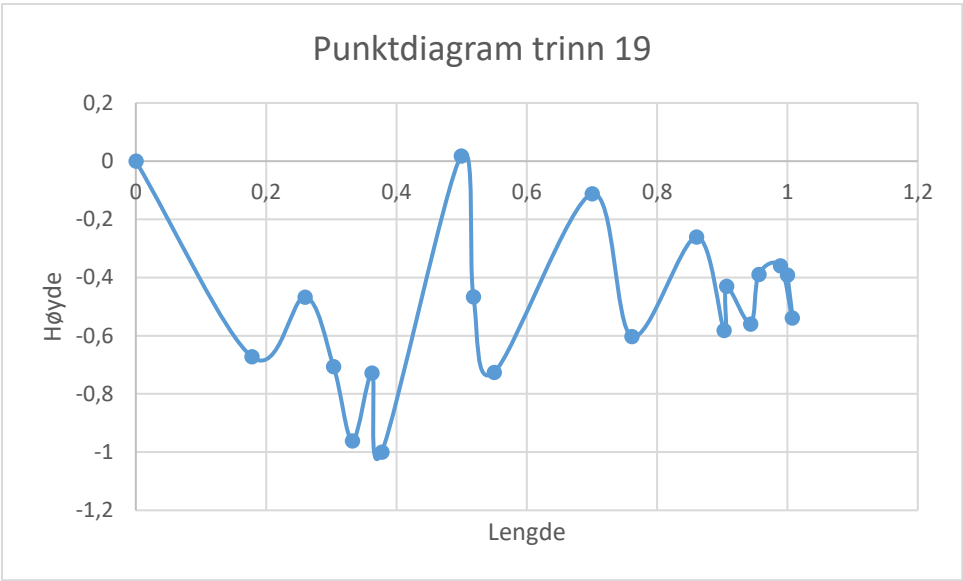


Punktdiagram trinn 17



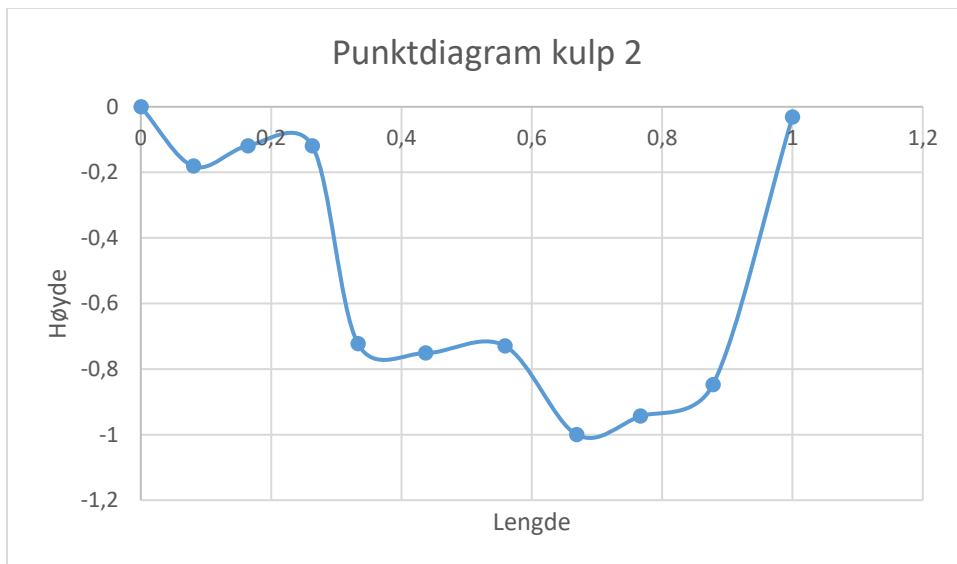
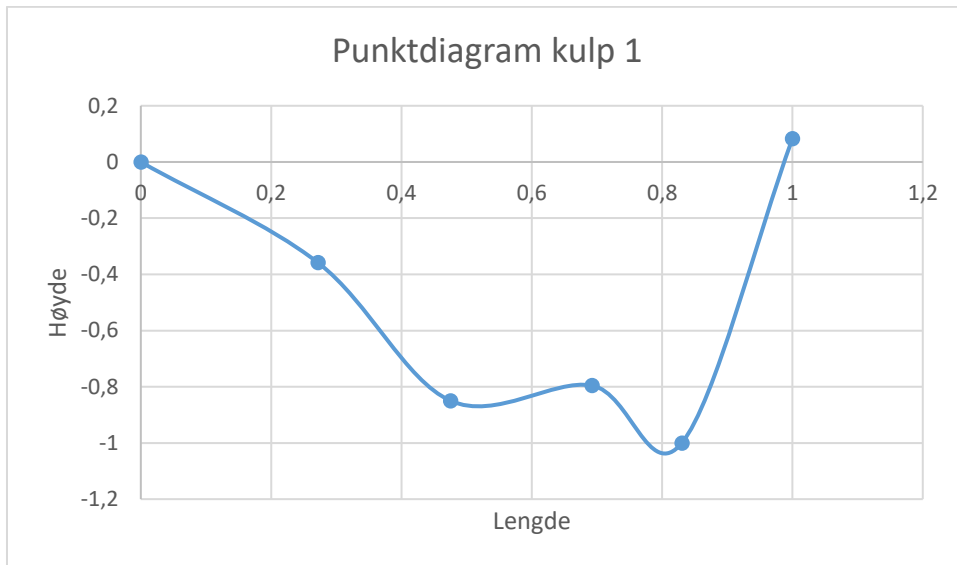
Punktdiagram trinn 18

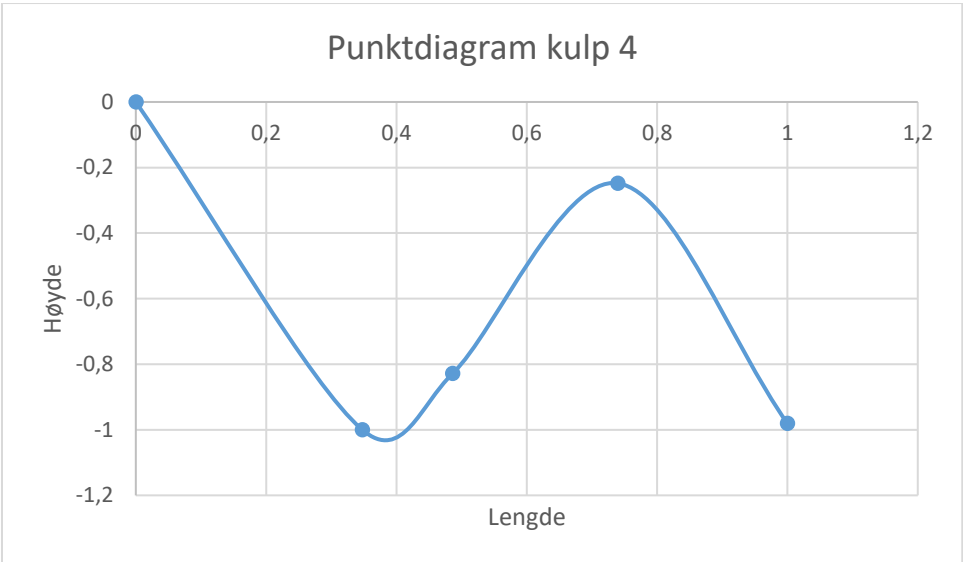
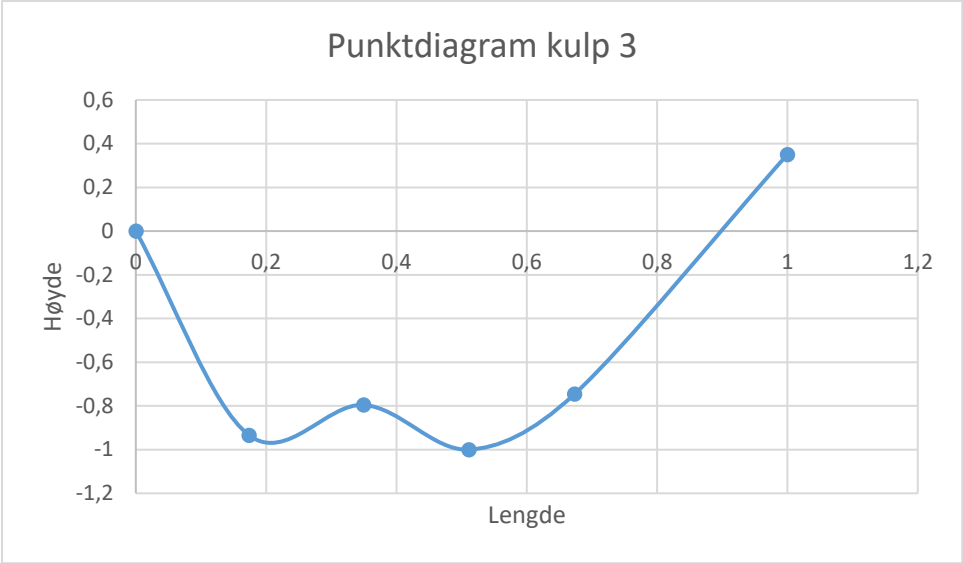


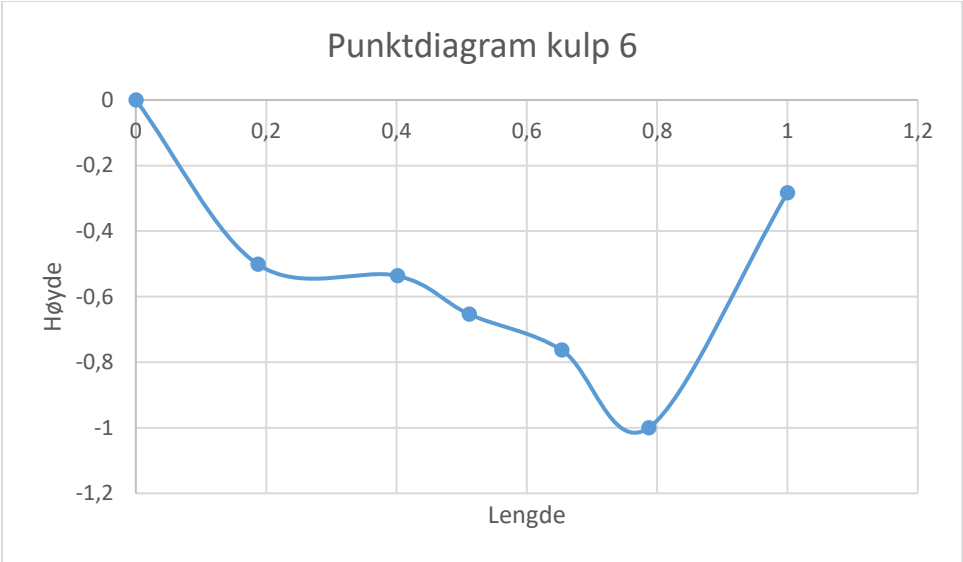
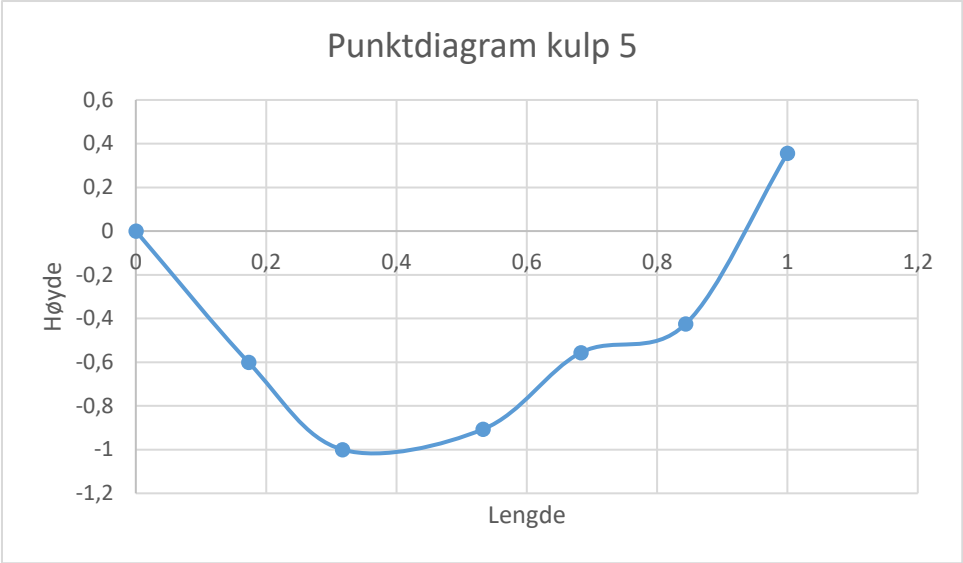


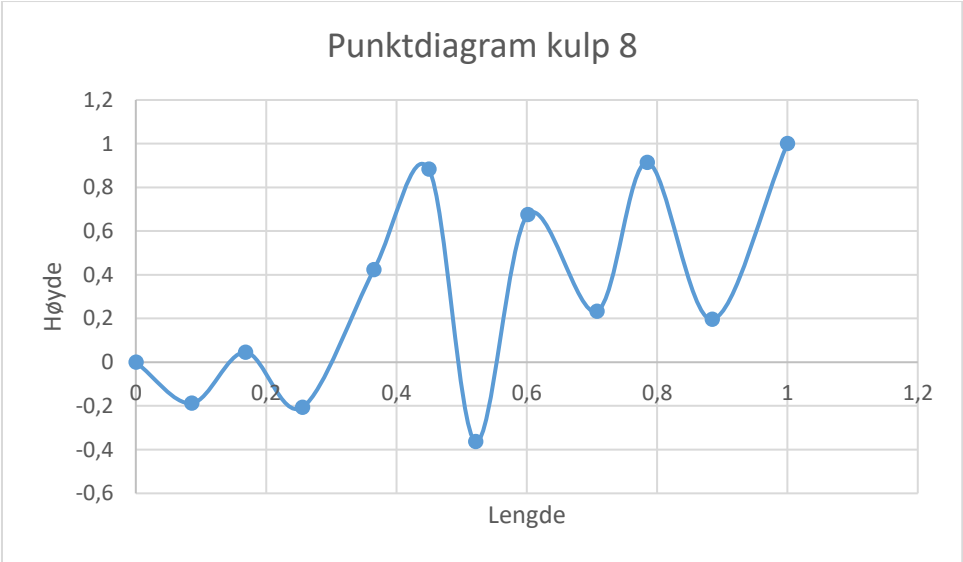
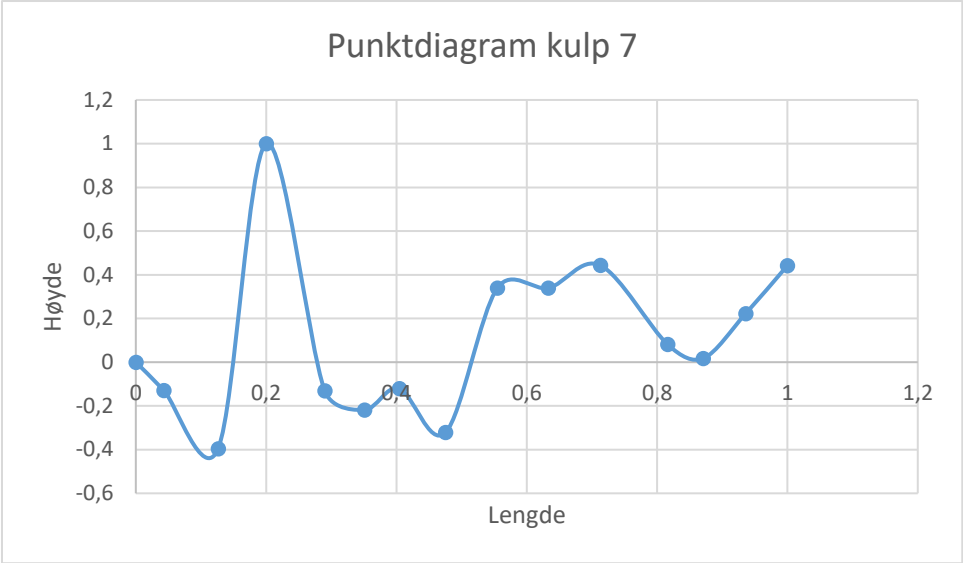
Appendiks B – Punktdiagram kulp

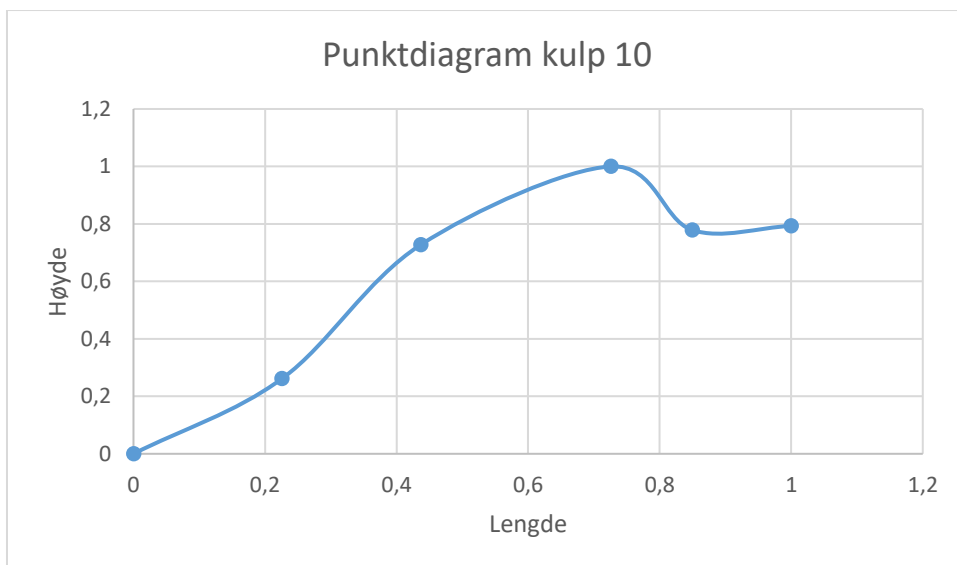
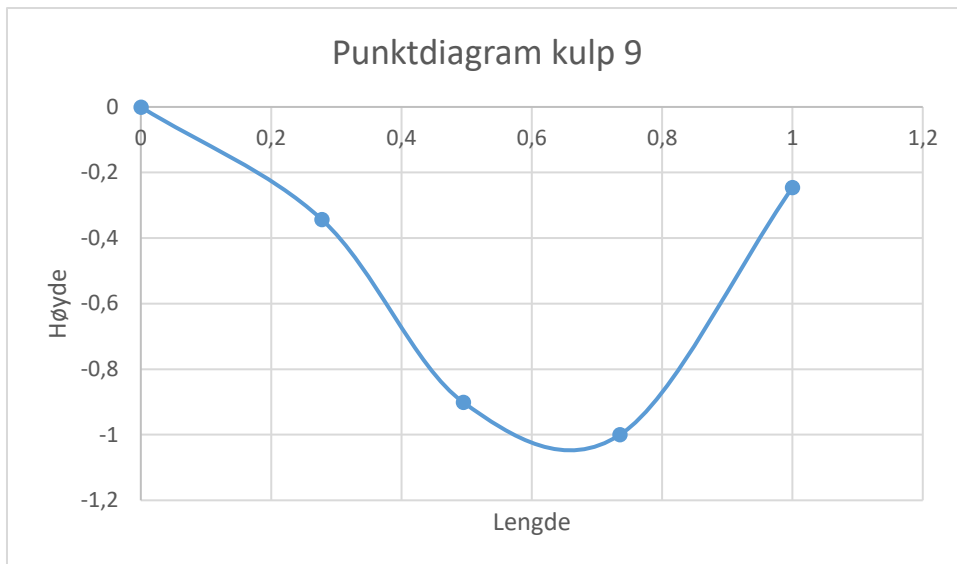
B1 - Kulper fra første feltperiode og øvre del av feltområdet.



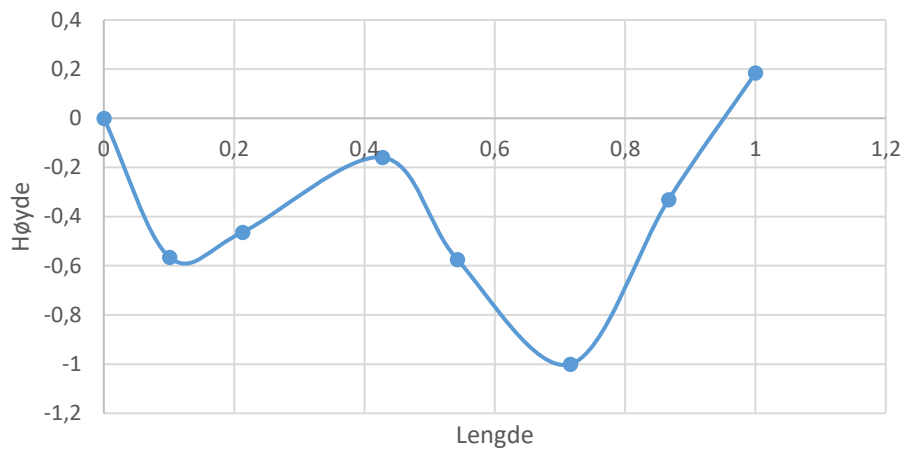




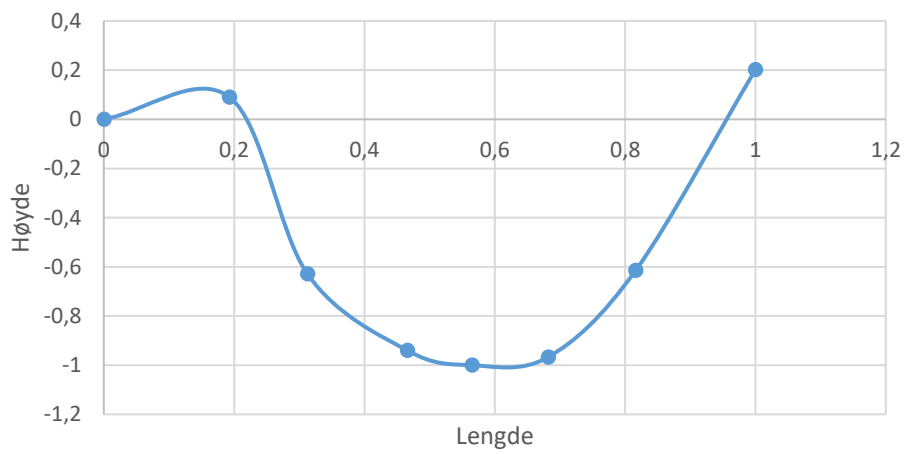


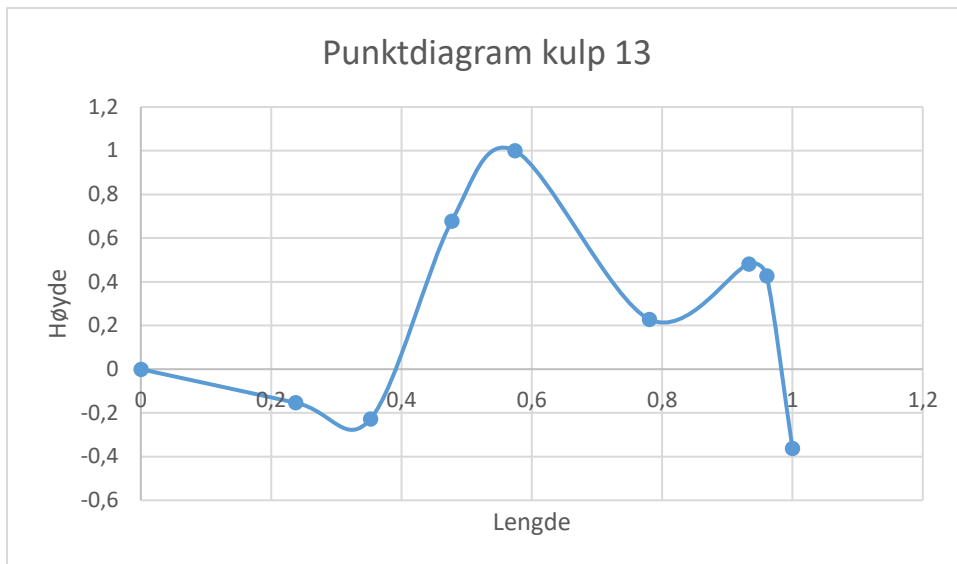


Punktdiagram kulp 11

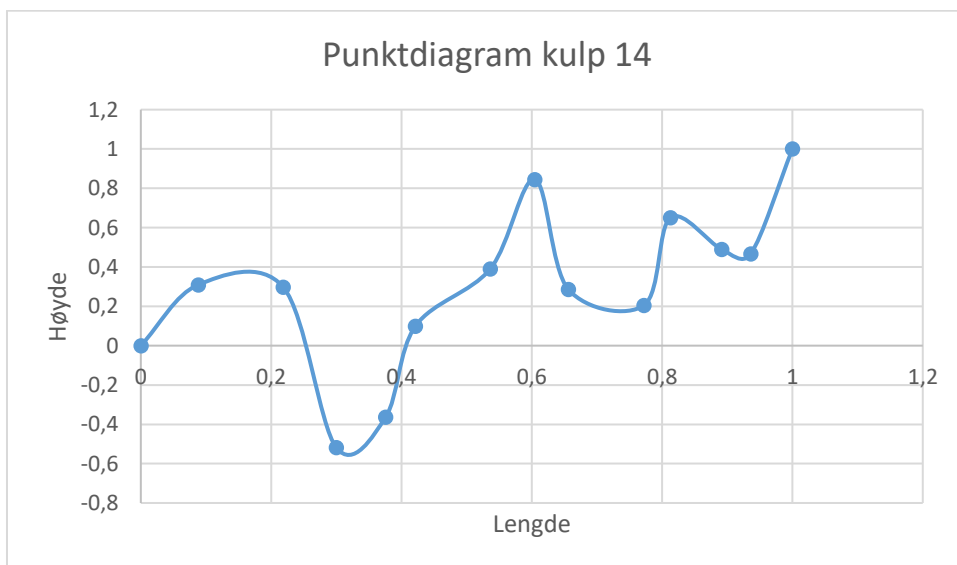


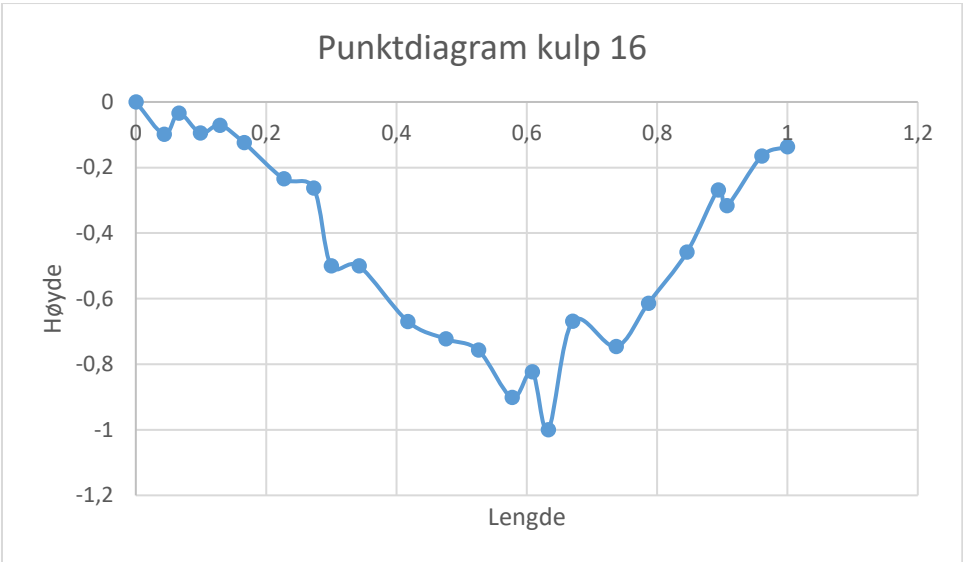
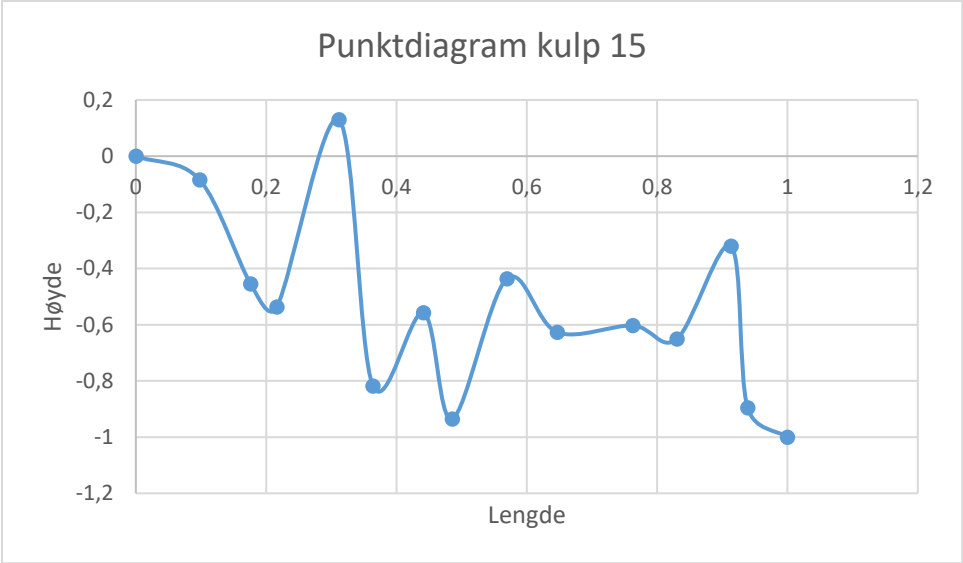
Punktdiagram kulp 12

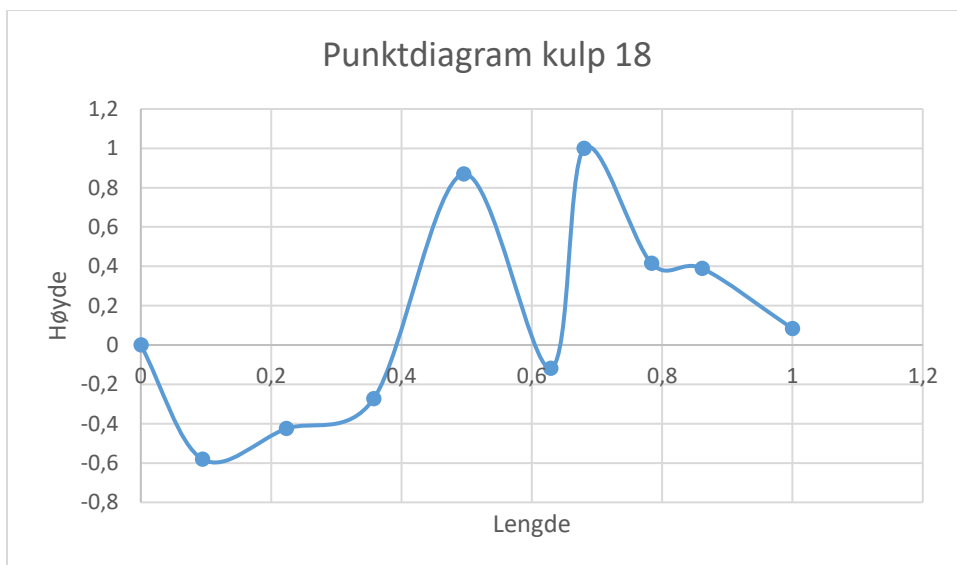
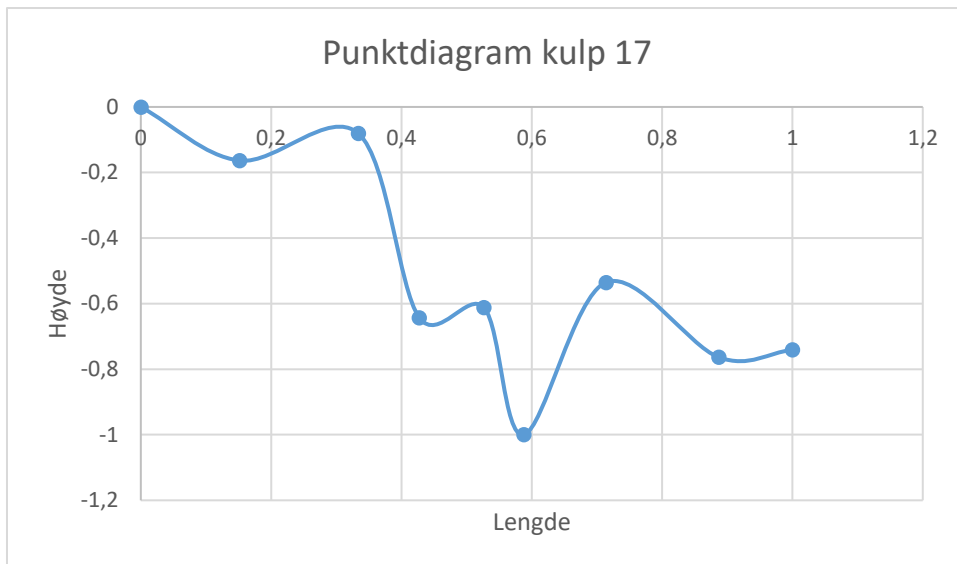


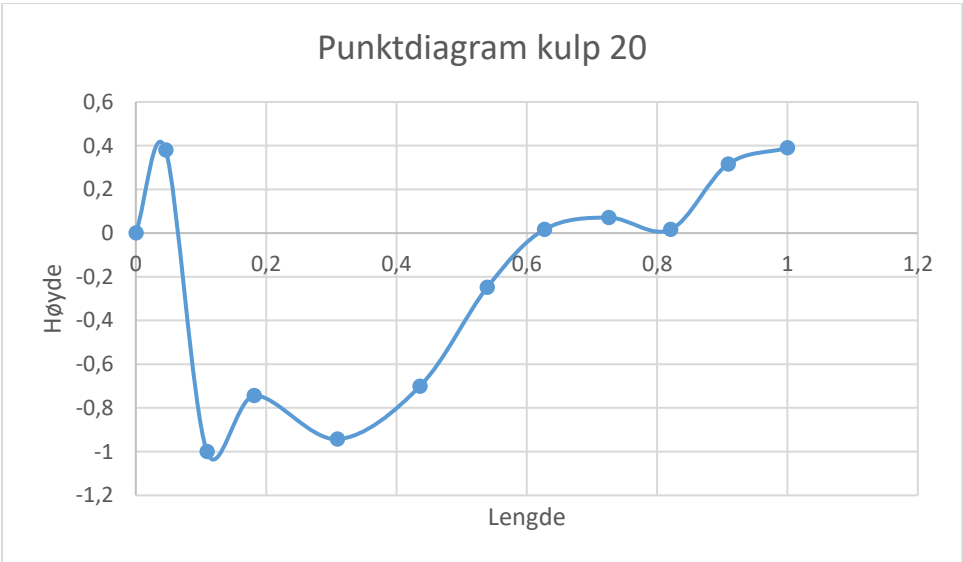
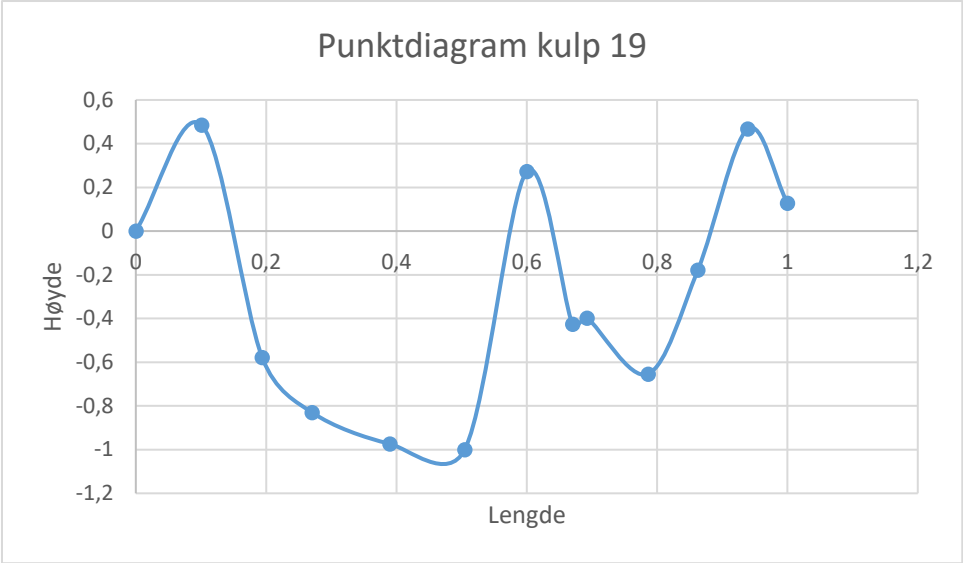


B2 – Kulper fra andre feltperiode og nedre del av feltområdet.

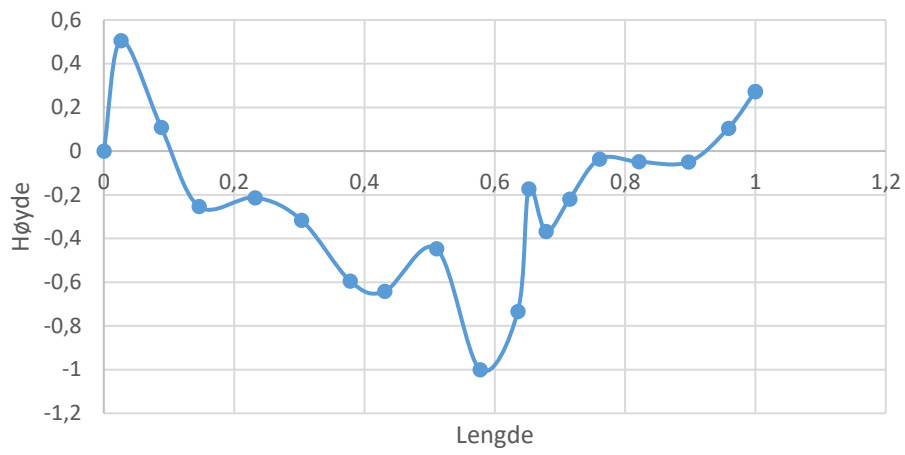








Punktdiagram kulp 21



Punktdiagram kulp 22

