

Masteroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Fakultet for samfunnsvitenskap og
teknologiledelse
Geografisk institutt

Hanne Rosvoll Kristiansen

Erosjonshull. Deres dannelse og geometrisk mønster

Med storskalaelva Gaula som case

Masteroppgave i naturgeografi

Mai 2012



Abstract

Kristiansen, Hanne Rosvoll 2012: Forced pools. Their development and geometric spatial patterns. With the largescale-river Gaula as a case, Master Thesis in Geography, Department of Geography, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

Forced pools are a phenomenon discovered all over Norway. The effects of forced pools on river stability, and little research on the phenomenon in Norway, results in a need to know more about forced pools.

The approach to the problem is:

Are there forced pools in Gaula, and has human intervention along Gaula been a contributing factor for development and preservation of forced pools? Is there a geometric spatial pattern in forced pools, and can these be compared to studies from smallscale-rivers?

The datamaterial goes back to 2007, when Hydra Team measured the center line. This data has been used to examine the geometry in the pools, while maps, pictures and other reports have given information about potential obstacles and the conditions in Gaula.

The results show that all of the eleven forced pools in Gaula are a result of an obstacle in the river which create erosion and development of forced pools. It seems that the embankment to prevent flooding and erosion on the riverbank is the main obstacle.

The analysis show a relation between the pools length and depth, where long pools are shallow and short pools are deep. The slope gradient has a relation to pool geometry, where a steep entry- and exit slope results in a deep and short pool, while a slack gradient gives a shallow and long pool. Pools located in riverbends are deeper than pools located along a straight part of the river. The results also show that the conditions of the obstacle; mainly its form, width and length, has an influence on the pool geometry.

The problem with scale and transfer of theory between scales is a challenge. This has been present in this thesis. Gaula is a largescale-river, while the theory and definitions are based upon small-scale river.

Forord

Å skrive denne oppgaven har vært en lang, spennende, tidkrevende, frustrerende og ikke minst lærerik prosess. Det har vært artig å sette seg dypt inn i et så interessant tema hvor jeg har tilrettet meg mye ny kunnskap. Dette året har også vært utfordrende med små og store opp- og nedturer. I den forbindelse vil jeg takke flere personer som har støttet meg.

Jeg vil først og fremst takke veileder Geir Vatne som har guidet meg gjennom hele prosessen, både når det gjelder å komme i gang med arbeidet, det faglige innholdet, og utformingen av selve oppgaven. Dette har vært til stor hjelp.

Kolleger hos NVE region Vest har stilt opp til faglige diskusjoner, spørsmål, kommentarer og korrektur. Deres dører har alltid vært åpne og dette er jeg takknemlig for.

Arbeidet med denne oppgaven har krevd mye tålmodighet fra min nærmeste familie som alltid har hatt troen på meg. Jeg vil takke mine foreldre og min samboer for støttende ord og oppmuntring. Min samboer som har delt min frustrasjon og gleder dette året. En spesiell takk vil jeg rette til min far som har vært en verdifull motivator. Vi har hatt gode diskusjoner som har vært like spennende for begge parter, og hans korrekturlesing har for meg vært gull verdt.

Innholdsfortegnelse

Abstract	1
Forord	3
Innholdsfortegnelse	5
Figurliste.....	7
Tabell-liste.....	8
1 Innledning.....	9
1.1 Dype kulper i elvebunn	9
1.2 Dype kulper oppdaget i Norge	10
1.3 Gaula som case.....	13
1.4 Problemstilling	14
1.5 Avgrensning av oppgaven	14
2 Områdebeskrivelse	17
2.1 Geologi	19
2.2 Kwartærgeologi.....	19
2.3 Hydrologi.....	20
2.4 Sikringstiltak mellom Gaulfossen og Udduvoll bru.....	22
2.5 Grusuttak i Gaula.....	22
2.6 Elveløpets forandringer mellom 1880-1980.....	24
3 Teori	27
3.1 Kulper og stryk.....	27
3.1.1 Kellers hypotese om hastighetsreversering	27
3.1.2 Thompsons' reviderte hypotese.....	29
3.2 Utvikling av erosjonshull	30
3.2.1 Virksomme krefter i kulpen	31
3.3 Morfologi i erosjonshull.....	33
3.3.1 Form	33
3.3.1.1 Dybde og lengde.....	34
3.4 Dype kulper i elvesving.....	35
3.5 Hindringens effekt på kulpers form.....	36
3.6 Teori	37

3.7 Skala	38
4 Metode.....	41
4.1 Accoustic Doppler Current Profiler	41
4.2 Feltarbeid.....	43
4.3 Sekundærdata	43
4.4 Analyse av lengdeprofilen.....	44
5 Resultat.....	49
5.1 Lengdeprofil av djupålen.....	49
5.2 Lengde og dybde	52
5.3 Tverrprofiler	52
5.4 Inngangs- og utgangsskråning.....	54
6 Analyse.....	55
6.1 Lengde-dybde forhold	55
6.2 Kulper i rett og svinget strekning	57
6.3 Tverrprofiler	58
6.4 Kulpenes inngangs- og utgangsskråning.....	59
6.5 Dype kulper og nærliggende sikringstiltak	62
6.6 Grusuttak og nærliggende kulper	63
6.7 Elvas forandringer	65
7 Diskusjon.....	75
7.1 Erosjonshullene og deres dannelse.....	75
7.2 Erosjonshullenes geometriske mønster	82
7.3 Storskalaelva Gaula.....	92
8 Videre arbeid	97
Referanseliste	99

Figurliste

Forsidebilde: Restene av en konstruksjon ved Sjetnhølen.	
Figur 1. Gaulas nedbørsfelt	17
Figur 2. Berggrunnskart over strekningen Gaulfossen – Udduvoll bru	21
Figur 3. Israndavsetning langs Gaula ved slutten av siste istid	21
Figur 4. Kvikkleire sin oppbygning og utvikling av kvikkleireskred	21
Figur 5. Løsmassekart over Gaulfossen - Udduvoll bru	21
Figur 6. Forandringer i de nedre delene av Gaula mellom 1880 og 1980	25
Figur 7. Forholdet mellom kulp og stryk	28
Figur 8. Utvikling av bakevje reduserer det effektive tverrsnittet	29
Figur 9. Prosesser skapt av en hindring som utvikler et erosjonshull	30
Figur 10. Virvlenes forandring i bevegelse mot utgangsskråning	32
Figur 11. Reverserende strømning i elvesving	36
Figur 12. Strekningen Gaulfoss - Udduvoll bru hvor målingene ble gjennomført	42
Figur 13. Toppunkt ved djupålen langs en definert strekning	44
Figur 14. Restdybde og restlengde	46
Figur 15. Målt lengdeprofil langs djupålen mellom Gaulfossen og Udduvoll bru	49
Figur 16. Elvebunnens variasjoner i Gaula utregnet ved restdybde og restlengde	50
Figur 17. Dype kulper langs strekningen Gaulfossen – Udduvoll bru	51
Figur 18. Kulpenes lokalisering og NVEs Gaulfossen - Udduvoll bru	51
Figur 19. Lokalitetene hvor Hydra Team gjennomførte tverrsnittsprofileringer	53
Figur 20. Tverrprofilene 9-12 målt av Hydra Team ved en dyp kulp ved Lundamo	53
Figur 21. Tverrprofilene 27-29 målt av Hydra Team ved en dyp kulp ved Øyan	53
Figur 22. Kulpenes lengde i nedstrøms retning	55
Figur 23. Kulpenes dybde i nedstrøms retning	56
Figur 24. Sammenhengen mellom kulpenes lengde og dybde	56
Figur 25. Kulpen Lundamo og tverrprofilene 9-12	59
Figur 26. Kulpen Øyan og tverrprofilene 27-29	59
Figur 27. Spredningsdiagram: inngangs- og utgangsskråningenes gradient	60
Figur 28. Spredningsdiagram: kulpenes lengde og utgangsskråning	60
Figur 29. Spredningsdiagram: kulpenes dybde og utgangsskråning	61
Figur 30. Spredningsdiagram: kulpenes lengde og inngangsskråning	62
Figur 31. Spredningsdiagram: kulpenes dybde og inngangsskråning	62
Figur 32. Flybilde av Lundamo tatt i 1956	68
Figur 33. Flybilde av Lundamo tatt i 2009	68
Figur 34. Flybilde av Megarden og Ler tatt i 1956	68
Figur 35. Flybilde av Megarden og Ler tatt i 2009	68
Figur 36. Flybilde av Forset tatt i 1956	70
Figur 37. Flybilde av Forset tatt i 2009	70
Figur 38. Flybilde tatt av Kåsa og Øyan i 1956	70
Figur 39. Flybilde av Kåsa og Øyan tatt i 2009	70
Figur 40. Flybilde av Kvål tatt i 1956	71
Figur 41. Flybilde av Kvål tatt i 2009	71
Figur 42. Flybilde av Kregnesrønningen tatt i 1956	72
Figur 43. Flybilder av Kregnesrønningen tatt i 2009	72
Figur 44. Flybilde av Sjetnhølen tatt i 1956	72
Figur 45. Flybilde av Sjetnhølen tatt i 2009	72

Figur 46. Flybilde av Kuba tatt i 1956	74
Figur 47. Flybilde av Kuba tatt i 2009	74
Figur 48. Flybilde av Jaktøya tatt i 1956	74
Figur 49. Flybilde av Jaktøya tatt i 2009	74
Figur 50. Innsnevringen ved Forset fungerer som en hindring	77
Figur 51. Fast fjell i overgangssonen mellom elv og vegetasjon ved Sjetnhølen	80
Figur 52. Rester av en konstruksjon som ligger ut i elva og styrer vannstrømmene	80
Figur 53. Kulpen ved Jaktøya og tverrprofilene 42-45	81

Tabell-liste

Tabell 1. Mengde grus fjernet i periodene 1950-1980 og 1980-1985	23
Tabell 2. De 25 kulpene langs strekningen Gaulfossen - Udduvoll bru	50
Tabell 3. De elleve dype kulpene. Deres lokalisering og former	52
Tabell 4. Inngangsskråningens lengde og gradient	54
Tabell 5. Utgangsskråningens lengde og gradient	54
Tabell 6. Kulpenes former basert på gjennomsnittlig lengde og dybde	57
Tabell 7. Kulper lokalisert i en elvesving og deres svingradius, kulpenes dybde og lengde.....	58
Tabell 8. Tverrsnittenes utvikling mellom 1956 og 2009	66

1 Innledning

Gaula er en av Norges beste lakseelver, og er en viktig ressurs for kommunene den strekker seg gjennom, særlig med tanke på turisme (Godtland, 1997; Vaskinn, 1985). Fjellene er populære turområder og flere hytter er bygd i Gauldalen og fjellområdene. Landbrukssektoren og fiskeinteressene er store i området, og dyrelivet langs elva er rikt. I tillegg til gode fiskeforhold, er dalen et populært jaktområde (Bergan et al., 2000; Rokoengen, 2001). Friluftslivet i nedbørsfeltet er viktig, og kommuneplanene har markert egne soner for landbruks-, natur-, og friluftsområder (Bergan et al., 2000). Arealbruken i nedbørsfeltet er stor, med både industri, forretninger, gårdsdrift, bolighus, vei og jernbanelinjen mellom midt- og sør-Norge. Enhver forandring i Gaula kan få konsekvenser for disse brukerinteressene. Man har allerede sett at svingninger i elvas vannføring har hatt innvirkning på fiskens formeringsevne og fiskeaktivitetene generelt (Vaskinn, 1985). En av de store utfordringene i Gaula er flere dype kulper i elvebunnen.

1.1 Dype kulper i elvebunn

I løpet av de siste ti-femten årene har det blitt oppdaget dype kulper i flere elver i Norge. En kulp er en nedsenkning i elvebunnen, hvor definisjonen forutsetter at nedsenkingen fylles av vann og vannoverflategradient er horisontal (Thompson, 2010; Wohl et al., 1993). Uten vann er dette en grop i et tørt elveleie, og ikke en kulp. En selvutviklet kulp er utviklet gjennom forholdet mellom skjærstress, strømning, sedimenttransport og topografi i elvebunn (Montgomery et al., 1995). En kulp kan også skapes av ulike typer hindringer i elva. Hindringene påvirker kreftene i elva ved at de styrer strømmingen. Dette skaper sterk lokal erosjon som utvikler et erosjonshull nedstrøms hindringen (Galay and Yaremko, 1987; Thompson, 2002b; Montgomery et al., 1995; Thompson and McCarrick, 2010). Erosjonen er et resultat av unormalt sterke sekundære strømmer og/eller bakevjer. Sekundære strømmer og bakevjer dannes i forbindelse med elvesvinger, plutselige endringer i strømningsretning eller hastighet, hindringer, og strømmingssammenløp (Galay and Yaremko, 1987).

Et erosjonshull er en kulp, men et erosjonshull er også noe mer enn en kulp. Hindringen skaper unormalt sterk erosjon som graver frem en kulp som er tilsvarende dyp. Et erosjonshull er en kulp, men definisjonen begrenser utvikling av erosjonshullet til å stamme fra en hindring

som virker på strømmingen (Thompson and McCarrick, 2010). Basert på definisjonene vil en kulp omtales som en nedsenking i elvebunnen. Et erosjonshull er dypere, avhengig av hindringens karakteristikk, og klassifiseres som en dypere nedsenking. Det eksisterer ingen definert grenseverdi for dybde som skiller erosjonshull fra kulper. Dette kan variere mellom elver og ulike områder. Til syvende og sist er det hva som har skapt nedsenkingene som forteller om det er kulper eller erosjonshull. I teorikapitlet omtales erosjonshull som kulper, fordi teorien beskriver erosjonshull som pools, oversatt til kulper. I resten av oppgaven defineres kulper som nedsenkinger hvor det ikke er avgjort hva som har skapt dem, mens kulper omtales som erosjonshull når det er påvist at de er skapt av en hindring.

Viktige felles faktorer for erosjonshull er at de ligger under marin grense og at elva har lav gradient (Vatne, 2006). Avhengig av elvebunnens ruhet, sedimenttilgang, og andre ytre faktorer i områdene omkring elva, kan erosjonshull skape store negative konsekvenser. Erosjonshull kan forandre elvas økologi, og skape ustabilitet og utglidninger i elvebunnen (Vatne, 2006). Effektene av erosjonshull kan være at elva blir så sårbar at dens likevekt og naturlige løpsformer forandres. Et erosjonshull kan få større konsekvenser i et område preget av mye kvikkleire, hvor erosjon med påfølgende utglidning og ustabilitet kan utløse kvikkleireskred (Skei, 2010). I 2007 gjennomførte NVE et tiltak i Gaula ved Kåsa. Et erosjonshull var lokalisert i kanten av en kvikkleiresone med risikoklasse 5. Formålet med tiltaket var å fremme stabilitet i elvebunnen og redusere faren for skred. Tiltaket gikk ut på å fylle igjen erosjonshullet med steinmasser, noe som ville stabilisere elvebunnen (NVE, 2007).

1.2 Dype kulper oppdaget i Norge

NVE sine regionkontor har rapportert om dype kulper i flere elver i landet. I Skienselva er det i området fra Skien sentrum og ut til fjorden, en strekning på 7-9 km, oppdaget 2-3 kulper. De er mellom 10-30 m dype. Undersøkelser har avdekket at den ene kulpen er et resultat av en fjellrygg i elva som styrer vannstrømmene. De andre kulpene vet man ikke hvordan har oppstått. En av kulpene skal delvis fylles igjen. De andre er målt som stabile med slak inngangsskråning. Her vil det derfor ikke gjennomføres større tiltak, men kulpene vil bli holdt øye med (Traae, 2012).

NVE Region Øst rapporterte i år 2000 flere kulper i områdene hvor Vormå og Glomma møtes i Nes kommune (Øvre, 2012). Det har blitt gjort stabilitetsanalyser og dybdekartlegging av lokalitetene. Hvordan og hvorfor de er oppstått er det ingen klar formening om.

I Altaelva er det oppdaget flere kulper i området kalt Tippen i de nederste delene av elva. Ansatte i NVE Region Nord har ingen god forklaring på hvordan kulpene har oppstått, men antar det har en sammenheng med at elvebunnen stadig forandrer seg. En av kulpene har vist hvor sårbar elver kan være for menneskelig innvirkning. Under anleggsarbeid på 1990-tallet rapporterte arbeiderne at en kulp hadde oppstått omtrent over natten. Denne ble fylt igjen med stein de neste dagene (Bjordal, 2012). Altaelva består av et dekklag på 2-3 m med elvegrus, og underliggende sand- og siltlag som er 5-6 meter tykt. Anders Bjordal i NVE mener at erosjon som går gjennom dekklaget medfører aktiv erosjon i letteroderbart materiale. Dette vil skape kulper med 8-11 meters dybde, noe som stemmer overens med eksisterende kulper (Bjordal, 2012).

I Etne kommune er det oppdaget totalt tre kulper i elva Etneelva og Fjæraelva. Kulpene i Etneelva ligger hovedsakelig på silt, og elvas gradient er slak. Man antar at begge kulpene er et resultat av elvas gode erosjonspotensiale sammen med terskler i elva som har utviklet terskelkulper. Begge kulpene ble fylt igjen i perioden 2006-2008 (Bergheim, 2012; Nøtsund, 2012). Kulpene i Fjæraelva innerst i Åkrafjorden ligger i elvas utløp til fjorden. Kulpene ble oppdaget etter en større flomhendelse, og er trolig en effekt av flommen og erosjonssikringene langs elvebredden (Bergheim, 2012).

Felles for alle kulpene er at elvene er relativt flattrennende og brede, og befinner seg under marin grense (NGU, 2011b). Marin grense ved Stordalsvatn, som ligger i nærheten av Åkrafjorden og Etne, ligger på 75 moh (NVE, 2000). Kotehøydene ved utløpet til Fjæraelva er 0-5 moh, og 5-10 moh ved Etneelva (Norgebilder, 2012). Området ved Glomma og Vormå kan korreleres til Hauerstertrinnet, hvor marin grense er beregnet til 205 moh (Longva and Thoresen, 1989). Kotehøyde ved elvebredden er 140 moh (Norgebilder, 2012), som viser at kulpene ligger under marin grense. Kulpene i Skienselva og Altaelva befinner seg også under marin grense, med kotehøyde 0-5 moh og marin grense 70 moh i Altaelva (Follestad, 1979), og i Skienselva er marin grense på 145 moh (Bergstrøm, 1995) og kotehøyde ved elva er 20-30 moh (Norgebilder, 2012). Sammenhengen mellom marin grense og kotehøyde gjenspeiles i kvartærgeologiske løsmassekart fra NGU som viser at kulpene befinner seg i lokaliteter med

marine avsetninger (NGU, 2011b). De nedre delene av Skienselva ligger hovedsakelig på elveavsetning og havavsetning. Tippen i Altaelva ligger på bresjø/innsjøavsetning (NGU, 2011b). Elva i Etne kommune ligger i morenemateriale og elveavsetninger, mens Glomma og Vorma ved det aktuelle stedet består av havavsetninger (NGU, 2011b).

Det er gjort flere omfattende undersøkelser av kulper i elvbunn i Trøndelag. I 2003-2004 utførte Novatek grundige undersøkelser av Nidelva og avdekket flere kulper i elvbunnen (Skei, 2009). I 2006 ble det gjennomført et prosjekt i regi av NTNU i samarbeid med NVE, hvor erosjonshull i Nidelva ble studert for å prøve å forstå deres dannelse og stabilitet (Vatne, 2006). Det ble kartlagt ti erosjonshull som har skapt bratte skråninger i elvbunnen, med fare for ustabilitet og utglidninger (Vatne, 2006). Prosjektet ble videreført til Gaula, grunnet stor bekymring over elvas flomstyrke og sårbarhet knyttet til menneskelige inngrep. Undersøkelser av Gaula i sammenheng med dype kulper ble gjort av Hydra Team i 2007-2008 (Fjelstad, 2007).

Sårbarheten i Gaula knyttet til de dype kulpene er stor. Melhus kommune har opp gjennom tidene vært utsatt for flere store kvikkleireskred som har preget naturen og menneskene (Løvø, 2007). Kvikkleiremektigheten er enkelte steder stor og sensitiviteten er tilsvarende høy (Skei, 2010). I Melhus kommune er det kartlagt flere kvikkleiresoner, der noen ligger helt opp mot elva, mens de fleste ligger i nærheten av elveløpet. I gjennom de kartlagte kvikkleiresonene går det flere bekker og mindre elver med utløp i Gaula (Skei, 2010). Eksisterende skredgroper har munning ut mot vassdraget (Løvø, 2007; Eggen, 2004). Dette er til stor bekymring. Økt erosjon i elva eller inngrep i kvikkleiresonene kan medføre ustabilitet i leiren, og økt fare for kvikkleireskred (Eggen, 2004). Gaula er en flomsterk elv med lav reguleringskapasitet. Vassdraget er tilnærmet uregulert. Disse faktorene gjør at Gaula skiller seg mye fra Nidelva og defineres som mer ustabil. Dette, sammen med mengden og kvaliteten på data og informasjon fra Gaula, gjør at jeg vil bruke denne elva som case for videre å undersøke eventuelle erosjonshull.

1.3 Gaula som case

Helt siden begynnelsen av 1900-tallet har Gaula vært utsatt for inngrep av ulik størrelse. Mellom Gaulfossen og Gaulosen er omtrent halvparten av strekningen forbygd. Forbygningene hindrer videre erosjon og utrasing, og beskytter omkringliggende områder (Skei, 2010; Vatne and Berthling, 2010; Kannick, 1999). Kvikkleireforekomstene i Melhus kommune er en viktig faktor for sikringstiltakenes eksistens, da forbygningene hindrer erosjon mot kvikkleiresonene (Skei, 2010). Tross positive effekter av forbygningene har de også flere negative følger, som for eksempel redusert tilførsel av sediment og økt vertikal erosjon (Bergan and Habbestad, 2000). Mellom 1950-1990 ble så mye som 4 millioner m³ grus fjernet fra elva og flomslettene. Dette, samt forbygningenes effekt på tilgang av sedimenter, har resultert i at elva har senket seg mellom Gaulfossen og Gaulosen (Bergan and Habbestad, 2000).

Flere av inngrepene i Gaula er konsentrert i de nedre delene av nedbørsfeltet (Habberstad, 1995). Den bratte gradienten og smale dalen i de øvre delene av nedbørsfeltet medfører at menneskelig aktivitet langs Gaula konsentreres i de nedre delene hvor dalen flater ut. Jordbruk, industri, bebyggelse og annen service og infrastruktur er hovedsakelig lokalisert på elveslettene. Jernbane og veier ligger også på elveslettene, og ligger flere steder i nærheten av elva (Miljøverndepartementet, 1984; Habberstad, 1995).

Et vassdrag sine karakteristikk, former og krefter er et resultat av prosesser i elva og annen ytre påvirkning. Inngrep som for eksempel kraftutbygging, sikringstiltak og masseuttak virker på elveløpets form, vannføring, erosjon, massetransport, og økologi i området (Sæterbø, 2010). I Gaula har grusuttak vært det største problemet, med negative effekter som senking av elvebunn og blottlagt leire. Forbygningene virker på elvedynamikken med tanke på strømningsretning og erosjon da forbygningene begrenser elvas naturlige løp. Redusert sedimenttilgang og økt energi i elvebunnen kan være medvirkende faktorer for utvikling og vedlikehold av dype kulper (Bergan and Habbestad, 2000) (Vatne and Berthling, 2010). Bunnforholdene i Gaula er på grunn av dette blitt ustabile (Bergan and Habbestad, 2000; Habberstad, 1995). Basert på de omfattende inngrepene i Gaula, vil det være interessant å undersøke om kulpene i Gaula kan defineres som erosjonshull.

1.4 Problemstilling

Forekomsten av dype kulper i elvebunnen i Gaula gjør det interessant å foreta en videre analyse av geometrien til disse kulpene. I denne oppgaven arbeider jeg ut fra en hypotese som sier at:

De dypeste kulpene i Gaula er erosjonshull.

Begrunnelsen for hypotesen er at en hindring i elva fokuserer strømmingen. Fra dette tolker jeg at strømming og erosjon i et erosjonshull er sterkere enn i kulper som ikke er skapt av en hindring.

I oppgaven vil jeg se nærmere på geometriske mønstre i erosjonshull, og innbyrdes forhold mellom disse mønstrene. Med geometriske forhold mener jeg dybde, lengde, og gradient på inngangs- og utgangsskråning. Dette forutsetter imidlertid at jeg kan påvise at det finnes erosjonshull i Gaula. Dersom de dype kulpene er erosjonshull, er det interessant å undersøke om de kan knyttes til menneskelig aktivitet.

Problemstilling:

Finnes det erosjonshull i Gaula, og kan utvikling og opprettholdelse av disse knyttes til menneskelige inngrep i elva? Er det et geometrisk romlig mønster innenfor erosjonshullene, og kan disse sammenlignes med studier fra småskalaelver?

1.5 Avgrensning av oppgaven

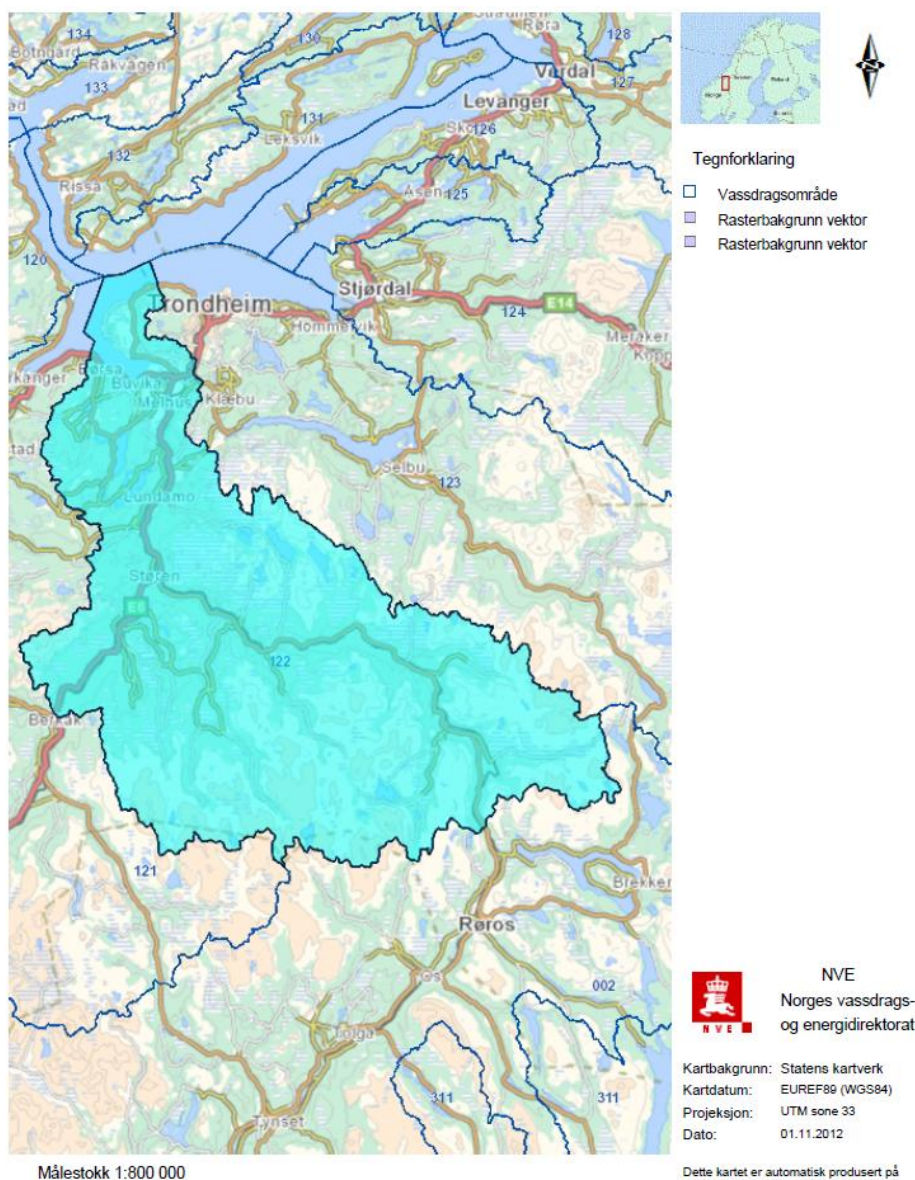
I oppgaven har jeg fokus på erosjonshull, og tar derfor ikke hensyn til kulper som ikke defineres som erosjonshull. Resultatkapitlet starter med å se på alle kulpene i Gaula, men snevrer seg raskt inn mot de dypeste kulpene og videre analyse av disse. Bakgrunnen for dette er problemstillingen, oppgavens bredde, samt hypotesen som sier at de dypeste kulpene er erosjonshull.

Oppgaven er sterkt knyttet til Hydra Team sitt arbeid fra oppmålingen i 2007-2008. Denne innsamlingen danner grunnlaget for oppgavens problemstilling, bredde og avgrensning. Jeg har arbeidet med dataene fra innsamlingen, men sett bort fra Hydra Teams resultat i forhold til valg av kulper, grafer og andre figurer. Dette følte jeg var viktig for å analysere datamaterialet ut fra mine forutsetninger og oppgavens problemstilling.

Jeg besluttet å ikke dra ut i felt og samle inn data på egenhånd, da det allerede forelå godt materiale hos instituttet. Jeg har hele tiden hatt i bakhodet at dersom jeg manglet noe data ville jeg dra ut i felt. Eksempler på dette var undersøkelse av bunnstrukturer og observasjon av eventuelle hindringer ved de ulike kulpenes lokaliteter. Sistnevnte ble gjort da jeg under arbeidet med diskusjonen oppdaget at jeg hadde lite materiale om en av lokalitetene. Jeg dro i felt og observerte eventuelle hindringer og faktorer som kan ha skapt kulpen. Datamaterialet har dermed avgrenset oppgaven, men har aldri begrenset den.

2 Områdebeskrivelse

Gaula er det største vassdraget i midt-Norge, og har et nedbørsfelt på 4023 km². Nedbørsfeltet ligger i Os og Tynset kommune i Hedmark fylke, og i Sør-Trøndelag fylke i kommunene Holtålen, Midtre Gauldal og Melhus (figur 1) (NVEAtlas, 2012). Gaula starter ved Gaulhåen på Rørosvidda, og strekker seg 150 km mot nordvest, med et fall på 821 m ned til Gaulosen i Trondheimsfjorden (Nordseth, 1982). Nedbørsfeltet strekker seg fra 0-1200 moh. I underkant av 9 % av nedbørsfeltet ligger under 300 moh, 32 % ligger mellom 300-600 moh, 38 % ligger mellom 600-900 moh, 21 % av arealet er mellom 900-1200 moh, mens under 1 % befinner seg over 1200 moh (Sæther et al., 1980).



Nedbørsfeltet karakteriseres som vidt forgreinet (NOU, 1983), med avrundete former og åpne fjelldaler. Slake dalsider ned mot dalførene, og store myrområder utenfor hoveddalen (Nordseth, 1982; Guttormsen, 1984; NOU, 1983). Nedbørsfeltet omfatter ca. 5900 mindre innsjøer, som sammen dekker et areal på 100 km² (Nordseth, 1982). Hoveddalføret er v-formet og dypt nedskåret, noe som stedvis bare gir plass til elva i dalløpet (Sæther et al., 1980; Nordseth, 1982; Guttormsen, 1984). Noen steder, blant annet ved Gaulfossen, har dette utviklet seg til smale gjel (Sæther et al., 1980). Nedskjæringene kan gå dypt ned i det paleiske landskapet, og slik skaper elva en skarp kontrast mellom ungt og gammelt landskap. Disse store forskjellene preger elveløpet og hoveddalen frem til Støren (Nordseth, 1982; NOU, 1983). I områdene nedstrøms Gaulfossen er Gauldalen u-formet. Den er bred med bratte dalsider og en flat dalbunn bestående av elvesletter (Sæther et al., 1980; Nordseth, 1982; Guttormsen, 1984).

I den øverste delen av nedbørsfeltet, fra Nersjøen til Eggafossen, er gradienten til elva svært bratt, med et fall på 1:100. Langs strekningen Eggafossen - Støren synker fallhøyden og har en helning på 1:350 m. Elva er så bratt at transportkapasiteten er større enn materialtilgangen (Guttormsen, 1984; Rokoengen, 2001). Nedenfor Gaulfossen synker gradienten betraktelig og bredden på elva øker (Næss, 1995). Fallhøyden i de nedre områdene har en gjennomsnittlig helning på 1:1000, men kan stedvis være så bratt som 1:250 (Guttormsen, 1984). Elvebunnen er et resultat av gradient og vannføring i elva, og består i elvas nedre deler av stein og grov grus. I innersvingene er vannhastigheten mindre som medfører at fine sedimenter kan avsettes (Godtland, 1997; NOU, 1983).

Bunntransporten i Gaula er sterk. I 1975, som regnes som et gjennomsnittlig år med tanke på vannføring og sedimenttransport, ble bunntransport beregnet til 75 %, suspensjon 8 % og oppløste stoffer 17 %, ved Haga bru (Bulgurlu, 1977). Bunntransport i Gaula har sterk innvirkning på formene i elva. Andre faktorer som virker på elvas former er ustabile elveører og banker, erosjon i sidene, og abrasjon av bunnmateriale (Nordseth, 1982). Gaula får tilgang til sediment fra sideelver, elvesletter, og gjennom erosjon i sidene og elvebunn, noe som skaper svak bunnvegetasjon (Bulgurlu, 1977; Nordseth, 1982; Sæther et al., 1980; NOU, 1983). Sedimentasjon begynner først nedstrøms Udduvoll bru. (NOU, 1983). Den korte sedimentasjonsstrekningen medfører at forandringer i elveløpet kan være store og skje raskt.

2.1 Geologi

Bergartene i Gauldalen har en alder på 400-600 mill år (Reite et al., 1999; Wolff, 1979). Bergartene ble til i periodene Kambrium, Ordovicium og Silur (Rokoengen, 2001), og klassifiseres som kambrosiluriske sedimentære bergarter (NOU, 1983; Wolff, 1979). Berggrunnen er et resultat av den Kaledonske fjellkjedefoldingen. Bergartenes retning i Trøndelag har normalt en nordøst-sørvest retning, men på grunn av trykk og spenning under foldingen varierer dette noe (figur 2). Lignende variasjon er også tilfelle i lagdelingen, da yngre bergarter stedvis kan ligge over eldre bergarter (Reite et al., 1999; Wolff, 1979; Nordseth, 1982).

De øvre og mellomste delene av nedbørsfeltet inneholder forskjellige typer gneiser (NOU, 1983; Sæther et al., 1980). Figur 2 viser bergartenes lokalisering mellom Gaulfossen og Udduvoll bru. De nedre områdene av strekningen domineres av grønnstein og amfibolitt. Områdene rundt Ler og lenger oppstrøms består av skifer, sandstein og kalkstein, med mindre soner av ryolitt, ryodacitt, dacitt og konglomerat, og sedimentær breksje (NGU, 2011a).

2.2 Kwartærgeologi

Landskapsformene i Gaula er konsekvenser av prosesser og deres effekt under og etter siste istid. Løsmassene er et resultat av erodert materiale som ble knust under bresålen (Reite et al., 1999). Smeltevannet fra isens tilbaketrekking skapte innsjøer og breelver som transporterte og avsatte sediment (Thoresen, 1991; Reite et al., 1999). Langs iskanten ble det avsatt grus og sand, mens de fineste sedimentene silt og leire ble avsatt i fjorden, karakterisert som hav- og fjordavsetninger (figur 3) (Rokoengen, 2001; Thoresen, 1991; Reite et al., 1999; Ottesen, 1987). Store mengder materiale har blitt transportert og avsatt som elvesletter (Reite et al., 1999; Ottesen, 1987). I tiden etter siste istid har Gaula erodert ned i israndavsetningene og skapt dype dalbunner (Rokoengen, 2001; Reite et al., 1999). Stedvis har erosjonen vært så sterk at elva har kommet gjennom sand- og grusavsetningene og ned til underliggende leire (Rokoengen, 2001). Leire er oppbygd som en korthusstruktur. Elektrostatiske bindingskrefter, som er et resultat av salt porevann og at partiklene har en dipolstruktur, kobler sammen leirepartiklene (Tesaker et al., 2010). Så lenge porevannet inneholder salt vil denne strukturen være stabil (Tesaker et al., 2010). Leiren blir utvannet av nedbør og smeltevann. Saltet vaskes ut og bindingene mellom partiklene svekkes (figur 4) (Tesaker et al., 2010). Korthusstrukturen består, men med overbelastning vil strukturen falle sammen og leiren

punkteres. Leiren vil gå fra å være fast til å bli flytende og ustabil (figur 4). Overbelastning kan resultere i utglidning av masser og kvikkleireskred (Thoresen, 1991; Tesaker et al., 2010; Rokoengen, 2001). Et kvikkleireskred utløses som oftest fra erosjon eller masseforflytning osv. fra menneskelig aktivitet i området (Thoresen, 1991).

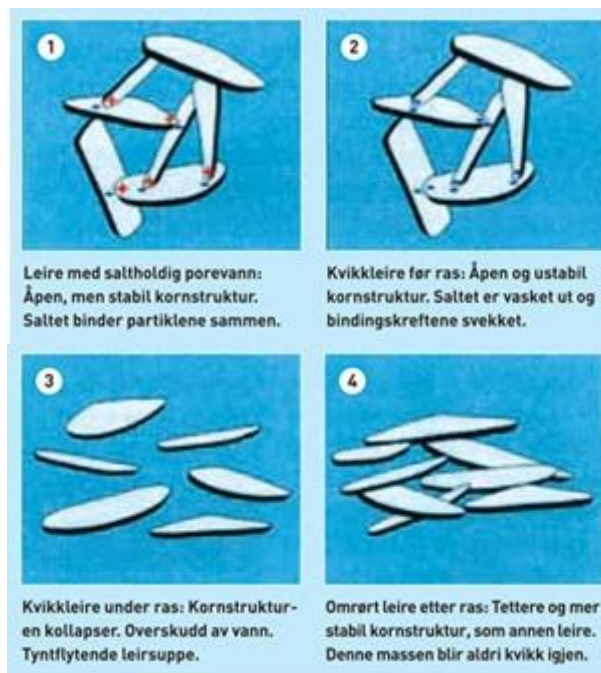
I de øverste delene av dalen, over marin grense som ligger på 175-180 m, består løsmassene av morenemateriale i form av sand og grus (figur 5) (Guttormsen, 1984; NOU, 1983; Næss, 1995; Miljøverndepartementet, 1984). Områdene under marin grense består av havavsetning, og leiren er enkelte steder over 80 m tykk (Sæther et al., 1980; NOU, 1983). I de lavere områdene i dalen dominerer elveavsetning (figur 5) (Sæther et al., 1980). Elveavsetning er svært lite utbredt i midtre og øvre deler av dalen, da dalen er smal og trang, og slik begrenser Gaulas aktivitet (Guttormsen, 1984; NOU, 1983; Nordseth, 1982).

2.3 Hydrologi

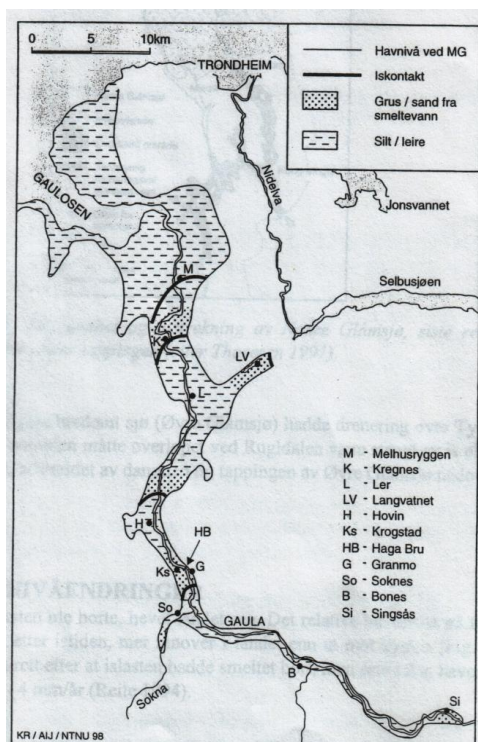
Gaula er en elv utsatt for stor flom (Heggstad et al., 1975; Guttormsen, 1984). Gaulas vannføring har store svingninger. Vannføring under flom er registrert til 40 ganger høyere enn gjennomsnittlig vannføring. Det eksisterer ingen elver i Norge som har så store forskjeller (Næss, 1995). Bakgrunnen for variasjonene er at vassdraget har liten reguleringsevne (Heggstad et al., 1975; Nordseth, 1982; Rokoengen, 2001; Guttormsen, 1984). Innsjøene i vassdraget er små og kan ikke drenere vannmengdene. Større innsjøer som eksisterer i nedbørsfeltet er lokalisert i utkantgrensene og har dermed liten effekt på dreneringen (Næss, 1995; Nordseth, 1982; Rokoengen, 2001). Den høye gradienten i elva medfører at flombølgene forplanter seg og vedlikeholdes nedover vassdraget. Løsmassedekket i området er tynt. Myr og skog har derfor liten evne til å dempe flom (Næss, 1995). De overnevnte faktorene medfører at Gaula defineres som en massetransporterende effektiv elv (Nordseth, 1982). Bunnforholdene er ustabile. Inngrep kan lett forsterke dette, påvirke elvas økologi og likevekt, og skape ringvirkninger som etter hvert krever sikringstiltak (Nordseth, 1982; NOU, 1983; Miljøverndepartementet, 1984). Uten bedre regulering og flomdemping vil dalen preges av flom som kan skape store skader (Heggstad et al., 1975).



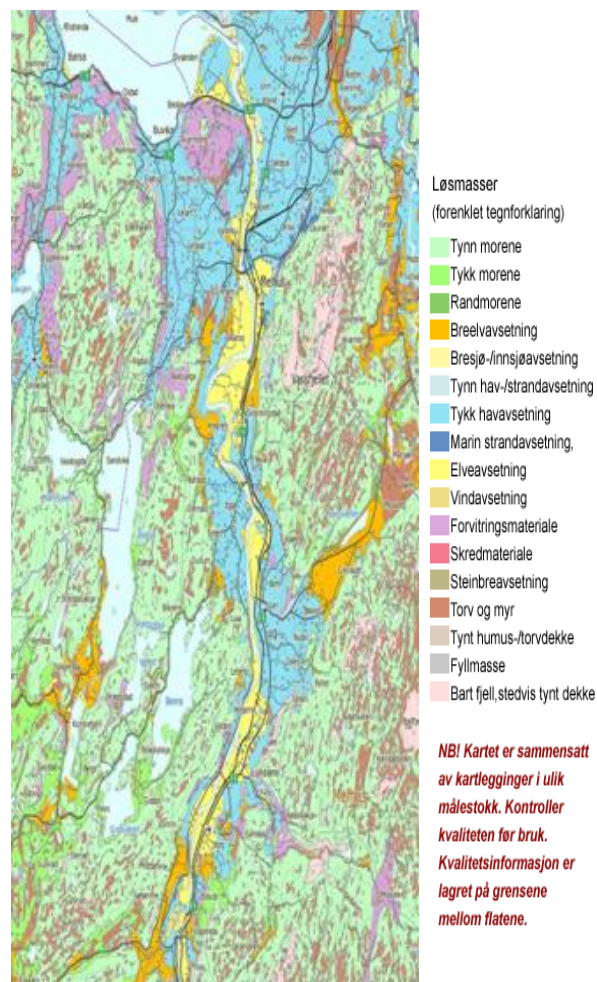
Figur 2. Berggrunnskart over strekningen Gaulfossen – Udduvoll bru (NGU, 2011a).



Figur 4. Kvikkleire sin oppbygning og utvikling av kvikkleireskred (Tesaker et al., 2010).



Figur 3. Israndavsetning langs Gaula ved slutten av siste istid (Rokoengen, 2001).



Figur 5. Løsmassekart over strekningen Gaulfossen - Udduvoll bru (NGU, 2011b).

2.4 Sikringstiltak mellom Gaulfossen og Udduvoll bru

Store deler av strekningen Gaulfossen – Udduvoll bru er forbygd i ulik grad. Forbygningene beskytter elvebredden mot erosjon, samtidig som de begrenser tilførsel av sediment til elva (Næss, 1995). Den største effekten av forbygningene er at elva ikke får et fritt løp (Kannick, 1999). Når elva ikke kan erodere i sidene vil den konsentrere kreftene andre steder, vanligvis i elvebunn. (Skei, 2010). Dette har resultert i bunnsenking, redusert massetilgang og sedimenttransport, samt problemer med erosjon (Kannick, 1999). Dette kan blottlegge leiren, undergrave forbygningene, skape dype kulper, og medføre ustabilitet (Skei, 2010).

Sikringstiltakene i Gaula utgjør en strekning på 80 km, og strekker seg fra Singsås til Gaulosen. Den største andelen av anleggene er lokalisert i elvas nedre deler mellom Gaulfossen og Udduvoll bru (Kannick, 1999). Figur 18 viser hvor omfattende tiltakene langs denne strekningen er. Omtrent 50 % av elvebredden er forbygd (Kannick, 1999). Til sammen eksisterer det 115 anlegg langs strekningen kartlagt av NVE. I tillegg til disse finnes det sikringstiltak laget av Jernbaneverket, Statens vegvesen og private grunneiere (Kannick, 1999; Skei, 2010).

2.5 Grusuttak i Gaula

Grusuttak i Gaula går helt tilbake til 50- tallet og har preget elva gjennom flere tiår (Ottesen, 1987). Uttakene er gjort i elveører, i selve elva, og langs elvebredden (Ottesen, 1987). Sedimentene i Gaula har blitt sett på som gode ressurser, særlig i sammenheng med veiarbeid. Massene består stort sett av stein og grus, som i knust tilstand har en svært gunstig størrelsesfordeling for videre bruk (Ottesen, 1987). Sand og grus har god tekstur for bruk under veibygging, de er lett nedbrytbare, og fri for salt og humus (Næss, 1995).

Mellom 1950 og 1985 ble det tatt ut ca 4 mill m³ grus langs strekningen Gaulosen – Kotsøy. 30 % av dette, tilsvarende 1,2 mill m³, ble utvunnet mellom 1980 og 1985 (tabell 1) (Ottesen, 1987).

Tabell 1. Mengde grus fjernet i periodene 1950-1980 og 1980-1985.

Strekning	Uttatt 1950-1980 (m ³)	Uttatt 1980-1985 (m ³)	Uttatt 1950-1980 (%)	Uttatt 1980-1985 (%)
Gaulosen – Udduvoll bru	1 450 000	140 000	38	12
Udduvoll bru – Gimse bru	200 000	75000	5	6
Gimse bru – Kvål bru	1 060 000	265 000	28	22
Kvål bru - Ler	585 000	380 000	15	32
Ler - Hovin	110 000	40 000	3	3
Hovin - Støren	155 000	130 000	4	11
Støren - Kotsøy	260 000	170 000	7	14
SUM	3820000	1200000	100	100

Uttak av sand og grus har forandret seg med tid og sted. Grusuttak i Gaula før 1980 er hovedsakelig gjort ved tre strekninger: nedstrøms Udduvoll bru, mellom Gimse bru og Kvål bru, og mellom Kvål bru og Ler. Over 80 % av uttaket i perioden 1950-1980 foregikk i disse sonene (Ottesen, 1987). På 80-tallet forandret dette seg da de nederste områdene begynte å bli tømt (Næss, 1995). Uttak fra delområde 1 hadde en nedgang fra 38 % til 12 %. Samtidig økte utvinningen mellom Kvål og Ler fra 15 % til 32 %. Mellom 1980 og 1985 hadde de samme tre strekningene en total utvinning på 66 % (Ottesen, 1987). Den raske økningen av grusuttak mellom Kvål og Ler har gitt konsekvenser, til tross for at dette bare foregikk over en 5 års periode. Mellom 1950 og 1985 har nesten ¼ av det totale uttaket mellom Kotsøy og Gaulosen skjedd mellom Kvål og Ler (Ottesen, 1987).

Grus er en ikke-fornybar ressurs da det ikke finnes isbreer i området. Konsekvensene av grusuttak kan derfor være alvorlige (Østdahl, 1994). Uttakene fjerner og reduserer laget av stein og grus i elvebunnen. De langsiktige effektene er at elva blottes for grove sedimenter, elva eroderer i bunnen og senker elveløpet ytterligere, og det blir vanskeligere for elva å få tilgang til sedimenter for å opprettholde sin likevekt (Godtland, 1997; Ottesen, 1987). Elva kan erodere ned til underliggende leire som blir vasket bort av strømmende vann. Blottlagt leire medfører at vannet i elva blir tilslammet, noe som kan påvirke økologien i elva (Godtland, 1997). Mellom Gaulfossen og Gaulosen har elveløpet senket seg gjennomsnittlig 2 meter mellom 1935 og 2007 (Vatne and Berthling, 2010). Dette har resultert i ustabile partier,

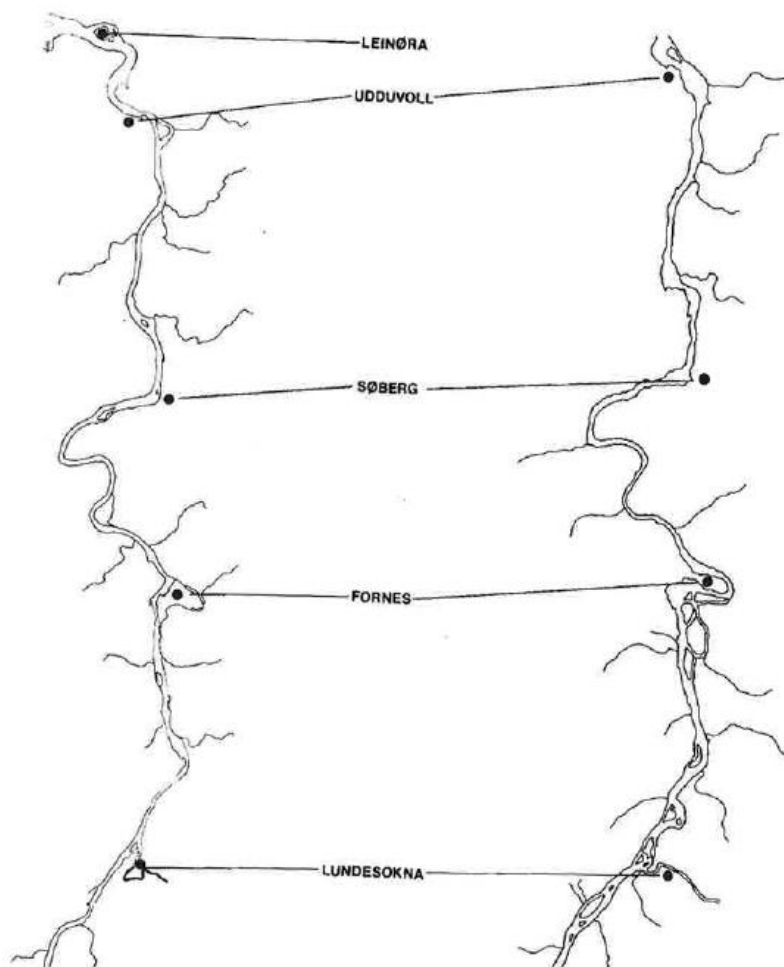
blottlagt leire, undergraving av forbygninger langs elvekanalen, og kulper og banker har blitt ødelagt (Godtland, 1997; Næss, 1995; Østdahl, 1994; Nordseth, 1982; Skei, 2010).

Til tross for masseuttakene finnes det fortsatt sand og grus i elva. Sideelvene transporterer en liten mengde sediment til hovedelva. Andre viktige kilder til grove sediment er erosjon i elvebunn, og sediment fra elvesletter og elvekantene (Skei, 2010). Men uttakene siden 50-tallet har vært så store at nye sedimentkilder ikke er tilstrekkelig, og elva defineres derfor i dag som utarmet (Skei, 2010). På grunn av påviste negative konsekvenser av grusuttak, ble det i 1988 vedtatt en frivillig prøvestansperiode på 5 år i Gaula nedstrøms Gaulfossen (Næss, 1995). Undersøkelser av sedimentstatus har vist at elvas tilgang på grus er kritisk, og uttak bør ikke forekomme. Dette er regulert gjennom kommunens arealplaner over Gaula: *"Masseuttak i vassdraget er forbudt, men kan tillates når tiltaket er et ledd i erosjonssikring, flomforbygning eller har til hensikt å sikre mot skred og flom. Slike tiltak er søknadspliktige etter §93"* (Skei, 2010).

2.6 Elveløpets forandringer mellom 1880-1980

I løpet av 1900-tallet har Gaula forandret seg. Områdene rundt Gaula er stadig under utvikling og forandring. Noe av grunnen for dette er at elva er flomsterk. Den påvirker derfor større areal enn en stilleflytende elv med mindre vannføringsforskjeller og massetransport (Sæther et al., 1980).

Figur 6 viser hvordan Gaula har forandret seg i de nedre delene i perioden 1880-1980 (Sæther et al., 1980). Gaula har flere ganger flyttet seg på elveslettene (Bergan and Habbestad, 2000). De største forandringene har skjedd ved Fornes, hvor elva har skiftet løp. Tidligere lå elva under åsen, men elva brøt gjennom denne i 1902 og det gamle elveløpet er i senere tid blitt fylt igjen med løsmasser og vegetasjon (Sæther et al., 1980). Ved Lundesokna sitt utløp i Gaula har det blitt lagt opp masser. Kregnesrønningen har forandret vinkel, og elveløpet har utviklet seg ved Kuba til en krapp sving (Sæther et al., 1980).



Figur 6. Forandringer i de nedre delene av Gaula mellom 1880 og 1980 (Sæther et al., 1980).

3 Teori

3.1 Kulper og stryk

Forskning på pools i elvekanaler går helt tilbake til begynnelsen av 1900-tallet. En pool, heretter omtalt som kulp, defineres som en nedsenkning med horisontal vannoverflategradient og lav hastighet under lav vannføring (Thompson, 2010; Wohl et al., 1993). Riffle er topografiske høye områder av elvebunnen, med bratt vannoverflateskråning og høy hastighet under lav vannføring (Thompson, 2001; Wohl et al., 1993). I oppgaven vil riffle også omtales som toppunkt og stryk. I 1914 introduserte Gilbert velocity-reversal hypotesen, heretter omtalt som hypotese om hastighetsreversering. Gilbert undersøkte om det eksisterte et forhold mellom kulp og stryk i elver (Keller, 1971). Basert på hypotesen er vannoverflategradienten høy i stryk og lav i kulp under lav vannføring. Med økt vannføring øker vannoverflategradienten raskere i kulpen enn i stryket, som fører til konvergerende strømningslinjer i kulpen. Dette skaper høye hastigheter med erosjon i kulpen under høy vannføring (Keller, 1971; Thompson et al., 1996).

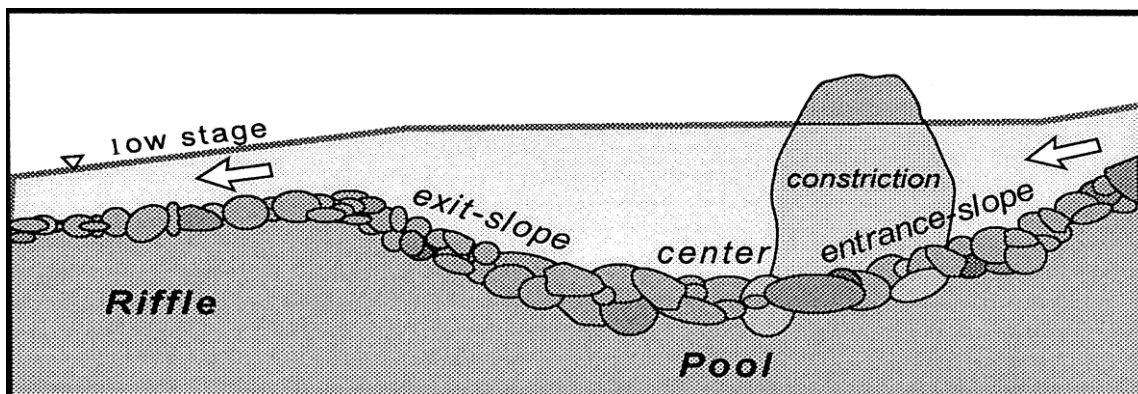
3.1.1 Kellers hypotese om hastighetsreversering

Kellers hypotese om hastighetsreversering har fått mye oppmerksomhet. Han viderefører Gilberts ide om at det finnes et reversert hastighetsforhold mellom kulper og stryk. Hastighetsreversering skjer når hastigheten i bunnen av kulpen er lik hastigheten ved stryket (Keller, 1971). Det er forholdet mellom kulp og styrk som vedlikeholder og utvikler bunnmorfologi (Keller, 1971).

Kellers hypotese forklarer sedimentenes sortering i en elvekanal, med grove sedimenter i stryk og fine sediment i kulp. Hypotesen er basert på en studie som viste at de største kornstørrelsene i kulpene var vesentlig mindre enn sediment i strykene (Keller, 1971). Under lav vannføring, der vannhastigheten i kulpen er under grensen for hastighetsreversering, er hastighet og skjærstress større i stryket enn i kulpen (Thompson, 2007; Thompson et al., 1998; Harrison and Keller, 2007; Keller, 1971; Thompson, 2010). Jetstrømmene i kulpen er svake og overflatehelningen oppstrøms er slak, noe som gir lav hastighet og svak erosjon (Harrison and Keller, 2007; Thompson and Wohl, 2009; Thompson, 2007). Dette medfører konsentrasjon av skjærstress i stryket (Harrison and Keller, 2007). I denne tilstanden kan bare

finkornede sedimenter transporteres (Keller, 1971), og partikler som beveger seg ut av stryket blir avsatt i nærliggende nedstrøms kulp (Thompson, 2007; Thompson et al., 1998; Harrison and Keller, 2007; Keller, 1971; Thompson, 2010). Med økende vannføring vil vannstrømmene nå et punkt hvor hastighetene er lik i kulp og stryk. Sediment som transporteres gjennom stryk vil også passere nedstrøms kulp (Keller, 1971)

Ved eller nær breddefull vannføring er skjærstress og hastighet størst i kulpens inngangsskråning (figur 7), grunnet økt overflategradient og sammenfallende strømningslinjer (Harrison and Keller, 2007; Thompson, 2010). Skjærstress er konsentrert i kulpens sentrum. Hastighetene i kulpene er større enn i stryket, og det skapes erosjon i kulpene (Thompson, 2007; Hassan and Woodsmith, 2004; Thompson and Wohl, 2009; Harrison and Keller, 2007). Grove sedimenter transporteres og avsettes i nedstrøms stryk. Under høy vannføring vil bunnhastighetene i kulp og stryk være motsatt i forhold til under lav vannføring (Keller, 1971).



Figur 7. Forholdet mellom kulp og stryk (Thompson et al., 1999; Reitan, 2011).

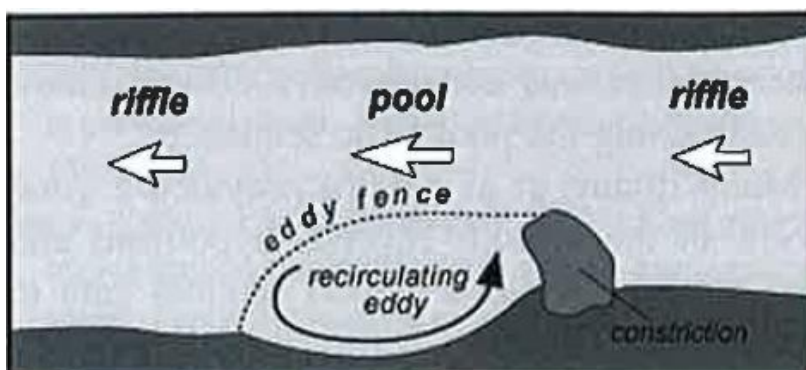
Modellen tar utgangspunkt i en stabil vannføring over kulp og stryk. Variablene som skiller de to områdene er tverrsnittsareal av kanalen og hastighet (Keller, 1971; Thompson, 2010). Problemet med modellen er at tverrsnittet i kulp er større enn i stryk, uansett vannføring (Thompson et al., 1996). Kulpene burde derfor teoretisk sett ha lavere hastighet og mindre erosjon enn stryk under både høy og lav vannføring (Thompson et al., 1998). Dette er begrunnelser som har blitt brukt som argument mot Kellers hypotese (Thompson, 2010). Et annet moment er at hypotesen er basert på hastighetene i bunnen under lav vannføring, som blir ekstrapolert til høy vannføring (MacVicar and Roy, 2007). En slik ekstrapolering kan være problematisk, da det ikke blir tatt hensyn til forskjellige forhold under høy og lav vannføring.

3.1.2 Thompsons' reviderte hypotese

Kellers hypotese har vært preget av uenighet og usikkerhet. Tester av hypotesen har gitt forskjellige utfall, som kan være et resultat av lokale variasjoner og den komplekse morfologien i elver (Harrison and Keller, 2007). I 1996 ble Kellers hypotese om hastighetsreversering revidert av Thompson. Thompson kom frem til at det var viktig å inkludere bakevjenes effekter i hypotesen (Thompson et al., 1996). Denne modellen ble kalt eddy-enhanced velocity-reversal.

Modellen til Thompson sier at en hindring skaper økt vannoverflategradient, konvergerende strømningslinjer, jetstrømmer og høye hastigheter. Dette fremmer turbulens og skjærstress som påvirker sedimenttransport og avsetning. (Thompson, 2010; Thompson et al., 1998; Thompson, 2004; Thompson, 2002b; Buffington et al., 2002; Lisle and Hilton, 1992; Thompson et al., 1996). Med økt hastighet øker ikke nødvendigvis tverrsnittsarealet. Det effektive tverrsnittet reduseres på grunn av bakevjenes utvikling (figur 8) (Thompson et al., 1996).

En hindring og økt vannoverflategradient skaper høy hastighet i kulpen. Sediment som transporteres beveger seg ut over utgangsskråningen. Hastigheten er mindre i styrket og transportkapasiteten er tilsvarende lav (Thompson et al., 1996). Konvergerende strømningslinjer og bakevje har effekt på hastighetsreversering mellom kulp og stryk, og avsetningsmønster som et resultat av dette (Thompson et al., 1996; MacVicar and Roy, 2007; Thompson, 2010).

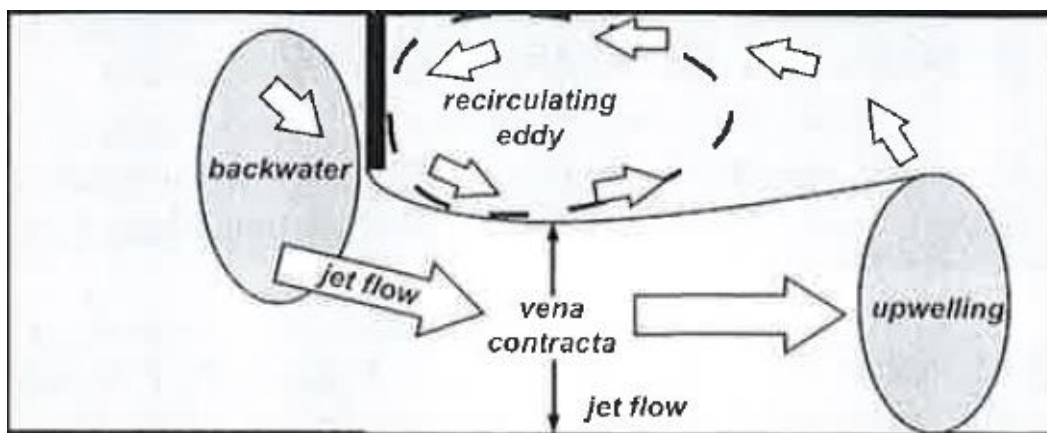


Figur 8. Utvikling av bakevje reduserer det effektive tverrsnittet (Thompson, 2010).

Bakevjen skaper hastigheter i kulpen som er lik eller overgår hastigheter i stryket. Men erosjons- og avsetningsvolum i kulpen, og ulike vannoverflatehøyder ved tverrsnittet, kan påvirke beregning av hastighet i kulpen (Thompson et al., 1996). Modellen kan brukes som forklaring når kulpens tverrsnitt er mindre enn tverrsnittet ved stryket, og når kulpen er preget av større ruhet enn stryket, noe som ikke alltid er tilfellet (Thompson and Wohl, 2009; Thompson et al., 1996).

3.2 Utvikling av erosjonshull

Erosjonshull defineres som en landform som utvikles som en reaksjon på en hindring i elvekanalen (Thompson, 2002b; Montgomery et al., 1995). Hindringen strekker seg over en viss andel av kanalen og fungerer som en fysisk sperre på vannstrømmen. Hindringen utvikler en smalere kanalvidde og vannet får et begrenset område å bevege seg på (figur 9). Dette skaper bakevje oppstrøms hindringen som er karakterisert med små virvler, og hindringen hever vannoverflategradienten (figur 9) (Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1996; Thompson et al., 1999; Harrison and Keller, 2007; Goode and Wohl, 2007; Thompson, 2007; Lisle, 1986; Thompson, 2002b). Den økte gradienten og redusert tverrsnitt ved hindringen øker akselerasjonen og skaper sammenfallende strømningslinjer ved hindringen og nedstrøms denne (figur 9) (Thompson, 2002b; Thompson et al., 1996; Thompson et al., 1999; Thompson, 2007; Lisle, 1986). Økt akselerasjon og strømningslinjenes sammenfall utvikler jetstrømmer. Jetstrømmene skaper en smal sone kalt vena contracta (figur 9), som karakteriseres med høye hastigheter i kulpens sentrum (Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1999; Thompson, 2004; Thompson et al., 1996; Thompson, 2006; Thompson, 2007; Goode and Wohl, 2007).



Figur 9. Prosesser skapt av en hindring som utvikler et erosjonshull (Thompson and McCarrick, 2010).

Overflatehøyden ved vena contracta er liten, men øker like nedstrøms sonen, noe som former en pressgradient (Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1999). Dette skaper konvergerende strømningslinjer som forårsaker bremsing og sideveis spredning av vannet (Thompson et al., 1998), og danner en bakevje karakterisert med turbulens og erosjon (figur 9) (Thompson, 2004; Thompson, 2006; Thompson, 2007; Thompson and Wohl, 2009; Thompson and McCarrick, 2010; Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1999; Harrison and Keller, 2007; Goode and Wohl, 2007; Thompson, 2002b; Montgomery et al., 1995). I området hvor jetstrømmer og bakevje skjærer hverandre oppstår friksjon. Dette er en sone karakterisert med skjærstress, hvor kulpens turbulens er på sitt sterkeste (Thompson et al., 1998; Thompson, 2006; Thompson, 2004; Thompson, 2002b; Thompson, 2007). Slik fungerer hindringen som et element som omformer potensiell energi til bevegelsesenergi, gjennom bakevje og hevet vannoverflategradient (Thompson, 2002b).

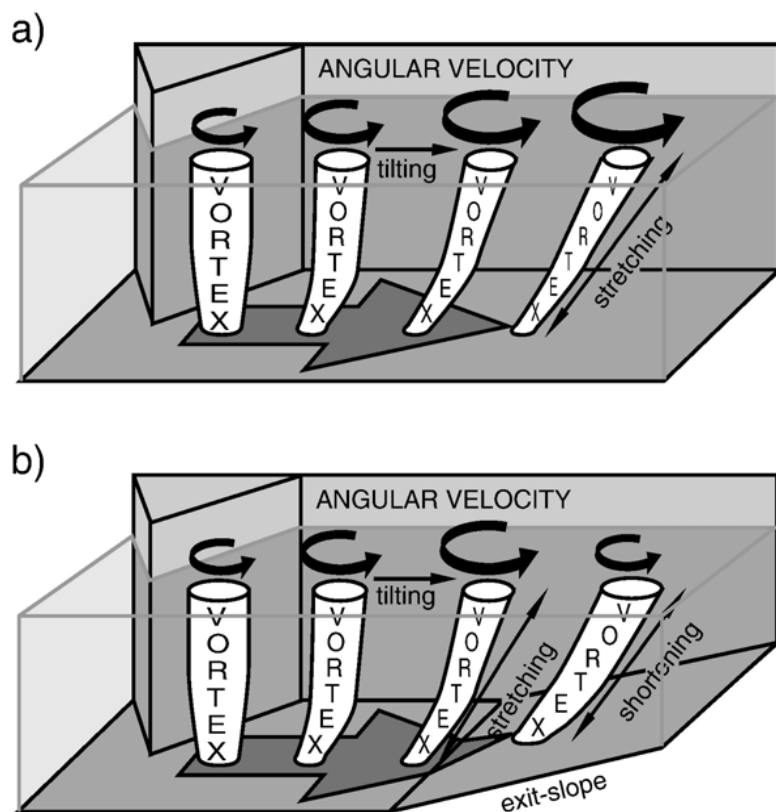
3.2.1 Virksomme krefter i kulpen

Med utgangspunkt i TKE (turbulent kinetic energy) er det mest bevegelsesenergi og sterkest turbulens nær hindringen og elvebunnen. Turbulens nær elvebunnen kan heve eller senke vannet, skape pressvingninger, forandre retningen på vannets bevegelser, og sette sedimenter i bevegelse (Thompson, 2007). TKE avtar i nedstrøms retning, noe som forteller at hindringen danner unike turbulensreaksjoner som forsvinner med topografien mot utgangsskråningen (Thompson et al., 1998; Thompson, 2007; Thompson and McCarrick, 2010).

Utgangsskråningen til kulpen ligger nedstrøms kulpens dypeste punkt (Thompson and Hoffman, 2001), og defineres som en stigende gradient som påvirker vannhastighet og turbulens (Thompson et al., 1996; Thompson, 2004; Thompson and Hoffman, 2001).

Virvlene forandrer karakteristikk når de beveger seg nedover kulpen. De vipper fremover og strekker seg. Dette skaper en mer vinklet form og mindre diameter på virvlene (figur 10).

Ved utgangsskråningen blir virvlene kortere da elvas dybde blir mindre. Utgangsskråningen bremser vannhastigheten og energien spres. Dette skaper en trykkgradient og akselerasjon av vannet som heves og styres sideveis mot bakevjen (figur 9) (Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1996; Thompson, 2004; Thompson, 2007). Utgangsskråningens effekt på virvlens intensitet og energi kan man se ved energilinjen (Thompson, 2007).



Figur 10. Virvlenes forandring i bevegelse mot utgangsskråning (Thompson, 2007; Reitan, 2011).

Erosjon forekommer når skjærstress i kulpens sentrum overgår partiklenes motstandskraft. Løftende krefter transporterer sediment og området preges av erosjon (Buffington et al., 2002; Hassan and Woodsmith, 2004; Thompson, 2006). Transportkapasiteten i kulpen er tilpasset mengden og partikkelstørrelsen til introdusert sediment, samt ruhet i elvebunnen (Buffington et al., 2002; Lisle, 1982).

Erosjonsgraden i kulpen er et resultat av forholdet mellom bakevje og kulpens lengde, sedimenttransportrate og vannføring (Goode and Wohl, 2007; Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1999; Thompson, 2002b; Lisle, 1982; Thompson et al., 1996). Erosjon er sterkere under breddefull vannføring enn ved lav vannføring hvor partikkelmobiliteten er begrenset (Thompson, 2002a). Utgangsskråningen kontrollerer bevegelse og massetransport til bakevje og vena contracta, og har sterk innvirkning på erosjonsraten i kulpen (Thompson et al., 1999; Thompson et al., 1998; Thompson et al., 1996; Thompson, 2004; MacVicar and Roy, 2007).

3.3 Morfologi i erosjonshull

3.3.1 Form

Det er en sterk kobling mellom vannføring og morfologi i en elv (Thompson, 2006). Når vannføring overstiger en visst nivå begynner en kulp å utvikle seg nedstrøms hindringen (Thompson and McCarrick, 2010). Vannets krefter styrkes med økt gradient og vannføring, og kulpers lengde og dybde utvikler og tilpasser seg i takt med dette og med sedimenttilgang (Lisle and Hilton, 1992). Hastigheten vil øke i grunne, korte og smale kulper på grunn av det smale tverrsnittet nedstrøms hindringen. Smalt tverrsnitt gir sterk erosjonskapasitet på et begrenset område (Thompson, 2002b). Dette gir større volum i kulpene gjennom forlenging eller økt dybde (Thompson, 2002b; Thompson et al., 1998). Utvikling av kulper er en måte for elva å senke hastighetene til jetstrømmene. Elva tilpasser energiforbruket og reduserer falltaptet i energilinen (Thompson, 2006). Kulpers lengde og dybde har et tett forhold, det finnes en likevektsbalanse mellom dem som vedlikeholder en stabil geometri (Thompson et al., 1998).

Forholdet mellom kulpers volum og vannføring er ikke fullt så enkelt som nevnt ovenfor. Med brattere gradient øker ikke nødvendigvis vannføring og hastighet. Dette fordi en bratt gradient gir bedre tilførsel av sediment og større ruhet i bunnen, som medfører kortere og dypere kulper (Goode and Wohl, 2007; Thompson and Hoffman, 2001; Thompson, 2002b; Wohl et al., 1993). Wohl påpeker elvers mulighet til å erodere som avgjørende for kulpers former (Wohl et al., 1993). Sedimenters litologi har en effekt på elvekanal, hydraulikk, og kulp-stryk mønster (Thompson, 2002b; Wohl et al., 1993). Samtidig kan ikke vannføring og gradient overses som viktige faktorer for kulpers form og utvikling av disse formene.

Utgangsskråningen har stor innvirkning på kulpers dybde og lengde (Thompson, 2002b). Heving av vannet ved utgangsskråningen er viktig for at kulpens dybde skal opprettholdes. Denne prosessen gjør det mulig å transportere sedimenter ut av kulpen. (Thompson, 2007; Thompson et al., 1998). Gradient og bredde ved utgangsskråningen kontrollerer sammenfallende strømningslinjer og turbulens, og påvirker dermed bakevjers styrke og hastighetene i kulpen (Thompson and Hoffman, 2001; Thompson, 2004; Goode and Wohl, 2007). Dette gjenspeiler en positiv respons mellom kulpens hydraulikk og geometri (Thompson et al., 1998). Utgangsskråningens innvirkning på bakevje og virvlenes intensitet, gjennom hastighetsforhold og krefter i utgangsskråningen, kontrollerer også prosesser som

forlenger kulper. Samtidig virker avsatte sediment i utgangsskråningen på kulpens lengde (Thompson, 2004; Goode and Wohl, 2007; Thompson et al., 1998; Thompson, 2007).

3.3.1.1 Dybde og lengde

Total dybde i en kulp er et resultat av erosjon og sedimentasjon (Thompson and Hoffman, 2001; Lisle, 1982). Med erosjon nedstrøms hindringen øker dybden og dermed tverrsnittsarealet. Økt dybde begrenser utviklingen av oppstrøms bakevje og pressgradient. Pressgradient fra bakevje kan fremme turbulens og øke helningen på energilinjen. Det økte tverrsnittsarealet medfører mindre turbulens, og falltap i energilinjen både oppstrøms og nedstrøms hindringen. Bakevjen nedstrøms hindringen er større enn bakevjen oppstrøms hindringen. Turbulensen er tilsvarende sterkere og får et større fall i energilinjen med økt tverrsnittsareal (Thompson, 2002b; Thompson, 2004). Erosjon med påfølgende økning av tverrsnittsareal i kulpen har liten effekt på energilinjen, som er knyttet til energipotensiale gjennom turbulens. Økt dybde er en respons på vannoverflategradienten som har innvirkning på erosjonen (Thompson, 2002b). Gjennomsnittlig gradient på elva har liten innvirkning på dybden, fordi utvikling av oppstrøms bakevje og vannoverflategradient er et resultat av vannføring og hindringens karakteristikk (Thompson et al., 1999; Thompson, 2002b). Samtidig kan lokal oppstrøms gradient ha en viss kontroll på vannoverflaten ved inngangsskråningen, og dermed erosjon i kulpen (Thompson, 2002b).

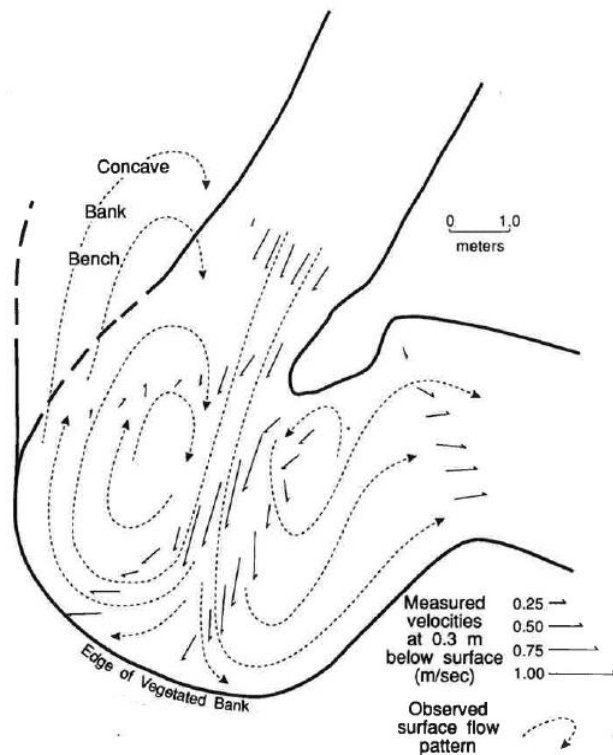
Forlenging av en kulp skjer som en reaksjon på at systemet forandres og elva forsøker å redusere energitap (Thompson, 2004). Overflategradienten ved nedstrøms ende av kulpen regnes som flat også når vannføringen er over breddefull (Thompson et al., 1999; Thompson, 2002b). Forlenget kulp senker vannoverflategradienten langs hele kulpen (Thompson et al., 1998). Forandret lengde på kulpen påvirker også lengden og styrken til bakevjen. Lengden til en kulp har stor effekt på jetstrømmer og virvler som fremkaller erosjon i kulpens sentrum (Thompson, 2006). For å utvikle sterkere og lenger bakevje må det overføres energi fra elvas strømmer (Thompson et al., 1998; Thompson, 2002b). Slik har energilinjen og vannføring et forhold til kulpers lengde (Thompson et al., 1998). Dersom vannføring og gradient øker vil kulpen forlenges, energiraten går ned, overflategradienten senkes og energilinjen faller (Thompson et al., 1999; Thompson, 2002b; Thompson, 2004; Thompson et al., 1998; Thompson and Hoffman, 2001).

Når kulper endrer seg er forholdet mellom forlenging og fordyping 10:1. Dette viser at morfologi i en elv tilpasser seg gradient og vannføring (Thompson, 2002b), fordi elva vil forsøke å minimere strømningskreftene (Yang, 1971). Forlengelse av kulper reduserer vannføringen, og fungerer som en naturlig omforming av energi (Yang, 1971; Thompson, 2004).

3.4 Dype kulper i elvesving

I en studie gjort i Buffalo, New York ble det påvist flere sirkulære kulper i krappe svinger i elveløpet Mansfield Creek. Kulpene var betydelig større og dypere enn kulper i mellomliggende rette strekninger, tross elvas slake løp. Elva renner gjennom morene, utvaskede sedimenter og sedimentær berggrunn. Kulpene i meandersvingene i elva ligger på glasiale avsetninger som silt og leire. Kohesivt materiale langs elvekanten er medvirkende for at cutoffs, som er vanlig i meandrerende elver, er mindre utbredt her. Dette resulterer i krappe elvesvinger (Andrle, 1994)

Andrle (1994) påpeker at erosjonshull skapes ved at vannstrømmene krysser elva og treffer det midterste partiet av yttersvingen. Strømningen treffer vinkelrett på den konkave elvekanten. Vannstrømmene deler seg. Deler av strømningen danner en reverserende motstrøm langs den konkave banken som graver frem en kulp oppstrøms i yttersvingen. Den øverste delen av motstrømmen bremses av den konkave elvekanten, som medfører avsetning av materiale. Den andre delen av vannstrømmene avbøyes tvers over kanalen mot nedstrøms side av den konvekse banken. Dette skaper erosjon i elvekanten og små motstrømmer i området (figur 11) (Andrle, 1994).



Figur 11. Strømningskastighetene ved elvesving i Mansfield Creek.
 Strømningen treffer vinkelrett på den konkave elvekanten som resulterer i reverserende strømning (Andrle, 1994).

3.5 Hindringens effekt på kulpers form

Hindringens form påvirker utvikling av vena contracta, og kontrollerer gradienten inn i kulpen (Thompson and Hoffman, 2001). Hindringen virker på konvergerende strømningslinjer og jetstrømmers styrke (Buffington et al., 2002; Thompson et al., 1998). Vidden oppstrøms og ved hindringen virker inn på hastighetene i kulpen, mens vidden i kulpens sentrum og ved utgangsskråningen påvirker bakevjes omkrets og styrke (Thompson and Hoffman, 2001). Hindringen har stor effekt på form, dannelse og vedlikehold av kulper, gjennom utvikling av jetstrømmer, bakevje, og turbulens. Mekanismene for erosjon i kulper er felles for alle typer hindringer. Men struktur på hindringen og dens effekt på erosjonsstyrke skiller seg mye mellom ulike typer hindringer (Buffington et al., 2002).

En bred hindring gir dypere kulper enn en smal hindring. Dette fordi en hindring som strekker seg ut i elva utvikler stor oppstrøms bakevje og øker vannoverflategradienten inn i kulpen. Dette øker vannhastigheten og det produseres sterkere jetstrømmer, konvergerende strømningslinjer, sterkere vena contracta og større bakevje (Buffington et al., 2002; Thompson et al., 1998; Thompson, 2002a; Thompson and Hoffman, 2001).

Lav gradient i elva utvikler lange kulper. En lang kulp har også en sammenheng med en lang hindring og kulpens sentrum har ofte stor omkrets (Thompson and Hoffman, 2001).

Vertikale hindringer går helt fra elvebunnen og opp til vannflaten. En lateral vertikal hindring er for eksempel en forbygning, mens en isolert vertikal hindring kan være brustolper. Vertikale hindringer fremmer mer erosjon enn andre typer hindringer, fordi vertikale hindringer dekker hele dybden av kanalen. Dette gir stort potensiale for utvikling av virvelstrømmer oppstrøms hindringen, og bakevje og erosjonshull nedstrøms hindringen (Buffington et al., 2002).

3.6 Teori

Teori er sentralt innenfor forskning og vitenskap. Mye forskning er basert på utvikling og testing av teorier (Rhoads and Thorn, 1996b). Teorier sees på som et rammeverk for ideer, hvordan vi skal gjennomføre forskning, hva vi skal se etter, og hva vi skal fokusere på. Det er en vanlig forestilling at det vi sanser og måler er virkelig når det er forbundet med teorier. Men teorier er ofte vanskelige å definere og forstå riktig (Inkpen, 2005). En vanlig oppfattelse er at når vi utbedrer teorier og modeller blir deres presentasjon av virkeligheten mer riktig. Forbedret og nyere teori beskriver virkelighet på en bedre måte enn eldre teorier. Nye teorier er bearbeidet og analysert bedre. Men om de er bedre enn de eldre teoriene er likevel ikke klart. Teorier henger sammen med endringer innenfor fagfeltet, og er nært knyttet til hvordan vi opplever virkeligheten og våre ideer om virkeligheten, ved det aktuelle tidspunkt (Inkpen, 2005).

Popper beskrev teorier som avgjørende for hva vi velger å observere og hvordan vi gjennomfører forskning (Richards, 2009). Rhoads & Thorn mener at alle observasjoner i en eller annen grad er påvirket og avhengig av teorier (Rhoads and Thorn, 1996a). Spørsmålet er om data mister sin objektivitet på grunn av teoriladet innsamling og testing, og om dette kan true den vitenskaplige objektiviteten (Inkpen, 2005). I følge Brown kan vi oppnå objektiv kunnskap og resultat tross teoriladet observasjon (Brown, 1995). Men to momenter kan påvirke resultatene: dersom undersøkelsesobjektet er påvirket av teorier som forskeren har akseptert, og dersom forskeren ignorerer element som går imot favoriserte teorier (Rhoads and Thorn, 1996a; Brown, 1995). Dette kan være en utfordring i denne oppgavens sammenheng. Observasjonene er gjennomført av andre, og jeg kan ikke vite om de har tatt hensyn til Browns to momenter. For min egen del er siste moment noe jeg må være

oppmerksom på. I oppgaven har jeg fokusert mye på teorier av Douglas Thompson, et fokus som kan oppfattes som snevert hvor Thompson favoriseres. Dette kan i følge Brown påvirke objektiviteten til oppgaven. Bakgrunnen for fokuset på Thompson er først og fremst at erosjonshull er lite forsket på. Thompson har skrevet mange artikler, og gjort flere felt- og laboratorieundersøkelser. Det foreligger lite litteratur om fenomenet erosjonshull. Det blir derfor vanskelig å finne annen relevant teori, og på grunn av dette er det naturlig at oppgaven tar utgangspunkt i Thompsons teorier.

3.7 Skala

Innenfor forskning i fysisk geografi eksisterer det ingen absolutt definert skala. Skala defineres av de enheter og elementer vi studerer. Skala varierer mellom forskning, hvor det er forskningen som definerer skala (Inkpen, 2005).

Scale linkage defineres som å overføre informasjon, forhold, modeller og regler fra en romlig eller tidsmessig skala til en annen. Dette kan være problematisk, da prosesser, metoder, teknikker, og måter å gjøre forskning på varierer mellom ulike skala. Representasjon ved en skala er ikke nødvendigvis en like god representasjon av virkeligheten ved en annen skala. Når vi går fra en skala til en annen forandrer studieelementet seg (Inkpen, 2005; Phillips, 2001; Phillips, 2004). Resultater, teorier og konklusjoner kan bli feil (Burt, 2005; Burt, 2009). Dette representerer en stor utfordring innenfor fysisk geografi, da det her er et stort behov for å overføre resultat mellom ulike skala.

Oppskalering, å overføre teorier og forklaringer fra lav til høyere skala, vil være et moment som må tas hensyn til i denne oppgaven. Eksempler på dette er resultater fra forskning på prosesser ved lav skala som benyttes for å forklare landformene ved større skala (Inkpen, 2005; Burt, 2009). Teorikapitlet er hovedsakelig hentet fra studier og forskning i mindre elver og i laboratorier. Gaula defineres som en storskala-elv. En slik oppskalering av teori og resultat fra liten til stor skala er ikke problemfritt (Burt, 2009). Med større skala vil de romlige enhetene bli større og beskrivelsene enklere.

For å forstå komplekse systemer kan det være nødvendig å se dem fra flere innfallsvinkler. Emergence er et mye brukt uttrykk, som sier at komplekse system er et resultat av flere interaksjoner. Vi må undersøke fenomen ved den skala vi er interessert i. Forklaringer er

avhengig av den skala vi undersøker (Harrison, 2005). De fenomen vi undersøker blir påvirket av ulike prosesser ved forskjellig skala. Vi kan ikke tolke noe på en skala med forklaringer fra en annen skala (Harrison, 2005). Dette er en utfordring i oppgaven, da teorier og definisjoner er hentet fra litteratur fra mindre skala, og det eksisterer lite litteratur som tilsvarende skala i Gaula.

4 Metode

Arbeidet med denne oppgaven er hovedsakelig basert på data innsamlet av andre personer, og andre typer sekundærdata. Problemstillingen ble utarbeidet med datamaterialets eksistens som utgangspunkt.

4.1 Accoustic Doppler Current Profiler

Datamaterialet kommer fra en tidligere undersøkelse gjort i Gaula i 2007-2008. Hydra Team gjorde målinger av elvekanalen på oppdrag fra NTNU og NVE (Fjelstad, 2007). I arbeidsbeskrivelsen stod det beskrevet at Hydra Team skulle måle djupålen fra 200 meter nedenfor Gaulfossen til utløpet ved Gaulosen. Arbeidet skulle gjennomføres under lav vannføring, og der det ble oppdaget dype kulper skulle det foretas en tverrsnittsprofilering (Fjelstad, 2012a). På grunn av sarr og is i elva var det ikke mulig å gjennomføre oppmåling langs hele strekningen. Oppmålingen ble gjort fra nedstrøms Gaulfossen til Udduvoll bru (figur 12) (Fjelstad, 2007).

Målingene ble gjennomført med Accoustic Doppler Current Profiler (ADCP) og GPS (Fjelstad, 2007), som målte djupålen langs strekningen (figur 12). Ut fra dette ble det laget en lengdeprofil av elva. Denne var utgangspunktet for videre arbeid. Ved lokaliteter med fremtredende dype kulper ble det laget tverrprofiler, med 3-5 profiler ved hver lokalitet (Fjelstad, 2007).

ADCP måler vannføring, dybde, hastighet og turbulens i elva. Fra et bevegelig fartøy registrerer ADCP resultat fra målingene gjennom akustikk, ved hjelp av lydbølger (Muste et al., 2004; Fjelstad, 2007; Gunawan et al., 2010). ADCP senkes like under overflaten og beveges over den aktuelle strekningen. Lydutbrudd sendes fra fire signalkonvertere (Whiting, 2003; Dalkin and Spain, 2006). Signalene fanger opp ekko fra partikler i vannstrømmene og langs elvebunnen, som sendes tilbake til ADCP mottakeren (Whiting, 2003; Dalkin and Spain, 2006). Metoden er tidsparende og gjør det mulig å måle lokaliteter hvor bruk av tradisjonelle måleapparat ville vært dyrt eller upraktisk (Muste et al., 2004).

Målingene og koordinatene ble registrert ved hjelp av GPS og EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) navigeringssystem. Dette er et veldig presist verktøy, hvor nøyaktigheten er bedre enn 1 meter, og ved særs gode forhold kan påliteligheten være på centimeternivå. Mottakerforholdene for GPS i Gaula ble karakterisert som gode, og i tillegg ble alle data kontrollert og støy fra dårlig mottakerforhold ble fjernet (Fjelstad, 2007). Geodimeter tok utgangspunkt i kjente høyder langs elva og målte vannspeilet, som fungerte som referansepunkt for dybdemålingene med ADCP. Samlet gir dataene en bra oversikt over bunnforhold i elva (Fjelstad, 2007), og resultatene gir en god forståelse kulpers lengde, dybde og form langs elvestrekningen.



Figur 12. Strekningen Gaulfoss - Udduvoll bru hvor målingene ble gjennomført (NVEAtlas, 2012).

4.2 Feltarbeid

Fredag 23. mars 2012 var jeg på befaring ved lokalitet Sjetnhølen i Melhus kommune. Bakgrunnen for dette feltarbeidet var usikkerhet om kulpen ved Sjetnhølen var skapt av en hindring eller ikke. Feltarbeidet gikk ut på å undersøke hva elvebredden langs yttersvingen var oppbygd av, og om elvekanten begrenset og styrte vannstrømmene. Dette var en enkel observasjon uten oppmålinger eller bruk av annet utstyr og metoder. Observasjonen ble dokumentert med bilder og video.

4.3 Sekundærdata

Kartdata

Kart er en viktig kilde til datamateriale, og gir en god visuell fremstilling av elvekanalen gjennom ulike temavariabler. Norge Digitalt er en god kilde til ulike temadata som har blitt lastet ned og arbeidet videre med i dataverktøyet Gemini entreprenør og terreng (PowelGeminiAS, 2012). Eksempler på slike data er oversikt over elveforbygningene, terreng, elvas utforming osv. Gemini er et 3D verktøy hvor man kan arbeide med planlegging, prosjektering, modellere, og gjøre beregninger som for eksempel massevolum.

Gemini ble brukt for å finne svingradius (kapittel 6.2) ved aktuelle svinger hvor dype kulper ble lokalisert (vedlegg A). I Gemini ble det laget en avrundet linje som fulgte hver enkelt elvesving. Ortofoto fra Norgebilder (datert 2009) var bakgrunnskartlag. Ortofoto viser ved hjelp av mørke og lyse farger hvor djupålen går i svingen. Linjen laget i Gemini fulgte djupålen. De prosjekterte linjenes radius ble korrelert til å gjenspeile elvesvingens radius.

Flybilder

Flybilder fra ulike perioder har vært en viktig kilde i arbeidet med oppgaven. De har gitt en god forståelse av endringene som har skjedd langs og i elva, i løpet av en 50-års periode. Bilder fra Melhus kommune sin nettside viser elvas utforming i 1956. Flybildene ble tatt av Widerøes Flyselskap den 11, 24 og 25. august 1956 (StatensKartverk, 2012). Bildene fra 2009 ble hentet fra Norgebilder, og ble tatt av Terra Tec AS den 5. juli 2009 (Norgebilder, 2012). Av NVE Region Midt har jeg fått kopi av bilder av Gaula fra 1947 og 1988. Bildene fra 1947 er tatt av Widerøes flyselskap den 18. august 1947 (StatensKartverk, 2012). Flyfoto fra 1988 ble tatt 3. august av Norsk luftfoto og Fjernmåling (StatensKartverk, 2012). Alle bildene ble tatt på oppdrag av Statens kartverk (Norgebilder, 2012; StatensKartverk, 2012). Bildene er

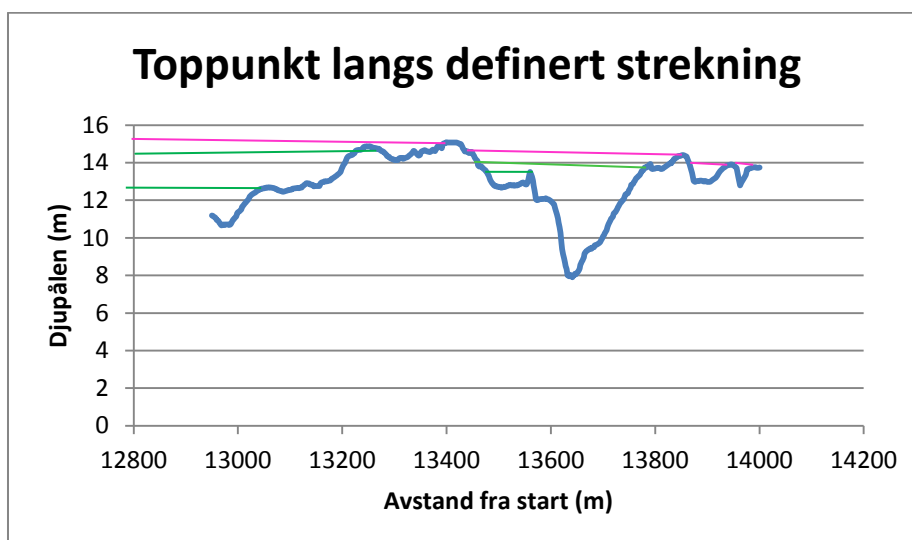
aktuelle for å forstå og analysere ytre faktorerers påvirkning på Gaula, som erosjonssikringer og grusuttak, samt elvas naturlige forandringer. Samlet gir bildene en god oversikt over endringer som har skjedd i Gaula, og sett sammen med andre faktorer beskrevet i oppgaven kan det være mulig å forstå og eventuelt forklare denne utviklingen.

4.4 Analyse av lengdeprofilen

Toppunkt

Toppunktene markerer start og slutt på en kulp, og definerer kulpens utbredelse. Grafer som viser 1 km av elvestrekningen fungerer som en visuell fremstilling av elva, og brukes for å finne toppunktene i elva. Ved null vannføring vil vannet samles opp i kulpene.

Grafene viste høydeforskjellene nedover elva, og det var dermed enkelt å markere toppunktene langs djupålen. Noen av toppunktene som ble markert hadde mindre høyder enn toppunkt lenger nedstrøms. Disse lavere høydene er ikke toppunkt som markerer en kulp, men mindre topper innenfor kulpene. Figur 13 visualiserer dette: Grønne streker ble markert som toppunkt i den visuelle fremstillingen fra grafen. Men på grunn av høyere toppunkt lenger nedstrøms (rosa strek) defineres de grønne toppunktene som mindre variasjoner innenfor kulpene. De mindre kulpene med rosa streker er toppunkt som forble markert da toppunktene lenger nedstrøms var lavere.



Figur 13. Toppunkt ved djupålen langs en definert strekning. Noen toppunkt ble markert og definert som en kulp (rosa strek), mens andre lavere høyder ble forkastet som toppunkt (grønn strek).

Definisjon: Kulp

Eksisterende litteratur er lite entydig når det gjelder definisjon av hva en kulp er. Lisle skrev i 1987 at en kulp er alle strekninger som har en restdybde større enn null (Lisle, 1987), noe som er en veldig åpen og lite tydelig definisjon. En mye brukt definisjon på en kulp er en nedsenkning som dekker hoveddelen av kanalen og har en horisontal vannflate under lav vannføring (Lisle and Hilton, 1992). Under oppmålingen av Gaula og tverrsnittsprofileringen hadde man en oppfatning av at kulper er dypere partier med en terskel i utløpet, uten videre begrensning av definisjonen (Fjelstad, 2012b). I innledningen definerte jeg en kulp som en nedsenkning som har en horisontal vannflate under lav vannføring.

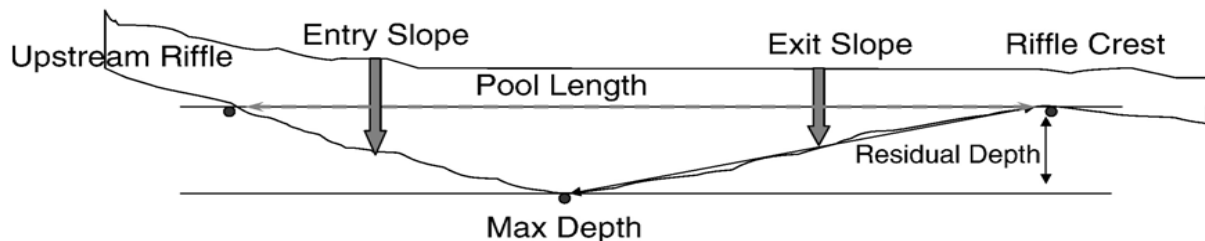
Oppmålingen av djupålen viste at Gaulas elvebunn består av variasjoner av ulik skala. Disse formene er et resultat av strømningsforhold, erosjon og ruhet. Basert på hypotesen er denne oppgavens fokus de største kulpene. Jeg velger derfor å ikke fokusere på de mindre kulpene, med store lange eller veldig små former. Jeg velger å se nærmere på større og mer ekstreme kulper. Dette er kulper med dybde det dobbelte av gjennomsnittlig restdybde (se neste delkapittel), og lengde som er minst like stor som elvas bredde. Med dette vil de grunneste, slakeste og minst fremtredende kulpene i Gaula elimineres for videre analyse.

Måling av hele elvas bredde ble ikke gjort under arbeidet til Hydra Team. Det er laget tverrprofiler ved noen av de dypeste kulpene, men tverrprofilene dekker ikke alltid hele tverrsnittet (vedlegg B). I Gemini laget jeg et kartlag over Gaula utbredelse, hentet fra Norge digitalt (Statens kartverk). Et polygon av elva viser dens areal langs strekningen. Arealet ble dividert med lengden mellom Gaulfossen og Udduvoll bru. Lengden på denne strekningen tilsvarer lengden på oppmåling av djupålen gjennomført av Hydra Team.

Restdybde og restlengde

Dybden til en kulp er avhengig av nedsenkning og vannføring under målingen. For at kulpens dybde skal kunne sammenlignes, må dybdene måles under lik vannføring. Dette er vanskelig å gjennomføre (Lisle, 1987). En mye brukt metode for å beregne kulpers dybde i en elv er residual pool depth, heretter kalt restdybde (Lisle, 1987). Restdybde defineres som høydeforskjell mellom kulpens dypeste punkt og nedstrøms toppunkt, ved null vannføring (figur 14) (Lisle, 1987; Goode and Wohl, 2007). Metoden er god fordi den beregner dybden til en kulp uten påvirkning av vannføring (Lisle, 1987).

Restlengde er forskyvning langs en horisontal linje mellom toppen på inngangsskråningen og nedstrøms toppunkt, ved null vannføring (figur 14). Punktet som regnes som toppen på inngangsskråningen er det punktet som ligger på samme høydenivå som nedstrøms toppunkt (Zimmermann et al., 2008).



Figur 14. Restdybde og restlengde i en kulp (Goode and Wohl, 2007).

Inngangsskråning og utgangsskråning

Goode og Wohl (2007) definerer inngangsskråningen til en kulp som en strekning fra oppstrøms toppunkt til kulpens maksimumsdybde, jamfør figur 14. Utgangsskråningen defineres som strekningen mellom det dypeste punktet i kulpen og nedstrøms toppunkt. Metoden er objektiv, lett anvendelig, og mye brukt innenfor forskning på kulper.

Problemet med definisjonene er at skråningene dekker hele området mellom oppstrøms- og nedstrøms toppunkt, uavhengig om dette er en helning eller ikke. Lengdeprofilene (Vedlegg G) viser eksempler på at kulpene ikke har en jevn form som kulpene ved andre forskningsprosjekter. Eksempler er lengdeprofil av kulpene undersøkt av Thompson (1998, 1999) og Goode og Wohl (2007). Jeg tolker de ujevne lengdeprofilene som et resultat av at erosjonen ikke har gravd frem hele strekningen av kulpen. Dette skyldes trolig grovere sediment eller andre ruhetselement i elvebunn som hindrer jevn erosjon over hele kulpen (Wohl et al., 1993). Med definisjonene ser vi hele kulpen som en og samme kulp, hvor hindringen har skapt hele forsenkningen under vannspeilet.

Gradienten til en skråning inn eller ut av en kulp er høydeforskjell mellom startpunktet og dypeste punkt, eller mellom dypeste punkt og sluttpunktet, delt på avstanden mellom de to punktene. Det er verdt å merke seg at gradientene har forskjellige fortegn.

Inngangsskråningen får en positiv verdi mens utgangsskråningen blir negativ. Resultatet gir en gjennomsnittlig gradient langs den aktuelle skråningen. Dette kan benyttes til å

sammenligne gradientene mellom skråningene, og undersøke om det eksisterer et mønster mellom gradient og de ulike kulpene.

Definisjon erosjonshull

Basert på definisjonen av erosjonshull i kapittel 1.1, fortolker jeg at erosjonshull i Gaula har en mer ekstrem form enn selvutviklede kulper. Erosjonskreftene skapt av hindringen resulterer i dypere og mer ekstreme kulper enn de selvutviklede kulpene. I analysen ser jeg derfor på kulpene som er dypere enn en gjennomsnittlig kulp, og antar at disse er erosjonshull.

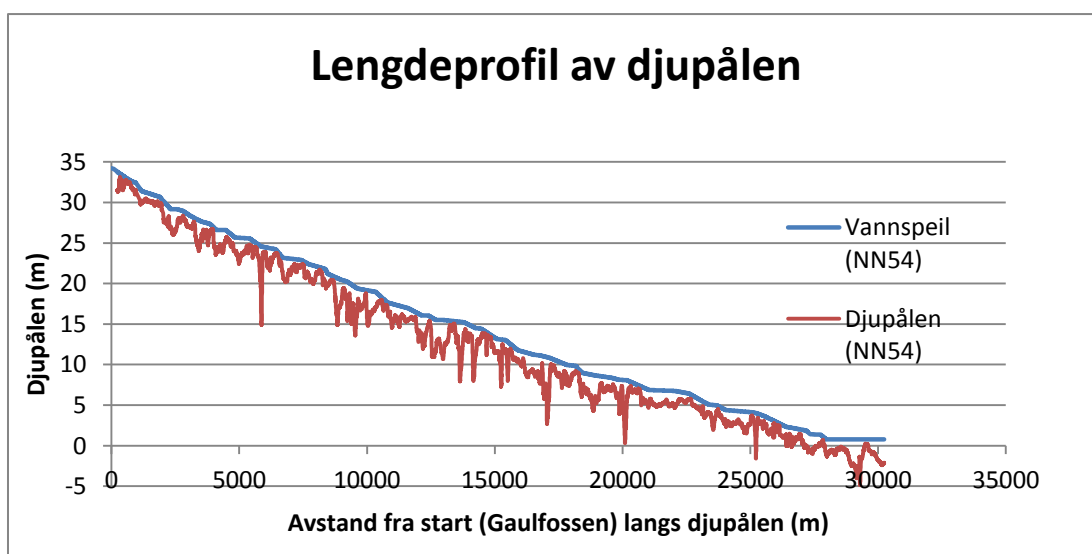
Korrelasjon

Korrelasjon viser retningen og styrken på forholdet mellom to variabler. Men den viser ikke hvilken av variablene som er den avhengige eller uavhengige (Bryman and Cramer, 2009). Spredningsdiagram tegner inn alle punkt som representerer et sammenfall mellom de to variablene (Bryman and Cramer, 2009). Punktene tetthet i diagrammet indikerer hvor sterkt forholdet er. Videre beregnes korrelasjonskoeffisient persons r for datamaterialet. Persons korrelasjonskoeffisient forteller hvor sterk korrelasjonen er, og hvilken type korrelasjon vi står ovenfor. Skillet mellom hva som er svak og sterk korrelasjon må sees i sammenheng med det som undersøkes, og forventet korrelasjon (Johannessen, 2007). I denne oppgaven følger jeg en tommelfingerregel som sier at en korrelasjonskoeffisient under 0,19 er veldig lav, 0,20 – 0,39 er lav, 0,40 – 0,69 er respektabel, 0,70 – 0,89 er høy og alt over 0,90 er veldig høy (Bryman and Cramer, 2009). Målene er likevel bare indikasjoner på hvordan man bør se på korrelasjonen, og trenger ikke følges helt regelrett (Bryman and Cramer, 2009).

5 Resultat

5.1 Lengdeprofil av djupålen

Med utgangspunkt i lengdeprofilen fra måling av djupålen kan vi finne aktuelle kulper i de nedre delene av Gaula. Figur 15 viser uregelmessige forhøyninger og nedsenkninger i elvebunnen i forhold til havnivå. Elvebunnen har variasjoner mellom -5 m (under havnivå) til 35 m.



Figur 15. Målt lengdeprofil langs djupålen mellom Gaulfossen og Udduvoll bru.

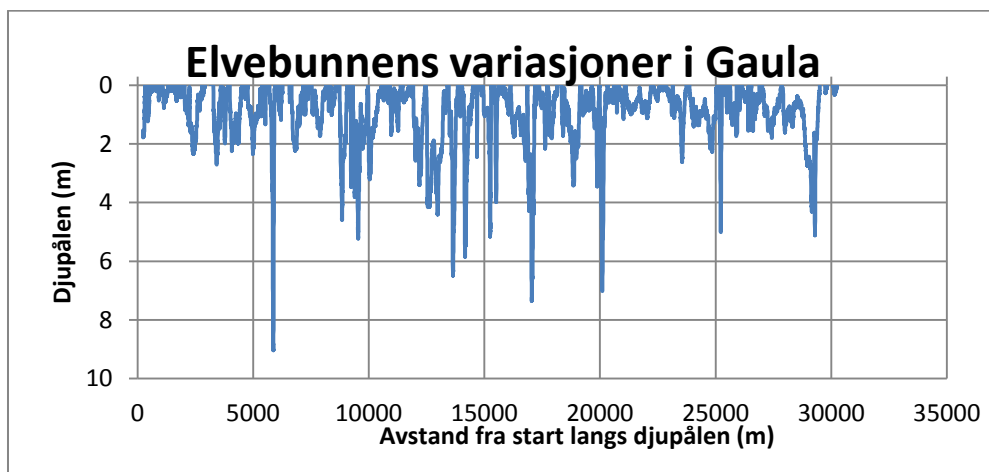
Kulper mellom Gaulfossen og Udduvoll bru

I motsetning til figur 15 som visualiserer nedsenkning i forhold til høyde over havet, viser figur 16 den reelle dybden i elvebunnen. Grafen er litt ekstrem i sin fremvisning, da dybde visualiseres bedre enn lengde.

Gjennomsnittlig restdybde langs strekningen er 0,95 m, og gjennomsnittlig bredde på elva er 105 m. Ut fra mine utvalgsriterier (kapittel 4.4) vil dette si at kulper som er dypere enn 1,9 m og lenger enn 105 m defineres som kulper dypere enn gjennomsnittet. Definisjonen gir 25 kulper mellom Gaulfossen og Udduvoll bru (Tabell 2).

Gjennomsnittlig restdybde på de 25 kulpene er 4,22 m. Ut fra denne grenseverdien kan elleve av de 25 kulpene defineres som erosjonshull (figur 17, figur 18). Dette er likevel bare basert

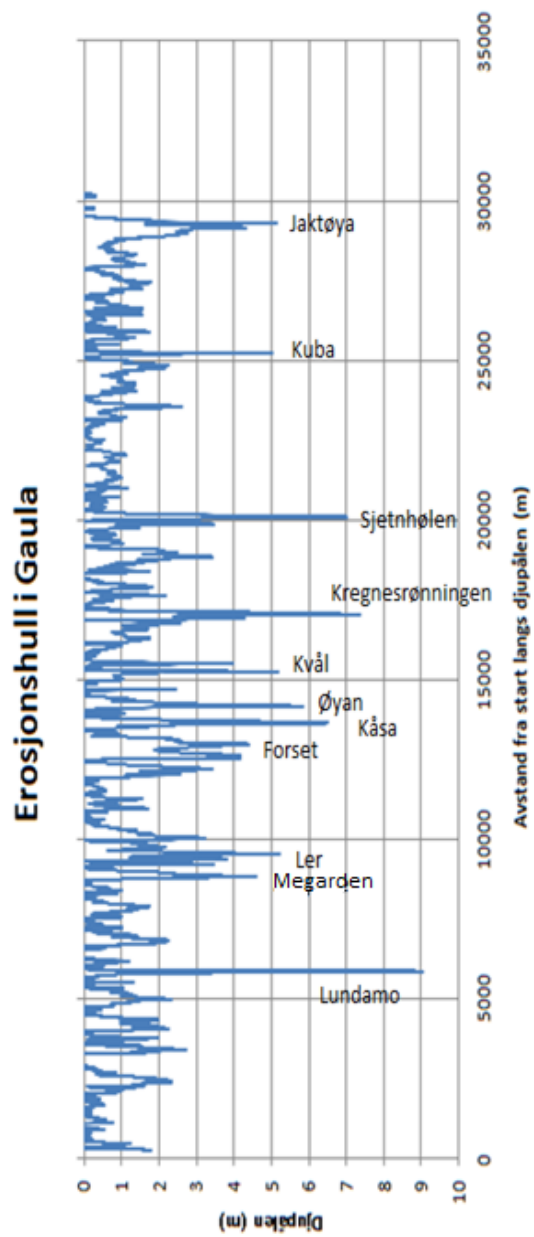
på kulpenes dybde og lengde, uten hensyn til om kulpene er skapt av en hindring. Dette kommer jeg inn på i diskusjonskapitlet.



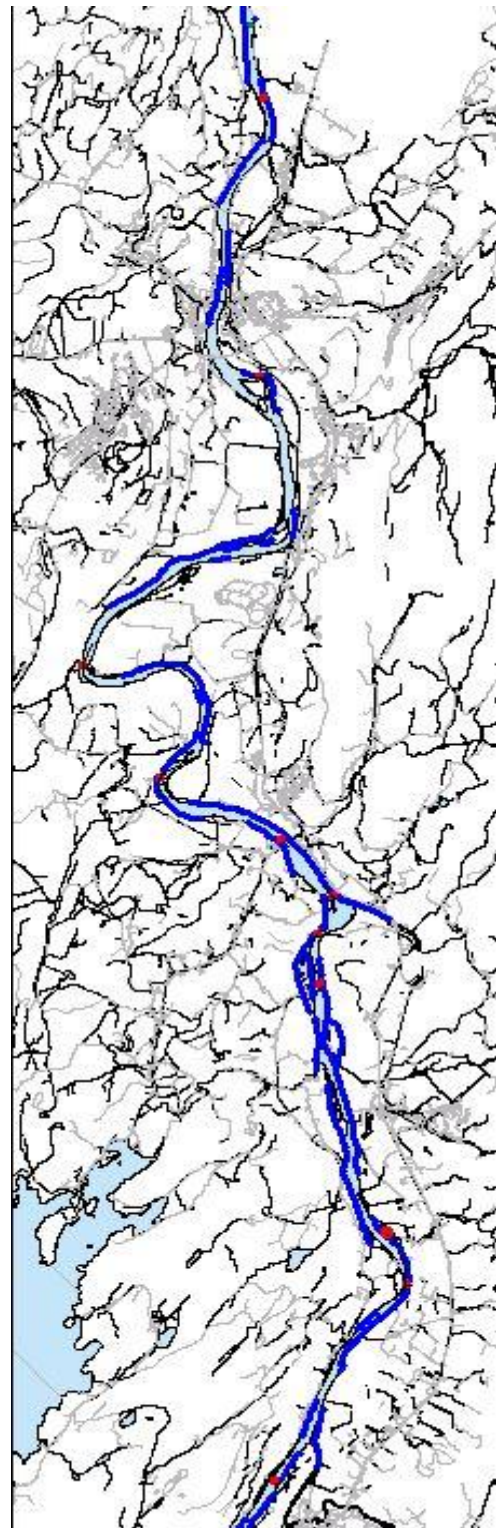
Figur 16. Elvebunnens variasjoner i Gaula utregnet ved hjelp av restdybde og restlengde.

Tabell 2. De 25 kulpene langs strekningen Gaulfossen - Udduvoll bru.

UTM, Sone 32N (ETRF 89)		Rest dybde	Rest lengde
Koordinat E	Koordinat N		
562584,07	7001124,47	2,34	763
562950,43	7001998,14	2,71	641
563533,73	7002225,89	2,25	522
563797,53	7003066,50	2,35	619
564292,18	7003760,85	9,04	256
564699,99	7004550,66	2,24	506
565778,97	7006163,58	4,59	357
565712,89	7006545,18	3,47	165
565563,69	7006795,66	5,23	647
565223,44	7007147,59	3,21	595
564795,50	7009086,45	3,41	516
564808,02	7009828,86	4,41	928
564784,15	7010437,15	6,49	401
564963,94	7010893,69	5,85	562
564362,17	7011576,78	5,17	369
564198,59	7011752,53	3,98	213
563044,40	7012118,26	2,58	717
562992,36	7012349,39	7,36	347
563168,56	7013733,21	3,42	839
562199,45	7013543,39	3,45	323
562123,17	7013704,26	7,02	345
564468,13	7015646,41	2,62	583
564252,75	7016915,98	2,27	1214
564129,63	7017225,61	5,01	187
564179,53	7020625,34	5,12	1644



Figur 17. Dype kulper langs strekningen Gauffossen – Udduvoll bru.



Figur 18. Kulpenes lokalisering (rød sirkel) og NVEs forbygninger (blå linjer) mellom Gauffossen og Udduvoll bru.

5.2 Lengde og dybde

Forholdet mellom kulpers lengde og dybde er av interesse for å få en oppfatning av kulpers geometri. Lengde/dybde forholdet viser til kulpens form: Dersom dybden er stor og lengden liten har vi en ekstrem form, mens liten dybde og stor lengde gjenspeiler mindre ekstreme kulper (tabell 3). De mest ekstreme formene gir lave forholdstall, mens høye forholdstall gir beskjedne former. Med utgangspunkt i Andrles undersøkelser om erosjonshull i krappe svinger i Mansfield Creek, New York (1994), kan vi forvente at kulper som befinner seg i elvesvinger er dypere enn kulper langs en rett strekning i elva.

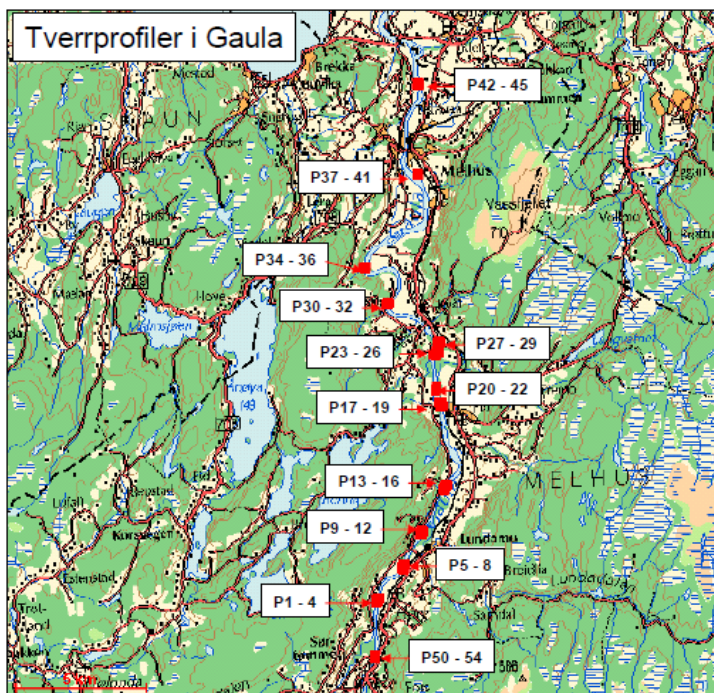
Tabell 3. De elleve dype kulpene og deres lengde, dybde, lengde/dybde forhold, samt deres lokalisering i elvesving eller rett strekning.

Kulp	lengde	dybde	lengde/dybde	terreng
Lundamo	256	9,04	28,32	rett
Megarden	357	4,59	77,78	sving
Ler	647	5,23	123,71	rett
Forset	928	4,41	210,43	rett
Kåsa	401	6,49	61,79	sving
Øyan	562	5,85	96,07	sving
Kvål	369	5,17	71,37	rett
Kregnesrønningen	347	7,36	47,15	sving
Sjetnhølen	343	7,02	48,86	sving
Kuba	187	5,01	37,33	sving
Jaktøya	1644	5,12	321,09	rett

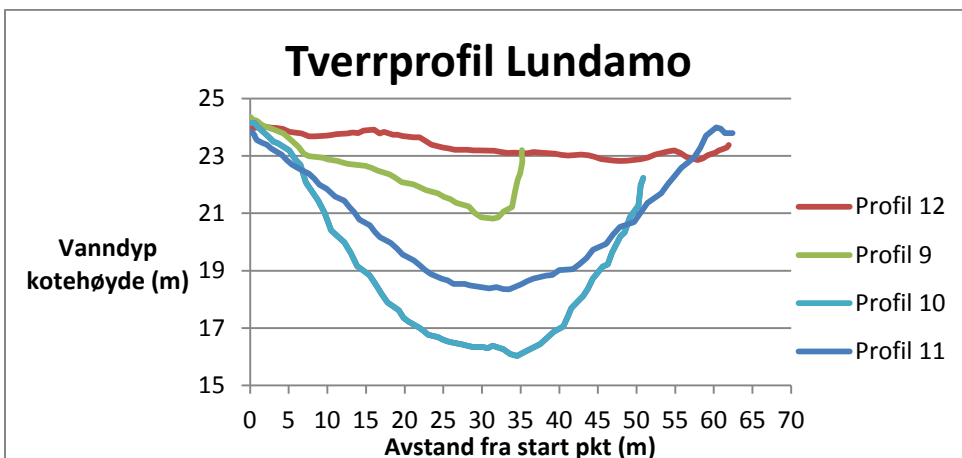
5.3 Tverrprofiler

Hydra Team målte tverrprofiler ved 54 profiler, fordelt over åtte forskjellige lokaliteter. Tverrprofilene ble målt der Hydra Tema kom over dype kulper under oppmålingen, se figur 19.

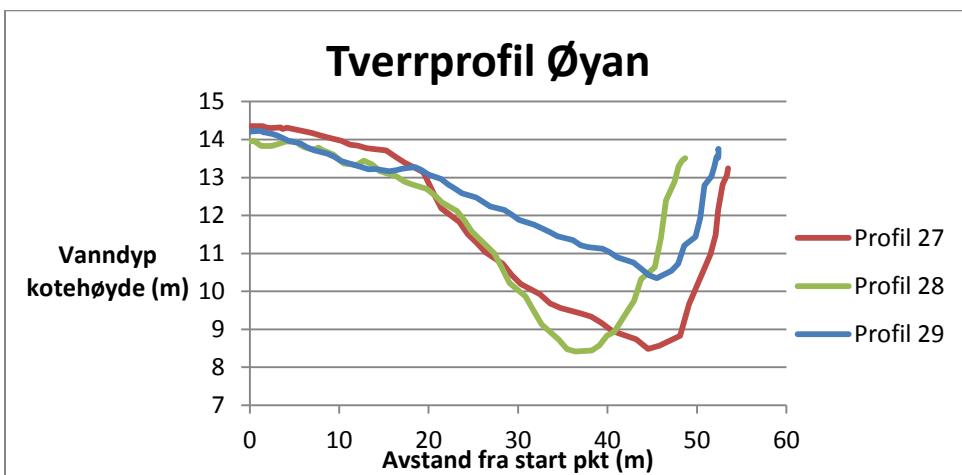
Undersøkelse av de oppmålte tverrprofilene kan være interessant for å få en forståelse av kulpenes former, erosjon i kulpen, og eventuelle hindringer. Jeg vil her se nærmere på to av kulpene: Lundamo og Øyan (figur 19, figur 20). Jeg velger disse kulpene fordi Lundamo er den dypeste kulpen med mest ekstrem form, mens Øyan ligger nærmest gjennomsnittet både ved dybde, lenge og dybde/lengde (tabell 3). De to kulpene kan representere forskjellige former; en gjennomsnittlig og en ekstrem kulp. Lundamo er lokalisert langs en rett strekning og Øyan i en elvesving. Jeg vil gå videre inn på de to kulpene og deres tverrprofiler i analysekapitlet. De resterende tverrprofilene ligger i vedlegg C.



Figur 19. Lokalitetene hvor Hydra Team har gjennomført tverrsnittprofileringer (Fjelstad, 2007).



Figur 20. Tverrprofilene 9-12 målt av Hydra Team ved en dyp kulp ved Lundamo (Vedlegg b).



Figur 21. Tverrprofilene 27-29 målt av Hydra Team ved en dyp kulp ved Øyan (Vedlegg b).

5.4 Inngangs- og utgangsskråning

Tabell 4 og tabell 5 viser gradient på inngangs- og utgangsskråning i de ulike kulpene.

Kulpene er vist fra lokalisering oppstrøms til nedstrøms i elva, for å kunne vise et eventuelt mønster.

Tabell 4. Høydeforskjell mellom dypeste punkt og punktet ved inngangen, inngangsskråningens lengde og gradient.

Kulp	Høydeforskjell	Lengde	Gradient
Lundamo	9,08	175	0,052
Megarden	4,62	110	0,042
Ler	5,24	224	0,023
Forset	4,43	498	0,009
Kåsa	6,5	189	0,034
Øyan	5,86	213	0,028
Kvål	5,19	315	0,016
Kregnesrønningen	7,36	186	0,040
Sjetnhølen	7,04	118	0,060
Kuba	5,01	105	0,048
Jaktøya	5,39	1438	0,004

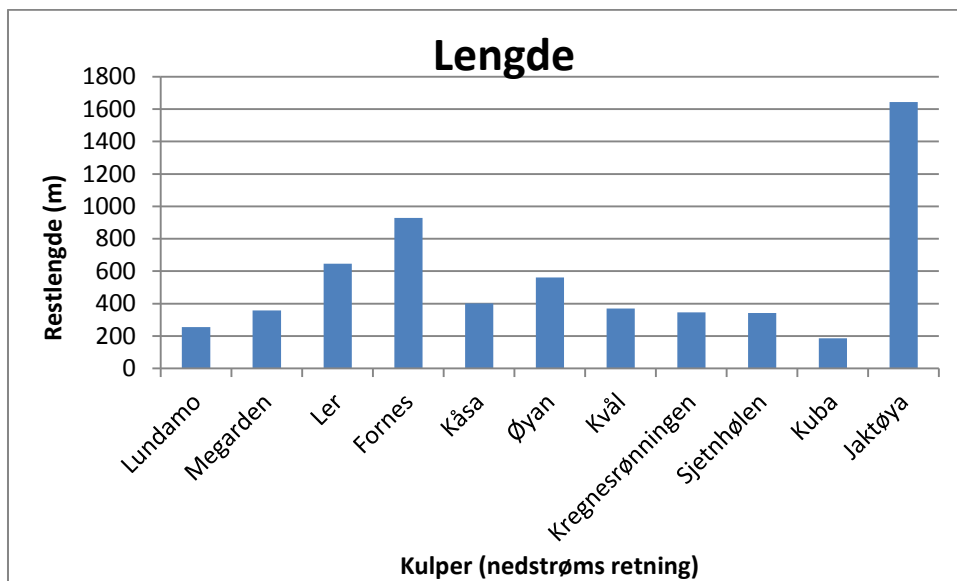
Tabell 5. Høydeforskjell mellom dypeste punkt og punktet ved utgangen, utgangsskråningens lengde og gradient.

Kulp	Høydeforskjell	Lengde	Gradient
Lundamo	-9,04	81	-0,112
Megarden	-4,59	246	-0,019
Ler	-5,23	423	-0,012
Forset	-4,41	430	-0,010
Kåsa	-6,49	212	-0,031
Øyan	-5,85	349	-0,017
Kvål	-5,17	54	-0,096
Kregnesrønningen	-7,36	161	-0,046
Sjetnhølen	-7,02	225	-0,031
Kuba	-5,01	81	-0,062
Jaktøya	-5,12	207	-0,025

6 Analyse

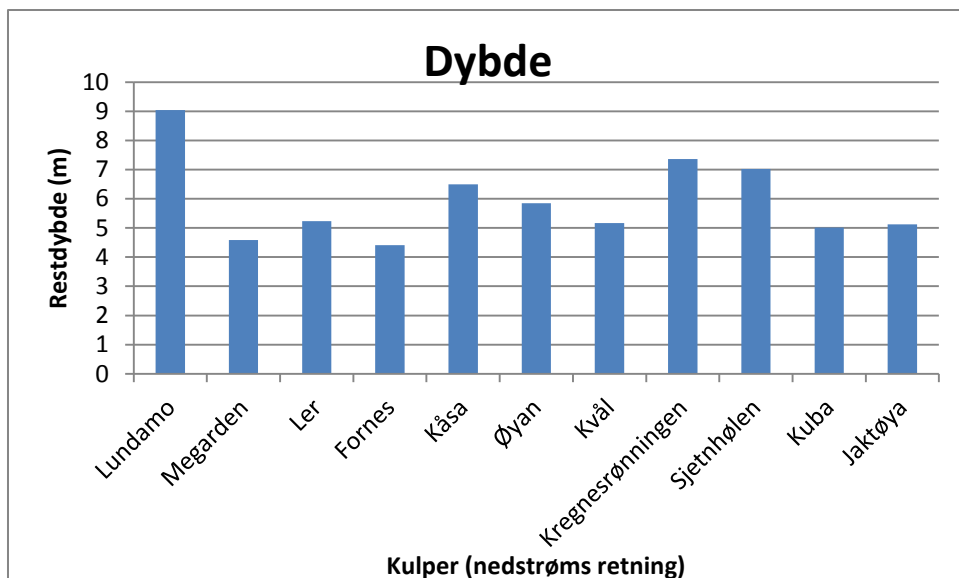
6.1 Lengde-dybde forhold

Forholdet mellom lengde og dybde er ikke konsekvent, jamfør histogram over de to variablene. Kulpes lengst oppstrøms, Lundamo, har liten lengde. Kulpes lengde nedstrøms øker frem til en topp ved Forset (figur 22, Tabell 3). Deretter synker lengden på kulpene før den igjen øker kraftig ved Jaktøya.



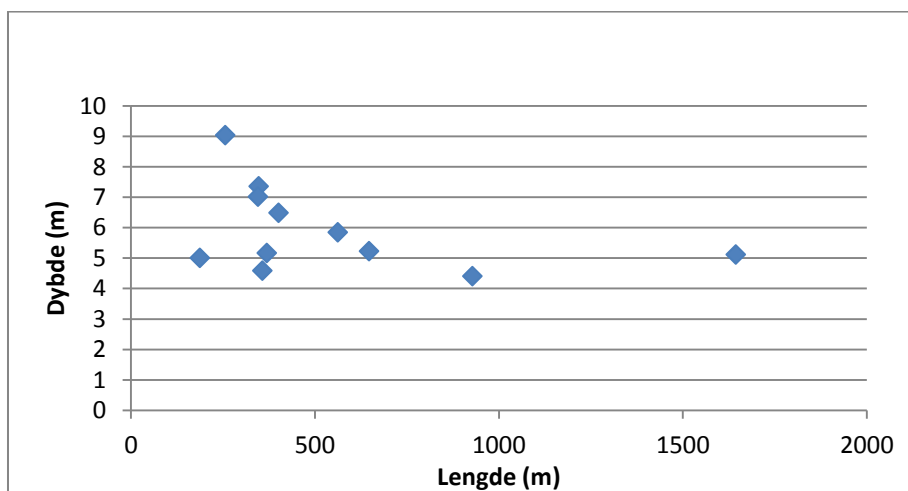
Figur 22. Kulpes lengde i nedstrøms retning.

Dybden ved Lundamo er stor. Kulpes dybde langs strekningen har store variasjoner og svingninger, med toppunkt ved Lundamo, Kåsa og Kregnesrønningen (figur 23). Det eksisterer ikke noe eksakt mønster for hvordan dybden forandrer seg i nedstrøms retning. Histogrammene viser ikke et motsatt forhold mellom kulpes lengde og dybde, hvor en kulp har liten stolpehøyde ved den ene variabelen, og stor stolpehøyde ved den andre.



Figur 23. Kulpenes dybde i nedstrøms retning.

Spredningsdiagrammet over kulpenes lengde og dybde viser punkter med noe spredning (figur 24). Kulpen som skiller seg ut er Jaktøya, som er den lengste kulpen. Denne kulpen er en uteligger i diagrammet. Dersom vi ser bort fra Jaktøya i diagrammet er det tendenser til at punktene synker mot høyre.



Figur 24. Spredningsdiagrammet viser sammenhengen mellom kulpenes lengde og dybde.

En undersøkelse av lengde- og dybdeverdiene ved de enkelte punktene sammen med gjennomsnittlig dybde og lengde gir tre grupper kulper, tabell 6. Tabell 6 stemmer overens med tabell 3 som viser kulpenes former som ekstrem eller lite ekstrem.

Tabell 6. Kulpenes former. Gruppert ut fra gjennomsnittlig lengde og dybde.

	Dyp kulp	Grunn kulp	Lang kulp	Kort kulp
Lundamo	x			x
Megarden		x		x
Ler		x	x	
Forset		x	x	
Kåsa	x			x
Øyan		x	x	
Kvål		x		x
Kregnesrønningen	x			x
Sjetnhølen	x			x
Kuba		x		x
Jaktøya		x	x	

I følge tabell 6 eksisterer det ikke et helt konsekvent mønster hvor de dype kulpene er korte og de lange er grunne. Lundamo, Kåsa, Kregnesrønningen og Sjetnhølen er dype kulper med liten lengdeutstrekning. Ler, Forset, Øyan og Jaktøya er lange og grunne kulper. Megarden, Kvål og Kuba er korte og grunne kulper.

Korrelasjonskoeffisienten mellom variablene lengde og dybde er -0,39238. Denne negative korrelasjonen påpeker at det er et motsatt forhold mellom de to variablene. Når den ene variabelen er høy er den andre lav. Histogrammene visualiserte ikke noe forhold mellom kulpers dybde og lengde, mens tabell 6 viste et mønster med enkelte unntak. Korrelasjonen tilsier at det er en samvariasjon mellom kulpers lengde og dybde.

6.2 Kulper i rett og svinget strekning

Av de fem dypeste kulpene ligger fire av dem, Sjetnhølen, Kregnesrønningen, Kåsa og Øyan i en elvesving (Tabell 3). Lundamo regnes også som en dyp kulp, men ligger langs en rett strekning av Gaula. Megarden og Kuba ligger i elvesving, men defineres som grunne kulper.

Kulpenes lokalisering i sving eller rett strekning viser et mønster i forhold til kulpenes former som ekstreme eller ikke ekstreme. Kulper som ligger i elvesvinger i Gaula har mer ekstreme former enn kulper som ligger langs en rett strekning. Av de fem mest ekstreme formene (Tabell 3), er samtlige med unntak Lundamo lokalisert i en elvesving. Fire av seks kulper klassifisert med mindre ekstreme former ligger langs en rett strekning i elva. Øyan og Megarden er unntakene som ligger i elvesving. Dette viser en viss sammenheng mellom

kulpenes geometri og deres lokalisering i rett eller svinget elveløp. En elvesving medfører med enkelte unntak dypere og mer ekstreme kulper.

Kulpenes geometri og svingers krapphet

Tabell 7 viser kulper som er lokalisert i en elvesving og deres svingradius (Vedlegg A).

Kulpen ved Megarden ligger i den slakeste svingen, mens kulpen ved Kuba er lokalisert i den krappeste svingen. Det er ingen konsekvent sammenheng mellom kulpenes geometri og svingradius.

Tabell 7. Kulper som er lokalisert i en elvesving og deres svingradius, kulpenes dybde og lengde.

Kulp	Svingradius (m)	lengde	dybde	lengde/dybde
Megarden	344	357	4,59	77,78
Kåsa	303	401	6,49	61,79
Kregnesrønningen	162	347	7,36	47,15
Sjetnhølen	147	343	7,02	48,86
Øyan	107	562	5,85	96,07
Kuba	85	187	5,01	37,33

Pearsons r korrelasjonskoeffisient mellom svingradius og kulpers dybde er -0,22.

Korrelasjonskoeffisienten mellom svingradius og kulpers lengde/dybde er 0,27. Disse er svake, og påpeker at det ikke er en samvariasjon mellom variablene svingradius og dybde, og svingradius og lengde/dybde i Gaula.

6.3 Tverrprofiler

Tverrprofilene ved Lundamo (figur 20) kan fortelle mye om kulpens former. Under oppmåling av djupålen ble det oppdaget en dyp kulp ved Lundamo, lokalisert mellom profil 10 og 11 (figur 25). Lengdeprofilets dypeste punkt er målt til 9,04 meter (tabell 3). Av de fire tverrprofilene er det profil 10 som måler den dypeste delen av elva. Profil 10 ligger nærmere kulpens dypeste punkt enn profil 11.

Dybden avtar til i overkant av 5 meter i profil 11, og avtar kraftig med store uregelmessigheter i profil 12. Grafen av profil 9 skiller seg fra de andre tverrprofilene, som alle er jevne. Venstre side av profil 9 synker jevnt, mens høyre side stiger kraftig over en kort strekning. Dette viser at det ligger en hindring ved høyre kant av profil 9.



Figur 25. Den dype kulpen oppdaget av Hydra Team ved Lundamo, og tverrprofilene 9-12 målt i denne sammenheng.

I motsetning til Lundamo er tverrprofilene ved Øyan jevne (figur 21). Profil 27 ligger like oppstrøms den dype kulpen, og profil 28 og 29 ligger nedstrøms (figur 26). Det dypeste punktet i kulpen er 5,85 meter (Tabell 3). De tre tverrprofilene har lik form med en slak skråning fra venstre side mens den høyre siden er brattere. Den bratte kanten gjenspeiler en hindring langs høyre elvebredden som skaper en skarp form på skråningen.



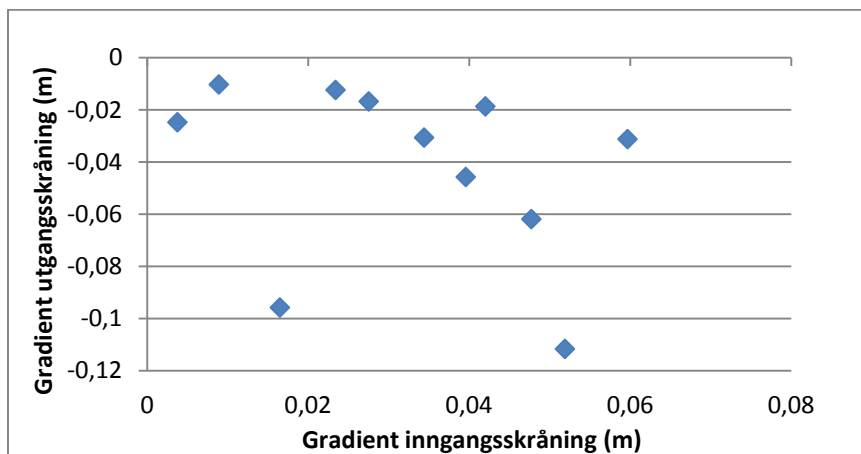
Figur 26. Den dype kulpen oppdaget av Hydra Team ved Øyan, og tverrprofilene 27-29 målt i denne sammenheng.

6.4 Kulpenes inngangs- og utgangsskråning

Tabell 4 og 5 (kapittel 5.4) viser inngangs- og utgangsskråningens gradient i de ulike kulpene. Tabellene viser ikke noe klart forhold mellom gradient i inngangs- og utgangsskråning. De seks kulpene med brattest utgangsskråning er kulpene med mest ekstreme former. Fem av dem er blant de seks kulpene med brattest inngangsskråning. De tre lengste kulpene; Jaktøya, Forset og Ler (Tabell 3), ligger i bunnsjiktet med slakest inngangsskråning. Samme mønster ser vi med de korteste kulpene Lundamo, Sjetnhølen og Kuba, som har de bratteste

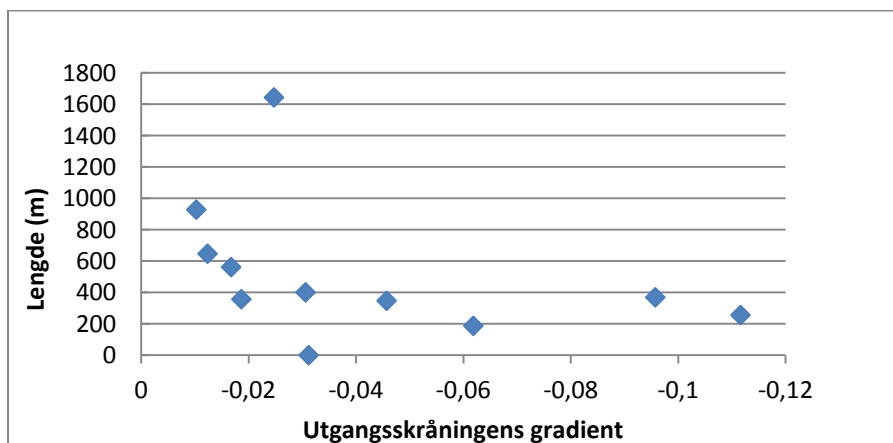
inngangsskråningene (Tabell 4). Lignende mønster kommer ikke frem med utgangsskråningen eller kulpenes dybde (Tabell 3, Tabell 4, Tabell 5).

En korrelasjonsanalyse vil avdekke om det eksisterer et forhold mellom gradient i inngangs- og utgangsskråning. Punktene i spredningsdiagrammet (figur 27) er svært spredt og viser en svak sammenheng mellom de to variablene. Korrelasjonskoeffisienten er $-0,31$. Denne samvariasjonen er lav, og viser ikke et mønster mellom gradientene.

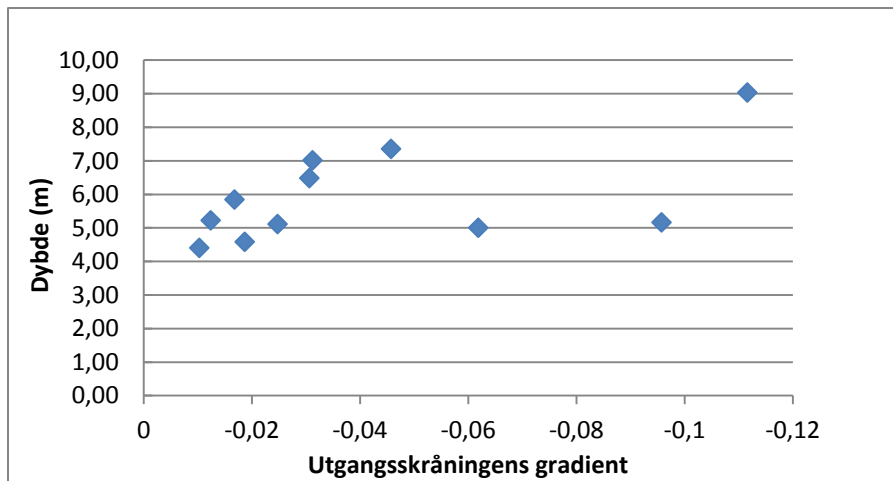


Figur 27. Spredningsdiagrammet viser sammenhengen mellom inngangs- og utgangsskråningenes gradient.

Spredningsdiagrammet over utgangsskråningens gradient og kulpers lengde viser en liten antydning til senkning mot høyre, men punktene går hovedsakelig langs en bred sone langs x-aksen, med enkelte ekstreme verdier (figur 28). Spredningsdiagram over kulpers dybde i forhold til utgangsskråningens gradient viser en oppgang langs venstre side av diagrammet. Men flere punkt på høyre side av diagrammet som skiller seg fra mønsteret (figur 29).



Figur 28. Spredningsdiagrammet visualiserer forholdet mellom kulpenes lengde og utgangsskråning.

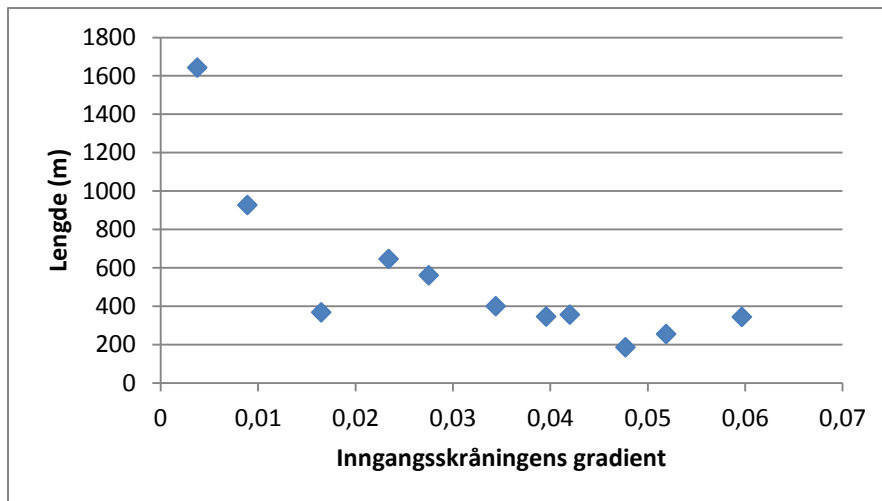


Figur 29. Spredningsdiagrammet visualiserer forholdet mellom kulpenes dybde og utgangsskråning.

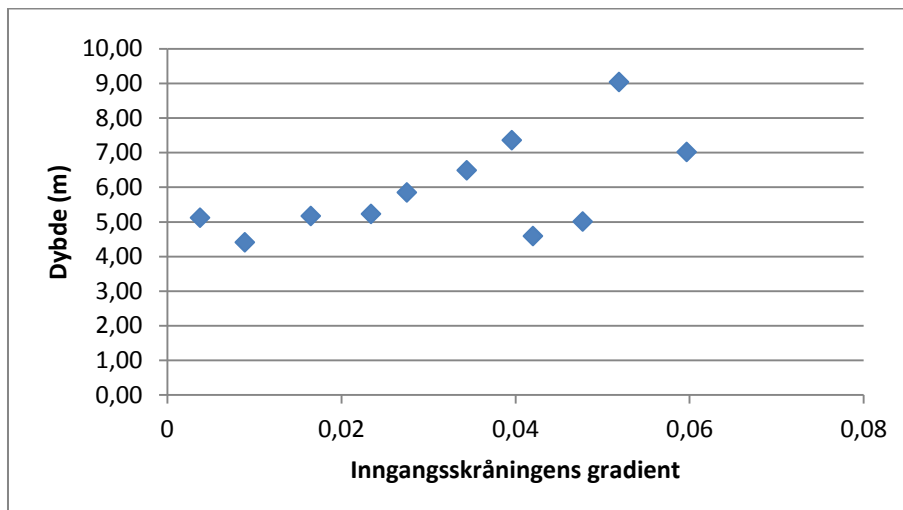
Korrelasjonen mellom utgangsskråning og lengde er positiv med 0,45. Mellom utgangsskråning og dybde er den negativ med -0,54. En slak utgangsskråning gir en lang og grunn kulp, mens en bratt utgangsskråning gir en kort og dyp kulp.

Sammenhengen mellom inngangsskråning og kulpenes dybde og lengde er ikke omtalt mye i faglitteraturen. Mønstrene i de to spredningsdiagrammene (figur 30, figur 31) er distinkte, hvor kulpers lengde avtar med økende inngangsgradient, og kulpers dybde øker med større inngangsgradient. Det er et negativt forhold mellom inngangsskråningen og kulpens lengde, mens forholdet mellom kulpers dybde og inngangsskråning er positivt.

Korrelasjonen mellom inngangsskråning og kulpers dybde og lengde er sterke, med korrelasjonskoeffisienter på -0,78 mellom gradient og kulpers lengde, og 0,60 mellom gradient og kulpers dybde. Dette gjenspeiler at inngangsskråningen i kulpene i Gaula har stor innvirkning på formene i kulpene. Kulpers lengde og dybde har et motsatt forhold i kulpene. Dette forholdet gjenspeiles også i forhold til de to skråningenes gradienter.



Figur 30. Spredningsdiagrammet visualiserer forholdet mellom kulpenes lengde og inngangsskråning.



Figur 31. Spredningsdiagrammet visualiserer forholdet mellom kulpenes dybde og inngangsskråning.

6.5 Dype kulper og nærliggende sikringstiltak

Det er interessant å se nærmere på forbygningene langs strekningen for å se om det er en sammenheng mellom disse og kulpenes lokalisering. Jeg viser her til en tidligere masteroppgave skrevet av Ola Gullaksen. Hans oppgave tok for seg erosjonshull i forbindelse med forbygninger i Gaula. Her ble forbygningene nøye beskrevet (Gullaksen, 2008). Men bare ti av mine kulper er skrevet om i denne oppgaven. Ut fra min bearbeiding av datamaterialet og mine definisjoner har jeg funnet elleve, og ikke ti dype kulper. Jeg vil derfor skrive kort om de to forbygningene ved den ellefte kulpen Forset. Tiltaksnr. 224 på venstre side av elva går tilbake til 1909, og var en erosjonssikring konstruert for å sikre dyrket mark og unngå videre erosjon. Denne forbygningen er en parsell av tiltaksnr. 551 ved Kåsa. På høyre side av elva ligger tiltaksnr. 2000, en erosjonssikring utført i 1945.

Formålet var å sikre dyrket mark og på lengre sikt sikre bebyggelse og E6. Videre arbeid ble gjort på 50- og 60-tallet for å stanse elvas graving og trygge omgivelsene.

Det eksisterer forbygninger konstruert av NVE ved alle de dype kulpene med unntak av Sjetnhølen (figur 19, Vedlegg D). Forbygningene ved Lundamo er mer omfattende enn figur 19 viser. I tillegg til NVEs forbygninger fins det her en strømvaviser konstruert som en molo. Den ble laget av privat grunneier i 1987 (Evensen, 1987). Bakgrunnen for strømvaviseren var å hindre videre erosjon inn på grunneiers eiendom (Opland and Gravås, 1987; NVE, 1988). I 1989 fjernet NVE deler av strømvaviseren da den dannet ugunstige strømningsforhold (Skei, 2010; NVE, 1988).

6.6 Grusuttak og nærliggende kulper

Fire av områdene i tabell 1 er interessante for videre analyse. De dypeste kulpene i Gaula er lokalisert her.

Grusuttak mellom Udduvoll bru og Gimse bru

Langs strekningen er det tatt ut varierende mengder grus (Tabell 1) fordelt over flere lokaliteter (Vedlegg E). Grusuttaket har medført konsekvenser i form av en rettssak grunnet skader etter uttak, erosjon i elvekantene har vært en utfordring, og flere forbygninger har blitt påført skade (Ottesen, 1987). Det befinner seg en kulp ved et av områdene preget av grusuttak, Jaktøya (figur 1 Vedlegg E). Mellom 1955 og 1986 ble det tatt ut 40 000 m³ masse her (Ottesen, 1987).

Grusuttak mellom Gimse Bru og Kvål bru

Grusuttaket i dette området har vært stort. Mellom 1958 og 1986 ble det tatt ut omtrent 1 mill m³ sand og grus. I dag finnes det grus i området, men dette er lite tilgjengelig på grunn av mangel på vegrett (Ottesen, 1987). Uttakene var konsentrert hovedsakelig i området mellom Gimse bru og Sjøberg, men mye ble også fjernet ved Gravråk og Storrønningen (Ottesen, 1987).

Ved Sjetnhølen befinner det seg i dag en kulp med dybde 7,02 m og lengde 343 m. I denne elvesvingen ble det i perioden 1976-1985 fjernet 140 000 m³ sand og grus, hvor 100 000 m³ ble tatt ut i løpet av de siste fem årene (figur 3 Vedlegg E) (Ottesen, 1987). Like oppstrøms

kulpen ved Kregnesrønningen, ble det i Storrønningen fjernet 200 000 m³ sand og grus i perioden 1958-85 (figur 3, Vedlegg E) (Ottesen, 1987). Erosjonshullet her er det nest dypeste, noe som kan ha en sammenheng med mengden grusuttak og effekter av dette i elvebunn.

Grusuttak mellom Kvål bru og Ler

Mellom Kvål bru og Ler ble det fjernet ca 600 000 m³ grus og sand. Grusuttakene har utsatt elva for store forandringer. Elvas løp har forandret og senket seg, og noen områder har blitt utsatt for kraftig erosjon (Ottesen, 1987). Blottlagt leire har vært en alvorlig konsekvens i dette området (Ottesen, 1987).

Uttaket ved Øyan har vært betydelig. Oppstrøms erosjonshullet ble det fjernet 220 000 m³ grus mellom 1958-1985, der 130 000 m³ ble fjernet mellom 1980 og 1985 (Ottesen, 1987). I yttersvingen var erosjonen kraftig mellom 1963 og 1976, der elva gravde seg 50 m lenger utover i svingen. Grusressursene i området er likevel gode. Under flom legges det opp masser i elvesvingen, og det antas at disse massene kommer fra østre elvebredd ved Kåsa (Ottesen, 1987).

Oppstrøms Øyan befant det seg tidligere en kulp, Kåsa, som ble fylt igjen i 2007 grunnet nær beliggenhet til en kvikkleiresone og faren for utglidning (NVE, 2007). Oppstrøms Kåsa, ved Forset (figur 5 Vedlegg E) ble det tatt ut 75 000 m³ mellom 1982 og 1986. Konsekvensene har vært store da området stedvis er avskoget og leiren er ubeskyttet eller bare dekket av et tynt lag grus (Ottesen, 1987).

Grusuttak mellom Ler og Hovin

Mellom Ler og Hovin er grusuttaket av mindre betydning. Totalt ble det fjernet ca 150 000 m³ masse (Ottesen, 1987). Langs strekningen ligger tre kulper ved Ler, Megarden og Lundamo. Det har blitt foretatt grusuttak nøyaktig ved lokaliteten til kulpene ved Ler og Megarden (figur 6 Vedlegg E). Her ble det fjernet 50 000 m³ i løpet av en toårsperiode mellom 1971-72. I 1975 ble det igjen utvunnet ca 10-20 000 m³ sand og grus (Ottesen, 1987). Dette er et stort uttak over kort tid. At det befinner seg to kulper her i dag, kan antyde at grusuttak har skapt negative ringvirkninger.

Ved Lundamo sentrum ble det utvunnet 10 000 m³ grus mellom 1984-86. Uttaket skjedde et stykke fra elva (Ottesen, 1987). Kulpen ved Lundamo befinner seg lenger oppstrøms området for grusuttak (Vedlegg E). Erosjonshullet ved Lundamo kan derfor tolkes til å være skapt uten påvirkning fra tidligere grusuttak.

6.7 Elvas forandringer

Som vist i kapittel 2.6 har Gaula forandret seg mye i løpet av 1900-tallet. Jeg vil videre i analysen undersøke om, og eventuelt i hvor stor grad, elveløpet har forandret seg ved lokalitetene til de dype kulpene. Flybildene fra 1956 og 2009 dekker hele strekningen mellom Gaulfossen og Udduvoll bru, og er derfor utgangspunktet for å undersøke elvas utvikling. Tilgang til andre bilder tatt mellom de to årstallene har vært varierende, med god tilgang ved enkelte lokaliteter og dårlig ved andre. Derfor kan datagrunnlaget i de ulike kulpene variere noe.

Tabell 8 viser at elveløpets tverrsnitt har blitt redusert ved alle kulpenes lokalisering mellom 1956 og 2009. Lengden til tverrsnittene er ikke nødvendigvis helt nøyaktig. Tverrsnittsmåling fra bilder fra 2009 gav forskjellige resultat ved en enkelt lokalitet. Lengden er derfor enkelte steder et gjennomsnitt av de målte lengdene. Tverrsnittene er målt fra ene elvekant til den andre, og det er ikke tatt hensyn til løsmasser i elva. Tverrsnittene er et mål for hvordan elvas løp definert av stabil vegetasjon er forandret, og ikke hvordan løsmassene, som er mer ustabile har flyttet seg. Men flere steder kan løsmassene være stabile og være med å begrense elveløpet, noe som medfører at tverrsnittene kan være beregnet på uklart grunnlag. For å forstå hvordan Gaula har forandret seg også med hensyn til løsmasser, vil jeg gå dypere inn på hver enkelt lokalitet og analysere flybildene. Jeg omtaler tverrsnitt som lengden mellom vegeterte elvekanter. Elveløpets tverrsnitt er tverrsnittet hvor løsmassene også regnes som begrensning og tverrsnittet stanser her.

Tabell 8. Tverrsnittenes utvikling mellom 1956 og 2009.

Kulp	Tverrsnittslengde (m) 1956	Tverrsnittslengde (m) 2009
Lundamo	127	62
Megarden	150	65
Ler	284	140
Forset	145	109
Kåsa	76	64
Øyan	94	71
Kvål	119	105
Kregnesrønningen	101	86
Sjetnhølen	93	85
Kuba	140	51
Jaktøya	126	91

Lundamo

Det har skjedd store forandringer ved Lundamo mellom 1956 og 2009. I 1956 var det aktuelle stedet hvor kulpen ligger preget av omfattende løsmasser (figur 32). Frem mot 2009 ble området vegetert, og bare den ytterste sonen mot elvekanten har løsmasser (figur 33). Bildet fra 2009 viser tydelig hvor kulpen ligger som en mørk flekk i elva. På venstre elvebredde like oppstrøms erosjonshullet har det blitt lagt opp løsmasser. Flybildet fra 1988 viser at området mellom Gaula og Lundesokna var begynt å bli vegetert på 80-tallet (figur 1 Vedlegg F). De største forandringene ved Lundamo skjedde mellom 1956 og 80-tallet, hvor elveløpet ble smalere på grunn av voksende vegetasjon. Ved kulpen skjedde de største forandringene etter 1987 (NVE, 1988).

Megarden

I perioden mellom 1956 og 2009 har elvesvingen ved Megarden gått gjennom store forandringer. Figur 34 viser en elvesving preget av mye avsetning i innersving. Dette ser vi også ved flybildet fra 1947 med mye løsmasser i elvekanalen (figur 2 Vedlegg F). Mellom 1947 og 1956, og frem mot 1988, blei mengden løsmasser redusert (figur 3 Vedlegg F). I 1988 har elveløpet et bredere tverrsnitt mellom løsmassene på venstre kant og høyre elvebredde. Frem mot 2009 har vegetasjonen i innersvingen vokst og redusert elveløpets tverrsnitt ved lokaliseringen til kulpen (tabell 8, figur 3 Vedlegg F). I 2009 var det lite

løsmasser langs elvebredden, men vi kan se små elveører midt i elvekanalen. Samtidig vil jeg påpeke at svinges form har forandret seg mellom 1956 og 2009 (figur 34, figur 35). Siste del av svingen har blitt mer rett og svinger ikke like mye mot venstre som i 1956. Jeg mener dette kan skyldes to faktorer: voksende vegetasjon i innersving, og tiltaksnr. 864 har medført at elva vil gå langs forbygningen. Elva kan ikke svinge like mye mot venstre og erodere her.

Ler

I 1956 var Ler omgitt av store mengder løsmasser langs høyre elvebredde (figur 34). Kulpen eksisterte ikke i 1956. På denne tiden gikk ikke elveløpet langs høyre siden av elva på grunn av en grusør. Forholdene ved Ler var de samme i 1947 (figur 4 Vedlegg F). I 2009 var løsmassene langs høyre bredde kraftig redusert og vegetasjon hadde vokst inn mot elva. Elvas løp gikk langs høyre side, og ved venstre kant var det avlagt løsmasser. At elveløpet flyttet seg medfører at de to tverrsnittene i tabell 8 ikke kan sammenlignes. Flybildene viser at elveløpets tverrsnitt har økt siden 1947. Forskjellene mellom 1988 og 2009 er små (figur 5 Vedlegg F), som viser til at forandringene i elvekanalen skjedde mellom 1956 og 1988.

Forset

Figur 36 og figur 37 viser at det har skjedd forandringer i avsetning av løsmasser ved Forset siden midten av 50-tallet. Flybildet fra 1956 viser at løsmassene var lokalisert langs de slake innersvingene, forholdsvis på høyre og venstre elvebredde (figur 36). I 1988 ligger løsmassene hovedsakelig langs venstre side av elva (figur 6 Vedlegg F). I 2009 låg det fremdeles løsmasser langs venstre kant, men lenger oppstrøms enn tidligere (figur 36, figur 37). Det eksisterte ikke avsatt materiale lengst nedstrøms mot elvesvingen, og dette området var mer stabilt med definerte vegetasjonsområder (figur 37). Elva har ikke skiftet løp langs denne strekning, men siden 1956 har mengden løsmasser blitt redusert og flyttet seg, og vegetasjon har vokst innover mot elva og redusert elveløpets bredde (tabell 8).



Figur 32. Flybilde av Lundamo tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 33. Flybilde av Lundamo tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.



Figur 34. Flybilde av Megarden og Ler tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 35. Flybilde av Megarden (nederst) og Ler (øverst) tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.

Kåsa

I 2009 var området ved Kåsa preget av lite løsmasser (figur 39). Flybildet fra 1956 viser helt andre forhold, med en smal kanal begrenset av store mengder løsmasser (figur 38).

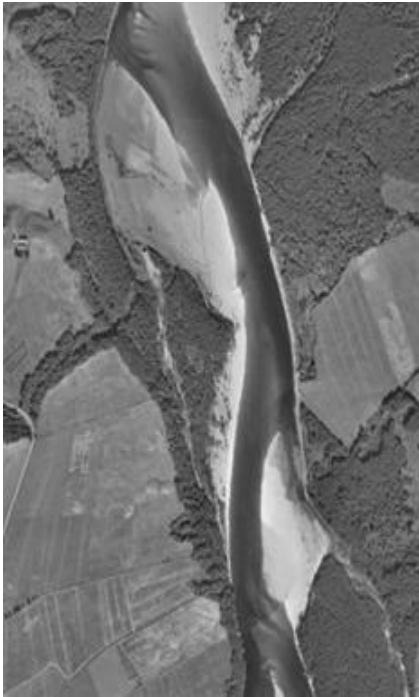
Innersvingen har vokst utover og blitt mer stabil og vegetert (figur 39). Flybildet fra 1988 (figur 7 Vedlegg F) viser at forandringene hadde skjedd allerede da, med redusert mengde løsmasser i forhold til i 1956, og en stabil innersving. Utviklingen mot et åpnere elveløp begynte trolig tidligere, da forskjellene mellom 1947 og 1956 er merkbare. I løpet av de ni årene økte elveløpets tverrsnitt og mengden løsmasser ble kraftig redusert (figur 8 Vedlegg F).

Øyan

I 1956 hadde elva et løp langs høyre side ved Øyan. Frem mot år 2009 utviklet dette seg til å gå langs venstre side (figur 39). Vegetasjonen langs høyre elvekant har vokst, og overgangssonen mellom vann og land er mer stabil (figur 39). Denne utviklingen startet etter 1988. Flybildet fra dette året viser stor oppsamling av løsmasser i sonen som i 2009 var vegetert (figur 9 Vedlegg F). Mellom 1947 og 1956 ble mengden løsmasser ved Øyan kraftig redusert (figur 10 Vedlegg F). Tverrsnittet har blitt redusert med ca 20 meter mellom 1956 og 2009. Dette kan vi se på flybildene. Midt i elvesvingen ligger det en øy oppbygd av løsmasser som gir elva to løpsmuligheter. I 1956 eksisterte ikke denne som en øy men som en elvebank. Flybildet fra 1988 viser en mindre elvebank og en definert elveøy, som tilsier at øya ble til en gang tidlig på 80-tallet eller før denne tiden.

Kvål

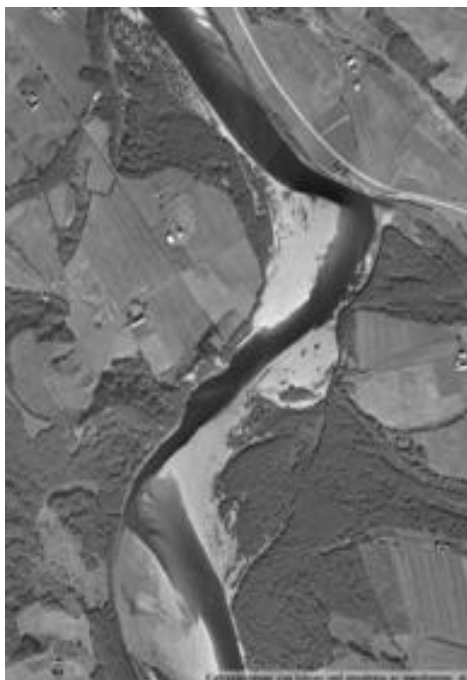
Mellom 1956 og 2009 ser Gaula ut til å ha vært stabil ved Kvål bru med tanke på elveløpets former. Elva har ikke skiftet løp og vegetasjonen langs elvekanten har ikke forandret seg vesentlig (figur 40, figur 41). Dette kan henge sammen med at stabiliteten i området, i form av vegeterte elvekanter, også var stor i 1947 (figur 11 Vedlegg F). Mengden løsmasser ved Kvål har økt kraftig mellom 1956 og 2009, både oppstrøms og nedstrøms brua. Verdt å merke seg er at området for erosjonshullets lokalisering ikke er preget av avsetninger. Men i 1947 var det løsmasser i dette området. Dette kan tolkes som at erosjonshullet ble til en gang mellom 1947 og 1956. De fire bildene viser at mengden løsmasser ved Kvål ble redusert frem mot 1956, og har økt jevnt frem mot 1988, og videre til 2009 (figur 12 Vedlegg F).



Figur 36. Flybilde av Forset tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 37. Flybilde av Forset tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.



Figur 38. Flybilde av Kåsa og Øyan tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 39. Flybilde av Kåsa (nederst) og Øyan (øverst) tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullene er markert med rødt.



Figur 40. Flybilde av Kvål tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 41. Flybilde av Kvål tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.

Kregnesrønningen

Den største forandringen ved Kregnesrønningen er det reduserte tverrsnittet ved lokaliseringen til kulpen (tabell 8). Bilder fra 1956 og 2009 viser at vegetasjon i innersving har vokst (figur 42, figur 43). Yttersvingen har ikke forandret seg. Helt siden 1956 har høyre elvekant oppstrøms Kregnesrønningen vært preget av store mengder løsmasser. Disse har ikke forandret seg særlig og eksisterte i minst like stor utstrekning i 2009 (figur 43). Avsetningene i innersving har blitt redusert mellom 1956 og 2009, mens mengden løsmasser ved venstre kant nedstrøms svingen har vokst mellom 1988 og 2009 (figur 13 Vedlegg F).

Sjetnhølen

Vegetasjonen i innersvingen har vokst utover og redusert elvas tverrsnitt ved Sjetnhølen, mellom 1956 og 2009 (tabell 8). Bildene fra 1988 (figur 14 og figur 15 Vedlegg F) viser to like bilder av samme strekning hvor mengden løsmasser er vesentlig forskjellig. Dette kan antyde at tilgangen på løsmasser i elva varierer i løpet av korte perioder. Langs yttersvingen ligger Høgmælen hvor det tidligere ble tatt ut mye grus og sand. Til tross for denne ustabile sonen har ikke svingen erodert i yttersving (figur 44, figur 45). I 1956 var Høgmælen hovedsakelig lokalisert langs elvesvingen (figur 44). Bildene fra 1988 viser at dens omkrets har vokst, og Høgmælen strekker seg lenger bakover bort fra Gaula. Sammenlignet med bildet fra 2009 ser det ut til at Høgmælen ikke har forandret seg mye siden sent 80-tallet. Men forskjellene mellom 1956 og senere tid er tydelig.



Figur 42. Flybilde av Kregnesrønningen tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 43. Flybilde av Kregnesrønningen tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.



Figur 44. Flybilde av Sjetnhølen tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 45. Flybilde av Sjetnhølen tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.

Kuba

Fra 1956 til 2009 har elvesvingen Kuba blitt krappere (figur 46, figur 47). Nedstrøms elvesvingen har løpet flyttet seg mot høyre del av elva (figur 47). Langs venstre kant oppstrøms elveøya er elva smalere. Vannstrømmene styres mer direkte inn mot høyre kant av elveøya enn tidligere (figur 47). Utviklingen mot et løp langs høyre side var trolig godt i gang allerede i 1988 (figur 16 Vedlegg F). På denne figuren kan vi også se et område med løsmasser på venstre elvebredde. Dette er sannsynligvis et rassår eller uttakssted for grusressurser. Frem til 2009 har strekningen ut av svingen blitt krappere og elveløpet mer definert (figur 47). Elveøya er mer stabil med vegetasjon i områdene i elvesvingen. Tabell 8 viser at tverrsnittet ved erosjonshullet ble kraftig redusert mellom 1956 og 2009. På bildet fra 1956 ble tverrsnittet beregnet fra høyre bredde og inn mot øyas vegeterte del. I 2009 hadde vegetasjonen på øya økt betraktelig, som forklarer hvorfor tverrsnittet ble mindre mellom 1956-2009.

Jaktøya

Av alle erosjonshullenes lokalisering, ser Jaktøya ut til å være det mest stabile området. Figur 48 og figur 49 viser ingen store forandringer i elvekanalen mellom 1956 og 2009. Elveløpet går som i 1956. Det eneste som kan pekes på er mengden løsmasser. Disse økte frem mot 1988 (figur 17 Vedlegg F). I 2009 var mengden løsmasser gått ned. Vegetasjonen i innersvingen har økt mellom 1956 og 2009, som medfører at tverrsnittet har gått ned.



Figur 46. Flybilde av Kuba tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 47. Flybilde av Kuba tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.



Figur 48. Flybilde av Jaktøya tatt i 1956 (StatensKartverk, 1956).



Figur 49. Flybilde av Jaktøya tatt i 2009 (StatensKartverk, 2009). Erosjonshullet er markert med rødt.

7 Diskusjon

7.1 Erosjonshullene og deres dannelse

Alle kulpene med unntak av Sjetnhølen ligger ved et sikringstiltak. Dette kan med første øyekast være årsaken til utvikling av kulpene. Sikringstiltakene medfører at elva ikke kan erodere i elvekanten. Erosjon vil derfor skje i elvebunnen, noe som kan skape erosjonshull. Men store deler av Gaula er forbygd, uten at dette nødvendigvis har resultert i dype kulper ved alle forbygningene. Sikringstiltakene kan derfor være en medvirkende faktor, men trenger ikke være en avgjørende faktor alene for erosjonshullenes dannelse.

Grusuttak kan også være en faktor som spiller en rolle for kulpenes dannelse. Men kanskje særlig i forhold til kulpenes opprettholdelse er grusuttak viktig. Grusuttak fjerner de groveste sedimentene. Store partikler har større motstandsevne enn mindre partikler. Med mye fint materiale i elvebunn skal det mindre skjærstress til for å overgå partiklenes motstandskraft, som skaper erosjon. Samtidig har det vært grusuttak flere steder i elva hvor det i dag ikke eksisterer dype kulper. Ved kulpene ved Lundamo, Kuba og Kvål ble det ikke tatt ut grus mellom 1950-1985.

Jeg vil gå dypere inn i hver enkelt lokalitet. Jeg vil undersøke om de elleve kulpene er skapt av en hindring. Dette vil vise om de unormalt dype kulpene kan defineres som erosjonshull.

Lundamo

Det er liten tvil om at erosjon ved Lundamo har vært sterk, når vi ser på flybildene siden 1956. Hele den høyre bredden var fylt av løsmasser, og flybildet fra 1956 (figur 32) viser liten stabilitet mellom elva og området mellom Gaula og Lundesokna. På slutten av 80-tallet ble det konstruert forbygninger for å hindre erosjon (Gullaksen, 2008). Dette har sannsynligvis forsterket erosjon i elvebunnen. Bildet fra 1956 viser mye avsetning i elvekanalen. Dette ble sterkt redusert etter forbygningene ble satt opp (figur 33).

Sannsynligvis er det strømvaviseren som har vært den utløsende faktoren for utvikling av den dype kulpen. Strømvaviseren har redusert tverrsnittet og fungerer som en hindring som har snevret inn elveløpet. En slik hindring medfører sterk sekundær strømning (Galay and

Yaremko, 1987). Profil 9 ved tverrprofilene av Lundamo (figur 20) har en svært bratt gradient ved grafens høyre side. Dette antyder at strømvavviseren stanser erosjon mot høyre elvebredde. Dette medfører at strømmingen skjærer mot strømvavviseren, som fungerer som en hindring. Nedstrøms strømvavviseren bremses vannstrømmene og styres sideveis og danner en bakevje, hvor sterk erosjon med tiden utvikler et erosjonshull (Thompson et al., 1998). Denne kulpen er skapt av forbygninger som begrenser horisontal erosjon, og strømvavviseren som reduserer tverrsnittet og fungerer som en hindring.

Megarden

Ved Megarden var det omfattende grusuttak på 70-tallet. Det var ikke store mengder som ble tatt ut, men det ble gjort over en kort periode som kan ha medført negative konsekvenser. Et direkte resultat av dette kan være redusert mengde løsmasser i elva (figur 34, figur 35). Sikringstiltakene dominerer og dekker hele yttersvingen. Dette vil påvirke erosjonsmulighetene i yttersvingen, med effekter som vertikal erosjon.

Erosjonshullet ved Megarden ligger omtrent midt i elvesvingen. Figur 35 viser at djupålen går mot yttersvingen, vannstrømmene krysser elva og treffer yttersvingen. Sikringstiltakene begrenser naturlig erosjon i yttersving. Det utvikles en bakevje i bakkant av punktet hvor vannstrømmene treffer forbygningene, og sterk erosjon graver i elvebunnen (Andrle, 1994). Forbygningene har fungert som en hindring, men det har muligens vært avgjørende at elva går i en sving og at vannstrømmene styres mot forbygningene.

Ler

Ler har de samme forholdene som Megarden, med grusuttak og utbredt forbygning. Kulpen ligger langs en rett strekning og erosjonshullet kan derfor ikke være utviklet av forbygningene og vannstrømmer i elvesving. På grunn av omfattende løsmasser langs venstre elvebredde begrenses strømmingen til høyre elvekant. Flybildet fra 2009 (figur 35) viser at like ved kulpen blir elveløpet markant smalere med forbygning på ene siden og store mengder løsmasser på andre siden. Normalt sett ville jeg ikke klassifisert løsmasser som et element som kan begrense tverrsnittet, da det er stor usikkerhet om hvor stabile løsmassene er. Men flybilder viser at løsmassene har ligget her siden 1947 (figur 4, Vedlegg F). Jeg definerer derfor løsmassene som stabile, og de fungerer som en innsnevring. En innsnevring skaper redusert tverrsnitt og strømmingen blir mer fokusert, noe som medfører sammenløpende

strømningslinjer og økt akselerasjon (figur 10). Erosjonshullet ved Ler er lokalisert ved innsnevringen, og kan derfor defineres som et erosjonshull.

Forset

I følge flybildene (figur 36, figur 37) og Vedlegg D er det lite som tyder på at kulpen ved Forset er skapt av en hindring. Figur 50 laget i Gemini viser at det dypeste punktet av kulpen ligger i et område av elva hvor tverrsnittet reduseres. Som ved Ler vil denne innsnevringen skape strømmingssammenfall og økt erosjon, som utvikler et erosjonshull. Erosjonshullet er sannsynligvis også et resultat av omfattende grusuttak, da undersøkelser har vist at grusuttakene i dette området har gått helt ned til underliggende leire flere steder (Ottesen, 1987).

Effektene av omfattende grusuttak og blottet leire kan vi se ved lengdeprofilen (figur 17) som viser flere kulper like oppstrøms erosjonshullet ved Forset. Disse har en dybde på 3,21 og 3,41 meter, som er dybde mindre enn kulpenes gjennomsnittlig dybde på 4,22 meter. De to kulpene ble derfor ikke definert som dype kulper. Men de kan likevel være erosjonshull. Kulpene kan være skapt av mindre hindringer som resulterer i mindre erosjonshull, eller de kan være en effekt av grusuttak og dermed defineres som dype kulper. Dette viser at det kan eksistere erosjonshull i Gaula som er grunnere enn grenseverdien på 4,22.



Figur 50. Innsnevringen ved Forset fungerer som en hindring og utvikler et erosjonshull.

Kåsa

Den dypeste delen av kulpen ligger ved en innsnevring av elvekanalen. Dette konsentrerer strømmingen over et lite område og skaper økt erosjon. Kulpen ligger i en elvesving, hvor vannstrømmene styres direkte inn i forbygningene langs svingens ytterkant. Elva får ikke erodere naturlig i ytterkant. Tverrprofilene (vedlegg C) viser at forbygningene langs svingens ytterkant er en medvirkende faktor for utvikling av kulpen. Venstre del av tverrprofilene er vesentlig brattere enn høyre side. Profil 24 har den bratteste venstresiden med en høydeforskjell på nesten 7 m. Vannstrømmen treffer venstre kant av elva og stanses av forbygningen. Dette resulterer i et erosjonshull. Erosjonshullet er et resultat av forbygningen som fungerer som en hindring på strømmingen i yttersving, samt det reduserte tverrsnittet som fokuserer vannstrømmene.

Øyan

Forholdene i Øyan er noenlunde de samme som i Kåsa. Det dypeste punktet i kulpen ligger ved en innsnevring i elveløpet hvor tverrsnittet reduseres. Øyan består av en krapp sving (Tabell 7), hvor vannstrømmene treffer horisontalt på svingen (figur 5 vedlegg A). Kulpen er et resultat av innsnevringen, forbygningene og vannstrømmene som treffer elvas yttersving. Sammen skaper disse faktorene sterk lokal erosjon, som resulterer i utvikling av et erosjonshull. Tverrprofilene (figur 21) viser en svært bratt gradient langs venstre kant. Forbygningen stanser og forsterker lokal erosjon. Men innsnevringen har trolig også en effekt.

I følge flybilene er erosjonshullet utviklet en gang mellom 1956 og 1988 (figur 38, Figur 9 Vedlegg F). På flybildet fra 1988 blir vannstrømmene styrt mot forbygningen, noe som ikke var tilfellet i 1956 (figur 38). Dette kan vi knytte tilbake til grusuttak som fjernet store mengder stein og sand. Dette forandret trolig vannstrømmen fra å følge høyre bredde langs den ytre svingen, til å svinge mer inn i svingens smaleste del.

Kvål

Kvål ligger langs en rett elvestrekning. Forbygningene langs strekningen er omfattende, men disse fungerer ikke som en hindring da vannstrømmene ikke styres mot forbygningene, og elva ikke er innsnevret. Undersøkelser viser likevel at det eksisterer en hindring i elva som har skapt erosjonshullet ved Kvål, en bropillare. Bropillaren står i elva og virker på vannstrømmene ved at de styres på begge sider rundt bropillaren, med aktiv erosjon

nedstrøms (Galay and Yaremko, 1987). Bropillaren påvirker vannstrømmene på samme måte som strømvviseren ved Lundamo og skaper et erosjonshull. Oppmålingen av Gaula ble gjort langs djupålen. Figur 41 viser at djupålen går langs venstre side av elva. Dette forklarer hvorfor datamaterialet viser at venstre bropill har skapt et erosjonshull, mens vi vet lite om høyre bropill har gjort det samme.

Kregnesrønningen

Kregnesrønningen faller inn i samme kategori som de andre erosjonshullene lokalisert i en elvesving. Tverrprofilene (vedlegg C) viser at forbygningene langs yttersvingen hindrer horisontal erosjon, og elva bruker dermed kreftene sine i bunnen (Næss, 1995). Når vannstrømmene i tillegg kommer inn i svingen og treffer forbygningen, fungerer forbygningen som en hindring. Dette skaper et erosjonshull.

Sjetnhølen

I svingen ved Sjetnhølen eksisterer det ingen kartlagte forbygninger i yttersving som hindrer horisontal erosjon når vannstrømmene fokuseres mot yttersvingen. Flybilder fra 1956 og 2009 viser at elva ikke har erodert i yttersving. At elvekanten er så stabil tilsier at her eksisterer noe som forhindrer erosjon og videre utvikling av yttersvingen (Næss, 1995).

Observasjon av området under feltarbeid viste at yttersvingen er begrenset av fast fjell (figur 51). Dette har medført at elva ikke kan grave i svingen. Vannstrømmene treffer berget som fungerer som en hindring og skaper et erosjonshull. Under befaringen ble det observert en innsnevring ved restene av en konstruksjon. Denne går ut i elva (figur 52) på samme måte som strømvviseren ved Lundamo. Vannstrømmene ble tvunget rundt betongkonstruksjonen og like nedstrøms utviklet det seg en stor bakevje hvor det tydelig eksisterte et erosjonshull. I svingen ved Sjetnhølen eksisterer det to erosjonshull som er resultat av fast fjell i yttersving og en betongkonstruksjon, som begge fungerer som hindringer. Omfattende grusuttak ved Høgmælen og Sjetnhølen har skapt ustabilitet i dette området. Langs den krappeste delen av svingen har det blitt tatt ut så mye som 140 00 m³ grove sedimenter (Ottesen, 1987). Dette kan resultere i mangel på grove sedimenter og omfattende erosjon i elvebunnen som har brutt gjennom dekkjiktet og blottlagt leiren. Blottlagt leire og fine sedimenter kan ha lagt forholdene til rette for effektiv erosjon og utvikling av erosjonshull.



Figur 51. Sjetnhølen. Fast fjell i overgangssonen mellom elva og vegetasjon. Dette vil fungere som en hindring. (Foto: Hanne R. Kristiansen, 23.03.12).



Figur 52. Sjetnhølen. Rester av en konstruksjon som ligger ut i elva og styrer vannstrømmene. (Foto: Hanne R. Kristiansen, 23.03.12).

Kuba

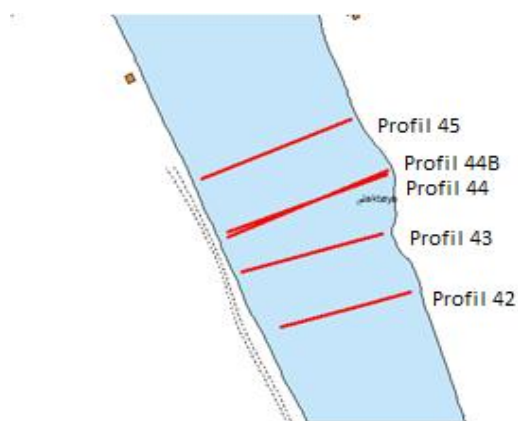
Som de andre kulpene som ligger i en elvesving er Kuba skapt av forbygninger i yttersving. Vannstrømmene styres mot forbygningen som fungerer som en hindring (Vedlegg D). Dette kan vi se ved tverrprofilene (Vedlegg c). Høyre del av profilene går ved forbygningene. På grunn av disse er høyre siden markant brattere enn venstre del som går ut mot elva.

Elvesvingen ved Kuba er den krappeste av alle lokalitetene. Elveløpet har forandret seg i den grad at vannstrømmene styres direkte på forbygningen, i forhold til tidligere hvor elveløpet lå langs yttersvingen og fulgte svingen (figur 46, figur 47). Med en slik plutselig endring i vannstrømmenes retning skapes det virvler og sekundære strømmer. Dette skaper dype erosjonshull (Galay and Yaremko, 1987). Forbygningen stanser vannstrømmene, utvikler bakevje og erosjon som har resultert i et svært definert erosjonshull.

Jaktøya

Figur 48 og figur 49 viser tydelig at kulpens lokalisering er i utkanten av en slak sving. Denne svingen har liten effekt på utviklingen av kulpen. Kulpen er ikke lokalisert midt i svingen hvor vannstrømmene eventuelt ville truffet en fast elvekant som kunne fungert som en hindring. Kulpen ligger langs en rett strekning, hvor elveløpet er innsnevret. Profil 43 går ved den markante innsnevringen (figur 53) som fungerer som en hindring som har skapt erosjonshullet. Strømningen tvinges forbi denne utstående delen og nedstrøms skapes det en bakevje langs høyre kant. Basert på dette defineres Jaktøya som et erosjonshull.

Innsnevringen her er mindre enn ved de andre lokalitetene. Dette kan forklare kulpens dybde. En liten hindring gir svak bakevje og lite konsentrert erosjon. Kulpen er svært lang, som kan ha en sammenheng med bunnsenking. Jaktøya er en av lokalitetene hvor bunnsenking, som en konsekvens av grusuttak, har vært størst (Næss, 1995).



Figur 53. Kulpens lokalisering ved Jaktøya og tverrprofilene 42-45.

Hypotese: De dypeste kulpene i Gaula er erosjonshull

Hypotesen jeg dannet meg i begynnelsen av oppgaven sa at de dypeste kulpene i Gaula er erosjonshull. Alle de elleve dypeste kulpene kan klassifiseres som erosjonshull. Det vil si at kulper med dybde over 4,22 meter og lengde over 105 meter ikke kan regnes som normalt i Gaula. Dette vil likevel ikke si at kulper som har mindre dybde og lengde ikke er erosjonshull, som for eksempel ved Forset. Grenseskillet går ikke nødvendigvis ved mine forholdstall.

Det er interessant at det eksisterer så mange erosjonshull langs denne strekningen. De elleve erosjonshullene er skapt av hindringer, forbygninger i elvesving, og innsnevringer. Store deler av strekningen Gaulfossen - Udduvoll bru er forbygd uten at dette har skapt erosjonshull.

Forbygningene i Gaula fungerer som hindringer og skaper erosjonshull på to måter: når de går langs en elvesving hvor strømmingen styres mot forbygningene, og når forbygningene snevrer inn elveløpet. Dette forklarer hvorfor det ikke finnes erosjonshull ved alle forbygningene. En forbygning kan ikke alene defineres som en hindring som skaper erosjonshull. Grusuttak alene skaper ikke et erosjonshull. Dette fordi grusuttak ikke er en hindring. Grusuttak i sammenheng med hindringer kan ha hatt en innvirkning på utvikling av erosjonshull. Samtidig kan effektene av grusuttak være med å opprettholde erosjonshullene.

Hvilke av erosjonshullene er menneskeskapt

Av de elleve erosjonshullene kan ni av dem klassifiseres som menneskeskapt. Disse er resultat av menneskers innvirkning på elva gjennom hindringer, forbygninger langs elvekanten, og omfattende grusuttak som kan ha forsterket erosjon i elvebunn. Bare kulpene ved Forset og Sjetnhølen er erosjonshull som er skapt av hindringer uten direkte tilknytning til menneskelig aktivitet. Innsnevringen som har utviklet erosjonshullet ved Forset kan ikke knyttes direkte til grusuttak eller forbygninger med et innsnevret elveløp. Erosjonshullet i Sjetnhølen er skapt av fast fjell langs yttersvingen, som fungerer som en hindring.

At så mange av de dypeste kulpene i Gaula er menneskeskapt, er et varsku om at menneskelige inngrep langs elvebredden og i elvekanalen kan få alvorlige konsekvenser. I Gaula har inngrep medført forandret strømningsmønster, økt erosjon og endret bunnforhold. Gaula er definert som en ustabil elv. Det kan blant annet knyttes til de store erosjonshullene. Gaulas ustabilitet og sårbarhet kan til en viss grad skyldes menneskelige inngrep.

7.2 Erosjonshullenes geometriske mønster

Diskusjon om erosjonshull som skiller seg ut fra teori i forhold til erosjonshullenes geometriske mønster, er basert på mine antagelser. Mine argument tar utgangspunkt i litteratur som denne oppgaven henviser til. Argumentene er ikke basert på observasjon og fysiske undersøkelser.

Lengde og dybde

I Gaula er det et forhold mellom erosjonshullenes lengde og dybde. Åtte av elleve erosjonshull har motsatt verdier mellom kulpenes lengde og dybde, hvor den ene er høy og den andre lav.

Unntakene er erosjonshullene ved Megarden, Kvål og Kuba, som alle defineres som grunne og korte (tabell 6). Erosjonshullene ved Kvål og Megarden defineres som lite ekstreme i formen, mens erosjonshullet ved Kuba har en av de mest ekstreme formene (tabell 3). Dette erosjonshullet er dypt i forhold til lengden, men ikke i forhold til de andre erosjonshullene. Kuba kan klassifiseres med stor dybde. Det kan derfor stilles spørsmål til om erosjonshullet ved Kuba er et unntak, da det kan klassifiseres som dypt og kort – og viser et likevektsforhold mellom lengde og dybde.

Erosjonshullet ved Kvål er utviklet av en bropillarsom skaper sterk lokal erosjon like nedstrøms hindringen. Lengdeprofilen av kulpen (Vedlegg G) viser en jevn nedsenking på ca en meter, med et plutselig fall mot kulpens dypeste punkt. Den plutselige nedsenkingen skyldes bakevjen som skapes av bropillaren. En forklaring på hvorfor Kvål er grunn og kort er grusuttak. Nedstrøms Kvål bru ble det ikke tatt ut grus og stein mellom 1950 og 1985. Dette skulle tilsi at elvebunnen er preget av grove sedimenter. En NGU rapport om grusuttak viser at Kvålsøra oppstrøms Kvål bru inneholder grove sediment tross kraftig grusuttak. Dette knyttes til erosjon i elva flere steder lenger oppstrøms, som er gode kilder til sediment (Ottesen, 1987). Det er derfor stor sannsynlighet for at områdene nedstrøms Kvål bru også har god tilgang på sediment. Ut fra dette tolker jeg at det er god grunn til å anta at elvebunnen ved erosjonshullet ved Kvål er grov. Dette kan forklare hvorfor erosjonshullet er så grunt og kort.

Lengden på tverrsnittet kan være en annen forklaring på hvorfor erosjonen ikke har skapt et dypere erosjonshull ved Kvål. Tverrsnittet ved Kvål har blitt redusert med 15 meter mellom 1956 og 2009. Dette signaliserer at erosjonen har blitt mer konsentrert. Men samtidig er tverrsnittet markant bredere enn andre områder. Vannstrømmene som styres på hver side av bropillaren har et stort område å bevege seg på, selv om tverrsnittet har blitt redusert. Erosjonen i området er derfor trolig svakere enn ved andre områder, som medfører en liten kulp.

Grusuttak og grove sedimenter kan forklare formene i erosjonshullet ved Kuba. Det har ikke vært grusuttak ved lokaliteten til erosjonshullet (figur 2 Vedlegg E). Dette kan forklare hvorfor erosjonshullet har liten utstrekning både horisontalt og vertikalt. Som vist ovenfor vil jeg presisere at erosjonshullet ved Kuba kan klassifiseres som en dyp kulp, grunnet dens ekstreme form. Som jeg viste i kapittel 6.7 har ikke elveløpets tverrsnitt blitt særlig redusert, da løsmassene har blitt erstattet med vegetasjon. Dette vil likevel gi et mer definert løp, som kan resultere i konsentrert erosjon i elvebunn grunnet mindre plass for elva å bevege seg på. Dette kan forklare erosjonshullets store dybde i forhold til lengde.

Området ved Megarden har blitt utsatt for omfattende grusuttak. Det er derfor en viss sannsynlighet for at elvebunnen består av fine sedimenter. Dette er likevel noe usikkert, da vi ikke vet noe om tilgang på materiale fra oppstrøms lokaliteter. Erosjonshullet er grunt, som forteller at erosjonskreftene er svake i forhold til partiklenes motstandskrefter. Dette kan forklares med at radius i svingen er svak, som jeg vil komme inn på i neste delkapittel.

Kulper i elvesvinger

Andrles studieområde hadde mange av de samme geologiske og hydrologiske trekkene som Gaula. Elva fra denne studien kan sammenlignes med Gaula. Men svingene i Mansfield Creek var veldig krappe. Dette er ikke tilfellet langs hele strekningen Gaulfossen – Udduvoll bru. I Gaula vet vi ikke om elvekantene er bygd opp av kohesivt materiale, men store deler av den aktuelle strekningen har elveforbygninger som hindrer videre horisontal erosjon. Som vist i kapittel 7.1 har forbygninger i yttersving fungert som hindringer. Dette skaper reverserende strømmer og utvikler bakevje med påfølgende erosjonshull.

Erosjonshull i svinger er dypere med mer ekstreme former enn erosjonshull lokalisert langs et rett elveløp. Men Lundamo som er det dypeste og mest ekstreme erosjonshullet er lokalisert langs en rett strekning. Erosjonshullene ved Megarden, Kuba og Øyan ligger i elvesvinger men klassifiseres som grunne og/eller lite ekstreme (tabell 3, tabell 6). I følge formen på erosjonshullene burde de tre vært lokalisert langs en rett strekning, eller på grunn av kreftene i elvesvinger burde de teoretisk sett være dypere og/eller ha mer ekstreme former. Nedenfor vil jeg diskutere hvorfor disse fire kulpene markerer seg som unntak. Samtidig vil jeg se på de aktuelle kulpene i forhold til svingradius og geometri.

Korrelasjonsanalyse av kulpenes dybde, og lengde/dybde forhold, viste ingen samvariasjon med svingradius. De krappeste svingene har ikke nødvendigvis større dybde eller mer ekstrem form enn kulpene i slakere svinger. Når radius på svingen kommer under et visst nivå vil kulpenes former bli mer ekstreme og fremtredende. Men over dette nivået vil ikke økt svingradius automatisk medføre dypere erosjonshull.

Megarden er den slakeste svingen med en svingradius på 344 m. Den grunne dybden kan skyldes at svingen er slak. Erosjonshullet har blitt skapt av at vannstrømmene treffer forbygningene i elvesvingen. Flybildet fra 2009 (figur 35) viser at djupålen går langs yttersving, men ikke styres mot, og skjærer i forbygningen. Derfor er erosjonshullet ved Megarden grunt. Forklaringen kan sammenlignes med flybilde av Kåsa fra samme år (figur 39). Her styres vannstrømmene i yttersving inn i forbygningen. Dette skaper sterkere reverserende strømmer og bakevje enn ved Megarden. Prosessene utvikler et dypt og kort erosjonshull ved Kåsa. Dette kan indikere at svingen ved Megarden er for slak til at Andrles teori kan benyttes.

Erosjonshullet ved Kvål har dybde, lengde og dybde/lengde verdier som ligger svært nært Megardens verdier (tabell 3). Megarden har samme former som et erosjonshull langs en rett strekning (tabell 3).

Erosjonshullet ved Kåsa har stor dybde og lengde, med medium ekstrem form (tabell 3). Svingradius ved Kåsa og Megarden er noenlunde like (tabell 7). De ulike geometriske formene i erosjonshullene kan skyldes, som nevnt ovenfor, djupålens løp. Men svingradius kan også være årsaken. Elvesvingen hvor Kåsa er lokalisert er krappere enn Megarden, og kulpen er dermed større og mer ekstrem på grunn av sterkere krefter. Dette kan tyde på at en elvesving med radius rundt 350 (tabell 7) skiller seg fra erosjonshull langs en rett strekning med tanke på erosjonshullenes geometri. Ved denne svingradius gjør Andrles teori seg gjeldende i Gaula.

Kregnesrønningen og Sjetnhølen befinner seg begge i krappe elvesvinger (figur 3 og figur 4 vedlegg A). Dette er de to dypeste erosjonshullene som er lokalisert i en sving (tabell 7). Begge erosjonshullene har kort utstrekning og defineres med ekstreme former (Tabell 3). Krapphet på svingene og deres effekt på erosjon viser en klar sammenheng til de to erosjonshullenes dybde og lengde/dybde forhold.

Øyan (figur 5 vedlegg A) ligger i en krappere sving enn Kåsa, Kregnesrønningen og Sjetnhølen, men erosjonshullets dybde er mindre og lengden større enn de tre andre (tabell 7). I forhold til svingens krapphet burde erosjonshullet ved Øyan være det mest ekstreme med stor dybde. Dette påpeker at økt svingradius ikke medfører økt dybde. Men erosjonshullets dybde er likevel stor, selv om det ikke er større enn de andre. Dette viser tilbake til Andrles forklaring om dype kulper i elvesving.

Grusuttak ved Øyan har vært omfattende (figur 4, Vedlegg E), og har fjernet de grove sedimentene. Dette har resultert i gode erosjonsmuligheter over en lang strekning, og erosjonshullets lengde blir tilsvarende stor. Samtidig vet vi at under flom legges det opp masser i dette området (Ottesen, 1987). Grusuttak har derfor ikke den største effekten på erosjonshullet ved Øyan. Grunnen til at erosjonshullets dybde er liten i forhold til lengden, kan være at vannstrømmene ikke treffer direkte på forbygningen og skaper sterk erosjon. Figur 39 viser at djupålen går langs yttersvingen, men det er videre uklart om vannstrømmene styres rett mot forbygningen. Som nevnt ved Megarden, kan erosjonshullets grunne dybde skyldes at vannstrømmene ikke skaper sterke reverserende strømmer med påfølgende kraftig erosjon.

Erosjonshullet ved Kuba ligger i den krappeste svingen og har den mest ekstreme formen (Tabell 7). Figur 6 vedlegg A viser at strømmingen styres direkte inn i svingen, noe som medfører sterk erosjon. Til tross for dette er ikke erosjonshullet særlig stort eller dypt. Det vil si at det er andre faktorer i tillegg til svingens krapphet som har innvirkning på kulpens geometri.

Lundamo er den dypeste kulpen i datamaterialet (Tabell 3), og burde i følge Andrle's teori ligge i en sving. At den ikke gjør det viser at de dypeste erosjonshullene i Gaula ikke nødvendigvis er lokalisert i en elvesving. Dybden på erosjonshullet ved Lundamo er sannsynligvis et resultat av andre faktorer som har skapt sterk erosjon. Som ved Kuba og Kvål har ikke området ved Lundamo vært utsatt for grusuttak (figur 6 Vedlegg E). Dette kan medføre at elvebunnen er preget av grove sedimenter. Dette, sammen med egenskapene til strømavviseren kan være bakgrunnen for at erosjonshullet er dypt og kort.

Det er ikke noen iøynefallende sammenheng mellom svingers krapphet og erosjonshullenes geometri i datamaterialet. Teorier sier heller ingenting om dette, men jeg ønsket å undersøke om det var en sammenheng. På bakgrunn av korrelasjonsanalysen og at mine argument ikke

har opphav i fysiske undersøkelser, konkluderer jeg med at svingenes krapphet ikke har en direkte sammenheng med kulpenes geometri. Men erosjonshull lokalisert i en elvesving er dypere og har mer ekstreme former enn erosjonshull lokalisert langs en rett strekning. Selv om det finnes unntak er mønstrene så fremtredende at jeg mener det er stor sannsynlighet for at disse unntakene skiller seg ut på grunn av andre faktorer ved erosjonshullene og/eller forhold ved deres lokalisering.

Inngangs og utgangsskråning

Litteratur om erosjonshull omtaler utgangsskråningen som en viktig faktor for kulpenes former. I analysen viste jeg at forholdene i erosjonshullene i Gaula stemmer overens med dette. Lundamo, Kvål, Kuba, Kregnesrønningen, Sjetnhølen og Kåsa er erosjonshullene med brattest utgangsskråning (tabell 5). Det er en sammenheng mellom gradient i utgangsskråningen og hvor lang og dyp kulpen er (tabell 5, tabell 6). De seks erosjonshullene defineres med korte lengder, men bare fire av dem er blant de dypeste. Erosjonshullene ved Kuba og Kvål er grunne. Tidligere har jeg argumentert for hvorfor disse to skiller seg ut. De seks erosjonshullene har de mest ekstreme formene. Dette viser at selv om ikke alle erosjonshullene defineres som dype har koblingen mellom dybde og lengde skapt en ekstrem kulp. Kulpene med slak utgangsskråning; Jaktøya, Megarden, Øyan, Ler og Forset, har alle mindre ekstreme former enn kulpene med bratt utgangsskråning. Samtlige, med unntak av Megarden har liten dybde og stor lengde (tabell 6). Jeg har ovenfor argumentert for hva som kan være bakgrunnen for at erosjonshullet ved Megarden er et unntak.

En bratt utgangsskråning resulterer i korte og dype kulper, klassifisert med ekstreme former. Som skrevet i teorikapitlet skyldes dette at skråningen bremser vannhastighet og virvler fra kulpens sentrum, og det skapes en trykkgradient og akselerasjon av vannet (Thompson and Hoffman, 2001; Thompson, 2004). En bratt gradient skaper mer intense vannstrømmer mot bakevje. En slak utgangsskråning skaper svakere bakevje og mindre turbulens i kulpens sentrum (Thompson, 2007; Thompson et al., 1998), som resulterer i lange og grunne kulper.

Innenfor faglitteraturen er det ikke skrevet mye om inngangsskråningens effekt på former i erosjonshull. Men det nevnes at denne gradienten kan ha en innvirkning på erosjon i kulpen (Thompson, 2002b). I Gaula har inngangsskråningen vist seg å ha stor innvirkning på geometri, jamfør korrelasjonsanalysene (Kapittel 6.4). Sammenhengen mellom gradient og

erosjonshullenes dybde og erosjonshullenes lengde vises med sterke korrelasjonskoeffisienter. Sjetnhølen, Lundamo, Kuba, Kregnesrønningen, Megarden og Kåsa har de bratteste inngangsskråningene, og alle med unntak Megarden har liten lengdeutstrekning og defineres med ekstreme former (tabell 4, tabell 6). Fire av dem regnes som dype kulper. Her skiller Megarden og Kuba seg ut med liten dybde. Dette viser at en bratt inngangsskråning skaper erosjonshull med ekstreme former. De har kort lengde og stor dybde, eller stor dybde i forhold til erosjonshullenes lengde. De slakeste gradientene viser motsatt forhold med lite ekstreme former, erosjonshullene er grunne, og samtlige med unntak av Kvål defineres som lange.

Korrelasjonsanalysen viste en svak samvariasjon mellom gradient i inngangs- og utgangsskråning. Tabell 4 viser at en kulp i de fleste tilfellene har samme type gradient, enten slak eller bratt, i både inngangs- og utgangsskråning. Erosjonshullene med bratte skrån timer er korte og dype med ekstreme former, og erosjonshull med slake skrån timer har lite ekstreme former vist som grunne og lange erosjonshull. Men Kuba, Kvål og Megarden følger ikke dette mønsteret (tabell 4, tabell 5).

Megarden har en bratt inngangsskråning og slak utgangsskråning, og Kvål har en slak inngangsskråning og bratt utgangsskråning. Det er sannsynligvis en sammenheng mellom erosjonshullenes lengde og at en av skrån timer er bratt. Slake skrån timer gir lange kulper. Dette skulle tilsi at når en av skrån timer er bratt blir ikke erosjonshullets lengde stor. Samme mønster ser vi ved kulpenes dybde. En dyp kulp kjennetegnes med at begge skrån timer er bratte. Dette gir sterk erosjon grunnet vannoverflategradienten. Når en av skrån timer er slak konsentreres ikke erosjonen; den blir svakere. Dette forteller hvorfor de to erosjonshullene har en lengde/dybde verdi som ligger rundt median. De har en medium ekstrem form. Kuba har en bratt inngangsskråning og en bratt utgangsskråning. Som tidligere i diskusjonen har jeg argumentert for at erosjonshullet ved Kuba er dypt og kort basert på erosjonshullets ekstreme form. Gradientene inn og ut av erosjonshullet forsterker dette argumentet.

Kvål, Kuba og Megarden fremtrer som unntak gjennom store deler av oppgaven. Dette fordi det ikke er et likevektsforhold mellom lengde og dybde i disse tre erosjonshullene. Når jeg undersøker geometri i erosjonshullene ser jeg på lengde og dybde, både i forhold til sving eller rett strekning, og i forhold til gradient inn og ut av erosjonshullet. Dette medfører at unntakene ved likevektsforholdet mellom lengde og dybde også vil markere seg ved de andre geometriske mønstrene.

Jeg vil videre påpeke at lengde og dybde i kulpene kan inneholde mindre feil. Disse skyldes oppmålingen som er grunnlaget for datamaterialet. Resultatene fra målingene med ADCP har en viss usikkerhet. Langs overflaten får ikke signalene bevege seg langt nok før de reflekteres, og bunnen gir forstyrrende ekko som virker på refleksjon og oppfatning (Whiting, 2003; Gunawan et al., 2010). Elvebunnen kan være vanskelig å undersøke dersom dybden forandrer seg raskt over korte avstander, eller hvis båten beveger seg for hurtig (Shen et al., 2010). Målinger nær bunnen og ved overflaten estimeres via interpolering (Whiting, 2003). Disse usikkerhetsmomentene kan skape et bilde av elvekanalen som er forskjellig fra virkeligheten.

Målingene i Gaula ble gjort der hydrologene antok at djupålen befant seg. Person/-ene som styrer ADCP kan ikke vite sikkert om instrumentet styres over den riktige delen av elva og dermed måler djupålen (Gunawan et al., 2010). Hydrologens/-enes subjektive vurdering virker inn på målingene og resultatene kan derfor bare omtales som minimums dybde (Fjelstad, 2007).

Tverrprofiler ble laget ved de aktuelle kulpene. Vedlegg C viser at bare ved tre av kulpene, Sjetnhølen, Kuba og Jaktøya, ble det laget tverrprofil over lengdeprofilens dypeste punkt. Koordinatene ved tverrprofilens dypeste punkt ved de tre kulpene stemmer ikke overens med koordinatene til lengdeprofilens dypeste punkt. Dette viser svakheter ved oppmålingene, da de er påvirket av den menneskelige faktor.

Mulige feilkilder ved metoden vil virke inn på analysen i denne oppgaven. Restdybde og restlengde tar utgangspunkt i målingene av djupålen (Lisle, 1987). Feilkildene vil ha effekt på dybden og lengden til erosjonshullene, som er utgangspunktet for store deler av analysen av de geometriske mønstrene.

Hindringens form

Formen på hindringen har stor effekt på geometrien i kulpen. Hindringen styrer vannstrømmene, og hindringens form og størrelse har derfor stor effekt på kreftene til strømmingen. Som nevnt i teorikapitlet vil en vertikal hindring skape større former i erosjonshullet, fordi denne type hindring dekker hele det vertikale elveløpet. Jeg mener at hindringene ved alle de elleve erosjonshullene er vertikale hindringer. Både forbygninger,

bropillar, innsnevringar og strømvavviser har en oppbygning som tilsier at de starter i elvebunn.

Ved å sammenligne tabell 6 og teorien om hindringers former (kapittel 3.5), kan vi gruppere de ulike kulpene i forhold til deres geometri og type hindring. En bred hindring gir en dyp kulp, mens en smal hindring resulterer i grunne erosjonshull. De dype erosjonshullene i datamaterialet er Lundamo, Kåsa, Kregnesrønningen og Sjetnhølen (tabell 6). De resterende erosjonshullene skal derfor teoretisk sett være et resultat av smale hindringer. Lange hindringer skaper lange erosjonshull, som Ler, Forset, Øyan og Jaktøya. I følge teorien skal de sju andre erosjonshullene ha korte hindringer.

Lengden og dybden til erosjonshullet ved Lundamo viser tilbake til hindringens form. Erosjonshullet er skapt av en strømvavviser, som strekker seg utover en vesentlig del av elvekanalen (vedlegg D). Moloen er bred og kort. Dette resulterer i sterk erosjon nedstrøms moloen over et mindre område.

Erosjonshullene ved Kregnesrønningen og Sjetnhølen er korte og dype, definert med ekstreme former (tabell 3). Ut fra erosjonshullenes former skal hindringen være bred og/eller kort. Forbygninger og fast fjell i en elvesving kan ikke defineres som smal/bred eller lang/kort på samme måte som en innsnevring eller en molo kan. Disse to hindringene strekker seg ikke ut i elva eller går ved vannstrømmene på langs. Vannstrømmene styres direkte mot hindringene. Både forbygningen langs Kregnesrønningen og det faste fjellet i Sjetnhølen kan sees på som lange hindringer. Hindringene kan defineres som brede, da vannstrømmene vil treffe en hindring uansett vinkel de kommer inn i svingen. Den brede hindringen er den avgjørende faktoren for erosjonshullenes former ved Kregnesrønningen og Sjetnhølen.

Ler, Forset og Jaktøya er erosjonshull med stor lengdeutstrekning og liten dybde. De tre erosjonshullene ligger langs en rett strekning, med en innsnevring som fungerer som en hindring. Disse erosjonshullene skiller seg fra Lundamo som også ligger langs en rett strekning, men som defineres med stor dybde og liten lengde. Strømvavviseren ved Lundamo er vesentlig bredere enn innsnevringene ved Ler, Forset og Jaktøya. Observasjonen er basert på at sistnevnte var vanskeligere å se på flybildene (figur 33, figur 35, figur 37 og figur 49). Innsnevringene er smalere og skaper derfor grunnere kulper.

Langs en rett strekning styres ikke vannstrømmene mot hindringen på samme måte som i en sving, og derfor mener jeg det må en bredere hindring til for å skape sterk erosjon og dype kulper som ved Kregnesrønningen og Sjetnhølen. Erosjonshullene ved Ler, Forset og Jaktøya er lange. Særlig ved Forset kan dette knyttes til grusuttak. I dette området har leiren blitt blottlagt som et resultat av uttakene (Ottesen, 1987).

Strømmene som presses forbi innsnevringene er ikke sterke nok til å skape jetstrømmer og bakevje som utvikler dype erosjonshull. Hindringene er for smale. Innsnevringen ved Ler er svært markant og ser ut til å være vesentlig bredere enn innsnevringene ved Forset og Jaktøya. Ved Ler er det verdt å merke seg at forbygningen som fungerer som en innsnevring langs høyre elvekant muligens er undergravd (Vedlegg D). Når forbygningene undergraves er ikke forbygningen vertikal lenger. Vi kan derfor stille spørsmålsteget til hvor stor del av forbygningene i Gaula som ikke er undergravd, og hvor mange som kan defineres som vertikale forbygninger.

Kåsa er en dyp og kort kulp. Dette mener jeg er et resultat av de samme faktorene som ved Lundamo, Kregnesrønningen og Sjetnhølen. Figur 39 viser at ved Kåsa går djupålen langs yttersvingen. Vannstrømmene styres mot forbygningen. De fire nevnte erosjonshullene har korte lengder. Som vist med Lundamo skyldes dette at erosjonen konsentreres nedstrøms hindringen i en mindre sone. Kåsa skapes også av en innsnevring i tillegg til forbygningen. Forholdene ved innsnevringen er annerledes i forhold til innsnevringene ved Ler, Forset og Jaktøya. Når vannstrømmene styres mot yttersvingen og stanses av forbygningen. Vannstrømmene som presses forbi innsnevringen er allerede påvirket av forbygningen i svingen. Innsnevringen kan derfor regnes som bredere enn ved en rett strekning.

Som vist tidligere er det vanskelig å forklare formen i kulpen ved Øyan. Ut fra elvas utforming og vannstrømmene burde dette være en dypere kulp. Forholdene er de samme som ved Kåsa med forbygning i yttersving og en innsnevring. Likevel er erosjonshullet ved Øyan langt og grunt. I følge teorien er det en sammenheng mellom kulpens lengde og hindringens lengde. Forbygningene ved Øyan strekker seg over et langt område. Men forbygningene er ikke vesentlig lenger enn forbygningene langs Kåsa, som er et erosjonshull med kort lengde. Dette kan indikere at lengden på hindringen ikke er en så avgjørende faktor for kulpens form.

Erosjonshullene ved Megarden, Kvål og Kuba er i følge tabell 6 grunne og korte. Som vist tidligere i diskusjonen har disse erosjonshullene gått igjen i oppgaven som unntak som fra

spesifikke mønster eller teori. Det er stor sannsynlighet for at det er andre faktorer ved disse erosjonshullene som gjør at de er unntak. Megarden ligger i en elvesving, men erosjonshullets former har mer til felles med erosjonshull langs en rett strekning.

Ved Kvål har jeg argumentert for at grusuttak er bakgrunnen for formene. En isolert vertikal hindring som en bropillar skaper en dyp kulp. Men hindringens form har liten sammenheng med erosjonshullets former. Vannstrømmene som treffer yttersvingen i Kuba har på grunn av smalt elveløp et lite område å bevege seg på. Kulpen er dyp sammenlignet med lengden.

Vannstrømmene treffer yttersvingen og forbygningene, og som i Kregnesrønningen og Sjetnhølen skaper dette en dyp og kort kulp. Hindringen langs Kuba kan derfor defineres som bred grunnet kulpens form.

7.3 Storskalaelva Gaula

I analysen og diskusjonen har jeg vist at det er en sammenheng mellom kulpers lengde og dybde, gradienten i inngangs- og utgangskråning, og forhold ved hindringen. Et tilfeldig feltarbeid i Gaula 23. mars 2012 avdekket at dette mønsteret ikke er så enkelt som teorien tilsier. Under arbeidet med analysen og diskusjonen av datamaterialet hadde jeg problemer med å forklare hva som hadde skapt erosjonshullet ved Sjetnhølen. Jeg var usikker på om dette var en kulp eller om det kunne klassifiseres som et erosjonshull. Jeg dro på befarings og så raskt at dette var et erosjonshull. Under arbeidet oppdaget jeg at forholdene ved Sjetnhølen var enda mer komplekse. Like nedstrøms kulpens dypeste punkt oppdaget jeg sterke strømmer og bakevjer. Dette er skapt av restene av en konstruksjon som står ute i elva og fungerer som en hindring på samme måte som moloen ved Lundamo. Lengdeprofilen av Sjetnhølen (Vedlegg G) viser at erosjonshullet skapt i yttersving fra fast fjell er det dypeste punktet, mens et mindre punkt med en dybde på rundt 5 meter er et erosjonshull skapt av restene av konstruksjonen. Ved Sjetnhølen er det derfor to erosjonshull i samme kulpen. Dette viser at erosjonshullene i Sjetnhølen ikke er definert med samme grense som kulpen. Dette motbeviser likevel ikke hypotesen om at de dypeste kulpene er erosjonshull.

Lengdeprofilene fra kulpene i Gaula (Vedlegg G) viser at nedsenkingene er svært variable, med flere nedsenkinger og opphøyninger i en enkelt kulp. Dette kan være variasjoner innenfor kulpen, men som ved Sjetnhølen kan det også være et resultat av at det eksisterer flere erosjonshull i en enkelt kulp. I metodekapitlet valgte jeg å bruke definisjonen til Goode og Whol for inngangs- og utgangskråning. Hvis det i flere av kulpene eksisterer flere

erosjonshull, som i Sjetnhølen, medfører denne definisjonen at vi ”mister” flere av erosjonshullene ved å definere skråningene til å gå fra oppstrøms toppunkt til dypeste punkt, og videre til nedstrøms toppunkt. Skråningene definerer gradient inn og ut av kulpene, og ikke inn og ut av erosjonshullene. Wohl skrev at erosjon i en elv kan være et resultat av ruhet i elvebunnen (Wohl et al., 1993). Jeg valgte å definere variasjonene i kulpene som element av ruhet som hindret erosjon og skapte ujevne profiler. Dette er ikke feil, men disse ruhetselementene kan ha fungert som hindringer i elva og skapt flere erosjonshull i kulpen.

Erosjonshullet ved restene av konstruksjonen ved Sjetnhølen kommer ikke godt frem i lengdeprofilen (Vedlegg G). I virkeligheten er denne nedsenkingen betraktelig større enn hva grafen visualiserer. Her befinner det seg et markert erosjonshull, som så ut til å være preget av sterk erosjon. Konstruksjonen står langt ute i elva, og kan klassifiseres som en bred hindring. I følge teorien skaper dette et dypt erosjonshull. Dette store erosjonshullet har ikke kommet frem tidligere i arbeidet. Det kan skyldes definisjonene til inngangs- og utgangsskråning, og bruk av bakgrunnsteori fra mindre komplekse elver.

Dersom vi sammenligner lengdeprofilen av det nyoppdagede erosjonshullet i Sjetnhølen, med lengdeprofilene i de andre kulpene, kan det muligens være mer enn ett erosjonshull også i andre kulper. Lengdeprofilene fra Megarden, Kåsa og Kvål viser antydninger til flere erosjonshull. Disse kommer klarere frem i grafene enn hva det ekstra erosjonshullet ved Sjetnhølen gjør. De fleste av disse nedsenkingene ligger under grensen på 4,22 meter, som jeg definerte som grensen for erosjonshull. Samtidig ligger de over grensen for definisjon til kulp på 1,9 meter. Ved Ler, Forset, Øyan, Kregnesrønningen og Jaktøya ser vi sannsynligvis flere erosjonshull i en kulp. I lengdeprofilene til disse kulpene finnes det to eller flere markerte nedsenkinger med et markert toppunkt mellom. Lengdeprofilen til Ler indikerer to markerte erosjonshull. Ved en innsnevring mellom Megarden og Ler viser flybildet fra 2009 (figur 35) sterke strømmer som sannsynligvis skaper et erosjonshull. Grafen viser at dette punktet er under fire meter dypt.

Bare to av kulpene, Kuba og Lundamo, er jevne. Her er det lite trolig at det eksisterer flere erosjonshull. Men usikkerheten rundt bunnforholdene i de enkelte kulpene er stor. Erosjonshullet som ble oppdaget ved Sjetnhølen er lite synlig i lengdeprofilen. Eksistens av flere erosjonshull i en kulp er noe som bare kan verifiseres gjennom detaljert undersøkelse av bunnforholdene i de enkelte kulpene.

At det kan eksistere flere erosjonshull i en enkelt kulp viser begrensningene i mine forutsetninger om at erosjonshull og kulp har samme grenser. Definisjonene jeg har brukt begrenser informasjonen om erosjonshullene. Lengden på kulpen Sjetnhølen forteller lite om lengden på selve erosjonshullet, mens dybden er riktig. At lengden på kulpen ikke tilsvarer lengden på erosjonshullet medfører at korrelasjonen mellom lengde og dybde blir basert på usikkert grunnlag.

Som tidligere nevnt ”mistet jeg” erosjonshull nr 2 ved Sjetnhølen ved å bruke Goode og Whols definisjoner av inngangs- og utgangsskråning. En alternativ definisjon til inngangs- og utgangsskråning til erosjonshull er å bruke de bratteste skråningene oppstrøms og nedstrøms erosjonshullets dypeste punkt. Starten og slutten på erosjonshullet vil være punktet hvor skråningenes gradient endres plutselig. Det vil gi en inngangs- og utgangsskråning til det dypeste punktet, og lengdeforskjellen mellom de to toppunktene blir lengden på erosjonshullet. Dette er mulig ved kulpenes dypeste punkt, men for å være sikker på å fange opp alle erosjonshull bør bunnforholdene i alle kulpene undersøkes grundig.

Her ser vi hvordan utfordringene med skala kan gjøre seg gjeldende når man anvender forskning fra et annet nivå. Vitenskapelige artikler som anvender samme teori og definisjon som denne oppgaven, har ikke utfordringer med flere erosjonshull innenfor hver enkelt kulp. Derfor tenkte heller ikke jeg tanke at de store variasjonene innenfor kulpene kunne være erosjonshull. I artiklene er teoriene er tilpasset den skala der de anvendes. Det er lagt vekt på emergence. Goode og Wohl arbeidet i elver med betydelig mindre nedbørsareal enn Gaula, noe som medførte færre og mindre uregelmessigheter i elva (Goode and Wohl, 2007). Gaula er en storskala elv i forhold til teoriene. Erosjonshullene i bakgrunns litteraturen var skapt av trestammer og hindringer. I Gaula har vi innsnevring, forbygninger, direkte hindringer i kanalen, bropillarer, og i tillegg har elveløpet forandret seg og grusuttaket vært omfattende. Elva er kompleks.

Feltundersøkelsen som førte til oppdagelsen av to erosjonshull i en kulp, viser at dagens teori om erosjonshull ikke problemfritt kan brukes i Gaula. Elver av mindre skala er naturlig nok påvirket av andre faktorer enn en større elv med større dimensjoner. Dette kan være en av forklaringene på hvorfor ikke korrelasjonen mellom lengde og dybde var så sterk som teorien skulle tilsi. Skala kan også ha effekt på samvariasjon mellom kulpers dybde og svingradius.

Analysen viste en sterk sammenheng mellom kulpenes former og inngangsskråning. Dette var et moment som var lite omtalt i teorien. I Gaula har inngangsskråning sterkere samvariasjon med kulpenes former enn utgangsskråning. Dette kan forklares med skalaforskjellene mellom Gaula og elvene i bakgrunns litteraturen, og valg av definisjon av inngangs- og utgangsskråning. Analysen viste forhold mellom kulpers geometri og kulpers lokalisering i rett eller svinget strekning, lengde og dybde i kulpen, hindringers form og gradienten på skråningen inn og ut av kulpen. Men flere unntak dukket opp. Disse unntakene kan muligens knyttes til elvas skala og kompleksitet. Tross utfordringene med skala viser korrelasjonsanalysene at bakgrunnsteoriene er overførbare til Gaula.

8 Videre arbeid

Etter oppmålingen av Gaula i 2007, som har vært grunnlaget for denne oppgaven, har det vært flere flommer i Gaula. Verdt å nevne her er særlig flommen sommeren 2011. Dette har sannsynligvis medført forandringer i bunnforholdene i Gaula. Flommene med stor vannføring og erosjon har trolig medført sterk erosjon i de elleve erosjonshullene. Deres geometri kan være forandret og flere erosjonshull kan være utviklet. Jeg mener det er viktig å følge opp utviklingen av erosjonshull i Gaula, og det er viktig å undersøke erosjonshullene og sårbarheten i elva i forhold til flomhendelser. Store årlige flomhendelser og liten evne til selvregulering gjør at flommer kan ha stor effekt på dannelse og videreutvikling av erosjonshullene.

Med bakgrunn i mine feltoppgaver som viste flere erosjonshull i en kulp, mener jeg det er viktig å undersøke elvebunn i alle kulpene nøyer. Nøye undersøkelser av disse med for eksempel kamera, ekkolodd eller ADCP kan fortelle om det eksisterer flere erosjonshull innenfor flere av kulpene. Er det et mønster mellom kulper med ett og flere erosjonshull? Hvorfor har noen av dem flere erosjonshull mens andre har bare ett?

En annen tilnærming til å undersøke bunnforholdene i kulpene er å se på kornfordelingen fra kulpens inngangspunkt til nedstrøms toppunkt. Gode undersøkelser av sedimentstørrelsene i de ulike delene av kulpene er viktig for å få en god oppfatning av erosjon og avsetning i kulpene, samt inngangs- og utgangsskråningens rolle i dannelsen av kulpens former.

Referanseliste

- Andrle R. (1994) Flow structure and development of circular meander pools. *Geomorphology* 9: 261-270.
- Bergan PI and Habbestad J. (2000) Verdier i Gaulavassdraget, Melhus kommune, Sør-Trøndelag. *VVV-rapport, 2001-21*. Trondheim: Direktoratet for Naturforvaltning, 1-47.
- Bergan PI, et al. (2000) Verdier i Gaulavassdraget, Midtre Gauldal kommune, Sør-Trøndelag. *VVV-rapport*. Trondheim: Direktoratet for Naturforvaltning, 1-52
- Bergheim J. (2012) Personlig kommunikasjon 17.02.2012. *NVE region Vest*.
- Bergstrøm B. (1995) *Porsgrunn: kvartærgeologisk kart 1713 II - M 1:50.000 : beskrivelse*, Trondheim: Universitetsforlaget.
- Bjordal A. (2012) Personlig kommunikasjon 10.02.2012. *NVE region Nord*.
- Brown HI. (1995) Empirical testing. *Inquiry* 38: 353-399.
- Bryman A and Cramer D. (2009) *Quantitative data analysis with SPSS 14, 15 and 16: a guide for social scientists*, London: Routledge.
- Buffington JM, et al. (2002) Controls on the size and occurrence of pools in coarse-grained forest rivers. *River Research and Applications* 18: 507-531.
- Bulgurlu B. (1977) A study of sediment transport in river Gaula. *Institutt for vassbygging*. Trondheim: NTH, 1-46.
- Burt T. (2005) General/Particular. In: Castree N, Rogers A and Sherman D (eds) *Questioning geography: fundamental debates*. Malden, Mass.: Blackwell, 117-130.
- Burt T. (2009) Scale: Resolution, Analysis and Synthesis in Physical Geography. In: Rice SP, Valentine G and Holloway SL (eds) *Key concepts in geography*. London: Sage, 199-216.
- Dalkin D and Spain P. (2006) ADCPs: Today's Tool for Measuring Water Currents & Discharge. Teledyne. RD Instruments: http://adcp.com/pdfs/WRprimer_v3.pdf.
- Eggen A. (2004) Program for økt sikkerhet mot leirskred. *Evaluering av risiko for kvikkleireskred Melhus kommune*. Saksnr. 20001008-7: NVE, NGI, 1-28.
- Evensen R. (1987) Molo i laks-elv . Sterke reaksjoner på privat anlegg i Gaula. *Adresseavisen*. Trondheim, 18.11.87.
- Fjelstad K. (2007) Oppmåling av djupålen i Gaula. *Oppdragsrapport 2007*. Hydra Team.
- Fjelstad K. (2012a) Personlig dokument 29.01.12: Arbeidsbeskrivelse. Hydra Team.
- Fjelstad K. (2012b) Personlig kommentar 26.01.12. Hydra Team.
- Follestad BA. (1979) *Alta: beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1834 I - M 1:50 000 (med fargetrykte kart)*, Trondheim: Universitetsforlaget.
- Galay VJ and Yaremko EK. (1987) River bed scour and construction of stone riprap protection. In: Thorne CR, Bathurst JC and Hey RD (eds) *Sediment transport in gravel-bed rivers*. Chichester, UK: John Wiley & sons, 353-378.
- Godtland K. (1997) Feltarbeid i Gaula, Sør-Trøndelag 1996: erosjon og sedimentering : erosjon i Høgmælen ved Gravråk, befaringer, bunnsenkning i Gaula. *SINTEF rapport*. Trondheim: SINTEF, Bygg og miljøteknikk, Hydrologi og vassdrag, 1-21.
- Goode JR and Wohl E. (2007) Relationships between land-use and forced-pool characteristics in the Colorado Front Range. *Geomorphology* 83: 249-265.
- Gullaksen O. (2008) Scour holes in Gaula – Protection works and Their Effects on Geomorphology. *Department of Geography*. Trondheim: NTNU, 1-93.
- Gunawan B, et al. (2010) Using an acoustic Doppler current profiler in a small river. *Water and Environment Journal* 24: 147-158.

- Guttormsen O. (1984) Flomdemningsmuligheter i Gaula kombinert med regulering for kraftproduksjon. Trondheim: Institutt for vassbygging, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole, 1-242.
- Habberstad J. (1995) Kartlegging av vassdragsinngrep i Gaula. NVE, 1-23.
- Harrison LR and Keller EA. (2007) Modeling forced pool-riffle hydraulics in a boulder-bed stream, southern California. *Geomorphology* 83: 232-248.
- Harrison S. (2005) What kind of Science Is Physical geography? In: Castree N, Rogers A and Sherman D (eds) *Questioning geography. Fundamental debates*. Malden, Mass: Blackwell, 80-95.
- Hassan M and Woodsmith R. (2004) Bed load transport in an obstruction-formed pool in a forest, gravelbed stream. *Geomorphology* 58: 203-221.
- Heggstad R, et al. (1975) Flomundersøkelser i Gaula. Trondheim: Institutt for vassbygging, 1-45.
- Inkpen R. (2005) *Science, philosophy and physical geography*, London: Routledge.
- Johannessen A. (2007) *Introduksjon til SPSS: versjon 14, 15 og 16*, Oslo: Abstrakt forl.
- Kannick H. (1999) Gaulavassdraget - forskningsaktiviteter. 7 - 1999. NVE, 1-91.
- Keller EA. (1971) Areal sorting of bed-load material: The hypothesis of velocity reversal. *Geological Society of America bulletin* 82: 753-756.
- Lisle TE. (1982) Effects of Aggradation and Degradation on Riffle-Pool Morphology in Natural Gravel Channels, Northwestern California. *Water Resources Research* 18: 1643-1651.
- Lisle TE. (1986) Stabilization of a gravel channel by large streamside obstructions and bends, Jacoby Creek, northwestern California. *Geological Society of America Bulletin* 97: 999-1011.
- Lisle TE. (1987) Using "residual depths" to monitor pool depths independently of discharge. *USDA Forest Service research note PSW - Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station* 394: 1-4.
- Lisle TE and Hilton S. (1992) The Volume Of Fine Sediment In Pools: An Index Of Sediment Supply In Gravel-bed Streams. *Water Resources Bulletin (American Water Resources Assosiation)* 28: 371-383.
- Longva O and Thoresen MK. (1989) The age of the Hauerseier delta. *Norsk geologisk tidsskrift* 69: 131-134.
- Løvø G. (2007) *Vegbygging avslørte skakande skredhistorie*. Available at: <http://www.ngu.no/no/Aktuelt/20072/026/>.
- MacVicar BJ and Roy AG. (2007) Hydrodynamics of a forced riffle pool in a gravel bed river: 1. Mean velocity and turbulence intensity. *Water Resources Research* 43: 1-19.
- Miljøverndepartementet. (1984) Samlet plan for vassdrag : Gaula : 497 Gaula : Sør-Trøndelag fylke. Sør-Trøndelag fylkeskommune, 1-214.
- Montgomery DR, et al. (1995) Pool Spacing in Forest Channels. *Water Resour. Res.* 31: 1097-1105.
- Muste M, et al. (2004) Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Part I: moving-vessel measurements. *Flow Measurement and Instrumentation* 15: 1-16.
- NGU. (2011a) *Berggrunnskart*. Available at: <http://www.ngu.no/kart/bg250/>.
- NGU. (2011b) *Løsmassekart*. Available at: <http://www.ngu.no/kart/losmasse/>.
- Nordseth K. (1982) Gaula i Sør-Trøndelag: en hydrologisk og fluvialgeomorfologisk vurdering. *Oppdragsrapport (Universitetet i Oslo. Kontaktutvalget for vassdragsreguleringer)*. Oslo: Kontaktutvalget, 1-36.
- Norgebilder. (2012) *Ortofoto*. Available at: <http://norgebilder.no/>.

- NOU. (1983) Objekt nr. 124: Gaula. *naturfaglige verdier og vassdragsvern*. Universitetsforlaget, 238-248.
- NVE. (1988) Strømavviser i Gaula på Jens Bordals eiendom, Melhus, Sør-Trøndelag. VFT 5553.1.1653 nr.313.
- NVE. (2000) Kommuneplan for sand- og grusressursane i Etne kommune. NVE region Vest: Saksnummer: 20001463.
- NVE. (2007) Sikring i Gaula ved Kåsa - Kvål, Melhus kommune, Sør Trøndelag. NVE region Midt, Trondheim: Saksnummer: 200700672.
- NVEAtlas. (2012) *Karttjeneste*. Available at: <http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas>.
- Næss A. (1995) Transport av suspendert materiale i elven Gaula og vurdering av beregningsmodeller: miljømessige forandringer i vassdraget som følge av naturlige prosesser og menneskelig aktivitet. *Doktor ingeniøravhandling*. Trondheim: Tapir, 1-548.
- Nøtsund Ø. (2012) Personlig kommunikasjon 17.02.2012. *NVE Region Vest*.
- Opland E and Gravås A. (1987) Byggherrene politianmeldt. Fylkesmannen vil kreve 60 meter lang molo i Gaula fjernet. *Adresseavisen*. Trondheim, 19.11.87.
- Ottesen D. (1987) Uttak av sand og grus i Gaula. *NGU Rapport nr. 86.184*. Trondheim: NGU, 1-25.
- Phillips JD. (2001) Methodology, Scale, and the Field of Dreams. *Annals of the Association of American Geographers* 91: 754-760.
- Phillips JD. (2004) Independence, Contingency, and Scale linkage in Physical geography. In: Sheppard E and McMaster RB (eds) *Scale & Geographic Inquiry: Nature, Society, and method*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd., 86-100.
- PowelGeminiAS. (2012) Available at: <http://www.powelgemini.no/no/>.
- Reitan EP. (2011) *Kvikkleireskred i Trondheim*. Available at: <http://www.ngu.no/no/Aktuelt/2011/Kvikkleireskred-i-Trondheim/>.
- Reite AJ, et al. (1999) Trondheim fra istid til nåtid: landskapshistorie og løsmasser. *Gråsteinen*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse, 1-40.
- Rhoads BL and Thorn CE. (1996a) Observation in geomorphology. In: Rhoads BL and Thorn CE (eds) *The scientific nature of geomorphology: proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology held 27-29 September 1996*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. 21-56.
- Rhoads BL and Thorn CE. (1996b) Toward a philosophy of geomorphology. In: Rhoads BL and Thorn CE (eds) *The scientific nature of geomorphology: proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology held 27-29 September 1996*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 115-142.
- Richards K. (2009) Geography and the Physical Sciences Tradition. In: Rice SP, Valentine G and Holloway SL (eds) *Key concepts in geography*. London: Sage, 21-45.
- Rokoengen K. (2001) Løsmassene i Gauldalen, Sør-Trøndelag: kvartærgeologisk utvikling, israndavsetninger, havnivåendringer, elveerosjon og ras. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for geofag og petroleumsteknologi, Institutt for geologi og bergteknikk, 1-15.
- Shen C, et al. (2010) Estimating longitudinal dispersion in rivers using Acoustic Doppler Current Profilers. *Advances in Water Resources* 33: 615-623.
- Skei K. (2009) Nidelva og Gaula. Tilstandskartlegging av elvebredden innen Trondheim kommune. *Oppdragsrapport 1/2009*. NVE, Trondheim kommune, Trondheim Energi, 1-301.
- Skei K. (2010) Erosjonssikringstiltak i Gaula. Kartlegging av tilstand og reparasjonsbehov. *Rapport nr 18-2010*. Trondheim: NVE, 1-289.

- StatensKartverk. (1956) *Flybilder av Gaula* Available at: http://kart.melhus.kommune.no/gislinewebinnsyn_melhus/.
- StatensKartverk. (2009) *Flybilder av Gaula* Available at: <http://norgebilder.no/>.
- StatensKartverk. (2012) *Flybildearkiv*. Available at: <http://www.statkart.no/geovekst/Flybildearkiv/>.
- Sæterbø E. (2010) Vassdrag og vassdragsforvaltning. In: Fergus T, Hoset, K.A, Sæterbø, E. (ed) *Vassdragshåndboka*. Trondheim: Tapir akademiske forlag, 16-30.
- Sæther B, et al. (1980) Flora og vegetasjon i Gaulas nedbørfelt, Sør-Trøndelag og Hedmark. *Rapport, Botanisk serie*. Trondheim: Det Kng. norske videnskabers selskab, museet, 1-155.
- Tesaker E, et al. (2010) Erosjon, massetransport og skred. In: Fergus T, Hoset, K.A, Sæterbø, E. (ed) *Vassdragshåndboka*. Trondheim: Tapir akademiske forlag, 151-235.
- Thompson D. (2002a) Channel-bed scour with high versus low deflectors. *Journal of Hydraulic engineering* 128: 640-643.
- Thompson D. (2002b) Geometric adjustment of pools to changes in slope and discharge: a flume experiment. *Geomorphology* 46: 257-265.
- Thompson DM. (2001) Random controls on semi-rhythmic spacing of pools and riffles in constriction-dominated rivers. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1195-1212.
- Thompson DM. (2004) The influence of pool length on local turbulence production and energy slope: a flume experiment. *Earth Surface Processes and Landforms* 29: 1341-1358.
- Thompson DM. (2006) The role of vortex shedding in the scour of pools. *Advances in Water Resources* 29: 121-129.
- Thompson DM. (2007) The characteristics of turbulence in a shear zone downstream of a channel constriction in a coarse-grained forced pool. *Geomorphology* 83: 199-214.
- Thompson DM. (2010) The velocity-reversal hypothesis revisited. *Progress in physical geography* 35: 123-132.
- Thompson DM and Hoffman KS. (2001) Equilibrium pool dimensions and sediment-sorting patterns in coarse-grained, New England channels. *Geomorphology* 38: 301-316.
- Thompson DM and McCarrick CR. (2010) A flume experiment on the effect of constriction shape on the formation of forced pools. *Hydrology and Earth System Sciences* 14: 1321-1330.
- Thompson DM, et al. (1998) Interactions between pool geometry and hydraulics. *Water Resour. Res.* 34: 3673-3681.
- Thompson DM and Wohl EE. (2009) The linkage between velocity patterns and sediment entrainment in a forced-pool and riffle unit. *Earth Surface Processes and Landforms* 34: 177-192.
- Thompson DM, et al. (1996) A revised velocity-reversal and sediment-sorting model for a high gradient, pool-riffle stream. *Physical Geography* 17: 142-156.
- Thompson DM, et al. (1999) Velocity reversals and sediment sorting in pools and riffles controlled by channel constrictions. *Geomorphology* 27: 229-241.
- Thoresen MK. (1991) *Kvartærgeologisk kart over Norge: tema: jordarter*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- Traae E. (2012) Personlig kommunikasjon 10.02.2012. NVE region Sør.
- Vaskinn KA. (1985) Brukerinteresser i Gaula. *NHL rapport*. Trondheim: NHL., 1-86.
- Vatne G. (2006) Studie av erosjonshull i Nidelva: framdriftsrapport. *Acta Geographica - Trondheim, Serie A, Avhandlinger og rapporter*. Trondheim: Geografisk institutt, NTNU, 1-15.
- Vatne G and Berthling I. (2010) Gaula graver. *Kronikk i Adresseavisen* 03.12.2010.

- Whiting PJ. (2003) Flow measurement and characterization. In: Kondolf GMP, H (ed) *Tolls in fluvial geomorphology*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 323-346.
- Wohl EE, et al. (1993) Pool and riffle characteristics in relation to channel gradient. *Geomorphology* 6: 99-110.
- Wolff FC. (1979) *Beskrivelse til de berggrunnsgeologiske kart Trondheim og Østersund 1:250.000 (med fargetrykte kart)*, Trondheim: Universitetsforlaget.
- Yang C. (1971) Formation of Riffles and Pools. *Water Resources Research* 7: 1567-1574.
- Zimmermann AE, et al. (2008) Identification of steps and pools from stream longitudinal profile data. *Geomorphology* 102: 395-406.
- Østdahl T. (1994) Inngrep i vassdrag: effekter og tiltak. *DN-håndbok*. Volum 9. Trondheim: Direktoratet for naturforvaltning.
- Øvre R. (2012) Personlig kommunikasjon 10.02.2012. NVE region Øst.

Vedlegg A: Svingradius ved svingene hvor det er lokalisert erosjonshull



Figur 1. Svingen ved Megarden.



Figur 2. Svingen ved Kåsa.



Figur 3. Svingen ved Kregnesrønningen.



Figur 4. Svingen ved Sjetnhølen.

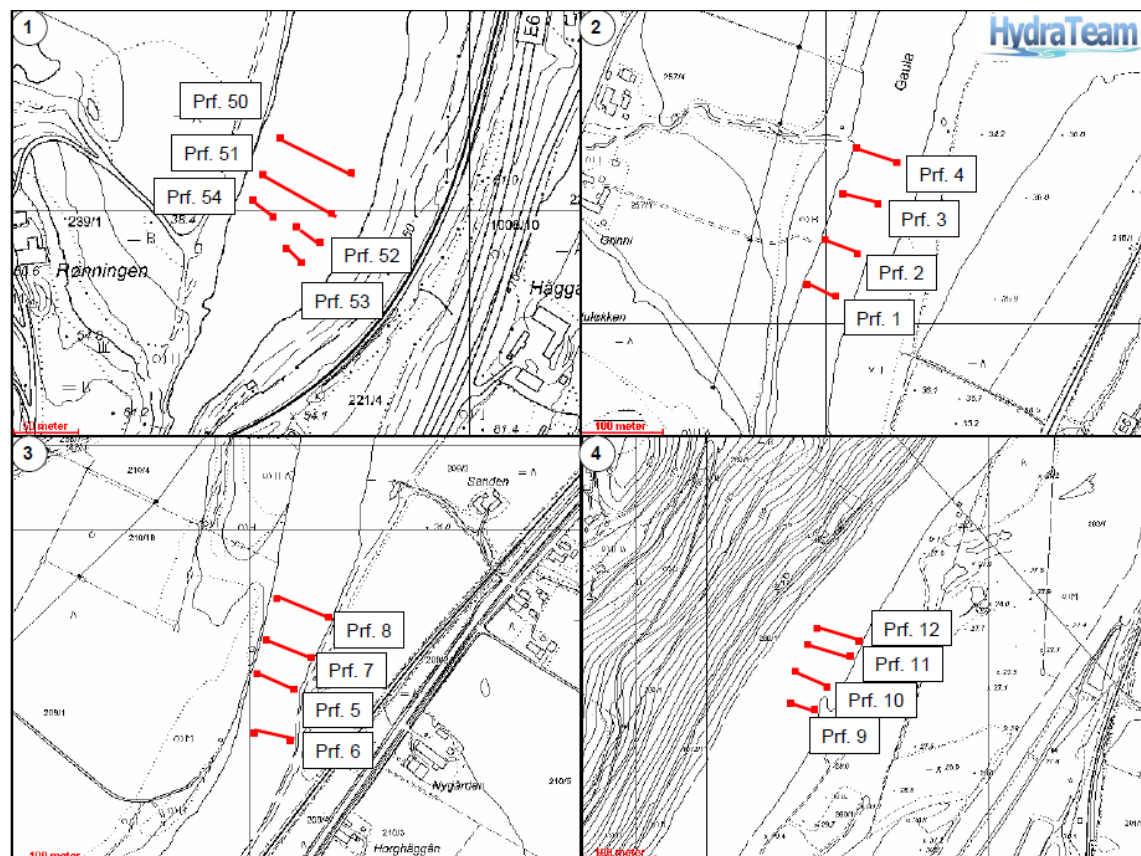
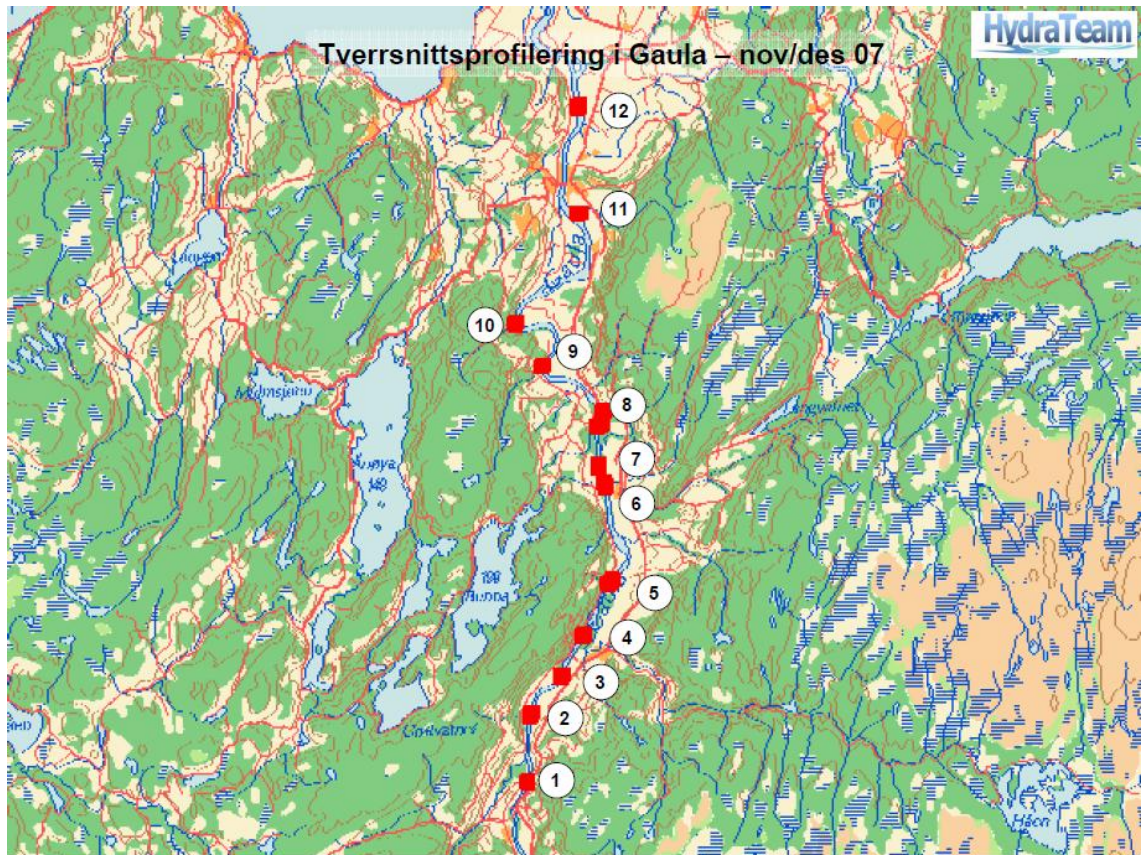


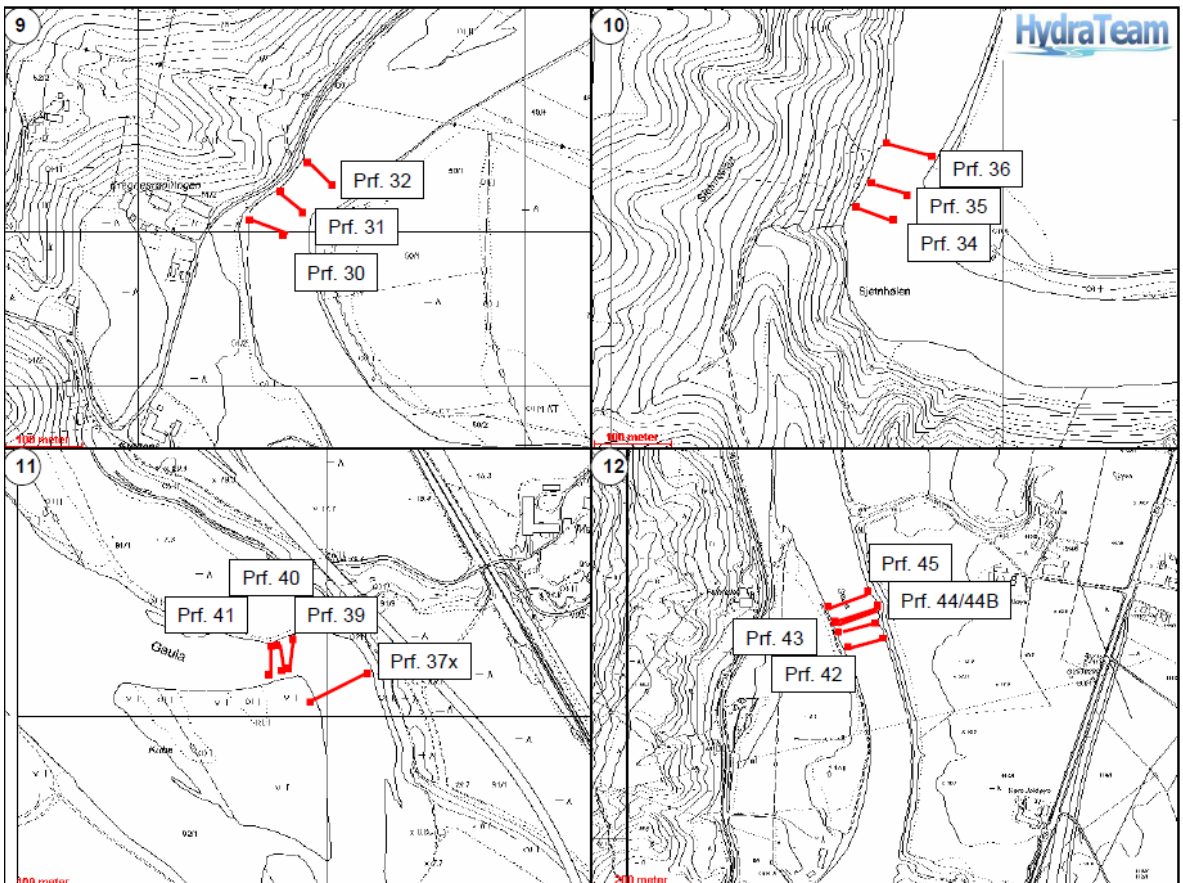
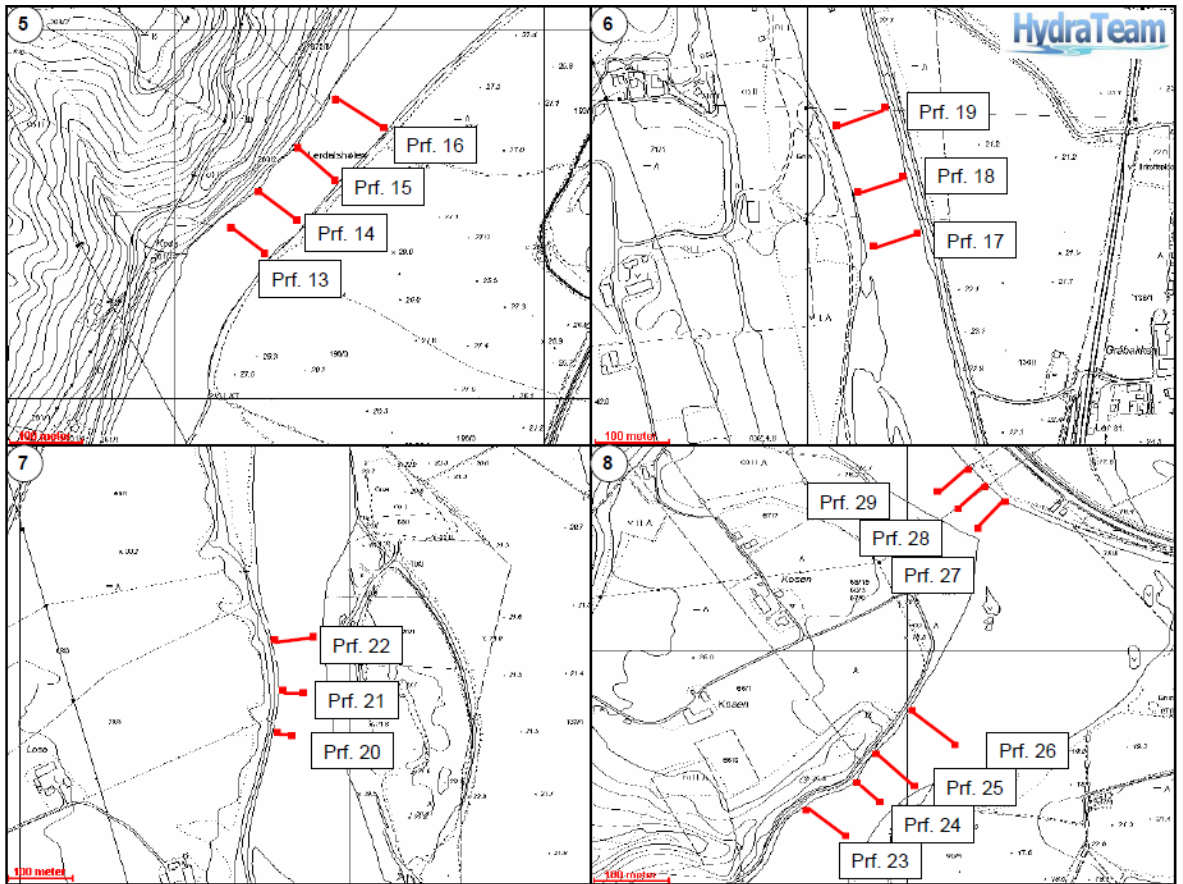
Figur 5. Svingen ved Øyan.



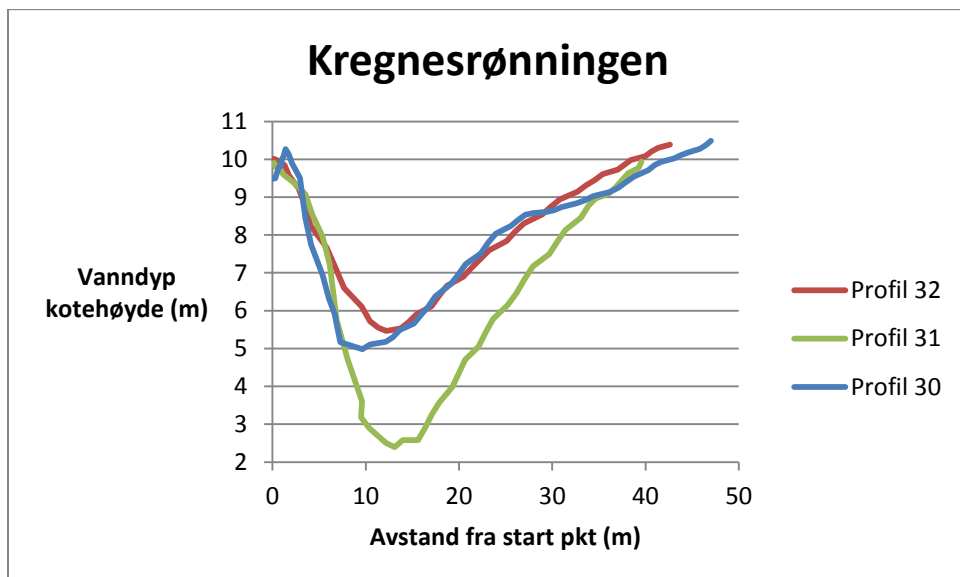
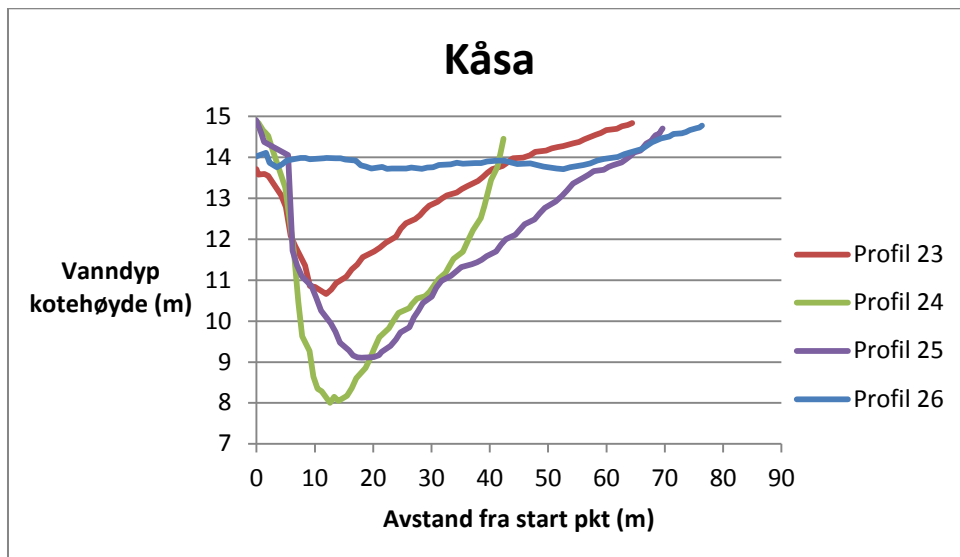
Figur 6. Svingen ved Kuba.

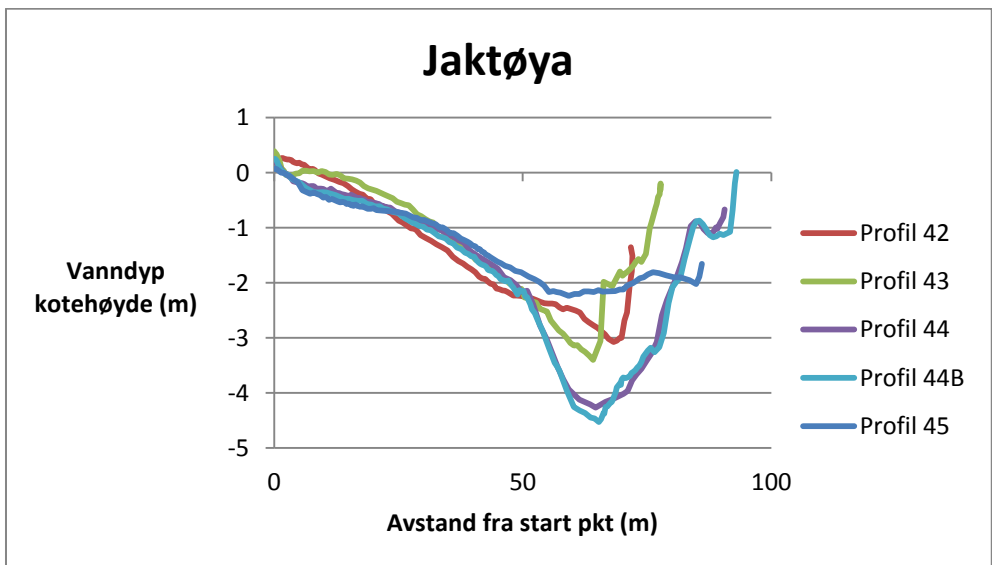
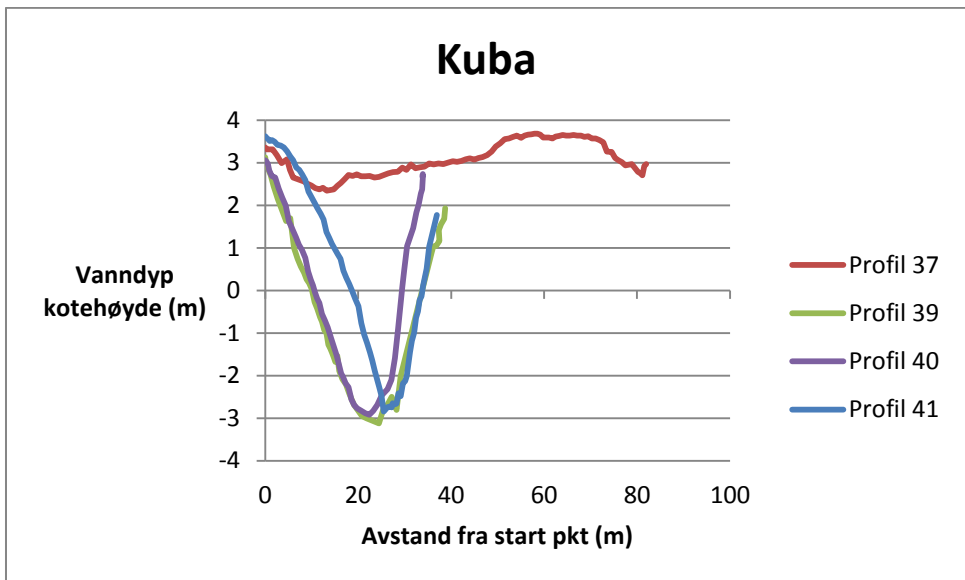
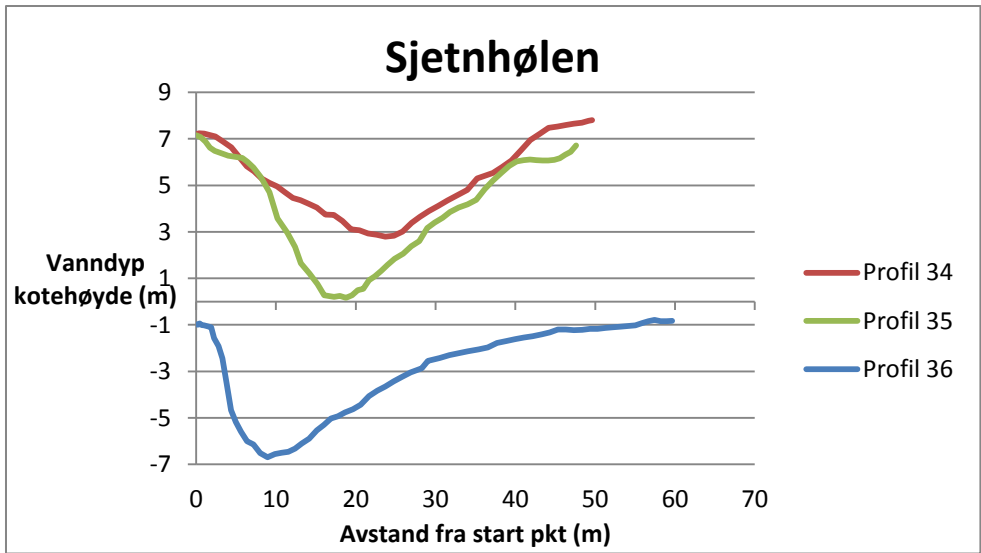
Vedlegg B: Lokalteter for kjøring av tverrprofiler (Fjelstad, 2007)





Vedlegg C: Tverrprofiler fra Kåsa, Kregnesrønningen, Sjetnhølen, Kuba og Jaktøya.

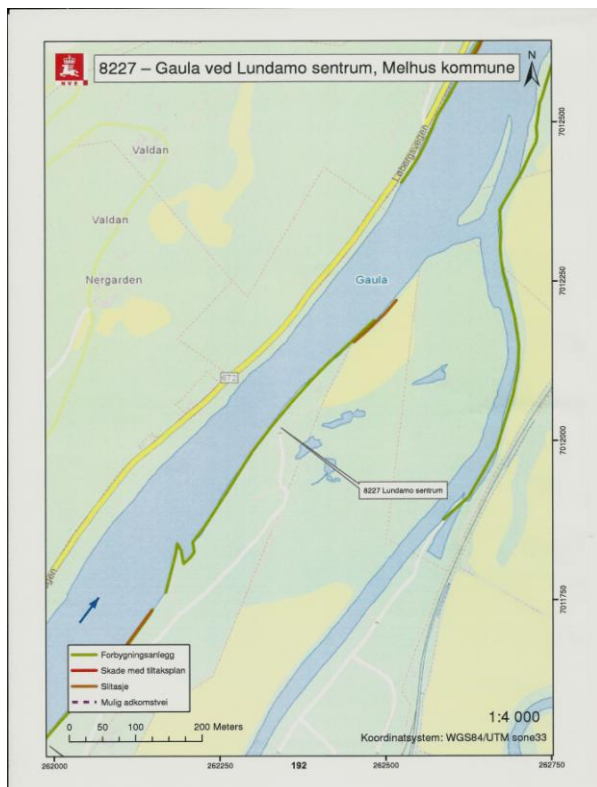




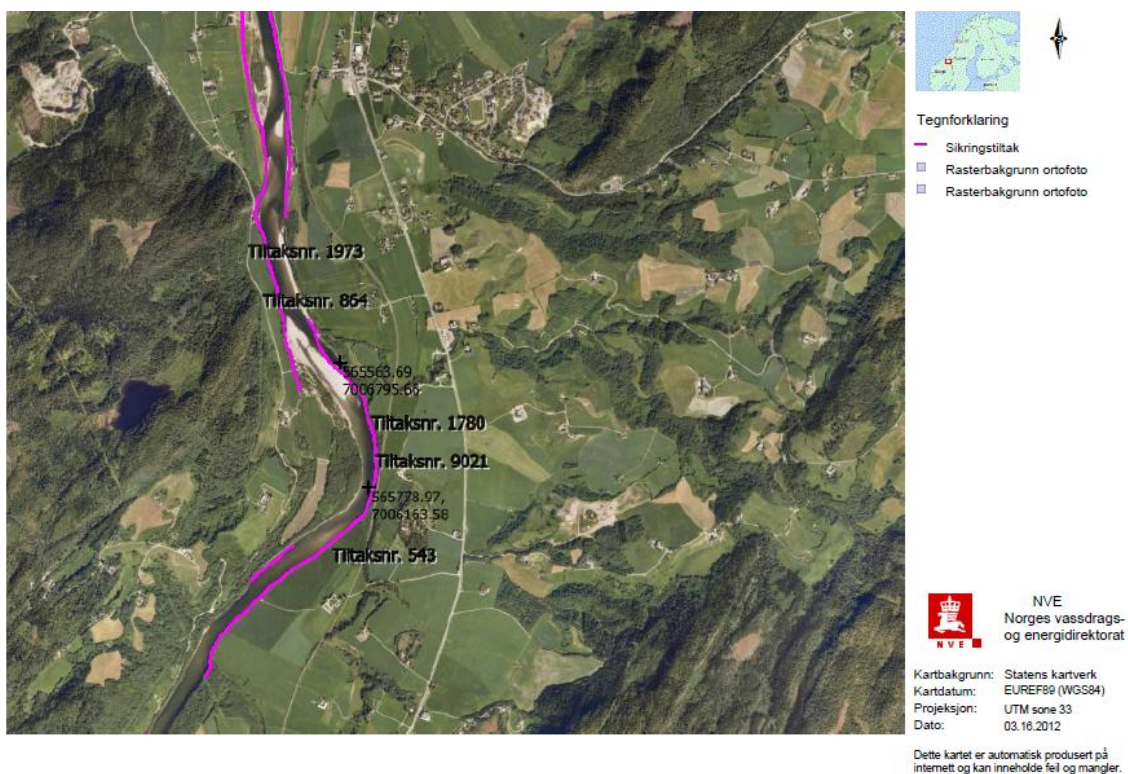
Vedlegg D: Forbygninger og nærliggende erosjonshull (NVEAtlas, 2012)



Erosjonshullet ved Lundamo er markert med kryss og koordinater, elveforbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).



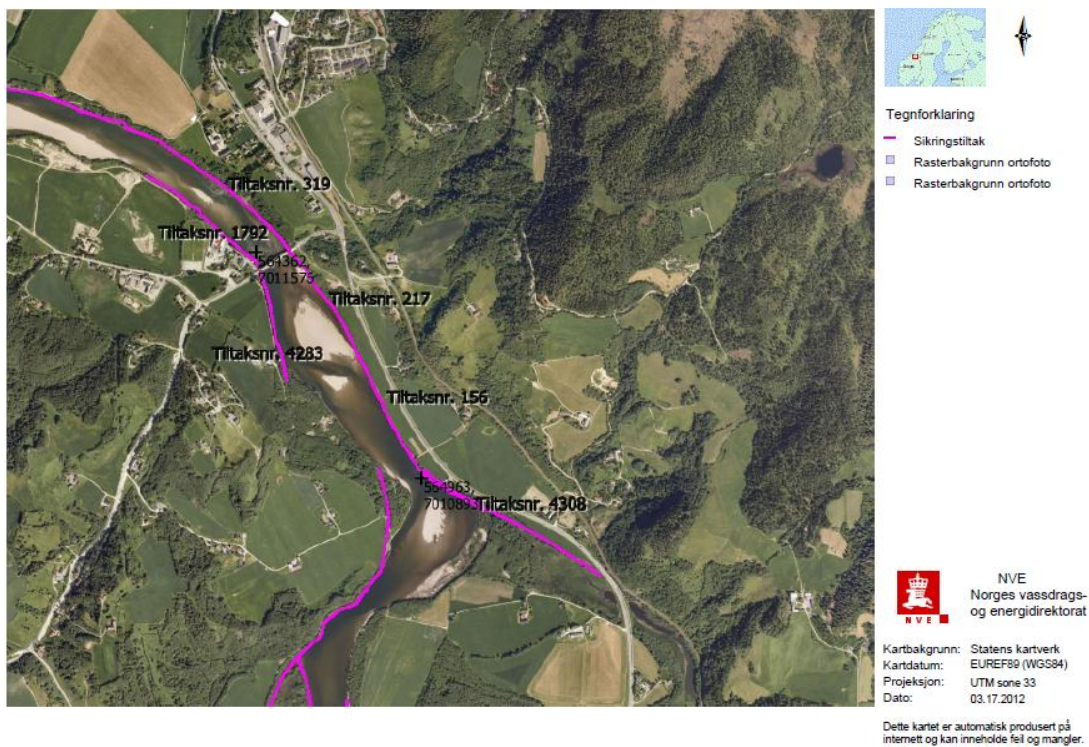
Strømvviseren ved Lundamo (Skei, 2010).



Erosjonshullene ved Ler og Megarden er markert med kryss og koordinater, elveforbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).

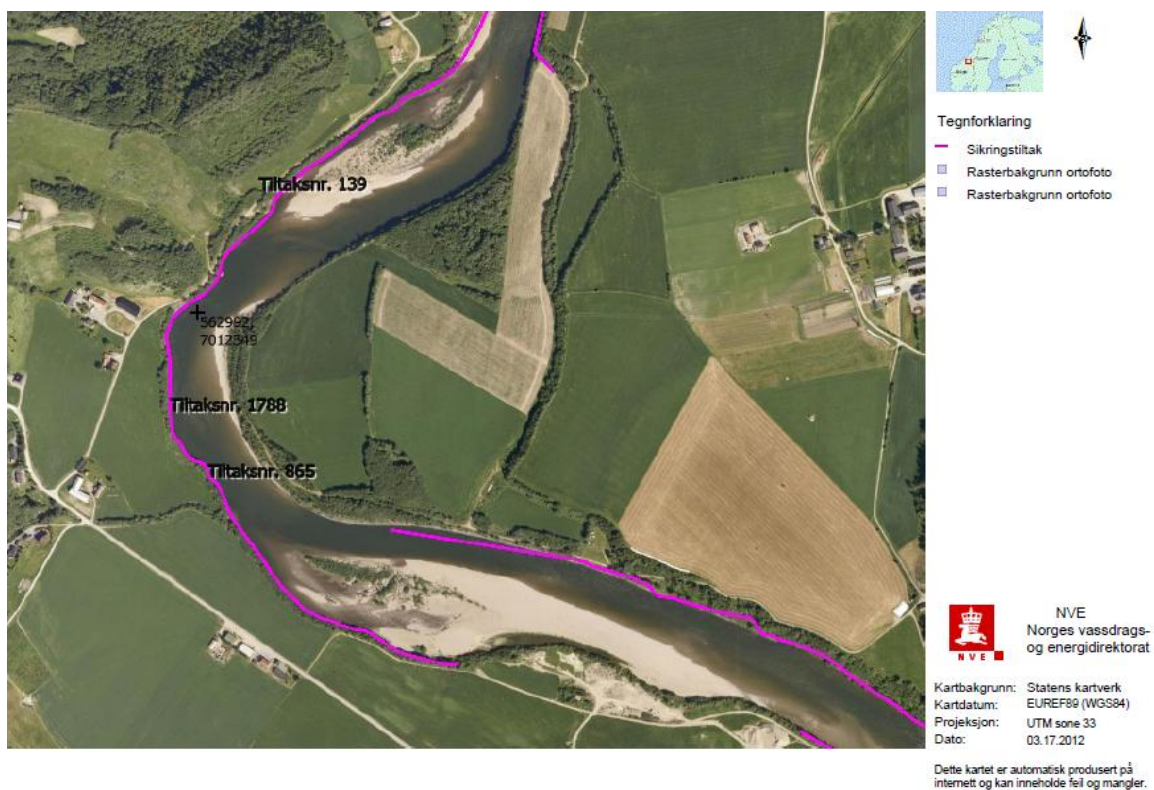


Erosjonshullene ved Forset og Kåsa er markert med kryss og koordinater, elveforbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).

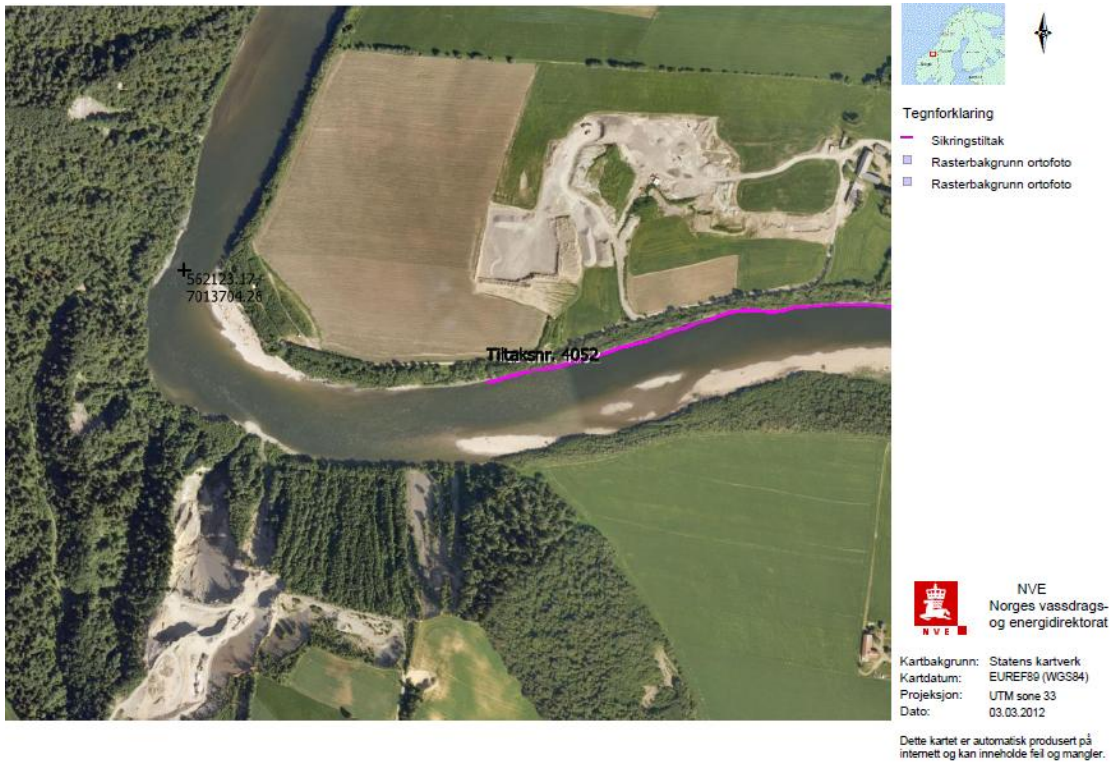


55

Erosjonshullene ved Øyan og Kvål er markert med kryss og koordinater, elveforbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).



Erosjonshullet ved Kregnesrønningen er markert med kryss og koordinater, elveforbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).



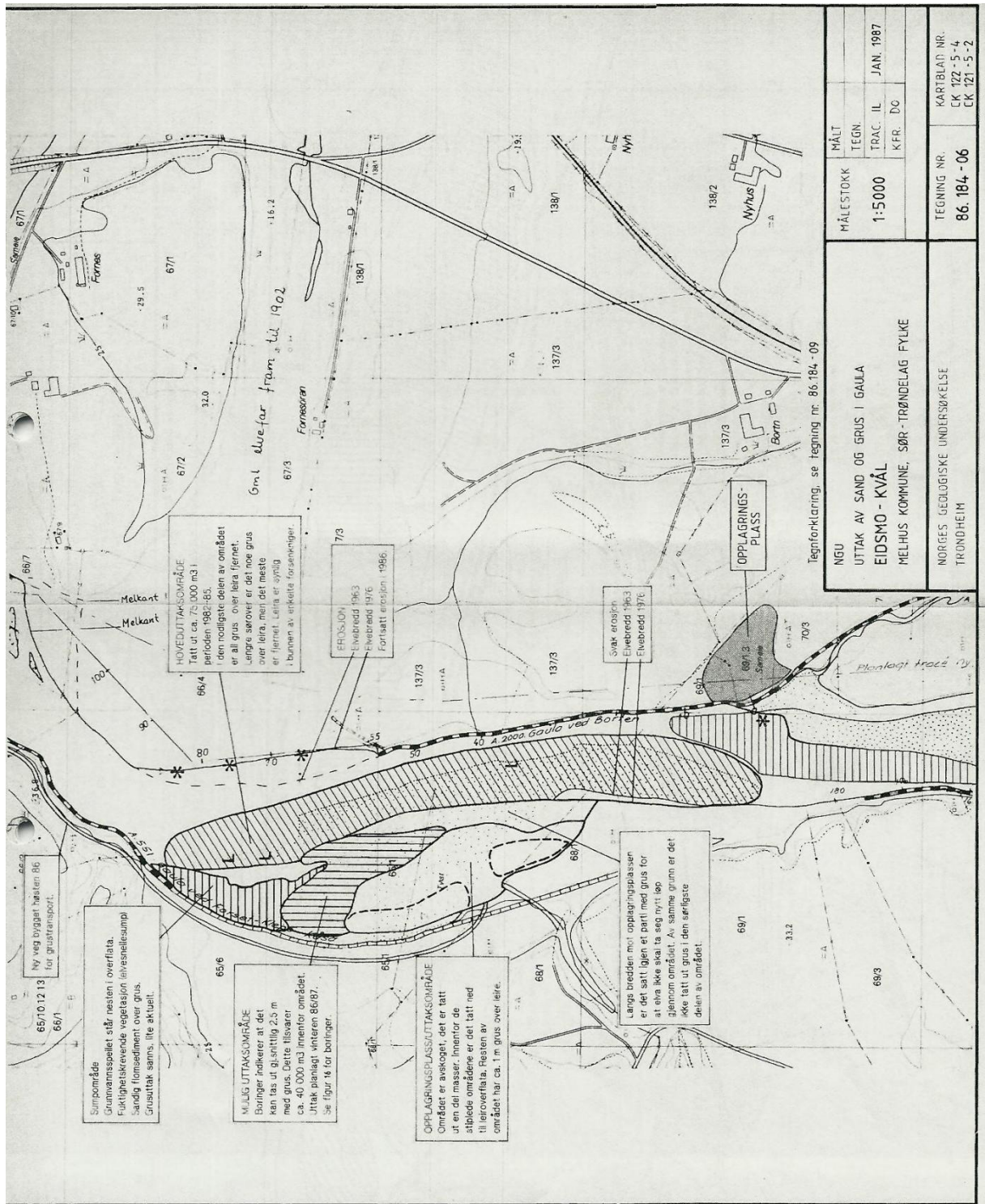
Erosjonshullet ved Sjetnhølen er markert med kryss og koordinater mens forbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).



Erosjonshullet ved Kuba er markert med kryss og koordinater, forbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).



Erosjonshullet ved Jaktøya er markert med kryss og koordinater, forbygningene er visualisert med rosa streker (NVEAtlas, 2012).



Figur 5. Delstrekning 4. Erosjonshullene ved Kåsa og Forset.

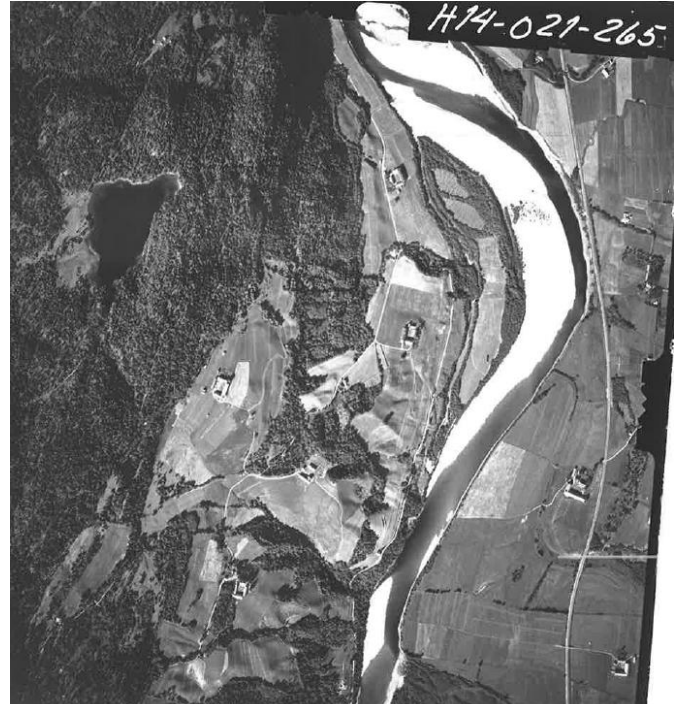


Figur 6. Delstrekning 5. Erosjonshullene ved Ler, Megarden og Lundamo.

Vedlegg F: Flybilder av erosjonshullenes lokalisering, tatt i 1947, 1988 og 2004.



Figur 1. Flybilde av Lundamo tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 2. Flybilde av Megarden tatt i 1947 (StatensKartverk, 1947).



Figur 3. Flybilde av Megarden tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 4. Flybilde av Ler tatt i 1947 (StatensKartverk, 1947).



Figur 5. Flybilde av Ler tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 6. Flybilde av Forset tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 7. Flybilde av Kåsa tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 8. Flybilde av Kåsa tatt i 1947 (StatensKartverk, 1947).



Figur 9. Flybilde av Øyan tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 10. Flybilde av Øyan tatt i 1947 (StatensKartverk, 1947).



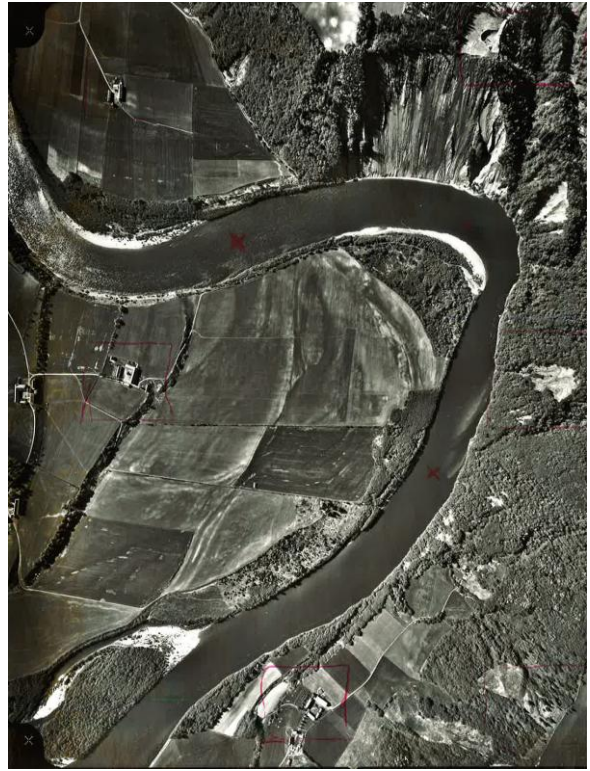
Figur 11. Flybilde av Kvål tatt i 1947 (StatensKartverk, 1947).



Figur 12. Flybilde tatt av Kvål i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 13. Flybilde av Kregnesrønningen tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 14. Flybilde tatt av Sjetnhølen tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).



Figur 15. Flybilde av Sjetnhølen tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).

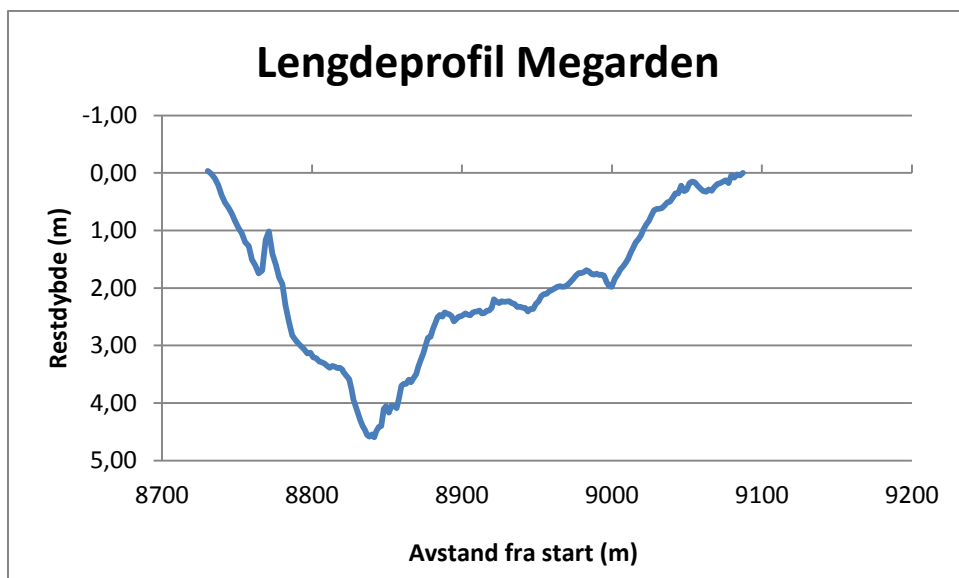
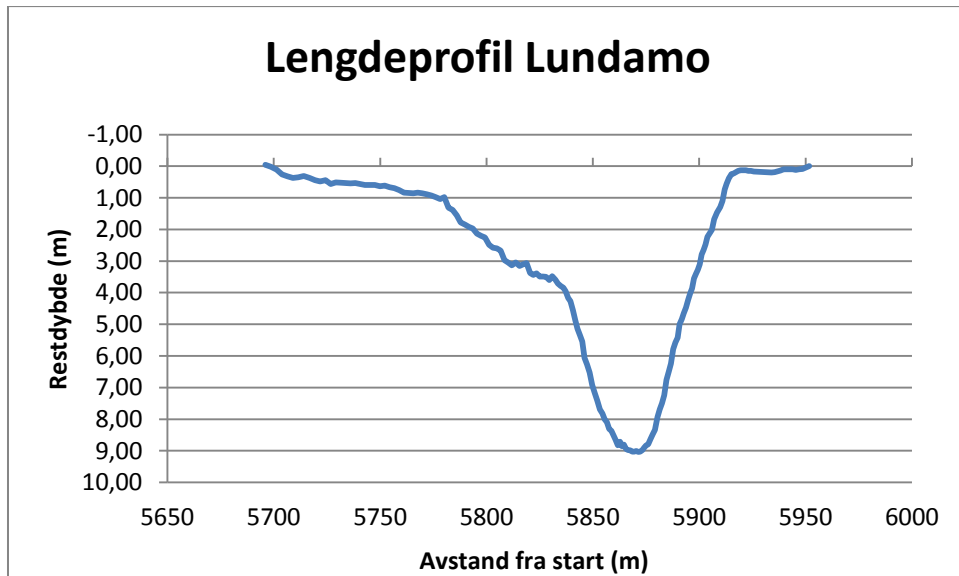


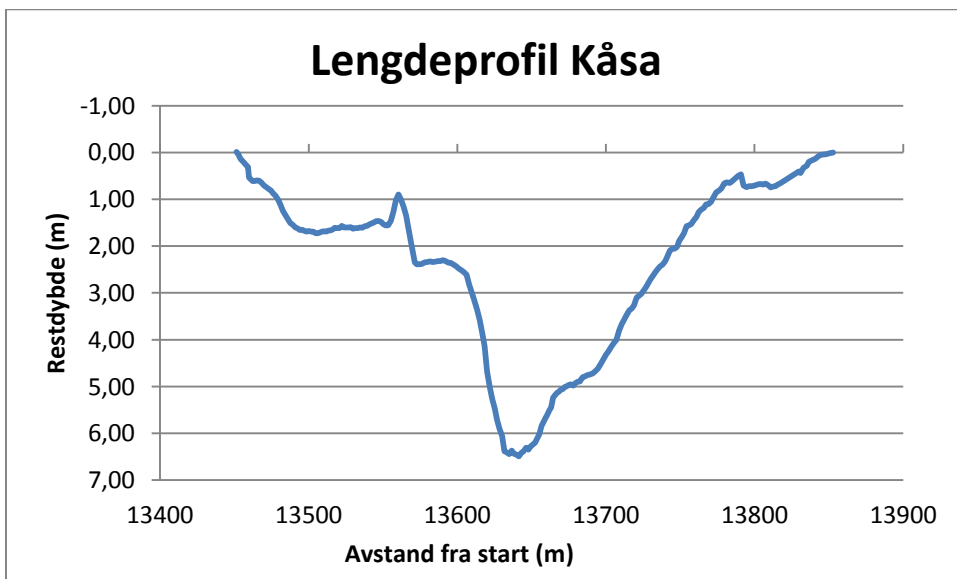
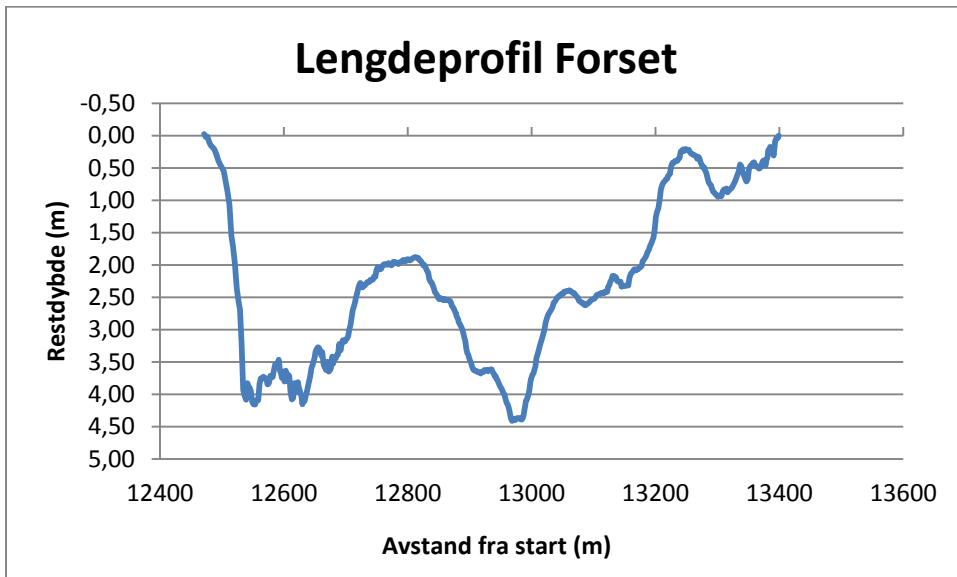
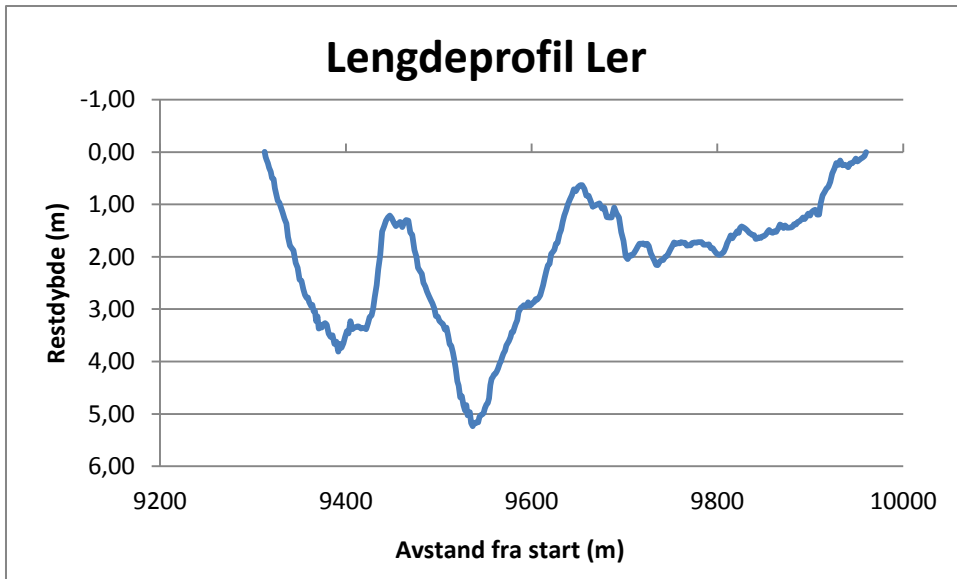
Figur 16. Flybilde av Kuba tatt i 1988 (StatensKartverk, 1988).

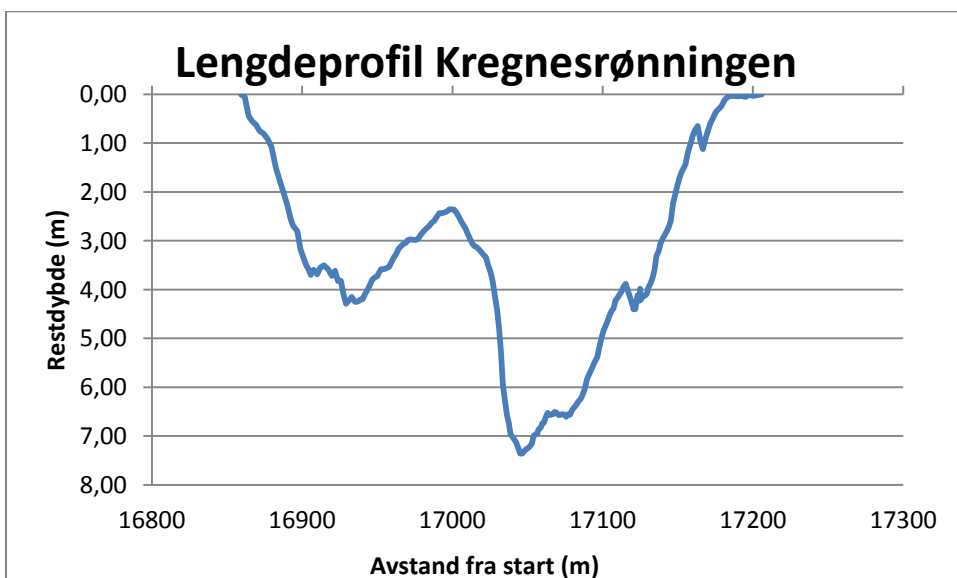
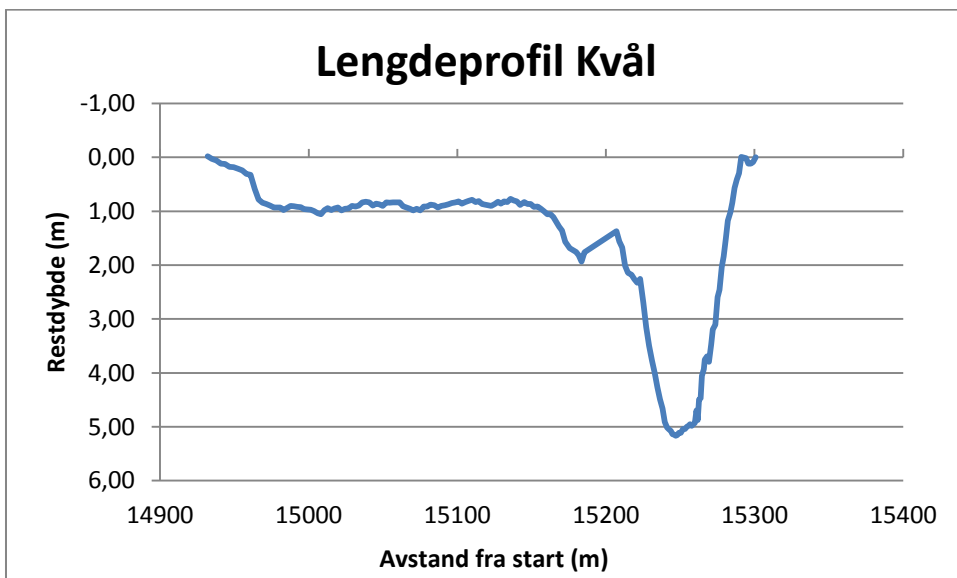
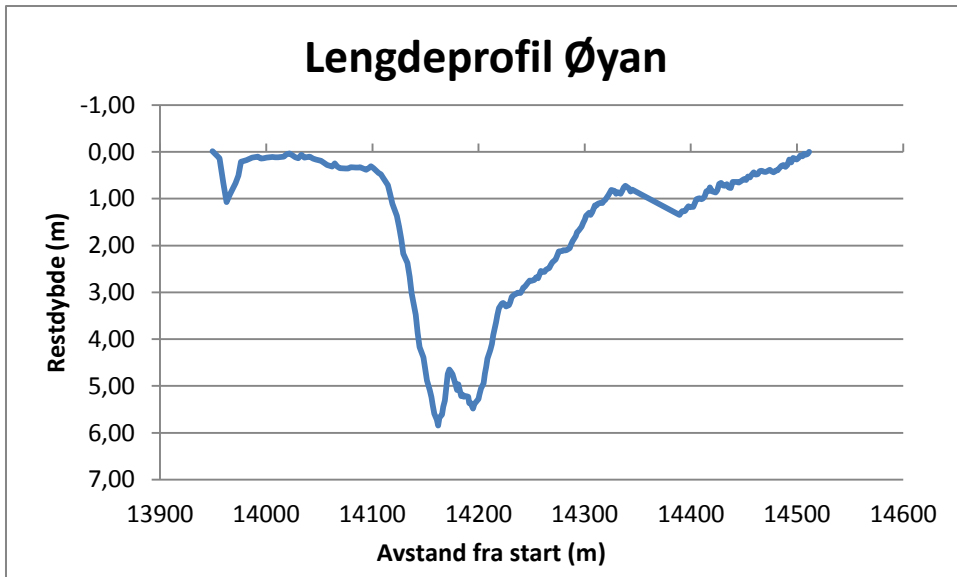


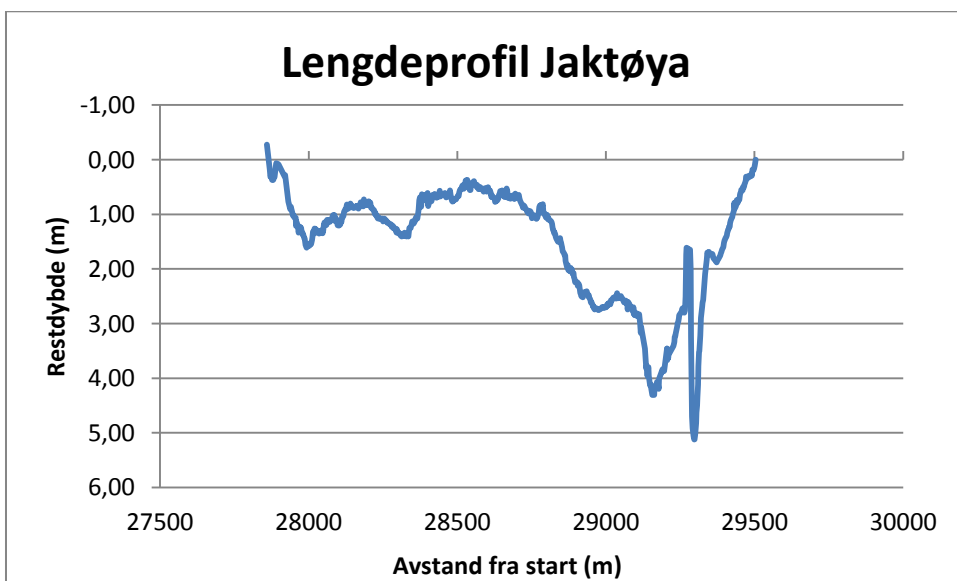
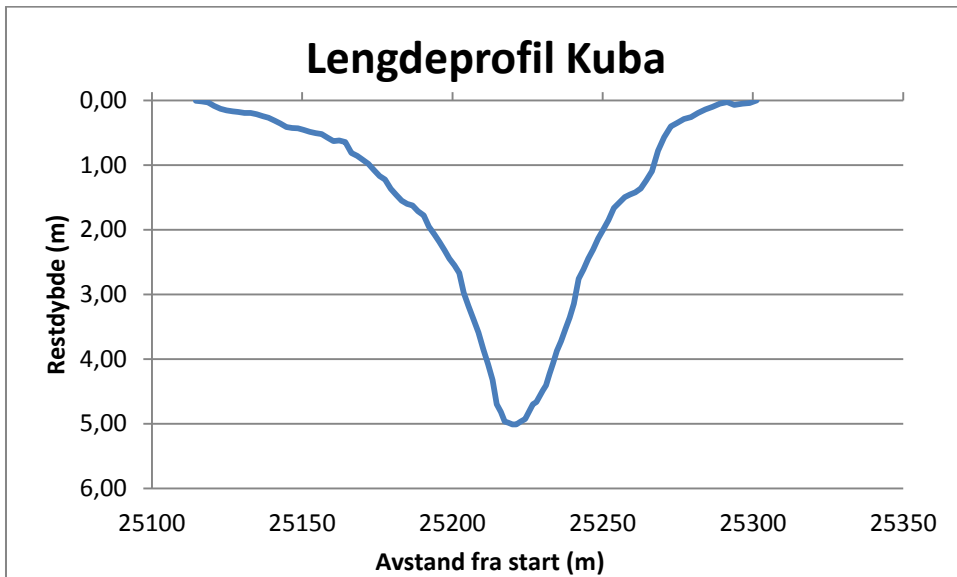
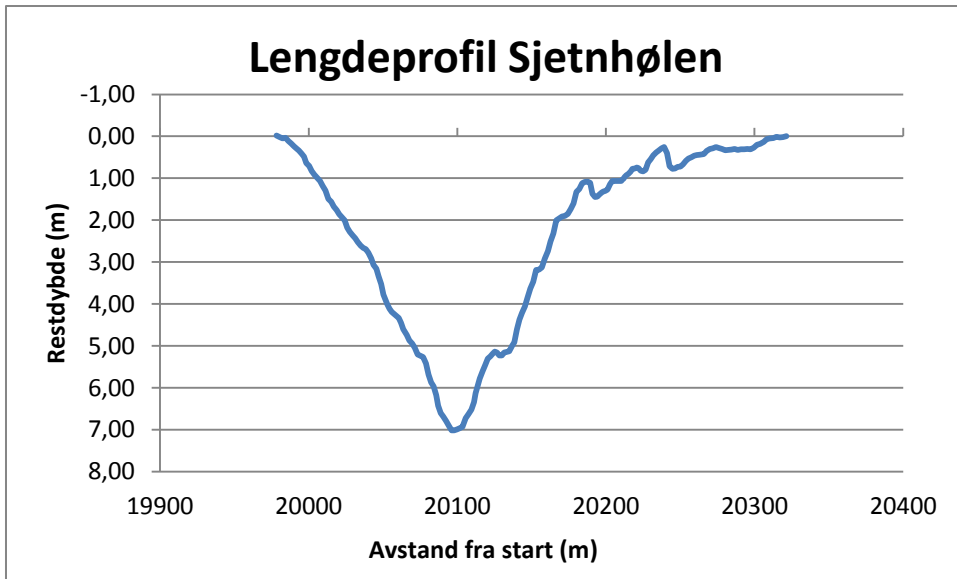
**Figur 17. Flybilde av Jaktøya tatt i 1988
(StatensKartverk, 1988).**

Vedlegg G. Lengdeprofil av de elleve erosjonsfullene









- Fjelstad K. (2007) Oppmåling av djupålen i Gaula. *Oppdragsrapport 2007*. Hydra Team.
- NVEAtlas. (2012) *Karttjeneste*. Available at:
<http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas>.
- Ottesen D. (1987) Uttak av sand og grus i Gaula. *NGU Rapport nr. 86.184*. Trondheim: NGU.
- Skei K. (2010) Erosjonssikringstiltak i Gaula. Kartlegging av tilstand og reparasjonsbehov. *Rapport nr 18-2010*. Trondheim: NVE, 1-289.
- StatensKartverk. (1947) Flybilder av Gaula.: Widerøes Flyveselskap., NVE Region Midt, 05.09.11.
- StatensKartverk. (1988) Flybilder av Gaula. Norsk luftfoto og Fjernmåling, NVE Region Midt, 05.09.11.