

# Kartlegging og paleostrømanalyse i karstgrotter ved Reingardslivatnet, Mo i Rana

Masteroppgave i Geovitenskap

av

Severin Lølkes



Institutt for Geovitenskap

Universitetet i Bergen

Juni 2017





Severin Lølkes

2017

Kartlegging og paleostrømanalyse i karstgrotter ved Reingardslivatnet, Mo i Rana

<https://bora.uib.no>

## Sammendrag

Denne masteroppgaven er en del av det andre leddet i Reingardsliprosjektet, som startet i 2015 og skal vare frem til 2018. I løpet av disse årene skal grottene Lapphullet, Persgrotten, Olavsgrotten og Larshullet kartlegges. I denne oppgaven vil det fokuseres på Lapphullet og Larshullet i samarbeid med Hege Kilhavn, Alexander Gulbrandsøy og Einar Taule Øyehaug. De to sistnevnte leverte i 2016, mens denne oppgaven leveres samtidig med Hege Kilhavns oppgave. I tillegg til kartleggingen vil det i denne oppgaven også fokuseres på grottens morfologi og paleostrømmer. Dette gjøres for å danne en oversikt over de tidligere hydrologiske forholdene i grottene. I oppgaven blir programvarer som blant annet «ESRI ArcGIS», «Coreldraw» og «Excel» brukt til utregning og modellering av data fra grottene.

Karstprosesser er kjemisk og fysisk korrosjon på sprekkesystemer i berggrunnen. Gradvis vil oppløsning føre til passasjer i et underjordisk dreneringssystem. Vannet fører til oppløsningsformer og sedimenter i grotten, som vil bli studert nærmere i denne oppgaven. Strømskåler er en oppløsningsform som kan brukes til å estimere den opprinnelige strømningshastigheten og vannføringen i passasjen. Av sedimenter blir det lagt hovedvekt på rullestein, hvor det her inngår klaster fra 1 cm i diameter og oppover. Størrelse og rundingsgrad kan henholdsvis indikere strømningsenergi og transportavstand. Alt dette vil kompliseres av glasiale prosesser som har funnet sted i løpet av de siste 2,7 millioner år.

Lapphullet har en total lengde på 2432 meter og en dybde på 71 meter. Larshullet har en lengde på 4869 meter og en dybde på 335 meter. Dermed er Lapphullet den niende lengste og Larshullet den fjerde lengste grotten i Norge. Sedimentene varierer i kornstørrelsen fra leire til rullestein på opp til en halvmeter i diameter. Gjennomsnittlig er rullesteinsdiameteren på 6-7 cm. Rullesteinene viser liten sammenheng med vannstrømmene som dannet strømskålene. Hastighetene beregnet fra lengdeaksen til strømskålene er stort sett under 50 cm/sek, en hastighet som er for lav til å mobilisere rullesteinene. I Lapphullet er det noen unntak hvor de beregnede hastighetene har vært tilstrekkelige til å transportere rullestein. Strømningsretninger og vannføring er forholdsvis ulik i Lapphullet og Larshullet. Ettersom Lapphullet viser antigravitativ, strøm har grotten blitt utviklet i et subglasialt miljø. Larshullet har ikke en reversert strøm. Dette viser dermed til forskjellige prosesser i de to grottene. Tidligere publikasjoner diskuterer enten subglasiale eller proglasiale forhold ved grottene. Data fra denne oppgaven indikerer en polygenetisk opprinnelse, hvor både subglasiale- og proglasiale prosesser kan ha vært aktive under utviklingen av grottene.



## Forord

Under geologistudiet har grotteforskning vært noe som har fascinert meg helt siden jeg deltok på den første grotteekskursjonen i regi av Universitetet i Bergen. Det er en veldig givende følelse å presse seg gjennom en trang passasje for å oppdage nye områder i grotten, hvor trolig ingen andre mennesker har satt sin fot før. Derfor er jeg veldig takknemlig for at veileder, Prof. Stein Erik Lauritzen ga meg muligheten til å skrive en masteroppgave i dette emnet.

Det er også mange flere som fortjener en takk for arbeidet som ligger bak denne masteroppgaven. Først vil jeg takke medveileder, Førsteamanuensis Rannveig Øvrevik Skoglund, som har gitt mye konstruktiv veiledning gjennom de to siste årene og som også tok seg tid til å korrekturlese store deler av oppgaven.

Jeg vil også takke samarbeidspartnerne mine Hege Kilhavn, Alexander Gulbrandsøy Stadheim og Einar Taule Øyehaug. Til tross for lange tunge dager i felt og sene kvelder på datarommet, har god stemning og dårlig humor holdt motivasjonen oppe. Med tanke på størrelsen og omfanget av feltarbeidet er jeg også veldig takknemlig for de frivillige medhjelperne: Cathrine Espeland, Johannes Seljebotn, Ole Even Heggset og Torstein Almo. Takket være dem klarte vi å kartlegge grottene på under tre uker. Jeg vil også rette en takk til Sverre Aksnes som var en fantastisk veileder og humørspreder i leiren.

Takk til Knut Stormo som disponerte leirområdet og transporterte alt feltutstyret til fjells. Takk til Sami Pakkarainen, Antti Eloranta og Yngve Gabrielsen som undersøkte mulighetene for dykking i grottene. Jeg har litt dårlig samvittighet for at Yngve fikk oppleve hvordan det føles å notere diameteren til 100 rullestein i bunnen av en grotte som holdt en temperatur på 2 °C i en varmedress uten batteri. Takk til Hilde Sofie Hansen fra miljøvernavdelingen i Rana kommune, som ga tillatelse og tilgang til å drive forskning i grottene.

Takk til Ida Marie Gabrielsen og Marie Heggstad som nye medlemmer i feltet 2016 og som bidro til å holde humøret oppe i atter et nytt feltarbeid. Takk for støtten fra Lina Asbjørnsens stipendiefond som finansierte to feltsesonger i Mo i Rana. Til slutt vil jeg også takke min søster Ayla Sofie Vedå, som har måtte korrekturlese seg gjennom et drøss av geovitenskapelige tekster de siste to årene.



Bergen, mai 2017

Severin Lølkes





## Innholdsliste

1	Introduksjon.....	1
2	Områdebeskrivelse .....	3
2.1	Berggrunnsgeologi .....	5
2.2	Kvartærgeologi.....	8
2.3	Klima .....	9
3	Teori.....	11
3.1	Karst og karstprosesser.....	11
3.1.1	Begreper.....	12
3.1.2	Oppløsning av karbonatbergarter.....	13
3.1.3	Åpent og lukket system.....	16
3.2	Utvikling av et grottesystem .....	17
3.2.1	Gjennombrudd og hydraulisk effekt.....	17
3.3	Geologi i grotten .....	20
3.3.1	Geologisk påvirkning på grottesystem.....	20
3.3.2	Stripekarst.....	21
3.4	Hydrologi.....	21
3.4.1	Grunnvann .....	21
3.4.2	Akvifer .....	22
3.4.3	Grunnvannsoverflater og strømningssoner.....	23
3.5	Grottemorfologi.....	25
3.5.1	Freatisk.....	25
3.5.2	Vados.....	26
3.5.3	Strømskåler .....	27
3.6	Glacial karst.....	29
4	Metode.....	31
4.1	Utstyr .....	31
4.2	Utførelse .....	32
4.3	Behandling av kartdata .....	34
4.3.1	Grottoff.....	34
4.3.2	Coreldraw.....	35
4.4	Innsamling av hydrogeologiske data.....	35
4.4.1	Strømskåler .....	35
4.4.2	Rullestein.....	38
4.4.3	Grottemorfologi .....	39
4.5	Behandling av hydrologiske data.....	39

4.5.1	Utregning av strømningshastighet.....	39
4.5.2	Vannføring.....	40
4.5.3	Programvare til beregning .....	40
4.5.4	Behandling av rullesteinsdata .....	40
4.5.5	Hjulstrømdiagram .....	41
4.6	Usikkerheter.....	42
5.	Resultat .....	45
5.1	Generelle data.....	45
5.2	Lapphullet .....	47
5.2.1	Øvre partiet.....	47
5.2.2	Hovedgang .....	49
5.2.3	Nordre Lapphull og Kollapsgang .....	50
5.2.4	«High-level route» .....	51
5.2.5	«Lower Passage».....	52
5.2.6	Storgangen .....	52
5.2.7	«Drainpipe».....	53
5.2.8	«Wilf's- og Rodent passage».....	54
5.2.9	Gjel og Vannlåsen.....	55
5.3	Larshullet.....	56
5.3.1	Inngangsparti .....	56
5.3.2	Labyrint og Sjakt 1.....	58
5.3.3	Fossehallen.....	59
5.3.4	Storkirken.....	59
5.3.5	Tunnelen og Splitten .....	60
5.3.6	Sørgangen .....	61
5.3.7	Nordgangen.....	62
5.3.8	Corbels Nordgang.....	64
5.4	Paleohydrologi .....	65
5.4.1	Larshullet.....	65
5.4.2	Lapphullet .....	73
5.5	Dagens hydrologiske løp.....	82
6	Diskusjon .....	83
6.1	Tidligere publikasjoner og hypoteser.....	83
6.2	Diskusjon av resultater.....	84
6.2.1	Avsetninger .....	84
6.2.2	Strømskåler og Morfologi .....	90

6.2.3	Forholdet mellom Larshullet og Lapphullet.....	98
6.3	Gjennomgang av de forskjellige hypotesene.....	101
6.4	Utvikling av grottesystemet.....	103
6.4.1	Protogrottestadiet .....	103
6.4.2	Lapphullet blir dannet.....	104
6.4.3	Moderate isdekker over Lapphullet og Larshullet .....	106
6.4.4	Larshullet utvikles mot Røvassdalen.....	106
7	Konklusjon.....	108
	Videre arbeid.....	109
	Referanser:.....	110
	Vedlegg 1: Kart over Larshullet.....	118
	Vedlegg 2: Lengdeprofil av Larshullet.....	123
	Vedlegg 3: Kart over Lapphullet.....	124
	Vedlegg 4: Lengdeprofil av Lapphullet.....	126
	Vedlegg 5: Rullestein – Larshullet.....	128
	Vedlegg 6: Rullestein – Lapphullet.....	141
	Vedlegg 7: Rullesteinsform – Lapphullet .....	156
	Vedlegg 8: Rullesteinsform -Larshullet .....	158
	Vedlegg 9: Strømskåler – Larshullet.....	160
	Vedlegg 10: Strømskåler – Lapphullet .....	164



## 1 Introduksjon

Geologiske undersøkelser i grottesystemer kan være veldig nyttige for forskning. Verdifull informasjon fra forhistorisk tid ligger nemlig lagret inne i grotten. Det er med andre ord mulig å hente frem informasjon om landskap og geologi som ikke eksisterer i dag. Grotteforskning er et felt som går på tvers av fagområder. Det kan forskes blant annet på sedimentologi, strukturgeologi, hydrologi, paleoklimatologi og kvartærgeologi. Denne oppgaven er en del av Reingardsliprosjektet som startet opp i 2015. I løpet av prosjektet skal fire grotter kartlegges: Lapphullet, Larshullet, Persgrotten og Olavsgrotten. Denne oppgaven skal ta for seg kartlegging av Lapphullet og Larshullet i samarbeid med Alexander Stadheim, Einar Øyehaug og Hege Kilhavn. Første del av prosjektet ble fullført sommeren 2016 av Stadheim (2016) og Øyehaug (2016). Denne oppgaven utgjør en del av det andre leddet i prosjektet og leveres samtidig med Hege Kilhavns oppgave. Persgrotten og Olavsgrotten blir kartlagt av Ida Marie Gabrielsen og Marie Heggstad og skal etter planen fullføres sommeren 2018.

I Norge finnes det over 2000 kjente grotter, hvor ca. 50 av dem er lengre enn 1 km (Lauritzen og Skoglund, 2013a). Med unntak av Svalbard befinner flertallet av disse grottene seg i Nordland. Oxaal (1914) er den første systematiske publikasjonen gjort innenfor grottstudier i Norge (Lauritzen, 1981a). Horn (1947) undersøkte rundt 20 grotter i Nordland og gjennomførte et grundig arbeid som blant annet omhandlet grottene ved Reingardslivatnet. Senere har aktivitet fra flere engelske grotteklubber under Cave Research Group, ført til en dobling av kjente grotter i Norge (Lauritzen, 1981a).

Denne oppgaven har som mål å ta for seg tydeligere hydrologiske forhold i grotten ved å studere dens form og utstrekning. Dette skal gi en indikasjon på hvilke krefter som var aktive da grotten ble dannet. Oppgaven vil behandle informasjon om vannets tidligere strømningshastigheter og vannføring. Dette blir gjort ved å måle oppløsningsformer i vegger og tak. Formene er kjent som strømskåler, og de vil brukes til å se nærmere på en sammenheng mellom grottens utvikling, og prosesser som har funnet sted på overflaten. Strømningsregimet påvirker også hvilke avsetninger en finner i grottesystemene. Ettersom Hege Kilhavn undersøker avsetninger av mindre kornpartikler vil det i denne oppgaven fokuseres på rullestein. Dette er klaster som får sine kanter slitt ned til de blir runde partikler under bevegelse i vannstrømmen. Rullesteinenes størrelse, rundingsgrad og form vil bli

undersøkt. Generelt indikerer store rullesteiner en vannbevegelse med høy energi, og stor rundingsgrad indikerer en lang transportdistanse.

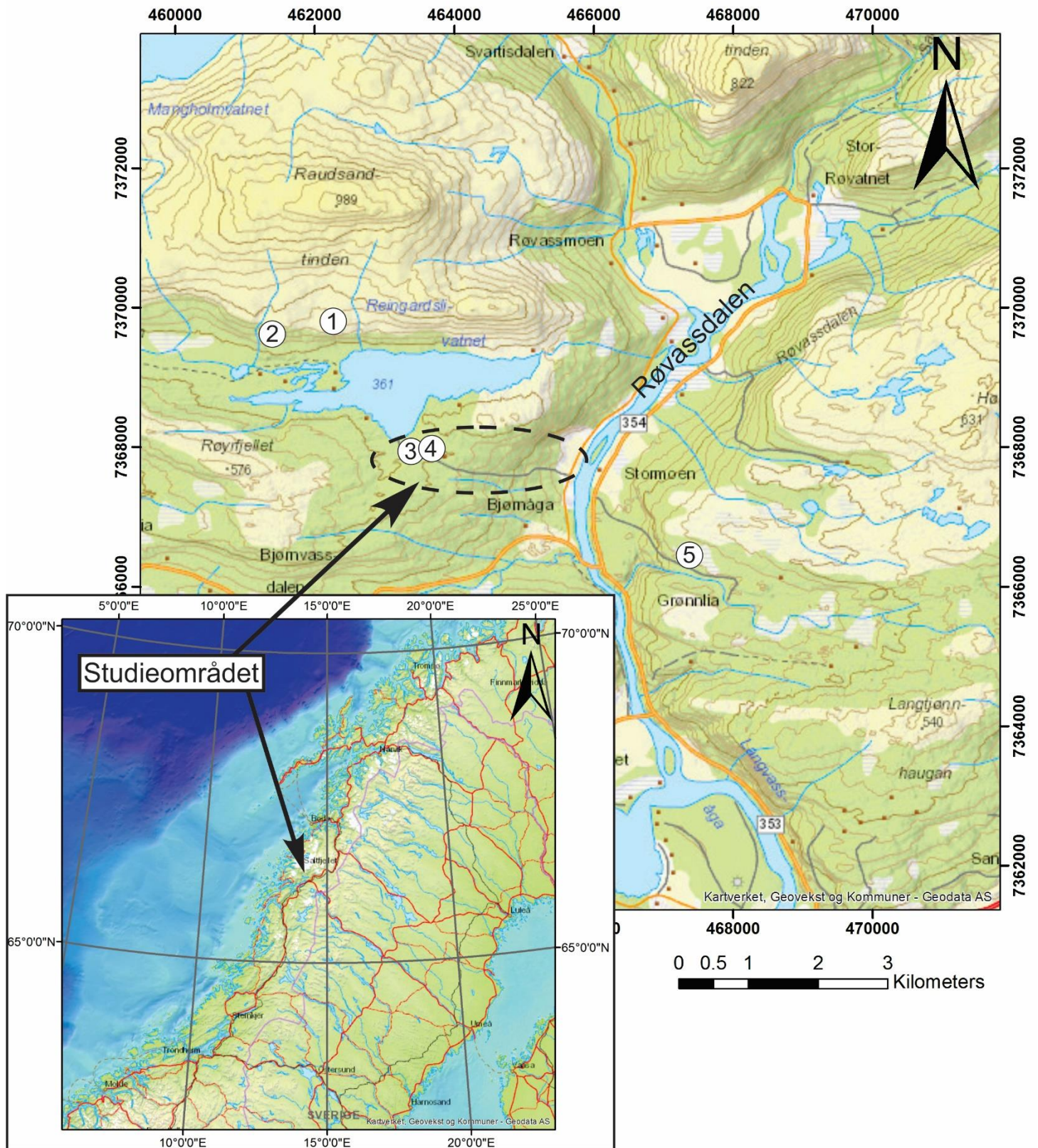
Oppgaven skal i hovedsak gi en oversikt over grottesystemene ved Reingardslivatnet. Kartene kan bidra til framtidig forskning, samt til masteroppgavene som skrives i sammenheng med dette prosjektet. I tillegg skal oppgaven gi en oversikt over grottens utvikling og modellere tidligere strømningsforhold. Den skal dermed bidra i arbeidet med å forstå karst i et arktisk klima. Oppgaven har som mål å prøve å besvare følgende spørsmål.

- Hvordan var de hydrologiske forholdene i grottene da de ble dannet?
- Var grottene et sammenhengende system under dannelsesprosessen?
- Ble Lapphullet og Larshullet dannet samtidig og under lignende prosesser?
- Hvilke eksterne prosesser påvirket grottesystemene og hvordan?

Første ledd av Reingardsliprosjektet ble gjennomført av Øyehaug (2016), som tok for seg strukturgeologi. Stadheim (2016) drøftet grottenes tilknytning til overflaten og Reingardslivatnet. Hege Kilhavn arbeider med sedimentologi og mineralogi i grottene

## 2 Områdebeskrivelse

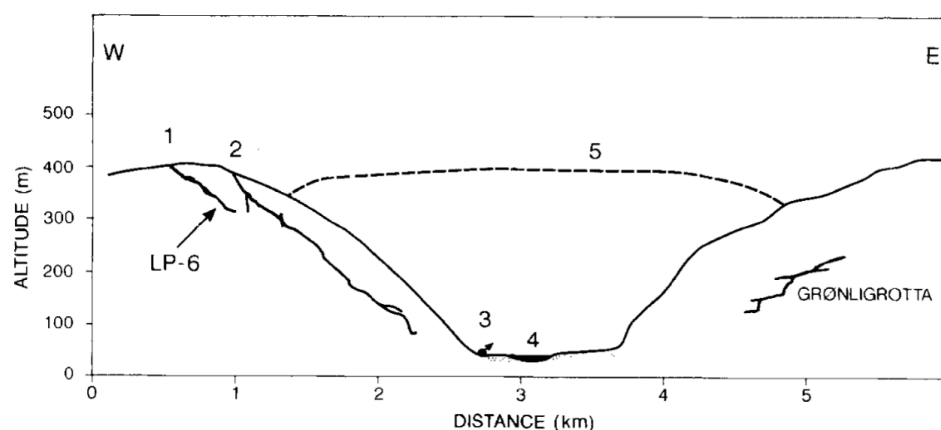
Mellom breddegradene 65°N–69°N er det blitt observert flest grotter i Norge (St. Pierre, S. 1988). Her ligger det belter med marmor som utgjør grunnlaget for grottedannelse. Topografien har en gjennomsnittlig høyde på 1000 meter (St. Pierre, D. 1988) og preges av glasiale daler. Studieområdet til denne oppgaven ligger i et område nordvest for Mo i Rana, 66°N 14°Ø. Øst for studieområdet går Røvasdalen i en nord–sør retning hvor det går marmorbelter på tvers av dalen. I dalen er det avsatt glasiale avsetninger fra pleistocen til nyere tid, som i hovedsak består av elv- og breelvtransporterte masser (Morland og Grønlie, 1992). Øst i dalen ligger Grønligrotta, som er den eneste grotten med innlagt belysning for turister (Lauritzen, 2009b). I nærheten finner en også Setergrotten, Ratadalsgrotten og Vesterfjellgrotten (Hjorthen, 1968). Vest for dalen ligger det flere grotter som er sentrert rundt Reingardslivatnet. Nord for denne innsjøen ligger Reingardsligrotten og Ponorgrotten (Hjorthen, 1968). Sør for innsjøen ligger Olavsgrotten, Persgrotten og de to grottene som det fokuseres på i denne oppgaven: Lapphullet og Larshullet (figur 2.1). Inngangen til grottene ligger ca. 400 m o.h., rundt 30 meter over Reingardslivatnet. Vest for studieområdet ligger Glomdalen med grottene Storbekkgrotta og Kalkrastgrotte (Lauritzen, 1984). Vegetasjonen i området befinner seg i nærheten av tregrensen og består i hovedsak av mindre bjørkeetrær og buskvekster. Vegetasjonen kan gjøre det utfordrende å finne karstformer og grotteinnganger på overflaten. En må trå forsiktig i dette landskapet ettersom vegetasjonen kan skjule eventuelle fallgroper i området. I karstlandskapet blir det meste av vannet drenert vekk fra overflaten, og det er dermed ikke observert overflatedrenering ved studieområdet.



Figur 2.1: Oversiktskart til feltområdet. 1: Ponorgrotten. 2: Reingardsligrotten. 3: Lapphullet. 4: Larshullet, Persgrotten og Olavsgrotten, 5: Grønligrotta (Hjorthen, 1968). Kartdata er hentet fra: Kartverket, Geovekst og Kommuner – Geodata AS.



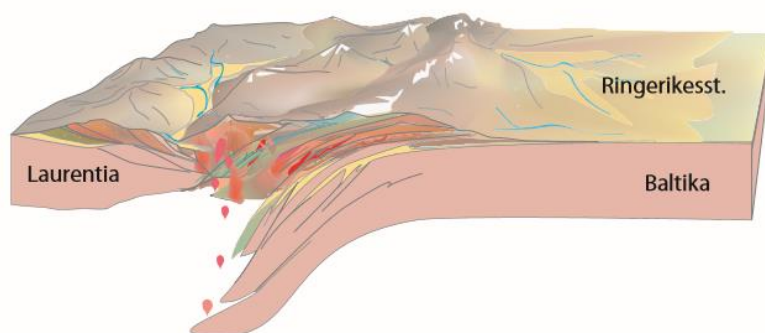
Lapphullet og Larshullet starter ved Reingardslivatnet og strekker seg i en øst–vest retning nedover mot Røvasdalen. Grottene har en hengende plassering oppe i dalsiden, hvor det er lite tilførsel av vann. Dette betyr at grottens utvikling har stoppet (Lauritzen og Skoglund, 2013b). Dermed kan ikke dagens plassering i terrenget forklare grottens opprinnelse og dannelse. Lapphullet strekker seg en halv kilometer mot øst, mens Larshullet strekker seg ned til dalbunnen. Larshullet viser med dette en tilknytning til Røvasdalen, men grottens forhold til Reingardslivatnet er usikker. Som tidligere nevnt, ligger Grønligrotta i det samme marmorbeltet på østsiden av Røvasdalen (figur 2.2). Det kan derfor være en sammenheng i dannelseshistorien til Grønligrotta og grottene ved Reingardslivatnet. Øvrevik (2002) viste at Grønligrotta var dannet periodevis under glasiale forhold og beregnet at minimumsalderen var 15 000 år, men sannsynligvis mye eldre.



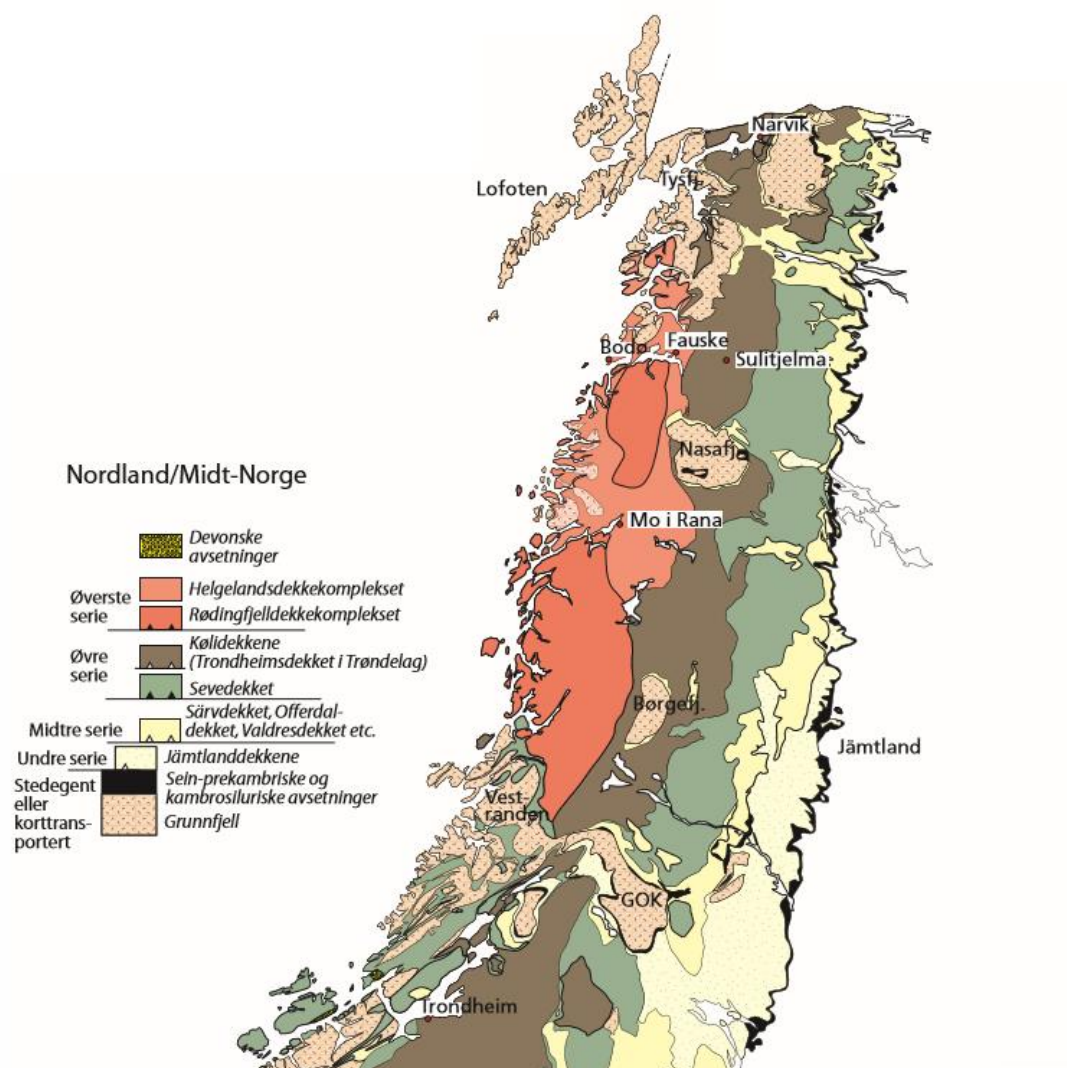
Figur 2.2: Tverrsnitt av Røvasdalen med Lapphullet og Larshullet i vest (W) og Grønligrotta i øst (E). Hentet fra Lauritzen et al. (1990).

## 2.1 Berggrunnsgeologi

Berggrunnen i Nordland er en del av den opprinnelige kaledonske fjellkjede (Fossen et al., 2006). Den ble dannet da det Baltiske og Laurentiske kontinentet kolliderte for ca. 425 millioner år siden (Fossen et al., 2006). Den vestlige delen av Skandinavia ble presset under det Laurentiske kontinent (figur 2.3).



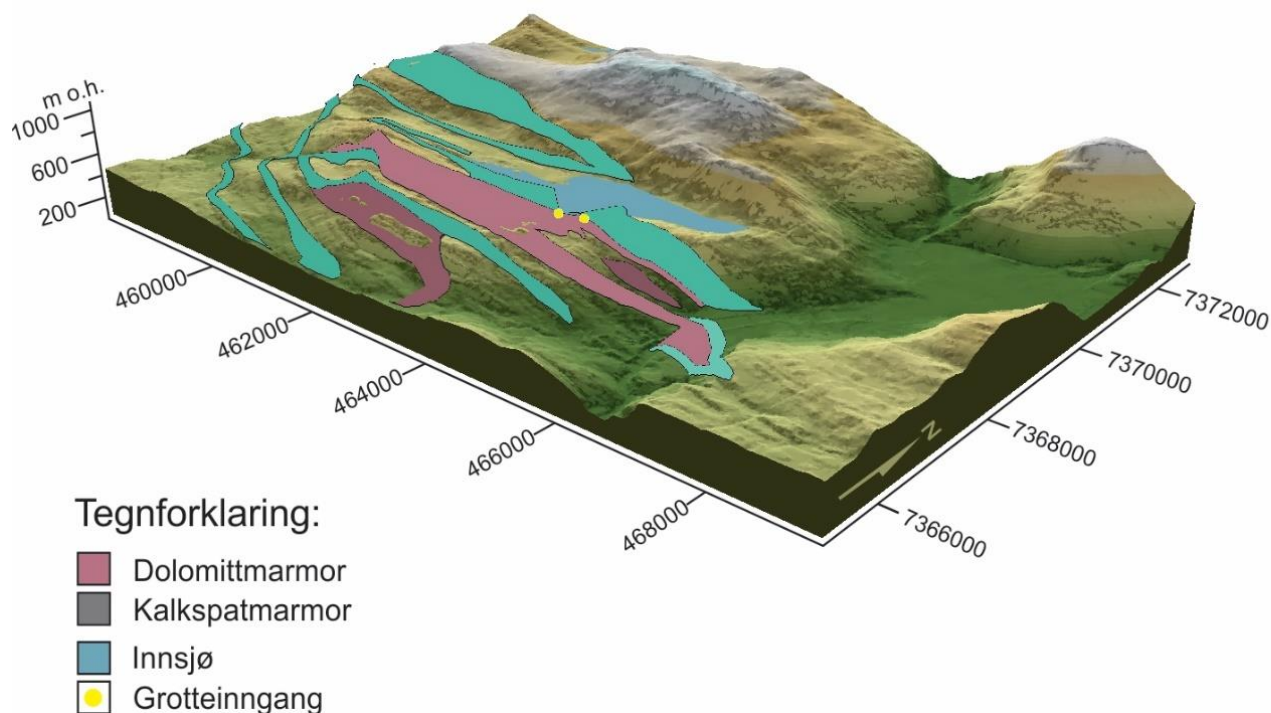
Figur 2.3: Etablering av den kaledonske fjellkjede og oppstabling av skyvedekker. Hentet fra Fossen et al. (2006).



Figur 2.4: Dekkserien fra Nordland. Studieområdet ligger i Helgelandsskivekomplekset, nord for Mo i Rana. Hentet fra Fossen et al. (2006)

Dette området ble utsatt for stort trykk og høy temperatur, noe som forklarer den gradvis økende metamorfosen i bergartene mot vest i Nordland. Bergartene fra fjellkjededannelsen blir delt inn i skyvedekker (figur 2.4). Studieområdet ligger i Helgelandsskivekomplekset. Hovedbergartene i dette komplekset består av glimmergneiser, glimmerskifre og granittiske intrusiver (Fossen et al., 2006). Her går det to granittiske gneisbelter, et langs kysten og et langs grensen mot Sverige (St. Pierre, S. 1988). Mellom disse to beltene ligger et glimmerskiferbelte, og i dette beltet eksisterer det flere små marmorlag hvor karstprosessene finner sted. Marmoren varierer i litologi, helning og tykkelse grunnet prosessene som fant

sted under dannelsen av den kaledonske fjellkjede (St. Pierre, S. 1988). Generelt består karstområdene av metamorf kalsitt- og dolomittmarmor (figur 2.5) (Lauritzen, 1991). Marmoren er av prekambrisk og paleozoisk opprinnelse og gikk gjennom rekrystallasjon og tektonisk folding under fjellkjededannelsen. Til tross for en varierende grad av metamorfose, har denne vært tilstrekkelig til å rekrystallisere marmoren fullstendig (Lauritzen, 2001). For å initiere grottedannelse, er den avhengig av å ha en tilgjengelig startpassasje. Rekrystallisering av marmoren fjerner opprinnelig lagdeling og sprekker i bergarten. Uten deformasjon og sprekkedannelse oppstår det ikke grottesystemer i den kompakte marmoren. En slik oppsprekking skal ha startet i mesozoikum tid (Gabrielsen et al., 2002) (251 – 65 millioner år siden). Siden mesozoikum tid har fjellkjededannelse, oppløfting og erosjonsepisoder resultert i lange og smale belter av marmor. Marmorbeltene preges vekselvis av lag med glimmer- eller kvartsittskifer, gneiser og granittintrusjoner (Lauritzen og Skoglund, 2013a). Lateral utstrekning av slik lagdeling er en kjent karstform i Norge, den kalles stripekarst (Horn, 1937 i Lauritzen og Skoglund, 2013a) (Kap. 3.3.2).

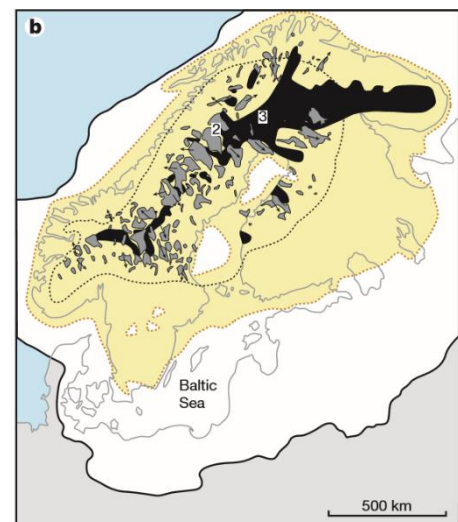


Figur 2.5: Terrengmodell av området rundt Reingardslivatnet. Vertikalskala er overdrevet med x2. Berggrunnsdata er hentet fra Norges Geologiske Undersøkelse (2016) mens terrengmodellen er hentet fra Kartverket.no.

## 2.2 Kvartærgeologi

Isdekker og mindre breer har hatt en stor påvirkning på landskapet i Nordland. Dype fjorder, U-daler, botner og tusenvis av innsjøer er alle et resultat av glasial aktivitet (Mangerud et al., 2011). Istidene på den nordlige hemisfære startet for om lag 2.8 millioner år siden (Vorren og Mangerud, 2008). Det eksisterte breer før den tid, men fra denne tiden økte størrelsen på breer globalt. Frem til 1.1 millioner år siden, var issyklusene dominert av 41 000 års sykluser (Mangerud et al., 1996). Det har blitt estimert 50 klimasvingninger under denne perioden. For etter 1.1 millioner år gikk istidene over til 100 000 års sykluser. Under denne perioden dominerte isdekker som strakk seg ned til Sentral-Europa. Mot vest strakte isen seg ut til kontinentalhyllen og langs eggakanten var isen på 500–600 meters dyp. På denne vanddybden kalvet isdekket, som hindret en videre utbredelse mot vest. I sentrale deler av Skandinavia var isen frosset fast til underlaget (figur 2.6) (Kleman og Hättstrand, 1999). Dette resulterte i at underlaget ble beskyttet i stedet for at det ble utsatt for erosjon. De siste 2.6 millioner årene var klimaet interglasialt i ca. 6–8 % av tiden, mens den glasiale maksimum varte i mindre enn 5 % av tiden (Mangerud et al., 1996). Det vil si at Skandinavia i den resterende tiden befant seg under et intermediært isdekke.

Ettersom isen eroderer og fjerner bevis fra tidligere istider, er kartlegging fra siste istid ofte mer detaljert. Nedsmeltingen fra siste istider over Skandinavia startet med en isfri kontinentalhylle. Dette førte videre til en fortykning av isdekket over fastlandet (Vorren og Mangerud, 2008). Etter et lite framrykk under Yngre Dryas for ca. 12 000 år siden, smeltet isen fullstendig i tidlig holocen tid. Under nedsmeltingen steg havnivået i Norge. Havnivåets høyeste punkt etter isnedsmeltingen er kjent som den marine grense (MG). Denne grensen varierer langs kysten grunnet variasjoner i landhevingen (NGU, 2017). I Røvassdalen ligger den marine grense på 117 meter ifølge oversiktskart fra NGU (2017).

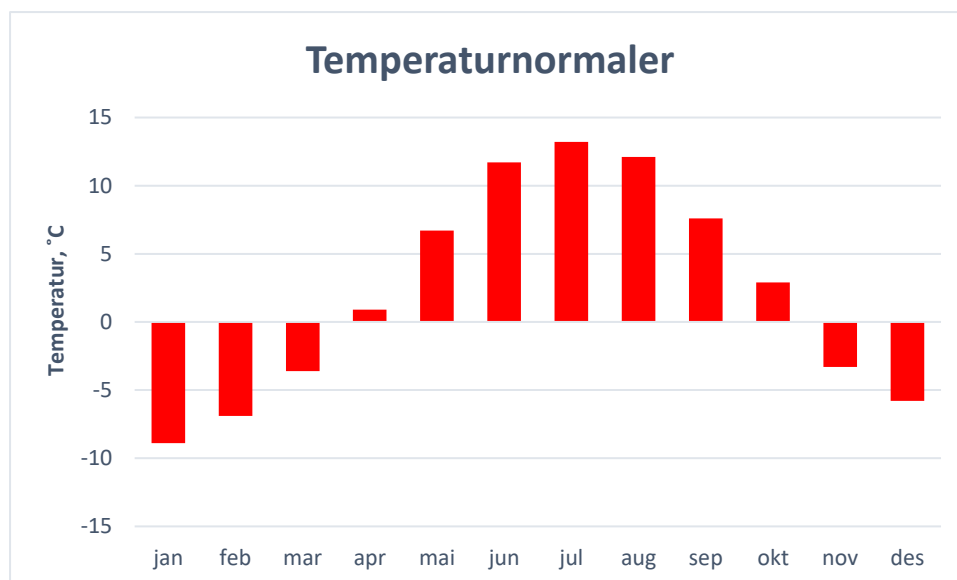


Figur 2.6: Kart av et isdekke over Skandinavia. Det svarte området viser et reliktilandskap hvor isbreene ikke har erodert, men var frosset fast til berggrunnen. Hentet fra Kleman og Hättstrand (1999).

### 2.3 Klima

Klimaforholdene i Nordland er i stor grad påvirket av kystforholdene. Studieområdet ligger også rett sør for polarsirkelen. Dette gir forholdsvis kalde vintre og milde somre i området, som beskrives som et subartisk, oseansk klima (Øvrevik, 2002). Den nærmeste målestasjonen til feltområdet befinner seg på Mo i Rana lufthavn, som ligger på 70 m o.h., 9 km sør-øst for grottene. Ifølge Meteorologiske institutt har sommeren en gjennomsnittlig temperatur på 13 °C, og vinteren på rundt – 9 °C (figur 2.7). Årsmiddeltemperaturen ligger på 2–3 °C. Hvis en antar utgangspunkt i en adiabatisk temperaturendring (Sivle, 2017) (temperaturen synker med høyden uten at det avgis eller mottas energi) på 0.6 °C/100m (Shaw, 1983), har Reingardslia en årsmiddeltemperatur på rundt 0 °C.

På Svartisen, 20 km nord for studieområdet, er det målt nedbørsmengder på 4000 mm/år (Karlsen, 2003). Dette er trolig ikke gjeldende for Reingardslia, som ligger mindre eksponert for kystklimaet. Grønligrotta derimot, ligger kun et par kilometer øst for Reingardslia, og her er det målt en årlig nedbørsmengde på 1680 mm (Øvrevik, 2002). Rundt 50 % av denne nedbøren faller som snø i perioden november til mars.



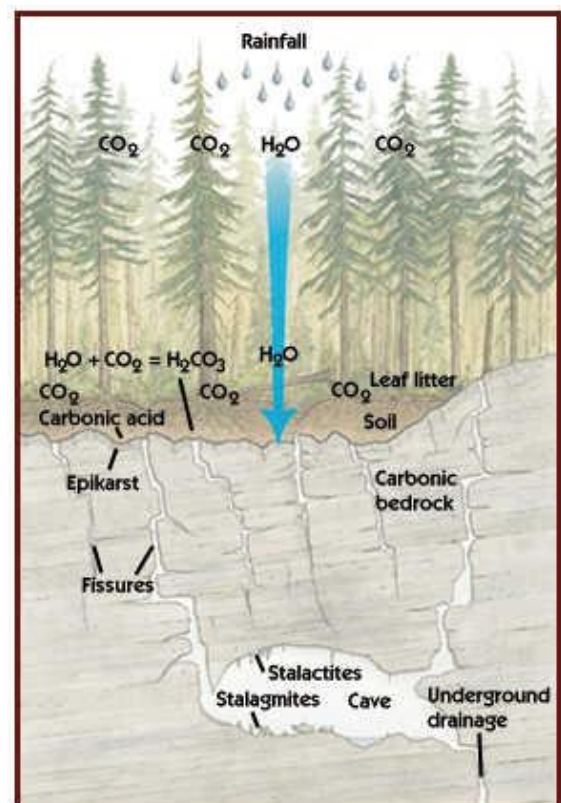
Figur 2.7: Temperaturnormaler fra Mo i Rana lufthavn. Data er hentet fra Meteorologisk institutt gjennom [eklima.met.no](http://eklima.met.no).



## 3 Teori

### 3.1 Karst og karstprosesser

Karst er et typisk landskap hvor kjemisk og fysisk korrosjon er de dominerende prosessene. (Lauritzen, 2007). Ordet karst stammer fra det slaviske ordet kras som betyr bar steinete grunn (Lauritzen, 2011). På tysk er det betegnelsen for et kalksteinsområde i sør-vest Slovenia. Området består av et platå med kalksteinsbergarter med karakteristiske landformer som er forbundet til karst. I hovedsak gjelder karst for kjemisk korrosjon av karbonatene kalsitt ( $\text{CaCO}_3$ ) og dolomitt ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) (Lauritzen, 2007), men også ved fysisk oppløsning av halitt ( $\text{NaCl}$ ) og gips ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ). Det mest karakteristiske ved karst er den underjordiske dreneringen. Vannet har korte opphold på overflaten før det går ned i sprekkesystemer. Et modent karstmiljø kjennetegnes med fravær av overflateavrenning (Dreybrodt et al., 2005). De vesentlige prosessene for dannelse av et karstlandskap er hydrologi, klima, geologi, topografi og biologiske faktorer (Stokes et al., 2010). Nøkkelenkomponenten for utviklingen av karst er karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ). Ved nedbør tar dråper med seg atmosfærisk  $\text{CO}_2$  ned til overflaten (figur 3.1). Her infiltreres vannet gjennom vegetasjon og jordsmonn som øker  $\text{CO}_2$  konsentrasjonen ytterligere (Figur 3.1). Når det sure vannet møter berggrunn starter korrosjonsprosessene nedover i sprekkesystemet. Gradvis vil oppløsning føre til passasjer i et underjordisk dreneringssystem. Ved en større passasje vil mekanisk erosjon fra underjordiske elver bidra til utviklingen av karstsystemet. I motsetning til oppløsning av andre bergarter vil det oppløste materialet i karst bli fullstendig oppløst og transporteres vekk. Dermed etterlater karst bare ett tynt jordsmonn, med en oppsprukken berggrunn og eventuelle grottesystemer.



Figur 3.1:  $\text{CO}_2$  påvirkning i et karstmiljø.  
Hentet fra B.C Ministry of forest (1997).

### 3.1.1 Begreper

Ved beskrivelse av temaer knyttet til hydrologi og karst er det nyttig å ha forståelse for noen begreper. Ved siden av vannhastighet blir ofte begrepet vannføring brukt. I det store norske leksikon er vannføring definert som volumet som per tidsenhet passerer et tverrsnitt i et vassdrag. Med andre ord er det et mål på hvor mye vann som strømmer gjennom et punkt over tid. I formler er vannføring oppgitt som  $Q$  og i denne oppgaven er vannføring gitt i kubikkmeter per sekund ( $m^3/s$ ).

Reynoldstall er et vesentlig begrep spesielt for beskrivelse og forklaring av strømskåler. Det er et dimensjonsløst tall som betyr at den ikke inneholder en fysisk størrelse som for eksempel lengde, tid eller hastighet. Reynoldstallet beskriver hvordan en væske vil strømme i en gitt situasjon. I hovedsak gjelder dette om væsken strømmer laminært (vannpartikler beveger seg i en rett linje) eller turbulent (varierende retning på vannpartiklene)

(Britannica Academic, 2016). Et relativt lavt reynoldstall vil gi en laminær strøm og ved en økning av reynoldstallet vil væsken gå over til en turbulent strøm slik vist i figur 3.2. Selve grensen mellom laminær og turbulent strøm er ikke spesifikk, men varierer fra et sted mellom 1000-5000 (Britannica Academic, 2016). Reynoldstallet er gitt med formelen:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (3.1)$$

hvor  $\rho$  er væskens tetthet,  $V$  er hastigheten til væsken,  $L$  er avstanden og  $\mu$  står for den dynamiske viskositeten. Dynamisk viskositet er ett uttrykk for væskens motstand mot å flyte. For eksempel honning har en høy viskositet, mens vann har lav viskositet. Ligning 3.1 viser at en høyere tetthet, hastighet eller avstand vil kunne føre til en turbulent strøm, mens en høy viskositet vil bidra til en mer laminær strøm. Ved utregning av viskositet vil også begrepet kinematisk viskositet bli brukt. Kinematisk viskositet er forholdet mellom dynamisk viskositet og tetthet (Holtebekk, 2009). Dette er ett mål på viskositet under påvirkning av gravitasjon. For eksempel hvor fort væsken sprer seg når den helles ut over en flate.

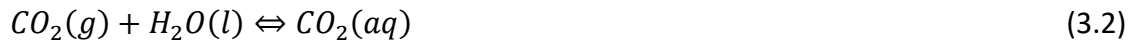


Figure 3.2: Overgangen fra laminær til turbulent strøm. Foto: Gary Settles.



### 3.1.2 Oppløsning av karbonatbergarter

For dannelse av et karstlandskap er den viktigste komponenten vann. Vann er et polart løsemiddel som gjør det i stand til å løse opp og transportere ioner (Ford og Williams, 2007). For å løse opp karbonationer må vannet ha en lav pH verdi. I et naturlig miljø kommer dette med tilførsel av  $CO_2$  (likning 3.2).



Dette skjer gjennom oppløsning av  $CO_2$  i kontakt med atmosfæren og vegetasjon. Prosessen hvor karbondioksid blir tatt opp i vann heter hydratisering og er en relativt langsom prosess (Lauritzen, 2012).



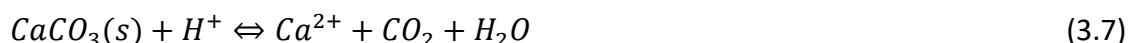
Med en økende konsentrasjon av karbondioksid i vannløsningen vil det dannes karbonsyre ( $H_2CO_3$ ). Denne syren kan starte dissosiering og produksjon av frie ioner ( $H^+$ ). I første omgang dissosierer karbonsyre til bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) (likning 3.4) og deretter karbonat ( $CO_3^{2-}$ ) (likning 3.5).



Når karbonsyren dissosierer og danner frie hydrogenioner fører dette til en lavere pH i løsningen. Karst området til dette prosjektet består i hovedsak av kalsiumkarbonat ( $CaCO_3$ ) og dolomitt ( $CaMg(CO_3)$ ) som dermed vil være hovedfokuset til teori kapitlet. I reint vann vil kalsium karbonat dissosiere i små mengder.

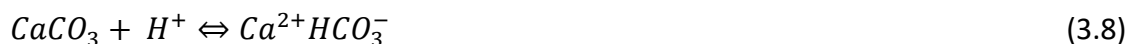


I fullstendig deionisert vann ved  $25^\circ C$  er denne reaksjonen meget lav og er nesten sammenlignbar med oppløsning av kvarts (Ford og Williams, 2007). I et naturlig miljø blir frie hydrogen ioner aggressiv i kontakt med bergarten og gir en mer effektiv oppløsning:

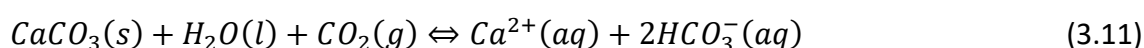


Dette er reaksjonen for oppløsning av kalsitt i surt vann og er den dominerende oppløsningsprosessen for karbonatmineraler. Denne reaksjonen kan betraktes som selve

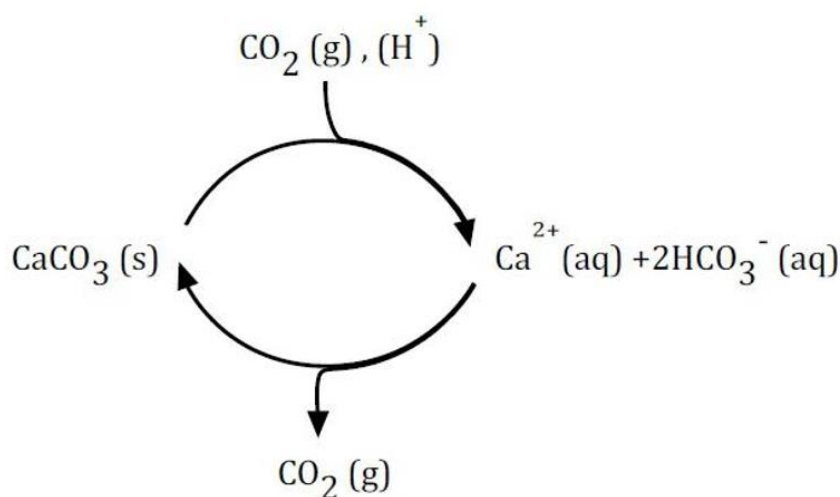
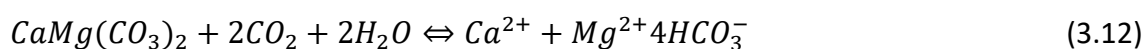
karstifiseringsprosessen (Lauritzen, 2007). Plummer et al. (1978) konkluderte gjennom eksperimenter at kalsitt ble oppløst i tre faser som reagerer samtidig (likning 3.8 – 3.10).



Dette er de tre prosessene som kan foregå på kalsittoverflaten. Sammen kan disse tre fasene skrives som:



Reaksjonen uttrykker trefasesystemet med de grunnleggende komponentene  $\text{CaCO}_3(\text{s})$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ ,  $\text{CO}_2(\text{g})$ . Retningen til likning 3.11 er avhengig av tilgangen på  $\text{CO}_2$ . Ved tilførsel av  $\text{CO}_2$  vil reaksjonen gå mot høyre og føre til oppløsning av karbonatbergarten. Dersom systemet taper  $\text{CO}_2$  utfelles  $\text{CaCO}_3$  tilbake. Dette kan illustreres i en syklus som dikteres av tilgangen på  $\text{CO}_2$  (Figur 3.3). Den tilsvarende dissosiasjonsreaksjonen for dolomitt er:



Figur 3.3: Syklus for oppløsning og utfelling av kalsium karbonat hvor karbondioksid er den drivende faktoren. Hentet fra Lauritzen (2012).

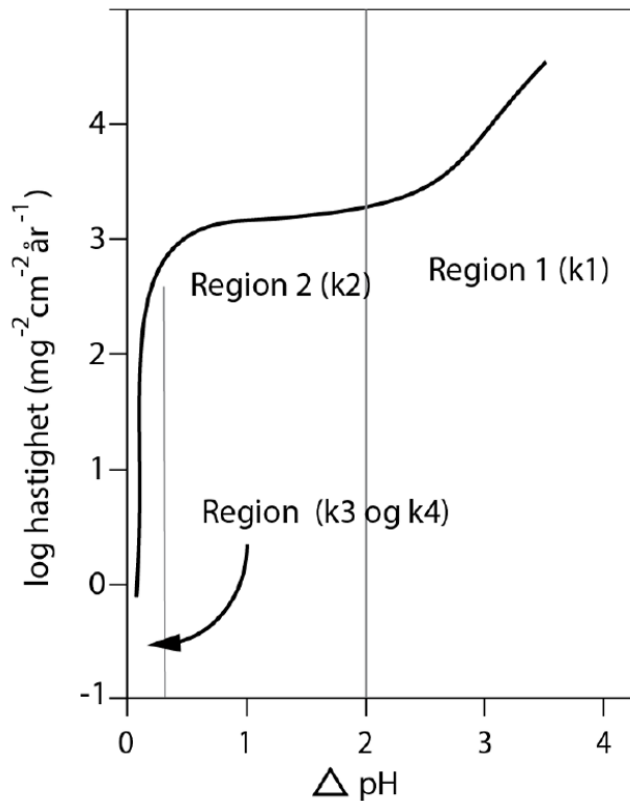
For å estimere oppløsningshastigheten baserte Plummer et al. (1978) på tre ulike overflatereaksjoner til å lage en hastighetslikning (PWP likningen):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{A}{V} [k_1(\text{H}^+) + k_2(\text{H}_2\text{CO}_3) + k_3(\text{H}_2\text{O}) - k_4(\text{Ca}^{2+})(\text{HCO}_3^-)] \quad (3.13)$$

$\frac{dC}{dt}$  er oppløsningshastigheten og er gitt i  $\frac{mMol}{cm^2 \times sek}$ . A er kontaktoverflaten til bergarten, mens V er volumet til bergarten. Formelen viser fire mekanismer hvor de tre første ( $k_1 - k_3$ ) er temperaturavhengig og betegner framover rettede reaksjoner. Det første uttrykket  $k_1(H^+)$  representerer det første stadiet i oppløsningsprosessen hvor de frie hydrogenionene i vannløsningen brukes til å løse opp bergarten. Dette leddet er hurtig, men kortvarig ettersom det går tomt for hydrogenioner. Det andre leddet  $k_2(H_2CO_3)$  representerer dissosiasjon av karbonsyre som produserer ytterligere hydrogenioner. Det tredje leddet  $k_3(H_2O)$  er oppløsning i reint vann. De tre første hastighetskonstantene ( $k_1 - k_3$ ) betegner dermed oppløsning. Den fjerde konstantene ( $k_4$ ) betegner derimot utfelling og er gitt med likningen:

$$k_4 = \frac{K_2}{K_C} \left\{ k'_1 + \frac{1}{(H^+)_S} [k_2(H_2CO_3)_S + k_3(H_2O)_S] \right\} \quad (3.14)$$

Her er  $K_2$  og  $K_C$  er likevektskonstanter,  $k'_1$  gir effektiv hastighetskonstant for hydrogenioner på reaksjonsoverflaten. De forskjellige overflaterreaksjonene kan vises i et diagram med oppløsningshastigheten mot endring i pH (figur 3.4). Diagrammet viser tre regioner hvor de forskjellige reaksjonene dominerer. Region 1 står for den første reaksjonen  $k_1$  hvor de første hydrogen ionene reagerer. Denne reaksjonen har en relativt høy oppløsningshastighet. Etter hydrogenionene har reagert går reaksjonen over til region 2.



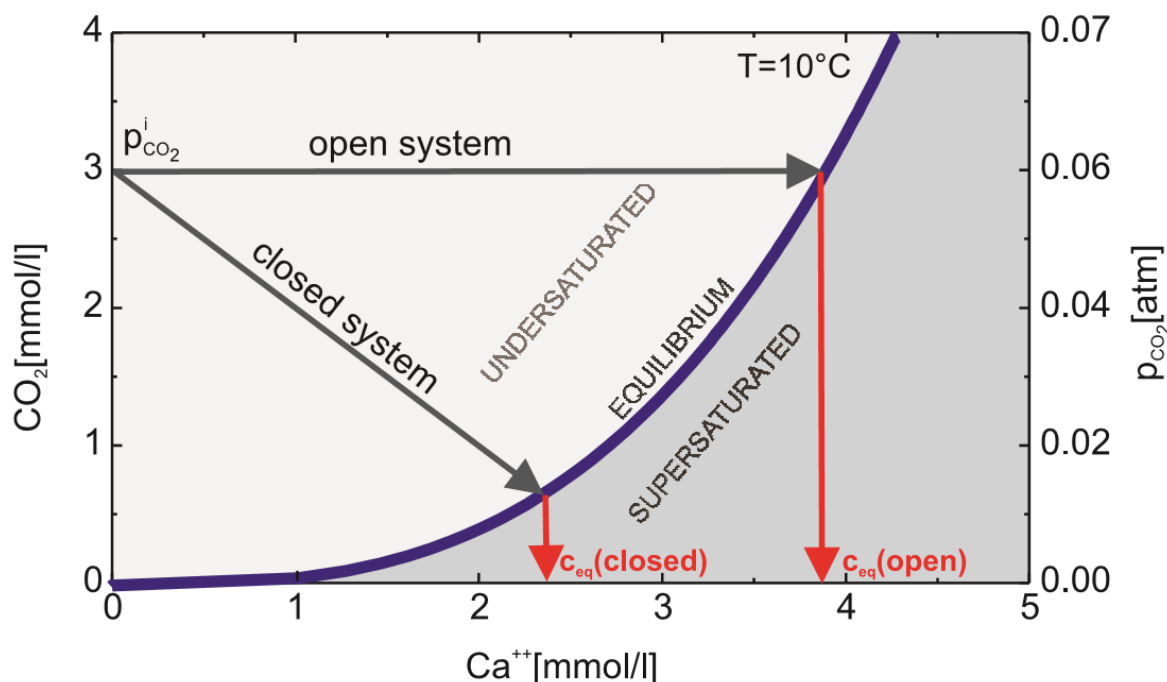
Figur 3.4: Oppløsningshastighet til kalsitt i en vannløsning med  $\text{CO}_2$ .  $\Delta\text{pH}$  står for differansen mellom likevekts  $\text{pH}$  og den faktiske  $\text{pH}$ . Hentet fra Lauritzen (2012).

I region 2 dominerer dissosiering av karbonsyre som er en tregere, men stabil reaksjon. I region 3 går  $\text{pH}$  verdien mot likevekt og oppløsningshastigheten mot null. Det vil fortsatt løses opp kalsitt i løsningen, men tilsvarende mengder vil også felles ut. Denne prosessen gjelder for rein kalsitt. I et naturlig miljø kan forurensning føre til inhiberingsprosesser som gjør at prosessen ikke følger PWP likningen (Lauritzen, 2012).

### 3.1.3 Åpent og lukket system

Oppløsning av kalsium styres av blant annet konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  i løsningen. Dermed er oppløsningen avhengig av hvilket miljø den befinner seg i. Et åpent system er ifølge Ford og Williams (2007) et system hvor alle tre fasene: gass, væske og fast stoff, er i stant til å reagere med hverandre. For karst betyr dette at løsningen er i kontakt med bergarten samtidig som den får tilført  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren. Ettersom  $\text{CO}_2$  blir brukt til å løse opp kalksteinen, tilføres det  $\text{CO}_2$  fra atmosfæren. I et lukket system er det kun kontakt mellom bergart og løsning. Her vil konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  synke ettersom den blir brukt til å løse opp kalksteinen. Figur 3.5

fra Dreybrodt et al. (2007) vises likevektslinjen i forhold til konsentrasjonen av kalsiumioner ( $\text{Ca}^{2+}$ ) og  $\text{CO}_2$ . Figuren viser et eksempel på et åpent og et lukket system som starter med lik konsentrasjon av  $\text{CO}_2$  ( $3 \text{ mmol/l}$ ). I det lukkede systemet («closed system») blir  $\text{CO}_2$  brukt opp ettersom flere  $\text{Ca}^{2+}$  blir frigjort i løsningen, mens i det åpne systemet («open system») vil konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  holde seg konstant. De røde pilene viser til likevektskonsentrasjonene til de forskjellige systemene.



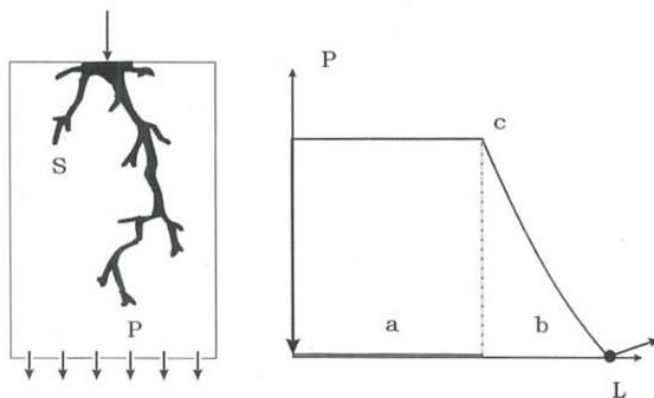
Figur 3.5: Diagram for likevekt mellom  $\text{Ca}^{2+}$  og  $\text{CO}_2$  satt til  $10^\circ\text{C}$ . Pilene viser et eksempel på et åpent og et lukket system. Hentet fra Dreybrodt et al. (2007).

## 3.2 Utvikling av et grottesystem

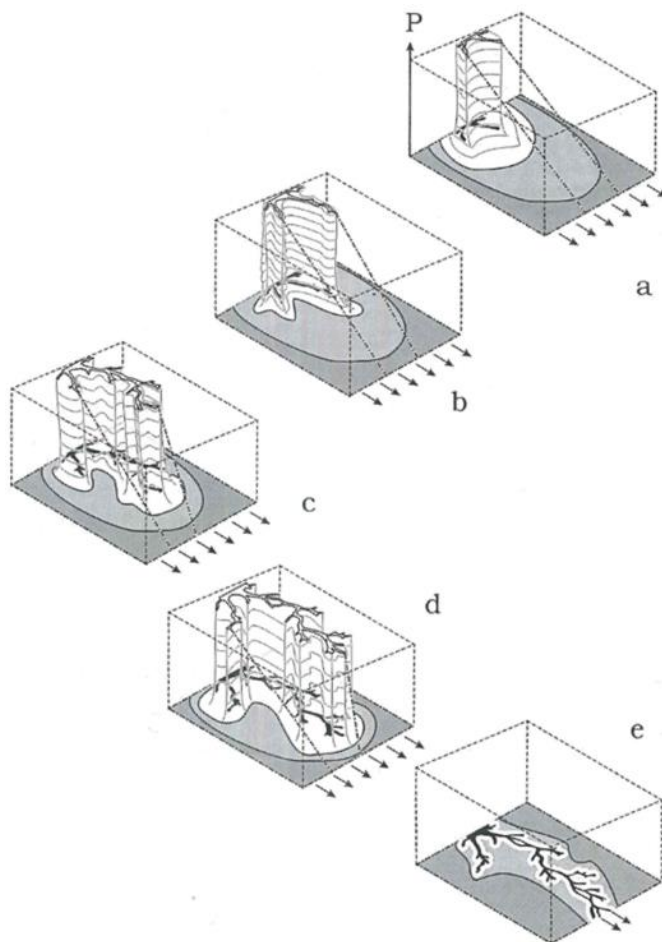
### 3.2.1 Gjennombrudd og hydraulisk effekt

For å danne en grotte kreves det en massiv bergart med lav porøsitet (Lauritzen, 2012). Ved en stor porøsitet vil ikke vannstrømmen kunne konsentrere seg til ett område som kreves for å danne en grotte. For dannelse må også vannet være i stand til å flyte gjennom hele bergmassen. Dette betyr at bergmassen må ha en protoleder, bestående av lagflater eller sprekker, som kan transportere vannet fra start til slutt. Utviklingen fra protoleder til en hovedleder kontrolleres av to mekanismer (Lauritzen, 2012). Den første er selve oppløsningen i protolederen slik at vannføringen kan øke. Den andre er en selvforsterkende hydraulisk effekt. Den tar utgangspunkt i Hagen-Poiseuille loven ( $Q = \frac{\Delta P \pi r^4}{8 \eta L}$ ) som blant annet sier at

vannføringen er proporsjonal med radius i fjerden potens. Det betyr at en liten økning på sprekkes radius vil gi en drastisk økning i vannføring. Hvis vannet strømmer gjennom en sprekke med konstant åpning vil hele sprekken gi en jevn motstand mot vannstrømmen. Dermed vil vannets trykkfall falle jevnt gjennom sprekken. Hvis sprekkes radius begynner å øke er det dannet en protoleder. Protolederen øker konduktiviteten og yte lite motstand mot væsken (a i figur 3.6). Dermed vil vanntrykket forplante seg i bunnen av protolederen (c i figur 3.6) hvor det dannes en bratt hydraulisk gradient for det resterende sprekkesystemet. Den bratte gradienten fører til ett større trykk og væskestrøm (Lauritzen, 2012). Dermed vil veksten av protolederen fortsette å akselerere og samtidig gjøre den hydrauliske gradienten brattere (figur 3.7). Ofte utvikles det flere protoledere i samme område. Protolederen med det største forspranget vil ha den bratteste hydrauliske gradienten og dermed ha størst mulighet til å utvikle seg til en hovedleder (figur 3.7). Dermed gir varierende hydrauliske gradienter en hovedleder og flere sekundære ledere.

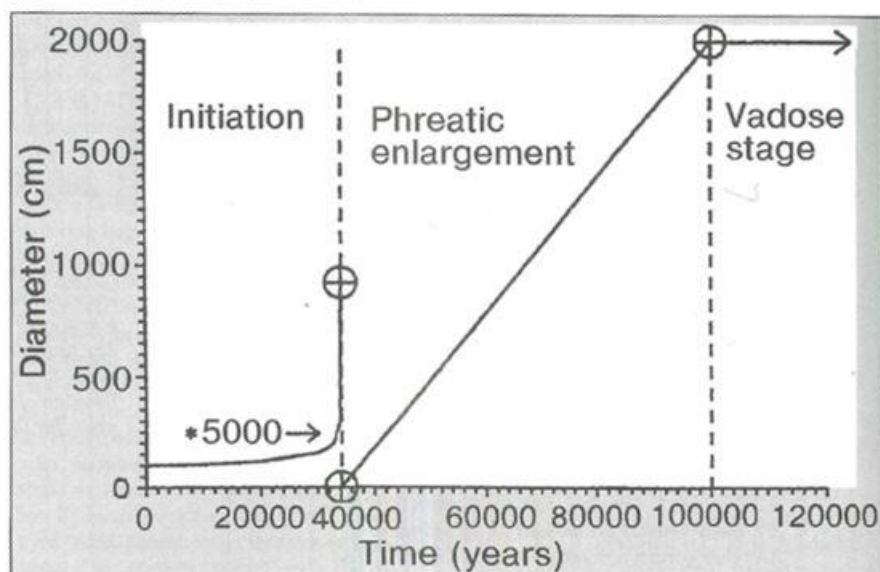


Figur 3.6: Utvikling av den hydrauliske gradienten. P står for trykket som påføres systemet. Protolederen strekker seg langs a, mens b representerer sprekker med høyere motstand. Det hydrauliske trykket forplanter seg på c. Hentet fra Lauritzen (2012).



Figur 3.7: Utviklingsstadier til en grotte. Figuren viser det hydrauliske trykket i y-aksen som forplanter seg nedover i grotten i x-aksen. Hentet fra Lauritzen (2012).

Når protolederen er utviklet fortsetter vannet å erodere og utvide passasjen. Dette er en prosess med positiv tilbakekobling (Dreybrodt og Gabrovšek, 2000). Vannet fører til oppløsning som gir en bredere sprekk. Med en bredere sprekk vil vannføringen øke som på nytt gir en høyere oppløsningsrate. Dette fortsetter til det skjer en dramatisk økning av oppløsningsraten. Denne økningen er kjent som et gjennombruddspunkt og indikerer slutten på startfasen til grottesystemet (etter 40 000 år i figur 3.8). Under oppstartsfasen vil bredden på sprekken variere lite. Gjennombruddet oppnås først når bredden på passasjen er fordoblet (Dreybrodt og Gabrovšek, 2000). Etter gjennombruddet blir vannet turbulent samtidig gir en effektiv oppløsning av bergarten gjennom hele systemet. Tiden det tar for å oppnå gjennombruddet er avhengig av lengden og den opprinnelige bredden til sprekken. Det kan variere fra 1000 til ti millioner år (Dreybrodt og Gabrovšek, 2000).



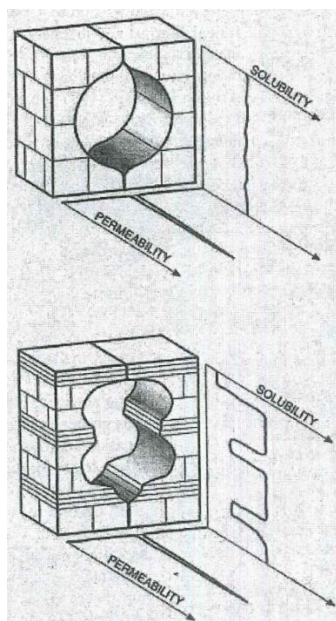
Figur 3.8: Utviklingsfasene til et grottesystem. I dette eksempelet har grotten et gjennombrudd etter 40 000 år hvor diameteren på passasjen øker kraftig. Hentet fra Dreybrodt og Gabrovšek (2000).

### 3.3 Geologi i grotten

#### 3.3.1 Geologisk påvirkning på grottesystem

Under utvikling av ett grottesystem er det hydrologien som gir de korrosive og erosive prosessene og i et isotropisk og homogent system tar geomorfologien utgangspunkt i disse prosessene (Lauritzen og Lundberg, 2000). Resultatet av et slikt tilfelle vil være et perfekt rørformet system. I realiteten blir de korrosive og erosive prosessene påvirket og begrenset av geologiske og tektoniske faktorer. Faktorer som sprekker, forkastninger, urenheter eller introduksjon av andre bergarter vil påvirke oppløsningsraten. Under utvikling av grotten vil vannet også følge områder med kjemiske og mekaniske svakheter. I berggrunnen er dette områder med høy permeabiliteten og oppløsningen (Lauritzen og Lundberg, 2000). Figur 3.9 viser hvordan permeabilitet og oppløsning påvirker passasjens morfologi. Permeabiliteten setter utgangspunktet for passasjens lokalitet, mens oppløsningen gir grunnlaget til formen på passasjen. Områder med høy permeabilitet er som regel et resultat av lagflater, paleokarstflater og bruddplan (Lauritzen, 2012). Disse flatene har stor evne til å lede vannet gjennom bergmassen og bestemmer dermed ofte fordelingen og retningen til strømmen.





Figur 3.9: Profiler av grottepassasjer under påvirkning av permeabilitet og oppløsning. Øverst er bergarten homogen som gir en jevn og symmetrisk oppløsning på røret langs ledespalten med høy permeabilitet. Nederst er en inhomogen bergart hvor den mindre løselige bergarten påvirker passasjeformen. Hentet fra Lauritzen og Lundberg (2000).

### 3.3.2 Stripekarst

I Skandinavia er det stripekarst som er den mest vesentlige geologiske faktoren for karstdannelse (Lauritzen, 2001). Stripekarst består av kalkstein som er lagvis delt mellom impermeable lag. I Skandinavia er dette som regel skifer. De impermeable lagene har ofte stor lateral utstrekning (Lauritzen, 2001). Dette gir en geometrisk og hydrologisk begrensning for utvikling av et grottesystem (Skoglund og Lauritzen, 2011) som vil påvirke oppløsningsmønsteret til karstsystemet. Når vannet ikke har kontakt mellom de permeable lagene fungerer de som adskilte akviferer (Figur 3.11: Lukket akvifer). Vannet kan bryte gjennom de impermeable lagene hvis det er sprekker som infiltrerer hele laget (Lauritzen, 2001). Slike gjennomtrengninger har blitt observert med opptil en halv meters tykkelse, mens i vadose strømmer (se kap. 3.5.2) kan vannet trenge gjennom tykkere lag.

## 3.4 Hydrologi

### 3.4.1 Grunnvann

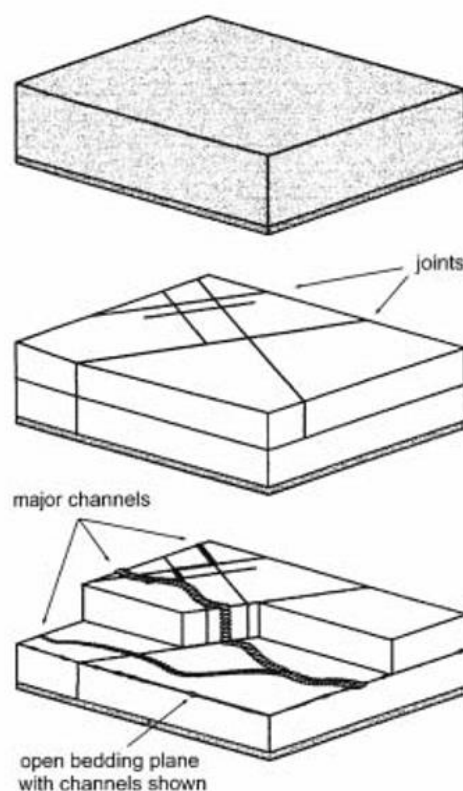
Vann i bergmasser ligger i åpne porer av varierende form og størrelse. Porøsitet er mengden av tomrom i en bergart og er gitt av det samlede volumet av åpne porer ( $V_p$ ) i forhold til volumet av selve bergmassen

$$(V_b): n = \frac{V_p}{V_b} \quad (3.15)$$

Den totale mengden med porer blir nødvendigvis ikke fylt med vann. For å finne volumet av porer som kan ta opp vann brukes dermed begrepet effektiv porøsitet som gir volumet av vann en bergart kan lagre.

$$n_e = \frac{V_a}{V_p} \quad (3.16)$$

$V_a$  står for mengden vann som vil gå ut av en bergmasse med hjelp av gravitasjon. Det betyr blant annet at leire har en lav effektiv porøsitet ettersom kreftene fra den molekylære adhesjonen overgår gravitasjonen og vil holde igjen vannmassene (Ford and Williams, 2007). Porøsitet klassifiseres også i forhold til når porene ble dannet. Hvis porene stammer fra dannelsen av selve bergmassen, er de primære porer. Ved senere oppsprekking dannes det sekundære porer. Når vannet trenger gjennom poresystemer og utvider gjennom korrosjon dannes det tertiær porøsitet. Det finnes også prosesser hvor porøsiteten i bergmassen synker som for eksempel diagenese og kompaksjon. Dette kan gi store variasjoner i den totale mengde med porer i karbonatbergarten. Worthington (1999) deler disse variasjonene i tre forskjellige dimensjoner, illustrert i figur 3.10. Et ett dimensjonalt system består av kanaler eller ledere som kan utvikles til grotter. Et to dimensjonalt system kjennetegnes med bruddplan som sprekker og forkastninger. Det tre dimensjonale systemet består av løsmasser eller matriks.

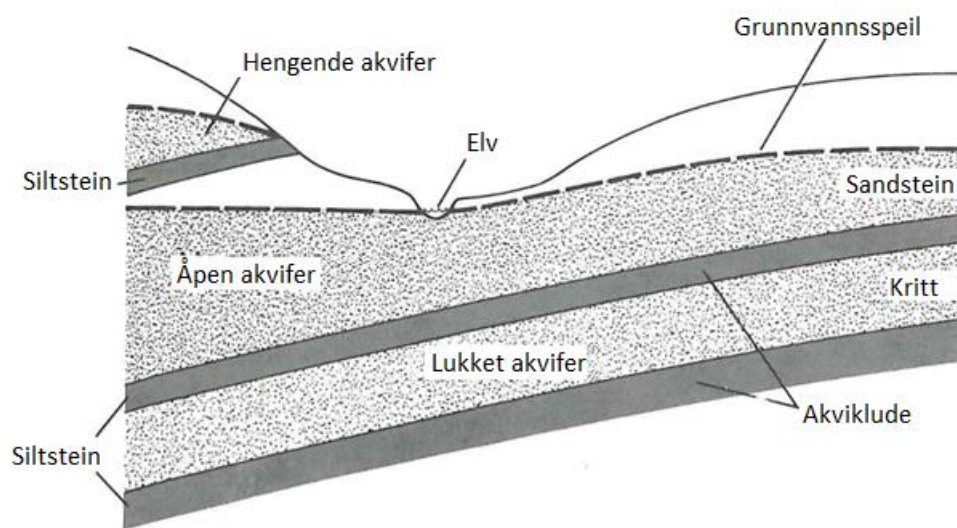


Figur 3.10: Tre forskjellige typer for porøsitet i en karbonatbergart. Hentet fra Worthington (1999).

### 3.4.2 Akvifer

Når berggrunn eller løsmasse er i stand til å lagre eller transportere vann er det kjent som en akvifer. Økonomisk sett er en akvifer en geologisk enhet som kan lagre og lede tilstrekkelig med vann til å kunne forsyne en brønn (Fetter, 2001). Både kalkstein og dolomitt kan gi gode

akviferer. Dermed spiller akviferer en viktig rolle innenfor karstprosesser. Akviferer kan deles opp i åpen, lukket og hengende akviferer (figur 3.11). En åpen akvifer ligger som regel i nærheten av overflaten og får tilført meteorisk vann til magasinet. Her er vannet i direkte kontakt med atmosfæren gjennom åpne porer (Dunne og Leopold, 1978). Hvis et impermeabelt lag dekker over akviferen og hindrer grunnvannsbevegelse til overflaten er det en lukket akvifer (figur 3.11). Hvis grunnvann samler seg over et impermeabelt lag over grunnvannsspeilet blir det dannet et hengende grunnvannsspeil.



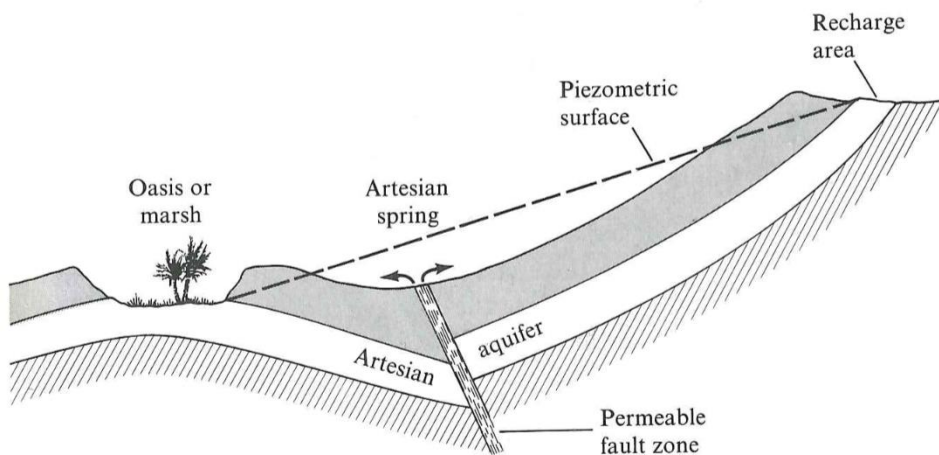
Figur 3.11: Viser forskjellen mellom en åpen, lukket og hengende akvifer. Hentet og modifisert fra Dunne og Leopold (1978)

### 3.4.3 Grunnvannsoverflater og strømmingssoner

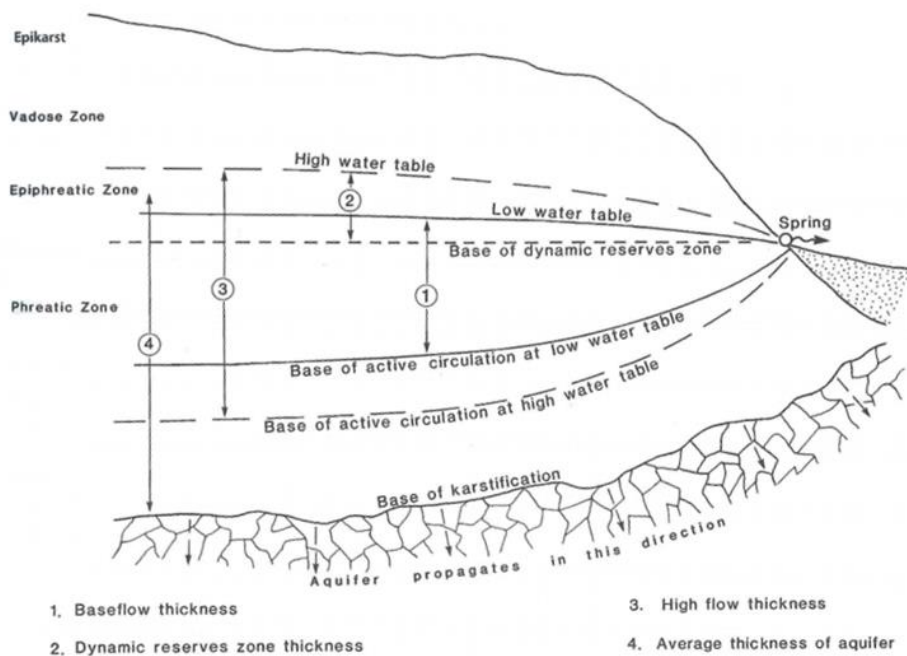
I en åpen akvifer vil overflaten til vannmassen indikere nivået til grunnvannsspeilet. For eksempel ved boring vil nivået hvor vannet holder seg stabilt indikere nivået til grunnvannsspeilet (Dunne og Leopold, 1978). I en lukket akvifer ligger vannet i trykk. Her vil boring føre til at vannet kan stige opp mot overflaten. Punktet hvor vannet stopper å stige er kjent som den piezometriske overflaten (figur 3.12). Den piezometriske overflate kan være høyere enn terrengoverflaten ved spesielt høyt trykk. Da vil vannet strømme opp til overflaten og danne en artesiske brønn slik vist i figur 3.12.

I berggrunnen deles også grunnvannet opp i soner i forhold til grunnvannsspeilet. Over grunnvannsspeilet befinner vannet seg i den vadose sone (Fetter, 2001) (figur 3.13). Dette er den umettede sonen hvor porerommet er blandet med luft og gas. Hengende akviferer er

unntaket som holder på mettet vann. Øverste del av den vadose sonen er epikarst. Den er rundt tre til ti meter dyp og består ofte av kraftig forvitret berggrunn (Ford og Williams, 2007). Under grunnvannsspeilet ligger den freatiske sone og dekker hele berggrunnen som er mettet med vann. Mellom den vadose og freatiske sonen ligger den epifreatiske sonen hvor nivået til grunnvannsspeilet vil variere.



Figur 3.12: En artesiske brønn fra en lukket akvifer. Den stiplede linjen representerer den piezometriske overflate. Hentet fra Dunne og Leopold (1978)



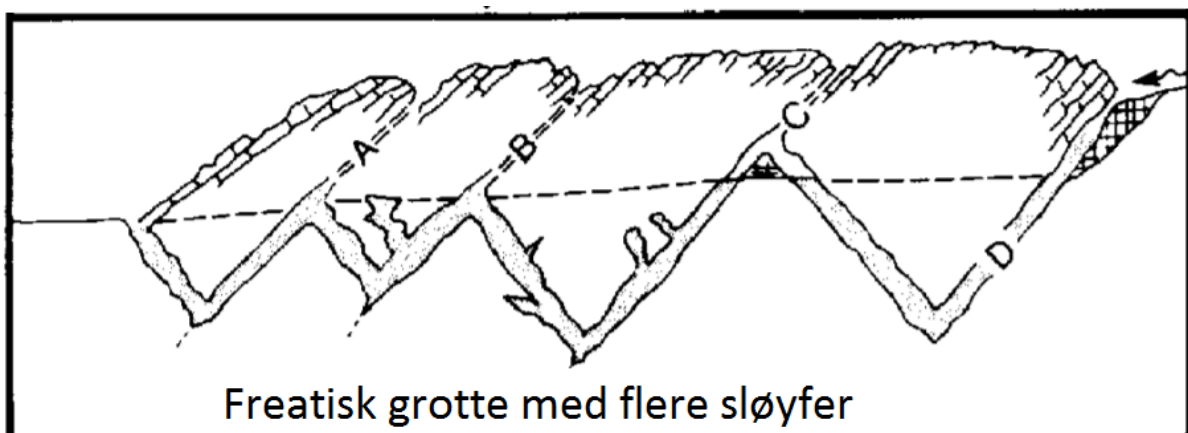
Figur 3.13: De forskjellige hydrologiske sonene i et karstsystem. Hentet fra Ford og Williams (2007).

### 3.5 Grottemorfologi

Ut fra form og geometri kan en grotte skilles mellom et freatisk og vadost miljø. Generelt er det den speleogenetiske utviklingen som bestemmer geomorfologien i grotten. Senere i grottens utvikling vil det hydrologiske miljøet ha større påvirkning (Lauritzen og Lundberg, 2000). Ut fra form og geometri kan en skille det hydrologiske miljøet i freatiske og vadose miljø. I dette delkapittelet beskrives vadose og freatiske passasjer og hvordan de kan gjenkjennes.

#### 3.5.1 Freatisk

Et freatisk system kjennetegnes med en grottepassasje som har vært fullstendig fylt med vann. I starten er passasjen gjerne ikke større enn ett par centimeter (Ford og Williams, 2007). Med en isotropisk geologi vil vannet utvide passasjen likt i alle retninger og danne et symmetrisk profil. Freatiske passasjer kjennetegnes med sirkulære, elongerte eller lentikulære profiler (figur 3.15) (Lauritzen og Lundberg, 2000). Ofte vil andre variabler som påvirker og gir ett ujevnt profil. Sprekkesystemer og heterogeniteter i bergarten er de vanligste faktorene som fører til ett stort mangfold av freatiske profiler. Retningen til den freatiske strømmen er ikke avhengig av den piezometriske overflaten, men av sprekkestrukturen (Lauritzen og Lundberg, 2000). Dette kan gi passasjer med store variasjoner i helning og freatiske sløyfer (figur 3.14).



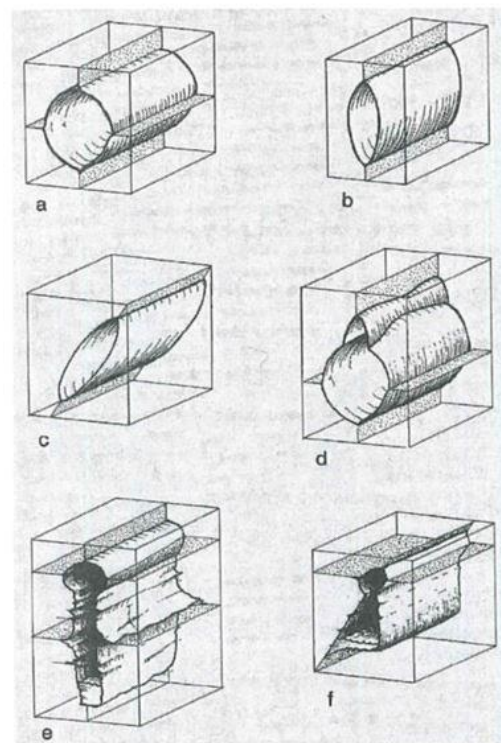
Figur 3.14: Freatiske sløyfer i et grottesystem. Hentet og modifisert fra Ford (1971) i Ford (2003).

Utenom profil og freatisk sløyfer finnes det også andre særtrekk ved freatiske passasjer. «Solution pockets» er lommer i tak eller vegger som kan strekke seg ut til å bli 30–40 meter lang (Ford og Williams, 2007). De forbindes generelt med freatiske passasjer, men det finnes

også lignende fenomener i vadose passasjer som er dannet ved kondensasjonskorrosjon. Den mest aksepterte forklaringen er sirkulerende vann, i nært stillestående vann, som drives enten av en termal- eller tetthetsgradient. Et annet kjent fenomen i freatiske passasjer er halvør. De dannes som regel i taket på en allerede utviklet freatisk passasje gjennom prosessen «paragenese». I denne prosessen fylles grotten med sedimenter. Avsetningene er mindre løselig og beskytter vegger og gulv for videre korrosjon (Ford og Williams, 2007). Dermed fortsetter korrosjonen opp i taket. Noen ganger vil korrosjonen utvikle relativt flate tak, mens i andre tilfeller vil det danne halvør. Korrosjonen i taket vil slutte hvis tilførselen av sedimenter slutter eller om taket når opp til den piezometriske overflate.

### 3.5.2 Vados

En vados passasje forbindes med vann som strømmer fritt, under påvirkning av gravitasjon. I vadose strømningsregimer eroderes og korroderes det kun på underlaget i passasjen (Ford og Williams, 2007). Hvis passasjen opprinnelig hadde freatisk form kan en vados strøm danne et nøkkelhullsprofil slik vist i figur 3.15e. Ved erodering av underlaget kan dette føre til dannelse av gjel («canyon») og en tørrlegging av det opprinnelige røret. Slike gjel kan bli opptil 100 meter dype (Ford og Williams, 2007). De kan utvide seg horisontalt ved erosjon fra bunnmateriale som videre kan undergrave sidene på grotten og føre til kollaps. Ved vadose inntrenginger ledes vannet ofte ned i vertikale sprekker som kan føre til en vannstrøm med en stor helning. Dette kan starte en vertikal erosjon som



Figur 3.15: Struktur og morfologi i en passasje. A: Symmetrisk freatisk rør. B og C: lentikulære freatisk rør. D: Freatisk rør med korrosjon fra infiltrerende vann i fra taket. E: Ett opprinnelig freatisk rør som går over til et vadost miljø og danner et nøkkelhullsprofil. F: Et nøkkelhullsprofil påvirket av et sprekkesystem. Hentet fra Lauritzen og Lundberg (2000).

danner en vados sjakt (Ford og Williams, 2007). Hvis vannet oppnår fritt fall vil den erodere underlaget den treffer, enten i sirkulært eller elliptisk form. Vannspruten vil også føre til svekking av sidebergarten og undergraving. En sjakt med frittfallende vann vil dermed miste blokker og fragmenter fra sideveggene som fører til en ujevn vegg på sjakten. Hvis vannet ikke har ett fritt fall, men er i konstant kontakt med sideveggen, vil det gi en mer jevn korrosjon på sideveggene og danne en «domepit» sjakt. I realiteten er vadose sjakter ofte en blanding mellom ett fossefall og en «domepit».

### 3.5.3 Strømskåler

Strømskåler er et resultat av erosjon på en kontaktflate dannet av en turbulent bevegende væske (Curl, 1974). De vanligste type former har en asymmetrisk skålform med en bratt og en slak side. Strømskåler kan bli dannet i både gulv, vegger og tak, men grunnet bunnerosjon fra sedimenter blir de oftest kun bevart i vegger og tak. Det fleste strømskåler har en lengde på et sted mellom 0,5–20 cm, med en bredde på om lag halvparten av lengden (Ford og Williams, 2007). Dannelsen av en strømskål starter med turbulent væske som strømmer over en oppløselig og uregelmessig overflate. Den turbulente strømmen gir væsken varierende hastigheter på overflaten som videre fører til varierende oppløsningshastigheter. Med en ujevn oppløsning på overflaten vil etter hvert skåler utvikles. Ofte dannes strømskåler tettpakket og i store mengder som kan føre til at individuelle strømskåler overlapper hverandre og blir ufullstendig. De er vanlig i kalkstein, gips og saltsteinshuler. Kalksteinsgrotter uten strømskåler kan forekomme og i dolomittgrotter er strømskåler forholdsvis sjelden (Ford og Williams, 2007). Fravær av strømskåler kan forklares av heterogeniteter i bergarten som uløselige fragmenter og åpne porer. Varierende bergartsegenskaper, høy sprekketetthet og sedimenter er andre faktorer som kan hindre dannelse av strømskåler (Curl, 1966).

Bretz (1942) observerte en likhet mellom rifler i sanden og strømskåler. Han viste til den asymmetriske formen på strømskålene som kunne ha sammenheng med strømningsretningen til vannet som dannet skålene. Han observerte at strømskålens bratte side var plassert mot strømmen og den slakeste siden med strømningsretningen. Dermed ble det argumentert for en direkte relasjon mellom strømskåler og oppløsning av en bevegende væske. Curl (1966) gjorde en teoretisk analyse av hva som påvirket dannelsen av strømskålene. Disse ble eksperimentelt testet av blant annet Ford og Williams (1971) og Curl

og Blumberg (1974). Eksperimentene bekreftet en sammenheng mellom strømskålens lengdeakse og strømningshastigheten. Strømskålens lengdeakse ( $d$ ) bestemmes av avstanden vannstrømmen trenger for å gå fra laminær til turbulent strøm (Curl, 1974). Denne avstanden er avhengig av vannets tetthet ( $\rho$ ), dynamisk viskositet ( $\mu$ ), hastighet ( $U$ ) og vannets opprinnelige turbulens. Lengdeaksen er dermed representert av et reynoldstall gitt av formelen  $Re = \frac{\rho U d}{\mu}$ .

Curl (1974) ga en formel til å estimere den gjennomsnittlige paleostrømningshastigheten:

$$\bar{u} = \frac{v}{L_{32}} Re^* \left[ \left( 2.5 \ln \left( \frac{R_h}{L_{32}} \right) - \frac{3}{2} \right) + B_l \right] \quad (3.17)$$

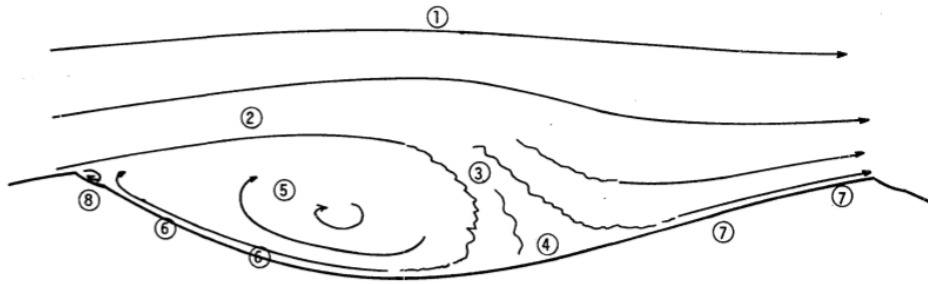
Hvor  $v$  står for den kinematiske viskositet,  $Re$  er reynoldstallet,  $R_h$  er den hydrauliske radiusen til passasjen og  $B_l$  er Prandtl konstant for ruhet. Ved å sette inn verdier for konstantene  $Re$  (2200) og  $B_l$  blir formelen (Lauritzen, 1982):

$$\bar{u} = \frac{u}{L_{32}} \left[ 55 \ln \left( \frac{D_h}{L_{32}} \right) + 81 \right] \quad (3.18)$$

Med denne formelen estimerer Curl (1974) en usikkerhet på rundt 15 %. Ettersom den kinematiske viskositeten er avhengig av temperaturen, må en anta hva temperaturen i vannet var da strømskålene ble dannet. I denne oppgaven følger utregningene årsmiddeltemperaturen i Mo i Rana på 2 °C (Lauritzen et al., 1985).

Blumberg (1970) viser ett detaljert bilde av utviklingen til en strømskål (figur 3.16). Den første linjen representerer hovedstrømmen som er i stor grad upåvirket av overflaten. Ved linje to strømmer væsken laminært over forsenkningen. Etter en liten distanse går denne væsken fra laminær til turbulent strøm ved punkt tre. Turbulensen fører til at deler av vannet presses mot hulrommet (punkt fem), mens resten returnerer til hovedstrømmen (punkt syv). Turbulensen, sammen med den laminære strømmen i punkt to, fører til en sirkulerende bevegelse i hulrommet. Oppløsningen i figur 3.16 vil være størst ved punkt fire hvor den turbulente strømmen treffer direkte overflaten. Variasjonen i oppløsningen forklarer hvordan en strømskål blir asymmetrisk.





Figur 3.16: Skisse over hydrodynamikken under dannelsen av en strømskål. Hentet og modifisert fra Blumberg (1970).

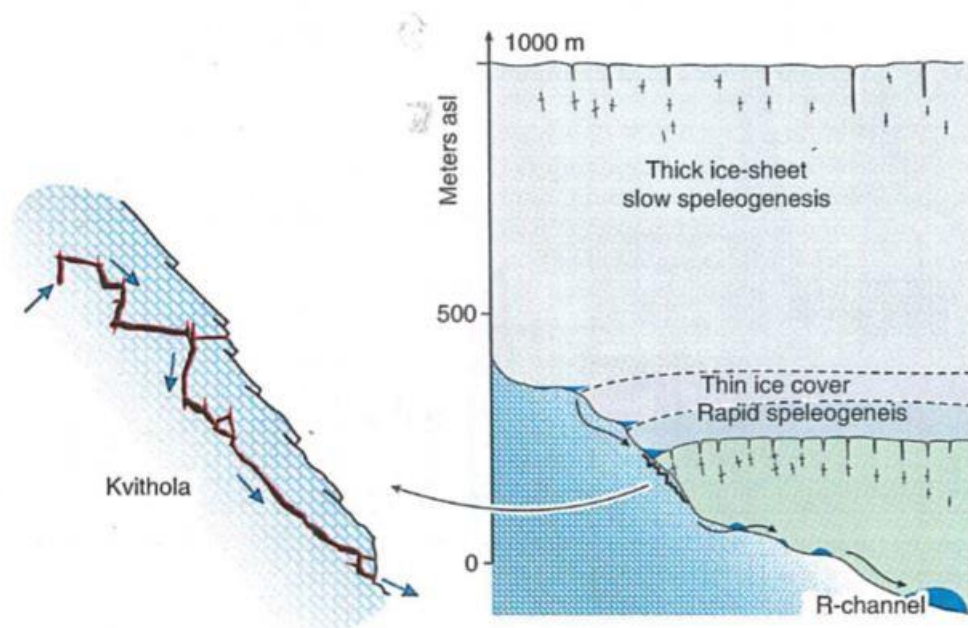
Ettersom dannelse av strømskåler er en kontinuerlig prosess med varierende strømningsforhold, vil strømskålene som blir observert kun representere de siste hydrologiske forhold. Lauritzen (1989) viste at det er i hovedsak større flommer som er hovedfaktoren for dannelse av strømskåler.

### 3.6 Glasial karst

Hvilken type karst som utvikles er avhengig av det klimatiske miljøet. Karst ved høye breddegrader viser stor påvirkning fra et klima med sykluser av glisiale og interglisiale stadier. I et normalt utviklet grottesystem er det vanlig med en trinnvis utvikling nedover i fjellet. Dette skjer gjennom å senke den epifreatiske sonen (Lauritzen og Skoglund, 2013a) og fører til en gradvis korrodering nedover i fjellet. Dette betyr at passasjer øverst i grottesystemet oftest regnes som de eldste, mens de nederste er yngst eller fortsatt aktiv. I et glasialt karstsystem er dette ikke nødvendigvis tilfelle. Her vil en isbre eller et isdekke kunne heve den piezometriske overflate og reaktivere eldre grottesystemer. Subglasialt vann følger helning til isens overflate uavhengig av underlagets topografi og kan dermed gi en vannstrøm i motbakke. Lauritzen og Skoglund (2013a) viser til en analogi om bilvask til å forklare forholdet mellom en grotte og en bre. Her representerer bilen grotten som står i ro og får breen «vasket» over seg. Hvordan grotten blir påvirket avhenger av breen. Er breen temperert (trykksmeltepunkt eller  $0^{\circ}\text{C}$  ved sålen av breen) vil den tilføre store mengder med vann og sedimenter til grotten. Dette kan føre til økt korrosjon i grotten og med stor tilførsel av sedimenter vil dette også kunne gi paragenez. Om breen er kald (under trykksmeltepunktet) er den delvis eller fullstendig fastfrost til berggrunnen. En kald bre er tørr og vil hindre og stedvis beskytte berggrunnen mot erosjon (Ford og Williams, 2007). Andre vesentlige faktorer som blir påvirket i glasial karst er temperatur og konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$ . Vannets viskositet og tetthet er avhengig av temperaturen. Hvis temperaturen synker, øker

viskositeten som videre vil senke oppløsningsraten til kalsium. Dermed minker vannets mulighet til å korrodere ved lavere temperaturer (Lauritzen og Skoglund, 2013a).

Kjemisk oppløsning i en grotte under glasial påvirkning er avhengig om grotten er i et åpent eller lukket system. Glasial karst kan gi et lukket system når et grottesystem er plassert under isen (figur 3.17). Her vil det subglasiale vannet ikke være i kontakt med atmosfæren som begrenser tilførselen av  $\text{CO}_2$ . Breen reduserer dermed korrosjonen i grotten. Hvis grotten er plassert proglasialt, vil systemet være åpent. I denne situasjonen kan breen tilføre store mengder med smeltevann samtidig som det er jevn tilførsel av atmosfærisk  $\text{CO}_2$ . Korrosjonen vil fortsatt være redusert i forhold til normal karst ettersom det er en redusert  $\text{CO}_2$  konsentrasjon, i selve smeltevannet. Smeltevannet stammer fra is fra istider da konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  var lavere (Lauritzen og Skoglund, 2013a).



Figur 3.17: Kvithola. Et eksempel på glasial karst under forskjellige is kontakt scenarioer. Hentet fra Lauritzen (1986) i Lauritzen og Skoglund (2013a).

## 4 Metode

Kapittelet går gjennom de forskjellige metodene som ble brukt under feltarbeidet. Dette gjelder både kartleggingen og de ulike metodene for innsamling av data. Deretter beskrives hvordan data ble behandlet og hvilke programmer som ble brukt under arbeidet.

### 4.1 Utstyr

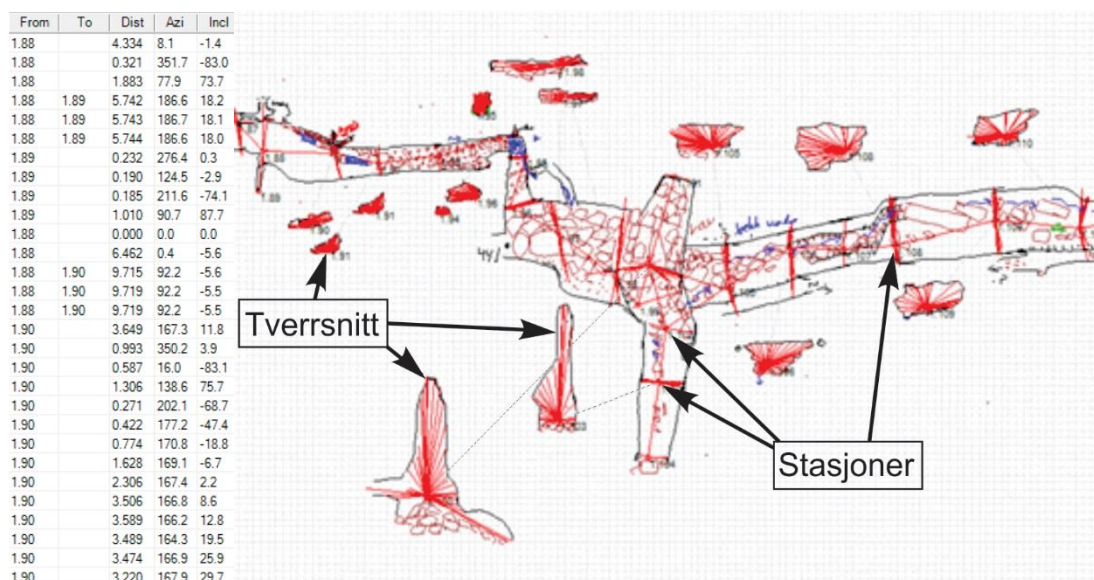
Tidligere har Larshullet og Lapphullet blitt kartlagt av Horn (1947), Corbel (1957) og Wells (1957). Publiseringene deres illustrerer grottene gjennom kartlegging på papir. Arbeidet ble gjennomført med bruk av kompass, målebånd og klinometer. Dette prosjektet har de samme grottene som grunnlag, men med mer moderne utstyr som utgangspunkt. Utstyret, presentert av Heeb (2008), består av en elektronisk måler og en håndholdt datamaskin som kommuniserer gjennom «bluetooth». Den elektroniske måleren inneholder en lasermåler, akselerometer og elektronisk kompass (Heeb, 2008). Kompasset og klinometeret til måleren opererer i et *treaksesystem* ( $x, y, z$ ) for å kunne måle retninger uansett orientering. Lasermåleren i dette prosjektet var en DistoX310 (figur 4.1) og den håndholdte datamaskinen var en Trimble Juno.



Figur 4.1: Til venstre: DistoX310, hentet fra [leica.geosystems.com](http://leica.geosystems.com). Til høyre: Trimble Juno, hentet fra [Trimble.com](http://Trimble.com).

Sistnevnte behandler informasjonen i programmet «PocketTopo» i en tabell og illustrerer det i et kart (til venstre i figur 4.2). Tabellen inneholder punktinformasjon, avstand, asimut og inklinasjon. Denne informasjonen legger PocketTopo inn i et gridnettverk som polygonlinjer. På dette gridnettverket kan en tilføre ekstra informasjon som grottevegger, avsetninger og

vann (til høyre i figur 4.2). Informasjonen som lastes ned fra lasermåleren kan også brukes til å lage tverrsnitt av grottepassasjen, gitt i polygonlinjer. Med dette som grunnlag kan grotten kartlegges. Informasjonen som lagres i PocketTopo kan videre overføres til andre kartbehandlingsprogrammer.



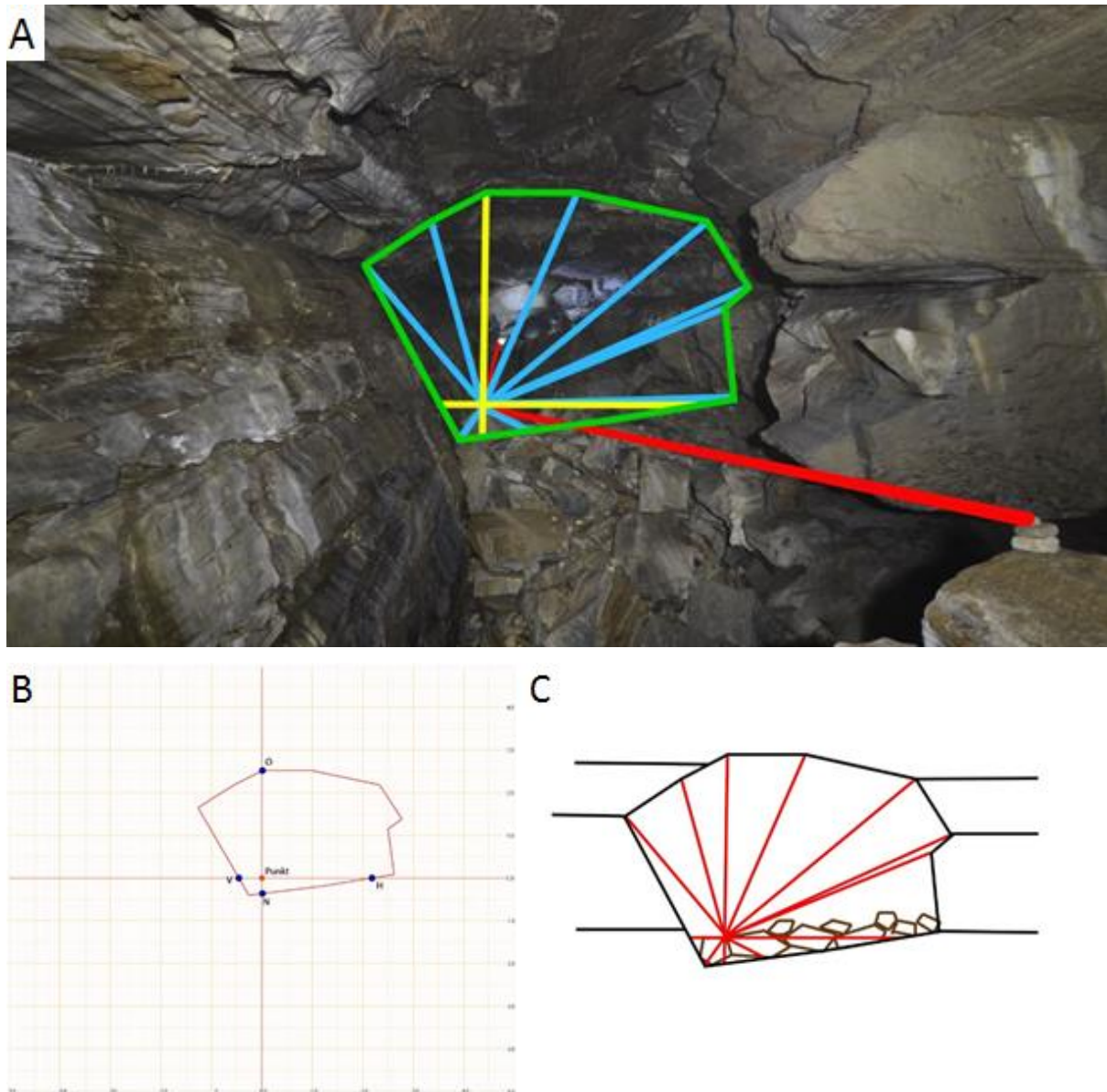
Figur 4.2: Eksempel på bruk av PocketTopo. Venstre: Informasjon fra hentet fra DistoX310. Høyre: Gridnettverk med polygonlinjer (rødt). Grottevegger (svart) blir tegnet inn basert på bredden fra tverrsnittsmålinger. Ekstra informasjon blir lagt inn med andre farger. For eksempel: Vann (blå) og blokker (brun).

## 4.2 Utførelse

Vanligvis består en kartleggingsgruppe av to til tre personer. Ideelt sett fungerer tre personer til fordeling av arbeidsoppgavene. Den første personen markerer nye stasjoner i passasjen og kan bruke håndflaten som hjelp til å ta lasermål. Dette gjelder spesielt på store avstander hvor det kan være vanskelig å treffe et lite punkt med laseren. Den andre personen har ansvar for å håndtere lasermåleren, for å måle avstand mellom stasjoner og ta tverrsnitt av grottepassasjene. Den tredje personen går bakerst og bruker Trimble Juno maskinen til å tegne og beskrive grottepassasjen.

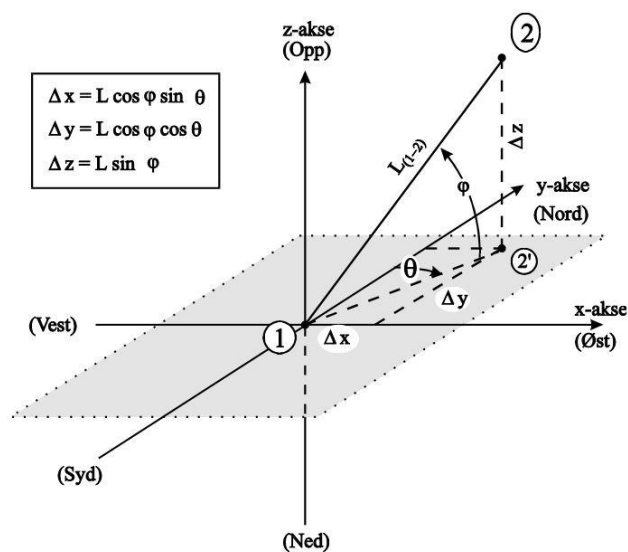
Før en begynner med kartleggingen må den første stasjonen kobles til en GPS-koordinat på utsiden av grotten. Når lasermåleren har satt det første punktet i grotten, har den registrert en avstand og helning i forhold til den første stasjonen utenfor med GPS-koordinater. Ved den nye stasjonen blir det tatt mål av tverrprofilen til grottepassasjen. For måling av

tverrprofilet blir det først målt mot høyre, venstre, ned og opp (HVNO) (gule linjer i figur 4.3a) (Lauritzen, 2002). Høyre og venstre viser til kartleggingsretningen. I dette tilfellet, vil det si når man står med ryggen mot inngangen og ser inn i grotten. Etter at HVNO er blitt målt, blir det tatt ytterligere målinger på tvers av grotten for å kunne rekonstruere passasjeformen i PocketTopo (blå linjer i figur 4.3a)



Figur 4.3: Eksempel på mål av et tverrsnitt i en passasje. A: Rød stripe viser hovedlinjen mellom stasjoner, gule linjer viser HVNO, mens blå striper er de resterende målingene for å rekonstruere tverrsnittet (grønn). Foto: Sverre Aksnes. B: Tverrsnittet illustrert i «GrottoIf cross-section CAD». C: Eksempel på hvordan tverrsnittet kan skisseres i PocketTopo.

Resultatet av kartleggingen er et sett med stasjoner spredt gjennom grotten. Mellom hver stasjon brukes polarkoordinater til å måle lengde, inklinasjon og deklinasjon (henholdsvis avstand, helningsvinkel og kompasskurs). Slike målinger heter polygondrag og danner grunnlaget for kartleggingen (Lauritzen, 2002). Alle målinger av tverrsnitt er knyttet opp til en stasjon. Når polygondrag og tverrsnitt er lastet opp på den håndholdte datamaskinen, kan sidevegger og andre geologiske enheter tilføres på kartet (figur 4.2).



Figur 4.4: Polarkoordinater. Kompasskursen ( $\theta$ ) er vinkelen mellom nord-aksen og polygondraget. Helningsvinkelen ( $\varphi$ ) er vinkelen mellom polygondraget og horisontalplanet. Hentet fra Lauritzen (2002).

For å presentere avstander i grotten i forhold til himmelretninger og høydeforskjeller blir polar-koordinatene konvertert til kartesiske koordinater (Lauritzen, 2002). Den baserer seg på et rettvinklet aksesystem som viser avstander i forhold til aksene mot nord (y-aksen i figur 4.4). Den kan også summere høyden til å gi den totale høydeforskjellen i grotten  $\Delta z$ . Dermed gir det kartesiske koordinatsystemet et tre dimensjonalt bilde med x, y og z-koordinater.

### 4.3 Behandling av kartdata

#### 4.3.1 Grottoff

Informasjonen fra PocketTopo må eksporteres videre til andre programvarer for å produsere kartene. I første omgang blir informasjonen eksportert ut som tekstfiler. Alle filene blir deretter satt sammen til en stor tekstfil. Den blir videre visualisert i programmet «Grottoff pro-4.027 (2008)». Grottoff er utviklet av Stein-Erik Lauritzen for å behandle og illustrere

grottedata (Lauritzen og Solbakk 2008). Den tar kun utgangspunkt i polygondragene for å illustrere grotten i et 3D-format. Dette kan brukes til å se grottens utstrekning og hvordan den er plassert i forhold til andre grotter. «Grottolf Cross-Section CAD» er en funksjon som illustrerer tverrsnittet fra hver stasjon. Den setter tverrsnittet opp i et millimeterpapir, med stasjonen i sentrum. På tverrsnittet vises HVNO som en horisontal (HV) og vertikal (NO) linje (se B i figur 4.3) (Lauritzen og Solbakk, 2008). Grottolf inneholder også en sløyfekorrekasjonsfunksjon. Hvis polygondragene går rundt i en lukket krets kan denne «sløyfen» brukes som et hjelpemiddel. Når sløyfen er koblet sammen, kan funksjonen finne eventuelle avvik i den lukkede kretsen før den fordeler feilen ut på alle stasjonene (Lauritzen og Solbakk, 2008). Grottolf kan også brukes til å måle avstander og høydeforskjeller mellom stasjonene i grottene.

#### 4.3.2 Coreldraw

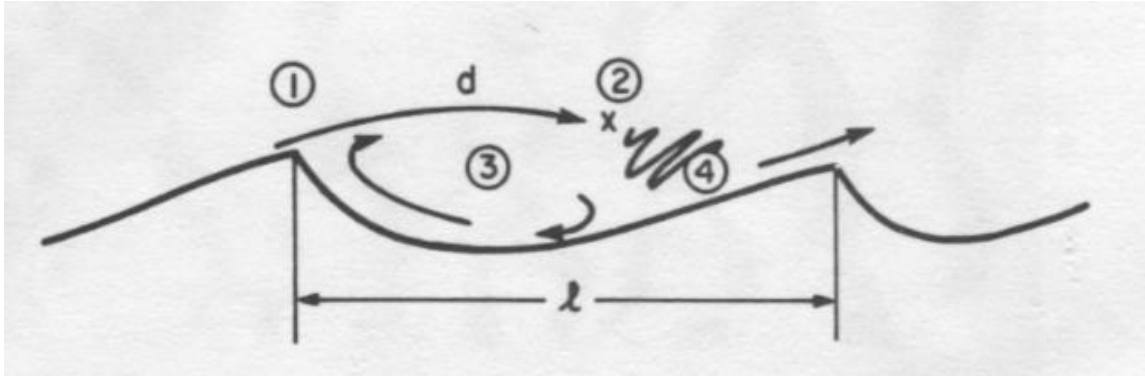
Selve kartet ble produsert i Coreldraw. For å få en korrekt projeksjon ble filformatet HPGL (\*.ppl) eksportert ut fra Grottolf. Den inneholder både HVNO, stasjonsnummer og en ramme med målestokk av grotten (Lauritzen og Solbakk, 2008). Rådata fra PocketTopo ble eksportert ut til dxfP. og dxfS. filer som legges inn i Coreldraw. I dette programmet blir selve kartet produsert basert på polygonlinjer og skisser fra PocketTopo. Arbeidet i Coreldraw består i hovedsak av finjustering av linjer og visualisering av de forskjellige egenskapene, som blokker, sedimenter og vann. For andre geologiske fenomener som strømskåler, dryppstein og gjel ble det brukt forskjellige symboler på kartet (se kap. 5.1, figur 5.2 for tegnforklaring som blir brukt i oppgaven.)

### 4.4 Innsamling av hydrogeologiske data

#### 4.4.1 Strømskåler

For å rekonstruere paleostrømmen basert på strømskåler måles først høyden og bredden av selve passasjen. Dette brukes til å beregne arealet av tverrsnittet. Metoden krever at passasjen fortsatt viser den opprinnelige formen, da strømskålene ble dannet. Hvis passasjeformen har endret seg siden dannelsen, vil høyde og breddemålingene bli unøyaktige, som videre vil gi feil i vannføringsberegningene. De mest ideelle passasjene har en sirkulær eller elliptisk form. Hvis passasjeformen er mer utydelig eller delvis fylt med sedimenter, blir rekonstrueringen kun et estimat. Slik nevnt i teorikapittelet (kap. 3.5.3) er det lengdeaksen til strømskålen som indikerer strømningshastigheten, hvor forholdet mellom

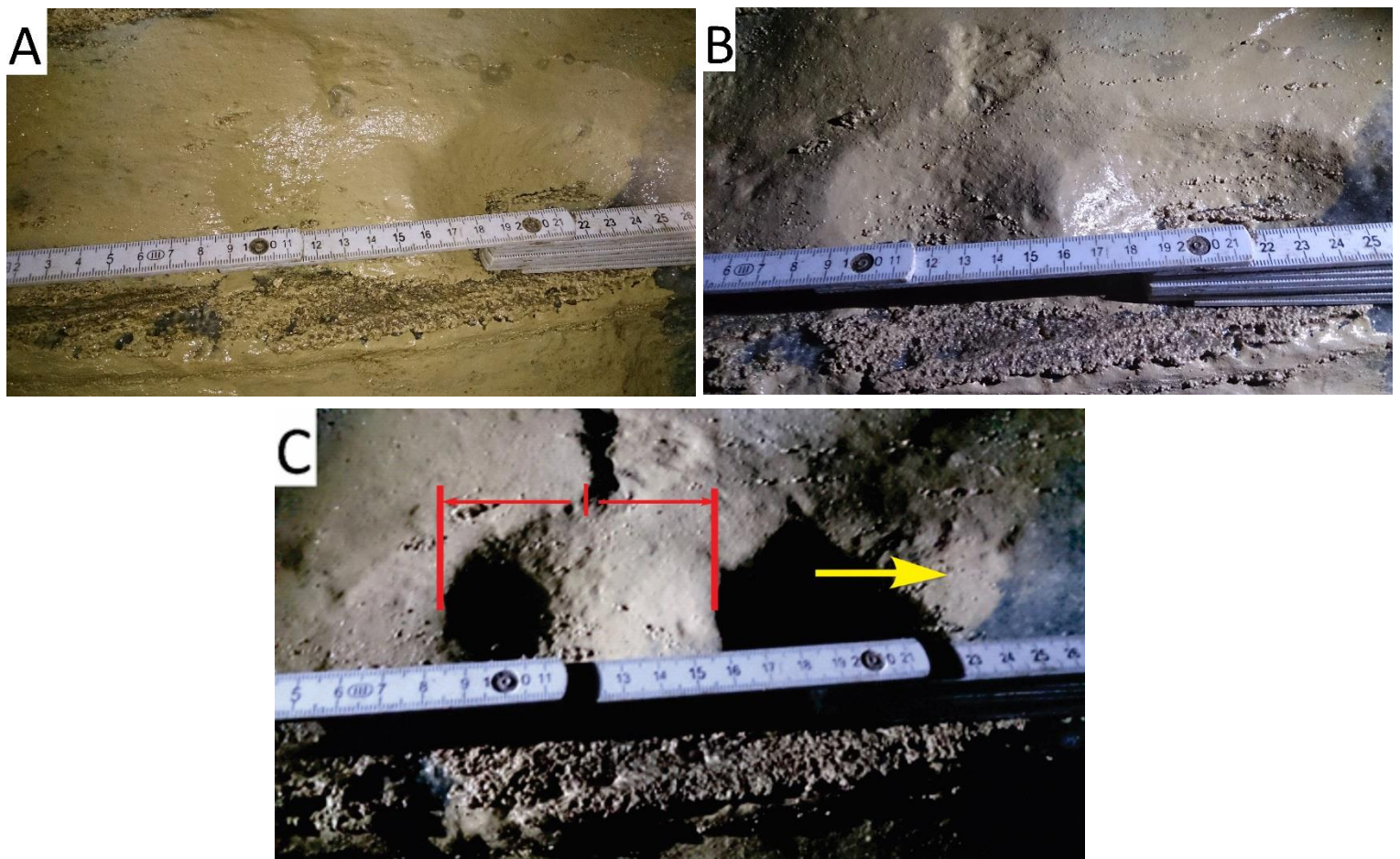
lengdeaksen og strømningshastighet er negativ (Curl, 1966). Det betyr eksempelvis at en lang lengdeakse ( $l$ ) viser til en lavere hastighet og omvendt. Lengdeaksen ( $l$ ) måles ved å finne avstanden mellom «bølgetoppene» til strømskålen (figur 4.5).



Figur 4.5: Illustrerer hovedstrømmen og den sirkulerende strømmen. Asymmetrien i strømskålen viser den opprinnelige strømningsretningen. Helningen som ligger mot strømningsretningen, altså til venstre i figuren, vil være generelt brattere enn helningen til høyre. Hentet fra Curl (1974).



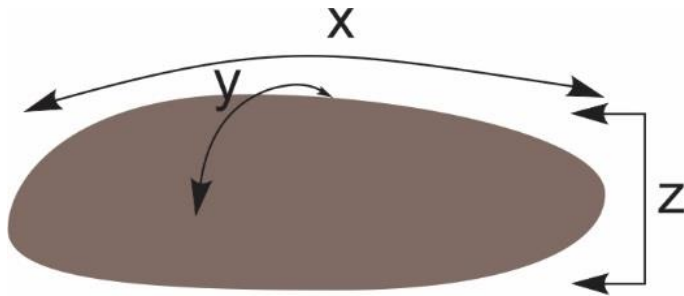
Lauritzen (1981b) representerte en metode for å måle strømskålens asymmetri for tilfeller hvor asymmetrien ikke er tydelig. I denne oppgaven blir lys brukt som et enklere alternativ. Ved å lyse langs strømskålen vil tuppen på skålen kaste en skygge over gropen (se B og C i figur 4.6). Den bratteste siden vil kaste den største skyggen og dermed avsløre strømskålens asymmetri (C i figur 4.6). Dermed brukes lyset til å bestemme paleostrømningsretningen. Lyset blir også brukt til hjelp under måling, ettersom skyggen gjør det enklere å se lengdeaksene (for eksempel A i forhold til B og C i figur 4.6).



Figur 4.6: Tre bilder av de samme strømskålene. A: Lykten lyser rett ned på overflaten. B: Lykten lyser fra høyre mot venstre. C: Lykten lyser fra venstre mot høyre. Bildene illustrerer hvordan lys blir brukt som hjelpemiddel til å måle lengdeaksene og bestemme strømningsretning. I dette eksempelet gikk strømmen fra venstre mot høyre (gul pil). Foto: forf.

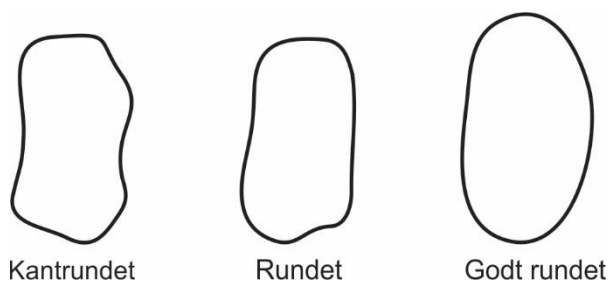
#### 4.4.2 Rullestein

Utenom strømskåler kan også avsetninger i grotten fortelle om tidligere forhold (Valen og Lauritzen, 1989). Alt fra leire til store rullesteiner kan gi et estimat på hvilke krefter som har vært aktiv. Sedimentprøver med kornstørrelser fra grus til leire blir tatt av Hege Kilhavn. Det blir ikke gjennomført noe graving i sedimentene ettersom grottene er fredet. For å måle diameteren til rullestein blir ofte lokaliteten satt til områder med konsentrerte mengder rullestein. Her måles rullesteinens tre akser ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) (figur 4.7) på opptil 100 prøver.



Figur: 4.7: Måling av de tre aksediameterne  $x$ ,  $y$  og  $z$  til rullestein. Mellomaksen ( $y$ ) brukes som rullesteinens størrelse.

Her gjelder det i hovedsak klaster og blokker som har blitt bearbeidet i et fluvialt miljø. Dette betyr at områder med spesielt mye kantete klaster og blokker ikke blir målt, da dette kan være kollapsmateriale. Utenom måling av diameter, blir også rundingsgraden notert. Her brukes en forholdsvis enkel fordeling mellom kantrundet, rundet og godt rundet rullestein (figur 4.8). Det blir kun tatt en visuell vurdering av rullesteinen for å bestemme rundingsgraden.



Figur: 4.8: Eksempler på rullestein med forskjellig rundingsgrad.

Under måling av rullestein ble det også undersøkt om det var imbrikasjon i avsetningene. Imbrikasjonen kan være nyttig for rekonstruering av paleostrømningsretningen. Under

kartleggingsarbeidet ble det ikke observert noe tilstrekkelig imbrikasjon i noen av de elongerte rullesteinsavsetningene. Måling av imbrikasjon var en tiltenkt metode i oppgaven, men ble ikke brukt.

#### 4.4.3 Grottemorfologi

Morfologien i en passasje er ofte en indikasjon på hvilke prosesser som har vært aktive. Et halvør i taket uten en ledespalte kan for eksempel vise til en freatisk strøm, mens et gjel viser til en vados strøm. De generelle morfologiske trekkene til grotten vil være synlige gjennom kartleggingsarbeidet. Mål av tverrsnittet kan gi et bilde både på størrelse og form i grottepassasjene. For å få et mer detaljert bilde blir vesentlige passasjer skissert på papir. Skisser er mindre nøyaktige, men fremhever geologiske fenomener. I skissen blir det også notert ned andre viktige faktorer som strukturer, foliasjoner, ledespalter, sedimenter og plassering av strømskåler.

### 4.5 Behandling av hydrologiske data

#### 4.5.1 Utregning av strømningshastighet

Fra hver lokalitet med strømskåler måles det rundt 30 lengdeakser. Sammen med bredden og høyden til passasjen er dette tilstrekkelig til å beregne strømningshastighet og vannføring. Ifølge Curl (1974a) vil noen av lengdeaksene representere mindre depresjoner, som ikke er relevante for utregningen. For å kunne eliminere disse foreslår han å bruke Sauter gjennomsnittet ( $L_{32}$ ).

$$L_{32} = \frac{\sum L_i^3}{\sum L_i^2} \pm \begin{cases} L_{32} x e^{\sigma_{32}} - L_{32} \\ L_{32} - \left(\frac{L_{32}}{e^{\sigma_{32}}}\right) \end{cases} \quad (4.1)$$

hvor  $L_i$  er den største målte lengdeaksen og  $\sigma_{32}$  er gitt som:

$$\sigma_{32} \approx \left[ \frac{13}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\ln L_i - \overline{\ln L_i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.2)$$

hvor  $\sigma$  er gitt med en 10–20 % sikkerhet (Lauritzen, 1982).  $L$  er lengdeaksen fra hver strømskål,  $n$  er antall strømskåler fra en beregning. Etter at sautergjennomsnittet er regnet ut brukes en formel fra Blumberg og Curl (1974) til å regne ut den gjennomsnittlige strømningshastigheten  $\bar{u}$ :

$$\bar{u} = \frac{u}{L_{32}} \left[ 55 \ln \left( \frac{D_R}{L_{32}} \right) + 81 \right] \quad (4.3)$$

Her inngår 81 i utregningen av tverrsnittet hvor tallet baseres på at passasjeformen er en blanding av en ellipse og en sirkel. Ved bruk av denne formelen estimerer Curl (1974) at resultatet vil være  $\pm 15\%$  korrekt.

#### 4.5.2 Vannføring

Vannføring er et resultat av tverrsnittets areal sammen med den gjennomsnittlige hastigheten. For å finne arealet i passasjen måles høyden og bredden. Ofte er det vanskelig å definere formen på de forskjellige passasjene. Her brukes det en elliptisk tilnærming når arealet regnes ut. Ifølge Lauritzen (1982) vil usikkerheten ved en slik tilnærming være lavere enn  $15\%$ .

$$A = \pi \times \frac{X}{2} \times \frac{Y}{2} \quad (4.4)$$

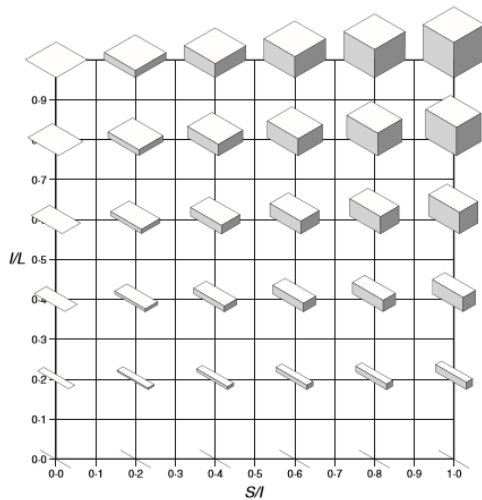
#### 4.5.3 Programvare til beregning

For selve utregningene ble programmet «Scallop» brukt, utviklet av Stein Erik Lauritzen. For å bruke dette programmet må det først forberedes tekstfiler som inneholder samtlige lengdeaksemålinger sammen med høyden og bredden på passasjen. Etter å ha lastet opp tekstfilen i programmet settes grottens gjennomsnittlige temperatur inn. I denne oppgaven ble temperaturen satt til grottens gjennomsnitt på  $2^\circ\text{C}$ . Programmet regner deretter ut hastighet, vannføring og sauter gjennomsnittet basert på formlene fra kapittel 4.5.1-2. For å kontrollere at Scallop gjennomfører korrekte utregninger ble de samme utregningene testet i et excelark.

#### 4.5.4 Behandling av rullesteinsdata

Størrelsen på rullestein vil brukes i sammenheng med paleostrømningshastigheten og hvordan størrelsen fordeles gjennom grottesystemet (Attal og Lavé, 2009). Rullesteinens mellomakse vil her bli brukt som størrelse. Usikkerheten settes som den største og minste mellomaksen, per lokalitet. Dette kan så settes i sammenheng med rullesteinenes plassering i grotten.

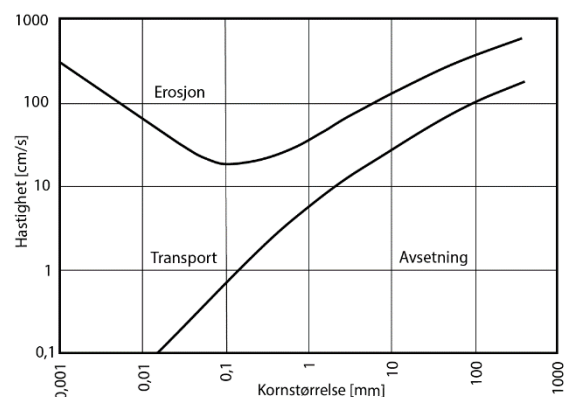
Gjennom plotting av de tre aksene mot hverandre kan en finne partikkelformen til rullesteinene. For å holde grafer og resultat oversiktlig følger aksenavnene de samme som i Folk og Sneed (1958): S (kort), I (intermediær) og L (stor). Basert på Blott og Pye (2008) følger partikkelens form det elongerte forholdet langs y-aksen ( $y=I/L$ ) og flathetsforholdet langs x-aksen ( $x=S/I$ ) som settes opp mot hverandre i et diagram (figur 4.9).



Figur: 4.9. Kyber som viser partikkelformen. S: kort, I: intermediær og L: stor. Diagrammet er basert på Zing diagrammet fra Zing (1935) og er hentet fra Blott og Pye (2008).

#### 4.5.5 Hjulstrømdiagram

Hjulstrømdiagrammet brukes til å sammenligne strømningshastigheter, utregnet fra lengdeakser til strømskåler, sammen med rullesteinsstørrelser. Dette diagrammet bruker kornstørrelse og strømningshastighet til å sette forskjellige faser som forteller om sedimentet ble avsatt, transportert eller erodert (figur 4.10). Hjulstrømdiagrammet setter dermed avsetningene i en av de tre fasene under vannstrømmen som løste opp strømskålene. Metoden brukes til å gi en indikasjon på om vannstrømmen som transporterte rullestein var den samme som dannet strømskåler.



Figur: 4.10. Hjulstrømdiagram basert på arbeidet til Hjulström (1935).

#### 4.6 Usikkerheter

I kartleggingsarbeidet kan det oppstå usikkerheter. Håndtering av lasermåleren i et spesielt utfordrende terreng vil ofte føre til en usikkerhet i målingen. Selve tegningen av kartet på den håndholdte datamaskinen kan også føre til unøyaktigheter. Når tegningen senere skal finjusteres i «Coreldraw», er det en mulighet for at skissene blir feiltolket. Under selve kartleggingen er det blitt brukt felles tegnforklaringer for å unngå misforståelser, men det kan fortsatt forekomme uklarheter. Det er også mange små detaljer i kartene som må neglisjeres eller generaliseres for å holde resultatet oversiktlig. Dette gjelder eksempelvis «blokkfylllaget», som representerer et lag på kartet med mindre blokker. Det er kun de større blokkene, som påvirker fasongen til passasjen, som blir tegnet formriktig.

Det mest elementære målet ved kartleggingen, er at man skal kunne kjenne seg igjen i grotten ved bruk av kartene (Lauritzen, 2002). Dette kartleggingsarbeidet følger graden 5C etter Lauritzen (2002), som er inspirert av Ellis (1988). Denne graderingen betyr at vinklene skal være innenfor  $\pm 1^\circ$  og avstander  $\pm 10$  cm. Posisjonsfeilen skal være innenfor en ellipsoide med radier lavere enn 10 cm. Ved måling av tverrsnitt, er minstekravet i graden 5C at de fire hovedretningene (HVNO) blir målt på hver stasjon. Etter kartleggingsarbeidet vil Grottoff bruke sløyfer (lukkede kretser) til å korrigere forskyvninger ved fordele dem ut over alle stasjonene.

Også under innsamling av data til paleostrømanalyser er det faktorer som kan føre til usikkerheter i resultatet. Ved måling av strømskålens lengdeakse må også passasjeformens høyde og bredde måles. Høyden og bredden skal representere arealet av tverrsnittet i passasjen da strømskålene ble dannet. Hvis fasongen på passasjen har endret seg i ettertid, utgjør dette en feilkilde ved beregning av paleovannføring. Slike endringer kan forekomme i form av blant annet kollaps eller innfylling av sedimenter. Beregning av paleovannføring fra strømskåler i vadose gjel har ofte dette problemet. Her er det problematisk å vite hvor dyp vannstrømmen var i gjelet da strømskålene ble dannet. Hvis en sekvens med strømskåler i sideveggen viser til et og samme strømningsregime (lik asymmetri og lengdeakser), kan dette indikere dybden til paleostrømmen. Checkley og Faulkner (2014) satte dybden på paleostrømmen til å være lik bredden på gjelet. Dette gir ikke et nøyaktig resultat, men fungerer som et grovt estimat på lokaliteter hvor det er utfordrende å måle arealet av tverrsnittet. Det skal også merkes at resultatene fra rullesteinenes rundingsgrad, er basert på

en enkel vurdering inne i grotten. I en fredet grotte med utfordrende terreng er det store muligheter for at vurdering av rundingsgraden til noen rullesteiner er noe unøyaktig. Ettersom det er blitt målt om lag 100 rullestein på hver lokalitet, vil det generelle bildet av rundingsgraden fortsatt kunne brukes.





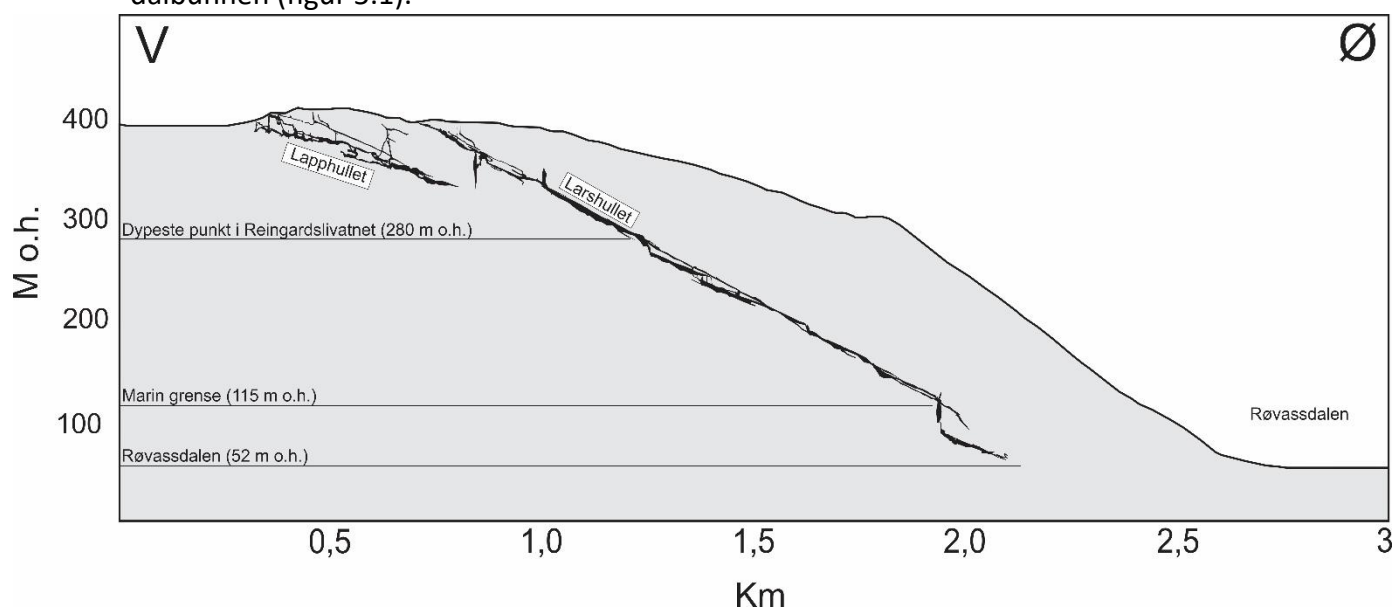
## 5. Resultat

### 5.1 Generelle data

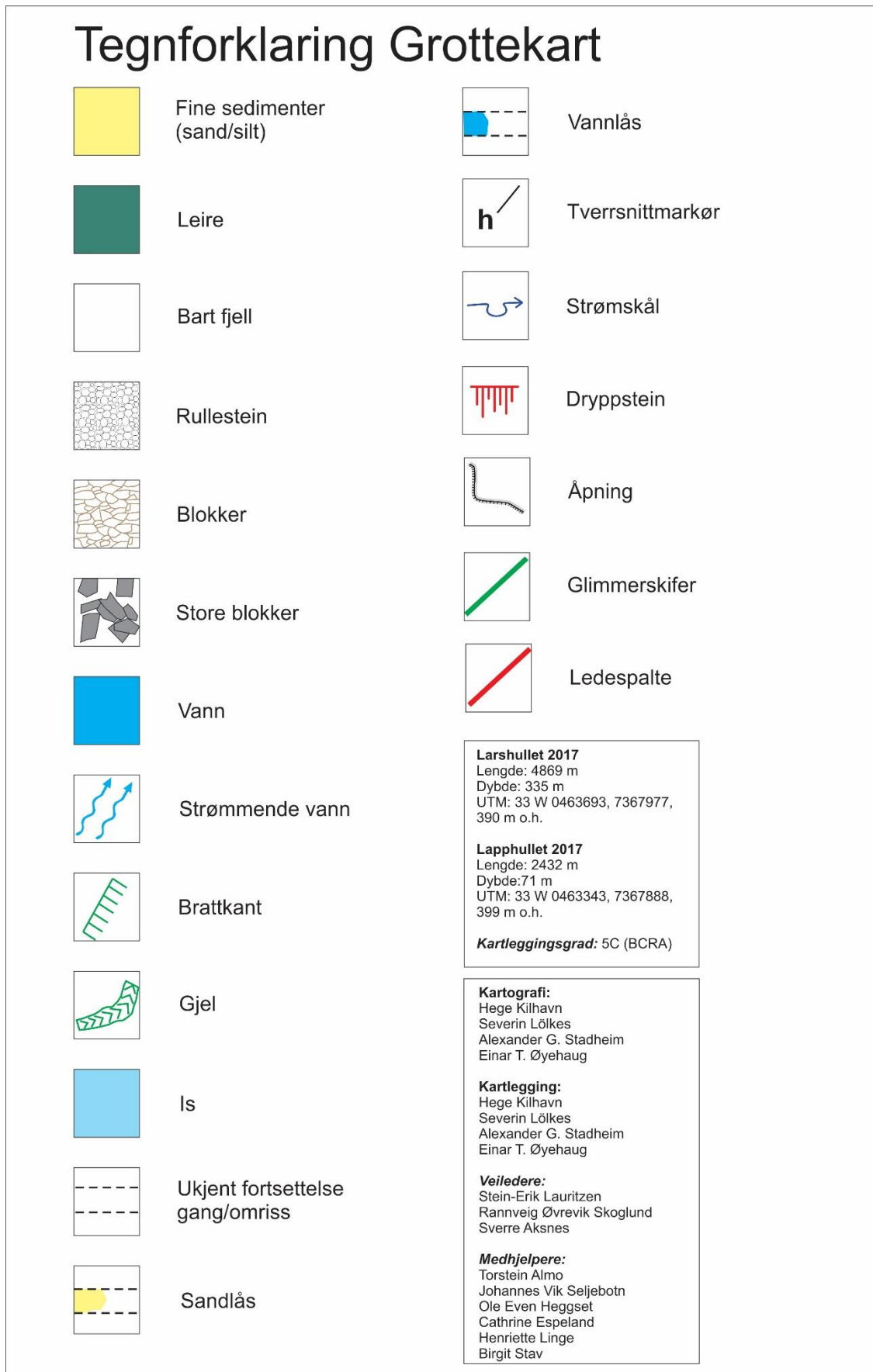
Totalt utgjør Lapphullet og Larshullet en lengde på 7343 meter. Begge grottene har en generell utstrekning fra vest til øst. Den totale utstrekningen fra inngangen til Lapphullet i vest til bunnen av Larshullet i øst er på 1800 meter. Fra nord til sør har grottene til sammen en utstrekning på 130 meter. Grottesystemet starter oppe ved Reingardslivatnet i øst og ender i bunnen av Røvasdalen (figur 5.1). Av kartleggingsarbeidet er Lars- og Lapphullet fullstendig, mens kartlegging av Pers- og Olavsgrotten er fortsatt under arbeid.

Lapphullet er den øverste grotten i systemet hvor inngangen ligger på 399 m o.h. Grotten har en total lengde på 2432 meter med en øst – vest utstrekning på ca. 475 meter. Lapphullet er et komplekst system av flere passasjer som går på tvers og parallelt med hverandre. Fra det høyeste til det laveste punktet i grotten er det en vertikal høydeforskjell på ca. 70 meter.

Larshullet er den største av de to grottene. Inngangen ligger på 390 m o.h. som også er det høyeste punktet til grotten. Den har en total lengde på 4869 meter og en øst – vest utstrekning på 1400 meter. I forhold til Lapphullet er Larshullet ett mindre komplekst system med mer lineære passasjer, færre labyrintformer og tverrgående passasjer. Grotten har en dybde på 335 meter. Dette betyr at det laveste punktet på Larshullet er på 55 m o.h. Røvasdalen ligger på 52 m o.h. som betyr at bunnen av Larshullet ligger i nærheten av dalbunnen (figur 5.1).

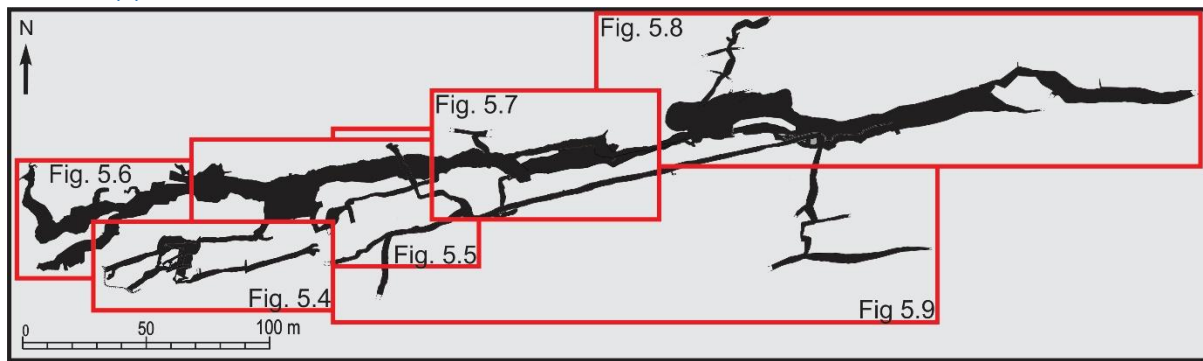


Figur 5.1: Oversikt over Lapphullet og Larshullet i forhold til overflaten. Reingardslivatnet ligger mot nord–vest i forhold til grottene, mens Røvasdalen ligger øst på figuren. Høydekurvene til overflaten er hentet fra Norgeskart.no.



Figur 5.2: Tegnforklaring til kartene som blir brukt videre i oppgaven og i vedlegg 1 og 3.

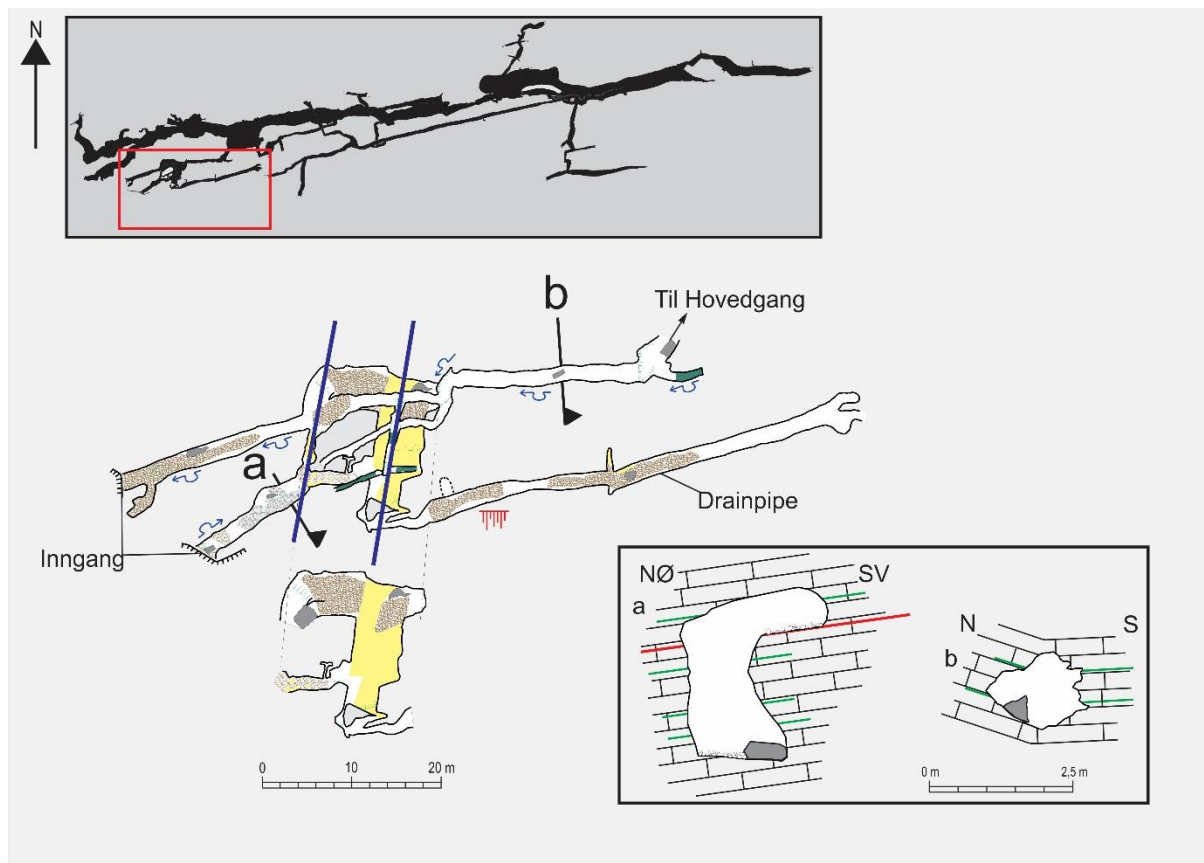
## 5.2 Lapphullet



Figur 5.3: For å beskrive Lapphullet har kartet blitt delt opp i syv blokker slik vist i denne figuren.

### 5.2.1 Øvre partiet

Lapphullets inngang ligger langs den lokale grusveien som går opp til Reingardslivatnet. Inngangen er relativt synlig og ligger på nordsiden av veien (UTM 33 W 463343 7367888). I inngangspartiet er det mulig å stå oppreist. Underlaget er dekket av kantete steiner og mindre blokker, mens på en hylle til høyre er det avsatt rullesteiner.

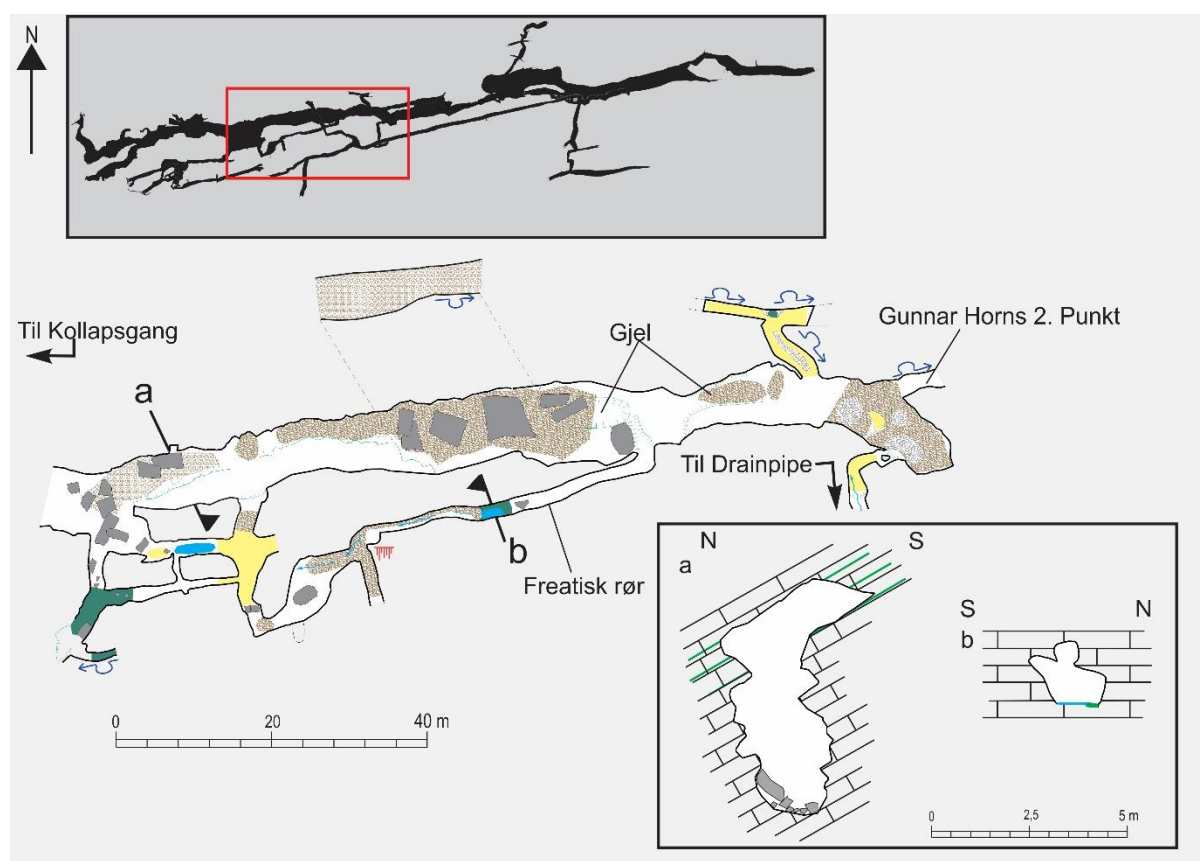


Figur 5.4: Øvre partiet: De blå stripene på kartet representerer tverrsprekker i passasjen. I tverrsnittene viser den røde stripen den opprinnelige ledespalten og den grønne stripen viser glimmerskiferlag.

Inngangspartiet viser til to strømningsregimer (deles av ledespalten i figur 5.4a) som er dannet i forskjellige tidsrom, men strømskåler fra begge regimer viser den samme strømningsretningen. Videre nedover i passasjen møter gangen to tverrsprekker (figur 5.4). Den første sprekken kobler inngangen til en parallell passasje som også leder ut av grotten (sperrert av et gitter). Denne passasjen er freatisk formet med strømskåler som viser til en paleostrøm som gikk vestover, ut av grotten. Den andre tverrsprekken har utviklet et større rom med en høyde på tre til fire meter. Underlaget i dette rommet er dekket av hovedsakelig sand. Øverst på sørsiden av rommet starter «Drainpipe» (figur 5.4). Fra inngangspartiet og ned til *Hovedgangen* går det et freatisk rør med tendenser til halvør i taket.

### 5.2.2 Hovedgang

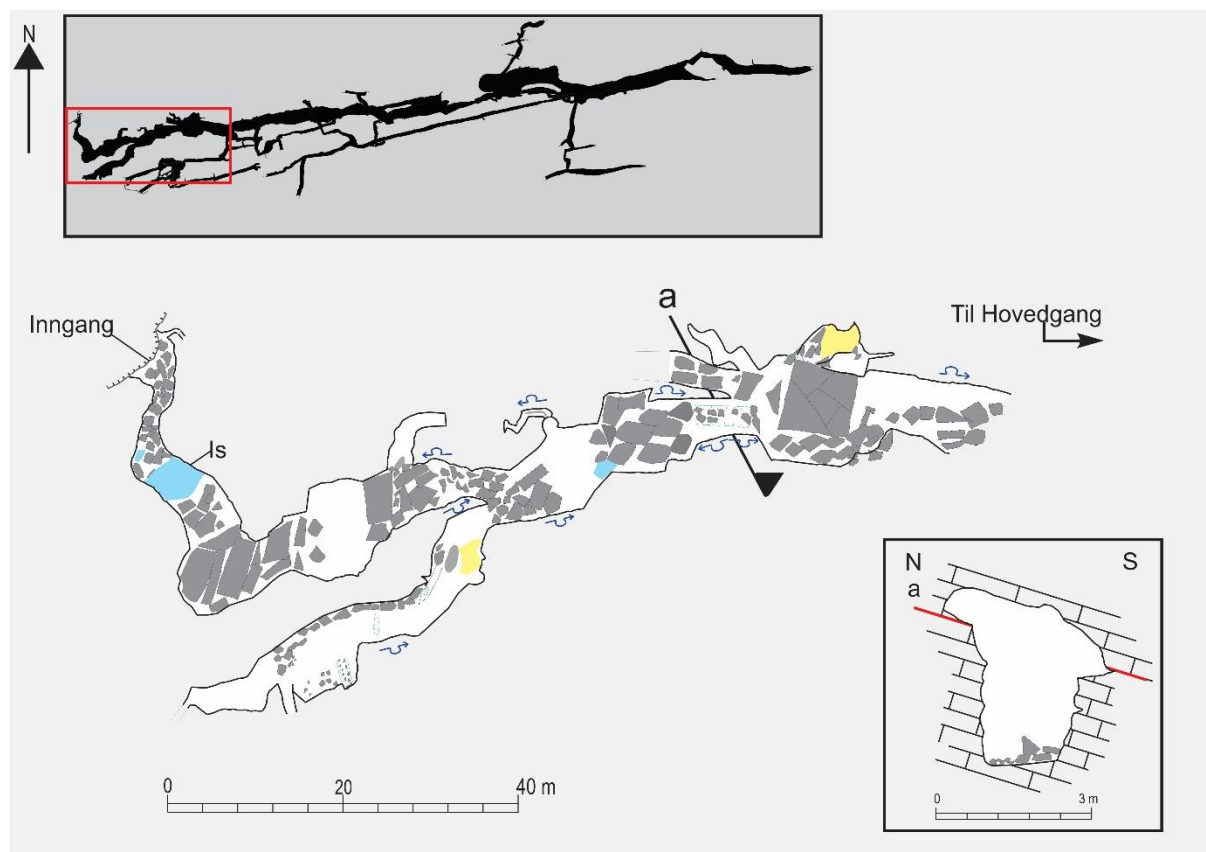
Navnet *Hovedgang* er gitt grunnet størrelsen og lengden på passasjen. Selve gangen strekker seg fra *Kollapsgangen*, fra *Nordre Lapphullet*, og ned til *Gunnar Horns 2. punkt*. Gangen varierer i høyde og bredde fra fem til seks meter. Tidligere var *Kollapsgangen* også en del av dette systemet ettersom den opprinnelig har lik morfologi og størrelse. Store deler av *Hovedgangen* er dekket av kollapsblokker som har falt ut fra sidevegger og tak. Ellers er det relativt lite sedimenter, kun et tynt lag med sand som er avsatt under rasblokkene. Morfologien viser et vadost miljø med et gjel langs nordsiden av gangen (figur 5.5a). Strømskåler i taket viser også til et tidligere freatisk miljø. Parallelt med *Hovedgangen* går det et freatisk rør som kobler den nedre delen av *Hovedgangen* med passasjen opp til *Øvre partiet* (b i figur 5.5). Denne gangen har et halvrør i taket med store mengder strømskåler som viser en strøm som gikk østover, inn i grotten. *Hovedgangen* ender i kollapsmateriale ved *Gunnar Horns 2. punkt*. Videre mot øst passasjen over i et freatisk rør, mens i sør går det et freatisk rør opp til «*Drainpipe*».



Figur 5.5: Hovedgangen i Lapphullet. Tverrsnitt a demonstrerer gjelformen til Hovedgangen, mens tverrsnitt b demonstrerer halvrøret i den freatiske passasjen. De grønne stripene viser glimmerskiferlag.

### 5.2.3 Nordre Lapphull og Kollapsgang

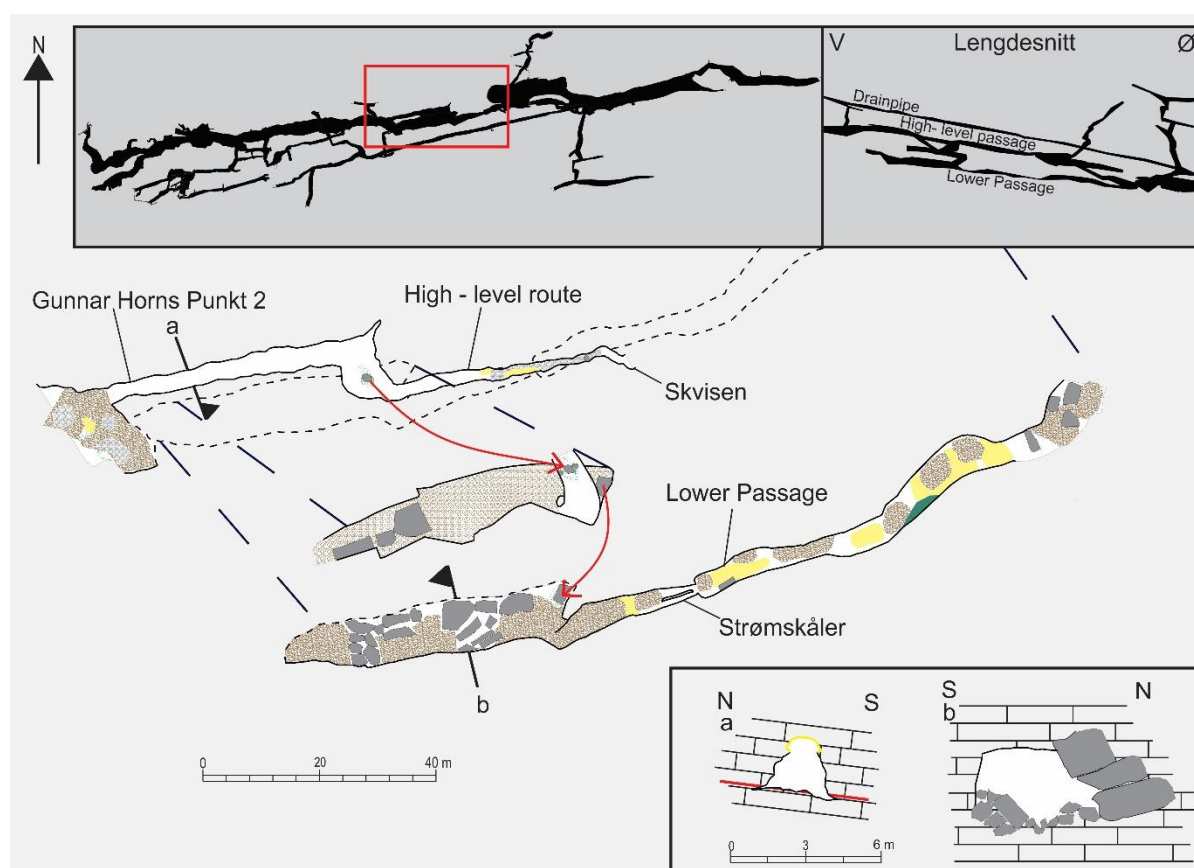
*Nordre Lapphullet* er den tredje inngangen til Lapphullet og ligger 50 meter nord for den første inngangen. Inngangspartiet viser til en opprinnelig, større passasje som senere har kollapset. Dagens passasje er en smal og ujevn gang som går gjennom disse kollapsblokkene. Ti meter inn i grotten ligger det is som holder seg kjølig grunnet en kald luftstrøm fra grotten. *Nordre Lapphull* henger sammen med resten av Lapphullet gjennom en passasje på 70 meter som i stor grad har kollapset, derav navnet *Kollapsgang*. Gangen er stedvis ustabil som er grunnen til et begrenset kartleggingsarbeid i området. Utenom kollapsmaterialet er det avsatt små mengder med rullestein i *Kollapsgangen*. To steder i passasjen er det mulig å observere den opprinnelige morfologien til passasjen, i form av vadose gjel (figur 5.6). Her viser de vertikale veggene strømskåler med paleostrømmer som har gått i begge retninger. I taket indikerer strømskåler en vannstrøm som har gått oppover mot vest og ut av grotten.



Figur 5.6: Kollapsgang med inngangen fra Nordre Lapphullet øverst til venstre. I tverrsnittet viser den røde stripen den opprinnelige ledespalten. Her oppnådde vannstrømmen et gjennombrudd, etterfulgt av gjeldannelse i et vadost miljø.

## 5.2.4 «High-level route»

Fra *Hovedgangen* går systemet over til et freatisk system i «High-level route». Her ligger ledespalten langs bunnen hvor det senere har blitt utviklet en 2,5 meter høy passasje. Passasjen har en sirkulær form med et halvrør i taket (figur 5.7a). Sidevegger og tak er dekket i strømskåler som, avhengig av plassering, viser paleostrømmer i begge retninger. 40 meter inn i grotten går passasjen over til et rom hvor grotten splittes mellom «High-level route» og «Lower Passage». «High-level route» fortsetter som et freatisk rør med lignende former som det tidligere røret. I første del av «High-level route» er det ikke sedimenter, mens den andre passasjen har en opphopning av rullestein (rett vest for *Skvisen* i figur 5.7). Dette kommer av en kraftig innsnevring av passasjen som har hindret videre transport av materiale. Her blir passasjen så smal at den har fått navnet *Skvisen*. Forbi *Skvisen* går det inn til et stort åpent rom som leder ned til *Storgangen*.



Figur 5.7: «High-level route» og «Lower Passage». Førstnevnte starter ved Gunnar Horns 2. punkt og ender i *Skvisen*. «Lower Passage» strekker seg til *Storgangen* i øst. De røde pilene viser åpningen mellom de forskjellige etasjene i «Lower Passage». Halvrøret i tverrsnitt a er markert i gult og ledespalten i rødt.

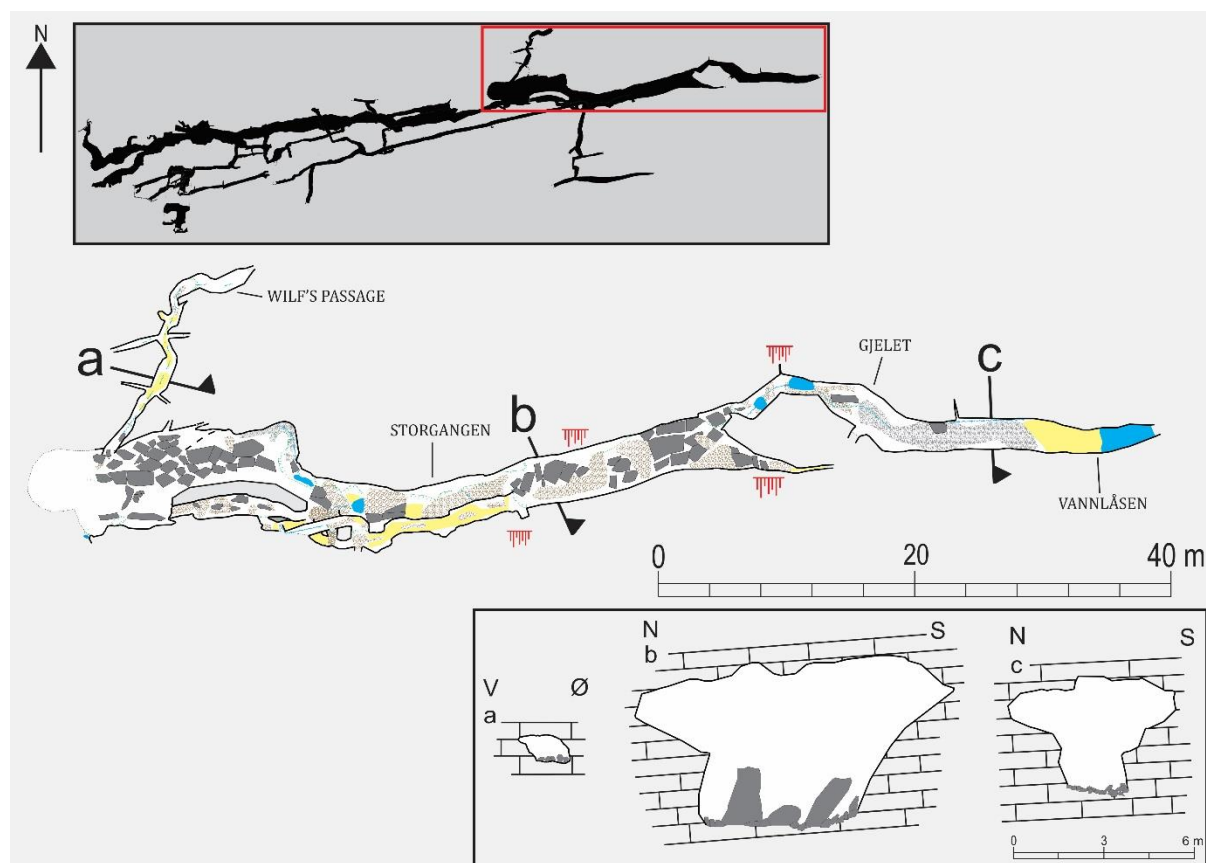
### 5.2.5 «Lower Passage»

«Lower Passage» strekker seg i en øst-vest retning to etasjer under ««High-level route» (figur 5.7). Den første etasjen under «High-level route» er dekket av rullestein og mindre blokker. Enkelte steder er også avsetningene sementert fast. De sementerte rullesteinene viser ingen tegn til preferert inklinasjon og dermed ingen tegn til en entydig retning av vannstrømmen. Etasjen under har tilsvarende avsetninger, men med større kollapsblokker. Her er det vanskelig å skille mellom kollapsblokker og fast fjell (figur 5.7b). Dermed er det stedvis blitt stiplet linjer på kartet som representerer passasjens sidevegger, men ikke nødvendigvis fast berggrunn. Videre inn i «Lower Passage» er mesteparten av passasjen kollapset som gjør det vanskelig å beskrive det tidligere hydrologiske miljøet. Et unntak ligger midt i passasjen hvor det er to freatiske rør med små strømskåler (strømskåler i figur 5.7). Rørene er dannet i en uren marmor hvor det er vanskelig å observere noe ledespalte. Forbi den freatiske passasjen kommer det en liten bekk ut i passasjen. Her varierer avsetningene fra klaster til silt og leire. Sprekker i taket viser til et mulig kollapsområde over «Lower Passage». Passasjen kommer ut under en kollapsblokk i starten på *Storgangen*.

### 5.2.6 Storgangen

«High-level route» og «Lower Passage» ender i det som er starten på en ny gang på størrelse med *Hovedgangen*. I det øverste partiet er det mange kollapsblokker som gjør det vanskelig å rekonstruere den opprinnelige passasjen nøyaktig. I dette området kommer også «Wilf's passage» ned fra taket (figur 5.8). Fra «Wilf's passage» skråner gangen ned til *Storgangen*, hvor bekken er aktiv i dag. Kilden til vannet kommer ut fra nordsiden av grotten og fortsetter ned langs *Storgangen*. Bekken har utviklet et gjel hvor den ved et punkt blir avbrutt av kollapsblokker. Forbi denne blokaden fortsetter gjelet og utvider seg i størrelse. I denne gangen er passasjen fem til seks meter bred og minner om *Tunnelen* i Larshullet (Kap. 5.3.5). Underlaget er dekket av kollapsblokker. Det er observert få strømskåler i området. Noen unntak viser en strømmetning mot øst. Sør i *Storgangen* ender passasjen i kollapsmateriale, mens i nord går det en liten passasje ned til et nytt gjel.





Figur 5.8: Den nedre delen av Lapphullet. Figuren framhever Storgangen, Wilf's passage og Vannlåsen.

## 5.2.7 «Drainpipe»

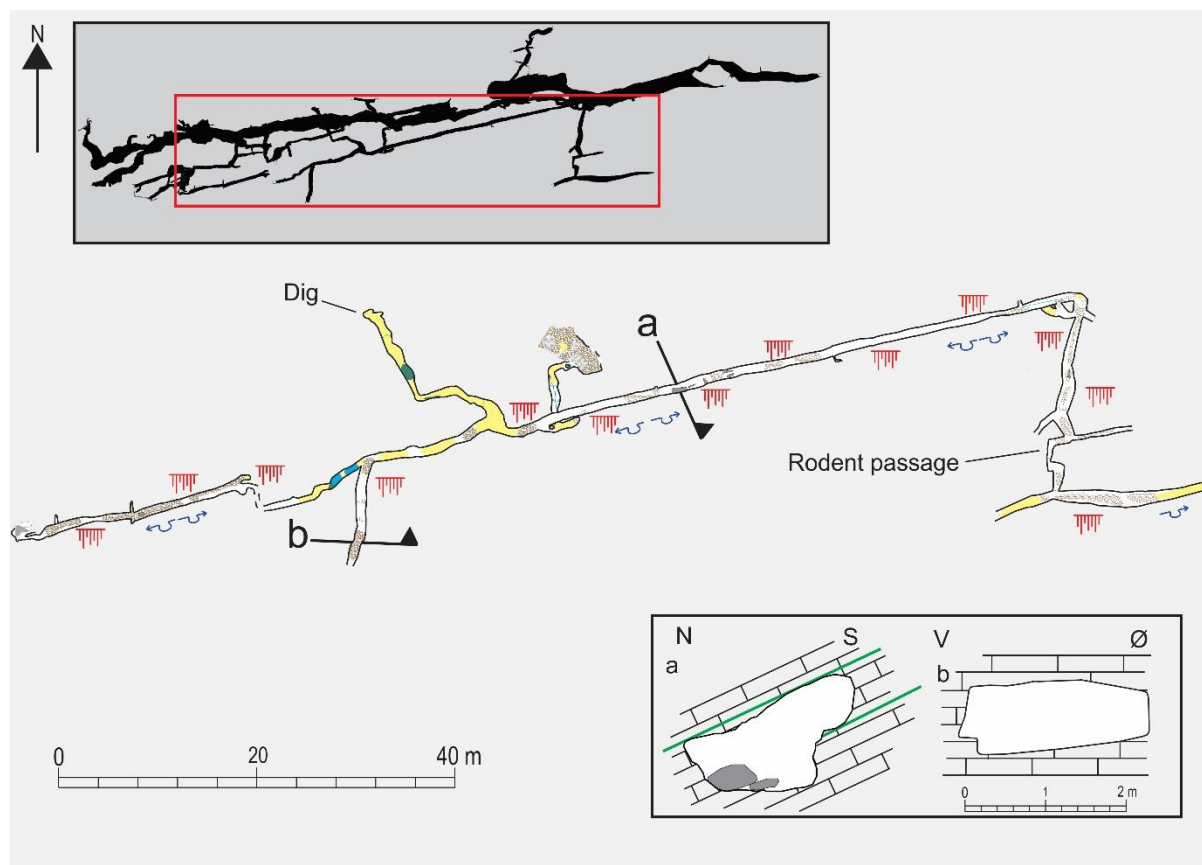
### 5.2.7.1 Horisontale røret

Fra Øvre partiet og ned til Storgangen strekker det seg et relativt smalt rør med navnet «Drainpipe». Passasjen går, med unntak av «Wilf's passage» og «Rodent passage», øverst i Lapphullet. Til sammen er «Drainpipe» litt under 300 meter lang. Taket består av et flatt glimmerskiferlag med en helning mot nord. For det meste av passasjen er dette skiferlaget komplett med unntak av tverrgående sprekker hvor vannet har brutt gjennom. Også langs sideveggene stikker flere skiferlag ut. I den øvre delen av «Drainpipe» ligger det en dam som dekker hele gangen. Vest for dammen er det en tett samling av stalagmitter og stalaktitter som gjør det vanskelig å passere uten å ødelegge. Dette forklarer avbruddet i kartleggingen i «Drainpipe». Kornstørrelse på sedimentene i «Drainpipe» varierer fra leire til mindre rullestein. Strømskålene i «Drainpipe» viser et mer komplisert hydrologisk bilde i forhold til resten av grotten. De fleste strømskålene er observert på veggen mot sør. Retningen på paleostrømmen varierer ut fra plasseringen på veggen. De øverste og nederste strømskålene indikerer at strømmen gikk østover, dermed ned og inn i grotten. Strømskålene i midten av

grotten har derimot en mer symmetrisk form og stedvis en asymmetri som indikerer at vannet gikk oppover mot vest. Med noen unntak gjenspeiler dette mønsteret seg gjennom hele «*Drainpipe*».

#### 4.2.7.2 Vertikale rør

Langs passasjen møter «*Drainpipe*» to meget forskjellige passasjer som går opp mot overflaten. Den øverste (figur 5.9b) er nesten bar for sedimenter og har en meget brå helning mot sør, opp mot overflaten. Formen på passasjen er nærmest rektangulær, og toppen av passasjen er blokkert av kollapsblokker. Den andre passasjen har en slakere helning mot nord og er dekket i sedimenter («*Dig*», figur 5.9). Passasjen slutter med en «sandlås» (sandfylling) hvor det tidligere har blitt forsøkt å grave videre (Wells, 1954), derav navnet «*Dig*».



Figur 5.9: «*Drainpipe*» og «*Rodent passage*» i Lapphullet. De grønne stripene markerer glimmerskiferlag.

#### 5.2.8 «*Wilf's*- og *Rodent passage*»

I området rundt starten på *Storgangen* er det to passasjer som strekker seg mot overflaten. De har nødvendigvis ikke blitt dannet under samme forhold ettersom de er av ulik karakter. «*Wilf's Passage*» starter rett øst for *Skvisen*. Det er et freatisk formet rør (figur 5.8a) som er dekket av strømskåler. Samtlige strømskåler viser en paleostrøm som gikk fra overflaten og

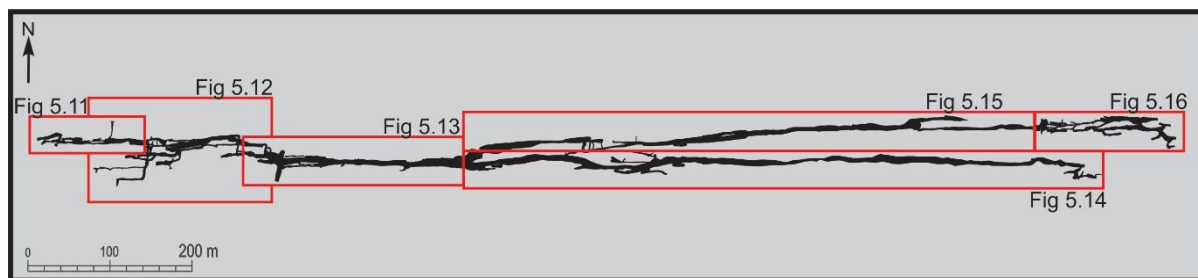
ned i grotten. Wells (1954) observerte is i toppen av passasjen, men i perioden 2015/2016 er dette ikke tilfellet. Til tross for smelting av is er det fortsatt ikke mulig å komme opp til overflaten ettersom grus og rullestein blokkerer passasjen.

Litt sør for «*Wilf's passage*», ved enden av «*Drainpipe*», starter «*Rodent passage*» som strekker seg litt høyere enn «*Wilf's passage*». Strømskålene i denne passasjen indikerer en paleostrøm som gikk opp mot overflaten. Øverst i stigningen møter passasjen en horisontal gang som følger den generelle helningen til resten av grotten. Her er underlaget dekket av sand og stedvis rullestein. Selve gangen er rundt 60 meter lang og ender i en sandlås på østsiden. Gangen er blitt navngitt «*Rodent passage*» av Wells (1954) grunnet funn av beinrester fra en gnager.

#### 5.2.9 Gjel og Vannlåsen

Den nederste og siste delen av Lapphullet går fra enden av *Storgangen* og ned til et gjel hvor bekken fortsatt er aktiv. Her går bekken gjennom *Gjelet* før den, i enden, trekker ned mellom rullestein og i sandavsetninger. Her slutter Lapphullet med en sandlås og vann (figur 5.8). Vannstanden til dammen responderer relativt raskt på nedbørsmengden. Rullesteiner ved sandlåsen har en relativt liten størrelse og er godt rundet. Langs *Gjelet* og *Vannlåsen* er det observert strømskåler som alle viser en paleostrøm som gikk ned og inn i grotten. I *Gjelet* er det noen strømskåler som viser en retning mot vest. Plasseringen til strømskålene kan tyde på at dette var en bakevje hvor paleostrømmen hadde et sirkulært mønster.

### 5.3 Larshullet

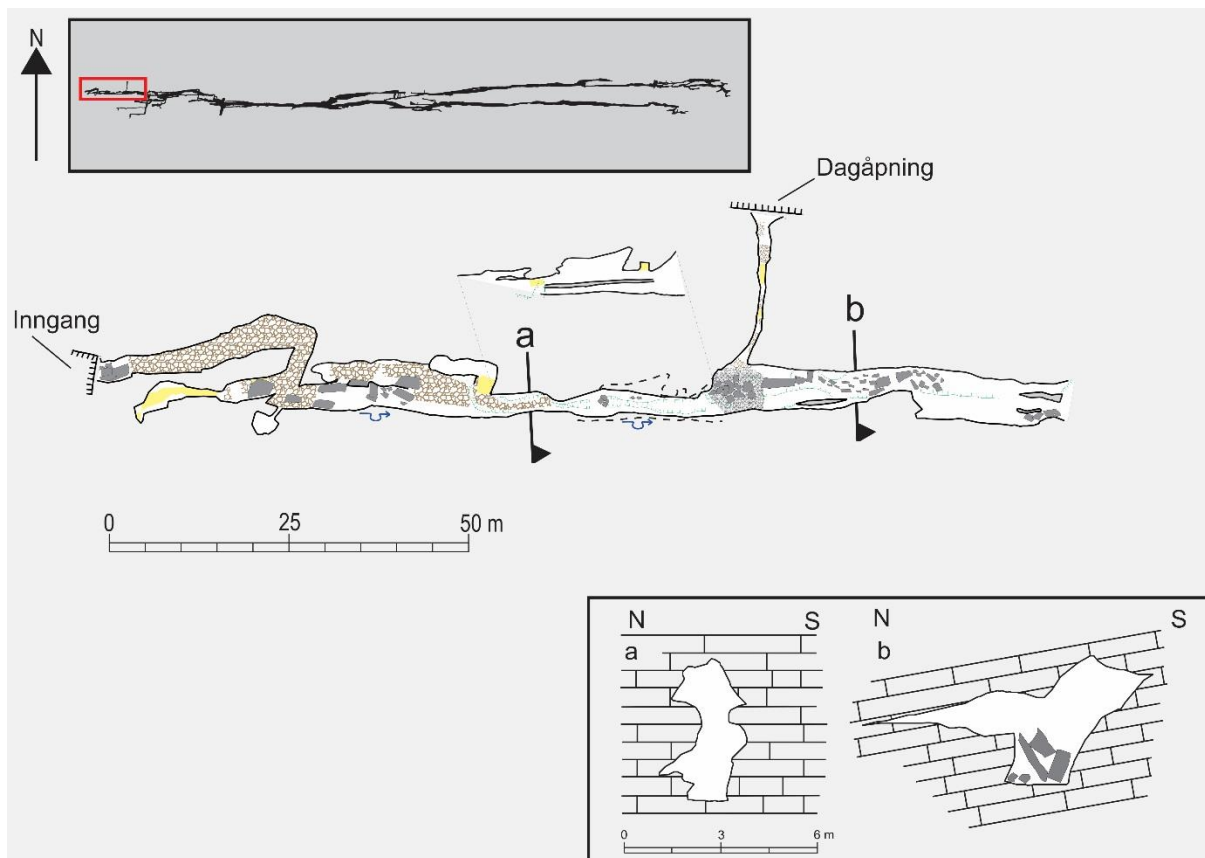


Figur 5.10: For å beskrive Larshullet har kartet blitt delt opp i seks blokker slik vist i denne figuren.

#### 5.3.1 Inngangsparti

Hovedinngangen til Larshullet ligger i en stor forsenkning som kan tolkes som doline eller tørr dal. Øst for inngangen har landskapet en liten dalform som strekker seg i øst–vest retning. Orienteringen stemmer overens med Larshullet som kan tyde på at dalformen representerer en kollapset grotte eller takløs grotte. Det er dermed mulig at Larshullet hadde en betydelig større utstrekning enn i dag. Tverrsnitt av inngangen måler 1 meter i høyden og 2 meter i bredden og videre inn utvides passasjen slik at en kan stå oppreist. I hovedsak strekker partiet seg i en enkel passasje i øst–vest retning. Ved ett unntak fører en tverrsprekk til at passasjen snur 90 °, mot sør, fortsetter for rundt 10 meter før den snur tilbake mot øst (figur 5.11).

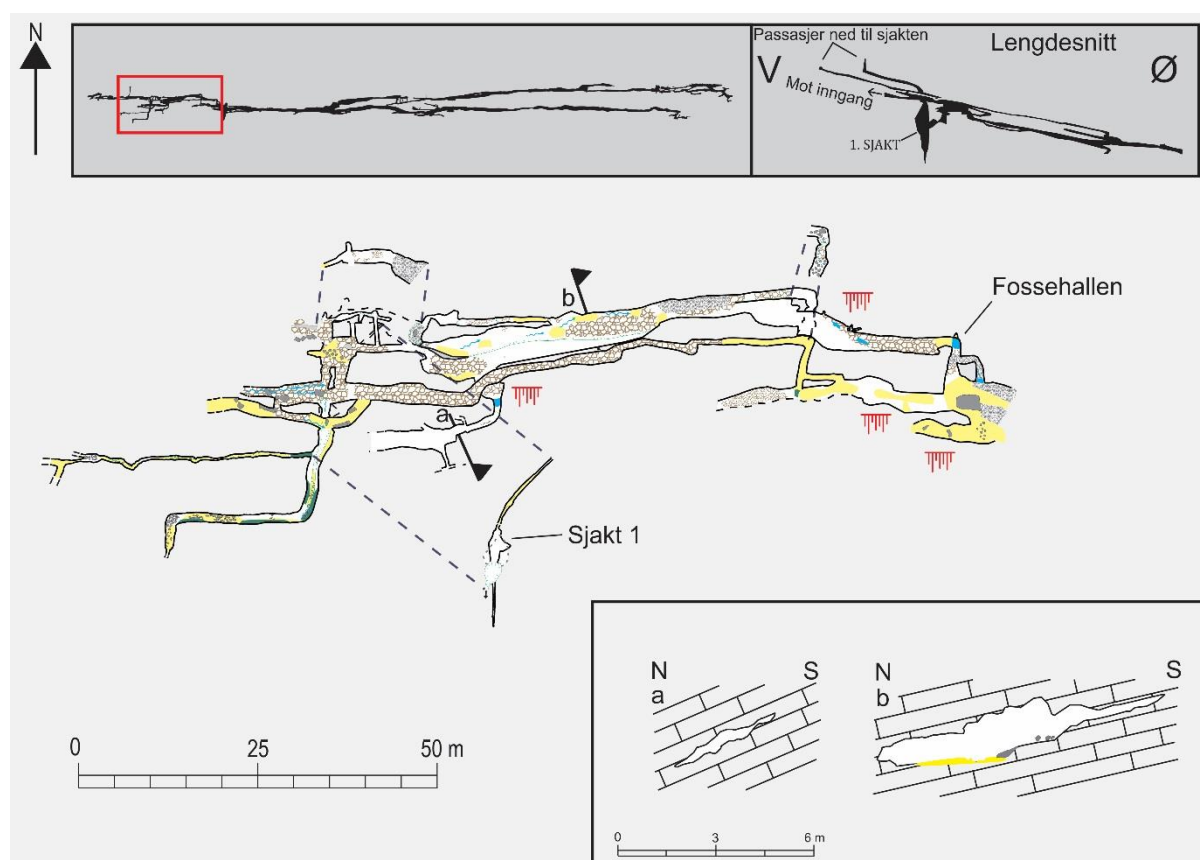
I forhold til morfologi og avsetninger ligner første del av Larshullet på Lapphullet. Av avsetninger er det mest kantete steiner og mindre blokker uten noe tegn til sand eller rullestein. Morfologien i grotten har en delvis freatisk form som senere har blitt avbrutt i et vadost miljø. For eksempel i figur 5.11b har det øverst vært en freatisk gang som har fulgt den horisontale ledespalten. Senere har et vadost miljø ført til dannelsen av et lite gjel som i dag inneholder klaster og mindre blokker. 60 meter inn i grotten splitter passasjen seg på to plan. Det øverste røret har en freatisk form og er dekket av strømskåler, mens passasjen under kan mulig stamme fra et vadost miljø. Først 80 meter inn i grotten er det første tegnet på større mengder med rullestein. Disse avsetningene er plassert rett under en tverrsprekk som strekker seg oppover. Tverrsprekken har fått navnet *Dagåpningen* ettersom den skråner opp til overflaten. Tverrsprekken er bred nok til å kunne ha vært transportvei for rullesteinene som er avsatt i bunnen. Ellers i selve tverrsprekken er det en del ustabile blokker og store mengder avsetninger dannet fra råttet (gjennomforvitret) glimmerskifer.



Figur 5.11: Inngangspartiet til Larshullet. Tverrsnitt b viser øverst en passasje, dannet under freatiske forhold som har fulgt ledespalten. Senere har et vadost miljø ført til dannelse av et lite gjel.

## 5.3.2 Labyrint og Sjakt 1

Innenfor inngangspartiet begynner grottepassasjen å bli mer komplisert (figur 5.12). Her sprer grotten seg ut i flere passasjer mot nord og sør, men samtlige passasjer ser ut til å følge den samme ledespalten. Ledespalten utgjør en bred horisontal sprekk som heller mot nord (figur 5.12, a og b) og strekker seg gjennom hele den såkalte *Labyrinten*. Dette gir et sett med passasjer som alle ligger på samme plan og har stedvis visuell kontakt med hverandre gjennom ledespalten. Tverrsnittene i figur 5.12 er eksempler på dette hvor de er forskjellig plassert, men har nesten lik helning og form. Sør i *Labyrinten* går det en passasje bort *Sjakt 1*.



Figur 5.12: Labyrinten, Sjakt 1 og Fossehallen i Larshullet. Grunnet flere etasjer er avsnittet illustrert i et lengdesnitt øverst til høyre.

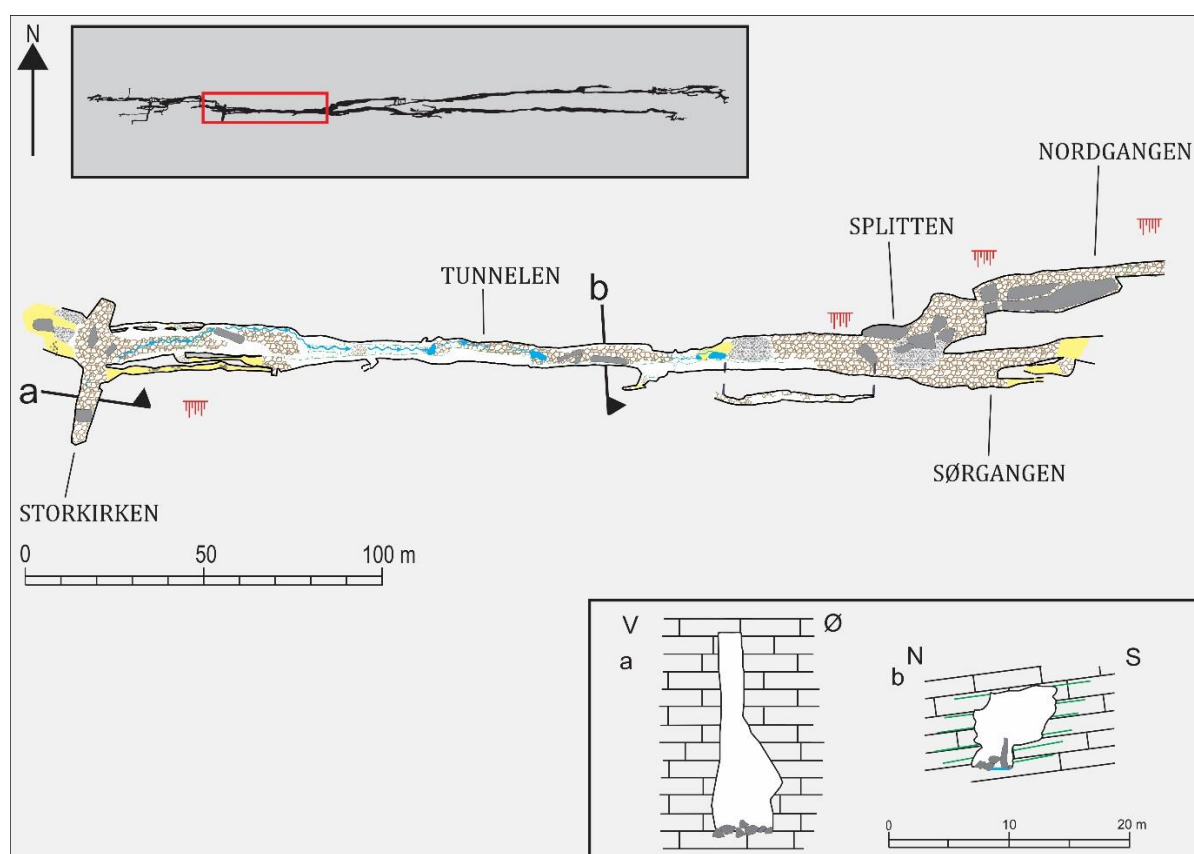
I bunnen av *Sjakt 1* går passasjen under vann hvor grottedykker Sami Pakkarainen gjennomførte ett dykk i 2016. Under vann gikk passasjen noen meter videre før den ble for smal til å fortsette. Øverst i *Sjakt 1* er det to synlige passasjer. Den største (1,5 meter høy og 2 meter bred) strekker seg mot vest før den treffer en tverrsprekk. Sprekken går vertikalt opp hvor den blir for smal for videre kartlegging. Den andre passasjen er et smalt rør som strekker seg 60 meter mot vest og er dekket i våt leire. Enden av denne passasjen er også for smal for videre kartlegging.

### 5.3.3 Fossehallen

Øst for *Labyrinten* går det to parallelle ganger ned til rommet *Fossehallen* (figur 5.12). Den nordre gangen viser tegn til et vadost miljø. Her renner det en liten bekk som har avsatt små mengder med sand og leire. Fra tidligere av er det også avsatt rullestein, men i motsetning til de fleste andre rullesteinavsetninger er de her fastsementert i en kalsittutfelling. I *Fossehallen* kommer det en bekk ut fra nordsiden av veggen som følger grottepassasjen videre nedover. Dette er det første tegnet til en aktiv bekk i Larshullet som transporterer og avsetter sand og rullestein i passasjen.

### 5.3.4 Storkirken

Fra *Fossehallen* og inn til *Storkirken* er det en markant endring i avsetningene. *Fossehallen* består i hovedsak av sand og rullestein, mens over til *Storkirken* i øst er det en brå endring til kantete klaster og blokker (til venstre i figur 5.13). *Storkirken* består av et åpent rom med 20 meters takhøyde (figur 5.13a) og en bredde på ca. 50 meter i nord-sør retning. Hele området er dekket i blokker som har kollapset fra tak og vegger.



Figur 5.13: Fra Storkirken og ned til Splitten i Larshullet. De grønne stripene i tverrsnittet markerer glimmerskiferlag.

*Storkirken* har sin opprinnelse fra tverrsprekker som fortsatt er synlig i taket. Det er lite tegn til hydrologiske påvirkninger i rommet som tyder på at kollapsen var den seneste geologiske prosessen. Bekken fra *Fossehallen* forsvinner under kollapsmaterialet før det kommer til syne igjen i hovedpassasjen mot øst. I forhold til resten av grotten er det her generelt mye vanddrypp fra taket.

### 5.3.5 *Tunnelen og Splitten*

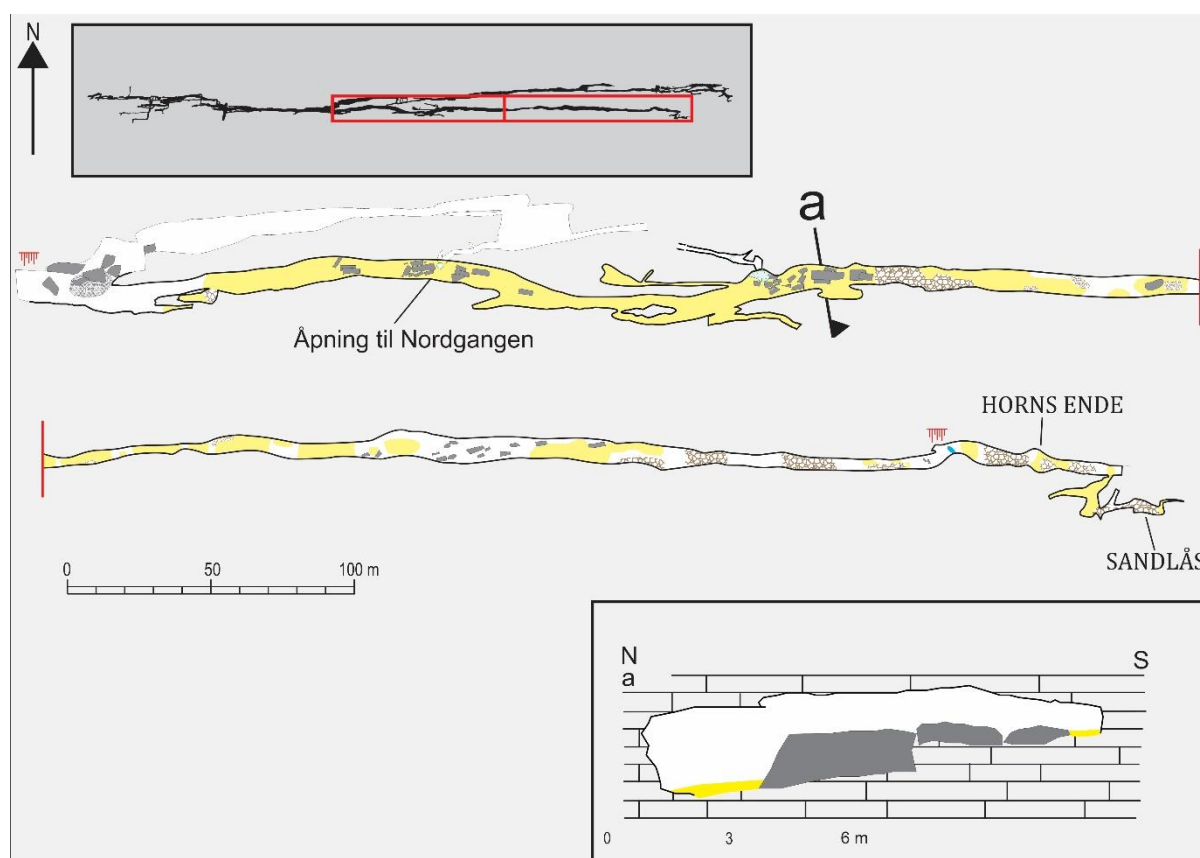
Øst for *Storkirken* starter en svær passasje som strekker seg nærmest lineært omtrent 220 meter østover (*Tunnelen* i figur 5.13). *Tunnelen* består av en svær passasje og markerer dermed en tydelig endring i Larshulletts morfologi. Passasjene vest for *Tunnelen* er komplekse og har varierende retning, mens øst for *Tunnelen* er det i hovedsak få og store passasjer i øst-vest retning. Den er opp til ni meter bred og mellom seks til syv meter høy. Tverrsnittet i figur 5.13b viser hvordan formen til profilet er påvirket av stripekarsten. Den øvre delen av profilet antas å stamme fra et freatisk system, mens den nedre delen er et vadost gjel som først er dannet i nyere tid fra dagens aktive bekk. Vannet kommer ut fra kollapsblokker i *Storkirken* og fortsetter gjennom store deler av *Tunnelen* før den på ny forsvinner inn under kollapsblokkene ved *Splitten* i øst. Ledespalten i denne passasjen er vanskelig å definere ettersom det er flere glimmerskiferlag i marmoren som kan representere slike svakhetssoner. Avsetningene i *Tunnelen* varierer fra vest til øst. I vest er det mange kollapsblokker som er rast ut fra *Storkirken*, mens i resten av gangen er det avsatt kollapsblokker og rullestein i gjelet. På hyllen over gjelet (til høyre i tverrsnitt b, figur 5.13) er det kun avsatt ett tynt leirelag. Leirelaget starter i midten av *Tunnelen* og fortsetter nedover i den resterende delen av grotten. Laget er for tynt til å bli markert på kartet, men dekker stort sett hele underlaget nedover i grotten der hvor bekken.

*Tunnelen* ender i en oppsamling av kollapsblokker liknende *Storkirken*. Gangen er bredere, men det er ingen betydelig utrasing i taket slik som i *Storkirken*. Rommet er blitt kalt *Splitten* ettersom hovedpassasjen deler seg opp i to. Størrelsesmessig er *Splitten* like høy som *Tunnelen*, men 15 meter bred. Endringen fra *Tunnelen* til *Splitten* kan forklares med tverrsprekker som forårsaket svakhetssonen. Mot øst forsetter det to passasjer, men passasjen til venstre holder seg nord i forhold til passasjen til høyre (figur 5.13). Passasjene blir dermed omtalt av Horn (1947) som *Nord- og Sørgangen*.



## 5.3.6 Sjørgangen

Sjørgangen er en relativt homogen passasje som strekker seg ca. 800 meter mot øst. Det er observert svært få strømskåler i passasjen og mye løsmasseavsetninger. Hele gangen er dekket i et, antakeligvis, tykt sandlag med en sporadisk fordeling av kollapsblokker. Passasjen viser lite endring i både retning og helning. Bredden på passasjen er rundt seks til åtte meter, mens høyden varierer som regel grunnet variasjoner i tykkelsen til avsetningene. Tverrsnitt a i figur 5.14 er et godt eksempel på passasjeformen i Sjørgangen med en stor bredde i forhold til takhøyden. I den øvre delen av Sjørgangen er det observert strømskåler på undersiden til kollapsblokkene, men ettersom de er observert på blokker er det ikke mulig å rekonstruere den tidligere fasongen på passasjen. Strømskålene gir derfor ikke noe mer informasjon enn retningen til paleostrømmen. Lengre ned i Sjørgangen er det observert paragenese i taket. Dette viser til et miljø hvor det har vært tilstrekkelig sedimenter og vannføring til antigravitativ erosjon (kap. 3.5.1).



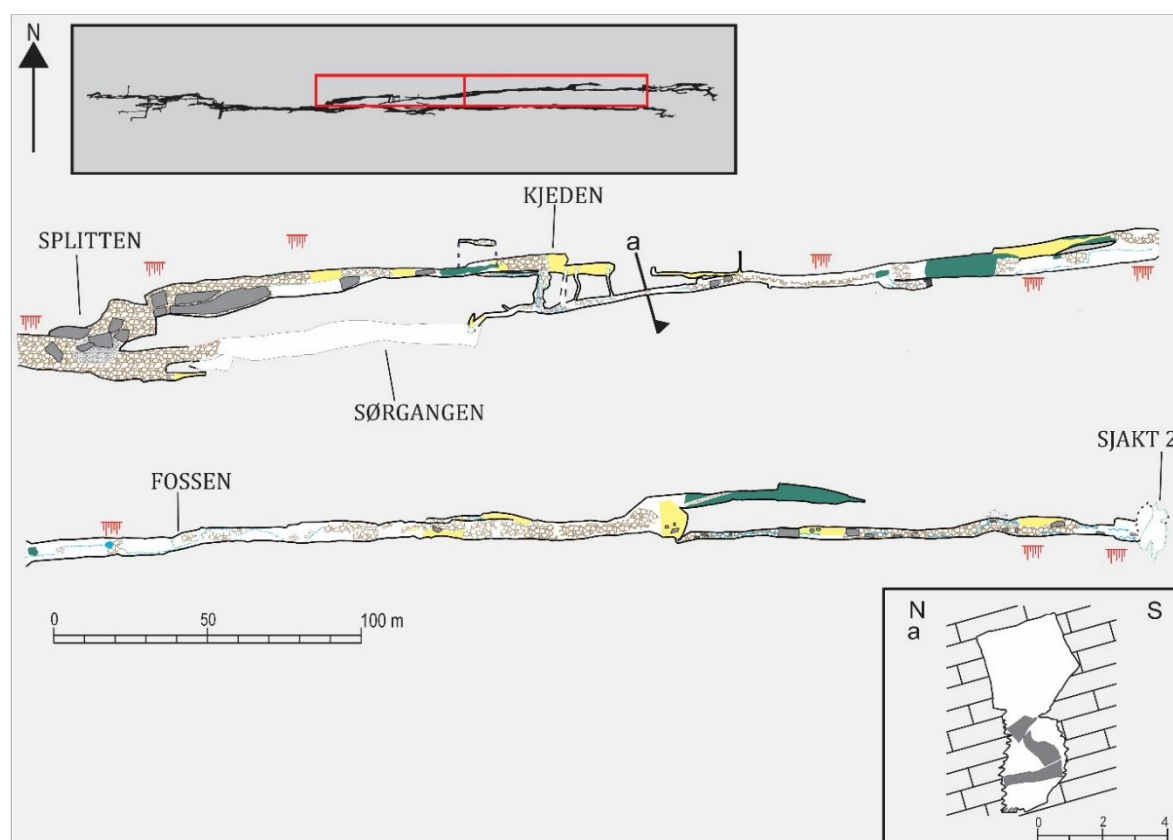
Figur 5.14: Sjørgangen. Første del av Nordgangen er markert i hvitt. Merk at sedimentlaget i tverrsnitt a kun representerer underlaget og kan være tykkere.

Det er for få morfologiske trekk og sprekkestrukturer til å kunne rekonstruere det hydrologiske miljøet, men de store mengdene med sedimenter og paragenese i taket viser til

et freatisk miljø. Under kartleggingen av Horn (1947) ble enden av *Sørgangen* markert som en sandlås («Horns Ende» i figur 5.14). Wells (1954) gjennomførte graving ved Horns Ende som førte til en ny passasje som utvidet *Sørgangen* med ytterligere 30 – 40 meter. Her slutter *Sørgangen* med en relativt bratt passasje som er fylt med sand (*Sandlås* i figur 5.14).

### 5.3.7 Nordgangen

Starten på *Nordgangen* går forholdsvis bratt nedover det første partiet over et dekke av kollapsblokker. Blokkene er relativt store i forhold til resten av passasjen. Her har gangen en brå helning og går 10-15 meter dypere ned i berggrunnen i forhold til *Sørgangen* før den flater ut. Her går passasjen 120 meter rett østover. Den har noen få kollapsblokker og et tynt sandlag, men ellers er det lite sedimenter i forhold til *Sørgangen*. Gangen har en gjelform som viser til et vadost miljø (figur 5.15a). I slutten av denne gangen møter den et sett med tverrsprekker som leder ned til et lavere plan (*Kjeden*, figur 5.15). Fire av disse sprekkene er blitt kartlagt, men det er blitt observert ytterligere to mindre sprekker av lik orientering. Hele sprekkesystemet er blitt navngitt *Kjeden* og er dannet av vann som har invadert og utvidet de vertikale sprekkene.



Figur 5.15: Nordgangen i Larshullet. Øvre delen av *Sørgangen* er markert som et hvitt lag. *Nordgangen* ender i *Sjakt 2* som leder ned til *Corbels Nordgang*.

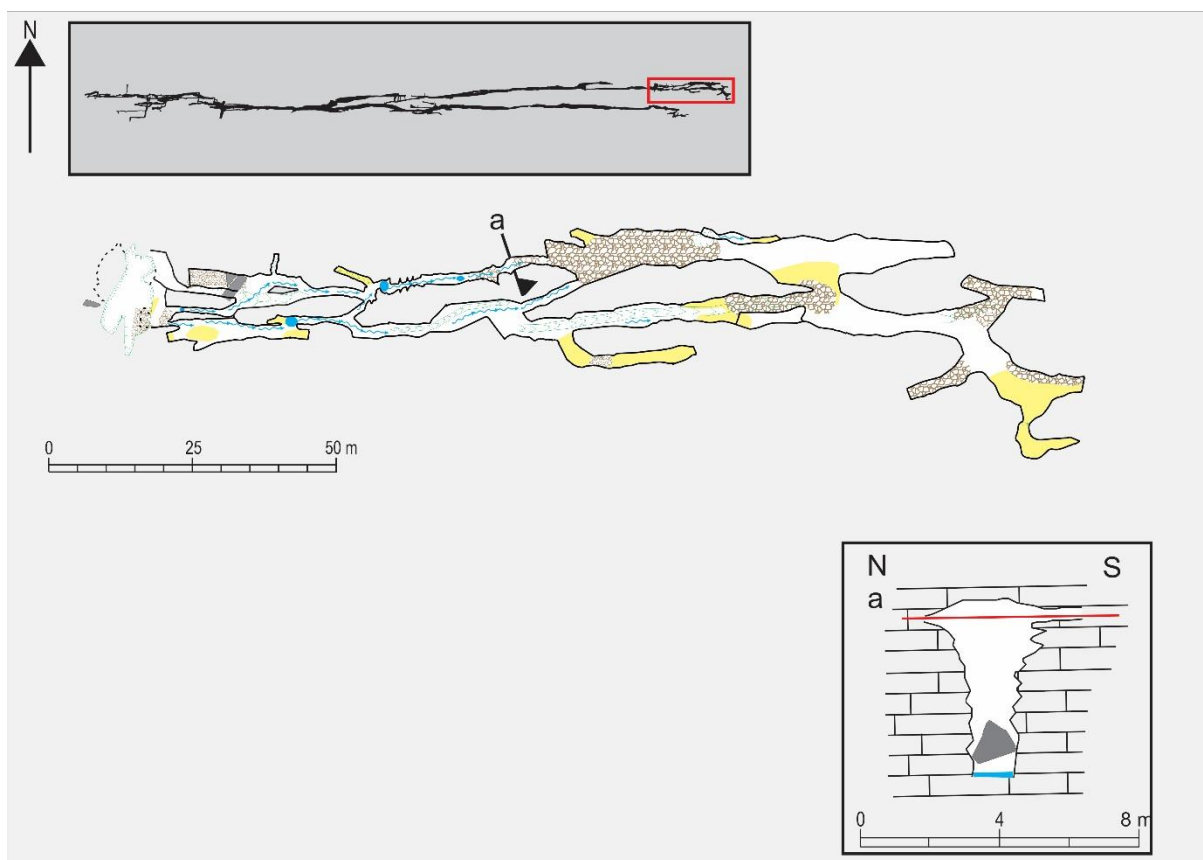
Passasjen på det øverste planet fortsetter over tverrsprekkene i øst, men ender i en sandlås. På det lavere planet kommer bekken til syne hvor underlaget er dekket i rullestein. Vannet til bekken faller ned gjennom en tverrsprekk 25 meter vest for de kartlagte sprekkene og er et moderne eksempel på hvordan de største tverrsprekkene har blitt utvidet. Over tid vil bekken finne nye tverrsprekker mot vest og dermed gi en tilbakeskridende erosjon (Warwick, 1960). I bunnen av *Kjeden* starter en passasje som leder oppover mot sørvest. Rett under *Sørgangen* har denne passasjen et vertikalt rør, som strekker seg helt oppover og kobler *Nord-* og *Sørgangen*. Passasjen inneholder strømskåler som viser at vannet hadde en retning fra *Nord-* til *Sørgangen*. Dette er dermed et av de få stedene i Larshullet hvor det er observert en vannstrøm som går i motbakke.

Videre forbi *Kjeden* fortsetter hovedpassasjen i et større gjel. 80 meter nedenfor *Kjeden* er det trolig kontakt mellom *Nord-* og *Sørgangen*. Ut fra kartet er det en gang fra *Sørgangen* som strekker seg mot *Nordgangen* (rett over markeringen «a» i figur 5.14). Her var det også mulig å få lydkontakt mellom *Nord-* og *Sørgangen*. Gradvis nedover i *Nordgangen* er det blitt avsatt tykkere lag med sedimenter som noen steder viser stratigrafi i sedimentlagene. I stratigrafien varierer kornstørrelsen som kan vise til forskjellige hydrologiske miljø. Dagens bekk fortsetter i stor grad å strømme langs hovedpassasjen før den oppnår fritt fall med et stup på rundt 8 meter (*Fossen* i figur 5.15). Deretter fortsetter den videre nedover *Nordgangen* før den på ny faller ned gjennom Larshullets *Sjakt 2* som 30 meter dyp og går ned til *Corbels Nordgang*.

Gjennom hele *Nordgangen* er det forholdsvis lite strømskåler. Totalt sett er *Nordgangen* 700 meter lang, men det er kun observert strømskåler på tre lokaliteter. Langs gangen er det i hovedsak avsatt rullestein og sand, mens leire har samlet seg i sidepassasjer. Fra topp til bunn har *Nordgangen* en høydeforskjell på 160 meter.

### 5.3.8 Corbels Nordgang

Horn (1947) sin kartlegging slutter ved *Sjakt 2* i bunnen av *Nordgangen*. Railton (1954) og Corbel (1957) var de første til å ta seg ned *Sjakt 2* og til å kartlegge området som skulle bli kjent som *Corbels Nordgang*. Kartleggingen fra 2015 viser et litt annerledes system i forhold til *Nordgangen*. Her er det, slik som i starten på Larshullet, flere passasjer som går parallelt med hverandre. Tverrsnitt a, figur 5.16, viser en mulig ledespalte øverst i passasjetverrsnittet. Senere har vannet erodert ned og dannet gjelet under. Flere av gangene har gjel som fortsatt er aktive i dag. *Corbels Nordgang* er nesten på samme dybde som kilden i dalbunnen (figur 5.1). For at vannet skal komme ut i dalen må det fortsatt strømme 500 meter mot øst.



Figur 5.16: Corbels Nordgang i Larshullet. Ledespalte i tverrsnitt a er markert med rød stripe.

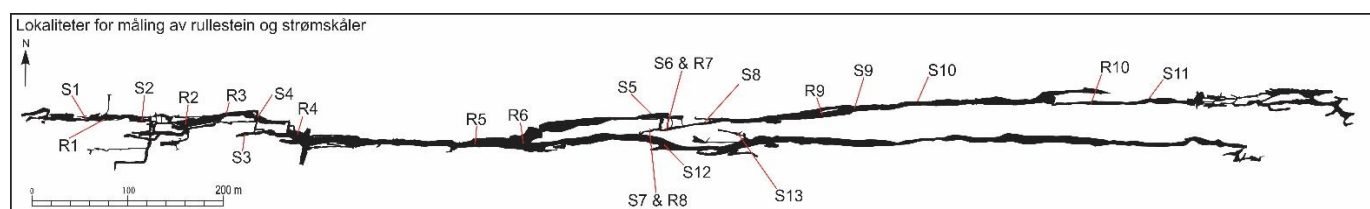
## 5.4 Paleohydrologi

Under kartleggingsarbeidet ble det samlet inn data relatert til det hydrologiske miljøet i de to grottesystemene. Resultatene er presentert her og inneholder paleovannføringer, paleohastigheter, avsetninger og en oversikt over observerte paleostrømningsretninger.

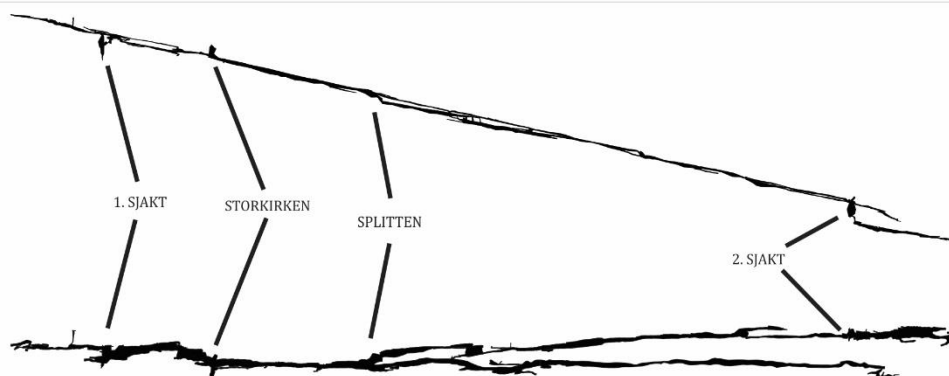
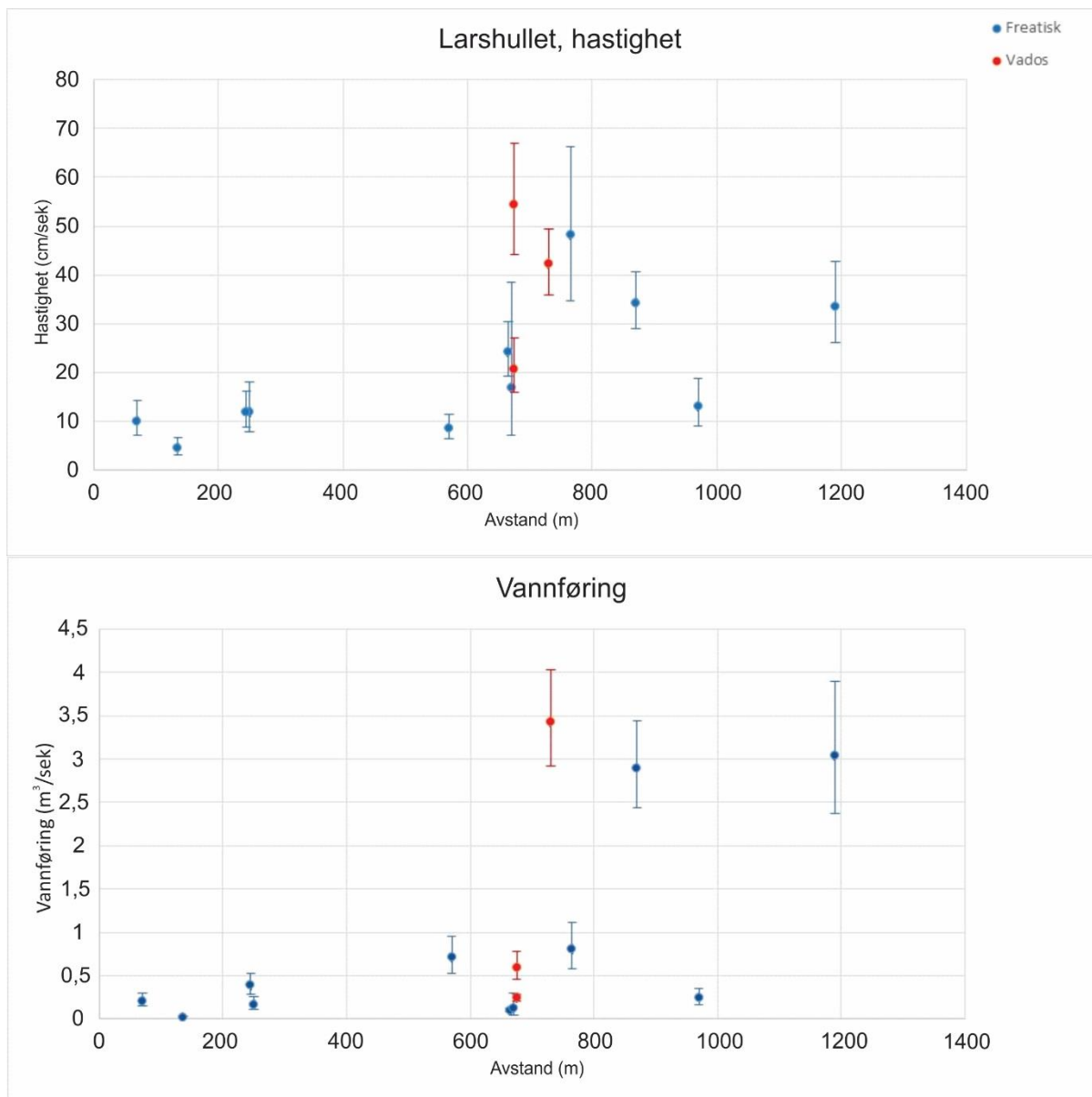
### 5.4.1 Larshullet

#### 5.4.1.1 Strømskåler

Av de 4875 meterne som er blitt kartlagt i Larshullet er det observert forholdsvis få strømskåler. Totalt er det målt lengdeakse til strømskåler på 13 lokaliteter (figur 5.17) som til sammen utgjør 407 strømskåler (Vedlegg 9). Som nevnt i beskrivelsen av Larshullet viser strømskålene at den tidligere strømningsretningen gikk fra vest til øst. Dette indikerer at vannet har strømmet fra Reingardslia og ned i dalen. I hovedsak har dette vært en freatisk strøm, med unntak av *Tunnelen* og *Nordgangen* som også har hatt en vados strøm. Mellom *Nord-* og *Sørgangen* er det to passasjer som kobler dem sammen. Her har vannet strømmet fra *Nord-* til *Sørgangen*. Ettersom *Sørgangen* på dette området er plassert høyere enn *Nordgangen* betyr dette at vannet har vært under et hydraulisk trykk og blitt presset opp til *Sørgangen*.



Figur 5.17: Oversikt over alle lokalitetene i Larshullet hvor diameteren til rullestein (R) og lengdeaksen til strømskåler (S) ble målt.

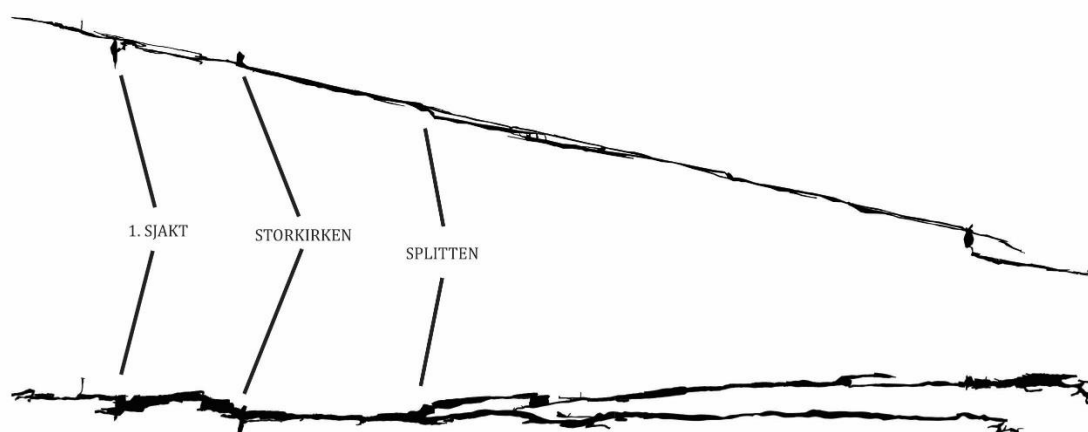
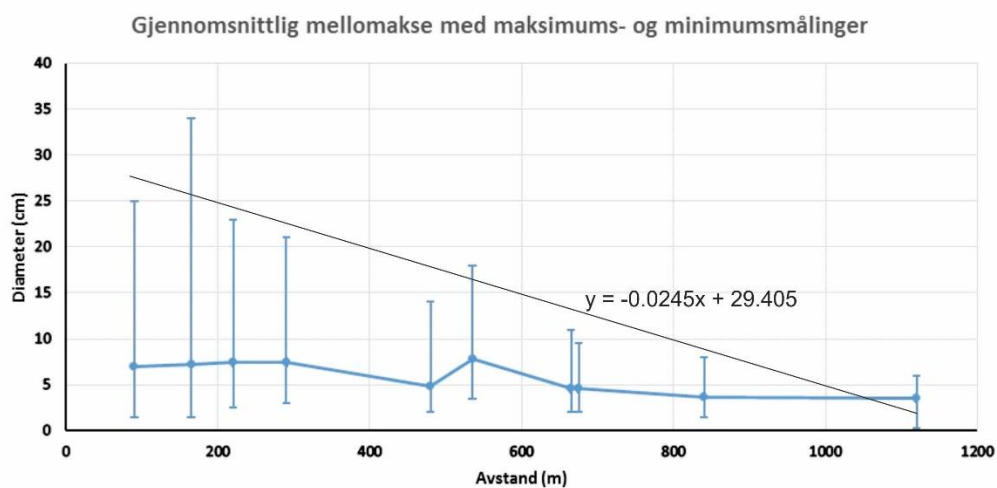
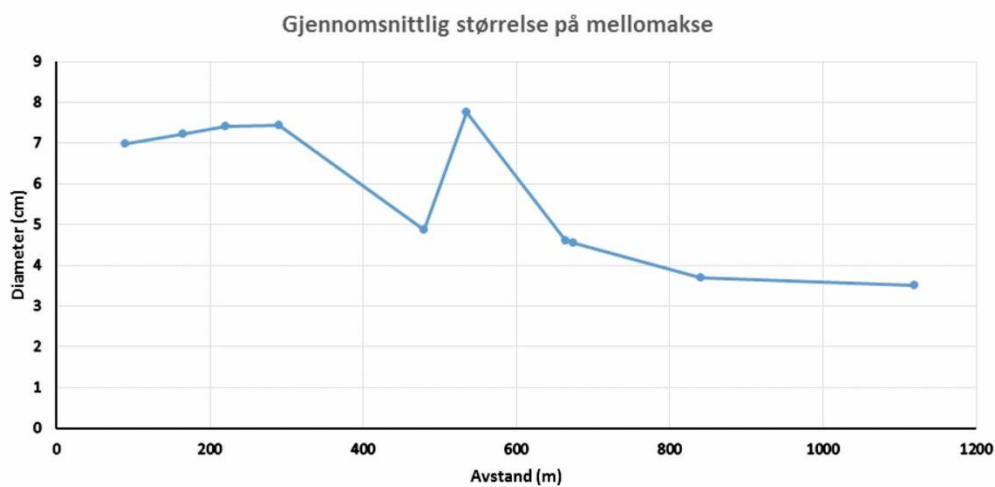


Figur 5.18: Strømningshastigheter og vannføring beregnet fra lengdeaksen til strømskåler i Larshullet. Fargekoden indikerer om strømskålene var dannet i et vadost (rødt) eller freatisk (blått) miljø. Kartet nederst i figuren viser grotten i profil (oppe) og fugleperspektiv (nede) og er plassert i forhold til avstandsaksen.

I figur 5.18 er lengden på strømskålene blitt omregnet (likning 3.18, kap. 3) til å vise strømmens hastighet. Rundt halvparten av målingene viser en strømningshastighet på under 20 cm/sek. 600 meter ned i grotten er det flere målinger som går opp til 60 cm/sek. I diagrammet er også arealet av tverrsnittet tatt til betraktning for å beregne vannføringen. Her ligger størstedelen av målingene under 1 m<sup>3</sup>/sek. Unntaket er tre målinger hvor vannføringen er tre ganger større. Tre målinger viser en vados strøm hvor samtlige stammer fra *Nordgangen*.

#### 5.4.1.2 Rullestein

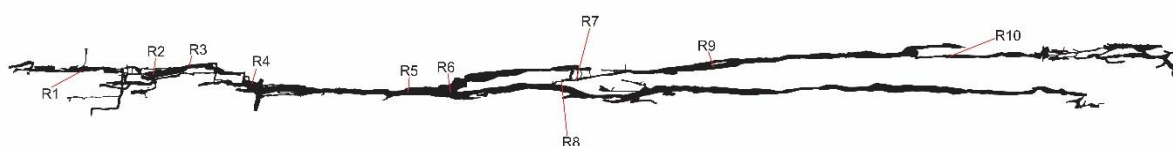
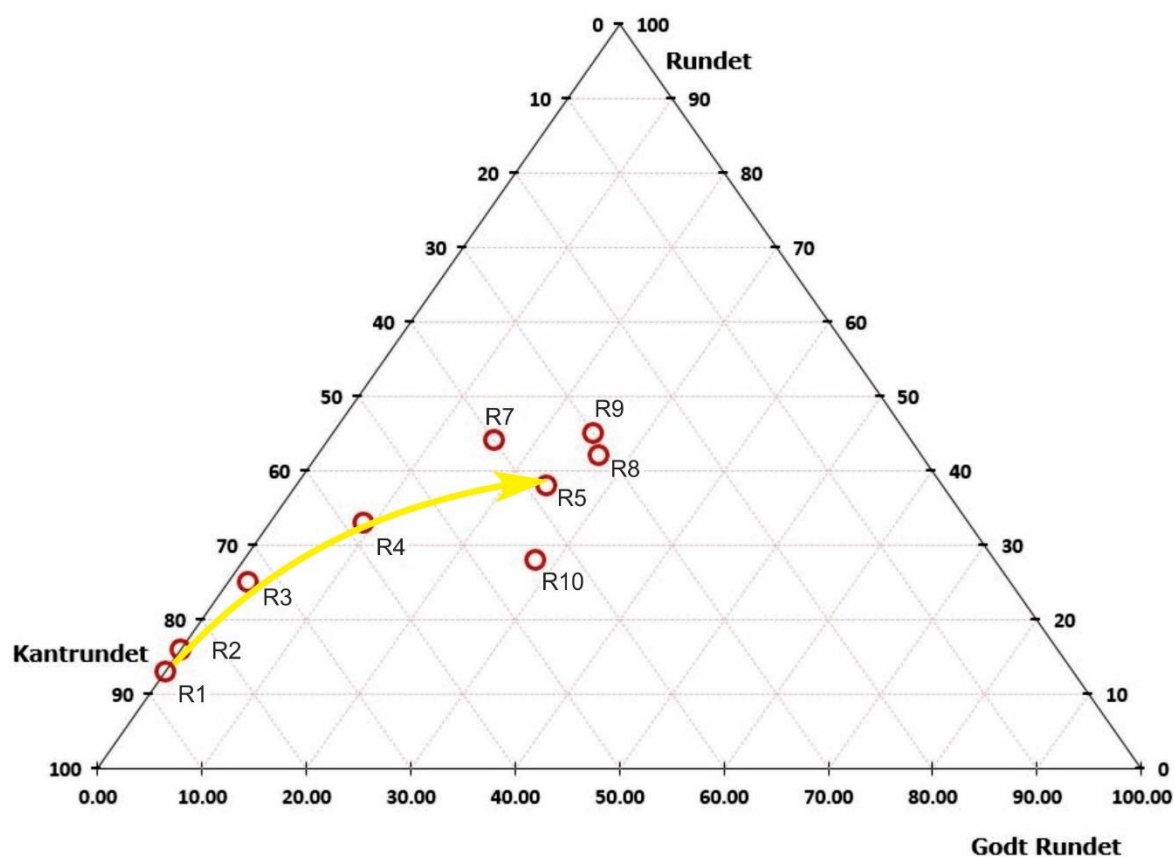
Larshullet inneholder store mengder med rullestein spredt utover hele systemet. Dette gir gode muligheter for å sammenligne hydrauliske forhold gjennom hele systemet ut fra avsetningene. Figur 5.17 viser lokalitetene hvor diameteren til rullestein ble målt. Totalt ble det målt rullestein på 10 lokaliteter som til sammen utgjør 949 rullestein (Vedlegg 5). Figur 5.19 viser den gjennomsnittlige størrelsen til ca. 100 rullestein per lokalitet. Med unntak av en lokalitet, viser grafen en generell senkning rullesteinstørrelse nedover i grottesystemet. Denne trenden blir tydeligere dersom vi bare betrakter den maksimale mellomaksen til rullesteinene på hver lokalitet (trendlinje til maksimale størrelse i figur 5.19).



Figur 5.19: Måling av størrelsen til rullestein. Størrelsen baseres på den gjennomsnittlige mellomaksen til rullestein fra hver lokalitet. Usikkerhetslinjene representerer den største og minste mellomakse som er blitt målt på hver lokalitet. Trendlinje og formel baserer seg maksimumsmålingene. Kartet nederst i figuren er plassert i forhold til avstandsaksen og viser en oversikt over grotten i profil (oppe) og i fugleperspektiv (nede)



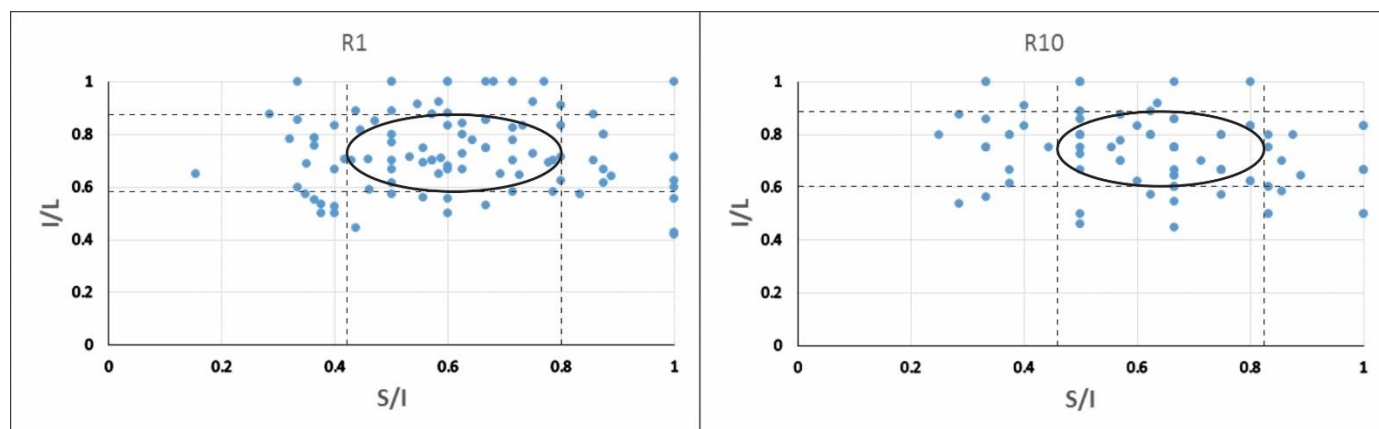
For samtlige rullesteinsmålinger ble også rundingsgraden notert. Her ble det delt inn i kantrundet, rundet og godt rundet. Kantete klaster blir ansett som kollapsmateriale og ikke et resultat av fluvial transport. Resultatet er satt opp i et trekantdiagram diagram i figur 5.20. Diagrammet viser en gradvis runding fra den øverste lokaliteten R1 og nedover *Nordgangen*.



Figur 5.20: Oversikt av rundingsgrad til rullesteinene som er blitt målt i Larshullet. Plasseringen av lokalitetene vises i oversiktskartet under. På lokalitet R6 ble det ikke registrert rundingsgrad. Pilen viser til trenden fra vest mot øst.

Andre trender som ble undersøkt i rullesteinene var selve formen på partiklene. Ved bruk av de tre aksene kort (S), medium (I) og stor (L) ble rullesteinene sammenlignet (Folk og Sneed, 1958). For å klassifisere formen brukes Blott og Pye (2008) sin representasjon av partikkelform som baserer seg på hvor elongert (I/L) eller flat (S/I) partikkelen er. Diagrammet ble satt opp for samtlige lokaliteter i Larshullet med representative standardavvik, representert som sirkler (vedlegg 8). I figur 5.21 er ytterste lokalitetene R1 og R10 vist. De to lokalitetene har en avstand på over 1 km i luftlinje. Det vises

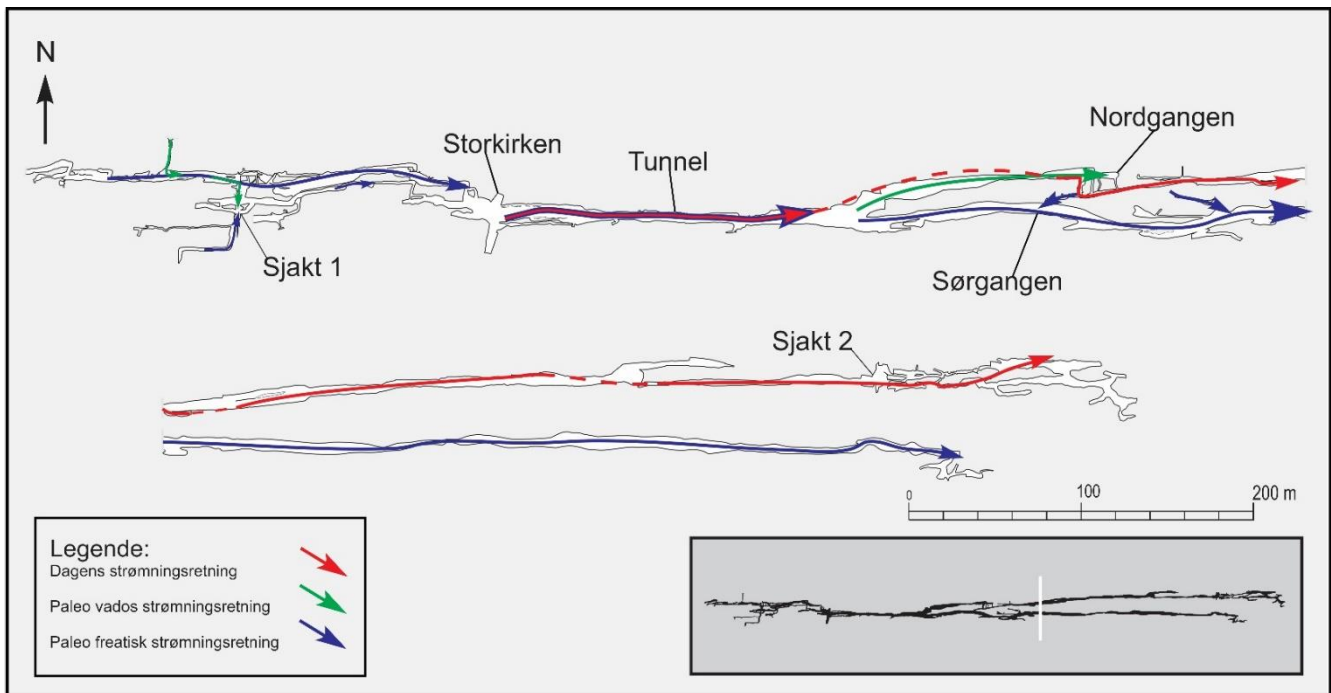
fortsatt ingen spesiell endring mellom de to lokalitetene. Tilsvarende undersøkelse ble gjennomført for resterende lokaliteter med samme resultat.



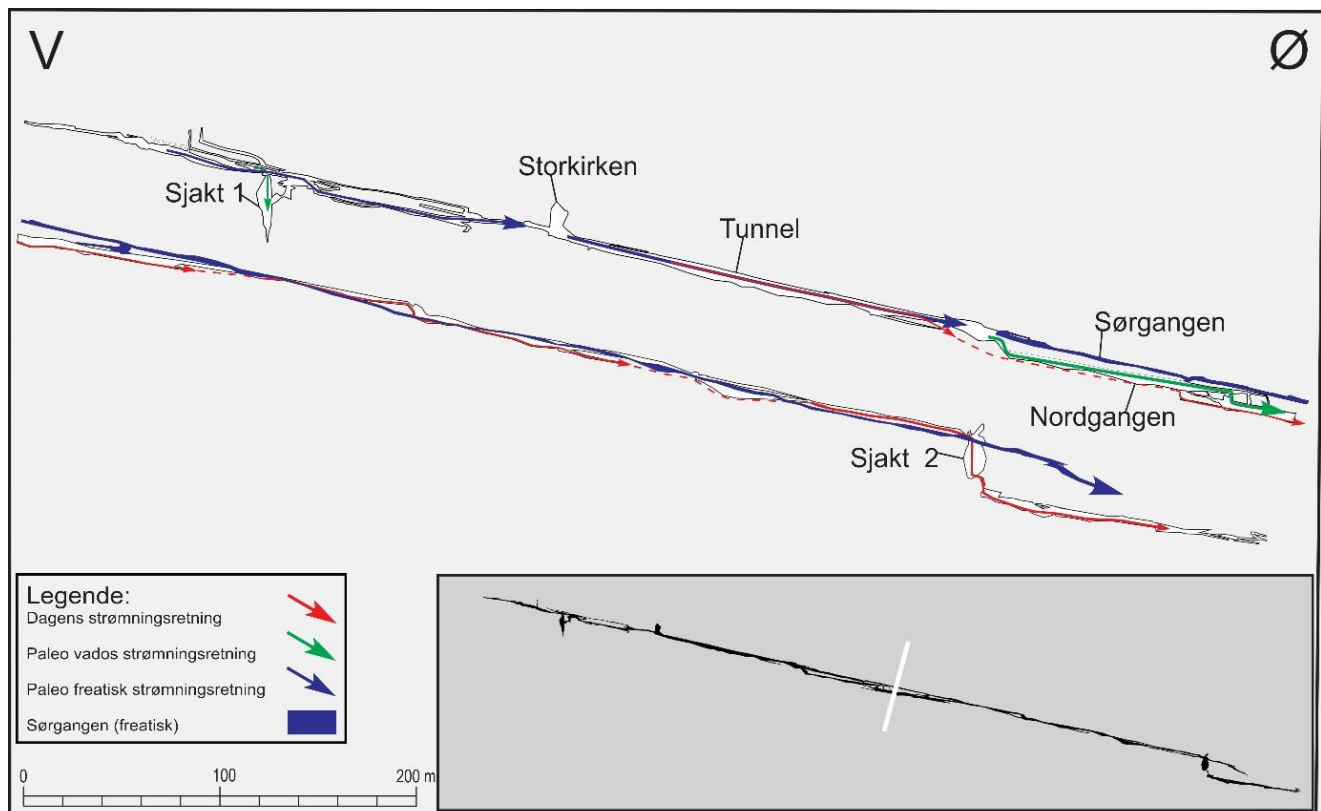
Figur 5.21: Diagram over formfaktoren til rullestein ved lokalitet R1 og R10. Se vedlegg 8 for resterende lokaliteter.

#### 5.4.1.3 Strømningsretninger

Morfologi og strømskåler brukes for å danne et kart over paleostrømmer i Larshullet (figur 5.22 og 5.23). Retningen er konsistent nedover mot øst, mens det hydrologiske miljøet er hovedsakelig freatisk og har stedvis gått over til et vadost miljø på et senere tidspunkt. Den øverste delen av Larshullet har flere passasjer som går parallelt og på tvers av hverandre. Her det generelt mye passasjer som har en freatisk form. Et vadost miljø kan ha blitt dannet her ved et senere tidspunkt. Ved *Sjakt 1* har vannet erodert vertikalt ned 20–30 meter over en lengre periode. *Tunnelen* nedenfor *Storkirken* har et stort freatisk rør med et gjel langs gulvet. Selve røret stammer fra perioder da grotten var fullstendig fylt med vann, mens gjelet er dannet på et senere tidspunkt av en mindre elv. *Splitten* er et vesentlig punkt for paleohydrologien. Det antas at begge passasjene har vært i et freatisk miljø, men *Nordgangen* viser en tydelig overgang til et vadost miljø. *Nordgangen* har langs store deler av passasjen et dypt gjel, hvor *Sørgangen* er dekket i sedimenter. I et vadost miljø er det også vanlig at vannet tar i bruk de vertikale sprekkene til å danne sjakter og mindre fossefall. Dette er tilfelle i *Nordgangen*, mens *Sørgangen* har ingen variasjoner som følge av tverrsprekker.



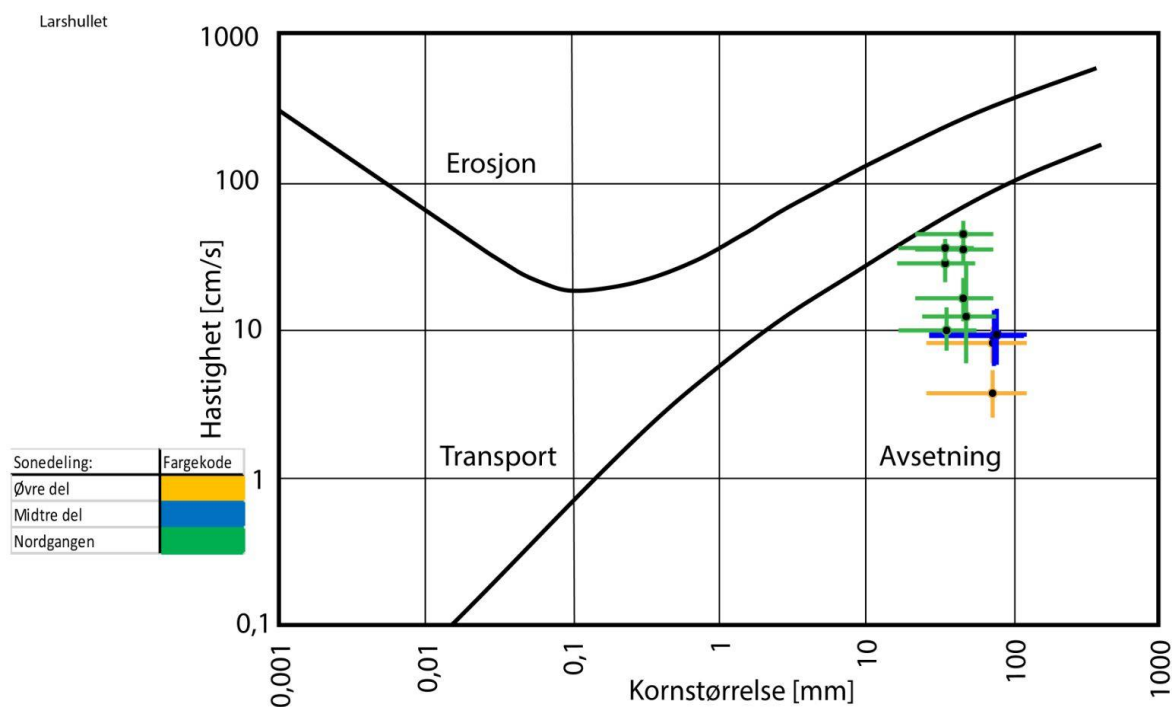
Figur 5.22: Paleostrømmer og dagens strøm i Larshullet. I områder hvor dagens bekk ikke er synlig er den røde linjen stiplede.



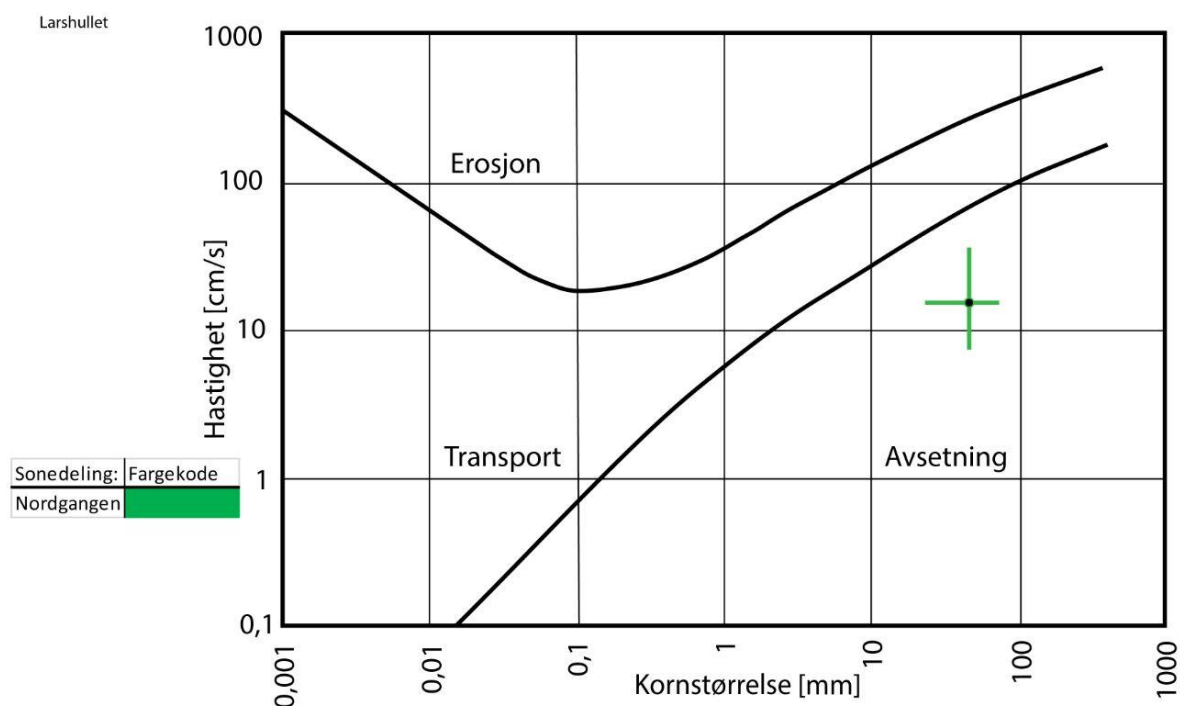
Figur 5.23: Paleostrømmer og dagens strøm i Larshullet i profil. I områder hvor dagens bekk ikke er synlig er den røde linjen stiplede. Ettersom Nord- og Sjørgangen overlapper hverandre i dette perspektivet, er Sjørgangen blitt fylt med blå (for freatisk) for å lettere kunne skille dem.

#### 5.4.1.4 Forholdet mellom avsetninger og strømskåler

Hjulstrømdiagrammet blir brukt til å se om det er en sammenheng mellom avsetninger og strømskåler. For at avsetningen skal ha blitt avsatt i samme episoder som dannelse av strømskålene, må hastigheten til vannet være tilstrekkelig til å transportere det gjeldende materiale. Ut fra figur 5.24 og figur 5.25 er det ikke noen sammenheng mellom korrosjon og avsetninger. Resultatet viser at strømskåler og avsetninger stammer fra to forskjellige episoder. Ettersom strømskåler er observert i tak og vegger antas det at korrosjonshendelsen kom før avsetningene.



Figur 5.24: Hjulstrømdiagram hvor hastigheten er beregnet fra lengdeaksen til nærliggende strømskåler og kornstørrelsen er basert på diameteren til rullestein. Strømningsregimet til disse målingene gikk nedover mot øst.

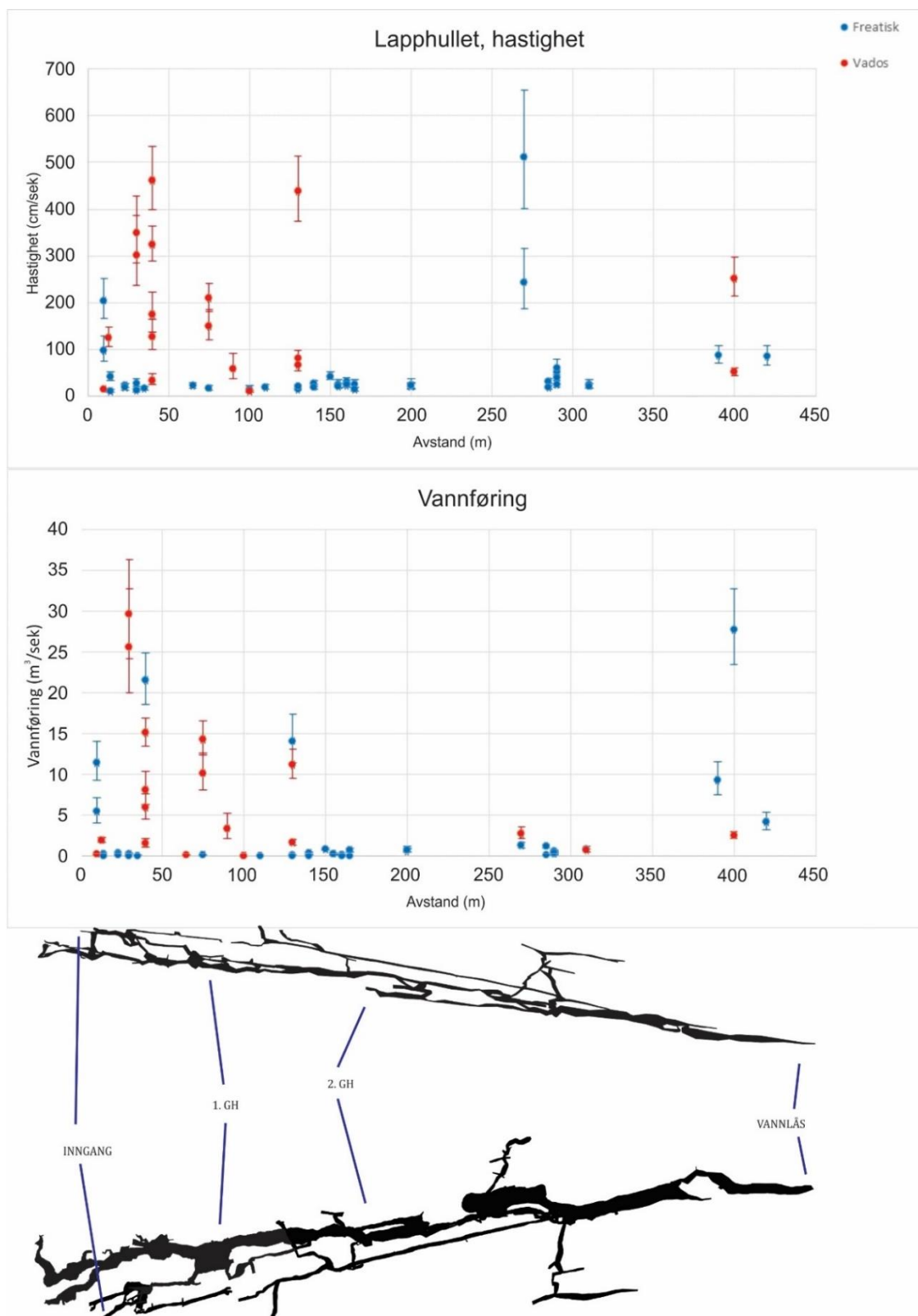


Figur 5.25: Hjulstrømdiagram hvor hastigheten er beregnet fra lengdeaksen til nærliggende strømskåler og kornstørrelsen er basert på diameteren til rullestein. Figuren viser en enkel måling fra en strøm som har gått mot gravitasjonskreftene. Målingen er tatt i en passasje mellom Nord- og Sjørgangen hvor strømmen gikk fra Nord- til Sjørgangen.

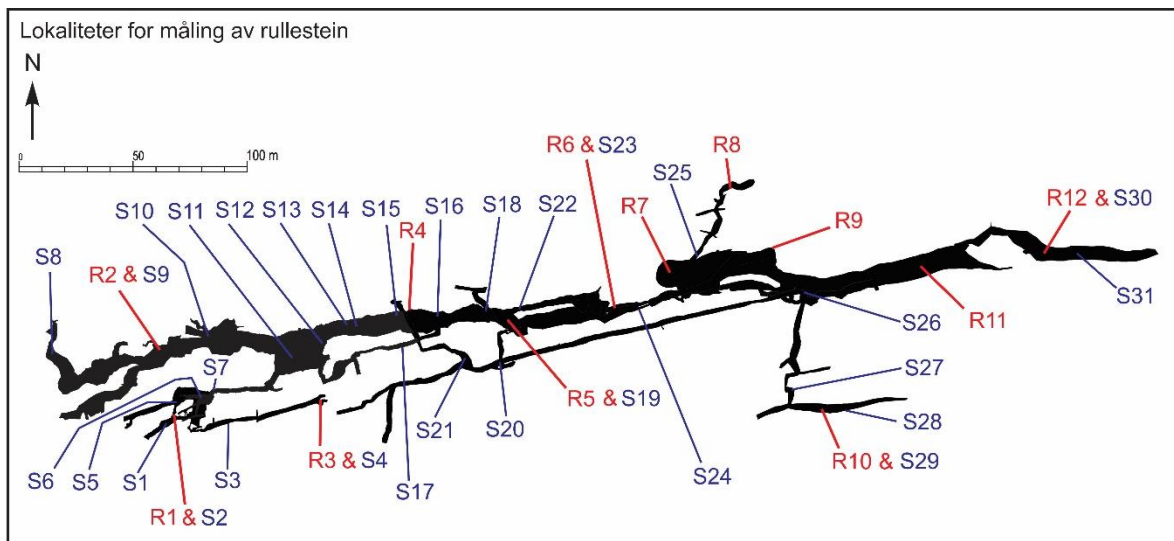
## 5.4.2 Lapphullet

### 5.4.2.1 Strømskåler

Generelt gjennom hele Lapphullet er det observert og målt mye strømskåler. Dermed er det mulig å rekonstruere strømningsretninger til nesten hele systemet. Totalt er det målt lengdeakse til strømskåler på 31 lokaliteter (figur 5.27) som til sammen utgjør 2072 strømskåler (Vedlegg 10). Passasjene viser paleostrømningsretninger både med og mot gravitasjonskreftene. Retningen til paleostrømmen varierer og har på noen lokaliteter endret retning opptil flere ganger. Figur 5.26 viser hastighet og vannføring i Lapphullet. Grafene viser et mer variert hydrologisk miljø i forhold til Larshullet. Med et par unntak er flertallet av vannføringene blitt målt i *Kollapsgangen* og *Hovedgangen*. Det store flertallet av målingene har en vannføring under 5 m<sup>3</sup>/sek som kan sammenlignes med målingene fra Larshullet.



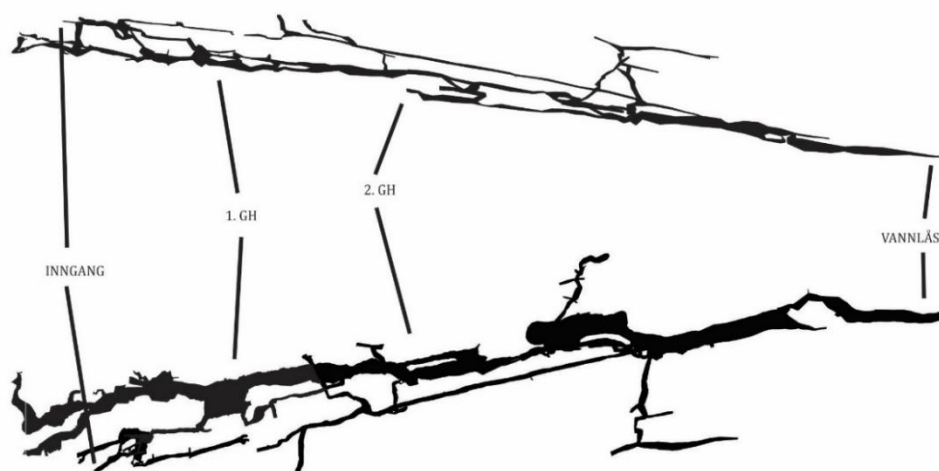
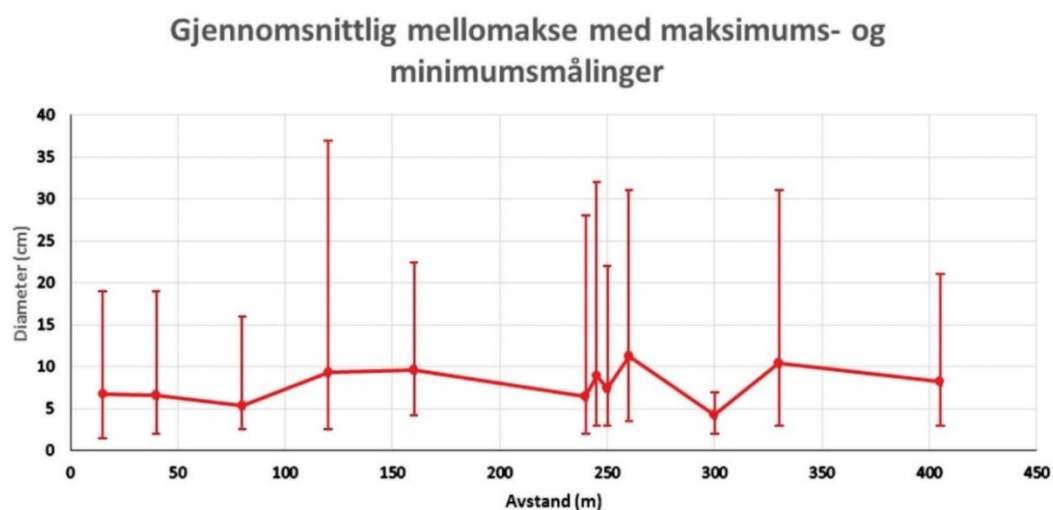
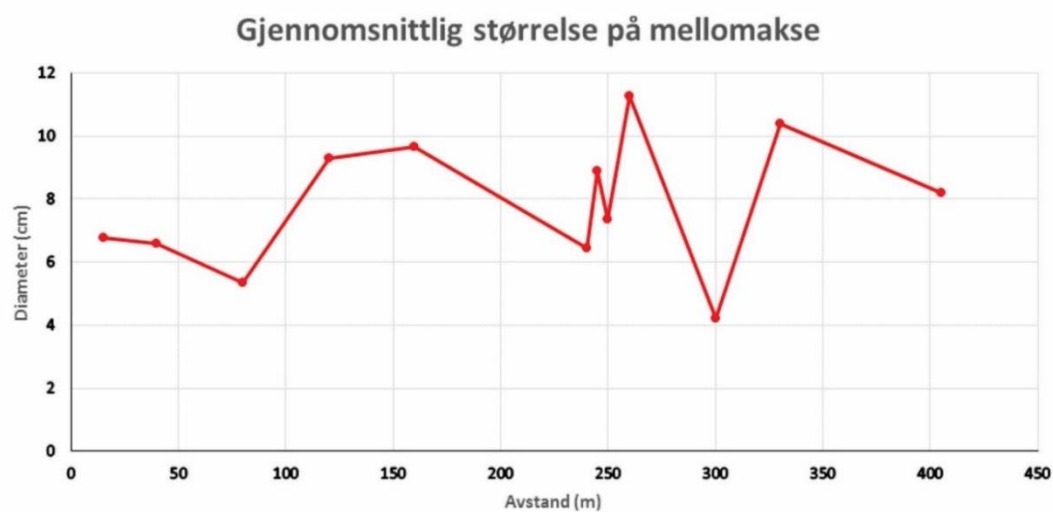
Figur 5.26: Hastighet og vannføringsberegninger basert på strømskålmålinger i Lapphullet. Fargekoden indikerer om strømskålene var dannet i et vadost (rødt) eller freatisk (blått) miljø. Avstandsaksen representerer lengdeprofilen til grotten fra vest (venstre) til øst (høyre) og er illustrert i kartene under som profil (oppe) og i fugleperspektiv (nede).



Figur 5.27: Plasseringen til alle lokaliteter for måling av strømskåler (S) og rullestein (R).

#### 4.4.2.2 Rullestein

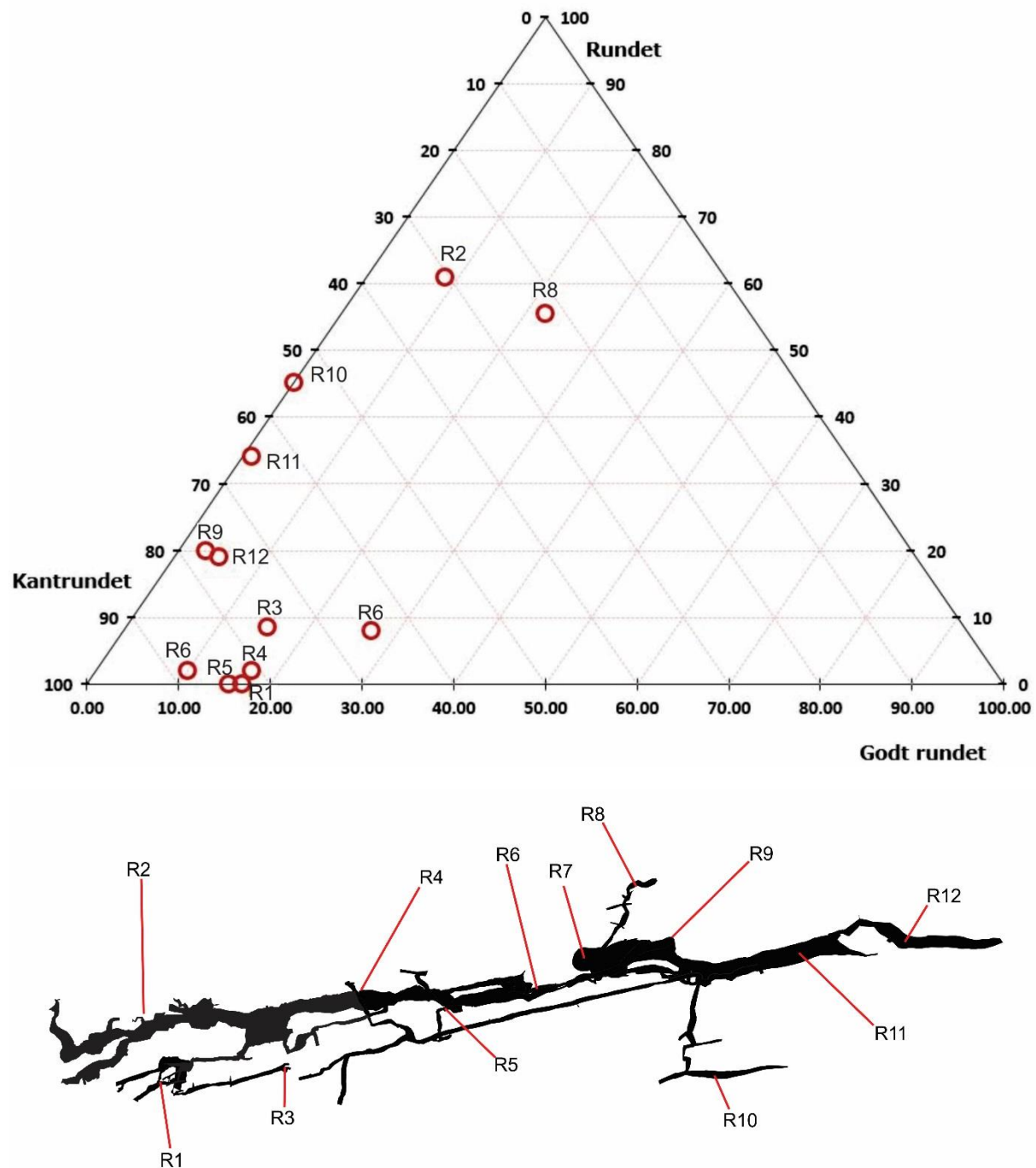
Lik Larshullet, har også Lapphullet rikelige mengder med rullestein. Totalt er det målt 1021 rullestein fordelt på 12 lokaliteter (figur 5.27) (Vedlegg 6). Figur 5.28 viser fordeling av den gjennomsnittlige rullesteinsstørrelsen nedover i grotten. Fordelingen viser ingen klare tegn til endring, men holder seg på en diameter mellom fem til ti centimeter. Den maksimale størrelsen til rullesteinene per lokalitet viser heller ingen klare trender til endring nedover i grotten.



Figur 5.28: Måling av størrelsen til rullestein i Lapphullet. Størrelsen baseres på den gjennomsnittlige mellomakse til rullesteinene fra hver lokalitet. Usikkerhetslinjene representerer den største og minste mellomakse som er blitt målt på hver lokalitet. Kartet nederst i figuren viser en oversikt over grotten i profil (oppe) og i fugleperspektiv (nede). Kartene er plassert i forhold til avstandsaksen i diagrammene.

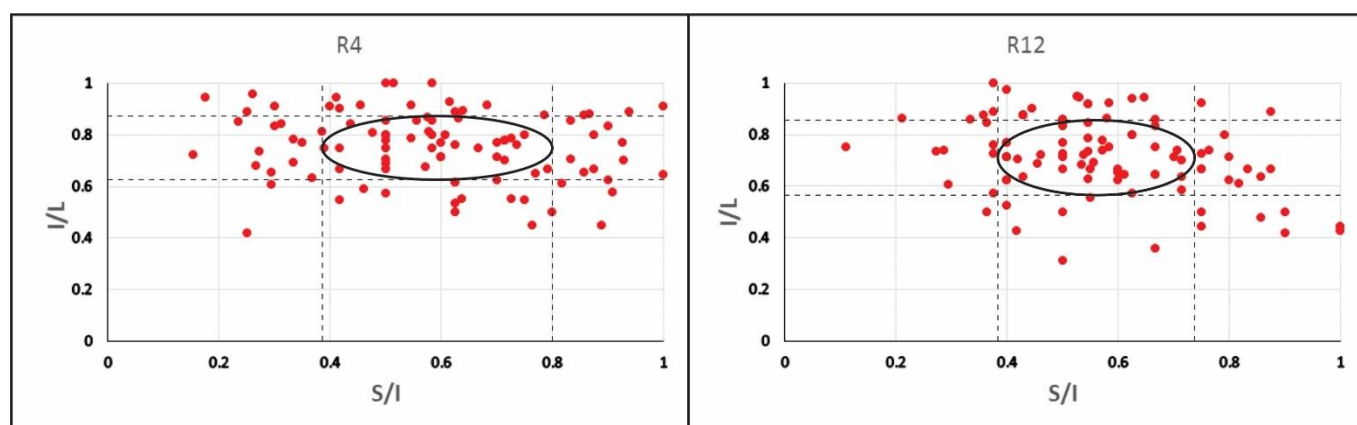


Rundingsgradsdata fra rullestein viser få tendenser til endring (figur 5.29). Det er små tendenser til mer rundet i enden av Lapphullet i forhold til starten, men utenom dette er det lite som tilsier en jevn erodering av det fluviale materialet. Lapphullet inneholder flere tverrsprekker og vertikale ganger. De vertikale gangene kan ha vært injeksjonspunkter for nytt materiale fra overflaten som har ført til et kaotisk mønster i grotten.



Figur 5.29: Oversikt av rundingsgrad til rullestein som er blitt målt i Lapphullet. Plassering av lokalitetene vises i oversiktskartet under.

I Lapphullet er det lite endringer i partikkelformen, tilsvarende resultat som i Larshullet. Basert på elongasjons- og flathetsforholdet er det få synlige trender eller endringer mellom lokalitetene. I figur 5.30 er lokalitet R4 satt opp mot R12. R4 befinner seg i *Hovedgangen*, mens R12 er ved *Vannlåsen* i enden av Lapphullet. Det er antydning til mer kubisk formede partikler i R4, men utenom dette er det få synlige forskjeller mellom dem. Samme gjelder for de andre lokalitetene som ligger i vedlegg 7.

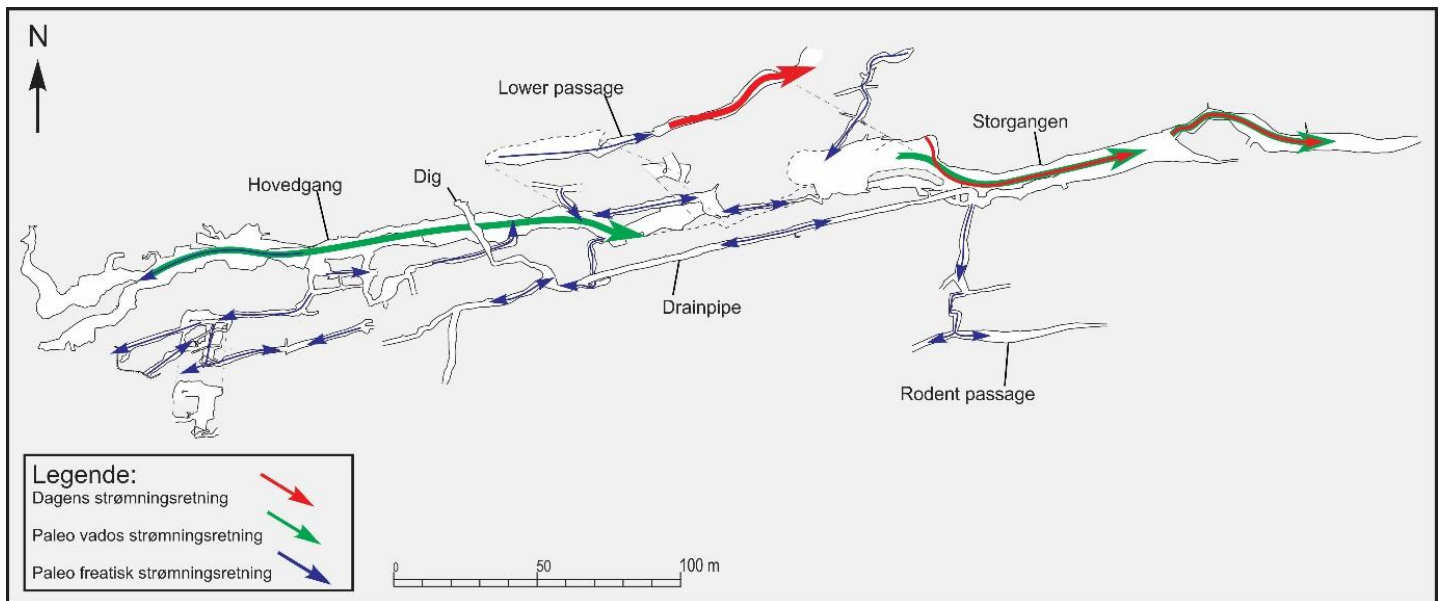


Figur 5.30: Diagram over formfaktoren for to lokalitetene R4 og R12 i Lapphullet. Se vedlegg 7 for resterende lokaliteter.

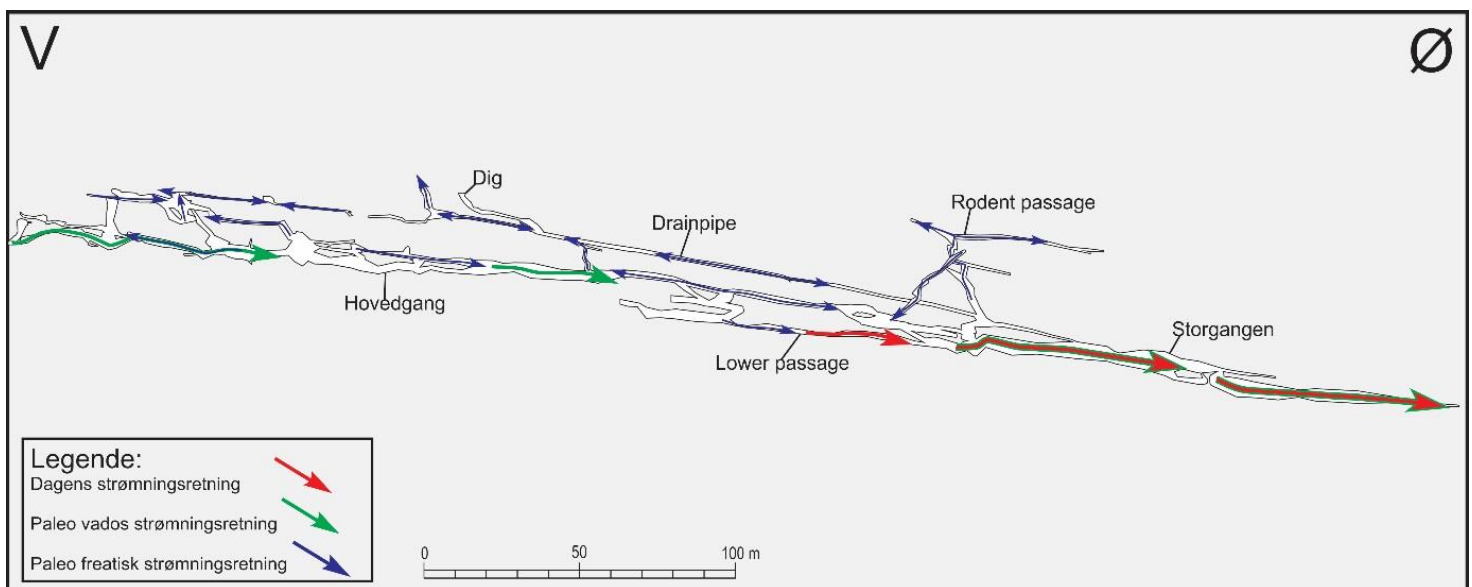
#### 5.4.2.3 Strømningsretninger

Figur 5.31 og 5.32 viser en oppsummering av paleostrømmer og dagens aktive strøm. Førsteintrykket gir et langt mer komplisert system i forhold til det som er observert i Larshullet (figur 5.22). Noen få steder i *Hovedgangen* er det observert en freatisk strøm i taket som gikk oppover mot vest. Over *Hovedgangen* følger det ett nettverk av mindre, freatiske passasjer (figur 5.32). Her er retningen på strømmen mer varierende. I noen av passasjene viser strømskåler en endring i retningen opptil flere ganger, dette gjelder blant annet «*Drainpipe*» som viser et meget komplisert hydrologisk mønster. Morfologien preges av glimmerskifer hvor det øverste og nederste hydrologiske regimet hadde en retning mot øst, mens det mellomste regimet gikk oppover mot vest. «*Drainpipe*» har i dag tre innganger som knytter den til resten av Lapphullet. I de to øverste inngangene har vannstrømmen gått inn i «*Drainpipe*», mens den nederste er mer usikker. Fra «*Drainpipe*» er det også tre passasjer som strekker seg opp til overflaten. Den nederste («*Rodent passage*») og øverste (ikke navngitt) (se b i figur 5.9), viser en strøm opp til overflaten. Den mellomste, kalt «*Dig*», er i

motsetning til de første fylt med sand samtidig som den viser få tegn til strømskåler. Disse tre gangene kan ha bidratt med å danne det kompliserte hydrologiske mønsteret. Aktiv vannføring i dag kommer først til syne ved «Lower passage», men det største volumet av vann kommer først fram ved starten av Storgangen.



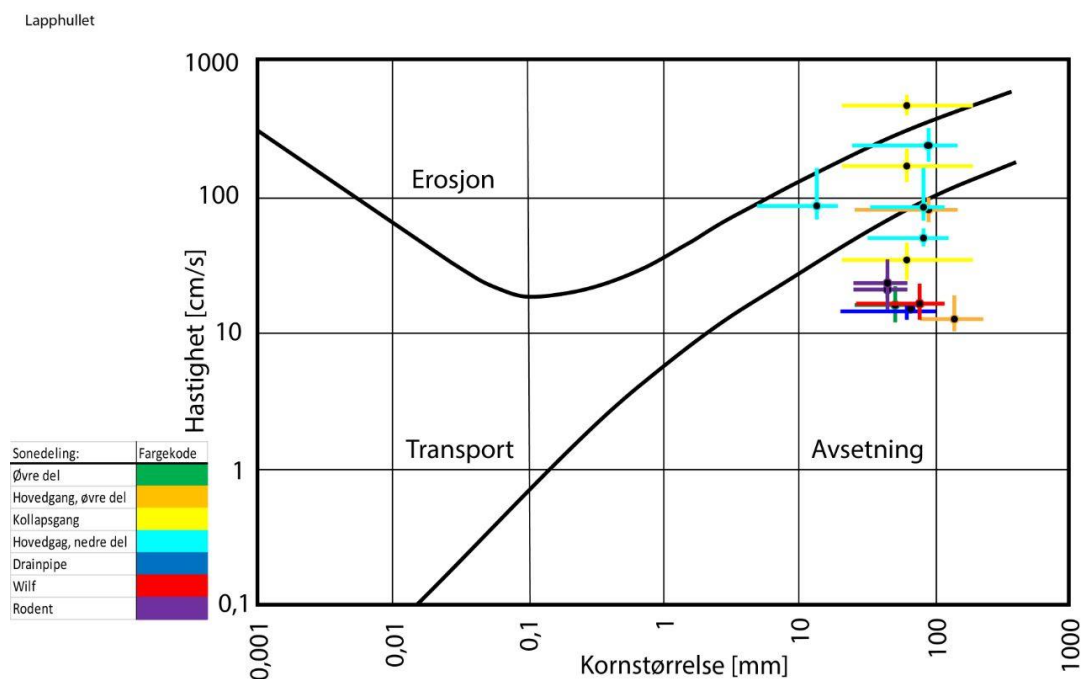
Figur 5.31: Paleostrømmer og dagens strøm i Lapphullet.



Figur 5.32: Lapphullets paleostrømmer og dagens strøm, vist i lengdeprofil.

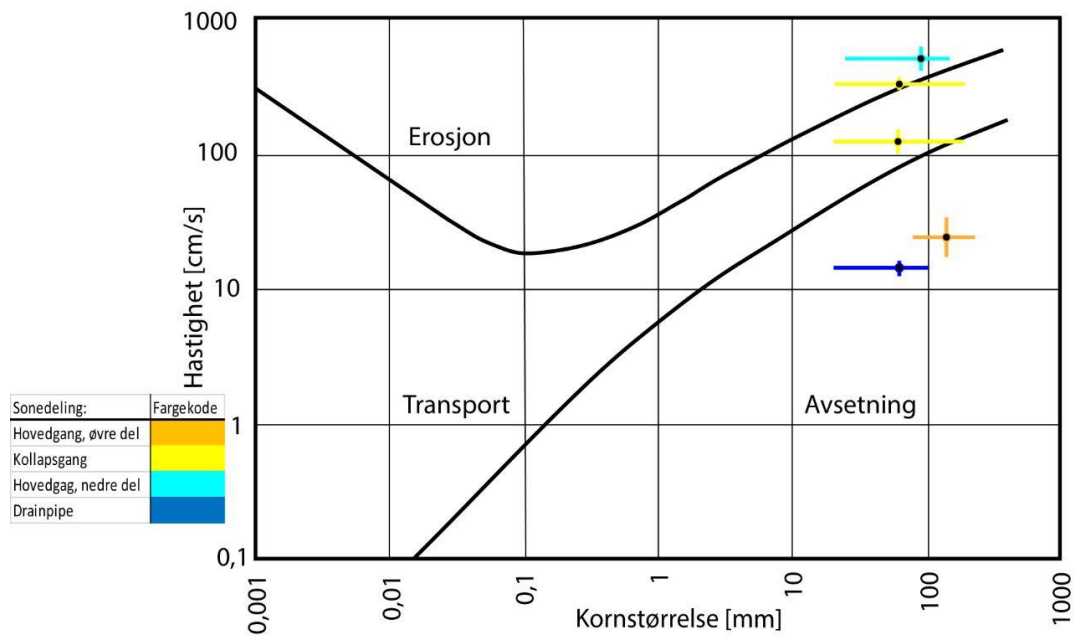
#### 5.4.2.4 Forholdet mellom avsetninger og strømskåler

Også i Lapphullet ble forholdet mellom strømskåler og avsetninger studert (figur 5.33 og figur 5.34). Med høyere hastigheter er det her et annet utfall i forhold til Larshullet. Noen av resultatene viser både transport og erosjon av materialet. Dette betyr at noe av avsetningene kan stamme fra samme episode som korrosjonsprosessene. De observerte strømskålene som gir den høye hastigheten er også observert relativt lavt nede på sideveggene som viser til en sterk vados strøm som transporterende agens. Figur 5.33 og 5.34 indikerer at sedimenter kan ha vært aktivt transportert både vestover og østover.



Figur 5.33: Hjulstrømdiagram hvor hastigheten er beregnet fra lengdeaksen til nærliggende strømskåler og kornstørrelsen er basert på diameteren til rullesteiner. Strømningsregimet fra disse målingene gikk nedover mot øst.

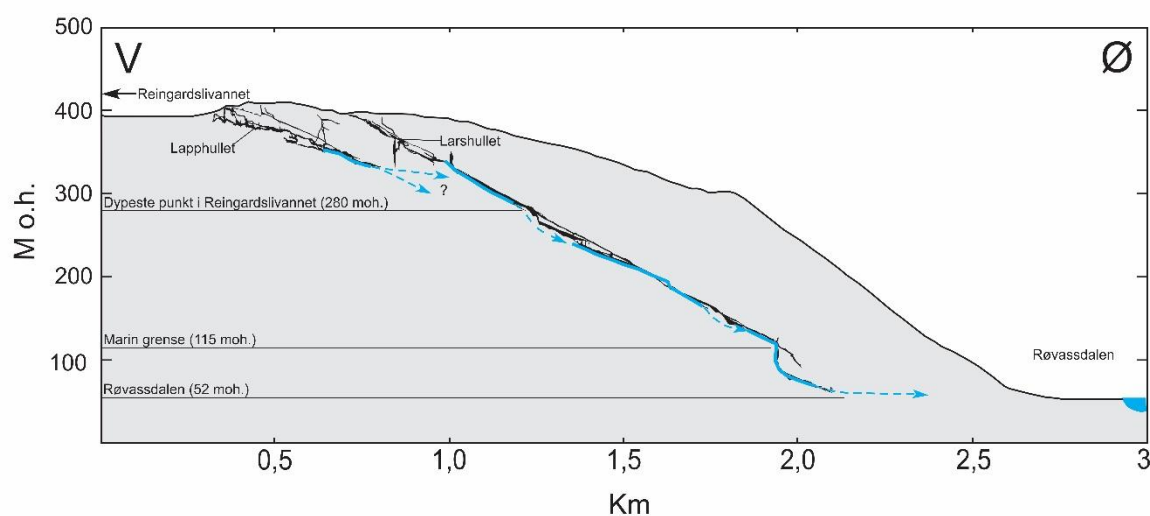
Lapphullet



Figur 5.34: Hjulstrømdiagram hvor hastigheten er beregnet lengdeaksen til nærliggende strømskåler og kornstørrelsen er basert på diameteren rullesteiner. Strømningsregimet fra disse målingene gikk oppover mot vest.

### 5.5 Dagens hydrologiske løp

Dagens vannløp er illustrert i figur 5.35. Det er ikke gjennomført sporingsforsøk mellom Lapphullet og Larshullet. Det er dermed usikkert om vannstrømmen i Lapphullet fører til Larshullet eller om den har sitt eget dreneringsløp ned til dalbunnen. I bunnen av Larshullet er vannet nesten på nivå med elven i Røvassdalen. Her samler vannet seg opp i dammer før det strømmer videre i freatiske passasjer. Avhengig av marmorens sprekkesystem strømmer vannet lateralt ut mot dalen.



Figur 5.35: Dagens hydrologiske løp. De blå stripene representerer observerte bekker mens de stiplede linjene er en tolkning av hvor strømmen fortsetter i bergmassen. På figuren er det kun de stabile vannstrømmene markert. Det betyr at bekker som er avhengig av store nedbørsmengder, ikke er markert.

## 6 Diskusjon

I dette kapitlet blir resultatene gjennomgått, i hovedsak paleohydrologiske data, rullestein og kartlegging, for å forklare dannelsen av grottene. Som utgangspunkt blir tidligere publikasjoner brukt til å lage en punktliste om mulige hypoteser. De forskjellige punktene vil bli eliminert ved bruk av resultater som er oppnådd under kartleggingen i 2015/2016. Til slutt vil det være et par mulige forklaringer som kan brukes til å gi et hendelsesforløp av grottesystemene ved Reingardslivatnet.

### 6.1 Tidligere publikasjoner og hypoteser

Gjennom de siste 100 årene er det publisert flere teorier rundt dannelsen av grottesystemene ved Reingardslivatnet. Oxaal (1914) argumenterte for at grottene var dannet proglasialt. Grunnet likheten mellom grottene mente han også at det var den samme prosessen som dannet Lapphullet og Larshullet. I sin publikasjon om Karsthuler i Nordland presenterer Horn (1947) fire muligheter til dannelse av grotter i området. De omhandler når grottene ble dannet i forhold til istidene. Horn konkluderer med at Larshullet og Lapphullet var dannet subglasialt, under siste istid. Railton (1954) mente at grottene var et resultat av drenering fra Reingardslivatnet. Han var enig med Oxaal at det var en sammenheng mellom Lapphullet og Larshullet, men at den nedre delen til Larshullet var dannet i senere tid. Corbel (1957) var under oppfatningen av at kalsiumkarbonat ble løst opp raskere i et kaldt, arktisk klima og argumenterte dermed for at siste istid ville være en tilstrekkelig periode til å danne Larshullet. I senere tid har Lauritzen et al. (1990) gjennomført dateringer av en speleothem nederst i Lapphullet. Dateringen viser at speleothemet ble avsatt i en periode mellom 350 000 og 730 000 år siden. Den viste også tre episoder av oppløsning som betyr at grotten ble fylt med vann også etter speleothemet var dannet. Upublisert materiale fra Lauritzen (1987) har dateringer på en speleothem fra Larshullet på ca. 300 000 år. Dateringen er hentet fra nedre del av Larshullet og viser til en aldersforskjell mellom de to grottene. Øvrevik (2002) beregnet alderen til Røvassdalen mellom 1,3 millioner og 360 000 år. Basert på data og tidligere publikasjoner er følgende hypoteser satt opp:

1. Grottesystemene er dannet før istidene. Landskapet var kupert, men Røvassdalen var ikke erodert ned. Grottesystemet var en del av dreneringsruten til nedbørsfeltet. Under istidene var breene polare og tørrlagt som beskyttet grottene mot videre korrosjon.

2. Grottene er dannet i et interglasialt miljø, tilsvarende dagens klima. Topografien lignet på dagens landskap med høye CO<sub>2</sub> konsentrasjoner.
3. Grottene er dannet under en istid som tilsvarer siste istids maksimum (LGM) hvor isen dekket hele kontinentet og kontinentalhyllen med en markert lavere CO<sub>2</sub> konsentrasjon i atmosfæren.
4. Grottene er dannet under deglasiasjon eller under et moderat isdekke (Porter, 1989). Isutbredelsen tilsvarer Yngre Dryas hendelsen med atmosfærisk CO<sub>2</sub> konsentrasjon som tilsvarer dagens nivå (Lauritzen og Skoglund, 2013a).
5. Lapphullet og Larshullet er dannet samtidig under de samme prosessene.
6. Lapphullet og Larshullet har forskjellig alder og er resultater av forskjellige prosesser.

## 6.2 Diskusjon av resultater

### 6.2.1 Avsetninger

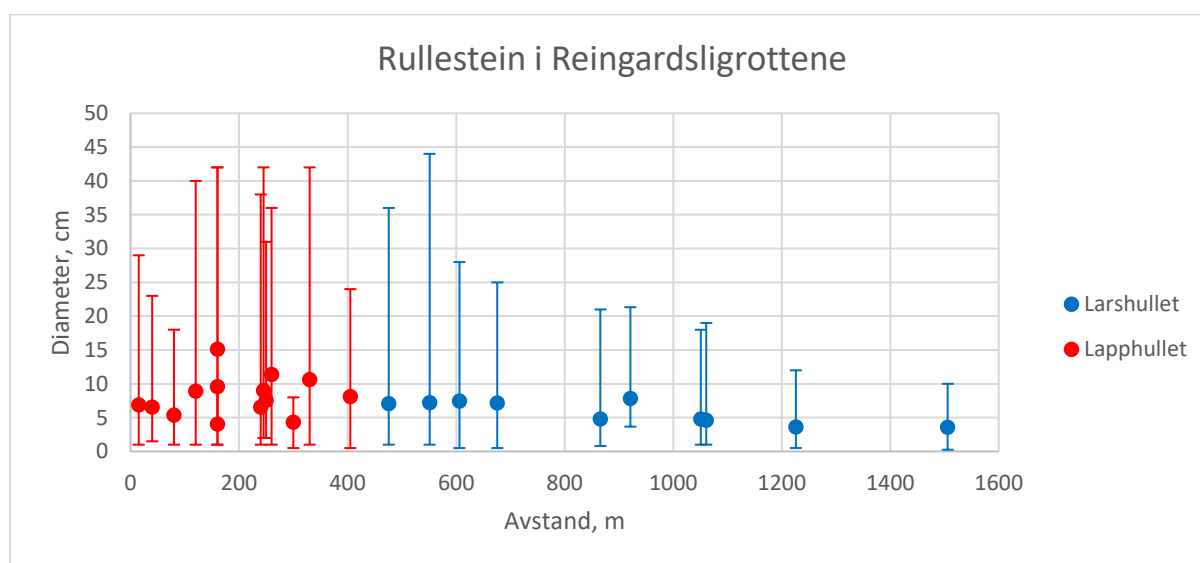
#### *Rullestein*

I Lapphullet og Larshullet er det observert store mengder med rullestein. Etersom grottene er fredet er det ikke blitt gjennomført noen graving som betyr at alle rullestein som er observert og målt er hentet fra det øverste og den lettest tilgjengelige avsetningen. Dette betyr at miljøet som avsatte rullesteinene er blant de siste aktive prosessene i grottesystemene. Spørsmålet er i hvilket strømningsregime var det denne avsetningen ble brakt inn i grotten. For å transportere rullestein i de størrelsene som er blitt observert, kreves det en relativt høy hastighet og en stor vannføring. Slik grottesystemet er plassert oppe i dalsiden er det ikke sannsynlig at nedbør kan gi slike vannføringer. Dette vil derimot være mulig med en nærliggende bre. Breen vil tilføre store mengder med smeltevann og avsetninger som kan resultere i store mengder med sand og rullestein.

Under undersøkelse av rullestein ble det i hovedsak sett på klastenes diameter og rundingsgrad. Størrelsen kan gi en indikasjon på de hydrauliske kreftene som var aktive i grottene, mens rundingsgraden forteller om blant annet transportdistansen til materialet. Den gjennomsnittlige størrelsen er stort sett jevn gjennom hele Lapphullet og Larshullet (figur 6.1). For hver lokalitet ble også den maksimale- og minimale diameteren til mellomaksen markert som usikkerheter. Den maksimale størrelsen varierer i Lapphullet, mens i Larshullet



er det en jevn nedgang nedover i grotten (figur 6.1). I Valen og Lauritzen (1989) blir blant annet variasjoner i den maksimale størrelsen til klastene fra grotten Sirijorda studert. Områder hvor størrelsen på klastene økte viste til et *paleotilførselspunkt*, hvor det blir tilført materiale fra overflaten. Trenden i Larshullet kan sammenlignes med Valen og Lauritzen (1989) sine funn. Det betyr at det ikke har vært paleotilførselspunkter i Larshullet etter vannstrømmen passerte *Dagåpningen* (figur 6.1). Lapphullet viser ikke denne trenden. Her har det vært flere åpninger, opp til overflaten, hvor det er blitt tilført materiale. Størrelsesforholdet viser dermed et mer komplisert system i Lapphullet i forhold til Larshullet.



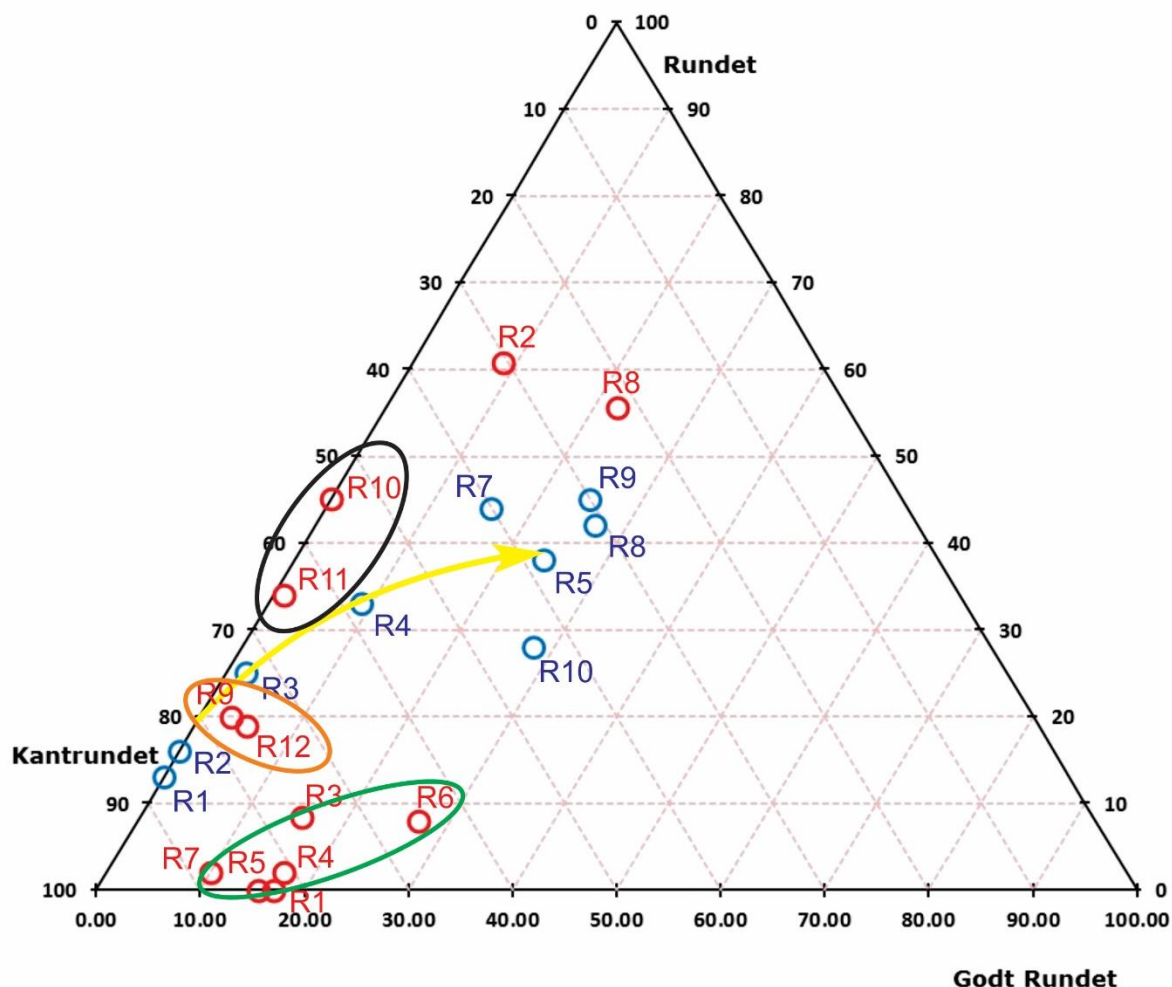
Figur 6.1: Rullesteinsstørrelse i diameter for både Lapphullet og Larshullet. Avstandsaksen strekker seg i fra vest (venstre) til øst (høyre) Maksimum- og minimumsverdien er basert på henholdsvis den største og minste mellomakse per lokalitet. Dagåpningen, det siste injeksjonspunktet til Larshullet, ligger 450 meter mot øst i avstandsaksen.

Variasjonene i rundingsgrad kan sammenlignes med trendene til rullesteinsstørrelsen. I et normalt elveløp har rundingsprosessen startet allerede før klastene blir brakt inn i grotten. Hvis klastene stammer fra en bre vil de være mer kantete, ettersom transportdistansen fram til grotten har vært kortere. Gjennom Lapphullet har transportdistansen vært forholdsvis kort. Klastene er her også forholdsvis kantete, men med store variasjoner i rundingsgraden gjennom grotten (figur 6.2). Variasjonen kan vise til flere paleotilførselspunkter som har tilført, mer kantete, klaste fra overflaten. Dette er analogt med resultatene for klastenes diameter i Lapphullet.

I Larshullet er de øvre rullesteinene forholdsvis kantete og de blir gradvis rundere nedover i grotten (figur 6.2). Etter litologi er det transportdistansen som er den viktigste faktoren for

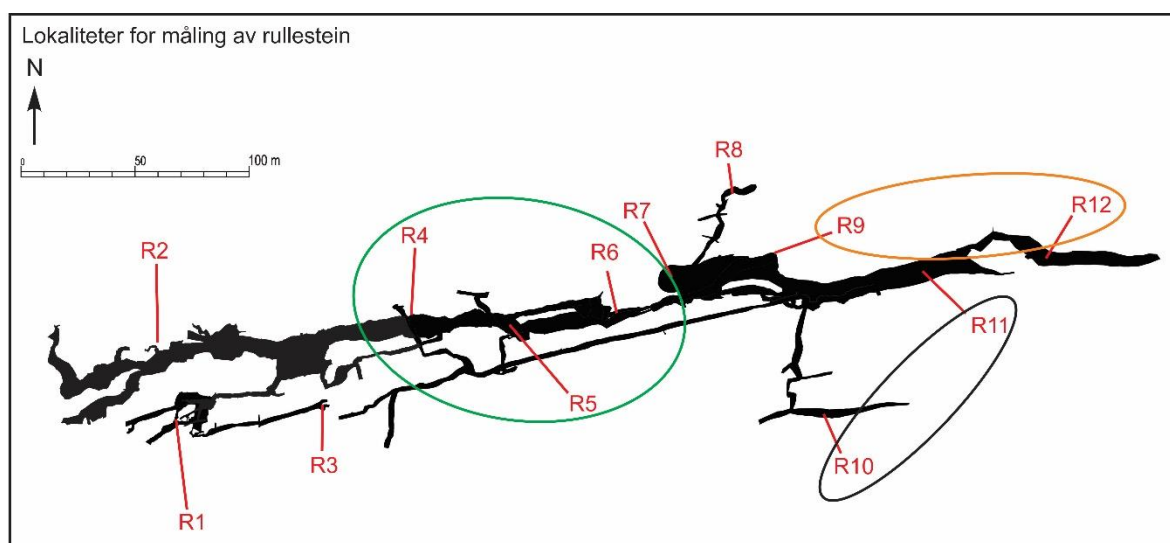
rundingsgraden (Sneed og Folk, 1958). I denne oppgaven blir det fokusert på transportdistansen, ettersom litologien ikke ble undersøkt. Hvis en antar at disse klastene var kantete da de ble brakt inn i grotten, må Larshullet kunne representere en tilstrekkelig transportdistanse til å forme runde partikler, nederst i grotten. Krumbein (1941) og Kuenen (1956) viser at rundingsprosessen er mest effektiv i løpet av de to første kilometerne. I luftlinje har Larshullet en utstrekning på 1400 meter, men selve transportdistansen vil være lengre. De nederste lokalitetene viser ikke fullstendig avrundede rullestein, men en utvikling i rundingsgrad fra topp til bunn (figur 6.2). Dette indikerer dermed at Larshullet, i seg selv, har en tilstrekkelig lengde til å forme rullesteinene som er observert nederst i grotten.

Dermed kan avsetningene stamme fra en bre som har tilført kantete klaster. I Lapphullet er rullesteinene mer kantete ettersom transportveien har vært kortere. I Larshullet har avstanden vært større, noe som har gitt avrundning i større grad. Grunnet de store mengdene med rullestein, dens rundingsgrad og størrelse tolkes dette til at avsetningene er blitt tilført fra et glasialt miljø.



Figur 6.2: Rundingsgrad i Lapphullet og Larshullet fra de forskjellige lokalitetene hvor diameteren til rullestein (R) ble målt. De røde punktene representerer Lapphullet og de blå Larshullet. De tre sirklene representerer tolkning av lokaliteter, illustrert i figur 6.3. Den gule pilen viser til trenden i Larshullet.

I figur 6.2 er det et forholdsvis kaotisk mønster i Lapphullet i forhold til Larshullet. Når rundingsgraden ses i sammenheng med plassering av lokalitetene, kan man finne enkelte trender i Lapphullet. Eksempelvis lokalitet R4, R5 og R6 kan representere ett og samme dreneringsløp med forholdsvis lik rundingsgrad (grønn sirkel i figur 6.2 og 6.3). R9 og R12 har meget lik rundingsgrad og er begge plassert i dagens aktive bekk (oransje sirkel i figur 6.2 og 6.3). R11 er en relikv avsetning i likhet med R10, hvor også begge har en forholdsvis lik rundingsgrad (svart sirkel i figur 6.2 og 6.3).



Figur 6.3: Lokalteter til måling av diameteren rullestein i Lapphullet. De tre sirklene representerer sammenlikninger av lokaliteter som har forholdsvis lik rundingsgrad, vist i figur 6.2.

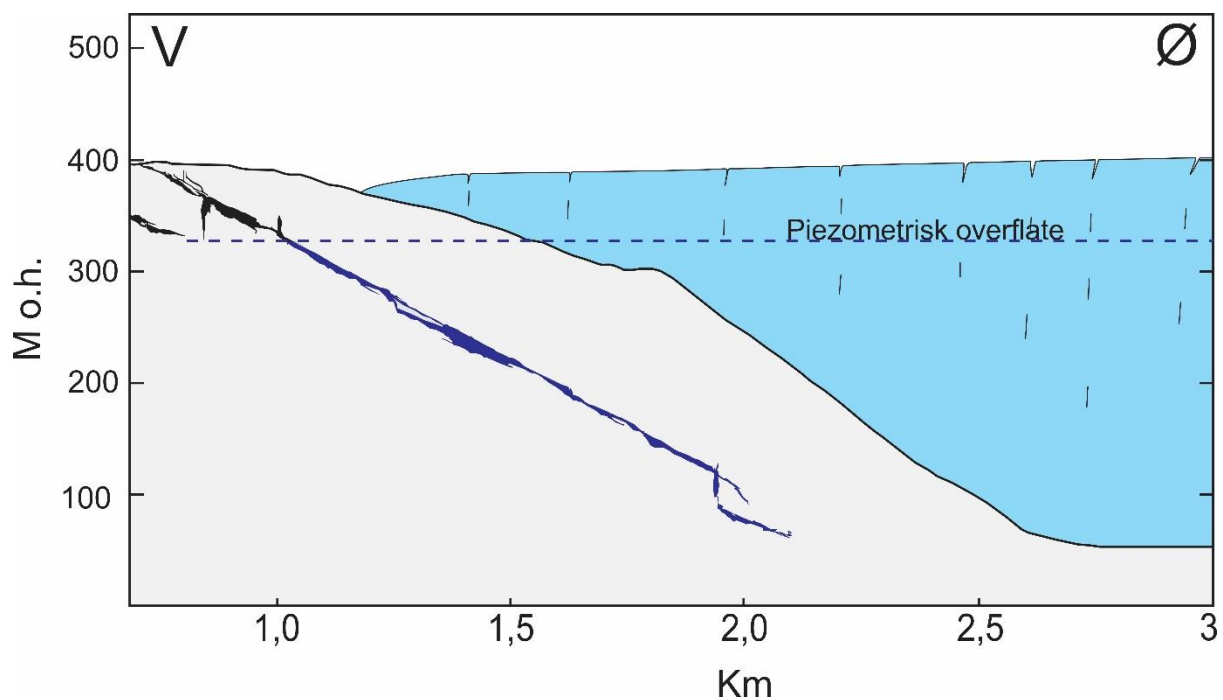
I resultatkapittelet ble rullestein satt i sammenheng med vannstrømmen som dannet strømskålene. Hjulstrømmdiagrammene (figur 5.24, 5.25, 5.33 og 5.34) viser at flertallet av rullesteinsavsetningene krever høyere hastigheter for å bli mobilisert i forhold til de hastighetene som er beregnet fra lengdeaksene til strømskålene. I Lapphullet er det noen unntak hvor strømskålsanalysene kan settes i sammenheng med rullesteinsavsetningene. Disse strømskålene er dannet i vadose gjel. Rullesteinsavsetningene har dermed trolig blitt tilført grottesystemene gjennom en vados strøm med høy energi. De freatiske passasjene har ikke en sammenheng med rullesteinsavsetningene og er trolig blitt dannet før rullesteinene ble tilført grottene. Dermed er prosessen som tilførte de observerte rullesteinene en av de siste aktive i grottesystemene. Basert på mengden med rullestein, rundingsgrad og plassering i grotten tolkes rullesteinsavsetningene til å stamme fra en glasifluvial og vados strøm.

#### Flomleire

Fra *Tunnelen* i Larshullet og videre nedover i grotten er det observert et tynt leirelag som dekker både vegger og gulv i passasjen. Leiren representerer en episode relativt seint i grottens historie hvor stillestående vann har dekket deler av Larshullet. Episoden hadde tilstrekkelig varighet til at leirpartikler kunne bli avsatt. For å få en slik oppsamling av vann må utløpet nederst i Larshullet ha vært blokkert. Railton (1954) viste til en slik blokade av sedimenter for å forklare de freatiske passasjene i Larshullet, gjennom drenering av

Reingardslivatnet. Hvis utløpet til Larshullet var begrenset, kunne dette gi et pseudofreatisk system som fylte grotten med vann. I forbindelse med flomleiren kan en slik oppdemming av vann i grotten forklares med en dalbre utenfor systemet.

Fronten til en dalbre forbindes ofte med en bratt hydraulisk gradient og hurtig vannstrømning (Lauritzen og Skoglund, 2013a). Det betyr at for å få en slik demmende effekt må brefronten ha vært plassert ute langs kysten for å gi en tilstrekkelig slak gradient. Dermed kunne en dalbre med slak hydraulisk gradient hindret vannet i å strømme ut Røvassdalen og dannet i stedet en bredemt innsjø inne i grotten (figur 6.4).

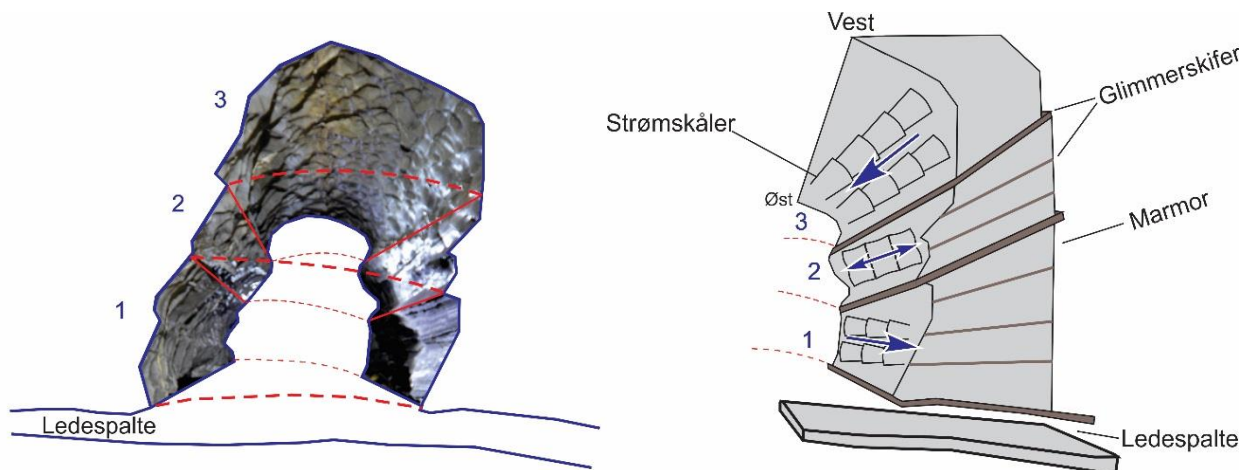


Figur 6.4: Basert på flomleireavsetninger tolkes det at Larshullet har vært fylt med stillestående vann. En dalbre hindrer utløp av vann og hever den piezometriske overflaten.

### 6.2.2 Strømskåler og Morfologi

#### *Gunnar Horns 2. punkt.*

Ved *Gunnar Horns 2. punkt*, i Lapphullet, viser passasjens morfologi en utvikling i paleostrømmen til grotten. Passasjen er rundt to meter høy og langs underlaget går det en horisontal åpning som tolkes til å være ledespalten (figur 6.5). Dette betyr at utviklingen startet langs underlaget. Åpningen ble utvidet til den oppnådde et gjennombrudd (kap. 3.2.1) og fokuserte sin korrosjon langs dagens passasje. Nederst langs veggen indikerer strømskåler at strømmen gikk oppover mot vest i et freatisk system (sekvens 1 i figur 6.5). Med tilførsel av sedimenter førte vannet til en antigravativ erosjon i taket (kap. 3.5.1). I det midtre partiet av passasjeveggen er det strømskåler med symmetrisk lengdeprofil (sekvens 2 i figur 6.5). Asymmetriske strømskåler er et resultat av oppløsning fra en kontinuerlig vannstrøm i en retning (Ford og Williams, 2007). Når strømskålen da er symmetrisk er det mulig å anta at strømskålene ble dannet i en vannstrøm som hadde en varierende retning. De nederste strømskålene er asymmetrisk og viser en strømningsretning oppover mot vest. Det midtre partiet er symmetrisk og har dermed ikke en entydig retning. Muligens har denne sekvensen blitt utsatt for korrosjon av to forskjellige vannstrømmer, på to forskjellige tidspunkt, som gikk mot øst og vest. Den øverste sekvensen viser på nytt asymmetriske strømskåler og viser en retning nedover mot øst (sekvens 3 i figur 6.5). Dannelsen er tolket til å starte nederst, med en retning oppover mot vest. Gradvis blir passasjen erodert i taket grunnet paragenses. Under denne prosessen endrer strømretningen seg fra vest mot øst. Ved innfylling av sedimenter blir strømskålene i sekvens 2 bevart i symmetrisk form, mens strømskålene i sekvens 3 blir asymmetriske. I dag er det ikke sedimenter igjen i passasjen. Dette kan forklares med en vados strøm har erodert vekk sedimentene. Strømskålene viser en gradvis senkning i vannføring og hastighet ettersom paragensesen har arbeidet seg opp i taket (tabell 6.1).



Figur 6.5: Øverst: Bilde av den freatiske passasjen i Lapphullet ved Gunnar Horns 2. punkt. Orienteringen er nord til venstre. Foto: Sverre Aksnes. Nede til høyre: En inndeling av bildet i tre sekvenser samt ledespalte. Nede til høyre: Tolkning av sekvensene.

Tabell 6.1: Beregnet vannføring og hastighet fra passasjen ved Gunnar Horns 2. punkt illustrert i figur 6.5.

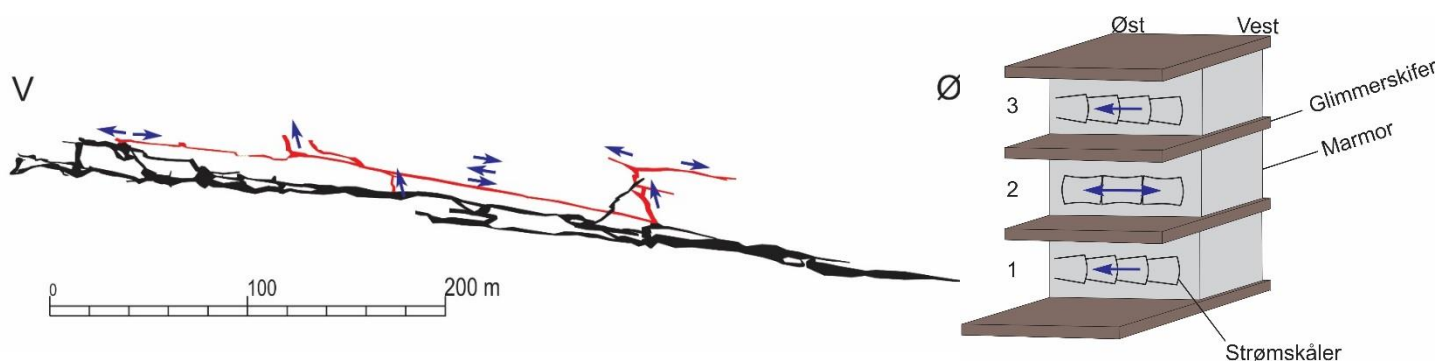
Sekvens	$m^3/sek$	+	-	$cm/sek$	+	-
3	0.04	0.01	0.01	14.07	5.20	3.87
2	0.13	0.07	0.05	15.95	8.64	5.73
1	0.20	0.08	0.06	25.42	10.01	7.29

*«Drainpipe»*

Under tolkning av de morfologiske trekkene til grottene er det trolig *«Drainpipe»*, i Lapphullet, som utgjør den største utfordringen. Passasjens utvikling er blitt sterkt preget av flere glimmerskiferlag og flere endringer i strømningsretningen. Flertallet av strømskåler viser en strøm nedover mot øst, men det er i tillegg observert en sekvens med strømskåler med symmetrisk lengdeprofil flere steder i *«Drainpipe»*. Utfordringen her er å forklare hvordan den midterste sekvensen ble korrodert (sekvens 2, figur 6.6), mens laget over og under forble upåvirket (sekvens 1 og 3, figur 6.6). En mulig forklaring er paragenese gjennom *«Drainpipe»*. Hvis ledespalten følger underlaget, kan antigravitativ korrosjon ha erodert opp fra sekvens 1 til 2 i figur 6.6. Ved tilførsel av sedimenter ved sekvens 1 ble strømskålene beskyttet mot videre korrosjon. I sekvens 2 endret strømningsretningen seg og ga symmetriske strømskåler. Denne prosessen fortsatte videre opp til sekvens 3, hvor strømningsretningen på nytt endret retning. Ettersom taket på *«Drainpipe»* består av glimmerskifer, er det vanskelig å observere korrosjon i taket fra paragenesen. Glimmerskiferlagene er også en fungerende akviklude for marmoren (Lauritzen, 2001). Hver sekvens i figur 6.6 blir dermed sin egen akvifer. For at vannet skal kunne bryte gjennom skiferlaget må det opprinnelig ha vært vertikale sprekker i glimmerskiferen.

Ifølge Faulkner (2001) i Lauritzen (2001) kan vann bryte gjennom 30 cm tykt akviklude hvis det er sprekker tilstede. Dermed er det teoretisk mulig med paragenese, men det er ikke observert en ledespalte i passasjen som gjør det vanskelig å bekrefte denne hypotesen. *«Dig»*, en av sidepassasjene i *«Drainpipe»*, er nesten fylt med sedimenter som gjør det sannsynlig at også resten av *«Drainpipe»* tidligere kan ha vært dekket i sedimenter. *«Dig»* passasjen kan ha blitt skjermet for en senere vados strøm som fjernet sedimentene i resten av røret.

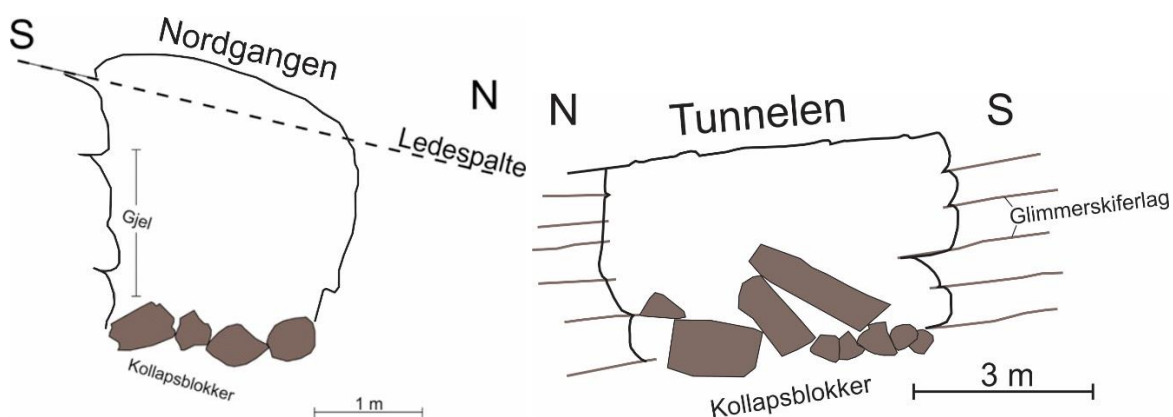




Figur 6.6: Til venstre: «Drainpipe» i Lapphullet. Strømningsretninger representert med piler. Til høyre: Modell av sørveggen til «Drainpipe». Sideveggen kan deles i tre sekvenser hvor strømskålene viser forskjellige retninger (blå piler).

### Tunnelen i Larshullet

I Larshullet er det en vesentlig overgang øst for *Storkirken*. Etter mindre passasjer i et komplekst nettverk, markerer *Storkirken* en overgang til de svære passasjene *Tunnelen*, *Nordgangen* og *Sørgangen*. For å forklare utviklingen må ledespalten i de tre passasjene plasseres. I *Nordgangen* er denne observert relativt høyt oppe i røret (figur 6.7), i *Sørgangen* er denne vanskelig å observere ettersom gangen er fylt med sedimenter. I *Tunnelen* derimot er det flere sprekker langs sideveggene som kan representere en ledespalte (figur 6.7). Under kartleggingen i 2016 ble det observert et vesentlig sprekkelag relativt høyt oppe langs sideveggen. Den preger både nord og sørsiden av veggen og har samtidig ført til dannelse av mindre sidepassasjer. Dette kan indikere at *Tunnelen* hadde et gjennombrudd relativt høyt oppe i røret hvor vados nedkutting har erodert fram *Tunnelen*. Problemet med denne tolkningen er at selve rørformen til *Tunnelen* tilsier et freatisk rør slik det er tolket i flere tidligere publikasjoner, blant annet Horn 1947, Railton 1954 og Wells 1957.



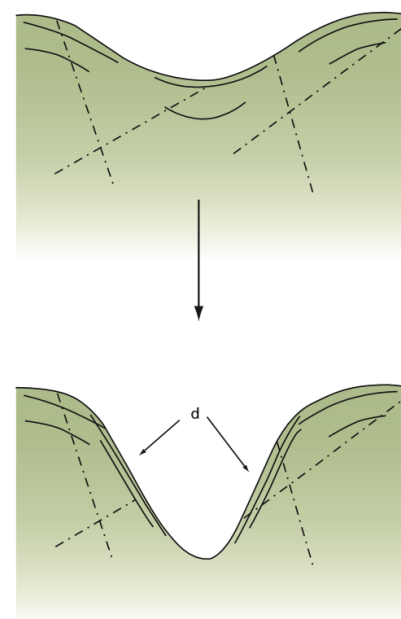
Figur 6.7: Skisser av Nordgangen og Tunnelen i Larshullet. Ledespalten i Tunnelen er ikke kartlagt.

Den vesentlige forskjellen mellom *Nord- og Sørgangen* er sedimentmektighetene. *Sørgangen* er nærmest fylt med sand, mens *Nordgangen* har kun stedvis markante avsetninger. En mulighet er at *Sørgangen* ble dannet før *Nordgangen*. Etter at *Sørgangen* ble fylt med sedimenter ble vannet ledet gjennom, og utviklet, *Nordgangen*. Eventuelt ble *Nord- og Sørgangen* dannet samtidig hvor begge ble fylt opp med sedimenter. Ved en senere vados gjennomstrømning ble sedimentene i *Nordgangen* spylt vekk.

De tre passasjene *Tunnelen, Nord- og Sørgangen* har alle en tilnærmet lik helning. Den varierer lite og er forholdsvis lik helningen til terrengoverflaten over grotten. Terrengoverflaten har en helning på 18 grader mens den nedre delen på Larshullet heller 12 grader. Ettersom det er en stor sammenheng mellom overflate og sprekkesystem kan dette vise til eksfoliasjon (Lewis, 1954 og Harland, 1957). Med avtagende vekt på overflaten grunnet isbreers egenvekt og erosjon har bergmassen fått avlastningssprekker som har lik orientering som overflaten. I dette tilfellet har avlastningen ført til dalsprekker (figur 6.8). Hvis Larshullets sprekkesystem er dannet gjennom eksfoliasjon, er grotten dannet etter starten på istidene.

#### *Reingardslivatnet*

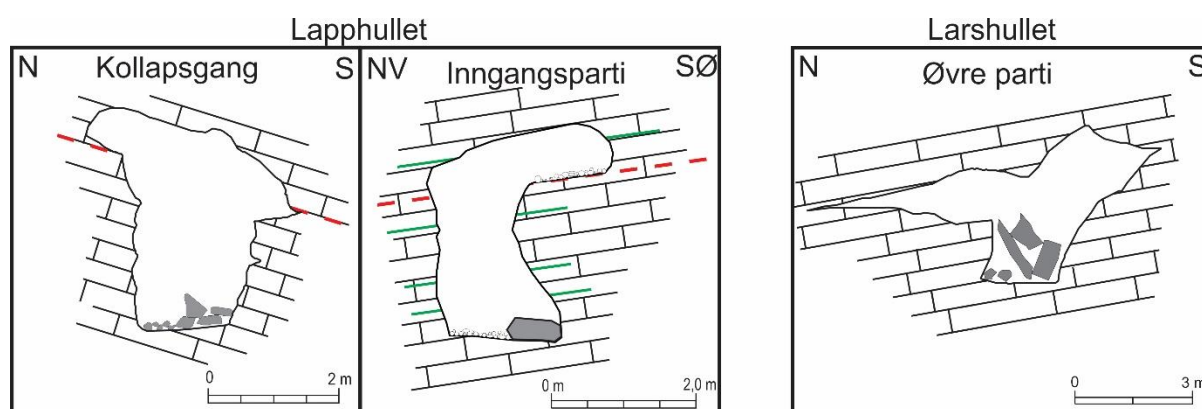
Oxaal (1914), Railton (1954) og Stadheim (2016) vurderte hvilken rolle Reingardslivatnet hadde under utviklingen av Lapphullet og Larshullet. Oxaal (1914), utelukket ikke at Reingardslivatnet ble demmet opp slik at vannet drenerte gjennom grottene. Railton (1954) hadde flere argumenter for at en slik drenering var tilfellet. Stadheim (2016) poengterer at ved et slikt tilfelle skal det være stabile forhold over lengre tid for å gi en kontinuerlig vanngjennomstrømning i grotten. Reingardslivatnet måtte også bli demmet både i øst og i vest for at det skulle dreneres sørover gjennom grottesystemene. Det er fortsatt noen argumenter som kan koble Reingardslivatnet til grottene. Railton (1954) påpeker at inngangen til Olavsgrotten, Lapphullet og Larshullet ligger tilnærmet på samme høyde med



Figur 6.8: Illustrasjon av eksfoliasjon etter erosjon av landskapet. De faste strekene er de eksfolierte sprekke som følger landskapet, mens de stiplede er sprekke av tektonisk opprinnelse. d står for dalsprekker som kan være tilfellet for Larshullet. Hentet fra Lauritzen og Skoglund (2013a).

kun 4 meters forskjell mellom dem. Grotteinngangene kan dermed representere et tidligere nivå ved Reingardslivatnet. Her strømmet vannet inn i Lapphullet, Larshullet og Olavsgrotten hvor alt vannet samler seg øst for *Storkirken*. Dette vil også forklare den brå endringen i Larshullets morfologi, øst for *Storkirken*. Selv om det er sannsynlig at grottene var koblet sammen, basert på orientering og plassering, har ikke kartleggingen klart å bevise dette. Kartleggingsdata viser også at høydeforskjellen på inngangene er på opptil 10 meter.

Det andre argumentet for en kobling mellom innsjø og grotter er de vadose passasjene som er plassert i nærheten av inngangen til både Lapphullet og Larshullet. Inngangspartiet til Lapphullet, ligger på 399 m o.h. og begynner med et 1,5 meter dypt gjel (figur 6.9).

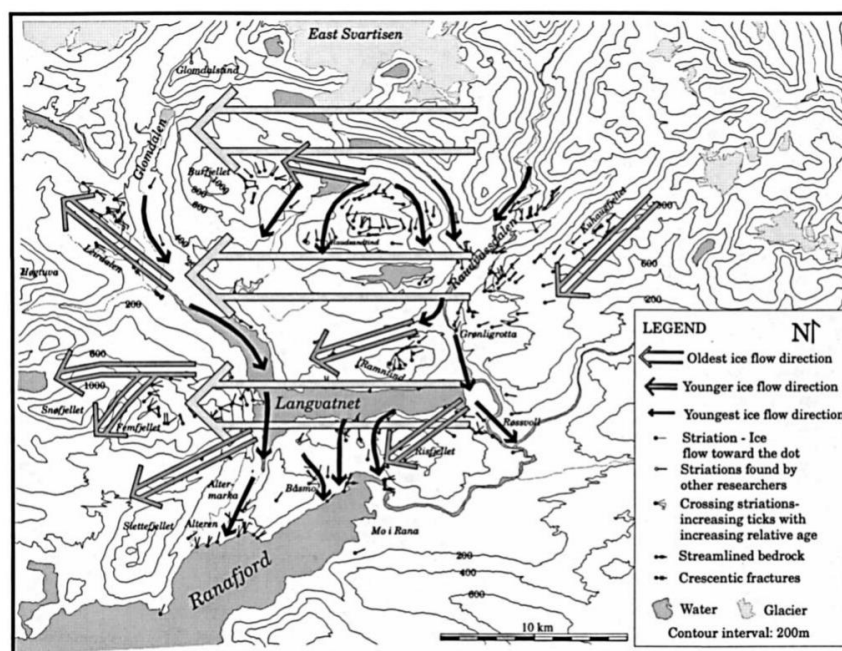


Figur 6.9: Gjelform i Lapphullet og Larshullet. Eksempel på morfologi som viser til vadose strømmer i grottesystemene.

Også i *Kollapsgangen*, koblet til *Nordre Lapphullet*, er det observert flere gjel. Strømskålene i noen av disse gjelene er det estimert vannføringer på opptil 30 m<sup>3</sup>/sek. Dette indikerer betydelige vannmengder som ble tilført grottesystemene i en vados strøm. Ved oppdemning av Reingardslivatnet kan et slikt vannvolum kunne bli tilført grottesystemene. Opp langs sideveggene til de vadose gjelene er det brå endringer i strømningshastigheten. Dette kan indikere flere strømningsregimer som betyr at gjelene ikke ble dannet sammenhengende, men over flere episoder.

*Isbevegelse*

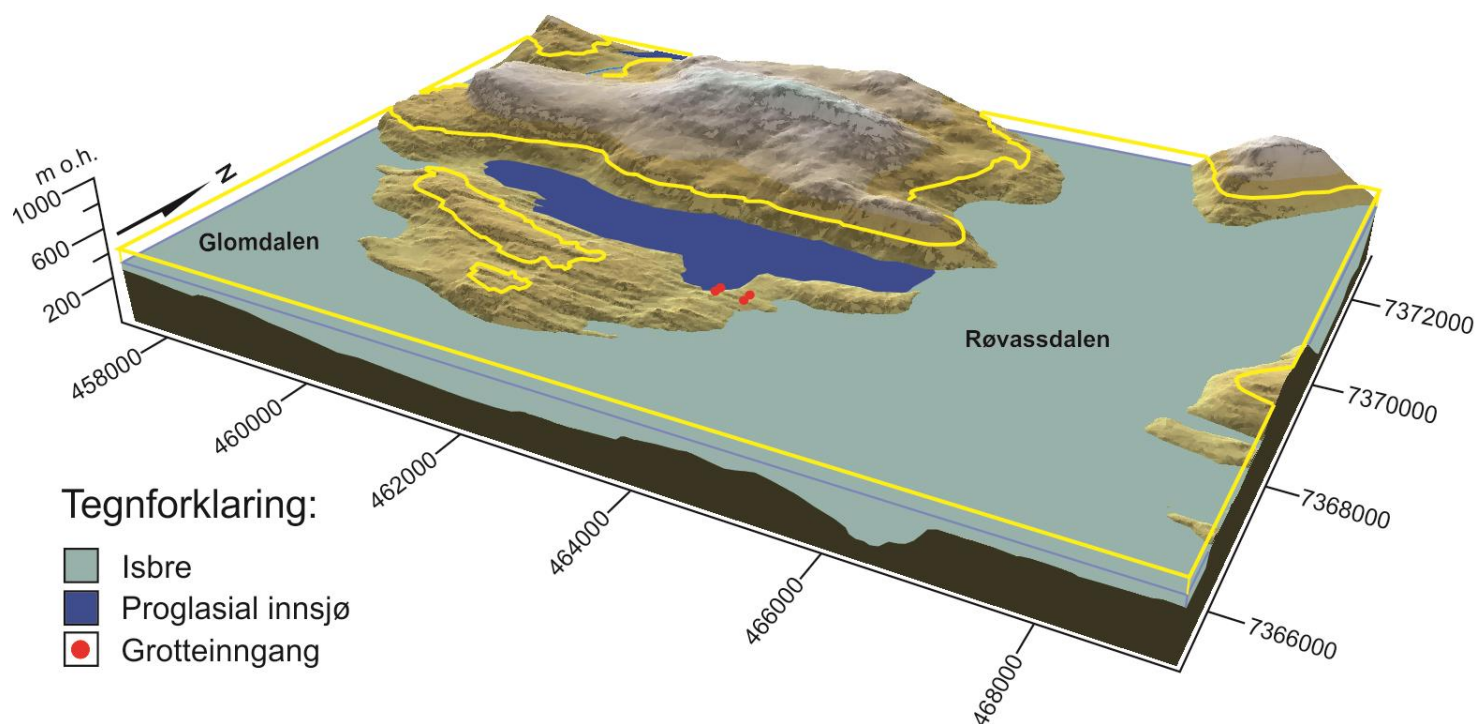
Blake og Olsen (1999) studerte Svartisens utbredelse under siste istid. Basert på erosjonslineasjoner konkluderte de med at under isen maksimale tykkelse bevegde isen seg vestover, uavhengig av topografi (figur 6.10). Dette gir en hydraulisk gradient som er uavhengig av topografien ved isbreens såle. Under denne ismassen ville dermed vannet strøkke vestover mot gravitasjonskreftene. For om lag 9500 år siden ble Svartisen separert fra kontinentalisen (Blake og Olsen, 1999). Ettersom isdekket krympet begynte isen å følge dalførene sørover mot Ranafjord (Blake og Olsen, 1999). I denne perioden fylte Svartisen både Røvassdalen og Glomdalen med is. I hvilken grad dalbreen påvirket grottesystemene er avhengig av tykkelsen til breen. Blake og Olsen (1999) fant at under Svartisens maksimum var isen ca. 500 meter tykk. Med denne ismassen ville både Larshullet og Lapphullet fortsatt være subglasialt. For  $9310 \pm 110$  år siden startet Svartisen sin tilbaketrekning. Hvis breen i hovedsak fulgte dalføret kan dette senere ha gitt proglasiale forhold ved Reingardslia.



Figur 6.10: Isbevegelse sør for Svartisen, under siste istid. Hentet fra Blake og Olsen (1999).

Porter (1989) argumenterte for moderate isdekker som den største faktoren for dannelsen av landskapet i Skandinavia. Her vises det til Yngre Dryas hendelsen som representativ for gjennomsnittlig isutstrekning i pleistocen tid. Ifølge Mangerud et al. (1996) var Skandinavia dekket av et moderat isdekke for omtrent 90 % av de siste 2.6 millioner år. Isen besto av dalbreer som strakk seg ut til kysten. Tilsvarende viser også MacCarrol (2006) til moderate

isdekker som den mest vesentlige faktoren for landskapsdannelse i Snowdonia i Wales. Sett i sammenheng med grottene ved Reingardslivatnet kan dermed situasjonen til Blake og Olsen (1999) være representativ for beskrivelsen av glasial påvirkning på Lapphullet og Larshullet. I figur 6.11 er grotteinngangene illustrert i forhold til et moderat isdekke hvor isbreoverflaten, rent hypotetisk, er satt til 390 meter. Med denne tykkelsen ville Reingardslivatnet, potensielt, bli demmet både mot Glomdalen i vest, og Røvassdalen i øst. Samtidig er inngangspartiene til grottene eksponert i overflaten og kan representere en dreneringsrute ned til Røvassdalen. Den gule stripen indikerer en isbreoverflate på 500 m o.h. basert på tall fra Blake og Olsen (1999). Med denne tykkelsen går isen rundt Raudsandtiden (nord for grottene i figur 6.11) og dekket Reingardslivatnet. Dermed kan grottene ha lagt under et moderat isdekke.

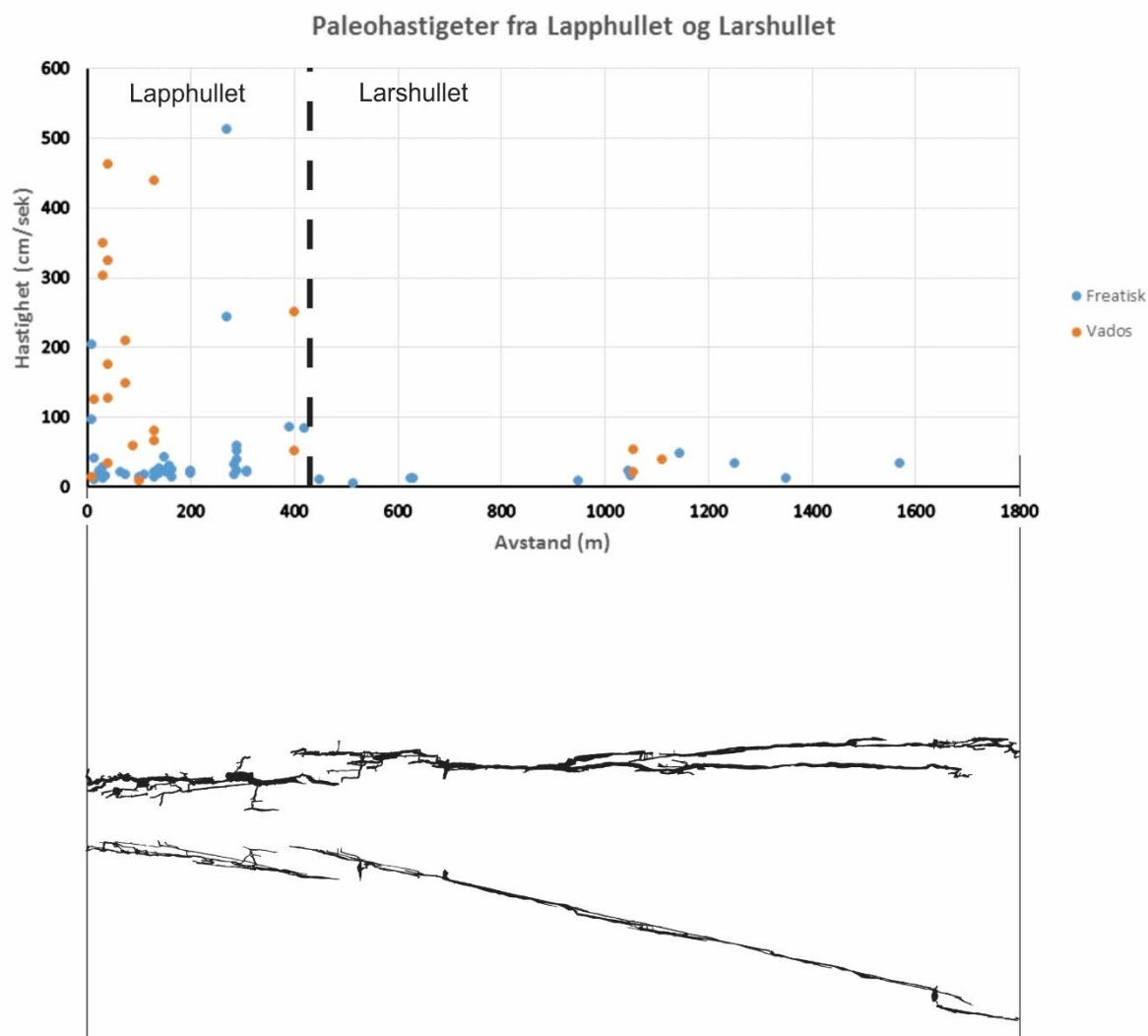


Figur 6.11: Isbre i Røvassdalen ved Reingardslivatnet. Breen er en hypotetisk dalbre, basert på Lauritzen et al. (1990), med en høyde satt til 390 meter som demmer opp en proglasial innsjø på samme høyde. Figuren viser at istykkelsen er tilstrekkelig til å kunne demme opp en eventuell proglasial innsjø ved Reingardslivatnet. Figuren er kun basert på terrengmodellen og ikke på data relatert til innsjøavsetninger eller istykkelser. Den gule linjen representerer en bre som går opp til 500 m o.h. basert på tall fra Blake og Olsen (1999). Vertikalskala er eskalert x2. Kartdata er hentet fra Kartverket.no.

Et vesentlig spørsmål rundt glacial karst er hvilke temperaturforhold det var langs breens såle. I polare forhold vil berggrunnen bli beskyttet mot erosjon, mens under en temperert bre vil bevegende is og tilførsel av smeltevann påvirke underlaget. Kleman og Hattestrand (1999) utførte kartlegging av det Fennoskandiske isdekket og undersøkte hvor isdekket var polart og temperert. Basert på rogenmorener og relikte landskap kartla de alle de polare områdene til isdekket under siste glasiale maksimum. I Kleman og Hattestrand (1999) blir det ikke kartlagt i stor grad over Norge, men rogenmorener brukes til tolkning av ytterpunktet til den polare breen. Alle områder utenfor denne grensen tolkes til tempererte soner hvor blant annet Nordland ligger. Dermed er det sannsynlig å si at selv under siste istids maksimum var det tempererte forhold under isdekket til Nordland som tilførte smeltevann til grottesystemene.

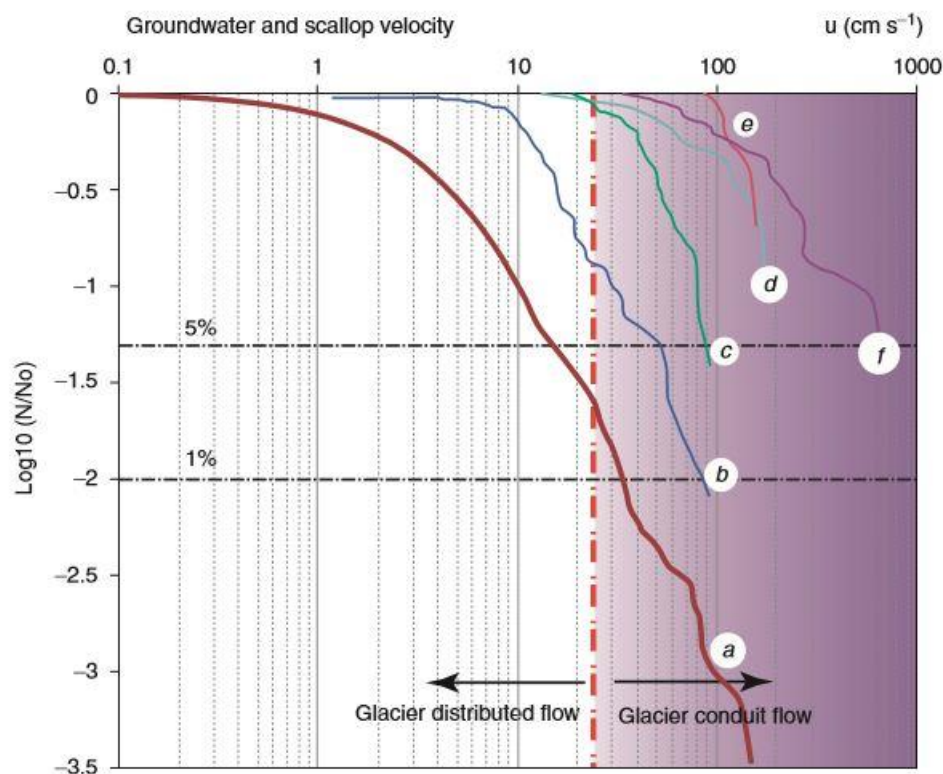
### 6.2.3 Forholdet mellom Larshullet og Lapphullet

I forhold til vannføring og hastighet er det en vesentlig forskjell mellom Lapphull og Larshullet. Figur 6.12 viser forskjellene i de beregnede hastighetene mellom de to grottene. Flertallet av de freatiske hastighetene er under 50 cm/sek, mens de vadose paleostrømmene viser hastigheter opptil over 400 cm/sek. Lapphullet har langt flere målinger i forhold til Larshullet da det ble observert flere strømskåler i denne grotten. Fravær av strømskåler kan forklares med blant annet heterogeniteter i bergarten eller store mengder med sedimenter (Curl, 1966).



Figur 6.12: Sammenligning av de beregnede paleohastighetene i Lapphullet og Larshullet. Grafen fremhever både forskjellen mellom Lapphullet og Larshullet samt vadose og freatiske strømmer. Hastigheten til flertallet av de freatiske paleostrømmene i Lapphullet kan sammenlignes med beregningene i Larshullet, mens de vadose strømmene i Lapphullet gir generelt langt høyere hastigheter.

Lauritzen et al. (2011) i Lauritzen og Skoglund (2013a) sammenligner strømningshastigheter, beregnet fra strømskåler, med grunnvannshastigheter i glasielle og ikke-glasielle karst akviferer. Studiet viser at paleostrømmer under lavere hastigheter indikerer freatiske passasjer i et subglasielt system, mens høyere hastigheter indikerer kanaliserte strømmer under et moderat isdekket eller proglasielt. I figur 6.13 er resultatene fra studiet til Lauritzen et al. (2011) illustrert hvor b og c representerer freatiske passasjer. Disse målingene er lik de freatiske hastighetene i Lapphullet og Larshullet. Det samme gjelder for linje f i figur 6.13 som representerer beregninger fra vadose gjel. Her går hastighetene over 100 cm/sek tilsvarende hastighetsberegningene i de vadose strømmene til Lapphullet i figur 6.12.



Figur 6.13: Kumulativ frekvens diagram av strømningshastigheter i breer og grunnvann. Figuren blir brukt til å vise forskjellen i hastigheter mellom subglasiale strømmer til venstre, og sub- og englasiale dreneringskanaler til høyre. Hentet fra Lauritzen et al. (2011) i Lauritzen og Skoglund (2013a).

Paleohastighetene viser til forskjellige strømningsregimer i grottene. Strømskålene i Lapphullet viser til både saktegående freatiske og hurtiggående vadose strømmer, mens Larshullet viser kun til sakte freatiske strømmer. Strømningsregimene med lavere hastigheter knyttes til et subglasialt strømningsregime. De hurtiggående strømningsregimene kobles til en kanalisert, vados strøm som kan enten ha vært subglasial eller proglasial. Selve strømningsretningen som er tolket ut fra strømskålenes asymmetri viser også forskjeller mellom Lapphullet og Larshullet. I Larshullet har paleostrømmen kun gått fra vest til øst, nedover mot Røvassdalen. I Lapphullet derimot er det observert paleostrømmer både mot øst og vest. Den reverserte strømmen er dermed bevis for subglasial karst i Lapphullet (Lauritzen, 1984).

Lapphullets minimumsalder er datert til 730 000 Lauritzen et al. (1990), mens Larshullet har upubliserte dateringer av speleothemer som viser en alder på 300 000 år. Stadheim (2016) viser også til en forskjell i utviklingen av Larshullet og Lapphullet i forhold til Røvassdalen. Fra topp til bunn har Larshullet en høydeforskjell på over 330 meter hvor bunnen på grotten ligger bare 5 meter over dalbunnen. Lapphullet har kun en høydeforskjell på 70 meter. Basert på



strømningsregimer, utstrekning og dateringer er det med stor sannsynlighet at Lapphullet er eldre enn Larshullet. Gjennom erosjonsrater fra Lauritzen (1990) beregnet Øvrevik (2002) alderen til Røvassdalen til å være mellom 1,3 millioner og 360 000 år gammel. Larshullets dannelse er tolket til å bli initiert under eller etter dannelsen av Lapphullet.

Larshullet har også blitt aktivt utvidet fram til, potensielt, siste istid mens *Corbels Nordgang*, nederst i Larshullet, er fortsatt aktiv i dag. Stadheim (2016) diskuterer mulighetene for at de vadose passasjene i *Corbels Nordgang* har blitt dannet etter siste istids deglasiasjon, for 9000 år siden. Opprinnelig var *Corbels Nordgang* under den marine grense som førte til freatiske passasjer. Etter isostatisk heving og senkning av den piezometriske overflate kan et vadost miljø ha ført til gjeldannelse. Basert på kartleggingsarbeidet er gjelene mellom 2 til 4 meter dyp. Hvis prosessen startet for ca. 9000 år siden gir dette korrosjonsrater mellom 0,22-0,44 mm/år. Dette passer med de beregnede korrosjonsrater fra Grønli-Seterakviferen i Øvrevik (2002). Erosjon fra vannstrømmen vil også kunne bidra til å øke denne nedskjæringsraten. Det er derimot flere andre faktorer gjør denne beregningen usikker. For det første fyller ikke vannføringen samtlige passasjer i *Corbels Nordgang*. Dette betyr at korrosjonen på underlaget ikke vil være konstant over tid. Samtidig ligger disse passasjene nederst i Larshullet. Dette betyr at vannstrømmen allerede vært i kontakt med berggrunnen forholdsvis lenge som gjør vannet mindre aggressiv i *Corbels Nordgang*. Derfor kan en heller ikke utelukke tidligere interglasialer for å forklare utviklingen av *Corbels Nordgang*. Ved å inkludere eem og eventuelt tidlig weichsel vil det være tilstrekkelig med tid til å danne disse passasjene.

### 6.3 Gjennomgang av de forskjellige hypotesene

Basert på de resultatene som er gjennomgått er det mulig å forkaste noen av hypotesene. Samtlige undersøkelser viser sterke preg av glasial påvirkning. Dermed er det usannsynlig at grottesystemene ble dannet før kvartær tid, selv om at vi ikke kan utelukke en tidligere begynnelse på protogrottestadiet. Da er det også usannsynlig at grottene ble dannet i et interglasialt tidsrom. I den tidsperioden ville situasjonen ligne mye på dagens grotter med mindre aktive bekker i ellers tørrlagte grotter. Dermed er ikke hypotese nummer 1 og 2 gjeldende.

Under istidmaksimum var hele landet dekket i is. Dette gir subglasiale forhold i grottesystemene noe som er observert i spesielt Lapphullet. Basert på arbeidet til Kleman og

Hättestrand (1999) ligger feltområdet utenfor de polare områdene til isdekket. Grunnet den lokale topografien i Røvasdalen sammen med isbreretningen, under glasialt maksimum, er det potensiale for trykksmelting langs sålen til breen over grottesystemene. Ettersom det er observert strøm i motbakke er hypotese 3 om subglasiale forhold sannsynlig. Dette gjelder i hovedsak for Lapphullets utvikling.

Hypotese 4 sier at grottene ble dannet under deglasiasjon eller under et moderat isdekke. De to situasjonene er satt sammen da det kan være vanskelig å skille dem. Moderate isdekker (platåbreer og dalbreer) har hatt en stor påvirkning på det glasielle landskapet (Porter, 1989; Kleman og Stroeven, 1997 og McCarroll, 2006). Grottene viser også en tilknytning til Røvasdalen. Denne dalen er utviklet av erosive dalbreer med utspring fra Svartisen. Med en moderat istykkelse ville den hydrauliske gradienten være rettet ned mot Røvasdalen. Dette stemmer overens med paleostrømsanalysene i både Lapphullet og Larshullet. Grottene kan dermed knyttes til denne situasjonen og gjør hypotese 4 sannsynlig.

Basert på argumentene over tolkes grottene til å være et resultat av glasielle prosesser. Protogrottestadiet kan fortsatt ha startet før kvartær tid (Lauritzen og Skoglund, 2013a), men sprekkesystemet som ga grunnlaget til store deler Larshullet er et resultat av eksfoliasjon og indikerer en utvikling i kvartær tid. Larshullet viser også en større tilknytning til Røvasdalen, i forhold til Lapphullet, og paleostrømanalysene viser større forskjeller mellom de to grottene. Dermed kan hypotese 5 forkastes, siden grottene er tolket til å være dannet på ulike tidspunkt.

I tidligere publikasjoner er det lagt vekt på om grottene enten var subglasiale eller proglasiale prosesser. Her vises det derimot til en polygenetisk opprinnelse hvor flere prosesser har vært involvert (Lauritzen og Skoglund, 2013a). Grottene har blitt utviklet både under større og moderate isdekker. Med hensyn på grottenes og Røvasdalens alder har de blitt tolket til å være utsatt for flere istider og deglasiasjoner. Både proglasiale og subglasiale prosesser er dermed relevant for å forklare grottenes morfologi og paleostrømmer. Oppsummert står hypotese 3, 4 og 6 som sannsynlige forklaringer til dannelsen av Larshullet og Lapphullet.

## 6.4 Utvikling av grottesystemet

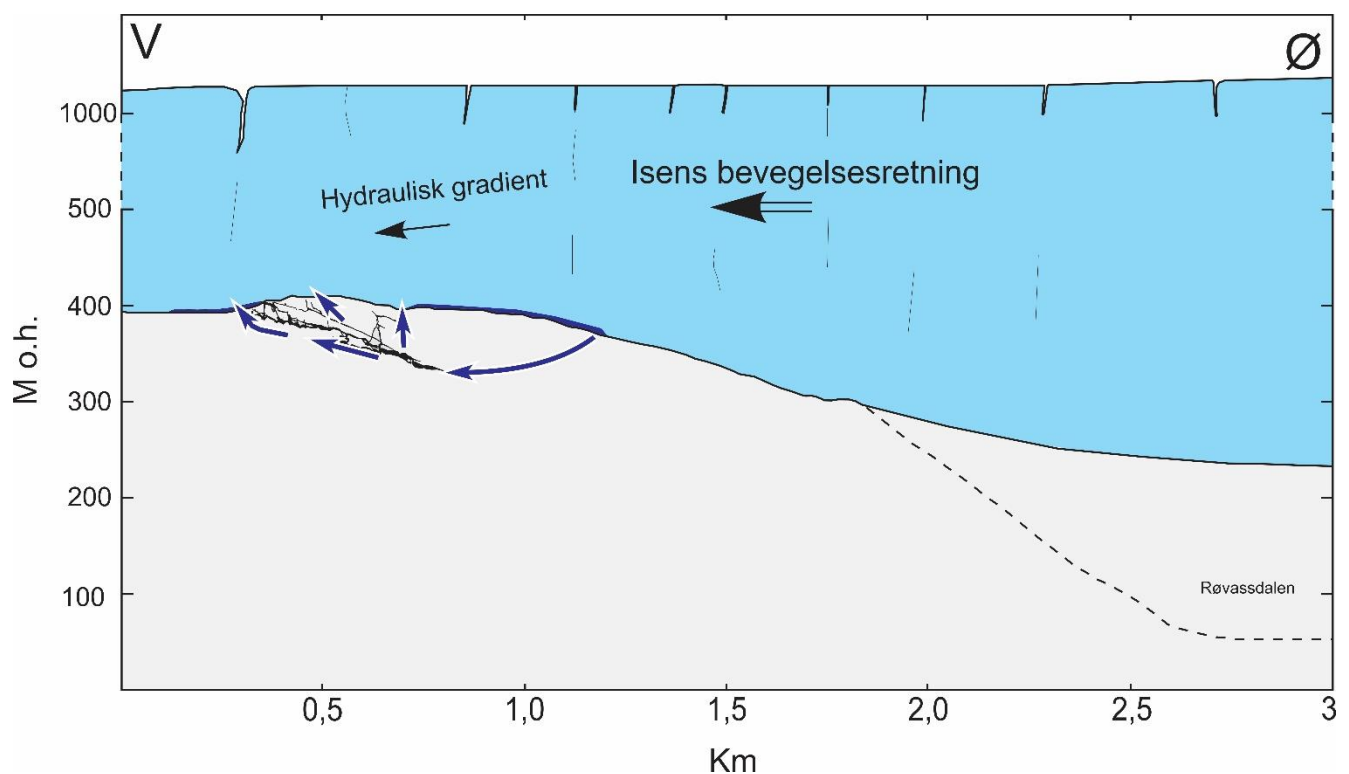
Å tolke dannelseshistorie til et grottesystem i polare strøk kan være utfordrende. Under normal karst vil oppløsningsprosessene starte i overflaten til bergarten. Gradvis vil korrosjonen fortsette nedover i berggrunnen som vil føre til en senkning av den piezometriske overflaten. Dermed er det en korrelasjon mellom grottens høyde over erosjonsbasis og alder hvor den øverste grotten er eldst (Lauritzen og Skoglund, 2013a). I glasiøle miljøer kan isbreer heve nivået til den piezometriske overflaten og reaktivere eldre grottesystemer. Utviklingen av grottene ved Reingardslivatnet er et eksempel på hvor eldre passasjer har blitt reaktivert. I dette delkapittelet vil hendelsesforløpet til grottene bli beskrevet basert på tidligere publikasjoner og diskusjonen fra dette kapittelet.

### 6.4.1 Protogrottestadiet

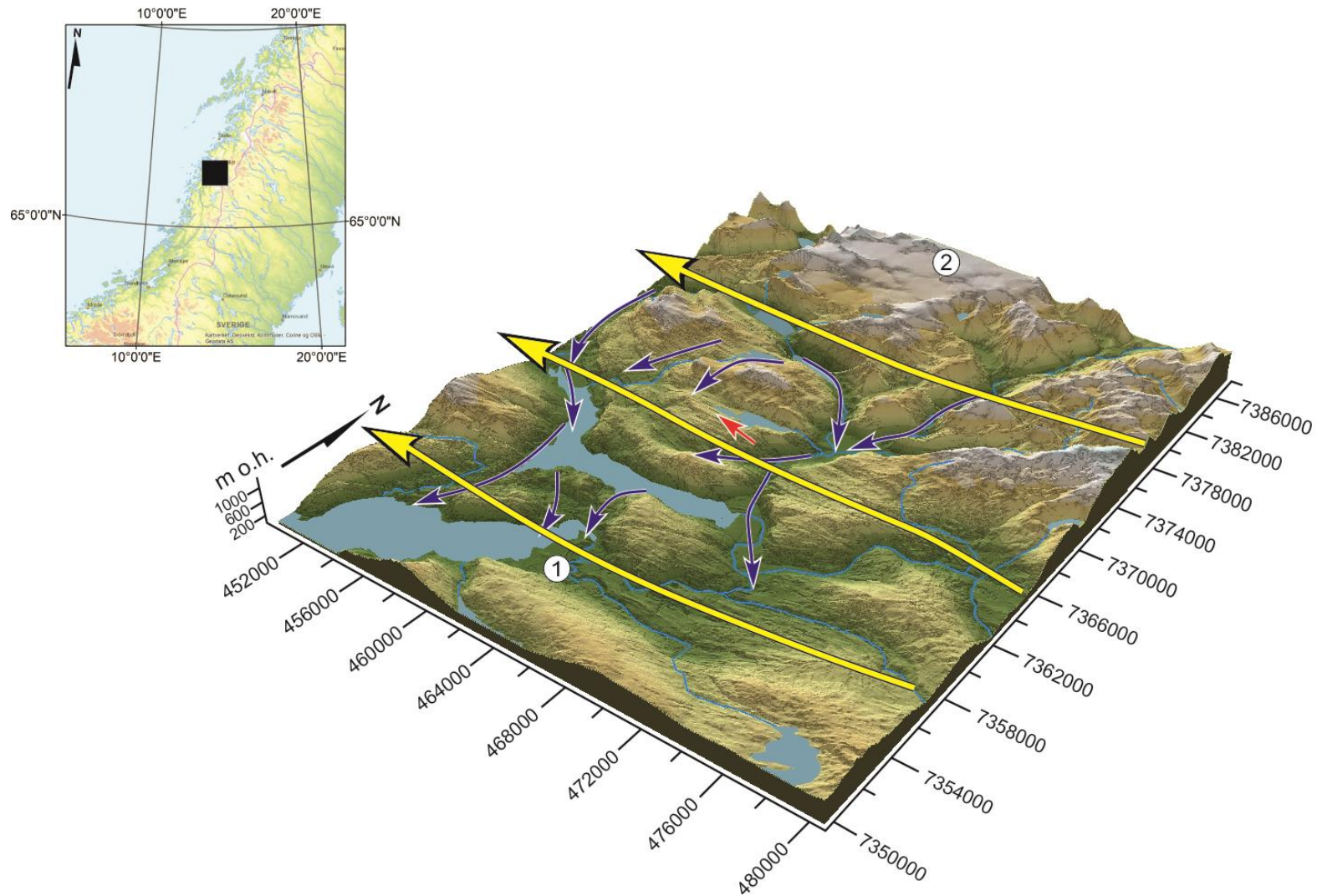
I Skandinavisk stripekarst er det en utfordring å estimere den øvre alderen til dannelselse og åpning av sprekkene. De fleste sprekkesystemer stammer fra mesosoisk tid (Gabrielsen et al. 1981 i Lauritzen, 1986), men utover dette blir det også utviklet sprekker gjennom denudasjon av landskapet. Vektforskjeller i breer kan føre til videre åpning av sprekkene hvor de følger overflateorienteringen. Hvis Larshullet er et resultat av slike avlastningssprekker betyr det at den ikke startet sin utvikling før etter istidene satte inn.

## 6.4.2 Lapphullet blir dannet

De freatiske passasjene i Lapphullet kan trolig være blant de eldste i systemet. Basert på morfologi og paleostrømmer tolkes passasjene til å være utviklet subglasialt (hypotese 3). Grunnet Lapphullets vertikale passasjer som strekker seg mot overflaten var paleostrømmene sterkt tilknyttet forholdene langs sålen til breen. Grotten ble tilført store mengder materiale som ga paragene, blant annet ved *Gunnar Horns 2. punkt* og «*Drainpipe*» (figur 6.5 og 6.6). Isdekket over grotten bevegde seg vestover med en hydraulisk gradient i samme retning. Dette førte til paleostrømmen som gikk i motbakke i Lapphullet (figur 6.14 og 6.15).



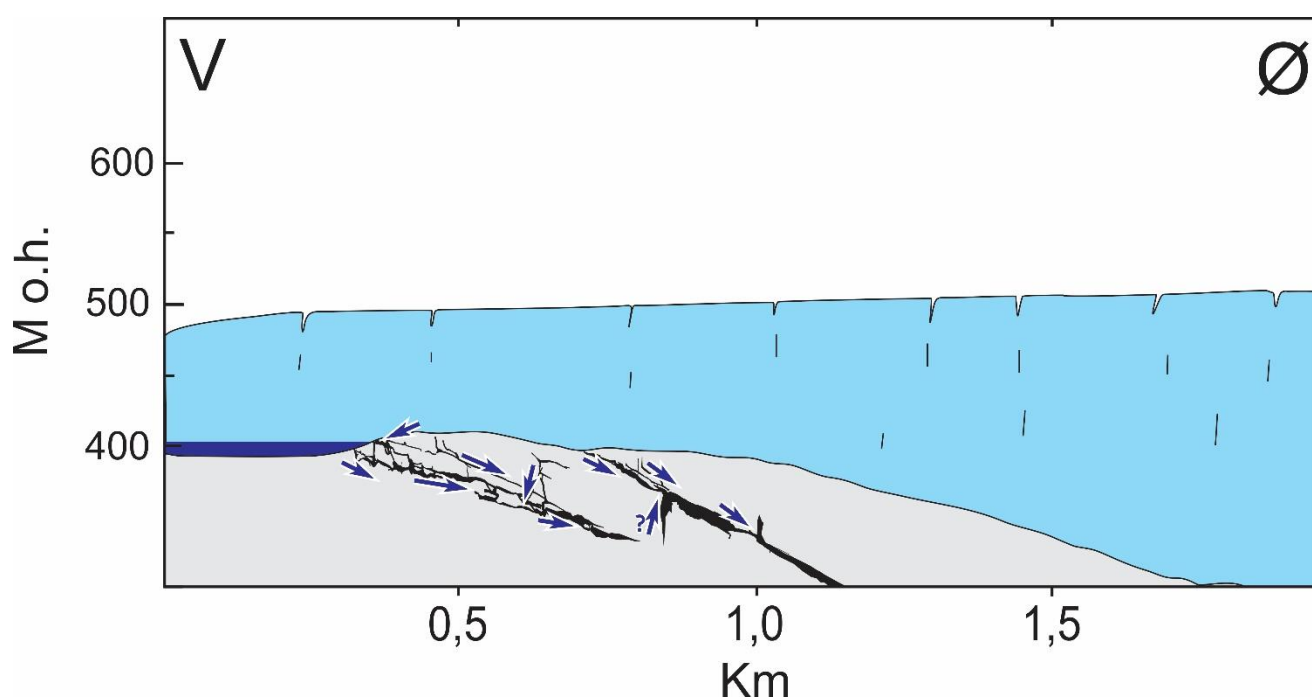
Figur 6.14: Lapphullet dannet i et subglasialt system (Hypotese 3). Isen er kun skjematisk og er tiltenkt en kontinentalis over området. Ettersom isbevegelsen er uavhengig av topografien er den hydrauliske gradienten rettet mot vest. Larshullet viser ikke reversert strøm og er dermed ikke med i figuren.



Figur 6.15: Isbrebevegelser over området mellom Mo i Rana (1) og Svartisen (2). Gule piler: Isbrebevegelse under glasialt maksimum, uavhengig av lokal topografi (Hypotese 3). Blå piler: Isbrebevegelse under et moderat isdekke (Hypotese 4). Rød pil: antigravitativ strøm i Lapphullet. Isbrebevegelser er basert på Blake og Olson (1999) og Lauritzen (2009a) i Lauritzen og Skoglund (2013a). Figuren er vertikalt overdrevet x2. Terrengmodell, innsjøer og elver er hentet fra Kartverket.no.

### 6.4.3 Moderate isdekker over Lapphullet og Larshullet

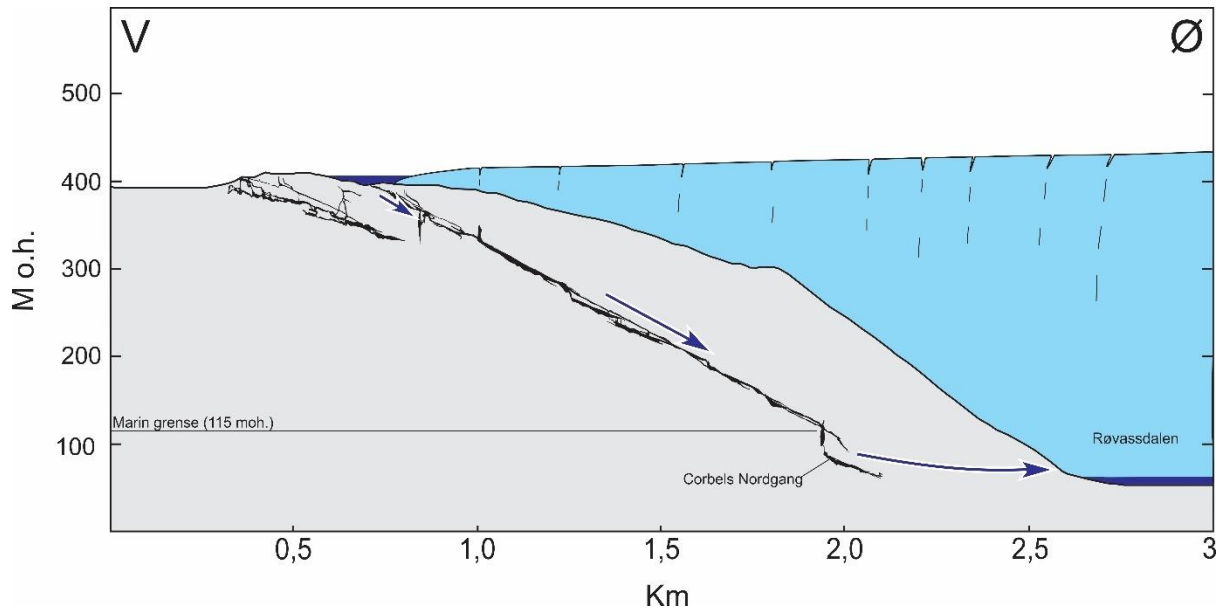
De øverste passasjene til Larshullet er freatiske som betyr at den piezometriske overflaten var over grotten. Dermed var Lapphullet også trolig aktiv da Larshullet ble utviklet. Om dette var subglasialt eller proglasialt er uvisst, men begge grottene viser til en senkning av den piezometriske overflaten ettersom det er en overgang fra freatiske rør til vadose gjel. Dette kan være tilfellet når det var en tilbaketrekning av breen som ga proglasiale forhold eller i en situasjon hvor isen hadde moderat tykkelse over grotten (blå piler i figur 6.15 og 6.16) (hypotese 4). Isbreen demmer opp for Reingardslivatnet og fører til drenering gjennom grottesystemene. Det er usikkert når Larshullets utvikling startet i forhold til Lapphullet.



Figur 6.16: Dalbre demmer opp Reingardslivatnet (Hypotese 4) og gir tilstrømning til Lapphullet. Figuren er et eksempel på aktiv strøm i både Lapphullet og Larshullet. En kobling mellom de to grottene er sannsynlig, men ikke bevist.

### 6.4.4 Larshullet utvikles mot Røvasdalen

Den nedre halvdelen av Larshullet består av freatiske rør som strekker seg ned til bunnen av Røvasdalen. Dermed er Larshullet tolket til å være dannet i tilknytning til Røvasdalen med den piezometriske overflaten plassert oppe i dalsiden. Paleostrømanalysene i Larshullet viser kun vannstrømmer med lave hastigheter som gikk østover, ned til Røvasdalen. Larshullet tolkes til å representere et dreneringsrør for en dalbre i Røvasdalen (figur 6.17). Breen tilførte sedimenter og smeltevann som ble transportert ned til Røvasdalen. Mindre nord-sør gående, freatiske, passasjer viser en tilknytning mellom Nord- og Sørgangen som betyr at de har vært aktiv samtidig.



Figur 6.17: Dalbre fra, eksempelvis, siste istid hvor Lapphullet står tørrlagt, mens proglasialt vann dreneres gjennom Larshullet. Dalbreen beveger seg sørover.

Når breen trakk seg tilbake avtok trykket på systemet, og Larshullet ble et vadost system. Korrosjon fortsatte på underlaget og førte til gjeldannelse i de freatiske rørene. Nedskjæringen førte også til tilførsel av rullestein, da spesielt i *Nordgangen*. *Sørgangen* ble stående igjen tørrlagt. *Corbels Nordgang* nederst i Larshullet er delvis aktiv i dag og er det siste leddet i Larshullets utvikling.

## 7 Konklusjon

Formålet med oppgaven har vært å studere det paleohydrologiske miljøet i Lapphullet og Larshullet. Selv om kartleggingen ikke fysisk har klart å koble grottene sammen, viser både plassering og orientering en stor sannsynlighet for at grottene utgjør et sammenhengende system.

Rullesteinsavsetninger viser et forholdsvis kaotisk mønster i Lapphullet. De store variasjonene knyttes til flere tverrgående injeksjonspunkter fra overflaten. Ettersom grotten blir tilført nytt materiale flere steder fra overflaten, er det ikke mulig å observere trender i rullesteinsstørrelsen. Det samme gjelder rundingsgraden, som også varierer mye. Larshullet skiller seg fra Lapphullet ved å ha færre slike injeksjonspunkter. Øst for *Dagåpningen* blir det ikke tilført nytt materiale til systemet. Dermed avtar diameteren til rullesteinene gradvis nedover i grotten. Det samme viser rundingsgraden til rullesteinene, som er gradvis blitt rundere mot bunnen av grotten. Ettersom Larshullet er tilstrekkelig lang, kan hele rundingsprosessen ha funnet sted inne i grotten.

Paleostrømanalysene viser store variasjoner i hastigheten i Lapphullet. Basert på hjulstrømdiagram er hastighetene tilstrekkelige til å mobilisere rullesteinsavsetningene i Lapphullet. Retningen til paleostrømmen i Lapphullet varierer mye fra passasje til passasje. Dette gjør det vanskelig å korrelere dem til et sammenhengende system. De generelle tendensene i grotten viser til en tidlig strøm mot vest, oppover mot dalsiden. Deretter har retningen blitt reversert nedover mot Røvassdalen.

Paleostrømanalysene i Larshullet viser langt lavere strømningshastigheter i forhold til Lapphullet. Samtlige strømskåler kobles til en saktegående freatisk strøm som gikk fra dalsiden og ned mot Røvassdalen. De store mengdene med rullestein viser til et senere vadost strømningsregime hvor strømningshastigheten var høyere.

Lapphullet viser til et strømningsregime under et isdekke. Den hydrauliske gradient til isdekket var uavhengig av topografien langs bresålen. Dette er et bevis for subglasialt strømningsregime under en forholdsvis tykk ismasse. I Larshullet er denne paleostrømmen ikke blitt observert. Ettersom Lapphullet er datert til å være eldre enn Larshullet, kan det tyde på at den vestligorienterte strømmen eksisterte før Larshullet var utviklet.



Tidsrommet da begge grottene var aktive viser til et moderat isdekke. Isen hadde utspring fra Svartisen og Glomdalsområdet og bevegde seg sørover, enten over eller rundt Raudsandtinden med en hydraulisk gradient rettet mot Røvasdalen. Dette har ført til de store mengdene med rullesteinsavsetninger både i Lapphullet og Larshullet. Rullesteinene blir tilført i kanaliserte strømmer med høy hastighet. Dette fant sted enten gjennom et proglasialt system som demmet opp for Reingardslivatnet, eller eventuelt subglasialt, under et moderat isdekke.

Grottene har gjennom kvartærtiden blitt utviklet i forskjellige glasiale miljøer. Her konkluderes det i hovedsak med tre forskjellige strømningsregimer. Det første er kun observert i Lapphullet, som viser subglasiale strømmer under ett tykt isdekke. Det andre regimet er et freatisk system som er observert både i Lapphullet og Larshullet. Dette er fra et moderat isdekke som drenerte vannet ned mot Røvasdalen med relativt lave hastigheter. Det tredje regimet viser til et vadost system som gikk gjennom begge grottene med høyere hastigheter. Regimet kan komme fra enten en dalbre eller et isdekke under tilbakesmelting. Grottene er dermed ikke dannet under et regime alene, men som resultat av flere glasiale prosesser.

#### Videre arbeid

Av kartleggingsarbeid mangler det fortsatt å fullføre Persgrotten og Olavsgrotten. Hvis alle fire grotter settes i sammenheng i et 3D-program vil dette tydeligere vise deres forhold til hverandre. I forhold til Lapphullet og Larshullet, er det fortsatt muligheter for ytterligere kartlegging av *Corbels Nordgang*, hvor det også kan være potensiale for dykking.

Det er også muligheter til å ta vannprøver eller gjennomføre tracerforsøk i Larshullet og Lapphullet for å skaffe en oversikt over dagens hydrologiske system. Det er også observert åpninger i berggrunnen i det nærliggende området, som kan representere potensielle nye grottesystemer. Åpningene ligger i det samme marmorbeltet og tilstrekkelig nært til å kanskje settes i sammenheng med Persgrotten, Olavsgrotten, Lapphullet og Larshullet.

## Referanser:

- Attal, M. og Lavé, J. (2009) Pebble abrasion during fluvial transport: Experimental results and implications for the evolution of the sediment load along rivers. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-22.
- Blake, K. P. og Olsen, L. (1999) Deglaciation of Svartisen area, northern Norway, and isolation of a large ice mass in front of the Fennoscandian ice sheet. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 53 (1), 1-16.
- Blott, S. J. og Pye, K. (2008) Particle shape: a review and new methods of characterization and classification. *Sedimentology*, 55, 31–63.
- Blumberg, P.N. (1970) *Flutes: A Study of Stable, Periodic dissolution profiles resulting from the interaction of a soluble surface and an adjacent turbulent flow*. [doktoravhandling]. The University of Michigan.
- Blumberg, P.N. og Curl, R. L. (1974) Experimental and theoretical studies of dissolution roughness. *J. Fluid. Mech.* 65 (4), 735–751.
- Bretz, J.H. (1942) Vadose and phreatic features of limestone caves. *Journal of Geology*, 50(6), 675–811.
- Checkley, D. og Faulkner, T. (2014) Scallop measurement in a 10 m-high vadose canyon in Pool Sink, Ease Gill Cave System, Yorkshire Dales, UK and a hypothetical post-deglacial canyon entrenchment timescale. *Transactions of the British Cave Research Association*, 41(2), 76-83.
- Corbel, J. (1957) Les Karsts du Nord-Ouest de l'Europe. Etude sur le rôle du climat dans l'érosion des calcaires. Rev. Geogr. Lyon, publ. hors-série.
- Curl, R. L. (1966) Scallops and flutes. *Transaction of the Cave Research Group of Great Britain*, 7(2), 121-160.
- Curl, R. L. (1974) Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. *National Speleological Society Bulletin*, 36(2), 1–5.
- Curl, R. L og Blumberg, P. N. (1974) Experimental and theoretical studies of dissolution roughness. *Journal of Fluid Mechanics*, 65(4), 735–751.
- Dreybrodt, W., Gabrovšek, F. & Romanov, D. (2005) *Processes of Speleogenesis: A modeling approach*. Postojna–Ljubljana: Carsologica. 376.
- Dreybrodt, W og Gabrovšek, F. (2000) Dynamics of the Evolution of Single Karst Conduits. I Klimchouk, A.B., Ford, D.C., Palmer, A.N. and Dreybrodt W. red. *Speleogenesis: evolution of karst aquifers*. Huntsville, AL: National Speleological Society, 184 – 193.
- Dunne, T. & Leopold, L. B. (1978) *Water in Environmental planning*, San Francisco, W.H. Freeman.
- Ellis, B.M. (1988) An introduction to cave surveying. British Cave Research Association Cave studies Series, 2, 40. (ref. fra Lauritzen, 2002.)
- Faulkner, T. (2001) Cave development in Central Scandinavia. *Proceedings of the 13th International Congress of Speleology*, 155, 106.
- Fetter, C. W. (2001) *Applied Hydrogeology*. Harlow, England: Pearson. 612.

## Referanse

---

- Ford, D. & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, Chichester: Wiley. 576.
- Fossen, H., Pedersen, R-B., Bergh S. og Andresen, A. (2006) En fjellkjede blir til. I: Berthling, I. Landet blir til. Trondheim: Norges Geografisk Tidsskrift, 180–228.
- Gabrielsen, R. H., Ramberg, I. B., Mørk, M. B. E. og Tveiten, B. (1981) Regional Geological, Tectonic and Geophysical Features of Nordland, Norway, *Earth Evol. Sci.* 1, 14–26. (ref. fra Lauritzen, 1986.)
- Gabrielsen, R. H., Braathen, A., Dehls, J. og Roberts, D. (2002) Tectonic lineaments of Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 82, 153-174.
- Harland, W. B. (1957) Exfoliation joints and ice action. *Journal of Glaciology*, 3(21), 8–10.
- Heeb, B. (2008) Paperless Caving – An Electronic Cave Surveying System. 1–4.
- Hjorthen, P. G. (1968) Grotter og grotteforskning i Rana. *Norges Geologiske Undersøkelse*, Småskrift nr. 9, 1–61.
- Hjulstrom, F. (1935) Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. *Bulletin of the Geological Institute University of Uppsala*, 25, 221-527.
- Horn, G. (1947) Karsthuler i Nordland. *Norges Geologiske Undersøkelse*, 165, 5–75.
- Horn, G. (1937) Über einige Karsthöhlen in Norwegen. *Mitteilungen für Höhlen und Karstforschung*, 1-15. (Ref. fra Lauritzen og Skoglund, 2013a.)
- Karlsen, S. (2003) *Saltfjellet og Svartisen: fjell og bre ved Polarsirkelen*. København: Nordiska ministerrådet. 258.
- Kleman, J. og Hättestrand, C. (1999) Frozen-bed Fennoscandian and Laurentide ice sheets during the Last Glacial Maximum. *Nature*, 402, 63–66.
- Krumbein, W.C. (1941) The effects of abrasion on the size, shape and roundness of rock fragments. *The Journal of Geology*, 49 (5), 482–520.
- Kleman, J. og Stroeven, A. P. (1997) Preglacial surface remnants and Quaternary glacial regimes in northwestern Sweden. *Geomorphology*, 19, 35-54.
- Kuenen, H. (1956) Experimental abrasion of pebbles 2. Rolling by current. *The Journal of Geology*, 64 (4), 336–368.
- Lauritzen, S. E. (1981a) Innføring i karstmorfologi og speleologi regional utbredelse av karstformer i Norge. Trykt utg. 27. Universitetet i Oslo: Kontaktutvalget for vassdragsregulering.
- Lauritzen, S. E. (1981b) Statistical symmetry of analysis of scallops. *NSS Bulletin*, 43, 52-55.
- Lauritzen, S. E. (1982) The paleocurrents and morphology of Pikhåggrottene, Svartisen, North Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 36, 183–209.
- Lauritzen, S. E. (1984) Evidence of subglacial karstification in Glomdal, Svartisen, Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 38, 169–170.
- Lauritzen, S. E. (1986) Kvithola at Fauske; Northern Norway: an example of ice contact speleogenesis. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 66, 153-161.

## Referanse

---

- Lauritzen, S. E. upublisert. Uranseriedateringer fra Larshullet og Lapphullet fra 1987 [upublisert manuskript] Institutt for Geovitenskap, Universitetet i Bergen.
- Lauritzen, S. E. (1989) Scallop Dominant Discharge. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Congress of Speleology*, 123–123.
- Lauritzen, S. E. (1990) Tertiary caves in Norway: a matter of relief and size. *Cave Science* 17(1), 31–37.
- Lauritzen, S. E. (1991) Karst resources and their conservation in Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 45, 119–142.
- Lauritzen, S. E. (2001) Marble stripe karst of the Scandinavian Caledonides: An end-member in the contact karst spectrum. *Acta Carsologica*, 30 (2), 47–79.
- Lauritzen, S. E. (2002) Kompendium i Grottekartlegging. *Norsk Grotteblad*, 39, 3–39.
- Lauritzen, S. E. (2007) *Geol 221: Karstgeologi og Karsthydrologi*. Kompendium, Institutt for geologi, Universitetet i Bergen, 3–12.
- Lauritzen, S. E. (2009a) Fracture control of caves in marble: earthquake mediated? Examples from Scandinavia. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Congress of Speleology*, 3, 1582. (Ref. fra Lauritzen og Skoglund, 2013a.)
- Lauritzen, S. E. (2012) Geov 221. *Del II Kjemiske prosesser i karsthydrologi og speleologi*. Kompendium, Institutt for geologi, Universitetet i Bergen, 11–102.
- Lauritzen, S. E., Abbott, J. Arnesen, R. Crossley, G. Grepperud, D. og Johnson, S. (1985) Morphology and Hydraulics of an Active Phreatic Conduit. *Transactions of the British Cave Research Association*, 12(3), 139–146.
- Lauritzen, S. E. og Lundberg J. (2000) Meso- and Micromorphology of caves. I: Klimchouk, A., Ford, D. C., Palmer, A. og Dreybrodt, W. red. *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville AL: National Speleological Society of America, 407–426.
- Lauritzen, S. E., Løvlie, R., Moe, D. og Østbye, E. (1990) Paleoclimate Deduced from a Multidisciplinary Study of a Half-Million-Year-Old Stalagmite from Rana, Northern Norway. *Quaternary Research*, 34, 306–316.
- Lauritzen, S. E. og Skoglund, R. Ø. (2013a) Glacier Ice-Contact Speleogenesis in Marble Stripe Karst. I Shroder, J. og Frumkin, A. red. *Treatise on Geomorphology*, San Diego CA, Academic Press, 6, 363–396.
- Lauritzen, S. E. og Skoglund, R. Ø. (2013b) Characterisation of a post-glacial invasion aquifer: the Grønli-Seter karst system, northern Norway. *Norwegian Journal of Geology*, 93, 61–73.
- Lauritzen, S. E., Skoglund, R. Ø., Skutlaberg, S., Lauritsen, Å. og Worthington, S.R.H. (2011) What can scallops tell us about ice-contact speleogenesis in Scandinavia? I: Heldal, T. red. *Winter Conference 2011, Norwegian Geological Society*, Stavanger: Norwegian Geological Survey. 59–60. (Ref. fra Lauritzen og Skoglund, 2013a.)
- Lauritzen, S. E. og Solbakk, T. (2008) Grotto 4.023 Kort bruksanvisning. 1–20.
- Lewis, W. V. (1954) Pressure release and glacial erosion. *Journal of Glaciology*, 2(16), 417–422.

## Referanse

---

- Mangerud, J., Jansen, E., og Landvik, J. Y. (1996) Late Cenozoic history of the Scandinavian and Barents Sea ice sheets. *Global and Planetary Change*, 12 (1), 11–26.
- Mangerud, J., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. og Svendsen, J. I. (2011) Glacial History of Norway. I: Ehlers, J., Gibbard, P.L. og Hughes, P.D. red. *Quaternary glaciations – extent and chronology*, Amsterdam: Elsevier, 279–298.
- McCarroll, D. (2006) Chapter 52 Average Glacial Conditions and the Landscape of Snowdonia. I: Knight, P. G. red. *Glacier Science and Environmental Change*. Malden, Mass: Blackwell, 266 – 268.
- Morland, G. og Grønlie, A. (1992) *Grunnvann i Rana kommune*. Rapport nr. 92.016. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse.
- Oxaal, J. (1914) Kalkstenshuler i Ranen. *Norges Geologiske Undersøkelse*, 69, 1–47.
- Porter, S. C. (1989) Some Geological Implications of Average Quaternary Glacial Conditions. *Quaternary Research*, 32, 245-261.
- Plummer, L. N., Wigley, T. M. L. og Parkhurst, D. L. (1978) The kinetics of calcite dissolution in CO<sub>2</sub>-water systems at 5° to 60 °C and 0.0 to 1.0 atm CO<sub>2</sub>. *American Journal of Science*, 278, 179-216.
- Railton, C.L. (1954) Caving in Norway. *Transactions Cave Research Group of Great Britain*, 3 (1), 17–39.
- Shaw, E. M. (1983) *Hydrology in practice*. Wokingham: Van Nostrand Reinhold. 568.
- Skoglund, R.Ø. og Lauritzen S. E. (2011) Subglacial maze origin in low-dip marble stripe karst: examples from Norway. *Journal of Cave and Karst Studies*, 73, 31–43.
- Sneed, E.D. og Folk, R. L. (1958) Pebbles in the Lower Colorado River, Texas a study in particle morphogenesis. *The Journal of Geology*, 66 (2), 114-150.
- Stadheim, A. (2016) Kartlegging av karstgrotter og overflatekarst ved Reingardslivatnet, Mo i Rana. Masteroppgave, Universitetet i Bergen. Institutt for Geografi.
- Stokes, T., Griffiths, P. og Ramsey, C. (2010) Karst Geomorfology, Hydrology, and Management. I: Pike, R. G., Redding, T. E., Moore, R. D., Winkler, R. D. og Bladon, K. D. red. *Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia*, Victoria, B.C: Ministry of Forests and Range Forest Science Program og Kamloops B.C: Forrex, 373-400.
- St. Pierre, D. (1988) A History of Cave Exploration and Study in Norway. *Cave Science*, 15 (3), 139–144.
- St. Pierre, S. (1988) Morphology and Sediments of the Grønli-Seter Caves, Norway. *Cave Science*, 15 (3), 109–116.
- Valen, V. og Lauritzen, S. E. (1989) The sedimentology of Sirijorda cave, Nordland, Northern Norway. *International Congress of Speleology*, 10, 125–126.
- Vorren, T.O. og Mangerud, J. (2008) Glaciations come and go Quaternary to Holocene (Pleistocene); 2.6 million- 11 500 years ago. I: Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A., Rangnes, K. red. *The Making of a Land*. Geology of Norway. Trondheim: Norsk Geologisk Forening, 480–533.

## Referanse

---

- Warwick, G. T. (1960) The effect of knick-point recession on the watertable. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2, 92–99.
- Wells, O.C. (1957) Some notes on Larshullet & Lapphullet caves, Northern Norway. *Transaction of the Caves Research Group of Great Britain*, 5 (1), 23–33.
- Worthington, S.R.H., Ford, D.C. og Beddows, P.A. (2000) Porosity and permeability enhancement in unconfined carbonate aquifers as a result of solution. I: Klimchouk, A., Ford, D.C., Palmer, A.N., og Dreybrodt, W. red. *Speleogenesis Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, AL, USA, 220–223.
- Zingg, T. (1935) Beitrag zur Schrotteranalyse. *Schweizerische Mineralogische und petrologische Mitteilungen*, 15, 39–140.
- Øvrevik, R. (2002). Hydrogeologi og karstkorrosjon i Grønli-Seterakviferen, Mo i Rana. Cand. Scient. oppgave, Universitetet i Bergen. Geologisk institutt.
- Øyehaug, T. Ø. (2016) Grottekartlegging og strukturgeologisk påvirkning på grottedannelse sør for Reingardslivatnet, Rana. Masteroppgave, Universitetet i Bergen. Institutt for Geovitenskap.

### Nettsider:

- B.C. Ministry of Forests. (1997) *Karst in British Columbia: a complex landscape sculpted by water (brochure)* [Internett]. For. Prac. Br., Victoria, B.C. Tilgjengelig fra <[www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00192/](http://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00192/)> [Lest 05. januar 2017].
- Britannica Academic. (2016) *Reynolds number* [Internett]. Britannica Academic. Tilgjengelig fra <<http://academic.eb.com/levels/collegiate/article/63389>> [Lest 13. desember 2016].
- Holtebekk, T. (2009). *Viskositet* [Internett]. I Store norske leksikon. Tilgjengelig fra <<https://snl.no/viskositet>> [Lest 4. januar 2017].
- Lauritzen, S-E. (2009b) *Grønligrotten* [Internett]. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <<https://snl.no/Gr%C3%B8nligrotten>> [Lest 20. april 2017].
- Lauritzen, S. E. (2011). *Karst* [Internett]. I Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra <<https://snl.no/karst>> [Lest 5. oktober 2016].
- Sivle, A. D. (2017) *Adiabatisk* [Internett]. I Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <<https://snl.no/adiabatisk>> [Lest 27. april 2017].

### Nettkart/Flyfoto:

- NGU. (2016) *Berggrunn N250*. Norges Geologiske Undersøkelse [Internett]. Tilgjengelig fra <[http://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/)> [Hentet 19.04.2017].
- NGU. (2017) *Marin grense og tidligere havdekte områder* [Internett]. Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengelig fra: <<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/?lang=Norsk&Box=-268657:6427000:1299257:7965000&map=Marin%2Egrense>> [Hentet 26.04.17].

## Referanse

---

Kartverket. (2013) *Terrengmodell* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<http://data.kartverket.no/download/>> [Hentet 07.04.17].

Kartverket. (u.å) *N1000 Kartdata* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<http://www.kartverket.no/Kart/Kartdata/Vektorkart/N1000/>> [Hentet 20.04.17].

### Foto:

Distox310 (u.å) Distox310 [digitalisert fotografi]. Tilgjengelig fra: <<http://lasers.leica-geosystems.com/global/disto/x310>> Hentet 23.november.2016].

Trimble jun0 (2016) Trimble Juno [digitalisert fotografi]. Tilgjengelig fra: <Hentet fra: [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-597605/022501-279I\\_Juno%203%20Series\\_DS\\_USL\\_0416\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-597605/022501-279I_Juno%203%20Series_DS_USL_0416_LR.pdf)> [Hentet 23.november.2016].

Settles, G. (2009) Laminar–turbulent transition [digitalisert fotografi]. Tilgjengelig fra <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29522249>> [Hentet 13. desember 2017].

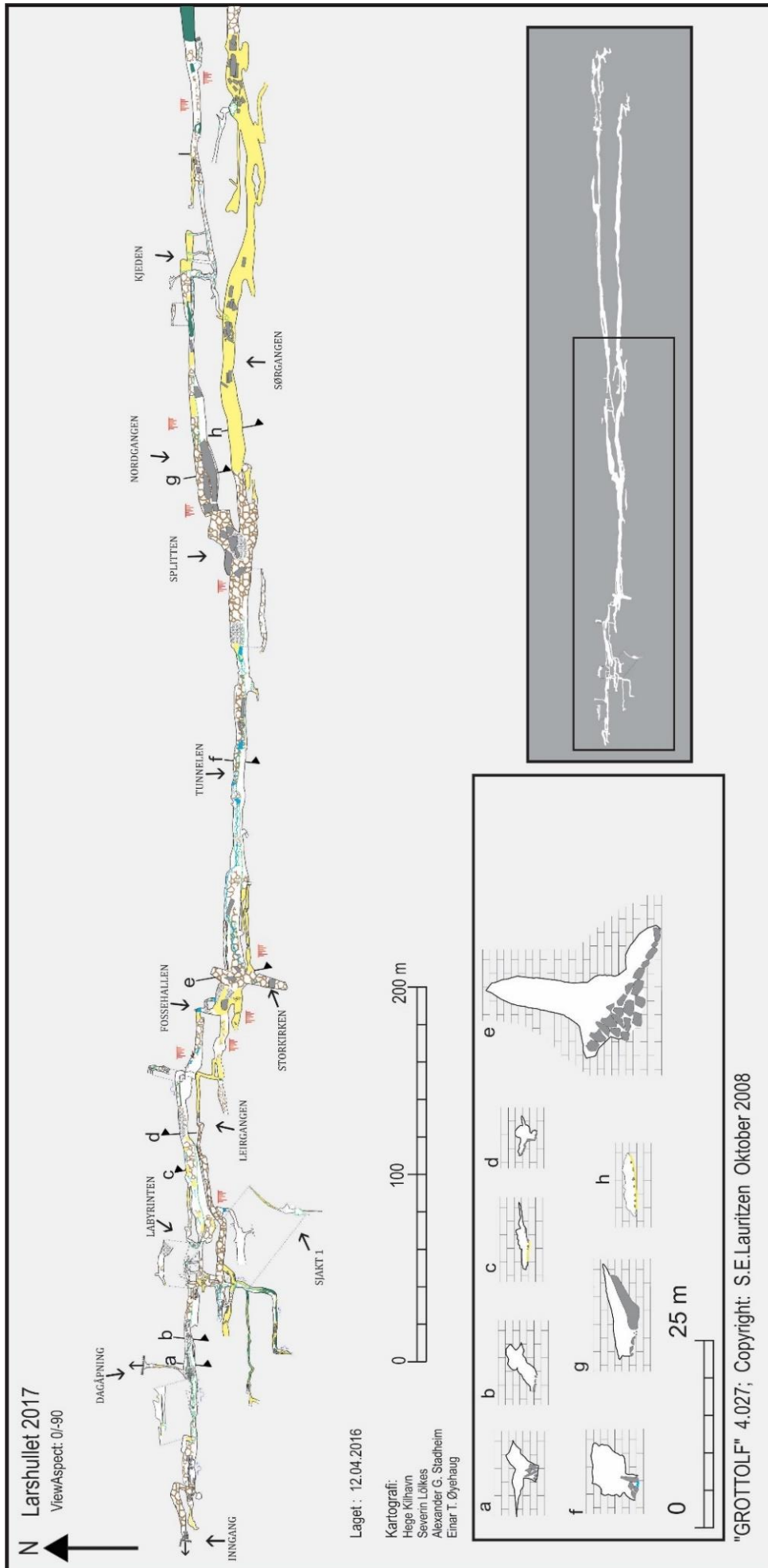






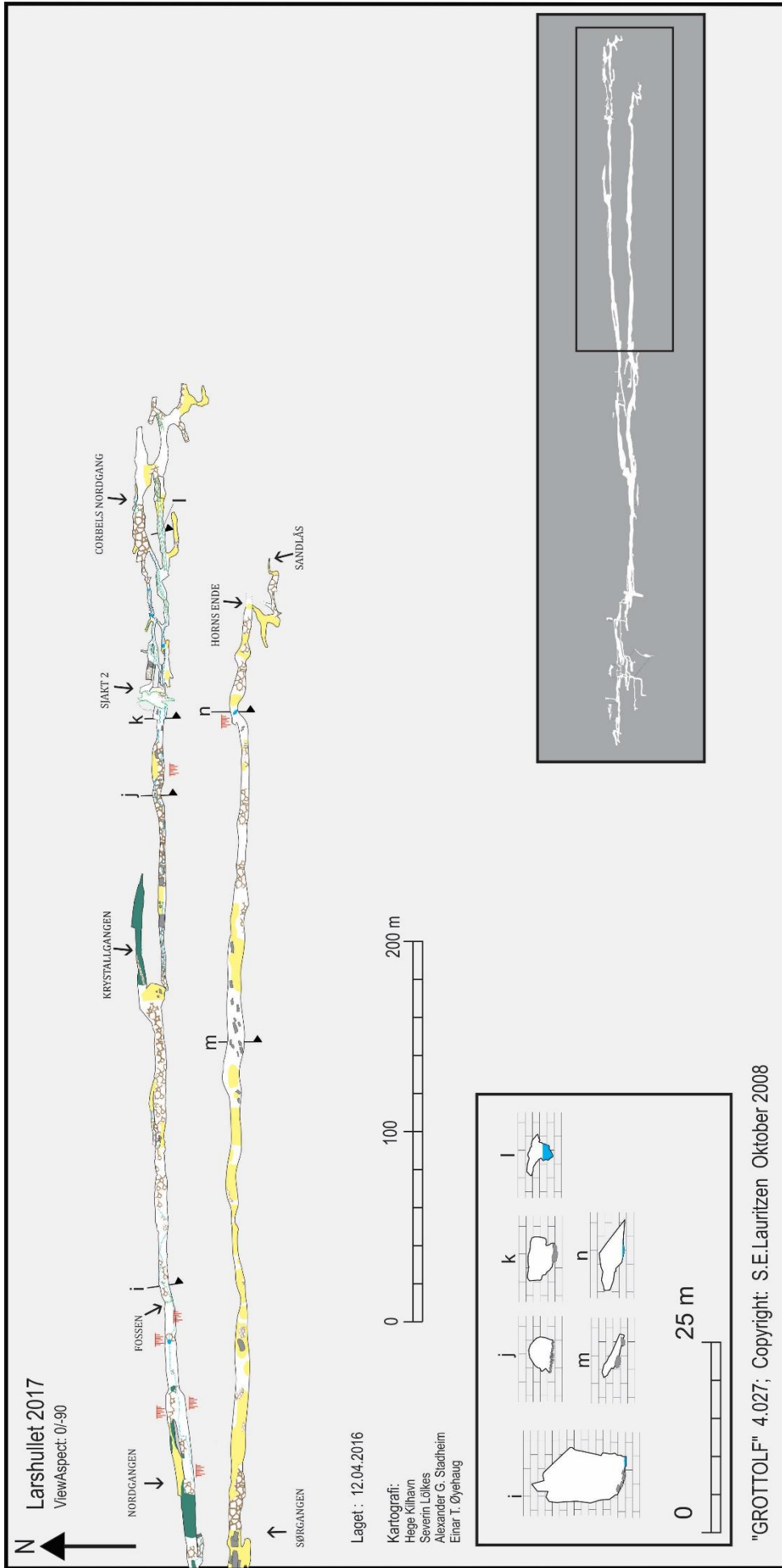
## Vedlegg 1: Kart over Larshullet

Vedlegg 1: Kart over Larshullet



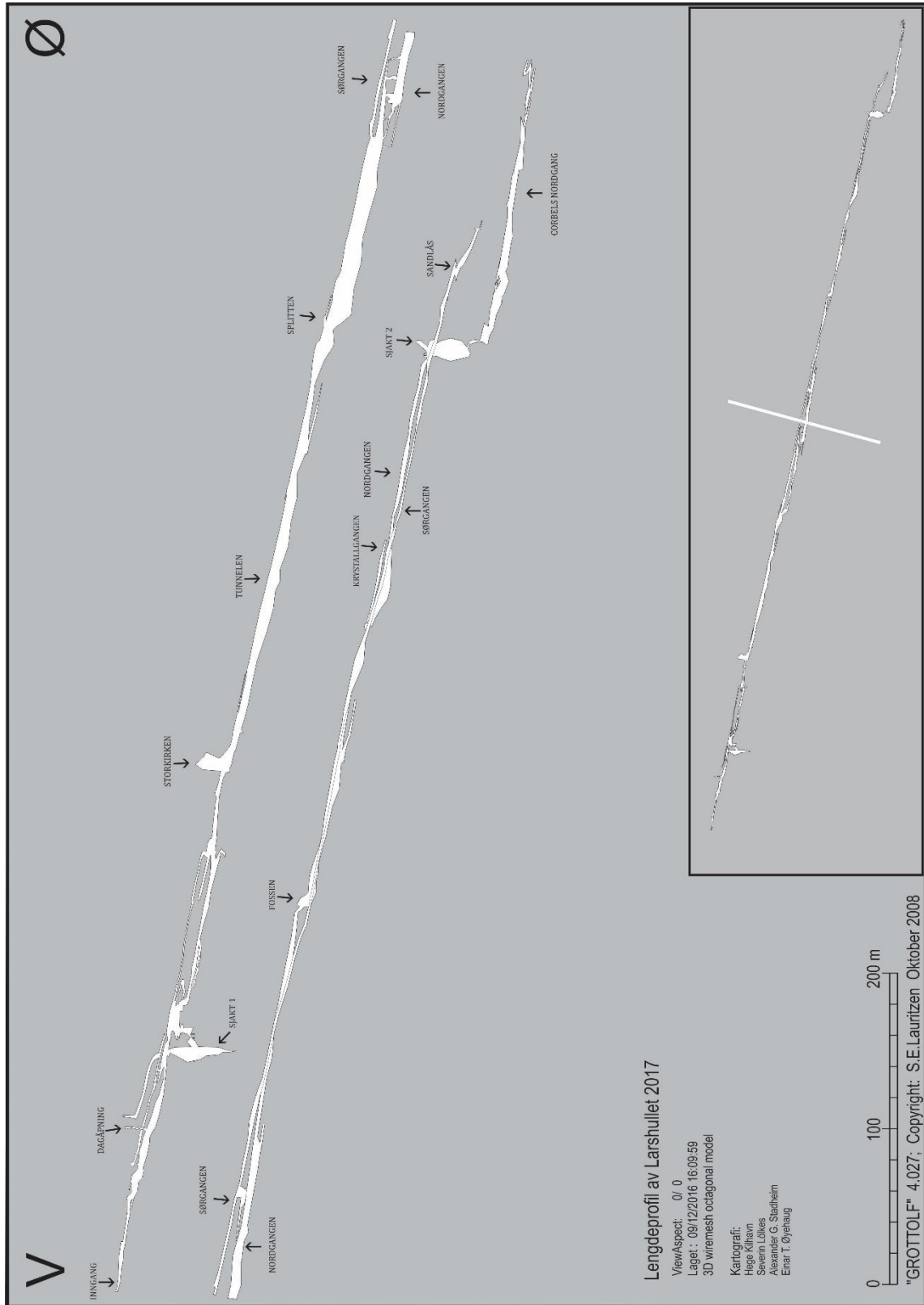


**Vedlegg 1: Kart over Larshullet**





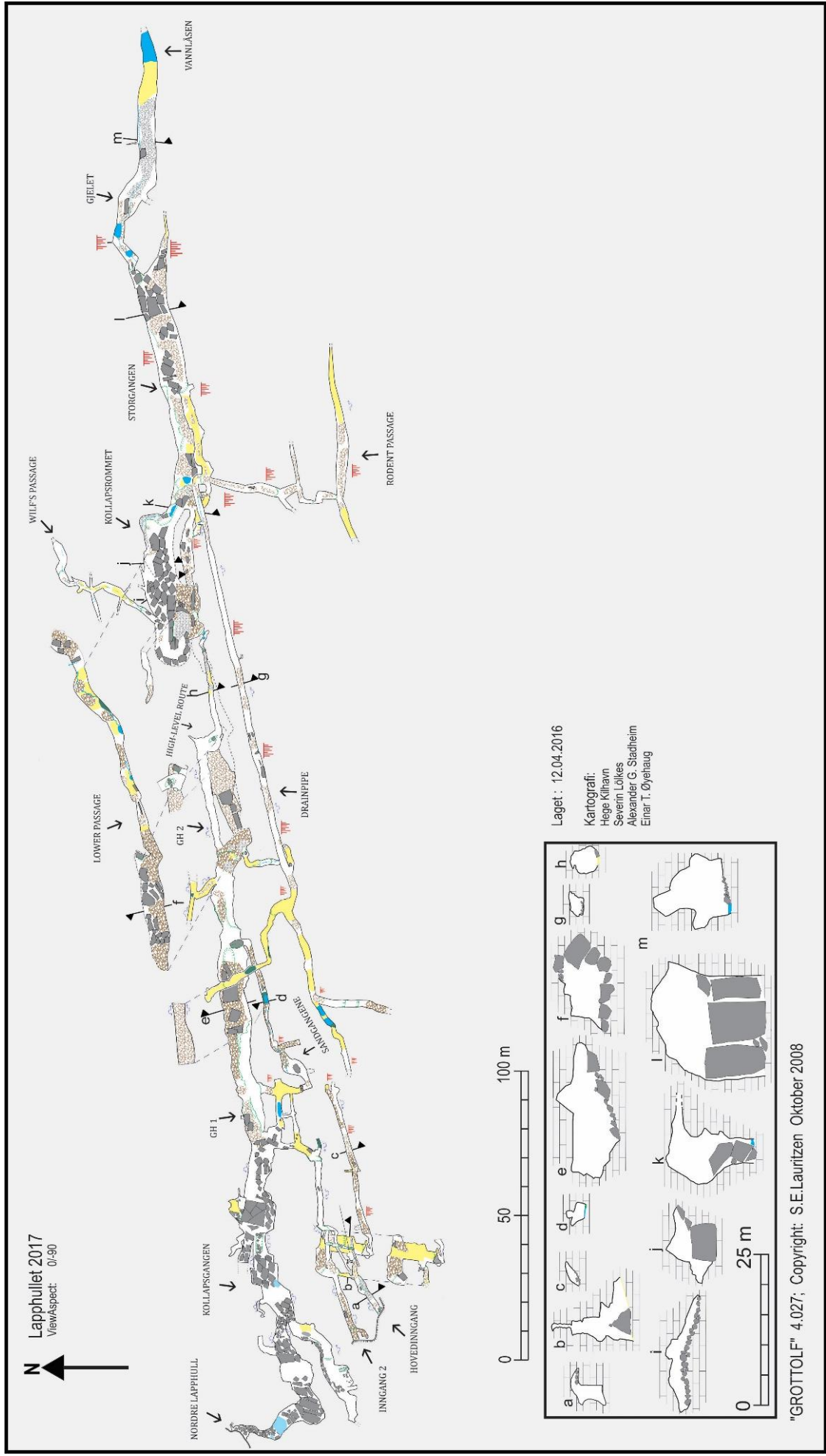
## Vedlegg 2: Lengdeprofil av Larshullet



## Vedlegg 3: Kart over Lapphullet

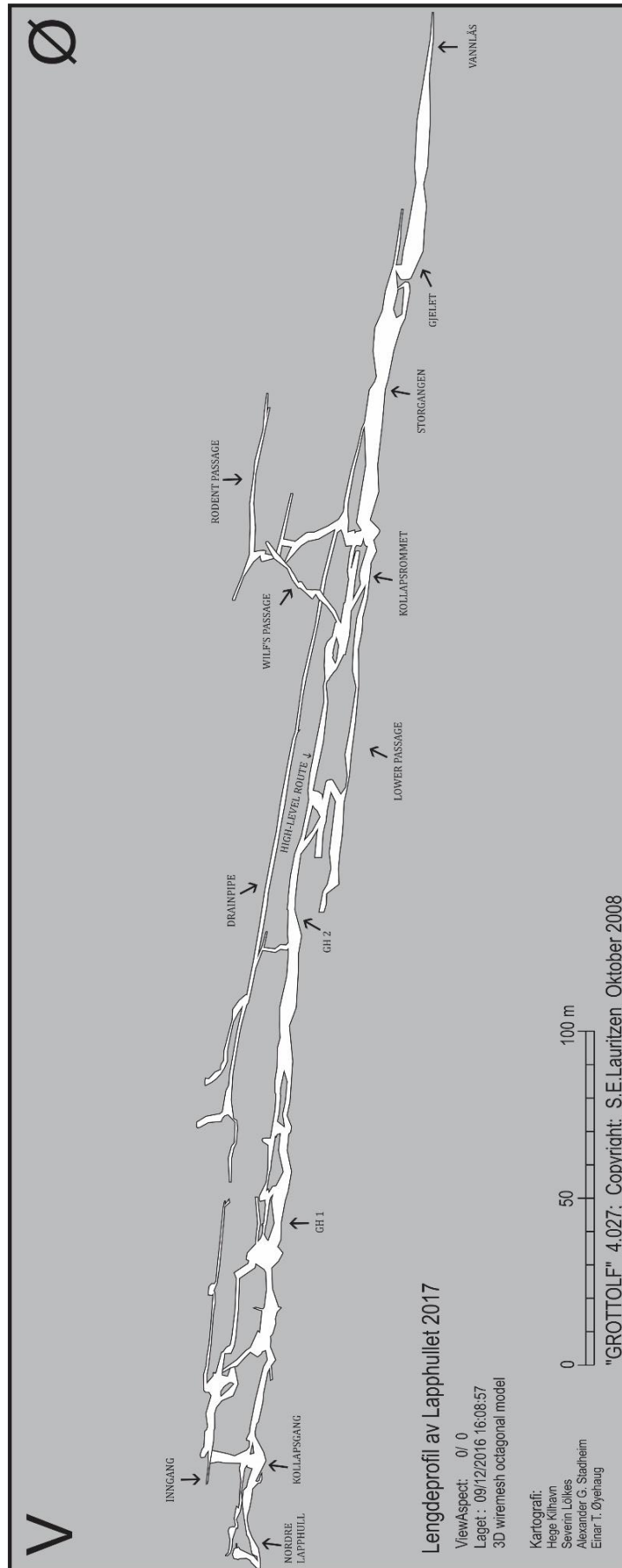


Vedlegg 3: Kart over Lapphullet



## Vedlegg 4: Lengdeprofil av Lapphullet

**Vedlegg 4: Lengdeprofil over Lapphullet**



## Vedlegg 5: Rullestein – Larshullet

Diameter (cm):

- X: største
- Y: mellomste
- Z: minste

Rundingsgrad:

- KR: Kantrundet
- R: Rundet
- GR: Godt rundet

Totalt: 949

Lokalitet: R1		Lokalitet: R2							
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad	Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	13	8	7	KR	1	17	15	13	KR
	19	16	10	KR		10	8.5	3.5	KR
	6	3.5	2.5	KR		17.5	12	7	KR
	6	6	4	R		12	9	4	KR
5	5.5	4.5	2	KR	5	14	14	7	KR
	14.5	11	4	R		15	12	4.5	KR
	20	11.5	4	KR		9	6	5.5	KR
	10	7	3	KR		14	9	6.5	R
10	9	7	5	KR	10	6	4	2.5	KR
	10	5.5	2	KR		11	10	6	KR
	7.5	5	2	KR		7	5	4	KR
	3.5	2.5	2.5	KR		6.5	6	3	KR
15	20	10	6	KR	15	12	8	6	R
	5	4	3.5	KR		12	10	5	KR
	20	14	11	KR		5	3	2	KR
	4.5	2.5	2.5	KR		14	12	7	KR
20	7	6	4	KR	20	9	7	5	KR
	21	15	8	KR		7	6	4.5	KR
	9	8	3.5	KR		19	15	10	KR
	5	3	3	KR		10	9	5	KR
25	12	8.5	5	KR	25	6	4.5	2	KR
	6.5	4.5	3.5	KR		11	9	4	KR
	9	7	4.5	KR		4.5	3	3	KR
	8	5	4	KR		5.5	4	2	KR
30	8.5	7.5	4.5	KR	30	4	2.5	2	KR
	5	4	2	KR		6.5	5	4	KR
	5	3.5	2	KR		3	2.5	2	R
	16	12.5	4	R		4	3.5	2	KR
35	4	3	2	KR	35	5	3.5	2.5	KR
	10	6.5	1	KR		4.5	3.5	2	KR
	3	2.5	1.5	KR		2	1.5	1.5	R
	10	5	2	KR		7	6	4	KR
40	11	6.5	3	KR	40	6	4	3	R
	10	8.5	4	KR		5	5	3	KR
	12	9	5	KR		6	4	3.5	KR
	19	10	4	R		3	3	1.5	KR
40	10	8	5	KR	40	6	4	3.5	KR
	8.5	6	2.5	KR		19	10	6.5	KR
	4.5	4	2	R		15	9	9	KR
	7	5.5	2	KR		13.5	11	4.5	KR
	6	4	3.5	KR		20	11	9	KR

	6.5	4.5	2.5	KR		4	3	3	KR
	3.5	3	2	KR		11	7	5	KR
	8	4.5	2.5	KR		7	6	4	R
45	7	5.5	2	KR	45	10	6	3.5	KR
	5.5	5	4	KR		5	4	2.5	KR
	5	3.5	2.5	KR		11	9	7	KR
	3.5	3	1	KR		7	5.5	2	R
	4	2.5	2.5	R		14	6	3	KR
50	18.5	12	7	KR	50	18.5	13	4	KR
	8	7	2	KR		7	6	4	KR
	6	4.5	3	KR		7.5	5	3.5	KR
	7.5	5	3	KR		13	9	4	KR
	6.5	6	3.5	KR		6	6	5.5	KR
55	12	8	5	R	55	5	4	3	KR
	3.5	2	1	KR		6	4	2.5	R
	2	2	1	KR		5	4	1.5	R
	5	3.5	3	R		6.5	4	3	KR
	3.5	1.5	1.5	KR		8	5	3	KR
60	5	4	3.5	KR	60	15	8.5	8	KR
	3	3	1	KR		5.5	5	3	KR
	2	2	2	KR		44	34	25	KR
	10	6.5	4.5	KR		7	5	4	KR
	8.5	5.5	4	KR		5	3.5	3	KR
65	6.5	4	2	KR	65	7	5	4	KR
	6.5	5	2.5	KR		17	13	4.5	KR
	5	5	3	KR		5	3	2.5	KR
	17	14	10	KR		11	8	3	KR
	6	5	2	KR		7	6	4.5	KR
70	8.5	4.5	3	KR	70	9.5	7.5	3	KR
	3	3	1.5	KR		6.5	6	3.5	R
	4	3.5	2	KR		6	5	4	KR
	6	5	4	KR		11	5	4.5	KR
	21	14	7	KR		8	5	3	KR
75	17	12	5.5	KR	75	9	7	4	KR
	5.5	4	3	R		10	5	5	KR
	25	15	5	R		14.5	12	11	KR
	29	20	7	KR		16	15	10	KR
	22	15	9	KR		9	8	4.5	KR
80	7	4.5	4	KR	80	14	9	8	KR
	31	13	13	KR		11	7	4	KR
	12	11	6	KR		10	6.5	5	KR
	15	8	3	R		13	12	7	KR
	11	8	5	KR		10	9	4	R
85	10	7	4	KR	85	4	4	2	R
	9	5	3	KR		7	5	4	KR
	25	25	17	R		6	4	4	R
	6.5	6.5	5	KR		5	5	3.5	R

90	16	8	3	KR
	5	5	3	KR
	21	12	10	KR
	12	7	5.5	KR
95	8	7	4	KR
	4	3.5	3	KR
	36	16	7	R
	9	7.5	5.5	KR
	14	10	8	KR
	6.5	6	4.5	KR
100	10	7	3.5	KR
	7	7	5	KR

90	14	9	6	KR
	11	8	3	KR
	8	8	5	KR
	23	11	9	KR
95	9	8	2.5	R
	13	10	8	KR
	11	9	4	KR
	3	2	1	KR
	11	8.5	3.5	KR
	9	8.5	6	R
100	14	11	4	KR
	8.5	4	3	KR

Lokalitet: Nr.	R3			
	X	Y	z	Rundingsgrad
1	19	12	4	KR
	8	6	2	R
	19	19	14	KR
	11	11	10	KR
5	8	5	4	KR
	18	12	4	R
	5.5	4	3	KR
	28	22	11	KR
10	20	12	7	KR
	8	7	5	KR
	17	13	8	KR
	15	11	4	R
15	4	3	0.5	KR
	6	4.5	2	KR
	9	6	2	R
	8	3.5	1	R
20	9	5.5	3	KR
	7	5	3	KR
	13	10	3	KR
	9	7	2	R
25	20	11	5	KR
	21	14	4	R
	12	10	8	R
	9	7	2	KR
30	13	8	7	KR
	10	5	3	R
	9	7	2	KR
	12	9	4	KR
30	7.5	5	2	KR
	11	6	5	R

Lokalitet: Nr.	R4			
	L	I	S	Rundingsgrad
1	7	6	3	R
	11	8	4	KR
	6	5	4	KR
	6	4.5	4	KR
5	8	7	4	KR
	5	3	1	KR
	12	8	4	KR
	7	6	1.5	KR
10	7	6	1.5	KR
	7.5	6	4	KR
	7.5	7	2	R
	6	5	4	KR
15	7	5	3	KR
	10	6	5	KR
	12	9	4	R
	11	10	7	R
20	12	10	2	KR
	3	3	0.5	KR
	7.5	7	2	R
	8.5	6.5	2	KR
25	7	3.5	2	KR
	5.5	5	2	KR
	11	10	4	KR
	11	9	5	R
30	10	7.5	5	KR
	6.5	5	3	R
	7	5	3	KR
	5	4	2	KR
30	5	3	1.5	KR
	13	11	5	R

	7	6	2	KR		11	10	3.5	KR
	5	3	2	KR		16	13.5	12	KR
	8	6	4	KR		10	9	5.5	KR
	4.5	3	2	KR		7	5	1	R
35	7	5	2.5	KR	35	8	7.5	3	GR
	5.5	4.5	1	KR		11	9	5	GR
	14	6	3	KR		23	15	10	R
	10	6	5	KR		9	5.5	4	R
	10	5	4.5	KR		10	4	2	KR
40	6	5	2	KR	40	9	8	5.5	KR
	7	4	3	R		8	5	2	KR
	6	5	2.5	KR		11	8.5	4	R
	12	8	3	KR		10	4	3	R
	6.5	6	6	KR		8	3	2	R
45	12	7	6	KR	45	4	3	3	R
	5	4	2	KR		10	6	5	GR
	20	12	6	KR		11	8	4	KR
	9	6	3.5	R		10	4	4	KR
	16	9	6	KR		15	12	4.5	KR
50	9	5.5	3.5	KR	50	5	4.5	3	R
	19	11	10	R		22	15	7	KR
	6	4	3.5	KR		13	10	4	KR
	7	5	2.5	KR		12	7	4.5	KR
	9	8	3	KR		9	5	4	GR
55	25	23	6	R	55	10	8	2.5	KR
	6	4	3.5	KR		8	5.5	3.5	GR
	10	6	4	KR		18	17	10	KR
	12	10	3.5	KR		14	13	7	KR
	6	4	4	KR		7	4	3	KR
60	7	5	4	R	60	8.5	8.5	2	R
	12	6.5	4	KR		5.5	4.5	2	KR
	6.5	4.5	4	KR		6	5	4.5	R
	18	10	9	KR		8	6	3	R
	4.5	3.5	2.5	R		12	8	4	KR
65	22	16	8	R	65	11	8	4	KR
	4	3	1.5	KR		7.5	7	2	R
	5	3	2	KR		10	9	5	KR
	11	8	6	KR		8.5	8	3	R
	7	6	4	KR		23	13	8	KR
70	7	5	2	KR	70	23	14	5	KR
	18	11	8	KR		12	8	5	R
	8	7	4.5	R		8	5.5	3	GR
	8	5.5	4	KR		8.5	7	3	R
	13	6	3.5	KR		9	6	4	R
75	4.5	4	2	KR	75	22	11	11	KR
	11	7	4	R		13	12	8	R
	8	6	4	KR		15	11	8	KR



80	6	3.5	1.5	KR
	9	5	3	R
	8	5	4	KR
	14.5	11	7	KR
	14	10	4.5	KR
85	5	5	3	KR
	8	6	5	KR
	21	17	8	KR
	4	2.5	2	R
	13.5	8	3	KR
90	4.5	3	3	KR
	13	10	5	GR
	11	8	3.5	R
	13	10	5	KR
	12	8	1.5	R
95	10	8	4	R
	10	6	6	KR
	16	8	5.5	KR
	16	10	7	GR
	19	11	3	KR
100	9	7.5	3	R
	13	6	5.5	KR
	5	4	2.5	KR

80	12	10	3	R
	11	6	4	KR
	9	7	4.5	KR
	18	14	9	KR
	5	3	2	R
85	12	10	4.5	KR
	7.5	5	3	KR
	14	9	6	KR
	10	6	3	R
	11	7	7	KR
90	7	5.5	3	KR
	7	5	4.5	GR
	11	4	1	R
	6	5	2	R
	5	3.5	2	KR
95	9	7	5	KR
	6.5	4	3	GR
	17	16	5	R
	11	10	3	R
	25	21	8	KR
100	7.5	5	5	R
	7	4.5	3	GR
	4	3	2	KR

Lokalitet:	R5			
Nr.	L	I	S	Rundingsgrad
1	5.5	5	3	R
	6	4.5	3.5	R
	5	4	3	KR
	3.3	2.3	0.8	GR
5	4.5	3	2	KR
	5	3.5	1	R
	3	3	2.5	GR
	8	4.5	3	R
10	7	5.5	4	KR
	5.5	3	2	KR
	6	4	3.5	R
	4.5	4	2	R
15	5.5	4.5	1	R
	5	3	1.5	R
	5	4	2.5	R
	6	4	2.5	GR
20	4	3.5	2	GR
	8	6	3	KR
	7	5	1.2	GR
	7	5.5	3	R

Lokalitet:	R6 (mangler rundingsgrad)		
Nr.	L	I	S
1	11.5	8	4
	13	7	6.5
	18	7	4
	11	9	5
5	10	9	7
	10	7	3.5
	11.5	9	5
	12	11	5
10	10	6	3
	8	4.5	3.5
	13	10.5	6.5
	15	8	7
15	13	8.5	5.5
	7	5	3
	8	8	4
	9	6	4
20	12	5.5	3
	12	6	5.5
	7	5	2.5
	7	4.5	3

	3.5	3	2	R		13	5	3.5
	6	4	3	R		15.5	11	5
	4.5	3.5	1	R		12	11	2
	12	9	5	R		15	10	3.5
25	4	3.2	2.4	R	25	7.5	5.5	4.5
	4.5	3	1.5	R		9	5.5	5
	4.5	3	1.5	R		8	7	4
	7.5	6.5	3	R		6	4	2
	8.5	8.5	4	KR		10	5.5	4
30	8	5	3.5	GR	30	8.5	6.5	5
	5.5	5	2	GR		6.5	4.5	3
	11.5	7.5	7	R		11	6	4.5
	7	5	2.5	GR		9	7.5	2.5
	8.5	7	4	GR		15	8.5	2
35	4	3	1.5	GR	35	18.5	11	7.5
	7.5	6.5	5.5	R		10	6.5	1
	6.5	4.5	2	GR		14	7.5	5
	8	5	4	KR		8	7	2
	5	3.5	2	KR		7	5	2.5
40	4.5	3	2	GR	40	21	15	6.5
	6.5	5	2.5	GR		13	8	7
	4	3	2.5	KR		11	7.5	6
	6	4.5	3	R		10	6	4
	11	9	5	KR		10	7	4
45	13.5	11	6.5	KR	45	10	8.5	7
	12.5	11.5	5	KR		7	6	2
	7.5	6	2.5	KR		12	8.5	4
	3.5	3	1.5	R		21	8	6.5
	4.5	3	2.5	R		7.5	6.5	4.5
50	6.5	5	3.5	KR	50	9	8	3
	8.5	4.5	4.5	KR		12	8	3.5
	5.5	4.5	3.5	GR		12	9.5	5
	6	4	2.5	GR		19	10.5	8
	4.5	3	1.5	KR		10.5	9.5	8
55	7.5	6	2.5	KR	55	6	6	2
	3.5	3	3	KR		16	11	5
	4.5	3.5	1.5	R		12	10	6
	5.5	4.5	2.5	KR		10.5	6.5	5
	6.5	5	4	GR		8	6	5
60	7.5	5.5	5	KR	60	9	7.5	3.5
	8	5	3	KR		11	7.5	3
	5	4	2.5	GR		9	7	4
	6	4	1	GR		12	7	1
	5.5	3	2	KR		9	7	5
65	13	10	2.5	R	65	10.5	6	4
	6	4.5	1	GR		11	10	6
	5	4	3	R		13	12	5.5

70	5	4	3.5	KR
	3	2.5	1.5	R
	5	2.5	1.5	KR
	3	3	1.5	GR
75	6	5.5	3	KR
	2.5	2	1	GR
	4.5	3	2.5	KR
	3.5	3.5	2.5	KR
80	4	3.5	2	KR
	5.5	4	3	KR
	4	3	3	GR
	3.5	2.5	2	GR
85	5	4	3.5	KR
	9	6.5	5	KR
	5.5	5	4	KR
	7	7	4.5	KR
90	17	14	11	KR
	9	4.5	2	KR
	5.5	3	2	R
	5.5	4.5	3	R
95	21	14	12	R
	6	3.5	2.5	R
	10	7	5	R
	6	6	2	KR
99	5	4	1	KR
	13	10	6	R
	9	5.5	4	R
	7	4	2	R
99	7	4.5	2	R
	5	5	2.5	R
	7.5	6.5	3.5	GR
	6	4	3.5	KR

70	9	8	3
	13.5	7.5	3
	8	8	6
	10	7	3.5
75	5	4	2.5
	9	8.5	4.5
	5.5	3.5	2
	7	7	2.5
80	14	11	7.5
	7.5	7	4
	12	8	5
	7	4.5	2.5
85	9	7	4
	8	5	2.5
	12	7	5
	10	9	5.5
90	6	5.5	2.5
	19	15	8
	14	10	6.5
	14	9	3.5
95	10	5	3.5
	10.5	8.5	3
	16.5	9	7.5
	11	9	3
99	9	5.5	3
	12	6	5
	10.5	7	7
	11.5	8.5	4.5
99	31	18	15
	10	6.5	3
	14	12	6.5
	13	12.5	7.5

Lokalitet:	R7			
Nr.	L	I	S	Rundingsgrad
1	6	4	3	KR
	6	5.5	2	R
	5	4	3	KR
	5	3	2	R
5	5.5	3	2	KR
	8	6	1.5	R
	5	3.5	2	R
	5.5	3	2	KR
10	7.5	7	4	KR
	7	5	4	R
	4.5	3	3	KR

Lokalitet:	R8			
Nr.	L	I	S	Rundingsgrad
1	7	6	4.5	KR
	6	5	2	GR
	3.5	2	2	KR
	6	3	3	KR
5	7	3.5	3.5	KR
	3	2	1	R
	7	4.5	3.5	R
	5	4	3	GR
10	6	4	3	R
	6	4	3.5	KR
	6	4	4	R

	4	2.5	2	KR		9	8	5.5	KR
	5.5	5	3.5	R		7	3.5	2.5	KR
	7	5	1	R		6	4	2	R
15	7	4.5	3	KR	15	5.5	5	2	R
	3	2	2	KR		3	2	2	R
	4.5	3.5	2	GR		7	5	2	GR
	4	3.5	2.5	R		18	11	7	R
	5	2.5	1.5	R		7	4.5	3	R
20	4.5	4.5	3	GR	20	8	5	4.5	GR
	4	3.5	2	R		8	5	4	GR
	7	6	4	KR		6	6	3.5	GR
	5	5	2	GR		7	5	3	GR
	6	5	2	R		6	6	2	GR
25	2.5	2	2	KR	25	6	6	4	KR
	4	3	2.5	KR		7	5	5	KR
	7	5	3	KR		6	5	3	R
	7	5	2.5	KR		5	4	4	KR
	10	5.5	3.5	KR		9	6	3	R
30	4	3.5	2.5	R	30	6	4	3	R
	5	5	3	GR		9	8	4	GR
	5	4	3	KR		10	8	4	GR
	6.5	5	2	GR		5.5	4	2.5	GR
	3.5	2.5	2	KR		6	4	3	GR
35	3	2	2	KR	35	6	4	3	KR
	4.5	3	2	KR		5	4	2	R
	5.5	5	2	KR		6	6	4	KR
	6	4	3	KR		10	4	4	KR
	6.5	5	3	R		10	10	8	KR
40	4	4	2	R	40	4	2	2	KR
	6	5.5	5	GR		5	4	1.5	KR
	7.5	6.5	2	KR		3.5	2.5	2	R
	19	9	4	KR		7	3.5	3	KR
	10	8.5	7	KR		4	2	2	KR
45	7.5	6	4	GR	45	5	2.5	2.5	KR
	9.5	7	6.5	KR		7	3	2.5	KR
	6	4	1.5	R		4	3	2.5	KR
	4	3	2.5	R		3.5	2	2	GR
	6.5	3	2.5	R		8	6	3	GR
50	14	8	4	KR	50	6	6	4	KR
	4.5	3	2	KR					
	7.5	5	4	KR					
	6.5	4.5	2	KR					
	3.5	2	2	GR					
55	4	2.5	1	R					
	6	4.5	2	R					
	4	3.5	1.5	KR					
	10	7	5.5	R					

60	5	4.5	3	KR
	13	9.5	7	KR
	8	7.5	4	R
	10	6.5	4.5	R
65	9	6.5	3	R
	4.5	4	3	R
	10	7.5	6	R
	7.5	6	3	R
	8.5	6	4	KR
	8.5	8	4.5	GR
70	5	4	3	KR
	7	5	4	KR
	6	4.5	2	KR
	4	2.5	2	GR
	12.5	8	7	KR
75	5	5	3	KR
	16	6	3	KR
	5	3.5	3	R
	7	4	3	R
	5	2.5	2.5	R
	7	6	4	R
80	5	3	2.5	R
	3	2	1	GR
	4	3	1	GR
	4.5	4.5	3.5	KR
	3.5	2	1	R
	5.5	5	1.5	GR
	8	5	4	R
85	3.5	3	1.5	R
	8	7	5	R
	5	3.5	3	R
	8.5	6	3.5	R
	7	4	2	GR
	6	4	3	R
90	3.5	2	1	GR
	5	4	2	R
	4	3.5	1	R
	4.5	3	2.5	R
	7	6	5	R
	7	5.5	5	R
95	4.5	3.5	3	GR
	3.5	2.5	2	R
	100	3.5	2	R

Lokalitet:	R9			
Nr.	L	I	S	Rundingsgrad
1	5	4	2.5	GR

Lokalitet:	R10			
Nr.	L	I	S	Rundingsgrad
1	4.5	4	2	KR

	3.5	2.5	2	R		3	3	1	KR
	2.5	2	1	KR		7	4.5	4	R
	5.5	4	2	KR		3	3	2	KR
5	4.5	3	3	KR	5	4	2	0.25	KR
	3	2	1	R		4	3.5	2	R
	2.5	2	1	GR		5	3.5	3	R
	4.5	3.5	2	GR		8	5	4	KR
	2	1.5	0.5	GR		2.5	2	1	R
10	5	4	3	R	10	4.5	4	2	KR
	5	4	2.5	KR		5	4	2.5	KR
	2	2	1	R		3	3	1.5	GR
	5	4	2.5	KR		4	3	2	KR
	4	3.5	2	KR		10	4.5	3	KR
15	3.5	2.5	2	R	15	3	2	2	R
	3	2	1	GR		2.5	2	1	R
	4	2.5	1	GR		4	4	2	KR
	4.5	3	1	R		5	3.5	2.5	KR
	3	2	1	R		3.5	3	1	KR
20	6	5.5	3	KR	20	5	4	2.5	KR
	4.5	3	2	R		5	4	3	GR
	8.5	6	4.5	KR		4.5	3	2	KR
	4.5	3	2	R		6	3.5	3	KR
	5	4	2.5	R		4	2.5	2	R
25	4	3.5	2.5	R	25	3	2	1.5	R
	5	4	2	GR		6	5	4	GR
	6	4.5	3.5	R		4	2	2	GR
	4.5	4	3	KR		5	4	2.5	KR
	8	3	2	KR		4	3	1	GR
30	3	3	1	GR	30	6	4.5	3	R
	4	3	2.5	KR		6	4	3	KR
	5	4	3	KR		7	4	2.5	KR
	2.5	2	1.5	R		4	4	2	R
	5	4	1.5	GR		7	4	3	R
35	3	2.5	2	KR	35	5	4	2	R
	4.5	3	1	GR		3	2.5	2	R
	6	4.5	3	R		4	2.5	1.5	KR
	3	2.5	2	GR		3	2	2	R
	2.5	2	1.5	GR		6	5	4	R
40	3.5	2.5	1	GR	40	4	3	2	R
	3.5	2.5	1	R		4	3	1	GR
	6.5	4	1	KR		6	3	2.5	KR
	5	4.5	2	KR		4	3.5	1	GR
	6	4.5	2	KR		6	4	1.5	R
45	2.5	2	1.5	GR	45	5.5	5	2	R
	3	2	1.5	KR		7.5	6	5	R
	3.5	2.5	1	KR		5	4	3.5	KR
	3	2.5	1	KR		5.5	3	2	R

50	6	6	3	R	50	7	4.5	3	R
	5	4.5	1	R		8	4.5	1.5	R
	5	2.5	1	KR		3	2.5	2.5	KR
	5	4	1	KR		5	3	2.5	R
	6	3.5	1.5	KR		6	4	3	R
	5.5	3.5	3	KR		6.5	3	1.5	R
55	3.5	3	1	R	55	3	3	1	GR
	8	3.5	2	R		4	3.5	2	R
	2.5	2.5	1	GR		3.5	3	2	GR
	5	4	3	KR		7	6	3	R
	3.5	2.5	1.5	KR		5.5	4	2	KR
60	4	3	2	KR	60	8	4	4	R
	3.5	2.5	1	GR		3	2	2	R
	4.5	3	3	KR		5	3	2.5	R
	3.5	2	1	GR		5	3.5	2	R
	7.5	5.5	4	R		5	3	2	KR
65	4	3	2	R	65	6	4	3	R
	5	3	2	R		6	3	2.5	R
	3	2	1.5	GR		4	3	2	GR
	4	3	1	R		5	4	1.5	R
	7.5	5	1.5	R		3	2.5	1	GR
70	3	2.5	2	R	70	5	4	2.5	KR
	4	3	2	R		5	3	2	KR
	5	3.5	2	R		4	3	1	GR
	2	2	2	GR		5	4	1.5	R
	6	6	3	GR		3	2.5	2	R
75	7	4	2	KR	75	7	4.5	3	KR
	6	5	3	KR		3	2.5	1.5	GR
	5	4	1.5	KR		7.5	4.5	3	GR
	6	5.5	2	R		6.5	3.5	1	R
	6	4	3	R		5	4	2	KR
80	6	5	3	R	80	6	4	3	R
	4	4	2	GR		5	4	3	GR
	7	6	3	GR		2.5	2.5	2	GR
	5	3.5	2.5	R		4	3	2	R
	4.5	4	2.5	GR		4	3	2	GR
85	5	4	2	R	85	3.5	3	2	GR
	5	5	2	R		6	4.5	2.5	GR
	6	5	1	R		6.5	4	1.5	R
	6	4.5	3	R		4.5	3.5	2	R
	4	3.5	2.5	R		3	2.5	2.5	GR
90	5	4	2.5	GR	90	8	6	4	KR
	5	4.5	2	GR		4.5	4	2.5	KR
	5	5	3	R		4	3	2.5	R
	10	8	4.5	R		5	3.5	2	R
	10	6.5	6	GR		2.5	2	0.5	GR
95	8	4	4	R	95	4	3	1.5	GR

**Vedlegg 5:****Rullestein - Larshullet**

---

	12	7	4	GR
	8	5.5	3	R
	9	5.5	3	R
	10	5	4.5	KR
100	8	7	3	R

---

---

	6	4	2	GR
	4	3	2	GR
	6	5.5	3.5	GR
	4	4	2	R
100	6	4.5	2	R

---



## Vedlegg 6: Rullestein – Lapphullet

Diameter (cm)

- X: største
- Y: mellomste
- Z: minste

Rundingsgrad.

- KR: Kantrundet
- R: Rundet
- GR: Godt rundet

Totalt 1021.

**Vedlegg 6:**
**Rullestein - Lapphullet**

Lokalitet: R1					Lokalitet: R2				
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad	Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	5	4	2	KR	1	18	12	7	R
	8	4	3	KR		14	11.5	9	R
	7	6.5	4	KR		8	6.5	2.5	R
5	7	5.5	4	KR	5	8	7	3	R
	6	5	2.5	KR		15	10.5	9.5	R
	7.5	6.5	3.5	KR		10	5	4	KR
	5	4	2.5	KR		5	4	4	KR
10	5	3	2.5	KR	10	10	8.5	7	GR
	13	12.5	8	R		7.5	7	5	KR
	11	5.5	5.5	KR		4	2.5	2.5	R
	17	12	12	R		6	5.5	2	R
	5.5	5	2	KR		12.5	11	7	R
15	7	4	3	KR	15	5.5	5	2	R
	5.5	3	2	KR		8.5	4	3	KR
	9	6	5.5	R		5.5	3.5	2.5	KR
	15	8	4.5	KR		3	3	2	R
20	5	3	2.5	KR	20	4	2	1.5	R
	29	16	14.5	KR		7	3.5	1.5	R
	12	5.5	5	KR		4	3	1.5	KR
	12	7.5	4	KR		3	2.5	2	R
	27	18	15	KR		23	19	9	R
25	17	13.5	7	KR	23	12	8	8	GR
	18	15	10	KR		8	7.5	3	KR
	19	11	6	KR					
	13	7	7	KR					
30	19	18	10	KR					
	15	10	7	KR					
	11	9	3.5	KR					
	6	5.5	5.5	KR					
	6.5	5	2.5	KR					
35	6.5	6	2.5	KR					
	12	7.5	5	R					
	9	8	5	R					
	5	4	2.5	R					
40	8	7	4	KR					
	8	7	4	R					
	10	3.5	3	KR					
40	6	4	2	R					
	7	5	3	R					
	6.5	5	3	KR					
	7	4.5	3	KR					

Lokalitet: R3				
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	5	3	2	R
	3.5	3	2	KR
5	5.5	5.5	4	KR
	7	6	3.5	KR
	9	7	5	KR
	4	4	2	KR
10	5	3	2.5	KR
	8	7.5	3	KR
	10	6	2.5	KR
	10	7.5	6.5	KR
	7	5.5	5	KR
	12.5	7	5	KR
10	4.5	3.5	2	KR
	11	7.5	4.5	KR

	11	5	4.5	R	15	14	9	5	KR
	10	5	3.5	KR		10	8	3	KR
	5	3	3	KR		7	6	3	KR
45	12.5	11	4.5	KR		8	6	2	KR
	10	9	8	KR		5.5	2.5	1.5	KR
	25	15	4	KR	20	6.5	4	3	KR
	10	7	5	R		6	3.5	2.5	KR
	6	5	3.5	R		10	5.5	3	KR
50	6	5	4	KR		18	16	6	KR
	13	13	5.5	KR		7	5	3	KR
	7	6.5	4	KR	25	7	4	3	KR
	5	4	4	KR		10	9	5	KR
	18	9	5	KR		7	5	3	KR
55	13	8	5	KR		6	4	3	KR
	23	12	9	KR		3	3	2.5	KR
	13	8	4	KR	30	7	4	4	R
	12	9	6	KR		5	4	3	KR
	7	3	3	KR		5	2.5	1	KR
60	5	2.5	2	KR		8	6	5	R
	2	1.5	1	KR		6	4	2.5	KR
	3	2	1.5	KR	35	8	5	4	KR
	3	2	2	KR		5	3	2.5	KR
	29	17	10	KR		5	4	2.5	KR
65	5	3	2	KR		9	6	3	KR
	3.5	2.5	1.5	R		5	4	3	KR
	17	14	10	KR	40	7	4.5	3	KR
	14	11	8	KR					
	11	7	6	R					
70	5	3	2.5	KR					
	14.5	10.5	7	R					
	4	3	2	KR					
	5	4	2	KR					
	6	6	3	KR					
75	6	6	4	KR					
	4	4	2.5	KR					
	8	7.5	5	KR					
	9	5	4	KR					
	3	3	2.5	R					
80	10.5	9	3.5	KR					
	10	9	4	KR					
	10	6	4.5	KR					
	5	4	3.5	KR					
	15	9	4	KR					
85	12	6	2	KR					
	5	4.5	2	KR					
	9	5	4	KR					
	9	7.5	3	KR					

90	7.5	5	3.5	KR
	5	4.5	2.5	KR
	7	4.5	4	KR
	4.5	3	2.5	R
95	4	2.5	2	KR
	7.5	5	3	KR
	6.5	6	4	KR
	17	15.5	5	KR
	4	4	3	KR
	3.5	3	2	KR
	3.5	2.5	1	KR
100	4	3	2	KR

Lokalitet: R4				
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	35	28	17	KR
	16	10	9	KR
	14	12	10	KR
	11	10	4	KR
5	40	36	15	KR
	13	10	7	R
	7	6.5	4	KR
	4.5	4	2.5	KR
10	10	5.5	4	KR
	21	18	10	KR
	16	10	7	KR
	12	12	7	KR
	12	9	4.5	KR
15	4	3	2	KR
	8.5	6	5	KR
	10	8	6	KR
	12	11	7.5	KR
20	14	10	7	KR
	10	8.5	2	KR
	7	6	3.5	KR
	4	3.5	3	R
	9	7	5	R
25	8.5	6	3	KR
	9	8	2	KR
	9	6	3	KR
	9	6	2.5	KR
	11.5	9	3	KR
	4	4	2	KR
30	14	8.5	2.5	R
	5	3.5	2.5	KR
	7	6	3	KR

Lokalitet: R5a				
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	39	25	17	KR
	25	20	16	KR
	26	20	10	KR
	22	14	12	KR
5	20	14	10	KR
	16	11	7	KR
	21	16	10	KR
	20	19	17	KR
	16	12	6	KR
10	21	19	9	KR
	15	14	6	R
	16	11	6	R
	15	11	6	KR
15	26	22	8	R
	25	15	5	KR
	25	20	7	R
	29	15	10	KR
	30	21	10	KR
20	13	9	5	KR
	32	20	9	KR
	41	37	9	KR
	15	14	5	R
	23	14	10	KR
25	20	19	9	KR
	20	17	8	KR
	18	15	5	KR
	16	14	10	KR
	16	15	14	KR
	42	18	10	KR
30	25	14	9	KR
	16	8.5	6	KR

	11	6.5	3	KR		16	9	6	KR
	12	11.5	3	KR		24	16	10	KR
	20	11	7	R		31	25	10	KR
35	6	5	4.5	KR	35	17	15	6	KR
	14	11	6	KR		11	11	7	KR
	11	6	4.5	KR		20	11	6	KR
	8.5	5.5	5.5	R		18	13	5	KR
	7	4	2	KR		18	14	14	KR
40	11	7.5	2	KR	40	31	26	15	KR
	10	4.5	4	KR		22	21	9	KR
	32	21	18	KR		28	25	20	KR
	10.5	8	5	KR		27	15	10	KR
	7.5	6	3	KR		42	17	15	KR
45	9.5	8	2.5	KR	45	20	14	9	KR
	13	10.5	5	R		32	18	13	KR
	8	4	2.5	KR		27	21	10	KR
	15	11	3	KR		10	9	6	KR
	7.5	6	3.5	KR		10	7.5	7.5	KR
50	6	5.5	3	KR	50	14	13	8	KR
	8	7	5.5	KR		18	15	7	KR
	10	8	4	R		12	9	4	KR
	4.5	3.5	2.5	KR		15	10	7	KR
	12	10	3	KR		22	16	15	KR
55	9.5	4	1	KR	55	14	10	8	KR
	11	10	3	KR		10	9	5	KR
	9.5	5.5	5	R		22	19	15	KR
	12	9	3.5	KR		34	23	21	KR
	13	8.5	2.5	KR		21	16	8	KR
60	12	8	7	KR	60	20	11	8	KR
	8.5	7.5	6.5	KR		17	8	6	KR
	16	13	7.5	KR		16	11	7	KR
	10	8	7	KR		23	18	12	KR
	13	10	3.5	KR		21	20	18	KR
65	9	8	7.5	GR	65	15	11	9	KR
	11	9.5	6	KR		26	24	8	KR
	11	10	10	KR		16.5	9	5	KR
	11	6	2.5	R		17	12	5	KR
	14	12.5	8	KR		29	26	15	R
70	7	5	3	KR	70	18	12	11	KR
	9	5.5	4.5	KR		21	20	11	KR
	6	5.5	2.5	R		18	13	9	KR
	19	16.5	9.5	KR		39	23	15	KR
	18	17	3	KR		30	26	22	KR
75	17.5	13.5	12.5	KR	75	24	15	13	KR
	16	13	5	KR		23	19	7	R
	15	8	5	R		18	14	6	KR
	6.5	4	2.5	R		10	7	6	KR

80	13	9	3	KR
	9	8.5	3.5	R
	7	5.5	4	KR
	12.5	9.5	7	KR
85	13	10	6	KR
	9.5	8	3.5	KR
	13	8	5	KR
	3.5	2.5	1.5	R
	15	9.5	3.5	R
	18	12	9.5	R
	9	7	3.5	KR
90	8	6	3.5	KR
	10	5	4	KR
	9	6.5	1	KR
	14.5	10	5	KR
95	19	8.5	6.5	KR
	10	6.5	5	KR
	37	37	19	KR
	10	7	6.5	KR
99	32	24	10	KR
	31	21	12	KR

80	19	13	9	KR
	29	21	19	KR
	15	13	11	KR
	26	13	10	KR
85	10	8.5	6	KR
	9	8	5.5	KR
	7.5	7	5	KR
	12	9	7	KR
	10	8	5	KR
	10	9	6	KR
	13	12	7	KR
90	12	11	6	KR
	12	6.5	6	KR
	25	12	12	KR
	25	15	11	KR
95	14	14	7	KR
	31	28	10	KR
	25	21	8	KR
	14	13	5	KR
100	20	9	7	KR
	30	14	12	KR
	13	10	9	KR

Lokalitet: Nr.	R5b			
	x	y	z	Rundingsgrad
1	5	3.5	2.5	KR
	3	3	2	KR
	6.5	5	2.5	KR
	7.5	7.5	4.5	KR
5	7.5	7.5	4	R
	6	5.5	2.5	R
	4.5	3	2	KR
	5	4.5	4	KR
10	6.5	4	2.5	KR
	6.5	4.5	3	KR
	10	5	3	KR
	4	3	3	R
15	3	2.5	2	KR
	9	6.5	5	KR
	5	3	1	KR
	6	4	2	KR
20	4	4	2	R
	5	4	2.5	KR
	6.5	5.5	3.5	KR
	5.5	4	3	KR
	4.5	3	3	KR

Lokalitet: Nr.	R6			
	x	y	z	Rundingsgrad
0	20	18	7	KR
	14	11	6	KR
	8	6	6	KR
	18	15.5	5	R
5	7	5.5	3	KR
	9	9	5	KR
	11	9	6	GR
	9	7	3.5	KR
10	8	6	4	R
	11	7	7	KR
	13	6	5	KR
	5	3	3	GR
15	11	8	7	KR
	15	11	5	R
	15	11	7	KR
	9	6	4	KR
20	11	5.5	3	KR
	19	14	5	R
	6	6	3	R
	7	5	3	R
	11	9	6	KR

	9	8	6	R		8	6	4	KR
	8	5.5	5	KR		6	3	2	KR
	6	6	4.5	KR		10	7	6	KR
25	6	4.5	3	KR	25	9	5	3	KR
	6.5	5	4	KR		10	7	4	KR
	4	3.5	2	KR		10	8	3	KR
	5.5	5	4	KR		14	12	5	KR
	7.5	6	2.5	KR		11	8	7	KR
30	6	6	2.5	R	30	9	4	3	KR
	7	5	2	R		12	10	5	KR
	8	3.5	3.5	KR		12	7	4	KR
	5	3.5	1	R		16	8	6	KR
	6	5	3.5	KR		14	11	9	KR
35	7	5.5	3.5	KR	35	12	8	4	KR
	5.5	4.5	2	R		8	7	3	R
	8	5	3	KR		8	6	3	KR
	7	4	3	KR		22	18	14	R
	8	7	2	R		8	5	4	KR
40	6	4	1	R	40	20	11	7	KR
	3	3	2	R		5	3	3	KR
	6.5	4	3	R		25	15	7	R
	3	2	2	KR		8	4	3	KR
	4	2.5	2	KR		7	4	2	KR
45	4	3.5	1.5	KR	45	7	5	4	KR
	6	4.5	4	KR		7	4	3	KR
	6	5	4	KR		14	10	6	KR
	3	2	2	KR		9	6	3	KR
	4	3.5	2	R		12	7	7	KR
50	3	2.5	2	R	50	13	9	8	KR
	6.5	4.5	3	KR		13	7	7	KR
	4	3	2	KR		42	28	22	KR
	4	3	2	KR		28	24	17	KR
	7	3.5	2.5	KR		16	13	7	KR
55	4	3.5	2	KR	55	14	13	7	KR
	5	4.5	3	KR		14	8	6	R
	6	4	2	R		16	9	7	R
	7	5	2	KR		42	30	15	KR
	8	5	2.5	KR		22	21	10	KR
60	6	3.5	3	KR	60	32	18	8	KR
	5	3	2	KR		38	32	20	KR
	4	3.5	1	KR		30	16	15	KR
	4	3	2.5	KR		21	13	8	GR
	6	4.5	3	KR		13	7	5	GR
65	5	4.5	1	KR	65	6	6	4	GR
	4.5	3.5	3.5	KR		7	5	4	R
	10	4	3.5	KR		7	7	4	GR
	4	3	2.5	KR		7	5	4	KR

70	8	7	4	KR
	4.5	3	1.5	R
	2.5	2	1.5	R
	2.5	2	2	KR
75	3	2.5	1.5	R
	3	2.5	1	KR
	5	5	3	R
	4	3	2.5	R
	3.5	3	1	KR
80	4	3	2	KR
	5	4	1	KR
	3	2	1.5	KR
	3	2	1	KR
	5	3.5	2	KR
	7.5	4.5	2	R
85	5.5	4	3	KR
	5.5	4	1.5	KR
	9	7	1.5	KR
	5.5	4	1	KR
	8	4	3	KR
90	3.5	3	1.5	KR
	3	3	1.5	KR
	3	2.5	1.5	KR
	6	4.5	2.5	KR
	8	5.5	1.5	R
95	9	7	3	R
	8	5.5	2.5	KR
	6	5	3.5	KR
	7.5	4.5	3	KR
	4	4	2	KR
100	5	3.5	2	KR

70	6	4	4	R
	6	5	2	KR
	10	9	5	R
	6	6	3	KR
75	10	7	5	KR
	16	8	6	KR
	16	10	5	R
	8	8	5	KR
	7	5	4	KR
80	10	10	2	R
	8	7	4	KR
	23	17	14	R
	6	4	3	KR
	6	6	2	KR
	5	4	3	R
85	6	5	4	R
	4	3	3	KR
	7	5	5	GR
	5	4	2	R
	11	9	5	R
90	8	6	4	R
	9	7	4	KR
	6	5	4	R
	11	9	7	GR
	12	9	6	KR
95	8	8	6	R
	9	6	4	R
	9	7	5	KR
	8	6	4	KR
	7	6	3	KR
100	25	14	13	R
100	17	12	11	R

Lokalitet:	R7			
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	12	7	6	KR
	10	8	7	KR
	20	15	10	KR
	6.5	5.5	4	KR
5	10	7	2.5	KR
	16	10	7	KR
	7	6	3	R
	12	8	3	R
10	10	7	6.5	KR
	16	11	9	KR
	10	7	4	KR

Lokalitet:	R8			
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
0	14	12	5.5	GR
	12	9.5	3	R
	9	6	4	GR
	7	5.5	4.5	KR
5	9	6	4	R
	6	4	3	R
	6	5	2	R
	6.5	4	3	R
10	14.5	12	8	GR
	5	4.5	3.5	GR
	10	7	3.5	KR



15	2.5	2	2	KR	13	9	5.5	R	
	6	4	3.5	KR	10.5	7	4	KR	
	5	3	2	KR	4	3	2.5	R	
	4	3	1	R	8	7	5.5	R	
	9	7	4	KR	11	10.5	3	R	
	3.5	2.5	1	R	31	22	19	KR	
	16	12	8	KR	6	4	2.5	GR	
	7	7	2	KR	6.5	4	3	R	
20	7	5	4	KR	20	5	5	2.5	R
	7.5	5	4	KR	11	8	6	KR	
	3.5	3.5	2.5	KR	12	4	2	GR	
	5.5	4.5	2	KR	11	6	4	KR	
	6.5	4	3	KR	7.5	5	3	R	
25	5.5	3	3	KR	25	13	9	8	R
	6	4.5	2	R	11	6	6	R	
	10	6	3	R	27	19	14	13	R
	6	5	2	KR					
	2.5	2.5	2	KR					
30	2.5	2.5	2	KR					
	11	6	5	KR					
	9	8	3	KR					
	8	7	3.5	KR					
	5.5	4	4	KR					
35	9	7	2.5	KR					
	10	8	5	KR	5	4	3	1.5	R
	5	3	2	KR	4	3	1.5	KR	
	9	8	4.5	KR	5	3.5	2.5	KR	
	8	7	3	KR	5	3.5	1.5	KR	
40	6	4	2.5	KR	10	3	2	2	R
	6	4	2	KR	6	5	4	R	
	6	2.5	2	KR	7	5	4	R	
	4	3	2	KR	8	4	2	R	
	7	5	4	KR	7	4	3	R	
45	9	5.5	4	KR	15	5	3	0.5	R
	13.5	12	5	KR	8	6	5	KR	
	10	6.5	3	KR	5	4	4	KR	
	11	8.5	5.5	KR	6	4	3	R	
	10	6.5	4	KR	7	4.5	4	KR	
50	7	7	3	KR	20	5	4	3.5	KR
	7	4	2	KR	8	7	4	KR	
	4.5	3	2	KR	4	3	2	R	
	4	4	1	KR	8	5	4	R	
	3	2	1.5	RK	8	5	2	KR	
55	3	2	1.5	KR	25	3	2.5	1	KR
	4	3.5	2	KR	5	4	2	KR	
	5	3.5	3	KR	6	4	2.5	KR	
	5	3.5	3.5	KR	5	4.5	3	KR	

Lokalitet: R10

Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
0	6	4	2.4	KR
	5	5	4	KR
	6	6	3	KR
	4	4	3	R
5	4	3	1.5	R
	4	3	1.5	KR
	5	3.5	2.5	KR
	5	3.5	1.5	KR
	3	2	2	R
10	6	5	4	R
	7	5	4	R
	8	4	2	R
	7	4	3	R
	5	3	0.5	R
15	8	6	5	KR
	5	4	4	KR
	6	4	3	R
	7	4.5	4	KR
	5	4	3.5	KR
20	8	7	4	KR
	4	3	2	R
	8	5	4	R
	8	5	2	KR
	3	2.5	1	KR
25	5	4	2	KR
	6	4	2.5	KR
	5	4.5	3	KR

60	8	6	4	KR	30	6.5	4.5	3	KR
	5	3.5	3	KR		8	5	3	R
	5	3.5	2	KR		7	4	3	R
	6	4.5	3	R		31	5.5	5	3.5
65	8	6	3	KR					
	3	2	1	KR					
	5	4	3	KR					
	7	6	4.5	R					
70	8	6	4	KR					
	7.5	5	4	KR					
	8	5	4	KR					
	9	9	4	KR					
	9	8	4.5	KR					
	4	3	2	KR					
75	5	2.5	2.5	KR					
	5	4	3	KR					
	7.5	4	3	KR					
	37	27	15	KR					
	16	7	6	KR					
	11	6.5	6.5	KR					
80	10	5.5	2	KR					
	10	6.5	4	KR					
	11	10	4	KR					
	16	7	5.5	KR					
	8	6	4	KR					
	14	11	4	KR					
85	6	5.5	2	KR					
	8	7	3	KR					
	9	5.5	2	KR					
	12	7	4	KR					
	6	5	3	KR					
	7.5	6.5	3	KR					
90	16	8	7	GR					
	18	12	10	KR					
	8	7	4	KR					
	5	4	3	R					
	10	8	5	R					
	9	7	5	KR					
95	19	13	10	KR					
	11	9	8	KR					
	29	19	12	KR					
	38	28	26	KR					

Lokalitet: R9				
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	18	12	6	KR

Lokalitet: R11				
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	21	17	8	KR

	18	14	7	KR		7	6.5	4	KR
	10	6	4	KR		12	6	5.5	KR
	11	10	7	KR		6.5	5	2	KR
5	30	16	10	KR	5	9	6.5	5	KR
	11	9	7	KR		21	15	13	KR
	8	5.5	3	KR		10	7	6	KR
	15	12	7	R		6	4	1.5	R
	10	8	5	KR		12	8	6	KR
10	11	9	3	R	10	15	8	7	KR
	13	8	6	KR		7	4	3	KR
	8	7.5	5	KR		12	7	5	KR
	13	7	6	KR		15	10	7	R
	24	22	9	KR		19	16	8.5	KR
15	18	10	6	KR	15	17	11	5	GR
	15	11	6.5	KR		11	9	6	KR
	10	10	3	KR		22	10	10	KR
	6	5	3	KR		25	22	13	KR
	8	5	4	KR		10	7	4	KR
20	10	7	4	KR	20	13	7	4	KR
	9	7.5	7	KR		22	20	12	KR
	8	7	3.5	KR		10	5	3	R
	5	4	3	KR		23	18	11	KR
	7	4	2.5	KR		8	6.5	3	KR
25	5	3.5	1.5	KR	25	6	6	3	KR
	12	10	6.5	KR		7	6	3	KR
	8	4.5	3.5	KR		9	8	5	KR
	10	8.5	4.5	R		6	5	2	KR
	8	4.5	4	KR		7	3	3	KR
30	11	8.5	5	KR	30	11	11	5	KR
	30	18	10	KR		6	4	3	KR
	25	17	7	KR		26	16	14	KR
	26	12	11	KR		19	11	5	R
	17	9	8	KR		10	5	1	R
35	7	6	1	R	35	11	7	6	KR
	8	4	1	KR		17	13	7	R
	10	7	5	KR		6	5	3	R
	20	9	5	KR		9	6.5	6	R
	14	10	5	GR		5.5	4.5	2.5	R
40	9	8	5	R	40	9.5	6	3	R
	7	6	2	KR		12	11	7	R
	23	20	5	KR		8.5	6.5	6	R
	5	4	3	KR		13	9	6	KR
	17	13	3	KR		14	8	5	R
45	8	7	4	KR	45	6	3.5	1.5	R
	7	6	4.5	KR		18.5	10	8	KR
	36	24	15	KR		11	6	3	R
	25	14	12	KR		5	4	2	KR

50	21	15	10	R	50	9	7	2.5	R
	26	18	16	KR		7	5	4	KR
	21	15	9	R		4.5	3.5	2	R
	9	9	6	R		6	6	2.5	R
	9	5	4	KR		7	4	4	KR
55	14	9	6	R	55	12	11	4	R
	7	6	6	KR		11	9	5	KR
	6	4	3	KR		8	6	2.5	KR
	15	11	9	GR		8	5.5	2	KR
	22	15	14	KR		9	6	3	KR
60	32	25	18	KR	60	19	10.5	10	KR
	29	16	13	KR		8	5	2.5	R
	15	14	11	KR		6	4	1.5	R
	7	5	5	KR		15	9	7	KR
	24	16	8	KR		7	5	5	KR
65	23	19	13	KR	65	8.5	4	3	KR
	25	20	10	GR		21	11	8	KR
	12	12	6.5	KR		23	12	12	KR
	18	16	15	KR		10	8	3	KR
	15	11	6	KR		5	4.5	3	R
70	19	16	11	KR	70	19	10	6.5	R
	8	5	2	R		6	4.5	2.5	KR
	17	10	10	KR		6	6	4	KR
	10	6	3	KR		24	23	17	KR
	28	20	6	KR		21	19	11	KR
75	22	16	9	R	75	16	12	5	KR
	21	15	11	R		13	9	6	KR
	22	16	9	R		24	19	10	KR
	30	20	7	R		11	9	6	R
	12	11	4.5	R		31	19	13	KR
80	27	18	17	KR	80	12	10	5	KR
	25	23	16	KR		8	6	5	R
	29	19	16	KR		11	8	6	KR
	28	20	16	KR		42	31	19	R
	27	25	10	KR		27	16	12	KR
85	17	10	6	KR	85	31	21	20	KR
	17	11	10	KR		12	10	9	R
	8	6	3.5	KR		24	16	14	KR
	32	25	20	KR		27	15	12	R
	35	31	18	R		21	16	13	R
90	20	10	8	KR	90	21	14	11	R
	16	9	9	KR		21	16	12	R
	17	11	9	KR		27	25	18	KR
	8	5	4	R		23	15	11	R
	13	10	7	KR		15	13	7	KR
	5	4	3	KR		21	16	7	KR
95	4	3.5	2	R	95	21	13	11	KR

	7	5	3	KR
	7	6.5	3.5	R
	13	10	6	R
	9	7	4.5	KR
100	13	9	7	KR

	18	12	6	R
	21	17	15	KR
	31	27	15	KR
	31	27	17	KR
100	32	18	10	R

Lokalitet:	R12			
Nr.	x	y	z	Rundingsgrad
1	24	21	9	R
	7	5	2	R
	18	17	9	KR
	9.5	8	4	KR
5	22	19	11	KR
	11	8	3	KR
	18	13	6	KR
	5.5	4	3	KR
	12	7	5	KR
10	8	5	4	R
	16	11	5	KR
	8	4	2	R
	7	6	3	KR
	8	5	2	KR
15	13	12	9	KR
	9	7	4	KR
	14	8.5	2.5	KR
	23	15	9	KR
	8	5	3	KR
20	6	4	3	KR
	23	17	12	KR
	7	3	3	KR
	10	9	4	KR
	7	5	2	KR
25	10	5	4.5	KR
	5	4	2.5	KR
	15	12	9.5	KR
	6	4	3	R
	17	16	10	KR
30	7	5	4	KR
	8	7	3	KR
	7	4	2.5	KR
	7	6	3	KR
	8	7	2.5	KR
35	6	5.5	3	KR
	7.5	5	3	KR
	6	4	2	KR
	21	7.5	5	KR

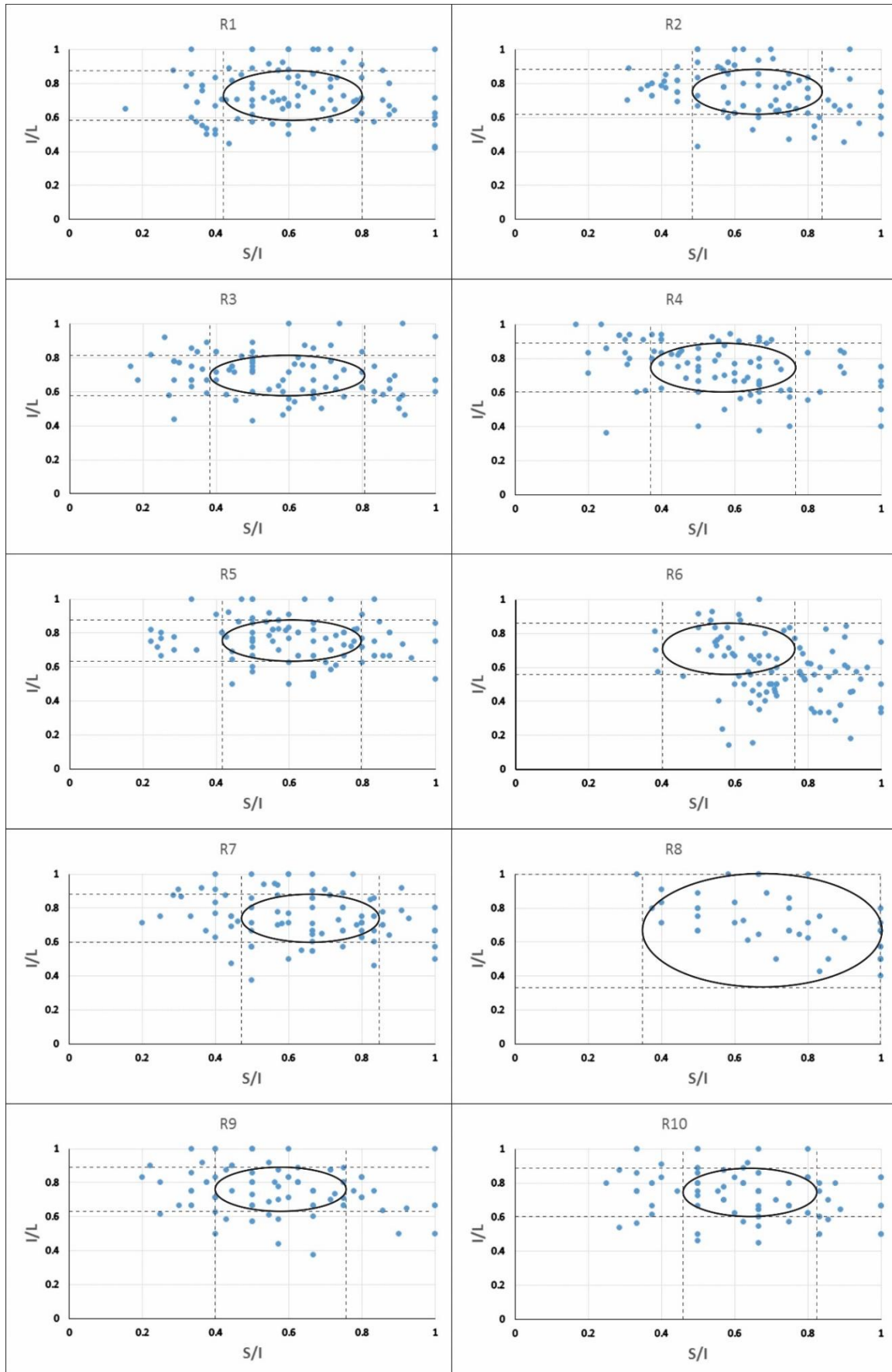
40	15	11	6	KR
	9	8.5	5.5	KR
	9.5	7	4	R
	16	5	2.5	KR
45	11	7	5	R
	22	10.5	9	KR
	12	8	7	KR
	22	15.5	6.5	R
	13	12	7	KR
50	13	11	4	KR
	19	10	4	KR
	14	10	7	R
	14	8	3	KR
	11	9.5	2	KR
	18	13	7	KR
55	8	8	3	KR
	13	10	5	R
	6.5	5	2	GR
	8	5	2	R
	8	6	4	R
	6.5	5.5	3	R
60	10	9.5	5	R
	17.5	11	6	KR
	5.5	3.5	3	KR
	14	9	5.5	KR
	9	4	3	KR
	15	10	5.5	GR
65	23	17	13	KR
	14	6	2.5	R
	12	11	6	KR
	13	9	5	KR
	18	10	5.5	KR
	11	8	4	KR
70	9	6	5	KR
	7	5.5	3	KR
	8	7	3	KR
	9	4	4	KR
	9	8	3	KR
	7	4.5	3	R
75	6	5	2.5	GR
	11	7	3	KR
	8	4	3	KR
	7	5	2	KR
	7	6	2	KR
	14	9	6	KR
80	11	5.5	2	KR
	12	5	4.5	KR

---

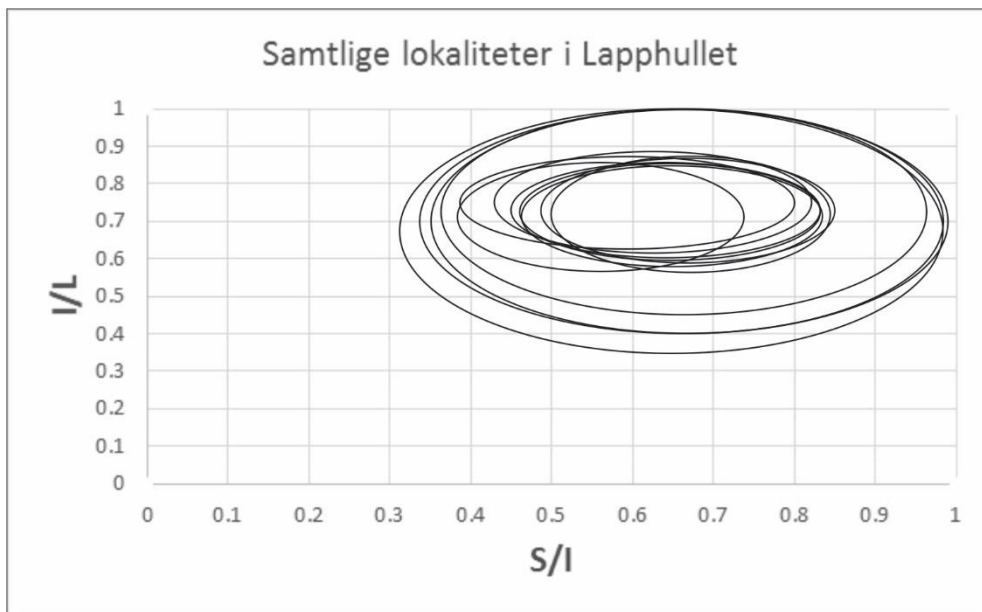
	8	7	3	R
	18	17.5	7	KR
	10	7	5	R
	9	8	7	KR
90	9	7.5	5	KR
	8	6	3.5	KR
	10.5	9	6	KR
	5	4	2.5	KR
	15	11	3	KR
95	18	11	9	R
	6	4.5	0.5	KR
	19	14	4	GR
	13	10	4	KR
	10.5	8	3	KR
100	11	7.5	4	KR
101	14	10	5	GR

---

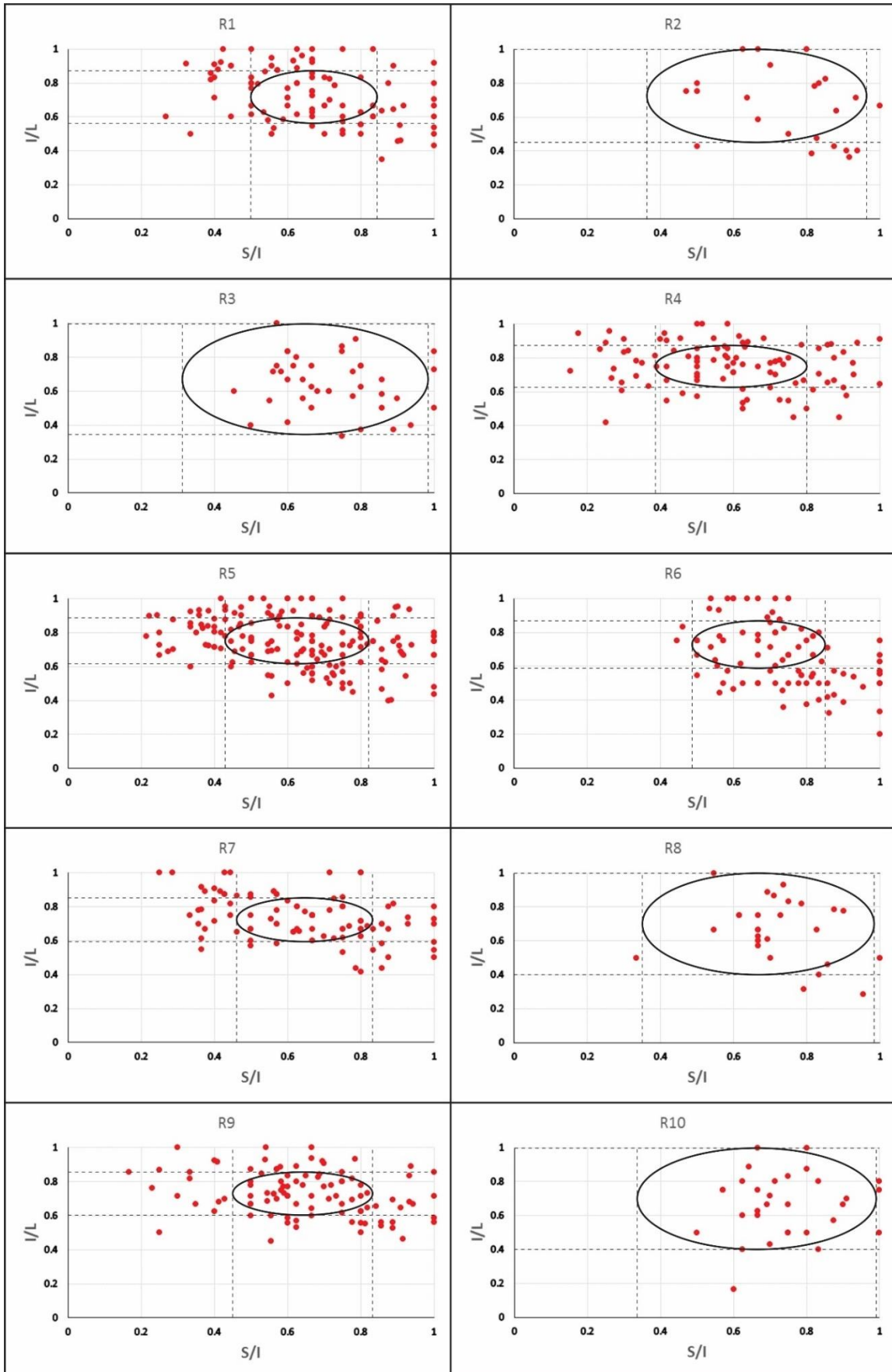
## Vedlegg 7: Rullesteinsform – Lapphullet

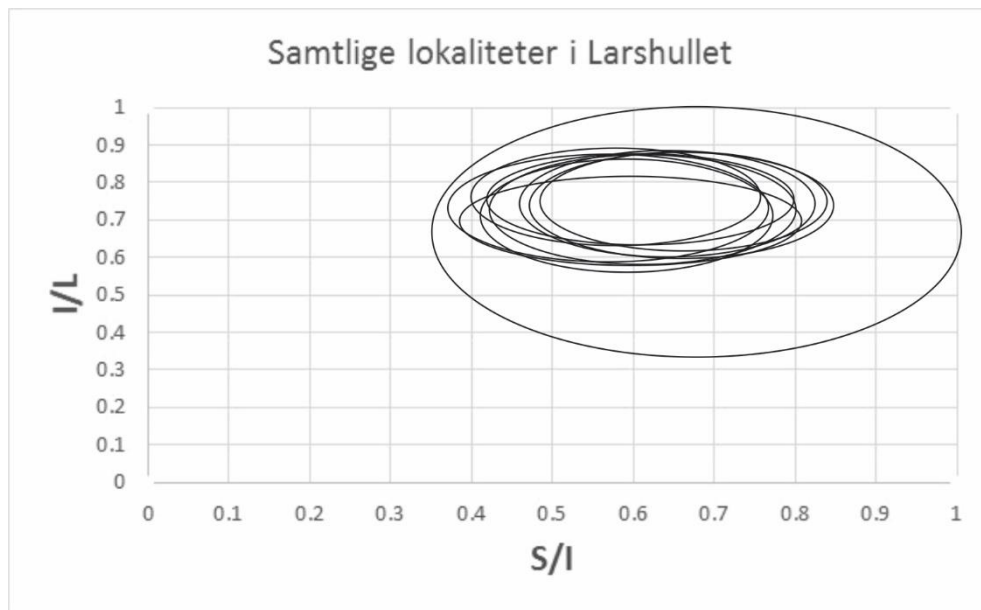
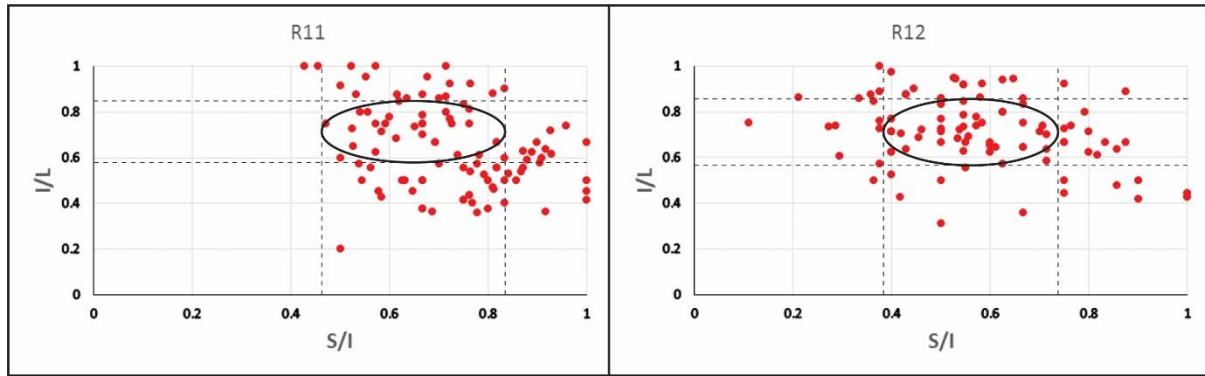






## Vedlegg 8: Rullesteinsform -Larshullet





## Vedlegg 9: Strømskåler – Larshullet

Totalt: 407

X: Bredden på tverrsnittet

Y: Høyden på tverrsnittet

### Lokalitet S1

x (cm)	Y (cm)
185	142
Lengdeakser (cm)	
Totalt: 18	
26.5	30
30	30
28	20
20	20
34	22
28	28
20	20
38	23
23	38
11	11

### Lokalitet S2

x (cm)	Y (cm)
75	70
Lengdeakser (cm)	
Totalt: 30	
34	21
37	34
38	57
39	40
40	21
21	16
16	30
20	20
15	15
40	40
17	38
20	32
50	50
18	18
21	21
40	40
25	25
64	64
42	42

### Lokalitet S3

x (cm)	Y (cm)
350	119
Lengdeakser (cm)	
Totalt: 30	
21	16
13	17
17	12
25	25
16	16
18	18
17	17
22	22
24	24
25	25
28	28
35	35
16	16
10	10
21	21
14	14
40	40
23	23
9	9
31	31
29	29
19	19
14	14
21	21
17	17

**Lokalitet S4**

x (cm)	y (cm)								
160	116								
Lengdeakser (cm) Totalt: 25									
31	12	20	33	14	17	26	11	6	17
16	22	26	18.5	14	13	11	19	33	9
14	24	31	11	11					

**Lokalitet S5**

x (cm)	y (cm)								
70	74								
Lengdeakser (cm) Totalt: 38									
8.5	21	8	10	7.5	9	8	8.5	10	5
6	8.5	15.5	13.5	7.5	7	11	9.5	11	11
8	7.5	9	11.5	7	6.5	8	13	11	14
12	9	11	11	14.5	17	10	7.5		

**Lokalitet S6**

x (cm)	y (cm)								
300	550								
Lengdeakser (cm) Totalt: 30									
20	22	15.5	11	18	8	20	12	16	17.5
15	8	10	12	7	16	13	15	10	10
15.5	12	17	22	12	19	21	10	11	11

x (cm)	y (cm)								
80	70								
Lengdeakser (cm) Totalt: 30									
6.5	7	6.5	8.5	3.5	6	8	6	4.5	4
5	6	6.5	7.5	5	6	10	6	4.5	5
7	4	4	4	6	5	7	5	5.5	5

**Lokalitet S7**

x (cm)	y (cm)									
150	67									
Lengdeakser (cm)		Totalt:	20							
4	8	4	7	9	9	19	25	16	9	
11	2	2	2	3	3	3	2	6	4	

**Lokalitet S8**

x (cm)	y (cm)									
230	450									
Lengdeakser (cm)		Totalt:	36							
9	9	7	9	12	10	8	9	7	5	
11	8	10	9	14	8	7	9	9	8	
9	13	7	10	10	13	10	10	10	13	
9	9	13	8	13	11					

**Lokalitet S9**

x (cm)	y (cm)									
490	220									
Lengdeakser (cm)		Totalt:	32							
11	18	7	10	11	12	15	11	12	12	
12	15	16	8	8	10	7	10.5	11	11	
12	9	10	10	11	11	12	10	10	10	
14	15									

**Lokalitet S10**

x (cm)	y (cm)									
165	150									
Lengdeakser (cm)		Totalt:	32							
21	21	10	27	11	32	15	8	15	15	
8	28	19	16	15	29	14	10	36	11	
9	16	12	28	13	9	22	12	14	24	

**Lokalitet S11**

x (cm)	y (cm)								
350	280								
Lengdeakser (cm)		Totalt:	30						
9	13	10	6.5	7	6	8.5	9	9	8.5
10	13	10	9	8.5	13	10	13	7	8.5
20	6	10	14	21	8.5	7	13	11	9

**Lokalitet S12**

x (cm)	y (cm)								
420	250								
Lengdeakser (cm)		Totalt:	34						
46	64	26	19	37	38	26	31	35	16
30	43	15	21	26	37	22	32	37	30
43	34	33	21	19	17	28	37	29	24
13	20	47	33						

**Lokalitet S13**

x (cm)	y (cm)								
295	73								
Lengdeakser (cm)		Totalt:	22						
7	4	4	4.5	6	11	7.5	7	6	8.5
9	8	8	7.5	4	5	4	8	6.5	10

## Vedlegg 10: Strømskåler – Lapphullet

Totalt: 2072

### Lokalitet S1

x (cm)	y (cm)									
210	95									
Lengdeakse (cm)		Totalt	30							
15	15	16	18	19	17	19	21	18	20	
20	22	23	18	19	15	26	20	19	25	
15	21	21	18	15	21	20	23	21	20	

### Lokalitet S2

x (cm)	y (cm)									
112	183									
Lengdeakse (cm)		Totalt	30							
4	3.5	3.5	3	5	4	3	4	3.5	4	
4	3	3	2.5	3.5	3	2.5	3	3	5	
3	2.5	2.5	2.5	3	4	3	4	4	4.5	

### Lokalitet S3

x (cm)	y (cm)									
130	60									
Lengdeakse (cm)		Totalt	30							
27	10	7	15	15	17	15	10	10	18	
20	16	12	13	14	14	8	25	21	13	
10	15	17	12.5	14	8	15	11	20	12.5	

### Lokalitet S4

x (cm)	y (cm)									
150	80									
Lengdeakse (cm)		Totalt	34							
11	10	13	21	12	22	11	11	6	26	
12	10	22	11	11	12.5	20	18	16	15	
10	7	10	21	21	11	11	16	10	6	
14	12	18	17							



**Lokalitet S5**

x (cm)	y (cm)								
120	73								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt							
22	26	23	17	25	27	13	29	13	31
16.5	32	15	35	14	21	24	21	9	19
19	12	16	13	27	9	12.5	15	35	11
11.5	17	12	10	26	21	6.5			

x (cm)	y (cm)								
140	65								
B: Lengdeakse (cm)		Totalt							
6	5	6	5	3	5	7.5	8	4	6
11.5	6	7	6.5	9.5	6	8	5	15	7
6	7	10	7	6	6	5	5	7	11
5	7	5	4.5	8	8	5	6	5	

**Lokalitet S6A**

x (cm)	y (cm)								
138	168								
Lengdeakse (cm)		Totalt							
15	17	15	15	9	14	13	12	10	12
19	14	15	20	18	17	17	12	18	14
11	10	12	13	11	16	8	17	11	11
16	12								

**Lokalitet S6B**

x (cm)	y (cm)								
118	95								
Lengdeakse (cm)		Totalt							
22	14	7	7	10	11	14	7	10	11
12	19	14	13	15	18	11	11	13	16.5
17	4	18	6	5	10	5.5	18	20.5	16
20	21	7	12						

**Lokalitet S7**

x (cm)	y (cm)								
100	50								
<b>A: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>36</b>						
22	9	15	9	23	12	7	10	17	9
4.5	17	13	16	13	20	13	24	17	21
20	12	21	23	19	12	28	22	18.5	16
15	13	25	14	10.5	16				

x (cm)	y (cm)								
155	90								
<b>B: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>32</b>						
19	3	5	8	9	7	8	18	9	5
7	6	7	6	7	8	10	9	8.5	14
6	8.5	10	7	16	13	10	9	6	11
13	6								

**Lokalitet S8**

x (cm)	y (cm)								
475	150								
<b>A: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>22</b>						
2.5	2	2.9	2	3.4	2.7	2.4	2.6	2	2
2	2.6	2.4	2.3	2.3	1.3	2.1	3	3	1.6
2.4	3.5								
<b>B: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>33</b>						
5	5	7	5	3.5	2.5	4.5	3	3.5	4
4	4	5	2.5	5	5	1.5	3.5	2.4	6
6	4.5	6	5.5	6	4	4	1.5	4	2.5
5	3.5	4							
<b>C: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>25</b>						
4	6	4	5	5	5	3.5	4	3	5
3	6	5	3	3	3	5	4	4.5	7
6	7	3	5	6					
<b>D: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>30</b>						
9.5	5	4	4	4	3	2	5	2.5	6
8.6	2	5	5	5	4	7	3	2	7.5
3	5	4	5	2	2.5	3	3	5	3

**Lokalitet S9**

x (cm)	y (cm)									
300	360									
<b>A: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>33</b>							
2	2.5	1.3	2	1.5	2.2	1.5	2	1.8	2.7	
3	1.5	2	2	1.4	1.3	1.2	1	1.8	1.5	
1.3	1	1	2	1.8	1.7	2.5	1.8	0.8	1	
1	1.3	0.9								
<b>B: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>38</b>							
2.5	1.8	2	2	1.5	1.4	1.3	1.3	1	1.2	
1	1.4	1.6	1.4	1.4	1.5	1.4	1.3	1.1	0.8	
1.2	1.2	1	2.5	2.5	2	2	1.4	0.9	1	
1	1.1	1.5	2	2	1.5	1	1			

**Lokalitet S10**

x (cm)	y (cm)									
216	275									
<b>A: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>30</b>							
6.5	6	13	14	18.5	13	14	10	11	12	
12	16	8	5	6	6	7	8	6	7	
9.5	4	5	6	6	6	5.5	6	9	13	
<b>B: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>32</b>							
1.9	2	2	2.6	1.3	2.5	2.6	1.7	2.3	2.8	
1.3	2.5	4	3	3.5	4	5	1.7	2.4	3	
3	1.8	2	2	3	1.5	1.7	1.7	3	2.5	
2.7	3									
<b>C: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>38</b>							
1.2	1.2	1.5	0.8	1	1	1.1	1	1.2	1	
1	1.2	1	1	1	1.5	1	1.2	1.3	1	
1.4	1.9	1.4	1.5	1.5	1.3	1.5	1	0.8	0.9	
1	1.5	1.8	1	1	1.4	1.4	1.5			
<b>D: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>32</b>							
1.7	1.8	2	2	1.6	1.6	1.7	1.5	1.6	1.3	
1.2	1.5	1.8	1.5	2	1.5	1.8	1.3	1.6	1.7	
1.8	2	2	1.8	2	1.8	2.5	1.8	1.7	1.4	
1.6	2									

E: Lengdeakse (cm)		Totalt	29							
2.5	2.5	3.5	2	2	1.5	3	3	2.5	4.5	
4	4.5	3	3	3.5	2.5	4.5	2.5	5	6	
5	3	2.5	3.5	4	4.5	4	3	3.5		

**Lokalitet S10b**

x (cm)	y (cm)									
216	275									
Lengdeakse (cm)		Totalt	30							
1	0.8	0.9	0.8	1	0.7	1.1	1.2	0.7	0.9	
12	0.8	1.6	0.8	1.2	1.1	0.9	0.7	0.7	1	
1	1	1	0.9	0.8	0.8	1	0.7	0.6	0.7	

**Lokalitet S11**

x (cm)	y (cm)									
120	60									
Lengdeakse (cm)		Totalt	30							
10	11	8.5	6	11	18	10	11	8	7	
22	11	7	17	12	9	7.5	12	8	11	
9	7	11	11	11	13	13	10	14	16	

**Lokalitet S12**

x (cm)	y (cm)									
145	600									
A: Lengdeakse (cm)		Totalt	30							
4	2.5	2.5	4	2	3	3	3	3	2.5	
2.5	2.5	3	2.5	2	2	2.5	2	3	2.5	
4	4.5	5	2	3	2	2	2.5	2	5	
B: Lengdeakse (cm)		Totalt	34							
2	2	3	2	2	2	3	2	2	2.5	
2	2	2	3	2	3	2	2.5	3	2.5	
2	3	2.5	2	2.5	3	1.5	2	3	2.5	
2	3	3	3							

**Lokalitet S13**

x (cm)	y (cm)									
240	310									
Lengdeakse (cm)		Totalt	35							

11	9	4	5	10	5	10	2	8.5	6.5
6	4	5	7	5	3	7	2	8	2.5
7.5	1	5	4.5	2	7.5	9	2.5	6	5
1.5	10	4	2.5	6					

**Lokalitet S14**

x (cm)	y (cm)								
125	60								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt	32						
10	13	19	31.5	16	21	16	17	19	34
28	14	17	18	25	31	13	15	35	15
12	27	15	15	21	20	20	30	23	10
20	14								

x (cm)	y (cm)								
125	20								
B: Lengdeakse (cm)		Totalt	32						
14	4	15	17	10	13	8	9	14.5	7
6	12	15	12	6.5	2.5	7	10	3	8
10	3.5	15	5	8	21	23	9	8.5	14
3	11								

**Lokalitet S15**

x (cm)	y (cm)								
110	35								
Lengdeakse (cm)		Totalt	33						
10	13	8.5	11	6.5	12	6	10	11	10
9	12	22	13	8	11	12	13	9.5	14
6.5	12	8	9	10	6	15	16.5	20	15
10	7	9							

**Lokalitet S16A**

x (cm)	y (cm)								
130	250								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt	32						
5.5	5.5	5.5	8	6	6	6	4	6	5
9	6	5	5.5	6	5	6	5	6	6.5
2.5	8	4	4.5	8	7	5	6	8	7
7	5.5								

B: Lengdeakse (cm)		Totalt	30						
1.5	1	1.2	0.9	1	1.5	1.5	1	1.2	1
1.3	1.4	1	1.3	1.5	1	1.7	1.5	1	1.2
1.3	0.8	1.4	1.6	1	1.4	1.2	1	1.5	0.9

**Lokalitet S16B**

x (cm)	y (cm)								
750	300								
Lengdeakse (cm)		Totalt	33						
5	5	8	7	8	8	5	6	4	7
5	5.5	5	5	6.5	7	5	5.5	6	5
5	8	5	7	4	8	5.5	4	8	5.5
3	2.5	6							

**Lokalitet S17**

x (cm)	y (cm)								
80	65								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt	41						
10	9	12	15	18	10	8	15	11	17.5
11	13	12	9.5	9	11	10	8	12.5	18
9	12	10	21	12	12	12	15	10	12
15	15	12	16	10	8	10	13	7	8
10									

x (cm)	y (cm)								
145	90								
B: Lengdeakse (cm)		Totalt	41						
31	14	19	17	20	12	14	23	13.5	19
25	16	25	18	14	25	10	23	14	18
15	18	14	21	17.5	21	28	15	16	12
25	20	22	13	13	13	21	14.5	10	17
10									

**Lokalitet S18**

x (cm)	y (cm)								
170	150								
Lengdeakse (cm)		Totalt	44						
11	9	5	7.5	6	8	11	6	8	7
8.5	7	5	10	8	5	11	11	6.5	6
10	8.5	7	8.5	7.5	5.5	12	9	7	8

6	8.5	7.5	8.5	5.5	5	5.5	10	10	10
5	16	7	7						

**Lokalitet S19**

x (cm)	y (cm)								
75	70								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt	30						
11	9	8	10	11	12	16	12	13	5.5
7	9	9	11	8	9	12	11	11	12
12	19	9	14	9	9	15	8.5	10	6

x (cm)	y (cm)								
95	70								
B: Lengdeakse (cm)		Totalt	35						
15	9	10	9	5	7.5	6.5	8	8	7
16	10	8	6	4	6.5	9	10	6	10
5	8	6.5	7	5	5.5	12	16	11	5
11	10	6	7	7					

x (cm)	y (cm)								
122	85								
C: Lengdeakse (cm)		Totalt	56						
11	9	9	9	7	11	8	6.5	12	16
18	10	9	8	9	8	10	11	5	6
9	6	9	10	7	10	21	18	6	16
7	10	7	7	8	18	21	15	10	9
8	10	13	9	7	13	12	12	17	20
10	11	14	6	11	13				

**Lokalitet S20**

x (cm)	y (cm)								
170	90								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt	30						
11	11	11	14	13	12	18	14	12	17
8	12.5	15	20	13	12	11	17	11	18

10	11	10	19	16	15	14	15	13	17
B: Lengdeakse (cm)		Totalt		32					
22	12	14	10	13	10	16	14	11	15
13	16	11	15	14	23	8	13	18	17
7	15	10	12	10	12	18	11	13	15
8	15								

C: Lengdeakse (cm)		Totalt:		31					
9	20	20	5	8	6	7	13	13	12
6	5	6	16	6	7	9	5.5	4.5	11
12	16	6	10	5	11	15	11	11	10
7									

**Lokalitet S21**

x (cm)	y (cm)								
170	110								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt		32					
12	12	11	9	9	12	13	9	7	13
11	12	20	14	15	15	6	12	10	8
15	13	9	12	11	10	12	8.5	10	16
10	16								
B: Lengdeakse (cm)		Totalt		32					
10	12	8	8	20	8	13	8	12	10
18	11	11	17	18	8	17	18	12	15
12	9	15	6	12	14	14	8	12	10
18	17								

**Lokalitet S22**

x (cm)	y (cm)								
70	50								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt		36					
10.5	12	10	6	14	11	29	9	10	17
12	12	8	9	5	14	22	11	9	13
15.5	11	10	24	8.5	8	24	15	10	12
14	7	18	17	15	14				

x (cm)	y (cm)								
260	150								
B: Lengdeakse (cm)		Totalt		32					
20	12	20	13	15	21	11	15	10	10



11	9	11	9	9	12	8.5	10	12	8
12	4.5	11	12	9	10	9	20	6	7
6	5								

**Lokalitet S23**

x (cm)	y (cm)								
190	220								
<b>A: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>34</b>						
18	13	20	12	13	19	7	17	8	11
14	12	8	12.5	9	7	9	11	8	23
10	9	8	10	13	15	14	11	13	11
14	34	13	12						
<b>B: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>16</b>						
20	15	11	15	8	19	7	7	14	8
9	5.5	7	11	21	11				
<b>C: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>38</b>						
23	8	11	7	7	7	16	12	11	11
9	13	7	10	17	20	25	8	9	10
10	11	11	22	22	10	10	8	15	8
18	9	9	14	8	7	18	8		

**Lokalitet S24**

x (cm)	y (cm)								
75	93								
<b>A: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>30</b>						
1.6	1.5	2	0.9	1.6	1.7	1.5	2	1.6	1
1.3	1.3	2.5	2	1.9	1.5	2	1.6	1	2
0.9	0.7	3	1.6	1.3	1.3	1.8	1.9	2.7	1.8
<b>B: Lengdeakse (cm)</b>		<b>Totalt</b>	<b>32</b>						
0.8	1	0.8	0.9	0.5	0.4	1	1	0.7	0.7
1.3	0.6	0.9	0.7	0.7	0.8	0.6	1	0.5	1
0.9	0.5	0.6	0.8	0.7	1.2	0.9	0.9	1.5	1.2
1.5	1.3								

**Lokalitet S25**

x (cm)	y (cm)
110	80

Lengdeakse (cm)	Totalt	36							
15	13.5	28	18	6	16	15.5	10	18	11
16	10	12	22	15	10	9	10	12	15
14	16.5	12	12	7	11	13	15	16.5	17
12	10	8	14	13	16				

**Lokalitet S26**

x (cm)	y (cm)									
111	118									
A: Lengdeakse (cm)	Totalt	32								
7	8	9	7	9	5	5.5	9	9	5	
9	10	7	8	4	4	4	7	8	4.5	
5.5	8.5	5	7	7	7	5	7	6	6	
6	6									
B: Lengdeakse (cm)	Totalt	33								
7	10	8	7	8	10	9	5	10	4.5	
5	4	7	9	7	10	6	5	13	8	
8	12.5	6.5	10	7	8	7	7.5	11	9	
7	10	9								
C: Lengdeakse (cm)	Totalt	33								
10	6	6	4.5	3	5	4	7	8	7	
4	6	3	3	5	6	4	5	7	7	
2	5	6	5	4.5	5	4	10	7	4	
4	7	3								

**Lokalitet S27**

x (cm)	y (cm)									
290	176									
Lengdeakse (cm)	Totalt	34								
17	14.5	10	13	9	11	12	10	10	15	
11	17	13	7	8	10	9	10	12	10	
18	9	9	8	10	11	10	11.5	14	12	
12	7	8	10							

**Lokalitet S28**

x (cm)	y (cm)									
270	165									
A: Lengdeakse (cm)	Totalt	17								

18	17.5	15	14	17	10.5	16	16	15	11
12	12	9	20	13	15	4			
B: Lengdeakse (cm)		Totalt		30					
9.5	11	11	20	17	12	8	12	13	23
14	12	12	12	14	17	13	10	10	16
16	12	11	25	11	21	19	20	17	17

**Lokalitet S29**

x (cm)	y (cm)								
108	123								
Lengdeakse (cm)		Totalt		30					
14	6	9	12	14	17	10	7	20	11
7.5	10	7.5	9	18	11	10	13	8	13
16	9.5	10	16	4	17	12.5	9	10	12.5

**Lokalitet S30**

x (cm)	y (cm)								
400	350								
A: Lengdeakse (cm)		Totalt		39					
8	8	6	6.5	7	8.5	6	5	8	8
9	8	8.5	5	7	8	10	11	6	8
9	11	6	8	9	9	11	8	9	8
5	7	7	8	5	7	10	7	5	
B: Lengdeakse (cm)		Totalt		41					
2	2.5	2	2	1.5	1.5	1.5	2.7	1.5	2.5
2	3.5	2.5	1.5	2	1.7	1.5	2	1.5	3
2	1.3	1.5	1.5	2	2	1.5	2	2	4
1.8	2.2	3	1.5	2	2	2	2.3	2	1.6
1.5									

**Lokalitet S31**

x (cm)	y (cm)								
275	500								
Lengdeakse (cm)		Totalt		34					
9	7.5	5	4	5	9	4.5	7	6	4
3.5	6	5	5	4.5	2	6	6	4	3
4	4	4.5	4	4.5	5	5.5	4	4	4.5
6	4	4.5	3.5						





