

# Spor etter stormbølgene?

En geomorfologisk studie av tre blokkavsetninger ved kysten av Roan, Sør-Trøndelag.

Masteroppgave i geografi

Line Munch Ryg

Veiledere: Ivar T. Berthling og Louise Hansen

Norges teknisk – naturvitenskapelige universitet

Fakultet for samfunnsvitenskap og teknologiledelse

Geografisk institutt

Våren 2014



(Forsidefoto: Line M. Ryg)



## **Abstract**

The focus of this thesis is the origin and morphogenesis of three assemblages of coarse boulders similar to coarse beach deposits, located between 7-23 meters above sea level at the coast of Roan, Sør-Trøndelag. In coastal geomorphology, there is a growing interest in storm wave entrainment, transport and deposition of boulders along rocky coasts. Yet, similar objectives have not been explored along the Norwegian coast. This thesis addresses the possibility of storm wave origin for the landforms in question, by testing the hypothesis that they are primarily deposited by storm waves when the area was in the tidal zone approximately between 5100 and 1800 years ago, and that they can be defined as boulder beaches.

Morphological and sedimentary qualities such as overall shape and distribution of material, packing, angularity and shape are examined both by field observation and by the use of LiDAR-data. Field measurements and LiDAR-data are also used to measure boulder size and a-axis orientation for boulders  $\geq 2\text{m}$ . Transport equations developed by Nott (2003) are used to estimate the necessary storm wave heights for mobilizing the 15 largest boulders at each site, and the results are compared to instrumental and significant wave heights recorded during the Dagmar storm in 2011. The results show that many of the morphological and sedimentary qualities from the three study-sites match descriptions of storm wave deposits, and two of the three deposits show distinct similarities to boulder beaches. According to the results from Notts equations most of the material at these two sites could have been mobilized by storm waves, and only the deposition of the largest megaclasts cannot be explained by storm wave transport. The wave height results from the last study-site show that larger waves would have been necessary to mobilize the material in this deposit, and the results show a larger influence of other processes here, than at the other study-sites.



## **Forord**

Landskapet som omgir oss og prosessene som har utformet det har alltid interessert meg. Så da Norges geologiske undersøkelse (NGU) presenterte muligheten for å studere noen landformer som hittil ikke er grundig undersøkt vekket dette med en gang nysgjerrigheten min, og spiren til en spennende masteroppgave var sådd. Nå er oppgaven omsider ferdig, noe som markerer den litt vemodige slutten på en fantastisk tid som student ved geografisk institutt ved NTNU. Arbeidet med oppgaven har vært spennende, utfordrende og lærerikt, til tider stressende, men veldig artig. Og det er mange som må takkes for at den har blitt til.

Først vil jeg gi en stor takk til mine to veiledere, Ivar Berthling og Louise Hansen for konstruktiv veiledning, gode diskusjoner og oppmuntring, både i felt og i skriveprosessen. Dere har begge vist stor interesse for og tro på prosjektet, og gjort en uvurderlig innsats som veiledere. Ivar fortjener også en ekstra takk for sitt engasjement og sin formidlingsevne som foreleser i naturgeografi. Jeg vil også takke Radmil Popovic for all hjelp med Riscan Pro, Nowleen Coint for hjelp med analyse av steinprøver og Trond Lien ved Klimavakten for hjelp med bølgedata.

Min søster Kristin fortjener en stor takk for korrekturlesing. Jeg setter pris på at du tok deg tid til dette midt i barselpermisjonen! Og takk til medstudent Hilde, for lånet av din flotte el-sykkel som gjorde det mulig å dra en siste tur til Roan. Medstudent Ida fortjener en takk for assistanse og hjelp med LiDAR-skanningen i felt, og for alle koselige og konstruktive samtaler i den flotte Dragvollkantina.

Jeg vil også få takke familie og venner for all støtte gjennom studietiden. Og takk til alle mine medstudenter i lektorklassen, både for artige og begivenhetsrike lunchpauser og for at dere holdt ut et par stressa utbrudd om store stein i Midt-Norge. Dere vil bli savnet!

Og sist, men ikke minst takk til John Asbjørn for all støtte og oppmuntring, og for at du innimellom minnet meg på alt annet i livet som er viktig.

Trondheim, 5.mai, 2014

Line Munch Ryg



# Innhold

Figurer.....	VIII
Tabeller.....	IX
<b>1 INNLEDNING.....</b>	<b>1</b>
1.1 STORMBØLGER I KYSTGEOMORFOLOGIEN.....	1
1.1.1 <i>Eksempler på stormbølgeavsetninger.....</i>	2
1.2 FORSKNINGSDESIGN.....	3
1.3 FORSKNINGSSPØRSMÅL OG HYPOTESER.....	4
1.4 GEOMORFOLOGIEN OG GEO-HISTORISKE STUDIER.....	4
1.5 BEGRENSNINGER MED VINKLINGEN AV OPPGAVEN.....	5
1.6 BEGREPSAVKLARINGER.....	5
1.6.1 <i>Kyst og strand.....</i>	5
1.6.2 <i>Kornstørrelser.....</i>	5
1.6.3 <i>Kalibrerte og ukalibrerte Karbon 14 år.....</i>	5
1.7 OPPGAVENS STRUKTUR.....	6
<b>2 OMRÅDEBESKRIVELSE.....</b>	<b>7</b>
2.1 REGIONAL UTVIKLING.....	8
2.1.1 <i>Berggrunnsgeologi.....</i>	8
2.1.2 <i>Istider og glacial utforming av landskapet.....</i>	8
2.1.3 <i>Strandflaten.....</i>	9
2.1.4 <i>Isostasi og strandlinjeforskyvning i Holosen.....</i>	9
2.1.5 <i>Løsmasser.....</i>	10
2.1.6 <i>Klimautvikling gjennom sen-Pleistocen.....</i>	10
2.1.7 <i>Lokalt klima i dag: vindstyrke og bølgehøyder.....</i>	11
<b>3 TEORETISK TILNÆRMING.....</b>	<b>13</b>
3.1 STRANDSONEN.....	13
3.2 STORMENS PÅVIRKNING PÅ BØLGER.....	14
3.3 BØLGER OG BØLGEDYNAMIKK: VINDBØLGER.....	14
3.4 LINEÆR BØLGETEORI.....	15
3.4.1 <i>Partikkelbevegelsen i bølger.....</i>	15
3.4.2 <i>Grunning og brytende bølger.....</i>	16
3.4.3 <i>Refraksjon og diffraksjon.....</i>	16
3.4.4 <i>Bølgeenergi og dynamisk trykk.....</i>	17
3.5 MOBILISERING OG TRANSPORT AV MATERIAL.....	17
3.5.1 <i>Ulike former for transport.....</i>	18
3.5.2 <i>Notts ligninger: tre scenarier for materialtransport.....</i>	18
3.6 NOTTS LIGNINGER FOR STORMBØLGEHØYDE.....	20
3.6.1 <i>Submarint scenario.....</i>	20
3.6.2 <i>Subaerilt scenario.....</i>	21
3.6.3 <i>Sprekkeavgrenset scenario.....</i>	21
3.7 EGENSKAPER VED STORMBØLGEAVSETNINGER.....	21
3.7.1 <i>Avsetninger i strandsonen.....</i>	21
3.7.2 <i>Former dannet av store bølger.....</i>	22

3.7.3	<i>Imbrikasjon</i> .....	23
3.7.4	<i>Sorteringsgrad</i> .....	24
3.7.5	<i>Kantrunding</i> .....	24
4	<b>METODE</b> .....	25
4.1	<b>DATAINNSAMLING</b> .....	25
4.1.1	<i>LiDAR – Light Detection And Ranging</i> .....	26
4.1.2	<i>LiDAR anvendt på Roan</i> .....	26
4.1.2.1	<i>Kalibreringer</i> .....	27
4.1.2.2	<i>Feilkilder</i> .....	27
4.1.3	<i>DGPS</i> .....	28
4.1.4	<i>Deskriptiv observasjon</i> .....	29
4.1.4.1	<i>Parametre for observasjonen</i> .....	29
4.1.5	<i>Målinger av kornstørrelser og akseorientering</i> .....	31
4.1.6	<i>Bølgedata</i> .....	33
4.2	<b>ANALYTISKE VERKTØY</b> .....	34
4.2.1	<i>Riscan pro</i> .....	34
4.2.1.1	<i>Multistation adjustment</i> .....	34
4.2.1.2	<i>Filtrering</i> .....	34
4.2.1.3	<i>True color</i> .....	35
4.2.1.4	<i>Geo-referering ved bruk av tiepoints</i> .....	35
4.2.1.5	<i>Målinger</i> .....	35
4.2.2	<i>Stereonet 9.0</i> .....	37
4.2.3	<i>Notts ligninger anvendt på resultatene fra Roan</i> .....	37
4.2.3.1	<i>Koeffisienter</i> .....	37
4.2.3.2	<i>Feilkilder i Notts ligninger</i> .....	37
4.3	<b>GENERELL METODEKRITIKK</b> .....	38
4.3.1	<i>Objektivitet, troverdighet og etterprøvbarehet</i> .....	38
5	<b>RESULTATER</b> .....	41
5.1	<b>LIDAR-DATA</b> .....	41
5.1.1	<i>Inngangsdata</i> .....	41
5.1.2	<i>Resultater</i> .....	41
5.2	<b>VOLLVIKA-NORD</b> .....	41
5.2.1	<i>Formen</i> .....	43
5.2.2	<i>Partikkelstruktur og kornstørrelser</i> .....	44
5.2.3	<i>Kantrunding og partikkelform</i> .....	45
5.2.4	<i>Orientering av a-aksene</i> .....	46
5.3	<b>BARVIKA</b> .....	47
5.3.1	<i>Formen</i> .....	48
5.3.2	<i>Partikkelstruktur og kornstørrelser</i> .....	50
5.3.3	<i>Kantrunding og Partikkelform</i> .....	53
5.3.4	<i>Orientering av a-aksene ved Barvika</i> .....	53
5.4	<b>VOLLVIKA-SØR</b> .....	54
5.4.1	<i>Partikkelstruktur og kornstørrelser</i> .....	56
5.4.2	<i>Kantrunding og Partikkelform</i> .....	58
5.5	<b>BØLGEKLIMA</b> .....	60
5.6	<b>NØDVENDIGE BØLGEHØYDER</b> .....	60
5.6.1	<i>Inngangsdata i Notts ligninger</i> .....	60
5.6.2	<i>Resultater fra Notts ligninger</i> .....	60



5.7	STRANDLINJEFORSKYVNING OG AVSETNINGENES BELIGGENHET.....	63
6	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>65</b>
6.1	EN KONSEPTUELL MODELL FOR UTVIKLINGEN AV AVSETNINGENE .....	65
6.1.1	<i>Materialtilgjengelighet</i> .....	65
6.1.2	<i>Beliggenhet og klima</i> .....	65
6.2	TOLKNING OG DISKUSJON AV AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-NORD .....	66
6.2.1	<i>Bølgehøyder og beliggenhet</i> .....	66
6.2.2	<i>Den helhetlige morfologien</i> .....	68
6.2.3	<i>Kantrunding og akseorientering</i> .....	68
6.3	TOLKNING OG DISKUSJON AV AVSETNINGEN VED BARVIKA .....	69
6.3.1	<i>Barvika-lokalitetens beliggenhet relativt til bølgeretning: implikasjoner for akseorientering og estimerte bølgehøyder</i> .....	70
6.4	USIKKERHETER I DATAMATERIALET .....	71
6.4.1	<i>Usikre bølgehøyder</i> .....	71
6.4.2	<i>Fordelingen av kornstørrelser</i> .....	72
6.4.3	<i>Svak eller manglende imbrikasjon</i> .....	73
6.5	TOLKNING AV VOLLVIKA-SØR .....	74
6.5.1	<i>Bølgehøyder og kornstørrelser</i> .....	75
6.5.2	<i>Morfologisk uttrykk</i> .....	75
6.6	ALTERNATIVE HYPOTESER .....	76
6.6.1	<i>Talus</i> .....	76
6.6.2	<i>Glasiale avsetninger</i> .....	76
7	<b>AVSLUTNING</b> .....	<b>79</b>
7.1	KONKLUSJON .....	79
7.2	BEHOV FOR VIDERE FORSKNING .....	80
8	<b>LITTERATUR</b> .....	<b>83</b>

## VEDLEGG 1-15

## Figurer

FIGUR 1 KART OVER ROAN. ....	7
FIGUR 2 MORFOLOGISK INNDELING AV STRANDSONEN .....	13
FIGUR 3 BØLGEPARAMETRE . ....	15
FIGUR 4 PARTIKKELBEVEGELSE I BØLGER. ....	16
FIGUR 5 TRE SCENARIER FOR BØLGETRANSPORT FRA NOTT (2003). ....	19
FIGUR 6 IMBRIKASJON.. ....	23
FIGUR 7 LiDAR-SKANNERENS POSISJON VED BARVIKA. ....	27
FIGUR 8 OBSERVASJONSMØNSTERET VED BARVIKA .....	29
FIGUR 9 POWERS SCALE OF ROUNDNESS .....	31
FIGUR 10 FORHOLDET MELLOM A-, B- OG C-AKSEN I EN PARTIKKEL.....	32
FIGUR 11 TRANSEKTER FRA BARVIKA. ....	33
FIGUR 12 AKSEMÅLINGER I RISCAN PRO, VED VOLLVIKA-SØR.....	36
FIGUR 13 MÅLING AV MULIG STRANDBREDD I RISCAN PRO, LOKALITET 3. ....	36
FIGUR 14 OVERSIKTSKART OVER LOKALITETENE VED VOLLVIKA-NORD OG VOLLVIKA-SØR.. ....	42
FIGUR 15 AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-NORD.. ....	42
FIGUR 16 DEN ØVRE FLATEN I AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-NORD.. ....	43
FIGUR 17 SKRÅNINGEN MOT FOTEN AV AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-NORD. ....	44
FIGUR 18 EN STILISERT PROFIL AV AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-NORD.....	44
FIGUR 19 PARTIKKELSTØTTET STRUKTUR MED FINERE PARTIKLER I HULROM UNDER DE GROVERE, VED FOTEN AV SKRÅNINGEN VED VOLLVIKA-NORD.....	45
FIGUR 20 EN KANTET GROV BLOKK (>2M), SOM LIGGER OVER FINERE OG RUNDETE BLOKKER PÅ FLATEN VED VOLLVIKA-NORD (FOTO: LINE M. RYG, 2013).....	46
FIGUR 21 ORIENTERING AV A-AKSENE HOS PARTIKLER MED A-AKSE >2M, VED VOLLVIKA-NORD ....	47
FIGUR 22 OVERSIKT OVER BARVIKA-LOKALITETENS BELIGGENHET.....	47
FIGUR 23 BERGVEGGEN PÅ MOTSATT SIDE AV DALEN VED BARVIKA. ....	48
FIGUR 24 EN STILISERT PROFIL AV AVSETNINGEN VED BARVIKA. ....	49
FIGUR 25 FLATEN ØVERST I AVSETNINGEN VED BARVIKA.. ....	49
FIGUR 26 SKRÅNINGEN MOT FOTEN AV AVSETNINGEN VED BARVIKA. ....	50
FIGUR 27 FINERE OG RUNDETE TIL GODT RUNDETE BLOKKER, STEIN OG GROV GRUS LIGGER I HULROM UNDER EN GROV BLOKK >2M VED BARVIKA.....	50
FIGUR 28 OVERGANGEN MELLOM FLATEN OG SKRÅNINGEN I AVSETNINGEN VED BARVIKA.....	51
FIGUR 29 DEN SØRLIGE DELEN AV AVSETNINGEN VED BARVIKA. ....	52
FIGUR 30 DEN NORDLIGE ENDEN AV AVSETNINGEN VED BARVIKA. ....	52
FIGUR 31 MEGABLOKKER VED DEN NORDLIGE ENDEN AV AVSETNINGEN VED BARVIKA. ....	53
FIGUR 32 ORIENTERING AV A-AKSER >2M VED BARVIKA (STEREONET 9.0.0.). ....	54
FIGUR 33 BERGVEGGEN VED VOLLVIKA-SØR .....	55
FIGUR 34 EN STILISERT PROFIL AV AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-SØR.....	55
FIGUR 35 AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-SØR ER JEVNERE OG MANGLER DEN KONVEKSE FORMEN SOM PREGER DE ANDRE TO LOKALITETENE.....	56
FIGUR 36 FELT MED FINERE KORNSTØRRELSER NÆR DAGENS STRANDLINJE VED VOLLVIKA-SØR . ....	57
FIGUR 37 RISCAN OUTPUT AV AVSETNINGEN VED VOLLVIKA-SØR. ....	57
FIGUR 38 BLOKKER <1M SOM ER KLEMT IMELLOM TO MEGABLOKKER VED VOLLVIKA-SØR.....	58
FIGUR 39 RUNDETE GROVE BLOKKER (>1M-<2M) I EN PARTIKKELSTRUKTUR SOM LIGNER IMBRIKASJON, VED VOLLVIKA-SØR.....	59
FIGUR 40 MEGABLOKKER VED VOLLVIKA-SØR. ....	59
FIGUR 41 STRANDLINJEFORSKYVNINGSKURVE FRA BJUGN, SØR-TRØNDELAG. ....	64
FIGUR 42 EN AVSETNING I AUSTDALEN. ....	66
FIGUR 43 VOLLVIKA-NORD (ØVERST) OG VOLLVIKA-SØR (NEDERST). ....	67
FIGUR 44 AKSEORIENTERING RELATIVT TIL BARVIKA-LOKALITETEN.....	70

## Tabeller

TABELL 1 SKJEMA FOR DEN DESKRIPTIVE OBSERVASJONEN SOM BLE GJENNOMFØRT VED ALLE LOKALITETENE .....	30
TABELL 2 UTREGNEDE BØLGEHØYDER FOR VOLLVIKA-NORD. ....	61
TABELL 3 UTREGNEDE BØLGEHØYDER FOR BARVIKA.....	61
TABELL 4 UTREGNEDE BØLGEHØYDER FOR VOLLVIKA-SØR. ....	62
TABELL 5 SPREDNINGEN AV KORNSTØRRELSER I M <sup>3</sup> , FOR MÅLTE BLOKKER MED A-AKSE >2M, VED BARVIKA.....	63
TABELL 6 SPREDNINGEN AV KORNSTØRRELSER I M <sup>3</sup> , FOR MÅLTE BLOKKER MED A-AKSE >2M VED VOLLVIKA-NORD. ....	63



# 1 Innledning

Fokuset for denne masteroppgaven er tre grovkornede avsetninger lokalisert i kystlandskapet på Roan, Sør-Trøndelag. De ble lagt merke til da forskere fra NGU befarte området i 2010, i forbindelse med detaljert kartlegging av løsmasser i 1:15000, av deler av Roan og Osen.

Under tidligere kartlegging av løsmassene i området ble ikke disse formene tatt med (Bargel, 1996) og er følgelig per i dag ikke synlige i kart av Bargel (1996) eller i de tilgjengelige web-baserte løsmassekart fra NGU (NGU, a). Landformenes lokalisering i det storm og bølgeutsatte kystområdet på Roan, sammen med strandlignende morfologiske egenskaper i avsetningene, gjorde det aktuelt å undersøke om de kunne være dannet av litorale prosesser.

## 1.1 Stormbølger i kystgeomorfologien

Innenfor kystgeomorfologien er det i dag stor oppmerksomhet om grovkornede avsetninger og bølgeprosessene som dannet dem. Disse avsetningene er hovedsakelig sammensatt av blokker og megablokker, som er avsatt langs bølgeutsatte kyststrøk i blant annet Kina (Chen et al., 2011), Japan (Goto et al., 2009; Goto et al., 2010; Goto et al., 2011), Australia (Bryant & Nott, 2001; Nott, 1997; Oak, 1984; Saintilian & Rogers, 2005), Chile (Spiske & Bahlburg, 2011), Hawaii (Goff et al., 2006; Lorang, 2011; Noormets et al., 2004; Richmond et al., 2011), Italia (Barbano et al., 2010; Barbano et al., 2011; Mastronuzzi et al., 2007; Mastronuzzi & Pignatelli, 2012; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Pignatelli et al., 2009; Scicchitano et al., 2007; ), Portugal (Kortekaas & Dawson, 2007), Frankrike (Fichaut & Suanez, 2011; Suanez et al., 2009), Storbritannia (Hall et al., 2006; Hall et al., 2008; Hall, 2011; Hansom et al., 2008; Hansom & Hall, 2009; Knight & Burningham, 2011; Williams & Hall, 2004) og Island (Etienne & Paris, 2010). Det har lenge vært bred enighet i at slike avsetninger kan være et resultat av tsunamibølger (Bryant & Nott, 2001; Goto et al., 2007; Goto et al., 2010; Imamura et al., 2008; Kortekaas & Dawson, 2007; Mastronuzzi et al., 2007; Mastronuzzi & Pignatelli, 2012; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Nott, 1997; Nott, 2003; Paris et al., 2009; Paris et al., 2011; Pignatelli et al., 2009; Scicchitano et al., 2007; Weiss, 2012), men stadig flere studier viser at også stormbølger transporterer og avsetter partikler større enn blokk (Barbano et al., 2010; Chen et al., 2011; Etienne & Paris, 2010; Fichaut & Suanez, 2011; Goto et al., 2009; Goto et al., 2010; Goto et al., 2011; Hall et al., 2006; Hall, 2011; Hansom et al., 2008; Kate & Burningham, 2011; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Saintilian & Rogers, 2005; Scheffers & Scheffers, 2006; Weiss, 2012; Williams & Hall, 2004).

Studiene av stormbølgetransporten av grovt material bygger både på observasjoner knyttet til konkrete stormhendelser eller av hendelser i tidsrom der det ikke forekom tsunami (Barbano et al., 2010; Goto et al., 2009; Goto et al., 2010; Goto et al., 2011; Scheffers & Scheffers, 2006), og på funn av megablokker avsatt langs kystområder hvor det sjeldent eller aldri forekommer tsunamier, men hvor frekvensen av stormbølger er høy (Etienne & Paris, 2010; Hall, 2011; Hall et al., 2006; Hansom et al., 2008; Knight & Burningham, 2011; Williams & Hall, 2004).

Det har også vært utviklet ulike hydrodynamiske modeller for materialtransport ved tsunami og stormbølger (Lorang, 2000; Lorang, 2011; Noormets et al., 2004; Nott, 1997; Nott, 2003; Pignatelli et al., 2009; ), og disse anvendes blant annet til å teste om dokumenterte partikler kan ha vært mobilisert, transportert og avsatt av stormbølger (Etienne & Paris, 2010; Knight & Burningham, 2011; Lorang, 2000; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Noormets et al., 2004; Pignatelli et al., 2009; Williams & Hall, 2004). En av disse modellene ble utviklet av Nott (2003) og den består av ligningssett for de ulike bølgetypene. Ligningene for storm vil anvendes videre i oppgaven og redegjøres for i kapittel 3.

I tillegg til bølgehendelser og hydrodynamiske modeller, fokuseres det også på fysisk karakteristikk av partiklenes egenskaper og deres innbyrdes forhold, slik som imbrikasjon, orientering av akser og liknende, og hvordan dette speiler bølgeprosessene som avsatte dem (Chen et al., 2011; Barbano et al., 2010; Etienne & Paris, 2010; Hall, 2011; Kortekaas & Dawson, 2007; Oak, 1984; Paris et al., 2011, Richmond et al., 2011; Saintilian & Rogers, 2005; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004).

### 1.1.1 Eksempler på stormbølgeavsetninger

Stormbølger avsetter både enkeltblokker og mindre ansamlinger av material (Barbano et al., 2010; Goto et al., 2011; Hall et al., 2006; Hall, 2011; Paris et al., 2011; Williams & Hall, 2004), samt større og mer definerte landformer slik som blokkrygger og blokkstrender (Chen et al., 2011; Etienne & Paris, 2010; Hansom et al., 2008; Oak, 1984; Paris et al., 2011; Williams & Hall, 2004). Det finnes mange eksempler på at svært grove blokker har vært transportert mange meter innover land av stormbølger (Goto et al., 2009; Goto et al., 2010; Etienne & Paris, 2010; Fichaut & Suanez, 2011; Hall, 2011; Hall et al., 2006; Knight & Burningham, 2011; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004). På Banneg Island i Frankrike dokumenterte Suanez et al. (2009) en blokk på 32tonn med et volum på 10,34m<sup>3</sup> som er avsatt 14m innover land og Hall (2011) dokumenterte en blokk på 33,04 tonn med et volum på 14m<sup>3</sup> på den ytre delen av en kystplattform i East Lothian, Skottland. På Reykjanes, Island

ble det funnet en blokk med en vekt på 70,31 tonn med et volum på 24.04m<sup>3</sup>, i en blokkstrand 65m fra strandkanten (Etienne & Paris, 2010) og i en blokkstrand ved dagens strandkant på østre Potuo Island, Kina fant Chen et al. (2011) blokker på opp til 2m. På Kudaka Island, Japan fant Goto et al. (2009) at avsetningen av en blokk med vekt på ca.54 tonn og med et volum på 27m<sup>3</sup> 95m fra opprinnelig plassering, må ha vært transportert av stormbølger på grunn av fotodokumentasjon som viser at den har vært avsatt i en periode uten signifikante tsunamihendelser (Goto et al., 2009). Alle disse studiene konkluderer med at blokkene har vært transportert og avsatt av stormbølger. Dette gjøres på bakgrunn av den høye frekvensen av stormbølger og mangelen på dokumenterte tsunamier av en tilstrekkelig størrelse, samt egenskaper ved avsetningene. Det pekes også på nødvendigheten av gjentatte stormbølger for å organisere materialet i ansamlinger (Etienne & Paris, 2010; Hall, 2011; Suarez et al., 2009; Williams & Hall, 2004; Weiss, 2012).

Ingen av studiene viser til undersøkelser av alternative hypoteser for hvordan avsetningene har vært dannet, som for eksempel ved skred eller glasielle prosesser. Dette skyldes sannsynligvis at mange er fra områder ved havet som ikke er preget av glasielle avsetninger (Barbano et al., 2010; Chen et al., 2011; Goto et al., 2010; Goto et al., 2009; Richmond et al., 2011), eller at avsetningene ligger på flater (Barbano et al., 2010; Goto et al., 2010; Goto et al., 2009; Hall, 2011; Richmond et al., 2011) og på toppen av klipper (Williams & Hall, 2004; Richmond et al., 2011) der skråningsprosesser ikke er aktuelle som forklaring. Selv om Norge har en lang kyst som er utsatt for vind og bølger har ikke vært mulig å finne noen liknende studier herfra, og problemstillinger knyttet til bølgetransport av grovkornet material synes å være lite undersøkt i norsk geomorfologisk forskning.

## 1.2 Forskningsdesign

For avsetningene på Roan var det mer naturlig å fokusere på spørsmålet om det i det hele tatt er mulig at avsetningene hovedsakelig har vært dannet av vindbølger. Roanområdet har vært glasiert og relieffet tilsier at alternative prosesser kan ha medvirket lokalt. Imidlertid ligger de undersøkte avsetningene i veldefinerte nivåer i et område med dokumentert havnivåfall og har noen morfologiske felles trekk med strandavsetninger. Dermed er muligheten tilstede for at dette er hevede strandformer dannet av vindbølger.

Diskusjonen om hvilken bølgetype det kan ha vært er ikke så aktuell av to grunner. For det første er det kun en kjent tsunami som har truffet kysten av Roan, nemlig Storeggatsunamien. Da den traff norskekysten for mellom 8000-8200år siden (Bondevik et al., 1997; Bondevik et al., 2012; Bugge et al., 1987; Dawson et al., 2011; Vasskog et al., 2013) stod havet omtrent

35m over dagens havnivå (Kjemperud, 1983), og ingen av de undersøkte avsetningene lå i tidevannssonen. For det andre finnes det per dags dato ingen dokumenterte eksempler på hverken blokkrygger (ridges) eller blokkstrender som er avsatt av tsunamibølger (Etienne & Paris, 2010; Paris et al., 2011). Ettersom alle avsetningene som undersøkes er ansamlinger av løsmateriale som danner sammenhengende former, virker det lite sannsynlig at det kan være tsunamiavsetninger. Kysten av Roan ligger derimot utsatt til for storm og bare etter år 2000 har åtte tilfeller av ekstremvær med styrke over full storm truffet området (met.no).

### 1.3 Forskningsspørsmål og hypoteser

Opgaven tar derfor sikte på å knytte avsetningene på Roan opp mot den internasjonale forskningen på stormbølgeavsetninger, og undersøke om stormbølger kan være den dominerende prosessen bak dannelsen av disse formene.

Ut i fra disse spørsmålene ble følgende hypoteser testet:

- Utformingen av de tre grovkornede avsetningene på Roan har vært dominert av stormbølger.
- De tre avsetningene kan defineres som blokkstrender.

### 1.4 Geomorfologien og geo-historiske studier

Opgavens mål om å finne ut noe om prosessene som har dannet de undersøkte landformene på Roan plasserer den innenfor fagfeltet geomorfologi. Geomorfologien er ifølge Harrison (2005) selve kjernen i fagfeltet naturgeografi, og defineres som «det vitenskapelige studiet av landformer på jordens overflate og av prosessene som har dannet dem» (Allaby, 2008: 241 – egen oversettelse). Disiplinen startet som rent deskriptiv, med beskrivelse av landformer som arbeidsområde. Mot midten av 1900-tallet endret den seg mot et fokus på landskapet evolusjon og utvikling, ledet an av William Morris Davis og hans teori om «the cycle of erosion». Etter 1950 utviklet geomorfologien seg til å bli en vitenskapelig disiplin og undersøkelser av prosessene som danner landformene og teoretiske forklaringer på disse prosessene ble disiplinens kjerne (Harrison, 2005; Rhoads, 2005).

I studiet av relikte landformer, som også kalles geo-historiske studier, er målet å forklare hvilke hendelser som har dannet landformene, og hendelsene er sammensatt av både prosess og klimahistoriske betingelser (Rhoads, 2005). Da landformene som studeres her ikke lengre er aktivt påvirket av prosessene som dannet dem, kan oppgaven dermed defineres som et geo-historisk studie. Studiet av relikte landformer gir oppgaven fokus på både form og prosess. Målet er å forklare prosessen som har utformet landformene, men metoden blir hovedsakelig



observasjon av formene. Det blir også anvendt modellering av prosessen basert på parametre fra observasjonen, som en erstatning for mangelen på direkte observasjon av prosessen.

## 1.5 Begrensninger med vinklingen av oppgaven

Det var i utgangspunktet meningen å gå bredt ut, med flere arbeidshypoteser. På denne måten kan man undersøke alternative eller parallelle årsaksforklaringer for et fenomen (Inkpen & Wilson, 2013), noe som kunne gitt en mer helhetlig forklaring på landformene som undersøkes. Dette viste seg å ikke være gjennomførbart, da det ikke er mulig å i grundighet diskutere alle prosessene som kan ha vært delaktige, innenfor rammene av en masteroppgave. Derfor fokuseres det heller grundig på bølgeprosesser som mulig årsak for utviklingen av landformene slik de fremstår i dag, og alternative hypoteser vil kun diskuteres kort. Det er viktig å understreke at selv om resultatene viser at avsetningene kan være utformet av stormbølger, så utelukker ikke dette at andre prosesser kan ha spilt en viktig rolle, og dette vil fungere noe restriktivt for oppgavens konklusjoner.

## 1.6 Begrepsavklaringer

### 1.6.1 Kyst og strand

I henvisning til begreper kyst- og strandgeomorfologisk terminologi blir begreper fra Klemsdal (1979) anvendt. Første gang et en oversettelse av et begrep presenteres vil det engelske begrepet stå i parentes. Begrepet stormbølger henviser til vindbølger som er dannet under vind av storm styrke. Videre i oppgaven vil det brukes om høyenergi vindbølger som er dannet under sterk vind.

### 1.6.2 Kornstørrelser

Når det i oppgaven tales om partikler som blokk, stein eller grus henvises det til Udden-Wentworth skalaen for kornstørrelser. Den deler partikler inn i størrelseskategoriene leir, silt, sand, grus, stein og blokk (Blair & McPherson, 1999; Masselink et al., 2011). Grus defineres som partikler  $>2\text{mm}<64\text{mm}$ , stein defineres som partikler  $>64\text{mm}<256\text{mm}$  og blokks defineres som alle partikler  $>256\text{mm}$  (Blair & McPherson, 1999; Masselink et al., 2011).

### 1.6.3 Kalibrerte og ukalibrerte Karbon 14 år

Når det i oppgaven henvises til dateringer er disse ofte oppgitt i ukalibrerte karbonår BP-before present. Karbondatering gir resultater i karbon 14 år, som avviker noe fra kalenderår og jo eldre det som dateres er jo større blir avviket (Vorren & Mangerud, 2006). Dateringene oppgis som år before present (BP). Before present, eller før nåtid henviser til nåtid som året 1950, som er en standard for nåtid, da nåtid endrer seg konstant (Rose, 2007; Van der Plicht

& Hogg, 2006). Alle dateringer som i teksten oppgis i karbonår blir i også oppgitt i kalibrerte kalenderår før nåtid (cal.BP = calibrated before present ) og kalibreringen er utført i Calib 7.0, som er tilgjengelig fra <http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/calib/calib.html>.

## 1.7 Oppgavens struktur

Oppgaven har åtte kapitler. I innledningskapittelet presenteres temaet og problemstillingen for oppgaven, samt den faglige konteksten den står i. Det redegjøres også for begrensninger ved oppgaven og begreper som anvendes avklares her. Kapittel 2 er en områdebeskrivelse. Her blir de de fysiske, klimatiske og landskapshistoriske egenskapene ved feltområdet presentert kort for å gi en grunnleggende forståelse for omgivelsene de diskuterte avsetningene er dannet i. I kapittel 3 blir det redegjort for den teoretiske tilnærmingen til problemstillingen. Det innebærer en kort teoretisk innføring i strandsonen, bølgedynamikk, og bølgetransport av material, samt en redegjørelse for stormbølgers geomorfologiske og sedimentologiske signaturene på grovkornede avsetninger. Disse er hentet fra beskrivelser og funn i forskningen som er nevnt over. Kapittel 4 redegjør for metodene som er anvendt, både i feltarbeidet og i analysen av dataene. Disse metodene bygger på teorien og empirien beskrevet i kapittel 3. Mulige feilkilder blir diskutert og kapittelet avsluttes med en diskusjon rundt objektivitet, reliabilitet og etterprøvnbarhet i observasjonen. Kapittel 5 redegjør for resultatene fra feltarbeidet og analysen av dataene fra felt, og dette kapittelet følges av diskusjonen i kapittel 6, hvor disse resultatene blir diskutert i lys av teorien og empirien som ble presentert i kapittel 3. I kapittel 7 presenteres en kort konklusjon, og forslag til videre forskning med bakgrunn i feil og mangler i eget arbeid presenteres i kapittel 8.

## 2 Områdebeskrivelse

Feltområdet som undersøkes ligger i Roan kommune i Sør-Trøndelag. Roan ligger på kysten av Fosen, i Sør-Trøndelag, vendt mot Norskehavet. Landskapet på Roan er flatt, med mange små fjell og berg, som er skilt fra hverandre av små daler. Det er utført feltarbeid ved i alt tre lokaliteter, som vises i kartet i Figur 1. Barvika ligger på fastlandet og Vollvika-nord og Vollvika-sør ligger på Brandsøya. I løpet av befaringen av området ble det undersøkt mange liknende grove avsetninger som også er markert i kartet i Figur 1.



Figur 1 Kart over Roan. Øverst: oversiktskart over Roan. Nederst: kartutsnitt over feltområdene på Roan. Navnene representerer lokalitetene og x representerer lokaliteter som er befart. Diamantformen representerer avsetninger som skiller seg fra de undersøkte lokalitetene (Grunnlagskart fra Kartverket.no).

## 2.1 Regional utvikling

### 2.1.1 Berggrunnsgeologi

Berggrunnen på Roan er en del av den Kaledonske fjellkjeden, som ble dannet for omtrent 400-500 millioner år siden, under Ordovicium og Silur (Sveian & Solli, 1997). Ved Roan består den stort sett av gneis, som er en metamorf bergart preget av mørke og lyse bånd (Sveian & Solli, 1997). Metamorfe bergarter, også kalt omdannede bergarter, har vært utsatt for tilstrekkelig trykk og varme til at de endrer egenskaper (Sulebak, 2007; Sveian & Solli, 1997, a; Krom, 2008). På grunn av denne omdannelsen er de metamorfe bergartene generelt motstandsdyktige (Krom, 2008). I dagens landskap er det det dypere og mest omdannede berget som er fremme i dagen og Sveian & Solli (1997) mener at gneisen på Roan må ha vært dannet på minst 50 kilometers dyp.

Gneisen defineres videre ut i fra hvilke mineraler og bergarter den inneholder. Granittisk gneis er en granitt som har blitt omdannet til en gneis (Sveian & Solli, 1997). Berggrunnen ved feltlokalitetene på Roan er hovedsakelig bygget opp av grå til rød-grå granittisk gneis, med noe varierende innhold av bergarter/mineraler (NGU, b). Det er blant annet mindre legemer med Gabbro spredt rundt i berggrunnen på Roan (Sveian & Solli, 1997). Ved Vollvika-sør er det også en kjerne av amfibolgneis, samt noe mørk grå granittisk gneis (NGU, b).

### 2.1.2 Istider og glasial utforming av landskapet

Under kvartær var Roan dekket av is i flere perioder og dette har satt spor i landskapet. Den siste perioden Roan var dekket av is var for ca. 20000 år siden, under den maksimale isutbredelsen under Weichsel (Vorren & Mangerud, 2006). Det var da en massiv isbevegelse vest-nordvest over Trøndelag, tvers over store terrengforsenkninger (Sveian og Solli, 1997). Skuringsstriper som ble funnet under kartlegging av Roan, viser en lokal brebevegelse mot vest-nordvest (Bargel, 1996). Disse er funnet ved Nordstigan i nærheten av Barvika, og ved Nesvalen i nærheten av Vollvikan. De viser en brebevegelse som går på tvers av de små forsenkningene hvor to av de undersøkte lokalitetene ligger. Da isen smeltet tilbake og ble tynnere konsentrerte bevegelsen seg i isstrømmer som fulgte daler og forsenkninger (Klemsdal, 1982; Sveian & Solli, 1997).

I løpet av isavsmeltingen etter den maksimale glasiale utbredelsen under Weichel var det flere perioder med stagnasjon, og midlertidige fremrykk av brefronten. Disse har satt sport etter seg i form av «trinn» i landskapet, dannet av morenerygger og terrasser (Sveian & Solli, 1997). Lokalitetene på Roan ligger utenfor det ytre kystrandtrinnet (Sveian & Solli, 1997; Vorren &

Mangerud, 2006) og funn av hvalskjelett i den marine leira på Roan er datert til ca 12500-12200 C14 år, eller mellom 14-15000 kalenderår tilbake i tid (Vorren & Mangerud, 2006). Med andre ord har Roan vært isfritt og en del av havbunnen på dette tidspunktet.

### 2.1.3 Strandflaten

Kystlandskapet på Roan er en del av det som kalles den norske strandflaten. Strandflaten binder sammen fastlandet og kontinentalsokkelen (Holtedahl, 1998; Klemsdal, 1982; Vorren & Mangerud, 2006) og dens utstrekning er opptil 60km bred langs kysten av Sør-Trøndelag (Holtedahl, 1998; Corner, 2005). Selve flaten er slak og ru, med høydefordeling mellom ca. -40m til ca. +80moh (Klemsdal, 1982; Holtedahl, 1998), men dette varierer noe (Holtedahl, 1998). At strandflaten ofte er høyere innover mot land skyldes ifølge Vorren og Mangerud (2006) at landhevingen har vært kraftigere her. Flaten preges av lave berg og klipper, noen fullstendig over dagens havnivå og noen som i dag danner øyer og skjær, separert av smale sund og viker, eller bredere flater. Oftest ender strandflaten brått der den møter fastlandets rette klippevegger og fjell, og dype fjorder og daler, men noen steder er overgangen slakere (Klemsdal, 1982; Holtedahl, 1998). På Roan, ved kysten av Sør-Trøndelag gir strandflatens møte med de bratte klippekantene mot land et inntrykk av to hovednivåer i landskapet.

Den generelt aksepterte teorien per i dag er at strandflaten er en polygenetisk form, dannet som et resultat av flere prosesser gjennom periodene Pliocen og Pleistocen (Corner, 2005; Holtedahl, 1959, i Larsen & Holtedahl, 1985; Holtedahl, 1998; Klemsdal, 1982). De mest dominerende blant disse prosessene er glasial erosjon, marin erosjon, havis erosjon, og en betydelig andel frostforvitring (Ben & Evans, 2010; Holtedahl, 1998; Klemsdal, 1982; Corner, 2005). Kystområdene var isfrie i også i deler av kvartærtiden da innlandet var dekket av breer og i disse periodene var områdene utsatt for erosjon av både bølger og havis, samt forvitring primært drevet av frostpregning (Holtedahl, 1998; Vorren og Mangerud, 2006). Løsmaterialet etter forvitring og erosjon har ifølge Vorren og Mangerud (2006) blitt fraktet bort av bølgene, og av isen i de periodene området var dekket av breer.

### 2.1.4 Isostasi og strandlinjeforskyvning i Holosen

Gjennom Kvartær ble jordskorpen gjentatte ganger presset ned under vekten av den overliggende isen og avlastningen etter at det siste isdekket smeltet bort har medført at landet hever seg. Dette kalles glasial isostasi (Ben & Evans, 2010; Sulebak, 2007). Den isostatiske landhevingen har igjen ført til at det relative havnivået har sunket og norskekysten har hatt en strandlinjeforskyvning gjennom Holosen. Fordi landhevingen ikke har vært jevn over hele landet, varierer strandlinjeforskyvningen fra sted til sted (Vorren et al., 2006).

Roan har en marin grense på ca. 120 m.o.h. (NGU, a). De undersøkte avsetningene på Roan som i dag ligger mellom 7 – 23m.o.h har derfor på et tidspunkt ligget i strandkanten. Det er ikke laget noen strandlinjeforskyvningskurve for Roan og det blir derfor anvendt en strandlinjeforskyvningskurve for Bjugn. Bjugn ligger i relativ nærhet til Roan, noe lengre sør på Fosen og ligner Roan i sin kystbeliggenhet, med en marin grense på ca. 120 m.o.h (NGU, a). I henhold til strandlinjeforskyvningskurven fra Bjugn har de diskuterte avsetningene ligget i tidevannssonen i tidsrommet mellom ca 5100 år cal BP. til 1800 år cal BP. Dette redegjøres nærmere for under avsnitt 5.7.

#### 2.1.5 Løsmasser

Feltområdene på Roan ligger i områder som enten er preget av bart fjell eller dekket av tynne marine løsmasseavsetninger (Bargel, 1996). Disse ble dannet i tiden da området lå under marin grense og i tidevannssonen, som følge av bølgevask av den gamle sjøbunnen som ble hevet frem av landhevingen (Sveian & Solli, 1997).

Løsmassekart i 1:50000 over deler av Roan og Stokksund, produsert av Norges Geologiske Undersøkelse på i 1996 (Bargel, 1996) viser at bakken mellom bergene ved Barvika er dekket av et med et tynt lag av hav- og strandavsetninger, mens selve området der avsetningen ligger er kartlagt som bart fjell. Ved Vollvika-nord er bakken mellom bergene dekket av et sammenhengende dekke av hav- og strandavsetninger og marine strandvaskede sedimenter. Ved Vollvika-sør er hele flaten avsetningen dekker kartlagt som bart fjell (Bargel, 1996).

#### 2.1.6 Klimautvikling gjennom sen-Pleistocen

Yngre Dryas er betegnelsen på en periode med klimaforverring for ca. 11000 år siden, som resulterte i det siste store breframrykket før Holosen (Ben & Evans; 2010; Blikra & Nemeč, 1998; Sulebak, 2007). Breframrykket stanset lengre inn i landet og Roan var isfritt under perioden (Sulebak, 2007; Vorren & Mangerud, 2006).

Overgangen fra Yngre Dryas til Holosen skjedde for omtrent 10000 år siden (10000 år cal. BP) (Blikra & Nemeč, 1997; Nesje & Dahl, 1993). Fra ca. 9000-5000år siden dominerte et varmere klima (Bjune et al., 2005; Nesje & Dahl, 1993). Deretter har klimaet fluktuert mellom varmere og kaldere perioder, demonstrert av perioder med bresmelting og breframrykk (Blikra & Nemeč, 1997; Nesje & Dahl, 1993; Wanner et al., 2008). Veldig generelt kan man si at det var en varmere periode mellom ca 8000 – 4000 år cal. BP og en kaldere periode med økt brefremgang i Norge etter 4000 år cal. BP (Nesje, 2001; Nesje et al., 2001).

### 2.1.7 Lokalt klima i dag: vindstyrke og bølgehøyder

Det kommer frem over at klimaet har variert gjennom Holosen, og det knyttes også usikkerhet til hvordan klimaet påvirker ekstremvær (Houghton, 2009; Meehl et al., 2000) , og da igjen bølgehøyder. I mangel av måledata fra tidligere tider, anvendes måledata fra etter år 2000.

Disse dataene blir da ikke fullstendig representative for hele Holosen, men kan gi et bilde på hvordan vind og bølgeklimate sannsynligvis har vært i perioder. Etter år 2000 har det inntruffet åtte ekstremværhendelser på Roan, med styrke over full storm. Av disse er det fem registrerte sterke stormer og en registrert orkan (met.no). Målestasjonene for bølgehøyde som er lokalisert nærmest Roan er Draugen, ved Halten fyr, og Heidrun, nord for Haltenbanken. Mellom 2011 og 2013 er det målt signifikante bølgehøyder på opptil 12m ved disse målestasjonene (Lien, klimavakten, pers. medd., 17.01.14).



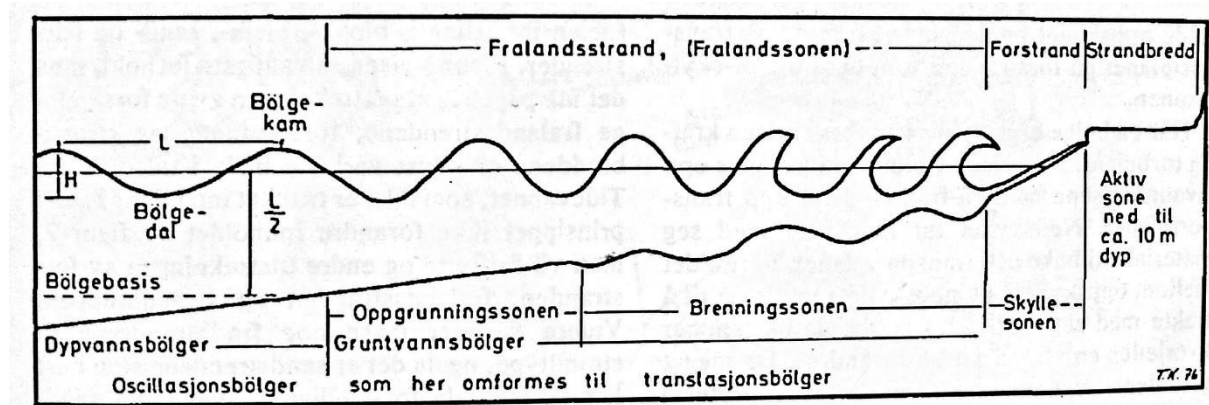


### 3 Teoretisk tilnærming

I dette kapittelet redegjøres det for teorien og empirien som anvendes videre i oppgaven. Kapittelet starter med et kort overblikk over strandsonen og dens terminologi. Deretter redegjøres det for bølgedynamikk og materialtransport, og til slutt følger en redegjørelse for hvilke signaturer stormbølger setter på blokkavsetninger, med bakgrunn i forskningen som er gjort på stormbølgers rolle i transporten og avsetningen av store blokker langs bergkyster. Dette er bakgrunnen for utvelgelsen av parametre som ble undersøkt i feltarbeidet, som utgjør grunnlaget for datamaterialet for denne oppgaven.

#### 3.1 Strandsonen

I henhold til Klemsdals (1979) klassifisering av strandsonen, kan den morfologisk inndeles i fralandsstranden, forstranden og strandbredden, og dynamisk kan den deles inn i oppgrunningssonen, brenningssonen og skyllesonen (Figur 2). Oppgrunningssonen, som ligger ytterst på fralandsstranden, er området der bølgene begynner å bearbeide havbunnen. I den indre delen av oppgrunningssonen, eller brenningssonen, blir bølgene tilstrekkelig ustabile og bryter, og de brytende bølgene skylles opp forstranden, som også kalles skyllesonen. Over det øvre punktet som påvirkes av oppskyll under normale forhold begynner strandbredden. Dette området er normalt tørt og påvirkes kun av bølger under høyenergihendelser. Strandbredden ender ved det øverste punktet for stormbølgepåvirkning (Klemsdal, 1979). For strender som er bygget opp av løsmasser er det materialtypen som bestemmer hvilken type strand det er, og det skilles mellom blokk strand, steinstrand, sandstrand og leirstrand (Klemsdal, 1979).



Figur 2 Morfologisk inndeling av strandsonen i fralandsstrand, forstrand og strandbredd, og den dynamiske inndelingen i oppgrunningssonen, brenningssonen og skyllesonen (Klemsdal, 1979).

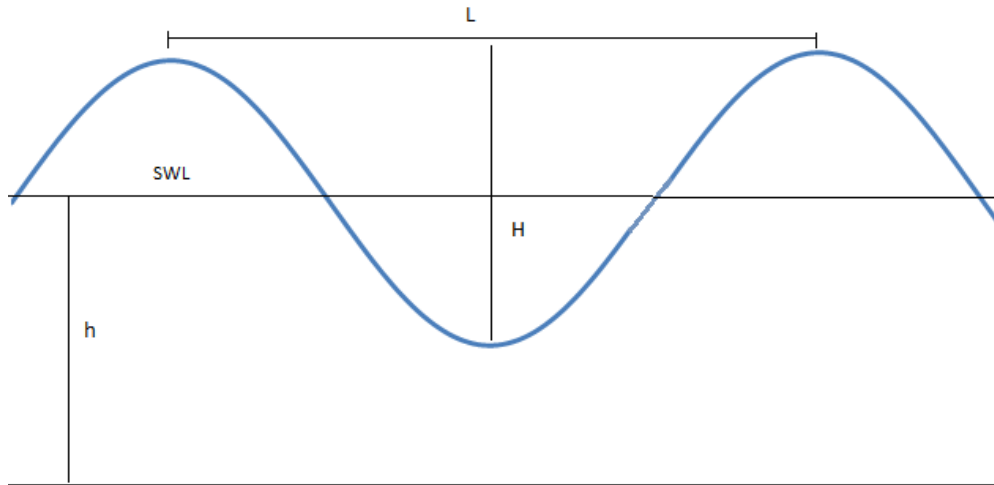
### 3.2 Stormens påvirkning på bølger

Storm defineres i Beaufortskalaen som en vindstyrke mellom 20,8 og 32,6 meter i sekundet (m/s). Over 32 m/s defineres som orkan (Metrologisk Institutt). Stormens påvirkning på kysten består av både stormflo (surge) og bølger (Dingler, 2005; Weiss, 2012). Når sterk vind blåser mot kysten kan vannet presses mot land og havet stiger midlertidig. Under storm styrke vind kalles dette stormflo (Dingler, 2005; Masselink et al., 2011). Dette vil heve havnivået ved strandkanten og partikler som vanligvis ligger tørt på forstrandsonen oversvømmes. I henhold til stormbølger har en storm høy total energi på grunn av det sammenlagte antallet bølger (Weiss, 2012).

### 3.3 Bølger og bølgedynamikk: vindbølger

Vindbølger, derunder stormbølger oppstår og får sin energi fra vinden, og hvor mye bølgeenergi som dannes er en funksjon av vindens hastighet og varighet, samt Sjørommet vinden får virke på (Masselink et al., 2011; Sulebak, 2007; Sunamura, 1992).

For å beskrive bølgedynamikk er det vanlig å bruke parametrene vanddybde  $h$ , bølgehøyde,  $H$ , bølgelengde,  $L$ , bølgeperiode,  $T$  og velositet (bølgehastighet),  $C$ , (Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). De tre første vises i Figur 3. Vanddybden er et mål på avstanden mellom havoverflaten ved stille vann (still water level, SWL) og havbunnen, og nivået der vannpartiklene ikke lenger er påvirket av bølgebevegelsen kalles bølgebasis. Bølgehøyden bestemmes av avstanden mellom bølgetrau og bølgetopp. En vanlig måte å regne ut bølgehøyde på er å anvende den signifikante bølgehøyden, som regnes ut ved å finne gjennomsnittet av bølgene innenfor den høyeste tredelen bølger i et datasett. (Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). Bølgelengden er et mål på avstanden mellom to bølgetopper og for å regne ut hvor bratt bølgen er deles bølgehøyden på bølgelengden  $\left(\frac{H}{L}\right)$ . Tidsintervallet mellom to passerende bølgetopper betegnes som bølgeperioden og den signifikante bølgeperioden er den gjennomsnittlige bølgeperioden mellom de signifikante bølgehøydene. Bølgehastigheten regnes ut ved å dele bølgelengden på bølgeperioden  $(C = \frac{L}{T})$  (Masselink, 2008).



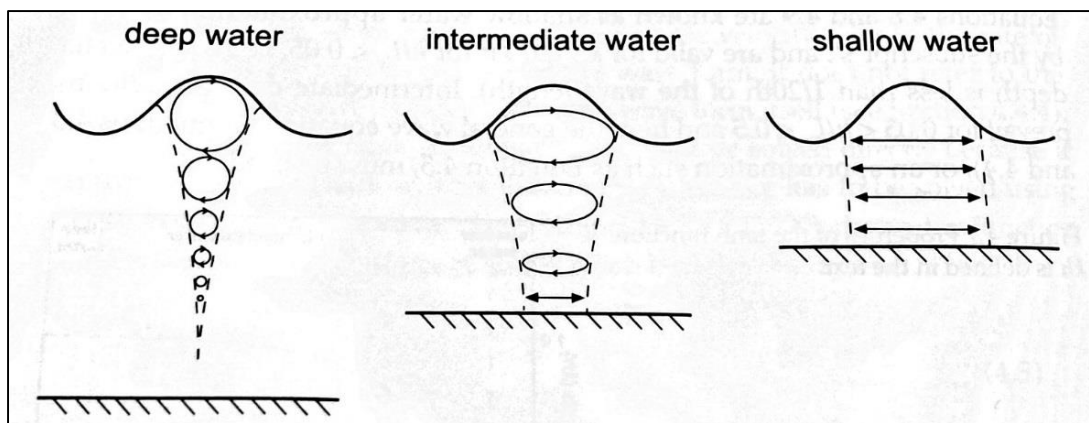
Figur 3 Bølgeparametre: still water level (SWL), bølgehøyde (H), bølgelende (L) og vanndybde (h) (modifisert fra Sunamura, 1992).

### 3.4 Lineær bølge teori

For å få en grunnleggende forståelse av bølgedynamikken og hvordan bølger beveger seg når de flytter seg fra dypt vann og innover i strandsonen kan lineær bølge teori anvendes (Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). Teorien er en forenklet matematisk fremstilling av virkelighetens mer komplekse bølger, og har ifølge Sunamura (1992) sine svakheter, spesielt for å se på bølger i grunt vann, men er tilstrekkelig til å gi en oversikt i denne oppgaven.

#### 3.4.1 Partikkelbevegelsen i bølger

Enkelt forklart tar lineær bølge teori utgangspunkt i forholdet mellom variablene vanndybde  $h$  og bølgelengde  $L$  ved dypvannsbølger for å forklare hvordan vannpartiklene i bølger beveger seg. Når bølgen er i dypt vann, og dermed upåvirket av bunnen, beveger vannpartiklene seg i en sirkulær bevegelse (Klemsdal, 1979; Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). Klemsdal (1979) betegner dette som oscillasjonsbølger. Men når bølgen kommer inn i oppgrunningssonen blir denne bevegelsen gradvis mer ellipseformet, og etter hvert horisontal (Klemsdal, 1979; Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). Bevegelsen av vannet og energien blir da mer rettet mot land og bølgene betegnes da som translasjonsbølger (Klemsdal, 1979). Denne prosessen vises i Figur 4.



Figur 4 Partikkelbevegelse i bølger. Vannpartiklene går fra å bevege seg sirkulært i dypt vann til å bevege seg elliptisk, og etterhvert horisontalt når bølgen beveger seg inn i grunt vann og bølgebasen møter bunnen (Masselink et al., 2011: 82).

### 3.4.2 Grunning og brytende bølger

Friksjonen som oppstår når bølgene begynner å føle bunnen i oppgrunningssonen fører til at de endrer form og denne dette starter når vanddybden er tilnærmet som lik bølgebasis.

Bølgehøyden øker og bølgelengden minker, og dette konsentrerer energien over kortere avstand, samt gir brattere og mer ustabile bølger som etterhvert vil bryte. Denne prosessen kalles grunning (shoaling) (Dingler, 2005; Klemsdal, 1979; Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). Bølgens energi og høyde reduseres med avstanden fra punktet der bølgen har brutt, på grunn av friksjon mot bunnen og turbulens (Lorang, 2000; Sunamura, 1992).

### 3.4.3 Refraksjon og diffraksjon

Fordi den delen av bølgen som er i dypere vann beveger seg raskere enn den delen som er i grunnere vann vil bølgetoppene dreies etter bunnkonturene (batymetrien). Dette kalles refraksjon (Dingler, 2005; Masselink et al., 2011; Sunamura, 1992). Refraksjonen fører til at bølgene tilpasser seg kysten og dreier mot strandlinjen når de kommer inn i oppgrunningssonen (Masselink et al., 2011; Hanes & Erikson, 2013). Ved nok variasjon i bunnkonturene kan bølger utsettes for ultra-refraksjon, som vil si at de dreier mer enn  $90^\circ$  og dermed kan forplante seg inn i områder som ellers virker skjermet, slik som i lesiden av en øy (Hanes & Erikson, 2013).

Diffraksjon vil si at bølgeenergien overføres langs bølgetoppene i stedet for langs bølgeretningen, når bølgen dreier med bunnkonturene. Sammen med refraksjonens dreining av bølgetoppene medfører dette at bølgeenergien kan trenge inn i vik og sund (Masselink et al., 2011).

#### 3.4.4 Bølgeenergi og dynamisk trykk

Bevegelsen av en bølge bortover havoverflaten overfører energi gjennom vannet. Den har potensiell energi som følge av deformasjonen av havoverflaten og kinetisk energi på grunn av vannpartiklenes bevegelse. Den totale bølgeenergien bestemmes av forholdet mellom vannets tetthet  $\rho$ , påvirkning av gravitasjonskraften  $g$  og bølgehøyden  $H$ . En dobling av bølgehøyden vil ifølge Masselink et al. (2011) føre til en firedobling av bølgeenergien.

Det dynamiske trykket som genereres av en brytende bølge synker eksponentielt under SWL og er aller størst ved, og litt over SWL (Sunamura, 1992). Det vil si at bølgens påvirkningskraft, både på erosjon og materialtransport er størst nær SWL. Hvordan en bølge treffer land, eller en bergvegg/klippe i strandsonen påvirker hvor mye trykk (pressure) bølgen utøver på det den treffer. Bølgen kan være stående, brytende eller allerede ha brutt når den treffer land, noe som er avhengig av forholdet mellom bølgehøyden og vanndybden. Jo større bølgen er, og jo lavere vannet er, jo raskere vil bølgen den føle bunnen og brytes. Bølger som treffer brytende utøver det største dynamiske trykket (Sunamura, 1992).

#### 3.5 Mobilisering og transport av material

Bølgetransport av material i strandsonen starter når vanndybden er lik bølgebasis, og bølgen begynner å påvirke havbunnen og påføre kraft på partiklene som ligger i dens vei (Dingler, 2005). Materialet vil settes i bevegelse når kreftene som forsøker å flytte på det er større enn kreftene som holder det på plass, det vil si når stresset som påføres partikkelen overgår motstandskraften. Stresset skapes av drag, som er en konsekvens av friksjonen mellom vannet og partikkelen, og løft, som oppstår fordi vannet strømmes raskere over partikkelen enn under og skaper en trykkforskjell. Motstandskraften gis av partikkelens masse under påvirkning av tyngdekraften (Masselink et al., 2011; Noormets et al., 2004; Nott, 2003). Dette uttrykkes med Shields parameter, et dimensjonsløst parameter som beskriver det kritiske skjærstresset nødvendig for å mobilisere partikler (Church, 2002; Masselink et al., 2011).

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{gD(\rho_s - \rho)}$$

Hvor  $\tau_c$  er skjærstress,  $g$  er gravitasjonens akselerasjon,  $D$  er et dimensjonsløst korn/partikkel parameter,  $\rho_s$  er partikkelens tetthet og  $\rho$  er vannets tetthet. Enkelt forklart betyr det at det kritiske skjærstresset er avhengig av forholdet mellom vannets skjærstress og partikkelens neddykkede vekt (Church, 2002; Masselink et al., 2011).

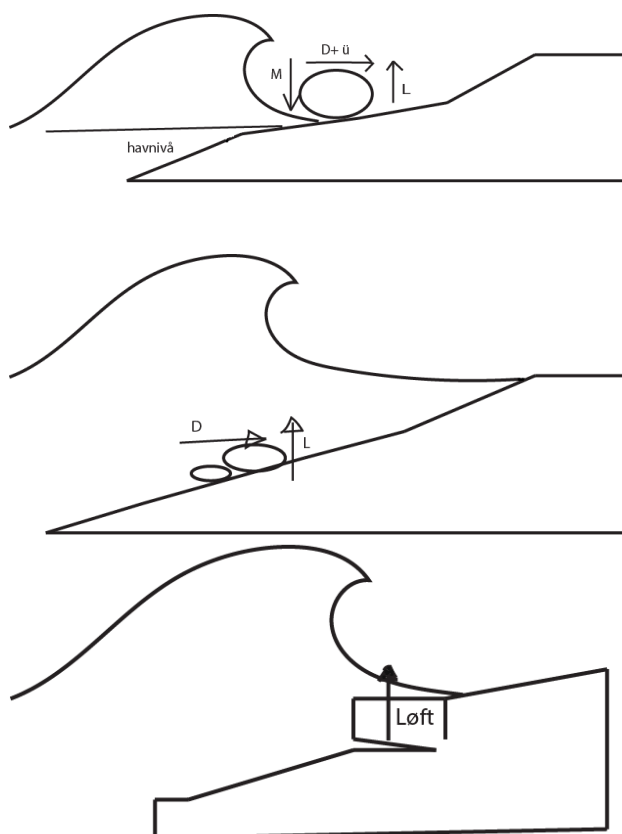
Motstandskraften vil også kunne påvirkes av om partikkelen er låst i en struktur og dette vil endre mengden nødvendig energi for transport. Dette kan forklares med Equal Mobility teorien fra fluvialgeomorfologien. Den beskriver hvordan partikler som er en del av en imbrikert struktur eller er fanget under større partikler eller et grovt dekk sjikt, ikke vil mobiliseres før kreftene som virker på dem er tilstrekkelige til å flytte på de grovere partiklene. Dermed kan alt materialet mobiliseres når en terskelverdi som er høy nok for transport av de grovere partiklene overskrides (Andrews & Smith, 1992, i Knighton, 1998; Komar & Shih, 1992; Parker et al., 1982).

### 3.5.1 Ulike former for transport

Partikler kan bevege seg på flere måter, alt etter hvor sterke kreftene som virker på dem er. Suspensjonstransport krever at bølgen har nok kompetanse til å både løfte partikkelen og holde den i bevegelse uten kontakt med bunnen. I følge Benn & Evans (2010) vil størrelsen på partikler som kan suspenderes øke med turbulens og fart, men vil sjeldent være grovere enn fin sand. Når bølgen har nok kraft til å løfte partikkelen fra bunnen, men ikke til å holde løftede partikler i videre transport, får de en hoppende bevegelse og dette kalles saltasjon (Benn & Evans, 2010; Knighton, 1998). Grovere kornstørrelser slik som blokker vil som regel dyttes eller roteres uten å miste kontakten med bunnen (Weiss, 2012) og bevegelsen blir glidende eller rullende (Benn & Evans, 2010; Knighton, 1998; Masselink et al., 2011). Weiss (2012) foreslår at blokker vil rotere når drag kreftene som virker på den er mindre enn løft kreftene, mens blokken vil dyttes hvis de to kreftene er like. Dette vil sannsynligvis kunne utgjøre en forskjell for en blokk som ligger låst i en struktur, rektangulær blokk med hulrom under, i en avsetning med høy ruhet.

### 3.5.2 Notts ligninger: tre scenarier for materialtransport

Nott (2003) utviklet et sett ligninger som anvendes for å regne ut den nødvendige bølgehøyden for å mobilisere blokker av en gitt størrelse, med hensyn til deres posisjon i terrenget forut for transporten. Det er ligninger for både tsunami og stormbølger, og de har blant annet vært anvendt til å teste om stormbølger kan stå bak avsetningen av grovkornet materiale (Barbano et al., 2010; Etienne & Paris, 2010; Knight & Burningham, 2011; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Paris et al., 2010; Williams & Hall, 2004).



Figur 5 Tre scenarier for bølgetransport fra Nott (2003). Øverst: subaerial, Midten: submarin, nederst: sprekkeavgrenset.  $D$ =drag,  $L$ =løft,  $M$ =masse,  $\ddot{u}$ =momentan akselerasjon (egen illustrasjon).

Hvordan blokken er plassert i strandsonen forut for transport påvirker også hvilke krefter som er nødvendige for å mobilisere den. Jo flere krefter som virker på blokken, jo mindre bølgekraft er nødvendig (Nott, 2003). Nott (2003) foreslår derfor tre scenarier (Figur 5). De tre scenariene tar hensyn til hvordan blokkene påvirkes av drag, løft og treghet (inertia), men ikke om de er uavhengige av kontakten med andre partikler. Blokker som ligger subaerilt (subaerial), som vil si over vann forut for transport, vil i tillegg til drag og løft oppleve en momentan akselerasjon fordi den ikke bremses av hverken vann eller sprekkeavgrensning (joint bound). De påvirkes derfor også av en treghetsfaktor (inertia). Submarine blokker (submerged), som ligger under vann forut for transport blir kun påvirket av drag og løft, men ikke treghet (inertia) ettersom de bremses av vannet rundt seg. Blokker som er sprekkeavgrensede (joint bound) vil kun påvirkes av løft før de plukket løs. Deretter påvirkes de også av drag (Nott, 2003). Det betyr at det må større bølger med mer kraft til for å løsne sprekkeavgrensede blokker og Noormets et al. (2004) foreslår at blokken må være minst 60% løsnet for å kunne mobiliseres av en vindbølge.

### 3.6 Notts ligninger for stormbølgehøyde

I denne oppgaven anvendes Notts (2003) ligninger for storm, som beskrives under. Output fra ligningene er høyden på den brytende bølgen i meter. Ligningene bygger på dragkraft (drag force moment)  $F_d$ , løftkraft (lift force moment)  $F_l$ , treghet (inertia)  $F_m$  og motstandskraft (restraining force moment)  $F_r$ , som uttrykkes som henholdsvis

$$F_d = (0.5\rho_w C_d(ac)u^2)c/2 \quad (1)$$

$$F_l = (0.5\rho_w C_l(bc)u^2)b/2 \quad (2)$$

$$F_m = \rho_w C_m(abc)\ddot{u} \quad (3)$$

$$F_r = (\rho_s - \rho_w)(abc)gb/2 \quad (4)$$

Hvor  $\rho_s$  er blokkens tetthet,  $\rho_w$  er vannets tetthet,  $a$  er blokkens a-akse,  $b$  er blokkens b-akse,  $c$  er blokkens c-akse,  $C_d$  er en koeffisient for drag,  $C_l$  er en koeffisient for løft,  $C_m$  er en koeffisient for masse,  $u$  er bølgens velositet,  $\ddot{u}$  er momentan akselerasjon og  $g$  er en konstant som representerer gravitasjonskraften (Nott, 2003).

#### 3.6.1 Submarint scenario

Nott (2003) skiller som nevnt mellom tre ulike transportsценарier og disse er tilknyttet ulike sett ligninger; et for submarine blokker, et for subaerile blokker og et for sprekkeavgrensede blokker (Figur 5). For å mobilisere submarine blokker får man uttrykket

$$F_d + F_l \geq F_r \quad (5)$$

Som gir

$$0.5\rho_w u^2 0.5(C_d(ac^2) + C_l(b^2c)) \geq 0.5(\rho_s - \rho_w)ab^2cg. \quad (6)$$

$$u = \delta(gH)^{0.5} \quad (7)$$

Derfor er

$$u^2 = \delta(gH) \quad (8)$$

hvor  $\delta$  er en parameter som bestemmes av hvilken type bølge det er (tsunami eller storm) og  $H$  er bølgehøyden. Gjennom flere ledd med forenkling i Nott (2003:271) gir følgende uttrykk

$$H_s \geq \frac{(\rho_s - \rho_w / \rho_w) 2a}{C_d(ac/b^2) + C_l} \quad (9)$$

hvor  $H_s$  er høyden på stormbølgen når den bryter,  $u = (gH)^{0.5}$  og  $\delta$  er 1.



### 3.6.2 Subaerilt scenario

Transport av subaerile blokker uttrykkes som

$$F_d + F_I \geq F_r - F_m \quad (10)$$

som blir

$$0.5\rho_w u^2 0.5(C_d(ac^2) + C_I(b^2c)) \geq 0.5(\rho_s - \rho_w)ab^2cg - C_m\rho_w abc\ddot{u} \quad (11)$$

Flere ledd med forenklinger i Nott (2003:273) gir følgende ligning for storm

$$H_s \geq \frac{(\rho_s - \rho_w / \rho_w)((2a - 4C_m(a/b)(\ddot{u}/g))}{C_d(ac/b^2) + C_I} \quad (12)$$

hvor  $H_s$  er høyden på stormbølgen når den bryter,  $u = (gH)^{0.5}$  og  $\delta$  er 1.

### 3.6.3 Sprekkeavgrenset scenario

Transport av blokker som er sprekkeavgrensede uttrykkes som

$$F_I \geq F_r \quad (13)$$

som blir

$$(0.5\rho_w C_I(bc)u^2)b/2 \geq (\rho_s - \rho_w)(abc)gb/2 \quad (14)$$

Forenklinger i Nott (2003:274) gir følgende uttrykk

$$H_s = \frac{(\rho_s - \rho_w / \rho_w)a}{C_I} \quad (15)$$

hvor  $H_s$  er høyden på stormbølgen når den bryter,  $u = (gH)^{0.5}$  og  $\delta$  er 1. Valg av koeffisientverdier blir redegjort for i metodekapittelet.

## 3.7 Egenskaper ved stormbølgeavsetninger

### 3.7.1 Avsetninger i strandsonen

Når bølger bryter mot stranden oppstår det en asymmetrisk fordeling av energien mellom oppskyll og nedskyll, hvor oppskyllet har høyere fart (velositet) og mer kraft enn nedskyllet (Masselink et al., 2011, Lorang, 2011). Dermed blir partiklene transportert mot land og avsatt når bølgene mister energi og kompetanse til å transportere dem lengre, og nedskyllet har ikke nok kraft til å ta med alt løsmaterialet tilbake mot fralandssonen. Denne prosessen bygger etter hvert ut strender (Lorang, 2011). I områder der den dominerende bølgeretningen er skrått på stranden kan det også foregå litoraltransport, som vil si en transport langsmed stranden (Sulebak, 2007).

Når stormbølger transporterer og avsetter grovt sediment i strandsonen setter det noen geomorfologiske og sedimentære spor på avsetningene, som kan sees som egenskaper ved stormbølgeavsetninger.

### 3.7.2 Former dannet av store bølger

Paris et al. (2011) presenterer en typologi over blokkansamlinger, som inneholder offshore blokker, plattformblokker, klippeblokker (cliff top storm deposits), blokkrygger (ridges) og blokkstrender (boulderbeach). Offshore blokker er avsatt utenfor kysten og lite undersøkt (Paris et al., 2011). Plattformblokker er avsatt både spredt og i hauger på kystplattformer og flate kystområder (Goto et al., 2009; Goto et al., 2010; Goto et al., 2011; Hall, 2011; Scheffers & Scheffers, 2006; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004) og Klippeblokker (cliff top storm deposits) er avsatt på toppen av klipper (Etienne & Paris, 2010; Hall, 2011; Williams & Hall, 2004). Det kreves, ifølge Etienne og Paris (2010) og Paris et al. (2011) gjentatt bølgetransport for å danne ansamlinger av løsmateriale, og former som rygger og blokkstrender tolkes av de fleste som stormbølgeavsetninger (Chen et al., 2011; Etienne & Paris, 2010; Morton et al., 2008; Richmond et al., 2011; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004).

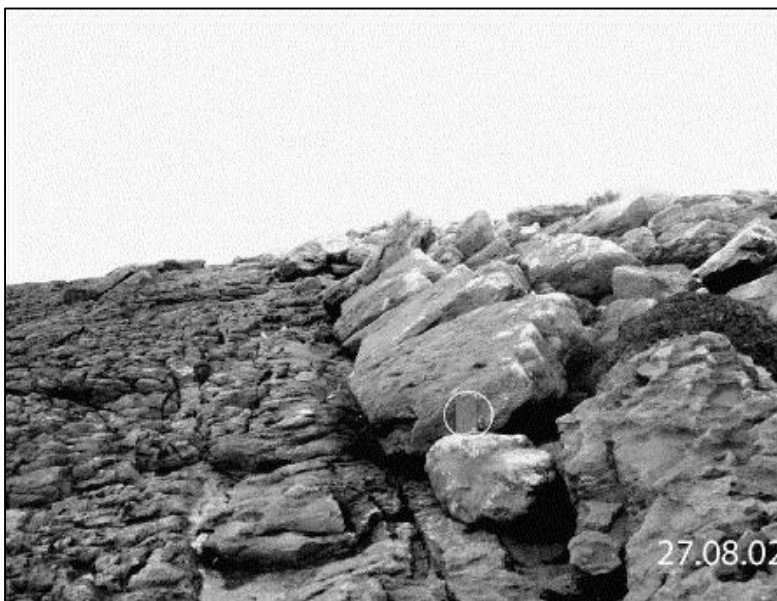
Blokkstrender er former som domineres av kornstørrelsene stein og blokk (McKenna, 2005) som er avsatt i tidevannssonen (inter tidal sone) (Paris et al., 2011). Som forklart over kan en strand kan deles inn i fralandsstrand, forstrand og strandbredd (Klemsdal, 1979). De grove kornstørrelsene og den åpne strukturen ved blokkstrender gir høy infiltrasjonskapasitet og økt friksjon, som reduserer kraften i nedskyllet (Bangold, 1940; Chen et al., 2011; McKenna, 2005). Dette øker asymmetrien mellom oppskyll og nedskyll, og begrenser nedskyllets evne til å ta med mindre partikler mot foten av stranden (Bangold, 1940; Masselink et al., 2011; Oak, 1984). Chen et al. (2011) fant at formen på stranden påvirkes av det reduserte nedskyllet og at grovkornede strender kan vise en mer konveks form.

Noen hevder at forstrandens gradient øker med sedimentets kornstørrelse (Shepard, 1948; Masselink et al., 2011), som skyldes nedskyllets begrensede transportkompetanse (Masselink et al., 2011). Andre foreslår derimot at blokkstrender har en slak forstrandsgradient (Etienne & Paris, 2010; McKenna, 2005; Oak, 1984). Etienne og Paris (2010) fant forstreder på Island med en gradient mellom 7°-15° og McKenna (2005) foreslår en gradient mellom 6° - 14°. Den slake gradienten forklares med at stormbølger flater ut strandprofilen på grunn av materialtransport mot fralandssonen og ved blokkstrender er det kun lavfrekvente bølger med høy energi som har kompetanse til å flytte alt løsmaterialet. Dermed kan ikke stranden bygges

opp igjen etter stormen og gradienten holdes relativt lav (Chrzastowski, 2005; McKenna, 2005; Oak, 1984).

### 3.7.3 Imbrikasjon

Imbrikasjon beskrives ofte i sammenheng med bølgeavsetninger (Barbano et al., 2010; Chen et al., 2011; Collinson & Thompson, 1989; Kortekaas & Dawson, 2007; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Richmond et al., 2011; Saintilian & Rogers, 2005; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004). Imbrikasjon vil si at partiklene er avsatt i en struktur hvor a-aksene er orientert i samme retning og de imbrikerte partiklene heller mot fralandsjonen (Collinson & Thompson, 1989; Hall et al., 2006), med b-aksen parallelt med helningsretningen (Collinson og Thompson, 1989) (Figur 6). I følge Collinson & Thompson (1989) er denne organiseringen vanligst hos partikler som har en betydelig lengre a-akse enn b- og c-akse. En partikkel i en imbrikert struktur er mer stabil enn hvis den hadde ligget løst, da videre transport er avhengig av at partikkelen bryter ut av strukturen (Collinson & Thompson, 1989). Ifølge Nott (1997) er imbrikasjon av blokker i ansamlinger langs kysten en indikasjon på at de er avsatt av bølger.



*Figur 6 Imbrikasjon. En tydelig imbrikert struktur i en stormbølgeavsetning. Bildet er hentet fra Williams & Hall (2004: 107).*

Det er noen som hevder at imbrikasjon må oppstå under større enkelthendelser hvor mye løsmateriale transporteres samtidig (Bryant & Nott, 2001), mens andre hevder tvert imot at den imbrikerte strukturen vil styrkes og gjøres mer markant av repetert bølgepåvirkning (Chen et al., 2011; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004).

Formen for transport partiklene utsettes for vil påvirke hvordan a-aksen orienteres. Partikler som har veltet og rullet gir en orientering av a-aksen perpendikulært på bølgeretningen, mens

partikler som glir eller suspenderes gir en orientering parallelt med bølgeretningen (Barbano et al., 2011; Collinson & Thompson, 1989; Imamura et al., 2008; Masselink et al., 2011; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Noormets et al., 2004). Avvikende akseorientering kan forklares med formen på kysten eller at partiklene har møtt hindringer i transporten, for eksempel andre partikler (Barbano et al., 2011), eller at partiklene har vært rotert av bølger fra andre retninger (Barbano et al., 2010). I tillegg kan friksjonen mot den grove strandformen i blokkstrender skape turbulens i bølgene og dette kan medføre mindre tydelig akseorientering (McKenna, 2005).

#### 3.7.4 Sorteringsgrad

Løsmaterialet i stormbølgeavsetninger er ofte godt sortert fordi nedskyllet fra stormbølgene vasker sand og mindre kornstørrelser med seg og avsetter dette lengre ut (Bryant & Nott, 2001), og blokkstrender beskrives som godt sorterte med få kornstørrelser mindre enn stein av samme grunn (Klemsdal, 1979; Oak, 1984). Sorteringen kan gjøres dårligere ved at partikler knuses når grove partikler avsettes over dem (Oak, 1984). Fordi bølger mister energi og transportkompetanse i oppskyllet (McKenna, 2005; Sunamura, 1992; Lorang, 2011) kjennetegnes blokkstrender ofte av en indre størrelsessortering hvor de fineste kornstørrelsene ligger øverst og de groveste kornstørrelsene ligger nederst i avsetningen (McKenna, 2005; Oak, 1984). Etienne og Paris (2010) fant imidlertid at grove blokker kan dyttes og rulles opp blokkrygger av ekstreme stormbølger.

#### 3.7.5 Kantrunding

Avrunding av kanter er en vanlig konsekvens av materialtransport, enten over lange avstander eller i mange omganger i samme område, og dette skyldes at partiklene utsettes for abrasjon på grunn av kollisjon med andre partikler (Benn & Evans, 2010; Masselink et al., 2011). Blokker som ligger fast kan også kantrundes hvis de treffes av andre partikler som er i transport (McKenna, 2005; Taylor, 2008). Blokkstrender kan vise en indre variasjon i kantrunding, som skyldes at løsmaterialet ved foten av forstranden påvirkes av de mer høyfrekvente bølgene med lavere energi, mens de som er avsatt i de øvre delene av forstranden og på strandbredden kun påvirkes av bølger med høyere energi, som forekommer sjeldnere (McKenna, 2005; Oak, 1984). Blokker og megablokker som har beveget seg mindre enn stein og grus vil sannsynligvis være mindre kantrundet, og den nevnte knusingen av partikler kan også bidra til at partiklene i de øvre delene av stranden er mindre kantrundet enn de nærmere foten av forstranden (Oak, 1984). Det finnes likevel unntak hvor løsmaterialet i hele stranden er jevnt kantrundet (Etienne & Paris, 2010).

## 4 Metode

Metodene som ble anvendt for å samle inn data, samt metodene for analyse av disse blir redegjort for i dette kapitlet. Studier av et geo-historiske fenomener har ifølge Rhoads og Thorne (1993) svakere empirisk basis, fordi man ikke direkte tilgang på informasjon om årsak (prosess), kun på informasjon om effekten (form). Derfor er det behov for flere separate «bevis» for å styrke det empiriske grunnlaget (Kitts, 1977). Det ble derfor valgt en bred tilnærming til datainnsamling med mange parametre, med bakgrunn i metodene som anvendes i forskningen på stormbølgeavsetninger. Parametrene er utvalgt på grunnlag av den fysiske karakteristikken av stormbølgeavsetninger som er beskrevet i kapittel 3, samt parametre nødvendige for å gjøre utregninger med Notts ligninger, som også er beskrevet i kapittel 3.

Datainnsamlingen er gjennomført med bruk av LiDAR, DGPS, målestokk og kompass, og deskriptiv observasjon. LiDAR dataene, og de manuelle målingene og observasjonen er anvendt for å samle data på de samme parametrene. Årsaken til denne doblingen av datainnsamling er at LiDAR var et nytt og ganske ukjent verktøy og det var usikkert om dataene ville bli anvendbare til å undersøke alle parametrene. Det ble også anvendt ortofoto fra Norgebilder.no og 3d modell fra Norgei3d.no for å finne lokaliteter og deres posisjon i terrenget. Dataene som ble samlet inn ligger til grunn for diskusjonen om bølgers rolle i utviklingen av avsetningene på Roan.

### 4.1 Datainnsamling

Når feltarbeid gjennomføres er tiden ofte knapp og derfor bør det forberedes grundig, blant annet ved å skaffe oversikt over mulige lokaliteter ved hjelp av fjernanalyse (Turkington, 2010). Bildeoppløsningen i Norge i 3d og Norge i bilder er ikke er god nok til å se alle nødvendige detaljer på Roan og derfor ble det gjennomført en befaring av området i løpet av de to første dagene i felt.

Man lærer hele tiden noe nytt under arbeidet med en større oppgave og underveis har det dukket opp hull i datamaterialet som det har vært nødvendig å fylle. Datainnsamlingen ble derfor gjennomført over fire runder med feltarbeid; i April 2013, Juni 2013, August 2013 og Oktober 2013. Det ble gjennomført feltarbeid ved i alt syv lokaliteter, hvorav tre lokaliteter ble grundigere undersøkt og er presentert i oppgaven. Dette skyldes at datamaterialet ble for omfattende med flere lokaliteter. De utvalgte lokalitetene ble vurdert som representative for variasjonen i landformene som ble undersøkt. Alle lokalitetenes plassering vises i kartet i

Figur 1 som ble presentert i områdebeskrivelsen. De tre befarte lokalitetene er merket med navn og de befarte lokalitetene markert med X.

#### 4.1.1 LiDAR – Light Detection And Ranging

En bakkebasert LiDAR (Light Detection And Ranging) måler punkter i rommet ved å sende ut laserpulser som reflekteres fra overflaten av objekter. Ved hjelp av et speil og en roterende sensor inne i skanneren sendes laserpulsen ut langs både en horisontal og en vertikal akse og dekker dermed alle retninger. Når pulsen treffer objekter i terrenget reflekteres den. En sensor i skanneren registrerer når laserpulsen returnerer og måler tiden det tar fra laserpulsen sendes ut til den returnerer, samt hvilken vinkel laserpulsen reflekteres fra. Ut i fra tiden kalkulerer den avstanden til objektet (Buckley et al., 2013; LiDAR-UK, a; Riegel Laser Measurement Systems). Alle de registrerte punktene danner en punktsky, hvor hvert punkt har 3 dimensjoner gitt ved en x, y og z-verdi (Buckley et al., 2013; LiDAR-UK, b).. Dette gjør LiDAR bedre egnet for å vise romlig fordeling av for eksempel en landform, enn det fotografier er (Buckley et al., 2013).

Ved å skanne et objekt fra flere posisjoner i terrenget kan punktskyene overlappes, slik at de blir mer dekkende for objektet (Buckley et al., 2013). For å overlappes flere skann-posisjoner anvendes kjente knutepunkter som er felles for alle posisjonene. En skann anvendes som grunnlag som de andre justeres etter og det må være minst tre slike knutepunkter for å få en nøyaktig overlapping. For å feste punktskyen til en absolutt posisjon i terrenget kan tre kjente knutepunkter måles inn med en differensiell GPS (Buckley et al., 2013; LiDAR-UK, b). Hvordan denne fungerer blir redegjort for under.

Et kamera festet på LiDARen tar bilder av området som skannes og disse refereres mot de skannede punktene. Fordi oppløsningen i bildene vanligvis er høyere enn tettheten av punkter, og fordi bildene viser reelle farger kan de forenkle tolkningen av dataene (Buckley et al., 2013).

#### 4.1.2 LiDAR anvendt på Roan

Utstyret som ble anvendt på Roan var en Riegl vz 1000 (Figur 7). Denne har en rekkevidde på opptil 1400m (Riegel Laser Measurement Systems). Et monterbart digitalt kamera tok bilder av områdene som ble scannet. LiDARen ble stilt opp på steder med klar sikt til blokkavsetningene og innenfor en radius på 400m. Skannposisjonen fra Barvika vises i Figur 7.



*Figur 7 LiDAR-skannerens posisjon ved Barvika. Kanten av avsetningen som ble scannet vises til venstre. Et digitalt kamera er montert på LiDARen (foto: Ida Hennig, 2013).*

Barvika-lokaliteten ble skannet fra en posisjon, lokaliteten ved Vollvika-nord ble skannet fra to posisjoner og lokaliteten ved Vollvika-sør ble skannet fra tre posisjoner. 4 Reflektorer ble satt ut i terrenget ved alle skannposisjonene for å måles inn som knutepunkter og deres posisjon ble målt inn med DGPS.

#### *4.1.2.1 Kalibreringer*

Innstillinger for atmosfærisk korreksjon ble valgt etter forholdene:

- Temperatur: 12°C
- Atmosfærisk trykk: 1000
- Relativ luftfuktighet: 60,0.

Det digitale kameraet ble kalibrert for Riegel VZ-1000 med innstillingen D700, 20mm release.

#### *4.1.2.2 Feilkilder*

LiDAR er et relativt nytt verktøy (Bucley et al., 2013) som ble tilgjengelig for masterstudentene ved geografisk institutt ved NTNU våren 2013. Da feltarbeidet med LiDAR ble gjennomført i juni 2013 var dette derfor et ukjent verktøy for forfatteren. Derfor ble det tatt noen valg i feltet for innstillinger, antall skann-posisjoner og antall gjennomførte scanns som har ført til feilkilder og ufullstendig datamateriale.

Objekter som sperrer sikten til målet, slik som blokker og vegetasjon, kan skape hull i dataene fordi skanneren ikke registrerer like mange punkter bak disse (Buckley et al., 2013).

Muligheten for å skanne fra flere posisjoner som kan overlappe og utfylle hverandre ble begrenset av topografien ved noen av lokalitetene, og dette har ført til redusert kvalitet grunnet dataskygger bak trær, busker og store blokker, spesielt ved Barvika. Det var også mye vegetasjon over deler av avsetningen ved Barvika, som har bidratt til å gjøre dataene mangelfulle. For dataene fra Vollvika-nord har en for lav punkttetthet kombinert med kun to skann-posisjoner medført at detaljnivået er noe lavt.

Det var, grunnet manglende ressurser dessverre ikke anledning til å dra flere turer med LiDAR i felt og dermed var det ikke mulig å få bedre skanns fra flere posisjoner der det i ettertid viste seg at dataene hadde store feilkilder. Det oppstod også problemer med bekreftelsen på registrering av reflektorene i felt, men dette førte ikke til problemer i databehandlingen da alle reflektorene var registrert i hver scann-posisjon. På grunn av mangelfulle data ble LiDAR dataene anvendt til aksemålinger av blokker  $\geq 2\text{m}$  kun ved Vollvika-nord og det var ikke mulig å gjøre beregninger av akseorientering. Dataene ble heller anvendt til å supplere den deskriptive observasjonen, i arbeidet med å tolke morfologiske og sedimentære parametre, samt å utføre begrensede målinger. Disse redegjøres for under dataanalyse.

#### 4.1.3 DGPS

For å finne en absolutt posisjon for reflektorene som ble scannet med LiDAR, slik at hver scann kan knyttes til en absolutt posisjon, ble det anvendt en differensiell GPS. Måleutstyret som ble anvendt her er av merket Altus APS-3. En enhet ble satt opp som basestasjon og den andre som aktiv måleenhet (rover). For å styre enhetene ble det anvendt en mini pc (målebok) som kobles til roveren via Bluetooth. Denne kjører programmet Field Genius, hvor dataene registreres og lagres. Nøyaktigheten for målinger med RTK er på 1cm (Altus Positioning Systems inc., 2013). Det ble målt ett punkt per reflektor og dette ble gjort ved å plassere stangen som roveren er festet på midt på reflektoren.

For å kunne kalkulere en posisjon med GPS er det nødvendig med kontakt med minst 4 satellitter (Longley et al., 2011; Chivers, u.å.) og Altus APS 3 krever 6 satellitter for å gi RTK dekning. Geometrien for satellittene virker også inn og det er viktig med lave verdier for Position Dilution Of Precision (PDOP) (Langley, 1999). Alle målingene ble gjennomført med minst 7 satellitter og PDOP verdier under 4.



#### 4.1.4 Deskriptiv observasjon

Det ble gjennomført observasjon ved alle lokalitetene for å undersøke mange av de samme parametrene som skulle undersøkes med LiDAR dataene. For å få et sammenlignbart datasett er det lurt å standardisere datainnsamlingen (Turkington, 2010). Hver avsetning ble gått etter mønsteret som vises i Figur 8, for å dekke dem på en systematisk måte. Det ble utarbeidet og anvendt et skjema for observasjonen som vises i Tabell 1 og dette ble anvendt ved alle lokalitetene. Noen av parametrene i skjemaet er blitt lagt til etter befaring, men alle parametrene har vært fastsatt før selve feltarbeidet ble gjennomført.



Figur 8 Observasjonsmønsteret ved Barvika (ortofoto fra Norgebilder.no).

##### 4.1.4.1 Parametre for observasjonen

Parametrene som ble undersøkt er komposisjon, horisontal organisering, vertikal organisering, sortering og fordeling av kornstørrelser, pakning, kantrunding, partikkelform, sammensetning av bergarter og mineraler, og overflatestruktur.

Det helhetlige morfologiske uttrykket ble vurdert med fokus på om partiklene ligger i ansamlinger eller spredt, og om formen er konkav, konveks eller rett. Partiklenes horisontale organisering ble observert med fokus på om det viste imbrikasjon og på fordeling av partiklenes egenskaper. Partiklenes vertikale organisering ble observert med fokus på avsetningens dybde og fordeling av kornstørrelser. Sortering ble undersøkt ut i fra hvilke kornstørrelser som er synlige og hvordan de er fordelt, både vertikalt og horisontalt. Partiklene ble inndelt i tre størrelseskategorier,  $<0,5\text{m}$ ,  $>0,5\text{m}-<2\text{m}$  og  $>2\text{m}$ , for å observere forholdet mellom ulike kornstørrelser og fordeling av kornstørrelser innad i avsetningene. De tre kategoriene tar utgangspunkt i lengden på partikkelens a-akse. Kornstørrelser, slik som blokk eller stein er derimot definert ut i fra lengden på den midlere b-aksen (Stephenson &

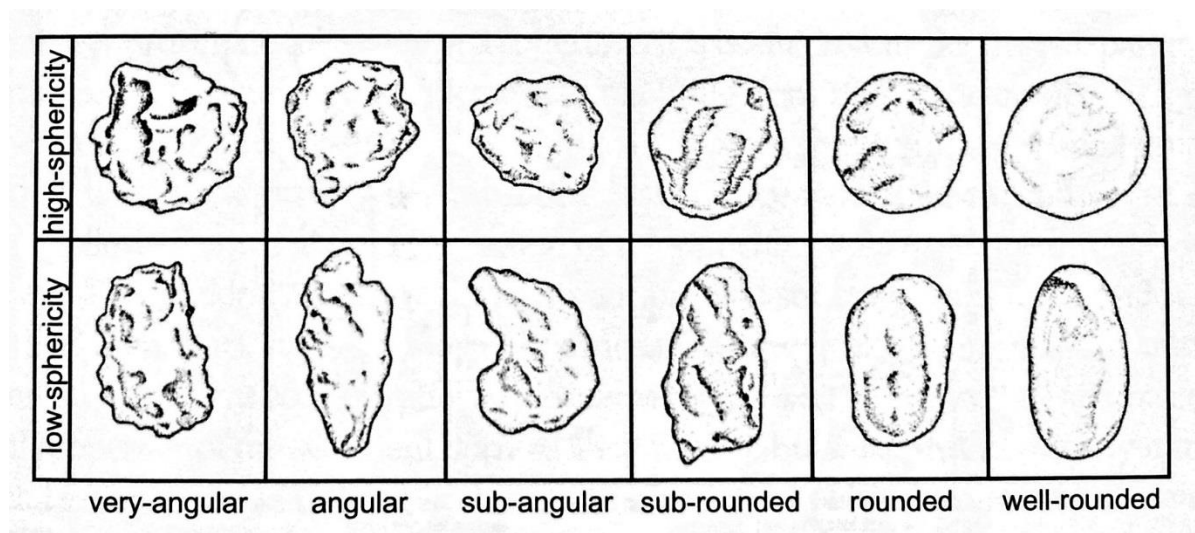
Naylor, 2011). På grunn av dette vil de kategoriske observasjonene av partikler henvises til ut i fra størrelseskategori og ikke med kategoriene fra Blair og McPherson (1999).

Tabell 1 Skjema for den deskriptive observasjonen som ble gjennomført ved alle lokalitetene

Sedimentære kvaliteter og Morfologiske kvaliteter		Bergveggen
Enkeltpartikler	Samlede partikler	
Observer kantrunding etter størrelseskategori <0.5m >0.5-<2m >2m	Form <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ansamling? Spredte enkeltblokker?</li> <li>• Konkav/konveks?</li> <li>• Plassering i forhold til bergvegg?</li> </ul>	Utforming <ul style="list-style-type: none"> <li>• konveks</li> <li>• konkav</li> <li>• overheng</li> </ul>
Form (sfærisk, kvadratisk, rektangulær) etter størrelseskategori <0.5m >0.5-<2m >2m	Blokkenes horisontale organisering <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partikkelstruktur</li> <li>• Imbrikasjon?</li> </ul>	Overflatestruktur <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sår etter plukking?</li> <li>• Sår etter steinsprang?</li> <li>• Skuringsstriper</li> <li>• Abrasjonsmerker</li> </ul>
Sammensetning: Bergart og mineraler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvilke bergarter er synlige?</li> <li>• noe som ikke kan tilhøre granittisk gneis?</li> </ul>	Blokkenes vertikale organisering <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dybde?</li> <li>• Er berggrunnen synlig?</li> </ul>	Sprekkesystem <ul style="list-style-type: none"> <li>• Retning</li> <li>• Størrelse</li> </ul>
	Sortering <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hvilke kornstørrelser er tilstede?</li> <li>• Lokalisering av kornstørrelsene.</li> </ul>	Bergarter og mineraler <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hva er synlig?</li> </ul>
	Pakning <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partikkelstøttet (Clast supported)?</li> <li>• Matrix?</li> <li>• Hulrom og luft? Hvor?</li> </ul>	

Det er også observert hvordan løsmaterialet er pakket med fokus på åpen og lukket struktur. Om det er noen tendens i hvor strukturen er løsest ble undersøkt med tanke på bølgevask og undergraving. Av praktiske årsaker ble sortering og pakning kun observert ved den synlige overflaten av avsetningene, med unntak av noe graving ved foten av avsetningen ved Vollvika-nord.

For å få med variasjonen i kantrunding etter størrelse på partiklene, ble de inndelt i de samme størrelseskategoriene som ved observasjonen av kornstørrelser. Kantrunding og form ble observert etter Powers (1953) skjema for kantrunding (Figur 9). Oak (1984) viser at løsmaterialet i blokkstrender ofte viser bedre kantrunding ved foten av forstranden enn på strandbredden. Derfor ble observasjonen delt inn i områdene; foten, midten og hodet av avsetningene.



Figur 9 Powers scale of roundness (Powers, 1953). Grad av kantrunding fra veldig kantet (very angular) til venstre, til godt rundet (well rounded) til høyre. Sferisk form øverst og elliptisk form nederst.

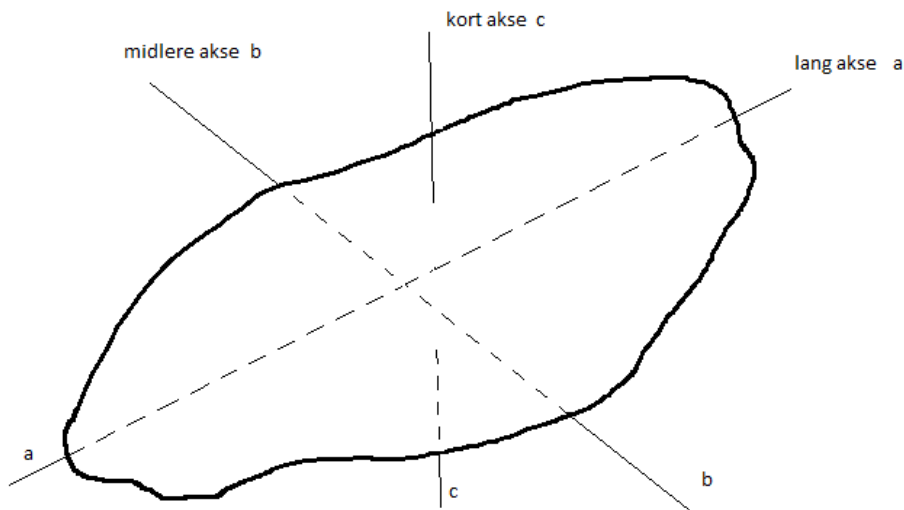
Bergartene i blokkene ble vurdert med veiledning fra geologer fra NGU. Formålet var å finne ut om noe ikke hører hjemme i granittisk gneis og på denne måten diskutere muligheten for at løsmaterialet har blitt transportert fra andre områder. De synlig forskjellige typene ble dokumentert med foto og det ble samlet inn et utvalg prøver. Innsamlingen av prøver ble gjort med hensikten å eksemplifisere alle de tilstedeværende berg og mineraltypene, og kan ha blitt begrenset av forfatterens noe begrensede kunnskaper om berggrunnsgeologi. Bergveggen ble observert etter kriteriene; høyde, utforming, tegn på plukking og sprekkesystem.

#### 4.1.5 Målinger av kornstørrelser og akseorientering

Lengden på a, b og c-aksen anvendes i Notts (2003) ligninger for transportkompetanse og det var derfor nødvendig å gjøre målinger av disse i felt. Størrelsen på en partikkel måles i tre

dimensjoner, representert ved tre partikkelakser (Figur 10). A-aksen er den lengste aksen i partikkelen, b-aksen er den nest lengste og måles normalt på a-aksen, og c-aksen, som er kortest, måles normalt på b-aksen (Collinson og Thompson, 1989).

Det ble gjort målinger med målestokk i felt, av den lengste a-, b- og c-aksen på et utvalg av blokker ved Barvika og Vollvika-nord, og det ble til sammen gjennomført mellom 50-60 målinger ved lokalitetene. Utvalget ble gjort ved å måle alle blokker hvor a-aksen ble vurdert til å være  $\geq 2\text{m}$ . Hensikten var i utgangspunktet å måle alle  $\geq 1\text{m}$ , men dette var ikke gjennomførbart av en person. Samtidig som aksenes lengde ble målt, ble også a-aksens orientering målt med kompass.



Figur 10 Forholdet mellom a-, b- og c-aksen i en partikkel (Modifisert etter Collinson og Thompson, 1989).

Barvika er preget av så store kornstørrelser at det var nødvendig å gjøre et utvalg av blokker som skulle måles. Dette ble gjort ved å skille ut tre transekter ved hver lokalitet og måle alle blokker med a-akser  $>2\text{m}$  innenfor disse (Figur 11). Avsetningen ved Vollvika-nord er preget av mindre kornstørrelser og der var det mulig å måle alle blokkene med a-akser  $\geq 2\text{m}$ .

Systematisk datainnsamling kan medføre at den indre strukturen i et område ikke kommer frem i resultatene (Rice, 2010). I dette arbeidet var det viktig å få frem de store størrelsene for å kunne regne på nødvendig bølgehøyde for å sette dem i bevegelse. Hvis ingen av de 50-60 største blokkene i øverste lag av avsetningen kan ha blitt transportert av bølger kan det være rimelig å anta at bølgeprosesser ikke har utformet den. Utvalget av transekter ble derfor gjort slik at ingen avvikende store størrelser ble oversett.

I utgangspunktet var det meningen at målingene skulle gjøres i punktskyene i Riscan Pro, som redegjøres for under avsnitt 4.4.1. Da datagrunnlaget fra LiDAR-skanningene viste seg for dårlig for dette måtte målingene gjennomføres i felt. Etersom dette arbeidet ble utført uten assistanse og måtte dekkes av en studentøkonomi var det begrenset med tid, og det var kun mulig å dekke to av lokalitetene. Aksemålinger av de ti tilsynelatende største blokkene ved Vollvika-sør ble gjennomført i Riscan Pro.



Figur 11 Transekt fra Barvika. De tre transektene som ble anvendt for målinger av aksenes størrelser og a-aksens orientering ved Barvika (ortofoto fra Norgebilder.no).

Det må tas forbehold om feil i måling av akser som følge av kantrunding og form (Gienko & Terry, 2013). Scicchitano et al. (2012) viser at målinger utført manuelt ved Maddalena halvøya, Sicilia gav signifikante avvik for alle akser i forhold til målinger i LiDAR-data. A og b-aksen har blitt overestimert med opptil 25% og c-aksen har blitt underestimert med opptil 50%, ved manuelle målinger.

#### 4.1.6 Bølgedata

Da det ikke finnes registreringer av bølgehøyde fra det aktuelle tidsrommet da avsetningene lå i strandsonen er det anvendt bølgehøyder tilsendt fra klimavakten. Disse ble registrert under stormen Dagmar i 2011, ved draugen utenfor Frøya, for å illustrere hvilken størrelsesorden stormbølgene ved kysten av Sør-Trøndelag kan ha. Forbehold må tas ved bruken av disse, av flere grunner. For det første er målingene fra 2011 og det er ikke mulig å si sikkert om bølgehøyden er representativ for tidsrommet blokkene ble avsatt. De kan også avvike fra bølgehøyden som traff kysten av Roan under Dagmar, ettersom målingene er gjort ved

Draugen målestasjon, som er lokalisert på Haltenbanken, ute i åpent hav (Lien, Klimavakten, pers. medd., 21.10.13).

## 4.2 Analytiske verktøy

For å analysere dataene fra LiDAR, aksemålinger og akseorientering ble Riscan Pro, Notts ligninger og Stereonett anvendt. Resultatene fra den deskriptive observasjonen ble organisert etter parameter, analysert og sammenlignet, og de fremstilles lokalitet for lokalitet i resultatkapittelet for bedre oversikt.

### 4.2.1 Riscan pro

Rådataene fra LiDAR, det vil si punktskyene ble behandlet i Riscan Pro og resultatene ble anvendt både til å gjøre målinger av h.o.h. og størrelser, i tillegg til å supplere den visuelle observasjonen som ble gjennomført i felt.

#### 4.2.1.1 Multistation adjustment

Ved Vollvika-nord og Vollvika-sør ble det scannet fra flere overlappende posisjoner og de resulterende punktskyene ble overlappet til en punktsky ved å anvende «multi station adjustment». Først ble felles punkter i hver scann registrert manuelt i «Coarse registration», med standardavvik på under 0,5. Deretter ble hver scann forberedt i «multi station adjustment» > «prepare». «Max plane error» ble satt på 0,03, «minimum number of points per plane» på 4, «minimum search cube size» på 0,512m og maximum search cube size» på 2,048m.

«Multi station adjustment» ble først gjennomført med en «search radius» på 3, «max. angle degree» på 5.00, «min. change of error 1» på 0,05 og «min. change of error 2» på 0,01. Deretter ble «search radius» endret til 0,3, «min. change of error 1» til 0,006 og «min. change of error 2» til 0,002. Justeringen av de overlappende punktskyene gav standardavvik på 0,0109 ved Vollvika-nord og 0,0172 ved Vollvika-sør.

#### 4.2.1.2 Filtrering

Alle punktskyene ble filtrert for unødvendige og forstyrrende punkter, som blant annet partikler og insekter i luften rundt scanneren, i tillegg til vegetasjon ved Barvika. Dette ble gjennomført ved å anvende funksjonen «terrain filter», med innstillingen «vegetation». Da denne innstillingen ikke skiller mellom blokker og trær ble utvalget av punkter for filtrering justert manuelt. Det er likevel mulig at noen punkter som representerer blokker ble filtrert ut i denne prosessen.

#### *4.2.1.3 True color*

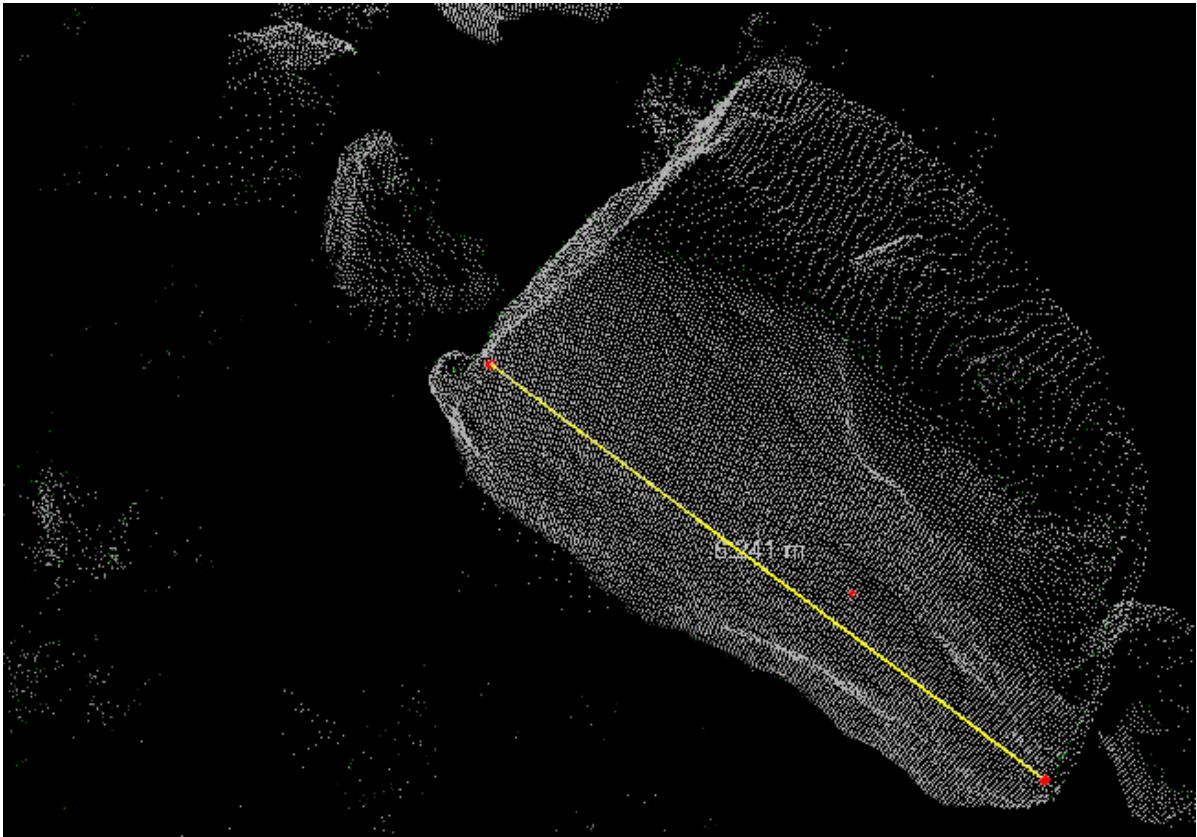
Man kan også drapere de digitale bildene over punktene for å lage en mer fotorealistisk modell som er enklere å tolke (Buckley et al., 2013). Fargene fra de digitale bildene anvendt med funksjonen «true color» > «linear scaled». I tillegg ble alle lokalitetene fremstilt i gråskala fotofarger, med funksjonen «linear scaled».

#### *4.2.1.4 Geo-referering ved bruk av tiepoints*

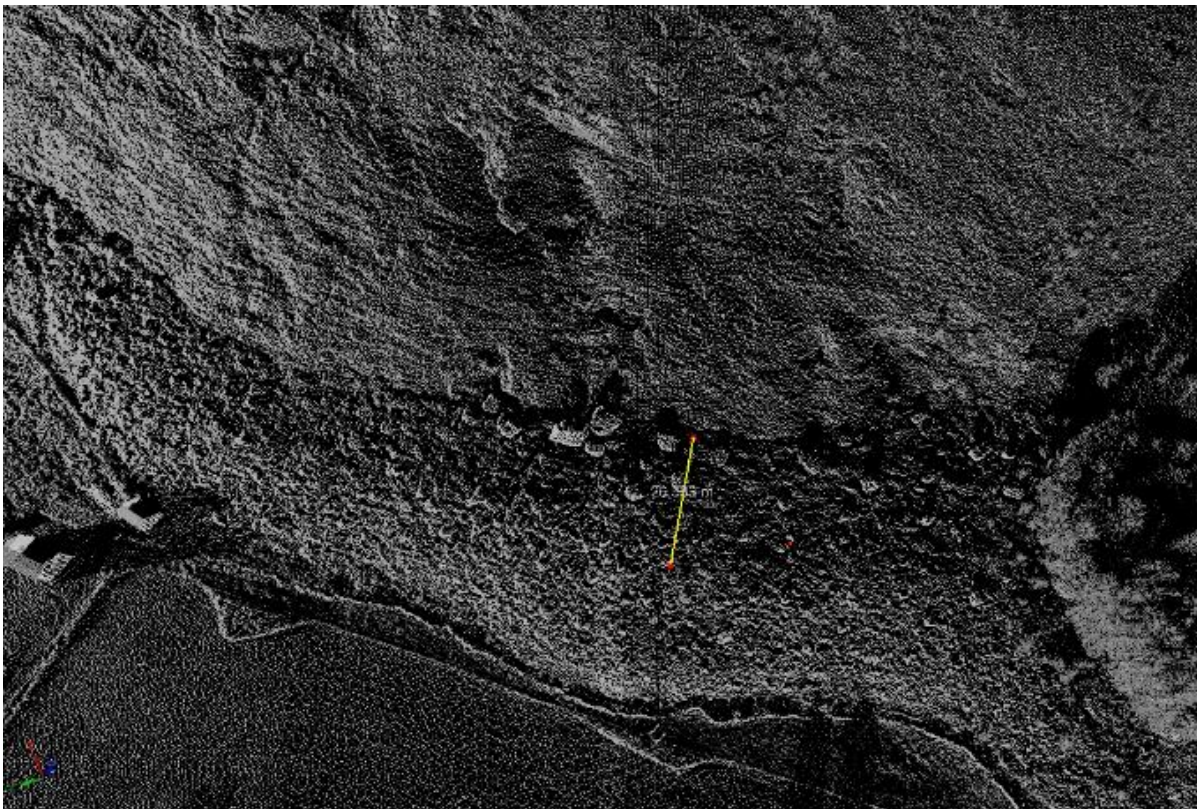
De ferdig justerte punkttskyene fra alle lokalitetene ble geo-referert ved å knytte de registrerte reflektorene (tiepoints) i hver punktsky til DGPS punktene som ble målt for de samme reflektorene. Dette ble gjort ved først å importere DGPS punktene til «global tiepoint list», deretter kopiere alle scann tiepoints til Project tiepoint list og til slutt finne korresponderende punkter med funksjonen «find corresponding tiepoints».

#### *4.2.1.5 Målinger*

Det ble utført målinger av avstand, både som målinger av lengden på akser på enkelte blokker ved Vollvika-sør (Figur 12), og av størrelse på de ulike delene av avsetningene ved alle lokalitetene (Figur 13). Disse ble utført i funksjonen «measurements» > «from point to point». Målinger av høyde over havet ble utført med «measurements» > «Point coordinates». Alle målingene er gjort etter en vurdering av hvor det er mest representativt å måle, hvilket kan gi noe usikkerhet.



Figur 12 Aksemålinger i Riscan Pro, ved Vollvika-sør.



Figur 13 Måling av mulig strandbredd i Riscan Pro, Vollvika-nord.



#### 4.2.2 Stereonet 9.0

Stereonet 9.0 ble anvendt for å organisere og analysere akseorientering. Den anvendte funksjonen heter «untitled lines» og akseretningene ble lagt inn under «trend», mens «plunge» sto åpent. «Equal angle» projeksjon ble valgt i «inspector» og «mean vector» analyse og «rose diagram» analyse ble gjennomført.

#### 4.2.3 Notts ligninger anvendt på resultatene fra Roan

Notts (2003) ligninger ble anvendt for å regne ut den nødvendige bølgehøyden for å mobilisere løsmaterialet i avsetningene. Et viktig prinsipp med disse ligningene er at blokkens plassering forut for transport påvirker størrelsen en bølge må ha for mobilisere den (Nott, 2003). Det er vanskelig å si noe sikkert om hvordan blokkene på Roan har ligget før transport, derfor ble alle tre scenariene fra Nott (2003) testet, det vil si ligning 9, 12 og 15 (se kapittel 3 for en grundig redegjørelse for ligningene).

##### 4.2.3.1 Koeffisienter

Koeffisienten for løft  $C_l=0.178$  i alle ligningene, etter Nott (1997; 2003) som har hentet den fra Costa (1983). Koeffisienten for drag  $C_d=2$  etter Nott (2003). Den er beregnet empirisk for blokkformede objekter av Noji et al. (1985) og påvirkes av forholdet mellom vann dybde og bølgehøyde  $h/H$ . Når  $h/H$  er  $<1.2$  er  $C_d=2$  (Noji et al., 1985). I følge Nott (2003) er dette en passende verdi for blokker som ligger i lavt vann. Koeffisienten for masse er empirisk beregnet av Noji et al. (1985) og er en funksjon av  $h/H$ . For subaerile blokker vil  $\ddot{u}$ ,  $C_d$  og  $C_m$  øke dramatisk i det bølgen treffer og deretter synke når bølgefronten passerer. Dette medfører at det trengs en større bølgehøyde for den videre transporten enn for å igangsette bevegelse (Nott, 2003). Nott (2003) anbefaler derfor verdiene  $C_d=1.5$ ,  $C_m=2$  og  $\ddot{u}=1\text{m/s}^2$  for subareale blokker. Disse verdiene har blitt anvendt her.

##### 4.2.3.2 Feilkilder i Notts ligninger

De utregnede bølgehøydene kan være usikre av flere grunner. For det første kritiseres Nott for å behandle bølgekreftene som endimensjonale krefter (Weiss, 2012), noe som begrenser resultatenes representativitet for virkeligheten. Ligningene tar heller ikke hensyn til om partiklene ligger på et underlag av lignende partikler (Nott, 2003), slik som i en blokkstrand, og resultatene blir derfor mindre representative for transporten av partikler innad i en avsetning. Notts ligninger beregner den nødvendige bølgehøyden for å mobilisere, eller velte (overturn) partikler (Barbano et al., 2011) og avstanden blokkene har vært transportert, samt gradienten på stranden de har blitt transportert opp er ikke inkludert i ligningene (Nott, 2003).

Nandasena et al. (2011) reviderte Notts ligninger ved å blant annet endre området som påvirkes av løftkraften fra b-c akse, som anvendes i Notts ligninger, til a-b akse. De fant at Notts ligninger gir overdrevne verdier for submarint og sprekkeavgrenset scenario, henholdsvis opptil 56 og 65 prosent, mens ligningene for det subaerile scenariet gir underdrevne verdier opp til 22 prosent. I denne revisjonen er resultatene henvist til som bølgefart (velocitet), og ikke bølgehøyde, noe som gjør det vanskelig å sammenligne direkte med resultatene i oppgaven. Det gir likevel en indikasjon på at Notts ligninger kan gi både overdrevne og underdrevne resultater.

Man må derfor ta forbehold om at dette er forenklete, matematiske uttrykk for kompliserte prosesser. Men på tross av disse usikkerhetene vil de estimerte bølgehøydene fra Notts ligninger kunne gi en indikasjon på om det er sannsynlig at materialet i de tre avsetningene har vært mobilisert, transportert og avsatt av bølger. På denne måten kan ligningene bidra til å gjøre en komplisert diskusjon mer tydelig.

### 4.3 Generell metodekritikk

#### 4.3.1 Objektivitet, troverdighet og etterprøvbarehet

Med tanke på at mye av datagrunnlaget for denne masteroppgaven kommer fra deskriptiv observasjon, er det nødvendig med en kort diskusjon av hvilke faktorer som kan ha kompromittert objektiviteten, troverdigheten og nøyaktigheten i resultatene. For det første kan observatørens teoretiske bakgrunn og subjektivitet påvirke observasjonene som gjøres (Brown, 1995; Elverfeldt & Glade, 2011; Rice, 2010; Rhoads & Thorne, 1996). Rice (2010) kaller dette operatør bias, mens Elverfeldt og Glade (2011), og Rhoads og Thorne (1993 & 1996) kaller det teoriavhengighet. Det innebærer at observasjoner påvirkes av den teoretiske bakgrunnen til observatøren og medfører en tendens hos observatøren til å lettere registrere det som en ut i fra egen teoretiske bakgrunn bedømmes som spesielt ved en lokalitet (Elverfeldt og Glade, 2011; Brown, 1995), eller som passer med hypoteser og forskningsspørsmål (Brown, 1995; Rice, 2010). Selv om en del av feltarbeidet var veiledet, ble observasjonene på Roan i stor grad gjennomført av en person. Teorien og hypotesene som ble tatt med inn i feltet på Roan har sannsynligvis til en viss grad vært styrende for observasjonen og det er mulig at elementer som ikke ble vurdert som relevante har blitt oversett.

Rhoads og Thorne (1996) påpeker behovet for å anvende regelbaserte og faste metoder for å bevare objektiviteten i observasjon og minimalisere denne typen feilkilder. Hvis metodene ikke endres mellom hver lokalitet vil resultatene både kunne sammenlignes og vise avvik fra

hypotesen som testes (Rhoads & Thorne, 1996). Deskriptiv observasjon er i seg selv kanskje mer subjektivt, og mindre regelbasert og presist enn for eksempel målinger utført med teknisk utstyr, og ansees for å produsere mindre troverdige resultater (Rhoads og Thorne, 1996). Resultatene fra observasjonen er derfor kanskje mindre presise enn om alle parametrene hadde vært målt, for eksempel en statistisk analyse av kornstørrelsesfordeling. Men når et stort antall parametre skal observeres og tiden er knapp, er det ikke mulig å gjennomføre detaljerte målinger av alt, og målinger av aksestørrelser og orientering av a-aksen ble prioritert. Selv om deskriptiv observasjon i seg selv er mindre presist (Rhoads & Thorne, 1996), er rammen for observasjonen og utvalget av hva som ble observert utformet etter presise og klare retningslinjer. Det ble anvendt fastsatte parametre hentet fra annen forskning på fagfeltet og en observasjonsrute for at avsetningene skulle bli systematisk dekket. Også målingene ble utført på bakgrunn av teoretiske kriterier. Resultatene fra de ulike lokalitetene er derfor sammenlignbare, både med hverandre og med annen forskning. Bruken av LiDAR og fotodokumentasjon har også fungert som en slags kontroll av feltobservasjonen. I tillegg til å bli anvendt til konkrete målinger, har LiDAR-dataene har på en måte fungert som å ta med feltet til kontoret. Sammen med fotodokumentasjon har de vært brukt til å revurdere feltresultatene der datakvaliteten tillot det. De fastsatte rammene for observasjonen, samt fotodokumentasjon og LiDAR-data vil også kunne øke etterprøvnbarheten i observasjonsdataene, da det øker muligheten for å gjenta observasjonene og få de samme resultatene på nytt.

En annen faktor Rhoads og Thorne (1996) påpeker at kan sikre bedre objektivitet, reliabilitet og presisjon i dataene er behovet for gode og uavhengige data på både årsak og virkning. Dette er problematisk i denne oppgaven, da landformene som studeres ikke lengre påvirkes av prosessene som sannsynligvis dannet dem, blir det kun mulig å observere virkning, det vil si landformens egenskaper. Årsaken, eller prosessen som dannet landformen er ikke mulig å observere. Dette er årsaken til at Rhoads og Thorne (1993; i Rhoads & Thorne, 1996) hevder at geo-historiske undersøkelser er mer usikre enn undersøkelser av fenomen som dannes av prosesser som kan observeres direkte. Som det ble påpekt i innledningen av oppgaven, kan datagrunnlaget i geo-historiske studier forbedres av å anvende flere uavhengige forskningsparametre (Kitts, 1977). Det er likevel klart at oppgavens resultater, tolkninger og konklusjoner blir mindre sikre enn hva de hadde vært om det hadde vært mulig å direkte observere prosessene som dannet landformene i stedet for å tolke dem ut i fra resultatet som ble produsert.



## 5 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene fra feltarbeidet. Den deskriptive observasjonen er basert på både tolkninger av LiDAR-data og på observasjon i felt. LiDAR-dataene er også anvendt til å gjøre avstands og høydemålinger. Observasjon og målinger presenteres sammen, organisert etter lokalitet. Til slutt presenteres bølgehøyder registrert under Dagmar i 2011 etterfulgt av resultatene fra utregningene i Notts ligninger.

### 5.1 LiDAR-data

#### 5.1.1 Inngangsdata

Inngangsdata i Riscan Pro er punktskyer fra LiDAR skanneren. Fra Barvika ble det kun anvendt en posisjon, fra Vollvika-nord ble det anvendt to overlappende posisjoner og fra Vollvika-sør ble det anvendt tre overlappende posisjoner. Ved Barvika ble skanneren konfigurert til «measurement program 950m» og panorama 0,020, som har en «angular stepwidth» på 0,020 (°). Ved Vollvika-nord ble den for begge skann-posisjonene konfigurert til «measurement prog. 950m» og panorama 0,060, som har en «angular stepwidth» på 0,060. Og ved Vollvika-sør ble alle tre skann-posisjonene konfigurert til «measurement prog. 450m» og panorama med angular stepwidth på 0,060.

#### 5.1.2 Resultater

Resultatene fra Riscan Pro er filtrerte punktskyer fra alle lokalitetene. Modellene fra Vollvika-nord er av så dårlig kvalitet grunnet mangelfulle inngangsdata, at den egner seg dårlig til vise detaljer. Deler av modellen fra Barvika er av god nok kvalitet til å analysere partikkelstruktur og form, men det er betydelig hull i dataene grunnet skygger. Modellen fra Vollvika-sør er noe bedre grunnet tre brukbare skann-posisjoner og er derfor anvendt til et begrenset antall aksemålinger. Output-bildene med oversikt over de tre lokalitetene vises i vedlegg 4, 5 og 6. Da kvaliteten på disse i liten grad er egnet for å illustrere resultatene, blir det heller anvendt fotografier, både fra Skannerkameraet og foto tatt med eget kamera. Da det er tre lokaliteter og mange parametre som skal dokumenteres, er noen av bildene lagt til som vedlegg.

### 5.2 Vollvika-nord

Lokaliteten som kalles Vollvika-nord ligger ved Vollvika på Brandsøya. Den undersøkte avsetningen ligger langs foten av Brandsøyfjellets nordvestlige side. Forsenkningen mellom de fjellknausene smalner inn mot nordøst, mens den blir mer åpen mot sørvest og her ligger avsetningen eksponert mot åpen sjø (Figur 14).



Figur 14 Oversiktskart over lokalitetene ved Vollvika-nord og Vollvika-sør. Avsetningen ved Vollvika-nord er markert med den største røde markeringen, lengst nord. Den strekker seg langs foten av Brandsøyfjellet og er orientert mot nordvest. Avsetningen ved Vollvika-sør er markert med den minste røde markeringen, lengst sør. Den ligger ved foten av Brandsøyfjellet og er orientert mot vest (ortofoto fra Norgebilder.no).



Figur 15 Avsetningen ved Vollvika-nord. Avsetningen har større utbredelse mot den sørvestlige enden av dalen den ligger i (Foto fra kameraet på LiDAR-skanneren).

Brandsøyfjellet har høyeste punkt på 127m.o.h. (NGU, b). Bergveggen ved var i stor grad dekket av vegetasjon og det var kun få steder det var mulig å observere sprekker. Der sprekkeene var synlige heller de skrått ned mot foten av fjellet.

### 5.2.1 Formen

Beregninger i Riscan Pro viste at avsetningen ligger mellom 10-23 m.o.h. Den dekker overgangen mellom fjellet og bunnen av en avlang forsenkning mellom to fjellknauser. Det ligger grovt løsmateriale langs hele fjellsiden, men avsetningen er markant tykkere i den sørvestlige enden (se Figur 15 og Vedlegg 4).

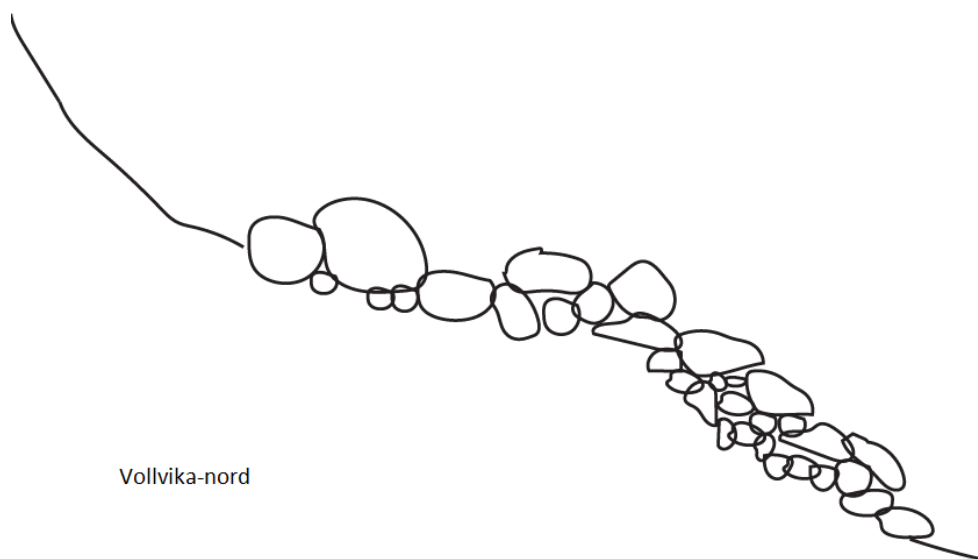


*Figur 16 Den øvre flaten i avsetningen ved Vollvika-nord. Flaten har en gradient på  $6,8^\circ$ . Person som skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

I den sørvestlige enden er avsetningen konvekst utformet med en flate med slakt skrånende gradient (Figur 16 og 18), som strekker seg fra bergveggen til den møter en skråning med brattere gradient (Figur 17 og 18, samt Vedlegg 11). Beregninger i Riscan Pro viste at flaten er ca. 33m med en stigning fra 19 – 23 m.o.h., som gir en gradient på ca.  $6,8^\circ$ , og skråningen er ca. 28m med en stigning fra 10 – 19 m.o.h, som gir en gradient på ca.  $17,6^\circ$  (Beregnet i 1728 software systems).



Figur 17 Skråningen mot foten av avsetningen ved Vollvika-nord. De fleste av partiklene dipper nedover mot foten av forstranden og kornstørrelsen er hovedsakelig  $\leq 1\text{m}$  (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Figur 18 En stilisert profil av avsetningen ved Vollvika-nord.

### 5.2.2 Partikkelstruktur og kornstørrelser

Ved de øvre og nedre delene av avsetningen var berggrunnen og bakkevegetasjon synlig under og mellom stein og blokker. I den midtre delen av avsetningen var det ikke mulig å se berggrunnen, og det ble observert finere partikler under grovere stein og blokker (Figur 19 og 20, samt Vedlegg 12 og 13). Strukturen er partikkel-støttet og det ble observert hulrom med finere partikler, med åpning i retning fralandssonen under noen blokker (Figur 19 og Vedlegg 13).



Det ble observert at partiklene ser ut til å støttes både av partikler lengre opp og ned i avsetningen, og de fleste partiklene dipper mot foten av avsetningen (Figur 17 og 19, samt Vedlegg 11). Avsetningen består hovedsakelig av kornstørrelser mellom grove stein og megablokker og den fineste synlige kornstørrelse som ble observert var grov grus. Det ble observert flere partikler i kategoriene  $<0,5\text{m}$  og  $>0,5\text{m}-<2\text{m}$ , enn og  $>2\text{m}$  (Figur 16, 17 og 19, samt Vedlegg 11). De groveste partiklene ble observert innerst på flaten (Figur 16, samt Vedlegg 4 og 14) og kornstørrelsene ser ut til å bli finere utover flaten og mot foten av skråningen. Det ble også observert at et flertall av de groveste partiklene ligger mot den sørvestlige enden av avsetningen (Vedlegg 4).



*Figur 19 Partikkelstøttet struktur med finere partikler i hulrom under de grovere, ved foten av skråningen ved Vollvika-nord. Fine blokker, stein og grov grus er godt rundet. Målebånd 0,5m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

### 5.2.3 Kantrunding og partikkelform

Det ble observert at partikler  $<0,5\text{m}$  er mellom rundet og godt rundet, med unntak av noen sub-kantede og kantede partikler (Figur 19, Vedlegg 13), og det ble funnet flest sfæriske, og noen rektangulære partikler i denne kategorien. For kategorien  $>0,5\text{m}-<2\text{m}$  ble det observert flest partikler mellom rundet og sub-kantede, og graden av kantrunding synes å minke med økt størrelse (Figur 17, 19 og 20, samt vedlegg 11 og 12). Det ble funnet en blanding av rektangulære og sfæriske partikler i denne kategorien.

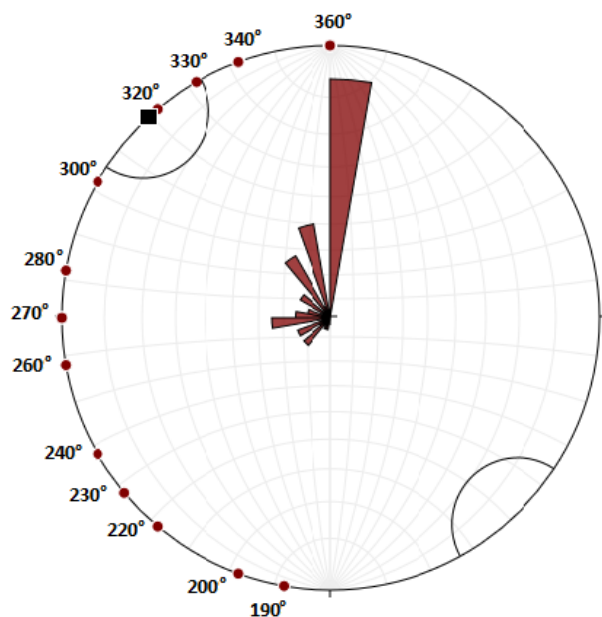


*Figur 20 En kantet grov blokk (>2m), som ligger over finere og rundete blokker på flaten ved Vollvika-nord (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

For kategorien >2m ble det observert flest partikler mellom sub-kantet til kantede, samt noen sub-rundete (Figur 20, Vedlegg 13 og 14). I denne kategorien ble det observert en blanding av sfæriske og rektangulære partikler. Det ble også observert noe bedre kantruning av partikler >0,5m-<2m, ved foten enn i de øvre delene av skråningen og på flaten (Figur 17 og 19) Det ble kun funnet granittisk gneis, noe som tilsvarer bergartsbeskrivelsen i kart over bergarter fra NGU (NGU,b).

#### 5.2.4 Orientering av a-aksene

Figur 21 viser orienteringen av a-aksene ved Vollvika-nord. 35,03% av a-aksene som ble målt er orientert mot 360° og 10° nord. Det er tre andre retninger som utmerker seg i resultatene fra stereonet: 340°, 320° og 260°.



Figur 21 Orientering av a-aksene hos partikler med a-akse >2m, ved Vollvika-nord (Stereonet 9.0.0.).



Figur 22 Oversikt over Barvika-lokalitetens beliggenhet. Avsetningen strekker seg langs foten av Rofjellet, orientert mot sørøst og er merket med en rød linje (Ortofoto fra Norgebilder.no).

### 5.3 Barvika

Barvika-lokaliteten ligger på fastlandet ved Nordstigan. Den undersøkte avsetningen strekker seg langs foten av Rofjellets sørøstlige side og dekker overgangen mellom fjellet og bunnen av en avlang forsenkning mellom to fjellknauser. Lokaliteten ligger nærmest åpen sjø i nord-

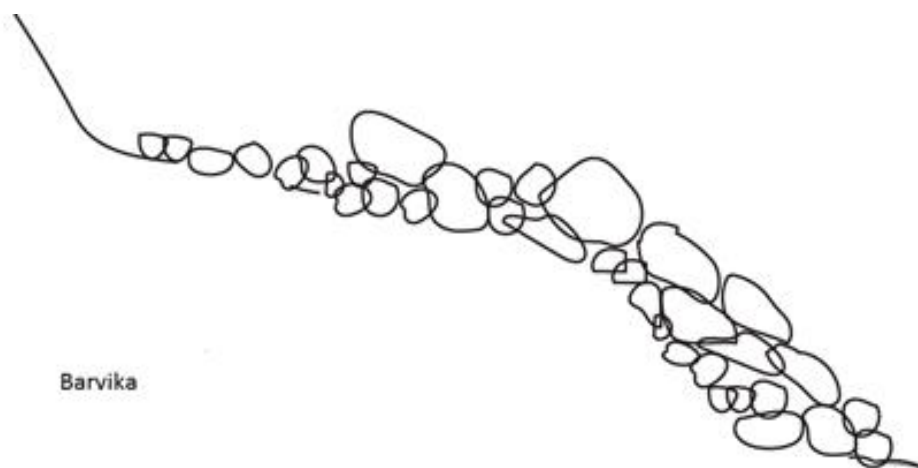
nordvestlig retning (Figur 22). Rofjellet ved Barvika har sitt høyeste punkt på 52m.o.h. (NGU, b). Fjellet var dekket av mye vegetasjon og det var kun få steder det var mulig å observere sprekker. Der sprekkeene var synlige heller de skrått ned mot foten av fjellet. Bergveggen på den motsatte siden av forsenkningen er preget av kanter og hull etter blokker (Figur 23).



*Figur 23 Bergveggen på motsatt side av dalen ved Barvika. Veggen er preget av kanter og hull etter blokker (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

### 5.3.1 Formen

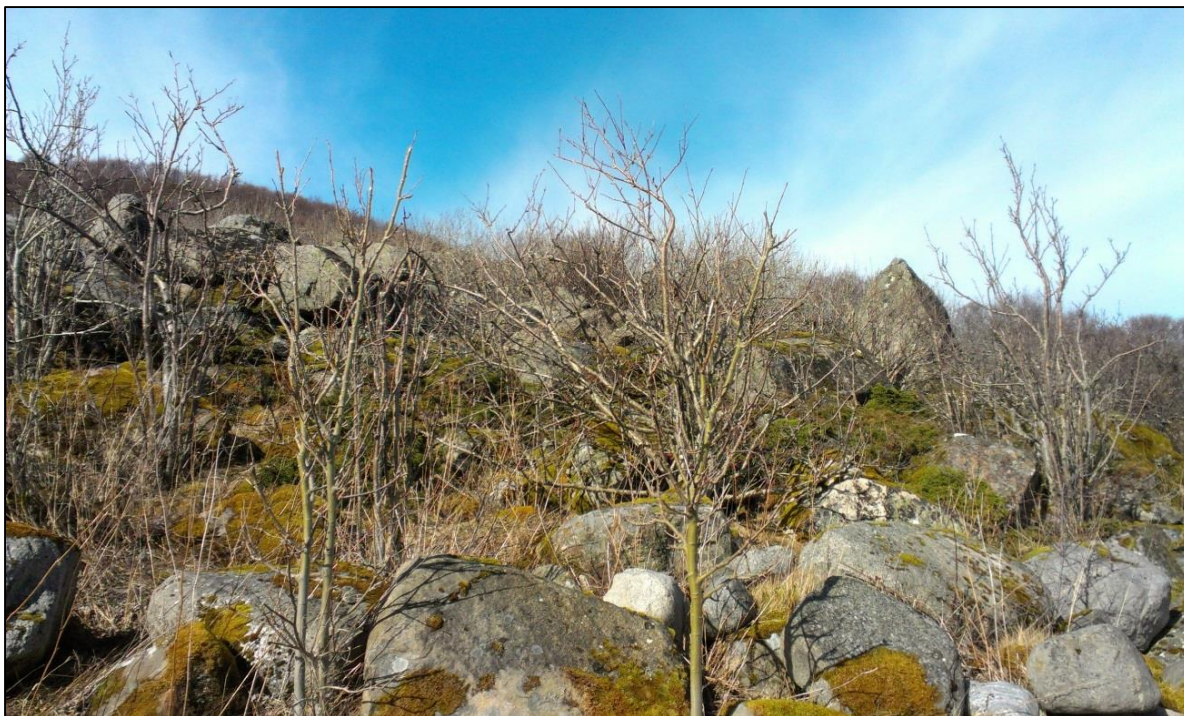
Beregninger i Riscan Pro viste at avsetningen ligger mellom 12 og 22 m.o.h. Den er tykkest ved den nordøstlige enden av fjellet (Vedlegg 5). Avsetningen er konveks, med en flate med slakt skrånende gradient (Figur 24 og 25), som strekker seg fra bergveggen til den møter en skråning med brattere gradient (Figur 24 og 26). Flaten har en maksimal utbredelse på 30m med stigning fra 18– 22 m.o.h., som gir en gradient på  $7,4^\circ$ . Skråningen er 22m med stigning fra ca. 12 – 18 m.o.h, som gir en gradient på  $15,1^\circ$  (Beregnet i 1728 software systems).



*Figur 24 En stilisert profil av avsetningen ved Barvika.*



*Figur 25 Flaten øverst i avsetningen ved Barvika. Kornstørrelsen øker fra den øvre mot den nedre delen av flaten (Foto: Line M. Ryg, 2013).*



*Figur 26 Skråningen mot foten av avsetningen ved Barvika. Løsmaterialet nederst ved foten er mellom rundet og godt rundet, og viser mer utviklet kantrunding enn løsmaterialet på de øvre delene av skråningen og ytre deler av flaten, som vises i Figur 25 og 27, samt i vedlegg 7.*



*Figur 27 Finere og rundete til godt rundete blokker, stein og grov grus ligger i hulrom under en grov blokk >2m ved Barvika. GPS-stang 2m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

### 5.3.2 Partikkelstruktur og kornstørrelser

Det ble observert at partikkelene støttes både av partikler lengre opp og ned i avsetningen, og de fleste partikkelene dipper mot foten av formen (Figur 28, Vedlegg 8 og 9). Ved de øvre delene av flaten og ved foten av skråningen synes berggrunnen og bakkevegetasjon under og mellom

stein og blokker. I de midtre delene av avsetningen var det ikke mulig å se berggrunnen. Strukturen er partikkel-støttet (Figur 28 og 31, samt Vedlegg 8-10) og ble funnet flere hulrom med fine blokker, stein og grov grus under grovere blokker, med åpning i retning fralandszonen (Figur 27). Partiklene viste noe imbrikasjon, men strukturen er hullete og noe kaotisk (Figur 28, Vedlegg 8 og 9).



*Figur 28 Overgangen mellom flaten og skråningen i avsetningen ved Barvika. Partikkelstrukturen viser tegn til imbrikasjon, men det er lite tydelig (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

Avsetningen består hovedsakelig av kornstørrelser mellom grove stein og megablokker og den fineste synlige kornstørrelse som ble observert var grov grus. Det observerte at det er flere partikler i kategorien  $>0,5\text{m}-<2\text{m}$  og  $>2\text{m}$  relativt til partikler i kategorien  $<0,5\text{m}$  (Figur 28-30, samt vedlegg 7-9). De fleste av de groveste partiklene ble funnet på den ytre delen av flaten og i skråningen, mens de fineste partiklene ble funnet ved den indre delen av flaten, altså øverst i avsetningen, dog det er flere unntak (se Figur 25, 26 og 28-30, samt vedlegg 7-9). Det ble også observert at et flertall av de groveste partiklene ligger mot den nordøstlige enden av avsetningen, som samsvarer med hvor avsetningen er tykkest (Figur 30 og 31).



*Figur 29 Den sørlige delen av avsetningen ved Barvika. Partiklene er gjennomgående  $>1$  og de groveste partiklene ligger ytterst på flaten og i skråningen. Kornstørrelsen er også noe minkende mot denne siden av avsetningen. Et felt med finere kornstørrelser kan skimtes øverst i avsetningen (Foto fra kamera montert på LiDAR-skanneren).*



*Figur 30 Den nordlige enden av avsetningen ved Barvika, noe skjemet av vegetasjon. Det er mulig å se at kornstørrelsen blir grovere mot denne siden, sammenlignet med den sørlige enden som vises i Figur 29. Den kantede megablokken omtrent midt i bildet vises også i bildet i Figur 31 (Foto fra kamera montert på LiDAR-skanneren).*





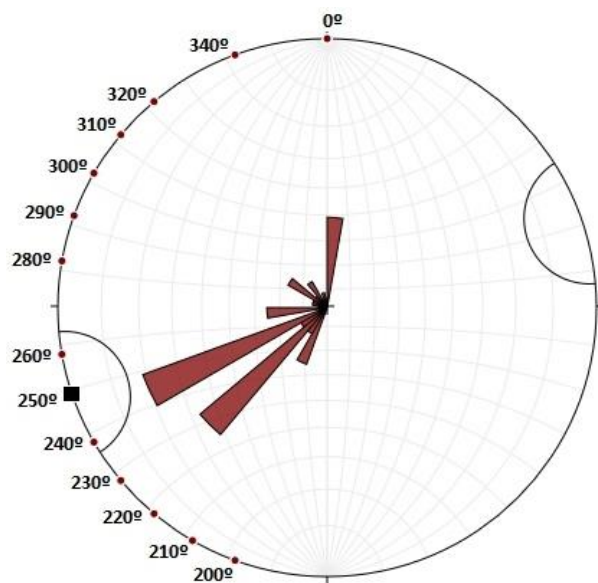
*Figur 31 Megablokker ved den nordlige enden av avsetningen ved Barvika. Blokkene er kantede og a-aksene er orientert normalt på den forventede bølgeretningen (se diskusjonen). Den groveste blokken er synlig omtrent midt i bildet i Figur 30. Sekk 0,5m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

### 5.3.3 Kantrunding og Partikkelform

Det ble observert at partikler  $<0.5\text{m}$  er mellom rundet og godt rundet, med unntak av noen sub-kantede og kantede partikler (27, Vedlegg 7-10). Det ble funnet flest sfæriske, og noen rektangulære partikler i denne kategorien. For kategorien  $>0,5\text{m}-<2\text{m}$  ble det observert flest partikler mellom rundet og sub-kantede, og graden av kantrunding synes til en viss grad å minke med økt størrelse (Figur 25, 26 og 28, samt Vedlegg 8 og 9). Det ble funnet en blanding av rektangulære og sfæriske partikler i denne kategorien. For kategorien  $>2\text{m}$  ble det observert flest partikler mellom sub-kantet til kantede, samt en del sub-rundete (Figur 27, 28 og 31, samt vedlegg 10) og det ble observert en blanding av sfæriske og rektangulære partikler. Det ble også her observert noe bedre kantruning ved foten av skråningen enn på flaten og øvre deler av skråningen, hos partikler  $>0,5\text{m}-<2\text{m}$  (Figur 26). Det ble kun funnet granittisk gneis, noe som tilsvarer bergartsbeskrivelsen i kart over bergarter fra NGU (NGU,b).

### 5.3.4 Orientering av a-aksene ved Barvika

Det ble registrert orientering av a-aksene for alle de målte blokkene  $\geq 2\text{m}$ . Resultatet er fremstilt i Figur 32. 25,49% av a-aksene som ble målt er orientert mot  $240^\circ$  nord. Det er i tillegg en noe mindre trend mot  $220^\circ$  nord, og en mindre mot  $360^\circ$  nord.



Figur 32 Orientering av a-akser >2m ved Barvika (stereonet 9.0.0.).

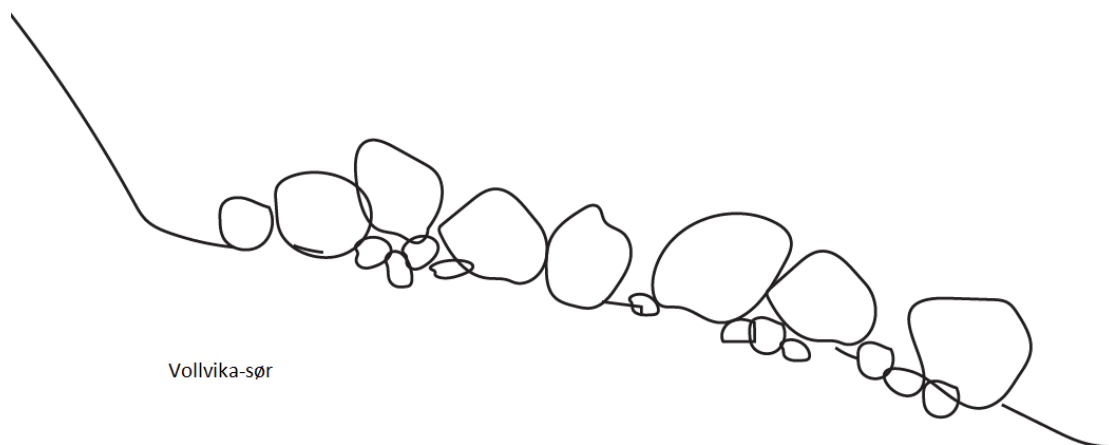
#### 5.4 Vollvika-sør

Kart over lokaliteten ved Vollvika-sør vises i Figur 14. Den undersøkte avsetningen ligger ved foten av Brandsøyfjellets vestlige side og dekker området der fjellet møter flaten som strekker seg ned til dagens strandkant (vedlegg 6). Hele avsetningen er eksponert mot åpen sjø. Det ble observert at bergveggen bak lokaliteten har mange kanter, sprekker og hull, og det er en synlig kjerne av amfibolinnholdig gneis nordvest i bergveggen (Figur 33).



*Figur 33 Bergveggen ved Vollvika-sør. Veggen er preget av spor etter erosjon/steinsprang. Kjernen av amfibolgneis som er kartlagt av NGU (NGU, b) er synlig som et mørkere område til venstre (nordvest) i bildet (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

Beregninger i Riscan Pro viste at avsetningen ligger mellom 7 og 21 meter over havet og strekker seg 72,5m fra hode til fot. Stigningen er fra 7 – 21 m.o.h., som gir en gradient på ca.10,8°. Lokaltiteten har en jevnere profil enn de andre to og ikke den samme konvekse formen (Figur 34 og 35, samt Vedlegg 6).



*Figur 34 En stilisert profil av avsetningen ved Vollvika-sør.*



*Figur 35 Avsetningen ved Vollvika-sør er jevnere og mangler den konvekse formen som preger avsetningene ved de andre to lokalitetene. Den dominerende kornstørrelsen er  $\geq 1\text{m}$  og partikkelstrukturen hullete og lite systematisk (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

#### 5.4.1 Partikkelstruktur og kornstørrelser

Det ble observert at de groveste partiklene hviler på berggrunnen eller på vegetasjon, og ser ut til å støttes av partikler både lengre opp og ned i avsetningen. Det er likevel noen unntak hvor blokker  $< 1\text{m}$  er klemt imellom og ligger under de grovere (Figur 38 og 40). Det ble også her observert stedvis imbrikasjon (Figur 39), men som det vises i Figur 35 er strukturen er hovedsakelig usammenhengende. Det ble funnet finere partikler i hulrom under de grovere (Figur 40, samt Vedlegg 15).

Avsetningen består hovedsakelig av kornstørrelser mellom grove stein og megablokker og den fineste observerte kornstørrelsen var grov grus. Det ble observert flere partikler i kategoriene  $> 0,5\text{m}$ - $< 2\text{m}$  og  $> 2\text{m}$ , og færre partikler  $< 0,5\text{m}$  (Figur 35 og 37, samt Vedlegg 6). De groveste partiklene er spredt over ved øvre og midtre del av avsetningen, mens lengst sør i den nedre delen av avsetningen ble det observert finere blokker og stein (Figur 37, samt vedlegg 6). Det ble også observert et felt med kornstørrelser mellom grov grus og fin blokk nærmere dagens strandlinje ved denne lokaliteten (Figur 36). Det går en bilvei på nedsiden av lokaliteten, som skiller den fra dette feltet.



Figur 36 Felt med finere kornstørrelser nær dagens strandlinje ved Vollvika-sør (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Figur 37 Riscan output av avsetningen ved Vollvika-sør. De groveste partiklene er lokalisert i den øvre og midtre delen av avsetningen, og et felt med finere blokker og stein er synlig nederst til høyre i bildet, som er ved den sørlige enden av avsetningen.



*Figur 38 Blokker <1m som er klemt imellom to megablokker ved Vollvika-sør. De finere blokkene fremstår mellom sub-rundet og rundet, mens megablokkene er kantede (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

#### 5.4.2 Kantrunding og Partikkelform

Partikler <0.5m er mellom rundet og godt rundet, med unntak av noen sub-kantede og kantede partikler (Figur 36 og 40, samt Vedlegg 15). Det ble funnet flest sfæriske, og noen rektangulære partikler i denne kategorien. Det ble observert færre partikler i denne kategorien og de fleste ble funnet ved foten av avsetningen i den sørlige enden, og i feltet nærmere dagens strandlinje (Figur 36). I kategorien >0,5m-<2m ble det observert flest partikler mellom rundet og sub-kantede (Figur 35, 38 og 39). Graden av kantrunding synes også her å minke med økende størrelse, men det ble observert flere rundete partikler i denne kategorien her, enn ved de andre lokalitetene (Figur 39). I denne kategorien ble det funnet flere sfæriske enn rektangulære partikler. For kategorien >2m ble det observert flest partikler mellom sub-kantet til kantede, samt en del sub-rundete og det var det flere sfæriske enn rektangulære partikler (Figur 38 og 40).

I denne avsetningen ble det, i tillegg til granittisk gneis, funnet noen blokker med høyt innhold av amfibol (Figur 40), lokalisert under området i bergveggen med den amfibolinnholdige kjernen. Funnene tilsvarer bergartsbeskrivelsen i kart over bergarter fra NGU (NGU,b).



Figur 39 Rundete grove blokker (>1m-<2m) i en partikkelstruktur som ligner imbrikasjon, ved Vollvika-sør. Målebånd 1m for målestokk (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Figur 40 Megablokker ved Vollvika-sør. Det er et synlig legeme av amfibol i den største blokken og i bergveggen bak er det mulig å skimte amfibolkjernen som er kartlagt av NGU (NGU, b). Megablokkene er sub-kantet til kantet og under dem ligger det rundete til godt rundete fine blokker og stein. Person og GPS-stang 2m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).

## 5.5 Bølgeklima

Ekstremværet Dagmar som traff kysten av Fosen i 2011 er registrert som en sterk storm (met.no). I tabellen i vedlegg 1 vises det døgnet med de største bølgehøydene, målt ved Draugen målestasjon. Den høyeste instrumentelt målte bølgehøyden var på 9,9m, mens den utregnede maksimale signifikante bølgehøyden var på 12m (Lien, Klimavakten, pers. medd., 21.10.13). Under ekstremværet Hilde, av sterk storm styrke, ble det varslet en signifikant bølgehøyde på 13-15 meter inn mot kysten av Nord- og Sør-Trøndelag (Metrologisk institutt). Den 1. desember 2013 ble det målt en signifikant bølgehøyde på 9,7m ved Draugen og den 16. desember 2013 ble det målt en signifikant bølgehøyde på 10,5m ved Heidrun målestasjon, nord for Haltenbanken (Lien, klimavakten, pers. medd., 17.01.14). De sistnevnte er bølgehøyder som ikke er tilknyttet ekstremværehendelser. Ut i fra disse registreringene virker det rimelig å anta at bølgehøydene under Dagmar i 2011 ikke var eksepsjonelle og at de kan være representative for normale stormbølgehøyder utenfor Sør-Trøndelag.

## 5.6 Nødvendige bølgehøyder

### 5.6.1 Inngangsdata i Notts ligninger

Inngangsdataene for utregning av bølgehøyder er størrelsene på a-, b- og c-akser for de største blokkene ved hver lokalitet. Blokkenes volum beregnet. Resultatene vises i vedlegg 2 og 3. De inntil femten største blokkene (i volum) ble plukket ut og anvendt for å beregne nødvendige bølgehøyder for de tre transportscenariene i Notts (2003) ligninger (ligning 9, 12 og 15). Utvalget ble gjort fordi bølgehøyder som er tilstrekkelige for å sette de femten største blokkene i transport vil også kunne ha transportert blokker med mindre volum.

### 5.6.2 Resultater fra Notts ligninger

Resultatene av utregningene viser at de fleste verdiene for submarint og subaerilt scenario innenfor den maksimale signifikante bølgehøyden på 12m fra Draugen, med unntak av to blokker fra Barvika, en blokk fra Vollvika-nord og fire blokker fra Vollvika-sør (se tabell 2, 3 og 4). Hvis derimot den største instrumentelle bølgehøyden på 9,9m anvendes er fire blokker fra Barvika, to blokker fra Vollvika-nord og fem blokker fra Vollvika-sør for store for å ha blitt transportert under Dagmar. Alle de beregnede stormbølgehøydene for sprekkeavgrenset scenario overskrider den maksimale bølgehøyden på 12m fra draugen med minst 7,85m.



Tabell 2 Utregnede bølgehøyder for Vollvika-nord.  $H_s$ =stormbølge,  $sm$ =submarint scenario,  $sa$ =sprekkeavgrenset scenario og  $sae$ =subaerilt scenario.

Blokk-Nummer	Volum $m^3$	A-akse i m $a$	B-akse i m $b$	C-akse i m $c$	Tetthet i tonn per $m^3$ $\rho_s$	$H_s$ (sm)	$H_s$ (sa)	$H_s$ (sae)
1	5,2	2,5	1,6	1,3	2,6	2,8	21,6	2,8
2	5,4	3,4	1,6	1,0	2,6	3,7	29,4	3,6
3	5,9	3,0	1,5	1,3	2,6	2,5	25,9	2,4
4	7,6	3,0	2,3	1,1	2,6	6,5	25,9	6,8
5	8,0	3,4	1,8	1,3	2,6	3,6	29,4	3,6
6	11,1	3,6	2,8	1,1	2,6	9,3	31,1	10,1
7	11,8	3,1	2,0	1,9	2,6	3,0	26,8	3,2
8	12,5	2,6	2,4	2,0	2,6	4,0	22,4	4,3
9	13,1	4,2	2,4	1,3	2,6	11,5	36,3	6,7
10	14,1	3,8	2,7	1,0	2,6	9,6	32,8	10,3
11	16,0	5,7	2,2	1,3	2,6	5,4	49,2	5,8
12	20,8	4,3	2,3	2,1	2,6	3,7	37,1	4,0
13	24,8	4,0	3,1	2,0	2,6	6,7	34,5	7,5
14	44,1	5,3	5,2	1,6	2,6	20,2	45,8	22,2
15	47,0	5,8	3,0	2,7	2,6	4,9	50,0	5,5

Tabell 3 Utregnede bølgehøyder for Barvika.  $H_s$ =stormbølge,  $sm$ =submarint scenario,  $sa$ =sprekkeavgrenset scenario og  $sae$ =subaerilt scenario.

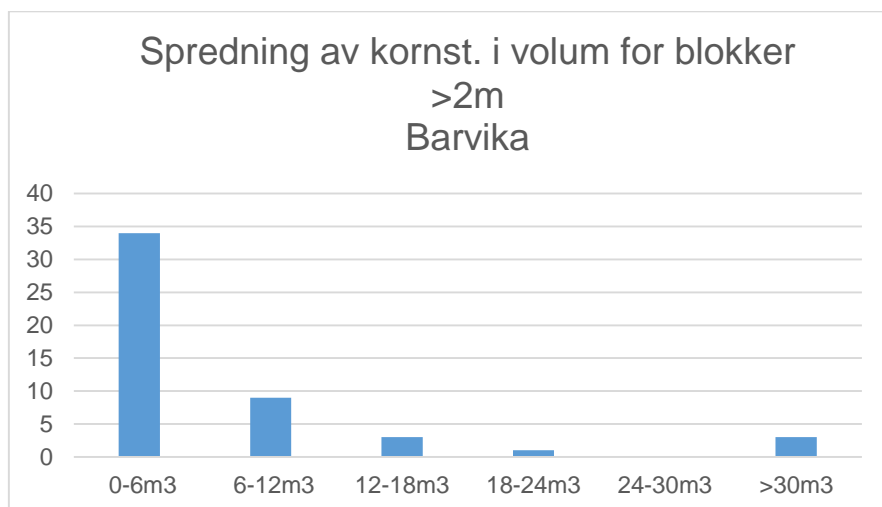
Blokk-nummer	Volum $m^3$	A-akse i m $a$	B-akse i m $b$	C-akse i m $c$	Tetthet i tonn per $m^3$ $\rho_s$	$H_s$ (sm)	$H_s$ (sa)	$H_s$ (sae)
1	6,0	2,5	2,0	1,2	2,6	4,6	21,6	4,7
2	8,1	3,0	2,7	1,0	2,6	9,2	25,9	9,8
3	8,8	3,3	1,9	1,4	2,6	3,7	28,5	3,8
4	9,6	3,8	1,8	1,4	2,6	3,4	32,8	3,4
5	9,9	4,5	2,2	1,0	2,6	6,8	38,9	7,2
6	10,7	3,0	2,1	1,7	2,6	3,7	25,9	3,9
7	10,7	3,7	1,8	1,6	2,6	3,0	31,9	3,0
8	10,8	4,0	1,8	1,5	2,6	3,2	34,5	3,2
9	12,1	4,6	2,2	1,2	2,6	5,8	39,7	6,1
10	13,9	4,2	3,0	1,1	2,6	10,7	36,3	11,8
11	14,1	3,2	2,2	2	2,6	6,6	27,6	5,2
12	21,6	3,1	2,9	2,4	2,6	4,9	26,8	5,4
13	32,8	5,2	3,5	1,8	2,6	9,4	44,9	10,7
14	35,4	6,1	2,9	2,0	2,6	6,1	52,7	12,7
15	36,4	8,2	3,7	1,2	2,6	15,6	70,7	17,9

Tabell 4 Utregnede bølgehøyder for Vollvika-sør.  $H_s$ =stormbølge,  $sm$ =submarint scenario,  $sa$ =sprekkeavgrenset scenario og  $sae$ =subaerilt scenario

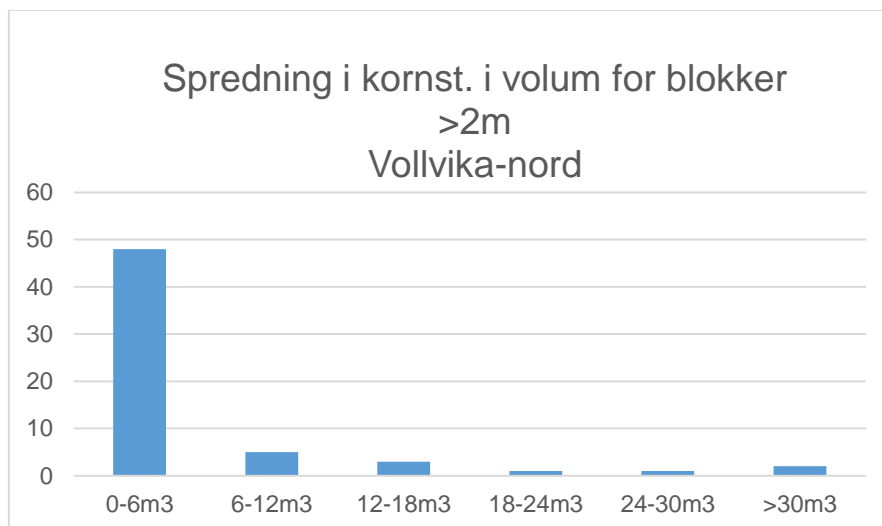
Blokk-nummer	Volum $m^3$	A-akse i m $a$	B-akse i m $b$	C-akse i m $c$	Tetthet i tonn per $m^3$ $\rho_s$	$H_s$ (sm)	$H_s$ (sa)	$H_s$ (sae)
1	51,2	5,9	3,1	2,8	2,6	5,0	50,9	5,7
2	54,1	6,3	3,9	2,2	2,6	9,7	54,4	11,2
3	56,2	4,9	3,7	3,1	2,6	6,3	42,3	7,3
4	61,4	6,8	4,3	2,1	2,6	12,1	58,7	14,2
5	70,6	6,3	4,0	2,8	2,6	8,1	54,4	9,5
6	73,9	5,7	4,8	2,7	2,6	11,6	49,2	13,6
7	77,8	8,0	3,6	2,7	2,6	7,0	69,1	8,1
8	93,9	5,6	4,3	3,9	2,6	6,8	48,3	8,0
9	114,3	7,7	5,5	2,7	2,6	15,2	66,5	18,1
10	117,7	7,0	5,8	2,9	2,6	15,5	60,4	18,5

Aksemålingene ved Barvika og Vollvika-nord ble systematisert i kategorier etter størrelse i  $m^3$  og resultatet viser at hovedvekten av partikler  $>2m$  tilhører den minste kategorien (Tabell 6 og 7). Dette betyr at de fleste partiklene ved disse lokalitetene vil, i en submarin og subaeril setting mobiliseres av bølgehøyder tilsvarende de laveste estimerte bølgehøydene, som for Barvika ligger mellom 3-5m og ved Vollvika-nord ligger mellom 2-4m (Tabell 3 og 4). Det ble også regnet ut nødvendig bølgehøyde for eksempler på en mindre blokk, i alle scenariene fra Nott. Eksempelblokken har en a-akse på 1,0m, en b-akse på 0,6m og en c-akse på 0,1m. Blokken kreveren bølgehøyde på 0,7m i subaerilt scenario, 1,7m i submarint scenario og 8,6m i det sprekkavgrensede scenariet.

Tabell 5 Spredningen av kornstørrelser i m<sup>3</sup>, for målte blokker med a-akse >2m, ved Barvika. Y-aksen representerer antall blokker og x-aksen representerer volumkategorier. 34 av 50 blokker er <6m<sup>3</sup>.

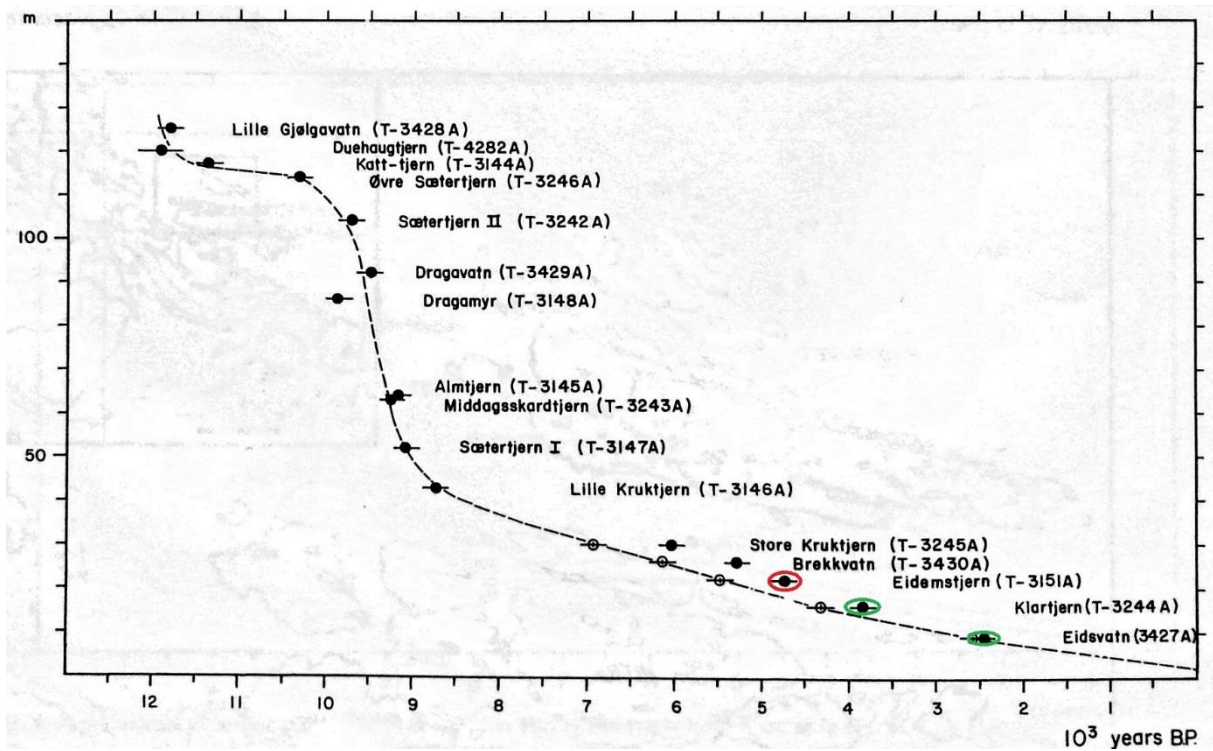


Tabell 6 Spredningen av kornstørrelser i m<sup>3</sup>, for målte blokker med a-akse >2m ved Vollvika-nord. Y-aksen representerer antall blokker og x-aksen representerer volumkategorier. 48 av 59 blokker er <6m<sup>3</sup>.



### 5.7 Strandlinjeforskyvning og avsetningenes beliggenhet

For å kunne omtrentlig tidfeste når de diskuterte avsetningene lå i tidevannssonen er det anvendt en strandlinjeforskyvningskurve fra Bjugn (Kjemperud, 1983). Denne vises i Figur 41. Eidemstjernet på 22m.o.h er markert i rødt, da tjernets høyde over havet korresponderer omtrentlig med de øvre delene av avsetningene på Roan. Det er datert til  $4710 \pm 50$  år BP (Kjemperud, 1986). Kalibrert til kalenderår tilsvarer dette omtrent 4819 -5119 Kal. BP (Calib 7.0). Klartjern på 16 m.o.h og Eidvatn på 9 m.o.h. er markert i grønt, da disse representerer høyder som korresponderer omtrentlig med de midtre og nedre delene av avsetningene. Disse er datert til  $3830 \pm 90$  år og  $2450 \pm 100$  år. Kalibrert til kalenderår tilsvarer dette omtrent 3557 – 4043 cal. BP og 1862 – 2328 cal. BP (Calib 7.0). Det vil si at lokalitetene har ligget i strandkanten i en periode mellom ca. 5100 cal. BP og 1800 cal. BP.



Figur 41 Strandlinjeforskyvningskurve fra Bjugn, Sør-Trøndelag. De sorte symbolene viser datoer i C14 år Before Present. Eidemstjernet ligger 22m.o.h og er datert til  $4710 \pm 50$  år BP, Klartjern er datert til  $3830 \pm 90$  år BP og Eidsvatn er datert til  $2450 \pm 100$  år B

## 6 Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene fra kapittel 5 ut i fra hypotesen om at avsetningene slik de fremstår i dag er utformet av stormbølger, og underhypotesen om at de kan klassifiseres som blokkstrenger. Kapitlet starter med en presentasjon av en konseptuell modell som gir en mulig forklaring av utviklingen av avsetningene og et bilde på hva som skal diskuteres.

Deretter vil stormbølgehypotesen og spørsmålet om avsetningene er blokkstrenger diskuteres ut i fra resultatene fra de konkrete parametrene som er undersøkt. Avsetningen ved Vollvika-nord vil diskuteres først og deretter vil avsetningen ved Barvika diskuteres og sammenlignes, og felles avvik fra hypotesen diskuteres samlet. Resultatene fra flere av parametrene fra Vollvika-sør skiller seg fra de to andre lokalitetene, og diskuteres derfor til slutt. Kapitlet avsluttes med en kort diskusjon rundt andre mulige hypoteser.

### 6.1 En konseptuell modell for utviklingen av avsetningene

Det er mulig å tenke seg følgende modell for dannelsen av de diskuterte avsetningene.

Løsmateriale tilføres områdene rundt avsetningene på grunn av skråningsaktivitet som følge av erosjon og forvitring, samt glasialt transport og avsetning. Landhevingen medførte at strandlinjen krøp nedover og i henhold til strandlinjeforskyvningskurven fra Bjugn (Kjemperud, 1983) i Figur 41 skal avsetningene ha ligget i tidevannssonen mellom ca. 5100 år cal. BP til ca. 1800 år cal. BP. I dette tidsrommet bearbeides materialet i tidevannssonen, samtidig som mer løsmateriale tilføres fra fjellveggene, og formene slik de fremstår i dag dannes. I Figur 43 og 44 vises det at avsetningene ved Vollvika-nord og Barvika ligger innover i forsenkninger mellom små fjell, som har vært sund da havet stod høyere, og bølgene har sannsynligvis dreiet inn i sundene og brutt langs med fjellet, i en skrå retning. Det antas derfor at bølgetransporten har vært på skrått mot fjellveggen innover i sundet. Avsetningen ved Vollvika-sør ligger ikke i en forsenkning og vil derfor avvike fra dette bildet.

#### 6.1.1 Materialtilgjengelighet

Antagelsen om at løsmaterialet har vært tilgjengelig og løst skyldes avsetningenes lokalisering i strandflatelandskapet, hvor frostforvitring, glisial erosjon, haviserosjon og bølgeerosjon regnes som aktive prosesser gjennom deler av Holocene (Ben & Evans, 2010; Holtedahl, 1998; Klemsdal, 1982; Corner, 2005). Det antas derfor også at transport har skjedd ved enten submarint eller subaerilt scenario alla Nott, og at det sprekkeavgrensede scenariet er mindre relevant.

#### 6.1.2 Beliggenhet og klima

Lokalitetene ligger i områder som er utsatt til mot åpen sjø og som i dag preges av ekstremvær og sterk vind av en relativt hyppig frekvens, med åtte registrerte stormhendelser

med styrke  $\geq$ full storm etter år 2000 (met.no). De registrerte bølgehøydene fra Draugen målestasjon ved Haltenbanken og Heidrun målestasjon nord for Haltenbanken er av størrelser som likner de som presenteres i forskningen på transport av megablokker (Barbano et al., 2010; Fichaut & Suanez, 2011; Hall, 2011; Richmond et al., 2011; ) og det virker derfor sannsynlig at bølgehypotesen kan forklare disse landformene.

Det ble heller ikke funnet liknende former i områder av Roan hvor påvirkningen av stormbølger har vært liten eller ingen. Det ble observert mye talus over marin grense, og på befaring i Austdalen, som ligger mer skjermet til inne i dal lengre inn i landet (se kart i Figur 1), ble det observert flere grovkornede avsetninger. Dette tilsier at det også her har vært tilgjengelig løsmateriale. Et eksempel på en slik avsetning vises i Figur 42 og her vises det at avsetningen skiller seg fra de diskuterte avsetningene i både morfologiske og sedimentære kvaliteter, slik som form, kantrunding og akseorientering.



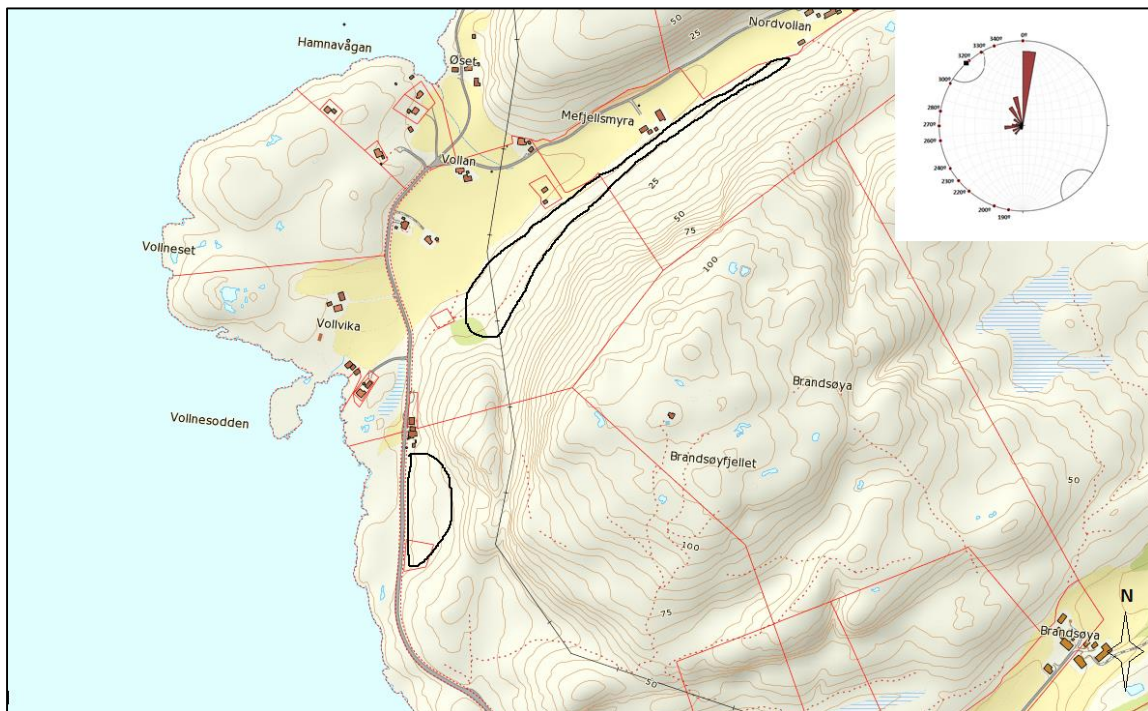
Figur 42 En avsetning i Austdalen. Den er mer skjermet fra hav og bølger enn de diskuterte avsetningene, skiller seg fra dem i form, akseorientering og kantrunding (Foto: Louise Hansen, 2013).

## 6.2 Tolkning og diskusjon av avsetningen ved Vollvika-nord

### 6.2.1 Bølgehøyder og beliggenhet

Det er mange av parametrene ved avsetningen ved Vollvika-nord som kan tolkes på en måte som støtter en utvikling slik som den beskrevet i modellen over. I kartet i Figur 43 vises det at avsetningen ved Vollvika-nord er tydelig eksponert mot sjøen mot sørvest, og med en vindretning fra nordvest er det lite som skjermer lokaliteten mot bølgene. Det er en jevn

stigning inn mot avsetningen, som må ha fungert som oppgrunningszone da Vollvika var under havnivå. Med tilstrekkelig vanddybde og med effekten av stormflo, bør Vollvika kunne ha fungert som oppgrunningszone også for store stormbølger, slik at de har brutt mot lokaliteten. Med hensyn til at bølgehøyden fra Dagmar er målt ved Haltenbanken og ikke ved kysten er de sannsynligvis noe høyere enn de som traff Roan, og det virker sannsynlig at de midlere estimerte bølgehøyden er mer representative her.



Figur 43 Vollvika-nord (øverst) og Vollvika-sør (nederst). Akseorientering fra Vollvika-nord (Kartverket; Stereonet 9.0.0.)

Svært få av de estimerte bølgehøyden for Vollvika-nord (i subaerilt og submarint scenario) er høyere enn de som ble målt under Dagmar i 2011 (se tabell 2 og vedlegg 1), og ut i fra resultatene fra Notts ligninger virker det sannsynlig at det meste av løsmaterialet ved lokaliteten kan ha vært avsatt av stormbølger. Hoveddelen av de groveste partiklene i avsetningen er  $\leq$  de minste målte blokkene, og vil dermed ha vært mobilisert ved bølgehøyder mellom 2m-5m. Det tilsvarer de laveste utregnede bølgehøyden og er flere meter lavere enn de høyeste instrumentelle og signifikante bølgehøyden fra Dagmar. Avsetningen ved Vollvika-nord har en større utstrekning enn de to andre avsetningene. Så selv om det her ble funnet nesten like mange blokker  $\geq 2$ m som ved Barvika, ble det observert at den største andelen av partikler i avsetningen som helhet er  $\leq 1$ m. Det større antallet fine blokker, stein og grov grus ville etter resultatene av eksempelblokkutregningen vært mobilisert av brytende bølger på mellom 0,7m-1,7m, i subaerilt og submarint scenario. Disse bølgehøyden er

innenfor en sannsynlig normal stormbølgehøyde ved kysten, med hensyn til reduksjon i bølgehøyden fra Haltenbanken til kysten.

### 6.2.2 Den helhetlige morfologien

Det er flere aspekter ved det morfologiske uttrykket ved lokaliteten ved Vollvika-nord gjør at avsetningen kan tolkes som en blokkstrand. Den helhetlige formen er konveks, og flaten og skråningen (Figur 16, 17 og 18) kan tolkes som strandbredd og forstrand jamført Klemsdals (1979) morfologiske inndeling av stranden. Gradienten for forstranden er sammenlignbar med beskrivelsen av forstrender, med en typisk gradient på 6°-15° (Etienne & Paris, 2010; McKenna, 2005). Den åpne strukturen ved har sannsynligvis medført en del tap av nedskyll (Chen et al., 2011; Oak, 1984) og den konvekse formen kan i likhet med Chen et al. (2011) forklares med redusert materialtransport mot foten av stranden. Det mulig at antropogen påvirkning, slik som ryddig av jorda i den lille dalen har redusert konkavitet i formen ved at mindre kornstørrelser fra foten av avsetningen har blitt plassert lengre opp på forstranden eller vært anvendt i steingjerder (Vedlegg 12).

Strandformen er tydeligst ved den enden av avsetningen som er mest utsatt mot åpen sjø og det er også her avsetningen er tykkest (Vedlegg 4). I tillegg er det en tendens til at flere av de groveste kornstørrelsene lokalisert i den bølgeutsatte enden av avsetningen, dog det er flere unntak fra dette. Samlet kan dette tolkes som en konsekvens av bølgenes tap av energi og transportkompetanse langs med stranden, i et scenario der bølgene bryter på skrått mot stranden.

### 6.2.3 Kantrunding og akseorientering

Observasjonene fra Vollvika-nord (og de andre lokalitetene) viser at partiklene <1m (og særlig  $\leq 0,5$ m) generelt er bedre kantrundet enn de grovere partiklene. Dette kan tolkes som at disse partiklene har vært lengre eller oftere i transport enn de grovere partiklene (Masselink et al., 2011; Knighton, 1998). De utregnede bølgehøydene for eksempelblokken viste at en partikkel  $\leq 1$ m kan ha vært mobilisert av bølger på <1m og det virker dermed sannsynlig at kantrundingen er et resultatet av abrasjon som følge av gjentatt mobilisering og transport i tidevannssonen. De grovere partiklene har sannsynligvis kun vært mobilisert under store stormhendelser og noe av kantrundingen av disse partiklene kan skyldes partikkelkollisjon med andre partikler i transport (Taylor, 2008). Funn av noen kantede og sub-kantede partikler kan skyldes knusing som følge av kollisjon med andre partikler (Oak, 1984) eller at de tilført ved steinsprang.



Tendensen til bedre kantrunding ved foten av forstranden kan tolkes som at dette løsmaterialet i større grad har vært utsatt for mobilisering av bølger enn det lengre opp i avsetningen, og stemmer godt med Oaks (1984) beskrivelse av blokkstranden. Det er likevel flere unntak, deriblant subrunde til runde blokker under en grovere og kantet blokk på strandbredden (Figur 20).

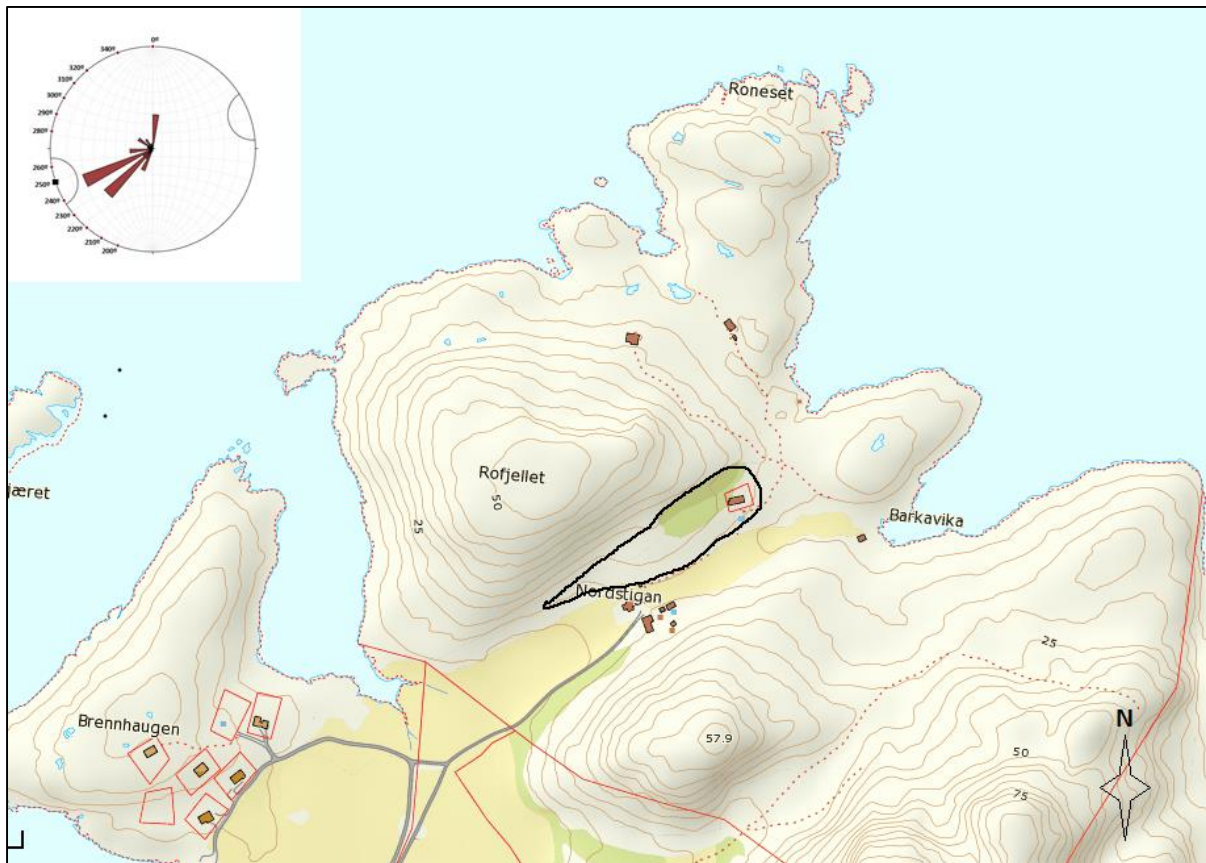
Flertallet av a-aksene hos partikler >2m ved Vollvika-nord er orientert normalt, eller nesten normalt på den sannsynlige bølgeretningen fra sørvest (Figur 43). Orienteringen av a-aksene tilsier en rullende og roterende transport fra omtrent samme retning (Barbano et al., 2011; Collinson & Thompson, 1989; Imamura et al., 2008; Masselink et al., 2011; Mastronuzzi & Sanso, 2004; Noormets et al., 2004), og tolkes som at partiklene har vært utsatt for bunntransport ved bølger. Avvikene fra akseorienteringen kan sannsynligvis forklares med tre årsaker. For det første kan partikler i transport ha vært hindret av andre partikler slik at partikkelbevegelsen har endret seg (Barbano et al., 2011; McKenna, 2005). For det andre beskriver McKenna (2005) hvordan friksjonen mot den grove strandformen skaper turbulens i bølgene og dette kan medføre mindre tydelig akseorientering. For det tredje kan noen av de groveste blokkene ha vært tilført ved steinsprang fra fjellveggen bak lokaliteten og dermed ikke ha vært bølgetransportert i samme grad som de andre blokkene i avsetningen.

### 6.3 Tolkning og diskusjon av avsetningen ved Barvika

Ved Barvika var det også flere av parametrene som ble undersøkt som synes å støtte hypotesen om at utformingen av avsetningen er dominert av stormbølgetransport og at avsetningen kan tolkes som en blokkstrand. Feltarbeidet gav lignende resultat for estimerte bølgehøyder som ved Vollvika-nord, hvor kun et fåtall blokker ikke kunne vært mobilisert av de midlere bølgehøydene under Dagmar. Også denne avsetningen har den strandlignende, konvekse formen med en skråning og en flate som kan tolkes som forstrand og strandbredd (Figur 24-26) og forstrandens gradient på 15° ligger innenfor det som beskrives for blokkstrender (Etienne & Paris, 2010; McKenna, 2005; Masselink, 2011; Shepard, 1948). Økt størrelse på avsetningen, sammen med lokaliseringen av flere grove blokker mot nordenden av avsetningen kan, som ved Vollvika-nord tolkes som at bølgene har brutt på skrått mot avsetningen. Samtidig er det også her flere unntak med grove blokker som er lokalisert på forstranden og ytterst på strandbredden lengre sør i avsetningen.

Også denne lokaliteten viser bedre kantrunding av partikler <1m, som taler for at de har vært mobilisert i større grad enn de grovere partiklene. Og også her kan funn av bedre kantrundet løsmateriale ved foten av forstranden tolkes som at dette har vært utsatt for en større grad av

mobilisering enn materialet lengre opp i avsetningen (Oak, 1984). Forskjellene i kantrunding mellom øvre og nedre deler av avsetningen er spesielt tydelig ved denne lokaliteten (Figur 25, 26 og 28, samt vedlegg 8 og 9). Samtidig bryter feltet med godt rundete partikler øverst på strandbredden noe med dette bildet (vedlegg 7).



Figur 44 Akseorientering relativt til Barvika-lokaliteten. Avsetningen ligger i lesiden av det som har vært en øy, da havet stod høyere (Stereonet 9.0.0.; grunnlagskart fra kartverket).

### 6.3.1 Barvika-lokalitetens beliggenhet relativt til bølgeretning: implikasjoner for akseorientering og estimerte bølgehøyder

Når Barvika-avsetningens beliggenhet sees i sammenheng med de estimerte bølgehøydene, den dominerende grove kornstørrelsen og orientering av a-aksene, blir dannelsen av avsetningen mer komplisert å forklare med bølgehypotesen.

Avsetningen ligger noe mer skjermet til enn avsetningen ved Vollvika-nord, i lesiden av fjellet relativt til sjøen (Figur 44). Det er i tillegg en forhøyning nordøst for avsetningen som skjermer den noe mot nord. Med bølgepådrag fra nord, som kunne skape gunstige bølgehøyder ved lokaliteten, ser det ut som at bølgene kunne brutt mot denne forhøyningen da havnivået var i høyde med avsetningen. Notts ligninger (2003) er utformet for brytende bølger og en brytende bølge har mer kraft/energi enn en bølge som har brutt (Sunamura, 1992; Masselink et al., 2011). Hvis bølgene har brutt mot forhøyningen er det derfor sannsynlig at de estimerte bølgehøydene for lokaliteten er mindre representative ved denne lokaliteten. Sett

i sammenheng med at det ble observert et stort antall grove blokker (>1m) ved denne avsetningen virker det sannsynlig at en langt større stormhendelse enn Dagmar ville vært nødvendig for å mobilisere løsmaterialet da lokaliteten lå i tidevannssonen.

Samtidig er trenden i orienteringen av a-aksene parallelt med stranden vanskelig å forklare uten bølgehypotesen. En mulighet er at fenomenet kan forklares med ultra-refraksjon. Hanes og Erikson (2013) viser hvordan signifikante endringer i batymetrien kan medføre ultra-refraksjon, hvor bølgene kan dreies over 90° over relativt korte avstander. Hvis dette har vært tilfelle ved Barvika er det mulig å se for seg at bølgene har blitt presses fra nordøst og opp Barvika mot sørvest, dreiet ytterligere sørover og brutt nær normalt på stranden (se Figur 44). Med hensyn til at diffraksjon fører til en dreining av bølgeenergien med bølgetoppene (Masselink et al., 2011), er det mulig at bølgene som har truffet Barvika-lokaliteten har vært kraftige nok til å mobilisere mye av løsmaterialet i avsetningen. I tillegg til å forklare hvorfor mange av a-aksene er orientert tilnærmet parallelt med strandkanten, vil en bølgeretning mer normalt på stranden også forklare hvordan noen av de grovere kornstørrelsene er lokalisert lengre sør i avsetningen. Også her er det mulig å forklare avvikende akseorienteringer med både hindring av partikler i transport (Barbano et al., 2011) eller turbulente transportforhold (McKenna, 2005), og tilførsel av løsmateriale fra fjellveggen bak.

#### 6.4 Usikkerheter i datamaterialet

Det er noen parametre som skaper usikkerhet rundt resultatene og til en viss grad kompliserer stormbølgehypotesen.

##### 6.4.1 Usikre bølgehøyder

I metodekapittelet kom det frem at det er flere kilder til usikkerhet knyttet til Notts ligninger. I tillegg til usikkerheter med selve ligningene, er det også faktorer ved anvendelsen av ligningene i denne oppgaven som kan ha medført usikre resultater. For det første kan kornstørrelsen ha vært redusert under transport, og partiklene i avsetningene kan ha en mindre størrelse enn det de hadde da de først ble mobilisert. Stephenson og Naylor (2011) påpeker at partikler som er utsatt for en gjentatt transport, med knusing og abrasjon, er lite representative å anvende for å regne på nødvendig bølgehøyde og transportkompetanse. Dermed kan det tenkes at de utregnede bølgehøydene er underestimert og lite representative.

Ved bruk av ligningene viste det seg også at de er sensitive for endringer i verdiene for b- og c-aksene, relativt til endringer i verdiene for a-aksene. En oppjustering av b-aksen og nedjustering av c-aksen gir langt høyere resultat enn hva en for eksempel en oppjustering av a-aksen gir. Sett i sammenheng med den allerede nevnte tendensen til overvurdering av a- og

b-aksen, samt en undervurdering av c-aksen ved manuell måling (Scicchitano et al., 2012), er det mulig at dette kan ha medført overdrevne verdier for de utregnede bølgehøydene på Roan. Verdiene for koeffisientene ikke er beregnet for lokalitetene på Roan og dette kan skape ekstra usikkerhet rundt resultatene.

#### 6.4.2 Fordelingen av kornstørrelser

Ingen av lokalitetene har en horisontal fordeling av kornstørrelser som er sammenlignbar med Oaks (1984) beskrivelse av blokkstrenger, hvor de groveste kornstørrelsene avsettes ved foten av forstranden på grunn av bølgens tap av transportkompetanse på vei opp stranden. Samtidig kan det tenkes at lokaliseringen av de groveste kornstørrelsene og den generelle finingen av løsmaterialet innover langs dalene ved Barvika og Vollvika-nord er et uttrykk for kornstørrelsesfordelingen som beskrives av Oak (1984), med en fordeling litoralt i stedet for fra fot til hode av avsetningene.

Selv om man ser for seg en sortering av kornstørrelsene langs med fjellsidene med avstand fra bølgeretningen, er fremdeles flere av de groveste partiklene avsatt på strandbredden, ikke ved foten av forstranden nærmest sjøen (Se vedlegg 4, 8-10, 14 og 15). Etienne og Paris (2010) beskriver hvordan høyenergibølger har dyttet grove blokker over blokkrygger og blokkhauger. Det er mulig å tenke seg at noe lignende kan ha skjedd på Roan og at det, i tillegg til tilførsel av blokker fra bergveggen kanskje kan forklare hvordan blokkene som krever de mest ekstreme bølgehøydene har blitt plassert på strandbredden og øvre deler av forstranden ved Barvika og Vollvika-nord. Disse blokkene vil i så fall ha krevd langt høyere, og mer lavfrekvente bølger for å bli mobilisert videre og kan dermed ligget stasjonært mens finere kornstørrelser har vært mobilisert videre.

I lys av usikkerhetene med Notts ligninger og de estimerte bølgehøydene virker det likevel usannsynlig at de groveste blokkene, som etter utregningene krever mellom 10m-20m høye stormbølger for å mobiliseres, kan ha vært transportert videre opp en forstrand etter mobilisering. Det er mulig at forklaringen på disse megablokkenes plassering er at blokkene ble plassert ved steinsprang og deretter utsatt for kantrunding grunnet partikkelkollisjon med andre partikler i transport. Det er også mulig at det henger sammen med strandlinjeforskyvningen i området (Kjemperud, 1983) og at avsetningene sakte med sikkert har hevet seg først inn i, og så over bølgenes rekkevidde. De groveste kornstørrelsene som ligger på strandbredden kan ha vært mobilisert tidlig i utviklingen av formene, da strandkanten stod høyt i forhold til avsetningene og avsetningene ikke var fullt utviklet. Dermed er de kanskje ikke er transportert opp en fullt utviklet forstrand, men heller blitt

mobilisert og transportert korte avstander og blitt liggende stasjonært mens finere partikler har blitt mobilisert, transportert og avsatt rundt dem.

De mindre kornstørrelsene kan ha vært transportert langs med sundet, og vasket imellom grovere blokker, og ned mot forstranden i nedskyllet av større bølger. Mens landet hevet seg og strandlinjen forskjøv seg nedover kan denne prosessen ha vasket de mindre partiklene stadig lengre ned, mens de grovere partiklene har blitt liggende igjen lengre opp. Nedskyllets effekt vises av Knight og Burningham (2011) som fant lineære abrasjonsmerker etter blokker som har blitt dratt mot fralandssonen av nedskyll, og Barbano et al. (2011) fant at blokker på opptil 2 tonn var rotert og transportert mot fralandssonen av nedskyll. Selv om nedskyllet reduseres av infiltrasjon (Chen et al., 2011; Masselink et al., 2011; Oak, 1984) er kan man se for seg at finere partikler som stein og grus kan ha blitt mobilisert på denne måten under bølgehendelser med høyere frekvens, mens små blokker kan ha vært utsatt for tilsvarende bevegelse under større og mer lavfrekvente bølgehendelser. De observerte hulrommene under grove partikler og den «hullete» strukturen kan være et uttrykk for en videre mobilisering av de finere kornstørrelsene, og sorteringen av kornstørrelser kan tyde på at bølgenes nedskyll har vasket finere partikler ut mot fralandssonen. Finere partikler som har vært vasket inn under grovere blokker kan ha vært låst der og videre transport vil ha krevet bølger med kompetanse til å mobilisere de grovere blokkene som skjermet dem, sammenlignbart med teorien om equal mobility (Andrews & Smith, i Knighton, 1998; Komar & Shih, 1992; Parker et al., 1992).

#### 6.4.3 Svak eller manglende imbrikasjon

Det ble kun observert noen områder i hver avsetning som kan tolkes som imbrikasjon (Figur 28, samt vedlegg 9), og strukturen er generelt preget av hull og kaos. Dette kan sees som svekkende for bølgehypotesen, da imbrikasjon ofte beskrives i sammenheng med bølgeavsetninger (Barbano et al., 2011; Chen et al., 2011; Etienne & Paris, 2010; Kortekaas & Dawson, 2007; Nott, 1997; Richmond et al., 2011; Saintilian & Rogers, 2005; Suanez et al., 2009; Williams & Hall, 2004).

Samtidig kan trendene i orientering av a-aksene for de målte blokkene tyde på at disse partiklene har vært en del av en imbrikert struktur. Det er noen faktorer som kan tenkes å forklare den noe mer kaotiske strukturen. For det første er det mulig at grovere partikler har vært rotert etter avsetning. Imbrikerte blokker kan i denne sammenhengen sammenlignes med sprekkeavgrensede blokker, i og med at de er avgrenset av andre partikler i strukturen.

Resultatet fra eksempelblokken viser at det må en bølgehøyde på 8,6m til for å løfte blokker

på 1m, så dette kan kun ha skjedd under ekstreme hendelser. Men det er kanskje mulig at slike blokker kan ha vært rotert av gjentatte stormbølger. Weiss (2012) foreslår at blokker som påvirkes av sterkere løftkraft enn dragkraft vil roteres, heller enn dyttes, og i henhold til Notts (2003) ligninger blir sprekkeavgrensede blokker kun påvirket av løftkraften.

En kanskje mer sannsynlig mulighet er at imbrikasjonen kan ha blitt ødelagt som følge av videre mobilisering av mindre partikler, som har medført undergraving og ustabilitet hos grovere partikler. I tillegg kan tilførsel av løsmateriale fra bergveggen ha bidratt til en mer rotete struktur i avsetningene. Det kan også nevnes at det relativt høye antallet sfæriske partikler kan ha medført en mindre tydelig imbrikert struktur, da strukturen beskrives som mest vanlig hos diskformede partikler (Collinson & Thompson, 1989).

### 6.5 Tolkning av Vollvika-sør

Avsetningen ved Vollvika-sør ligger på en flate mellom fjellveggen og strandkanten, og ikke i en forsenkning mellom to berg, slik som de andre to avsetningene (Figur 43, Vedlegg 6). Det er mulig å se for seg en lignende utvikling som den som beskrives for Vollvika-sør og Barvika, men hvor bølgene treffer normalt på stranden i stedet for å bryte langs med stranden.

En del av resultatene støtter stormbølgehypotesen ved avsetningen ved Vollvika-sør. Det ble funnet den samme trenden i kantrunding som ved de andre lokalitetene, med bedre kantruning med minkende kornstørrelse. Dette kan også her tolkes som at de finere partiklene har vært mobilisert oftere enn de grovere. At det ble funnet noe flere kantrundede partikler i den mellomste og den groveste partikkelgruppen kan henge sammen med at lokaliteten ligger mindre skjermet til enn de to andre lokalitetene og kan ha vært utsatt for høyere bølgeenergi. Det ble også funnet færre av den fineste partikkelgruppen (<0,5m) ved denne lokaliteten, og de fleste partiklene av denne størrelsen ble funnet under og i mellom de grovere blokkene, og i ansamlinger lengre ned mot sjøen. I tillegg til at denne avsetningen er mer eksponert mot bølgene, er den ikke så dyp som de andre to, og det er derfor sannsynlig at nedskyttet ikke har vært like påvirket av infiltrasjon (Chen et al., 2011; Masselink et al., 2011; Oak, 1984). Det kan derfor ha hatt mer kraft til å trekke partikler mot fralandssonen, noe som kan forklare sammenhengen mellom det lave antallet partikler <0,5m i de øvre delene av avsetningen og observasjonen av felt med finere blokker og stein nærmere dagens strandlinje, både på oversiden og nedsiden av bilveien.

Utbredelsen av innklemte og kantrundede blokker og stein mellom de grovere blokkene tyder på at disse også må ha vært i noe bevegelse, og det er stedvis imbrikasjon av blokkene (Figur 39). Men også her er strukturen usammenhengende og hullete. Som ved de to andre

lokalitetene er det mulig at dette skyldes en blanding av utvasking av finere blokker og stein, og steinsprang.

#### 6.5.1 Bølgehøyder og kornstørrelser

Ved Vollvika-sør er det likevel flere parametre som tyder på at bølgeprosesser har hatt mindre påvirkning på denne lokaliteten enn på de to andre lokalitetene. De estimerte bølgehøydene for omtrent halvparten av de målte blokkene overgår de instrumentelle bølgehøydene fra Dagmar (se Tabell 4 og vedlegg 1) og den laveste bølgehøyden som ble estimert var på 5m. De minste og midlere bølgehøydene som ble regnet ut her ligger mellom 5m-12m, og er høyere enn ved de andre to lokalitetene. I observasjonen ble det funnet flere av de svært grove >2m, og midlere grove >0,5-<2m blokkene, relativt til de finere kornstørrelsene ved denne lokaliteten og på grunn av det middelmådige datagrunnlaget er det heller ikke sikkert at de 10 målte blokkene faktisk representerer de alle groveste kornstørrelsene. Dermed vil et stort antall av partiklene i avsetningen sannsynligvis ha krevet større eller liknende bølgehøyder som de høyeste instrumentelt målte bølgene under Dagmar for å mobiliseres. I lys av diskusjonen rundt usikkerhetene knyttet til de estimerte bølgehøydene, virker det derfor sannsynlig at mye av løsmaterialet i denne avsetningen kun kan ha vært mobilisert i korte perioder, under lavfrekvente ekstreme bølgehendelser.

#### 6.5.2 Morfologisk uttrykk

Avsetningen ved Vollvika-sør mangler den karakteristiske strandformen, og blokkene ligger mer spredt over en flate med jevn gradient (Figur 35 og 37). Den spredte formen svekker ikke nødvendigvis bølgehypotesen, da det finnes flere eksempler på bølgeavsetninger med mer spredte blokker (Paris et al., 2011; Goto et al., 2009; Goto et al., 2010; Richmond et al., 2011), men gjør at lokaliteten vanskelig kan tolkes som en blokkstrand jamført Klemsdals (1979) beskrivelser. Ettersom repetert bølgepåvirkning er nødvendig for å danne rygger og strandformer (Paris et al., 2011), er det naturlig å tolke mer spredte avsetninger som et tegn på svært lavfrekvent bølgepåvirkning. Ved denne lokaliteten er mye av løsmaterialet er så grovt at det kun har vært mobilisert av svært store og lavfrekvente bølger, og det er mulig bølgene derfor ikke har klart å samle det i strand eller ryggformer.

I utformingen av avsetningen ved Vollvika-sør virker det derfor sannsynlig at steinsprang har vært mer en dominerende prosess enn ved de to andre lokalitetene. Denne antagelsen støttes av observasjoner av flere svært grove blokker med synlig amfibolholdig gneis lokalisert under et område i bergveggen med en kjerne av amfibolholdig gneis (NGU, b). Dette vises i Figur 40. Observasjonene kan tyde på at disse blokkene har ligget relativt stasjonært etter avsetning.

Samtidig viser kantrundingen av finere kornstørrelser, tilfellene av imbrikasjon og utvaskingen av finere kornstørrelser at bølgene har satt et tydelig avtrykk på lokaliteten, og det er mulig å spørre seg om ikke bølgepåvirkningen også her er tydelig nok til å definere avsetningen som en stormbølgeavsetning.

## 6.6 Alternative hypoteser

Ut i fra diskusjonen over kommer det frem at det er en del usikkerhet knyttet til flere av parametrene ved alle lokalitetene og at noen av resultatene ikke passer helt med beskrivelser av stormbølgeavsetninger. Det sistnevnte gjelder spesielt Vollvika-sør. Kapittelet vil derfor rundes av med en kort diskusjon rundt to alternative hypoteser som knytter seg til landformer man typisk finner i det norske landskapet: at avsetningene er talus eller skredavsetninger, og at avsetningene er av glasial opprinnelse.

### 6.6.1 Talus

Blikra og Nemec (1998) beskriver colluviale avsetninger, talus som bratte, ofte kjegle eller teppeformede avsetninger. Gradienten er normalt mellom  $35^\circ$  og  $50^\circ$ , og avsetningen har ofte en noe slakere gradient ved tåen, slik at avsetningen blir lett konkav. Disse avsetningene beskrives også som fallsortert, som vil si at partiklene beveger seg lengre jo grovere de er, og avsetningen vil bli grovere med avstand fra hode til fot, og det er vanlig at partikkelaksene viser en tilfeldig orientering (Blikra og Nemec, 1998). Avsetningene på Roan viser tydelige forskjeller fra denne beskrivelsen av colluviale avsetninger. Ingen av lokalitetene viser fallsortering og de er ikke utformet som bratte skråninger med slakt konkav fot. Avsetningene ved Barvika og Vollvika-nord har heller utpreget konvekse former. Vollvika-sør er et unntak, med blokker som ligger fordelt over en flate med slak gradient, men heller ikke denne avsetningen tilstrekkelig bratt. Dermed virker det sannsynlig å anta at avsetningene ikke er talus, og at steinsprang alene ikke har dominert utformingen av dem.

### 6.6.2 Glasiale avsetninger

En mulighet er at de diskuterte landformene er laterale dumpmorener som ble avsatt inntil de små fjellene og som har blitt utvasket av bølger. Laterale dumpmorener formes ved at store mengder løsmateriale dumpes langs de marginale kantene av en bre (Benn & Evans, 2010; Benn og Owen, 2002; Small, 1983) og dumpmorener assosieres vanligvis med lengre perioder med stillstand, hvor tilstrekkelig med supraglasialt løsmateriale har vært dumpet på samme sted (Benn og Evans, 2010). Løsmaterialet i laterale dumpmorener i områder hvor steinsprang er en kilde til materialtilførsel på breen, beskrives som grovt og kantet (Small, 1983). Det beskrives også at glasialt avsatte partikler kan være kantrundet som følge av aktiv glasial transport (Ben og Evans, 2010; Boulton, 1978) og at laterale morener kan vise en



bedre kantruning mot foten av morenen (down-moraine) og områdene nærest iskanten på grunn av tilførsel av aktivt, subglasialt transportert løsmateriale (Benn & Ballantyne, 1994; Benn & Owen, 2002). Dette passer likevel ikke godt med den observerte økningen av kantrunding med minkende kornstørrelse.

Det kan også tenkes at avsetningene er resultatet av regelasjon. Når breen møter hindringer øker trykket og dette medfører at noe av isen smelter. Vannet trekkes mot området bak hindringen, der trykket er lavere, og her fryser det på igjen (Ben og Evans, 2010). Det er mulig at denne prosessen har medført at løsmateriale som har vært frosset fast i bresålen har vært dumpet i støtsiden av de lave fjellene på Roan. Denne muligheten er kun aktuell for Barvika-lokaliteten, da dette er den eneste lokaliteten som er lokalisert ved støtsiden av fjellet relativt til isens bevegelsesretning over Roan, ut i fra skuringsstripene som ble kartlagt i området (Bargel, 1996). For Barvika-lokaliteten kunne dette forklare hvorfor noen av de groveste partiklene ble funnet på strandbredden og de observerte kanter og hul i fjellveggen på motsatt side av dalen (Figur 23) kan tolkes som at breen kan ha plukket med seg blokker derfra, og dumpet dem ved støtsiden av Rofjellet.

Det er med andre ord mulig at deler av løsmaterialet i de diskuterte landformene er glasialt transportert og avsatt, men det vil kreve videre og grundigere testing for å si noe sikrere om dette. Ut ifra diskusjonen over er det flere parametre som ikke synes å forklares av hverken morene- eller talushypotesen. Blant disse er orienteringen av a-aksene, strandformen og forholdet mellom kantrunding og kornstørrelse, og det kan tolkes som at avsetningene har vært bearbeidet av bølger til den grad at det heller er naturlig å klassifisere dem som bølgeavsetninger.



## 7 Avslutning

### 7.1 Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å undersøke om utformingen av avsetningene på Roan har vært dominert av stormbølger og om de kan defineres som blokkstrender. Diskusjonen i kapittel 6 vurderte tolkninger av de undersøkte parametrene i lys av hverandre og av lokalitetenes beliggenhet. Ut i fra dette kan følgende konklusjoner trekkes.

- Avsetningen ved Vollvika-nord synes å kunne være utviklet av stormbølger jamført kapittel 6, og avsetningen kan tolkes som en blokkstrand. De fleste av parametrene ved denne lokaliteten støtter opp om denne konklusjonen, spesielt når de sees i lys av hverandre og lokalitetens beliggenhet. Noen av parametrene gav resultater som avviker fra konklusjonen, men disse avvikene viste seg i stor grad å være mulige å forklare innenfor bølgehypotesen.
- Avsetningen ved Barvika viser også mange likheter med en blokkstrand og også her kan flere av parametrene tolkes som at løsmaterialet har vært mobilisert og avsatt av stormbølger. Når resultatene fra denne lokaliteten sees i sammenheng med hverandre og med lokalitetens beliggenhet er det imidlertid flere parametre som ikke støtter konklusjonene. Det er mulig at disse avvikende resultatene reflekterer at et samspill mellom flere prosesser og diskusjonen av morenehypotesen viser at noe av løsmaterialet kan være avsatt som glasiale støtsideavsetninger og deretter ha vært lett modifisert av bølger.
- Ved Vollvika-sør er det spesielt mangelen på den konvekse strandformen som gjør det vanskelig å definere avsetningen som en blokkstrand jamført Klemsdals (1979) morfologiske beskrivelse av blokkstranden. Utformingen av avsetningen reflekterer et samspill mellom prosesser, i enda større grad enn ved Barvika-lokaliteten. De estimerte bølgehøydene sammen med kornstørrelser, samt forholdet mellom beliggenhet og bergart tyder på påvirkning av steinsprang. Samtidig er det flere av parametrene som støtter bølgehypotesen, slik som en sortering av kornstørrelser, kantruning og noe imbrikasjon. Sett sammen med avsetningen av grus, stein og blokker nærmere dagens tidevannssone, antas det at bølgehendelser med høy energi har vasket finere partikler mot fralandssonen og mobilisert en del av løsmaterialet innad i avsetningen, samtidig som andelen grove kontra fine kornstørrelser forhindret ansamling i strandformer.

- Ingen av de alternative hypotesene som ble diskutert viste seg mer passende som helhetlig forklaringsmodell, men morenehypotesen kunne fungere som en supplerende forklaring, spesielt ved Barvika-lokaliteten. Hypotesen er dog ikke testet med nok grundighet til å avskrive glacial transport og avsetning som forklaringsmodell for utviklingen av avsetningene på Roan, men en del bølgeomodifikasjon må uansett ha funnet sted.
- Dannelsen av avsetningene på Roan kan i et større perspektiv sees som en del av utviklingen av strandflaten langs norskekysten.

Et problem for konklusjonene er at diskusjonen viser noe tvetydighet og usikkerhet i flere av resultatene. Det må derfor tas forbehold for sikkerheten i konklusjonene som skisseres over og dette peker på et behov for en bedre og mer tydelig metodikk i slike undersøkelser.

## 7.2 Behov for videre forskning

Målet med denne oppgaven var å forklare landformer som ikke hittil har vært undersøkt i detalj og etter å kun ha arbeidet med denne masteroppgaven i mer eller mindre to år er det selvfølgelig flere områder hvor det er behov for videre forskning. Det er nødvendig ikke bare for å kunne kartlegge og forstå landskapet rundt oss i dag, men også for å kunne forutse hvor det i framtidige stormer kan forekomme mobilisering av grovt løsmateriale som medfører endringer i den norske kystgeomorfologien.

Det er mulig å peke på noen faktorer som har lagt begrensninger på arbeidet med oppgaven. For det første ble metodikken utviklet på bakgrunn av arbeid i områder med landskap som har vært påvirket av andre prosesskombinasjoner enn de som har utformet kysten av Sør-Trøndelag. For det andre var det ikke gjennomførbart å undersøke alternative hypoteser i grundighet. For det tredje ligger det i den geo-historiske undersøkelsen at det kun var mulig å observere formen, og ikke prosessene som dannet dem (Rhoads og Thorne, 1996; Rhoads, 2005). Og til slutt var tiden i felt og tilgangen på avanserte analyseredskaper begrenset. Det ble funnet mange liknende former og dette peker på et behov for videre arbeid ved flere lokaliteter, både på Roan og i andre kystområder. Videre arbeid, nye problemstillinger og annen metodikk vil kunne belyse nye sider av disse landformene og det er spesielt noen områder jeg vil peke på her:

- Ved å finne liknende lokaliteter i dagens tidevannssone, kan prosessene som påvirker formen studeres direkte og datagrunnlaget vil være sikrere (Rhoads og Thorne, 1996).
- Funn av slike landformer over marin grense vil kunne avkrefte bølgehypotesen.

- Grundigere utforsking av alternative hypoteser, slik som muligheten for at glasiale prosesser eller havis har utformet avsetningene, vil bedre reflektere sammensetningen av prosesser som kan ha påvirket utviklingen av avsetningene og gi en mer nyansert diskusjon.
- Utvikling av en metodikk som er bedre egnet for å undersøke denne problemstillingen i områder hvor det også har vært bre, slik som parametre som tydelig skiller marine fra glasiale avsetninger, og bidra til å gjøre dataene mer tydelige.
- En forbedring av Notts ligninger med utgangspunkt i kritikken av dem vil kunne gi sikrere og mer troverdige resultater.
- En undersøkelse av lignende lokaliteter langs norskekysten vil kunne avdekke hvilke faktorer som må ligge til grunn for at slike landformer utvikler seg, og dette åpner muligheten for å generalisere ut i fra resultatene.



## 8 Litteratur

**1728 Software systems.** <http://www.1728.org/gradient.htm> (hentet 10.03.2014).

**Allaby, M.,** 2008. Dictionary of earth sciences. Fra [http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpDESE000X/viewerType:toc/root\\_slug:dictionary-earth-sciences/url\\_slug:dictionary-earth-sciences/](http://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpDESE000X/viewerType:toc/root_slug:dictionary-earth-sciences/url_slug:dictionary-earth-sciences/) (Hentet 7. april 2014)

**Altus Positioning Systems inc.,** 2013. APS 3. Fra <http://www.altus-ps.com/aps-3/aps-3.html-0> (Hentet 27. november 2013).

**Andrews, E.D. & Smith, J.D.,** 1992. A theoretical model for calculating marginal bed load transport rates of gravel, i Billi, P., Hey, R.D., Thorne, C.R. & Tacconi, P. (red.), *Dynamics of gravel-bed rivers*. Wiley, Chichester, England: 41-52.

**Bangold, R.A.,** 1940. Beach formation by waves: Some model-experiments in a wave tank. *Journal of the Institution of Civil Engineering* 15, 27–52.

**Barbano, M.S., Gerardi, F. & Pirrotta, C.,** 2011. Differentiation between boulder deposited by tsunami and storm waves along the south-eastern Ionian coast of Sicily (Italy). *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 52 (4), 707-728.

**Barbano, M.S., Pirrotta, C. & Gerardi, F.,** 2010. Large boulders along the south-eastern Ionian coast of Sicily: Storm or tsunami deposits? *Marine Geology* 275 (1-4), 140-154.

**Bargel, T.H.,** 1996: STOKKSUND 1523 II. Kwartærgeologisk kart- M :50 000 med beskrivelse. Norges geologiske undersøkelse.

**Benn, D.I., & Ballantyne, C.K.,** 1994. Reconstructing the transport history of glacial sediments: a new approach based on the co-variance of clast form indices. *Sedimentary Geology* 91, 215-227.

**Benn, D.I. & Evans, D.J.A.,** 2010. *Glaciers & Glaciation*. 2. Utgave. Hodder Education

**Benn, D.I. & Owen, L.A.,** 2002. Himalayan Glacial Sedimentary Environments: a framework for reconstructing and dating the former extent of glaciers in high mountain environments. *Quaternary International* 97-98, 3-25.

- Bjune, A.E., Bakke, J., Nesje, A. & Birks, H.J.B.**, 2005. Holocene mean July temperature and winter precipitation in western Norway inferred from palynological and glaciological lake-sediment proxies. *The Holocene* 15 (2), 177-189.
- Blair, T.C. & McPherson, J.G.**, 1999. Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles. *Journal of Sedimentary research* 69, 6-19.
- Blikra, L.H. & Nemeč, W.**, 1998. Postglacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. *Sedimentology* 45, 909-959.
- Bondevik, S., Stormo, S.K. & Skjerdal, G.**, 2012. Green mosses date the Storegga tsunami to the chilliest: decades of the 8.2 ka cold event. *Quaternary Science Reviews* 45, 1-6.
- Bondevik, S., Svendsen, J.I., Johnsen, G., Mangerud, J. & Kaland, E.**, 1997. The Storegga tsunami along the Norwegian coast, its age and runup. *Boreas* 26, 29-53.
- Boulton, G.S.**, 1978. Boulder shapes and grain-size distribution of debris as indicators of transport paths through a glacier and till genesis. *Sedimentology* 25, 773-799.
- Brown, H.I.**, 1995. Empirical testing. *Inquiry* 38, 353-399.
- Bryant, E.A. & Nott, J.**, 2001. Geological indicators of large tsunami in Australia. *Natural Hazards* 24 (3), 231-249.
- Buckley, S., Howell, J.A., Enge, H.D. & Kurz, T.H.**, 2013. Terrestrial laser scanning in geology: data acquisition, processing and accuracy considerations. *Journal of the geological society* 165, 625-638.
- Bugge, T., Befring, S., Belderson, R.H., Eidvin, T., Jansen, E., Kenyon, N.H., Høltedahl, H. & Sejrup, H.P.**, 1987. A Giant Three-Stage Submarine Slide Off Norway. *Geo-Marine Letters* 7, 191-198.
- Calib 7.0.** Fra <http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/calib/calib.html>. (Hentet 11.mars 2014)
- Chen, B., Chen, Z.Y., Stephenson, W. & Finlayson, B.**, 2011. Morphodynamics of a boulder beach, Putuo Island, SE China coast: the role of storms and typhoon. *Marine Geology* 283 (1-4), 106-115.
- Chivers, M.**, u.å. Differential GPS Explained. Fra <http://www.esri.com/news/arcuser/0103/differential1of2.html> (Hentet 26.11.2013).



- Church, M.**, 2002. Geomorphic thresholds in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47, 541-557.
- Collinson, J.D. & Thomson, D.B.**, 1989. *Sedimentary structures*. 2. Utgave. Unwin Hyman, London, England.
- Corner, G.D.**, 2005. Atlantic Coast and Fjords, i Seppälä, M. (red.) *The Physical Geography of Fennoscandia*. Oxford University Press, USA.
- Costa, J.**, 1983. Paleohydraulic reconstruction of flash-flood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range. *Geological Society of America Bulletin* 94 (8), 986-1004.
- Chrzastowski, M.**, 2005. Beach features, i Schwartz, M.L. (red.), *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer, Berlin, Tyskland: 145-147.
- Dawson, A., Bondevik, S. & Teller, J.T.**, 2011. Relative timing of the Storegga submarine slide, methane release, and climate change during the 8.2 ka cold event. *Holocene* 21 (7), 1167-1171.
- Dingler, J.R.**, 2005. Beach processes, i Schwartz, M.L. (red.), *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer, Berlin, Tyskland: 161-167.
- Elverfeldt, K. & Glade, T.**, 2011. Systems theory in Geomorphology - A challenge. *Zeitschrift für Geomorphologie* 55 (3), 87-108.
- Etienne, S. & Paris, R.**, 2010. Boulder accumulations related to storms on the south coast of the Reykjanes Peninsula (Iceland). *Geomorphology* 114 (1-2), 55-70.
- Fichaut, B. & Suanez, S.**, 2011. Quarrying, transport and deposition of cliff-top storm deposits during extreme events: Banneg Island, Brittany. *Marine Geology* 203, 36-55.
- Gienko, G.A. & Terry, J.P.**, 2013. Three-dimensional modeling of coastal boulders using multi-view image measurements. *Earth surface processes and landforms*.
- Goff, J., Dudley, W., deMaintenon, M.J., Cain, G. & Coney, J.P.**, 2006. The largest local tsunami in 20th century Hawaii. *Marine Geology* 226 (1-2), 65-79.
- Goto, K., Chavanich, S.A., Imamura, F., Kunthasap, P., Matsui, T., Minoura, K., Sugawara, D. & Yanagisawa, H.**, 2007. Distribution, origin and transport process of

boulders deposited by the 2004 Indian Ocean tsunami at Pakarang Cape, Thailand.

*Sedimentary Geology* 202 (4), 821–837.

**Goto, K., Miyagi, K., Kawamata, H. & Imamura, F.**, 2010. Discrimination of boulders deposited by tsunamis and storm waves at Ishigaki Island, Japan. *Marine Geology* 269 (1-2), 34-45.

**Goto, K., Miyagi, K., Kawana, T., Takahashi, J. & Imamura, F.**, 2011. Emplacement and movement of boulders by known storm waves – Field evidence from the Okinawa Islands, Japan. *Marine Geology* 283 (1-4), 66-78.

**Goto, K., Okada, K. & Imamura, F.**, 2009. Characteristics and hydrodynamics of boulders transported by storm waves at Kudaka Island, Japan. *Marine Geology* 262 (1-4), 14-24.

**Hall, A.M.**, 2011. Storm wave currents, boulder movement and shore platform development: A case study from East Lothian, Scotland. *Marine Geology* 283 (1-4), 98-105.

**Hall, A.M., Hansom, J.D. & Jarvis, J.**, 2008. Patterns and rates of erosion produced by high energy wave processes on hard rock headlands: The Grind of the Navir, Shetland, Scotland. *Marine Geology* 248, 28-46.

**Hall, A.M., Hansom, J.D., Williams, D.M. & Jarvis, J.**, 2006. Distribution, geomorphology and lithofacies of cliff-top storm deposits; Examples from the high-energy coasts of Scotland and Ireland. *Marine Geology* 232, 131-155.

**Hanes, D.M. & Erikson, L.H.**, 2013. The significance of ultra-refracted gravity waves on sheltered coasts, with application to San Francisco Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 133, 129-136.

**Hansom, J.D., Barltrop, N.D.P & Hall, A.M.**, 2008. Modelling the processes of cliff-top erosion and deposition under extreme storm waves. *Marine Geology* 253, 36-50.

**Hansom, J.D. & Hall, A.M.**, 2009. Magnitude and frequency of extra-tropical North Atlantic cyclones: A chronology from cliff-top storm deposits. *Quaternary International* 195, 42-52.

**Harrison, S.**, 2005. What kind of science is physical geography?, i Castree, N., Rogers, A. og Sherman, D. (red.), *Questioning Geography*. Blackwell Publishing, Malden, USA: 80-95.

**Holtedahl, H.**, 1959. Den norske strandflate, med særlig henblikk på dets utvikling I kystområdene på Møre. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 16, 285-303.

- Holtedahl**, H., 1998. The Norwegian strandflat – a geomorphological puzzle. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 78, 47-66.
- Houghton**, J., 2009. *Global warming – the complete briefing*. 4. Utgave. Cambridge University Press.
- Imamura**, F., **Goto**, K. & **Ohkubo**, S., 2008. A numerical model for the transport of a boulder by tsunami. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 113 (C1).
- Inkpen**, R. & **Wilson**, G., 2013. *Science, philosophy and physical geography*. Routledge, Abingdon, Oxon.
- Kartverket.no**, <http://www.norgeskart.no/#6/266338/7125806> (Lastet ned 01.02.2014).
- Kitts**, D.B., 1977. *The structure of Geology*. Southern Methodist University Press, Dallas, USA.
- Kjemperud**, A., 1983. Late Weichselian and Holocene shoreline displacement in the Trondheimsfjord area, central Norway. *Boreas* 15, 61-82.
- Klemsdal**, T., 1979. Kyst-, strand- og vindgeomorfologi. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 33, 159-171.
- Klemsdal**, T., 1982. Coastal classification and the coast of Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 36, 129-152.
- Knight**, J. & **Burningham**, H., 2011. Boulder dynamics on an Atlantic-facing coastline, northwest Ireland. *Marine Geology* 283, 56-65.
- Knighton**, D., 1998. *Fluvial forms & processes. A new perspective*. Hodder, London, England.
- Komar**, P.D. & **Shih**, S.M., 1992. Equal Mobility Versus Changing Bedload Grain Sizes in Gravel-bed Streams, i **Billi**, P., **Hey**, R.D., **Thorne**, C.R. & **Tacconi**, P. (red.), *Dynamics of Gravel-bed Rivers*. Wiley, Chichester, England: 72-108.
- Kortekaas**, S. & **Dawson**, A.G., 2007. Distinguishing tsunami and storm deposits: An example from Martinhal, SW Portugal. *Sedimentary Geology* 200 (3-4), 208-221.
- Krom**, M., 2008. Earth geology and tectonics, i Holden, J. (red.), *An introduction to Physical Geography and the Environment*. Pearson, Harlow, England: 31-54.

- Langley, R. B.**, 1999. Dilution of precision. GPS world. 52-59. Fra <http://gauss.gge.unb.ca/papers.pdf/gpsworld.may99.pdf> (Hentet 27.11.2013).
- Larsen, E. & Holtedahl, H.**, 1985. The Norwegian strandflat: a reconsideration of its age and origin. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 65, 247-254.
- LiDAR-UK (a)**. What is LiDAR? Light detection and ranging in more detail. Fra <http://www.lidar-uk.com/what-is-lidar/> (Hentet 21.11.2013)
- LiDAR-UK (b)**. How does LiDAR work? The science behind the technology. Fra <http://www.lidar-uk.com/how-lidar-works/> (Hentet 21.11.2013)
- Lien, T.**, Klimavakten, Metrologisk Institutt. Personlig meddelelse per epost: klimavakten@met.no, 21.10.2013.
- Lien, T.**, Klimavakten, Metrologisk Institutt. Personlig meddelelse per epost: klimavakten@met.no, 17.01.2014.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F, Maguire, J.D. & Rhind, D.W.**, 2011. *Geographic Information Systems & Science*. 3 utgave. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Lorang, M.S.**, 2000. Predicting Threshold Entrainment Mass for a Boulder Beach. *Journal of Coastal Research* 16 (2), 432-445.
- Lorang, M.S.**, 2011. A wave-competence approach to distinguish between boulder and megaclasts deposits due to storm waves versus tsunamis. *Marine Geology* 283 (2011), 90-97.
- Masselink, G.**, 2008. Coasts, i Holden, J. (red.), *An introduction to physical geography and the environment*. Pearson, Harlow, England: 467-507.
- Masselink, G., Hughes, M.G. & Knight, J.**, 2011. *Coastal Processes & Geomorphology*. Hodder, London, England.
- Mastronuzzi, G. & Pignatelli, C.**, 2012. The boulder berm on Punta Saguerra (Taranto, Italy): A morphological imprint of the Rossano Calacro tsunami of April 24. 1836? *Earth Planets Space* 64, 829-842.
- Mastronuzzi, G., Pignatelli, C., Sanso P. & Selleri, G.**, 2007. Boulder accumulations produced by the 20th of February 1743 tsunami along the coast of southeastern Salento (Apulia region, Italy). *Marine Geology* 242, 191-205.

- Mastronuzzi, G. & Sanso, P.**, 2004. Large boulder accumulations by extreme waves along the Adriatic coast og southern Apulia (Italy). *Quaternary International* 120, 173-184.
- McKenna, J.**, 2005. Boulder beaches, i Schwartz, M.L. (red.), *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer, Berlin, Tyskland: 206–208.
- Meehl, G.A. Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L. & Whetton, P.** 2000. Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change. *Bulletin of the American Metrological Society*.
- Met.no**, Metrologisk Institutt. Norske ekstremvær får navn – ekstremvær-lista. Fra <http://www.met.no/?module=Articles;action=Article.publicShow;ID=246>. (Hentet 12.04. 2014).
- Metrologisk Institutt**. Vindpiler og skala. Beaufortskalaen. Fra <http://om.yr.no/forklaring/symbol/vind/> (Hentet 10.04.2014).
- Morton, R.A., Richmond, B.M., Jaffe, B.E. & Gelfenbaum, G.**, 2008. Coarce-clast ridge complexes of the Caribbean: A preliminary basis for distinguishing tsunami and storm-wave origins. *Journal of Sedimentary Research* 78 (9-10), 624-637.
- Nandasena, N.A.K., Paris, R. & Tanaka, N.**, 2011. Reassessment of hydrodynamic equations: Minimum flow velocity to initiate boulder transport by high energy events (storms, tsunamis). *Marine Geology* 281, 70-84.
- Nesje, A.**, 2001. Late glacial and Holocene glacier fluctuations and climatic variations in southern Norway. 1st Hanse Conference on Past Climate and Its Significance for Human History in Northwestern Europe, Delmenhorst, Tyskland, okt. 09-14, 1999.
- Nesje, A. & Dahl, S.V.**, 1993. Lateglacial and Holocene glacier fluctuations and climate variations in western Norway: a review. *Quaternary Science Reviews* 12, 255-261.
- Nesje, A., Matthewes, J.A., Dahl, S.H., Berrisford, M.S. & Andersson, C.**, 2001. Holocene glacier fluctuations of Flatebreen and winter-precipitation changes in the Jostedalsbreen region, western Norway, based on glaciolacustrine sediment records. *The Holocene* 11 (3), 267-280
- NGU, a.** Løsmasser – Nasjonal løsmassedatabase. Fra <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (Hentet 10.03.2014)

**NGU, b.** Berggrunn – Nasjonal berggrunnsdatabase. Fra <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (Hentet 10.03.2014)

**Noji, M., Imamura, F. & Shuto, N.,** 1985. Numrical simulation of movement of large rocks transported by tsunamis. *Proceedings of the IUGG/IOC international tsunami symposium*, 189-197.

**Norgebilder.no.** Roan 2010. <http://www.norgebilder.no/>

**Norgei3d.no.** Fra <http://norgei3d.no/> (Lastet ned 22.05.2013)

**Noormets, R., Crook, K.A.W & Felton, E.A.,** 2004. Sedimentology of rocky shorelines: 3. Hydrodynamics of megaclasts emplacement and transport on a shore platform, Oahu, Hawaii. *Sedimentary Geology* 172 (1-2), 41-65.

**Nott, J.,** 1997. Extremely high-energy wave deposits inside the Great Barrier Reef, Australia: determining the cause – tsunami or tropical cyclone. *Marine Geology* 141 (1-4), 193-207.

**Nott, J.,** 2003. Waves, coastal boulder deposits and the importance of the pre-transport setting. *Earth and Planetary Science Letters* 210 (1-2), 269-276.

**Oak, H.L.,** 1984. The boulder beach, a fundamentally distinct sedimentary assemblage (New South Wales, Australia). *Annals – Association of American Geographers* 74, 71-82.

**Paris, R., Naylor, L.A. & Stephenson, W.J.,** 2011. Boulders as a signature of storms on rock coasts Preface. *Marine Geology* 283 (1-4), 1-11.

**Paris, R., Wassmer, P., Sartohadi, J., Lavigne, F., Barthomeuf, B., Desgages, E., Grancher, D., Baumert, P., Vautier, F., Brunstein, D. & Gomez, C.,** 2009. Tsunamis as geomorphic crises: Lessons from the Desember 26, 2004 tsunami in Lhok Nga, West Bansa Aceh (Sumatra, Indonesia). *Geomorphology* 104 (1-2), 59-72.

**Parker, G., Klingeman, P.C. & McLean, D.G.,** 1992. Bedload and Size Distribution in Paved Gravel-bed Streams. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal* 108 (4), 544-571.

**Pignatelli, C., Sanso, P. & Mastronuzzi, G.,** 2009. Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence. *Marine Geology* 260, 6-18.

**Powers, M.C.,** 1953. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Petrology* 23 (2), 117-119.

**Riegel Laser Measurements Systems.** RIEGEL VZ-1000., Fra

<http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/27/>

(Hentet 27.11.2013)

**Rice, S.**, 2010. Sampling in geography, i Clifford, N., French, S., Valentine, G. (red.), *Key methods in geography*. Sage Publications, London, England: 230-252.

**Richmond, B.M., Watt, S., Buckley, M., Jaffe, B.E., Gelfenbaum, G. & Morton, R.A.**, 2011. Recent storm and tsunami coarse-clast deposit characteristics, southeast Hawaii. *Marine Geology* 283 (1-4), 79-89.

**Rhoads, B.L. & Thorne, C.E.**, 1993. Geomorphology as science: the role of theory. *Geomorphology* 6, 287-397.

**Rhoads, B.L. & Thorne, C.E.**, 1996. Observation in geomorphology, i Rhoads, B.L., Thorne, C.E. (red.), *The scientific nature of geomorphology*. Wiley, Chichester, England: 21-56.

**Rhoads, B.L.**, 2005. Process/Form, i Castree, N., Rogers, A. & Sherman, D. (red.), *Questioning Geography*. Blackwell, Malden, USA: 131-150.

**Rose, J.**, 2007. The use of time units in Quaternary Science Reviews. *Quaternary Science Reviews* 26, editorial.

**Saintilian, N. & Rogers, K.**, 2005. Recent Storm Boulder Deposits in the Beecroft Peninsula, New South Wales, Australia. *Geographical Research* 43 (4), 429-432.

**Scheffers, A. & Scheffers, S.**, 2006. Documentation of the impact of Hurricane Ivan on the Coastline of Bonaire (Netherlands Antilles). *Journal of Coastal Research* 22 (6), 1437-1450.

**Scicchitano, G., Monsco, C. & Tortorici, L.**, 2007. Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy). *Marine Geology* 238 (1-4), 75-91.

**Scicchitano, G., Pignatelli, C., Spampinato, C.R., Piscitelli, A., Milella, A., Monaco, C. & Mastronuzzi, G.**, 2012. Terrestrial Laser Scanner techniques in the assessment of tsunami impact on the Maddalena peninsula (south-eastern Sicily, Italy). *Earth Planets and Space* 64 (10), 889-903.

**Shepard, F.P.**, 1948. *Submarine Geology*. Harper & Brothers, New York, USA.

**Small, R.J.**, 1983. Lateral Moraines of Glacier De Tsidjiore Nouve: Form, development, and implications. *Journal of Glaciology* 29 (102), 250-259.

- Spiske, M. & Bahlburg, H.**, 2011. A quasi-experimental setting of coarse clast transport by the 2010 Chile tsunami (Bucalemu, Central Chile). *Marine Geology* 289 (1-4), 72-85.
- Stephenson, W.J. & Naylor, L.A.**, 2011. Geological controls on boulder production in a rock coast setting: Insights from South Wales, UK. *Marine Geology* 283, 12-24.
- Stereonet 9.0.0.** Fra <http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.html> (Hentet 25.02.2014.)
- Suarez, S., Fichaut, B. & Magne, R.**, 2009. Cliff-top storm deposits on Banneg Island, Brittany, France: Effects of gigant waves in the Eastern Atlalantic Ocean. *Sedimentary Geology* 220, 12-28.
- Sulebak, J.R.**, 2007. *Landformer og prosesser. En innføring i naturgeografiske tema.* Fagbokforlaget, Bergen, Norge.
- Sunamura, T.**, 1992. *Geomorphology of rocky coasts.* J. Wiley, Chichester, England.
- Sveian, H. & Solli**, 1997. Tid og form – geologisk historie, i Dahl, R., Sveian, H., Thoresen, M.K., *Nord-Trøndelag og Fosen. Geologi og landskap.* Norges geologiske undersøkelse: 111-125.
- Taylor, K.G.**, 2008. Sediments and Sedimentation, i Holden, J., (red.) *An introduction to physical geography and the environment.* Pearson, Harlow, England: 327-350.
- Turkington, A.**, 2010. Making observations and measurements in the field, i Clifford, N., French, S., Valentine, G. (red.), *Key methods in geography.* Sage Publications, London, England: 220-229.
- Van der Plicht, J. og Hogg, A.**, 2006. A note on reporting radiocarbon. *Quaternary Geomorphology* 1 (4), 237-240.
- Vasskog, K., Waldemann, N., Bondevik, S., Nesje, A., Chapron, E. & Ariztegui, D.**, 2013. Evidence for Storegga tsunami run-up at the head of Nordfjord, western Norway. *Journal of Quaternary Science* 28 (4), 391-402.
- Vorren, T.O. & Mangerud, J.**, 2006. Istider kommer og går, i Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. (red.), *Landet blir til. Norges geologi.* Norsk geologisk forening (NGF), Trondheim, Norge: 478-532.



**Vorren, T.O., Mangerud, J., Blikra, L., Nesje, A. & Sveian, H., 2006.** Norge trer fram, i Ramberg, I.B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. (red.), *Landet blir til. Norges geologi*. Norsk geologisk forening (NGF), Trondheim, Norge: 532-555.

**Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.O., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, C.I., Solomina, O., Tarasov, P., Wagner, M. & Widmann, M., 2008.** Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science* 27, 1791-1828.

**Weiss, R., 2012.** The mystery of boulders moved by tsunamis and storms. *Marine Geology* 295-298, 28-33.

**Williams, D.M. & Hall, A.M., 2004.** Cliff-top megaclasts deposits of Ireland, a record of extreme waves in the North Atlantic – Storms or tsunamis? *Marine Geology* 206 (1-4), 101-117.



## Vedlegg

*Vedlegg 1 Instrumentelt målte bølgehøyder for Draugen målestasjon (nr76925) fra ekstremværet Dagmar i 2011 (Lien, T., klimavakten, meteorologisk institutt, 2013).*

År	måned	dag	time	bølgehøyde
2011	12	25	9	7,7
2011	12	25	10	9,2
2011	12	25	11	9,7
2011	12	25	12	X
2011	12	25	13	X
2011	12	25	14	X
2011	12	25	15	X
2011	12	25	16	9,8
2011	12	25	17	8,8
2011	12	25	18	8,1
2011	12	25	19	8,2
2011	12	25	20	7,2
2011	12	25	21	8,2
2011	12	25	22	8,0
2011	12	25	23	8,2
2011	12	25	24	8,7
2011	12	26	1	8,5
2011	12	26	2	9,2
2011	12	26	3	9,8
2011	12	26	4	X
2011	12	26	5	9,9
2011	12	26	6	9,2
2011	12	26	7	9,1
2011	12	26	8	9,3
2011	12	26	9	8,8

Vedlegg 2 Aksemålinger og orientering ved Barvika (akser oppgitt i meter, volum i m<sup>3</sup> og kompassretning oppført som nordpil/sørpil)

Blokknummer	a-akse (m)	b-akse (m)	c-akse (m)	Volum (m <sup>3</sup> )	Akseorientering
<b>Transekt 1</b>					
1	4.0	1.8	1.5	10.8	200/20
2	3.2	2.0	0.7	4.5	280/100
3	2.6	1.3	0.5	1.7	220/40
4	3.0	1.6	0.9	4.3	290/110
5	2.0	1.2	0.5	1.2	240/60
6	2.6	1.1	1.0	2.9	200/20
7	3.3	1.9	1.4	8.8	200/20
8	2.3	1.0	0.9	2.1	220/40
9	2.9	1.1	1.0	3.2	220/40
10	2.1	1.2	0.6	1.5	240/60
11	2.8	1.3	0.9	3.3	210/30
12	2.0	1.6	0.7	2.2	220/40
13	2.1	1.0	0.6	1.4	240/60
14	2.0	1.1	0.6	1.3	230/50
15	2.0	1.5	1.4	4.2	300/120
16	2.0	1.9	0.5	1.9	240/60
17	4.2	3.0	1.1	13.9	240/60
<b>Transekt 2</b>					
18	2.5	1.7	0.7	2.9	230/50
19	2.8	1.4	1.0	3.9	300/120
20	2.3	2.1	0.8	3.9	300/120
21	3.7	1.8	1.6	10.7	240/60
22	2.4	1.4	0.7	2.4	240/60
23	3.0	1.4	0.7	2.9	240/60
24	2.5	1.6	0.6	2.4	240/60
25	2.4	1.0	0.6	1.4	310/130
26	3.0	2.7	0.8	6.5	240/60
27	2.6	2.1	1.1	6.0	220/40
28	2.6	1.8	0.4	1.9	260/80
29	3.2	2.2	2.0	14.1	260/80
30	5.2	3.5	1.8	32.8	0/180
31	3.8	1.8	1.4	9.6	340/160
32	3.5	1.7	0.1	0.6	210/30
33	6.1	2.9	2.0	35.4	240/60
<b>Transekt 3</b>					
34	3.7	0.8	0.4	1.2	240/60
35	3.1	2.9	2.4	21.6	240/60
36	3.3	2.0	0.5	3.3	0/180
37	2.8	2.2	0.4	2.5	260/80
38	8.2	3.7	1.2	36.4	320/140
39	4.6	2.2	1.2	12.1	240/60
40	3.9	1.9	0.8	5.9	220/40
41	4.5	2.2	0.8	7.9	220/40

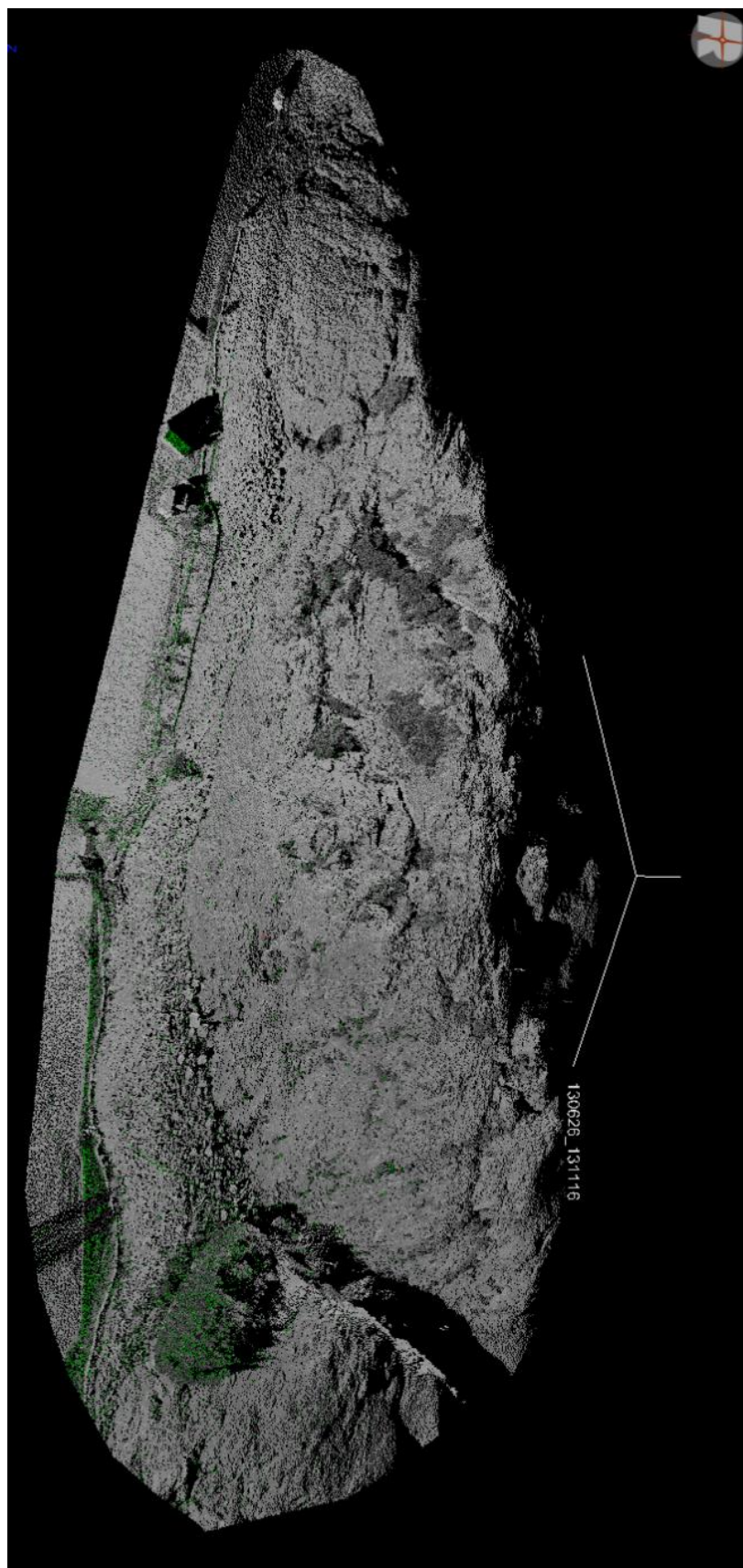
42	3.2	2.5	0.5	4.0	220/40
43	2.8	2.0	0.4	2.2	240/60
44	3.0	2.1	1.7	10.7	220/40
45	3.2	2.0	0.9	5.8	220/40
46	3.3	1.8	0.5	3.0	210/30
47	2.4	1.5	1.1	4.0	200/20
48	2.6	1.4	0.8	2.9	320/140
49	2.0	1.5	0.4	1.2	220/40
50	2.5	2.0	1.2	6.0	260/40
51	2.4	1.4	1.3	4.4	220/40

Vedlegg 3 Aksemålinger og orientering ved Vollvika-nord (akser oppgitt i meter og kompassretninger oppført som nordpil/sørpil)

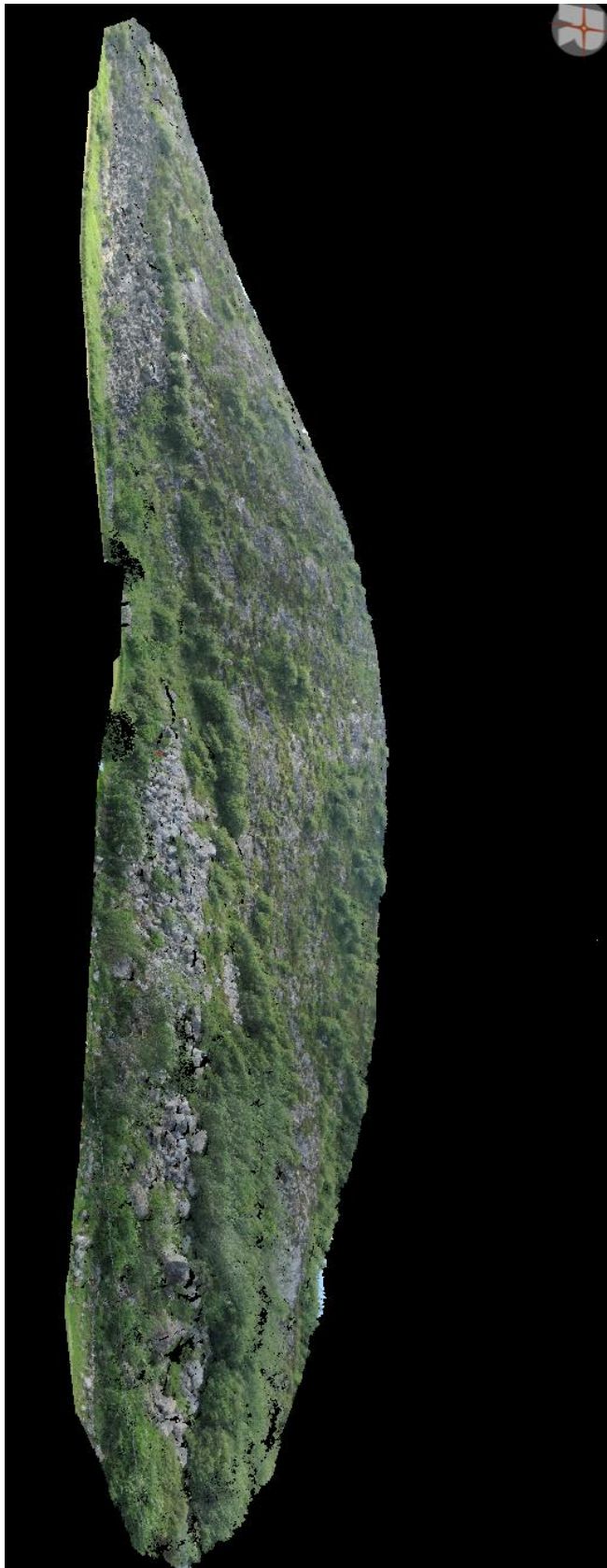
Blokknummer	a-akse (m)	b-akse (m)	c-akse (m)	Volum (m <sup>3</sup> )	Akseorientering
1	3.4	1.8	1.3	8.0	0/180
2	2.7	1.6	1.1	4.8	300/120
3	2.6	1.2	0.8	2.5	320/140
4	3.1	1.6	1.0	5.0	240/60
5	2.2	1.6	0.5	1.8	0/180
6	2.6	1.4	0.5	1.8	0/180
7	2.8	2.2	0.8	4.9	340/160
8	3.2	2.0	0.6	3.8	340/160
9	2.4	1.5	0.7	2.5	340/160
10	2.5	2.0	0.9	4.5	320/140
11	2.1	1.3	0.9	2.5	260/80
12	2.4	0.7	0.7	1.2	200/20
13	2.6	1.7	0.6	2.7	260/80
14	2.5	1.9	0.4	1.9	260/80
15	2.7	1.7	0.6	2.8	0/180
16	3.4	1.6	1.0	5.4	340/160
17	2.4	1.1	0.6	1.6	0/180
18	4.2	2.4	1.3	13.1	0/180
19	4.3	2.3	2.1	20.8	330/150
20	2.0	1.1	0.7	1.5	260/80
21	2.0	1.0	0.6	1.2	190/10
22	2.4	1.5	0.8	2.9	220/40
23	2.5	1.7	0.6	2.6	280/100
24	2.3	1.1	0.6	1.5	0/180
25	2.0	1.9	0.4	1.5	270/90
26	2.1	1.1	0.8	1.9	0/180
27	2.9	1.7	0.7	3.5	0/180
28	2.1	1.0	0.4	0.8	260/80
29	3.0	2.3	1.1	7.6	0/180
30	2.2	1.0	0.4	0.9	320/140
31	2.6	1.2	0.8	2.5	240/60

<b>32</b>	2.2	1.6	0.9	3.2	320/140
<b>33</b>	3.8	2.7	0.6	6.2	0/180
<b>34</b>	3.5	2.7	0.5	4.7	0/180
<b>35</b>	5.8	3.0	2.7	47.0	340/160
<b>36</b>	5.3	5.2	1.6	44.1	240/60
<b>37</b>	4.0	3.1	2.0	24.8	0/180
<b>38</b>	2.4	2.0	0.5	2.4	0/180
<b>39</b>	3.5	3.0	0.5	5.3	270/90
<b>40</b>	2.4	1.5	0.8	2.9	320/140
<b>41</b>	2.6	2.4	2.0	12.5	280/100
<b>42</b>	2.2	2.1	0.5	2.3	300/120
<b>43</b>	2.7	1.2	0.6	1.9	220/40
<b>44</b>	2.9	1.6	1.0	4.6	0/180
<b>45</b>	2.6	1.4	0.8	4.4	230/50
<b>46</b>	2.3	1.3	0.4	1.2	0/180
<b>47</b>	2.4	0.9	0.5	1.1	0/180
<b>48</b>	2.5	1.6	1.3	5.2	270/90
<b>49</b>	3.1	1.7	0.6	3.2	0/180
<b>50</b>	3.0	1.5	1.3	5.9	200/20
<b>51</b>	2.8	1.7	0.7	3.3	0/180
<b>52</b>	3.2	1.2	0.3	1.2	320/140
<b>53</b>	3.0	1.2	0.4	1.4	220/40
<b>54</b>	3.6	2.8	0.6	6.1	0/180
<b>55</b>	2.7	1.5	0.8	3.2	300/120
<b>56</b>	5.7	2.2	1.3	16.0	340/160
<b>57</b>	2.8	1.4	0.7	2.7	340/160
<b>58</b>	4.0	1.2	1.0	4.8	0/180
<b>59</b>	3.1	2.0	1.9	11.8	340/160

Vedlegg 4 Output fra Riscan Pro, Skann av Vollvika-nord. Avsetningen er større nordøstlige enden av dalen (høyre i bildet) og har ligget også de groveste kornstørrelsene.

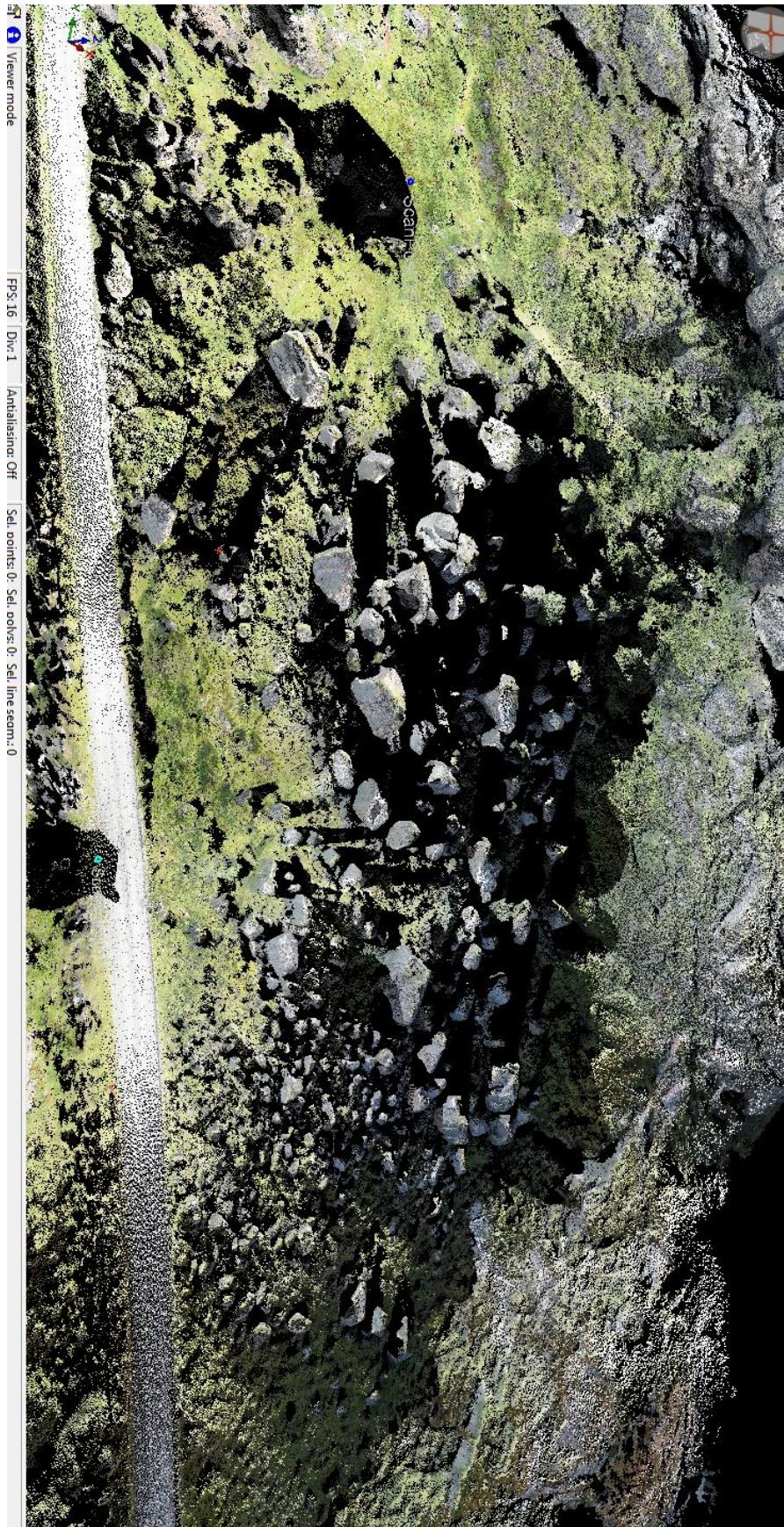


Vedlegg 5 Output fra Riscan Pro, skann av avsetningen ved Barvika. Avsetningen er større mot den nordøstlige enden av dalen (høyre i bildet).





Vedlegg 6 Output fra Riscan Pro, skann av avsetningen ved Vollvika-sør. De groveste kornstørrelsene er lokalisert på den øvre og midtre delen av avsetningen, men det er et område med finere kornstørrelser mot foten av avsetningen lengst sør (høyre i bildet).



Vedlegg 7 Felt med blokker stein og grov grus (de fleste  $<0,5m$ ) øverst på flaten i avsetningen ved Barvika. Partiklene er mellom rundet og godt rundet. Vott som skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Vedlegg 8 Blokker og stein i overgangen mellom flaten og skråningen i avsetningen ved Barvika. Partikler  $>0,5m$ - $<2m$  er mellom subkantet og subrundet. Finere partikler ligger i mellom de grovere og er mellom rundet og godt rundet. Målebånd 1m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Vedlegg 9 Blokker  $>0,5\text{m}$ - $< 2\text{m}$  (noen finere og grovere partikler) øverst i skråningen i avsetningen ved Barvika. Blokkene er mellom kantet og subrundet. Målebånd 1m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Vedlegg 10 Mellom subrundet og rundet blokk  $>2\text{m}$  på flaten i avsetningen ved Barvika. Det er hulrom under blokken og strukturen er partikkelstøttet og løs. Person som skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Vedlegg 11 Den øvre delen av skråningen ved Vollvika-nord. Blokkene  $>0,5m < 2m$  er mellom subrundet og subkantet, og partiklene dipper mot foten av skråningen (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Vedlegg 12 Subkantet blokk  $>0,5m < 2m$  som ligger over finere partikler, på flaten ved Vollvika-nord (Foto: Line M. Ryg, 2013).



Vedlegg 13 Flaten ved Vollvika-nord: Kantet til subkantet blokk >2m som ligger over stein og grov grus (<0,5m) som er rundet til subrundet, samt noe kantet (Foto: Line M. Ryg).



Vedlegg 14 Kantet megablokk øverst på Flaten nær den sørvestlige enden av avsetningen ved Vollvika-nord. Megablokken har en a-akse på 5,8m. Målebånd 0,5m for skala.



*Vedlegg 15 Runde fine blokker og grove stein under og mellom megablokker ved Vollvika-sør. Målebånd 1m for skala (Foto: Line M. Ryg, 2013).*

