

UiT

NORGES
ARKTISKE
UNIVERSITET

Fakultet for naturvitenskap og teknologi

Institutt for geologi

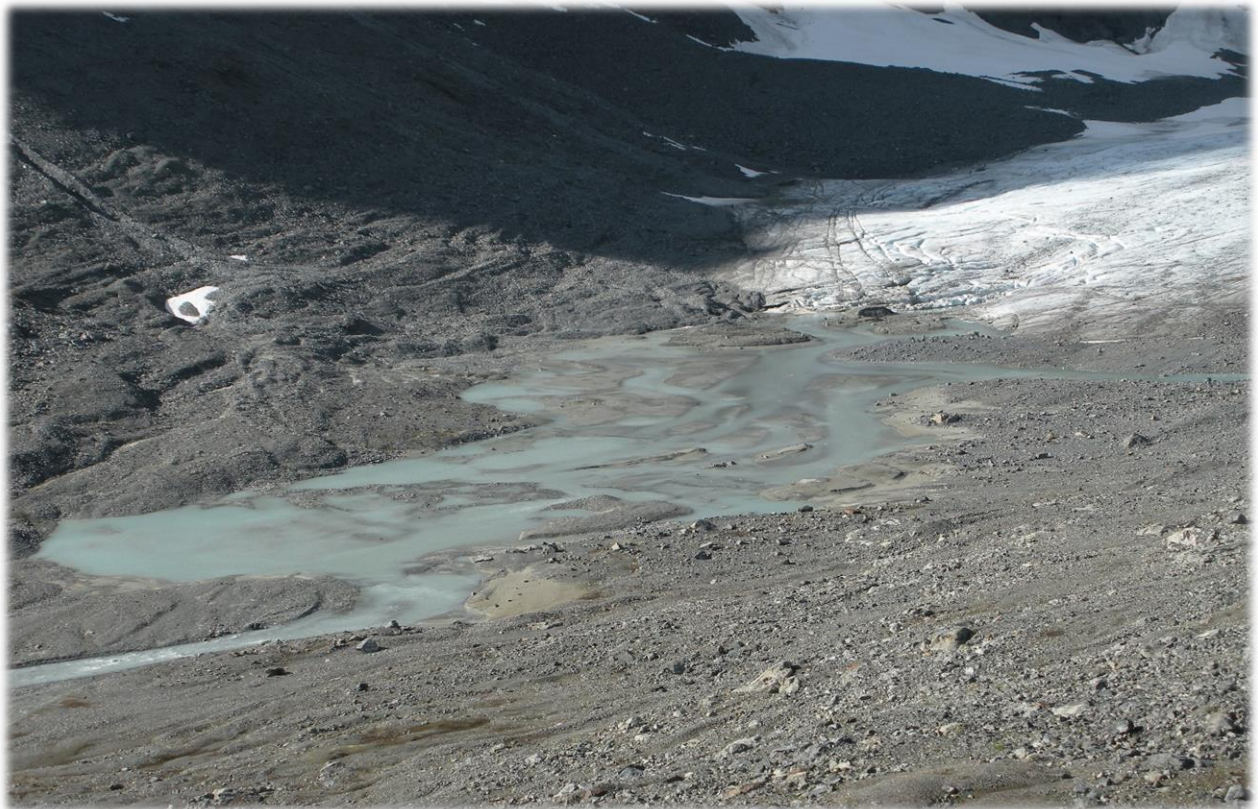
Morfologisk og sedimentologisk undersøkelse av sanduravsetninger foran Steindalsbreen, Lyngen, Tromsø

—

Heidi Storjord

Masteroppgave i geologi, GEO-3900

Mai 2016



Forord

Takk til hovedveileder Geoff Corner og biveileder Erland Lebesbye for tålmodighet og for veiledning i felt og under skriveprosessen.

Stor takk til Carina min medsammensvorne, som har måttet tåle utallige timer med kjas og mas og endeløse diskusjoner. Vi overlevde kalde og varme dager og netter ute i villmarka, tidvis blant en flokk med innpåsliten sau. Skarpe steiner, bratt terreng og leire er ingen utfordring for oss.

Takk til Ida for god hjelp til å ha holdt galskapen unna, med blant annet guddommelig mat og viktige pauser fra stresset som til tider truet med å ta overhånd.

Takk til familien og alle andre som har vært konstant støtte og bidratt med oppmuntringer under hele prosessen med å få fullført arbeidet. Spesielt takk til mormor og Ingolv, for blant annet middager, helgebek, taxitjeneste og alt mulig annet. Dere har gjort tiden min i Tromsø helt fantastisk.

Til Oldefar Henry, jeg klarte det.

Og til Bestefar Gunnar, huset mitt skal fylles med stein.

Heidi Storjord

Tromsø, Mai 2016

Sammendrag

Steindalsbreen som er lokalisert i øvre del av Steindalen, Lyngen har etter siste istid smeltet tilbake. Dette har ført til suksessiv dannelse av tre sandursletter på lavgradients områder i dalbunnen som har blitt eksponert gradvis mens isbreen har smeltet tilbake. Alle tre har ulik alder, distanse til breen, samt horisontal og lateral utbredelse med ulik morfologi. De representerer forskjellige stadier av utvikling.

Sedimentologiske og morfologiske undersøkelser i feltarbeid og flybilder, har fastbestemt modenhet og utviklingsforløp for de individuelle sandurene. Denne informasjonen leder til en tolkning av mulig dannelse og utviklingsforløp for disse sandurene i takt med tilbakesmelting av Steindalsbreen. Det kommer fram likheter i utviklingsforløpet til sandurene i Steindalen og de gir videre en forståelse av det generelle dannelsesforløpet til sandursletter under lignende forhold. Lateral og horisontal utbredelse er avgrenset av dalsider og sedimenttilførsel er avhengig av en minkende bre.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Formål.....	1
1.2	Bakgrunn og tidligere undersøkelser	3
1.3	Områdebeskrivelse	4
1.3.1	Beliggenhet og geologi	4
1.3.2	Klima.....	7
1.3.3	Hydrologi.....	7
1.3.4	Kvartærgeologi i Lyngen og Troms	8
1.4	Sandur og glasifluviale avsetninger	10
2	Materiale og metoder	12
2.1	Materiale	12
2.1.1	Bilder og flybilder.....	12
2.1.2	Kart	12
2.1.3	Programvarer	13
2.2	Metoder.....	13
2.2.1	Datainnsamling og feltmetoder	13
2.2.2	GPS	14
2.2.3	Nivellering	14
2.2.4	Kornstørrelseanalyse	17
2.2.5	Kartlegging og modellering med Geografiske Informasjonssystemer	18
3	Resultater	20
3.1	Sandurene 2014/2015	21
3.1.1	Nedre sandur	21
3.1.1.1	Nivellering.....	23

3.1.1.2	Kornstørrelsesanalyse.....	25
3.1.2	Midtre sandur	26
3.1.2.1	Nivellering.....	29
3.1.2.2	Kornstørrelsesanalyse.....	30
3.1.3	Øvre sandur	31
3.1.3.1	Nivellering.....	36
3.2	Sandurenes utvikling mellom 1953 og 2015	37
3.2.1	Nedre Sandur	43
3.2.1.1	Endringer på nedre sandur 1953 – 2015.....	47
3.2.2	Midtre Sandur.....	48
3.2.2.1	Endringer på midtre sandur 1953 - 2015	52
3.2.3	Øvre Sandur	54
3.2.3.1	Endringer på øvre sandur 1993 - 2015	57
4	Diskusjon.....	58
4.1	Sandurmorfologi.....	58
4.1.1	Øvre sandur	58
4.1.1.1	Kanalmigrasjon og bankeutvikling	58
4.1.1.2	Kame og terrassekompleks	59
4.1.1.3	Dødis på øvre sandur	60
4.1.1.4	Dannelsesforløp og utvikling	61
4.1.2	Midtre sandur	62
4.1.2.1	Kanalmigrasjon.....	62
4.1.2.2	Senkning av basisnivå	63
4.1.2.3	Slukrenner og laterale renner	63
4.1.2.4	Dødis på midtre sandur	64

4.1.2.5	Dannelsesforløp og utvikling	65
4.1.3	Nedre sandur	66
4.1.3.1	Kanalmigrasjon og bankeutvikling	66
4.1.3.2	Dannelsesforløp og utvikling	66
4.2	Sammenligning mellom øvre, midtre og nedre sandur	68
4.2.1	Utbredelse og kanalmigrasjon	68
4.2.1.1	Feilkilder ved bruk av flybilder	69
4.2.2	Høydeprofil og kornstørrelser.....	70
4.2.2.1	Feilkilder i framstilling av høyde-distansediagram.....	72
4.2.3	Rasmateriale	72
4.2.4	Dannelsesforløp og bretilbaketrekking i Steindalen.....	73
4.3	Framtidig utvikling.....	76
4.3.1	Nedre sandur	76
4.3.2	Midtre sandur	77
4.3.3	Øvre sandur	77
5	Konklusjoner.....	79
6	Referanser	81
VEDLEGG	.....	84
FLYBILDER	.....	84
DEFINISJONER OG TERMINOLOGI RELATERT TIL ARCMAP	.....	87
ARCMAP, IMPORT AV GPS KOORDINATER	.....	87
ARCMAP, NEDLASTNING OG IMPORT AV FLYBILDER FRA NORGE I BILDER	.....	89
ARCMAP, GEOREFERERING AV BILDER OG FIGURER	.....	90
ARCMAP, FEATURE CLASSES, SHAPEFILER	.....	91
EXCELMATERIALE: MIDTRE SANDUR	.....	92

EXCELMATERIALE: ØVRE SANDUR.....	92
EXCELMATERIALE: NEDRE SANDUR.....	94
ARBEID UTFØRT I STEINDALEN	96

1 Innledning

1.1 Formål

Hovedformålet med oppgaven er å foreta en morfologisk og sedimentologisk undersøkelse av sandurslettene foran steindalsbreen. Dette er for å forstå deres dannelse, utvikling og hvilke prosesser som er avgjørende for deres utvikling. En sammenligning av deres morfologi og sammensetning vil gi innsyn i hvordan slike avsetningsformer dannes og utvikles over tid og hvordan dette henger sammen med endringer som skjer på isbreen de befinner seg foran.

Ut fra kart, flybilder, bakkebilder og andre observasjoner fra forskjellige år skal avsetningene dokumenteres på forskjellige tidspunkt. Ved å se på endringer som framkommer i horisontal og lateral utbredelse, bassengutvikling, og endring i kanaler og banker, kan sandurenes utvikling over tid rekonstrueres. De forskjellige sandurslettene skal deretter sammenlignes med hverandre. Dette er for å relatere forskjeller i gradient, kornstørrelse og formelementer på sandurene mot hverandre med tanke på bassengmorfologi, sedimenttilførsel og lokal basishøyde. I tillegg skal det forklares hvordan ulike avsetningsprosesser har skapt breelvettenes morfologi.

Opgaven bruker observasjoner og rekonstruksjon av breens tilbaketrekking og oversiktsbilder fra forskjellige år for å bestemme nøyaktig alder på sandurene. Ut fra dette skal det bestemmes et mulig utviklingsforløp for sandurene i Steindalen. Spesielt fokus vil det da være på mulighetene for utvikling av den yngste sanduren som er mest aktiv i dag og gjennomgår størst forandringer. Metodene brukt har som formål å beskrive og forstå sandurenes utvikling og aktive prosesser og vil inkludere:

- Beskrivelse, forklaring, sammenligning og rekonstruksjon av sandurslettens utbredelse, morfologi, makroformer, kornstørrelse og avsetningsprosesser basert på studier av flybilder, bakkebilder og feltobservasjoner.
- Tolkning av hvordan sandurslettene i Steindalen har utviklet seg over tid.
- Framstilling av kart i ArcMap fra årene med tilgjengelige flybilder, som viser sanduravsetningene og deres utbredelse. Vann, kanalformer, skrentkanter, blokker, brefronten og breelvstrukturer relatert til isbreen og sanduren.

- Nivellerte høydeprofiler for de individuelle sandurslettene for å relatere forskjeller i gradient for elv og banker/terrasser til kornstørrelser.
- Beskrivelse og sammenligning av kanaler, banker og andre formelementer på sandurslettene for fastsetting av endringer fra år til år med spesielt fokus på de siste 60 år hvor det enkelte år er flybilder fra området tilgjengelig.

1.2 Bakgrunn og tidligere undersøkelser

Det blitt gjort en rekke undersøkelser i Lyngensområdet siden 1965 og fram til i dag. I 1965 gjorde J. G. Vessey undersøkelser av Steindalsbreen. Han undersøkte steindalsbrens dreneringsløp og en ismasses evne til å lagre vann. Han konkluderte ut at regnvann og ablasjon var årsaken til økt smeltevannsutløp fra breen og at det er grunn til å tro at smeltevannsløpet i Steindalsbreen og andre isbreer er meget kompleks.

Førsteamanuensis Geoff Corner ved UIT har foretatt undersøkelser ved Steindalsbreen i en rekke år tilbake til 1976 og har samlet materiale i en form av målinger og bilder som viser hvordan breen har trukket seg tilbake over tid.

En artikkel av Ballantyne (1990) fastsetter han alderen på neoglasiale morenerygger i en rekke daler på Lyngenshalvøya ved bruk av lavkronologi. Av fire morener lokalisert like nedenfor Steindalsbreen, stammer de to yngste fra perioden 1910-1930, den tredje fra et tidspunkt på 1800tallet. Den eldste av disse fire kunne ikke dateres nøyaktig men er beregnet til å være flere hundre år eldre enn de tre yngre.

Deglasiasjonsforløpet i Storfjorden, Troms ble rekonstruert av Corner i 1980. Han konkluderte med at den siste issmeltingen i fjord-dalene skjedde for 9100 år siden i Signaldalen og nedre Skibotndalen. Lokalbreene ble da separert fra fjordbreene og innlandsisen.

Deglasiasjonsforløpet i Troms har blitt rekonstruert av Andersen i 1968.

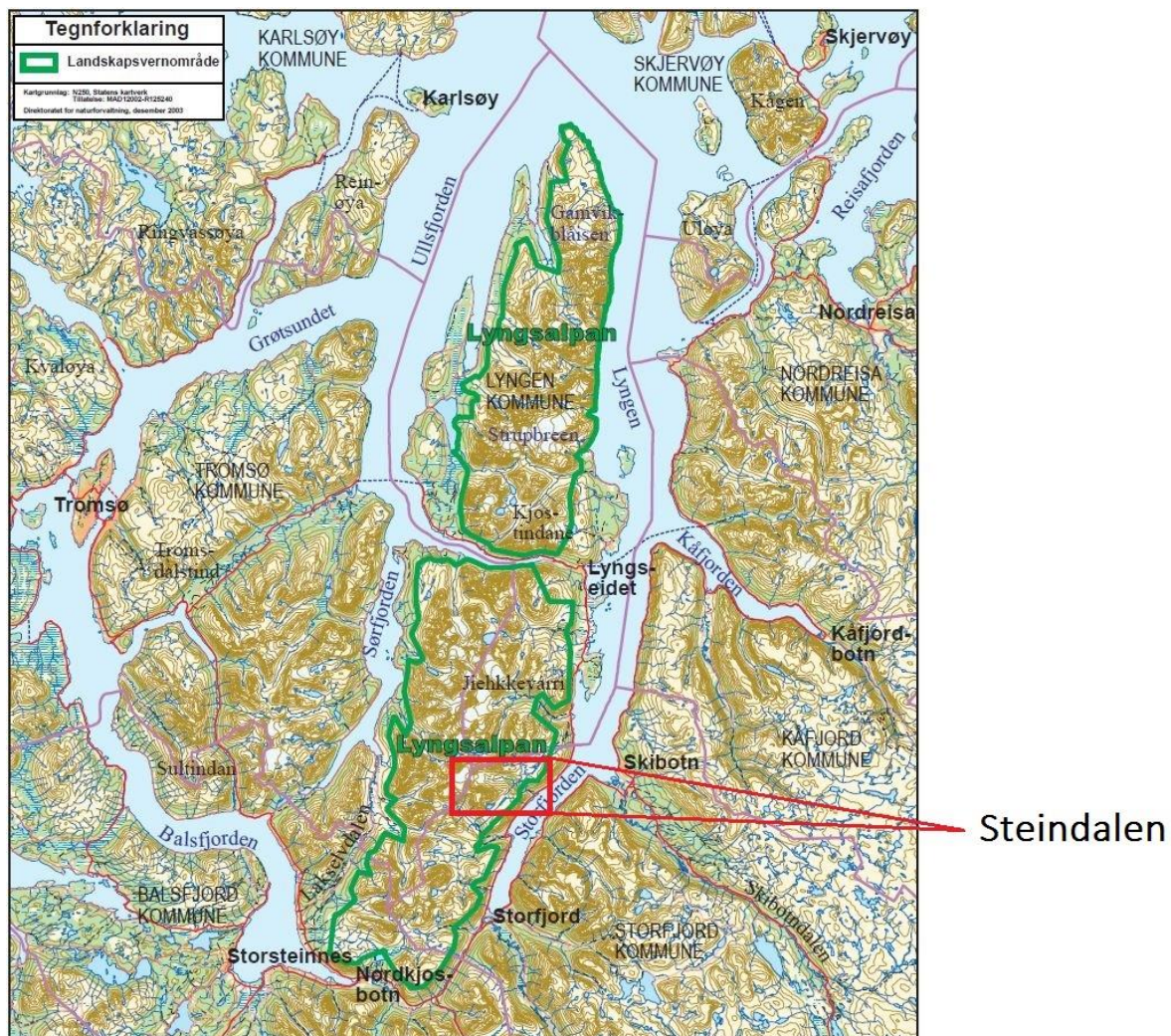
Kvartærgeologisk kart over Storfjord i skala 1: 50 000 ble publisert av NGU og Corner i 2003.

I gjennom en rekke år har UIT send studenter til Steindalen som en del av kurs i kvartærgeologi og de siste årene har de brukt ekskursjonsguide fra geologiskolen (Corner & Svindland, 2008). Denne nettsiden forklarer diverse formelementer som finnes på turen opp til selve breen og forklarer deres dannelse.

1.3 Områdebeskrivelse

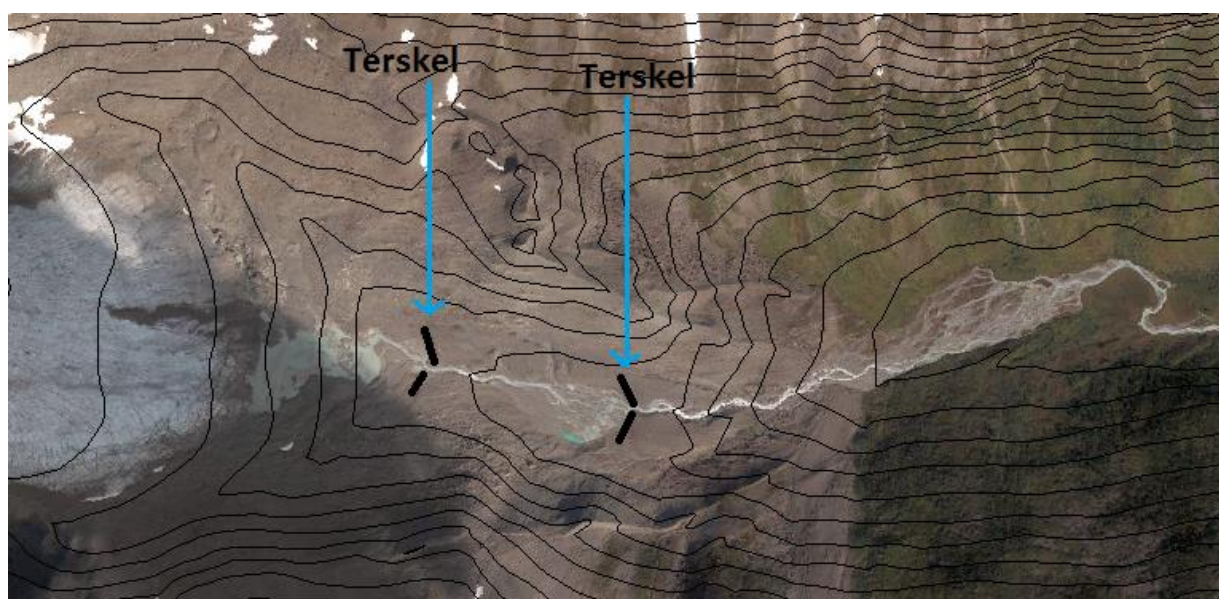
1.3.1 Beliggenhet og geologi

Steindalen lokalisert i øvre delen av Steindalen som befinner seg i Storfjord kommune, omtrent 25 kilometer sør for tettstedet Lyngseidet 50 km øst for Tromsø. Steindalen ligger helt sør på Lyngenshalvøya som avgrenset av Ullsfjorden på vestsiden og Lyngenfjorden på østsiden, se figur 1-1. Området har stor naturfaglig verdi som glasiologisk og kvartærgeologisk referanseområde. Dette ga grunnlaget 'Lyngsalpan landskapsvernområde' som ble opprettet i 2004 for å sikre de storslåtte fjellområdene. (Brende, 2004). Fjellmassivet Lyngsalpene fordeler seg på Lyngenshalvøya. I Lyngsalpene finnes det omtrent 100 kvadratkilometer med is fordelt på 140 isbreer. (Sveian & Corner, 2004).



Figur 1-1: Lyngenshalvøya med verneområde med Steindalen innfelt. Modifisert fra (Brende, 2004)

Selve Steindalen er Vest-øst orientert og tidvis skjermet for solen av bratte fjell på begge sider. Steindalstinden på sørsiden av dalen i sør og Gaskaôhkka i nord overstiger begge 1500m i høyden. Breens hovedmasse ligger i øvre og vestre del av Steindalen på rundt 900 moh. Dalen fordyper seg mot øst og breen går ned et isfall mot dalbunnen fra 900 – 600 moh. Dalen blir flatere og bredere og bretungen sprer seg utover dalbunnen som en lobe. I forkant av breen ligger en 170 meter høy morene. Dalbunnen er dekket av morenemateriale. (Vessey, 1965). De høye fjellene er en del av Lyngsalpene som består av gabbro, en resistent bergart, mens de slakere fjellene i forkant består av skifer som forvitrer lettere (Corner & Svindland, 2008).



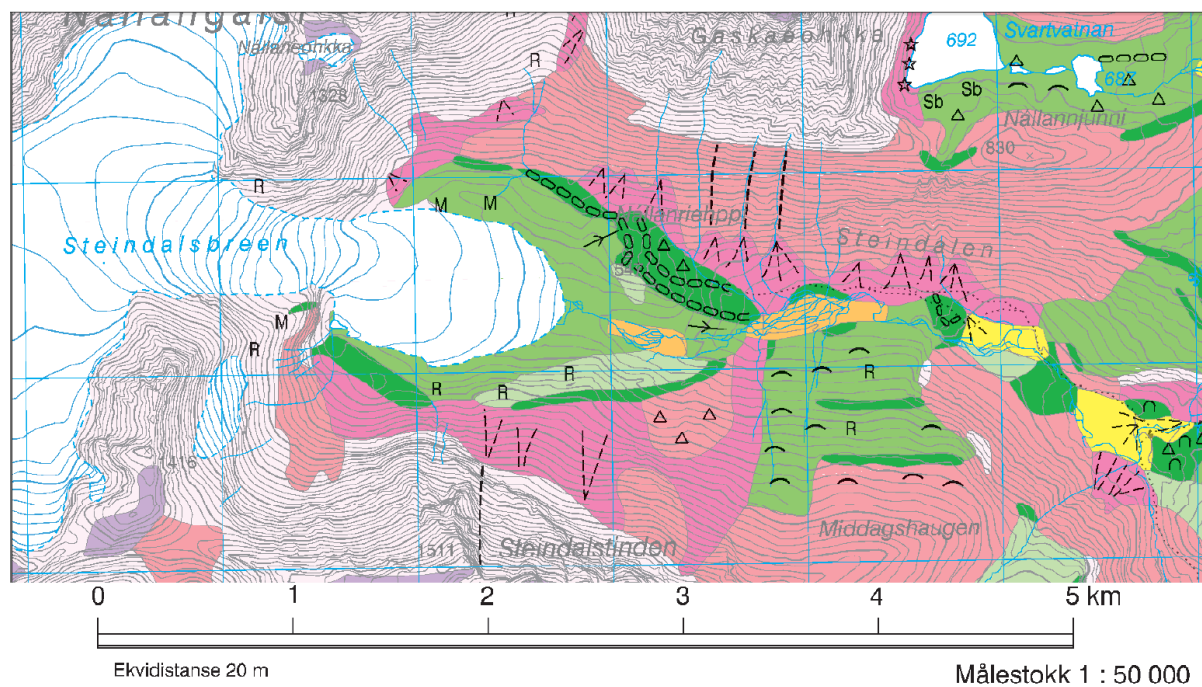
Figur 1-2: Oversiktsbilde over Steindalsbreen og de tre sandurene i øvre del av Steindalen fra 2011. Med høydekurver og terskler markert. Modifisert fra (Norge i bilder).

Figur 1-2 viser et oversiktsbilde over øvre del av Steindalen og Steindalsbreen med høydekurver. Øvre sandur ligger like inntil brefronten. Terrenget heller slakt ned til midtre sandur, som ender ved en terskel før terrenget heller brattere nedover. Den nedre sanduren ligger like foran endemorenen fra den lille istiden (Corner & Svindland, 2008).

Figur 1-3 viser et kvartærgeologisk kart over øvre delen av Steindalen og av Steindalsbreen. Kartet er laget med grunnlag i flybilde fra 1993 slik at breen ligger lengre ned enn det som er situasjonen i 2015. Det kommer fram hvilke løsmasser som dekker dalbunnen i det undersøkte området. Sandurene består av glasifluviale avsetninger og er markert i oransje. De to nederste sandurene kommer fram på kartet, mens den øverste er skjult av isbreen. Store

deler av dalbunnen består av morenemateriale, sammenhengende eller usammenhengende dekker. De to store ryggene fra lille istid kommer fram mellom midtre og nedre sandur.

Dalsidene er i stor grad dekket av skredmateriale. Det kommer flere vifteformer og enkelte tydelige skredløp ned fjellsiden mot dalbunnen. Noe av rasmaterialet har endt opp blandet med moreneavsetningene.



TEGNFORKLARING

LØSMASSER

- MORENEMATERIALE, SAMMENHENGENDE DEKKE,
- MORENEMATERIALE, USAMMENHENGENDE
- RANDMORENERYGG
- BREEL VAVSETNING (GLASIFLUVIAL AVSETNING)
- ELVE- OG BEKKEAVSETNING (FLUVIAL AVSETNING)
- SKREDMATERIALE
- SKREDMATERIALE USAMMENHENGENDE
- BART FJELL

SMÅ ELLER VANSKELIG AVGRENSBARE AVSETNINGER

- M MORENEMATERIALE
- R SKREDMATERIALE, USPESIFISERT
- Sb STEINBREAVSETNING

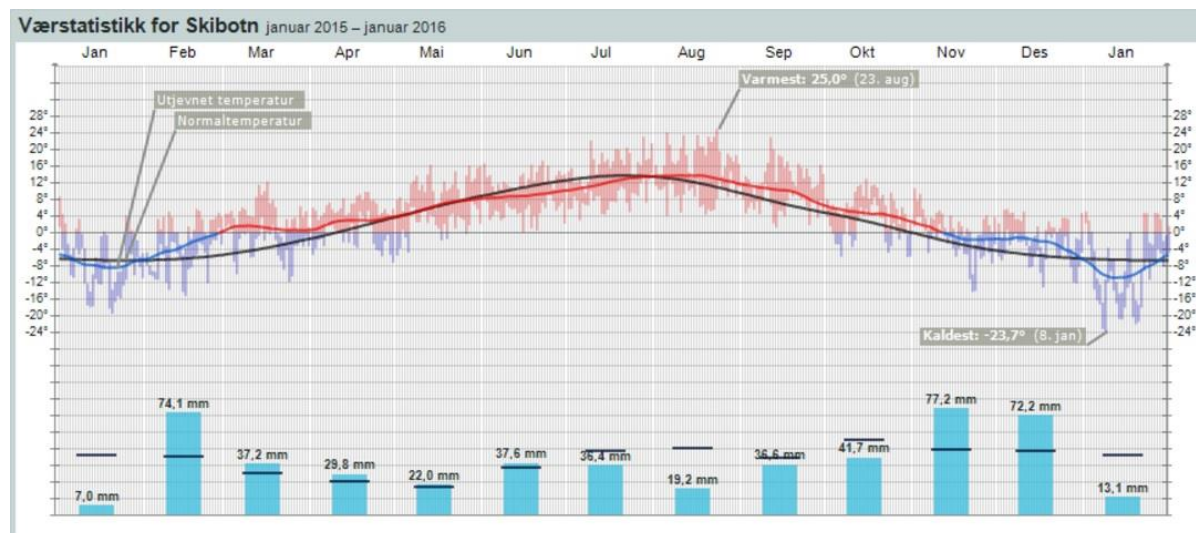
OVERFLATEFORMER
Surface morphology

- VIFTEFORM
- TYDELIG SKREDLØP
- RYGG
- HAUG- OG RYGGFORMET OVERFLATE

Figur 1-3: Kvartærgeologisk kart over øvre del av Steindalen (Corner G. , 2004) (NGU, 2015)

1.3.2 Klima

Nærmeste målestasjon ligger i Skibotn, 9,3 km fra Steindalen. Det har vært foretatt målinger nesten kontinuerlig fra januar 1947 og fram til i dag. Klimanormalen for Steindalen er beregnet fra målingene disse fire stasjonene har gitt. (Meteorologisk Institutt).



Figur 1-4: Værstatistikk for temperaturen i Skibotn fra januar 2015 til januar 2016. Den svarte linjen representerer klimanormalen (for området). Gjennomsnittstemperaturene ligger over frysepunktet fra tidlig til midt april og fram til månedsskifte oktober-november. (Meteorologisk Institutt)

1.3.3 Hydrologi

På en isbre regnes som regel regnes smelteperioden fra 30. april til 1. oktober. I begynnelsen av smeltesesongen vil smeltevann gi fra seg latent varme ved frysing. Nedkjølingen om høsten og vinteren går sakte gjennom snølaget etter hvert som snøen som er gjennomtrukket av vann fryser til. (Nesje, 1995). Smeltevannet som renner ut ved foten av breen vil slutte å renne etter hvert som breen fryser til. Elvene som går videre nedover dalen og renner over sandurslettene vil slutte og renne til temperaturene stiger og smelting på breen begynner.

Værstatistikk fra Skibotn (Fig. 1-4) som er nærmeste målestasjon, viser at smeltesesongen for breen går mot slutten i skiftet mellom oktober og november når temperaturene synker under frysepunktet. Lengden på smeltesesongen vil variere fra år til år avhengig av været. Den utjevne linjen i blått og rødt viser gjennomsnittstemperaturen fra dag til dag året 2015. Ut fra denne kommer det fram at 2015 var et år hvor temperaturen lå over nullpunktet i en lengre periode enn det som normalen tilsier. Det gir en nesten to måneder lengre

smeltesesong enn det skal være ifølge normalen. En lengre smelteperiode vil kunne gjøre at breen vil miste mye mer masse enn den vil kunne akkumulere i løpet av den forkortete akkumulasjonssesongen.

Det hydrologiske regimet i dalen er primært glasialt (Vessey, 1965). Lengre ned i dalen slår Steindalselva fra breen og slår seg sammen med Tverrelva fra nordsiden av dalen (Corner & Svindland, 2008). Elva fortsetter videre nedover dalen og ender til slutt opp i Lyngenfjorden. Steindalselven inneholder store mengder breslam som blir avsatt i møtet med havet hvor hastigheten på vannet blir betydelig redusert og elven mister sin evne til å bære materiale si suspensjon.

1.3.4 Kvartærgeologi i Lyngen og Troms

Dagens landskap i Norge og Troms er hovedsakelig resultat av hendelser i den yngste geologiske tidsperioden, kvartær (Sveian, 2007) og har blitt kraftig påvirket av breprosesser. Alpint landskap er godt utviklet i Troms/Lyngnområdet og er et resultat av gjentatte glasieringer (Nesje, 1995). I dagens klima foregår det fremdeles aktiv erosjon av berggrunnen fra de gjenværende brene og det alpine landskapet videreutvikles (Sveian, 2007).

Den yngste geologiske tidsperioden, kvartær er preget av hyppige klimasvingninger med flere glasieringer og interglasieringer (Nesje, 1995). Den siste istiden hadde maksimum for 20 000 år siden og hele Norge var da dekket av is. Lyngen og Ullsfjorden var hovedkanaler for isen som strømmet ut til Eggakanten. (Sveian & Corner, 2004). Det er markerte morener ytterst på den norske sokkelen (Egga-trinnene) som viser isens maksimum utbredelse (Jørgensen, 1997). Ismeltingen som fulgte var relativt rask, men avbrutt av enkelte kalde perioder hvor brene vokste igjen. Framstøt av den isen har produsert to vidstrakte morenesystemer i Troms kjent som Skarpnestrinnet og Tromsø-Lyngen Trinnet. Datering av organisk materiale fra morenene viser at Skarpnesmorenen ble dannet 12000-12500 år før nåtid og Tromsø-Lyngmorenen mellom 10 000 og 12000 år før nåtid (Andersen, 1968). For rundt 9100 år siden smeltet brene i Lyngenfjorden tilbake og dalbrene skulte lag med fjordisen (Corner G. D., 1980). Etter en klimaforverring for rundt 3000 år siden begynte brene igjen å vokse og de fleste hadde maksimum under den lille istid så sent som for 100-250 år siden. (Sveian & Corner, 2004) (Ballantyne, 1990).

Ballantynes undersøkelser i Steindalen forklarer at foran enkelte isbreer på Lyngenhavøya finner man opptil fire neoglasiale morener, tre av disse framkommer i figur 1-5. Steindalen er et av de områdene hvor disse morenene forekommer. De yngste har blitt datert til å stamme fra 1910-1920, 1920-1930 og 1825-1845. Den eldste bestemt til å være yngre enn preboreal, men eldre enn andre morener dannet under den lille istiden. Etter den lille istid har breene trukket seg jevnt tilbake og i Steindalen skjer dette med en hastighet på omtrent 10 meter i året. (Vessey, 1965) (Sveian & Corner, 2004).



Figur 1-5: Nedre sandur (skravert) og 3 av 4 neoglasiale morener identifisert og aldersdatert av Ballantyne i 1990, nummerert etter dannelsesrekkefølge. (Fotograf, Carina Nilsen 2014)

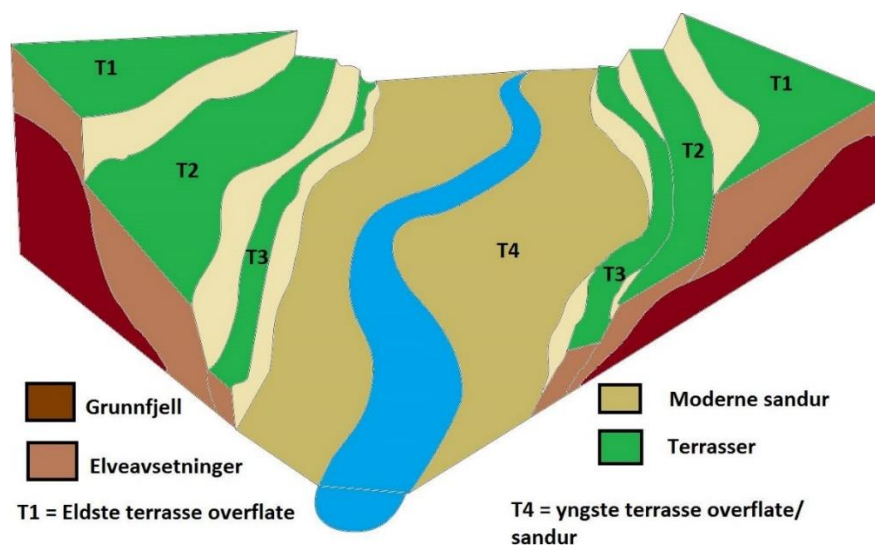
1.4 Sandur og glasifluviale avsetninger

Breelvslette eller sandur er en avsetningsform dannet på slakt hellende overflater av de store mengdene materiale avsatt av breelver (Benn & Evans, 2010). De er karakterisert av et nettverk med forgreinede, ustabile kanaler som ofte skifter posisjon (Smith, 1985). Elvene på sandurene transporterer og avsetter materiale på samme måte som forgreinede elver (Nichols, 2009). Stadig skiftende vannføring, leder til at materialet avsatt veksler vertikalt og lateralt over korte distanser (Nesje, 1995). Sandurflater som ikke er begrenset av terrenget vil kunne bre seg ut over store distanser (Smith, 1985). Mens smalere breelvavsetninger avgrenset av dalsider i fjellterreng er kalt dalsandur (Benn & Evans, 2010).

Smeltevann i en isbre vil bevege seg mot bunnen av isbreen og bevege seg langsmed bunnen til i en serie englasiale og subglasiale kanaler til utløpet langs bremarginen (Gustavson & Boothroyd, 1987). Smeltevannet inneholder store mengder sediment og mye av dette, spesielt de grovere størrelsesfraksjonene vil avsettes på sandursletter hvis topografien tillater dette (Smith, 1985). Vannføring i breelvene er sesongavhengige og er på sitt største under flom forårsaket av vårmelting av snø. I tillegg er sedimenttilførselen avhengig av hvor mye materiale som er tilgjengelig i isbreen (Bridge & Demicco, 2008).

Endringer i dreneringsmønsteret ned sanduren fører til en minking i den gjennomsnittlige kornstørrelsen, og grovere fraksjoner blir kun transportert som bunnlast i flomperioder (Smith, 1985). Den sesongvise variasjonen i vannføring og sedimenttilførsel fører til en syklisk endring i kornstørrelse vertikalt i avsetninger fra forgreinede elvesystemer (Miall, 1978).

Når breen trekker seg tilbake vil landet heves og basisnivå senkes slik elvene eroderer i sanduravsetningene og danner forskjellige nivåer med terrasser (Bridge & Demicco, 2008).



Figur 1-6: Tenkt tverrsnitt gjennom sanduravsetninger. Det har blitt dannet terrasser etter hvert som basisnivå har blitt senket og elva eroderer seg ned i tidligere avsetninger.

Det er høyest transport i breelvene når smeltesesongen er i gang eller ved store nedbørmengder som fører til flom (Bridge & Demicco, 2008). Breelvene kan frakte ut store isblokker ut på sandurslettene og disse vil bli delvis begravd i materiale som avsettes omkring dem og/eller de synker ned i det løse umettede sandurmaterialet (Maizels, 1977). Slike isblokker kan også være etterlatt når breen trekker tilbake og deler av fronten blir separert fra resten av breen. Når disse blokkene smelter vil det dannes dødisgroper etter hvert som sedimentene synker ned i tomrommet etter den smeltede isen (Maizels, 1977).

2 Materiale og metoder

2.1 Materiale

Materialet benyttet i denne oppgaven er geologisk litteratur knyttet til Steindalen og Lyngenhavøya, kartverk og flybilder fra samme område. I tillegg er det materiale samlet inn fra feltarbeid utført over to sesonger i 2014 og 2015 i samarbeid med Carina Nilsen og med veiledning fra Geoff Corner og Erland Lebesbye. Geoff Corner har også bidradd med observasjoner, fotografier og målinger fra sine egne feltbefaringer fra 1976-2015 med samarbeid av andre individer fra Universitetet i Tromsø.

Komplett liste over tidligere arbeid gjennomført i Steindalen ligger som eget vedlegg.

2.1.1 Bilder og flybilder

På nettstedet, Norgebilder.no er det flybilder tilgjengelig over området hvor Steindalen ligger fra årene 2006 og 2011 og ortofoto kan lastes ned. Feltrapporten til Vessey (1965) og en beskrivelse over området fra NVE, inneholder flybilder fra 1953 fra Fjellanger-Widerøe. Fjellanger Widerøe har drevet med flyfotografier fra Norge siden 1934 (Fjellanger Widerøe, u.d.). Institutt for geologi i Tromsø har tilgang på flybilder fra følgende år: 1953, 1954, 1977, 1979 og 1993. Noen av bildene dekker store deler av Steindalen og Steindalsbreen mens andre kun viser begrenset utsnitt fra dalen.

I tillegg til flybilder er det tilgjengelig fotografier tatt av individer fra Saint Luke's College, UIT og NVE.

2.1.2 Kart

Storfjord kommune er dekket av kvartærgeologisk kart med topografi. Det kommer med skala på (1 : 50 000), ekvidistanse 20 m, utsnitt 1933 IV publisert i 2004. Kartet er hentet fra Norges Geologiske Undersøkelser nettsider og er basert på et flybilde fra 1993.

2.1.3 Programvarer

All redigering av tekst ble foretatt i Word fra Microsoft Office. Utrekninger, tabeller og grafer ble fremstilt i Microsoft Office Excel.

Garmin Basecamp versjon 4.5.1, er programvare brukt for å behandle data fra GPS, med kartblad fra Tromsø i skala (1 : 50 000). (Garmin, 2015)

ESRIs ArcMap versjon 10.3 ble brukt til framstilling av kart og figurer og til georeferering og analyse av flybilder. Denne delen av arbeidet ble utført i samarbeid med Carina Nilsen for arbeidet med hennes masteroppgave som er skrevet med et større fokus på områdets kvartærgeologi og breens tilbaketrekkingshistorie. I Nilsens arbeid har hun kartlagt brefronten og moreneavsetninger som indikerer brefrontens posisjon til ulike tidspunkt.

2.2 Metoder

2.2.1 Datainnsamling og feltmetoder

Datainnsamlingen fra feltarbeid ble gjennomført over to sesonger i 2014 og 2015. Det ble utført arbeid ved breen 18. – 24, august 2014 under veiledning av Erland Lebesbye og under veiledning fra Geoff Corner 5. oktober 2014 og 17. – 21. august 2015.

Turene i 2014 var preget av kjølige temperaturer, overskyet vær og spredd nedbør. Mange av bildene fra dette året er derfor preget av svak belysning og mange strukturer i avsetningene er mindre tydelige. 2015 hadde mye mer sol og flere av bildene fra denne sesongen har mye tydeligere karakteristikk og flere detaljer er synlig både på nært hold og oversiktsbildene. Men det er også tydelige kontraster mellom lys og mørke avhengig av hvilket tidspunkt på dagen bildene er tatt siden de høye fjellene ofte skjermer for lyset og kaster store skygger som kan skjule mange viktige detaljer på bildene. Feltarbeidet ble gjennomført på sensommeren både i 2014 og 2015, i siste halvdel av smeltesesongen for isbreer.

Målinger og signifikante observasjoner relatert til bestemte områder ble markert med GPS veipunkt og beskrevet. Begge årene ble det fotografert fra et utsiktspunkt oppe ved lille istids morene og mot breen. Dette punktet er det samme hvor Geoff Corner har tatt sine oversiktsbilder under hans turer til Steindalsbreen.

Feltarbeidet ble brukt til å få en oversikt over området og få kunnskap som flybildene ikke kan gi. Små overflateavsetninger, slik som rifler og miniatyr tidevannslinjer gir viktig informasjon og vannstand og strømmretning er av for liten dimensjon til at de kommer fram på flybilder og må derfor observeres i felt. I felt er det mulig å se høydeforskjeller og lettere bestemme hvor grenser for forskjellige avsetningstyper ligger, slik som sandur, andre glasifluviale avsetninger og moreneravsetninger går fordi man kan se detaljer som ikke kommer fram i flybilder.

2.2.2 GPS

Garmin GPSMAP 64st ble brukt for å sette veipunkter på koordinater for signifikante formler eller observasjoner ute i felt som ble dokumentert som er vanskelige å kunne plassere på flybilder. De ble etter feltarbeidet lagt inn på kart i programmet basecamp (Garmin, 2015) for å få fram punktenes posisjon i kartbildet. Det er elementer, slik som breens frontposisjon på det tidspunktet feltarbeidet ble gjennomført, markante grenser mellom breelavsetninger og morene og skilt som har blitt satt opp regelmessig ved breens frontposisjon i tidligere år av privatpersoner.

For å få minst mulig feilkilde i målinger fra GPS-en, ble enheten kalibrert før bruk i felt og ved bytting av batterier. Dette ble gjort ved å kalibreringsfunksjonen innebygd i GPS-en.

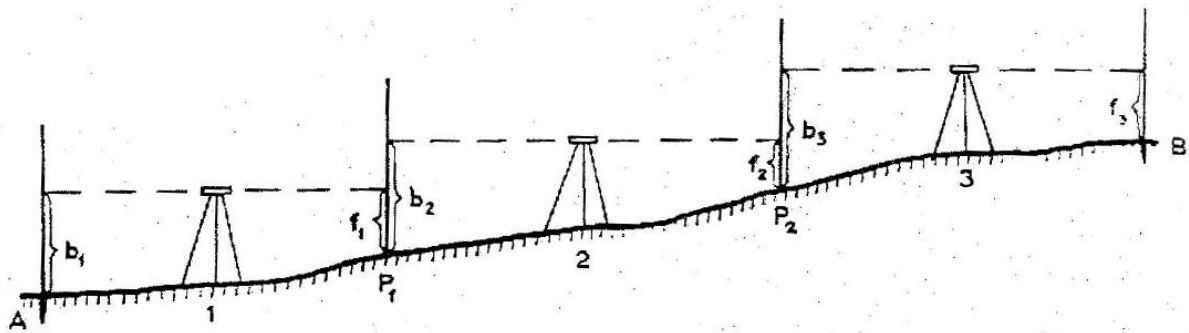
2.2.3 Nivellering

For å foreta nivelleringer ble en Zeiss Ni, nivelleringskikkert på fotostativ og en 5 meter aluminium nivelleringsstang benyttet.

Nivellering ble benyttet for å finne de laterale høydeendringene over sandurene ut fra et fastsatt nullpunkt og for å regne ut gradienten på overflaten. Målingene ble foretatt i en så rett linje som mulig, fra nederste delen på avsetningene hvor de forgreinede kanalene slår seg sammen og til øverste del hvor kanalene sprer seg. Profilet er satt sammen av to grafer, det ene er satt sammen av høydemålinger over vannstand. Det andre profilet markerer tørrlagte kanaler som viser vannivå i den posisjonen på et tidligere tidspunkt av sandurens utvikling og målinger tatt på toppen av banker. Dette får fram kontrasten mellom eldre bankers toppunkt og forlatte kanalbunner.

Nivelleringsstangen ble plasseres ved nullpunktet og kikkerten plasseres lengre opp, som vist i figur 2-1. Høyden på stangen sett gjennom kikkerten ble notert som en baksikt. Deretter ble stangen flyttet til neste punkt av interesse og høyden observert i kikkerten ble notert som framsikt. Differansen mellom målingene fra disse to punktene tilsvarte høydeforskjellen.

Når høydeforskjellen eller distansen ble for stor til å lese av på nivelleringsstangen ble kikkerten flyttet. Den siste målte stangposisjon ble benyttet til å ta et nytt baksikte for å fortsette videre med nye målinger av framsikt.



Figur 2-1: Prinsipp for nivellering mellom to punkter. Differansen i høyde mellom stangposisjoner målt av en nivelleringskikkert tilsvarer høydeforskjellen mellom de to posisjonene. (Eiken, 2013).

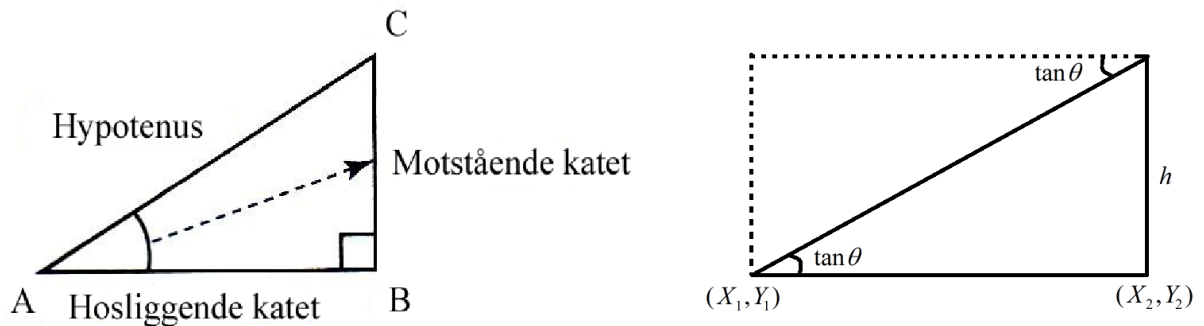
Det ble notert om målingen ble foretatt i høyde med vannkanten, i bunnen av en eldre kanal eller toppen av en banke. I tillegg ble det foretatt en enkel observasjon av kornstørrelsesfordelingen på overflaten ved den bestemte posisjonen for en kornstørrelsesanalyse over sandursletten (se kapittel 2.2.4).

Alle posisjonene for høydemålingene ble fulgt opp med markering av GPS posisjoner. Dette var for å kunne beregne distansen mellom punktene slik at overflategradienten kunne regnes ut. Framstillingen av punkter i kartbladet ble brukt til å beregne en omtrentlig rett linje fra start til slutt punktet for nivelleringen. Det ble gjort ved å se hvordan punktene fordelte seg over sandursletten og tegne inn en linje som traff jevnt på så mange punkter som mulig.

Trigonometriske prinsipper ble benyttet for å få fram distansen i direkte linje mellom to posisjoner i felt. Pytagoras setning går ut på at: $a^2 + b^2 = c^2$ i en trekant hvor a og b representerer de korte sidene (katet) og c er den lengste siden (hypotenus). Prinsippet overføres til koordinatsystem med at distansen mellom to punkter tilsvarer den ukjente hypotenusen, mens katetene er distansen nord-sør retning og øst-vest retning mellom

punktene. X_1 og Y_1 representerer koordinatene X,Y for lokalitet 1 og X_2 og Y_2 representerer lokalitet 2. Da blir formel for utregning av distansen mellom de to punktene:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (\text{Jellestad, 2009}).$$



Figur 2-2: Relasjoner i rettvinklede trekanter. Modifisert fra (Jellestad, 2009).

Utregningene for distanser ble foretatt i Excel. En graf for høydeforskjell og distanse mellom de enkelte punktene ble framstilt ved bruk av graf funksjonen i programmet som består av følgende trinn: (Marker kolonnene for avstand mellom punkter og høyden utregnet for de utvalgte punktene > sett inn > punktdiagram > punktdiagram med utjevnete linjer og indikatorer). Denne grafen har en vertikal overdrivelse for å vise tydeligere hvordan gradienten endres seg over overflaten.

Når distansen mellom to punkter er kjent og høydeforskjellen mellom dem er kjent, danner de kateter i en ny rettvinklet trekant og helningen på overflaten tilsvarer hypotenusen. Vinkelen mellom hypotenus og hosliggende katet vil være lik helningen på skråningen.

Formelen for å finne den ønskede vinkelen θ er: $\theta = \tan^{-1} = \frac{\text{lengde av motstående katet}}{\text{lengde av hosliggende katet}}$

(Jellestad, 2009).

Det er valgt å beregne gradienten ut i hundre meters intervaller på nedre og øvre sandur og 50 meters intervaller på midtre sandur med verdiene som kommer fram av Excel grafen for å vise endring i gradient over de nivellerte sandurene.

2.2.4 Kornstørrelsesanalyse

Kornstørrelsene over sandurene ble observert i hver posisjon som var med i nivelleringen og kan derfor relateres tilbake til gradienten. For å undersøke maksimum kornstørrelse ble gjennomsnittstørrelsen for de 5 største partiklene regnet ut i en 1 ganger 1 meter stor rute i umiddelbar nærhet av hvor nivelleringsstangen ble plassert under nivelleringsprosessen. Disse verdiene ble framstilt it en graf på samme måte som høydekurven fra nivelleringen.

Basert på visuelt anslag fra overflatematerialet ble dominerende kornstørrelse estimert. Alle lokalitetene hvor anslag ble foretatt har blitt fotografert med 1-10 cm skala for senere referanse. For alle bestemmelser av kornstørrelse ble Udden-Wentworth skalaen benyttet.

mm	phi	Name	
256	-8	Boulders	Gravel Conglomerate
128	-7		
64	-6	Cobbles	
32	-5		
16	-4		
8	-3	Pebbles	
4	-2	Granules	
2	-1	Very coarse sand	Sand Sandstone
1	0	Coarse sand	
0.5	1	Medium sand	
0.25	2	Fine sand	
0.125	3	Very fine sand	
0.063	4	Coarse silt	Mud Mudrock
0.031	5	Medium silt	
0.0156	6	Fine silt	
0.0078	7	Very fine silt	
0.0039	8	Clay	

Figur 2-3: Udden-Wentworthskalaen for bestemmelse av kornstørrelser, fra (Nichols, 2009).

2.2.5 Kartlegging og modellering med Geografiske Informasjonssystemer

Geografiske Informasjonssystemer (GIS) er programvare utviklet for å fange, behandle, analysere og vise alle former for geografiske referert informasjon (ESRI, 2015).

Alt visuelt materiale i form av kart, flybilder og figurer ble importert og bearbeidet i ESRI's ArcMap versjon 10,3. Ved hjelp av fotografier og observasjoner satt sammen fra flere år ble det satt sammen kart som viser utviklingen av glasifluviale avsetninger over tid som videre ble brukt til å rekonstruere utviklingshistorien til sanduravsetningene i øvre Steindalen. Disse kartene viser endringer som skjer over lang tid, men også de som skjer over kortere tidsforløp og i diskusjonen vil de relateres til endringer i isbreens masse.

Høyoppløsnings ortofoto (10cm bakkeoppløsning) fra 2006 og 2011 (Norge i bilder, 2015) ble lastet ned i GeoTIFF format fra Norge i bilder. Flybildene fra Norge i bilder er allerede georeferert og faller på plass når de er importert i ArcMap. Flyfoto fra Fjellanger-Widerøe inneholder ikke geografisk referanse ble ikke framstilt i kartbildet automatisk ved import til aktivt ArcMap prosjekt. Disse flybildene ble georeferert manuelt i ArcMap ved å sammenligne faste landemerker i flybilder med og uten geografisk referanse. Framgangsmåten for nedlastning, import av flybilder fra Norge i bilder og georeferering av flyfoto uten geografisk referanse er beskrevet i egne vedlegg. Fotografiene ble georeferert ut med det geografiske referanseramme WGS 1984 (Zone 33).

I ArcMap, ble det brukt fargepolygoner, polylinjer og punkter med separate farger og mønstre for å markere sandurens utvikling og av viktige formelementer. Flere fargepolygoner som representerer forskjellige formelementer settes sammen i et komplett kart over strukturer i det kartlagte området. Denne funksjonen ble benyttet til å markere av de viktigste formelementene og deres utstrekning. I sammenligningen mellom flybilder fra forskjellige år, ble endringene i aktive kanaler og banker markert for å vise hvordan disse formelementene har forflyttet seg fra de aktuelle årene med flybilder.

De forskjellige formelementene som ble avgrenset og merket av som egne fargepolygoner eller linjer i ArcMap, var elementer relatert til sandurene og deres utvikling, eller strukturer som viser aktive prosesser som har vært med på å forme sanduren. Områder som ble kartlagt og markert var: Aktiv sandur, kanaler (både aktive og forlatte), ansamlinger av vann, større dreneringsformer, større blokker og skrentkanter.

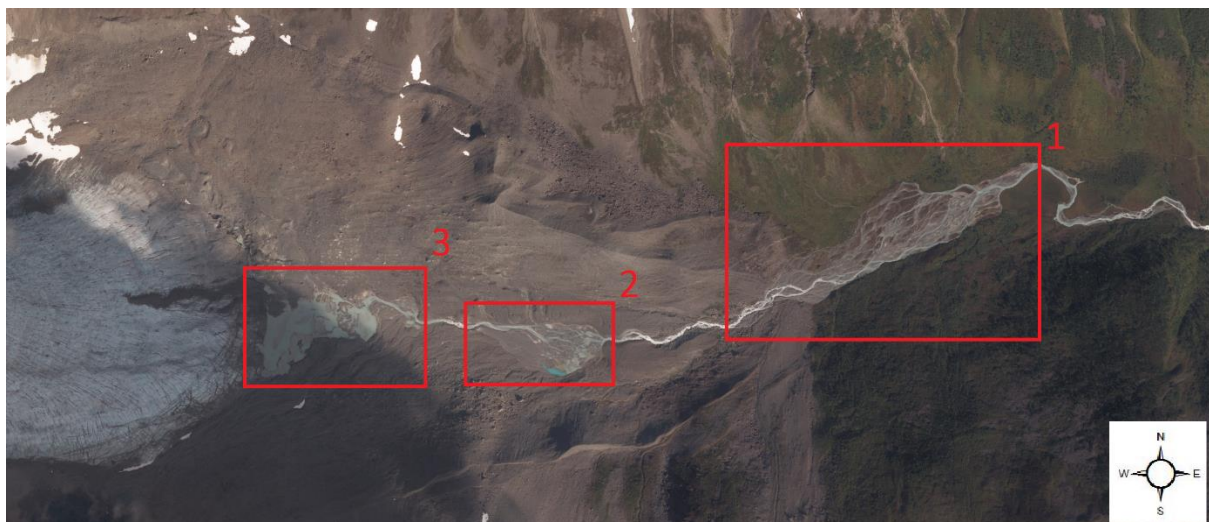
Strukturene ble hovedsakelig avgrenset fra hvordan de kom fram på flybildene. De siste årene finnes det i tillegg til flybildene en rekke fotografisk materiale. Disse fotografiene kan ikke prosjekteres i ArcMap uten å bli forvrenget fordi de er tatt på skrå i stedet for direkte ovenfra og gir derfor feil inntrykk av området de viser. De ble derfor kun brukt som visuell hjelp for å avgrense områder som kommer mindre tydelig fram i flybilder.

Bearbeiding av shapefiles for å kartlegge strukturer i ArcMap er beskrevet i eget vedlegg.

3 Resultater

Dette kapittelet tar først for seg hvordan sandurene i Steindalen framstår morfologisk og sedimentologisk under feltarbeid gjennomført høsten 2014 og 2015. Dette inkluderer observasjoner angående utbredelse, strukturer og aktive prosesser, fotografier, høydemålinger og kornstørrelsesberegninger samlet inn i denne perioden. Målingene resulterer i høydeprofiler over sandurslettene og kornstørrelsesgrafer.

Deretter følger beskrivelser av sandurene slik som de framstår i årene 1953, 1977, 1979, 1993, 2006 og 2011 ut fra tolkning av flybilder fra disse årene. Dette er gjort med hensyn til sandurens utbredelse, banker, kanaler og dreneringsformer som stammer fra breelvaktivitet og hvordan disse henger sammen med brefrontens posisjon.



Figur 3-1: Oversiktsbilde over øvre del av Steindalen. Flybilde fra 2011. Steindalsbreen er lokalisert i vest med øvre (3), midtre (2) og nedre sandur (1) mot øst. (Norge i bilder)

De tre undersøkte sandurene er lokalisert i øvre del av Steindalen. Året 2015 lå Steindalsbreen ved 500 meters høyde. Foran breen ligger det to store morenerygger som stammer fra lille istid (Ballantyne, 1990) (Corner & Svindland, 2008).

Umiddelbart foran brefronten, på sørsiden av dalen, ligger Øvre sandur. Denne stopper ved en tydelig terskel og vannet renner ned et mindre fall til mindre sandur. Midtre sandur har apeks 500 meter foran dagens brefront. Denne ender ved en terskel og renner ned brattere helning mot nedre sandur. Den nederste av de tre sandurene har apeks ved 360 moh. Den er lokalisert like nedenfor de to store moreneryggene som stammer fra siste del av den lille istid.

3.1 Sandurene 2014/2015

3.1.1 Nedre sandur

Den øverste delen av sanduren befinner seg i skråningen som utgjør nederste del av morenene fra lille istid. Like foran lille istids morene, ligger en mindre, eldre morene. Denne eldre morenen er dekket av vegetasjon hvor de store morenene fra lille istid er uten vegetasjonsdekke. Punkt 4 i figur 3-2 viser posisjon til den eldre morenen dekket av vegetasjon og punkt 5 den nederste av de to lille istids morenene som står uten vegetasjon. Midtre og nedre del av sanduren ligger i dalbunnen nedenfor morenene. Sandurområdet dekker et område på 700x170 meter og er avgrenset ut fra aktive kanaler. Som det framkommer av kvartærgeologisk kart, figur 1-3 er sandurene omgitt av morenemateriale. Området på sørsiden av sanduren har et tykt dekke av vegetasjon i form av busker, gress og enkelte trær. På nordsiden er det et dekke av gress og enkelte busker tilstede.



Figur 3-2: Steindalen og nedre sandur sett mot øst. De nummererte punktene henviser til viktige observasjoner gjort i felt. (2015)

Kanalmønster: De viktigste kanalene på denne sanduren er lokalisert på sørsiden. De har betydelig høyere vannføring enn kanalene som ligger på nordsiden. De er farget hvite grunnet mengdene av suspendert materiale de inneholder. En av disse store kanalene går langs den sørlige marginen til sanduren som er markert med en liten skrentkant. En av disse skrentkantene er markert som punkt 2 i figur 3-2. Her har elven erodert inn i bunnmorenen som dekker store deler av dalen.

Hovedkanalen som leder vann inn på sanduren, entrer fra en kanal som kommer ned skråningen med høy hastighet i et enkelt løp. Noen mindre kanaler vann entrer sanduren på nordside. Disse mindre kanalene framstår som en mørkere farge fordi de inneholder mindre mengder med breslam enn de store kanalene. Disse stammer fra fjellsiden og ikke fra isbreen. De renner inn på nordsiden av sandurer og slår seg etterhvert sammen med breelvsystemet. En av disse elvene er markert som punkt 1 i figur 3-2.

Flere steder på sanduren ligger det tørrlagte kanaler. De ligger enten rundt eller krysser eksisterende banker. Enkelte av disse tørre kanalene har et tynt lag med fin sand avsatt i overflaten. I noen av disse kanalene finnes det strømrifler i de finere sedimentene som viser at kanalen har vært aktiv tidligere på året.

Helt nederst på sanduren, samler alle de mindre kanalene seg sammen og renner videre nedover dalen som en meanderende elv. Dette skjer like foran et område med myr, godt dekket av vegetasjon.

I øvre del av sanduren, markert som punkt 4, kutter elven gjennom en liten, morenerygg. Moreneryggen har et dekke av gress og mindre busker. Overflatedekket raser ned den eksponerte skråningen mot sanduren og utsnittet framstår som relativt ferskt. Dette viser at det er aktiv erosjon langs sandurens margin.



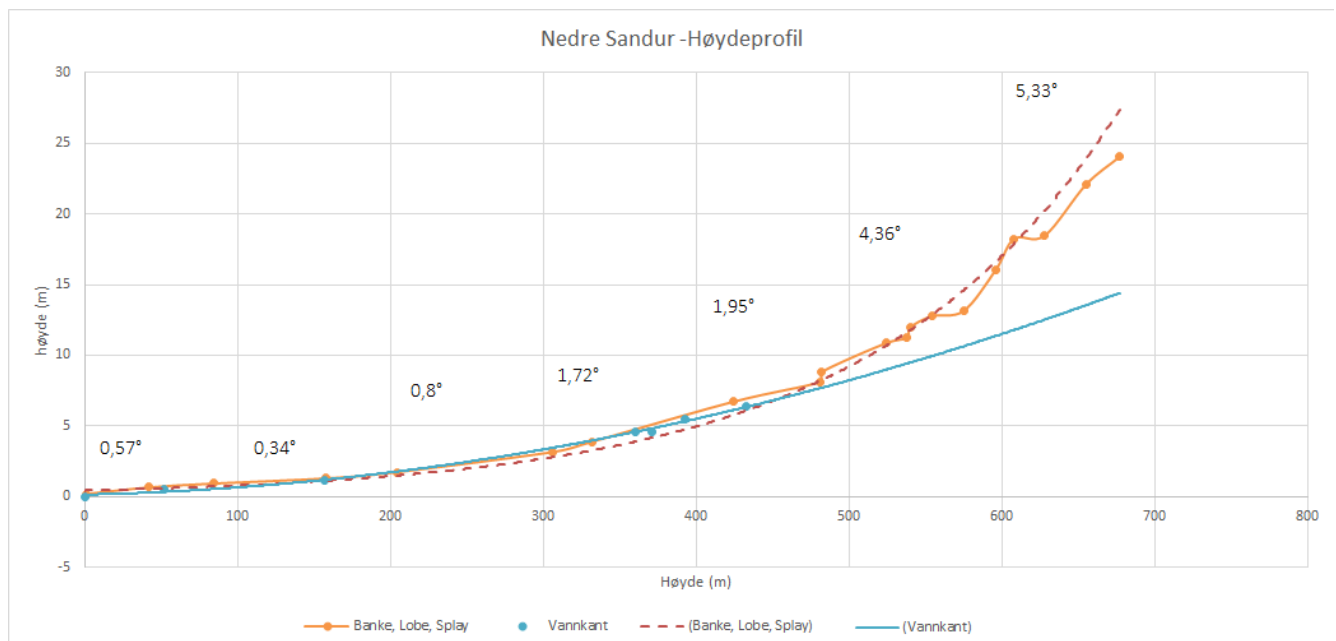
Figur 3-3: Øvre del av nedre sandur, sett mot sør. Snitt gjennom eldre morenerygg. I forgrunnen ligger en stor blokk, delvis omringet av sandurmateriale. Bilde tatt av Carina Nilsen (2014)

I punkt 3 på figur 3-2, omtrent på linje med denne moreneryggen ligger en stor blokk midt på sanduren. Den er flere ganger større enn det omkringliggende materialet. Den nederste delen av blokken ligger begravet av sandurmateriale.

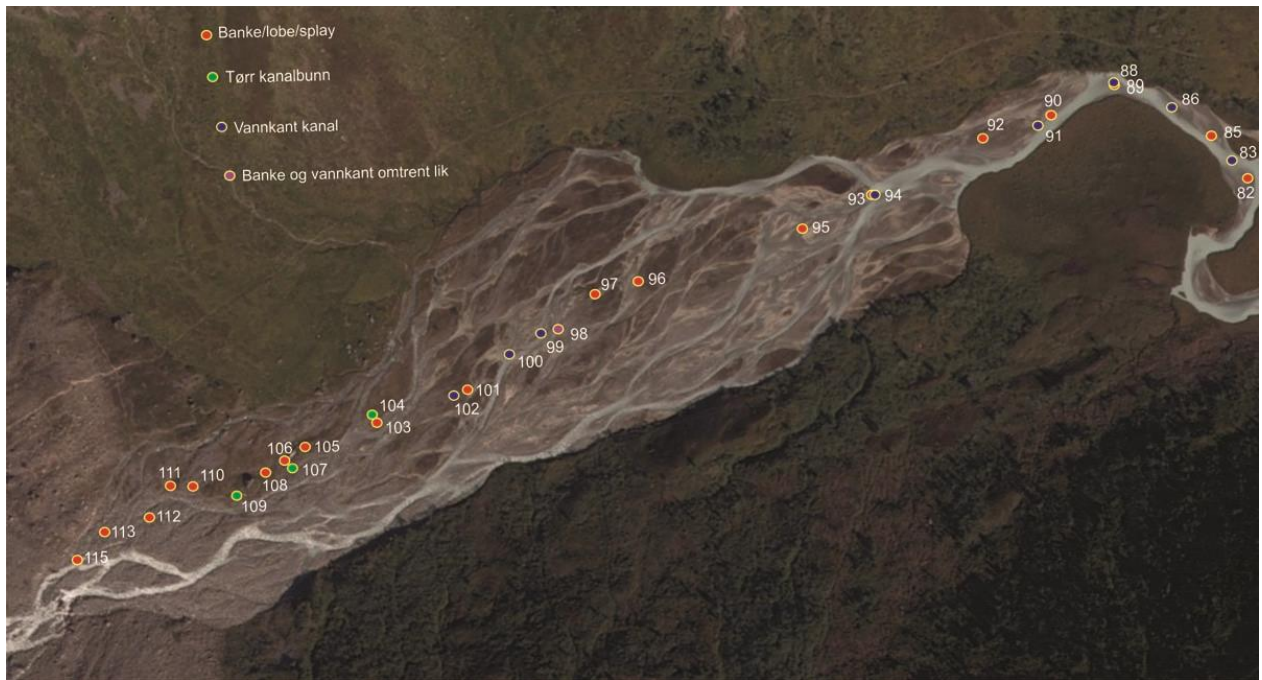
Vegetasjon: Deler av sanduren har blitt dekket av vegetasjon, hovedsakelig i form av gress. Dette gjelder spesielt på bankene på den nordlige siden. Her har flere av bankene et nærmest komplett dekke av vegetasjon, kun avbrutt av tørre kanaler som krysser bankene. På sørsiden har noen av kanalene et tynnere, begynnende dekke av vegetasjon. Dette tyder på at de ikke har vært aktivt påvirket av vann over en lengre periode, slik at vegetasjon har fått en mulighet til å kunne vokse fram.

3.1.1.1 Nivellering

Resultat fra høydemålingene foretatt over nedre sandur oktober 2014. Figur 3-5 viser hvor på sanduren målingene ble foretatt.



Figur 3-4: Høydeprofil over nedre sandur. Den oransje grafen representerer punkter som ble målt på tørre lagte deler av sanduren. Den stiplede, røde linjen viser en utjevnet graf basert på de målte punktene. De blå punktene viser høyde målt like i vannkanten. Den blå linjen er utjevnet graf over vannhøyde basert på punktene målt.

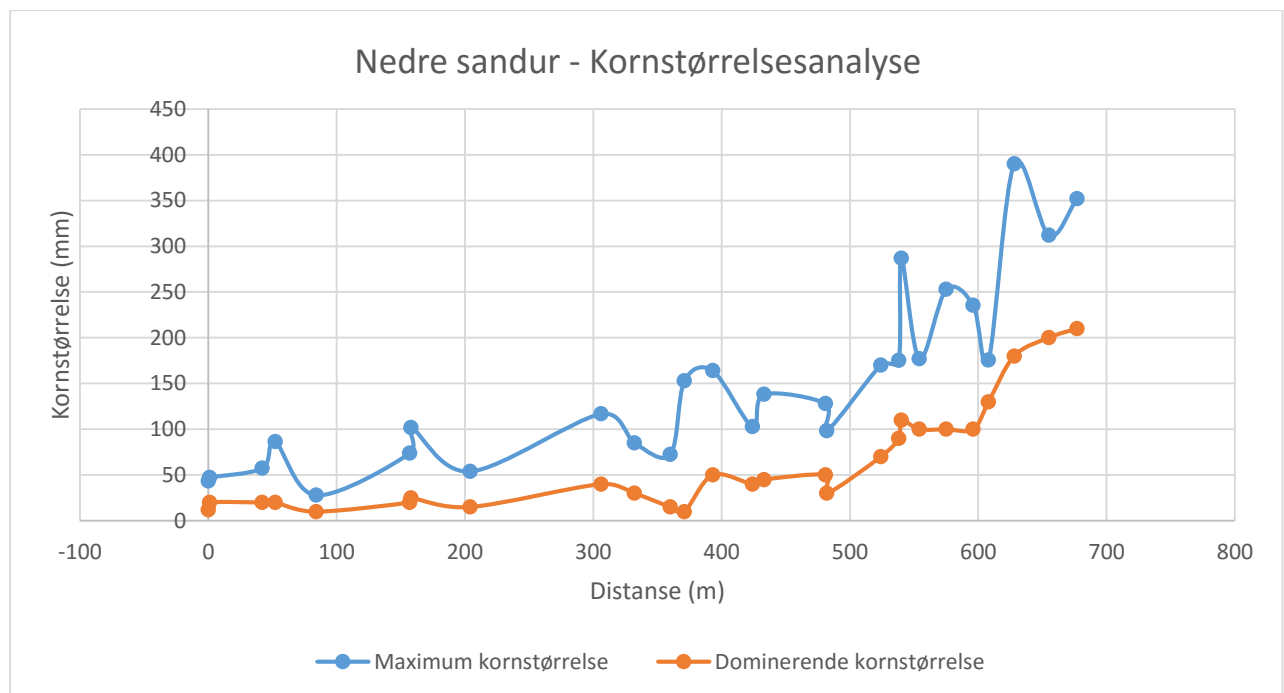


Figur 3-5: Kart som viser fordelingen av målinger under nivelleringsprosessen. Nummeret tilsvarer punktets nummer i GPS enheten.

Utregninger av gradient viser at i nedre 300 meter av sanduren er slak med en gradient under 1° . Over de neste 200 meterne øker gradienten til å ligge mellom 1° og 2° og over de neste 200 meterne øker gradienten til over 4° og 5° . Like før 500 meter skjer det en endring i profilet. Det endrer seg til å gå fra slak stigning til et mønster av bratte stigninger over korte distanser som like etterpå slakker ut for å bli skarpe igjen. Dette skjer hvor det ble målt høyden i bunnen av en kanalform og på toppen av en banke i umiddelbar nærhet.

GPS posisjoner og målt høyde fra nivelleringene ligger som egne vedlegg.

3.1.1.2 Kornstørrelsesanalyse



Figur 3-6: Maksimum og dominerende kornstørrelse beregnet på nedre sandur

Den dominerende kornstørrelsen øker jevnt fra medium grus nederst på sanduren til å bli blokk på øvre del av sanduren. Den maksimale kornstørrelsen øker fra meget grov grus til blokk. Økningen i kornstørrelse skjer noe raskere i øvre del av sanduren etter 500 meter. Grafen for maksimal og dominerende kornstørrelse på nedre sandur viser at det er en stigning i kornstørrelse jo lengre opp på sanduren man kommer.

Kornstørrelsen var meget varierende avhengig om den ble målt på sandbanker eller i kanten til en aktiv eller tørrlagt kanal. I flere av de tørrlagte kanalene ligger det et tynnere dekke av finere sand og silt som dekker overflaten mens det ligger medium til grov sand og grus under. Kanaler som har vært aktive dette året har mindre strømrifler dannet i de finere overflatesedimentene.

3.1.2 Midtre sandur

Like ovenfor skråningen ned til nedre sandur, 500 meter foran dagens brefront ligger midtre sandur. Den dekker et område på 300x120 meter. Sanduren er avgrenset fra morenematerialet med en mindre skrentkant langs den sørlige marginen og en større aktiv kanal langs den nordlige. Det omkringliggende morenematerialet skiller seg fra sanduren med å ha en synlig bratter helning som ned mot dalbunnen samt et annet mønster av dreneringsformer enn det som er på selve sanduren. Sandurens terskel er dannet i blokkig morenemateriale og har en åpning på nordsiden hvor vannet samler seg i en kanal og renner ned skråningen til nedre sandur.



Figur 3-7: Midtre sandur sett fra toppen av lille istids morene mot syd. Punktene henviser til viktige observasjoner gjort i felt. (2014)

Kanalmønster: De største kanalene befinner seg på nordsiden av sanduren. Dette gjelder både i øvre og nedre del. På øvre del av sanduren er det kun en aktiv kanal. Først på midtre del av sanduren, deler denne hovedkanalen seg opp i flere mindre forgreinede kanaler som fortsetter ned sanduren mot utløpet. Kanalene som ligger i området like ved en mindre ansamling av vann, markert som punkt 4, er diffuse og vannføringen lav.

Langs den nordlige marginene på nedre del av sanduren, ligger det enkelte tørre kanaler og kanaler med svært lav vannføring. En av disse er markert som punkt 2 i figur 3-7. I flere av disse er det i overflaten ett dekke av fint materiale, sand og silt, som ligger over sandig grus. I dette fine materiale er det små asymmetriske strømrifler. Slike rifler har svært begrenset levetid og vil som regel ikke overleve en vinter. Dette betyr at det tidligere i år må ha vært vann strømmende i disse kanalene med en viss hastighet for at slike rifler skal kunne dannes.

Sørsiden på øvre del av sanduren har ingen aktive kanaler. Her befinner det seg en suksesjon av forlatte banker og kanaler. Bunnen av de forlatte kanalene har dominerende kornstørrelse sandig, medium grus mens toppen av terrassen består av meget grov grus.



Figur 3-8: Sikte fra nedre del av midtre sandur og oppover mot vest, tilsvarer punkt 8 på figur 3-7. Hovedkanalen ligger på nordsiden av sanduren. Nederst til høyre ligger bunnen til en nå forlatt kanal. Og til venstre, toppen av en terrasse. (2015)

Strandlinjer: I sør, på nedre del av sanduren, ligger et forlatt parti, markert som punkt 3. Dette området skiller seg ut både fra morenematerialet og sanduren. Det er avgrenset fra morenematerialet med en lav skrentkant og fra sanduren med at det ligger høyere opp en sandursletten. Toppunktet på dette området ble målt som en del av nivelleringen av midtre sandur. Verdien er ikke med i den ferdige profillinjen, men ble målt til å ligge 1,5 meter over vannkanten ved sandurens utløp. Fra toppunktet ned til vannkanten, ligger en serie med strandlinjer som viser tidligere vannstand.

På sørsiden av dette toppunktet, markert som punkt 1 ligger en forlatt kanal som danner en renne til nedre sandur. Den har erodert dypt ned i morenematerialet. Denne rennen viser at på et tidligere tidspunkt har vannet på denne sanduren drenert fra sørsiden av sanduren. I dag er det kun en kanal på nordsiden som er aktiv utløp for midtre sandur.



Figur 3-9: Midtre sandur sett mot øst. På sørsiden av sanduren ligger et forlatt område med flere strandlinjer fra tidligere vannstand. På nedsiden av det forlatte området, ligger en tørr kanal som leder ned til nedre sandur. (2014)

Vegetasjon: Sandurens margin på nordsiden har et begynnende dekke av vegetasjon.

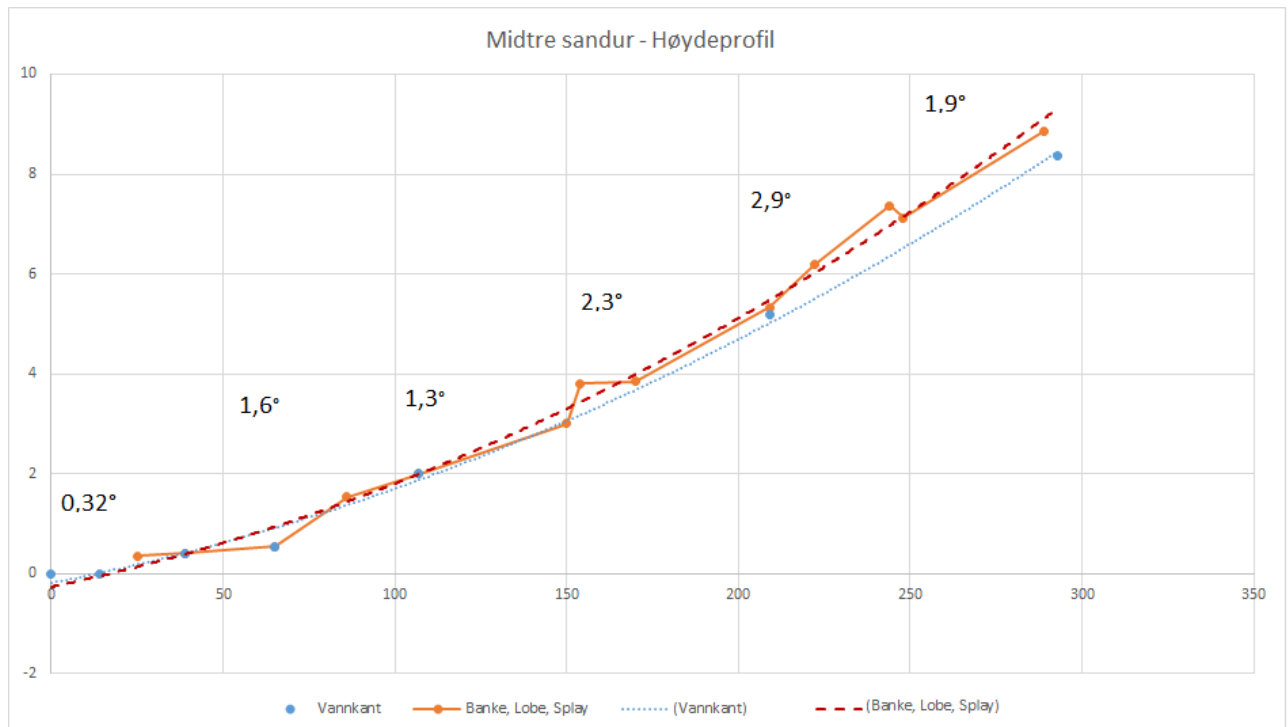
Bankene på sanduren viser ingen tegn til vekst av gress eller mose. Det forlatte området med strandlinjer har et delvis dekke av vegetasjon.

Dødis: På sørsiden i nedre del av sanduren ligger en ansamling av vann. Vannet, markert som punkt 5 i figur 3-7, har fått navnet 'den blå lagune' grunnet fargen. Innsynkningen som leder til ansamling av vann, skyldes dødis som smelter ut under sedimentene og etterlater et tomrom (Corner & Svindland, 2008).

Slukrenner: Utenfor sanduren på nordsiden, markert som punkt 7, ligger det rekker med store, forlatte dreneringskanaler som kommer ned fra moreneavsetningene. De går vinkelrett inn på sanduren og har høye skrenter på begge sidene. Disse viser hvor vann har drenert fra isen når breen lå lengre ned i dalen.

Kame-terrassekompleks: I morenematerialet utenfor sandurens margin på sørsiden, markert som punkt 6, ligger en serie med mindre, forlatte dreneringskanaler. Disse er betydelig mindre enn dreneringsrennene på nordsiden og kun en av kanalsidene har en skarpere skråningskant hvor slukrennene har utviklet to bratte skråningskanter. Terrenget skråner ned mot sanduren og disse dreneringskanalene danner en serie terrasser i terrenget.

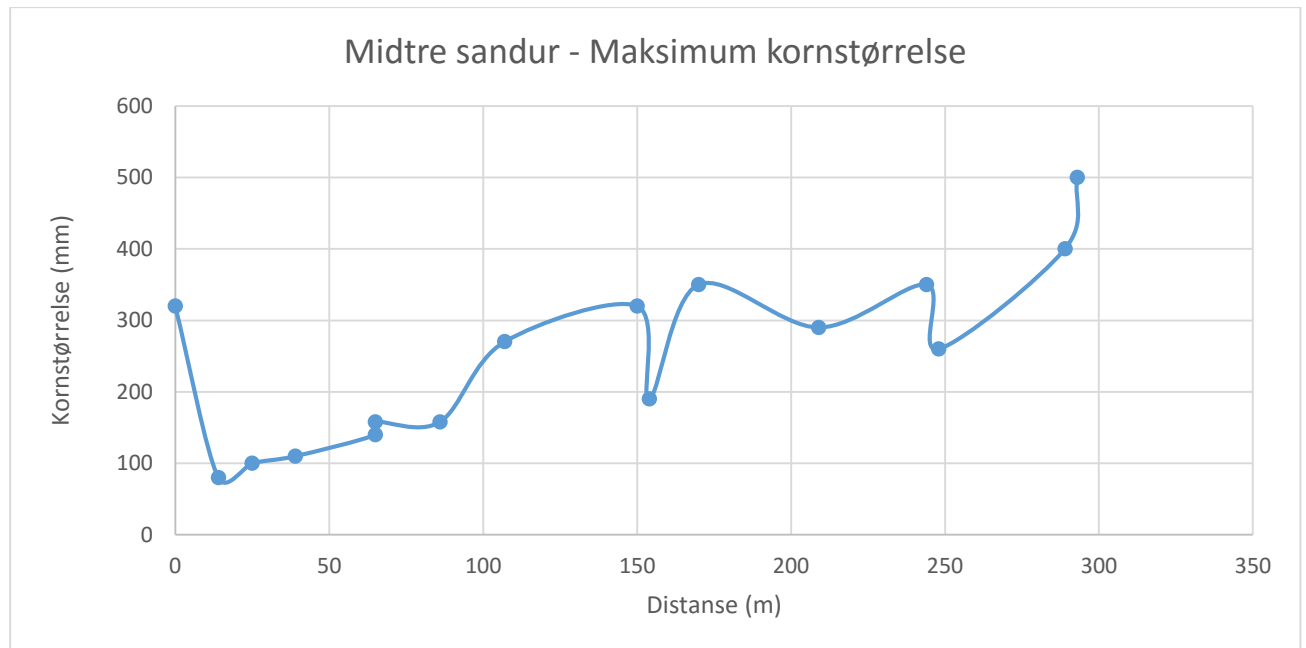
3.1.2.1 Nivellering



Figur 3-10: Høydeprofil over midtre sandur. Den oransje grafen representerer punkter som ble målt på tørrlagte deler av sanduren. Den stiplede, røde linjen viser en utjevnet graf basert på de målte punktene. De blå punktene viser høyde målt like i vannkanten. Den blå linjer er utjevnet graf over vannhøyde basert på punktene målt.

Området fra 0 -50 meter har en meget svak gradient på 0,3°. Den resterende sandurer har en jevnere gradient mellom 1,5° og 3,0°. Gradienten på vannoverflaten ligger gjennomsnittlig på 1,6°. Den heltrukne grafen får fram terrassekanter på sanduren hvor det ble målt høyde målt i bunnen av en kanalform og toppen av en banke like ved.

3.1.2.2 Kornstørrelsesanalyse



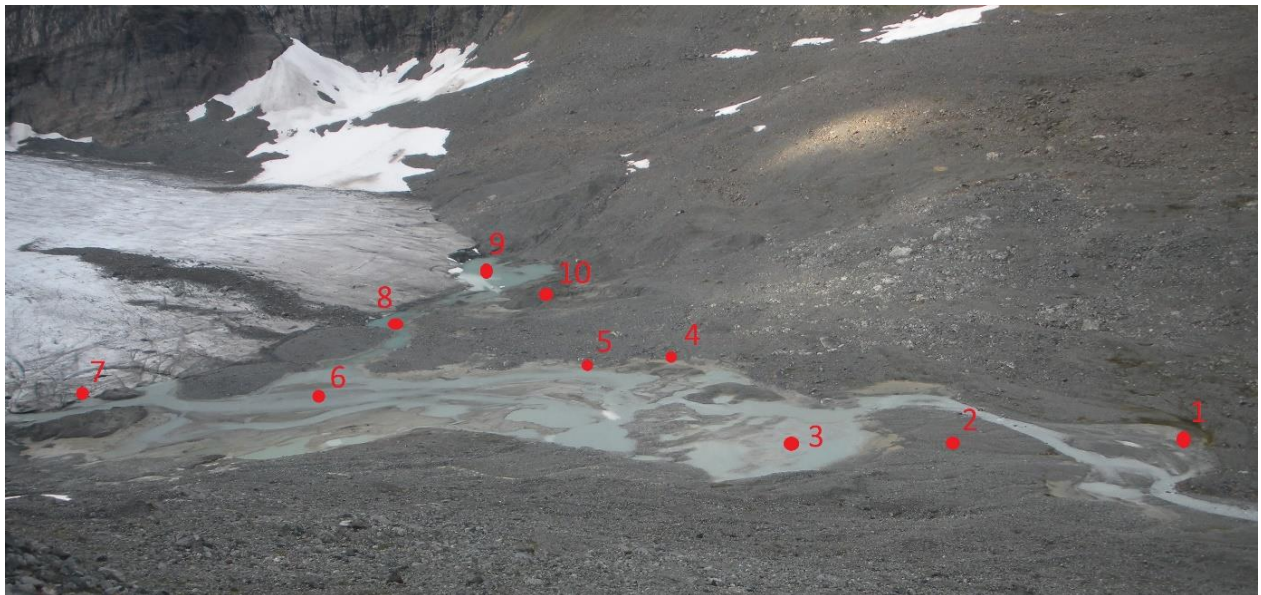
Figur 3-11: Maksimum kornstørrelse beregnet på midtre sandur

Kornstørrelsen i det første punktet representerer maksimum kornstørrelse funnet i materialet som danner terskel for sanduren. Materialet som gjør opp denne terskelen består av blokkig materiale. Med unntak av første måling er det en jevn stigning i maksimum kornstørrelse. Fra grus i nederste del av sanduren til blokk, øverst på sanduren.

Kornstørrelsen varierer avhengig av hvor på sanduren målingen ble foretatt. Bunnen av forlatte kanaler viste lavere kornstørrelser enn toppen av terrasser. I forlatte kanaler på nedre del av sanduren lå det fin sand og silt i overflaten, mens det var grovere sand og/eller grus like under.

3.1.3 Øvre sandur

Øvre sandur er lokalisert på sørsiden av dalen umiddelbart foran dagens brefront. Den er dårlig utviklet og framstår annerledes enn nedre og midtre sandur morfologisk og sedimentologisk. Den er avgrenset en liten erosiv skrentkant som skiller sanduren fra de omkringliggende moreneavsetningene. Den nederste terskelen hvor vannet samler seg for å renne ned til midtre sandur består av fast fjell i tillegg til morenemateriale.



Figur 3-12: Øvre sandur sett mot nord. Punktene henviser til viktige observasjoner gjort i felt. (2014)

Øvre sandur består av to mindre sandurer skilt av en 50 meter bred terskel, markert som punkt 2 i figur 3-12. Denne terskelen består av grove moreneavsetninger. Den øvre delen av sanduren dekker et område på 400x160meter fra brefronten ned til terskelen. Vannet samler seg i en kanal som renner gjennom denne terskelen og inn på den mindre sanduren. Det mindre sandurområdet nedenfor terskelen dekker et område på 100x75meter. Terskelen som skiller disse to delene av sanduren viser tydelige spor etter kanaler som går på tvers over terskelen fra den øvre delen til den nedre delen. Dette gjør at to delene av sanduren henger nøye sammen og derfor er definert sammen som øvre sandur.

Kanalmønster: Området avgrenset som øvre sandur er delvis oversvømt av vann. De eksisterende kanalene er brede og har lav vannføring. På denne sanduren finnes det flere mindre områder med vann ansamlet og renner med lav til nesten ingen vannføring. Et av disse områdene er markert som punkt 3 i figur 3-12.

Vannet som går ut på sanduren stammer hovedsakelig fra åpningen ved den sørlige delen av brefronten, markert som punkt 7 i figur 3-12. Her er breen oppsprukket og overflaten innsunken. Kanalen som leder herfra inneholder mindre blokker av is som har løsnet fra isbreen.

På nordsiden, helt inntil isbreen ligger det en mindre innsjø, punkt 9 i figuren. Supraglasiale og englasiale kanaler fra isen drenerer ut i denne innsjøen. Det er ett mellomrom mellom isfronten og vannet i innsjøen som viser at breen helt fremst ikke hviler på bunnmorenen, men ligger ute i vannet. Den smelter derfor både fra oversiden og undersiden.

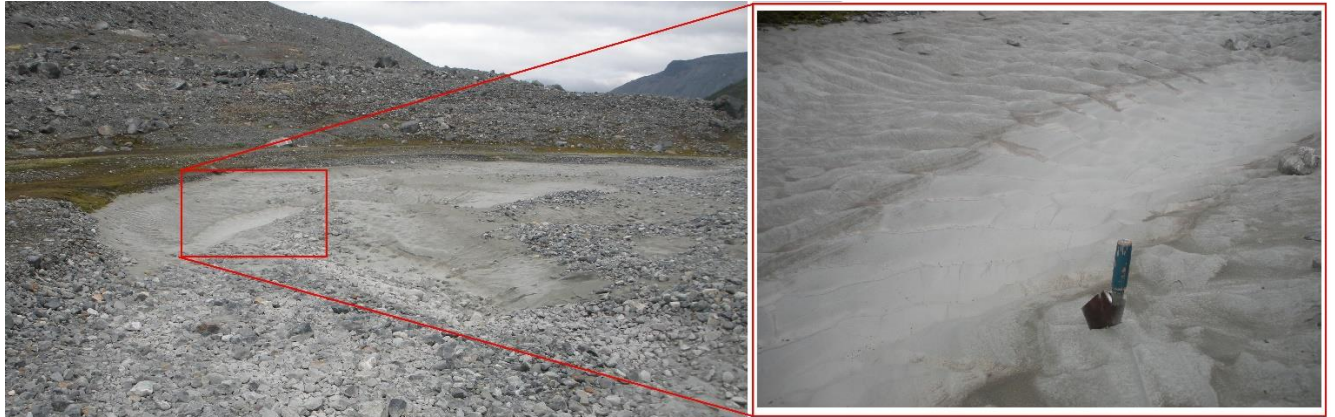
Vannet fra denne innsjøen går i en kanal langs brefronten. Denne kanalen er markert som punkt 8 og møter sanduren ved punkt 6, hvor sandurens hovedkanal går. I 2014 var denne kanalen mindre og bidro lite til det totale mengden med vann på sanduren. Det kom fram ved at vannet fra innsjøen på den nordlige siden var mørkere enn vannet fra sørsiden som var hvitt på grunn av alt breslammet det inneholder. I 2015 hadde denne kanalen blitt betydelig større og har samme farge som vannet på sanduren.

I de fine sedimentene, fin sand og silt som dekker overflaten langs sandurmarginen, er det flere ministrandlinjer som indikerer tidligere vannstand. Slike former overlever som regel ikke over lengre tid når det er eksponert, noe som betyr at disse strukturene ble dannet dette året. Det er omtrent $\frac{1}{2}$ meters forskjell mellom den høyeste strandlinjen og dagens vannstand (august 2014). Dette betyr at når dreneringen fra breen er på sitt høyeste ligger vannstanden betydelig høyere enn nærmere slutten av smeltesesongen.



Figur 3-13: Ministrandlinjer langs den nordlige sandurmarginen (2014)

Langs marginen finnes de også flere tørre kanaler. En av disse tydelige kanalene er markert som punkt 1 på figur 3-12 enn annen som punkt 4. I overflaten ligger det fine sedimenter, fin sand og silt. Like under er det fin til medium sand. I de fine avsetningene på overflaten er det tydelige strømrifler. Siden slike overflateformer har kort levetid vil det bety at det tidligere på året har gått en større kanal gått her med stor nok vannføring til å danne slike rifleformer.



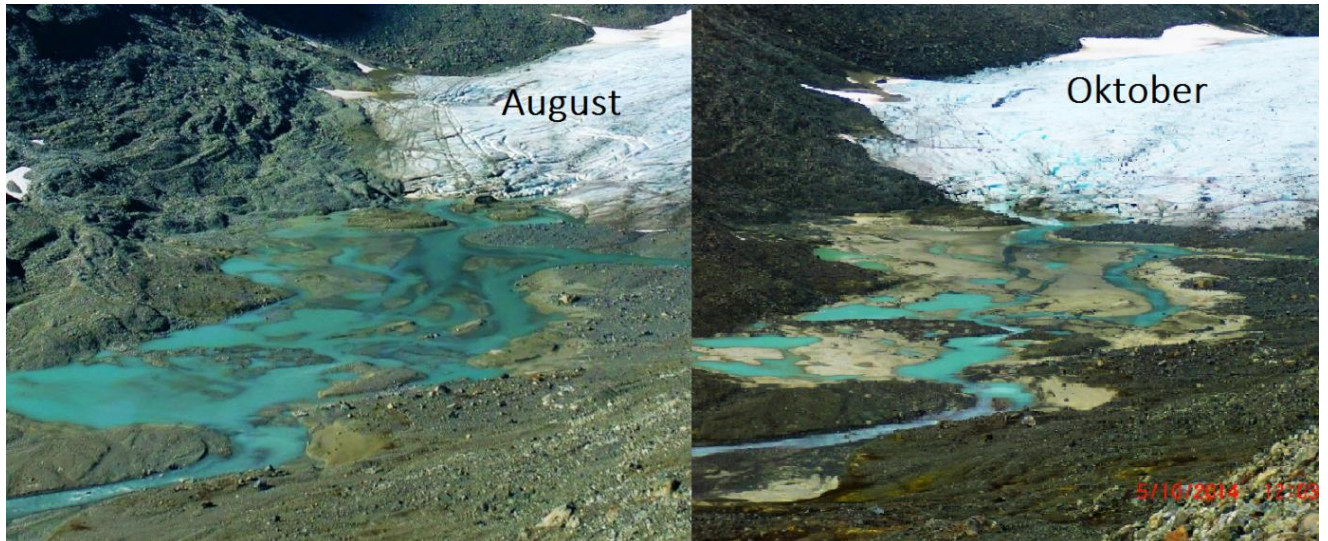
Figur 3-14: Kanal langs nordlig sandurmmargin med strømrifler i overflaten. (2014)

Ved punkt 5 ligger en større blokk omringet av finere materiale. Den viser 'obstacle scour'. Dette skjer når vann med høy hastighet støter på et objekt det ikke kan flytte på. Sedimentene like rundt objektet blir erodert bort og etterlater en fordypning rundt objektet.



Figur 3-15: Større blokk langs sandurens nordlige margin som har dannet obstacle scour. (2014)

Breen ble i 2014 besøkt både i august og i oktober. I august lå temperaturene over nullpunktet og breen smeltet aktivt. I oktober var temperaturene sunket nærmere frysepunktet. Vannet ansamlet på nordsiden, like foran breen har frosset til. I oktober er det betydelig mindre smeltevann tilstede på sandursletten enn i august.



Figur 3-16: Øvre sett mot øst. Det er betydelig større mengder vann på sanduren i august enn i oktober. Fargene på bildene er manipulert for å få fram blåfargen til vannet. (2014)

Vegetasjon: Den øvre del av sanduren som befinner seg over terskelen har ingen tegn til vegetasjon. Delen av sanduren under terskelen har begynnende dekke av vegetasjon helt i marginene. Punkt 1 i figur 3-12 viser til en av de tørrlagte kanalene på nedre del av sanduren. Marginen av denne kanalen har et begynnende dekke av vegetasjon.

Kornstørrelser: Bankene ute på sanduren er utilgjengelige grunnet mengdene vann og ikke tilgjengelig for nærmere undersøkelser. Materialet over sandurområdet er meget variabelt i kornstørrelse. Noen av bankene som stikker opp består av grus og grov sand. Bankene som er lavere og så vidt ligger over vannivå er dekket av fin sand og silt.

Det er en betydelig større mengde med fin sand og silt synlig på overflaten enn i de nedre sandurene. Langs marginen er det deler av sanduren som ikke er dekket av vann siden vannstanden er lavere enn ved tidligere tidspunkt på året. Der kommer det fram at det finnes store blokker omringet av sanden og grusen som senere har blitt avsatt av breelvene. Overflaten viser fin sand og silt, mens et par cm under dominerer medium til grov sand.

Kame-terrassekompleks: På sørsiden av sanduren ligger det morenemateriale som heller ned mot sandursletten. I dette morenematerialet ligger en serie med laterale renner. Disse avsetningene henger sammen med de lignende avsetningen på sørsiden av midtre sandur. Selv om disse avsetningene har vært påvirket av breelvaktivitet, noe som kommer fram av kanalformen, utgjør de ikke en del av sanduren. Materialet har blitt mindre bearbeidet og kanalene har kun vært aktive en kort periode før de har blitt forlatt.

Dødis: Landskapet foran brefronten er kraftig preget av dødis. Punkt 10 i figur 3-12 viser til posisjonen for en rekke store hauger med kjerne av is. Det ligger enkelte blokker av is separert fra isen som har brukket løs fra brefronten.



Figur 3-17: Hauger av sediment ved øvre sandur fylt med kjerner av is (2014)

Rasmateriale: like foran breen på sørsiden av sanduren kommer det en debris flow ned i fra fjellsiden. Den har en lobe som ned til det som utgjør nedre sandur. Fjellsiden viser spor av flere slike debris flows som går ned de steile fjellsidene, men de fleste stopper før de når ned til sanduravsetningene.

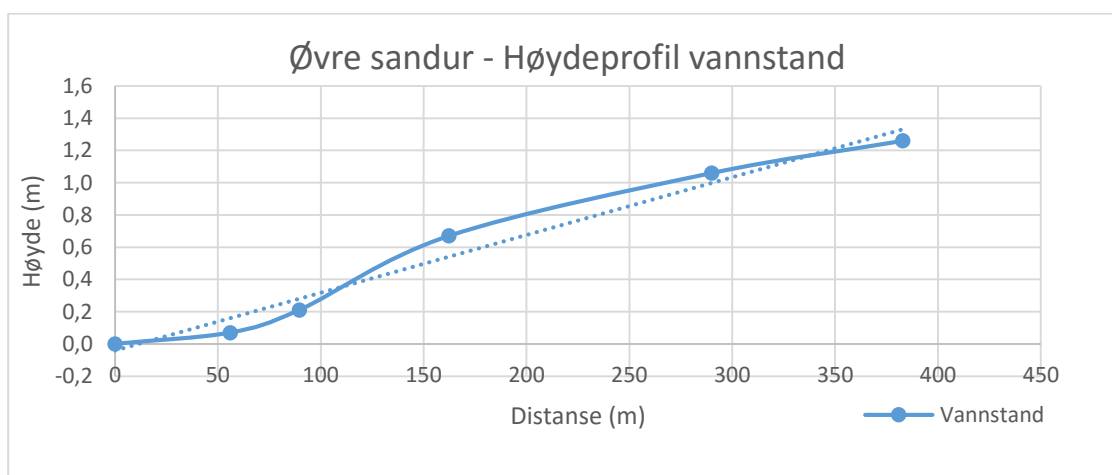


Figur 3-18: Øvre sandur sett mot sørøst. En debris flow kommer ned fra fjellsiden og har en lobe som går ned helt til sandurmarginen. (2014)

3.1.3.1 Nivellering

Øvre sandur består av to mindre sandurområder. Den nedre delen dekker kun en distanse på 76 meter. Derfor ble kun noen få punkter målt. Denne nederste delen av sanduren en stigning i relativ vannhøyde på 0,1 meter over en distanse på 76 meter. Dette tilsvarer en gradient lavere enn $0,1^\circ$.

Øvre delen av sanduren strekker seg over et større område og derfor er noen flere punkter målt. Denne har en stigning i relativ vannhøyde på 1,3m over en distanse på 383 meter. Dette tilsvarer en gjennomsnittlig gradient over sanduren på $0,19^\circ$. Tørrlagte deler av sanduren ble ikke målt siden kun den nordlige marginen var fremkommelige.

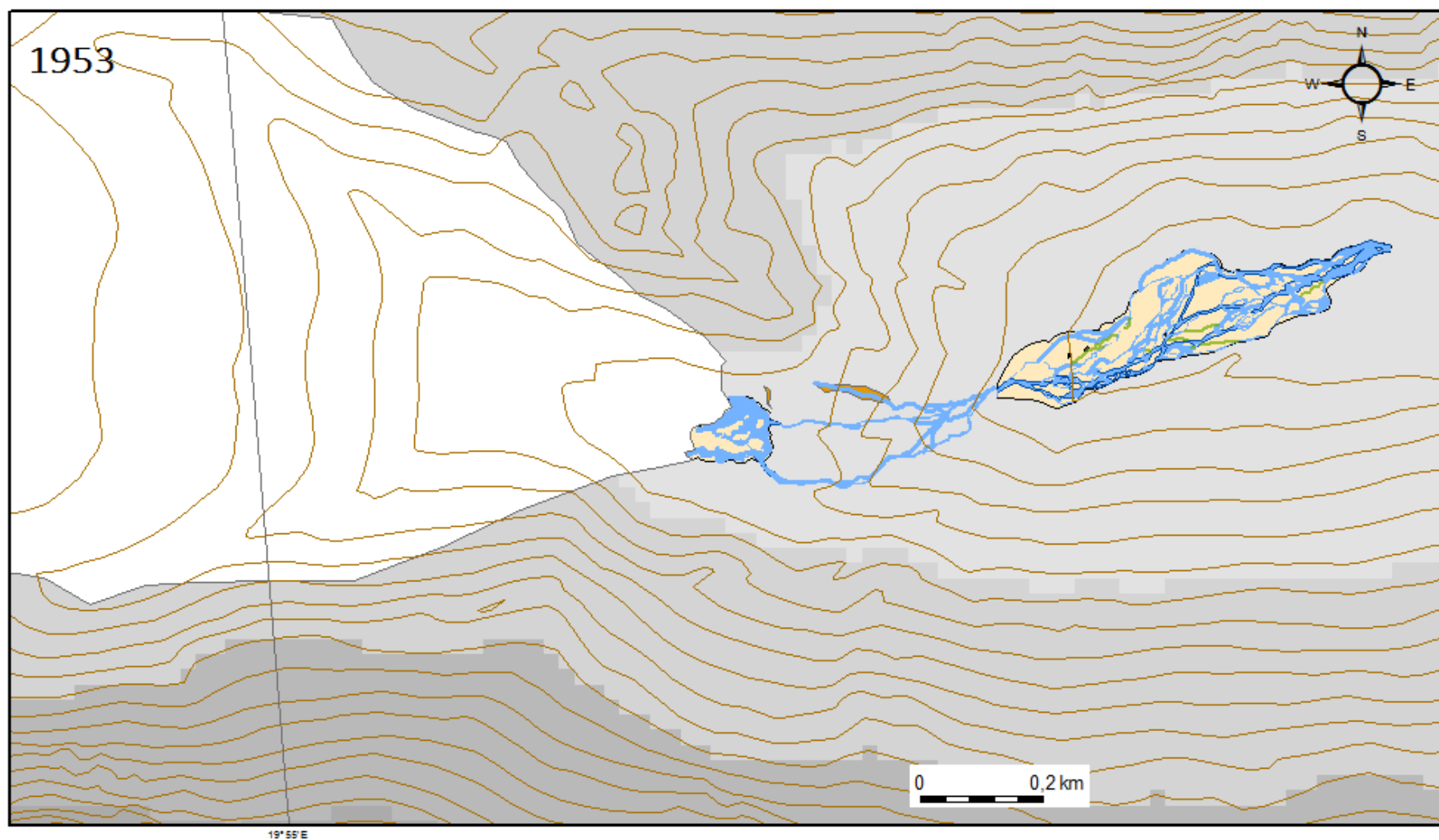


Figur 3-19: Høydeprofil over øvre sandur. Den heltrukne blå linjen representerer høyde målt i vannkanten. Den stiplede linjen viser en utjevnet linje for vannstand.

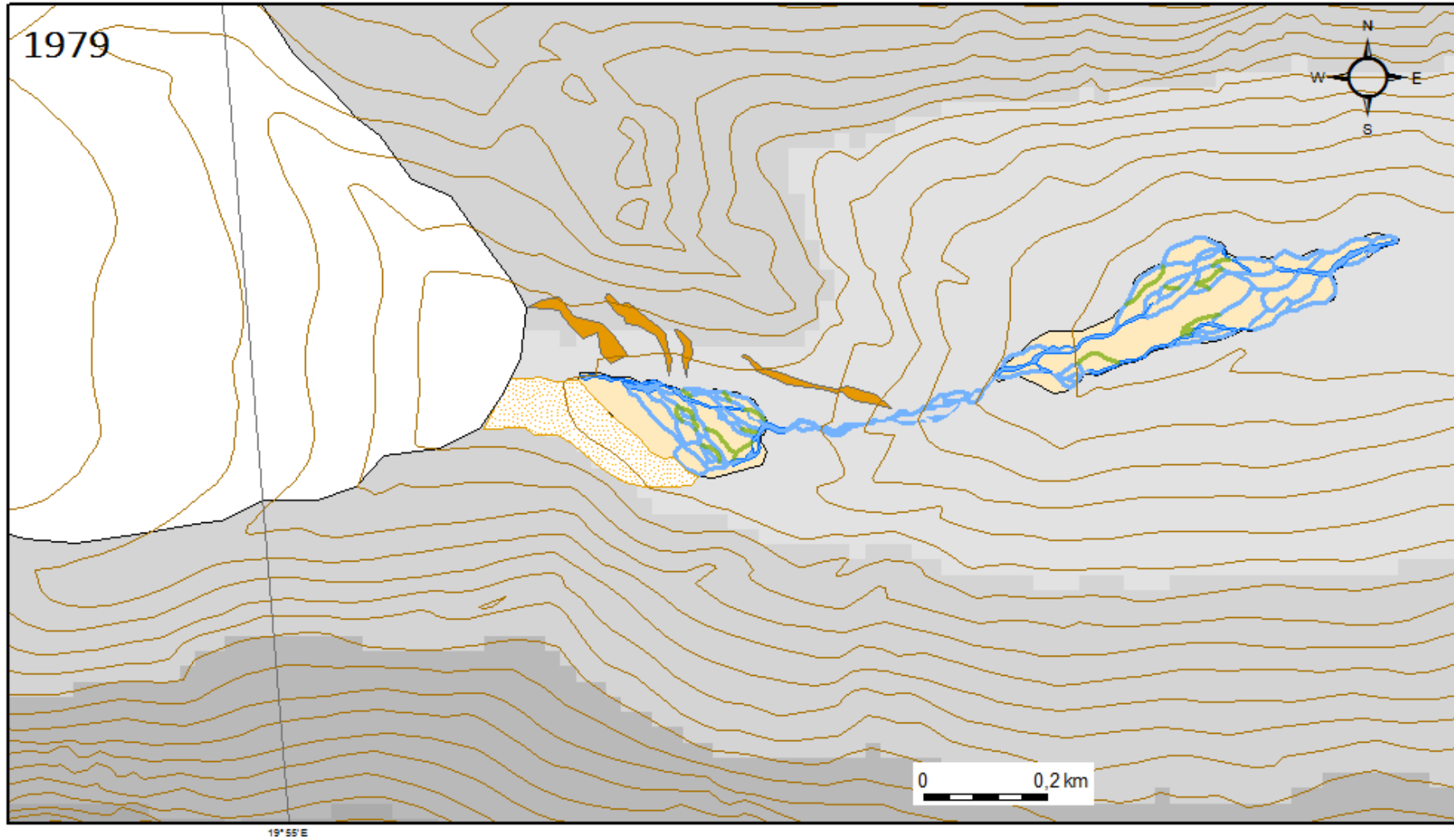
3.2 Sandurenes utvikling mellom 1953 og 2015

Figur 3-20 til 3-24 viser kartblad over sandurenes utbredelse og viktige formelementer som stammer fra et bestemt kartutsnitt fra årene: 1953, 1979, 1993, 2006 og 2011. Komplette tegnforklaring finnes på figur 3-24 som er utsnittet fra 2011. Etterpå følger et nærmere innsyn på hver enkelt sandurslette med kart og beskrivelse over deres utvikling fra 1953 til 2015.

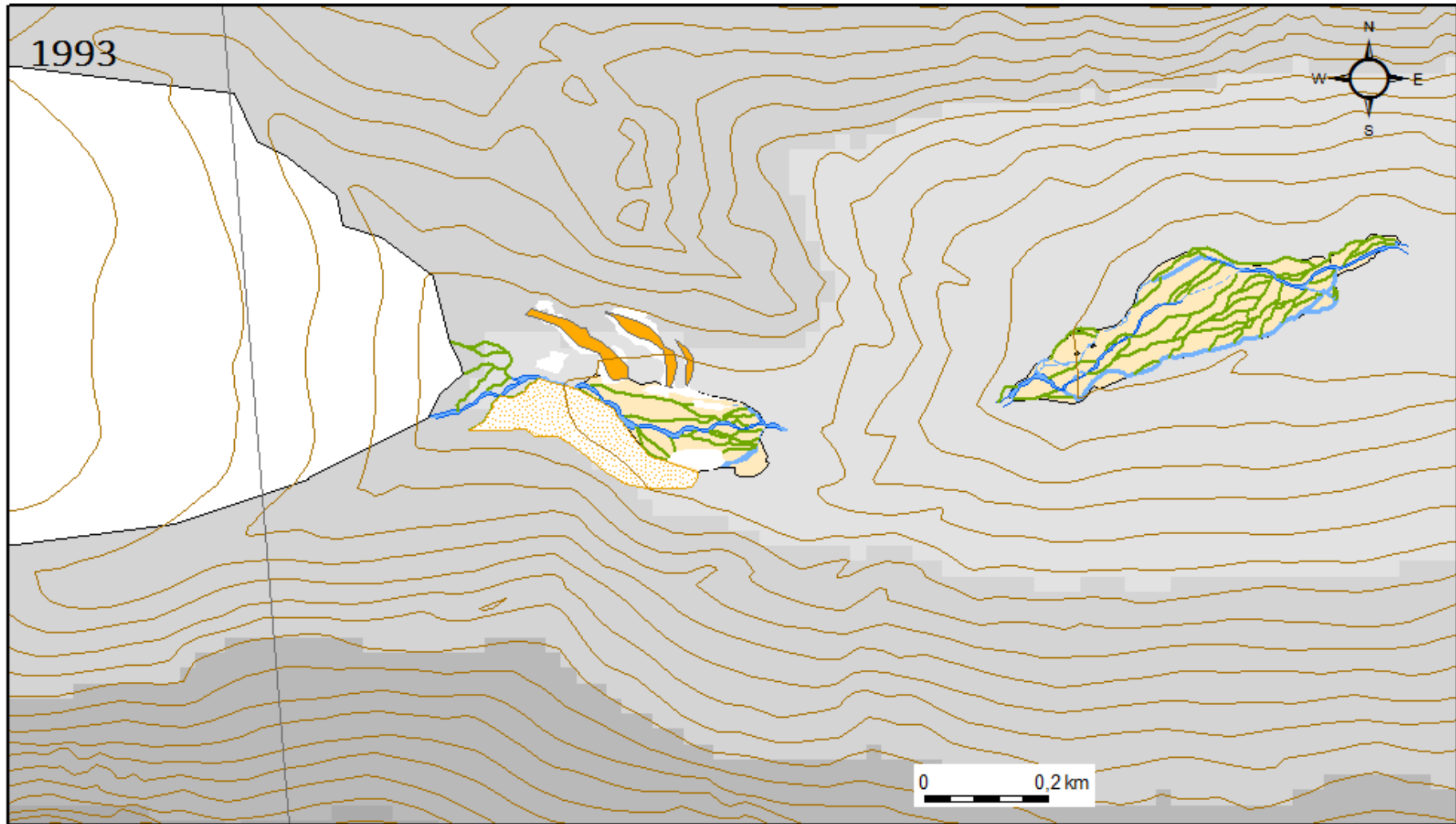
Det framkommer noe divergens i formen på de store dreneringskanalene like utenfor sandurene som ikke er tilfelle i virkeligheten. Dette skyldes at bildene er tatt på forskjellig årstid og tidspunkt og skyggeleggingen varierer. Kanalene på selve sandursletten er mindre i størrelse og skyggeleggingen påvirker ikke deres framstilling på flybilder i stor grad. Flybildet fra 1993 viser et delvis dekke av snø som skjuler dreneringsformenes fullstendige utbredelse og deler av sandurområdet på midtre sandur.



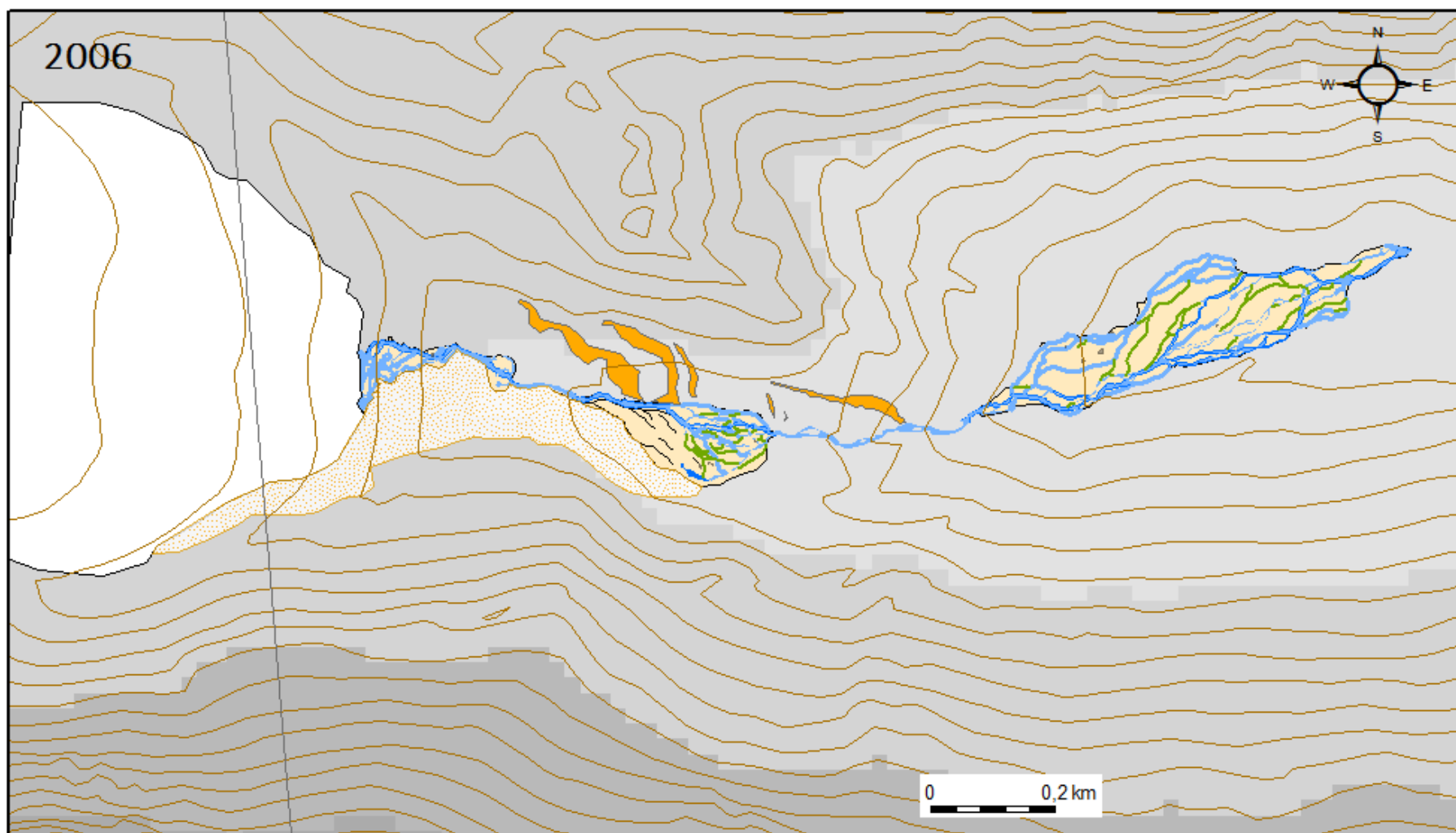
Figur 3-20: Sandurmorfologi og utbredelse 1953, basert på flybilder.



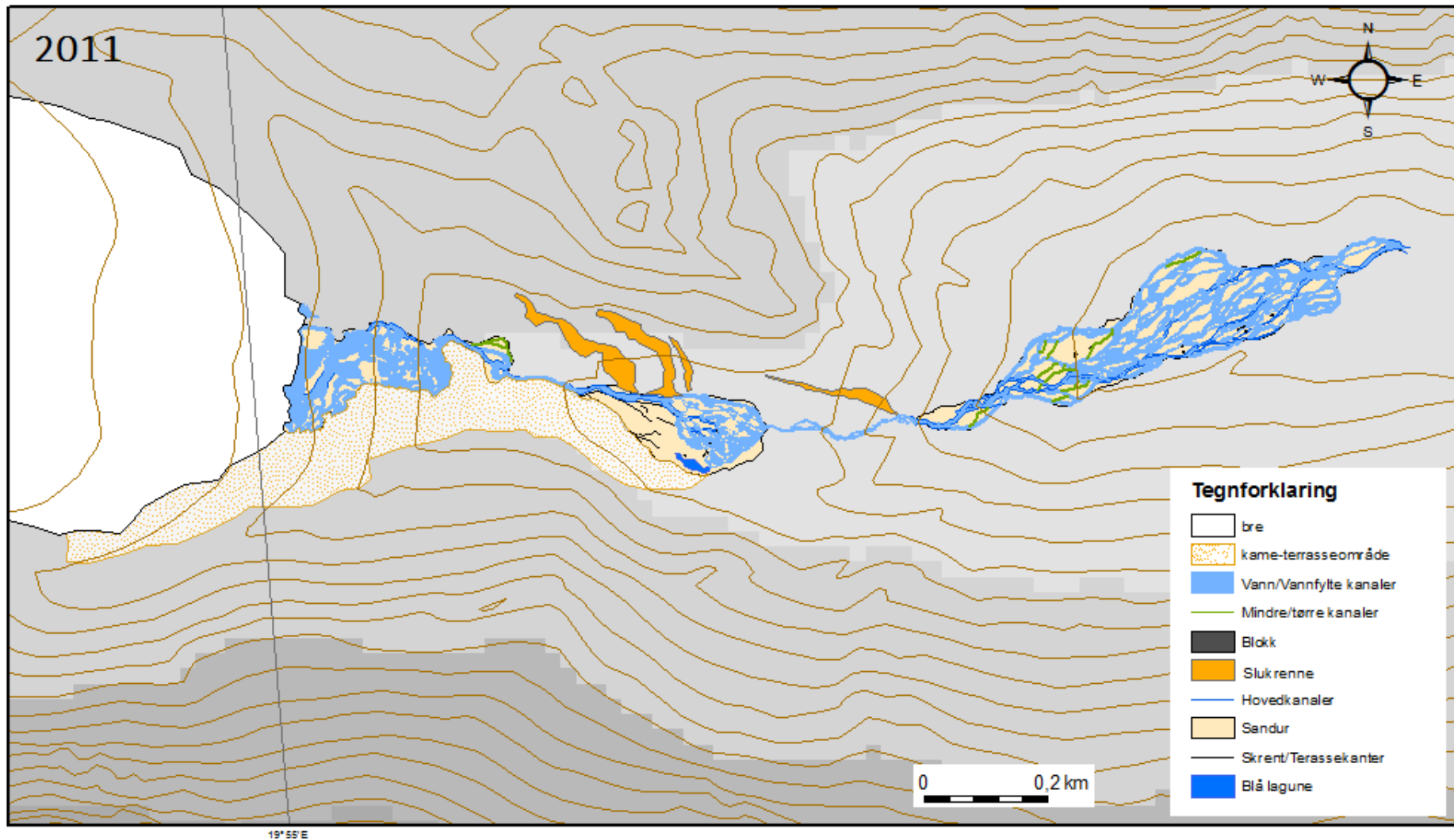
Figur 3-21: Sandurmofologi og utbredelse 1979, basert på flybilder.



Figur 3-22: Sandurmorfologi og utbredelse 1993, basert på flybilder.

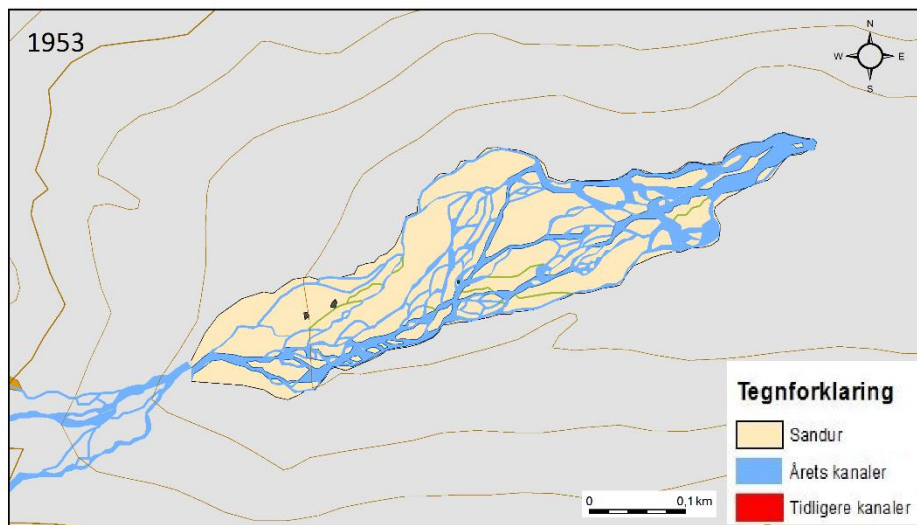


Figur 3-23: Sandurmorfologi og utbredelse 2006, basert på flybilder.

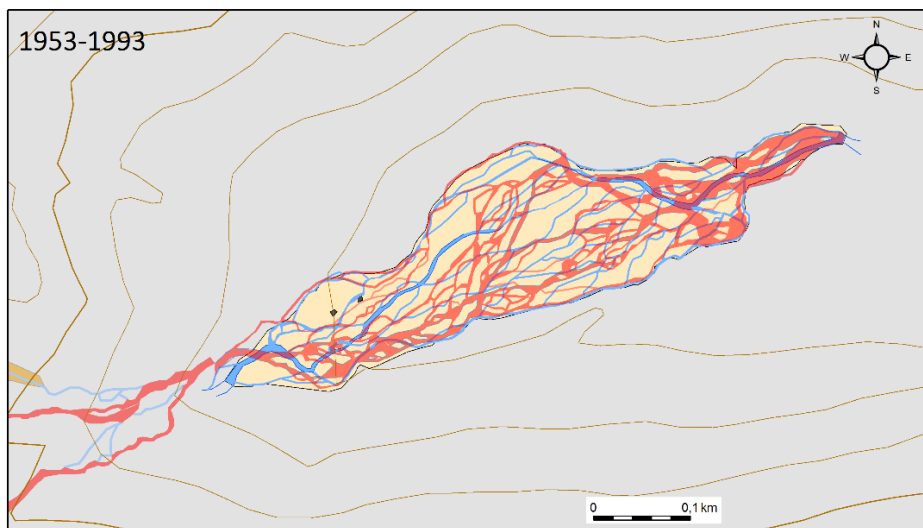


Figur 3-24: Sandurmorfologi og utbredelse 2011, basert på flybilder.

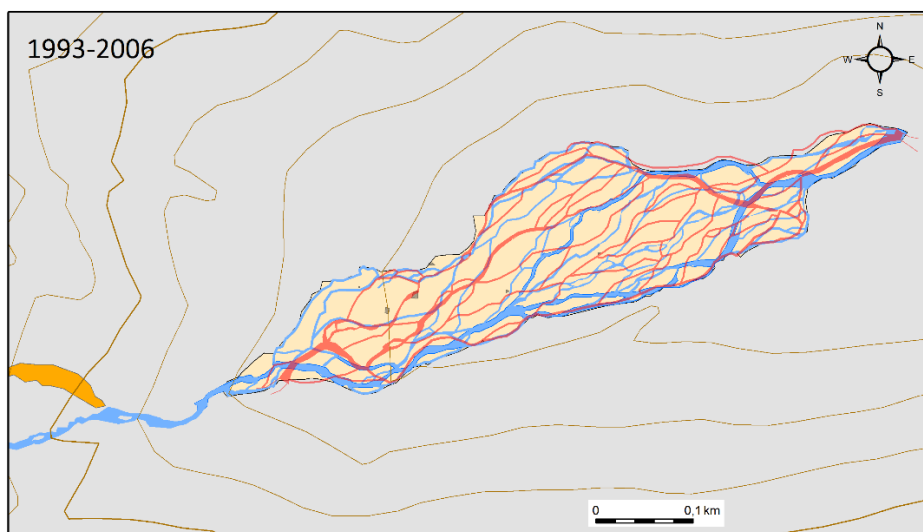
3.2.1 Nedre Sandur



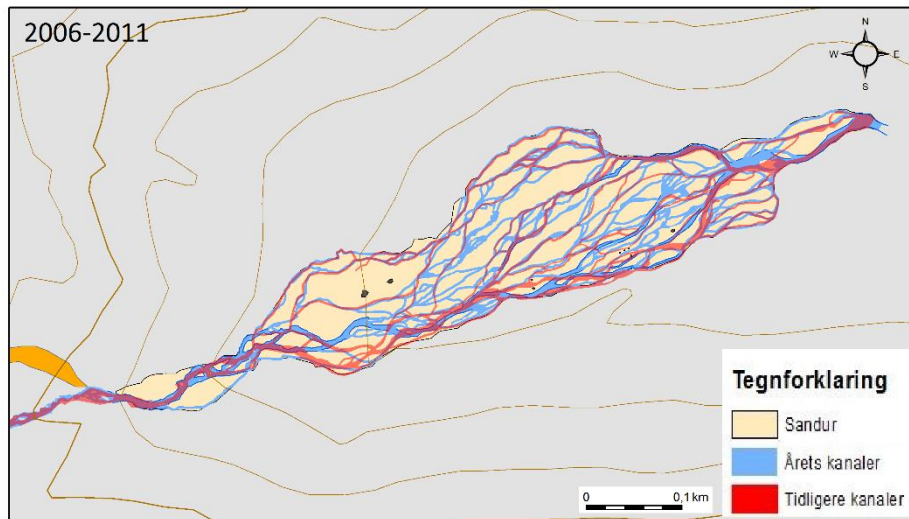
Figur 3-25: Sandurmorfologi og utbredelse for nedre sandur 1953, basert på flybilder.



Figur 3-26: Sandurutvikning på nedre sandur fra 1953 – 1993, basert på flybilder.



Figur 3-27: Sandurutvikning på nedre sandur fra 1993 – 2006, basert på flybilder.



Figur 3-28: Sandurutvikning f nedre sandur fra 2006 – 2011, basert på flybilder



Figur 3-29: Nedre sandur sett mot øst (2015)

I 1953 lå hovedkanalene i øvre del på den sørlige siden av sandursletten. Omtrent 300 meter ned på sanduren deler hovedkanalene seg i 3 mindre kanaler og renner på både sør og nordsiden av området. På de nedre 200 meterne slår flere store og mindre kanaler seg sammen før de renner i en samlet kanal ut fra sandurområdet. I nedre del av sanduren er enkelte av kanalene noe diffuse og det kommer fram noen ansamlinger av vann.

Vannet som renner inn på nedre sandur, kommer fra to kanaler ovenfor sanduren som stammer fra midtre sandur. I tillegg finnes det en dyp dreneringsrenne som renner parallelt med den nordlige av disse kanalene. Denne rennen er dypest lengst ned mot sanduren og blir mindre lengre opp. Den kan i flybildet fra 1953 spores nesten helt tilbake til brefrontens. Vannføringen er mye lavere i rennen enn i de andre to kanalene fra midtre sandur. De tre tilførselskanalene slår seg sammen på skråningen like før sandur tre hvor de deles opp igjen.

På både nord og sørsiden av sanduren er det tilførsel av vann fra fjellsidene. I øvre del på nordsiden av sanduren renner det enkelte kanaler som stammer fra fjellsiden og renner uavhengig av vannet fra breelven. Vannet har en annen farge siden det ikke inneholder breslam. Disse kanalene slår seg etter hvert sammen med breelven 300 meter ned på sanduren.

Mellom hovedkanalene ligger det større banker. Noen av dem har en mørkere farge som kan antyde at det er et dekke av vegetasjon på disse. På øvre del av sandur ligger to større blokker omtrent på linje med en eldre morenerygg krysser breelvsletta.

I 1993 ligger hovedkanalen midt på sandursletten i øvre del. I midtre del, veksler kanalen til nordsiden. I nedre del bytter hovedkanalen til å gå på sørlig side. Det går også en større kanal langs hele marginen på sørsiden. Kanalene øverst på nordsiden stammer fra kanaler fra fjellsiden. De har en annen farge enn hovedkanalene siden de ikke hoder breslam. De større bankene midt på sanduren og på nordsiden har et dekke av vegetasjon.

Det er kun den nordlige av to kanaler fra midtre sandur som leder vann ned til nedre sandur.

Flybildene fra 1953 og 1993 passer for det meste godt sammen. Feilmarginen i nedre og midtre del av sanduren kan ligge mellom 0-50 cm. I de øverste 100 meterne er feilmarginen betydelig høyere, opp mot 2 meter. Dette gjør at kanalene i øverste del av sanduren ser ut til å være lokalisert lengre nord enn deres egentlige posisjon. Feilplasseringen skyldes georefereringsfeil siden bildet ble referert manuelt.

I 2006 går hovedkanalen langs den sørlige marginen på sanduren. 300 meter ned deler hovedkanalen seg i to og den ene går over til den nordlige marginen. 600 meter ned går disse to kanalene sammen og følger den sørlige marginen. Langs øvre og midtre del på nordsiden går det kanaler med en annen farge på vannet som stammer fra smeltevannskanalene fra fjellsidene.

På midtre del av sanduren og langs den nordlige delen har bankene et dekke av vegetasjon bestående av gress og mose. Vegetasjonsdekket er ikke kontinuerlig, men er avbrutt av tørre kanaler som krysser bankene.

Flybildene fra 1993 og 2006 passer meget godt overens. Det er en liten feilmargin mellom disse flybildene som skyldes manuell georeferering. Feilmarginen ligger mellom 0-50cm.

I 2011 ligger hovedkanalene i øvre og midtre del av sanduren på nordsiden. 300 meter ned i midtre del deler hovedkanalen seg inn i flere mindre kanaler. En del av denne forsetter langs den sørlige marginen. I nedre del slår flere mindre kanaler seg sammen og en ny hovedkanal renner langs den nordlige marginen. Hovedkanalen veksler til å ligge langs den sørlige marginen i den nederste 150 meterne.

På nordsiden i øvre og midtre del av sanduren, har de fleste bankene et dekke av vegetasjon. På nedre del er det flere kanaler på sørsiden som også har fått et dekke av vegetasjon. Vegetasjonsdekket er enkelte steder avbrutt av tørre kanaler.

Flybildene fra 2006 og 2011 er lastet ned ferdig georeferert fra Norge i bilder og har derfor en minimal feilmargin mellom hverandre. Endringer som forekommer mellom sanduren mellom disse to årene er derfor hovedsakelig reelle.

I 2015 går de dominerende kanalene på sørsiden av sanduren. En av de større kanalene går langs den sørlige marginen og eroderer i avsetningene som grenser sanduren. Noen av kanalene på nordsiden har en annen farge enn resten. Grunnen er at de består av vann som kommer fra fjellsiden og ikke inneholder breslam.

Det er flere større og mindre banker over hele sanduren. Flere av de større bankene er krysset av tørre kanaler eller kanaler med svært lav vannføring. I nedre og midtre del av sanduren har de fleste bankene et delvis dekke av vegetasjon. I øvre del er det et begynnende dekke av vegetasjon på flere av bankene. Dekket av vegetasjon er mindre på de sørlige bankene over hele sanduren.

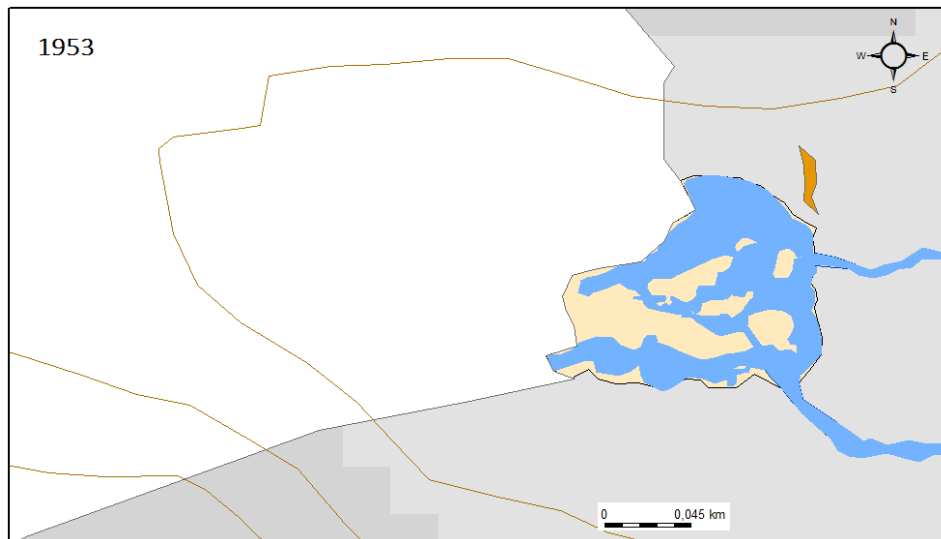
3.2.1.1 Endringer på nedre sandur 1953 – 2015

I løpet av perioden 1953 til 2011 har ikke sandurens størrelse endret seg i stor grad. Hovedkanalene som er lettest å spore i flybildene har tydelig endret kanalløp. De største kanalene har vekslet mellom å ligge nord på sanduren, midt på eller på sørsiden. Fra 2006 har de største kanalene ligget på den sørlige siden. De mindre kanalene er vanskeligere å spore presist, men har også endret løp i tidsrommet mellom de ulike flybildene. Observasjoner i felt 2014/2015 viste at flere av de tørre bankene er krysset av tørrlagte kanaler.

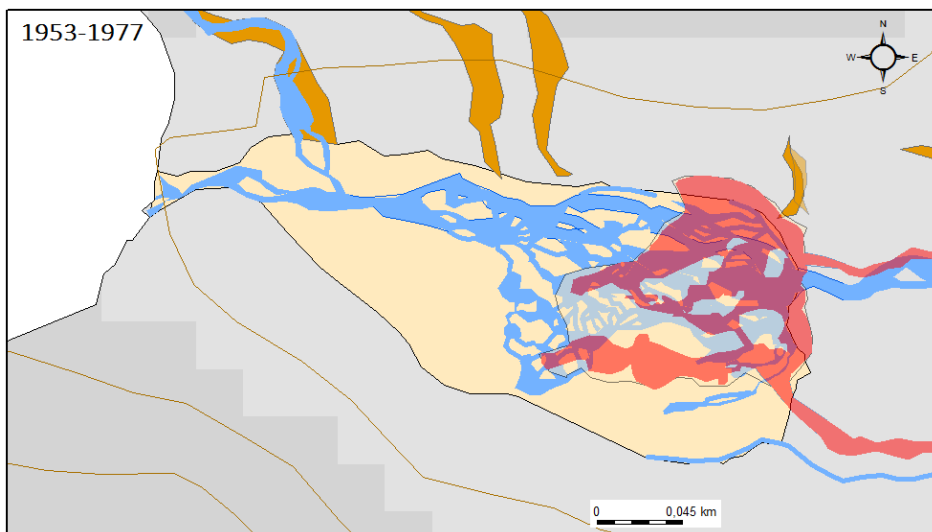
I 1953 ble det ledet vann til nedre sandur fra to kanaler fra midtre sandur. I 1993 er det kun den ene av dem som er aktive. Dreneringsrennen som ligger parallelt med den aktive kanalen fra midtre til nedre sandur, var aktiv i 1953. Denne har ikke vært synlig aktiv i noen av de senere flybildene.

Bankene har fått et stadig økende dekke av vegetasjon. I 1993 kommer det fram at de største bankene på midtre del av sanduren og nordlige banker har et dekke av vegetasjon. I 2006 har det kommet vegetasjon på noen av de sørlige kanalene. I 2015 har de fleste bankene et dekke av vegetasjon, eller et begynnende dekke.

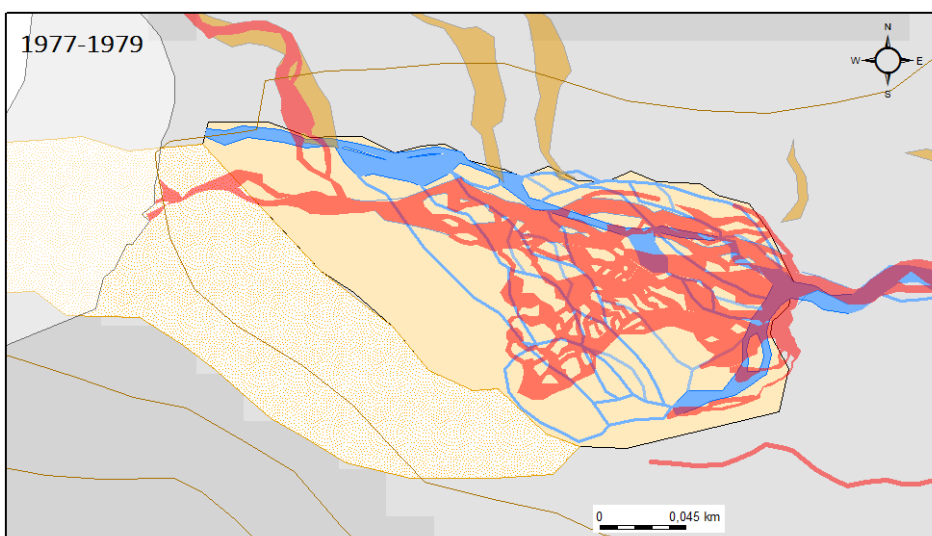
3.2.2 Midtre Sandur



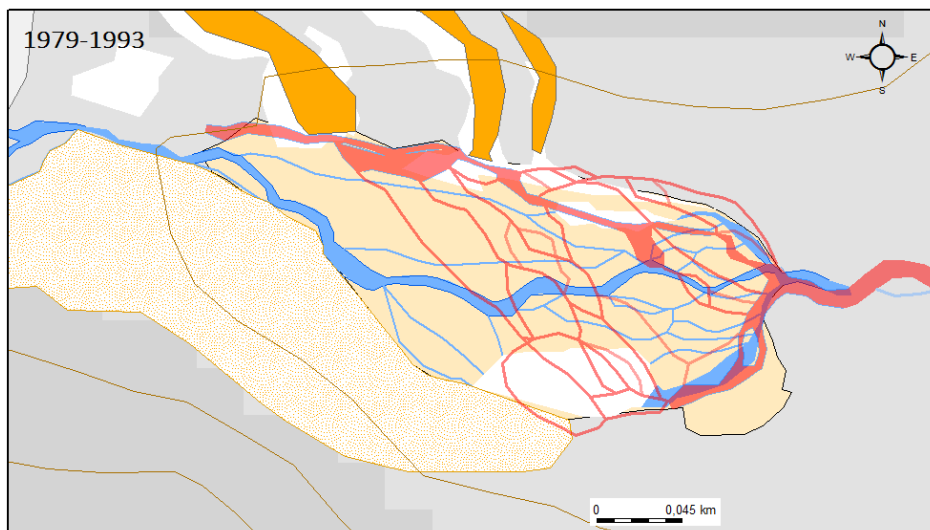
Figur 3-30:
Sandurmorfologi
og utbredelse på
midtre sandur,
1953 basert på
flybilder.



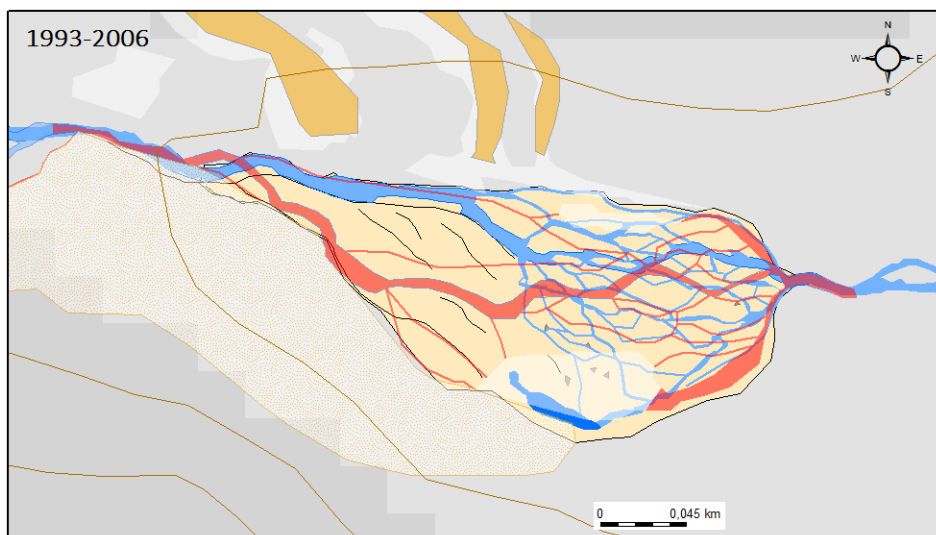
Figur 3-31:
Sandurutvikning på
midtre sandur fra
1953 – 1977, basert
på flybilder



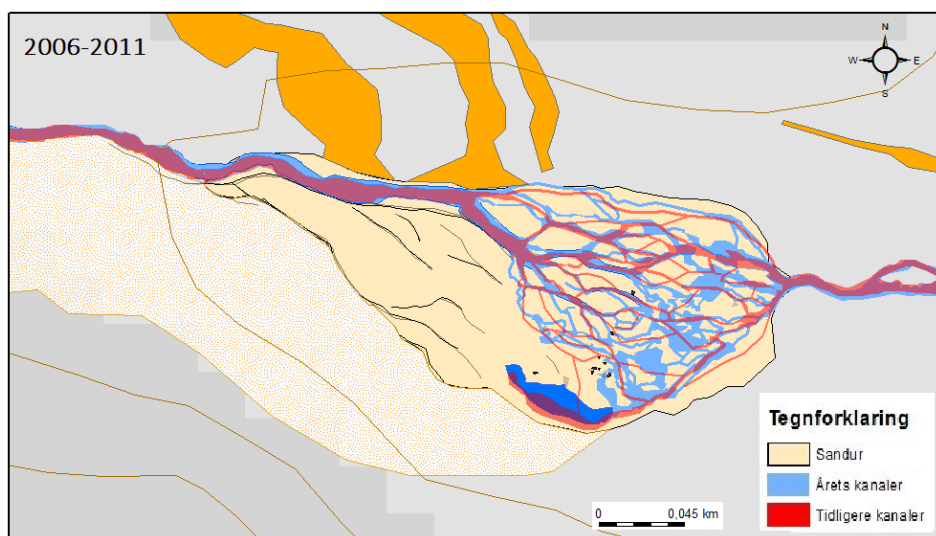
Figur 3-32:
Sandurutvikning på
midtre sandur fra
1977 – 1979, basert
på flybilder



Figur 3-33:
Sandurutvikning på
midtre sandur fra
1979 – 1993, basert
på flybilder



Figur 3-34:
Sandurutvikning på
nedre sandur fra
1993 – 2006, basert
på flybilder



Figur 3-35:
Sandurutvikning på
midtre sandur fra
2006 – 2011, basert
på flybilder



Figur 3-36: Nedre sandur sett mot nord (2014)

I 1953 ligger brefronten midt utpå det som i dag utgjør midtre sandur. De 150 meterne som er synlig, består av store mengder med vann. Det er ingen tydelig utviklede banker eller kanaler.

På sørsiden av det området som er dekket av vann, framkommer det et mønster av tørrlagte dreneringsrenner i morenematerialet. Disse ligger noen meter foran og omtrent parallelt med isbreen.

Vannet dreneres fra sanduren i to kanaler. En kanal på nordsiden og en annen på sørsiden. Begge har omtrent samme bredde og vannføring. Disse har gravd seg ned i de grove sedimentene i lille istids morene som danner terskelområdet ved utløpet av midtre sandur. Disse to slår seg sammen like før de når nedre sandur.

I 1977 er hele området som i dag utgjør midtre sandur eksponert. Det er mange større kanaler, men ingen som skiller seg ut spesielt som hovedkanaler. Den største mengden med vann ligger på nordsiden av sanduren. Det er en større kanal på sørsiden som er delvis hindret av snøen som ligger på sanduren på tidspunktet bildet ble tatt. Kanalen er tvunget til å gå langs snøfonnens margin. I nedre del på nordsiden av sanduren hvor alle kanalene blir presset sammen blir kanalene mer diffuse.

Vannet følger den nordlige kanalen fra midtre til nedre sandur. Det er kun en liten mengde vann som går fra midtre sandur via den sørlige kanalen.

Langs den nordlige marginen på sanduren ligger en serie med flere dype dreneringsrenner som går nesten vinkelrett inn på breelvsletta. De nederste av disse har ingen kontakt med breen og inneholder ikke vann. Den øverste av disse rennene er aktiv og leder vann fra breen inn på øvre del av sanduren.

Flybildet fra 1977 dekker kun midtre sandur. Sanduren ligger helt i utkanten av flybildet. Dette gjør at det er færre synlige store langemerker fra øvre del av Steindalen tilgjengelig for manuell georeferering. Sanduren ligger i virkeligheten litt lengre nord enn den framkommer sammenlignet med flybildene fra 1953 og 1979.

I 1979 går hovedkanalen i øvre del av sanduren langs den nordlige marginen. Midt på sanduren deler denne seg opp i flere mindre kanaler. På nedre del av sanduren ligger hovedkanalen langs den sørlige marginen. Hovedkanalen på sørsiden renner forbi området hvor den sørlige kanalen til nedre sandur går og vannet renner kun ut fra sanduren i det nordlige utløpet. Et lite område på omtrent 60x40 meter like foran den sørlige kanalen ned til nedre sandur har ikke lengre aktive kanaler, men viser spor fra tidligere breelvaktivitet.

Den store dreneringsrennen på øvre del av sanduren som var aktiv i 1977, ligger fremdeles i kontakt med breen. Det går ikke lengre vann i rennen.

I 1993 er det en viktig hovedkanal. I øvre del av sanduren ligger denne på sørsiden. På midtre del av sanduren, omtrent 200 meter ned veksler denne kanalen til å gå midt på sanduren ned til det nordlige utløpet.

Dreneringsrennene på nordsiden av sanduren er ikke lengre i kontrakt med breen. Den er fylt med snø på det tidspunktet bildet er tatt og smeltevannet fra snøen leder ut på sanduren.

Det er begynt å vokse vegetasjon på det forlatte området foran det sørlige utløpet.

I 2006 har sandurområdet omtrent samme utbredelse som 1993. I de øvre 150 meterne av sanduren er det kun en hovedkanal som er aktiv. Denne går langs med den nordlige marginen. Den sørlige siden har en serie tørre kanaler med tydelige skrentkanter. Etter 150 meter, deler hovedkanalen seg opp i flere mindre som spres ut på hele sandurområdet.

Området like foran det sørlige utløpet har begynt å få et lite dekke av vegetasjon.

På den sørlige delen av sanduren ligger det en ansamling av vann som en liten innsjø. Den er så vidt knyttet til breelven på sanduren via noen mindre kanaler. Denne er blitt kjent under navnet 'den blå lagune'.

I morenematerialet på sørsiden av sanduren ligger det en serie laterale renner.

I 2011 følger hovedkanalen på øvre del av sanduren på samme kanal som i 2006. I likhet med 2006 går det ingen aktive kanaler på den sørlige delen av sanduren i de første 150 meterne. På midtre del av sanduren dreier hovedkanalen mot midten før den deler seg opp i flere mindre kanaler. Man kan ikke lengre bestemme den dominerende av disse kanalene. På de nedre 60 meterne av sanduren er det flere av kanalene som blir meget diffuse og det blir dannet mindre ansamlinger av vann.

Området like foran den sørlige utløpskanalen er det dannet et tydeligere dekke av vegetasjon.

Den lille ansamlingen som gjør opp 'den blå lagune' har blitt større enn året før.

Flybildet fra dette året har en høyere oppløsning. Det kommer fram en rekke av mindre laterale renner i avsetningene utenfor den sørlige marginen.

I 2015 ligger hovedkanalene på øvre del av sanduren langs den nordlige marginen. I øvre del på sørsiden ligger det ingen aktive kanaler. 150 meter ned på sanduren deler kanalen seg opp i flere mindre kanaler. I nedre del på sørsiden, like i nærheten av 'den blå lagune', er kanalene noe diffuse og danner mindre ansamlinger av vann.

I nedre del på sørsiden har 'den blå lagune' økt i størrelse siden 2011.

3.2.2.1 Endringer på midtre sandur 1953 - 2015

I perioden 1953-2011 kommer det fram flere viktige deler av utviklingen for midtre sandur. I 1953 var kun en nedre del av det som utgjør dagens sandurområde eksponert mens midtre og øvre del lå under isen. Etter hvert har hele dagens sandurområde kommet fram og sandurområdet har blitt mer definert.

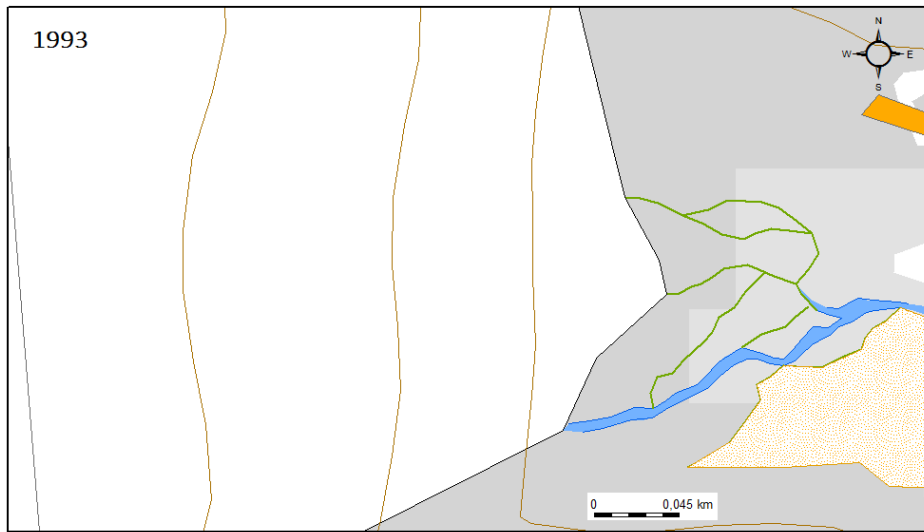
Av to utløpskanaler som ledet til nedre sandur, er det kun den nordlige som gjenstår. Delen av sanduren som ledet til dette utløpet har også blitt forlatt. Det har gradvis blitt forlatt. Nå består det av en serie strandlinjer og et begynnende dekke av vegetasjon.

Det har blitt dannet flere dreneringsrenner i morenematerialet langs sandurens margin etter hvert som breen har trukket seg tilbake. På nordsiden ligger det store renner som går vinkelrett inn mot sanduren. Den største av disse rennene var aktiv i 1979 men har ikke vært aktiv siden.

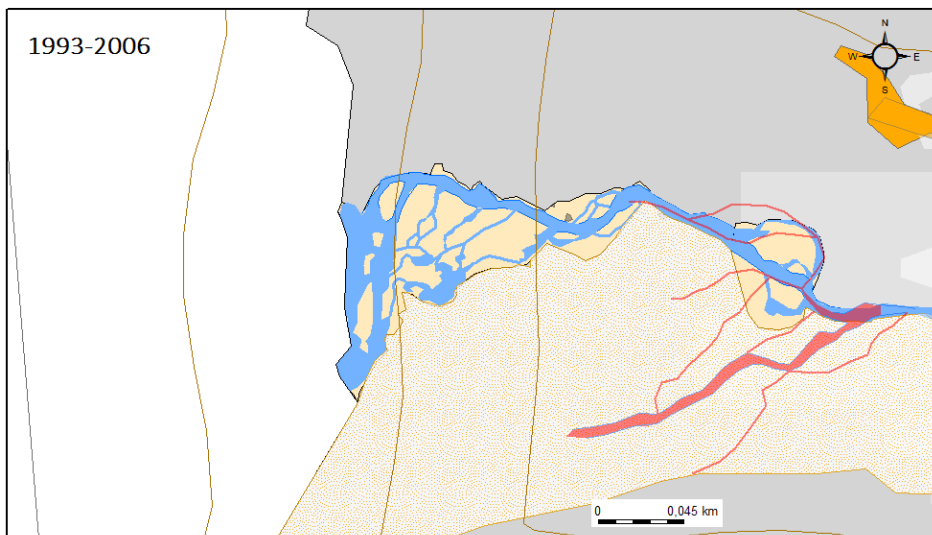
Mellom 1993 og 2006 har det har begynt å vokse fram vegetasjon på området like foran det forlatte sørlige utløpet. Det er også noe vegetasjon helt langs den sørlige marginen og i de store dreneringsformene på nordsiden av sanduren.

På sørlige del av sanduren har det dukket opp en mindre innsjø kalt 'den blå lagune' i 2006. Den har økt i størrelse i 2011 og i 2015.

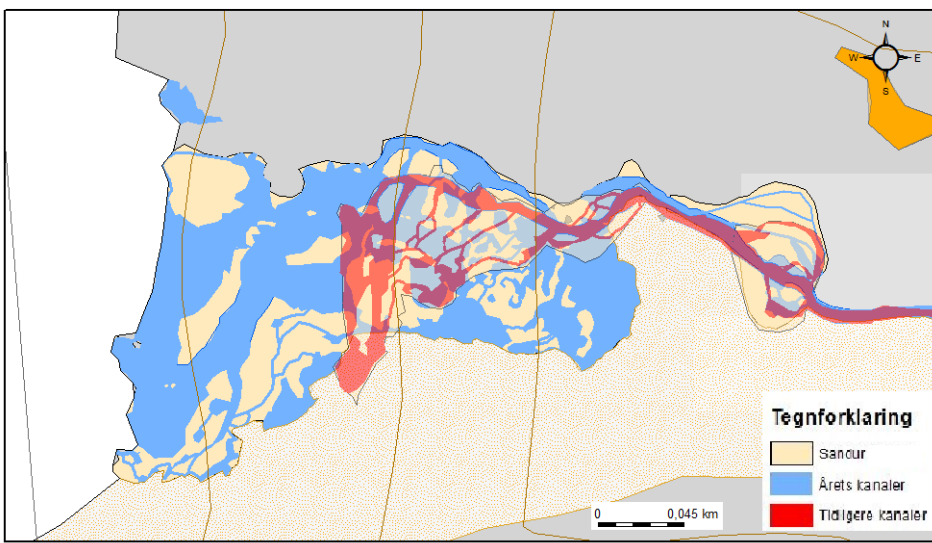
3.2.3 Øvre Sandur



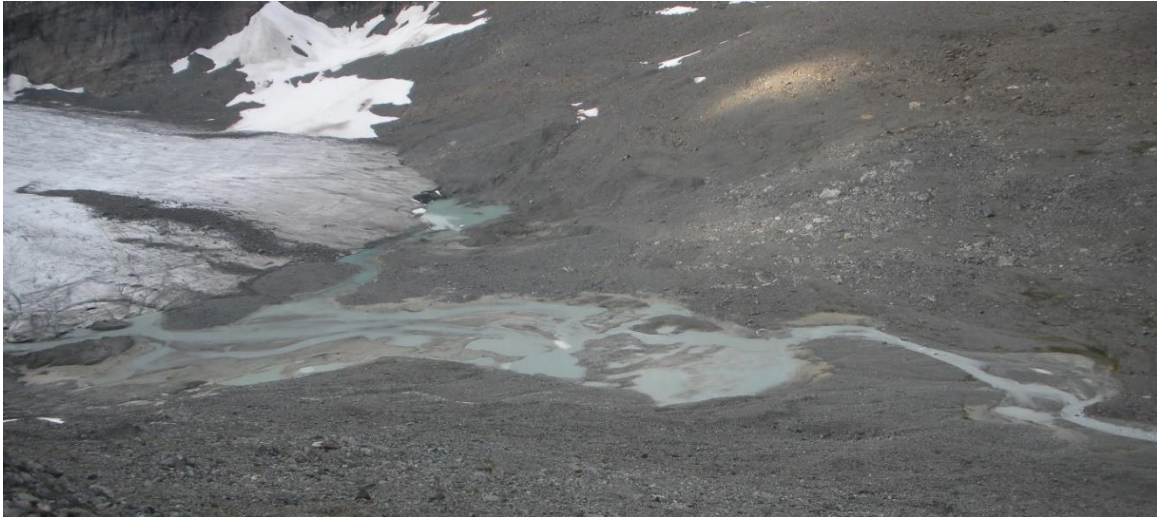
Figur 3-37: Sandurmofologi og utbredelse på øvre sandur, 1993 basert på flybilder



Figur 3-38: Sandurutvikning på øvre sandur fra 1993 – 2006, basert på flybilder



Figur 3-39: Sandurutvikning på øvre sandur fra 2006 – 2011, basert på flybilder



Figur 3-40: Øvre sandur sett mot nord (2014)

1993 er det første året hvor breen er smeltet så langt tilbake at deler av området som i dag utgjør øvre sandur kommer til syne. Det er et mindre område like foran brefronten som viser tegn på breelvaktivitet. Det går en hovedkanal på sørsiden av dette området direkte fra breen til utløpet som fører til midtre sandur. Det er også noen mindre kanaler som renner nesten direkte fra breen og slår seg sammen med hovedkanalen like før utløpet.

I 2006 har området berørt av breelver forflyttet seg til å gå lengre nord og opp enn området aktivt i 1993. Området som var synlig aktivt i 1993 ligger i skrånende terreng med flere tørrlagte kanaler og terrassekanter. Det ser ikke ut til at noen av dem har vært aktive i løpet av de siste årene. Dette området sør for aktiv sandurområde utgjør et kame og terrassekompleks med laterale renner.

Det nye området med breelvslette er delt inn i to. En nedre del og en øvre del separert av en terskel. Den øvre delen går over en distanse på 170 meter. Den nedre delen utgjør et areal på 60x60 meter.

Like foran breen er det en ansamlet en del vann går ut i hovedkanalen. Denne hovedkanalen følger den nordlige marginen på det øvre området. På den sørlige delen av dette nye breelvområdet ligger det flere mindre ansamlinger av vann som henger sammen med hovedkanalen via noen mindre kanaler. Det nedre området har kun en hovedkanal som renner tvers over på midten.

I 2011 er det et betydelig større område som viser tegn på aktiv breelvaktivitet. Området nedenfor terskelen som separerer øvre og nedre del har blitt større. Det dekker nå et område på 75x80 meter. Det går en hovedkanal tvers gjennom denne delen av sanduren. På den nordlige siden ligger det tørre kanaler langs marginen. På sørsiden er det en mindre ansamling av vann. Terskelen som skiller de to områdene er krysset av tørre kanaler.

Det øvre området strekker seg fra breen og 300 meter ned. Dette området består av store mengder vann. Mye av dette vannet er omtrent stillestående eller renner med svært lav hastighet. I nedre del på sandurområdet stikker det opp sedimenthauger som danner banker.

Like foran brefronten, nord for breelvområdet ligger det mindre ansamlinger av vann som ikke enda er knyttet til breelvavsetningene. Store deler av området foran breen består av dødis. Like foran brefronten ligger det flere store hager med sediment som har en kjerne av is.

Sør for området som er aktivt på flybildet er det flere tørre laterale renner. Det viser samme karakteristikk som området foran breen som var aktivt i 1993, men som ble forlatt på et tidspunkt mellom 1993 og 2006. Disse områdene med laterale renner er ikke regnet som en del av aktiv sandur.

Flybildene fra 2006 g 2011 er lastet inn i ArcMap ferdig georeferert. Derfor vil de fleste endringer som forekommer i sammenligninger mellom disse skyldes reelle endringer som skjer på sanduren.

I 2015 har området aktivt påvirket av breelvaktivitet blitt større siden breen har minket siden 2011. I likhet med 2011 består det aktive området av store mengder vann og dårlig definerte kanaler. Mye vann ligger omtrent stille i et område like foran terskelen som skiller nedre og øvre del av øvre sandur.

Den mest tydelige kanalen renner midt på sanduren og stammer fra den sørlige delen av brefronten. Ved brefronten på nordsiden, ligger en mindre innsjø. Vannet leder fra denne i en kanal langs brefronten til det som utgjør den aktive delen av sanduren.

3.2.3.1 Endringer på øvre sandur 1993 - 2015

I perioden 1993 til 2011 har området som er definert som øvre sandur gjennomgått store forandringer. Etter hvert som breen har trukket seg tilbake har det kommet fram et stadig større område som blir berørt av breelvene. Det skjer store forandringer i løpet av få år med tanke på utbredelse og formen på banker og kanaler.

I 1979 lå brefronten omtrent like ved den nederste terskelen til det som i dag utgjør øvre sandur. I 1993 gikk det enkelte mindre kanaler ned fra brefronten som samlet seg like foran terskelen for å renne ned til midtre sandur. I 2006 har et mye større område blitt avdekket. Området som var mest påvirket av breelvaktivitet i 1993 har nå blitt forlatt. Dette utgjør nå en del av kame-terrassekomplekset som ligger sør for det aktive sandurområdet. I 2011 har et enda større område blitt avdekket. Det er nå store mengder med vann på sandurområdet og dårlig utviklede kanaler. I felt 2015 er det mindre stillestående vann på sanduren enn i 2011. Det kommer fram mer tydelige kanaler i 2015.

På nordsiden av sanduren, like foran brefronten dukker det i 2006 opp en mindre innsjø. Den ligger tilsynelatende isolert fra den aktive sanduren. I 2011 har denne innsjøen vokst seg betydelig og er nå knyttet til den aktive sanduren med en kanal som går langs brefronten.

4 Diskusjon

Dette kapittelet vil se nærmere på flere av formelementene observert på, og i umiddelbar nærhet av sandurslettene, samt diskutere deres opprinnelse og utbredelse. Observasjoner og tolkninger fra de individuelle sandurene fra perioden 1953-2015 skal knyttes sammen med tilbaketrekkingen av Steindalsbreen. Dette er for å kunne sette sammen et mulig dannelses og utviklingsforløp for sandurene i Steindalen og estimere framtidig utvikling for disse avsetningsformene basert på gjeldende forhold.

4.1 Sandurmorfologi

4.1.1 Øvre sandur

Øvre sandur er den yngste av de tre undersøkte sandurene og ligger umiddelbart foran isbreen. Nederste del av det som i dag utgjør aktivt sandurområde kom først til syne på flybildene fra 1993 og har siden blitt avdekket etter hvert som isen har smeltet bort. Denne sanduren vil representere et tidlig stadium av utvikling for sanduravsetninger.

4.1.1.1 Kanalmigrasjon og bankeutvikling

I 1993 er den nederste delen av det som er avgrenset som sandur synlig, men det viser ingen tydelig sandurkarakteristikk. I stedet for et forgreinet elvesystem er det flere separate kanaler som leder fra ulike posisjoner fra brefronten ned mot terskelen. I 2015 har området like foran breen endret seg betydelig, men det skiller seg fremdeles mye ut fra nedre og midtre sandur. Området er for det meste bare oversvømt i stedet for å ha et mønster av kanaler, banker og terrasser.

Variasjonen av mengden vann på sanduren er avhengig av årstid og vær (Smith, 1985). Når vannivået er på sitt største, vil det sannsynligvis oversvømme omtrent hele sanduren ut til marginene hvor det er en mindre skrentkant. Dette kommer fram fra strømriflene og ministrandlinjene som finnes i det fine overflatematerialet som ligger på de tørrlagte områdene mellom marginen og vannstand. Når vannmengden er på sitt laveste, vil det kun være de største kanalene som inneholder vann og de høyere områdene på sanduren blir tørrlagt. Figur 3-16 viser tydelig forskjell i vannstand på sanduren mellom aktiv smeltesesong og like før vinteren.

Endringene i kanalmønsteret kan vanskelig analyseres når sandurens utbredelse ikke er definert enda. Sandursletter dannes når avsetningene har bygget seg opp til terskelnivå (Nesje, 1995) og et mønster av forgreinede kanaler kommer fram. På øvre sandur har ikke sedimentene enda bygget seg opp til terskelnivå, noe som kommer fram fra de store mengdene vann som finnes fordelt på sandurområdet uten å renne i aktive kanaler og av tilstedeværelsen av en større innsjø på nordsiden av isbreen.

Hovedkanalen er fokusert på nordsiden av sanduren fra 2006 til 2015. Utenom denne hovedkanalen, er det ingen andre foretrukne kanalløp observert. På sørsiden er det hovedsakelig bare vann samlet opp og nesten uten bevegelse i vannet.

Terskelen som skiller det to delområdene for øvre sandur fra hverandre, består av morenemateriale. Posisjonene for denne terskelen passer overens med breposisjonen etter et mindre framrykk i 1983 (Nilsen). Det ble dannet en mindre morenerygg fra dette framrykket som utgjør terskelen. Kanalene som krysser over terskelen viser at det på enkelte tidspunkt har gått vann over denne terskelen for å knytte disse to delene av sanduren sammen. Den nederste av tersklene for øvre sandur består av fast fjell i tillegg til moreneavsetninger og er mer motstandsdyktig for erosjon fra breelven.

4.1.1.2 Kame og terrassekompleks

Kameterrasser, er avsetningsformer dannet av smeltevann langs isbremarginen (Bridge & Demicco, 2008). De har en ensidige løp og ligger parallelt med hvor brefronten lå da de ble dannet. Slike forlatte laterale renner vil derfor vise hvor bremarginen har ligget over en kortere eller lengre periode.

På sørsiden av øvre sandur er det utviklet en serie av laterale renner fra dalsiden ned mot sandurflaten (figur 4-1). Siden isbreen i Steindalen smelter tilbake og blir mindre og får en lavere høyde, vil smeltevann som går langs isbremarginen få løp som ligger lavere i terrenget enn tidligere dannede renner. Disse laterale rennene viser hvordan breen har minket i størrelse og dannet en serie med slike laterale renner gradvis nedover dalsiden i det tykke dekket med morenemateriale som dekker dalbunnen.

Den nederste av dette kame-terrassekomplekset ved øvre sandur kommer fram mellom 1979 og 1993. Etter dette har disse terrassene blitt dannet suksessivt etter hvert som breen har smeltet tilbake.



Figur 4-1: Kame og terrassekompleks på sørsiden av øvre sandur (2015)

4.1.1.3 Dødis på øvre sandur

De siste årene har isen smeltet svært raskt tilbake og blokker av is blir separert fra breen som dødis. Både sanduren og morenematerialet som dekker dalbunnen rundt inneholder store mengder dødis. Sedimentene som ligger over disse forlatte isblokkene vil virke isolerende og forhindre smelting (Nesje, 1995). Slik kan isblokken overleve flere år som dødis før de smelter ut. Sandurens videre utvikling vil avhenge av hvor store mengder med dødis som befinner seg under de avsatte sedimentene, siden sedimentene vil synke sammen når den underliggende isen smelter bort.

Like foran isfronten på øvre sandur, ligger en rekke hauger med sediment som ved undersøkelse inneholdt kjerner av is (figur 3-17). På nordsiden av brefronten, ved den mindre innsjøen ligger deler brefronten ute i vannet uten å ha kontakt med underlaget. Den smeltes da fra både over og undersiden. Dette gir grunnlag for en kalvende brefront, hvor større blokker av is kan løsne fra brefronten og danne dødis. Langs bremarginen er det store mengder sedimenter som ligger delvis over breisen. Denne vil kunne beskytte isblokker som

løsner fra breen og bevare den for smelting en periode. På den sørlige delen av brefronten hvor hovedkanalen til sanduren går, er breen meget oppsprukket. Her er det også store muligheter for dannelse av dødis som vil bli en del av sanduren til de smelter ut.

4.1.1.4 Dannelsesforløp og utvikling

I sandurer lokalisert proksimalt til breen, er det vanlig at smeltevannet er begrenset i få kanaler og dekker store områder med stillestående is som danner grunnlaget for flere dødisgroper (Price, 1969). Øvre sandur er fremdeles i begynnende stadium av utvikling, slik den ser ut i 2015 med store mengder av ansamlet vann og få tydelige kanaler. I avsetningene like foran breer finnes det flere hauger av sediment med kjerner av is som ved utsmelting vil danne dødisgroper.

Den nederste delen av øvre sandur, dukker opp på et tidspunkt mellom 1993 og 2006. I denne perioden har det blitt dannet flere laterale renner langs den sørlige marginen som viser tidligere brefrontposisjoner. Den nederste delen av sanduren, er markert med en mindre skrentkant som skiller den fra moreneavsetningene som gjør opp resten av avsetningene i dalbunnen. Etter 2006 har breen trukket seg raskt tilbake og et stadig større område blir påvirket av breelvaktivitet. I 2011 har de sørlige og nordlige marginene for sandurområdet som er eksponert blitt markert med en mindre skrentkant som avgrenser sanduren. Etter 2006 har terskelen mellom de to delene av øvre sandur gjort at store mengder vann samles på sørsiden av sanduren. De tørrlagte kanalene som krysser terskelen viser at det under smeltesesongens maksimum vil være kanaler som krysser terskelen.

Ansamlingen av vann på nordsiden av øvre sandur ser tydelig ut som en bresjø. Bresjøen har et utløp som går langs med brefronten i en kanal til den når sanduren. Innsjøen på nordsiden av breen er ikke i eksistens i 2006. Denne er så vidt synlig i flybilder fra 2011, men er meget liten og ligger isolert fra sandurområdet. I 2014 har denne bresjøen blitt større og fått kontrakt med sanduren i en kanal som går langs brefronten i en mindre kanal. I 2015 har både innsjøen og kanalen blitt større.

4.1.2 Midtre sandur

4.1.2.1 Kanalmigrasjon

De første bildene fra midtre sandur er fra 1953. Da er det kun nedre del av sanduren som er synlig. På dette tidspunktet er det ingen tydelige mønster av banker og kanaler. I undersøkelsene foretatt av John G. Vessey i 1965, beskrev han midtre sandur som en innsjø og ikke som en sandur. Ut fra fotografier fra 1965 (figur. 4-2) kommer det fram at hele sandurområdet er oversvømt av vann ut til marginene. Det kommer ikke fram noen tydelig kanaler på sandurområdet. Det ligger noen større hauger med sedimenter på sørsiden av sanduren som utgjør banker. Vannet som renner ned på sanduren stammer fra forskjellige kanaler som kommer ned fra breen. En kommer fra midt på brefronten og en som kommer ned fra den sørlige marginen og en tredje fra den nordlige marginen.



Figur 4-2: Midtre sandur i 1965 sett mot nordøst. Hele sanduren er dekket av vann. (Vessey, 1965)

I 1977 og i 1979 har det kommet fram et mønster av banker og kanaler på sandursletten og vannstanden er lavere enn i 1965. Hovedkanalen ligger på nordsiden. I 1993 har denne vekslet til sørsiden og etter 2006 har hovedkanalen vekslet tilbake til nordsiden og har holdt seg på nordsiden fram til 2015. Mellom 2006 og 2015 har det like foran terskelen blitt ansamlet vann som ikke renner i bestemte kanaler og oversvømmer nedre del av sanduren.

4.1.2.2 *Senkning av basisnivå*

Mellom 1993 hvor kanalen lå på sørsiden på øvre del av sanduren og i 2006 når kanalen ligger på nordsiden har det blitt dannet en serie med terrasser som går gradvis mot nordsiden av sanduren. Den aktive elvekanalen kutter gjennom eldre løp og viser at basisnivå har senket seg fra tidligere tidspunkt. Terrasser dannes ved tektonisk heving eller endringer i basisnivå og gjør at tidligere flomflater blir forlatt (Brierley & Fryirs, 2005).

Det forlatte området på sørsiden av sanduren med den tørrlagte kanalen ned til nedre sandur, viser også tegn på et senket basisnivået. Serien med strandlinjer i avsetningene viser hvor vannstanden på sanduren har stått på tidligere tidspunkt når aktiv sandur og det forlatte området hang sammen. Det er kjent ut fra flybilder at utløpskanalen ned til nedre sandur fra sørlig side var aktiv i 1953 når sanduren fremdeles var delvis dekket av isbreen. Da var begge de to utløpskanalene omtrent like store slik som de framstår visuelt i flybildene I 1977 og 1979 var det en liten mengde med vann som gikk fra dette utløpet. Kanalen på nordsiden hadde omtrent samme størrelse som 1953 (figur 3-29 til 3-31). Dette antyder at det da varden nordlige kanalen som er foretrukket, mens den sørlige har gradvis blitt forlatt. Sandurterskelen består av morenemateriale. Elven på nordsiden har lettere erodert gjennom materiale som gjør opp terskelen og senket basisnivå. Den sørlige kanalen vil ha blitt svakere som resultat av et den ble gradvis forlatt og fått en stadig mindre evne til å grave seg ned i terskelmaterialet. Etter 1993 har det sørlige utløpet blitt helt forlatt og kun den nordlige kanalen fungerer som utløp for midtre sandur.

4.1.2.3 *Slukrenner og laterale renner*

På den nordlige marginen av midtre sandur ligger en rekke av større dreneringsrenner. Disse renner vinkelrett inn på sanduren som slukrenner. Slike erosjonsformer er dannet av kraftige kanaler under isbreen og dannes i steile dalsider hvor vannet blir presset ned mot midten av dalbunnen, vinkelrett inn mot den generelle dreneringsretningen (Jørgensen, 1997). Vannet eroderer seg dypt ned i løsmassene og danner store fordypninger som står igjen. Slike dreneringsformer er kun aktive under isbreen. Når breen smelter tilbake vil disse erosjonsformene bli forlatte og kun sporene etter dem bli igjen og indikere deler av dreneringsmønsteret som eksisterte under isbreen da den var tilstede. Deres presise alder er

umulig å bestemme siden de er dannet under isbreen. Den største av disse slukrennene på øvre del av sanduren var allerede dannet da den kom til syne etter at isen smeltet vekk. Etter at slukrennen kom til syne har den ikke endret fasong. Mens breen trakk seg tilbake var det fremdeles litt smeltevann som drenerte i denne kanalen som synlig i flybilde fra 1977, men det var kun små og i 1979 ble den forlatt.

På den sørlige marginen ligger det flere andre dreneringsformer. Disse er mye mindre i størrelse enn slukrennene langs den nordlige marginen og de har en annen orientering og et ensidig dreneringsløp. Disse har samme utseende som de laterale rennene i kame-terrassekomplekset ved øvre sandur. Disse rennene har blitt dannet av laterale renner langs ismarginen da breen var større. De har blitt dannet suksessivt etter hvert som breen har smeltet tilbake og vil være indikatorer på tidligere ismarginposisjoner.

4.1.2.4 Dødis på midtre sandur

På midtre sandur ligger en liten innsjø med mørkere farget vann som dukket opp i 1990 årene (Corner & Svindland, 2008). Den spesifikke blåfargen skyldes breslammet i vannet og har gitt grunnlaget for navnet 'Den blå Lagune'. Den endrer form og størrelse fra år til år noe som kommer fram i flybilder og fotografier og har vokst i størrelse.

På flybildet fra 1979 er det ingen tegn til innsynkning av sedimenter på sørlige side av sanduren. I følge Corners observasjoner dukker denne innsjøen opp på 1990 tallet. På flybildene fra 1993 ligger en snøfonn i samme posisjon som innsjøen. Det kan være et tegn på at det under snøen er innsynkning i sedimentene, slik at snøen bevarer litt lengre før, mens resten av sanduren er uten snø. Det betyr at i perioden mellom 1979 og 1990 har sedimentene på den sørlige siden av sanduren sunket sammen og dannet grunnlaget for ansamling av vann som har blitt stadig større etter hvert som mer is har smeltet ut.

På øvre sandur ble et aktiv dødislandskap observert. Større blokker av is lå der separert fra breen, delvis dekket av sedimenter. Når brefronten lå lengre ned ved midtre sandur, vil de samme prosessene ha vært aktive som ble observert ved øvre sandur. Dødis fra breen ble liggende på det som utgjør sandurområdet og ble dekket av sediment og begravd i sanduravsetningene. Denne isen har ligget bevart i flere år og når isen smeltet ut sank sedimentene sammen det dannet fordypningen til den blå lagune.

Ytterligere bevis på at det er smeltende dødis under avsetningene på midtre sandur er dannelsen av diffuse kanaler på nedre delen av sanduren. I 2006 var det ingen tydelig diffuse kanaler i flybildene. I flybildene fra 2011 er det flere diffuse kanaler på nedre del av sanduren. I fotografiene fra 2015/2015 er de også tilstede.

4.1.2.5 Dannelsesforløp og utvikling

Omtrent hele dannelsesforløpet til denne sanduren har skjedd i en periode hvor et er tilgjengelig fotomateriale og målinger er tilgjengelig fra Steindalen.

I 1953 var kun de nedre 150 meter av sanduren synlig. Tilbakesmeltingen for isbreen var på dette tidspunktet vært estimert til å være 10 meter i året (Vessey, 1965). Med denne smeltingshastigheten vil hele sanduren vært dekket av is 15 år tidligere omtrent i 1940. Under isen har det vært et nettverk av smeltevannskanaler, med et ukjent mønster. I 1953 har de første slukrennene nederst ved den nordlige marginen av sanduren blitt synliggjort, men de er ikke lengre aktive.

I 1965 var hele sandurområdet eksponert noe som kommer fram av fotografier fra Vesseys feltbefaring i 1965. Han beskrev sanduren som en bresjø og det kommer fram at hele området var dekket av vann. Det har gått 25 år før breen har smeltet tilbake nok til å avdekke hele området som utgjør sanduren. I 1977 omtrent 10 år etter at hele sandurområdet var oversvømt, har avsetningene bygget seg opp til basisnivå slik at det har blitt dannet tydelige banker og kanaler. Basisnivå har senket seg ved det nordlige utløpet, noe som kommer fram ved at den sørlige utløpskanalen har blitt forlatt. Basisnivå har fortsatt å senkes fram til 2015 og det har blitt utviklet terrasser på den sørlige delen av midtre sandur.

Dannelsen av den blå lagunen er et tegn på utsmelting av dødis. Det samme er de diffuse kanalene på nedre del av sandur. Den blå lagune dukket opp på 1990 tallet, mellom 20 og 30 år etter at breen smeltet tilbake og eksponerte delen av sandurne hvor den blå lagune nå ligger. De diffuse kanalene kommer fram på flybildene fra 2014 og er tilstede også i felt 2015. Hvis de er et resultat av dødis vil det bety at det har tatt 50 til 60 år for dødis bevart under sedimenter å smelte ut.

4.1.3 Nedre sandur

4.1.3.1 Kanalmigrasjon og bankeutvikling

I perioden 1953-2015 er det nedre sandur som har gjennomgått minst tydelige forandringer, spesielt i form av utbredelse. Fasong og størrelse har ikke synlig endret seg i perioden hvor fotografisk materiale er tilgjengelig. I 1953 når de første flybildene er tilgjengelige, er det allerede et godt utviklet mønster av banker og kanaler. Sammenligning mellom flybildene får fram at kanalene endrer posisjon med jevne mellomrom. Utviklede sandurer består av nettverk av forgreinede, ustabile banker og kanaler som endrer seg hele tiden avhengig av tilgangen på sediment og vannføring (Smith, 1985). Det er den type karakteristikk nedre sandur utviser i hele den undersøkte perioden.

Bankene på nordsiden av sanduren har blitt delvis dekket av vegetasjon og dekket blir tynnere mot sørsiden av sanduren. Det vil indikere at de viktigste kanalene har migrert mot sørsiden av sanduren. Her eroderer kanalene i avsetningene langs marginen og sanduren. Utviklingen er begrenset av de steile dalsidene, slik at det er ikke mye rom for sanduren å utvikle horisontalt. Det kommer fram fra sammenligning av flybilder at det ikke er betydelig forskjell i utbredelse synlig.

4.1.3.2 Dannelsesforløp og utvikling

Den eldste av de fire morenen lokalisert foran Steindalsbreen og ved apeksen til nedre sandur kunne ikke aldersbestemmes presis, men er antatt til å ha en alder på noen hundre år (Ballantyne, 1990). For å danne morenen har breen måttet ligge lengre bak enn moreneryggens posisjon, for så å rykke fram danne ryggformen. Da kan det konkluderes med at området foran denne moreneryggen har vært fritt for is en lang periode før breen rykket fram for å danne morenen. Det betyr at nedre sandur minimum har hatt flere hundre år på å utvikle seg til dagens situasjon og den vil derfor representere en sandur som meget moden sammenlignet med midtre og øvre sandur.

Den øverste delen av nedre sandur vil ha vært påvirket av breens aktivitet i det tidsrommet hvor det var aktiv dannelse av moreneryggene som blir kuttet av sanduren. Når breen rykket fram for å danne moreneryggen vil den ha erodert dalbunnen og det som har eksistert av

sanduravsetninger, og når breen har smeltet tilbake igjen vil det ha blitt avsatt nye. Da er det mulig å anta at øvre del av sanduren har hatt kortere tid på å utvikle seg til dagens situasjon, mens avsetningene på nedre del av sandur har eksistert lengre.

Hvis man antar nedre sandur har gått gjennom samme dannelsesforløp som vist på midtre og øvre sandur kan anslå hvilke endringer nedre sandur har gjennomgått og hvordan den dannet og utviklet seg. I begynnende fase av utvikling vil det ha skjedd endringer utbredelsen raskt etter hvert som breen trakk seg til tilbake og eksponerte sandurområdet, i likhet med øvre sandur. Dalbunnen under breen kommer til syne og kanaler som tidligere var begrenset av isen får frihet til å migrere friere horisontalt. Områder proksimalt til breen er sterkt preget av dødis, med uregelmessige hauger og dødisgroper (Krigström, 1962). Dalbunnen som utgjør nedre sandurområde kan ha vært mer eller mindre oversvømt og lignet mer på en bresjø som sett ved øvre sandur i dagens situasjon og midtre sandur i 1965 nylig etter hele sandurflaten ble eksponert. Sedimentene har deretter bygget seg opp til basisnivå og det har kommet fram banker og kanaler. Dødisen i sanduren vil etter hvert ha smeltet ut og det dannes diffuse kanaler i likhet med midtre sandur eller større dødisgroper på sanduren fylt med vann. Videre avsetning har gjort at dødisgropene har fyltes igjen med sedimenter og bevis av deres eksistens er ikke lengre synlige. Det aktive sandurområdet har blitt stabilt og utbredelse endrer seg lite. Variasjonen i vannføring og sedimenttilførsel fører til at banke og kanalene er ustabile og stadig endrer posisjon (Smith, 1985).

4.2 Sammenligning mellom øvre, midtre og nedre sandur

4.2.1 Utbredelse og kanalmigrasjon

Ut fra kartene produsert og sammenlignet i ArcGIS kommer det fram at på de eldre sandurene vil det aktive området for sanduren endres lite fra år til år. Formen og utbredelsen på nedre sandur har holdt seg omtrent konstant den undersøkte perioden fra 1953 til 2015. Den viser en trend til å gradvis migrere mot sør hvor hovedkanalen har gått langs marginen i flere år, men denne endringen skjer sakte siden sanduren er begrenset horisontalt av dalsidene. Midtre sandur har holdt samme form og utbredelse siden 1977, når breen hadde smeltet så langt tilbake at hele sandurområdet ble eksponert. Øvre sandur får en stadig større utbredelse mot vest. Dette skyldes at breen smelter tilbake og eksponerer et større området i vestlig retning. I Steindalen har sandurene bredt seg ut over de flate områdene tilgjengelig i dalen. De er begrenset i lateral utbredelse med skrentkanter mot brattere hellende terreng. Kanalene på sandurene vil endre seg ofte med variasjonen i vannføring og sedimenttilførsel og med dem endres bankene. Elvene fører med seg mye materiale fra breen og vekslingen i sedimenttilførsel og vannføring avhengig av sesong og vær, gjør at bankene og kanalene ofte endrer løp (Smith, 1985). Det kom fram at det er betydelig større mengder med vann på sandurene i tidlig august, enn det er i oktober. I Steindalsbreen er variasjoner i vannføringen som følge av ablasjon på breen knyttet i stor grad til konveksjon i luftmassene (Vessey, 1965). Store mengder nedbør vil også føre til en økt mengde av vann tilgjengelig.

Den store mengden sediment som fraktes i breelvene, gjør at kanalene gradvis fylles når materiale faller ut av suspensjon. I flomperioder vil vannet gå utenfor de viktigste kanalene som er aktive omtrent hele den aktive sesongen og finere sedimenter blir avsatt på bankene og i sesongaktive kanaler (Nichols, 2009). På alle tre sandurene er det funnet bevis på sesongvis aktive kanaler med fin sand og silt i overflaten og grovere materiale under. Midtre og øvre sandur har flere tørrlagte kanaler som inneholder et dekke av finere materiale i overflaten hvor det er tydelige strømrifler eller ministrandlinjer som viser tidligere vannstand. Det fine materialet stammer fra perioder med flom, falt ut av suspensjon da vannstanden falt til et mer normalt nivå etterpå. Nedre sandur har også flere kanaler med fin sand og silt i

overflate, men ingen av dem har tydelig utviklede strømrifler som vil tyde på at disse kan være eldre enn formene funnet på midtre og øvre sandur.

Det kan være trender i hvordan side som har dominerende aktivitet over en rekke år. På nedre sandur har hovedkanalen vært fokusert langs den sørlige siden av sanduren i flere år. Bankene på nordlig del av sanduren har et voksende dekke av vegetasjon hvor sørlig del av sanduren har et betydelig mindre. Kanalene på sørsiden er mer dominerende kan det tyde på at sanduren har jevnt migrert til å være aktiv på sørsiden i stedet for på nordsiden. På nedre del av midtre sandur har det kommet et begynnende dekke av vegetasjon. De store mengdene sediment i transport vil føre til at kanalene fylles opp og vannet vil finne nye løp (Jørgensen, 1997). Noe av variasjonen i aktive og tørrlagte kanaler vil skyldes sesongvariasjoner i vannføring fra breen. Flom vil være en av hovedårsakene til at kanalene brått kan endre løp.

4.2.1.1 Feilkilder ved bruk av flybilder

Det finnes en rekke problemer assosiert med bruk av flybilder som begrenser kvaliteten av tolkninger gjort ut fra dem. Det første flybildet benyttet i oppgaven er fra 1953 og er derfor over 60 år gammel. Fotokvaliteten blir stadig bedre etter hvert som ny teknologi for kameraer blir forbedret og utviklet. De eldre flybildene har en dårligere oppløsning og noen av dem kommer kun i svart hvitt. De eldre bildene må også georefereres manuelt i ArcMap, noe som gjør at det blir en usikkerhet relatert til deres posisjon i forhold til de andre flybildene.

De eldre flybildene med lavere kvalitet gir god nok oversikt over sandurenes utstrekning, men mindre oversikt over alle aktive og tørre kanaler. Dette er fordi oppløsningen ikke er god nok til at relativt små former som mindre kanaler kommer fram. De nyere bildene har en mye bedre kvalitet, men på enkelte av dem er det et problem at skyggene fra fjellet gjør noen av grensene vanskeligere å tyde. Dette er spesielt et problem på sørsiden av midtre og øvre sandur hvor skyggen fra Steindalstinden ofte faller over dalen. Dette er også en del av området som har vært vanskeligst å befare i felt grunnet behovet for å krysse elven og fordi det er store mengder med leire som gjør arbeidet vanskeligere. Grensene fra 2011 i flybilder har blitt hjulpet av bilder som stammer fra 2014, og det kan derfor være større eller mindre

forskjeller i utbredelsen og utseende til sanduren da disse bildene er tatt med 3-4 års mellomrom.

Bildene er tatt på ulike tider av året. Hvilke kanaler som er aktive og hvor kraftige de er kommer an på mengden smeltevann som kommer fra breen. Vannstrømmen vil være kraftigst under smeltesesongen og det vil være mer vann om det har vært en lengre periode med regn. Dette kommer an på årstiden. Bilder som er tatt tidlig på våren før snøen har smeltet eller tidlig på vinteren når det har begynt å snø vil ha snø som skjuler sandurenes utbredelse og morfologi.

Noen av kanalene kommer ikke like tydelig fram grunnet fargene i bildene. Noen av de minste kanalene er så små og har så lav vannføring at vannet ikke holder på breslam og framstår som gjennomsiktig. På flybildene vil de derfor ikke avgi den samme blå eller hvite fargen som vannet i hovedkanalene får.

4.2.2 Høydeprofil og kornstørrelser

De nivellerte høydeprofilene over alle tre sandurene viser hvor mye høyere sandurens apeks ligger i forhold til basisnivå ved sandurens utløp. På nedre sandur er overflategradienten lav, under 1° i de nederste 300 meterne. Deretter øker gradienten eksponentialt til over 5° nær toppunktet. Midtre sandur har også en noe lavere gradient i nederste del av sanduren enn i øvre del. Øvre sandur hadde for få målinger til å finne ut om det var en trend hvor på sanduren gradienten er høyest. Øvre sandur har en gradient mindre enn $0,1^\circ$ fra utløp opp til apeks. Noe som er en betydelig lavere gradient enn begge de to andre sandurene viser.

I høydeprofilene fra både midtre og nedre sandur, kommer det fram terskler hvor det har blitt foretatt måling i bunnen av kanalen like ved toppen av en terskel. Slik kommer det fram hvordan basisnivå har endret seg etter hvert som sanduren har utviklet seg. Terrasser dannes ved at basisnivå synker og elvene eroderer seg ned i det eksisterende materialet for å tilpasse seg de nye endringene. Det at terrassene ikke kommer tydelig fram på nedre del av profilene for sanduren skyldes at den økte gradienten på øvre del av sanduren gjorde at flere målinger over kortere distanser var nødvendig for å ikke overgå skalaen på nivelleringsstangen.

Den høye maksimale kornstørrelsen observert ved øvre del av nedre sandur, trenger ikke nødvendigvis å representere den største kornstørrelsen breelven er i stand til å transportere. Den øvre del av sanduren har blitt påvirket av breens framrykk under blant annet den lille istid. Breen har vært i stand til å transportere mye større størrelsesfraksjoner enn breelvene og materialet smeltet ut av breen vil inneholde store størrelsesfraksjoner. Øvre del av sanduren ligger i skråningen som tilhører moreneryggen fra 1910. Breelvene kan da i etterkant ha vasket vekk de finere kornstørrelsene og etterlatt de større. Den større blokken midt på øvre del av sanduren ligger på linje med moreneryggen datert til å stamme fra noen hundre år siden kan være en slik stor blokk forlatt av breen og for stor til å bli transportert av vann.

Siden vannføringen varierer i løpet avhengig av vær og temperaturer og kanalenes endring av elveløp, vil det finnes veksling av grove og fine lag i kanalene. I denne undersøkelsen er kun topplaget tatt ut i betraktning under kornstørrelsesanalysen og det trenger ikke nødvendigvis være riktig representativ for dominerende kornstørrelse i de underliggende avsetningene.

Kornstørrelsesanalysene som viser til dominerende kornstørrelse, viser enkelte steder stor variasjon i kornstørrelse fra en posisjon til en annen. Det ble observert at kornstørrelsen var større på banker og toppen av terrasser enn i tørrlagte kanaler. Beregninger gjort nærme vannkanten viste større mengder av fin sand enn på andre steder på sanduren. Selv med store variasjoner fra punkt til punkt, viser analysen av maksimal kornstørrelse fra nedre og midtre sandur at det er en økende trend i kornstørrelse. Analysen over dominerende kornstørrelse fra nedre sandur viser den samme trenden.

En sammenligning av grafene for endring i gradient og endring i kornstørrelse på nedre sandur viser en sammenheng mellom gradient og kornstørrelse. Når gradienten øker, gjør kornstørrelsen det samme. Dette skyldes at elvers evne til å transportere materiale er sterkt avhengig av vannføring (Collinson, Mountney, & Thompson, 2006) og vannføring vil minke når gradienten blir lavere.

4.2.2.1 Feilkilder i framstilling av høyde-distansediagram

Distansene beregnet i høyde-distanseprofilene over sandurene er gjort ut fra GPS koordinater. GPS-en har ikke hundre prosent presisjon når det kommer til måling av posisjon og er kun nøyaktig opp til en posisjon på et par meter. Så i verste fall kan det være flere meter feil i distanse mellom hvert enkelt punkt i den produserte grafen. Det vil føre til at overflategradienten og distansen over sanduren ikke blir reel.

Skal en elv nivelleres vil det gi best resultater for elvens gradient hvis mang følger elvens hovedløp direkte. På sandurner er elveløpet forgreinet og veksler hvor på sandursletten de er fokusert. Det nivellerte profilet er gått opp omtrent langs midten på sanduren i stedet for å følge elveløpet, slik at elvens gradient ikke blir helt nøyaktig. Profilet er heller ikke gått opp i en rett linje, men en omtrentlig rett linje ble estimert ut fra punktene tilgjengelige. Dette er fordi en linje produsert ut fra distansen mellom punkt til punkt ville lede til en feilaktig stor sandurslette. Det er en viss feilmargin knyttet til utregningen grunnet feilmarginen i GPS posisjoner, men likevel vil profilet gi en generelt inntrykk av hvordan stigningen over sandursletten går.

4.2.3 Rasmateriale

Mesteparten av materialet som ender opp ute på sanduren, stammer fra glasifluviale kanaler som kommer fra isbreen (Smith, 1985). Isen har knust opp materiale og det blir transportert av breelvene ut på sandurslettene.

Debris flows og kolluviale vifter kommer ned fra fjellssidene mot dalbunnen. Enkelte av disse ras og vifteformene kommer fram i det kvartærgeologiske kartet (Figur 3-1). I tillegg til de kolluviale viftene som er kartlagt, er det flere mindre debris flows i dalsidene. Noen av disse rasformene når helt ned til sanduren som observert ved øvre sandur (Figur 3-18). Dette viser at det er flere prosesser enn kun isbreen og breelvene som fører med seg materiale ut på sanduren. Rasmateriale blir etter avsetning transportert og omdannet av breelvene og inkorporert som en del av sanduren.

Sedimenter observert på overflaten av isbreen kan være et resultat av rasmateriale fra dalsidene som har endt opp ute på isen. Dette vil etterhvert smelte ut av breen og gjøre opp en del av avsetningene på sandurene på samme måte som bunnmoren i dalbunnen. Noe av det kan ha beveget seg gjennom ismassene til bunnen av breen hvor de har blitt videre knust opp av isen, slik som berggrunnen og løsmassene under breen.

4.2.4 Dannelsesforløp og bretilbaketrekking i Steindalen

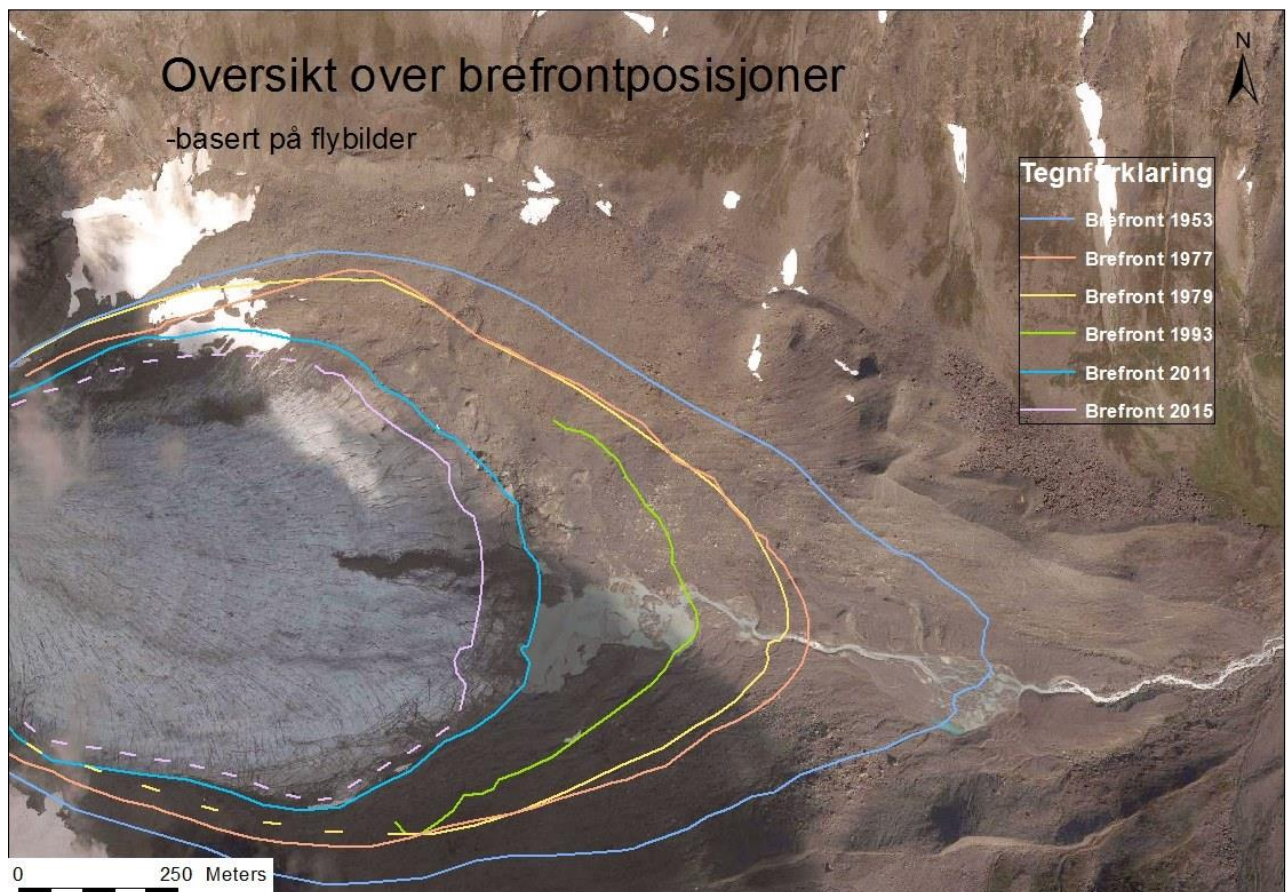
Sandurene undersøkt har blitt dannet suksessivt etter hvert som Steindalsbreen har smeltet tilbake. Dalbreene i Lyngenområdet skilte lag med Fjordbreene for 9100 år siden (Corner G. D., 1980). I den varmere perioden som fulgte etterpå, har Steindalsbreen stadig minket i størrelse og smeltet tilbake opp i dalen. Mindre framrykk har dannet morener langs dalbunnen i øvre del av Steindalen. Det er kun fire morener fra neoglasial tid som har blitt aldersdatert. Alle disse fire ligger i omtrent lik posisjon ved øvre del av øvre sandur (Figur 1-5).

Hvis nedre sandur har fulgt omtrent samme utviklingsforløp som øvre og midtre sandur viser, vil sanduren ha begynt sin utvikling så fort isbreen smeltet tilbake fra det området som i dag er aktiv sandur. Den eldste av de neoglasiale morenene er bestemt til å ha en alder på flere hundre år, mens morenene lokalisert nedenfor sanduren har ingen aldersbestemmelse. Siden de neoglasiale morene kun strekker seg ut på øvre del av sandur, er det garantert at hele sandurflaten som ligger nedenfor disse morenene har vært fri for is i hele perioden etter dannelsen av disse morenene. Den eldste av den neoglasiale morenene er datert til å ha en alder på noen hundre år, som da vil representere en minimumsalder for sanduren. De neoglasiale morene representerer perioder med framrykk av breen for noen hundre år siden, i 1850, 1920 og 1910. De øvre områdene på sanduren vil aktivt ha blitt forstyrret av breens framrykk. Breen vil ha fjernet alt underliggende materiale for avsette nye i etterkant.

Figur 4-3 viser kjente brefrontposisjoner basert på flybilder og fotografier og får fram hvordan Steindalsbreen har smeltet tilbake etter 1953. Etter det siste framrykket i 1910 har breen smeltet tilbake med en hastighet på rundt 10m/år (Vessey, 1965) (Sveian & Corner, 2004). I omtrent 1940 hadde isbreen frontposisjon ved terskelen til midtre sandur. Nedre sandur var stabil utviklingsmessig og eneste endringer skjer i bankene og kanalenes posisjon. Breen fortsatte sin tilbakesmelting og midtre sandur ble gradvis blitt eksponert og ble til området

mest påvirket av breen og breelvprosessene. Moreneavsetningen like utenfor sanduren fikk dannet laterale renner etter hvert som breen smeltet tilbake. I 1965 var hele midtre sandur eksponert men oversvømt og avsetningene bygget seg gradvis opp til basisnivå.

I 1980 lå brefronten ved den nederste terskelen til øvre sandur. Videre tilbaketrekking og eksponering av øvre sandur gjorde øvre sandur til fokus for stadige endring fra breen og breelvene. Den tilbaketrekkende breen har etterlot og fortsetter i dag å etterlate store mengder dødis og dalbunnen som ligger under terskelnivå blir oversvømt. Midtre sandur gjennomgikk et fall i basisnivå som fører til terrassedannelse i avsetningene. Dødisen som ligger under avsetningen begynte å smelte og dannet dødisgroper og diffuse kanaler som i 2015 er under stadig utvikling.



Figur 4-3: Kjente brefrontposisjoner ut fra flybilder i perioden 1953-2015. De heltrukne linjene representerer posisjoner som er kjent, mens de stiplede linjene viser estimert utbredelse. (Nilsen)

Undersøkelsene av de tre sandurene benyttes til å danne et tenkt utviklingsforløp for sandurer relatert til beliggenhet og bretilbaketrekning. De tre av dem er av forskjellig alder og representerer sandurer på ulike stadier av utvikling. Øvre sandur representerer det aller første stadium av utvikling, hvor området og avsetningen er sterkt preget av store mengder med dødis. Midtre sandur representer en ung sandur. Den er ferdig utbredt men gjennomgår fremdeles større forandringer relatert til utsmelting av dødis og fall i basisnivå. Nedre sandur representer et bedre utviklet system hvor de eneste forandringene er i form av kanalendringer som følge av sesongvis variasjon i sedimenttilførsel og vannføring.

4.3 Framtidig utvikling

En diskusjon av mulig utviklingsforløp for de tre sandurene under gjeldende forhold med en minkende isbre og høydeendringer i dalen.

4.3.1 Nedre sandur

I perioden 1953-2015 har nedre sandur gjennomgått få endringer, spesielt med tanke på lateral og horisontal utbredelse. Aktive breprosesser har ikke påvirket sanduren siden breframrykk under den lille istid, det siste framrykket i omtrent 1920. Prosessene som virker aktivt på denne sanduren er: breelven, mindre elver fra fjellsiden og massebevegelse fra dalsidene. Under dagens forhold vil sanduren holde seg stabil. Videre horisontal utbredelse er ikke mulig grunnet det steile dalsidene. Mulige endringer som vil skje vil sannsynligvis bestå av veksling i mønster for banker og kanaler og et stadig voksende dekke av vegetasjon på forlatte banker slik som det har blitt observert gjennom de siste 60 år.

All dødis som ble etterlatt på breen lå proksimalt til sanduren vil sannsynligvis være smeltet ut allerede og det vil derfor ikke dannes nye innsynkninger som skyldes utsmelting av is.

Basisnivå kan senke seg videre og danne terrasser når de eksisterende kanalene eroderer ned i de eldre avsetningene. Siden det ikke har vært tydelig bevis på dette i den undersøkte perioden, kan det tyde på at terskelen for sanduren er relativt stabil og fall i basisnivå skjer langsomt.

Distansen mellom nedre sandur og isbreen øker stadig etter hvert som isbreen minker i størrelse. Materialet som ender opp på sanduren vil ha en mindre størrelsesfraksjon siden de større kornstørrelsene vil avsettes nærmest isbreen. Siden den øverste sanduren består av et stort område under basisnivå som er oversvømt av vann, vil mye av material fra breen vil avsettes på øvre sandur. I tillegg vil mye det avsettes sedimenter på midtre sandur. Den minkende breen har en lavere evne til å erodere og transportere løsmasser og på ett eller annet tidspunkt vil produksjonen stoppe helt. Vekslingen i banker og kanaler på forgreinede elvesletter er sterkt avhengig av sedimenttilførsel og vannføring, noe som er avhengig av smelting og breaktivitet. Det vil bli mindre sedimenter ført ut på sanduren og vannføring under flom som følge av vårsmelting. Det to sandurene nærmest breen er mest påvirket av isen og høyere vannføring i flomperioder en den nedre. Det kommer fram med at tørrlagte

kanaler med fin sand og silt i overflaten viser strømrifler fra nylig aktivitet, mens lignende tørre kanaler på nedre sandur ikke hadde slike rifler bevart som kan vise at det har vært et lengre tidsrom mellom tiden da disse flomavsetningene ble dannet.

4.3.2 Midtre sandur

Midtre sandur er i et stadium mellom proksimal og intermediær sandurutvikling og gjennomgår fremdeles betydelig endringer. Sandurens utbredelse har begrenset horisontalt av dalsidene og markert med en tydelig skrentkant langs begge marginene slik at størrelse er lite sannsynlig å skulle endre. Utsmeltingen av dødis som startet i 1990 og fremdeles er aktiv i 2015 har ført til innsynkninger på nedre del av sanduren. Framtidig utvikling vil først bestå sedimenter som fyller opp innsynkningene etter dødisen, til basisnivå igjen er nådd.

Terskelen for midtre sandur består i stor grad av morenemateriale fra breframrykk under den lille istid. Dette er årsaken til fall i basisnivå som har dannet terrasser på øvre del av sanduren. Den aktive utløpskanalen vil fortsette å erodere ned i løsmassene fra breen og basisnivå vil kunne synke videre til underliggende fjell er nådd. Fast fjell har større motstandskraft mot erosjon enn løsmasser og fall i basisnivå vil derfor skje saktere når fast fjell er nådd. Når basisnivå er stabilisert, vil sanduren gjøre det samme. Avsetningene vil bygge seg opp til basisnivå med godt definerte banker og kanaler.

I likhet med nedre sandur vil minkingen av breen og den følgende minkingen av sedimenttilførsel føre til mindre flomavsetninger i smeltesesongene og sjeldnere endring i kanalløp. Når all dødisen er smeltet ut og innsynkningene etter dem er fylt igjen vil aktive prosesser vil være begrenset til breelv, elv og massebevegelsesprosesser.

4.3.3 Øvre sandur

Øvre sandur viser en tidlig utviklingsfase for sandurer med sterkt preg av dødis og utydelige kanaler. Siden store deler av dalbunnen som ligger under isbreen og topografien er ukjent i tillegg til at mengdene med sediment tilgjengelig i den minkende isbreen er usikker, danner de to mulige utviklingsforløp for øvre sandurområdet.

For å få dannet en sandur, må hele den aktuelle dalbunnen fylles opp til basisnivå med sedimenter for å danne forgreinet elvesystem. Hvis isbreen inneholder nok sedimenter, vil det bli en sandur dannet i dalbunnen nedenfor isfallet og fram til dagens terske når sedimentene bygger seg opp til basisnivå. Men isbreen minker raskt og den mister evnen til å erodere og transportere materiale. Når breen smelter tilbake til over isfallet som leder til hovedbremmassen vil sannsynligvis mengden av smeltevann og mengden av sediment som blir transportert ut på sandurene bli kraftig redusert.

Det er fullstendig mulig at smeltevann fra breen vil bli liggende igjen som en innsjø på øvre sandur og i dalbunnen som ligger under isen når breen forsvinner. Hvis store delen av dalen under dagens bre har blitt overfordypet, vil det måtte tilføres store mengder med sedimenter for å fylle opp dalbunnen til basisnivå og danne forgreinet elvesystem som er karakteristisk for sandurer. Hvor mye sediment som er tilgjengelig i og under breen, er også ukjent. Hvis breen ikke inneholder nok sedimenter til å fylle opp dalbunnen før den smelter helt tilbake, vil det ikke kunne dannes en sandur, men dalbunnen vil heller fylles opp av vann og danne en bresjø. Helt ved dagens brefront 2015, var brefronten kalvende på nordsiden hvor den lå i forkant av en innsjø, noe som kan tyde på at det er deler av dalbunnen under isen som har blitt overfordypet. I tillegg vil utsmelting av dødis på øvre sandur og i moreneavsetningene føre til at sedimentene synker sammen og danner fordypninger som også må fylles med sediment for å bygge opp til basisnivå. Undersøkelser av dreneringsmønsteret i og under isbreer har ledet til konklusjonen om at det er et meget komplisert system (Vessey, 1965). Det vil derfor være vanskelig å anta hvordan topografien under breen ser ut.

På midtre sandur tok det omtrent 40 år for sandurflaten å komme fram fra under breen og bygge seg opp til basisnivå. Men øvre sandurområde er fremdeles ikke smeltet fullstendig og har en større utbredelse enn midtre sandur. Den vil kreve større mengder sedimenter enn midtre sandur for å bygges opp til basisnivå, og en overfordyping som det er bevis på ved nordsiden vil kreve ytterligere mengder sediment.

5 Konklusjoner

Ut fra undersøkelse av de individuelle sandurene i øvre del av Steindalen og tilbaketrekning av Steindalsbreen, er det mulig å rekonstruere dannelsesforløpet til de tre sandurområdene og gjøre antagelser for deres fremtidig utvikling. Deres ulike aldre og distanse til breen, viser forskjellige stadier av utvikling relatert til isbrens tilbaketrekning og danner grunnlag for å kunne anta et generelt dannelsesforløp for dalsandurer foran av en minkende isbre.

Nedre sandur representerer en godt utviklet sandur. Den har en bestemt horisontal og lateral utbredelse og de eneste endringer som skjer aktivt, er en regelmessig endring i kanalmønster som skyldes sesongvis variasjon i vannføring og sedimenttilførsel. Den har eksistert i et tidsrom på flere hundre år og vil ha begynt sin dannelse samtidig som breen smeltet tilbake og eksponerte den dalbunnen. Framrykk av breen i neoglasial tid dannet morener som strakte seg ut på øvre del av sanduren hvor tidligere avsetninger ble forstyrret. Det eldste framrykket for noen hundre år siden og de yngre fra 1850, 1920 og 1910. Breen har trukket seg jevnt tilbake siden 1910 og det er blitt dannet nye avsetninger i øvre del av sanduren.

Midtre sandur er en relativt ung sandur hvor utbredelsen er bestemt, men avsetningene gjennomgår fremdeles flere betydelige endringer. Den gjennomgikk mest forandring mellom 1940 og 1980, hvor sandurområdet ble eksponert, avsetningene bygget seg opp til basisnivå og et mønster av banker og kanaler ble dannet. Et senere fall i basisnivå har ført til terrassedannelse på sørsiden av sanduren, og at en av to utløpskanaler fra sanduren ble forlatt. Utsmelting av dødis fra 1990 til dags dato, har ført til dannelse av diffuse kanaler på nedre del av sanduren, og en større dødisgrop som i 2015 er under stadig utvikling.

Øvre sandur representerer et begynnende utviklingsstadium for sandurer der det skjer raske endringer. Breen smeltet bort fra nederste del av sanduren rundt 1990. Resten av dalbunnen der sandurdannelse fortsatt er mulig, er ikke fullstendig eksponert i 2015. Vannføringen er svært varierende med årstiden og det avsettes store mengder materiale, som flomavsetninger. Området foran breen er dekket av dødis og dødisgroper. Det er ukjent hvor stor tilgjengelig mengde sedimenter som er i og under breen. Hvis det ikke er nok sedimenter til å fylle opp dalbunnen til basisnivå ved terskelen til øvre sandur, vil det ikke være mulighet til å utvikle en sandur på området som blir avdekket av breen.

Det generelle dannelsesforløpet til dalsandurer i undersøkelsene i Steindalen, viser at første del av dannelsesfasen skjer umiddelbart etter breen smelter tilbake og eksponerer et område hvor vann kan ansamles foran en terskel. Når breen trekker seg tilbake og et større område blir eksponert, vil vann oversvømme stadig større områder med en utbredelse begrenset av dalsidene. Dødis vil bli separert fra isbreen og danne et dødislandskap med hauger og groper. Noe av isen vil kunne bli begravd under avsetningene på sanduren, mens noe smelter ut og danner fordypninger i landskapet. Sedimenter vil deretter bygge seg opp til basisnivå og det dannes et nettverk av banker og kanaler. Senkning av basisnivå vil lede til terrasse dannelse som følge av erosjon i eldre avsetninger. Utsmelting av dødis vil føre til dannelse av dødisgroper og diffuse kanaler som vil være synlig i en begrenset periode. Videre avsetning vil slette bevis av dødis og sanduren vil bygge seg opp igjen. Sanduren vil deretter ha en omtrent fast størrelsesmessig utbredelse og et nettverk av forgreinede banker og kanaler som endres i takt med vannføring og sedimenttilførsel fra breelvene.

6 Referanser

- Andersen, B. G. (1968). Glacial geology of Western Troms, North Norway. *Norges geologiske undersøkelse* 256, ss. 1-74.
- Ballantyne, C. K. (1990, Mars). The Holocene glacial history of Lyngshalvøya, northern Norway: chronology and climatic implications. *Boreas*, Vol. 19, ss. 93-117.
- Benn, D., & Evans, D. (2010). Sediment landform association. I D. Benn, & E. D. A, *Glaciers and glaciation* (ss. 442-579). Hodder Education .
- Brende, B. (2004, Februar 20). Hentet fra Regjeringen.no:
https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/storslatt_norsk_alpelandskap_vernet/id253455/
- Bridge, J., & Demicco, R. (2008). Glacial and periglacial environment. I J. Bridge, & R. Demicco, *Earth surface processes, landforms and sediment deposits* (ss. 595-629). Cambridge.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2005). River character . I *Geomorphology and River Management* (ss. 79-142). Blackwell Publishing.
- Collinson, J. D., Mountney, N. P., & Thompson, D. B. (2006). Basic properties of fluids, flows and sediment. I J. D. Collinson, N. P. Mountney, & D. B. Thompson, *Sedimentary structures* (ss. 21-44). Terra Publishing.
- Corner, G. (2004). *STORFJORD 1633 IV Kvartærgeologisk kart 1:50 000*. NGU, Universitetet i Tromsø.
- Corner, G. D. (1980). Preboreal deglaciation chronology and marine limits of the Lyngen-Storfjord area, Troms, North Norway. *Borea*, Vol. 9, ss. 239-249.
- Corner, G. D., & Svindland, K. T. (2008). *Turen går til Steindalen*. Hentet fra Geologiskolen:
<http://geologiskolen.uit.no/lokalGeologiskolen/storfjord.html>
- Eiken, T. (2013). *Mapping and Surveying, UNIS - AG204*. Department of Geosciences, University of Oslo.
- ESRI. (2015). *ArcGIS*. Hentet fra ESRI: <http://www.esri.com/>

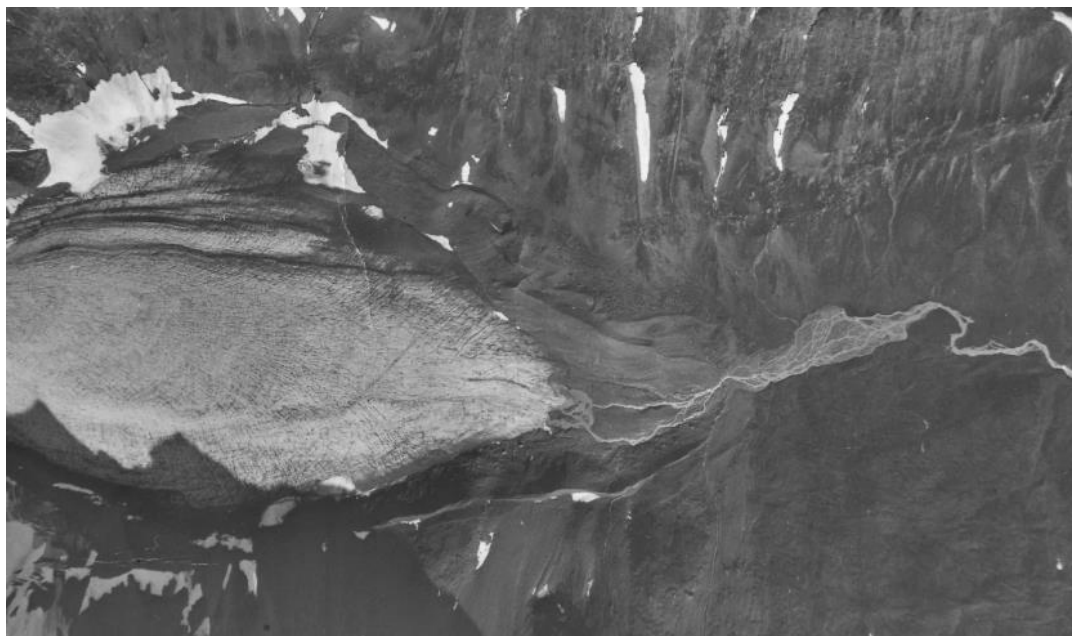
- Fjellanger Widerøe. (u.d.). *Fjellanger Widerøe AS*. Hentet fra FWfoto:
<http://www.adsearch.no/company/3793-Fjellanger-Wider%C3%B8e-AS.html>
- Garmin. (2015). *Garmin*. Hentet fra <http://www.garmin.com/nb-NO/shop/downloads/basecamp>
- Gustavson, T. C., & Boothroyd, J. C. (1987). A depositional model for outwash, sediment sources, and hydrologic characteristics, Malaspina Glacier, Alaska: A modern analog of the southeastern margin of the Laurentide Ice Sheet. *Geological Society of America Bulletin*, ss. 187-200.
- Jellestad, H. (2009). Matematikk og kart - et undervisningsopplegg for ungdomstrinnet og videregående skole. Laksevåg videregående skole.
- Jørgensen, P. (1997). Breelver og breelvvavsetninger. I P. Jørgensen, R. Sørensen, & S. Haldorsen, *Kvartærgeologi* (ss. 9-26, 91-110, 225-235). Tun Forlag.
- Krigström, A. (1962). Geomorphological studies of sandur plains and their braided rivers in Iceland. *Geografiska annaler, Vol. 44*, ss. 328-346.
- Lowe, J. J., & Walker, M. J. (1997). Geomorphological evidence. I J. J. Lowe, & M. J. Walker, *Reconstructing quaternary environments* (ss. 18-84). New York: Routledge.
- Maizels, J. K. (1977). Experiments on the origin of kettle-holes. *Journal of Glaciology, Vol 18, No 79*, ss. 291-303.
- Mangerud, J. (2004). Ice sheet limits in Norway and on the Norwegian continental shelf. I J. Ehlers, P. L. Gibbard, & P. D. Hughes, *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology* (ss. 271-294). Elsevier.
- Meteorologisk Institutt. (u.d.). *Været som var*. Hentet fra Yr:
<http://www.yr.no/sted/Norge/Troms/Storfjord/Steindalen/statistikk.html>
- Miall, A. (1978). Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 5*, ss. 597-604.
- Nesje, A. (1995). *Brelære*. Oslo: Høyskoleforlaget.

- NGU. (2015, Mai 28). Hentet fra Kwartærgeologiske kart (Løsmassekart):
<http://www.ngu.no/emne/kvart%C3%A6rgeologiske-kart-l%C3%B8smassekart>
- Nichols, G. (2009). I G. Nichols, *Sedimentology and Stratigraphy* (s. 7). Wiley-Blackwell.
- Nilsen, C. (Under forberedelse). Masteroppgave i geologi, UIT. *Bretilbaketrekningshistorie og landformdannelse foran Steindalsbreen, Lyngen, Troms*.
- Norge i bilder. (2015). *Norsk institutt for skog og landskap, Statens vegvesen og Statens kartverk*. Hentet fra <http://www.norgebilder.no/>
- Price, R. J. (1969). Moraines, Sandar, Kames and Eskers near Breidamerkurjökull, Iceland. *Transactions of the Institute of British Geographers, No. 46*, ss. 17-43.
- Sigmond, E. M., Bryhni, I., & Jorde, K. (2013). Norsk geologisk ordbok. I E. M. Sigmond, I. Bryhni, & K. Jorde, *Norsk geologisk ordbok* (s. 372). Akademika forlag .
- Smith, N. D. (1985). Proglacial fluvial environment. I G. M. Ashley, J. Shaw, & N. D. Smith, *Glacial sedimentary environments* (ss. 84-126). Tulsa, OK: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.
- Sveian, H. (2007). isen kom og forsvant. I R. Dahl, & H. Sveian, *Ka dokker mein førr stein! Geologi, landskap og ressurser i Troms* (ss. 24-33). NGU, Norges Geologiske Undersøkelse.
- Sveian, H., & Corner, G. (2004). Lyngens isbreer før og nå. I R. Dahl, & H. Sveian, *Ka dokker mein førr stein! Geologi, landskap og ressurser i Troms* (ss. 90-95). NGU, Norges geologiske undersøkelse.
- Vessey, J. G. (1965). The study of a glacier drainage system: Steindalsbreen - North Norway (Unpublished report).

VEDLEGG

FLYBILDER

Utsnitt av flybilder fra øvre del av Steindalen som ga grunnlaget for tolkninger i ArcMap.



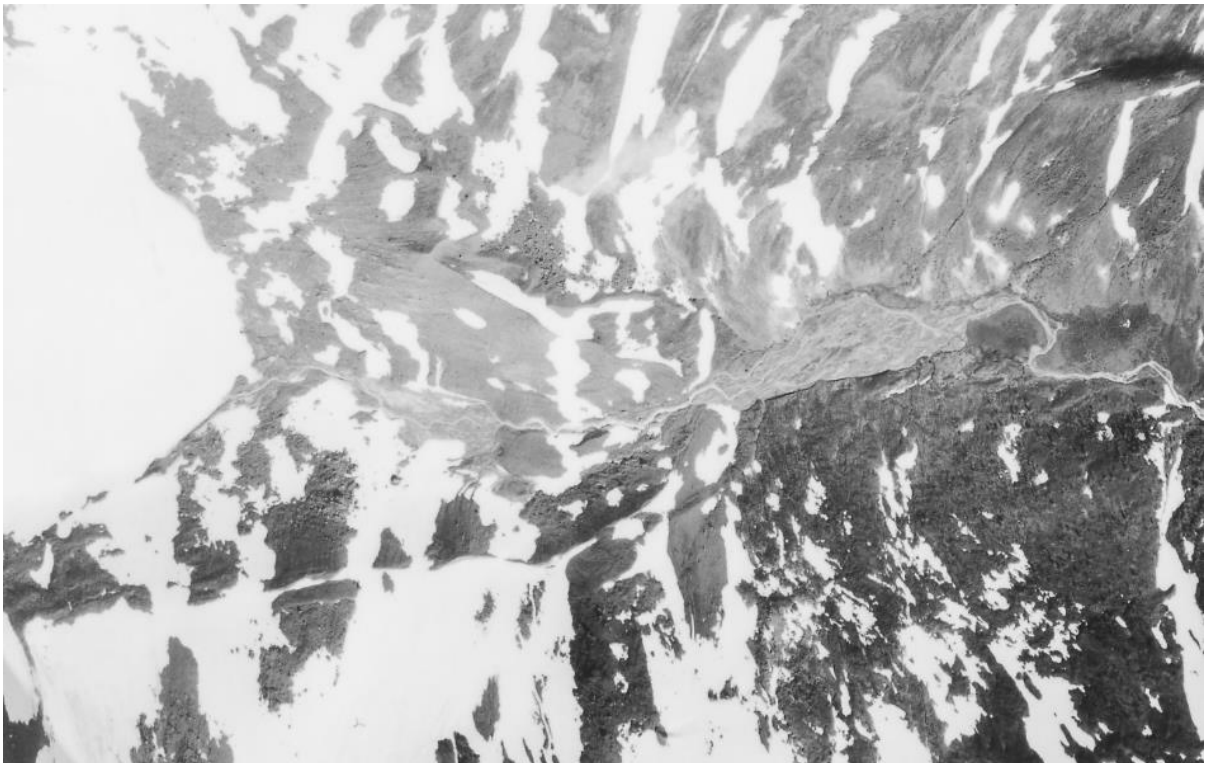
Figur 1: Øvre del av Steindalen, 1953



Figur 2: Midtre sandur og Steindalsbreen, 1977



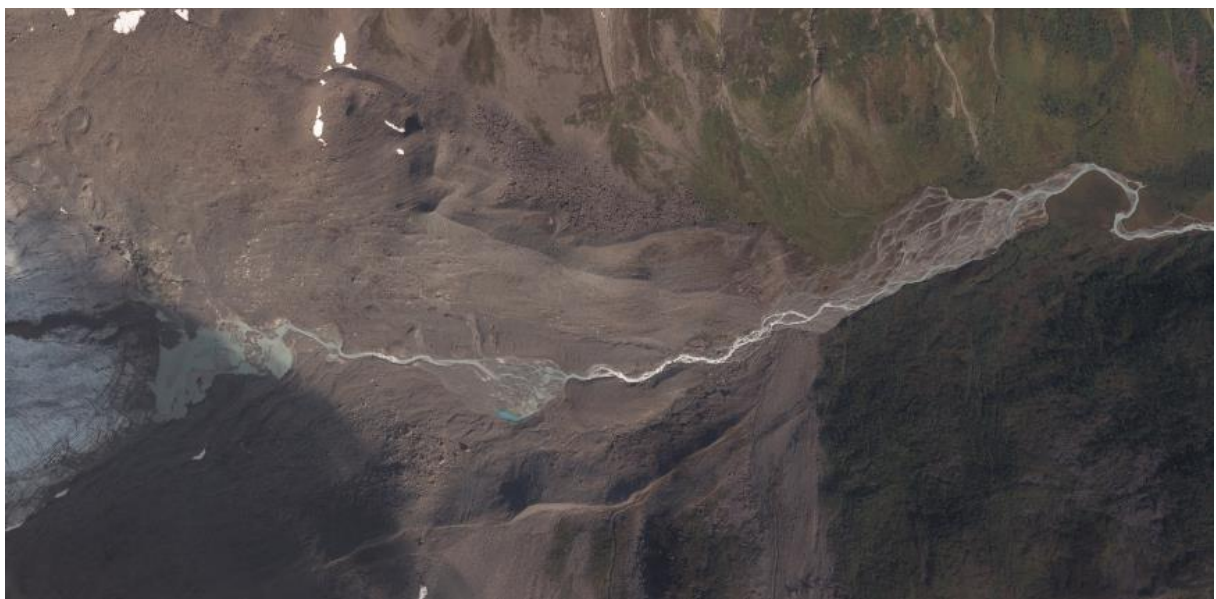
Figur 3: Øvre del av Steindalen, 1979



Figur 4: Øvre del av Steindalen, 1993



Figur 5: Øvre del av Steindalen, 2006 (Norge i bilder)



Figur 6: Øvre del av Steindalen, 2011 (Norge i bilder)

DEFINISJONER OG TERMINOLOGI RELATERT TIL ARCMAP

Tabell 1	Definisjoner og terminologi brukt i oppgaven
Feature Class (ArcMap)	En samling av geografiske artikler med samme type geometri (punkt, linje, polygon) og romlige referanse (ESRI, 2015).
Georeferering (ArcMap)	Tilpassing av geografisk data til et kjent koordinatsystem så det kan bli plassert og analysert sammen med annet geografisk datamateriale. (ESRI, 2015)
GPS	Akronym for 'Global Positioning System'
Shapefile (ArcMap)	Et vektordata lagringsformat for å lagre lokalitet, fasong og attributter for geografiske artikler. Lagret som et sett av relaterte filer og inneholder en 'feature class'. (ESRI, 2015)
UTM	Akronym for 'Universal Transverse Mercator'. Et prosjektert koordinatsystem som deler opp verden i 60 nord og sør soner, hver med 6 graders bredde. (ESRI, 2015)
Vertices (ArcMap)	Et punkt med X,Y koordinater som definerer formen på en linje eller polygon artikkel (ESRI, 2015)
WGS	Akronym for 'World Geodetic System'. Den mest utbredte geosentriske datum. (ESRI, 2015)

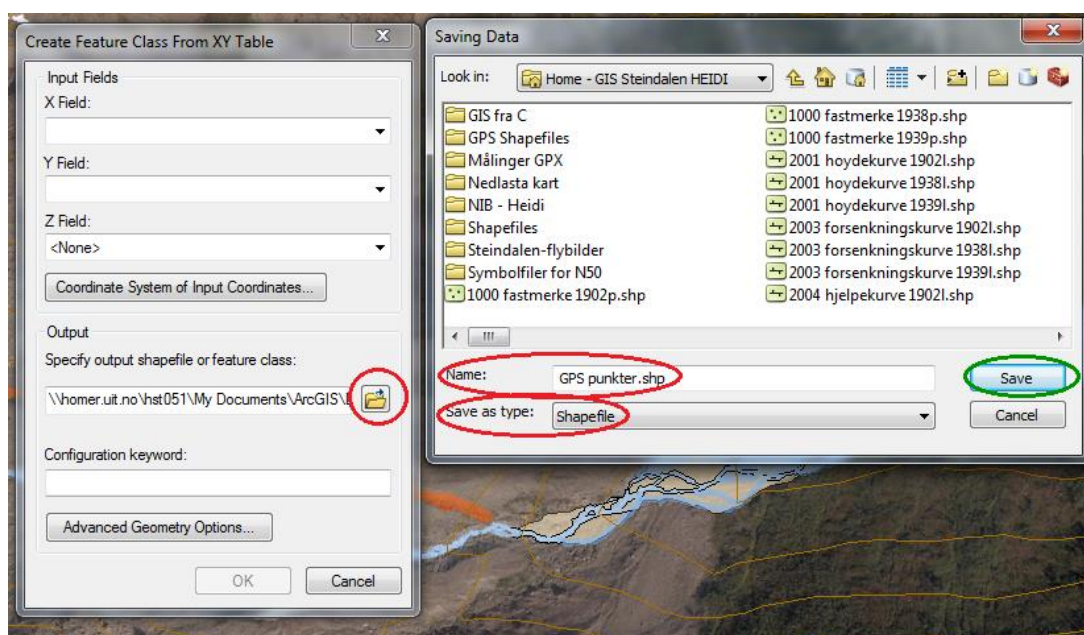
ARCMAP, IMPORT AV GPS KOORDINATER

For å importere GPS koordinater fra programmet Basecamp til ArcMap, åpnes først programmet Basecamp og man går gjennom følgende steg:

- Fil > Eksporter > velg data > lagre som 'comma-delimited text' (*.csv)
- Den nye filen åpnes i programmet Excel > velg 'Data' på den øvre menyen > velg 'tekst til kolonne' > kryss av for 'data med skilletegn' > neste > huk av for 'komma' > neste > for de aktuelle kolonnene, velg 'avansert' > velg 'desimalskilletegn' > ok > fullfør
- Fjern kolonnene med overflødig data, la stå kolonnene for 'ID', 'lat', 'lon', 'ele' og 'ctm'
- Endre navn på kolonnene slik at Lat = Y, lon = X og ele = z.
- Fil > lagre som 'Excel-arbeidsbok' (*.xlsx)

Koordinatene er nå lagret i et format som kan gjøres om til X,Y data i ArcMap når filen importeres. Deretter kan shapefil punkter dannes. For å gjøre dette åpnes ArcMap og følgende steg gjennomføres.

- I 'Catalog', trykk 'make folder connection' > høyreklikk på dokumentet som skal importeres > create feature class > from XY table > velg 'Coordinate System of Input Coordinates' > WGS 1984 UTM 34 N > trykk på mappesymbolet (se figur 7) > bestem filplassering og gi navn > lagre som 'shapefile' > save



Figur 7: Skjermbilde fra ArcMap som viser viktige steg i lagringsprosessen for en ny shapefil.

I 'catalog' > høyreklikk på mappen hvor elementet ble lagret og trykk 'refresh'. Shapefilen med GPS punktene kan når flyttes til 'table of contents' og vises i kartbladet som punkter.

Farge og størrelse på punktene endres i etterkant ved å høyreklikke på shapefilen som inneholder punktene man ønsker å endre på og klikker 'properties' > gå inn på 'symbolology' og trykk på boksen under 'symbol' > velg ønsket farge og størrelse på punktene > ok > ok

ARCMAP, NEDLASTNING OG IMPORT AV FLYBILDER FRA NORGE I BILDER

Gå først inn på nettsiden www.norgeibilder.no og zoom så inn til ønsket kartutsnitt. For å laste ned flybilder, velg så funksjonen 'eksporter' i menyen og gå så gjennom følgende steg:

- Utsnitt > velg 'rektangel i kart' > marker ønsket område > neste
- Marker av boks for ønskede årstall fra tilgjengelige filer > neste
- Velg følgende: Ønsket bakkeoppløsning > filformat: GeoTIFF > koordinatsystem: UTM 33 > filoppdeling: 'kartblad' hvis stort område, 'ingen oppdeling' hvis lite område > neste
- Skriv inn merknad > skriv inn epostadresse for levering av filer > bestill jobb

Når bestillingen er gjennomført blir den sendt til oppgitt mailadresse. I mailen kan bildene hentes ved å trykke på 'leveranse katalog'. For å få bildene lagret på datamaskinen gjennomføres følgende steg:

- Marker adressen i nettleseren > høyreklikk > kopier > åpne mappe på datamaskin > erstatt mappelokaliteten med den kopierte fra leveringsloggen > trykk 'enter' > kopier og lagre filene i egnet mappe
- Filene kan deretter legges inn i ArcMap og vil dukke opp i kartet ferdig georeferert når de legges til i 'table of contents'

ARCMAP, GEOREFERERING AV BILDER OG FIGURER

For å georeferere flybilder og figurer uten geografisk referanse gjennomføres følgende steg:

- I ArcMap, når ønsket bildefil legges inn i innholdslisten vil en feilmelding dukke opp > trykk ok. (Bildet vil ikke vises i kartet fordi geografisk referanse mangler)
- Aktiver georefereringsverktøyet: Customize > Toolbars > Georeferencing
- Velg filen som skal refereres fra meny nummer to på den nye verktøylinjen > zoom inn på området hvor kartet er forventet å skal være plassert > i menyen til venstre på verktøyslinjen, velg 'Fit To Display' og filen vil vises midt i kartet
- Velg 'Add Control Points' fra verktøylinjen > Pekeren vil være et grønt kryss, velg ett punkt som er lett gjenkjennelig i filen som skal georefereres > Pekeren vil nå være et rødt kryss, velg det tilsvarende punktet i referansekartet og den nye filen vil flyttes for å falle sammen til dette punktet
- Legg til flere kontrollpunkter jevnt fordelt over den nye filen der det er mulig for å få mest nøyaktig framstilling
- Fra menyen i verktøylinjen, velg 'Update Georeferencing'
- I ArcMap Catalog vinduet, oppdater mappen hvor filen er lagret: høyreklikk > 'refresh' og filen vil nå inneholde en geografisk referanse

ARCMAP, FEATURE CLASSES, SHAPEFILER

For å lage nye shapefiles til å representere de forskjellige elementene i kartet og flybildene, må følgende steg gjennomføres:

- I ArcMap Catalog, høyreklikk > New > Folder > velg navn på mappen
- I denne mappen > høyreklikk > New > Shapefile > Skriv inn ønsket navn på etiketten til figuren > Velg feature type (Avhenger av hvilken figur som best beskriver elementet som skal kartlegges, punkt, linje eller polygon) > edit > let fram og velg 'WGS 1984' > ok > ok

Den nye shapefilen dukker opp i 'table of contents' kan deretter redigeres på følgende måte:

- Aktiver redigeringsverktøyet: Customize > Toolbars > Editor
- I menyen i redigeringsverktøyet, velg 'Start Editing' > velg ønsket shapefil som skal redigeres > ok > velg samme shapefil > continue > i 'Create Feature' menyen til høyre, velg igjen filen som skal redigeres
- Pekeren vil nå være et kryss og hvert klikk vil utgjøre ett nytt punkt (vertices) i linjen eller polygonet > Dobbeltklikk vil fullføre polygonet eller linjen
- En shapefil kan utgjøres av flere polygoner eller linjer slik at det ikke er nødvendig å danne en ny shapefil for hver individuelle del av en større figur.
- Når shapefilen har fått ønsket form: I redigeringsverktøyet, velg 'Save Edits' > Stop Editing

For å redigere shapefilene i etterkant:

- Gå gjennom de tidligere trinnene for å velge shapefilen som skal redigeres > trykk på pilssymbolet i redigeringsverktøyet > velg linjen eller polygonet som skal redigeres > Edit Vertices > trykk og dra for å flytt individuelle punkter til ønsket sted eller slett hvis det er ønskelig
- Når ønsket form på shapefilen er oppnådd, følg trinnene for lagring a figur.

EXCELMATERIALE: MIDTRE SANDUR

Datamateriale fra nivelleringen og kornstørrelsesanalyse av midtre og nedre sandur. Målt posisjon angir rekkefølgen på målingene. GPS punkt tilsvarer nummeret på waypointet som ble registrert i GPS-enheten under nivelleringen. Høyden er relativ regnet ut fra et nullpunkt som ble satt til første punkt på nederste del av sanduren ved nivellering. Beskrivelsene stammer fra feltarbeidet og beskriver hva som befant seg ved punktet hvor nivelleringen ble foretatt. NV (nord-vest) og ØV (øst-vest) utgjør GPS posisjonen i meter i nord-sør og øst-vest retning i meter. Profildistanse er den beregnede distansen punktet har fra startpunktet i nivelleringene.

EXCELMATERIALE: ØVRE SANDUR**Øvre sandur (nedre del) – Nivelleringsmålinger**

Målt posisjon	GPS punkt	Høyde (m)	Beskrivelse	NS	ØV	Profildistanse (m)
1	39	0,0	Vannstand terskel	23449	55628	0
2	40	0,1	Vannstand, distal side banke	23459	55619	13
3	41	0,25	Midt på banke	23460	55613	20
4	42	0,04	Proksimal side banke	23463	55576	57
5	43	0,1	Vannstand flomkanal	23470	55557	76
6	44	0,37	Tørrlagt kanal	23475	55538	97

Øvre sandur (øvre del) – Nivelleringsmålinger

Målt posisjon	GPS punkt	Høyde (m)	Beskrivelse	NS	ØV	Profildistanse (m)
1	45	0,0	Vannstand terskel	23483	55509	0
2	46	0,3	Flomkanal	23485	55471	38
3	47	0,1	Vannstand	23481	55453	56
4	48	0,2	Vannstand, distal side banke	23475	55420	90
5	49	1,0	Distal side banke	23475	55413	97
6	50	1,9	Proksimal side banke	23477	55373	137
7	51	0,7	Vannstand, proksimal side banke	23478	55366	144
8	52	0,7	Vannstand, distal side banke	23483	55348	162
9	53	2,2	Midt på banke	23486	55328	183
10	54	1,1	Vannstand	23496	55221	290
11	55	2,0	Midt på banke	23747	55195	316
12	56	1,3	Vannstand	23473	55131	383

Midtre sandur - Nivelleringsmålinger

Målt posisjon	GPS punkt	Høyde (m)	Beskrivelse	NS	ØV	Profildistanser (m)
1	22	0	Vannkant S-siden av elveutløp	23375	56256	0
2	23	1,51	ca. Toppunkt gammel overløp mot SØ	23346	56239	...
3	24	-0,01	Vannkant, distal ende av en grusbanke	23375	56236	14
4	25	0,36	Grusbanke (midten)	23374	56219	25
5	26	0,41	Proksimal ende grusbanke = vannivå	23375	56197	39
6	27	0,55	Grusbanke, distal ende = vannkant	23380	56158	65
7	28	1,53	Grusbanke (midt på)	23385	56129	86
8	29	2	Liten grusbanke i delt kanal = vannivå	23391	56099	107
9	30	3	Proksimal ende tørr banke, like før skrent	23398	56037	150
10	31	3,8	Topp av 1m høy skrent mot øvre terrassenivå	23397	56030	154
11	32	3,85	Tørr kanalbunn ca. 20 m proksimalt for posisjon 10. Apeks av terrassebanke mot dagens	23401	56008	170
12	33	5,33	elv/skrentkant	23409	55952	209
13	34	5,2	Dagens elvekant ved siden av posisjon 12 Proksimal ende av tørr kanal på	23409	55953	209
14	35	6,19	terrassebanke, nærme elva	23408	55930	222
15	36	7,37	Proksimal ende neste terrassenivå I dyp kanal bak/proks for posisjon 15 (nær	23409	55897	244
16	37	7,13	elva)	23410	55891	248
17	38	8,87	Apeks av det generelle terrassenivå	23415	55829	289
18	39	8,37	Dagens elv ved siden av posisjon 17	23419	55827	293

EXCELMATERIALE: NEDRE SANDUR

Nedre sandur - Nivelleringsmålinger

Målt posisjon	GPS punkt	Høyde (m)	Beskrivelse	NS	ØV	Profildistanse (m)
5	88	-0,01	Vannkant Ø side bekk	23496	57870	0
6	89	0,19	Grus banke ved siden av posisjon 5	23495	57870	1
7	90	0,65	Grusig storbanke, midten	23489	57809	42
8	91	0,53	Vannkant, hovedelv	23487	57796	52
9	92	0,91	Banke, proksimal ende, gresskledd	23485	57754	84
10	93	1,29	Banke, like Ø for bi-elv fra N	23473	57637	158
11	94	1,15	Vannkant like ved, bi-elv	23473	57639	157
12	95	1,73	Grusig banke; små kanaler er ca. 10cm lavere	23466	57570	204
13	96	3,16	Banke ved siden av tørr bi-kanal	23458	57415	306
14	97	3,89	Gresskledd banke	23456	57375	332
15	98	4,61	Fersk overbanke grus + vannkant i liten kanal	23447	57337	360
16	99	4,56	Vannkant, laveste del av flere forgreininger	23446	57320	371
17	100	5,49	Vannkant, stor bi-elv	23441	57289	393
18	101	6,71	Fersk steining banke	23433	57246	424
19	102	6,38	Vannkant mot V	23431	57233	433
20	103	8,82	Topp av steinig/blokkig banke	23426	57160	482
21	104	8,11	Tørr kanal mot N	23429	57157	481
22	105	10,86	Blokkig banke/splay	23422	57096	524
23	106	11,98	Front/topp av blokkig lobe	23419	57072	540
24	107	11,23	Tørr kanal like ved loben	23417	57078	538
25	108	12,77	Slakt skrånende 'splay' proksimalt for lobefront	23417	57053	554
26	109	13,15	Dyp scour/tørr kanalbunn mellom lober	23411	57024	575
27	110	16,06	Topp/kant av lobe	23416	56987	596
28	111	18,25	Front/topp av lobe	23417	56966	608
29	112	18,47	Blokkig lobe	23408	56942	628
30	113	22,09	Blokkig lobe	23406	56900	655
31	115	24,6	Blokkig lobe ved sandur apeks/moreneblokkene	23399	56872	677

Nedre sandur – Kornstørrelsesfordeling

GPS posisjon	Avstand (m)	Kornstørrelsesfordeling	Dominerende kornstørrelse (mm)	Maksimal kornstørrelse (mm)
88	0	Sandig, medium grus	12	43,6
89	1	Sandig, grov grus	20	47,4
90	42	Sandig, grov grus	20	57,4
91	52	Sandig, grov grus	20	86,4
92	84	Siltig, medium grus	10	28
93	158	Sandig, grov grus	20	74
94	157	Sandig, grov grus	25	102
95	204	Siltig, medium grus	15	54
96	306	Siltig, meget grov grus	40	116,8
97	332	Sandig stein	30	85,2
98	360	Siltig, medium grus	15	72,6
99	371	Sandig, medium grus	10	152,8
100	393	Sandig, meget grov grus	50	164
101	424	Steinig, meget grov grus	40	102,8
102	433	Steinig, meget grov grus	45	138,2
103	482	Siltig, meget grov grus	50	128
104	481	Sandig, grov grus	30	98,4
105	524	Blokkig, stein	70	170,2
106	540	Grus-stein-blokk	90	175,2
107	538	Grusig, blokkig, stein	110	286,8
108	540	Sandig stein	100	177
109	575	Sandig stein	100	252,8
110	596	Grus-stein	100	235,6
111	608	Steinig, meget grov grus	130	175,8
112	628	Stein	180	390
113	655	Sandig, blokkig, stein	200	312
115	677	Blokkig, stein	210	352

ARBEID UTFØRT I STEINDALEN

Arbeid gjennomført i Steindalen har ført til datamateriale i form av flybilder, fotografier og målinger fra Steindalen og Steindalsbreen fra flere år tilbake til 1953. Arbeidet er gjennomført av individer fra Saint Luke's College, Universitetet i Tromsø og Norges Vassdrag og Energidirektorat. Flybildene stammer fra Fjellanger Widerøe og Norge i Bilder. Individene er relatert til UIT, med mindre annet har blitt oppgitt.

År	Bilder/observasjoner	Flybilder	Brefront målinger	Arbeid utført av
1953		Ja (tilgjengelig)		Fjellanger Widerøe
1954		Dekker kun nedre sandur		Fjellanger Widerøe
1965	Upublisert rapport med fotografisk vedlegg			John G. Vessey (Saint Luke's College)
1976	Målinger			Geoff Corner
1977	Målinger og observasjoner	Dekker kun midtre sandur		Geoff Corner
1978	Målinger			Geoff Corner
1979		Ja (tilgjengelig)		Fjellanger Widerøe
1980	Målinger			Geoff Corner
1982	Observasjoner			Geoff Corner
1985	Målinger			Geoff Corner
1987	Målinger			Geoff Corner
1988	Observasjoner			Geoff Corner
1990	Målinger			Sten Rasmussen
1992	Målinger			Geoff Corner
1993		Ja (tilgjengelig)		Fjellanger Widerøe
1994	Målinger			Geoff Corner
1995	Målinger			Jan Sverre Laberg Raymond Eilertsen,
1997	Målinger			Mathias Forwick Bjarne Kjøllmoen (NVE), Raymond Eilertsen
1998	Målinger			Viggo Moe (NVE),
1999	Målinger		-18	Geoff Corner Viggo Moe (NVE),
2000	Målinger		-9	Morten Hald
2001	Fotografier			
2002	Målinger		-20,5	Bjarne Kjøllmoen (NVE), Erland Lebesbye
2003	Fotografier og målinger			Geoff Corner
2004	Fotografier og målinger			Geoff Corner Charles Nyheim (NVE), Hallgeir Elvehøy (NVE),
2005	Fotografier og målinger		-10	Geoff Corner

2006	Fotografier og målinger	Ja (Norgebilder)	-34	Charles Nyheim (NVE), Geoff Corer
2007	Fotografier og målinger		-30	Charles Nyheim (NVE), Geoff Corner
2008	Fotografier og målinger		-24	Charles Nyheim (NVE), Geoff Corner, Jan P Holm, Henrik Rasmussen,
2009	Fotografier og målinger		-10	Kjell Svindland Charles Nyheim (NVE), Frode Hansen (NVE),
2010	Fotografier, målinger og masteroppgave		-40	Geoff Corner Frode Hansen (NVE), David Grieg,
2011	Fotografier og målinger	Ja (Norgebilder)	2	Henrik Rasmussen Frode Hansen(NVE), Geoff Corner, Torben Rognmo, Maria Hannus,
2013	Fotografier og målinger		-6,5	2 Annbjørg Johansen Frode Hansen (NVE), Geoff Corner,
2014	Fotografier og målinger		-21	-6,5 Raymond Eilertsen Heidi Storjord, Carina Nilsen,
2015	Fotografier og målinger	Ja		-21 David Skirnisson Heidi Storjord, Carina Nilsen