

Sedimentologisk undersökning av misstänkt glacialt inducerad förkastningsbrant

Christian Öhrling & Colby Smith

juni 2020

SGU-rapport 2020:21

Diarie-nr: 00-1162/2019



Omslagsbild: Schaktet grävdes av maskinen i bakgrunden i slutet av november 2019. Den sista dokumentationsdagen vaknade statsgeologerna upp till klar himmel och snö på marken. Fotografiet är taget från väst mot öst.
Fotograf: Christian Öhrling

Författare: Christian Öhrling och Colby Smith
Alla figurer är skapade av Christian Öhrling
Granskad av: Lina Nolin Nyström och Gustav Sohlenius
Ansvarig enhetschef: Anna Hedenström

Redaktör: Johan Sporrang

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

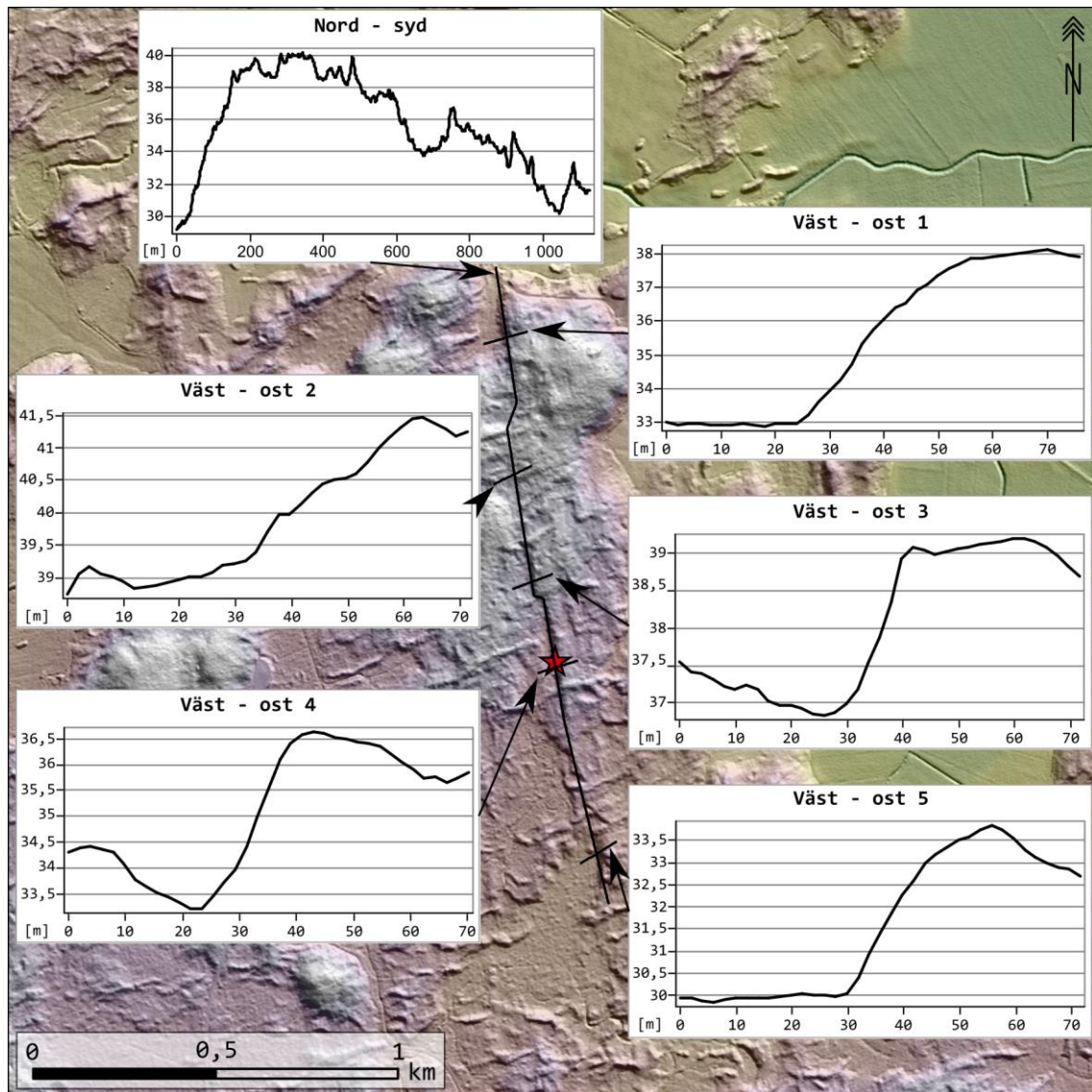
Inledning.....	4
Resultat.....	5
Jordartskartan och jorddjup	5
Sedimentologisk dokumentation	9
Analys av prover	11
Partikelorientation.....	11
Grävning till berg.....	12
Diskussion	12
Morän (e1 och e2).....	12
Sorterad sand (inom e2).....	13
Lera (e3)	13
Vågsvallning (e4 och e5)	13
Den geomorfologiska lineationen	13
Den bortvalda lokalen.....	14
Slutsats	14
Tillerkännande	14
Referenser.....	15

INLEDNING

Svensk kärnbränslehantering AB (SKB) undersöker bland annat rörelser i jordskorpan, för att skapa de bästa möjliga förutsättningarna för ett slutförvar av använt kärnbränsle. Av särskilt intresse är större jordskalv där förkastningar i berggrunden har aktiverats under senglacial–postglacial tid, s.k. postglaciala förkastningar (PGFar), till följd av en kombination av tektonik och glacial isostasi (till exempel Stewart, Sauber & Rose 2000). Öhrling, Peterson, och Mikko (2018) genomförde en detaljerad terränganalys, med hjälp av digitala höjdmodeller baserade på flygburen laser scanning, LiDAR (Light Detection And Ranging), med syftet att leta efter spår av glacialt inducerade rörelser i markytan. Analysen resulterade i att två branter, som identifierades, inte helt och hållet kunde uteslutas vara förkastningar som varit aktiva under senglacial–postglacial tid. Därav kom SKB den 28e maj 2019 med en förfrågan gällande de i Öhrling m.fl. (2018) föreslagna fältundersökningarna för att fastslå om dessa branter, lineationer i markytan, är PGFar eller ej. Författarna utförde fältundersökningarna under sen höst 2019 och under våren 2020 sammanställdes denna rapport. I projektet deltog även Henrik Mikko och Anna Hedenström.

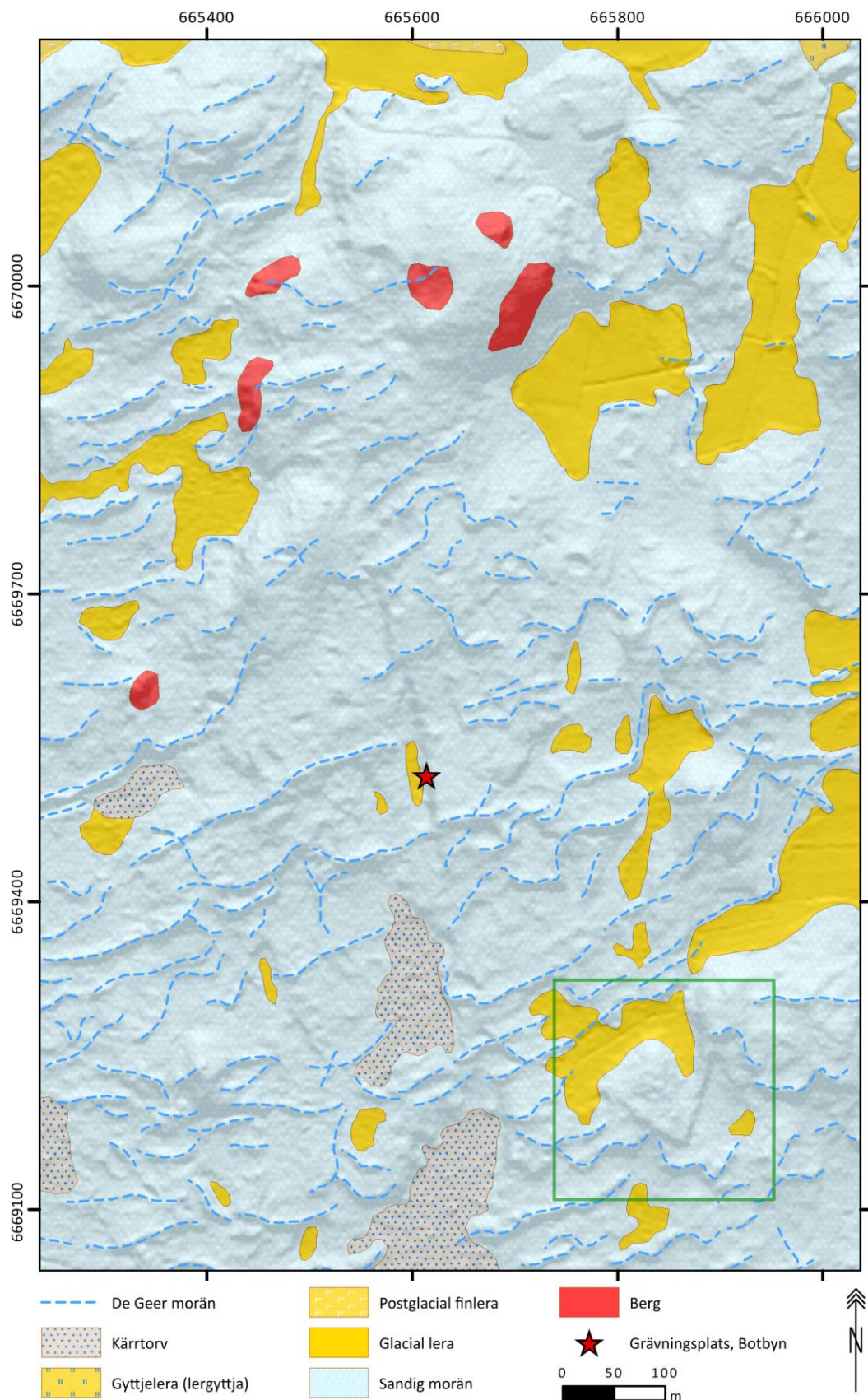
De två studieområdena består nästan uteslutande av morän, vilket gör de sedimentologiska undersökningarna annorlunda än metodiken som tillämpades av Lagerbäck och Sundh som fokuserade undersökningarna till områden med finkorniga sediment (Lagerbäck, Sundh, Svedlund & Johansson 2005). Det har visats sig att detaljerade moränstratigrafiska studier (ex. partikelorienteringsanalyser) kan ge information om potentiella PGFar i moränområden (Ojala m.fl. 2017). Efter en inledande fältkontroll av lokalerna under juni 2019 beslutades att fokusera undersökningen till den ena lokalen. Det bedömdes ej påkallat att lägga resurser på de båda eftersom de två branterna är snarlika, både till det morfologiska uttrycket samt jordart. Den valda branten var högre och mer markant både i fält och i LiDAR-bilder än den andra branten, som var otydlig och svår att följa i fält. De geologiska likheterna är stora; parallell med isrörelseriktning och drumlinoid landform, korsande De Geer-moräner, spår av glacialt smältvatten, allmän terräng och jordart. Den utvalda lokalen, Botbyn, är lokaliserad mellan Forsmark och Uppsala, och den bortvalda finns 21 km söder härom, båda i Uppsala län (fig. 1). Branten, som påkallat undersökningen, är orienterad i nära nord–sydlig riktning, och har en relief mellan 2,5 och 5 m med den östra sidan högst (fig. 2).

I syfte att finna spår från rörelser, orsakade av jordskalv, i sedimenten användes en 23 ton tung grävmaskin för att gräva ett **ca 25 m långt och upp till 3 m djupt schakt** ungefär vinkelrätt mot brantens sträckning (se omslagsbild). Schaktets norra vägg dokumenterades detaljerat. En vertikal **loggprofil** gjordes vid varje meter (0–23), där kornstorlek, kompaktion, färg, typ av övergång mellan lager, genes m.m. bedömdes. Analys av **partikelorientering** i moränjorden (se Benn & Evans 2010 och referenser däri) genomfördes på 20 stycken partiklar inom 1 m² vid ungefär varannan meter, varvid olika djup valdes utifrån jordens skepnad. Denna typ av analys kan hjälpa till att analysera hur moränen avsattes. Tio **jordprover** á ca 500 g samlades in från olika delar av den dokumenterade skärningen. Proverna analyserades på Sweco geolab i Stockholm för; kornstorlek, pH och kalkhalt.

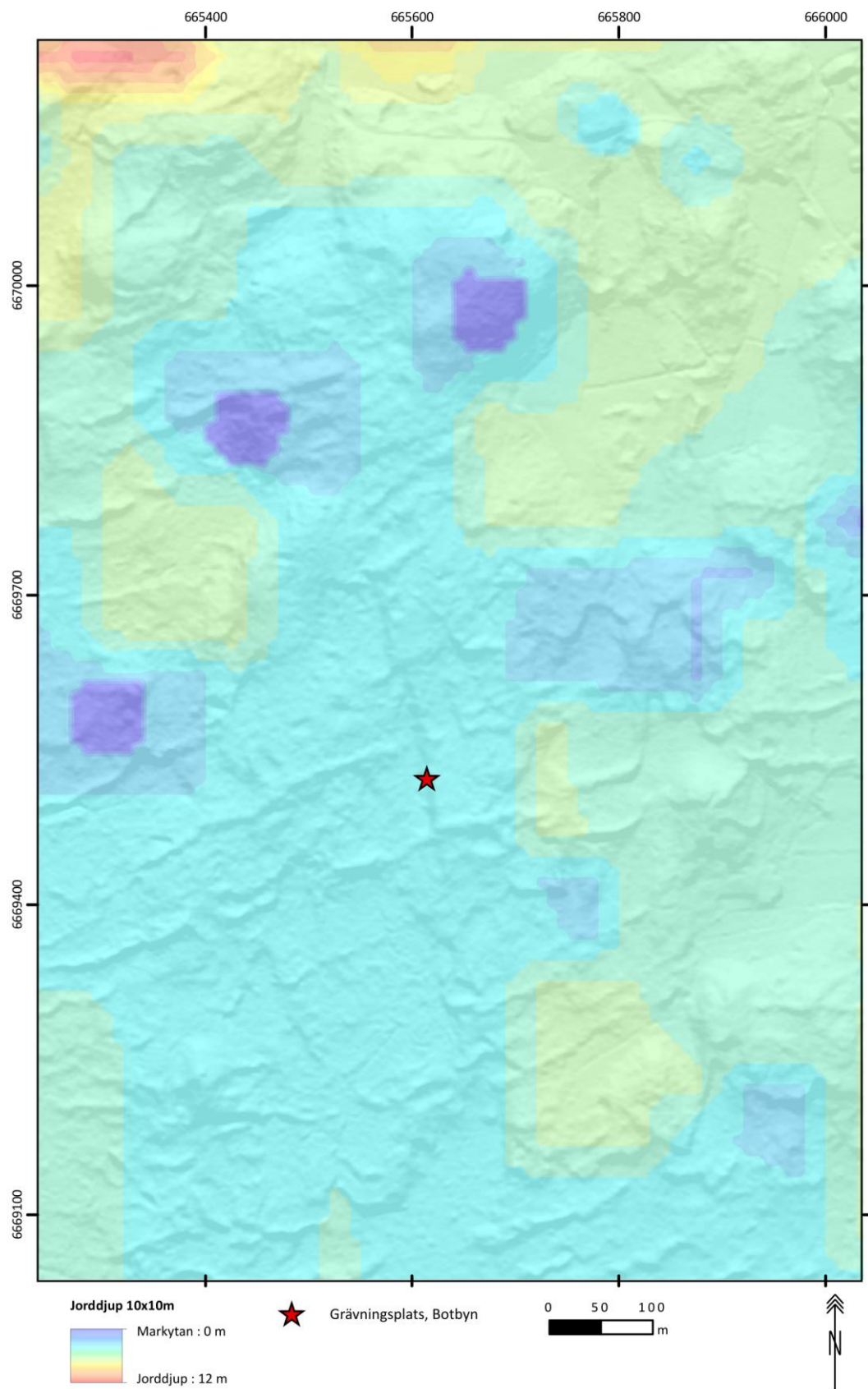


Figur 2. Brantens orientering är nord-sydlig, och den västra sidan är mellan 2,5 och 5 m lägre än den östra. Höjdprofiler visar denna relief, samt en profil längsmed lineationen, alla mått i meter. Röd stjärna markerar var grävningen genomfördes. Notera att den vertikala skalan skiljer sig något åt mellan profilerna. Bakgrundskarta är hillshade av LiDAR-baserad höjdmödel (©Lantmäteriet). Modifierad från Öhrling m.fl. (2018).

SGUs jorrdjupsmodell (fig. 4, SGU 2020b) baseras på den äldre jordartskarteringen, tillsammans med berggrundskartering och brunnborrningar. Den visar att jorrdjupet sannolikt är omkring 5 m utmed undersökningsobjektet. Vid grävningen av schaktet nåddes bergytan på mellan 3 och 4 m.



Figur 3. Jordartskartan (SGU 2020a) har uppdaterats med framförallt geometrisk noggrannhet och förekomsten av De Geer moräner. Den gröna kvadraten markerar en landform, som tolkas vara en murtoo (se Diskussionen, avsnitt *Den geomorfologiska lineationen*).



Figur 4. Jorrdjupsmodellen (SGU 2020b) visar jorrdjup på omkring 5 m utmed lineationen, och som djupast 12 m i dalgången i norr.

Sedimentologisk dokumentation

Den norra skärningen, som exponerades vid grävningen, valdes ut för sedimentologisk dokumentation. Sedimentologin vid varje meter dokumenterades med fotografi, sketch, och beskrivning, totalt 23 loggar. Den insamlade informationen användes för att sammanställa en digitaliserad figur av skärningen (fig. 5a). Resultat av analyserade prover finns i tabell 1 och deras plats i skärningen i figur 5. En beskrivning av vad som observerades följer i den kommande delen; i stort, nerifrån och upp vilket motsvarar äldst till yngst.

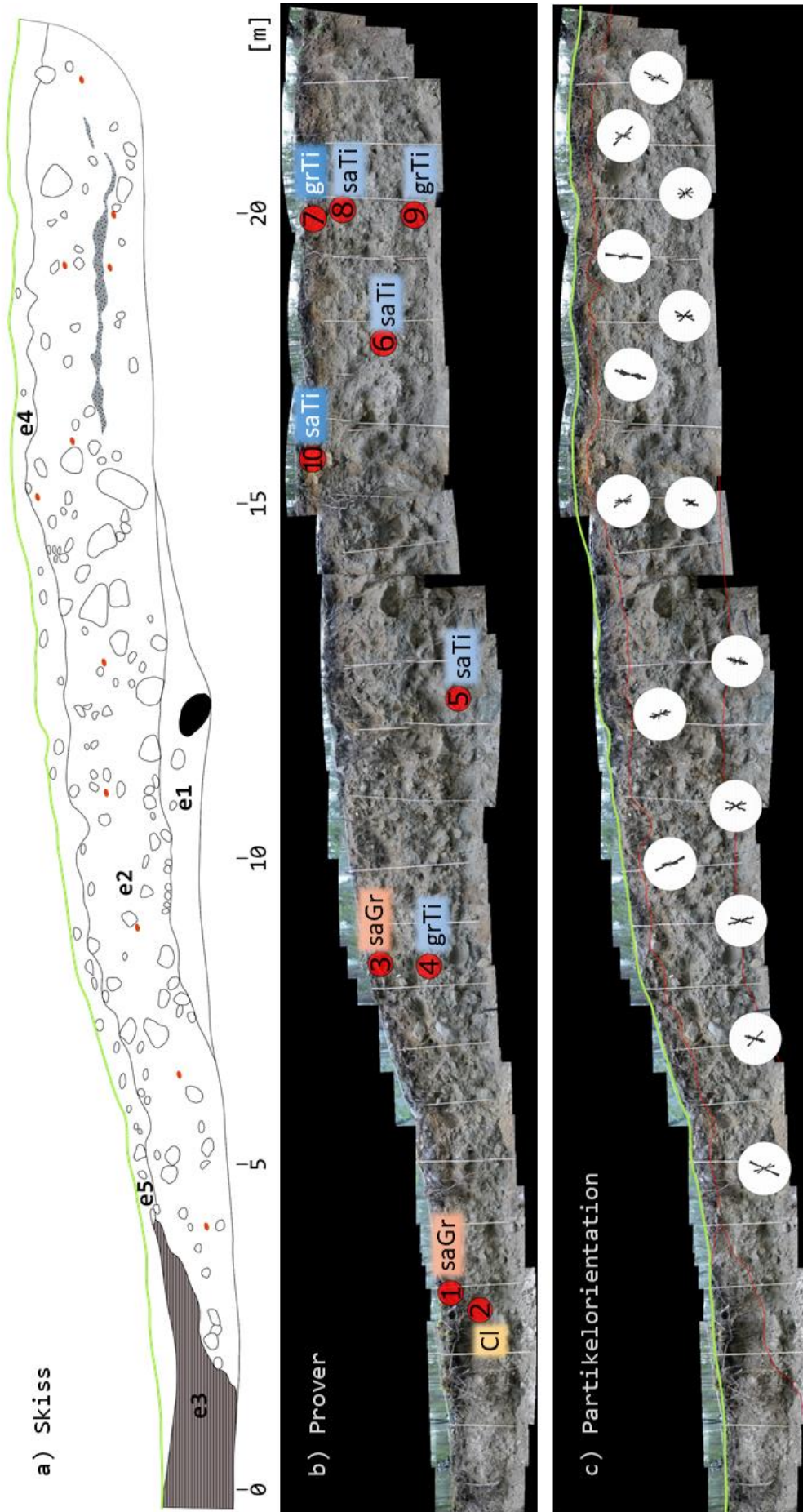
Enhet e1. Enheten består av minst 0,7 m diamikton; det är troligt att samma enhet fortsätter ner till bergytan, vilken nåddes ca 1,7 m under schaktets botten (se Grävning till berg). I ovankant på lagret ligger flertalet mindre block, och därunder är diamiktonen siltigare, gråare, mindre kompakt och blockfattig (i jämförelse med e2). Ett, av få, block sticker ut då det är så mjukt att det går att gräva i. I östra delen av enheten är kornstorleken något grövre; finsand. Enhet e1 tolkas vara en moränbädd.

Enhet e2. Denna enhet är en siltig (något grusig) sandig diamikton (prov 4; CAS194010 och prov 6; CAS194012). Den är talrik i små block, men de är inte i bärande kontakt med varandra; enheten är matrixstött, dvs grundmassan bär. Vidare, är den kompakt och uppvisar viss fissilitet (*förskiffrat utseende*). Till färgen är enheten olivgrå, men i västra delen mer brun. I den östra delen, mellan meter 17 och 23, finns det flera inslag av fickor med sorterad finsand, fria från grus och sten. Sanden har inga tecken på deformation, med undantag av en större ficka vid meter 18. Finsanden binds ihop i ett sammanhängande *band* på ca 1,9 m djup (fig. 5). Under bandet av sand är grundmassan generellt lösare och fattigare på block, men även här uppvisar grundmassan fissilitet. Enhet e2 tolkas vara en moränbädd av bottenmoräntyp.

Enhet e3. De två–tre metrarna i väst domineras av varvig lera (fig. 5). Varven är ca 5 mm mäktiga och är grå och rödbruna. Leran överlagrar diamikt sediment (e2), och där leran tunnar ut, överlagras denna av grusig sand (e4). Övergången mellan sanden och leran är abrupt; varven är 'avhuggna'. Leran klassas som 'styv lera' (prov 2; CAS194008). Enhet e3 tolkas som glacial lera, som i ytan är eroderad av vattenströmmar i kustzonen.

Enhet e4 och e5. Generellt finns ett ca 40 cm mäktigt röd-brunt, ibland orange, (oxiderat) lager med lös sand och grus i ytan, och några meter upp i slutningen övergår lagret i en sandig-grusig diamikton utmed resten av skärningen. Ställvis består de översta 10–15 cm av grusig finsand vilken har en gradvis övergång till grövre kornstorlek (*fining upwards*). Den sandiga grusiga diamiktonen, enhet e4 (prov 7, 10; CAS 194013, CAS 194016), tolkas som svallad morän. Det sandiga-gruset (prov 1, 3; CAS194007, CAS 194009) i slutningen och ovanpå leran, enhet e5, tolkas som svallgrus.

Generellt. Brunröda klaster av lera förekommer ställvis utmed skärningen (fig. 6). De erinrar om stora gruskorn eller stenar och alla observationer förutom tre anträffas mellan 60 och 100 cm under marknivån (fig. 5a). Alla dokumenterade förekomster anträffades inom enhet e2. Baserat på utseende, misstänks klasterna vara kalksten. Dock gav test med saltsyra (HCl) ingen indikation på kalk. Emellertid, lervittrade kalkstenar minskar i kalkhalt över tid så testet utesluter inte att detta är små kalkstenar där kalken har vittrat och lakats ur. Låga kalkhalter i de insamlade proverna från skärningen (fig. 5b, tabell 1) styrker denna teori. De brunröda klasterna tolkas vara lervittrad kalksten, med ursprung från den sedimentära berggrunden i Bottenhavet nordnordost om undersökningsplatsen.



Figur 5. Skärningen presenterad med; **a)** Förenklad skiss av skärningen visar; varvig lera i sänkan i väst, ett tunt svallat ytskikt, och därunder tillsyns två moränbäddar. Svartfärgad polygon presenterar ett djupvittrat block i den under moränbädden. De små röda polygonerna markerar inslag av troligtvis lervittrade stenar med en mörkt brunröd färg.
b) Insamlade prover. Bokstavskoderna; cl=lera, sa=sand, gr=grus, ti=morän. Stor bokstav indikerar primär kornstorlek/sediment-sammansättning.
c) Partikelorientations presenterat med rosdiagram på de platser, utmed skärningen, där analyserna gjordes.



Figur 6. Rödbruna klaster av lera förekommer utmed skärningen.

Analys av prover

Tabell 1. Resultat av jordanalyser som gjordes av Sweco geolab.

Provnr.	SGU id	Benämning, jordartsförkortning	pH ¹	CaCO ₃ -halt ²
1	CAS194007	GRUS, Gr	5,7	(1,0) ³
2	CAS194008	TORRSKORPELERA, Clde	5,6	0,4
3	CAS194009	Sandigt GRUS, saGr	5,5	0,3
4	CAS194010	Sandig grusig MORÄN, sagrTi	6,0	0,2
5	CAS194011	Grusig sandig siltig MORÄN, grsasiTi	5,9	0,2
6	CAS194012	Grusig siltig SANDMORÄN, grsiSaTi	6,2	0,4
7	CAS194013	Sandig GRUSMORÄN, saGrTi	6,1	0,2
8	CAS194014	Grusig sandig siltig MORÄN, grsasiTi	5,8	0,2
9	CAS194015	Sandig grusig siltig MORÄN, sagrsiTi	6,2	0,3
10	CAS194016	Grusig sandig siltig MORÄN, grsasiTi	5,3	0,5

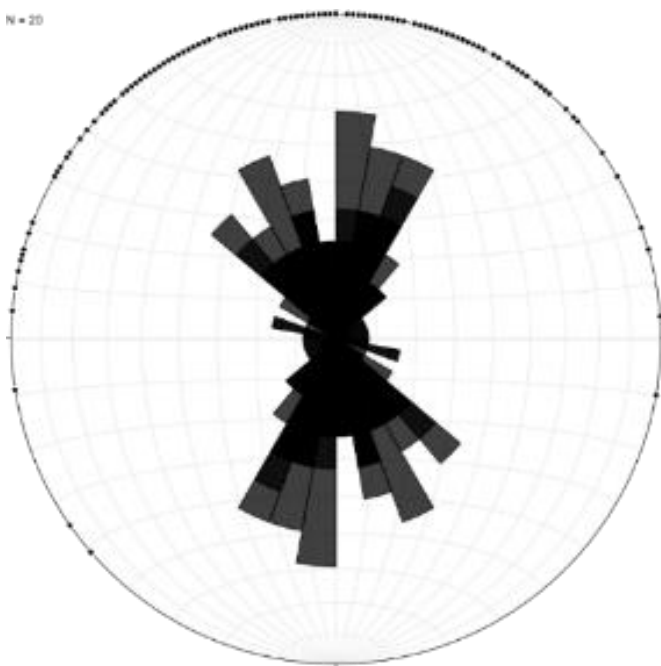
¹ pH-H₂O enl. SS-ISO 10 390.

² Passon, dubbelförsök på material <0,06 mm.

³ Osäkert värde p.g.a. liten provmängd, enkelförsök

Partikelorientation

Femton analyser av partikelorientation i morän (*till fabric*) utmed den norra schaktväggen har utförts. Separat visualisering av alla analyser, plottade på en figur av skärningen där de togs (fig. 5c), ger ingen entydig bild av moränens avsättning. Men i sin helhet, visar analyserna två tydliga trender i riktning; nordväst–sydost, och nordnordost–sydsydväst (fig. 7).



Figur 7. De femton partikelorientationsanalyserna samlade i ett rosdiagram. Två tydliga set av riktningar kan urskiljas; nordväst–sydöst, och nordnordost–sydsydväst.

Grävning till berg

Innan marken återställdes, grävdes på djupet för att om möjligt nå berggrunden. Detta gjordes mellan meter 9 och 18 utmed schaktet, där det antogs kunna observeras sprickbildning om detta vore en förkastningsbrant. Berg nåddes på mellan 2,9 och 4,1 m under markytan (tabell 2). Tabell 2 visar att berggrundsytan här är subhorisontell. Ingen förhöjd sprickfrekvens eller andra tecken på en förkastning i berget observerades. På grund av rasrisken kunde inget detaljerat arbete ske på detta djup, men den okulära bedömningen är att enhet e1, med färre block och gråare färg (i jämförelse med e2), fortsätter ner till bergytan.

Tabell 2. Djupet till berg från markytan utmed krönet av branten. Djupen, i förhållande till schaktets bottenprofil, visar att berggrundsytan är subhorisontell här.

Utmed schakt (m)	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Djup till berg (m)	2,9	3,0	3,4	3,7	4,0	4,1	4,0	3,9	4,2	4,0

DISKUSSION

Nedan följer en tolkning av den geologiska utvecklingen på platsen.

Morän (e1 och e2)

Enhet e1 är den äldsta i skärningen. Då den är lös, i jämförelse med överlagrande morän, och saknar fissilitet anser vi det möjligt att den är avsatt genom utsmältning (*melt out*) vid istäckets tillbakagång. Det skulle betyda att platsen var isfri (eller åtminstone nära) innan nästa moränbädd avsattes genom att isen avancerade över platsen på nytt. Enhet e2 är en morän av botten typ, vilket innebär att den avsattes under isen. Isens tyngd kompakterade jorden, gjorde den s.k. överkonsoliderad, och fissilitetsstruktur skapades.

Sorterad sand (inom e2)

Det tillsynes ihållande sandbandet kan i ovan beskrivna scenario ha avsatts framför isen, under det isfria stadiet. I så fall torde den östra delen av enhet e2, under sandbandet tillhöra enhet e1. Under sandbandet är moränen något mer sandig och blockfattigare. När hänsyn tas till partikelorienteringen så finns det viss indikation på att denna del kan tillhöra enhet e1. Emellertid, det som avgör att denna del ändå tolkas att tillhöra enhet e4 är fissiliteten i grundmassan.

Liknande sandanhopningar, som här påträffats, kan exempelvis uppstå i; fickor mellan is och morän, subglaciala vattensamlingar, eller vid en oscillerande isfront som möjliggjort vatten-sorterad sand avsatt framför isen. Här tyder strukturerna i sedimenten på att moränen var vattenmättad och därmed kunde deformeras samt sorteras under isens tyngd (se Evans 2018, och referenser däri).

Lera (e3)

Varvig lera kallas finkorniga sediment som uppvisar en periodisk, upprepande lagring. Dessa lager är typiskt vartannat ljust och mörkt, och kallas varv. Färgskiftningarna kommer framförallt av förändringar i kornstorlek, men även organiskt innehåll, vilket hänger samman med väder och klimat. Under varma perioder produceras mer smältvatten, som gör sedimentlagret ljusare av grövre, renare sediment, medan kallare perioder har ett stillsammare vattenflöde som tillåter lerpartiklar och organiskt material att sedimentera. Enhet e3 består av ca 5 mm mäktiga, grå och rödbruna varv, vilket är vanligt förekommande i glacialera i Uppsalaregionen (Arrhenius 1947, Högbom 1889). Kalkhalten i prov CAS194007 är dock låg i jämförelse med de ovan hänvisade studierna. Detta kan bero på vittring och urlakning under tid. Glacialeran avsattes i Ancylussjön, Östersjöstadiet då bäckenet snörptes av till en sjö mellan ca 10 700 till 9 800 år sedan (Andrén m.fl. 2011). Lokalen ligger på ca 35 m ö.h., vilket innebär att sedimenten lyftes ur havet för ca 4 500 år sedan (Berglund 2012, Hedenström & Risberg 2003) och således har kalken i markytan haft denna tid för vittring och urlakning. I jämförelse lyftes den kalkhaltiga glaciala leran, som finns närmare kusten (Forsmark), ur havet för drygt 1 000 år sedan.

Vågsvallning (e4 och e5)

Landhöjningen har pågått sedan tyngden från istäcket började smälta undan (Berglund 2012, Hedenström & Risberg 2003). Botbyn låg ca 135 m under havsytan vid deglaciationen för ca 11 000 år sedan (Hughes m.fl. 2016, Pässe & Daniels 2015). Regressionen var hastig till en början, ca 30 höjdmeter de första 200 åren och ca 90 meter på 2 000 år, för att sedan avta stadigt (Berglund 2012, Hedenström & Risberg 2003). Platsen har alltså påverkats i ca 6 000 år av sin belägenhet under vatten. Emedan, bottenerosion p.g.a. vågkrafter sker först då djupet minskat till lika stort som eller mindre än vågbasen. Idag ligger vågbasen på utsatta ställen i Östersjön på 75 till 80 m djup (Jonsson 2003). Om vi gör antagandet att liknande förhållanden för vågproduktion varat även tidigare under Holocene så betyder det att vågkrafter kan ha påverkat sedimenten vid Botbyn under ca 4 000 år. Rimligare antagande för synbar påverkan är den teoretiskt modellerade vågbasen (Håkanson & Jansson 1983) om ca 40 m i liknande miljöer, den ger istället ca 3 000 år. Leran har under starka strömbildningar eroderats. När platsen sedan reste sig ur Östersjön, svallade vågorna moränens yta (enhet e4) och flyttade sand och grus som avsattes i nya avlagringar (enhet e5).

Den geomorfologiska lineationen

Grunden till denna studie är den geomorfologiska lineationen, och dess relation till andra landformer som beskrevs i Öhrling m.fl. (2018). De hävdar att den förkastningsliknande branten:

är parallell med en större lineation, som tydligt är en berggrundsstruktur och att kända PGFar alltid reaktiverar äldre förkastningar; ser ut att skära av ett antal De Geer-moräner; uppträder ”färskt”, ej utsuddad av fluvial erosion; och kan följas ca 1,5 km, vilket enligt Fenton (1999) kunde klassas som en ”kort, fet förkastning”. Vidare, påtalar de att formen också är nära-parallell med isrörelseriktningen och att formen mycket väl kan bero på smältvattenserrosion eller äldre berggrundsstruktur.

Det finns flera spår av subglacialt smältvatten i området, till exempel den triangulära landformen i sydöstra hörnet av figur 3. Detta tolkas vara en murtoo, vilket är en landform, som formas i samband med smältvatten under isen (Ojala m.fl. 2019). Isrörelseriktningen och därmed drumliniseringen av moräntan är parallell (eller mycket nära) med lineationen i fråga. Dessa observationer visar att lineationen kan ha skapats genom att subglacialt smältvatten har skärpt till kanten av en drumlin (subglacial landform med en avlång form, utsträckt i isens rörelseriktning). Och då kan de ”avskurna” De Geer-moränerna förklaras genom att lineationen existerade innan moränerna skapades utmed isranden (eller mycket nära). I detta scenario bildas då ingen rygg just där isen förlorar kontakten med markytan, där det senare också är normalt då deglaciationen sker i vatten. Emellertid, de stratigrafiska resultaten visar inget stöd för att formen är skapad av subglacialt smältvatten. Det finns inga spår av isälvsediment under leran eller någon annanstans i skärningen. För att hitta bevis på att detta skulle vara kanten av en tidigare smältvattenkanal hade vi behövt gräva djupare och förlänga schaktet västerut.

Sedimentologisk undersökning, avsaknad av sprickzon eller förkastning i underliggande berggrund och generell kartering av platsen, visar inget stöd för att denna lineation har skapats av en PGF. Snarare, stratigrafin indikerar en normal deglaciation med isranden under vatten följt av en regression. De eroderade lervarven visar att det skett en betydande postglacial vågerosion.

Den bortvalda lokalen

Baserat på denna studie anser vi det sannolikt att båda lokalerna formats genom en normal deglaciation i vatten, med efterföljande regression. Det finns med nuvarande kunskap inget som pekar på att den bortvalda lokalen skapades av en PGF.

SLUTSATS

De sedimentologiska undersökningarna tillsammans med avsaknad av sprickstruktur i berggrunden gör att vi utesluter att den undersökta landformen är orsakad av en utlöst förkastning i berggrunden.

TILLERKÄNNANDE

Gunnar Forsberg, markägaren som lät oss gräva, och avverkade träd för att ge plats till undersökningen. Robin Eriksson från Korsbron Åkeri som gjorde ett fantastiskt jobb med att gräva schaktet efter önskemål, samt flytta på skördare, träd och reparera vägen. Matilda Svensson på SKB.

REFERENSER

- Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Zillén, L. & Anjar, J., 2011: The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. I J. Harff, S. Björck, & P. Hoth (Eds.), *The Baltic Sea Basin*, 75–97. Springer Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17220-5_4
- Arrhenius, G., 1947: *Den glaciala lerans varvighet: en studie över Uppsalastraktens varviga mägerl.* Nordstedt.
- Benn, D. I., & Evans, D. J. A., 2010: *Glaciers & glaciation*. Hodder Education.
- Berglund, M., 2012: Early Holocene in Gästrikland, east central Sweden: Shore displacement and isostatic recovery. *Boreas*, 41(2), 263–276. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00228.x>
- Evans, D. J. A., 2018: *Till: A Glacial Process Sedimentology* (1st ed.). Wiley-Blackwell Cryosphere Science Series.
- Fenton, C. H., 1999: Glacio-isostatic (postglacial) faulting criteria for recognition. *Techniques for Identifying Faults and Determining Their Origins*, NUREG/CR-5(Appendix A), A-51-A-99.
- Hedenström, A. & Risberg, J., 2003: Shore displacement in northern Uppland during the last 6500 calendar years. *Svensk Kärnbränslehantering AB, TR-03-17*, 49 s.
- Hughes, A. L. C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø. S., Mangerud, J. & Svendsen, J. I., 2016: The last Eurasian ice sheets - a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1. *Boreas*, 45(1), 1–45. <https://doi.org/10.1111/bor.12142>
- Håkanson, L. & Jansson, M., 1983: *Principles of lake sedimentology, Vol 316*, Berlin: Springer-verlag.
- Högbom, A. G. (1889): Om relationen mellan kalcium-och magnesiumkarbonat i de kvartära aflageringarna. *Geologiska Föreningen I Stockholm Förhandlingar*, 11(5), 263–273.
- Jonsson, P. (2003): Skärgårdens bottnar. *Naturvårdsverket, Rapport 52*, 113 s.
- Lagerbäck, R., Sundh, M., Svedlund, J.-O. & Johansson, H., 2005: Searching for evidence of late- or postglacial faulting in the Forsmark region. *Svensk Kärnbränslehantering AB, R-05-51*, 50 s.
- Ojala, A. E. K., Mattila, J., Ruskeenieni, T., Palmu, J.-P., Lindberg, A., Hänninen, P. & Sutinen, R., 2017: Postglacial seismic activity along the Isovaara–Riiikonkumpu fault complex. *Global and Planetary Change*, 157, 59–72. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2017.08.015>
- Ojala, A. E. K., Peterson, G., Mäkinen, J., Johnson, M. D., Kajuutti, K., Palmu, J.-P., Ahokangas, E. & Öhring, C., 2019: Ice sheet scale distribution of unique triangular-shaped hummocks (murtoos) – a subglacial landform produced during rapid retreat of the Scandinavian Ice Sheet. *Annals of Glaciology*, 60(80), 115–126. <https://doi.org/10.1017/aog.2019.34>
- Pässe, T. & Daniels, J., 2015: Past shore-level and sea-level displacements. *Rapporter och meddelanden 137*. Sveriges geologiska undersökning, 40 s.
- SGU, 2020a: Jordartsinformation 1:25 000-1:100 000. Sveriges geologiska undersökning, (Produktbeskrivning).
- SGU, 2020b: Jorddjupsmodell, 10x10 m. Sveriges geologiska undersökning, (Produktbeskrivning).

- Stewart, I. S., Sauber, J. & Rose, J., 2000: Glacio-seismotectonics: Ice sheets, crustal deformation and seismicity. *Quaternary Science Reviews*, 19(14-15), 1367–1389.
[https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00094-9)
- Öhrling, C., Peterson, G. & Mikko, H., 2018: Detailed geomorphological analysis of LiDAR derived elevation data, Forsmark Searching for indicatives of late-and postglacial seismic activity. *Svenske Kärnbränslehantering AB*, R-18-10, 36 s.