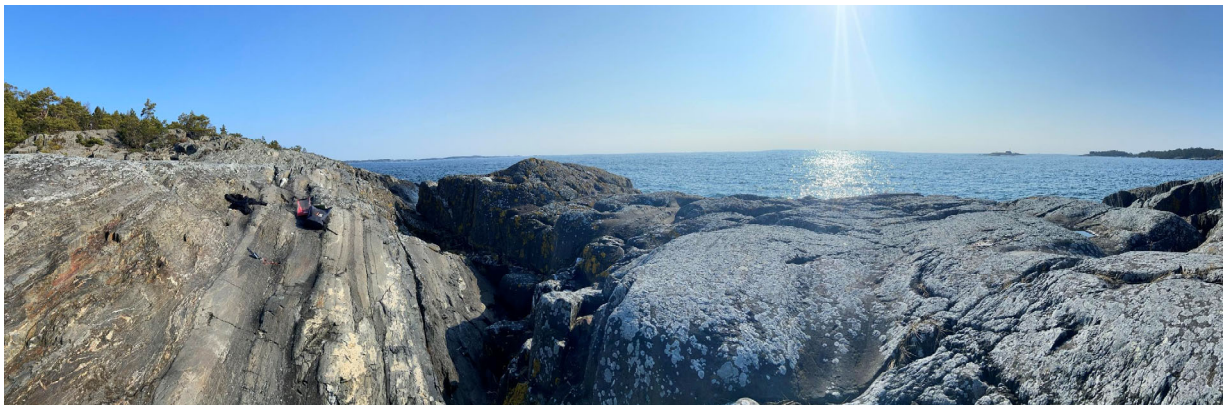


# En jämförelse mellan metaturbiditerna på Utö och den metasedimentära berggrunden på Fjärdlång

Elias Altman

Examensarbete i geologi vid Stockholms universitet



Geovetenskapliga institutionen

Stockholms Universitet

2025

# A comparison between metaturbidites on Utö and metasedimentary rock formation on Fjärdlång

## **Abstract:**

The Stockholm archipelago is home to a breadth of paleoproterozoic rocks from the Svecofennian domain among which the island of Utö, famous for its historical significance to the field of geology and breadth of geologic formations that are often exceptionally well preserved and easy to observe in the field. One such site on the north-eastern coast of Utö is Rävstavik which displays preserved turbidites, a sedimentary sequence representing an underwater landslide which is characterised by a gradual transition from coarse-grained sediments (gravel, sand) to finer grained sediments (silt, clay). On Utö these have experienced metamorphic conditions, meaning that the original grains no longer are present, however metaturbidites can be identified in the field by seeing a cycle of gradients transitioning from lighter coloured grains consisting mainly of quartz (and feldspar) to darker grains, mainly composed of micas (biotite & muscovite). The aim of this study is to determine whether the bedrock of Fjärdlång, another island in the Stockholm archipelago located not far north-east from Utö share a geologic origin with the metaturbidites found on the northeastern coast of Utö. This was done via field observations, stratigraphic logs of the metasediments on both locations, and comparisons of thin sections from both sites using point-counts to describe and compare the mineralogy of the two locations. The conclusion reached from the results and interpretations of those results presented here is that Fjärdlång, despite some differences, largely due to higher metamorphic conditions, does indeed share its geologic origin with the metasediments on the east coast of Utö, but that more studies and tests are needed in order to conclusively determine whether or not they do share an origin.

# Innehållsförteckning

## **1. Introduktion**

- 1.1 Utö
- 1.2 Fjärdlång
- 1.3 Turbiditer
- 1.4 Metasedimentär berggrund

## **2. Geologisk beskrivning av områden**

- 2.1 Geologin på Utö
  - 2.1.1 Berggrundsgeologi
  - 2.1.2 Utös tektoniska historia och strukturgeologi
- 2.2 Geologin på Fjärdlång

## **3. Metod**

- 3.1 Fältobservationer
- 3.2 Jämförelse av stratigrafiska loggar
- 3.3 Mineralogisk sammansättning

## **4. Resultat**

- 4.1 Fältobservationer
- 4.2 Stratigrafiska loggar
- 4.3 Punkträkning och mineralogisk sammansättning

## **5. Diskussion**

- 5.1 Fältobservationer
- 5.2 Stratigrafisk jämförelse
- 5.3 Tunnslip och punkträkning
- 5.4 Slutsats
- 5.5 Kommentarer

## **6. Tack**

## **7. Referenser**

# 1. Introduktion

## Syfte

Arbetets syfte är att undersöka om metasedimenten som hittas på Rävstavik vid Utös nordöstra kust och Fjärdlångs berggrund delar ursprung och bildningsprocess. Detta kommer åstadkommas genom jämförelse mellan berggrundernas generella utseende och mönster, stratigrafiska loggar och mineralogisk sammansättning.

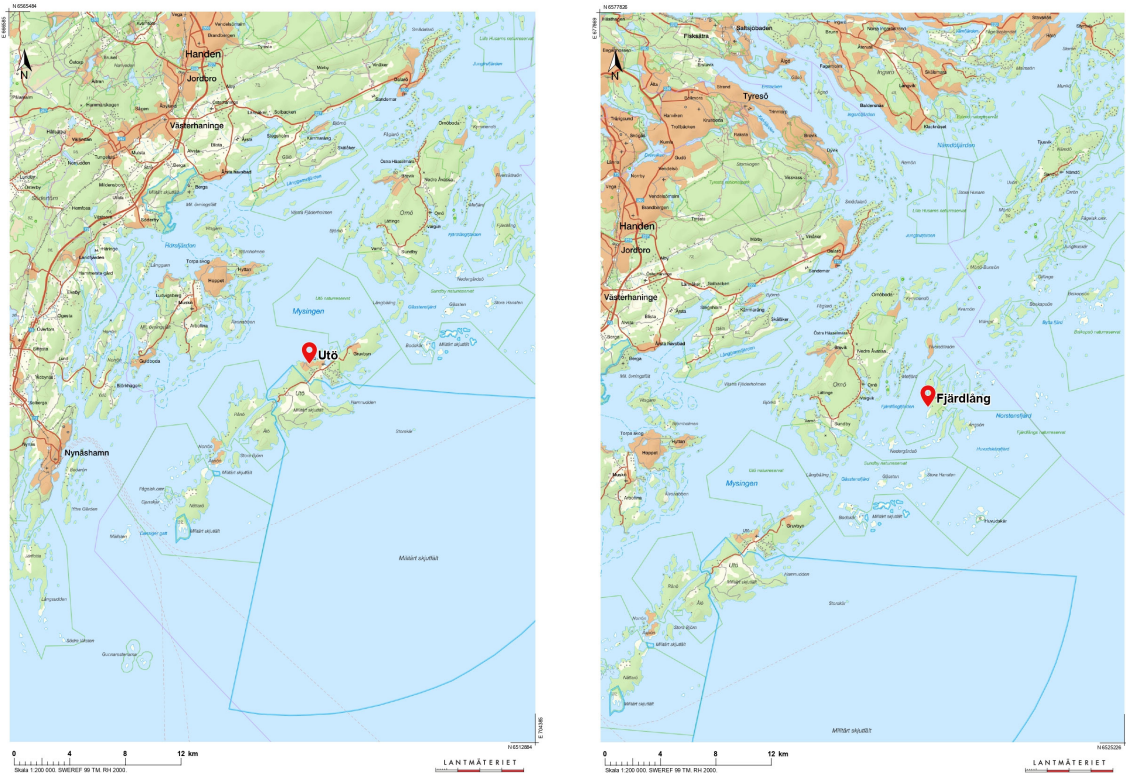
### 1.1 Utö

Utö ligger i Haninge kommun i Stockholms skärgård och är en av de största öarna i Stockholms södra skärgård som ligger cirka 16 kilometer nordost om Nynäshamn. Ön har en varierad natur med allt från barrskogar, hällmarker och våtmarker till sandstränder och klippor. På ön finns en rik biologisk mångfald, med bland annat rovfåglar och sälar längs kusten, och större delen av Utö är täckt av tall- och granskog. Stora delar av Utö har exponerad berggrund i dagen, ofta slätslipade av inlandsisen och vatten vid kusterna.

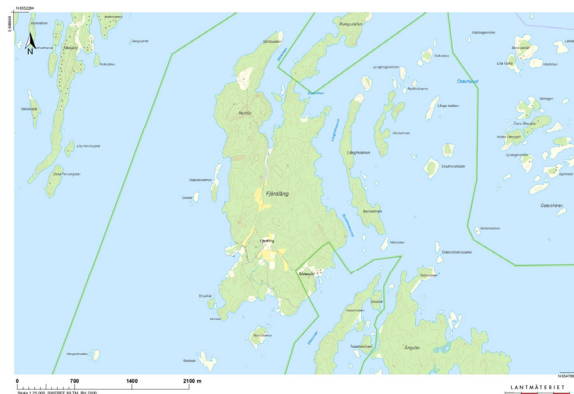
Skärgårdsstiftelsen köpte delar av Utö år 1973 och bildade 1974 Utö naturreservat som utgör stora delar av ön. Utö gruvor är några av de äldsta i Sverige med malmbrytning som startade redan under 110-talet och det fortsattes att bryta malm i över 700 år (<https://www.uto.se/upptack-uto/>). Gruvbyn ligger på öns norra del.

### 1.2 Fjärdlång

Fjärdlång är en ö öster om Dalarö i Stockholms södra skärgård. Ön och det omkringliggande naturreservatet med samma namn tillhör Haninge kommun. Fjärdlång har ovanligt många skyddade naturhamnar varav Mörkviken på öns norra sida är den största. Mitt på ön finns hävdade ängar som längs med kusten mestadels övergår till barrskog. Idag är Fjärdlång ett vanligt resesmål för uteliv, med många fågelskådare som åker dit för att se den stora variationen av fåglar som spenderar tid på ön. I dagens läge finns det inget permanent boende på ön och det finns övergivna byggnader från den tidigare verksamheten där som inte längre används i nutid.



Figur 1. Karta över Utö (vänster) och Fjärdlång (höger och ner), från Lantmäteriets karttjänst.



### 1.3 Turbiditer

Turbiditer är en form av sedimentära avlagringar som bildas från turbiditetsströmmar – snabbt strömmande, täta och grumliga vattenmassor som transporterar sediment nedför branta sluttningar på havs- eller sjöbottnar. Dessa strömmar uppstår ofta plötsligt, till exempel vid jordskalv, ras, stormar eller översedimentering. De är en typ av massrörelse i vatten, och avlagringarna de lämnar efter sig kallas turbiditer. Turbiditetsströmmar är en typ av gravitationsdriven underström som består av en blandning av vatten och sediment med varierande kornstorlek. Strömmen är tyngre än omgivande vatten på grund av den höga sedimentkoncentrationen, vilket gör att den rinner nedför kontinentalsluttningar likt en undervattenslavin.

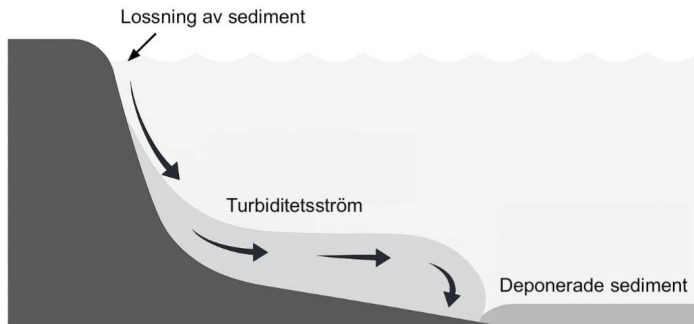


Fig. 2.1 Förenklad illustration som visar hur en turbiditetsström bildas, transporteras och deponeras

En turbidit är den sedimentära strukturen som bildas när en turbiditetsström saktar ner och sedimenten sjunker till botten och deponeras. Den kännetecknas av en särskild struktur: graderad skiktning – där de grövsta kornen avsätts först, följt av successivt finare korn tills det är ler som avsätts. Bouma-sekvensen (Bouma, 1962) beskriver en idealiserad bild av turbiditer. Den delas upp i fem skikt från grovt till fint:

**A:** Första materialet som deponeras. Hög energi, grovkorniga partiklar kan hålla sig i suspensionslast, efter att energin har sänkts kan de grövre partiklarna deponeras snabbt i ett massiv. Är energin i flödet lågt nog till en början deponeras B eller C först istället.

**B:** Energin är hög nog att transportera sand via traction (korn rullar & glider längs med ytan under flödet), vilket leder till att sanden bildar olika sedimentära strukturer som kan bevaras i turbiditerna (ex. flute casts).

**C:** Avsättning av sediment under en lägre energinivå i flödet, sedimenttransport via saltation (korn studsar från den översta delen av sedimentära bädden). Vid deposition bildas strömrippelstrukturer.

**D:** Deposition när det är en svag ström. Små variationer i strömmens styrka leder till att sedimenten som avsätts växlar mellan silt och ler.

**E:** Den sista delen av Bouma-sekvensen. Strömmen har avtagit nästan totalt och det sker långsam avsättning av lersediment. Eftersom det sedimentet som avsätts är så pass finkornigt är det lättroderat när nya strömmar anländer vilket leder till att det sällan bevaras.

Fördelningen av olika skikt och kornstorlekar sker eftersom att medans strömmen saktar ner tappar den energi, vilket leder till att de tyngre sedimenten som kräver högre energi för att hålla sig i suspensionslast deponeras först. Strömmen tappar sedan energi gradvis och med det deponeras det finare och finare sediment. Till slut är vattnet väldigt lugnt och det är bara leriga kornen som deponeras, vilket leder till slutet av Bouma-sekvensen och en bildad turbidit (Lowe, 1982).

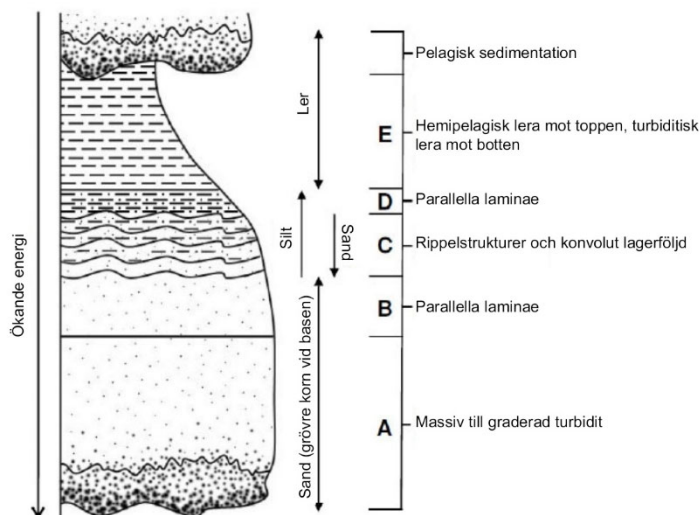


Fig. 4.2 Diagram som visar de olika sekvenserna i Bouma-sekvensen, tagen från [alexstrekeisen.com](http://alexstrekeisen.com) och översatt

Turbiditer bildas idag bland annat i kontinentalslutningar, djupa sjöar, och akkretionärspiror vid subduktionszoner. Fossila turbiditer finns i form av skiffer och sandstensformationer från djuphavsmiljöer men även i bergskedjezoner som t.ex. i Alperna, Pyrenéerna, och Skandinaviska fjällen. Exempel på turbiditer i Sverige finns välkänt och exemplariskt välbevarade på Utö, men också i Kaledoniderna och Skåne. Turbiditer bidrar med information om tidigare havsdjup, plattetektonik, jordbävningar och paleogeografi och kan användas som en indikator på massrörelser och sedimentdynamik.

#### 1.4.1 Metasedimentär berggrund

Metasedimentära bergarter (även kallade metasediment) är bergarter som ursprungligen bildats som sedimentära bergarter, men som senare har omvandlats genom metamorfa processer – värme, tryck och kemiska förändringar, oftast långt ner i jordskorpan eller manteln i vissa fall. En metasedimentär bergart är då en sedimentär bergart (som t.ex. sandsten, lerskiffer eller kalksten), som har genomgått metamorfos och omvandlats till en ny bergart, oftast med ny struktur, textur och mineralogi.

Metamorfa processer sker när bergarter (både sedimentära och kristallina) färdas nedåt mot eller in i jordens mantel vid t.ex. bergskedjebildning (orogenez) eller subduktion. Under högt tryck och temperatur omvandlas de till metasedimentära bergarter – utan att smälta, men med förändrad mineralstruktur och mineralogi. Vid högt tryck (>100 megapascal) och temperatur (från 150-200 °C) kan det ske smältningar som bildar migmatit när smältan inte smälter hela berggrunden, men där det smälter helt bildas magma som senare kan färdas upp i skorpan för att bilda nya magmatiska bergarter (delvis uppsmältning syns i fig. 11 & 12).

Tabell 1. Exempel metasedimentär berggrunder och vad de bildas av för sediment.

Ursprungligt sediment	Metasedimentär ekvivalent
Lerskiffer	Glimmerskiffer
Sandsten	Kvartsit

*Ursprungligt sediment*      *Metasedimentär ekvivalent*

*Kalksten*                              *Marmor*

Metasedimentära bergarter finns ibland annat i bergskedjor som Himalaya, Alperna, och Appalacherna. I Sverige kan man finna metasedimentära bergarter bland annat i Kaledoniderna, men också runt den svekofenniska provinsen, exempelvis runt Stockholm och Stockholms skärgård.

#### 1.4.2 Metaturbiditer

Efter metamorfa processer finns inte längre de ursprungliga sedimentkornen kvar, men det går fortfarande att identifiera fossila turbiditer då de grövre sedimenten (grus, sand, grovkornigt silt) främst består av kvarts och fältspat som lämnar en ljusare färg och att de finkornigare sedimenten (silt, ler) till stor del omvandlats till biotit, vilket i fält tydligt syns som mörkare delar. Turbiditer kan då i fält identifieras som metasedimentär berggrund där det går att se övergångar från ljusare till mörkare kristallkorn, där de mörka sen avbryts av ljusare korn och cykeln påbörjas igen. Turbiditers gradient bildas alltid vertikalt (ljus ner, mörkt uppåt), men när metaturbiditer har veckats på grund av tektonisk aktivitet kan det vid vissa lokaler ske byten i riktning av skikten på grund av veckningen. Det kan även gå att se de strukturer som kan bildas vid Bouma-sekvensens skikt i metaturbiditer, men dessa kan vara svåra att se efter hög grad av metamorfos. Vid högre grad av metamorfos kan de biotitrikare lager smälta delvis eller helt, vilket ger upphov till migmatiter.

## 2. Beskrivning av områden

### 2.1. Geologin på Utö

#### 2.1.1. Berggrundsgeologi

Utö är en del av den Svekofenniska domänen och består av en bredd av olika bergarter med bred kemisk variation. Bergarterna i bergslagen deponerades ca 1,9 – 1,8 Ga och gick sedan igenom metamorfos vilket ledde till de metamorfa bergarterna som är på Utö idag. Äldst i den metasedimentära sekvensen är gråvackorna ("hällflinta" i vissa artiklar som nu är en utdaterad term för metasediment med varierande kornstorlekar) som bildades i den akkretionärsprisman som fanns vid östra Sverige som resultat av plattkonvergensen under den tiden som mycket av Bergslagens berggrund bildades enligt Allen et. al. (1996). Metagråvackorna ("hällflintan") består av metasediment och innehåller metaturbiditerna som är fokus för denna studie. Typiskt för den här gruppen är att det syns tydligamörka och ljusa ränder som representerar olika kornstorlekar från när sedimenten deponerades. Över gråvackorna finns vad som i Gavelin et. al. (1976) kallas "the hällflinta-leptite group", som inkluderar metamorfoserad kalksten, skarn och bandade järnformationer (BIFs). Inuti den gruppen finns även stora pegmatiter och gneisser. Slutligen beskriver också Gavelin et. al. "the quartz-porphyry group" som består av porfyriska bergarter med phenokryster av kvarts och plagioklas. Dessa anses ha bildats sist eftersom att de genomskär de andra grupperna och innehåller xenoliter från de närliggande metasedimenten. Idag är metasedimenten kraftigt veckade efter den Svekofenniska orogensen som skedde ca 1,8 Ga (mer om det i senare stycke). Utifrån prover som har tagits från Utö som presenteras i Skelton et.al. (2018) nådde Utö som högst temperaturer mellan 518 +/- 12 och 550 +/- 12 °C och tryck mellan 0,28 +/- 0,08 och 0,43 +/- 0,18 Gpa, vilket placerar de bergarterna i relativt hög P-T grad jämfört med andra Svekofenniska bergarter, i amfibolit-facies.

Redan under 1600-talet bröts det malm på Utö vid de sk. Utö gruvor som består av ett antal idag nedlagda järnmalmgruvor på öns norra del. I järnmalmformationerna på Utö finns magnetit, Hornblände, klorit, grön skarn och sällsynta mineral som holmquistit, en litiumrik amfibol där litium först upptäcktes av den svenska geologen Per Holmquist.

### 2.1.2. Utös tektoniska historia och strukturgeologi

Utös tektoniska historia är utformad av den Svekofenniska orogenesisen som skedde ca 1,9 – 1,8 Ga. Under den här perioden avlagrades sediment och vulkaniter som sedan utsattes för metamorfos upp mot amfibolit-facies men det finns stor variation i metamorfa grad runtom alla påverkade bergarter. Under denna period skedde också intrusioner av magmor som vidare formade bland annat Utös geologi. Utös berggrund visar starka veckningar, vissa isoklinala (vertikala), och skjuvzoner. Enligt Talbot (2008) var det två distinkta faser av veckning,  $D_1$  &  $D_2$  där  $D_1$  skedde cirka 1,86 Ga och bland annat introducerade intrusiv som bidrog till krustans tillväxt, och  $D_2$  som gav upphov till de tydliga veckningarna som syns i Utös berggrund idag.

## 2.2. Geologin på Fjärdlång

Fjärdlång ligger i Stockholms skärgård, sydost om Nynäshamn och nordost om Utö, vilket tyder på att ön tillhör den Svekofenniska domänen, likt Utö. Enligt SGU's kartvisare består Fjärdlång av metamorfa bergarter med intrusivt ursprung, men det ges ingen källa till hur den slutsatsen drogs utöver "översiktlig fältkartläggning" och ingen vidare information om Fjärdlånga geologi förutom att det har godkänts att studier ska finansieras och utföras på ön. I den väldigt kortfattade artikeln "*Geochronological data from newly discovered or rediscovered rock units in the southern archipelago of Stockholm*" (Johansson et. al., 2023) dateras Fjärdlånga berggrund till mellan 2060 och 1900 Ma och det noteras att SGU's bedömning av Fjärdlånga geologi som metamorf med magmatiskt ursprung är felaktig och att Fjärdlång består av metaturbiditer lika de på Utös östra kust och vissa massiv med möjligt vulkaniskt eller vulkanoklastiskt ursprung och breccior, men artikeln uppger ingen motivation till hur den slutsatsen drogs. Det beskrivs även att Fjärdlång gick igenom två faser av veckningar och metamorfa perioder, många pegmatiska intrusioner och delvis uppsmältning och att Fjärdlång sannolikt delar ursprung med Utös östra kust på grund av veckningarnas riktning. Utöver det har det inte gjorts tidigare studier som beskriver Fjärdlånga berggrund i mer detalj vid tiden som denna undersökning utfördes. Däremot går det via observation att snabbt avgöra att berggrunden på Fjärdlång är metasedimentär och lik den som kan hittas vid Rävstavik på Utö, som den tidigare benämnda artikeln påstår.

## 3. Metod

### 3.1 Fältobservationer

Den första metoden som brukades för att jämföra de två lokalerna var att göra fältobservationer för att se om berggrunden på Fjärdlång visar liknande eller samma strukturer som vid Rävstavik, med fokus på att leta efter den typiska sekvensen som metaturbiditer lämnar ifrån sig på Fjärdlång. Detta gjordes via fältobservationer och jämförelse mellan hur lika och olika berggrunden på de olika platserna är och skillnader noterades.

### 3.2 Jämförelse av stratigrafiska loggar

För att ge mer detaljerad insyn på om de metasedimentära sekvenserna på Rävstavik och Fjärdlång är jämförbara gjordes det stratigrafiska loggar på båda lokalerna. Detta gjordes genom att placera en 2 meter lång måttstock vid en yta med begränsad topografisk variation och där berggrunden syntes tydligt, d.v.s. inte var täckt av lavar eller annat som gör det svårt att tydligt identifiera berggrunden, och där anteckna (den före detta) kornstorleken och andra strukturer för varje centimeter längs med måttstocken. För Utö gjordes det två loggar på totalt 7,55 meter och på Fjärdlång tre stycken på totalt 5,35 meter. Vid fall att lokal vittring, erosion eller deformation gjorde det svårtolkat vid måttstockens placering flyttades måttstocken parallellt med bäddarna och det påbörjades nya mätningar, och då markerades det i loggarna var det skedde (ex. A<sub>1</sub> i den första loggen).

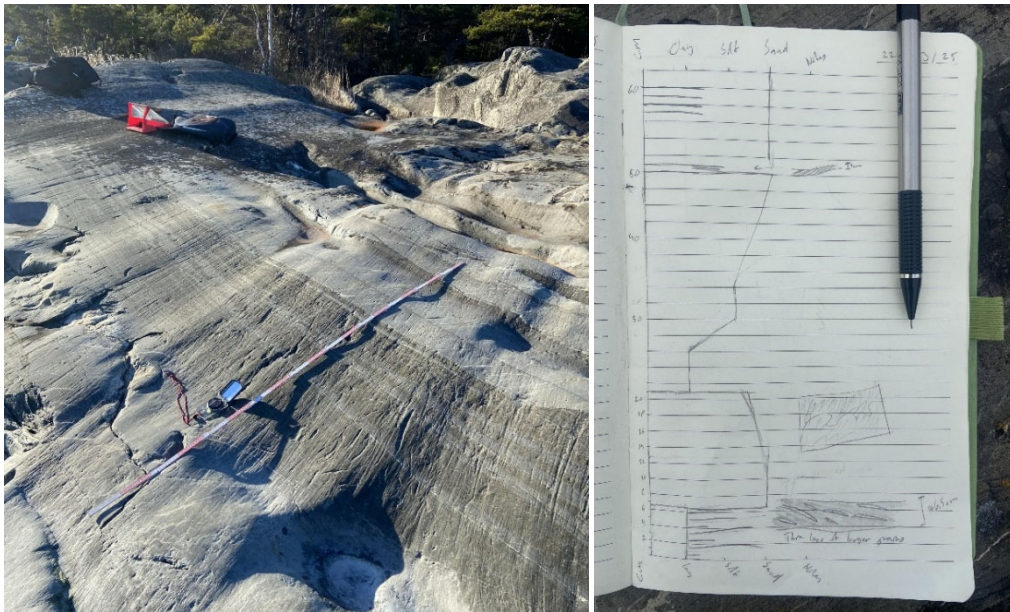


Fig.3. Bild som togs i fält på hur måttstocken placerades på lokal B på Utö (vänster) och ett exempel på hur en stratigrafisk logg ritades i fältanteckningarna (höger)

### 3.3 Mineralogisk sammansättning

Det togs även prover från de två lokalerna för att göra tunnslip så att det går att ge detaljerade mineralogiska beskrivningar och jämförelser på lokalerna. På grund av variationerna i komposition i metasedimentära berggrunden vid lokalerna på Utö och Fjärdlång togs det två prover per plats, ett från de ljusare (grovkorniga) metasedimenten och ett från de mörkare (finkorniga) sedimenten som lossades från berggrunden via försiktig användning av hammare och kisel. Efter att prover hade tagits tillverkades det tunnslip från proverna av Vancouver Petrographics i Kanada. Sedan så analyserades tunnslipen via allmänna observationer och en så kallad punkträkning, där man väljer ett antal slumpmässiga punkter på tunnslipen, noterar vilket mineral som finns vid den punkten och antecknar det. Efter tillräckligt många punkter går det lätt att beräkna en representativ procentuell andel av varje mineral som finns i tunnslipen. Detta gjordes i syfte av att kunna ge ytterligare bevis för eller emot att berggrunden på öarna delar ursprung.

I denna studie utfördes punkträkningen genom att använda ett mikroskop med en stor skärm där det fanns en linjal fäst på sidan som kan förflyttas längs med vertikalen på skärmen. Tunnslipet och linjalen placerades slumpmässigt och sedan noterades det vilket mineral som fanns vid varje markering på ovansidan av linjalen, som korresponderar till tiondels millimeter på tunnslipet innan placeringen förflyttades slumpmässigt igen. Detta gjordes tills att 500 punkter hade beskrivits för varje tunnslip. Senare beräknades det en genomsnittlig mineralogisk halt för kombinerade proven från Utö och från Fjärdlång där det sen beräknades P-värde för att se om skillnaderna i resultat är

statistiskt signifikanta. P-värdet beräknades via ett  $\chi^2$ -test för att jämföra fördelningen proverna med  $p < 0,05$  som gräns för statistisk signifikans baserat på en nollhypotes.

Felmarginalen för punkträknigen räknades för varje mineral via metoden som presenterades i artikeln "A chart for judging the reliability of point counting results" (1965) för att avgöra

standardavvikelsen för varje punkträkning via formeln  $\sigma = \sqrt{\left[\frac{p(1-p)}{n}\right]}$  där  $\sigma$  är standardavvikelsen,  $p$  är andelen av det mineral som standardavvikelsen beräknas för i decimal och  $n$  är mängden totala punkter som räknades (500 i alla fall).

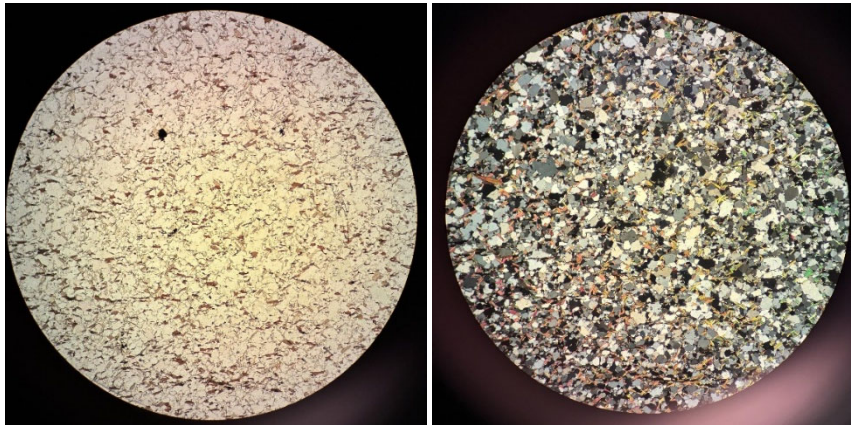


Fig.4. Mikroskopbilder i planpolariserat ljus (vänster) och korspolariserat ljus (höger) från tunnslip taget från ett ljust lager på Utö.



Fig. 5. Bild på mikroskopet med linjalen som punkträknigen utfördes på med mörkt prov från Utö

## 4. Resultat

### 4.1 Fältobservationer

I fält observerades det att berggrunden på Fjärdlång är till synes väldigt lika de som finns på Rävstavik. Det går att se tydliga mörka och ljusa lager och även övergångar från ljust till mörkt, men det är inte lika vanligt som vid Utö. Något som inte syntes på Utö var migmatisering, delvis uppsmältning, av berggrunden på Fjärdlång (fig. 11 & 12). Utöver det var likheter tjocklek av bäddar, starka veckningar, färg och sekundära strukturer som resultat av metamorfos



Fig. 6. Bild på där logg A på Utö utfördes



Fig. 7. Bild på där logg B på Utö utfördes

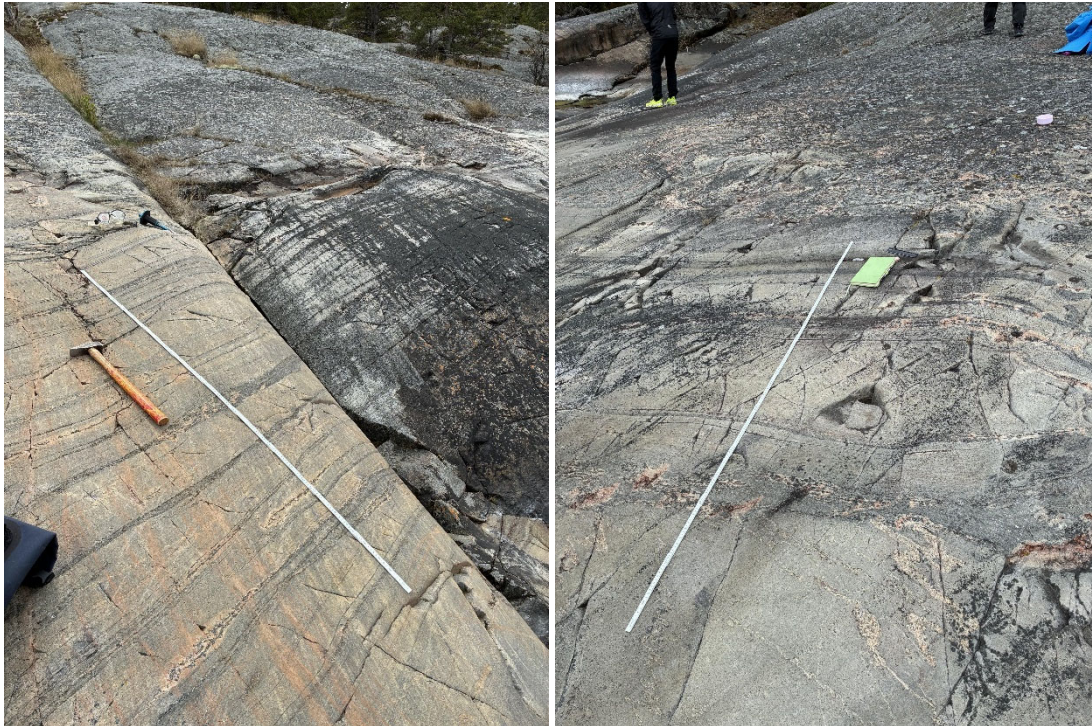


Fig. 8 & 9. Fig. 10 (vänster) visar hur den slipade berggrunden på Fjärdlång kan se ut med vittrad och överväxt berggrund direkt bredvid och fig. 11 (höger) visar ett till exempel på Fjärdlångs berggrund, men med migmatisering även synligt



Fig. 10. En närbild som visar exempel på hur den delvisa uppsmältningen (migmatiseringen) av metasedimenten på Fjärdlång kan se ut vid tidigt stadie, där det ska noteras att det är koncentrerat vid mörkare lager.

## 4.2 Stratigrafiska loggar

I fig. 11 finns loggarna från första lokalen, på Rävstavik (A) och den andra (B) som togs nära Rävstavik. Logg A placerades vid koordinaterna  $58^{\circ} 57' 37.8''$  N  $18^{\circ} 20' 39.5''$  E och placerades i en kompassriktning på cirka  $320^{\circ}$  NNW. Plats B på Utö placerades vid koordinaterna  $58^{\circ} 57' 27.9''$  N,  $18^{\circ} 20' 11.9''$  E med en kompassriktning på cirka  $350^{\circ}$  NNW.

Fig. 12 visar loggarna från Fjärdlång som placerades omkring  $59^{\circ} 2' 2.7''$  N,  $18^{\circ} 30' 43.1''$  E med en ungefärlig kompassriktning på  $140^{\circ}$  SE (med viss variation), där de olika loggarna är benämnda som transekt 1-3.

I loggarna markeras vad som tolkades som sand som gul, silt som orange, ler som röd och smältor (markerade som mag. i loggarna) som grön. Det markeras och ritas även ut strukturer som syntes längs med den placerade linjalen. När det var en färg (kornstorlek) som dominerade med inslag av annan kornstorlek markerades det med streck längs med kanten. Sträck som går utåt från blocken åt höger markerar inslag av ljusare färg och in mot den vänstra axeln markerar inslag av en mörkare färg.

Loggarna från Utö demonstreras tydligt den förenklade turbiditsekvensen där det syns att det övergår från grovkorniga till finkorniga sediment, men med "block" av sediment i som inte visar någon tydlig övergång. Vid vissa platser byter övergångarna mellan grova till fina sediment riktning, vilket är på grund av veckningar som finns i berggrunden som resultat av Utös komplexa strukturgeologiska historia som beskrivs i bakgrunden.

Loggarna från Fjärdlång visar också förenklade turbiditsekvenser och andra strukturer, men inte lika frekvent. I loggarna från Fjärdlång finns även markerat var det har varit smältor, men som tidigare nämnt fanns dessa inte vid lokalerna på Utö. Turbiditsekvenserna från Fjärdlång är också generellt kortare än de på Utö.



Fig. 11. Loggarna från Utö, A till vänster och B till höger. Logg A visar en 4 meter lång transekt från Rävstavik och B representerar 3,55 meter från andra platsen på Utö, nära Rävstavik.

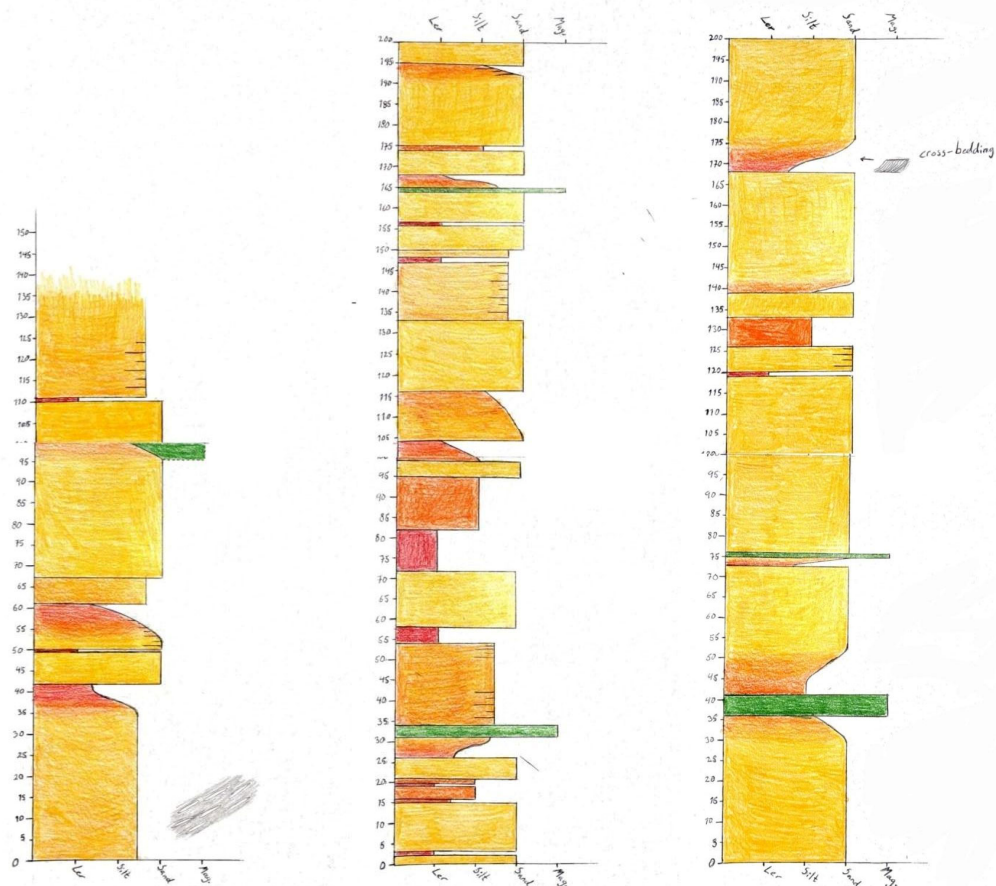


Fig. 12. transekterna från Fjärdlång, 1 till vänster, 2 i mitten och 3 till höger. Transekt 1 visar 1,35 meter från Fjärdlång och 2 & 3 visar 2 meter var.

#### 4.3 Punkträkning och mineralogisk sammansättning

Mineral	Utö mörk	%	Utö ljus	%	Fjä mörk	%	Fjä ljus	%
Kvarts	159	31.8	286	57.2	195	39	374	74.8
Biotit	104	20.8	91	18.2	59	11.8	64	12.8
Muskovit	215	43	77	15.4	50	10	2	0.4
Kordierit	0	0	0	0	126	25.2	13	2.6
Kalifältspat	0	0	0	0	51	10.2	36	7.2
Plagioklas	0	0	0	0	0	0	4	0.8
Sericit	20	4	44	8.8	0	0	0	0
Oxider	2	0.4	2	0.4	19	3.8	7	1.4
Totalt:	500	100	500	100	500	100	500	100

Tabell 2. Resultat från punkträkning. Resultaten från de proverna från mörka lager markeras som "Utö/Fjä mörk" för Utö respektive Fjärdlång, och från ljust lager "Utö/Fjä ljus". Raderna i kursiv reflekterar mängden punkter där mineralet identifierades i tunnslipet och raden under reflekterar den procentuella halten av det mineral i provet.

<b>Mineral</b>	<b>Utö (%)</b>	<b>Fjärdlång (%)</b>	<b>P-värde</b>
Kvarts	44.5	56.9	0.89
Biotit	19.5	12.3	0.12
Muskovit	29.2	5.2	<0.001
Kordierit	0	13.9	-
Kalifältspat	0	8.7	-
Plagioklas	0	0.4	-
Sericit	6.4	0	-
Oxider	0.4	2.6	-
Totalt:	100	100	-

Tabell 3. Den genomsnittliga mineralsammansättningen för proven från Utö respektive Fjärdlång utifrån punkträkningarna med P-värde i kolumnen längst till höger där ett värde på under 0.05 tyder på statistisk signifikans. Vid fallen där procentuella halten av mineralet på någon av lokalerna var <1.0 kunde inget P-värde beräknas.

### *Felmarginal (%)*

<b>Mineral</b>	<b>Utö mörk</b>	<b>Utö ljus</b>	<b>Fjä mörk</b>	<b>Fjä ljus</b>
Kvarts	2.08	2.21	2.18	1.94
Biotit	1.82	1.73	1.44	1.49
Muskovit	2.21	1.61	1.34	0.28
Kordierit	0	0	1.94	0.71
Kalifältspat	0	0	1.35	1.16
Plagioklas	0	0	0	0.40
Sericit	0.88	1.27	0	0
Oxider	0.28	0.28	0.86	0.53

Tabell 4. Felmarginal för varje mineral i alla prover, beräknat via formeln som presenteras i metoden.

## 5. Diskussion

### 5.1 Analys av resultaten

#### 5.1.1 Fältobservationer

Via observationer i fält var det tydligt att berggrunden på Fjärdlång är mycket lik den på Utö. Det finns tydliga mörka och ljusa metasedimentära bäddar med övergångar från grovkorniga till finkorniga sediment. Fjärdlång hade däremot inte lika frekvent övergångar från ljusa till mörka lager, utan det var vanligare att se skarpa skillnader mellan det som innan var grovkorniga respektive finkorniga sediment. Som nämnt i introduktionen syns inte Bouma-sekvensen i alla dess steg på varken Utö eller Fjärdlång, men trenden, det vill säga övergången från grovkornigt till finkornigt var närvarande på båda platser.

Något som fanns på Fjärdlång men inte Utö var delvis uppsmältning av berggrunden som tyder på en högre grad av metamorfos, vilket kan vara en förklaring till att den förenklade Bouma-sekvensen inte var lika vanlig på Fjärdlång. Där det var uppsmältning på Fjärdlång har sitt ursprung främst ur de mörkare bäddarna som främst består av muskovit och biotit, vilket tolkas att vara för att de lager innehåller mer vatten i deras mineralstrukturer och är därför lättare att smälta.

Något annat som noterades från fältobservationerna var att olika lager på både Utö och Fjärdlång kan ha varierande mineralogisk sammansättning. T.ex. på Utö observerades i fält lager som innehöll porfyrokryster av granat, sillimanit, och andalusit, men sällan fler än en av de i samma lager. På Fjärdlång fanns det vissa lager med stora (ca 1 cm) sillimaniter, men utöver det hittades inga stora porfyrokryster på Fjärdlång.

#### 5.1.2 Stratigrafiska loggar

De stratigrafiska loggarna visar tydligare vad som syntes vid fältobservationer, dvs att Utö mer frekvent visar turbiditstrukturen men att den också finns på Fjärdlång och att smältor finns endast på lokalerna vid Fjärdlång och inte på Utö. På både Utö och Fjärdlång går det att via loggarna och fältobservationer se att det har varit många veckningar vilket leder till att turbiditsekvenserna byter riktning beroende på var man mäter. Ingen av loggarna mäter endast övergångar från grov-till-finkorniga sediment, utan båda visar att det är en variation mellan den typiska turbiditsekvensen och att det sker skillnader i kornstorlekar utan någon övergång.

Något som bör noteras i Fjärdlånga turbiditer är att de ofta är smalare, där övergången från ljus till mörk på Utö ofta sker över avstånd på längre än 10 cm medans det endast är två övergångar på Fjärdlång som är i den storleksskalan, vilket sannolikt är på grund av att det var större sedimentmasor som var involverade i turbiditetsströmmarna på Utö.

Det går även att se att med undantag för transekt 3 i Fjärdlång-loggarna så är de metasedimentära bäddarna generellt grovkornigare och att dessa grovkorniga bäddar tenderar att vara längre än på Utö. Detta kan tyda på en högre energinivå vid Fjärdlångssedimentens deposition, vilket kan förklaras med ett grundare vattendjup eller.

Utös metasediment på grund av den lägre graden av metamorfos tenderar att bevara fler strukturer från Bouma-sekvensen, som t.ex i transekt B på Utö där man ser den tydliga växlingen mellan ler och silt som beskrivs i skikt D. På Fjärdlång syns inte särskilt många strukturer från Bouma-sekvensen förutom övergång från ljusare till mörkare lager, men i transekt 3 går det att se cross-bedding vid cm 170. På Fjärdlång finns det även lager med varierande tjocklekar i vissa platser, markerat med strecken. Detta tolkas som att ha bildats från att det var strukturer som bildades i sedimenten, som sedan efter metamorfos har omkristalliserats så att de ursprungliga strukturerna inte längre syns.

### 5.1.3 Tunnslip och punkträkning

Observationer av tunnslipen och punkträkningen visar att det finns vissa likheter, men också skillnader mellan de olika proverna. Den skillnad som står ut mest är att proverna från Fjärdlång visar betydligt mycket mer fältspat, vilket kan tyda på att sedimenten på Fjärdlång har ett vulkaniskt ursprung likt det som antyds i Johansson et. al., vilket är något som också hittas på Utö även om det inte syns i tunnslipen som analyseras här.

Muskovit var det enda mineralet som fanns i alla prover och uppvisade en signifikant skillnad mellan Utö och Fjärdlång, skillnaden i procenthalt för övriga mineral är inte statistiskt signifikant. Att muskovit finns i högre halt på Utö än på Fjärdlång kan förklaras via att muskovit ( $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ ) vid rätt metamorfa förhållanden omvandlas till kalifältspat ( $KAlSi_3O_8$ ), och sillimanit, där det bland annat sker en bortkokning av vattnet som finns i muskovits mineralstruktur (Dyck et. al., 2019). Sillimanit hittades på Fjärdlång, men framstod främst i de mörka lager. Detta ger ytterligare bevis för en slutsats som drögs från fältobservationerna, att Fjärdlångs metasedimentära berggrund är ett resultat av högre tryck och temperatur än metaturbiditerna på Utö. I proverna från Utö finns även sericit, vilket inte är ett specifikt mineral utan en textur där fältspat (plagioklas eller ortoklas) har ersatts av glimmermineral, främst muskovit, genom hydrotermala processer (eftersom sericit kan bestå av andra mineral än bara muskovit sattes det som en separat rad i tabell 2 & 3). Dess närvaro på Utö och frånvaro på Fjärdlång är på grund av att sericit främst är uppbyggt av muskovit som är stabilt i lägre tryck-temperatur förhållanden än det höga trycket & temperaturen som Fjärdlång genomgick.

Kvartshalten och en dominans av kalifältspat över plagioklas tyder ytterligare på att de ursprungliga sedimenten trots skillnader delar ett felsiskt ursprung, möjligtvis rhyolitiska vulkanisediment. Kordierit är närvarande i proverna från både Utö och Fjärdlång men i högre halt i proverna från Fjärdlång, vilket också kan förklaras via att kordierit är ett metamorft mineral och eftersom Fjärdlång sannolikt gick igenom en högre grad av metamorfos. En sannolik förklaring är att den mineralogiska skillnaden är både på grund av att sedimenten på Fjärdlång har ett dominerande vulkaniskt ursprung och att det var en högre grad av metamorfos där jämfört med Utö.

### 5.3 Slutsats

Slutsatsen som dras utifrån resultaten av undersökningen och tolkningarna i diskussionen är att Fjärdlångs metasedimentära berggrund delar geologiskt ursprung med turbiditerna som hittas på Rävstavik. Det finns skillnader mellan berggrunderna på lokalerna, men de skillnaderna kan förklaras bland med att Fjärdlång upplevde en högre grad av metamorfos än Utö och att variationer i mineralogiska sammansättningen sker även på samma lokal. Det kan finnas skillnader i depositions miljön som leder till att Fjärdlångs metasediment inte har lika många turbiditsekvenser och en skiljande mineralogisk sammansättning, men det anses inte vara stor nog skillnad för att den ska bedömas ha ett helt separat ursprung. Det borde tas fler prover och göras fler studier på Fjärdlång för att kunna avgöra definitivt om Fjärdlångs berggrund delar samma ursprung som Rävstavik, men utifrån det som presenteras i detta arbete dras slutsatsen att Fjärdlång och Rävstavik delar geologiskt ursprung.

### 5.4 Kommentarer

Denna studie syftade på att avgöra om berggrunden på Fjärdlång delar ursprung med den som hittas på Rävstavik, Utö, och kom fram till en slutsats men den slutsatsen som togs är inte perfekt. Medans resultaten från denna studie pekar på att de delar ursprung är behövs det mer data för att kunna säga med full säkerhet om den slutsatsen stämmer, som t.ex. fler stratigrafiska loggar och en mer detaljerad kemisk analys på bergarterna och/eller andra personer som utför en liknande

undersökning, men det faller utanför vad som kan innefattas i denna studie. Det finns även mineralogiska skillnader som skulle kunna tyda på att berggrunderna inte delar ursprung, särskilt i halterna av glimmermineral, men det krävs fler provtagningar för mineralogiska analyser för att avgöra om det är något som stämmer för hela Utö och Fjärdlång. Det har även varit flera motgångar i dennas studies utförande, bland annat väder som gjorde så att det inte gick att fullgöra transekt 1 på Fjärdlång, tidsbegränsningar som inte tillät återkomst till lokalerna, och att det egentligen skulle ha använts ett program och maskin som ger ett slumpmässig val av punkter för punkträkningen som inte fungerade som det skulle, vilket ledde till den metoden som redovisas här. Fler studier krävs för att kunna med full säkerhet dra en slutsats om dessa två öar delar geologiskt ursprung, men med den informationen som presenteras här är den mest troliga slutsatsen att öarna delar ett och samma (dock smått varierande) geologiskt ursprung.

## 6. Tack

Jag vill tacka Alasdair Skelton, min handledare för det här projektet som trots tidsutmaningar gav mig möjligheten att utföra detta arbete och gav vägledning och hjälp under processen.

Jag vill även tacka Elise Kindestam, Milton, och Lucas Vikdahl som har följt med på fältkursionerna och har bidragit med hjälp och umgänge under fältarbetet, tillverkanget av tunnslip, och skrivandet av detta arbete. Även Joakim Mansfeld ska tackas för hjälp med tillverkning av tunnslip.

Slutligen vill jag rikta ett stort tack till dr. Maria och dr. Daniel Altman, mina föräldrar, som varit ett stort icke-geologiskt stöd.

Utan er som nämns i här hade det här arbetet inte kunnat utföras. Jag uppskattar allt det ni har tillfört med och hjälpt med under den här processen, tack för allt.

## 7. Referenser

- Holmquist, P. J. (1910). The Archæan Geology of the Coast-regions of Stockholm. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 32(4), 789–912.  
<https://doi.org/10.1080/11035891009443832>
- Plas, L. v., & Tobi, A. C. (1965). A chart for judging the reliability of point counting results. *American Journal of Science*, 263(1), 87–90. <https://doi.org/10.2475/ajs.263.1.87>
- Gavelin, S., Lundström, I., & Norström, S. (1976). Svecofennian Stratigraphy on Utö, Stockholm Archipelago. Correlations with Finland and Sweden
- Donald R. Lowe. (1982). Sediment gravity flows: II depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *SEPM Journal of Sedimentary Research*, Vol. 52.  
<https://doi.org/10.1306/212f7f31-2b24-11d7-8648000102c1865d>
- Allen, R. L., Lundstrom, I., Ripa, M., & Christofferson, H. (1996). Facies analysis of a 1.9 ga, continental margin, back-arc, Felsic Caldera Province with diverse Zn-Pb-Ag-(CU-AU) sulfide and Fe oxide deposits, Bergslagen region, Sweden. *Economic Geology*, 91(6), 979–1008.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.91.6.979>
- Talbot, C. J. (2008). Palaeoproterozoic crustal building in Ne Utö, Southern Svecofennides, Sweden. *GFF*, 130(2), 49–70. <https://doi.org/10.1080/11035890801302049>

Skelton, A., Mansfeld, J., Ahlin, S., Lundqvist, T., Linde, J., & Nilsson, J. (2018). A compilation of metamorphic pressure–temperature estimates from the Svecofennian Province of Eastern and Central Sweden. *GFF*, 140(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/11035897.2017.1414074>

Hjelm, T. (2022, March 2). *Upptäck Utö*. Utö. <https://www.uto.se/upptack-uto/>

Johanssona, Å., Claessona, S., Karlssona, A., Högdahlb, K., & Lundqvistc, T. (2023). Geochronological data from newly discovered or rediscovered rock units in the southern archipelago of Stockholm.

Strekeisen, A. *Turbidites*. alexstrekeisen.it. <https://www.alexstrekeisen.it/english/sedi/turbidite.php>