



Stockholm  
University

# Bachelor Thesis

Degree Project in  
Geology 15 hp

## Geologisk kartering och tolkning av området runt Svinderviken

Ante Kalliainen



Stockholm 2018

Department of Geological Sciences  
Stockholm University  
SE-106 91 Stockholm  
Sweden

## Innehåll

Sammanfattning .....	3
Introduktion .....	3
Regional geologi .....	4
Svekofenniska domänen .....	4
Stockholm .....	5
Metod .....	5
Svinderviken.....	6
Litologi .....	6
Strukturer .....	12
Foliation.....	12
Roterade korn.....	12
Veck .....	13
Boudiner .....	13
Sprickor.....	14
Riktningar .....	14
Sprickmineral.....	15
Deformationszoner .....	16
Diskussion.....	19
Veckning .....	19
Sprickgenes.....	20
Deformationszonsgenes.....	22
Plastiska deformationszoner .....	22
Sprött reaktiverade plastiska zoner .....	23
Ospecificerade deformationszoner .....	23
Storskaliga linjära strukturer .....	24
Slutsatser .....	25
Referenser .....	25

## Sammanfattning

En geologisk kartering och tolkning av Svindersviken i östra Stockholm har gjorts. Karteringen är fokuserad på bergarter, strukturer, sprickor och deformationszoner. Området tillhör en geologisk domän som kraftigt påverkats av den Svekokarelska orogenesisen som skapat vikens plastiska strukturer, dessa har vid yngre händelser reaktiverats sprött. Baserat på förekomst av parasitiska veck och boudinerade mafiska gångar har viken tolkats som definierad av ett veck. Vikens sprickor har karterats med fokus på orientering av sprickgrupper och sprickmineral. En jämförelse med undersökningar från Forsmark visade vissa likheter med sprickgrupper relaterade till den Svekokarelska och Svekonorvegiska orogenesisen. På grund av en liten datamängd kunde inte likheterna fastställas, kompletterande undersökningar behövs för att kunna ge säkrare svar angående sprickgenesen. Vikens bergarter består av Svekokarelskt påverkade metagraniter, metasediment och amfiboliter och yngre intrusioner av finkorniga graniter. Deformationszoner i området har påverkat berggrunden både plastiskt och sprött och vissa zoner har påverkats av både plastisk och spröd deformation. Zonerna har eventuellt haft stor inverkan i den topografiska bildningen av vikens norra del.

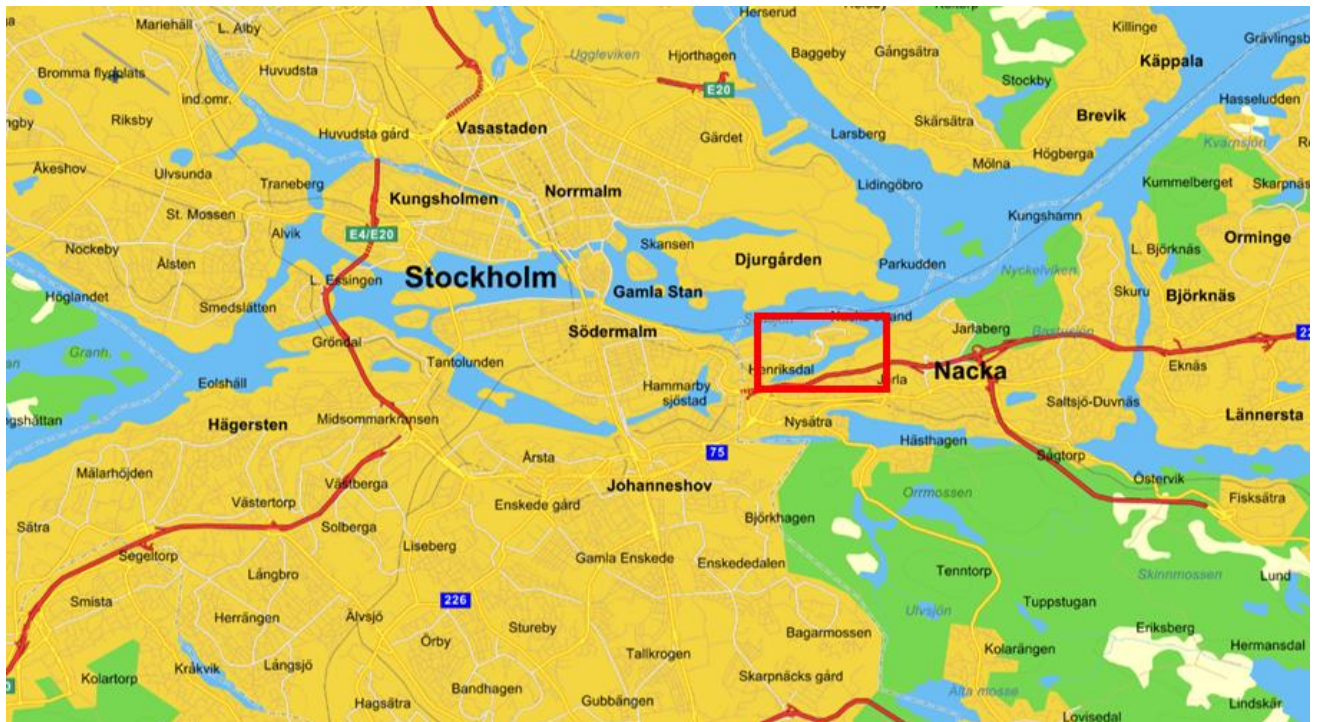
## Introduktion

Östlig förbindelse är ett projekt där norra och södra länken i Stockholm ska bindas samman via en tunnel under Saltsjön och Djurgården.

Inför alla större infrastrukturprojekt i berg bör en geologisk undersökning göras, denna ger en prognos om bergets egenskaper. Prognosen kan sedan användas till dimensionering av bergsförstärkningar så att tunneln blir både säker och ekonomiskt hållbar. För att dimensioneringen ska kunna utföras krävs information om sprickors riktning och karaktär, inläckage av grundvatten, bergspänningar, bergets hållfasthet och eventuella andra bergstekniska parametrar.

Östlig förbindelse är fortfarande endast ett förslag och arbetet kring projektet handlar om att hitta lämpliga platser att bygga tunneln. Det innebär att mer storskaliga geologiska parametrar behöver undersökas. Svindersviken är en vik i östra Stockholm mellan Kvarnholmen och Nacka (fig.1). En anslutning till den planerade tunneln har redan byggts som är tänkt att gå under viken. Viken har föreslagits vara en del av Söderströmsförkastningen som går utanför Kvarnholmens norra sida men relationen till denna är inte fastställd.

Syftet med detta arbete är att undersöka Svindersvikens geologi med fokus på strukturer, svaghetszoner, bergarter och sprickor för att arbetet ska kunna användas som ett underlag vid eventuell byggnation av Östlig förbindelse.



Figur 1: karta över Stockholmsområdet, notera studieområdet (Svindersviken) markerat med en röd ruta. Karta från Eniro.se. (<https://kartor.eniro.se/?c=59.315148,18.152504&z=12>)

## Regional geologi

### Svekofenniska domänen

Den Svekofenniska domänen är en del av den Baltiska skölden och täcker större delen av Sverige. Domänen bildades mellan 2,0 och 1,8 Ga under den Svekokarelska orogensen (Wahlgren et al., 2018). Peak-metamorfos skedde vid cirka 1,85 Ga (Stephens & Andersson, 2015) och skorpan deformeras plastiskt fram till cirka 1,8 Ga (Saintot et al., 2011). Efter ca 1,8 Ga fortsatte deformationen sprött fram till cirka 1,7 Ga (Stephens et al., 2007). Senare spröda deformationer har föreslagits skett under den Gotiska (1,7–1,56 Ga), den Hallandiska (1,46–1,42 Ga), den Svekonorvegiska (1,1–0,9 Ga) och den Kaledoniska orogensen (0,51–0,4 Ga) (Stephens et al., 2007).

Bergslagsprovinsen utgör den Svekofenniska domänens södra del och bildades i samband med en öbågeformation (Lundqvist et al., 2011). Provinsen har enligt Wahlgren et al., (2018) påverkats av minst två deformationer där de första är den Svekokarelska orogensen som skapat de plastiska strukturerna, foliation, veckning och skjuvzoner i berggrunden genom en nordsydlig kompression. Vid cirka 1,1–0,9 Ga påverkades området troligen av den Svekonorvegiska orogensen, som genom en Ö-V kompression sprött reaktiverade många av de tidigare plastiska strukturerna (ibid). Yngre händelser, speciellt den Kaledoniska kan även ha orsakat reaktiveringen (Mansfeld, 2018). Huvuddeformationstypen under den Svekokarelska orogensen har varierat i Bergslagsprovinsen där norra och södra delen präglats av skjuvzoner och främst storskalig veckning i dess centrala delar (Stephens & Andersson, 2015).

## Stockholm

Enligt Wahlgren et al., (2018) domineras Stockholmsområdet av ca 1,9 Ga metagranitoider och metasediment, dessa är ofta påverkade av partiell uppsmältning och bildar därför migmatiter. Tillsammans med dessa bergarter förekommer även mindre enklaver av mafiska bergarter. Efter huvudmetamorfosen intruderade en finkornig granit som kallas för Stockholmsgranit tillsammans med pegmatit- och aplitgångar.

Stockholm ligger i den tidigare nämnda centrala delen av Bergslagsprovinsen och området har formats av en storskalig veckning med ett cirka östvästligt strykande axialplan (Wahlgren et al., 2018). Genom centrala Stockholm löper Söderströmsförkastningen som bildades som en plastisk dextral skjuvzon under den Svekokarelska orogensen, senare troligen under den Svekonorvegiska orogensen reaktiverades zonen sprött med en sinistral rörelse (Wahlgren et al., 2018).

## Metod

Vid karteringen användes en geologisk kompass och vid inmätning av geologiska strukturer användes "högerhandsregeln". För orientering användes ett ortofoto refererat till SWEREFF 99 TM med ett 25x25m rutnät och mobilapplikationen Sweden Topo Maps, som också refererar till SWEREFF 99 TM. Applikationen ger även information om positioneringens precision och värden i intervallet  $\pm 4$  till  $\pm 16$ m har använts vid kartering.

Mätning av sprickor har fokuserats på sprickgrupper vilket innebär att endast sprickriktningar som är systematiskt förekommande vid en plats har mätts.

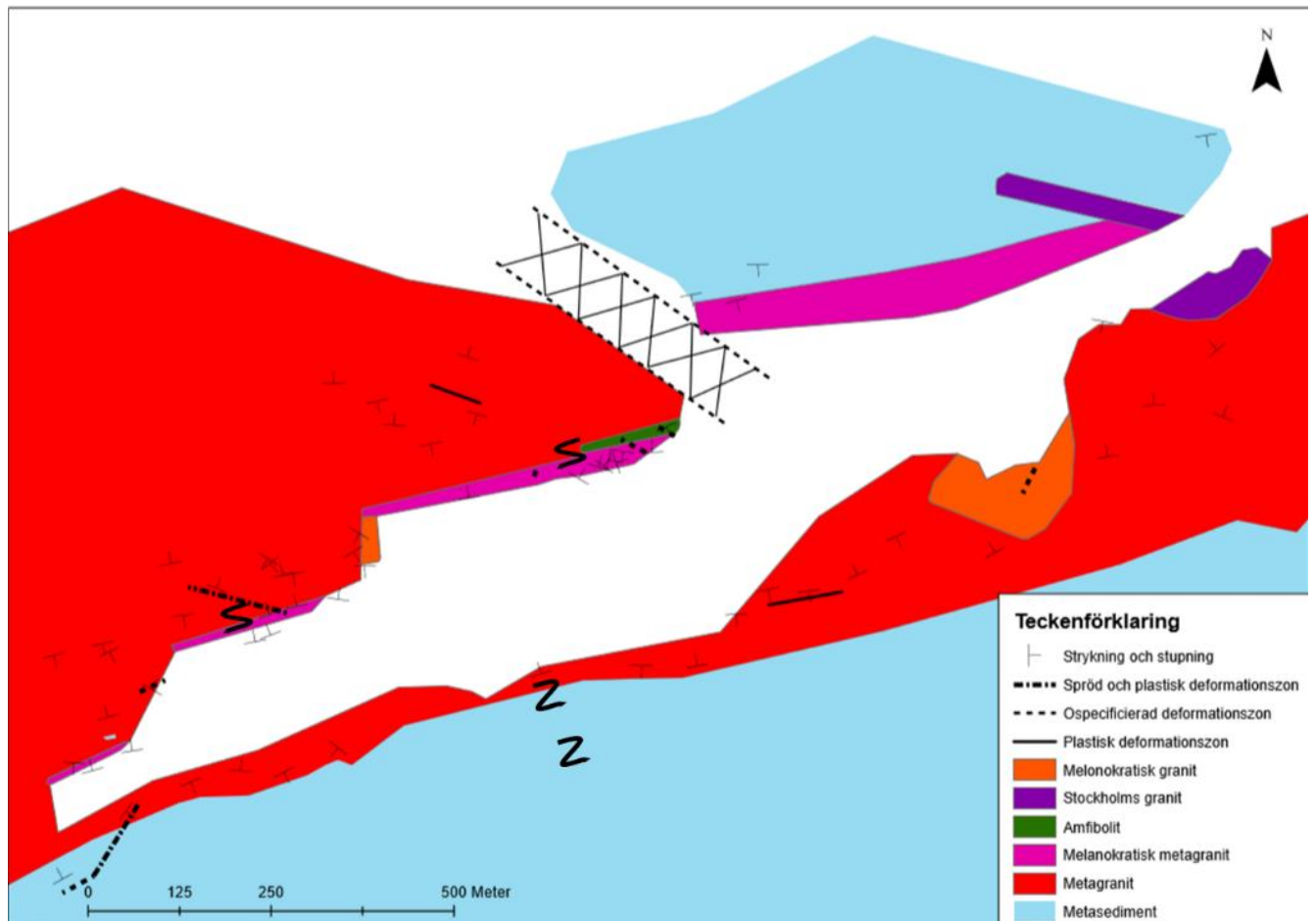
Deformationszoner har identifierats utifrån kombinationer av minst två av följande attribut:

- Spröda:
  - Hög sprickfrekvens
  - Strieringar
  - Linjära sänkor i terrängen
  - Förekomst av mindre Riedel shears
- Plastiska:
  - Rotation av foliation in och ut ur zon.
  - Högre utsträckningsgrad t.ex. mylonitisering.
  - Linjär zon.

Tunnslipen analyserades i ett petrografiskt mikroskop av märket Nikon. Mineralen identifierades utifrån: färg, pleokroism, relief, tvillingbildning, interferensfärg, kristallform och spaltning. Andelen mineral och bergartsklassificering har gjorts utifrån okulär uppskattning från stuffer och tunnslip.

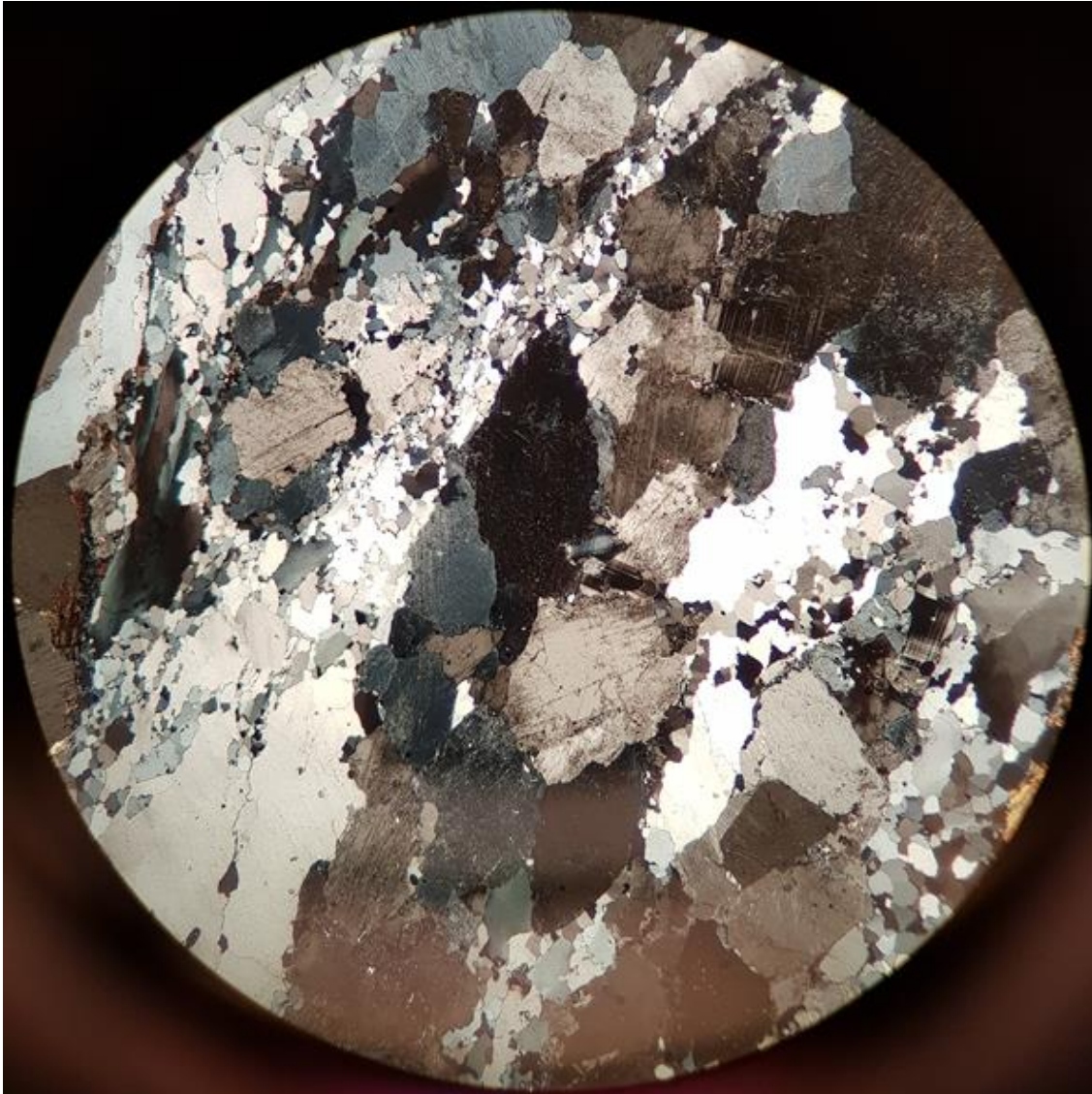
# Svindersviken

## Litologi



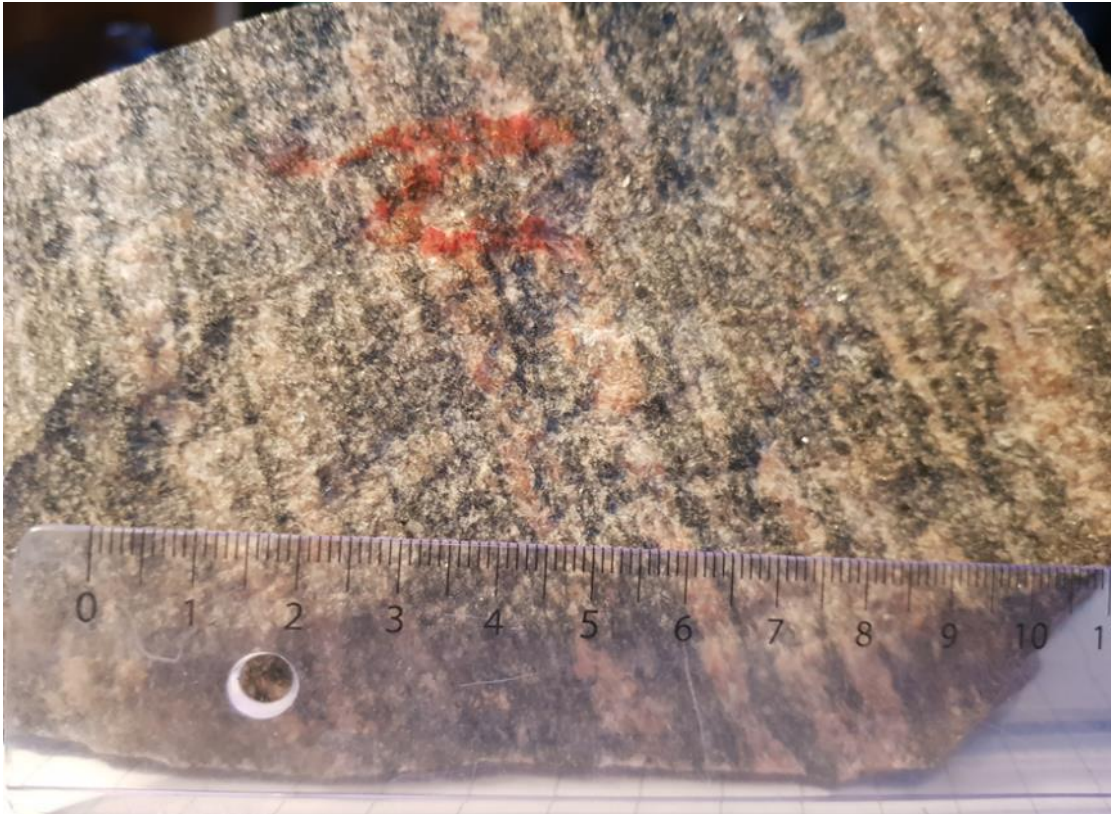
Figur 2: berggrundskarta över Svindersviken. Notera s och z-veckan på vardera sida om viken och den melanokratiska metagraniten som definierar områden med högre plastisk deformation. Kartan är generaliserad och andra bergarter finns i mindre mängder i de olika fälten.

Metagranit- förekommer med varierande utvecklad gnejsighet, från tydligt bandad till att ha en föredragen riktning av svagt deformerade strökorn av kalifältspat. I tunnslip (fig. 3) visar den omkristallisering till mindre korn av kvarts (dynamisk omkristallisering) och omvandling av fältspater till finkorniga vita glimmermineral (seritisering). Mineral: biotit-10 %, kvarts-40 %, plagiklas-25 %, kalifältspat-25 %.

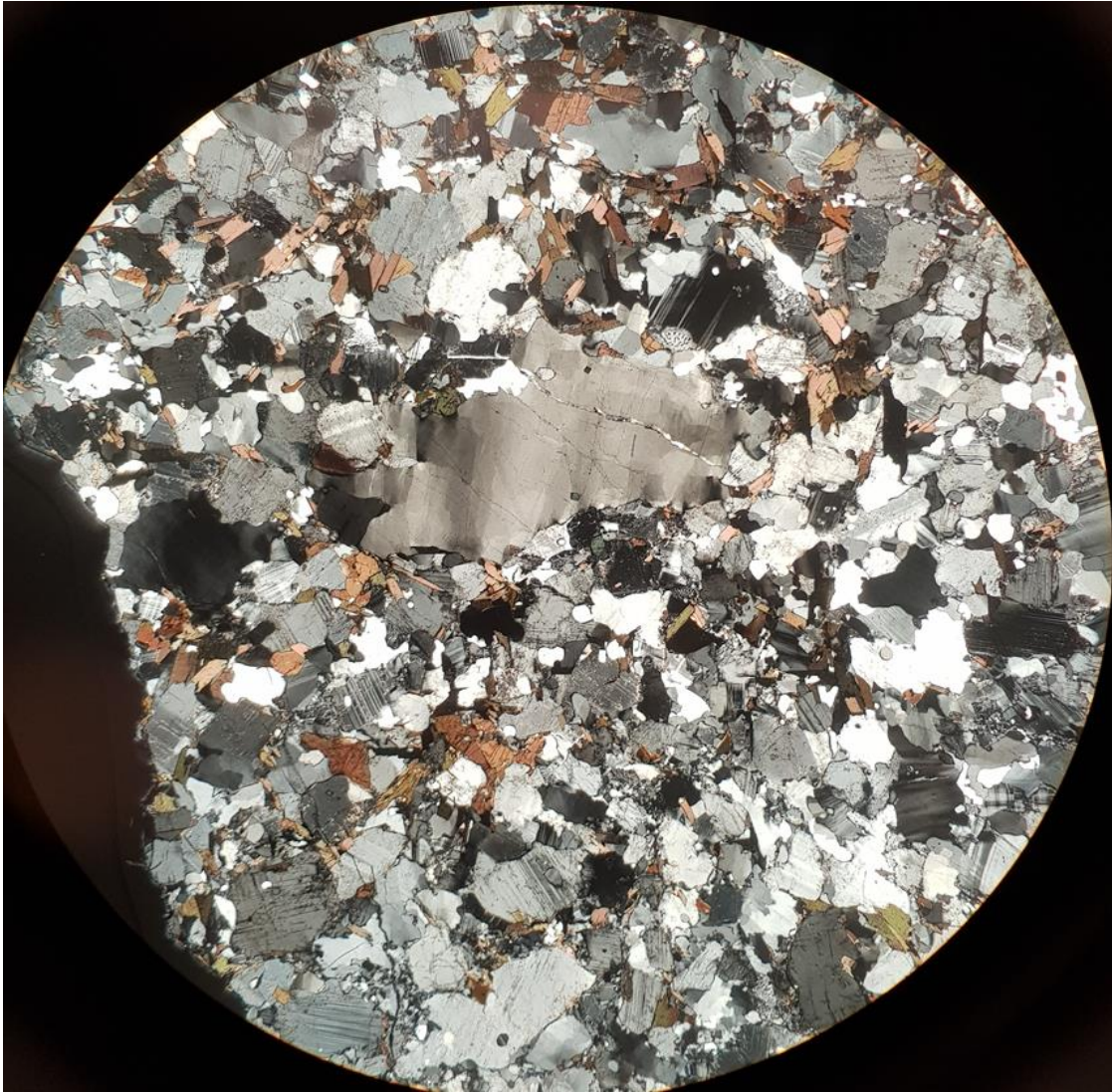


*Figur 3: foto på tunnslip av metagranit. Notera kvartsens kornstorlek ovan det centrala mörka kornet. Det centrala kornet är cirka 2mm. Fotot är taget i xpl.*

Melanokratisk metagranit- i fält har den en gnejsig struktur med finkorniga melanosom och fältspatsrika, något grovkornigare leukosom (fig.4). Fältspaterna är ställvis cm-stora och i vissa fall är roterade. I tunnslip (fig.5) syntes ingen foliation eller metamorf textur. Texturerna som hittades var: kvarts med en vågig kant (eng. embayed quartz), myrmekit (strängar av kvarts och plagioklas i kontakt till plagioklaskorn) och seritisering av fältspater. Mineral: Kvarts-25 %, biotit-10 %, kalifältspat-30 %, plagioklas-25 %, amfibol (hornblände)-10 %, apatit<1 %.



Figur 4: foto av samma stuff som tunnslipet i fig. 1 togs ur. Noter de tydliga banden och den utdragna texturen.

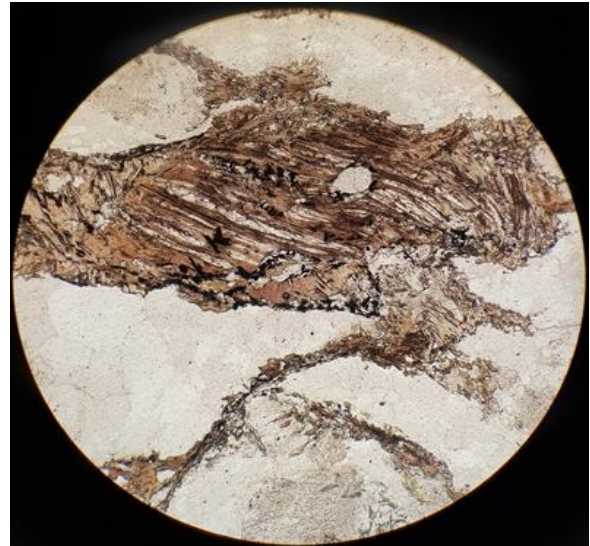


*Figur 5: foto på tunnslip av melanokratisk metagranit. Det stora kvartskornet är cirka 3mm. Fotot är taget i xpl.*

Segmentet i NÖ i kartan skilde sig från de övriga. Där hade bergarten större fältspatskorn som ställvis såg ut att vara opåverkade av metamorfos. Dessa satt i en mattsvart matrix och bergarten tolkades i fält som en diorit/gabbro (fig.6). I tunnslip syntes: kraftigt utvecklad foliation/mylonit, extremt finkornig kvarts <0,1mm, roterade fältspats korn och "biotitfiskar" (eng. biotite fish) (fig.7). Mineral: Plagioklas-35 %, biotit-10 %, kvarts-25 %, kalifältspat 40 %, epidot<1 %.



Figur 6: foto av melanokratisk granit i NÖ segmentet.



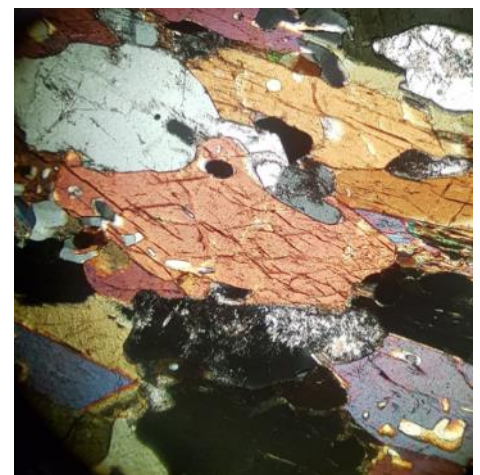
Figur 7: foto av bitotitfisk, längden är cirka 0,5 mm. Fotot är taget i ppl.

Metasediment- består av gnejsiga, ställvis med ådergnejs/migmatit bildning, ler och sand rika före detta sediment. Melanosomen består av tydligt folierad biotit och leukosomen domineras av omkristalliserad kvarts och fältspater.

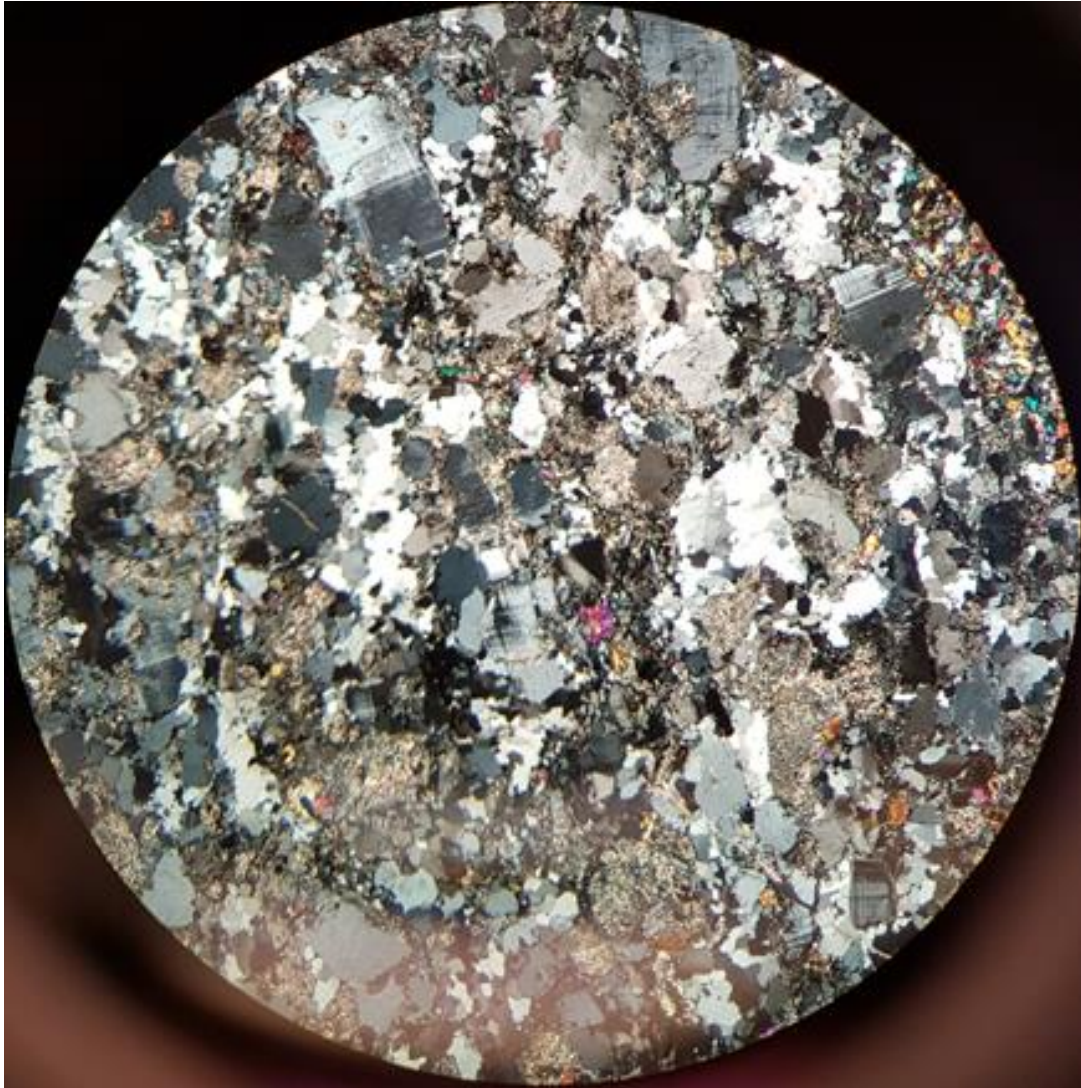
Amfibolit- domineras av hornblände och plagioklas (fig.8). Mineralen har en tydlig föredragen riktning i tunnslip. Mineral: hornblände- 50 %, plagioklas-35 %, kvarts-5 %, biotit-5 %, opaka mineral-5 %. Bergarten förekom som boudinerade enklaer och gångar och i en större gång. Kontakten till dessa saknade en kyld kontakt och en minglad struktur fanns vid vissa platser.

Melanokratisk granit- finkornig, 1-5 mm stora strökorn av kalifältspat, i en mörk matrix. Lila färg från håll. Förekom tillsammans med melanokratisk metagranit. I tunnslip (fig. 9) syntes en kraftig seritisering och epidot omvandling (saussuritisering)som helt omvandlat plagioklaskornen. Det hade även skett en omfattande kloritomvandling av biotit (eng. chloritization). Mineral: kvarts-25 %, kalifältspat-25 %, plagioklas 40 %, biotit-5 %, epidot-5 %, muskovit <1%.

Bergarten var inte folierad. Bergarten förekom även i en tillsynes mer kvarts och plagioklasrik variant som i tunnslip hade en lägre omvandlingsgrad, där cirka 50 % av plagioklaskornen omvandlats.



Figur 8: foto på tunnslip av amfibolitenklav. Det centrala kornet är cirka 2mm. Fotot är taget i xpl.



*Figur 9: foto på tunnslip av melanokratisk granit. Notera de omvandlade plagioklaskornen. Kalifältspatskornen är cirka 1mm. Fotot är taget i xpl.*

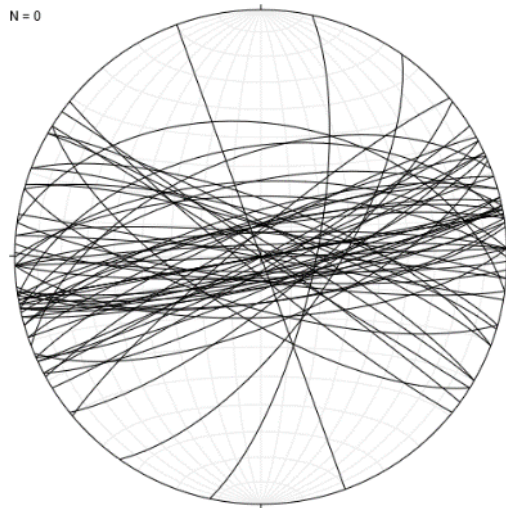
Stockholmsgranit- graniten är fin till medelkornig (1-10 mm), varierande färg från röd till väldigt ljusrosa/grå. Förekommer endast i sällsynta fall som deformerad i övrigt är den opåverkad. Okulär uppskattning från stuff är att bergarten består av lika delar kvarts, plagioklas och kalifältspat.

Pegmatit- grovkornig granit, 2-15 cm stora strökorn av kalifältspat. Förekommer främst som odeformerad men är i enstaka fall plastiskt deformerad.

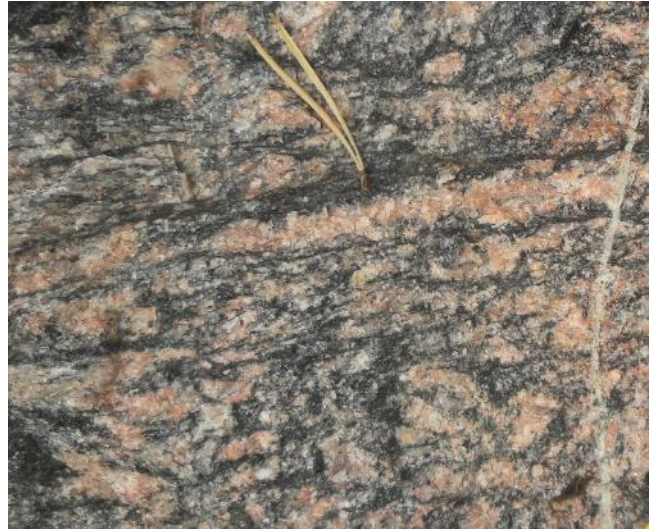
## Strukturer

### Foliation

Foliationen i området följer en tydlig brant Ö-V trend och en svagare NV-SÖ trend (fig.10). Områdets foliation är främst definierad av kalifältspatslinser och biotit (fig.11). Vid mätpunkt ak081 hittades stora variationer i foliationens riktning, från det normala till ca 90° avvikande flera gånger under en ca 40 m lång sträcka längst bergsskärningen.



Figur 10: foliation visad som plan.



Figur 11: foto av foliation i metagranit. Notera tallbarr för skala.

### Roterade korn

På vikens norra sida i den melanokratiska metagraniten hittades roterade kalifältspatsögon. Fältspatssvansarna följde foliationen men riktningen av rotationen varierade (fig. 12 & 13).



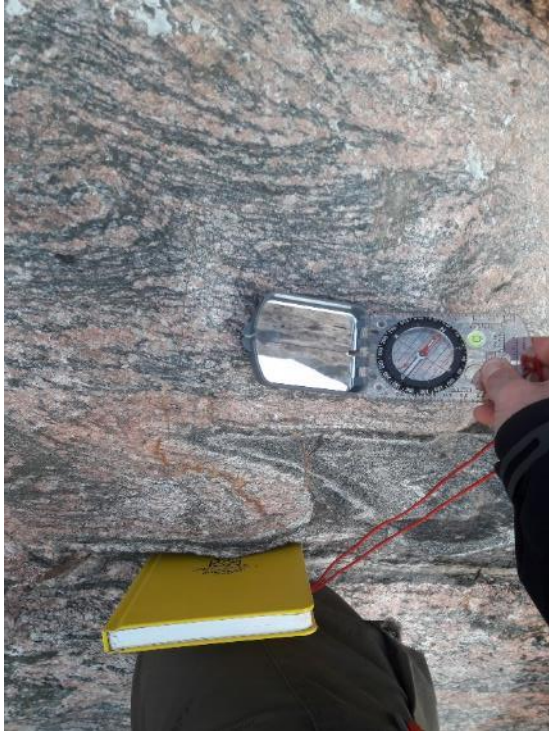
Figur 12: roterat ca 1 cm kalifältspatskorn. Notera svansarna markerad med röda linjer.



Figur 13: roterat ca 3 cm kalifältspatskorn. Notera svansarna markerad med röda linjer.

## Veck

I området hittades flera mindre veck t.ex. (fig. 14 & 15). Samtliga veck var asymmetriska och i de flesta fall var de täta till isoklinala.



Figur 14: foto av ett mindre veck på vikens norra sida.



Figur 15: foto av mindre veck vid AK081. Röd linje visar formen på kfs-definerad veckning. Notera veckningen av det mörka lagret.

## Boudiner

Området har ett stort antal mafiska enklaver som veckats och boudinerats. De förekommer i två typer: den första är eng. "pinch and swell" (Van Der Molen, 1984) (fig. 16) där en sammanhängande gång har boudinerats. Den andra typen liknar den första men där är gången inte längre sammanhängande utan det kan vara 10-tals meter mellan boudinerna. Dessa kallas för utdragna, eng. "tapering boudins" (Goscombe et al., 2004). Foliationen följer boudinerna och blir mer utvecklad i deras närhet. Storleken på boudinerna varierade från gångar som är ett fåtal centimeter breda till att vara 2-3 meter breda.



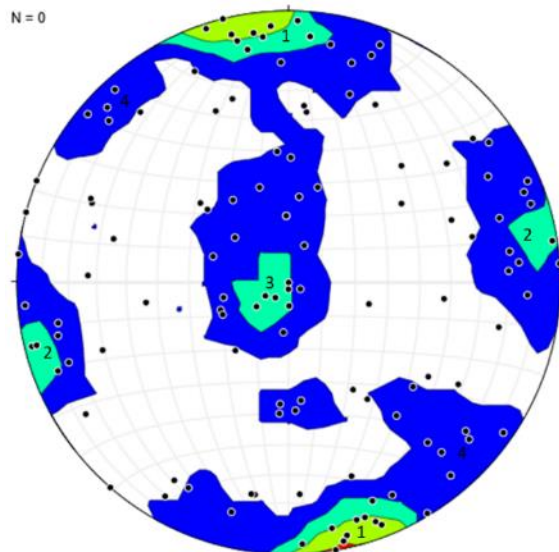
Figur 16: "Pinch an swell" boudin från vikens norra sida. Notera den välutvecklade foliationen ovan gången.

## Sprickor

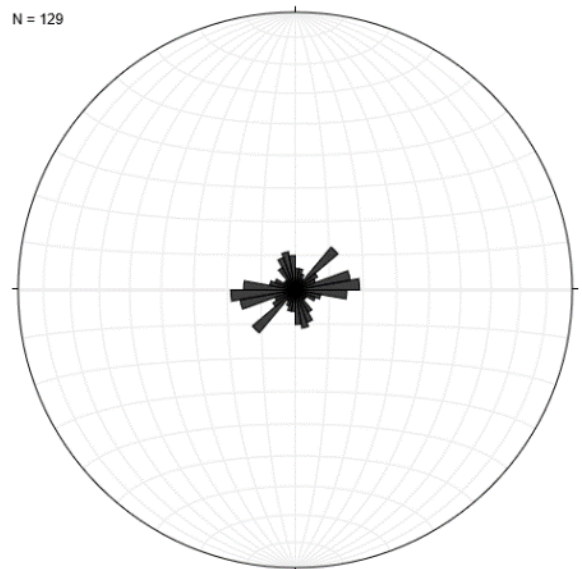
### Riktningar

I figur 17 och 18 är riktningarna från vikens sprickgrupper presenterade. Där syns det att fyra huvudgrupper finns:

1. En NÖÖ-SVV som stupar brant
2. En NNV-SSÖ som också stupar brant
3. En väldigt flackt stupande grupp.
4. En NÖ-SV med varierande stupning.



Figur 17: sprickriktningar i Svindersviken presenterade som poler med konturering av poltäthet. Notera grupp 1, 2, 3 och 4.



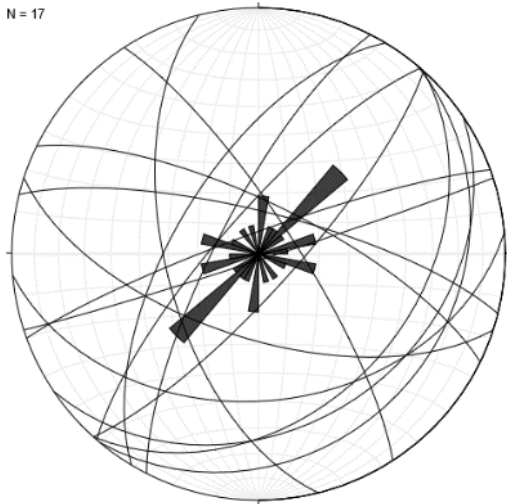
Figur 18: rosdiagram av vikens alla sprickor.

## Sprickmineral

Vid Svindersviken hittades följande mineral i sprickor: kalcit, kvarts, laumontit, epidot, hematit och pyrit. Figur 19-23 innehåller stereonät av sprickor med de olika mineralen. Vid några sprickplan hittades dessa mineral på samma yta:

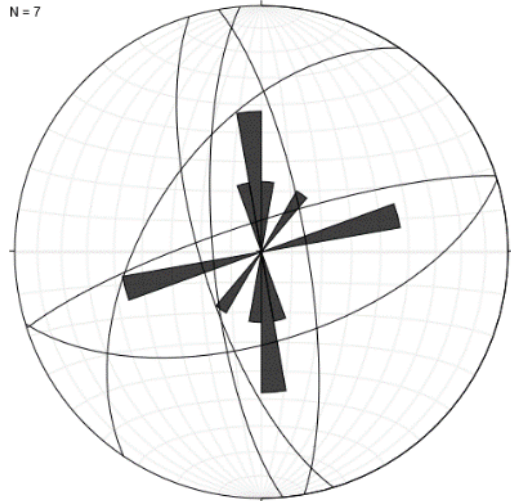
- Laumontit och klorit
- Kalcit och kvarts
- Epidot och laumontit
- Epidot och kalcit
- Epidot och klorit
- Klorit och kalcit
- Hematit och pyrit
- Laumontit, kvarts och kalcit
- Klorit och pyrit

N = 17



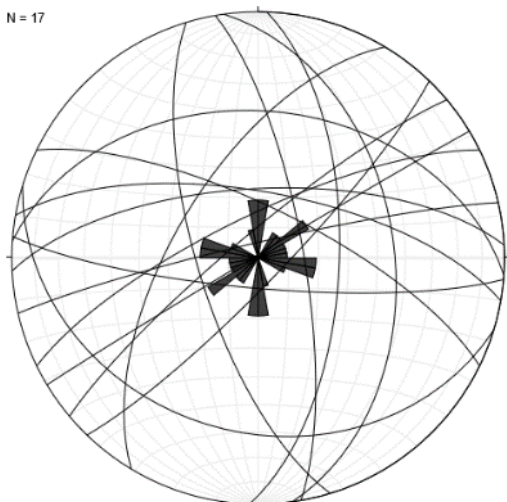
Figur 19: epidot

N = 7



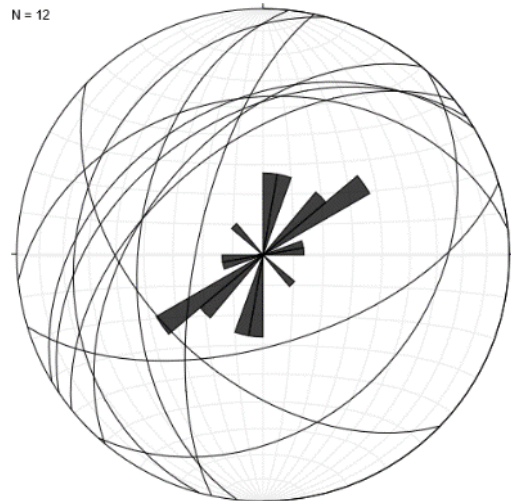
Figur 20: kalcit

N = 17

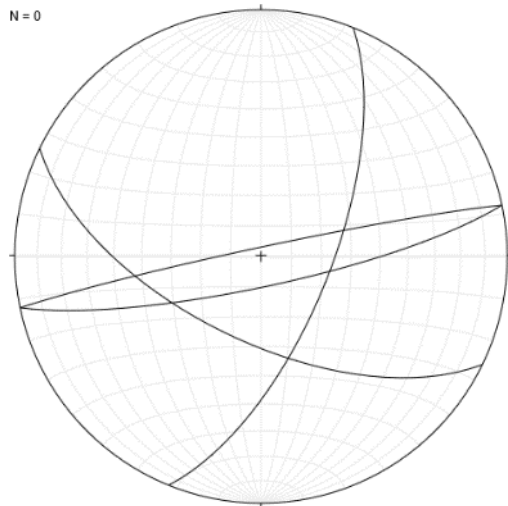


Figur 21: klorit

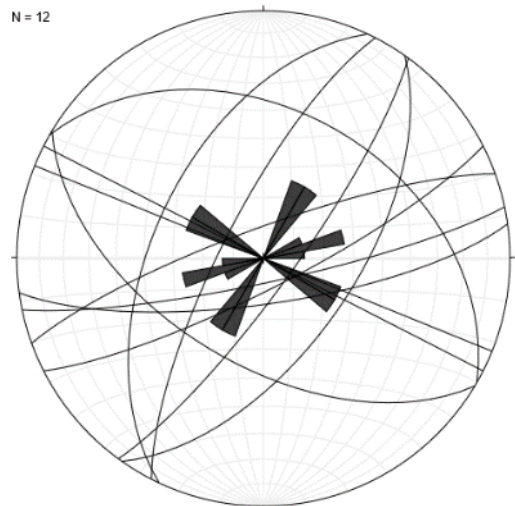
N = 12



Figur 22: kvarts



Figur 23: hematit



Figur 24: stereonet av samtliga typer av deformationszoner visade som plan och rosdiagram.

## Deformationszoner

Tre typer av deformationszoner hittades i området:

1. Ospecificerade
2. Sprött reaktiverade plastiska deformationszoner
3. Plastiska

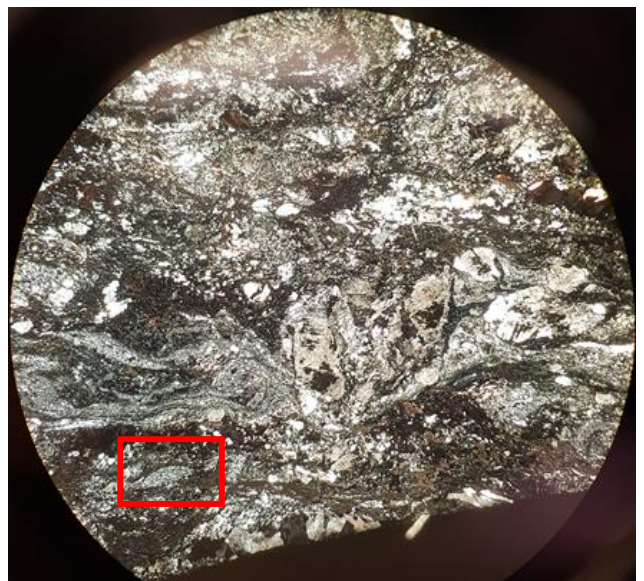
Zonerna följer tre strykningensriktningar:

1. NÖ-SV
2. ÖNÖ-VSV
3. NV-SÖ

Strieringen som hittades i zonerna hade en stupning på 5-35°.

De ospecificerade deformationszonerna (fig. 2 & 26) hade en hög sprickfrekvens i en cirka 10-15 cm bred zon. I de flesta fall gick det inte att i fält avgöra om zonen var enbart spröd eller även plastisk.

Reaktiverade zoner hittades vid två platser (fig. 2). Den nordliga var en sammanhängande 0,5-3m bred sänka i terrängen som hade en hög sprickfrekvens med epidotläkta sprickor, samt en foliation som roterade in och ur zonen dextralt. Intill zonen fanns sinistrala Riedel shear sprickor. Den sydliga zonen hade ett utseende som liknade de ospecificerade zonerna. Tunnslip visade en plastisk struktur där roterade korn visade en vertikal rörelse med SÖ-sidan upp (fig. 25). Strieringar visade en mer horisontell rörelse.



Figur 25: Foto på tunnslip av reaktiverad zon vid ak038. Notera det markerade området som visar en topp till höger rörelse. Kornet i centrum är cirka 1mm. Fotot är taget i xpl.

De plastiska deformationszonerna är ca 25 m breda och förekommer i två varianter. Den första, markerad som plastisk deformation i kartan har en mindre kornstorlek än övrig metagranit och en något högre grad av utsträckning, uppskattat till ca 4 gånger mer än utanför zonen. I tunnslip syns stråk av väldigt finkornig (dynamiskt omkristalliserad) kvarts och seritisering av fältspater. Den andra typen definieras av den melanokratiska metagraniten. Zonerna innehåller större delen av områdets mafiska enklaver som ställvis är den dominerande bergarten (fig. 27).



Figur 26: ospecificerad deformationszon vid ak037. Strieringar visar en nästan horisontell rörelse, stupning 5°.



*Figur 27: övre bilden: foto av mafiska enklaver i plastisk deformationszon på viken södra sida, vid ak053.*

*Nedre bilden: Foto av foliation i metagranit i en enklavfattigare del av samma zon. Notera även Riedel shears som indikerar en sinistral rörelse. Spetsen av pennan pekar ungefärligt mot norr.*

## Diskussion



Figur 28: karta över Svindersviken med mätpunkter. Punkterna refereras i text som t.ex. ak045 vilket motsvarar punkt 45 i kartan. Ortofoto Raster © Lantmäteriet.

## Veckning

Runt om i viken hittades flera mindre asymmetriska veck. Även de varierande foliationsriktningarna vid ak081 har tolkats som en serie s-veck. I det fallet syntes troligen omböjningen av isoklinala veck i vägskärningen. Att en foliation definierar vecken antyder att den bildats innan veckningen och att viken deformerats plastiskt vid minst två separata händelser, vilket stöds av Stephens & Andersson, (2015). De asymmetriska vecken kan uppstå på två sätt: antingen tillhör de deformationen i en skjuvzon eller parasitiska veck i en större veckomböjning. Att viken skulle vara definierad av ett veck har stöd av att z-veck hittats på södra sidan av viken (fig. 29) och s-veck på norra. Det är även vanligt att vikar längst Stockholmsområdets kust har formats av ureroderade veck (Dahlin, 2018). Enligt Wahlgren et al., (2018) löper isoklinala storskaliga veck genom Stockholm som har mindre tillhörande veck i en skala som stämmer väl in på Svindersviken.

Något som ytterligare talar för att viken är definierad av ett storskaligt veck är områdets mafiska boudinier. Formen och avsaknaden av kylta kontakter på boudinerna indikerar att kompetens- och temperaturskillnaden till moderbergarten varit låg (Gardner et al., 2016). Det tillsammans med att de genomgått metamorfos i amfibolitfacies innebär att de troligen bildades under den Svekokarelska orogenesisen och är jämgamla med veckningen av bergarterna. Om området tolkas som en större veckomböjning är det rimligt att anta att extensionen som skapade boudinerna skedde i omböjningens veckben, då boudinier kan bildas vid utsträckning av bergmassan i samband med veckning (Ghosh & Sengupta, 1999).



Figur 29: foto av z-veck definierat av minglad metagranit och amfibolit vid ak045. Notera även pegmatiten som skär vecket och den boudinerade gången i nedre högra hörnet.

### Sprickgenes

Ett omfattande arbete med korrelation av sprickmineral och tektoniska händelser har gjorts i samband med SKB:s platsundersökning i Forsmark som ligger 15 mil norr om Stockholm i bergslagsprovinsens norra del. Enligt Sandström et al., (2008) har fyra generationer baserat på datering och mikroskopering identifierats:

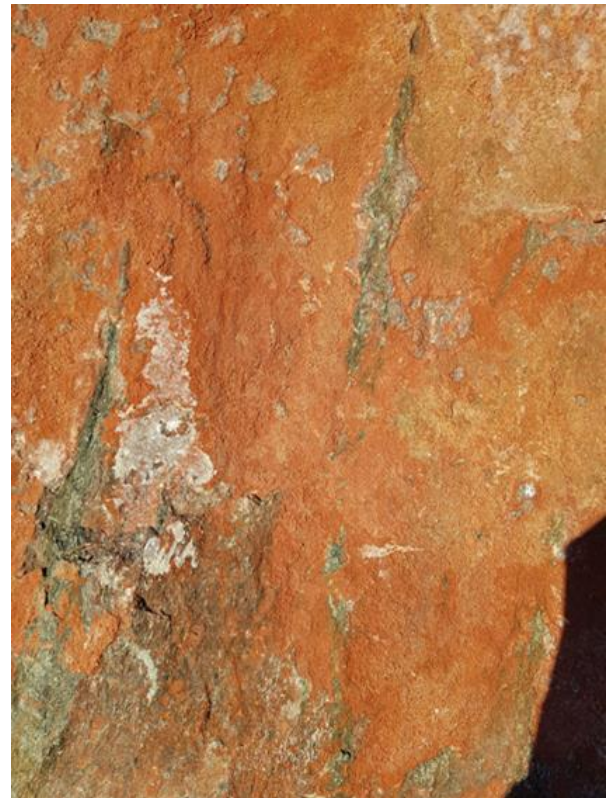
1. NV-SÖ orienterade sprickor parallella med foliationen, fyllda med kvarts, epidot och klorit. Epidot >200°C. Sen-Svekokarelsk ålder ca 1,8 Ga.
2. NNÖ-SSV orienterade sprickor fyllda med hematit, adularia, prehnit, laumontit, kalcit och klorit. Laumontit innebär en temperatur från 150-250°C, prehnit 200-280°C. Bildning vid ca 1,1 Ga.
3. Kvarts och kalcit, utan föredragen riktning. Bildning efter ca 0,46 Ga.
4. Kalcit och lermineral, utan föredragen riktning.

Avståndet till Stockholm och relationen till den NV-SÖ strykande Singöförkastningen (Stephens et al. 2007) bör tas i åtanke som stora potentiella felkällor vid en jämförelse med Svindersviken. Men båda platserna tillhör Bergslagsprovinsen, har genomgått metamorfos upp till amfibolitfacies (Stephens et al., 2007) och påverkades av samtida skjuvzoner (Wahlgren et al., 2018).

Klorit, kvarts och epidot finns i sprickor med NÖ-SV strykning med varierande stupning och ytor med kombinationer av alla (förutom kvarts + epidot) har hittats i viken. Under den Svekokarelska orogensen var huvudspänningen cirka N-S (Wahlgren et al., 2018). Om hänsyn tas till  $\sigma_1$  tas vid jämförelsen av vikens sprickgrupper skulle grupp 2 och 4 kunna ha bildats som ett konjugerande par (fig. 30). Konjugerande sprickor som tillhör grupp 2 och 4 har hittats i viken där ett av paren hade kvartsfyllnad. Det antyder att sprickgrupperna 2 och 4 kan ha bildats under den spröda slutfasen av den Svekokarelska orogensen.



Figur 30: konjugerande sprickor (markerade med röda linjer) tillhörande grupp 2 och 4.



Figur 31: sprickplan med laumontit.

Den största ÖNÖ-VSV sprickgruppen (grupp 1) korrelerar väl med foliationsriktningen i området och har därför tolkats som att ha uppkommit i foliationsplanen. Gruppen innehåller klorit, kalcit, epidot och laumontit (fig. 31). Mineralerna som hittas i gruppen har likheter med den Svekonorvegiska gruppen i tolkningen av Sandström et al., (2008) riktningen korrelerar dock med huvudspänningen under den Svekonorvegiska och Kaledoniska orogensen (Wahlgren et al., 2018). På grund av den begränsade datamängden och avsaknad av dateringar går det inte att avgöra när gruppen bildats.

Om hänsyn tas till den sinistrala reaktiveringen av Söderströmsförkastning är det troligt att grupp 1 bildats som Riedel shears. Det går inte heller att utesluta att de övriga sprickgrupperna är relaterade till Söderströmsförkastningen.

De flesta av vikens karterade sprickor saknade bevarade sprickmineral vilket medför en väldigt begränsad datamängd. För att kunna göra bättre korrelationer krävs en kompletterande kartering av där även borrkärnor undersöks.

## Deformationszonsgenes

### Plastiska deformationszoner

De plastiska deformationszoneran har förmodligen likt övriga plastiska strukturer bildats under den Svekokarelska orogenesisen. Zonens bredd (ca 25m) och den relativt stora kornstorleken indikerar att den varit aktiv under höga metamorfa förhållanden och har därför inte bildat ett finkornigare smalare stråk av mylonit (Wahlgren et al., 2018).

Om zonen på södra sidan, vid ak049-053 extrapoleras mot väst, sammanfaller den med punkt ak045 (fig. 28 & 29). Vid ak045 finns ett z-veck vid en häll som uppvisar en högre grad av plastisk deformation än omgivningen. Vecket vid punkt ak045 skärs av en odeformerad pegmatit. Eftersom att pegmatiterna intruderade mot slutet av den Svekokarelska orogenesisen vid ca 1,84–1,8 Ga (Wahlgren et al., 2018) har deformationen ägt rum tidigare. Det stöds av Stephens et al., (2015) där veckningen daterats till cirka 1,84–1,83 Ga. Andelen mafiska boudinerade enklaver ökade ställvis i zonen men tunnslipet som gjordes var från en del av zonen utan enklaver.

Förekomsten av parasitveck, zonens höga deformationsgrad och höga koncentration av boudiner gör det troligt att zonen uppstått av skjuvning relaterad till veckning.

Deformationen i den norra zonen med melanokratisk metagranit är förmodligen också relaterad till skjuvning av ett veckben. Längst zonen fanns ett flertal större utdragna boudiner med långa avstånd till nästa boudin (10-20 meter). Längre avstånd mellan boudinerna indikerar en högre grad av skjuvning (Goscombe et al., 2004). Det indikerar att de mer utdragna utseendet har bildats av en högre grad av skjuvning.

Segmentet i NÖ (se berggrundskartan) av den melanokratiska metagraniten hade till skillnad från de övriga en mylonitisk textur i tunnslip. Det har tolkats som att den har påverkats av en senare deformation än de övriga. En annan skillnad är att segmentet har en nordlig kontakt med metasediment istället för metagranit. Skjuvningen skulle eventuellt kunna vara relaterad till kontakten till metasedimentet. Intill segmentet strax norr om ak083 finns partier med deformerad pegmatit. Eftersom att pegmatiten i regel är odeformerad och intruderade mot slutet av den Svekokarelska orogenesisen stärker det antagandet om en senare deformation i segmentet.

#### Sprött reaktiverade plastiska zoner

Vid ak012 och ak031 finns en NÖ-SV dextral plastisk skjuvzon som reaktiverats sprött med en sinistral rörelse. Tolkningen grundar sig i att zonen utgör en tydlig linje i terrängen, en ca 1m bred svacka med uppsprucken kärna. Foliationen roterar dextralt in i denna sänka vilket tolkas som en plastisk skjuvzon. Riedel shears finns intill sänkan och indikerar att en sinistral spröd rörelse ägt rum (fig. 32).

Zonen innehåller epidotläkta sprickor som indikerar på en Svekokarelsk ålder medan den sinistrala rörelsen indikerar på en Svekonorvegisk eller yngre ålder (Wahlgren et al., 2018; Sandström & Tullborg, 2006; Sandström et al., 2008). Enligt Sandström et al., (2008) var temperaturen fortfarande tillräckligt hög för att epidot skulle kunna bildas i Forsmark under den Svekonorvegiska orogesen trots att de har tolkats som endast Svekokarelskt. Det skulle kunna betyda att bildningen av epidotfyllda sprickor i Svindersviken har ett bredare tidsspänn än i Forsmark. Påståendet är väldigt osäkert och bör undersökas med dateringar för att kunna dra slutsatser från det.

Zonerna med samma orientering vid ak083 och ak086 kunde inte följas i terrängen på grund av byggnader, men de hör troligtvis ihop som en reaktiverad zon. Zonerna vid ak012/031 och ak083/086 har en vinkel mot Söderströmsförkastningen som antyder att de skulle kunnat bildas som Riedel shears. Zonen vid ak083 innehåller deformerad pegmatit. Det betyder att zonen varit plastiskt aktiv mot slutet av den Svekokarelska orogesen och därmed är yngre än veckningen.

#### Ospecificerade deformationszoner

Deformationszonerna har i fält tolkats som enbart spröda då inga tydliga plastiska attribut syntes. Men efter att en zon med linkande sprickkaraktär hade en mylonitisk struktur i tunnslip benämns de som ospecificerade för att undvika feltolkning. En NÖ-SV strykande zon hade en kvartsläkt yta i likhet med sprickgruppen med samma strykning. Zonen hade även laumontit och kalcit utöver kvarts på den strierade ytan. Kvarts och laumontit har tolkats som tillhörande två olika grupper: en Svekokarelsk och en Svekonorvegisk (Sandström et al., 2008). Om zonen varit aktiv under Svekokarelsk tid är det troligare att även en plastisk deformation ägt rum.



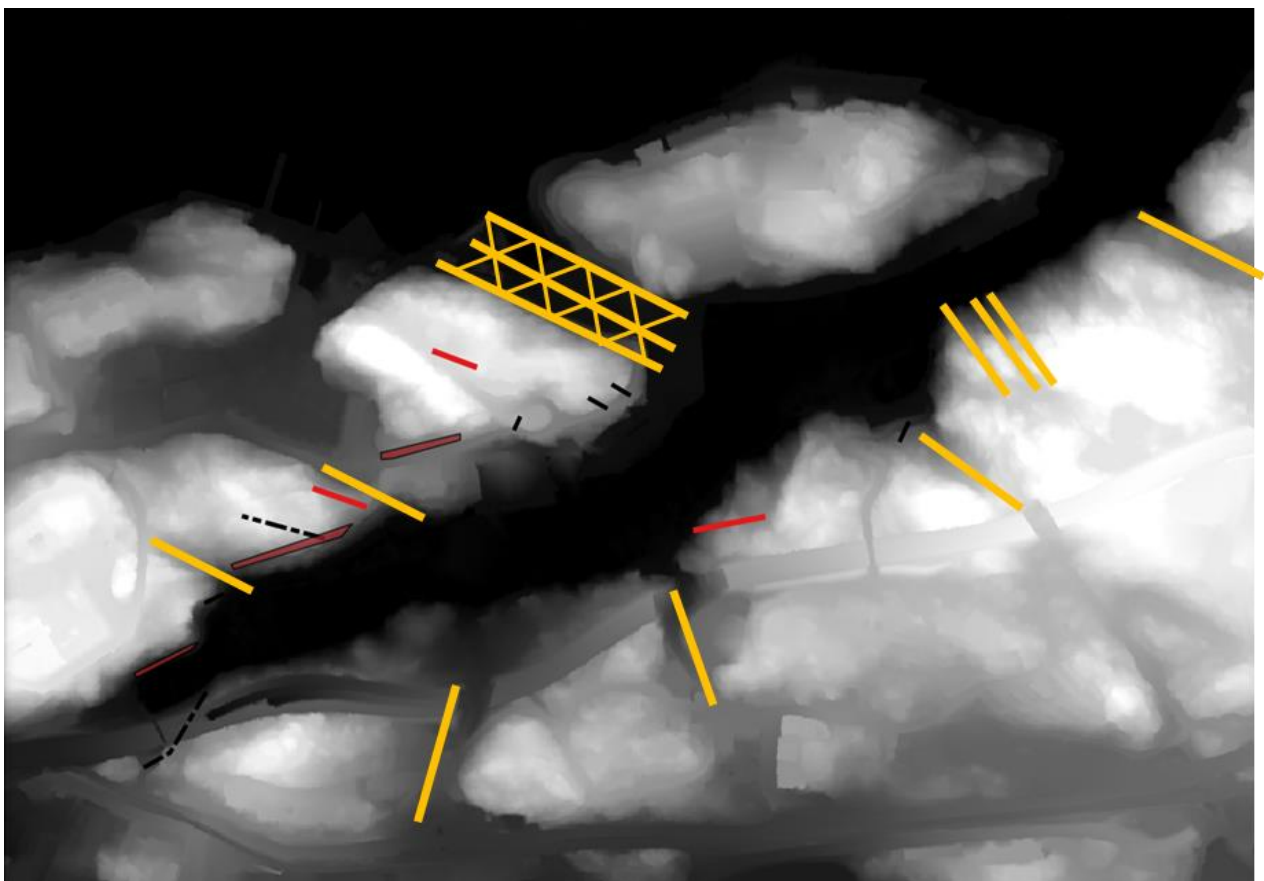
Figur 32: Riedel shear sprickor (markerade med röda linjer).

### Storskaliga linjära strukturer

I området finns ett antal större strukturer som går att följa i terrängen, främst moränfyllda svackor men också själva Svindersviken. Det har föreslagits att dessa strukturer kan ha ett tektoniskt ursprung (Ignea, 2015). De flesta av strukturerna har inte klassats som tektoniska då inga ytterligare bevis, t.ex. strieringar hittats. Den norra sidan av viken väcker dock starka misstankar om sinistrala rörelser i de sedimentfyllda svackorna (gula linjer i fig. 33) Det som talar för en sinistral rörelse i svackorna är:

- De är orienterade i samma riktning som flera deformationszoner i området.
- De höglänta partierna på norra sidan av viken har en trappstegsform som skulle kunna ha bildats av en sinistral rörelse.
- Den melanokratiska metagraniten ser ut att ha bildat ett sammanhängande stråk som nu är förskjutet i likhet med trappstegsformen.
- En av svackorna har en större platt strierad yta

Inga ytterligare bevis har hittats som direkt pekar på en tektonisk och inte t.ex. glacial bildning av strukturerna. Eventuellt skulle kompletterande geofysiska mätningar kunna ge svar på om strukturerna har en fortsättning ner i berggrunden eller om det är ytliga.



Figur 33: Höjdmodell av Svindersviken med topografiska lineationer markerat med gult och deformationszoner i rött och svart. Det rutiga området är också en deformations zon färgad gul för att den ska synas. Höjdmodell: Höjddata 2m, © Lantmäteriet.

## Slutsatser

- Svindersviken är troligen definierad av ett veck som bildats under den Svekokarelska orogenesisen efter att den regionala foliationen bildats.
- Vikens melanokratiska metagranit har troligtvis deformerats av skjuvningen i ett veckben i likhet med den plastiska deformationszonen på vikens södra sida.
- Viken korsas av dextrala skjuvzoner som förmodligen är relaterade till den intilliggande Söderströmsförkastningen. Vid den senare Svekonorvegiska orogenesisen har vikens plastiska strukturer reaktiverats med en sinistral rörelse. Topografin och bergartsmönster i området antyder att skalan av dessa deformationer eventuellt varit större och att storskaliga förskjutningar av den norra delen av viken troligen ägt rum.
- Slutsatserna av sprickgenesen är att avvikelser från Forsmark troligen beror på en begränsad datamängd insamlad i detta projekt. Observationer av epidot i yngre strukturer indikerar dock att skillnader mellan platserna finns. Resultaten bör strikt ses som antydanden och ytterligare undersökningar av sprickor, både i fält och i borrhärdar samt datering bör göras för att ge ett mer säkert svar angående genesen.

Ett stort tack till Peter Dahlin på Bergab för handledning, hjälp i fält och rapportskrivning. Tack Joakim Mansfeld på Stockholms universitet för handledning, hjälp med tunnslip och kartritning.

## Referenser

Dahlin, P., 2018: Muntlig och skriftlig kontakt under hösten 2018.

Gardner, R.L., Piazzolo, S., Daczko, N.R., 2016: *Shape of pinch and swell structures as a viscosity indicator: Application to lower crustal polyphase rocks*. Journal of Structural Geology 88, 32-45.

Ghosh, S.K., Sengupta, S., 1999: *Boudinage and composite boudinage in superimposed deformations and syntectonic migmatization*. Journal of Structural Geology 21, 97-110.

Goscombe, B.D., Passchier, C.W., Hand, M., 2004: *Boudinage classification: end-member boudin types and modified boudin structures*. Journal of Structural Geology 26, 739-763.

Ignea, S., 2015: *Major fracture zones in Fiskarfjärden, Stockholm*. Examensarbete vid institutionen för geovetenskaper nr 323, Uppsala universitet, 61 s. ISSN 1650-6553.

Lundqvist, L., Lundqvist, T., Lindström, M., Calner, M., Sivhed, U., 2011: *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Studentlitteratur, tredje upplagan.

Mansfeld, J., 2018: Muntlig och skriftlig kontakt under hösten 2018.

Saintot, A., Stephens, M.B., Viola, G., Nordgulen, Ø., 2011: *Brittle tectonic evolution and paleostress field reconstruction in the southwestern part of the Fennoscandian Shield, Forsmark, Sweden*. Tectonics 30.

Sandström B, Tullborg E.-L., 2006a: *Forsmark site investigation. Fracture mineralogy. Results from KFM06B, KFM06C, KFM07A, KFM08A and KFM08B*. Svensk Kärnbränslehantering AB P-06-226.

Sandström, B., Tullborg, E.-L., Smellie, J., MacKenzie, A.B. & Suksi, J., 2008: *Fracture Mineralogy of the Forsmark Site*. Svensk Kärnbränslehantering AB R-08-102, 113 s.

Stephens, M. B. & Andersson, J., 2015: *Migmatization related to mafic underplating and intra-or back-arc spreading above a subduction boundary in a 2.0–1.8 Ga accretionary orogen, Sweden*. Precambrian Research 264, 235–257.

Stephens, M.B., Fox, A., La Pointe, P., Simeonov, A., Isaksson, H., Hermanson, J. & Öhman, J., 2007: *Geology Forsmark. Site descriptive modelling Forsmark stage 2.2*. Svensk Kärnbränslehantering AB R-07-45, 224 s.

Van Der Molen, I., 1985: *Interlayer material transport during layer-normal shortening. Part II. Boudinage, pinch-and-swell and migmatite at Sondre Stromfjord airport, West Greenland*. Tectonophysics 115, 297-313.

Wahlgren, C.-H., Schoning, K., Tenne, M., Hansen, L., 2018: *Stockholmsområdets berggrund, jordarter, geologiska utveckling och erfarenheter från infrastrukturprojekt*. SGU-rapport 2018:08.

Kartor

Höjdmodell: Höjddata 2m, © Lantmäteriet. Hämtad 20/9-2018.

Ortofoto: Ortofoto Raster, © Lantmäteriet. Hämtad 20/9-2018.

Översiktskarta: <https://kartor.eniro.se/?c=59.368893,18.139801&z=10>, © Lantmäteriet/OptiWay AB. Hämtad 05/12-2018.