



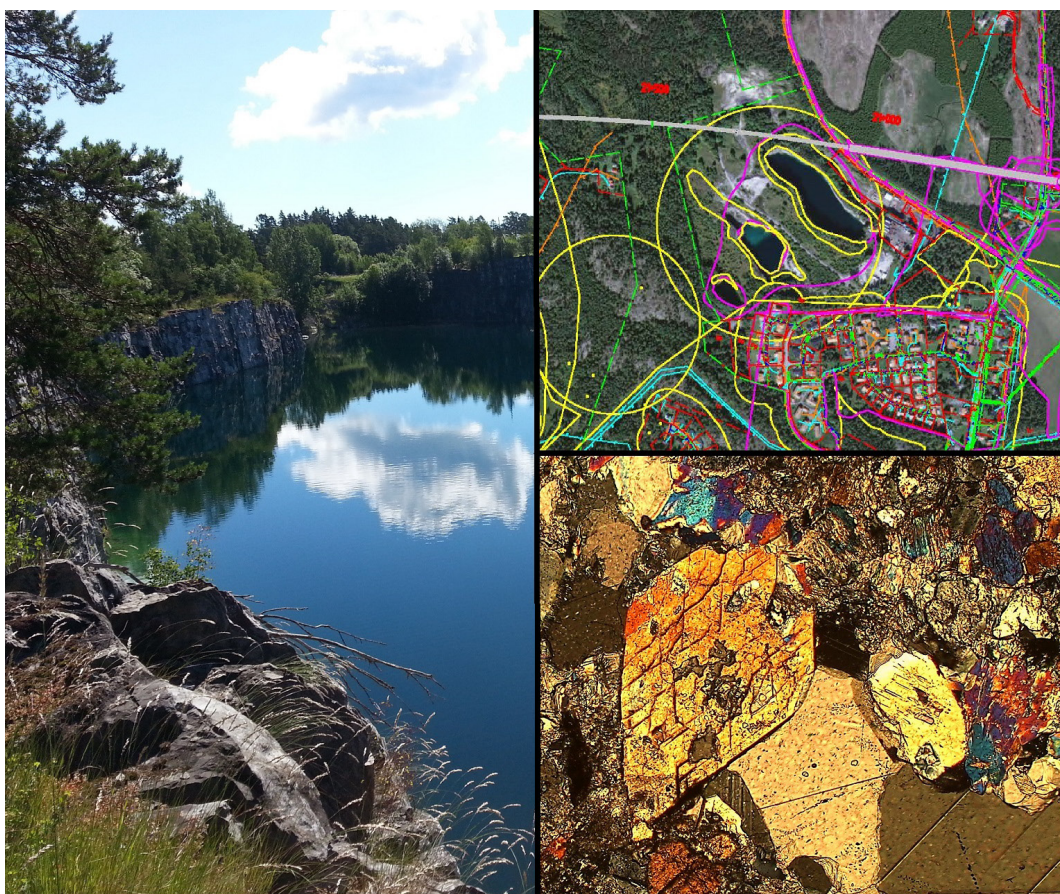
Stockholm
University

Master Thesis

Degree Project in
Geology 30 hp

Geologisk undersökning av Vagnhärads kalkbrott och konsekvenser för Ostlänken

Karin Skogli



Stockholm 2015

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

Omslagsbilden visar till vänster utsikt över Vagnhärads Kalkbrott (Foto Karin Skogli),
uppe i högra hörnet en karta över kalkbrottet med linjeförslaget Grön 21 till ostlänken
(Från ÅF och Thyréns åt Trafikverket) och nere till höger syns en amfibol hittad i
skarnbildningen i prov 15KS08 (Foto Karin Skogli).

Det här arbetet är dedikerat till Rolf Löfgren som efter en tids sjukdom gick bort den 2/7 2015

Abstract

A documentation of the geology of Vagnhärad marble quarry south of Stockholm, Sweden, has been done for the construction of Ostlänken, a high speed railway through southern Sweden. The options where the rails can be built are limited and might have to pass over or close to the quarry. This makes a geological documentation of the quarry important for the construction and stability of the railway. Not much work has been done on marble localities in Södermanland County, which makes this project a contribution to the documentation of Sweden's geology. The marble in the quarry was formed during the Svecofennian orogeny about 1.9 – 1.8 Ga, where several island arcs were accreted together. The carbonate in the marble precipitated out in shallow seas that surrounded a volcanic arc with felsic volcanic activity, and later subducted and metamorphosed to amphibolite facies. The interaction between the carbonate rocks and the rhyolitic ash during fluid intrusion and metamorphism formed skarn that hosts many ore minerals in similar localities. A microscopic study was performed to give a more detailed description of the rocks in the area and to investigate the presence of ore minerals. This is also important for the environmental effect of the Ostlänken project. The report concludes that the geological history of the area corresponds well to earlier studies and with at least two different deformation events. No large amounts of harmful elements could be found but more detailed geochemical testing should be conducted. Simplified, the rocks are more weathered and altered in the south-eastern part of the quarry and more stable in the north-western part and thus, the recommended path for the railway is north of the quarry.

Innehåll

Abstract	2
1 Inledning	4
2 Syfte	4
2.1 Mål	5
3 Bakgrund	5
3.1 Svekofenniska orogenesen	5
3.2 Södermanlands geologiska utveckling	6
3.3 Vagnhärads kalkbrott	7
3.4 Tidigare arbeten	9
3.5 Ostlänken	10
3.5.1 Dragningen av Ostlänken kring Vagnhärad	11
4 Material och metoder	15
4.1 Kartering	15
4.2 Bergmekanisk gradering i fält	15
4.3 Provtagning	17
4.4 Mikroskopering	18
5 Resultat	18
5.1 Observationer i fält	18
5.1.1 Mineralogi och petrologi	18
5.1.2 Sprickor	22
5.1.3 Foliation	24
5.2 Bergkvalitet	24
5.3 Mikroskopering	26
6 Diskussion	33
6.1 Geologin i Vagnhärads kalkbrott	33
6.1.1 Metamorf facies	33
6.1.2 Den geologiska historien	34
6.2 Dragningen av Ostlänken	35
6.2.1 Miljöpåverkan	36
7 Slutsatser	37
8 Tack till	37
9 Referenser	38
Artiklar och rapporter	38
Hemsidor	39
Kartor	40
Bilder	40
Appendix A:	41
Appendix B:	45

1 Inledning

I projekt Ostlänken ska järnvägsspår för höghastighetståg dras mellan Stockholm och Linköping med stationer för på och avstigning i Vagnhärad, Nyköping, Skavsta och Norrköping. Det planeras ett nytt resecentrum i Vagnhärad som ska ligga strax norr om samhället men fortfarande inom gång- och cykelavstånd av centrum. Norr om Vagnhärad ligger Natura 2000-området Tullgarn, och söder om orten finns ett stort antal fornlämningar som gör valmöjligheterna för var spår ska dras i närheten av stationen begränsade. I nordvästra kanten av Vagnhärad ligger ett nedlagt kalkbrott och de nya spåren skulle eventuellt behöva dras över eller intill dagbrotten. I den här studien har en geologisk dokumentering av området genomförts som ska ligga till grund för beslut av dragningen av Ostlänken. Mineralogisk undersökning av kalkbrotten är inte bara geologiskt intressant utan kan även ha miljökonsekvenser för byggnationen av Ostlänken. Kalkbrotten består främst av marmor som ligger i en lins, omgiven av gnejs och metavulkanit. Det förmodas ha bildats av kalkutfällningar som avsattes i ett hav omgivna av vulkanöar med felsisk vulkanisk aktivitet. Kalksedimenten varvat med felsiska asklager undergick sedan metamorfos i amfibolitfacies under den svekofenniska orogenesen. Södermanland ligger i samma geologiska område som Bergslagen som är känd för sina många malmförekomster. Många av de stora gruvorna är associerade till marmor, som till exempel Sala silvergruva och Dannemora järnmalmgruva.

2 Syfte

Syftet med rapporten är att öka kunskaperna om marmorförekomster i Södermanland och tillhörande mineral, samt att ge ett geologiskt underlag till planeringen av Ostlänken. I studien ska sprick- och berggrundsgeologisk kartering av området genomföras, kompletterat med mineralogiska och petrologiska studier av provtaget material. Kalkbrott i de här delarna av Sverige är sedan tidigare kända för att kunna innehålla en varierande mineralflora men trots att kalkbrotten är kända så saknas tillgänglig dokumentation och litteratur (Shaikh et al., 1989). En beskrivning av kalkbrottets mineralogi och geologi är därför inte bara allmängeologiskt intressant utan ger ett bidrag till den bristfälliga dokumentationen av marmorförekomster i Södermanland. En geologisk beskrivning av området är även relevant för områdets bergmekaniska egenskaper samt projektets miljöpåverkan.

2.1 Mål

- 1) Att producera en berggrundsgeologisk karta och dokumentation över Vagnhärads kalkbrott
- 2) Att undersöka sprickor och förkastningar i dagbrotten
- 3) Analysera hållfastheten av berget med hjälp av insamlad data
- 4) Att prov ta och mikroskopera relevanta mineralfaser och bergarter associerade med kalkstenen
- 5) Att rekommendera en dragning av Ostlänken baserat på geologin i Vagnhärads kalkbrott

3 Bakgrund

Vagnhärad ligger i Södermanland ungefär en timmes bilfärd söder om Stockholm längs E4 mellan Södertälje och Nyköping. Södermanland tillhör geologiskt sett Bergslagen, och delar ursprung med ett område som sträcker sig upp till Uppland och södra Dalarna bort till Uusimaa-området i södra Finland, som alla är kända för sina malmtillgångar (Nironen, 1997, Weihed et al., 2005). Varken Södermanland eller Uusimaa-området tillhör dock Bergslagen ur ett historiskt eller geografiskt perspektiv utan då menas bara de Svenska delarna med viktiga gruvor i Uppland, Dalarna, Västmanland, Värmland och Östergötland. Berggrunden i Södermanland bildades under den Svekofenniska orogenesen omkring 1,82 -1,80 Ga (Hermansson et al., 2007) och tillhör den Fennoskandiska urbergsskölden. Den Fennoskandiska urbergsskölden täcker stora delar av Finland och Sverige och breder ut sig i de östra delarna av Sverige från gränsen i norr till Södermanland i söder. Tidigare var även Småland klassad som Svekofennisk men berggrunden i Småland har visat sig vara mycket yngre än Bergslagen (Beunk & Page 2001, Mansfeld 1996).

3.1 Svekofenniska orogenesen

Den Svekofenniska orogenesen var aktiv mellan 1,96–1,75 Ga med flera faser av metamorfos där den äldre skedde uppemot 1,87 Ga (Hermansson et al., 2007). Det exakta händelseförloppet för den Svekofenniska orogenesen är ännu inte känt men flera modeller har publicerats. En modell som framförts är en kordiljärisk orogen (Beunk & Page 2001) men de flesta baseras på en 'arc-continent collision', det vill säga en öbåge med flera mikroplattor som kolliderar med en kontinent. Men även kollisioner mellan öbågar har föreslagits (Korja & Heikkinen, 2005). Nuvarande tektoniska miljöer som liknar denna går att hitta i nuvarande

Indonesien och Filipinerna (Nironen, 1997). Denna hopslagning av flera öbågar har skett i flera steg och lämnat flera olika provinser efter sig. Förenklat så blir provinserna yngre mot sydväst i södra Sverige och äldre mot nordost i norra Finland (Gaál & Gorbatshev, 1987, Hermansson et al., 2007). Detta kan ha hänt i en lång process eller flera korta, till exempel föreslår Korja et al (2006) fem olika orogener som har löst av varandra. Även antalet subduktionszoner är under debatt men Nironen (1997) menar att det fanns åtminstone två subduktionszoner och även minst två öbågar. Dessa har sedan pressats ihop och hela orogenen har vikt sig på mitten vilket har komplicerat rekonstruktionen av orogenen (Lahtinen et al., 2014). Förutom att den Svekofenniska orogenesen är komplicerad kan en anledning till att den inte är fullt förstådd vara att plattetektoniken under paleoproterozoikum skiljer sig från idag. Jorden var ung och varmare vilket medför att nybildad oceankrusta blev tjockare. Oceankrustan kunde vara 20-30 km tjock att jämföra med dagens 7-8 km (Weihed et al., 2005). Detta medför att temperaturökningen neråt i krustan inte hade samma hastighet som idag och det troligen var det mindre cirkulation av fluider. Lagret av ovanliggande sediment var troligen tunnare och bildade då inte lika tjocka akkretionsprismor och andelen kallt sediment som subducerades var mindre (van Hunen et al., 2008).

3.2 Södermanlands geologiska utveckling

De första bergarterna att bildas var gråvackor från turbiditströmmar längs kontinentalsocklarna. Dessa går nu att hitta som metagråvackor på till exempel Utö som ligger 4 mil öster om Vagnhärad. Havsbotten har sedan rest sig på grund av ökad vulkanisk aktivitet, och det bildades flera öbågar med ryolitiskt till dacitisk vulkanisk aktivitet omgivna av ett grunt hav. Den höga kiselhalten i magmorna orsakade explosiva vulkanutbrott och i havet avsattes pyroklastiskt material från vulkanutbrotten och karbonatrika sediment. Ursprunget till karbonaterna är inte känt, men i flera områden i Bergslagen har man hittat fossil av stromatoliter och det är möjligt att även karbonaterna i Vagnhärad har ett organiskt ursprung (Stephens et. al. 2009). Dessa material har sedan genomgått metamorfos i den svekofenniska orogenesen och tryck- och temperaturmätningar från området har visat på temperaturer mellan 650 - 725°C och tryck på 0,3 - 0,4 GPa (Stålhös 1982). Detta betyder att området har genomgått metamorfos ner till amfibolitfacies, eller till och med undre granulitfacies, men vid ett relativt lågt tryck. Detta har omvandlat de felsiska askorna till

metavulkaniter och karbonaterna till marmor och dolomitmarmor (Weihed et al., 2005). De sura metavulkaniterna som består av mestadels finkristallin kvarts och fältspat är vad som förr kallades leptit. Leptit anses dock vara en daterad term men den återkommer i litteratur på området. I det här arbetet kommer metavulkaniten för enkelhetens skull fortsättningsvis benämnas vulkanit. Mellan 1,87- 1,85 Ga och 1,9 -1,87 Ga trängde sig i olika omgångar magma upp och bildade större granitbatoliter och intrusioner (Stephens et. al. 2009). Det uppträngande materialet var en blandning av olika magmor men främst av kalkalkalin typ (Hermansson et al., 2007). En del tidiga granitintrusioner har blivit deformerade och omvandlade till gnejs. I Bergslagen förekommer två olika typer av gnejs: ortognejs som har magmatiskt ursprung, och paragnejs, som har ett sedimentärt ursprung som till exempel den i Södermanland vanliga granatådergnejsen. Senare intrusioner är mer välbevarade och uppträder som granit, till exempel i Stockholmsområdet. Under den här perioden hettades de undre delarna av orogensen upp och det kan ha förekommit fluider som omvandlat materialet. Bergskedjan har sedan eroderat ner och det är de understa delarna som är synliga vid ytan idag.

3.3 Vagnhäradskalkbrott

Kalkbrottet i Vagnhärad togs i bruk på 1920-talet och består idag av tre stycken dagbrott (Bild 2, C). Det största och nordligaste brottet är ett kalkbrott och kallades Fänsåkers kalkbrott (Bild 2, A). Det mellersta var ett kombinerat kalkstens- och dolomitbrott och kallades för Fagerhults kalkbrott (Bild 2, B). Det sydligaste och minsta brottet som öppnades 1976 är ett rent dolomitbrott (Stålhös, 1975; Karta över Vagnhäradskalkstensbrott, 1960). Eftersom området och även kalkstenen har genomgått metamorfos är det marmor som är huvudbergart i kalkbrottet. Omgivande berg består av metavulkanit och gnejs (Bild 1) (Wik et. al., 1999). Historiskt har marmorn i det här området kallats kalksten och fortsätter av tradition att göra det i litteraturen. Jag kommer att använda den korrekta geologiska benämningen men uppmärksammar läsaren på att namnet kan skilja sig i annan litteratur.

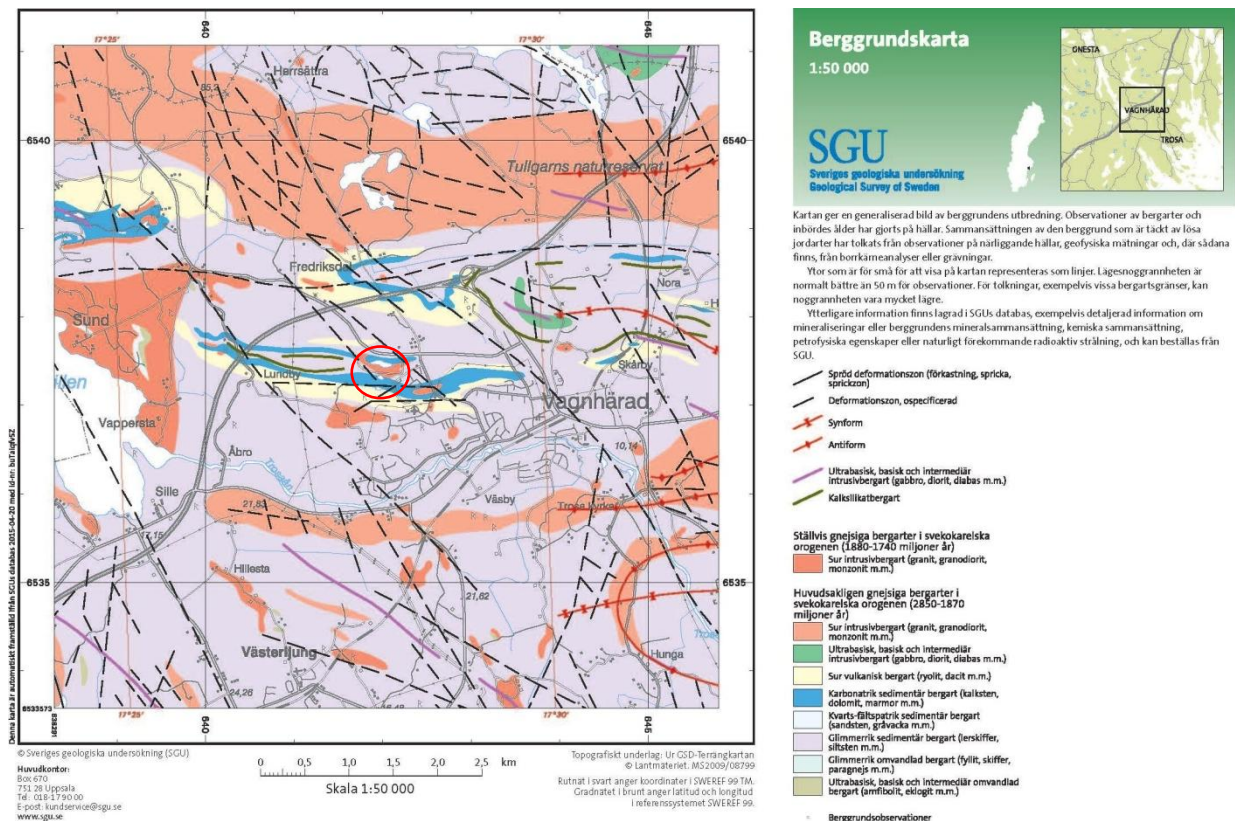


Bild 1: Berggrundskarta över Vagnhärad's kalkbrott med omgivning (SGU, 2015). De tre vattenfyllda kalkbrotten syns i mitten av kartan (röd cirkel).

Kalken som bröts brändes på plats och såldes sedan vidare till stålindustrin där den användes i masugnar. På 1990-talet krossades varphögarna och såldes som trädgårdskalk och resterna av den brända kalken såldes som jordbrukskalk (Wik et al., 1999). Produktionen lades ner de sista åren på 90-talet och brotten har sedan dess stått outnyttjade.

Kalkbrotten stryker i öst-västlig riktning. Det nordligaste och största, Fänsåker, är 250 meter långt, 60 meter brett och c:a 40 meter djupt, varav 20 meter är under vattenytan. Fagerhults dagbrott, det mellersta, är 170 meter långt, 60 meter brett och c:a 60 meter djupt (Bergstatens kartor, 1960). Dolomitbrottet var inte påbörjat på bergstatens kartor och djupet på detta brott är okänt men det är 60 meter långt och 30 meter brett.



Bild 2: A) Vy över Fänsåker dagbrott. B) Vy över Fagerhult dagbrott. C) Satellitbild över dagbrotten. Det nordligaste är Fänsåker, det mellersta Fagerhult och i söder det lilla dolomitbrottet. På satellitbilden går det att se att det går en väg ner i Fagerhult men att de två andra är mer otillgängliga (Google Earth).

3.4 Tidigare arbeten

Det finns väldigt lite beskrivet och dokumenterat om marmorförekonsterna i Södermanland. Stålhös (1975,1982) har skrivit en beskrivning av SGUs berggrundskarta för området och

Särkinen och Sundblad har i en opublicerad rapport från 1992 gjort en undersökning av kalkbrottet i Vagnhärad och andra kalkbrott i Bergslagen. De studerade malmförekomster och förklaringen till skillnader mellan låg och hög andel malmmineral i likartade geologiska miljöer. I Vagnhärad genomfördes mikroskopering och röntgendiffraktion av 8 prover samt undersökning av C och O isotoper. De hittade ej ekonomiska halter av zinkblände, blyglans och magnetkis och mätningarna av $\delta^{18}\text{O}$ visade typiska marina värden som liknar nutida hav. Kalkstensförekomsterna i andra delar av Bergslagen med högre halter av malmmineral visade på vulkaniska $\delta^{18}\text{O}$ nivåer. Trots att det finns lite litteratur om kalkbrott i Södermanland så finns där en myriad av olika mineral och är därför populära utflyktsmål för amatöргеologer. Bland annat Stora Vika kalkstensbrott utanför Nynäshamn är känt för sin unika mineralflora med bland annat vesuvian och rosa zoisit (Zetterquist, 1994). Spännande fynd har rapporterats från Gnesta, Trosa och Mölnbo som alla ligger i närheten av Vagnhärad. I dessa har till exempel titanit, baryt och gediget silver påträffats (Jonsson & Langhof, 1994).

3.5 Ostlänken

I projekt Ostlänken ska dubbelspår för höghastighetståg dras mellan Stockholm och Linköping för att sedan kopplas ihop med dragningar till Malmö, Göteborg och sedan vidare ner mot kontinenten (Bild 3). Tågen ska ha en hastighet på 320 km/h och det ska vara möjligt att åka mellan Stockholm och Linköping på en timme. Nya stationer och resecentrum på sträckan planeras till Vagnhärad, Nyköping, Skavsta och Norrköping (ÅF). De nya spåren kommer att underlätta både för persontågen som får helt nya räls och för godstågen som får de gamla spåren. Byggnationen av banan beräknas börja tidigast 2017 och första tåget är tänkt att börja rulla 2028. Hela projektet beräknas kosta 35 miljarder kronor. (Trafikverket).

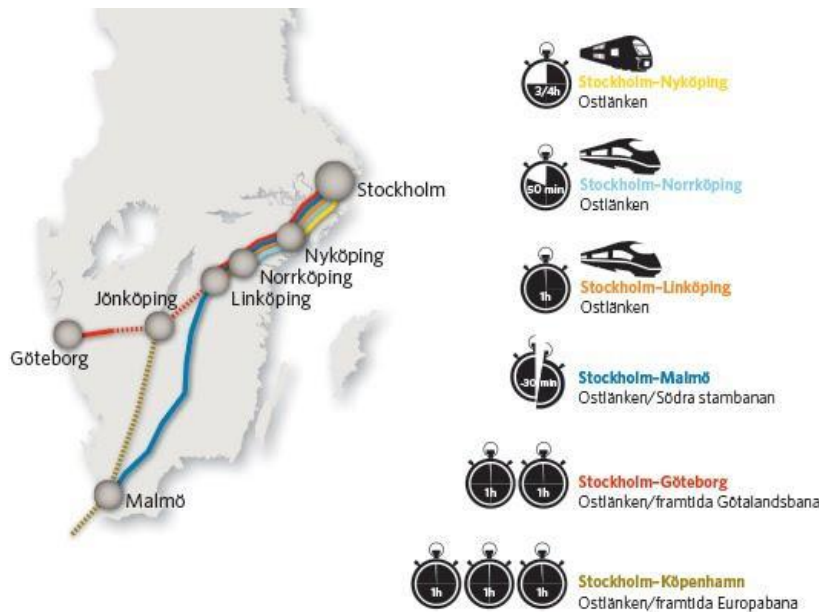


Bild 3: Dragningen av Ostlänken samt beräknade restider (Bild från Teknikdygnet)

3.5.1 Dragningen av Ostlänken kring Vagnhärad

ÅF consult och Tyréns har på uppdrag av Trafikverket undersökt olika dragningar av Ostlänken för sträckan Gerstabergr-Sillekrog. Dragningen till och från resecentrumet i Vagnhärad är problematisk både söder och norr om Vagnhärad. Norr om den planerade stationen ligger Natura 2000 området Tullgarn som har skyddsvärda naturvärden. Området innehåller många olika naturtyper med till exempel ädla lövträd och ett rikt fågelliv (Länsstyrelsen i Södermanland). Var någonstans dispensen att bygga i området tillåter kommer att diktera dragningen norr om Vagnhärad (ÅF muntligt 150320). Söder om Vagnhärad ligger Trosasänkan som under tidigt 1000-tal användes som vattenväg in till Mälaren och Birka. Detta gör det troligt att området innehåller fornlämningar och ska, om möjligt, undvikas. För att komma fram till en dragning görs en järnvägsutredning, först planeras korridorer som är ett brett område där dragningen utreds för bästa linjedragning. Trafikverket har flera korridorer som undersökts för lämpligheten att bygga Ostlänken. Dessa har kallats Röd, Grön och Blå korridor. Nordväst om Vagnhärad centrum ligger Vagnhärad kalkbrott som ligger mitt i den röda korridoren (Bild 4). Olika konsekvenser som miljöpåverkan, buller och kostnader vägs in för att sedan välja en linjedragning. Eftersom järnväg inte kan ha för tvära kurvor kan en dragning som passar bäst i ett område inte alltid

passas ihop så den blir bra överallt utan det måste ske en övervägning. Linjer plockas fram ur korridorerna och utreds mer ingående tills den bästa sträckningen finns kvar. Flera av de föreslagna dragningarna går över eller intill dagbrotten.

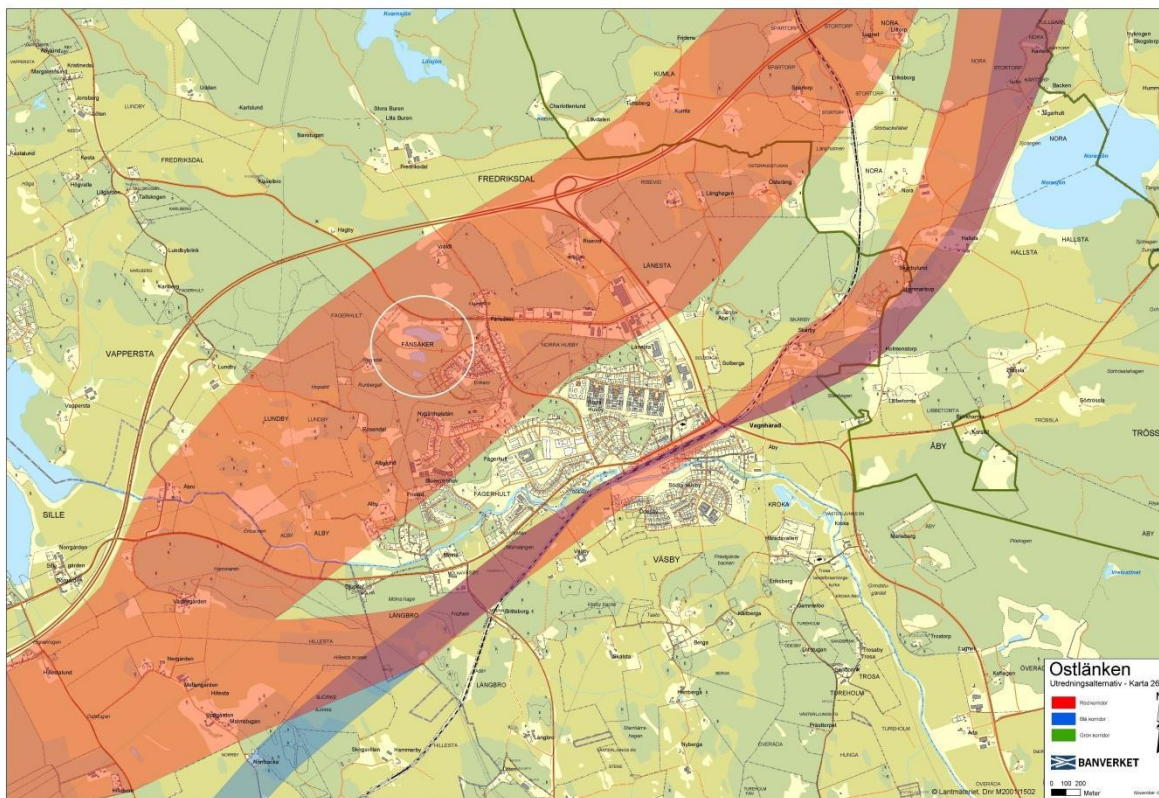


Bild 4: Karta över Vagnhärad med föreslagna korridorer. Mitt i den breda röda korridoren ligger Vagnhäradskalkbrott och det kan ses som tre områden med vatten inringade i en vit cirkel (Bild modifierad från Trafikverket).

I ett tidigt stadium valdes Blå korridor och den sydligaste avstickaren av röd korridor bort. Dessa var tänkta för att utnyttja den befintliga stationen i Vagnhärad men det planeras istället en ny station strax nordost om dagbrotten. Vid den 9 april 2015 fanns det fem olika dragningsförslag (Bild 5). De tre dragningarna som ligger i mitten går över kanten på Fagerhult, då dagbrottet inte är helt vattenfylt ger kartan intryck av att dragningen skulle passera vid sidan om brottet. Dessa dragningar eliminerades och vid den 18 augusti 2015 fanns de två norra dragningarna kvar, kallade Röd 34 och Grön 21. Grön 21 går 25 meter norr om brottet och Röd 34 går ytterligare lite norr Grön 21. Den 22 september 2015 beslutades att

dragningen ska ske på Grön 21, det kan dock fortfarande ske små korrigeringar av dragningen (Bild 6).

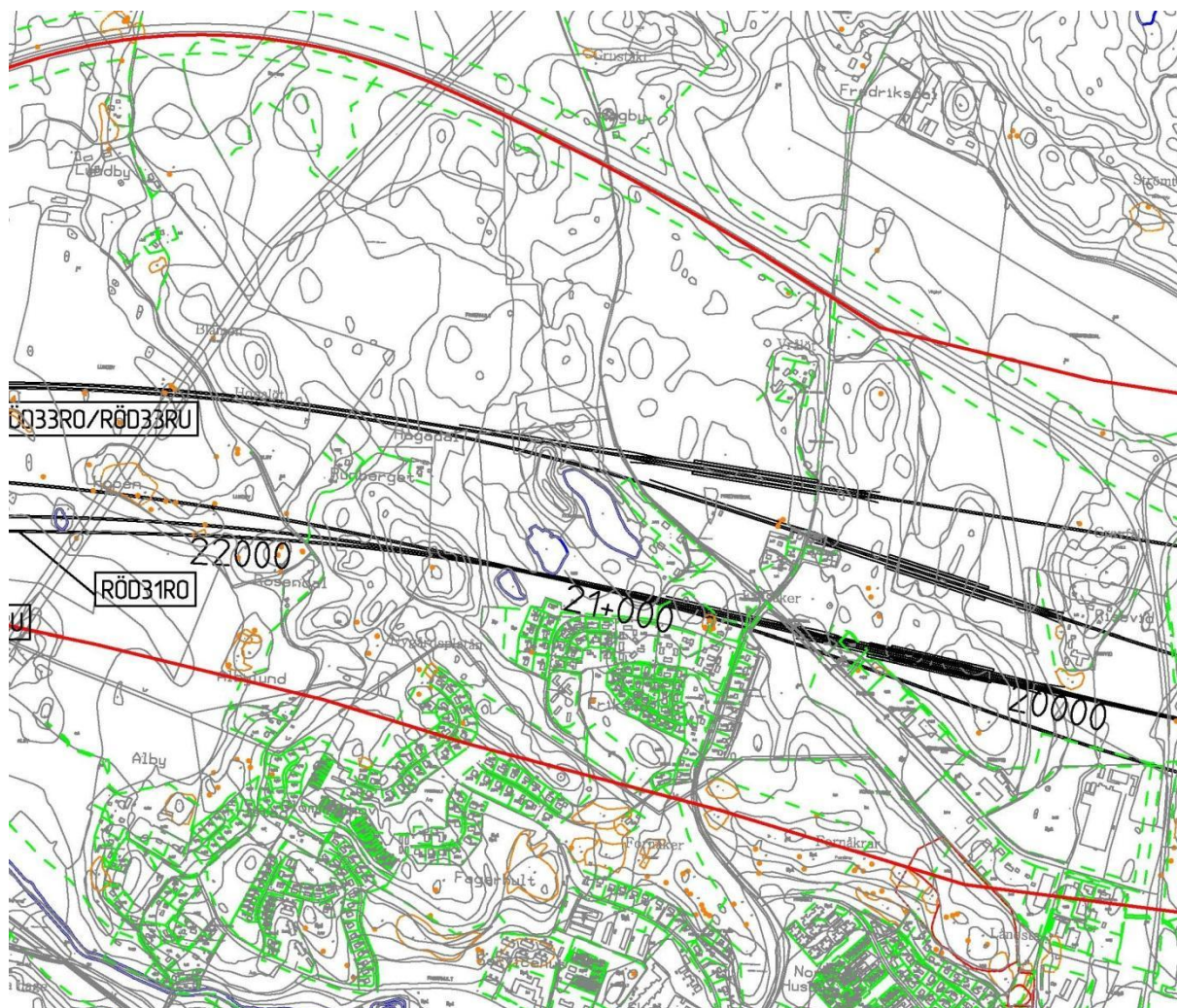


Bild 5: Linjedragningsförslag från 9/4 -15. Den röda korridoren har avsmalnats och nu finns fem olika dragningsförslag markerade i svart. De tre vattenfyllda dragbrotten syns i mitten av bilden och i detta förslag går flera linjer rakt igenom området (Bild, Internt ÅF).

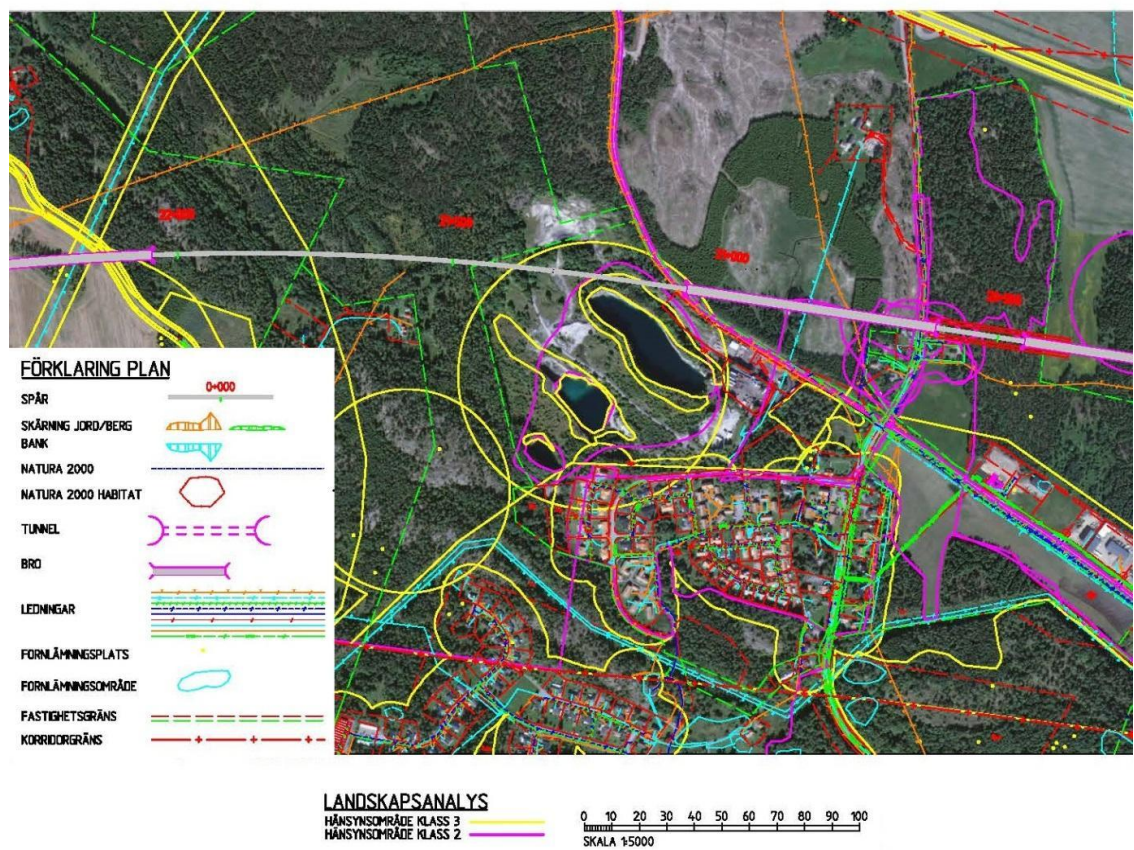
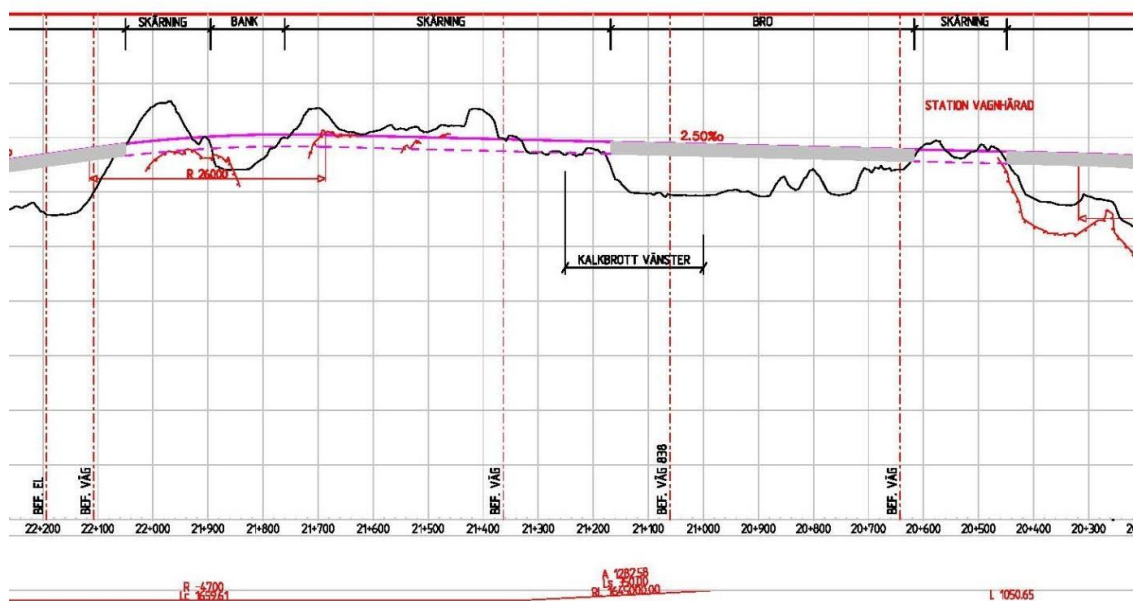


Bild 6: Karta som visar Linjeförslag Grön 21 vid Vagnhärads kalkbrott. Mittenlinjen av dragningen går 25 meter norr om Fänsåkers kalkbrott. Övre delen av bilden visar topografien i genomskärning och hur dragningen ska ske med broar och skärningar (Bild, Internt ÅF).

4 Material och metoder

Vagnhärads kalkbrott besöktes flera gånger under våren och sommaren 2015 för kartering och insamlande av prover. De tre dagbrotten har olika nivå för tillgängligheten, till exempel har Fänsåkers kalkbrott branta väggar runt hela brottet och det finns inget säkert sätt att få tillträde. Det är dessutom vattenfyllt så det finns ingenstans att stå även om man kommer ner i det. Det går dock att ta fotografier med teleobjektiv för att få en bild av andra sidan. Dessa observationer kommer att vara lägre kvalitet än de i resten av kalkbrottet. I Fagerhults kalkbrott har en ramp på den östra sidan och trappor på den västra som gör det möjligt att ta sig ner i brottet. Det är dessutom möjligt att gå på botten av vissa delar innan det blir djupare och vattenfyllt. Det södra dolomitbrottet är i princip helt vattenfyllt förutom en uppstickande vägg på nordvästra sidan som är ca 3 meter hög. Området runt brotten är till stor del överväxt av tät skog och sly och det ligger överväxta block och varphögar som gör det svårt att avgöra om berget är in-situ eller inte.

4.1 Kartering

Bergartskartering har gjorts av uppstickande hållar samt väggar av dagbrotten. Området har avgränsats till det inhägnade området runt Vagnhärads kalkbrott. Stupning och strykning av foliationen har mätts i och runt brotten. I kartan har en representativ stupning och strykning valts ut för att kartan inte ska bli för stökig. Samtliga mätningar finns i appendix A.

4.2 Bergmekanisk gradering i fält

Till den bergmekanistiska analysen har RMR (Rock Mass Rating) systemet används efter handboken Rock mass classification av Hoek (2000) som baseras på Bieniawski (1989). Systemet användes ursprungligen för att beskriva bergkvaliteten vid tunneldrivning men kan med fördel användas i fält som en första prognos. Fem olika faktorer bedöms och får ett värde beroende på kvalitén på berget, ett högre värde betyder bättre bergkvalitet ur ett byggandeperspektiv. Alla värden adderas och det slutgiltiga värdet kan användas som en prognos för bergets egenskaper och vilken bergförstärkning som kan behövas. RMR värdet ligger mellan 0 och 100. Intervallerna mellan de olika faktorerna varierar för att faktorerna som har större betydelse för stabiliteten ska få större genomslagskraft, till exempel är tillståndet av sprickytorna av större betydelse för bergmassans hållfasthet än hårdheten på

berget. Alla tabeller använda för bedömningen av RMR som användes finns i Appendix B. De olika faktorerna som mättes, med intervallerna inom parantes, är följande:

- Intaktabergets hårdhet (0-15)
- Sprickfrekvens (0-20)
- Sprickavstånd (0-20)
- Tillstånd av sprickytor (0-30)
- Grundvatten (0-15)

Bergets hårdhet mättes genom hur tåligt berget är för slag och repning enligt riktlinjerna i tabell 1 i Appendix B. I mätning av sprickfrekvensen (RQD) uppskattades hur många sprickor det fanns per m³. Den sortens uppskattningar används oftare i Q-systemet som också kan användas för beskrivning av bergkvalité men är mer lämpat för tunnlar. I RMR bedöms detta efter total längd av borrhälsarna som består av bitar under 10cm. Det är dock svårare att fältanpassa och riktlinjerna för RQD till Q-värdesanalyser har använts istället.

Sprickavståndet är ungefär hur långt det i genomsnitt är mellan sprickorna och detta har uppskattats genom att mäta avstånden och ta medelavstånd mellan sprickorna. Tillståndet på sprickytorerna är mätt i sprickråhet, spricköppning och fyllnadsmaterial. En slätare spricka har lägre hållfasthet än en grov eftersom berget lättare kan röra sig efter dessa. En spricka som är öppen är sämre anpassad för att ta emot påfrestningar och det finns en ökad risk att berget rör på sig. Detsamma gäller sprickor med mjukt fyllnadsmaterial som fungerar som en svaghetszon för berget. Även bedömning av grundvatten lämpar sig bättre under jord än vid fältkartering men en uppskattning har ändå gjorts. Detta har bedömts efter om berghällen/väggen är blöt och om det rinner vatten ur sprickorna eller inte. Det är alltid den sämsta sprickan som är avgörande i bedömningen.

Områden med liknande bergkvalité gränsades av och bedömdes var för sig. I Fänsåkers kalkbrott var det inte möjligt att göra en bedömning på nära håll på grund av problem med att komma åt kalkbrottet. Därför har bedömningen gjorts från motsatt sida av dagbrottet med kamera med teleobjektiv. Detta gjorde det omöjligt att mäta sprickvidd och sprickornas eventuella fyllning och skrovlighet. Detta uppskattades från bilderna men det medför att RMR-värdena i Fänsåker har större felmarginal än de från resterande delar. Det som är

möjligt att göra i fält är en första uppskattning. Senare behövs undersökningar med kärnborrskartering och undersökningar på plats vid pågående byggnation, det kommer då att ge en tydligare och mer korrekt bild av bergkvaliteten.

4.3 Provtagning

Prover till tunnslipstillverkning har tagits med målsättningen att få med en så stor variation som möjligt och som speglar variationen i dagbrotten. Övergångar mellan olika bergarter har varit prioritet för att öka chanserna att få med spårmineral och omvandling i interaktionen mellan bergarterna. De relativt skarpa kontakterna mellan bergarterna gör att proven ger en representation av övergången, men även av opåverkat berg. Då det är lättast att se strukturer och mineral på den norra väggen i dagbrott, där solen legat på och gjort det svårt för växter att växa, så är de flesta prov tagna där. Den södra sidan är helt svart av mikroorganismer och det försvårar arbetet att identifiera intressanta ytor. Totalt togs 11 prov för mikroskopering, 10 från Fagerhults dagbrott och ett från Dolomitbrottet. Proven namngavs efter insamlingsår (2015), initialer på insamlare (Karin Skogli, KS) och nummer på provet (01-11). Prov 15KS01 – 15KS07 är tagna på den nordvästra delen av Fagerhultsbrottet, prov 15KS08-15KS10 på sydöstra delen och 15KS11 från dolomitbrottet (Bild 11). Efter insamlandet har proverna sågats vid Stockholms universitet och sedan slipats, för att kunna användas vid mikroskopering med petrografiskt mikroskop och vid reflektions-mikroskopering, hos Vancouver Petrographics. Nedan visas en lista av proverna och en karta med provtagningsplatser:

- 15KS01 Granit boudinage och marmor
- 15KS02 Granit boudinage och marmor med skarn reaktion
- 15KS03 Marmor med hög andel glimmer
- 15KS04 Vulkanit
- 15KS05 Grovkristallin marmor med vulkanit
- 15KS06 Rosa marmor
- 15KS07 Marmor med övergång mot vulkanit
- 15KS08 Marmor med vulkanit
- 15KS09 Vulkanit
- 15KS10 Finkristalin marmor med epidotkristaller
- 15KS11 Dolomit

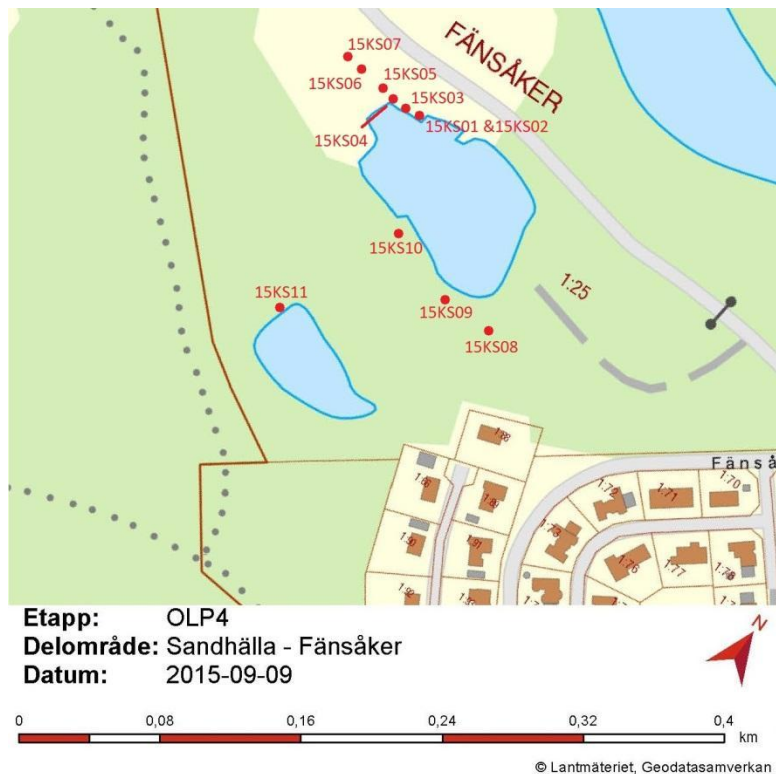


Bild 7: Karta över provtagningsplatser i Fagerhults- och dolomitbrottet. I övre högra hörnet syns Fänsåkers dagbrott.

4.4 Mikroskopering

Mikroskopering med petrografiskt mikroskop har utförts och reflektionsmikroskopering för identifikation av opaka mineral. Mineral har identifierats och halter av olika mineral har uppskattats. Mineralsammansättningen och interaktionen mellan mineral har observerats för att kunna utröna den geologiska historia som området har genomgått. Mineral för olika metamorfa facies och indexmineral har varit extra intressanta att leta efter.

5 Resultat

5.1 Observationer i fält

5.1.1 Mineralogi och petrologi

Området består till stor del av marmor med inslag av vulkanit och granit omgiven av gnejs och vulkanit (Bild 8). Vulkaniten är mycket felsisk och skulle kunna kallas för leptit som är en gammal term för finkristalin felsisk metavulkanit. Marmorn varierar från finkristallin till grovkristallin med upp till centimeterstora kristaller. Både Fagerhult- och Fänsåkersdagbrott

består av marmor med bitar av vulkanit som på vissa ställen genomskärs av pegmatiter. Mängden och storlekarna på vulkanitinslagen varierar både mellan och inom brotten. De största och mest välbevarade hittas på den norra sidan av Fagerhult där vulkaniten uppvisar boudinage där det tydligt syns att lagren har dragits isär då foliationen i vulkaniten har delats och fortsätter i nästa bit vulkanit innesluten i marmorn. Dessa bitar varierar i storlek mellan 5 cm och 50 cm men är vanligen ca 10 cm långa och förekommer sparsamt med någon bit per meter. I kontakten mellan marmorn och vulkaniten och graniten finns det områden med skarn men många ställen har ingen synlig interaktion mellan bergarterna. Ett slående inslag i norra sidan är en ca 2 x 7 meter hög granitxenolit (Bild 9, C). Eftersom den inte återfinns i det nordligaste brottet eller på den södra väggen av mellersta dagbrottet är det troligen ingen gång, dessutom avrundas den både i toppen på dagbrottet och i nederkanten och uppvisar ingen kontaktmetamorfos, vilket gör att den skulle kunna vara ett stort boudinage. Marmorn uppvisar fläckvis ökad mängd muskovit och kornstorleken varierar kraftigt. Längs väggen öster om granitxenoliten hittas ett område med mycket grovkristallin marmor med euhedra kalcitkristaller som är 2-3 cm långa. Som kontrast är den södra sidan mycket omvandlad och finkristalin och går bitvis att smula sönder med fingrarna. Den är mycket mer jämn i både sammansättning och kornstorlek och uppvisar inte lika mycket vulkanitinslag, bitarna är mindre och ingen tydlig foliation finns att se. Mängden vulkanitinslag varierar och bitvis finns ingen vulkanit och bitvis förekommer det mer frekvent, men dessa bitar är som mest 10 cm långa och uppträder oftast som centimeterstora fläckar. I Fänsåker är marmorn nästan helt ren men har bitvis större bitar av vulkanit som liknar de i Fagerhult men mer sparsamt fördelade. Det kan vara vanligare med mindre inslag av vulkaniter längre ner i dagbrottet men då dagbrottet är vattenfyllt har en undersökning av detta inte varit möjlig. Norr om Fänsåker finns ett band av gnejs och sedan ett band av metavulkanit med mylonitisk struktur. Vulkaniten går att följa längs grusvägen intill brottet medan gnejsen till stor del täcks av varphögar och växtlighet som ligger precis intill norra kanten av brottet. I området mellan Fagerhult och dolomitbrottet finns det både gnejs och metavulkanit som troligen fortsätter mellan brotten i samma riktning som foliationen. Gnejsen i området varierar lite med en mörkare mer biotit- och muskovitrik gnejs mellan Fänsåker och Fagerhult och mer granitlik gnejs norr om Fänsåker. Ett fåtal mycket små granater har påträffats i den mer glimmerrika

gnejsen och bara i hällen som ligger mitt emellan Fänsåker och Fagerhult. Dolomitbrottet är mycket homogent och består av karbonater med bruna fläckar. Bruna fläckar tolkas ofta som dolomit och detta bekräftas vid prov med saltsyra (HCl). I västra hörnet av det inhägnade området kring Vagnhärad finns ett större område med uppstickande berg. Detta består av marmor som liknar den hittad på norra väggen av Fagerhultsbrottet. Det finns några större granitboudinage där marmorn har veckat sig runt graniten.

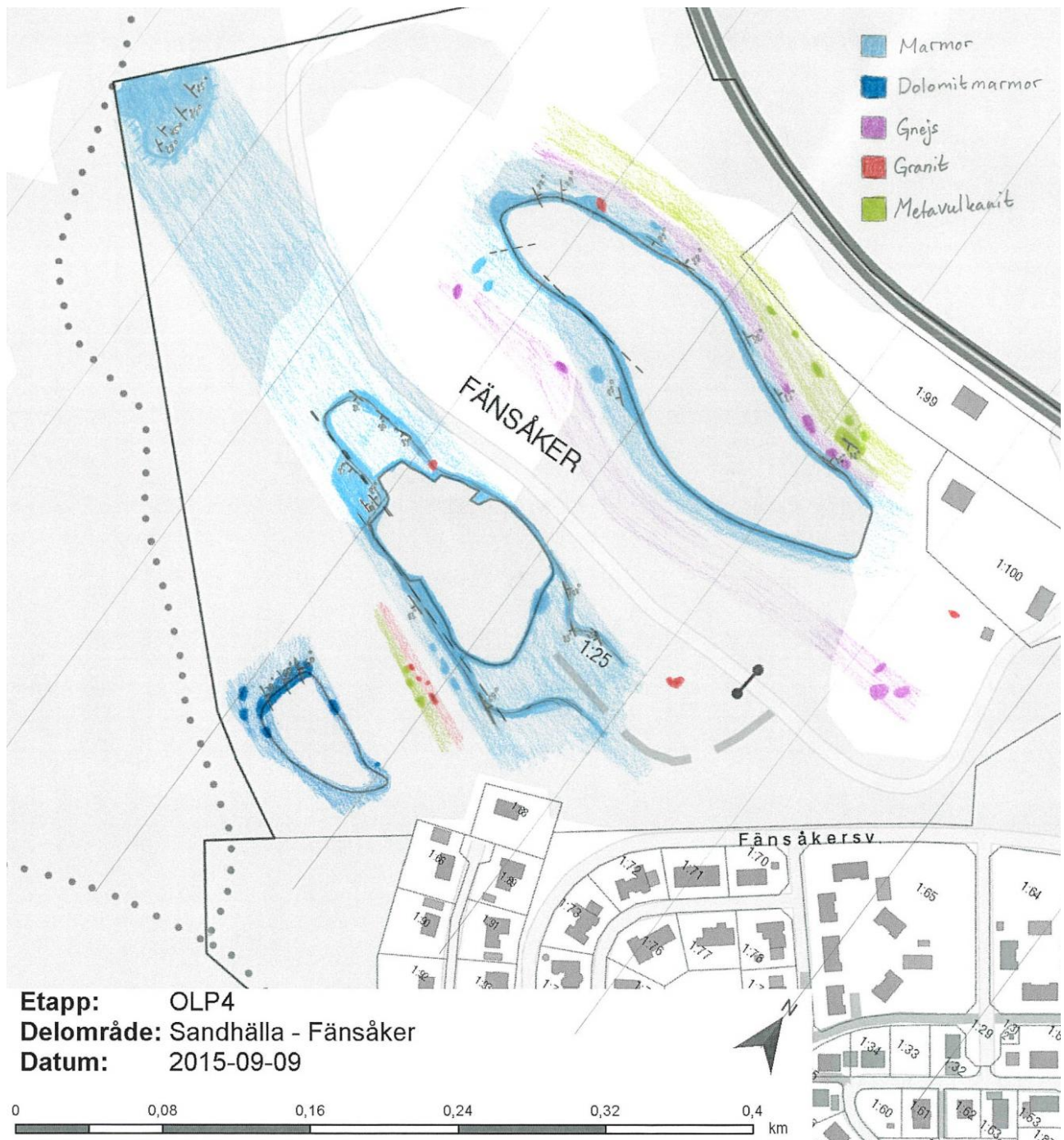


Bild 8: Berggrundskarta över vagnhärads kalkbrott. Streckade linjer är större sprickor, strykning och stupning av foliationen visas med ”|” tecken med graderna för stupningen skrivna intill. En inzoomad version finns i Appendix A där graderna för stupningen syns tydligare.

5.1.2 Sprickor

Hela området har horisontella sprickor med ca 30-50 cm mellanrum som följer topografin. Dessa har troligen bildats av att berget har rest sig, möjligen till följd av landhöjningen efter inlandsisen. Genom hela området löper även små fyllda sprickor, eventuellt efter tektoniska händelser, som stryker åt $180^\circ \pm 10^\circ$. Det finns ett antal större sprickor som utmärker sig och dessa är utmärkta på berggrundskartan som streckade linjer (Bild 8). Den största av dessa går längs med den södra väggen i Fagerhults dagbrott och är öppen omkring 10 cm och bitvis fylld med lera. Den börjar nära botten i den sydöstra änden av Fagerhults dagbrott och fortsätter uppåt längs hela väggen. I det här området rinner det vatten ur sprickan på flera ställen och tjocka lager med alger täcker berget. Det är troligtvis samma spricka som fortsätter längs hela kanten men genomskärs med olika vinkel av dagbrottet. I det sydöstra hörnet av dagbrottet dyker sprickan neråt igen och där hittades en ihållighet men välbildade kvartskristaller. (Bild 9 A och B). En annan prominent spricka finns på norra väggen i Fagerhult och den löper parallellt med dagbrottet (Bild 9 C) På bilden syns sprickplanet som täcks med ett tunt lager av klorit som även har slickensideytor. I Fänsåker finns i de västra delarna av södra väggen en grov spricka som är öppen 10 - 15 cm. Den är delvis fylld med lera och kan ha vidgats över tid på grund av rotsprängning från björkar som växer i den. En större spricka går även att se vid den västra änden av Fänsåker och den kan vara anledningen till att berget här är förstärkt med betong (Bild 8).



Bild 9: A) Del av den stora sprickan på sydvästra delen i Fagerhult är instabil och det syns på bilden att det nyligen skett ett ras. Det omkringliggande berget är mycket omvandlat och mjukt och går att smula sönder mellan fingrarna B) Stora välbildade kvartskristaller som hittades inuti sprickan (A) där ett block hade fallit ner. Observera kameralinsskyddet för skala. C) Norra sidan av Fagerhult visar sprickplanet av en spricka som går parallellt med dagbrottet (Gult) och det stora granitboudinaget (Rött).

5.1.3 Foliation

Foliationen följer till stor del riktningen av dagbrotten förutom på den norra sidan av Fänsåker där foliationen har en vinkel in mot brottet. Foliationen är nära vertikal, det vill säga stupningen är nära 90°, och därför är riktningen på vissa ställen osäker. Kartan visar ett medelvärde av strykningen och stupningen vid varje punkt (Bild 8). Detta för att det inte ska bli för stökigt och för att de allra flesta var mycket lika. Samtliga mätningar av strykning och stupning finns i Appendix A.

5.2 Bergkvalitet

Bergkvalitén presenteras med en karta med färgade områden efter RMR-värden, lila och röda färger anger lägsta värdena medan grönt visar höga RMR värden (Bild 10). Dessa värden är inte jämförbara med de värden som framkommer vid sprickkartering av borrhärdar, som vanligtvis ger lägre värden än i fält. Den södra väggen i Fagerhult fick låga värden främst på grund av den stora sprickan som löper längs med hela väggen men även på grund av det mjukare bergmaterialet. Högst värden har norra hörnet på Fänsåker och borte östra delen av området fått. Den östra delen är en häll som gör att bedömningen blir lite annorlunda från en bergsida och det norra hörnet av Fänsåker skulle kunna vara sprickplanet av en spricka som löper parallellt med kanten på dagbrottet och därmed gör att det är svårt att se andra sprickor. En tabell med alla värden som användes för uträkningen av RMR-värden finns i appendix A.

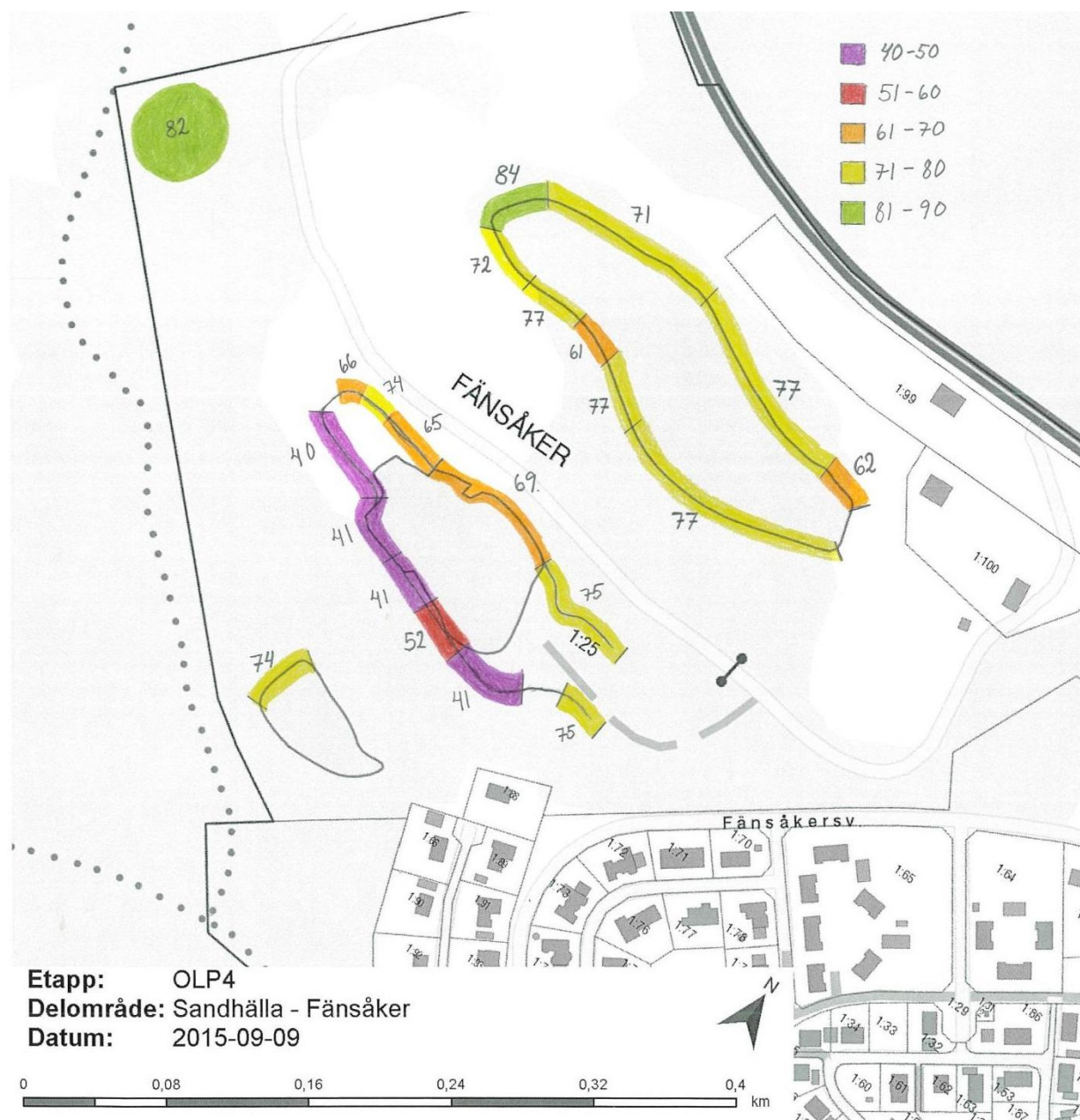


Bild 10: Karta över RMR-värden för olika områden i vagnhäradsalkbrott. Sämst stabilitet har södra väggen av Fagerhults dagbrott där stora sprickor och mjukt berg drog ner värdena.

5.3 Mikroskopering

- 15KS01 Granit-boudinage och marmor

Provet visar övergången mellan granit och marmor samt reaktionen mellan dem.

Graniten består av 70 % mikroklin, 20 % kvarts och 10 % plagioklas, det finns även små spår av zinkblände och blyglans. Kristallerna är anhedrala med måttlig flikighet. Längs kanten av graniten har den blivit omvandlad och i det här hittas även amfiboler och myrmekitstrukturer (Bild 11, G). Samtliga kristaller håller på att brytas sönder, och är både håliga och flikiga. Utanför denna zon finns ett band av stora epidot- och amfibolkristaller som delvis håller på att omkristalliseras. Innan marmorn börjar finns ett band av muskovit och finkristallin kvarts med enstaka större kristaller av mycket uppbrutna och omvandlade pyroxener. Utanför detta finns marmor som är gryning och i varierande storlekar (Bild 11 F). Marmorn består nästan uteslutande av anhedrala kalcitkristaller med enstaka amfibolkristaller som avtar i mängd ju längre från graniten den är.

- 15KS02 Granit-boudinage och marmor med skarnreaktion

Graniten har helt försvunnit i slipningen men det går fortfarande att se marmorn och skarnreaktionen intill den. I stoffen kan man se en finkorning grön massa som möter en vit marmor med betydande inslag av biotit. I mikroskop ser man att marmorn består till 60 % av kalcitkristaller som är anhedrala med avrundade kanter. Dessa genomskärs av subhedrala biotitkristaller som utgör 35 % av marmorn och resterande 5 % upptas av runda fläckar av serpentin. Kornen har inte någon speciell riktning och flera kristaller är böjda, ej heller dessa i någon specifik riktning. Vissa biotitkristaller är planparallellt uppfläktade (Bild 11, C). Det är en relativt skarp gräns till skarnomvandlingen med bitar av marmor som brutits loss och ligger i skarnet. Skarnet är mycket omvandlat och finkristallint men i detta hittas enstaka korn av epidot och amfibol som håller på att lösas upp.

- 15KS03 Marmor med hög andel glimmer

Det här provet har precis som sågs redan vid provtagning en hög andel glimmer.

Provet består av 70 % kalcit och 30 % muskovit. Några små opaka korn som troligen

är blyglans hittades. Kalciten har anhedrala kristaller med ojämna kanter medan muskoviten har sudhedrala kristaller som korsar kalciten. De flesta muskovitkristallerna är ungefär 0,5 mm långa men det finns även större kristaller som uppgår till 5 mm i längd. Det finns enstaka kluster av muskovit där kristallerna är böjda och delvis upplösta. I dessa kluster återfinns också serpentin och epidot som även dessa är uppbrutna och anhedrala.

- 15KS04 Vulkanit

Provet består främst av vulkanit med en gradvis övergång till omvandlad marmor. I ena änden har vi mycket omvandlad leptit som består av 40 % kvarts, 50 % plagioklas och 10 % av ett helt sönderomvandlat material som eventuellt skulle kunna vara biotit. Dessa kristaller är rundade och ca 50µm i diameter. Vulkaniten övergår mot marmorn gradvis till större och mer välbevarade kristaller. Här börjar det gå att identifiera epidot, amfibol, titanit och serpentin och precis vid kanten till marmorn består provet av 70 % epidot, 20 % pyroxen och resterande är en jämn fördelning mellan serpentin och amfibol som även dessa är omvandlade och rundade. Marmorn är orenare än i de andra proven och består av 60 % kalcit, 20 % epidot och 10 % amfibol. Andelen epidot och amfibol avtar i mängd desto längre från vulkaniten man kommer. Detsamma gäller kornstorleken som blir större med ökat avstånd till vulkaniten.

- 15KS05 Grovkristallin marmor med vulkanit

Provet visar i handstuff 7 x 2 cm långa korvar av vulkanit inbäddade i marmor. De mörka partierna består av amfibol 15 %, plagioklas 20 %, klinopyroxen 10 %, serpentin 5 %, epidot 20 % och kvarts 30 %. De är i varierande grad uppbrutna och pyroxenerna är mycket upplösta och delvis omvandlade till serpentin. Samtliga kristaller är anhedrala förutom amfibol som är subhedral och i enstaka fall euhedral. Plagioklaskristallerna är stora men uppbrutna och överväxta, det går att se att det är ett fåtal stora kristaller som fortsätter på andra sidan av andra mineral. Kristallstorleken varierar kraftigt med framför allt stora kristaller av epidot och plagioklas omgivna av mindre varianter av resterande mineraler. Mitt i det mörka partiet löper ett band av

finkristalin kvarts. Utanför vulkaniten finns marmor som är mycket ren och består av kalcit. De är i varierande kornstorlekar, anhedrala och flikiga och många kristaller har böjda lameller efter deformation (Bild 11, H).

- 15KS06 Rosa marmor
- Det här provet är mycket homogent och består till 95 % av kalcit med enstaka kristaller av plagioklas och muskovit. Kalcitkristallerna består av flera stora euhedrala kristaller omgivna av små rundade kristaller (Bild 11, A). Det är även i mellanrummet mellan de stora kristallerna som opaka mineral hittades i form av små spår av zinkblände. I flera av de stora kalcitkristallerna är lamellerna böjda eller förskjutna i sidled. Det finns även kristaller som uppvisar två olika riktningar på böjningarna. I stoff syns små röda mineralkorn i marmorn, dessa är sönderomvandlade och kunde inte identifieras.
- 15KS07 Marmor med övergång mot vulkanit
Provet visar övergången mellan vulkanit och marmor. Vulkaniten består till 90 % av finkristalin kvarts med inslag av anhedrala rundade korn av mikroklin. I stoff liknar den hälleflinta men visar sig i mikroskop ha för stora kristaller för att vara en sann hälleflinta. Mellan marmorn och vulkaniten finns stora kristaller av ortopyroxen, men det finns även ställen där det är direkt kontakt mellan marmorn och metavulkaniten, men där är kvartskornen större precis vid gränsen (Bild 11, D). Marmorn består nästan uteslutande av kalcit som blir successivt grovkornigare desto längre från gränsen till vulkaniten. Dessa är anhedrala och måttligt flikiga. Kornstorleken varierar kraftigt och enstaka kristaller är synliga för blotta ögat.
- 15KS08 Marmor med vulkanit
Tunnslipet visar en oren marmor som korsats av flera vulkanitstråk. Vulkaniten består främst av subhedrala kristaller av biotit som följer foliationsriktningen men har även 20 % enhedrala epidotkristaller och 20 % mycket omvandlat material som troligen är kvarts och fältspat. Vid ytterkanten mot marmorn avtar mängden biotit och vulkaniten

består nästan uteslutande av små rundade plagioklas- och kvartskorn med inslag av epidot. Marmorn som omger vulkaniten består till 50 % av kalcit med lika delar kvarts, mikroklin, amfibol och enstaka titanitkristaller. Amfibolen har bitvis välbevarad kristallform (Omslagsbild). Marmorn innehåller även rester av större epidotkorn som håller på att omkristalliseras.

- 15KS09 Vulkanit

Det här provet är väldigt homogent och består av finkristallin kvarts 80 %, biotit 10 %, plagioklas 5 % och mikroklin 5 % (Bild 11, J). Biotiten är anhedral till subhedral medan resterande kristaller är anhedrala. Inga kristaller har någon specifik riktning men det finns band av biotit som delvis följer foliationen. Samtliga korn är ca 0,1mm långa.

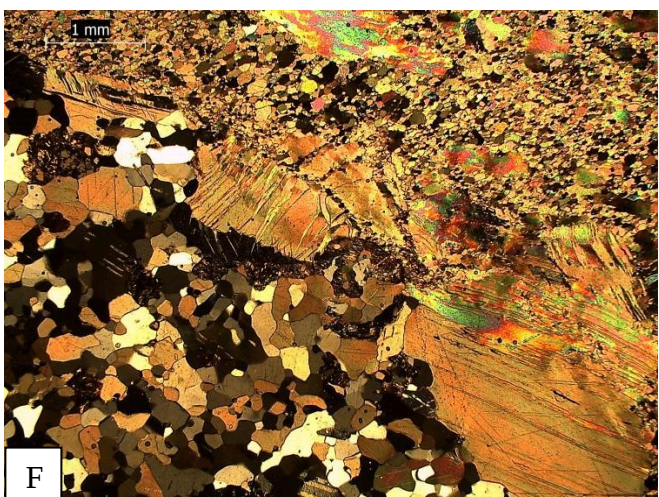
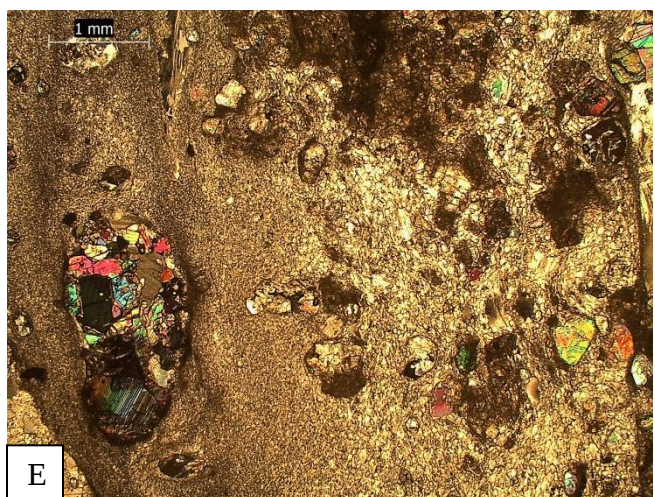
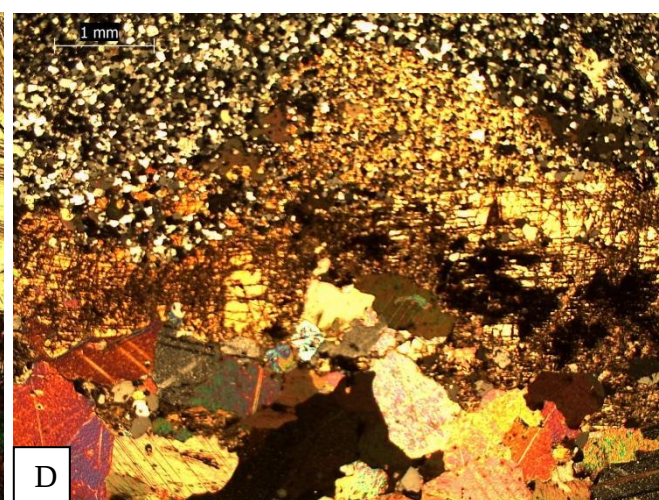
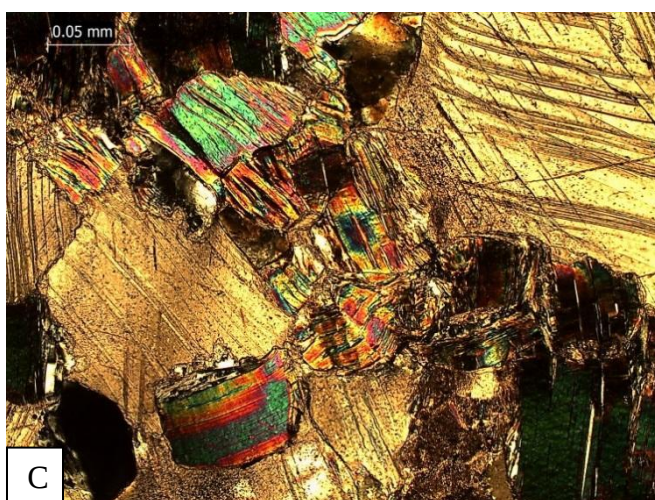
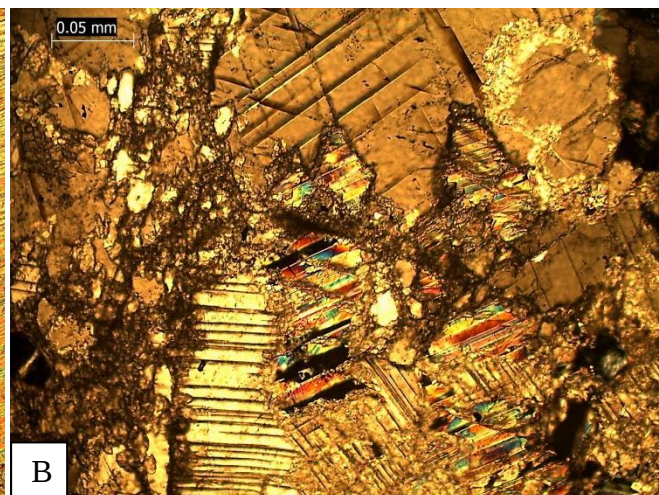
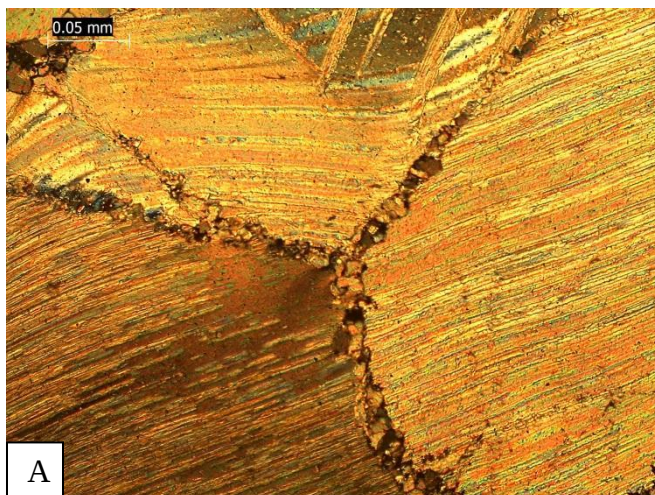
- 15KS10 Finkristalin marmor med epidotkristaller

Provet definieras av två stora delvis upplösta epidotkristaller i mitten av slipet (Bild 12). Skyddade inuti epidoten är några välutvecklade kalcitkristaller och små epidotkorn. Området utanför de två stora epidotkristallerna är mycket omvandlat med bitar av välbevarad amfibol och epidot som ibland uppträder i kluster (Bild 11, E). Det omvandlade materialet ser ut att ha formats runt de större kristallerna. Sprickor som löper genom provet är fyllda med talk och detta stöds av observationer i fält då den går att rispa med nageln och har en mycket glatt yta.

- 15KS11 Dolomit

Provet består till stor del av karbonater och även om det är svårt att avgöra skillnaderna på dolomit och kalcit i tunnslip så har vissa karbonater bredare tvillinglameller än andra som kan tyda på att det är dolomit (Bild 11, B). Karbonaterna, som varierar i kornstorlek är anhedrala, flikiga och har mycket omvandlade kanter. I korngränserna finns mängder av små kristaller, dock stor skillnad från prov 15KS06, där gränserna är skarpa (Bild 11, A och I). I det här provet finns även runda kluster av serpentin med eventuella rester av olivin som bitvis

sammankopplas med serpentinädror (Bild 11, I). Även närvaron av serpentin och olivin kan indikera att karbonaten är dolomit istället för kalcit, eftersom magnesium är närvarande. Det finns även ett fåtal välbildade muskovitkristaller.



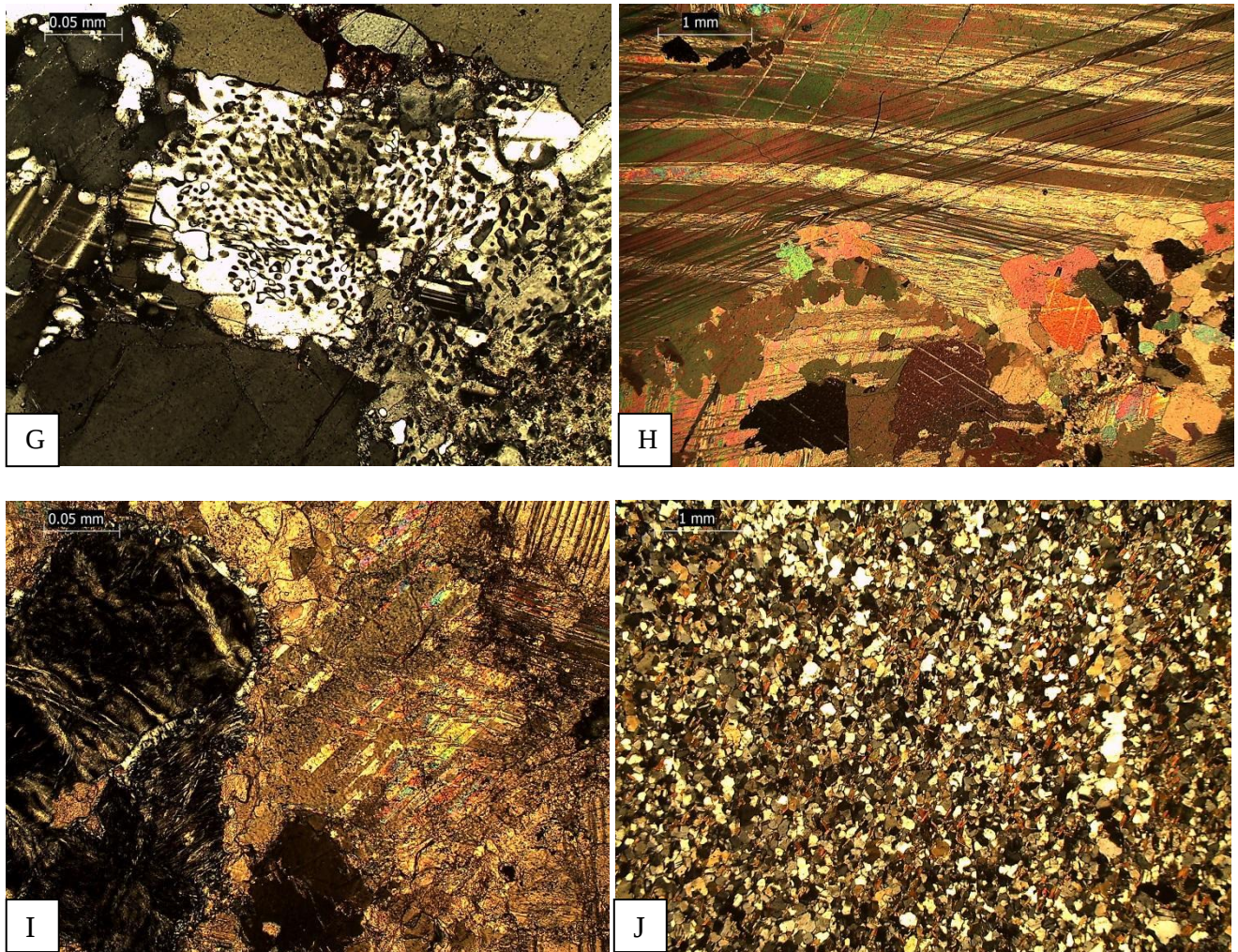


Bild 11: Mikroskopbilder av tunnslip. Observera att skalan på bildernavarierar (skalstreck är insatt i övre högra hörnet på varje bild). A) 15KS06 visar stora kalcitkristaller kantade av små kalcitkorn. B) 15KS11 Tjockare lameller kan tyda på att det är dolomit och inte kalcit. 15KS11 är det enda provet som visade på dolomitinnehåll vid prov med saltsyra (HCl). C) 15KS02; Böjda och uppfläckta biotitkristaller omgivna av kalcit. D) Stor pyroxenkristall som ligger mellan marmorn (nedre delen) och vulkaniten (övre delen) i prov 15KS07. E) Kluster av främst epidot i mycket omvandlad matrix, 15KS10. F) Övergången mellan marmor och granit med stora kristaller närmast kanten, 15KS01. G) Myrmekittextur i gränsen mellan granit och marmon, 15KS01. H) 15KS05 stor variation i kristallstorlek. I) Till vänster en rundad klump av serpentin och bredvid en dolomitkristall med breda tvillingar. Karbonaterna är omvandlade och har otydliga kanter som bara övergår till finkristallint smul. J) 15KS09 Homogent prov med mestadels kvarts.

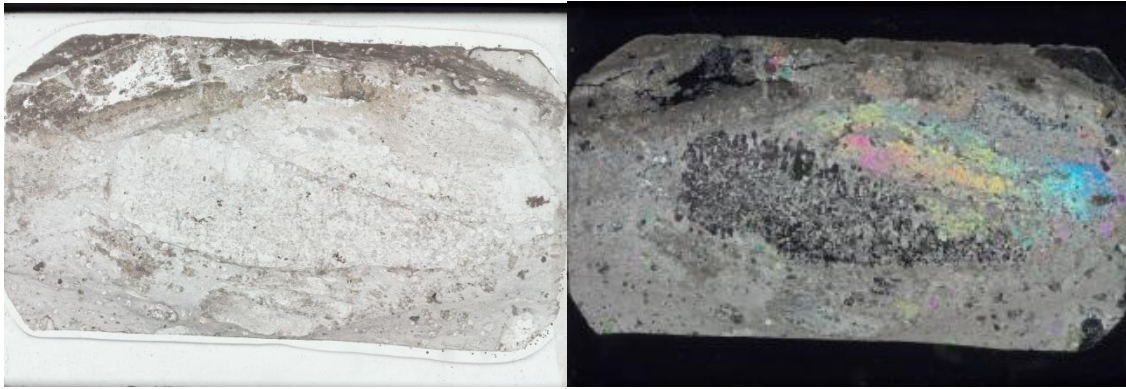


Bild 12: 15KS10, hela tunnslipet i planpolariserat och korspolariserat ljus. Här syns att det är två stora epidotkristaller som har börjat brytas ned som utgör de grön-lila fläckarna i berget.

6 Diskussion

6.1 Geologin i Vagnhäradskalkbrott

Bilden av felsisk vulkanisk aktivitet där kalkstenen avsattes bekräftas av innehållet i vulkaniten som är en leptit. Banden som korsar marmorn består främst av kvarts och plagioklas och passar väl in i bilden av ryolitisk aska som varvats med kalkutfällningar. Då dessa lager är mer motståndskraftiga än marmor som är mer plastisk har boudinage bildats då hela området utsatts för flera omgångar av deformation. I 15KS06 hittades två deformationsriktningar i kalcitkristallerna. Området har med andra ord deformerats flera gånger, alternativt i olika riktningar.

6.1.1 Metamorf facies

I mikroskopproverna hittades förutom kalcit främst epidot, amfibol, biotit och pyroxen. Dessa mineral stämmer väl överens med amfibolitfacies, som i sin tur stämmer med tryck- och temperaturmätningarna som Stålhös (1982) tog fram i närområdet. Han bestämde temperaturer mellan 650 - 725°C och tryck på 0,3 - 0,4 GPa (Bild 13). Detta är ett ganska lågt tryck i amfibolitfacies och det kan förklara avsaknaden av granater. Granater är inte heller vanligt förekommande i omgivande gnejser, men granater är annars mycket vanliga i Södermanland och ingår till och med i Sörmlands landskapssten granatådergnejs, som härstammar från samma tidsperiod. Det ska finnas både para- och ortognejs omkring dagbrotten och variationer i sammansättningen av gnejserna med bitvis mer glimmer har

observerats. Dessa glimmerrika gnejser kan vara paragnejs om de bildats av silt- och lersten som typiskt har en högre andel glimmer än graniter. De glimmerrika gnejserna ligger mellan de stora dagbrotten och den mer granitlika gnejsen på norra sidan av Fänsåker. Detta stämmer väl med SGUs berggrundskarta (bild 1) som visar paragnejs mellan dagbrotten och ortognejs i omkringliggande berggrund. I dolomitbrottet finns serpentin och dolomit som innehåller järn, aluminium och magnesium och därmed fanns de kemiska förutsättningarna för bildandet av granater men inte de fysikaliska förutsättningarna. En framtida studie skulle kunna vara att ta reda på varför det är så lågt tryck här och om det går att hitta ett mönster i tryckförändringarna. Samtliga pyroxenkorn som hittades var mycket trasiga och det tyder på att de är på tillbakagång och den största mängden mineral var muskovit och biotit som tyder på bildning vid låga tryck och temperaturer samt hög genomströmning av fluider. Det finns även annat som tyder på hög andel fluider, som serpentinomvandlingen i dolomitbrottet med bitvis hög andel biotit och amfibol. Fluiderna har omvandlat stora delar av marmorlinserna och speciellt de delar som är på sydsidan av Fagerhult. I sprickor i Fagerhultbrottet har klorit hittats, men det har inte återfunnits i mikroskop som även det tyder på fluidgenomströmning.

6.1.2 Den geologiska historien

Karbonathaltiga sediment och vulkaniskt material har lagrats om varandra i ett hav omkring en eller flera vulkanbågar som sedan ingått i den svekofenniska orogenen. Där sedimenten utsatts för högre tryck och temperatur och bergarterna undergått metamorfos under den Svekofenniska orogenesen har pyroxenerna bildats. Sedan har området lyfts upp en bit och värmts av granitintrusioner som haft fluider cirkulerande omkring sig. De områden med mycket sulfider som Särkinen och Sundblad (1992) undersökte hade $\delta^{18}\text{O}$ signaler som tyder på vulkanogent ursprung, medan det i Vagnhärad var SMOW-liknande (Standard Mean Ocean Water). Det kan tolkas som att vatten i sedimenten har värmts upp och cirkulerats snarare än att de kommit från intrusionerna. Detta har förstört pyroxen och till viss del epidot, samtidigt som biotit och amfibol bildats. I den här fasen har även serpentin bildats genom nedbrytning av olivin och pyroxen. Dessa fluider har inte haft några betydande mängder sulfider, alternativt har det inte varit gynnsamt för dem att kristallisera. Den första deformationen vi ser i mikroskop kan vara från den ursprungliga metamorfosen, och den andra deformationsfasen från fluiderna inducerade av intrusionerna. I samband med senare tektoniska rörelser har

fluider penetrerat sprickor och de välbildade kvartskristallerna i sprickan i sydöstra änden av Fagerhult har bildats.

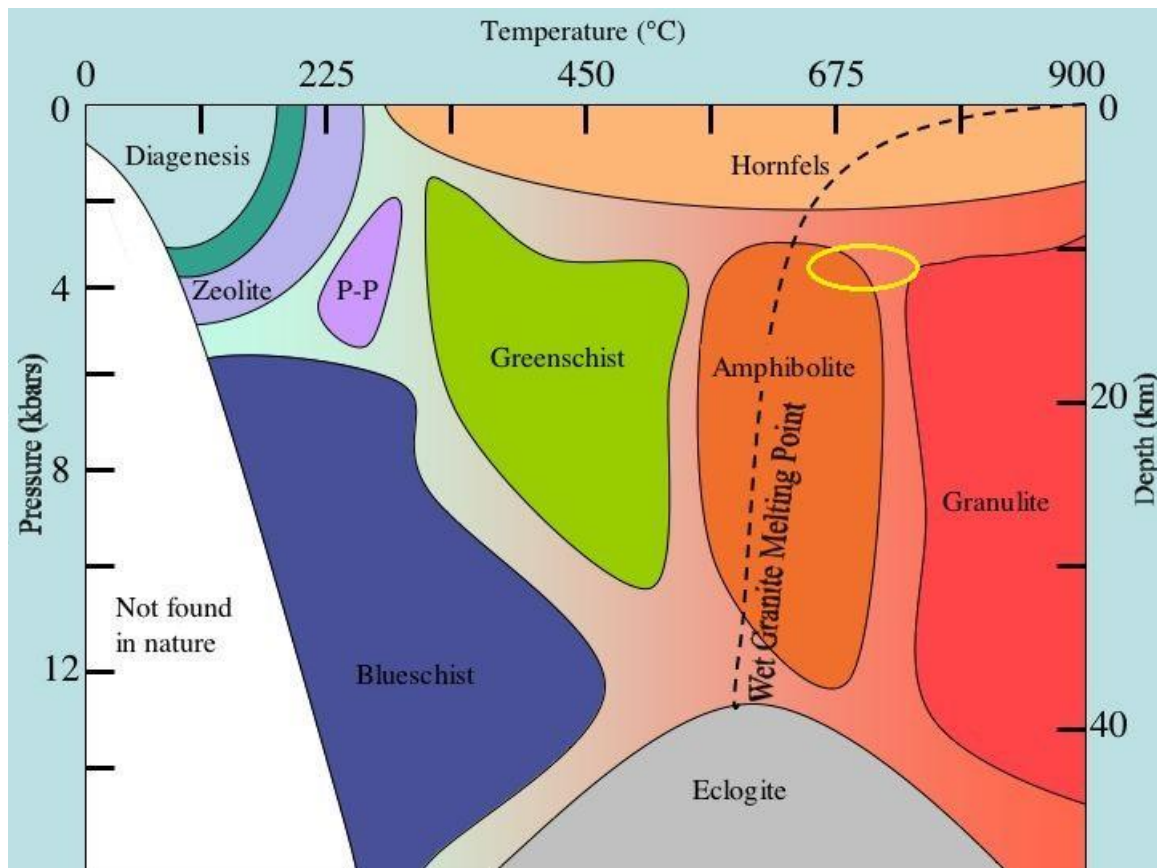


Bild 13: Diagram över metamorfa facies. Den gula ovalen visar tryck- och temperaturbestämningarna från Stålhös (1982) som ligger vid gränsen mellan amfibolit- och granulitfacies men vid ett lågt tryck. Bild modifierad från Wikipedia.

6.2 Dragningen av Ostlänken

Under arbetets gång har flera förslag kommit och gått angående dragningen kring dragbrotten (se 3.6.1) och det är i princip klart att det är linje Grön 21 som ska bli den slutgiltiga dragningen. Grön 21s mittlinje passerar 25 meter norr om nordvästra kanten av Fänsåkers dagbrott. Det området fick bra RMR värden i och med få sprickor och hårt berg. Däremot så fortsätter nog gnejsen och metavulkaniten i utkanten av brottet och spåret kommer passera kanten på brottet samtidigt som den passerar över gränsen mellan olika bergarter. Det är alltså två olika faktorer som potentiellt bidrar till minskad stabilitet och det vore bättre, om möjligt, att dra linjen längre norr ut. Som förslag på fortsatta undersökningar är att kärnborrskartera norra kanten för att säkerställa bergartsgränser och bergkvalitet. Det ligger även sprickor

parallellt med bergväggarna och det vore av intresse att se om det finns flera sådana sprickor för att se om dessa skulle klara belastningen av höghastighetsjärnvägen. Tidigare fanns det även förslag på att dra spåren mellan dolomitbrottet och Fagerhult. Det förslaget skulle innebära användning av en betydande del bergförstärkning med anledning av de stora sprickorna och svaga berget på den södra väggen av Fagerhult vilket gör det till ett sämre alternativ än dragningen norr om brotten.

6.2.1 Miljöpåverkan

Det finns endast mycket små mängder sulfider i området med spår av zinkblände, blyglans och pyrit. Särkinen et al (1992) hittade även magnetkis men nämner att det bara rör sig om små mängder. Halterna bedöms inte som onormalt höga, och det bör inte behövas åtgärder ur miljösynpunkt vid bortforslande av bergmaterial vid byggnationen av Ostlänken vid det undersökta området. Shaikh et al (1989) genomförde ett kemiskt prov på marmorn i kalkbrottet och Naturvårdsverket har riktlinjer (Naturvårdsverket 2010) för arsenik, bly, kadmium, koppar, kvicksilver, nickel och zink som finns med i rapporten av Shaikh et. al. (1989) (Tabell 1). Tabellen visar att bly och kadmium ligger över gränserna för att användas för anläggningsändamål, men behöver ej lämnas på deponi. Annars är mängden miljöfarliga ämnen låg och det stämmer väl överrens med observationerna av mineralogin i området. Hänsyn till urlakning har inte tagits och detta bör göras tillsammans med fler kemiska analyser för att få en mer fullständig bild av avfallet ur miljösynpunkt.

Grundämne	Vagnhärad	Anläggningsändamål*	Deponitäckning
Arsenik	<5	10	10
Bly	27	20	200
Kadmium	0,9	0,2	1,5
Koppar	2,5	40	80
Krom tot	<1	40	80
Kvicksilver	<0,05	0,1	1,8
Nickel	<1	35	70
Zink	56,8	120	250

Tabell1: De uppmätta värdena i Vagnhärad (från Shaikh et. al., 1989) jämfört med tillåtna nivåer av miljöfarliga ämnen baserat på ändamål.* Mindre eller ringa risk vid avfall som återvinns för anläggningsändamål

7 Slutsatser

- Undersökningen i Vagnhärad överensstämmer med tidigare studier av Södermanlands geologi. Området har bildats genom kalkrika avlagringar som varvats med felsiskt vulkaniskt material, som senare har metamorfoserats i amfibolitfacies.
- Området har utsatts för minst två deformationsfaser och av fluider.
- Dragning av Ostlänken över västra delarna av Fagerhults dagbrott skall undvikas på grund av sprickor och mycket omvandlat berg som gör berget instabilt. Dragning norr om dagbrotten föreslås men fortsatt undersökning av bergartsgränser och sprickor med kärnborrskartering rekommenderas starkt.
- De uppmätta värdena för miljöfarliga ämnen (Shaikh et. al., 1989) är låga och det stöds av observationerna av mineralogin i kalkbrotten gjorda i detta arbete. Dock är det endast en mätning, utan exakt lokalangivelse så flera kemiska analyser kan vara ett bra komplement.

8 Tack till

Ett stort tack till mina två handledare Joakim Mansfeld (Stockholms universitet) och Tomas Karlberg (ÅF) för allt stöd och för möjligheten att göra det här projektet. Jag vill även tacka mina kolleger på ÅF som har tagit sig tid att hjälpa mig. Tack till Tommie Larsson och Mathias Volmefjord för att jag fick tillträde till kalkbrottet. Tack Edith Peulicke och Hanna Kylin för assistans i fält och för ert aldrig sinande förtroende för mig. Tack till Krister Junghahn och Dan Zetterberg för fältmateriel och förberedelse av tunnslip. Ett stort tack till Matts Olovsson för att han alltid har ett ess i rockärmen och aldrig ger upp. Jag vill också tacka mina föräldrar, Fred och Birgitta Skogli, för lån av bil och för god mat under fältarbetet. Sist men inte minst vill jag tacka min fästman Ted Kai-Larsen för att han alltid har stöttat och trott på mig.

9 Referenser

Artiklar och rapporter

- Beunk, F.F. & Page, L.M., (2001). *Structural evolution of the accretional continental margin of the Paleoproterozoic Svecofennian orogeny in southern Sweden*, Tectonophysics 339, 67-92.
- Bieniawski, Z.T., (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*, Wiley.
- Gaál, G. & Gorbatshev, R., (1987). *An outline of the Precambrian Evolution of the Baltic shield*, Precambrian research, 35, 15-52.
- Hermansson, T., Stephens, M.B., Corfu, F., Andersson, J., Page, L., (2007). *Penetrative ductile deformation and amphibolite-facies metamorphism prior to 1851Ma in the western part of the Svecofennian orogen, Fennoscandian Shield*. Precambrian Res. 153, 29–45.
- van Hunen, J., van Keken, P.E., Hynes, A., Davies, G.F., (2008). *Tectonics of early Earth: Some geodynamic considerations*, The Geological Society of America Special Paper 440
- Jonsson, E., Langhof, J., (1994). *Bidrag till Södermanlands mineralogi I*, Berg & Mineral vol 4, SAGS, Stockholms Amatörgeologiska Sällskap, 19-20
- Korja, A., Heikkinen, P., (2005). *The accretionary Svecofennian orogeny - insight from the BABEL profiles*, Precambrian Res. 136, 241–268.
- Korja, A., Lahtinen, R., Nironen, M., (2006). *The Svecofennian orogen: A collage of microcontinents and island arcs*, Geological Society of London, Geological Society Memoir, n 32, p 561-578, European Lithosphere Dynamics.
- Lahtinen, R., Johnston, S. T., Nironen, M., (2014). *The Bothnian coupled oroclinal of the Svecofennian orogen: a Palaeoproterozoic terrane wreck*, Terra Nova, 26, 330-335.
- Mansfeld, J., (1996). *Geological, geochemical and geochronological evidence for a new Palaeoproterozoic terrane in southeastern Sweden*, Precambrian Research, 77, 91-103.
- Naturvårdsverket, (2010). *Återvinning av avfall i anläggningsarbeten*, handbok, utgåva 1.

- Nironen, M., (1997). *The Svecofennian Orogen: a tectonic model*, Precambrian Res 86, 21-44, Geological Survey of Finland.
- Norwegian Geotechnical Institute (NGI), (2013). *Using the Q-system, Rock mass classification and support design*, Handbok, Oslo.
- Shaikh, N. A., Karis, L., Snäll, S., Sundberg, A., Wik, N-G., (1989). *Kalksten och dolomit i Sverige. Del 2. Mellersta Sverige*, Sveriges Geologiska Undersökning.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., (2009). *Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden*. Sveriges geologiska undersökning Ba 58, 259 p.
- Stålhös, G., (1975). *Beskrivning till berggrundskartan Nyköping NO*, Sveriges Geologiska Undersökning, Af 115.
- Stålhös, G., (1982). *Beskrivning till berggrundskartan Nynäshamn NO/SO Utö med omgivande skärgård*, Sveriges Geologiska Undersökning, Af 138
- Särkinen, M. & Sundblad, K., (1992). *Carbonate-hosted zink-lead-silver ores in the southeastern part of Bergslagen, south central Sweden*, Unpublished, Department of Geology and Geochemistry Stockholm University, Stockholm
- Weihed, P., Arndt, N., Billström, K., Duchesne, J-C., Eilu, P., Martionsson, O., Papunen, H., Lahtinen, R., (2005). *Precambrian geodynamics and ore formation: The Fennoscandian Shield*, Ore geology reviews 27, 273-322.
- Wik, N-G., Sundberg, A., Wikström, A., (1999). *Malmer, Industriella mineral och bergarter i Södermanlands län*, Sveriges Geologiska Undersökning, Rapporter och meddelanden nr 100.
- Zetterqvist, A., (1994). *Ny kontaktskarnlokal i Stora Vika kalkstensbrott*, Berg & Mineral vol 4, SAGS, Stockholms Amatörgeologiska Sällskap, 21-22.

Hemsidor

- Hoek, E., (2000). Rock mass classification. Hämtad 2015-10-06, från <https://www.rocscience.com/learning/hoek-s-corner/books>

Länsstyrelsen i Södermanland, (2015). *Tullgarn*. Hämtad 2015-04-20, från <http://www.lansstyrelsen.se/sodermanland/Sv/djur-och-natur/skyddad-natur/naturreservat/trosa/tullgarn/Pages/index.aspx>

Naturhistoriska riksmuseet, Johansson, Å., (2014). *Fennoskandias utveckling*. Hämtad 2015-04-20, från: <http://www.nrm.se/faktaomnaturenochrymden/geologi/sverigesgeologi/fennoskandiasutveckling.242.html>

Trafikverket, (2015). *Kartor över vald korridor Järna-Norrköping del 2*. Hämtad 2015-03-11, från <http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Sodermanland/Ostlanken/Dokument-Ostlanken/>

ÅF consult, (2015). *Ostlänken – Sveriges första höghastighetsjärnväg*. Hämtad 2015-04-20, från <http://www.afconsult.com/sv/omraden/infrastruktur--samhallsplanering/samhallsplanering/referenser/ostlanken---sveriges-forsta-hoghastighetsjarnvag/>

Kartor

Bergstaten, (1960). *Karta över Vagnhärads kalkstensbrott beläget inom Trosa-Vagnhärads socken Södermanlands län*, skala 1:1000,

Bilder

Google Earth, bilddatum 2012-05-19, 58° 57' 08,88" N, 17° 28' 05,04".

Svergies geologiska undersökning 2015-04-20, *rock_local_buTaiqfv5Z.pdf*, skala 1:50000. begränsad av koordinaterna syd,väst,nord,ost:6533573,638291,6541073,64579. SGUs kartgenerator

Teknikdygnet (2015), *Restider-Ostlänken_550px.jpg*, Hämtad 2015-10-06 från: http://teknikdygnet.se/wp-content/uploads/2015/03/Restider-Ostl%C3%A4nken_550px.jpg

Trafikverket, *ka_blad26_trosa_vagnharad.jpg*, Hämtad 2015-04-20 från http://www.trafikverket.se/contentassets/6a7851c2b9ea4f8982859d99461c976d/ka_blad26_trosa_vagnharad.jpg

Wikipedia, *Metamorphic_Facies.jpg*, Hämtad 2015-10-05 från https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fe/Metamorphic_Facies.jpg. (5/10 2015).

Appendix A:

Summering av alla individuella värden som användes för framtagandet av RMR-värden. Totalen är RMR värdena använda i stabilitetskartan.

Område	hållfasthet	Sprickfrekvens (RQD)	Sprickavstånd	Sprickråhet	Grundvatten	Tot
A.	12	20	10	25	15	82
1.	12	20	15	7	15	69
2.	15	15	10	26	15	81
3.	12	17	8	13	15	65
4.	12	20	8	6	15	61
5.	12	20	10	17	15	74
6.	12	20	10	9	15	66
7.	7	14	9	3	7	40
8.	0	17	9	5	10	41
9.	12	17	8	5	10	52
10.	12	17	8	17	15	69
11.	7	20	15	14	15	71
12.	12	17	10	21	15	75
13.	12	20	15	22	15	84
14.	12	19	10	15	15	71
15.	12	17	8	20	15	72
16.	12	20	10	20	15	77
17.	12	20	10	20	15	77
18.	12	16	8	10	15	61
19.	2	20	10	15	15	62
20.	12	20	10	20	15	77
21.	12	20	10	17	15	74

Samtliga mätningar av strykning och stupning. Beteckningarna ”mot söder” och ”mot öster” betyder att de är tagna längs med brottet och längre mot söder eller öster jämfört med föregående mätning.

Område	Stryknin g	Stupning
1 Dolomitbrottet, västra sidan mot söder	302	59
2 Dolomitbrottet, västra sidan mot söder	298	60
3 Dolomitbrottet, västra sidan mot söder	296	60
4 Dolomitbrottet, västra sidan mot söder	301	62
5 Dolomitbrottet, västra sidan mot söder	302	72
6 Dolomitbrottet, västra sidan mot söder	286	82
7 Fagerhult, södra sidan mot öster	297	90
8 Fagerhult, södra sidan mot öster	300	90
9 Fagerhult, södra sidan mot öster	310	69
10 Fagerhult, södra sidan mot öster	108	83
11 Fagerhult, södra sidan mot öster	109	84
12 Fagerhult, södra sidan mot öster	94	83
13 Fagerhult, södra sidan mot öster	110	90
14 Fagerhult, södra sidan mot öster	108	90
15 Fagerhult, södra sidan mot öster	106	90
16 Fagerhult, södra sidan mot öster	282	87
17 Fagerhult, södra sidan mot öster	118	86
18 Fagerhult, södra sidan mot öster	96	85
19 Fagerhult, norra sidan mot öster	304	68
20 Fagerhult, norra sidan mot öster	301	75
21 Fagerhult, norra sidan mot öster	303	83
22 Fagerhult, norra sidan mot öster	304	78
23 Fagerhult, norra sidan mot öster	304	88
24 Fagerhult, norra sidan mot öster	83	82
25 Fagerhult, norra sidan mot öster	80	80
26 Fagerhult, norra sidan mot öster	88	82
27 Fagerhult, norra sidan mot öster	102	84
28 Fagerhult, norra sidan mot öster	93	82
29 Fagerhult, norra sidan mot öster	101	82
30 Fagerhult, norra sidan mot öster	134	89
31 Fagerhult, norra sidan mot öster	129	89
32 Fagerhult, norra sidan mot öster	267	78
33 Fagerhult, norra sidan mot öster	78	76
34 Fagerhult, norra sidan mot öster	270	86
35 Fagerhult, norra sidan mot öster	271	89
36 Fagerhult, norra sidan mot öster	290	87
37 Fagerhult, norra sidan mot öster	294	82
38 Fagerhult, norra sidan mot öster	293	78
39 Fagerhult, norra sidan mot öster	297	82
40 Fagerhult, norra sidan mot öster	260	88
41 Fagerhult, norra sidan mot öster	88	89
42 Fagerhult, norra sidan mot öster	290	78
43 Fagerhult, norra sidan mot öster	298	87
44 Fagerhult, norra sidan mot öster	317	79
45 Fagerhult, norra sidan mot öster	319	75

46	Leptiten norr om Fänsåker	89	85
47	Leptiten norr om Fänsåker	81	88
48	Leptiten norr om Fänsåker	83	78
49	Östra hörnet av inhägnat område	278	89
50	Östra hörnet av inhägnat område	282	89
51	Östra hörnet av inhägnat område	261	85
52	Östra hörnet av inhägnat område	275	84
53	Östra hörnet av inhägnat område	297	85



Förstoring av berggrundskartan för att tydligare se strykning och stupning.

Appendix B:

Tabeller och lathundar använda för bedömning av RMR värden i fält:

RMR systemet (Hoek 200):

Table 4: Rock Mass Rating System (After Bieniawski 1989).

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines		0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations		0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes		0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Rating			6	4	2	1	0		
Separation (aperture)			None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Rating			6	5	4	1	0		
Roughness			Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided		
Rating			6	5	3	1	0		
Infilling (gouge)			None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm		
Rating			6	4	2	2	0		
Weathering			Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Ratings			6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°			Dip 20 - 45°		
Very favourable		Favourable		Very unfavourable			Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°					
Fair		Unfavourable		Fair					

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

Bedömning av hållfasthet baserat på fältundersökningar (Hoek, 2000):

Term	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Point Load Index (MPa)	Schmidt Hardness (Type L - hammer)	Field Estimate of Strength	Examples*
R5 Extremely Strong	> 250	> 10	50 - 60	Rock material only chipped under repeated hammer blows	fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R4 Very Strong	100 - 250	4 - 10	40 - 50	Requires many blows of a geological hammer to break intact rock specimens	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble rhyolite, tuff
R3 Strong	50 - 100	2 - 4	30 - 40	Hand held specimens broken by a single blow of a geological hammer	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R2 Medium Strong	25 - 50	1 - 2	15 - 30	Firm blow with geological pick indents rock to 5mm, knife just scrapes surface	Claystone, coal, concrete, schist. shale, siltstone
R1 Weak	5 - 25	**	< 15	Knife cuts material but too hard to shape into triaxial specimens	chalk, rocksalt, potash
R0 Very Weak	1-5	**		Material crumbles under firm blows of geological pick, can be scraped with knife	highly weathered or altered rock
Extremely Weak	0.25 - 1	**		Indented by thumbnail	clay gouge

Konvertering sprickor/m³ till RQD-värde (NGI 2013):

1 RQD (Rock Quality Designation)			RQD
A	Very poor	(> 27 joints per m ³)	0-25
B	Poor	(20-27 joints per m ³)	25-50
C	Fair	(13-19 joints per m ³)	50-75
D	Good	(8-12 joints per m ³)	75-90
E	Excellent	(0-7 joints per m ³)	90-100

Note: i) Where RQD is reported or measured as ≤ 10 (including 0) the value 10 is used to evaluate the Q-value

ii) RQD-intervals of 5, i.e. 100, 95, 90, etc., are sufficiently accurate