



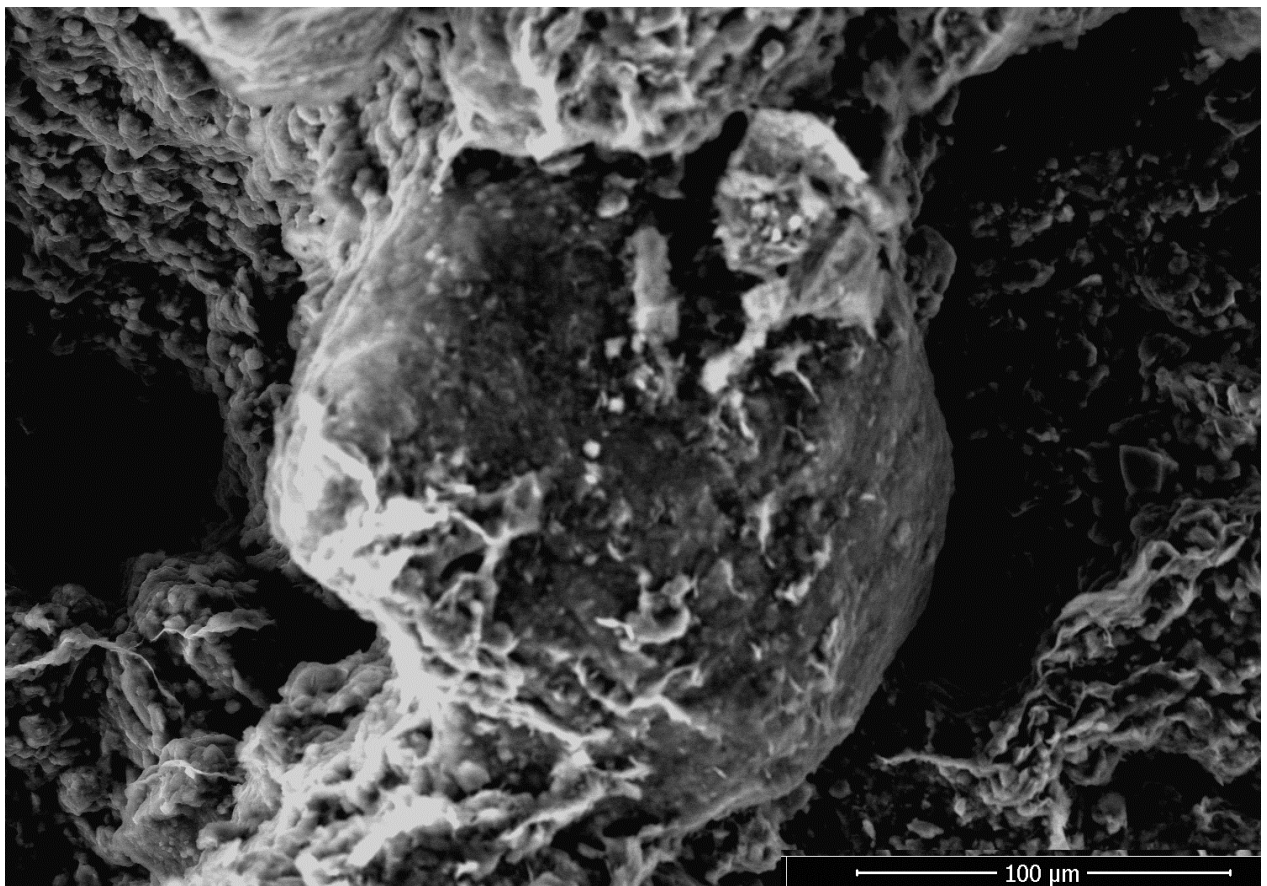
Stockholm
University

Bachelor Thesis

Degree Project in
Geology 15 hp

En mineralidentifikationsstudie och vittringsfasbeskrivning av en röd typ av granit vid Värtahamnen, Stockholm

Daniel Wahl Edman



Stockholm 2014

Department of Geological Sciences
Stockholm University
SE-106 91 Stockholm

Förord

Detta examensarbete har utförts för Institutionen för geologiska vetenskaper på Stockholms universitet. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng inom kandidatutbildningen till geovetare. Examensarbetet gjordes i samarbete med geokonsultföretaget Bergab i samband med tunneldrivningsprojekt för byggandet av Fortums nya biokraftvärmeverk vid Värtahamnen.

Handledare vid detta projekt har varit Joakim Mansfeld, utbildningskoordinator vid Stockholms universitet. Anna Engström och Jennifer Wännseth som är berggrundsgeologer vid Bergab har varit externa handledare i detta arbete.

Stockholm, juni 2014

Daniel Wahl Edman

Försättsblad: Bild tagen vid svepelektronmikroskopering av Daniel Wahl Edman och föreställer mineralkorn i provet "Lera".

Sammanfattning

Vid anläggningsarbeten bland annat tunneldrivning under jord är vattenförande eller lerfyllda sprickor ett stort problem. I Stockholm har detta fenomen påträffats vid flera tunnelprojekt bland annat vid byggandet av Citybanan och ofta i samband med en röd typ av granit. Identifiering av mineral i en granit från Värtahamnen, i Stockholm och dess olika vittringsstadier har gjorts med hjälp av stufanalis, mikroskopi, svepelektronmikroskopi ("ESEM"), energidispersiv spektroskopi ("EDS"), samt röntgendiffraktometri ("XRD"). Resultatet från undersökningarna visar att bergarterns sprödhet troligtvis beror på mineralomvandling. De mest framträdande tecknen på mineralomvandling kan ses genom seritisering av fältspat, sannolik kloritisering av biotit samt en ökad relativ kvartsmängd med stegrande vittringsgrad. Svällande leror har identifierats med hjälp av XRD-analys, vilket skulle kunna vara en ytterligare orsak till svårigheten med applicering av sprutbetong på bergarten.

Vittringsegenskaperna i bergarten beror med stor sannolikhet på flera olika processer. Interna påfrestningar och kemisk sammansättning i angränsande fluider har troligtvis stor betydelse. Varierande mängd kol förekommer i proverna baserat på resultat vid EDS-analys. I lerproverna identifieras hög kolhalt som tolkas komma från en närliggande kollagertunnel till insamlingstunneln. En fullständigt tillförlitlig förklaring för övriga prov har inte kunnat fastställas med säkerhet. Vidare undersökningar rekommenderas på den spröda bergarten och omgivande bergarter för att ytterligare styrka orsakerna till vittring.

Abstract

In construction works in example tunneling under ground clay filled- or water bearing fractures is a severe problem. This phenomenon has been encountered in several tunneling projects in Stockholm for instance in the construction of the Cityrail (Citybanan) and often in association with a red type of granite. Identification of minerals together with weathering stages of a red granite from Värtahamnen, in Stockholm have been done by hand-sample analysis, microscopy, environmental scanning electron microscopy ("ESEM"), energy dispersive spectroscopy ("EDS") and X-ray diffractometry. The result from the investigation shows that the brittleness of the rock is probably caused by mineral alteration. Seritization of feldspar, presumable chloritization of biotite and elevated relative abundance of quartz with increased weathering stage are the most distinguishable signs of alteration. Expanding clays has been identified by XRD-analysis which could be a contributing cause for the difficulty with application of shotcrete on the bedrock. Characteristic weathering features in the bedrock are with great probability caused by various different processes. However, internal stresses and chemical composition in adjacent fluids are probably processes with great significance. Results from EDS-analysis confirm variable amounts of carbon in the samples. A carbon stock tunnel next to the tunnel where the samples were collected has been assumed to be the reason for elevated amounts in the clay samples. Reasonable explanation for carbon in remaining samples has not been determined with certainty. More investigations on the bedrock in question and surrounding bedrock are recommended to further underpin the cause of weathering.

Innehållsförteckning

Introduktion	1
1.1 Inledning	1
1.2 Syfte	1
1.3 Bakgrund	1
Metod	6
2.1 Provinsamling	6
2.2 Provprenparering	7
2.3 Analysmetodik	10
Resultat	13
3.1 Kartering	13
3.2 Stuffanalys	13
3.3 Mikroskopering	15
3.4 ESEM-EDS	23
3.5 XRD	23
Diskussion	25
4.1 Felkällor och analysproblem	25
4.2 Jämförelse mellan resultaten för tunnslips- och XRD-analys.	28
4.3 Jämförelse mellan "frisk" granit och referensprov	28
4.4 Vidare diskussion	29
4.5 Tidsåtgång och kostnad för analysmetoder	30
4.6 Rekommendationer	31
Slutsats	31
Tack till	32
Referenser	33
Bilaga 1	35
Bilaga 2	53
Bilaga 3	84
Bilaga 4	87

1. Introduktion

1.1 Inledning

Under ett pågående tunneldrivningsprojekt vid Värtahamnen stötte geokonsultföretaget Bergab på problem med en spröd, röd typ av granit som lätt övergår till vattenförande och/eller lerfyllda sprickor vid applicering av sprutbetong. Detta fenomen är känt sedan tidigare vid andra projekt bland annat vid byggandet av Citybanan, men utförliga studier om orsak och mineralogiska undersökningar av graniten har varit sparsam. Examensarbetet behandlar i huvudsak identifiering och mineralbeskrivning av granitens ursprungsmineral och nedbrytningsprodukter.

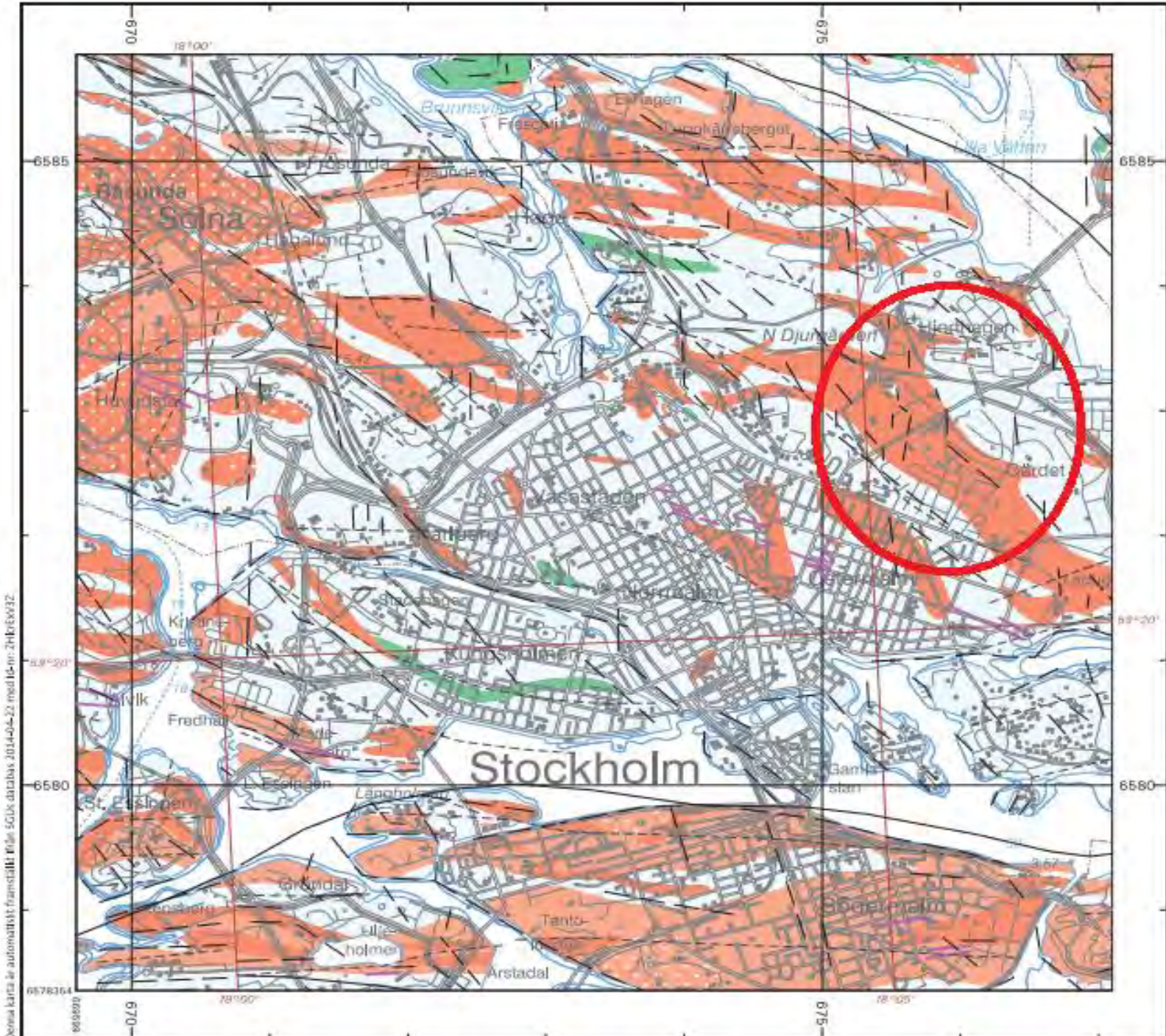
1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att beskriva och jämföra den röda graniten i olika stadier av nedbrytning för att kunna identifiera orsaker till bergartens vittringsegenskaper. Resultatet kan ge underlag för vidare undersökningar och eventuella lösningar på problemet. Arbetet kan delas upp i tre delmoment: 1. Provtagning av bergarter vid olika stadier av omvandling. 2. Tunnslipsundersökning av dessa bergarter. 3. Analys av nedbrytningsprodukter med hjälp av ESEM-EDS och XRD.

1.3 Bakgrund

Undersökningsområdet ligger i en av Fortums tunnlar vid Värtahamnen i Stockholm. Enligt SGU:s kartering (se figur 1 nedan) är berggrunden i Stockholms län starkt påverkad av den Svekokarelska orogenesisen (bergskedjeveckning) där framförallt bergarter från cirka 1,8 Ga till över 1,9 Ga dominerar enligt Stephens m.fl. (2009). Stockholms berggrund kan generellt delas in i tre olika huvudtyper av bergarter (se nedan) baserat på Wik m.fl. (2005):

Ytbergarterna (se ljusblå färg i figur 1) utgörs av metamorfa sedimentära- och magmatiska bergarter, samt kristallin kalksten och bildades troligtvis omkring 1,9 Ga sedan. De metasedimentära bergarterna är vanligt förekommande. Största delen består av ådergnejser (södra/mellersta delen av länet) och metagråvackor (norra delarna). **Djupbergarterna** (se röd färg i figur 1) är intrusioner och kan delas in i ”Äldre djupbergarter” (cirka 1,87 – 1,89 Ga) som innefattar granitoider, gabbroider och dioritoider och den andra gruppen som kallas ”Yngre graniter och pegmatiter” (cirka 1.8 Ga). De yngre graniterna kallas ofta för ”Stockholmsgraniter” och finns i en grå eller röd variant. Den tredje stora gruppen av bergarter i Stockholm är **gångbergarter** (se grön, samt lila färg i figur 1) och består till största del av diabas.



- Strukturell formlinje, plastisk deformation
- Spröd deformationszon (förkastning, spricka, sprickzon)
- Deformationszon, ospecificerad
- Ultrabasisk, basisk och intermediär intrusivbergart (gabbro, diorit, diabas m.m.)

- Ställvis gnejsiga bergarter i svekokareliska orogenesisen (1880-1740 miljoner år)
- Sur intrusivbergart (granit, granodiorit, monzonit m.m.)
 - Sur intrusivbergart (granit, granodiorit, monzonit m.m.). Porfyrisk eller ögonförande

- Huvudsakligen gnejsiga bergarter i svekokareliska orogenesisen (2850-1870 miljoner år)
- Sur intrusivbergart (granit, granodiorit, monzonit m.m.)
 - Sur intrusivbergart (granit, granodiorit, monzonit m.m.). Porfyrisk eller ögonförande
 - Ultrabasisk, basisk eller intermediär (gabbro, diorit, diabas m.m.)
 - Kvarts-fältspatrik sedimentär bergart (sandsten, gråvacka m.m.)

Berggrundsobservationer

Figur 1. Denna berggrundskarta över Stockholms innerstad visar en stor utbredning av sedimentära, gnejsiga bergarter (ljus blåa) och intrusiva granitoider (röda). Den röda ringen symboliserar området för insamlingsplatsen. Karta: SGU.

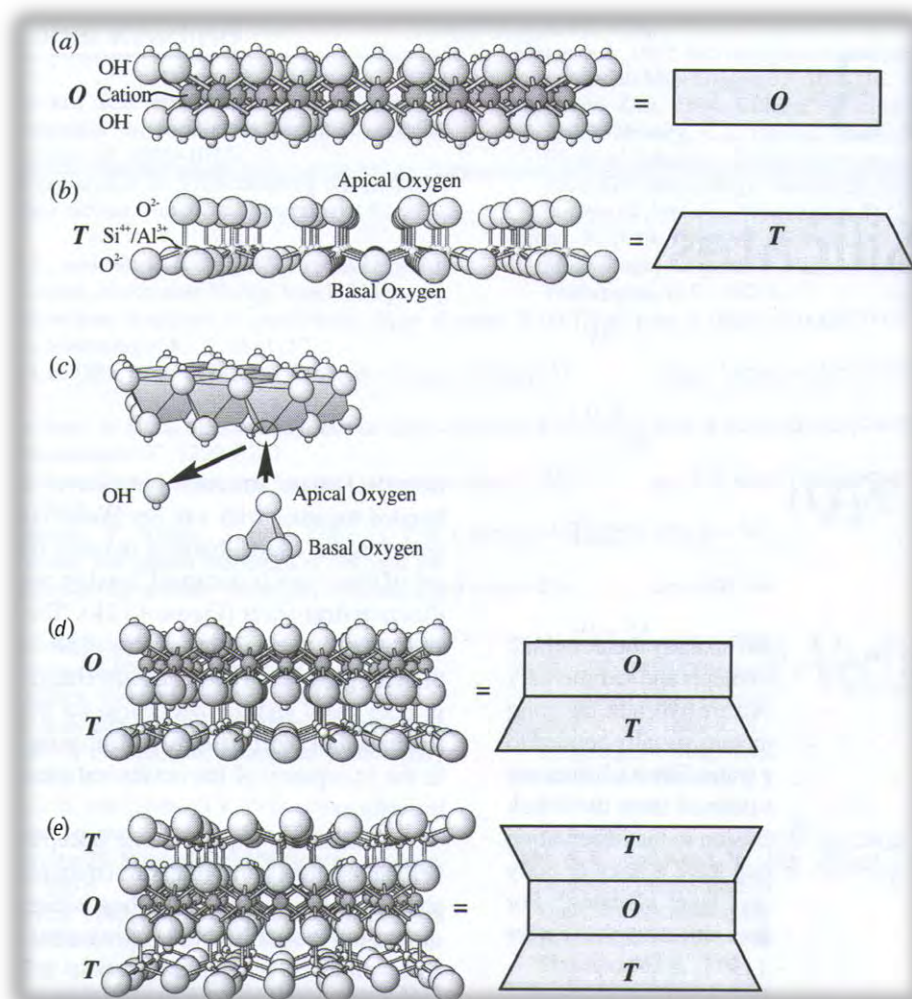
Deformation, vittring och erosion

Slutsteget i vittringsprocessen för de flesta kiselrika bergarter är omvandling till leror. Leror bildas genom följande process (Tarbuck m. fl., 2013):



Några vanligt förekommande lergrupper är *kaolinit*, *illit*, *smektit* (ex. montmorillonit), *vermikulit* och *klorit*. Tillsammans med glimmermineral bildar de gruppen *skiktsilikater*. Skiktsilikaterna baseras på deras uppbyggnadsstruktur av oktaedrar (aluminiumhydroxid eller magnesiumhydroxid) [O] och tetraedrar (kiseloxid) [T] som visualiseras i figur 2.

1:1 leror [TO]. Dessa typer av leror uppvisar strukturer med återkommande *TO*-lager som är elektriskt neutrala och hålls ihop genom svaga van der Waals- och vätebindningar. *TO*-strukturen gör att ett lager är ungefär 7 Å (= 0,7 nm) (Nesse, 2009). Kaolinitleror byggs upp av en löpande uppsättning av oktaedrar (O) och tetraedrar (T) till att bilda följande sekvens: *OT-OT-OT* (1994; Nesse, 2009; Tombácz & Szekeres, 2008).



Figur 2. Skiktsilikater byggs upp i lager av tetraedrar och oktaedrar. (a) Oktaedriska lager består av en kombination mellan divalenta eller trivalenta katjoner som binds samman med hydroxidjoner [OH-]. (b) Kisel-/eller aluminiumtetraedrar som delar tre syreatomer med andra kisel-/eller aluminiumtetraedrar bildar ett tetraedriskt lager. (c) Vid bildning av TO-lager krävs att vissa hydroxidjoner frigörs från det oktaedriska lagret för att göra plats för en tetraed. (d) En TO-struktur över lager av oktaedriska och tetraedriska skikt. Denna struktur bildar tre lager med syreatomer. (e) TOT-lager bildas genom att ett ytterligare tetraedriskt lager binder till andra sidan av det oktaedriska lagret. Bild: Baserad på figur 13.1 i Nesse (2009).

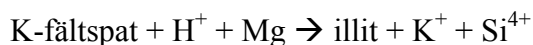
2:1 leror [TOT, TOT+c, TOT+O]. *TOT*-lager är elektriskt neutrala, men kan bli elektriskt negativa om ett utbyte av katjonerna som exempelvis Al^{3+} till Si^{4+} sker. Strukturen är beroende på vilket element som balanserar laddningen och vanligtvis tar Si^{4+} upp alla tetrahediska platser för att göra den neutralt laddad. Bindningen mellan *TOT*-lager utgörs av van der Waals- och vätebindningar. Dessa bindningar är relativt svaga ($H = 1$ på Mohs hårdhetsskala), vilket leder till att *TOT*-lager som är mellan 9 till 9,5 Å lätt kan separeras. Exempel på ett vanligt förekommande mineral som bildar *TOT*-lager är talk (Nesse, 2009). Strukturen på flera mineral som diskuteras nedan kan visualiseras i figur 3 nedan.

Glimmermineral och spröda glimmermineral tillhör *TOT + c*-uppsättningen där ”c” indikerar katjon mellan *TOT*-lager. Vanliga glimmermineral i denna grupp är muskovit och biotit. Biotit har en kemisk formel där magnesium och järn lätt byts ut mot varandra (Nesse, 2009):



Illit bildas också genom denna *TOT+c* uppsättning (Essington, 2004) som kan ses i figur 3 där bindningarna med mellanlagret är relativt starka och katjonerna domineras av K^+ (Nesse, 2009).

Bildning av illit sker genom vittring av k-fältspat enligt följande process (Meunier & Velde, 2004):



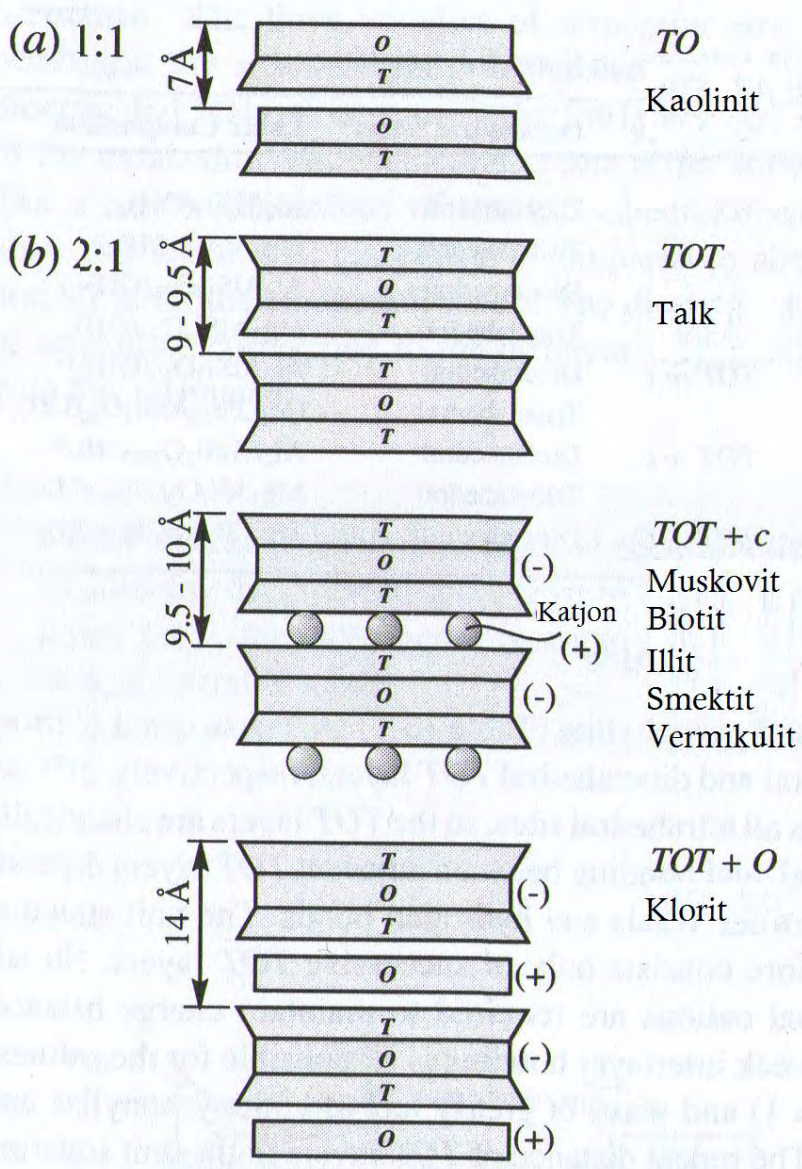
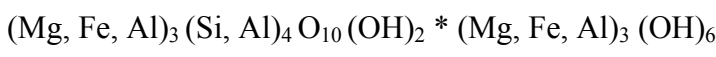
Spröda glimmermineral indikeras av en större andel Al^{3+} i tetrahedriska lagret istället för Si^{4+} , vilket leder till elektriskt negativa lager. Det är därför vanligt att monovalenta katjoner som kalium (K^+) eller divalenta som kalcium (Ca^{2+}) sätter sig mellan *TOT*-lager för att neutralisera laddningen (Nesse, 2009).

Även natrium (Na^+) och vatten (H_2O) är vanliga i mellanlagret. *TOT + c* lager har ofta en uppsättning som är mellan 9,5–10 Å och hålls ihop av van der Waals- och jonbindningar som är något starkare, vilket ökar hårdheten till mellan 2–3 (Nesse, 2009). Smektitleror har en typisk *TOT + c* uppsättning (Nesse (2009); Tombácz & Szekeres, (2008)).

Till denna grupp hör även vermikulitgruppen. Vermikulit bildas ofta genom omvandling från biotit eller klorit (Nesse, 2009). Av dessa 10 Å leror är vermikulit- och smektitlerorna expanderbara upp till 14,4 Å respektive 15,2 Å. Expansionen beror på vatten som tränger in i mellanlagren. I smektitleror ger ett lager av vattenmolekyler i mellanlagret ett totalt avstånd på cirka 12,5 Å och två lager av vattenmolekyler ger ett avstånd på cirka 15,2 Å. Avståndet kan ändras snabbt, eftersom vattnet kan torka bort i rumstemperatur, men kräver en genomgående torrhet för att återgå till 10 Å (Nesse, 2009).

I *TOT + O*-uppsättningen har ett extra oktaedriskt lager lagts in mellan *TOT*-lager. Kloritmineral är vanliga i denna grupp och ger en tjocklek av cirka 14 Å, varav *TOT*-lagren är cirka 9,5 Å och det

oktaedrisk lagret är cirka 4,5 Å tjockt. På grund av negativ laddning som *TOT*-lagren har (Al^{3+} ersätter en tredjedel av Si^{4+} på tetraediska platserna) blir bindning med de positivt laddade oktaedriska lagren (divalenta katjoner ersätts på vissa platser av trivalenta) stark. Denna elektriska bindning ger klorit en hårdhet på mellan 2-3. Den kemiska sammansättningen för klorit kan variera kraftigt precis som biotit i järn och magnesiumhalt, men utan förekomst av kalium och ser därför ut enligt följande formel (Nesse, 2009):



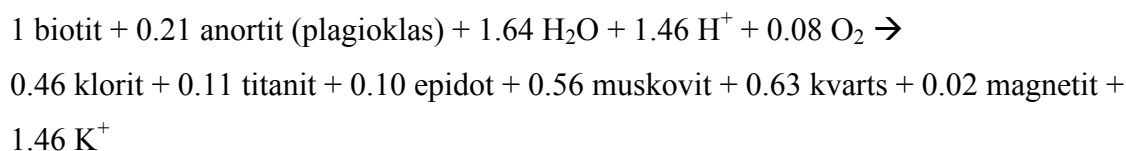
Figur 3. Olika uppsättningar av tetraedriska och oktaedriska lager leder till olika skikt-silikater med varierande lageravstånd. (a) Kaolinit och serpentin är vanliga 1:1 skikt-silikater med *TO*-lager. (b) 2:1 skikt-silikater har en *TOT*-struktur och kan variera ordentligt i lagertjocklek på grund av atomer i mellanlager. Bild: figur 13.3 från Nesse (2009).

Eftersom olika silikatmineral vittrar till olika lermineral kan den resulterande leran vara en blandning av flera olika lermineral. Blandningen sker genom mineralutbyten i strukturuppsättning i mineralgittret där olika typer av lerslager kombineras (Nesse, 2009), vilket gör att leror kan få varierande d-avstånd.

Mineralomvandling

Förändringen av tryck och temperatur kan göra att mineral hamnar utanför sitt stabilitetsområde. Effekten blir att mineral omvandlas till andra mineral som är kemiskt stabila i den nya miljön.

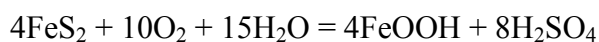
Omvandling av biotit till klorit sker ofta med hjälp av fluider (se bland annat Dodge, 1973; Eggleton & Banfield, 1985; Ferry, 1985; Shabani, 2009 och Tulloch, 1979). Sericit är ett samlingsnamn för finkorniga, vita glimmermineral (Nesse, (2009)). Vid seriticering omvandlas fältspat till sericit och orskas av hydrering (Nesse, 2009). Omvandling av plagioklas till sericit kräver fria K^+ joner (Winter, 2010). Eggleton & Banfield (1985) har diskuterat reaktion och samband vid omvandling av biotit till klorit, samt plagioklas till sericit orsakat av fluider i en granit:



Närliggande kloritisering som i exemplet ovan kan enligt Winter (2010) orsaka seriticering av mineral.

Biotit omvandlas vanligtvis till klorit, men även till lermineral som vermikulit och sericit, samt järn-titaniumoxider och epidot (Nesse, 2009). Ett annat exempel på mineralomvandling som kan leda till vittring är oxidation av mineralet pyrit som bildar svavelsyra enligt följande formel (Nesse, 2009):

Pyrit + syre + vatten = göhtit (järnhydroxid) + svavelsyra



2. Metod

2.1 Provinsamling

I en av Fortums nya tunnlar vid Värtahamnen ägde fältarbetet rum i slutet av oktober 2013.

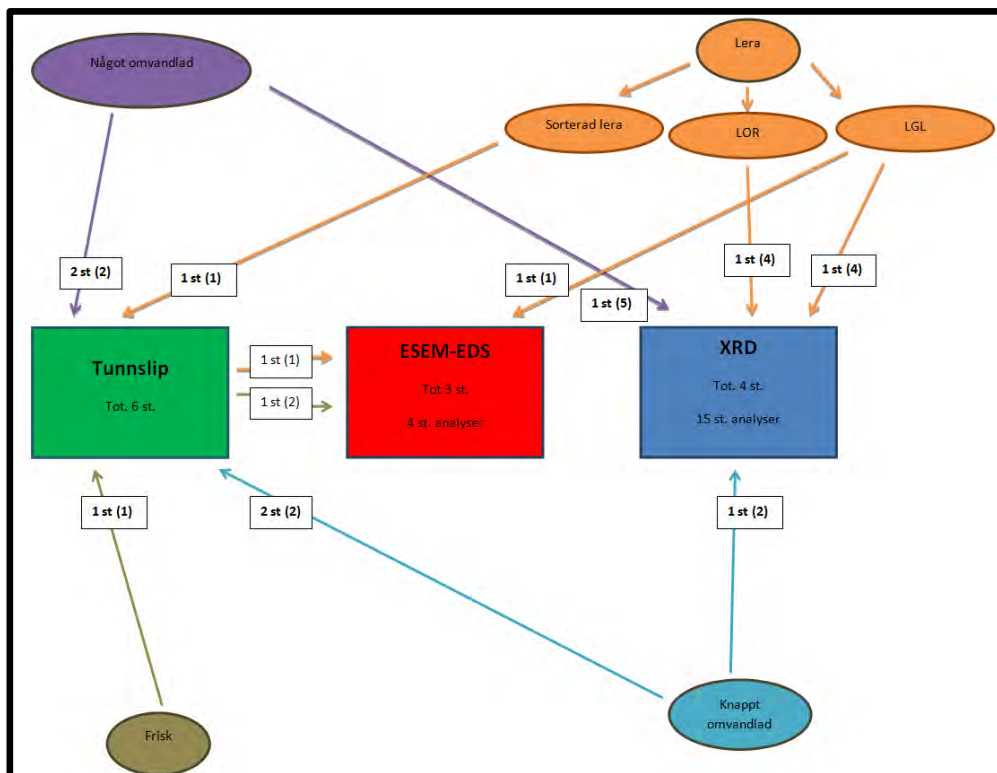
Undersökningen gjordes under handledning av Fredrik Östling och Jennifer Wännseth, som är berggrundsgeologer vid Bergab. Tunneln ligger i närheten av en anslutande kollagertunnel där Fortum lagrar fjärrbränsle cirka 40 meter under havet.

Insamling gjordes efter instruktioner från handledare av följande bergarter med hjälp av geologhammare; prov med omkringliggande röd bergart "Frisk", prov med knappt omvandlad bergart "Knappt omvandlad", prov med ytterligare omvandlad bergart "Något omvandlad" och prov med lera "Lera".

Den efterfrågade "röda graniten" som kunde ses på tunnelväggen hade delats av en spricka som löpte vertikalt igenom den. Mellan sprickan och "röda graniten" observerades en gradient med finare, lösa partiklar (restprodukter) in mot sprickan som var fuktig. Gradienten kunde ses på båda sidor av sprickan, men var oregelbundet synligt och gav ingen indikation på tydliga gränser av vittringsgrad. Proven "Frisk", "Knappt omvandlad", samt "Något omvandlad" bevarades och transporterades i plastpåsar. Provet "Lera" fraktades och lagrades i glasburk med metallock på Stockholms universitet där vidare undersökningar kunde genomföras.

2.2 Provpreparering

De fyra insamlade proverna användes för identifiering och mineralbeskrivning i fyra olika analyser: Stufanalis, mikroskopering, ESEM-EDS-analys och XRD-analys. För stufanalis krävdes inga prepareringsmetoder och de tunnslip som gjordes användes även vid ESEM-EDS-analys. Nedan i figur 4 följer uppdelning av prover och vid vilken undersökningsmetod de har använts.



Figur 4. De insamlade proverna analyserades med hjälp av olika undersökningsmetoder. Mossgrön färg indikerar provet "Frisk", ljusblå - "Knappt omvandlad", lila - "Något omvandlad" och orange - "Lera". Siffror inom parentes indikerar antalet analyser.

Total mängd tunnslipsprov som analyserats kan sammanfattas till sex stycken varav en ”Frisk”, två ”Knappt omvandlad”, två ”Något omvandlad” och en ”Lera” (sorterad-finaste kornstorleken). Fyra ESEM-EDS-analyser gjordes varav två från tunnslip av ”Frisk” (inte kolbelagd och kolbelagd) och två från ”Lera”. Proverna från ”Lera” var tunnslip av sorterat prov och från torkad orginallera (LGL). Den sista undersökningen som gjordes var XRD-analys. Fyra olika ”grundprover” (”Knappt omvandlad”, ”Något omvandlad”, ”LOR” (originallera) och ”LGL”) användes vid undersökningen. Dessa ”grundprover” kan delas in i 15 analyser, varav två från ”Knappt omvandlad”, fem från ”Något omvandlad” och fyra från ”LOR” och ”LGL” vardera. Prepareringsmetoderna för respektive analys finns beskrivet nedan.

Tunnslipsframställning

Under handledning av Dan Zetterberg, tekniker vid Stockhols umiversitet framställdes tunnslip med hjälp av läppningsinstrument (Fabrikat: Logitech; Modell – LP50 Precision Lapping & Polishing System), tunnslipsinstrument (Fabrikat: Buehler; Modell – Petro-thin Thin Sectioning System), slipskiva och diamantsåg. Totalt gjordes **sex** tunnslip varav **ett** från provet ”Frisk”, **två** från provet ”Knappt omvandlad”, **två** från provet ”Något omvandlad” och **ett** av ”Lera”. Tunnslip ”Frisk”, ”Knappt omvandlad” och ”Något omvandlad” gjordes enligt traditionellt tillvägagångssätt. Sprödheten i ”Något omvandlad” orsakade problem, vilket resulterade i att ett något mindre vittrat prov fått (vid denna undersökning) representera ”Något omvandlad”. Resultatet kan därför skilja något från ett prov som är typiskt för ”Något omvandlad”.

Eftersom provet ”Lera” innehöll mycket vatten fanns ingen tydlig struktur och därför fick tunnslipstillverkningen ske på ett annat vis och finns beskrivet nedan.

- a) Från provet ”Lera” togs två matskedar.
- b) De finaste partiklarna i provet kunde torka på värmeelement (50°C) i mindre vialer ($\varnothing \sim 2$ centimeter) efter siktning (maskvidd = 1 millimeter) med avjoniserat vatten.
- c) När proverna var torra kunde lim (blandning av resin och härdare; 3:1,25) hällas i vialerna och fick sedan stelna i rumstemperatur.
- d) Botten på glasburkarna (cirka en centimeter) sågades sedan av med diamantsåg.
- e) Glasbottnena slipades sedan med avjoniserat vatten och kiselkarbid i följande ordning: 180 grit, 280 grit, samt 400 grit tills proverna var släta.
- f) Objektglas med en tjocklek på 1405 μm och arean 2800 * 4800 μm fästes på proverna med lim (blandning av resin och härdare; 3:1,25). Luftbubblor trycktes ut innan proverna fick stelna i en jigg i rumstemperatur.

- g) När limmet torkat togs eventuellt lim som stelnat på baksidan av provet bort med rakblad innan de sågades och frästes och preparerades klart enligt traditionellt tillvägagångssätt.

Bergarten kunde sedan klassificeras enligt Streckeisen (1976), se bilaga 4.

ESEM-EDS

Som tidigare nämnts användes fyra prover vid denna analys. ”Frisk utan kol” krävde ingen ytterligare preparering och var till skillnad från ”Frisk med kol” och ”Sorterad lera” inte belagd med kol. De två sistnämnda fick prepareras i ett kolbeläggningsinstrument. Syftet med beläggningsen av kol är att förbättra bildkvalité, eftersom störande elektroner vid ESEM-analys då kan ledas bort. Provet ”LGL” applicerades på en kolduk (med samma egenskap).

XRD

Prepareringen bygger på att den efterfrågade bergarten/mineralsammansättningen mals ner till ett pulver (pulvermetoden). Generellt kan proverna vid denna analys delas upp i fyra faser och totalt 15 analyser (se tabell 1). Fas 1 är preparering genom avskrapning eller framställning av ”stenmjöl”. Fas 2 innebär att fukta Fas 1 med avjonat vatten. Fas 3 innebär en sedimentation för utvinning av lermineral från originalprover. Fas 4 innebär att fukta Fas 3 med avjonat vatten efter torkning (60°C). Dan Zetterberg var handledare för preparering vid Fas 1 och Fas 3. Prepareringens tillvägagångssätt kan ses nedan efter tabell 1.

Tabell 1. Proverna kan delas upp efter fyra faser vid XRD-analys. Ett prov av ”Något omvandlad” kördes två gånger (”Avskrap” och ”Avskrap 2”), varav vidare XRD-analyser gjordes på provet ”Avskrap 2”.

Fas Originalprov	1	2	3	4
Knappt omvandlad	”Mjöl”	”Mjöl & Blöt”		
Något omvandlad	”Avskrap”			
	”Avskrap 2”	”Direkt & Blöt”	”Sedimenterat”	”Sedimenterat & Blöt”
LOR	”Direkt”	”Direkt & Blöt”	”Sedimenterat”	”Sedimenterat & Blöt”
LGL	”Direkt”	”Direkt & Blöt”	”Sedimenterat”	”Sedimenterat & Blöt”

Avskrapat

Fina fraktioner från proverna ”Något omvandlad”, ”LGL” och ”LOR” skrapades separerat av med hjälp av morakniv. Materialet kunde sedan mortlas ner till finare kornstolek med hjälp av agatmortel.

Stenmjöl

Ett prov av ”Knappt omvandlad” gjordes rent med vanligt kranvatten och fick sedan torka i värmeugn i 60°C under cirka tre timmar. Provet krossades sedan i mindre bitar < 1 cm³ med hjälp av geologhammare (finsk modell). Det krossade materialet maldes sedan till fint ”stenmjöl” i en skivsvängkvarn (Fabrikat: Retsch; Modell RS200) i 1500 varv per minut under cirka 50 sekunder.

Sedimentation

En liten mängd av varje prov fördes över till separata bägare. Mängden prov i bägarna beror på hur mycket lermineral bergarten verkar innehålla. En större mängd prov användes där lermineralen verkade förekomma mer sparsamt. Bägarna fylldes med avjoniserat vatten och placerades i dragskåp för att frisätta lermineral från bergarten. Efter cirka två timmar rördes bägaren om lätt och det mineralfyllda vattnet dekanterades över till en tom rengjord bägare utan att större partiklar följde med. Det mineralrika vattnet fick sedimentera och avdunsta i värmeugn (60°C). Kvar i bägaren ligger de sedimenterade mineralfraktionerna efter torkning. Materialet kunde mortlas ner till finare kornstorlek med hjälp av agatmortel.

Fas 2 och 4 innebär samma prepareringsmetod där en droppe avjonat vatten tillsätts till prover från Fas 1 och Fas 3 efter att de har analyserats i XRD-instrumentet. Proverna får sedan avdunsta. Denna preparering görs för att upptäcka eventuella svällegenskaper i mineralstrukturen.

2.3 Analyismetodik

Stuffanalys

De insamlade proverna undersöktes i en stuffanalys med fokus på kornstorlek, texturer och färg. I denna stuffanalys inkluderas även ett ”Referensprov” från Alvik insamlat av Erik Fromm. Syftet med provet är att jämföra skillnader och likheter till provet ”Frisk”. Resultatet kan användas för att underlätta förståelsen om varför den röda bergarten orsakar problem vid tunneldrivning.

För provet ”Lera” gjordes en mineraljordsbestämning med utrullningsprov och färgbeskrivning i torrt tillstånd enligt Berglund & Gustafson Bjureus (2008), samt Kungliga Lantbruksstyrelsen (1965) se tabell 2 nedan.

Tabell 2. Med hjälp av denna tabell enligt Berglund & Gustafson Bjuréus (2008) och Kungliga Lantbruksstyrelsen (1965) kan stoffen ”Lera” klassificeras. Då ingen sedimentation har gjorts för kvantifiering av lerhalt blir resultatet baserat på övriga egenskaper.

Provbeteckning: ”Lera”

Bergarten/Sedimentet kan inte klassificeras på tidigare sätt, eftersom den ser ut att hållas ihop av lermineral. För denna jordart gjordes istället en mineraljordsbestämning med utrullningsprov och färgbeskrivning i torrt tillstånd enligt Berglund & Gustafson Bjuréus (2008).

Jordart (Kornstorlek, mm)	Lerhalt (%)	Utrullningsprov (trådtjocklek)	Färg i torrt tillstånd hos alvjordar
Grus (2-20)	<2	Kan ej rullas	Som rödaktig sand
Sand (0,2-2)	<2	Kan ej rullas	Som rödaktig sand
Moränsand	2-5	Kan ej rullas	Som rödaktig sand
Grovmo (0,06-0,2)	<2	Kan ej rullas	Ljusgrå eller med svag sandfärg
Finmo (0,02-0,06)	<2	4-6 mm	Ljusgrå
Moränmo	2-5	4-6 mm	Ljusgrå
Mjåla (0,002-0,02)	2-5	4-6 mm	Gråvit
Leriga jordar	5-15	Ca 3 mm	Ljusgrå
Lättlera	15-25	Ca 2 mm	Ljusgrå
Mellanlera	25-40	1-1,5 mm	Tämligen ljus grå eller ljus röd-brun
Styv lera	40-60	1 mm	Grå, gråbrun eller rödbrun
Mycket styv lera	>60	< 1 mm	Mörkgrå eller mörkt gråbrun

Schema för jordartsbestämning i fält för mineraljordar (Kungliga Lantbruksstyrelsen, 1965)

Mikroskopering

Mineral och texturer i olika tunnslip har identifierats med hjälp av ljusmikroskop (modell: NIKON OPTIPHOT 2 – POL). Samma ”Referensprov” som undersökts vid stoffanalys har även undersökts vid mikroskopering för att identifiera skillnader och likheter med provet ”Frisk”.

ESEM-EDS-analys

För att ta reda på relativ mängd av olika element och upptäcka eventuella leror med svällande egenskap har Geologiska institutionens ESEM FEG- utrustning (Environmental Scanning Electron Microscopes med en Field Emmission Gun) av fabrikatet FEI och modell Quanta FEG 650 använts under handledning av Marianne Ahlbom, forskningsingenjör på Stockholms universitet.

Svepelektronutrustningen (SEM) användes för att förstora upp mineral. En elektronstråle fokuseras på en liten yta av provet, vilket får vissa av elementets elektroner att bli energirika och emitteras. De

emitterade elektronerna detekteras sedan med hjälp av en så kallad *backscatter*-detektor och blir sedan konverterade till en signal som återger en högupplöst topografisk bild av provet.

För att ta reda på kemisk sammansättning i proverna har EDS-instrument (Energy Dispersive Spectroscopy) använts av fabrikatet Oxford X-Max. När elektronstrålen träffar atomer i provet slås elektroner runt atomerna utanför sin bana. De tomma platserna fylls med elektroner med högre energi som ger ifrån sig röntgenstrålar i processen. Röntgenstrålarna som emitteras kan analyseras då varje element ger ifrån sig en viss typ av röntgenstrålning. Kvantifiering av olika element kan göras med hjälp av mjukvaran INCA som analyserar specifika röntgenstrålarna som absorberas. Det kemiska resultatet från analysen används för att bestämma/bekräfta mineral som inte har kunnat fastställas med hjälp av ljusmikroskop.

XRD-analys

En röntgendiffraktometrisk analys (XRD) har gjordes med Naturhistoriska riksmuseets instrument (fabrikat: PANalytical och modell: X'Pert Pro) under handledning av Ulf Hålenius, professor vid Naturhistoriska riksmuseet. Syftet med undersökningen var att identifiera och bekräfta mineral som undersökts med mikroskop eller genom stufvanalys. Resultatet kan ge information om granitens vittringsprodukter och tekniken fungerar bra som en komplimenterande analysmetod där kornstorleken är liten.

Den teoretiska metoden för XRD-instrumentet utgår från att röntgenstrålar med en viss våglängd ($[Cu] \sim 1,54 \text{ \AA}$) träffar och reflekteras i provet. Eftersom provet snurrar och vinkeln som röntgenstrålarna faller in mot provet ändras kan olika atomplan identifieras. Vissa strålar "missar" ytatomlager och träffar interna, vilka därför färdas en längre sträcka. Skillnaden i avstånd (d-avstånd [\AA]) och intensiteten av dessa lager kan registreras och beräknas enligt Braggs ekvation:

$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

där d är avståndet mellan atomplan, n är ordningstalet, λ är våglängden och $\sin\theta$ är interferensvinkeln. Varje mineral har specifika d-avstånd beroende på deras kristallstruktur. Olika element i atomstrukturen och atomplanens position i förhållande till den infallande röntgenstrålningen gör att ett specifikt mineral kan ha olika d-avstånd. Lermineral lägger sig ofta i plana lager i en föredragen riktning och därför blir ofta intensitetstoppar av registrerade avstånd högre än vid andra mineral där atomlagren är mer slumpmässigt ordnade.

Vid analys placeras en liten mängd (< 1 gram) pulver i en hållare och plattas till för att öka refraktionsytan innan provet placeras i XRD-instrumentet där analysen sker med hjälp av mjukvaran

Data Collector. Resultatet kan sedan visualiseras i ett intensitetsdiagram med hjälp av mjukvaran High Score där intensiteten av ett visst d-avstånd ges i y-axeln och diffraktionsvinkeln 2θ [°] på x-axeln.

Ju större d-avstånd, ju längre till vänster i intensitetsdiagramet kommer toppen bildas. Svällande leror får ett ökat d-avstånd när de binder fukt och i teorin borde alltså toppen flyttas längre till vänster vid applicering av avjonat vatten. En identifikation av mineral kan göras genom att jämföra resultatet från XRD med en PDF (Powder Diffraction File) där information om olika minerals d-avstånd vid olika vinklar finns registrerat. Identifiering av mineral sker genom att mineral med högt "score"-värde plockas bort först från minerallistan som erhållits från mjukvarans beräkningar. Sedan sker en omräkning av "score"-värde för övriga mineral och proceduren fortsätter tills samtliga mineral har registrerats. Ett högt "score"-värde indikerar bra korrelation till topparna från analyskedet och alltså på hur väl mineralet stämmer överens med samtliga, registrerade d-avstånd. Kvantifiering av mineral baseras sedan på arean under varje intensitetstopp.

För att undersöka eventuella förändringar eller felmarginaler analyseras samma prov "Något omvandlad - Avskrap" två gånger därav namnen "Något omvandlad - Avskrap" och "Något omvandlad - Avskrap 2".

3. Resultat

3.1 Kartering

Vid karteringsarbetet framgår det tydligt att den efterfrågade rödaktiga bergarten uppvisar, generellt, en gradiell struktur i form av: mest omvandlad i sprickor till "friskare" utåt. I sprickor återfinns grovkornig lera (se figur 5 "Lera") som längre ifrån ersätts av något fastare bergarter, (a) och (b) i figur 6. "Något omvandlad" uppvisar en spröd yta som lätt kan skrapas bort med endast fingrarna och återfinns generellt närmare sprickan än "Knappt omvandlad". Utanför dessa bergarter finns en röd, mer stabil bergart som inte går att skrapa sönder (se figur 6 (c), "Frisk").

3.2 Stuffanalys

Proverna är finkorniga, vilket leder till vissa svårigheter vid mineralidentifikation och resultatet hänvisas istället till andra undersökningsmetoder. De mest utmärkande resultaten som ges från stufvanalys är färg och vittringsegenskaper. En tydlig trend är reducering av rödfärgade mineral med ökad vittringsgrad som kan ses i figur 6.

Provbeteckning: Lera

Utifrån klassifikationen av mineraljordar enligt Berglund & Gustafson Bjuréus (2008) och Kungliga Lantbruksstyrelsen (1965) visar utrullningsprovet på en tjocklek av 5 mm och en en ljusgrå färg vid torkning i rumstemperatur. Resultatet av detta leder till att jordarten kan klassificeras som *moränmo*. Provet är sorterat med kornstorleksfraktioner upp till 20 millimeter. Sammansättningen ser ut att vara vittringsprodukter från närliggande bergarter i fält. Provet ger även ifrån sig en mögellukt, vilket är en indikation på mikroorganismer.



Figur 5. Insamlat prov "Lera" med stora skillnader i kornstorleksfraktioner från lerpartiklar till 20 millimeter i diameter.

Provbeteckning: Frisk

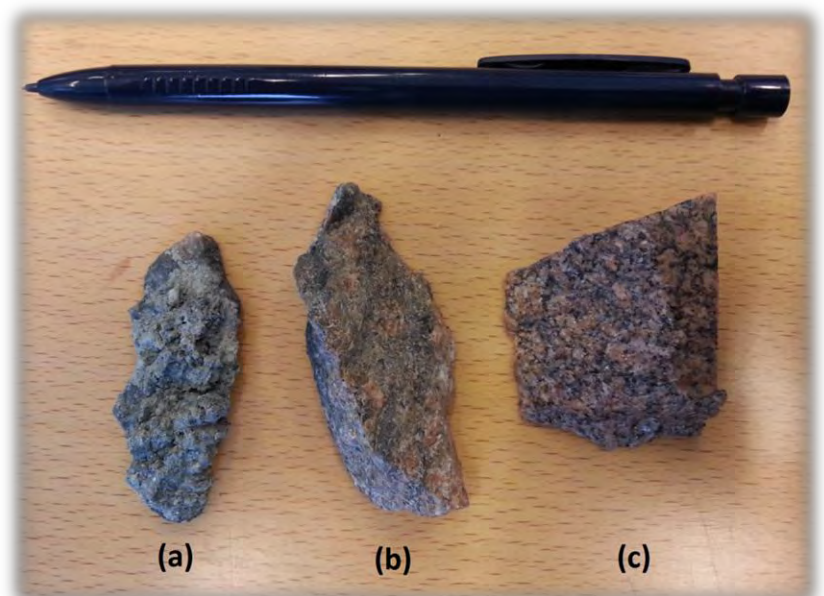
Provet "Frisk" är en massformig, jämnkornig och faneritisk bergart som uppvisar en ljus, rosa-grå färg med inslag av finare svarta korn. De grövsta kornen utgörs av mineral som är finare än 3 millimeter. Svarta korn har en kornstorlek på mindre än 1 millimeter och är också de finaste i stuffen.

Provbeteckning: Knappt omvandlad

Har liknande färger som "Frisk". Det som skiljer bergarterna åt är stuffens ojämnskornighet, delvis sprickighet och spröda yta som gör att bitar kan brytas loss med handkraft.

Provbeteckning: Något omvandlad

Provet är den svåraste att bedöma, eftersom ytan är väldigt spröd. Stuffen är ojämnskornig



Figur 6. Från stuffanalys kan färg och texturskillnader jämföras. Knappt omvandlad (a) visar tydliga tecken på vittring genom att vara väldigt spröd. Knappt omvandlad (b) är en mer stabil än (a), men mineralfragment går att bryta loss med handkraft. Frisk (c) är en förhållandevis stabil bergart med tydlig röd färg där fragment inte kan brytas loss med handkraft.

där de grövsta kornen är finare än 3 millimeter och de finaste kornen utgörs av lerfraktioner.

Provbeteckning: Referensprov

”Referensprovet” (se figur 7) uppvisar en ljus, vit-grå färg med inslag av svarta mineral som också är de minsta (< 1 mm). Texturen är faneritisk och kornen är ungefär lika stora. De största är upp till 3 mm och utgörs av rosa och ofärgade mineral. Denna bergart visar även upp kluster av biotit i samma storleksordning. Till skillnad från de insamlade proverna vid Värtahamnen känns ”referensprovet” betydligt starkare i sin struktur. Andra skillnader mot den ”Friska” graniten är färgen som har en mer ljus-grå ton.



Figur 7. Referensprovet är insamlat i Stockholmsområdet och visar upp en gråfärgad ton med biotitkumulat.

3.3 Mikroskopering

Under analyserna låg största vikten till att

undersöka vilka mineral som finns, eventuella texturer och sekundära omvandlingar som existerar i tunnslipen. Resultaten bekräftar förekomst av sekundära mineral som är typiska vittringsprodukter. Mineralsammansättningarna i de olika proven visar att de troligtvis kommer från samma moderbergart. Bergartsklassificering av proverna vid denna undersökningsmetod är baserad på Streckeisen (1976).

Slip: Frisk

Bergarten uppvisar en modal fördelning av kvarts (~50%), plagioklas (~20%) och k-fältspat (~30%) med accessoriska mineral som biotit och zirkon. Ortoklas är det fältspatmineral som förekommer mest frekvent. Andra mineral i bergarten som klorit, epidot, muskovit, sericit, kalcit och isotropiska oxidmineral har tolkats som sekundära mineral. Det är en ojämnkornig fördelning och formen på kornen är subhedrala till anhedrala. Sericitering av fältspatmineral är vanligt förekommande i tunnslipet. Kloritisering av biotit är kraftig där biotiten i princip är helt omvandlad (se figur 8). Epidot hittas på olika platser i tunnslipen, men framförallt nära kloritiserade biotitmineral. K-fältspat uppvisar delvis mikropertitiska texturer med albitlameller och carlsbadtvillingbildning. Kalcit kan identifieras i sprickor där det har accumulerats. En viss del kataklastiska mineral, mestadels kvarts, förekommer i sprickor. Bergarten har blivit klassificerad som *granit* baserat på diagram i bilaga 4.

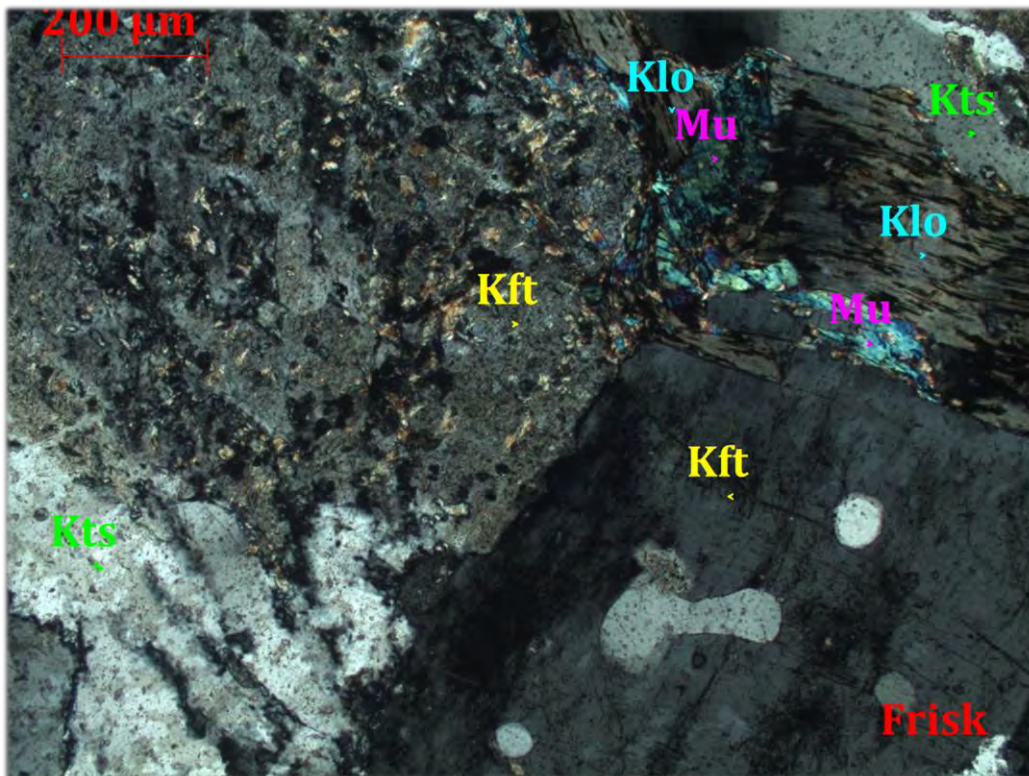
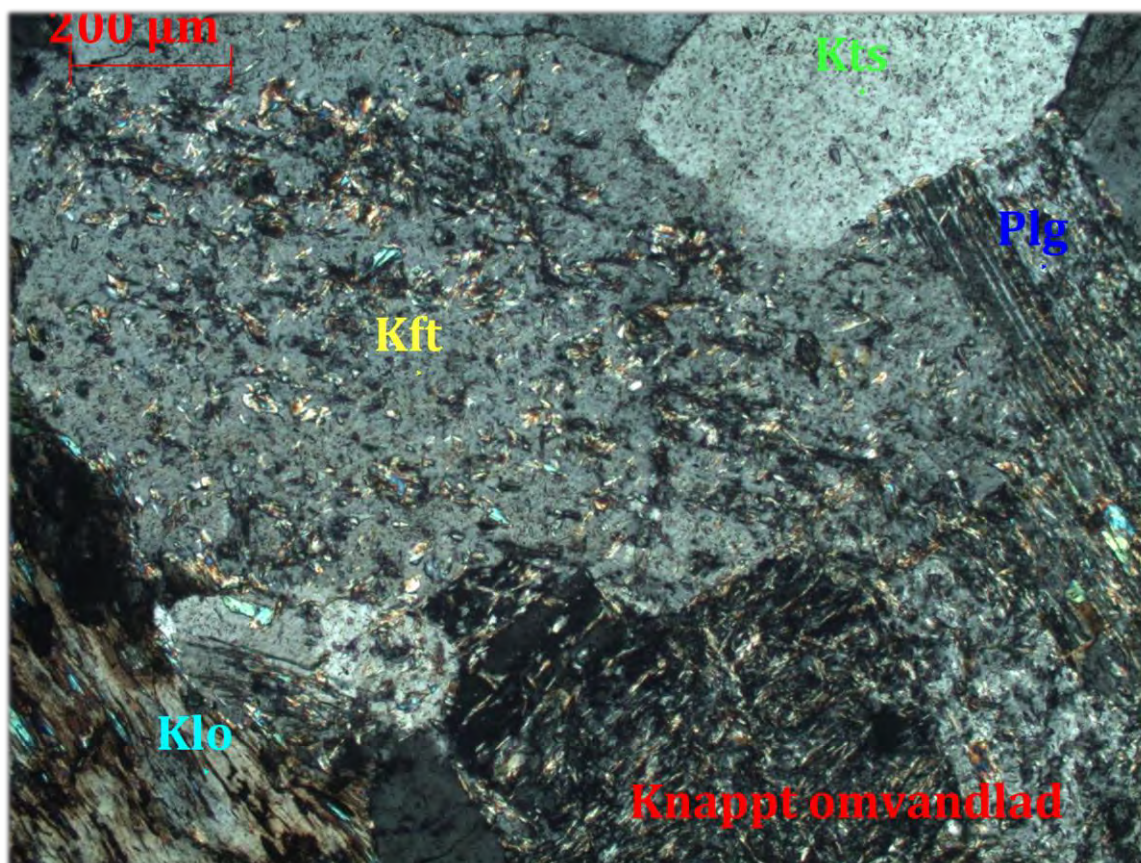


Figure 8. Från detta utsnitt av tunnslip från prov "Frisk" kan mineral som kvarts (Kts), klorit (Klo) och muskovit (Mu), samt två alkalifältspatmineral (Kft) varav ett är kraftigt sericiterad (ö.v.). Skalan för detta utsnitt kan ses uppe i vänstra hörnet.

Slip: Knappt omvandlad 1

Den något mer vittrade bergarten har en modal fördelning av kvarts (~50%), plagioklas (~10%) och k-fältspat (~40%). Att tillägga är att många mineral har blivit kraftigt sericiterade (se figur 9), vilket gör det svårare att bestämma vilken mineralgrupp de tillhör. Precis som tidigare är det mycket svårt att bestämma biotitmineral, eftersom de till stora delar är omvandlade till klorit. Trots vissa svårigheter med mineralbestämningen har denna bergart klassificerats som en *granit*.



Figur 9. En närbild av provet ”Knappt omvandlad 1” visar att seriticerings av fältspater (Kft - alkalifältspat och Plg - plagioklas) är omfattande där vissa mineral näst intill blir oigenkännliga exempelvis plagioklas ö.h.. Klorit (Klo) n.v. kan också identifieras i detta vittringssteg. Kvarts (Kts) ö.h.är relativt lätt att urskilja, eftersom seriticerings inte har haft samma effekt på mineralet.

Slip: Knappt omvandlad 2

Denna bergart uppvisar liknande mineral som i de tidigare fallen med en modal fördelning av kvarts (~65%), plagioklas (~5%) och k-fältspat (~30%). Texturerna och tidigare nämnda mineral återkommer även i denna bergart, men är ytterligare något mer vittrad. Egenskaperna i detta tunnslip är mycket lik provet ”Frisk”, men uppvisar tydligare tecken på vittring i form av sprickor och kataklastiskt flöde (se figur 10). Den höga mängden kvarts leder till att bergarten klassificeras som en *kvartsrik granitoid*.

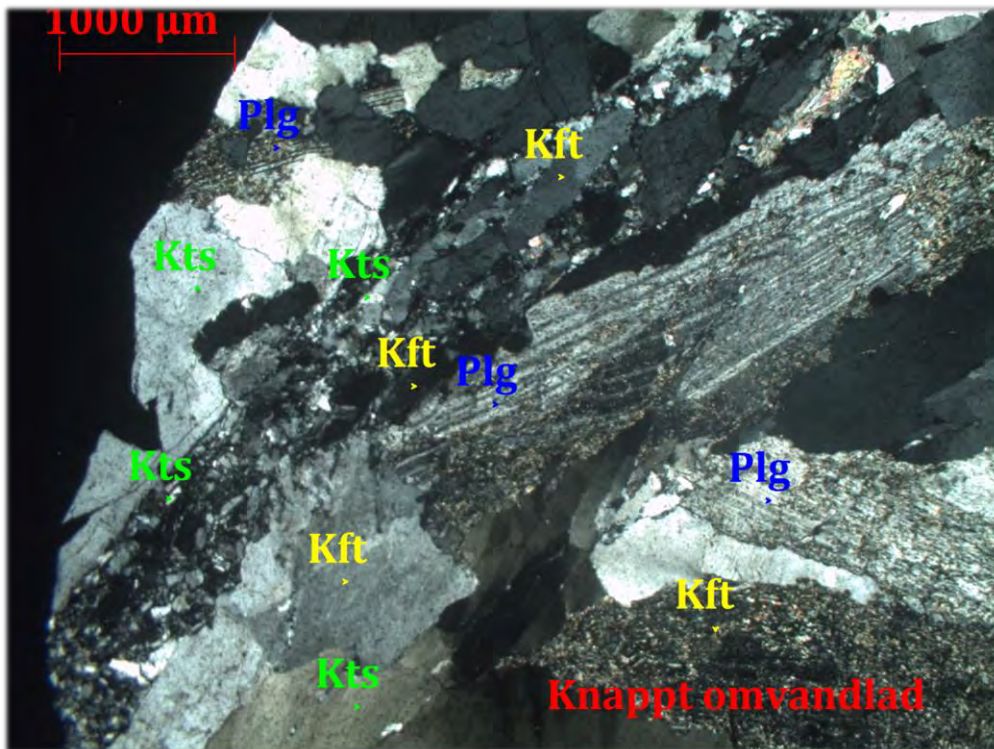


Figure 10. Provet "Knappt omvandlad 2" visar tydliga tecken på seriticerings av fältspater t.ex. alkalifältspat (Kft) n.h. och plagioklas (Plg) m.h.. Kataklastiskt flöde kan också identifieras där framförallt kvartskorn (Kts) utgör en diagonal remsa genom bilden. Observera att bilden är utzoomad.

Slip: Något omvandlad 1

Som tidigare nämnts representerar denna tunnslip inte helt den bergart som vid andra analyser benämns "Något omvandlad" på grund av vittringsgraden som orsakade svårigheter vid tunnslipstillverkning. Provet är ett mellanting i fråga om vittringsgrad mellan "Knappt omvandlad" och "Något omvandlad". Detta steg i vittringsprocessen visar följande modala fördelning av kvarts (~70%), plagioklas (~<5%) och k-fältspat (~25%). Mineral och texturer som återfinns i denna bergart är dem samma som vid tidigare stadier, men är här betydligt mer sprickig. Det är även en stor utbredning av kataklastiskt flöde (se figur 11) som bidrar till stora svårigheter i den modala bedömningen av innehållet i bergarten. Generellt kan bergarten betraktas som ett nätverk av kataklastiska mineral. Bergarten har klassificerats som en *kvartsrik granitoid*.

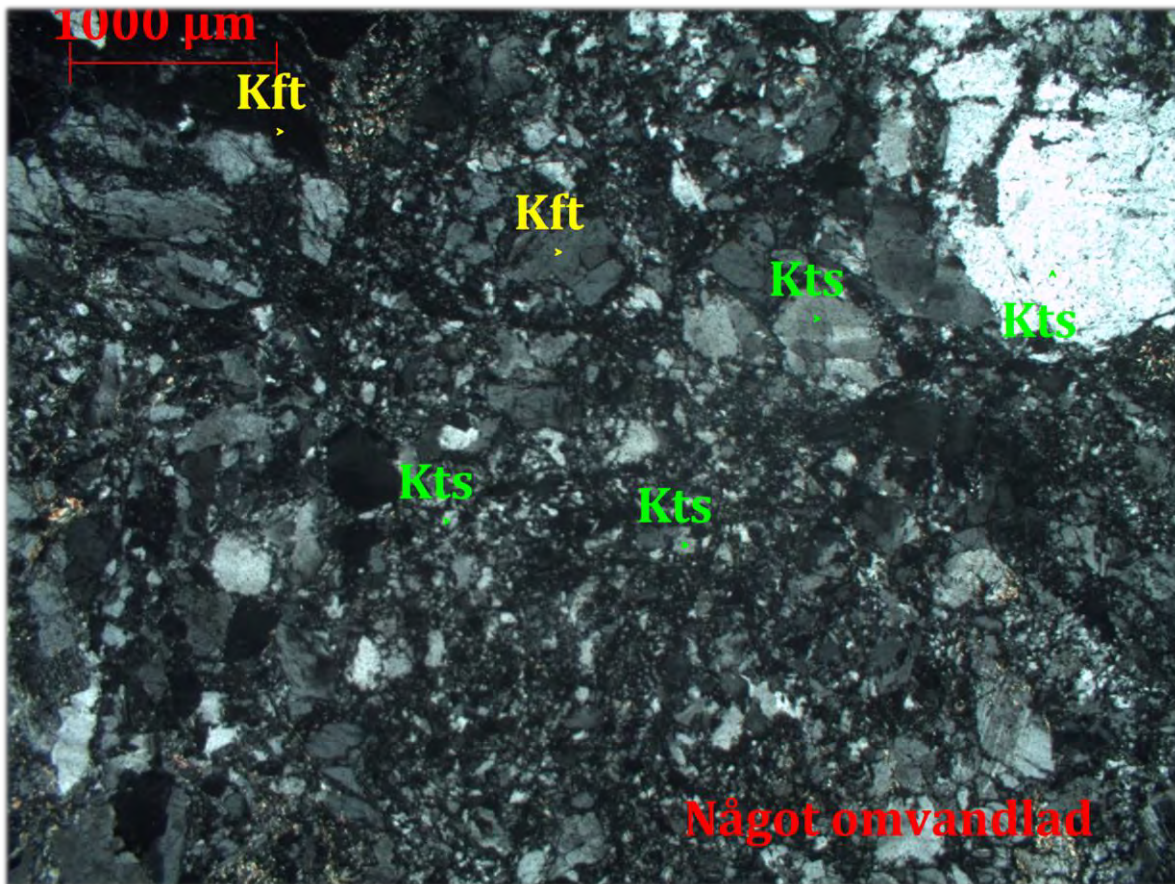


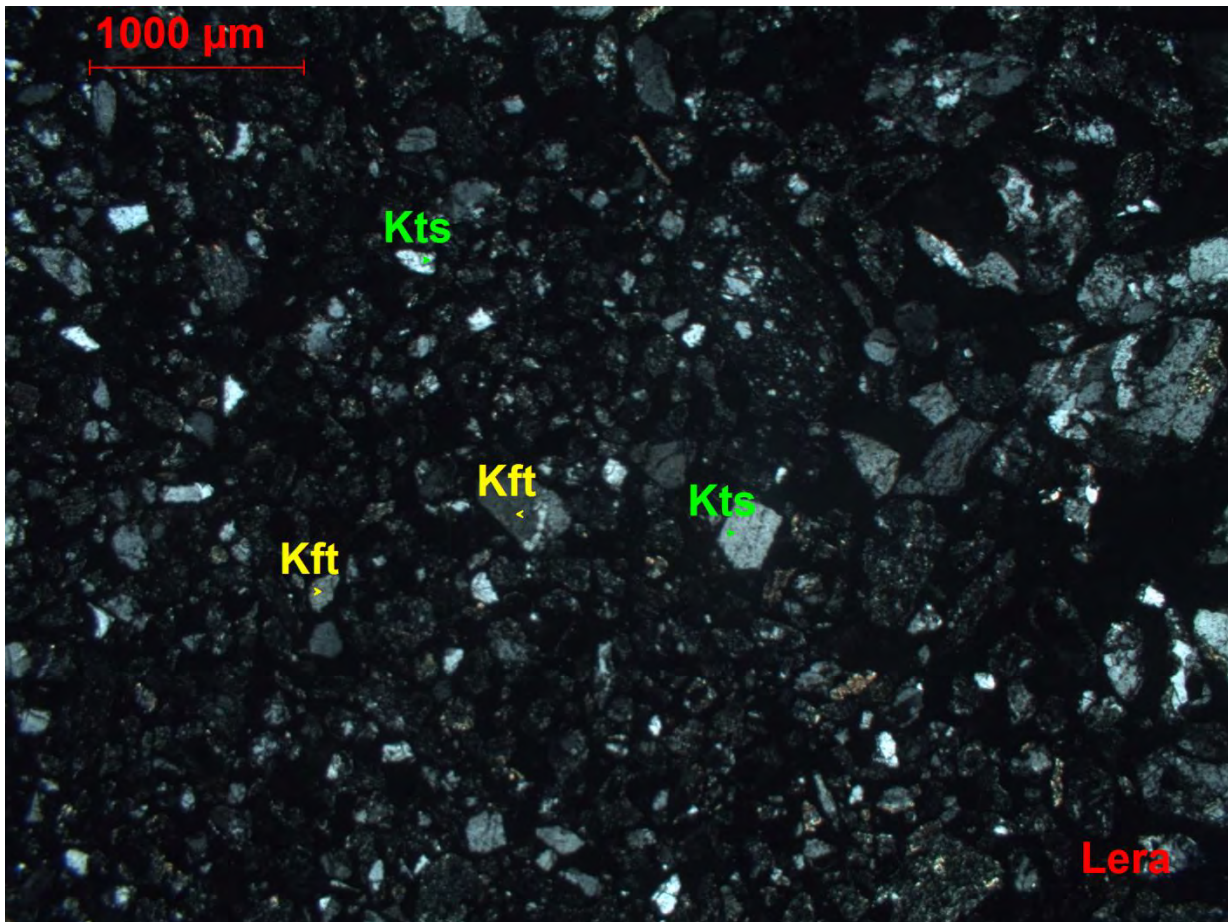
Figure 11. Provet "Knappt omvandlad" kan med hjälp av bilden betraktas som en bergart med stor utbredning av kataklastiska mineral som framförallt består av kvarts (Kts) och alkalifältspat (Kft) som nätt och jämnt lyckas hålla ihop bergartsstrukturen.

Slip: Något omvandlad 2

Denna bergart är mycket lik föregående med en modal fördelning av kvarts (~65%), plagioklas (~<5%) och k-fältspat (~30%). Som tidigare nämnts utgör kataklastiskt flöde, samt sprickor ett problem vid klassificering, men har kunnat bestämmas till en *kvartsrik granitoid*.

Slip: Lera

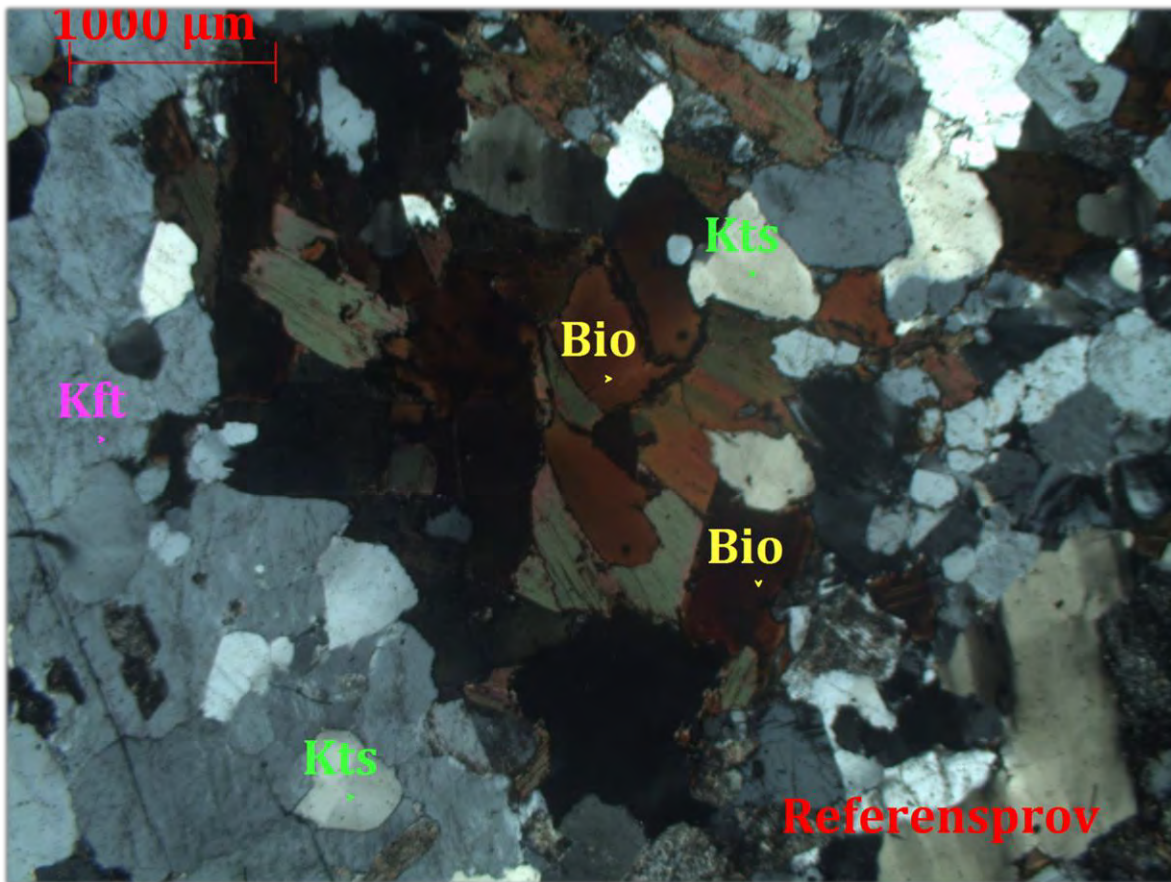
Tunnslipsanalysen visar på kataklastiskt material där kornen är anhedrala. På grund av sin finkornighet går det endast att identifiera enstaka mineral från provet (se figur 12), men framförallt är kvarts och alkalifältspat framträdande. Identifiering av mineral hänvisas istället till andra undersökningsmetoder så som ESEM-EDS-analys och-/eller XRD-analys.



Figur 12. Några grövre mineral som kvarts (Kts) och alkalifältspat (Kft) har identifierats i provet "Lera", men många är väldigt finkorniga, vilket försvårar identifikationsprocessen.

Slip: Referensprov

Denna bergart som är insamlad i närheten av Alvik visar en modal fördelning av kvarts (~55%), plagioklas (~10%), k-fältspat (~25%) och biotit (~10%). Mikroclin är den vanligaste fältspaten i slipet. Sericit som börjat omvandla fältspat finns i tunnslipet, men inte i samma utsträckning som i tidigare nämnda tunnslip. Utöver dessa mineral kan sekundära mineral som epidot, muskovit och isotropiska oxidmineral identifieras. Denna bergart är relativt lik "Frisk", men den stora skillnaden är frånvaron av klorit och istället kumulat av biotitmineral (se figur 13) som är tydligt synliga. Utifrån denna undersökning har bergarten klassificerats som en *granit*.



Figur 13. Stora biotit- (Bio)-kluster (cirka 2,5 millimeter i diameter). Kvarts (Kts) och alkalifältspat (Kft) är vanligt förekommande mineral i tunnslipet.

I tabell 3 är resultaten över modal fördelning av identifierade mineral från tunnslipsanalyserna och kan ge en bra överblick för hur vittring i bergarten påverkar mineralfördelningen. Den ökande relativa mängden kvarts med ökad vittringsgrad är ett tydligt tecken på hur fältspat har egenskapen av att vara mer lättvittrad.

Tabell 3. Jämförelse mellan tunnslipsanalyser visar hur vittringsgraden påverkar modal mineralfördelning. Ökad relativ mängd kvarts och minskad relativ mängd plagioklas med ökad vittringsgrad är ett tydligt tecken på hur kvarts är ett mer resistent mineral mot vittring än fältspater.

Prov Mineral	Frisk	Knappt omvandlad 1	Knappt omvandlad 2	Något omvandlad 1	Något omvandlad 2	Referensprov
Kvarts	50 %	50 %	65 %	70 %	65 %	55 %
K-fältspat	30 %	40 %	30 %	25 %	30 %	25 %
Plagioklas	20 %	10 %	5 %	<5 %	<5 %	10 %
Biotit	<5 %	<5 %	<5 %	<5 %	<5 %	10 %

3.4 ESEM-EDS

Mineral som varit svåra att bestämma enbart med mikroskop har med hjälp av ESEM-EDS-undersökning kunnat bekräftas. Från analysen kan klorit, k-fältspat och kvarts identifierats, men även andra mineral som sericit, titanit, pyrit, leucoxen (omvandlingsprodukt från Fe-Ti oxider) och zirkon förekommer i proverna. I bilaga 1 finns några av de identifierade mineralen representerade. Alla analyser har inte tagits med då många ger liknande resultat och därför inte tillför nödvändig information till denna undersökning. Som tidigare nämnts har denna undersökning gjorts i syfte att upptäcka kemisk sammansättning hos mineral som varit svåra att bestämma med hjälp av mikroskopering.

3.5 XRD

Resultatet för varje enskild analys kan ses i bilaga 2, men sammanfattas i denna del. Vid vinkeln $\sim 26,7$ grader i intensitetsgraferna finns den största intensitetstoppen i samtliga analyser. Denna topp ger ett d-avstånd av 3,34 Å, vilket motsvarar mineralet kvarts. Från analyserna och "score"-värden har förutom kvarts; plagioklas, k-fältspat, biotit, klorit, sericit, zeolit, kaolinit och svällande lermineral kunnat tolkas fram. Bilaga 3 visar en jämförelse mellan intensitetstoppar för proverna "Avskrapat" och "Sedimenterat & Blöt" (där skillnaden borde vara störst för svällande leror) för proverna "Något omvandlad", "LOR" och "LGL".

Precis som vid mikroskoperingsresultaten kan normativ mineralsammansättning vid olika vittringsgrad för XRD-analysen jämföras (se tabell 4). Sericit är vanligt förekommande i samtliga prov och ofta i stora mängder. En trend för svällande lermineral visar att mängden minskar några få procentenheter vid applicering av avjoniserat vatten i flera av analyserna. Proverna delas upp i en färgkodning baserat på vilken fas de tillhör: där ljus blå, röd, grön, samt grå representerar Fas 1, Fas 2, Fas 3 och Fas 4 respektive. Vid jämförelse av relativa mängder mellan olika faser (jämförelse inom färgkoden) kan "LOR", vid ljusblå färgkodning, urskiljas vara det prov med högst halt svällande leror. Röd färgkodning visar däremot "Knappt omvandlad" som det prov med högst halt. Halterna är relativt lika i de två sista faserna (grön och grå). Stora förändringar i halt av svällande lermineral kan framförallt ses i analyserna för proverna av "Lera" mellan blå och röd färgkodning. Andra resultat som kan ses med hjälp av tabell 4 är relativ mängd av alkalifältspat som dominerar kraftigt vid samtliga analyser. En annan intressant iakttagelse är låg mängd biotit i alla prov.

Tabell 4. Den relativa mineralfördelningen vid olika analyser (lodrät led) visar hur k-fältspat är det mineral som dominerar i samtliga prov. Även sericit är vanligt förekommande i proverna. Svällande lermineral har också identifierats i samtliga prov.

Prov \ Mineral	Kvarts	K-fältspat	Plagioklas	Biotit	Klorit	Sericit	Zoesit	Kaolinit	Svällande lermineral
Knappt omvandlad - Mjöl	11 %	35 %	14 %	1 %		16 %	3 %	6 %	15 %
Knappt omvandlad – Mjöl & Blöt	12 %	40 %	16 %	1 %		14 %	3 %	2 %	13 %
Något omvandlad - Avskrap	12 %	38 %	10 %	1 %		21 %	2 %	2 %	13 %
Något omvandlad – Avskrap 2	14 %	38 %	11 %	1 %		19 %	2 %	1 %	13 %
Något omvandlad – Direkt & Blöt	12 %	34 %	17 %	2 %	4 %	17 %	2 %	3 %	8 %
Något omvandlad - Sedimenterat	9 %	36 %	13 %	2 %	4 %	20 %	2 %	3 %	11 %
Något omvandlad – Sedimenterat & Blöt	4 %	37 %	19 %	4 %	5 %	14 %	3 %	4 %	9 %
LOR - Direkt	11 %	39 %	11 %	1 %	3 %	19 %	2 %	1 %	13 %
LOR – Direkt & Blöt	12 %	34 %	17 %	1 %	5 %	18 %	2 %	4 %	7 %
LOR - Sedimenterat	9 %	38 %	11 %	2 %	5 %	19 %	2 %	4 %	10 %
LOR – Sedimenterat & Blöt	6 %	36 %	12 %	3 %	8 %	15 %	3 %	8 %	9 %
LGL – Direkt	7 %	37 %	7 %	1 %	3 %	19 %	2 %	1 %	22 %
LGL – Direkt & Blöt	12 %	33 %	14 %	2 %	5 %	20 %	2 %	5 %	7 %
LGL - Sedimenterat	9 %	37 %	11 %	2 %	5 %	17 %	3 %	4 %	12 %
LGL – Sedimenterat & Blöt	6 %	33 %	13 %	3 %	9 %	16 %	2 %	9 %	9 %

4. Diskussion

4.1 Felkällor och analysproblem

De generella felkällorna som kan uppstå är framför allt att ta ut ett representativt snitt från moderbergarten. Denna potentiella felkälla är återkommande vid samtliga undersökningsmetoder. Skillnader i mineralsammansättning mellan olika vittringsgrader kan bero på element som har lösts upp och sedan runnit iväg från insamlingsplatsen. Det är även möjligt att element har ackumulerats i exempelvis sprickor, vilket bidragit till en förändrad relativ fördelning.

Att bygga tolkningen på tidigare undersökningar kan ses både som en nackdel och en fördel. Det är lätt att försöka få exempelvis ett mineral att tolkas som ett väntat resultat om en tidigare undersökning har gjorts där mineralet identifierats. Fördelen med att basera tolkningarna på andra undersökningsmetoder leder till att tolkningarna blir mer underbyggda av tidigare resultat. Andra felkällor och analysproblem har satts in under respektive undersökningsmetod som de har kunnat uppstå vid. Sammanställningsvis kan sägas att tolkning av resultat, utan tvekan, är den mest tidskrävande delen i detta arbete.

Fältarbete/Kartering

Eftersom fältarbetet/kartering genomfördes under handledning av Bergabs egen personal samtidigt som en pågående tunneldrivning blev tiden i fält begränsad. Mer tid hade kunnat ge större noggrannhet vid kartering av den vertikala sprickan, samt ge ett större underlag vid efterföljande undersökningar och analyser. En exakt position har inte angivits och en mer grundlig kartering har undvikits på grund av sekretessföreskrifter.

Stuffanalys

Stuffanalys kan främst ge ett första intryck av bergarten för att snabbt få en inblick på eventuella händelser och processer som varit inblandade. Att enbart undersöka stoffen kan dock inte rekommenderas, eftersom bland annat färg och struktur som kan tyckas verka bekräfta vissa antagen kan komma att vara felaktiga vid vidare mikroskopiska och kemiska analyser. Finkornigheten i samtliga prov har bidragit till vissa svårigheter vid bergartsklassifikation. Då det finns väldigt lite bakgrundsinformation om "Referensprovet" är det svårt att veta hur väl det snittet representerar berggrunden det är insamlat ifrån. En exakt position vid insamling av detta prov har inte angivits och kan därför inte kontrolleras.

Mikroskopering

Troligen den viktigaste analysmetoden för denna undersökning, eftersom omvandlingar av mineral och texturer blir visualiserade. Däremot är analysen baserad på subjektiva tolkningar och observationer som visserligen är underbyggda på tidigare undersökningar.

Provet ”Något omvandlad” var väldigt spröd och därför gjordes tunnslip på något mindre vittrade stuff som mer liknade ett kraftigt vittrat exemplar av provet ”Knappt omvandlad”. Både ”Något omvandlad” och ”Knappt omvandlad” antas vara från samma ursprungsbergart baserat på deras insamlingsplats.

Eftersom proverna har klassificerats efter normativ sammansättning vid visuell analys kan fördelningen skilja något från kvantifiering med mer avancerade metoder. En mer avancerad analys har inte vidtagits då syftet har varit att ge en överblick över mineralfördelningen och inte absoluta värden.

Den första upplagan tunnslip fick göras om, vilket berodde på tunnslipstjockleken blev för tunn då de slipades tillsammans med andra tunnslip med varierande hårdhet. Framställningen tog därför längre tid än planerat.

Det är inte säkert att tunnslipsanalysen kan ge svar på vilka processer som orsakar erosion och vittring utan bör kompletteras med andra undersökningar.

ESEM-EDS

ESEM-EDS-analys är värdefullt för en undersökning som denna, eftersom resultatet kan ge bra indikation på förekomst av element- och sammansättningskillnader i bergarten. Att tolka resultatet kräver ofta god kännedom om vilka mineral som kan tänkas finnas närvarande då vissa element kan befinna sig på olika platser i mineralstrukturen. EDS-analys är en mycket bra metod att använda vid fasövergångar av ett mineral där resultatet kan underlätta beskrivningen av reaktionen. Undersökningen fungerar dock bäst som ett komplementverktyg då det skulle vara allt för tidskrävande att göra analyser på hela provet då mineral måste tolkas från grundämnessammansättning. För att förbättra denna undersökning skulle fler mineral kunnat analyseras för att ge ett större underlag, men på grund av tidspress har denna typ av analys varit mer inriktat på att bekräfta osäkra mineral som observerats i tunnslip.

Att sätta ihop en kemisk formel och därmed identifiera mineral kan vara ett stort problem vid EDS-analys. Speciellt när det kommer till mer komplexa mineral som leror är denna metod begränsad, eftersom programvaran inte tar hänsyn till exempelvis järns olika oxidationsstadier eller elements positioner i mineralstrukturen.

Förekomst av kol hittas i många av proven och framför allt i ”Sorterad lera”. Detta skulle kunna förklaras om det är limmet som är källan till den höga halten, eftersom limmet omger och ligger på samma nivå från tunnslipsglasat som provmaterialet. I andra prov där materialet avgränsas från limmet genom tunnslipsglasat är kolhalten också hög (i många fall), vilket utesluter lim som orsak vid dessa prover. Vidare undersökningar rekommenderas för att få en förklaring till detta.

Analysmetoden är inte särskilt tidskrävande, men beror också på hur stor del av provet som ska undersökas eftersom varje analys baseras på en yta av 1 mikrometer. Analysen kräver tolkning av resultat som kan ta väldigt lång tid då det kan vara svårt att bestämma ett mineral från den absoluta grundämnessammansättningen. Den höga förekomsten av kol har också bidragit till en del tidskrävande beräkningar för att identifiera mineral som oorganiska.

XRD

Mjukvaran som används vid tolkning av data har vissa begränsningar. På grund av dessa rekommenderas viss förkunskap om mineral och möjlighet att existera tillsammans i ett och samma prov. Det kan även vara bra att göra någon typ av mineralogisk undersökning innan för att få ett bra underlag om vad för typ av bergart som undersöks.

Instrumentala fel kan korrigeras och identifieras genom användning av minst ett standardmineral som har välkända d-avstånd (exempelvis kvarts). Tillplattning av prover inför XRD-analys kan leda till en skenbar förhöjd halt av lermineral i provet, eftersom lermineral gärna lägger sig i plana lager. Problem vid denna analys blir att kunna separera enskilda lermineral från varandra då de gärna bildar en blandstruktur. Denna blandstruktur leder troligtvis till att några tydliga toppar för enskilda lermineral inte finns registrerade. Det är möjligt att flera mineral som finns i proverna inte har registrerats på grund av att d-avstånden redan registrerats av andra mineral i provet. Detta leder till att kvantifieringen med denna metod inte är fullständigt tillförlitlig då topparna kan överlappas av andra toppar. På grund av denna kvantifieringsmetod påverkas även mängd av identifierade mineral. Kvantifieringen kan göras med mer specifika metoder, men kräver mer tidsåtgång och var inte ett mål vid denna undersökning. Användning av XRD-instrument är därför ett bättre alternativ att använda när antalet mineralfaser i provet är färre. Den exakta kornstorleken på pulvret som användes vid analysen har inte kontrollerats vara av storleksordningen mindre än 10 μ m. Skillnader i kornstorlek kan påverka intensitetstopparna och ge avvikande resultat. Materialet har antagits vara tillräckligt nedmalt när friktionsljud slutat uppstå. Om detta har påverkat resultatet skulle den förväntade slumpmässigt fördragna riktningen på mineralkornen istället kunna vara ordnad och skulle därför kunna påverka den kvantitativa analysen. Eftersom alla prover innehåller lermineral skulle dessa troligtvis lägga sig i en

specifik riktning och därmed inte slumpmässigt vid tillplattning. Hur malningen har påverkat mineralens strukturuppsättning har inte undersökts, men effekten av tillförd påfrestning skulle kunna reduceras om malningen skett i vått tillstånd.

Instrumentet är lätthanterligt och kräver inte några större, tidigare erfarenheter då det mesta sker per automatik. Analysen är dessutom relativt snabb (cirka 20 minuter per prov), vilket gör metoden väldigt effektiv. Som tidigare nämnts underlättar tidigare erfarenheter tolkningen från resultatet som annars kan vara tidskrävande.

4.2 Jämförelse mellan resultaten för tunnslips- och XRD-analys.

Genom att jämföra visuella observationer (tunnslip) med kemiska och fysikaliska aspekter (EDS- och XRD-analys) kan resultatet avslöja vilka mineral som generellt kan identifierats. Även likheter och skillnader i resultat är intressant för att underbygga tolkningar. EDS-analys baseras på enstaka mineralkorn och inte på den totala mineralvariationen i provet. På grund av detta har en jämförelse mellan EDS-analys mot tunnslips- och XRD-analys inte gjorts. Eftersom syftet med XRD-analys var att identifiera mineral med framförallt finare kornstorleksfraktioner ansågs provet ”Frisk” inte vara tillräckligt omvandlad för att genomgå analys. Provet kan därmed inte jämföras med övriga prov i de båda analysmetoderna. Finkornigheten från provet ”Lera” har inneburit att en mineralsammansättning inte kunnat göras i tunnslip. ”Knappt omvandlad” är det *minst* omvandlade provet som genomgått både visuell- och XRD-analys och kan därför användas som en referens mot ”Något omvandlad” för att upptäcka mineralskillnader. De sistnämnda proverna är dem enda som genomgått båda analysmetoderna och därför dem enda som kan jämföras i detta sammanhang.

Den största skillanden mellan analysmetoderna är förutom metoden noggrannheten av identifiering av mineral. Tunnslipsanalysen bygger på observationer och karaktäristiska drag hos mineral. Mineral vid XRD-analys kan identifieras med hjälp av interna strukturskillnader mellan mineral, vilket kan ge en större distribution. Med hjälp av XRD-analys kan finkornigare mineral (lermineral) identifieras, vilket inte är möjligt vid tunnslipsundersökning.

4.3 Jämförelse mellan ”frisk” granit och referensprov

En tydlig skillnad mellan de båda bergarterna är färgen. Den ”friska” graniten uppvisar som bekant en röd-rosa ton till skillnad från ”referensprovet” som är gråaktig.

Referensprovet visar inga tydliga tecken på klastisk deformation i tunnslip som den ”friska” graniten. Den tydliga skillnaden som syns i tunnslip mellan bergarterna är biotit-klorit-förhållandet. I referensprovet hittas tydliga biotitmineral och förekommer även som kluster till skillnad från den

”friska” där biotiten är så gott som omvandlad till klorit. Vid identifiering av mineral i tunnslipen framgår även en skillnad i vilken typ av alkalifältspat som dominerar i proverna. I referensprovet är mikroklin särskilt framträdande till skillnad från den ”friska” där ortoklas är klart dominerande.

4.4 Vidare diskussion

Att samtliga prov i denna undersökning kommer från samma magmatiska kropp råder det inga tvivel om, eftersom proverna innehåller liknande mineral. Från tunnslipsanalysen kan provet ”Frisk” klassificeras som en granit och övriga insamlade prov som mer omvandlade eller vittringsprodukter. Figur 1 visar att bergarter som dominerar i området är granit och kvarts- och fältspatrika sedimentära bergarter. Klassificering av den efterfrågade bergarten som *granit* stämmer därför bra överens med berggrundskartan. Från berggrundskartan och enligt Wik m.fl. (2005) är det troligt att bergarten som omger denna granit troligtvis är metasedimentär och omkring 1,9 miljarder år gammal. Fler undersökningar rekommenderas för att kunna ge svar baserat på mer underlag än geologiska kartor och generella undersökningar för Stockholmsområdet. Den röda graniten tillhör troligtvis gruppen yngre djupbergarter ”Stockholmsgranit” som bildades för cirka 1,8 miljarder år sedan. Även det grå, biotitrika, undersökta ”referensprovet” tillhör troligtvis denna grupp då proverna visar stora likheter.

Vittring har konstaterats vara orsaken till bergartens sprödhet och beror troligtvis på en kombination av flera olika processer. Med hjälp av denna undersökning har kloritomvandling från biotit och fältspater till sericit tolkats i bergarten. Mineral som tolkats som klorit har fortfarande kvar en del kalium som enligt formeln inte borde ha det utan frisättas från biotiten. En ofullständig fasövergång mellan mineralen skulle kunna ses som en förklaring, men har inte kunnat fastställas med EDS-analys. Det bör dock nämnas att biotit inte har kunnat identifieras från den kemiska sammansättningen. Som tidigare nämnts används identifiering med hjälp av EDS-analysen inte på hela provet utan på utvalda ytor och en mer utförlig undersökning skulle kunna ge tydligare steg i omvandlingsprocessen. Omvandlingen av fältspater till sericit kräver kalium-joner och är troligtvis beroende av omvandlingen av biotit till klorit, eftersom fria kalium-joner är en produkt vid kloritomvandling. Sericit är som tidigare nämnt en omvandlingsprodukt från fältspater och med hjälp av de olika analysmetoderna har sericit tolkats finnas, av varierande grad, i samtliga prov. Eftersom förekomsten av sericit ser ut att öka, ses i tunnslipsanalys, kan hypotesen om ökad vittring också stödjas.

Pyrit har påträffats i bergarten och kan under oxidation bilda svavelsyra. Andra oxidmineral som exempelvis *leukoxen* som är en omvandlingsprodukt från titanmineral har identifierats i bergarten och stämmer därför väl överens med produkter som bildas vid kloritisering av biotit. En reaktion orsakat av fluider skulle därför kunna vara anledningen till denna vittring.

Eftersom bergarten har observerats vara mer spröd, alternativt lerig, närmare sprickan är det med stor sannolikhet att den har en betydande effekt för vittringsgraden. Vilken typ av process som bildat sprickan eller om det är andra orsaker kopplat till den som i sin tur bidragit till sprödheten är oklart och skulle behöva undersökas ytterligare. Det är mycket troligt att vatten har varit inblandad i sprickprocessen, eftersom bergarten var fuktig.

Provet som innehåller lera avger en lukt av mögel, vilket skulle kunna indikera på en viss halt organsikt material. Att resultat visar på en liten mängd kol i proverna borde inte vara helt överraskande med tanke på att proverna beläggs med ett ledande kollager. Det som dock kan diskuteras är när vissa prov har kolhalter som går upp till över 50 procent i vissa prov och även i prov där en kolbehandling inte har gjorts. Orsaken till hög kolhalt i det obehandlade tunnslipet har inte kunnat förklaras, men skulle kunna vara en analytisk defekt. Som nämndes tidigare i denna rapport finns en anslutande kollagertunnel till den tunnel denna undersökning utfördes i. Möjligheten att material från kollagret har kunnat bidra till en viss del organisk halt i det insamlade lerprovet bör därför inte uteslutas.

Utöver ovanstående iakttagelser har kataklastiska mineral observerats i tunnslip som ökar med ökad vittringsgrad. Med ökad vittringsgrad ökar även relativa mängden kvarts. Denna mekanism kan inte ses i den grå referensgraniten. Förekomst av kataklastiska mineral skulle kunna ses som ett resultat av tidigare kemisk vittring som den grå graniten inte varit med om.

Genom att jämföra resultatet för standardproverna ("Något omvandlad – Direkt" och "Något omvandlad – Direkt 2") vid XRD-analys går det att se att avvikelserna i sammansättning endast är några få procentenheter. Baserat på denna observation kan instrumentet anses ge relativt kalibrerade resultat. Resultatet från analyserna med avjonat vatten i proverna ger en ökad intensitet av samtliga d-avstånd, det vill säga i y-led. Tydligast är denna förändring vid vinklar typiska för lermineral. Detta fenomen har inte kunnat förklaras. Den svällande effekten kan dock vara svår att se i graferna, eftersom topparna blir väldigt breda vid applicering med avjonat vatten. På grund av tidsbrist har inte metoder som kan separera lermineral använts, men rekommenderas starkt om syftet med undersökningen är att ge ett definitivt svar om vilka typer av svällande leror som finns i provet.

4.5 Tidsåtgång och kostnad för analysmetoder

Mikroskopi

Mycket av tiden som spenderades av detta arbete har lagts på preparering och framställning av tunnslip. Tiden för framställning av tunnslip kan variera beroende på önskat resultat och mängden önskade prov, men kräver minst tre arbetsdagar. Analystiden för tunnslip kan vara svårbedömd, eftersom tidsåtgång beror på syftet med undersökningen och vilka förkunskaper som finns. För detta arbete var den

sammanlagda tidsåtgången för framställning och analys cirka tre veckor. Stuff kan även skickas iväg till laboratorier, exempelvis: *Vancouver GeoTech Labs* (CAN\$21.40/slip – helt pris, Can\$18.83/slip - studentpris) för tunnslipstillverkning. Framställningsprocessen tar mellan fyra till sex veckor exklusive frakttid.

ESEM-EDS

Vid ESEM-EDS undersökningen användes samma tunnslip som vid mikroskopering. Det går även att applicera lerprov direkt i instrumentet. Förutom tidsåtgång för tunnslipstillverkning är tolkning av resultat vid EDS-analys det mest tidskrävande steget. Tolkning av resultat är mycket beroende på förkunskaper, mängden analyser, samt noggrannhet och sammansättning i provet. Analysmetodens tidsåtgång i denna rapport tog cirka två till tre veckor. Att tillägga är att analysen med instrumentet går väldigt fort (några minuter per analys), men beror framförallt på hur många analyser som görs. Kostnaden för externa användare av instrumentet på Stockholms universitet debiteras till 1500 kronor per timme.

XRD

Preparering av prover inför XRD-analys (pulvermetoden) går relativt fort då proverna endast behöver malas ner till stenmjöl. Analysen tar cirka 20 minuter per prov och kan vara tidskrävande om instrumentet inte har en inbyggd hållare för prover som sköter byte automatiskt. Tolkning är även vid denna analysmetod väldigt tidskrävande och förkunskaper om vilka mineral som finns i provet är av mycket stor nytta. Tidsåtgången för denna analysmetod i rapporten kan beräknas till ungefär en till två veckor. Undersökningen gjordes på Naturhistoriska riksmuseét i Stockholm som debiterar en avgift på 400 kronor per timme för instrumenttid med egen operatör.

4.6 Rekommendationer

Vidare undersökningar vid andra tunnelprojekt där liknande problem har uppstått rekommenderas. Fler och utförligare metoder bör eftersträvas för att ta reda på om processerna (hydrering och potentiella vittringsorsaker) som skett vid den efterfrågade graniten har överensstämmer med andra graniter som orsakar problem vid applicering av sprutbetong i berggrundstunnlar i Stockholm.

5. Slutsats

Bergarten kan genom denna förstudie betraktas som en spröd granit med stor vittringsförmåga som troligtvis beror på lättvittrade mineral orsakat av mineralomvandling och oxidering. Från de olika undersökningsmetoderna som gjorts vid denna förundersökning går det att konstatera att provet som betraktas som en ”frisk” granit i själva verket börjat omvandlas och vittra sönder. Kemisk vittring är

troligtvis den omvandlingsprocess som dominerar i bergarten baserat på sericitisering av fältspater och kloritisering av biotit som har identifierats vid tunnslipsanalys. Orsaken till den kemiska vittring skulle kunna bero på en reaktion mellan bergarten och fluider som beskrivs av Eggleton & Banfield (1985); Ferry (1985); Shabani (2009); Tulloch (1979) och Winter (2010).

Kataklastiskt material har observerats vid tunnslipsundersökning, vilket tyder på någon form av påfrestning i bergarten. Orsaken till denna påfrestning skulle kunna vara intern från bergarten själv, vattentryck, eller som tidigare nämnt kemisk vittring. Även svällande leror har identifierats i bergarten med hjälp av XRD-analys och skulle kunna vara en orsak till svårigheterna som uppstår vid applicering av sprutbetong på denna typ av granit.

Tack till

I första hand vill jag tacka medarbetarna Jennifer Wännseth, Fredrik Östling och Anna Engström på Bergab som möjliggjort denna undersökning och bidragit med kunskap och handledning. Sedan vill jag också tacka Ulf Hålenius och Mariann Ahlbom för deras respektive expertis av XRD- och ESEM-EDS-utrustning. Dan Zetterbergs kunskap och handledning vid provpreparering har varit ovärderlig och han förtjänar en stor eloge. Även Eve Arnold ska ha ett stort tack för vägledande kommentarer vid tolkning av XRD-resultat. Till sist vill jag naturligtvis tacka min handledare Joakim Mansfeld som bidragit med stort stöd, bra tips och diskussioner.

Referenser

Berglund K., Gustafson Bjuréus A., 2008. *Markstrukturtest i fält*. Beskrivning och instruktioner, SLU, Rapport 8, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för hydroteknik, s.27.

Dodge F.C.W., 1973. *Chlorites from granitic rocks of the central Sierra Nevada batholith; California*. Mineralogical Magazine, 39: 58-64 (1973).

Eggleton R. & Banfield J., 1985. *The alteration of granitic biotite to chlorite*. American Mineralogist, Department of Geology Australian National University Canberra – Australia 2601, [online]. Vol.70, s 902-910. Tillgänglig på:
http://www.minsocam.org/ammin/AM70/AM70_902.pdf. [Besöktes 12:e mars 2014]

Essington M.E., 2004. *Soil and water chemistry: an integrative approach*. CRC Press LLC. S.75

Ferry J.M., 1985. *Reaction mechanisms, physical conditions and mass transfer during hydrothermal alteration of mica and feldspar in granitic rocks from south-central Maine*. American Journal of Science, 278: 1025-56 (1985).

Nesse W.D., 2009. *Introduction to mineralogy*. 1st ed. Madison Avenue, New York, New York: Oxford University Press, Inc. S.235-260, 378-382.

Meunier A. & Velde B., 2004. *Illite: Origins, Evolution and Metamorphism*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Tyskland. S.1-289.

Shabani T.A.A., 2009. *Mineral Chemistry of Chlorite Replacing Biotite from Granitic Rocks of the Canadian Appalachians*. Journal of Sciences, Research Center for Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, University of Tehran, Islamic Republic of Iran 20(3): 265-275.

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. *SGU (Sveriges geologiska undersökning)*, Ba 58, 1-44.

Streckeisen A. L., 1976. *Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt*. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte, 1976, H. 1, 1-15.

Tarbuck E., Lutgens F., Tasa D., 2013. *Earth – An Introduction to Physical Geology*. 7th edition. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Printice Hall. S. 1-744.

Tombácz E., Szekeres M., 2008. Surface charge heterogeneity of 1:1 and 2:1 type clay particles in aqueous suspension. *In 5th International Conference - Interfaces Against Pollution*. Kyoto, Japan, 1-4:e juni. Szeged, Hungary: University of Szeged, Department of Colloid Chemistry. S: 1-16.

Tulloch A.J., 1979. *Secondary Ca-AL Silicates as Low-Grade Alteration Products of Granitoid Biotite.* Contributions to Mineralogy and Petrology 69:105-117. University of Otago, New Zealand: Springer-Verlag.

Wik N-G., Stephens M.B., Sundberg A., 2005. Malmer, industriella mineral och bergarter i Stockholms län. *Rapporter och meddelanden 117*, [Online]. SGU (Sveriges geologiska undersökning), 148 sidor. Available at:
http://www.sgu.se/dokument/service_sgu_publ/RM117.pdf. [Besöktes 9:e oktober 2013].

Winter John D., 2010. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology.* 2nd ed. New Jersey: Pearson Printice Hall. S. 47-48.

Institutioner:

Kungliga Lantbruksstyrelsen., 1965. Kungörelser m. m. Nr 1. Solna. Stencil.

SGU. Berggrundskarta: http://maps2.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html [Hämtades 22:a april 2014].

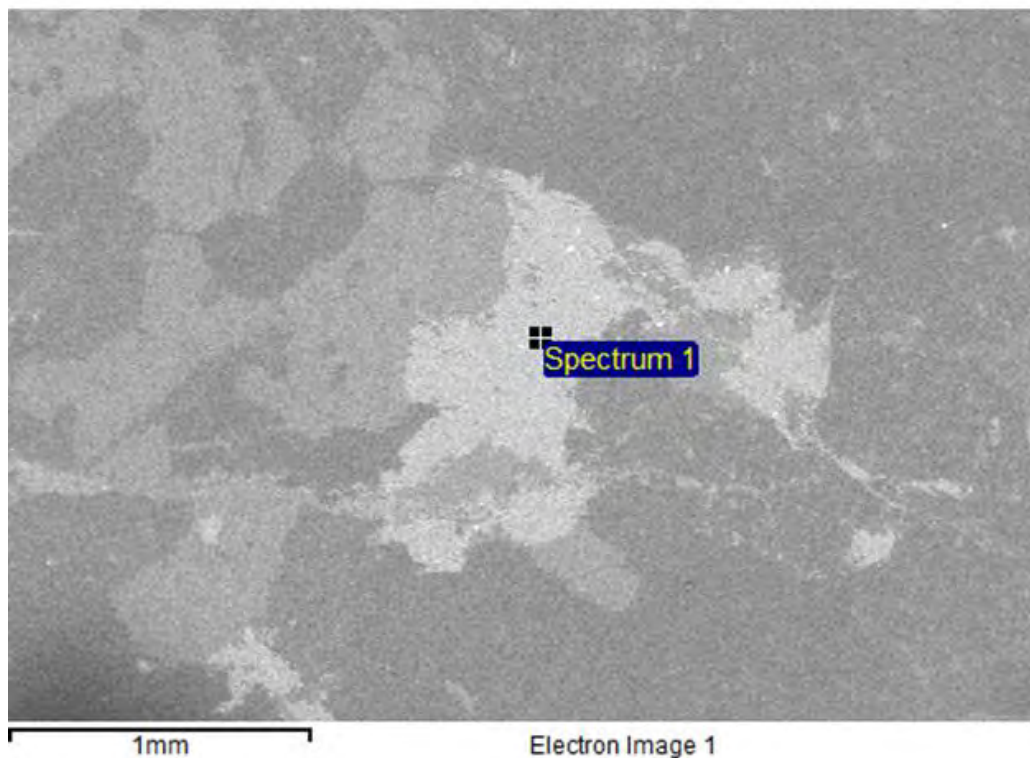
Bilaga 1

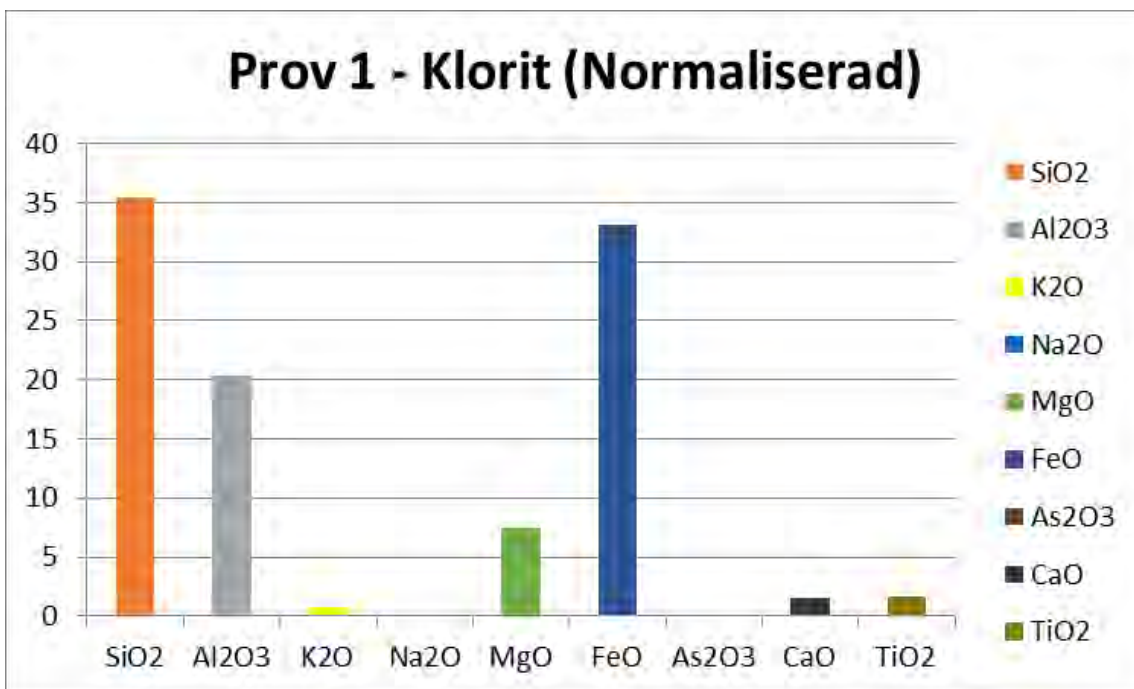
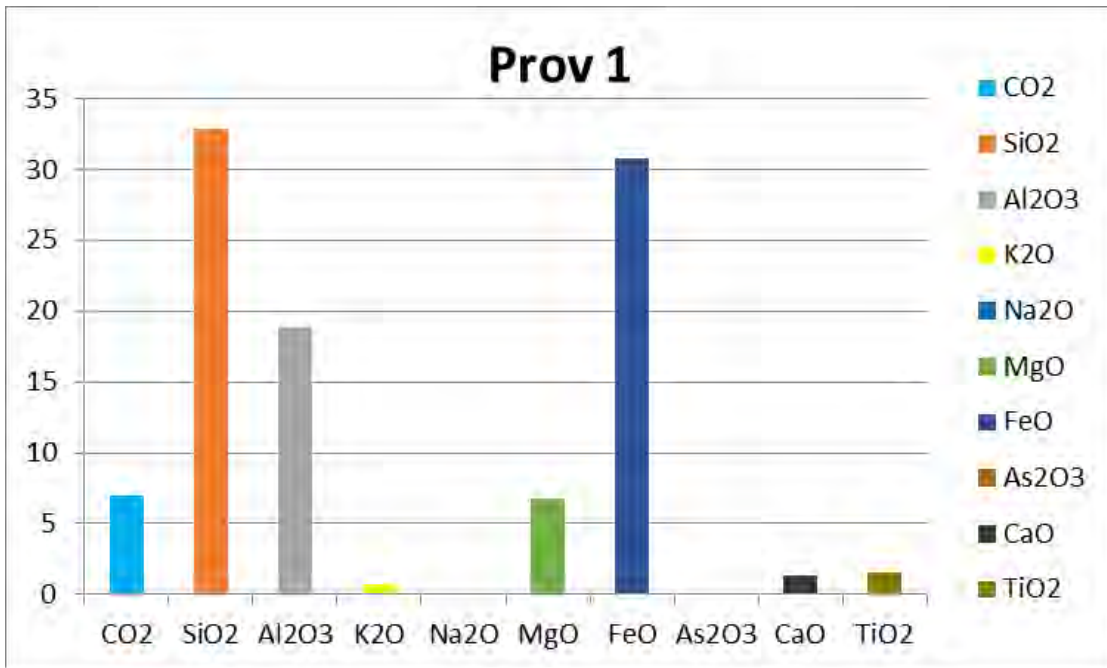
Nedan följer exempel på analyser från ESEM-EDS-undersökningen. Då många av resultaten kemiskt liknar varandra och antas därför vara samma typ av mineral har endast några utvalda fått vara med i denna bilaga. Övriga analyser kan fås efter kontakt med Daniel Wahl Edman.

"Frisk" – Utan kolbeläggning

Prov 1

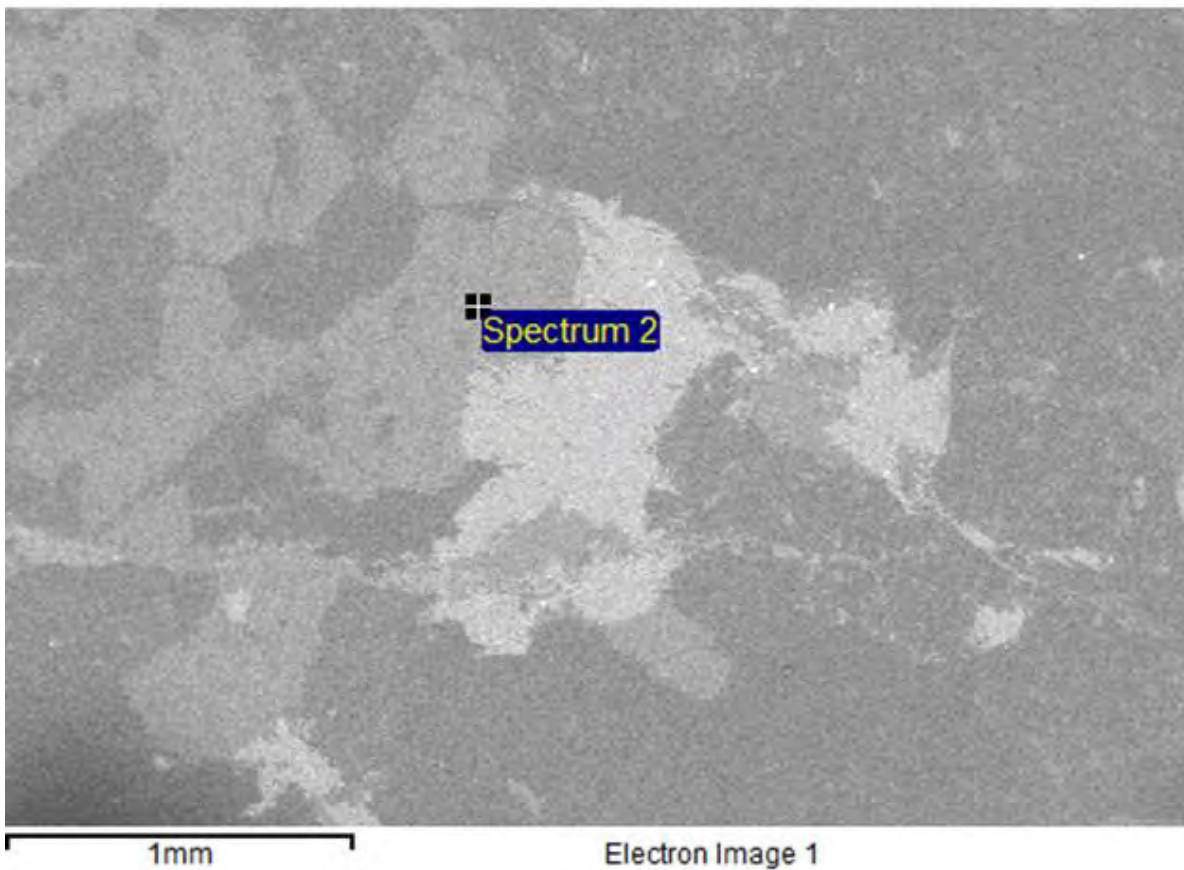
Prov 1	Element	Vikt %	Normativ % utan C	Ämne	Compd%	Normativ %
	C	1.91	-	CO2	7.01	-
	Mg	4.12	4.2	MgO	6.84	7.4
	Al	9.99	10.2	Al2O3	18.87	20.3
	Si	15.37	15.7	SiO2	32.89	35.4
	K	0.6	0.6	K2O	0.72	0.8
	Ca	0.96	1.0	CaO	1.35	1.5
	Ti	0.91	0.9	TiO	1.51	1.6
	Fe	23.95	24.4	FeO	30.81	33.1
	O	42.18	43.0	TOT	100.00	100.0
	TOT utan C	98.08		TOT utan C	92.99	

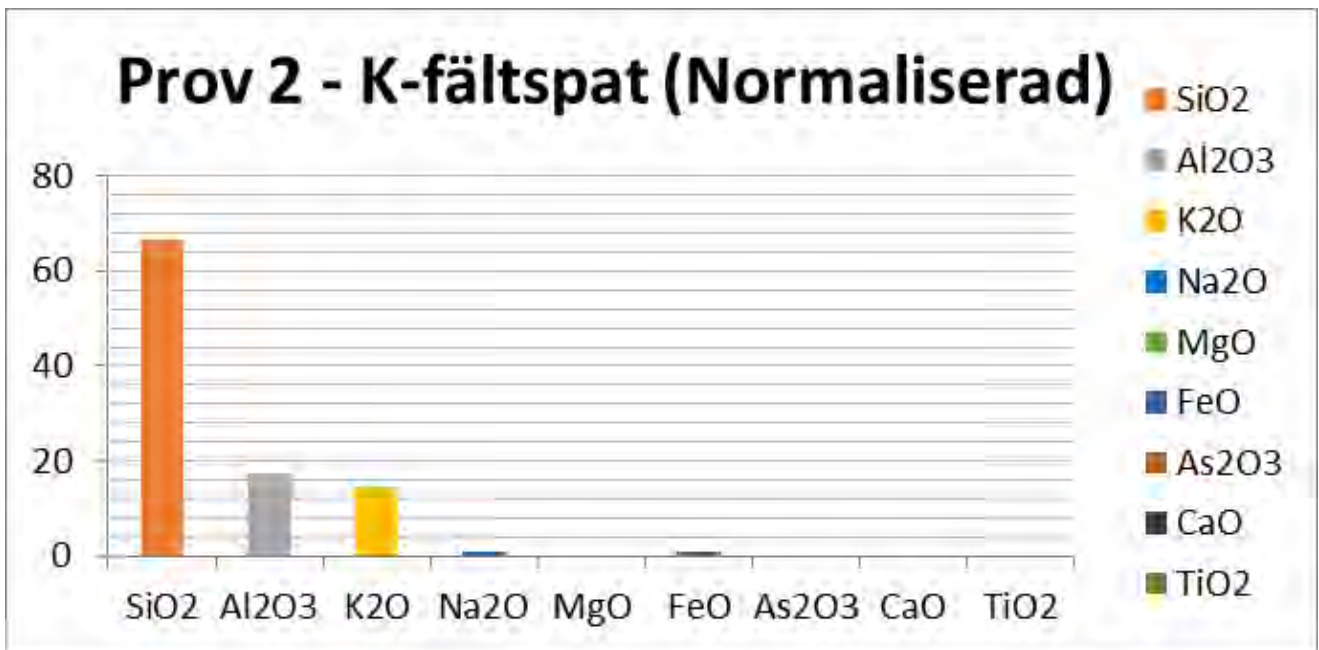
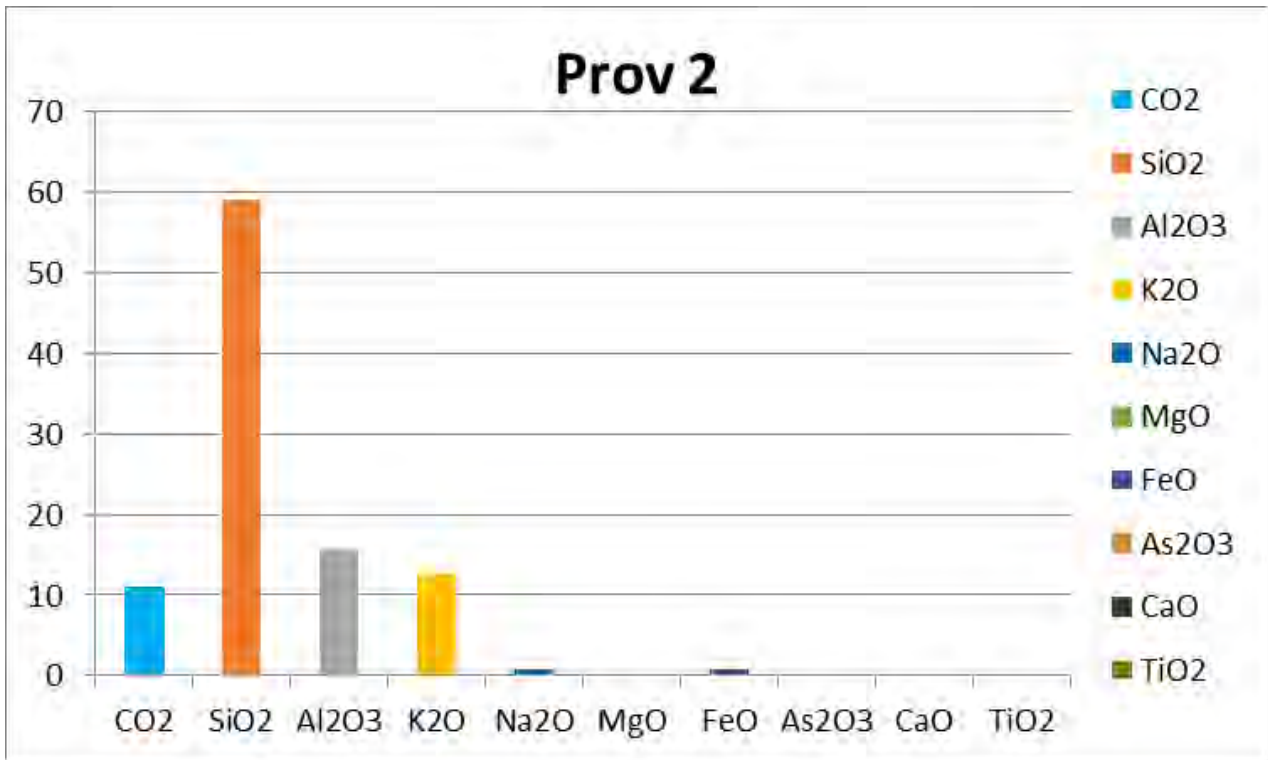




Prov 2

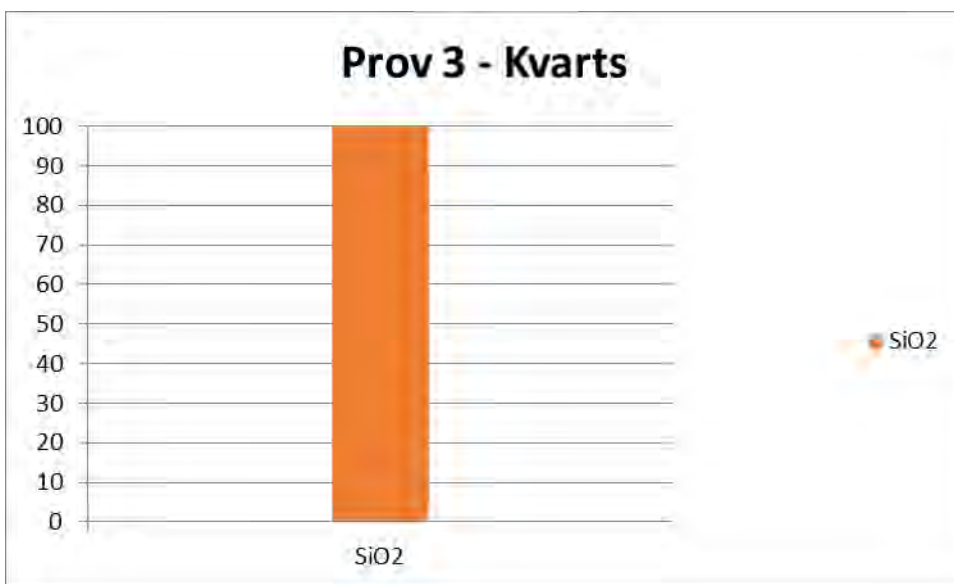
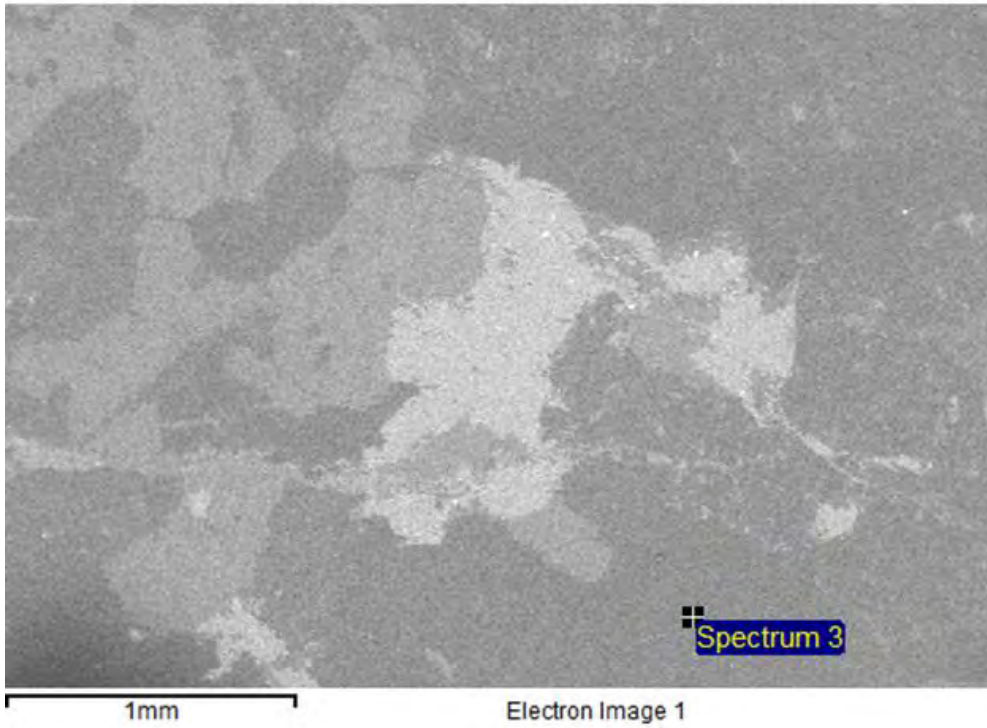
Prov 2	Element	Vikt %	Normativ % utan C	Ämne	Compd%	Normativ %
	C	3.02	-	CO2	11.07	-
	Na	0.5	0.5	Na2O	0.67	0.8
	Al	8.25	8.5	Al2O3	15.59	17.5
	Si	27.62	28.5	SiO2	59.08	66.4
	K	10.63	11.0	K2O	12.8	14.4
	Fe	0.61	0.6	FeO	0.79	0.9
	O	49.37	50.9			
	Tot utan C	96.98		Tot utan C	88.93	100.0





Prov 3

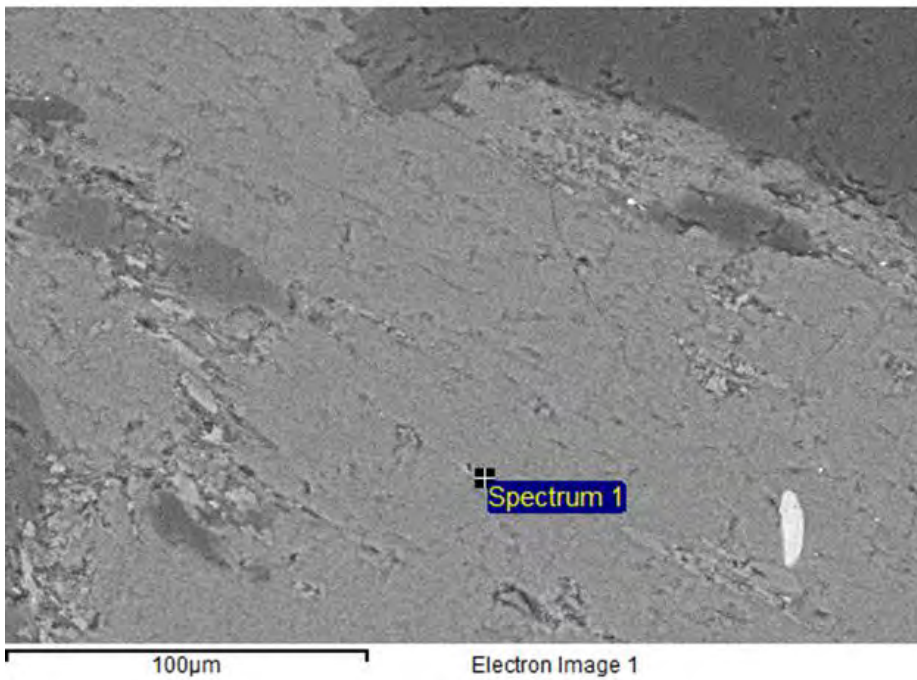
Prov 3	Element	Compd%
	SiO2	100

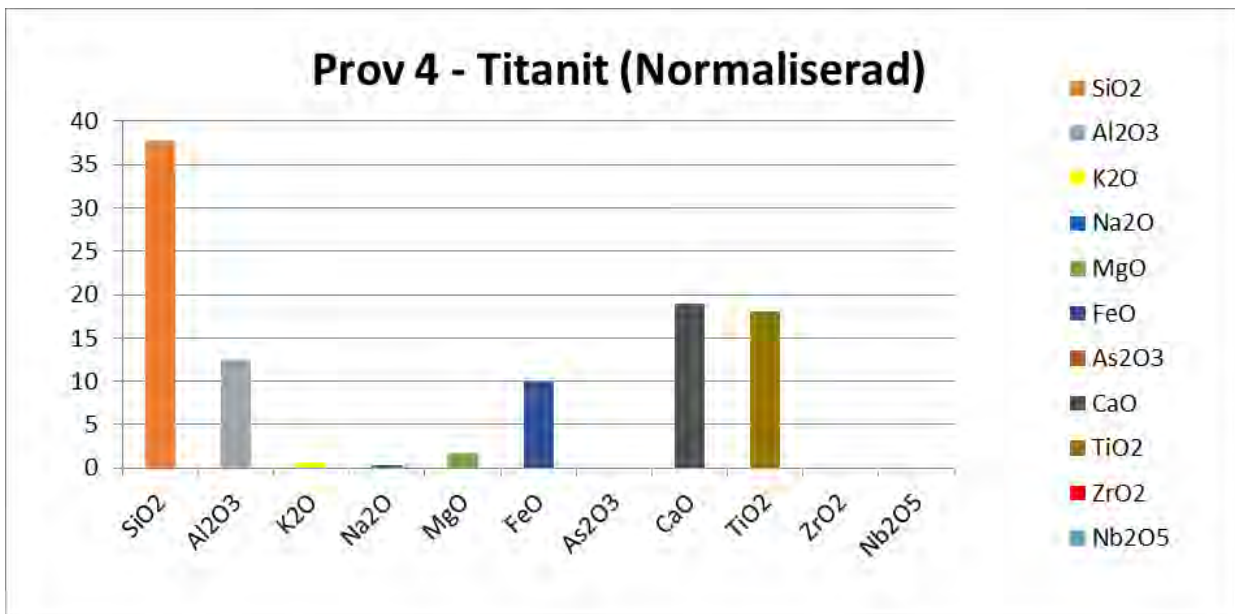
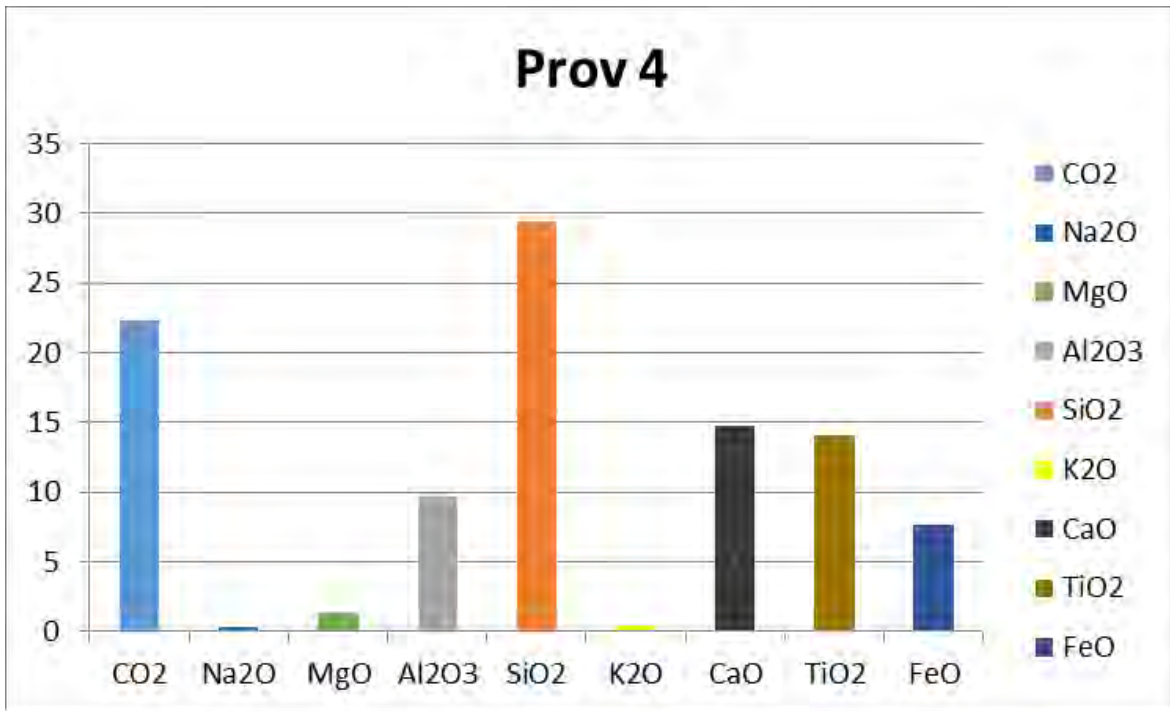


"Frisk" – Med kolbeläggning

Prov 4

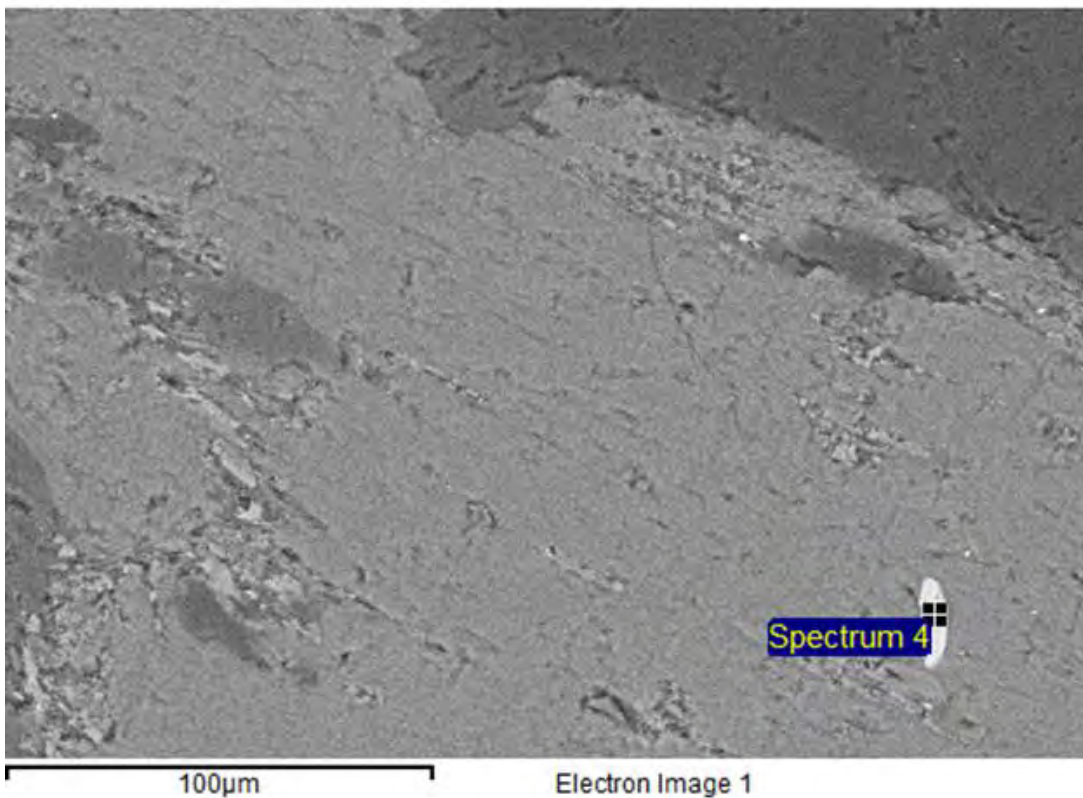
Prov 4	Element	Vikt %	Norm %	Ämne	Compd%	Normativ %
	C K	6.08	-	CO2	22.27	-
	Na K	0.22	0.2	Na2O	0.3	0.4
	Mg K	0.81	0.9	MgO	1.34	1.7
	Al K	5.15	5.5	Al2O3	9.72	12.5
	Si K	13.74	14.6	SiO2	29.39	37.8
	K K	0.39	0.4	K2O	0.47	0.6
	Ca K	10.57	11.3	CaO	14.79	19.0
	Ti K	8.42	9.0	TiO2	14.04	18.1
	Fe K	5.97	6.4	FeO	7.68	9.9
	O	48.66	51.8			
	Tot utan C	93.93		Tot utan C	77.73	

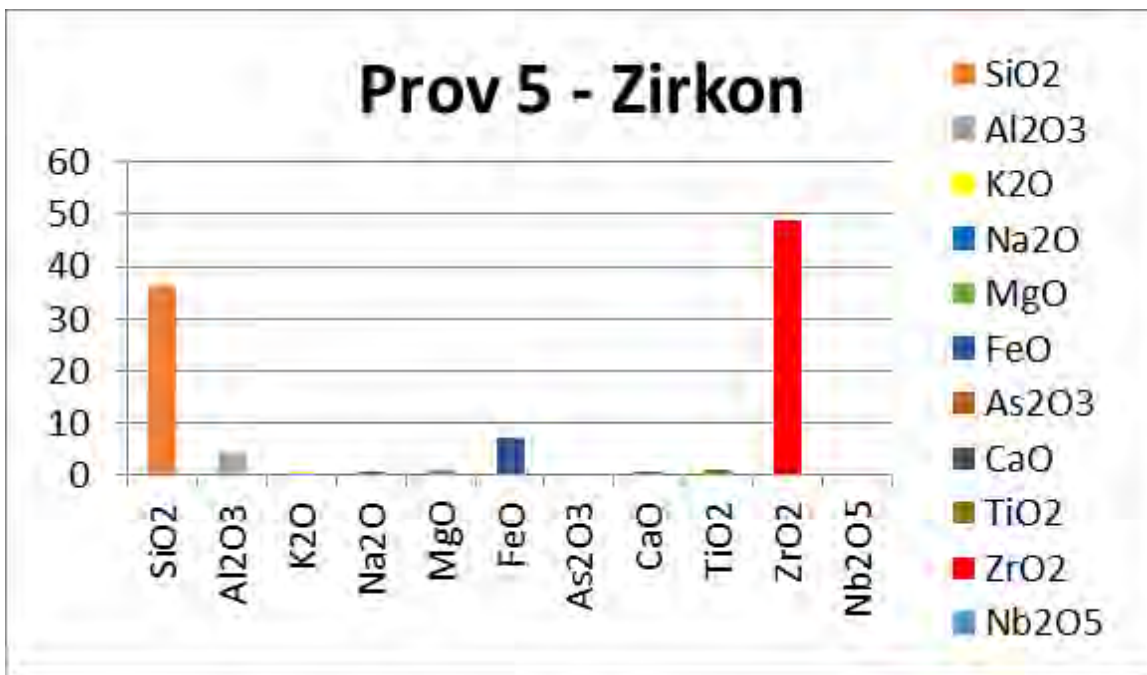
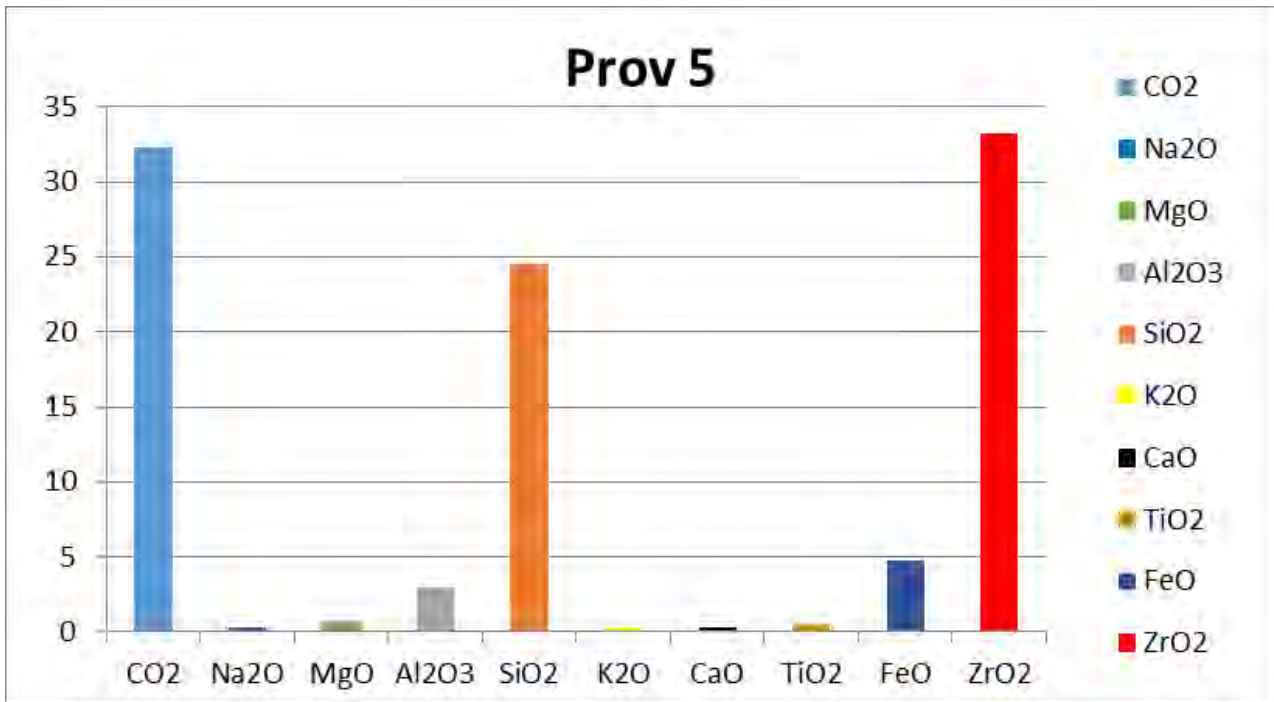




Prov 5

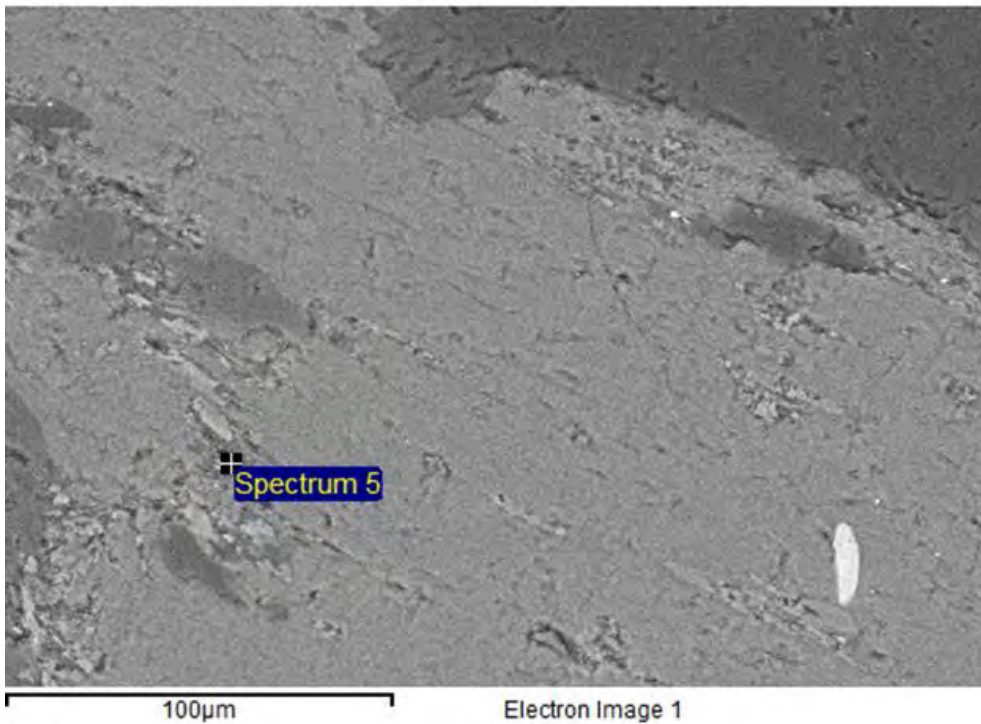
Prov 5	Element	Vikt %	Norm %	Ämne	Compd%	Normativ %
	C K	8.80	-	CO2	32.26	-
	Na K	0.22	0.2	Na2O	0.3	0.4
	Mg K	0.42	0.5	MgO	0.7	1.0
	Al K	1.60	1.8	Al2O3	3.02	4.5
	Si K	11.45	12.6	SiO2	24.5	36.2
	K K	0.28	0.3	K2O	0.34	0.50
	Ca K	0.23	0.3	CaO	0.33	0.49
	Ti K	0.33	0.4	TiO2	0.56	0.8
	Fe K	3.72	4.1	FeO	4.79	7.1
	Zr L	24.59	27.0	ZrO2	33.21	49.0
	O	48.34	53.0			
	Tot utan C	91.18		Tot utan C	67.75	

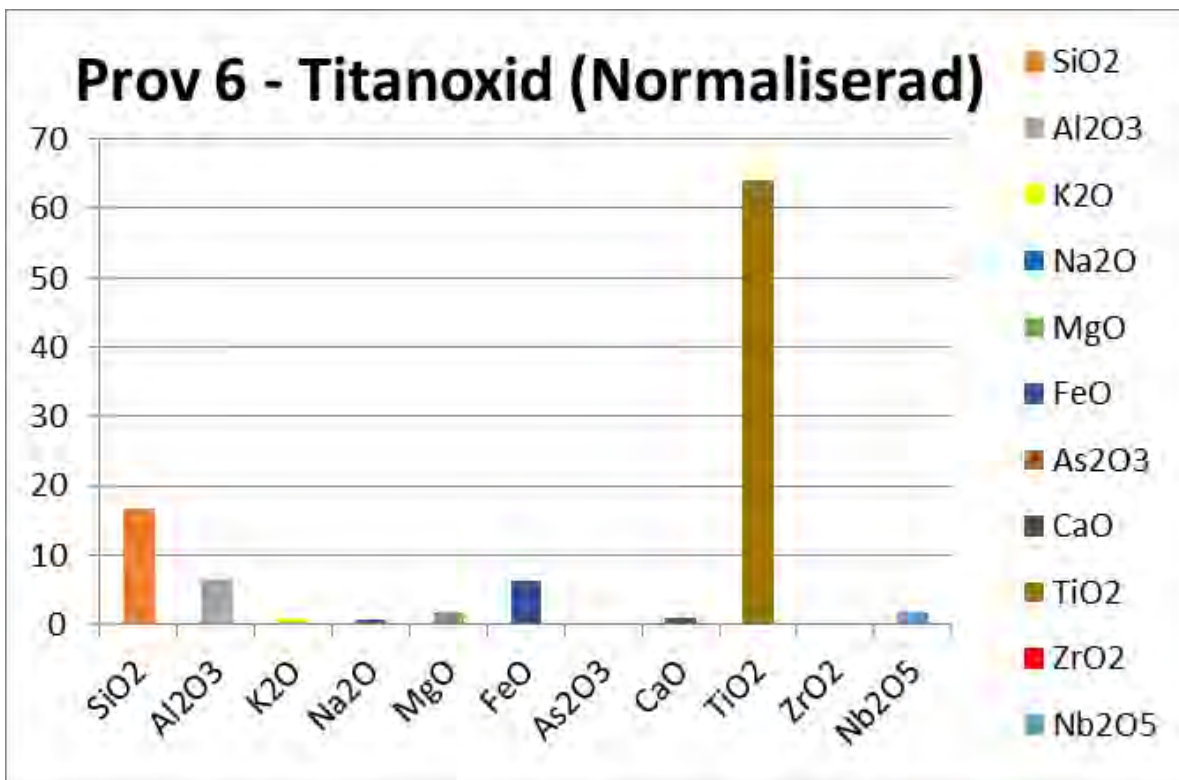
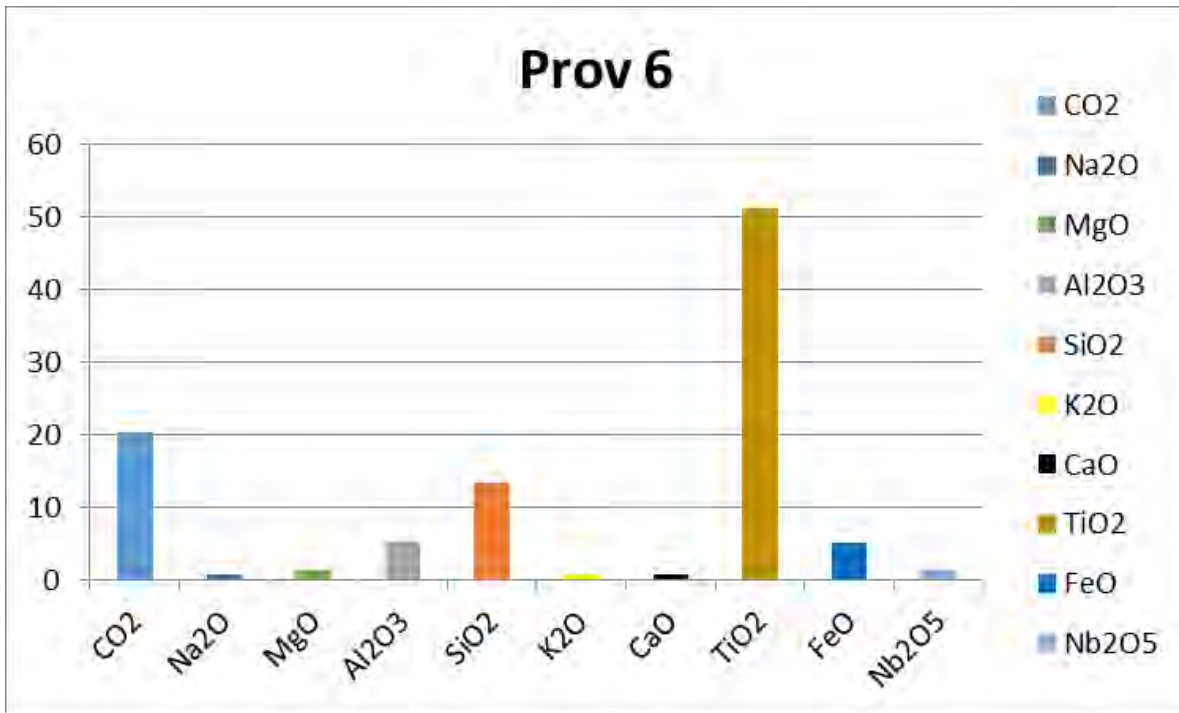




Prov 6

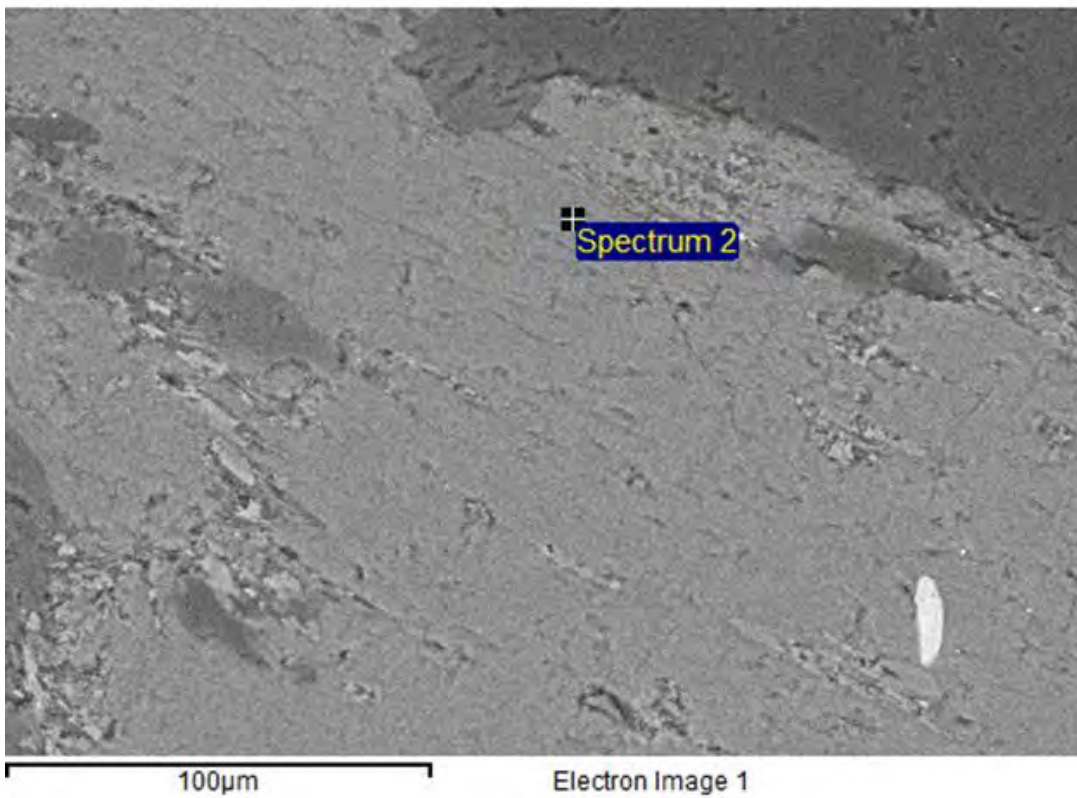
Prov 6	Element	Vikt %	Norm %	Ämne	Compd%	Normativ %
	C K	5.52	-	CO2	20.21	-
	Na K	0.47	0.5	Na2O	0.63	0.79
	Mg K	0.81	0.9	MgO	1.35	1.69
	Al K	2.8	3.0	Al2O3	5.29	6.63
	Si K	6.27	6.6	SiO2	13.42	16.82
	K K	0.59	0.6	K2O	0.71	0.89
	Ca K	0.5	0.5	CaO	0.7	0.88
	Ti K	30.66	32.5	TiO2	51.14	64.10
	Fe K	3.94	4.2	FeO	5.07	6.35
	Nb L	1.03	1.1	Nb2O5	1.47	1.84
	O	47.41	50.2			
	Tot utan C	94.48		Tot utan C	79.78	

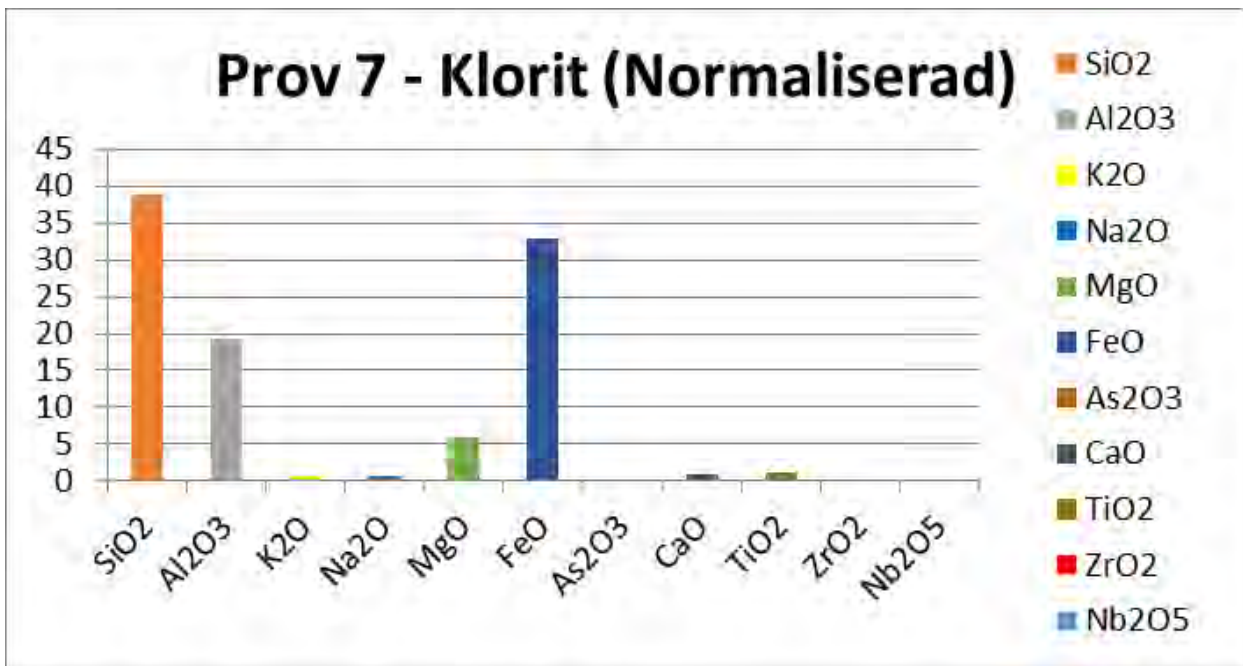
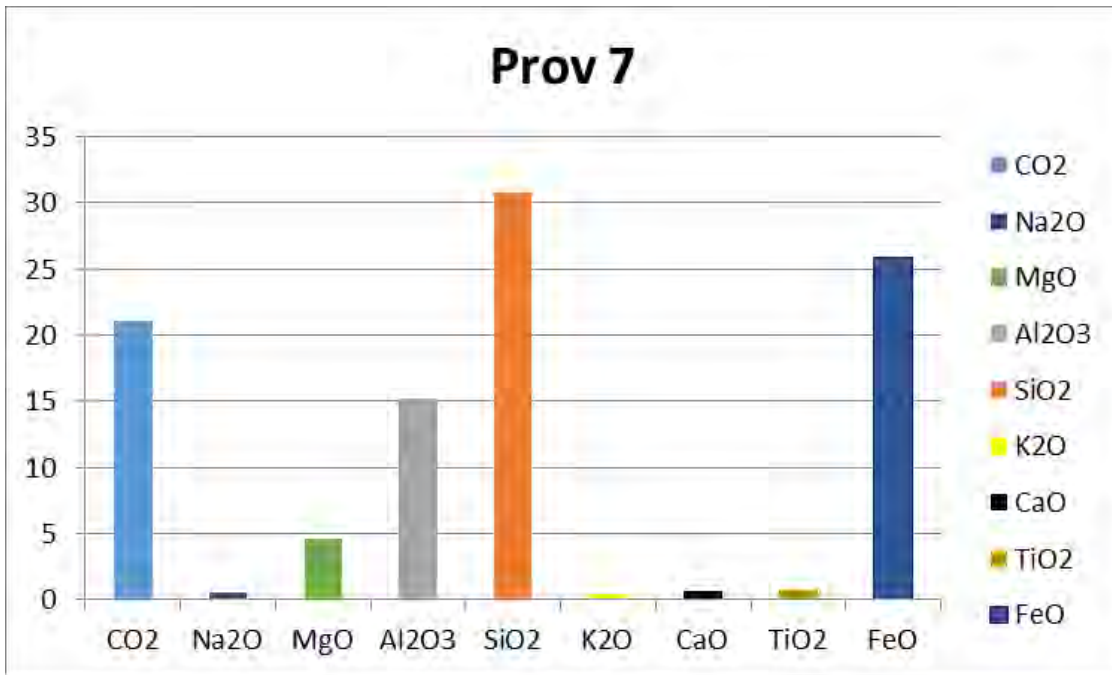




Prov 7

Prov 7	Element	Vikt %	Norm %	Ämne	Compd%	Normativ
	C K	5.75	-	CO2	21.07	-
	Na K	0.39	0.4	Na2O	0.53	0.7
	Mg K	2.80	3.0	MgO	4.65	5.9
	Al K	8.02	8.5	Al2O3	15.16	19.2
	Si K	14.40	15.3	SiO2	30.8	39.0
	K K	0.37	0.4	K2O	0.45	0.6
	Ca K	0.43	0.5	CaO	0.61	0.8
	Ti K	0.49	0.5	TiO2	0.81	1.0
	Fe K	20.15	21.4	FeO	25.93	32.8
	O	47.19	50.1			
	Tot utan C	94.24		Tot utan C	78.94	

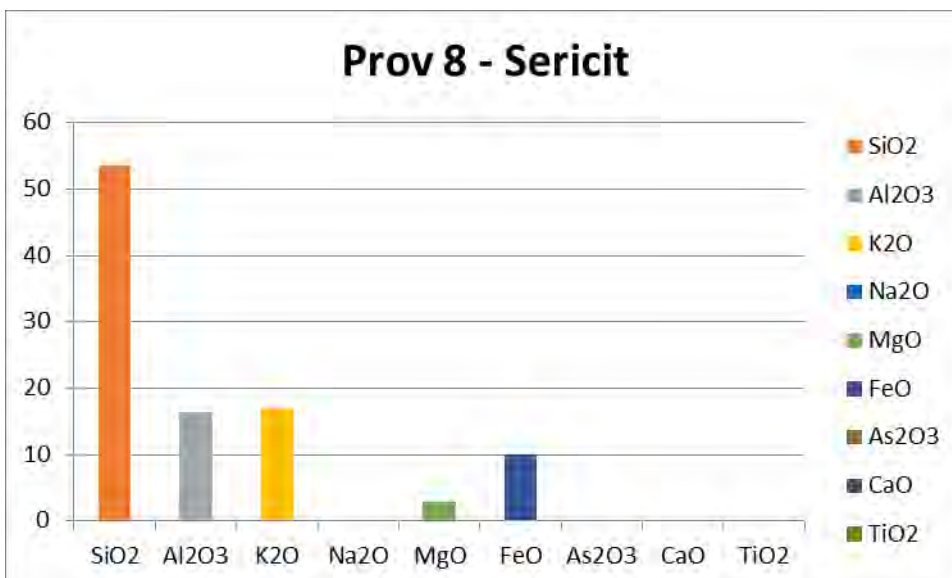
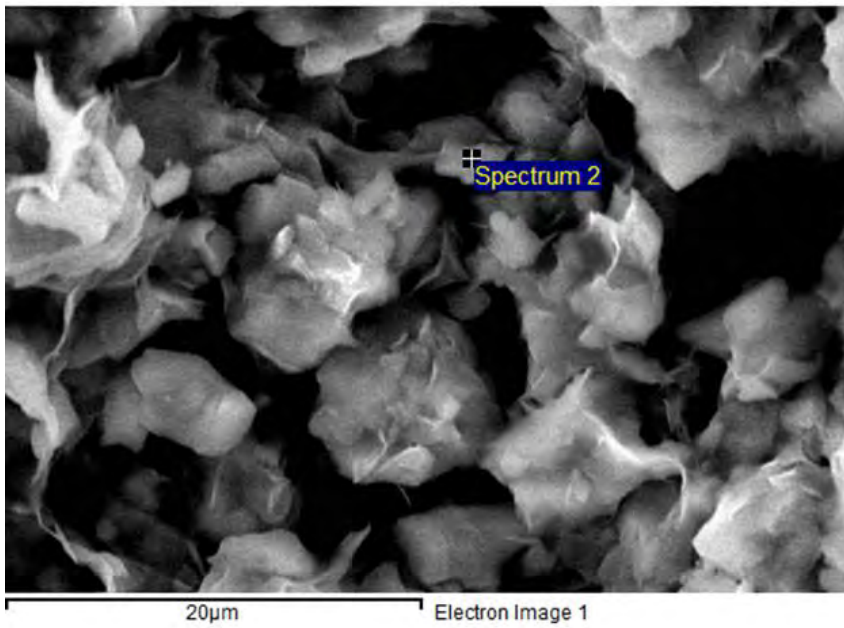




"LGL" – Kolduk

Prov 8

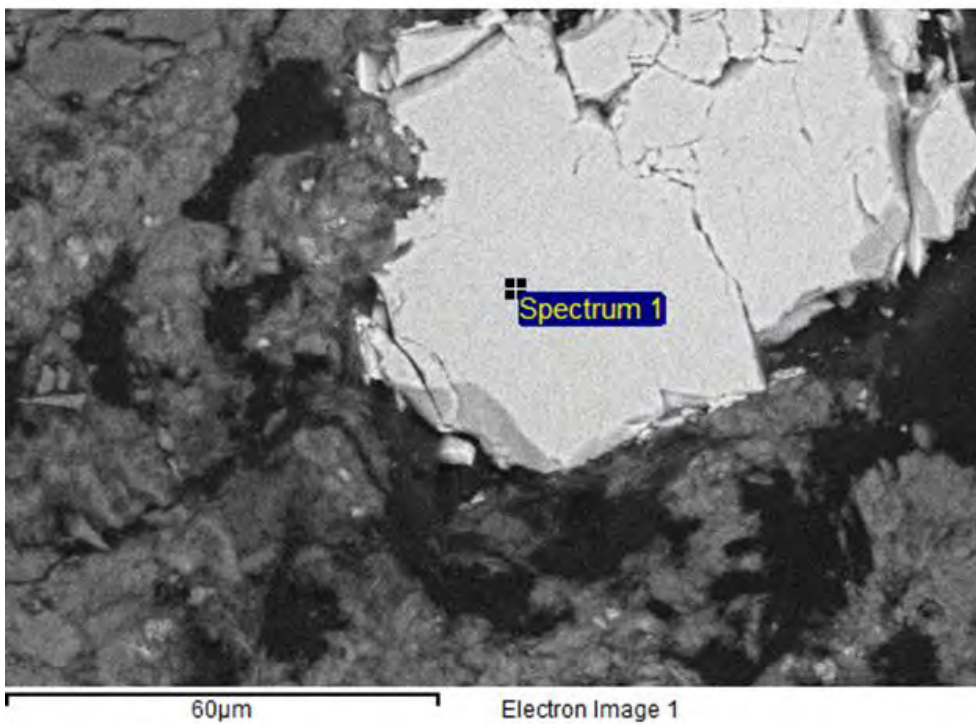
Prov 8	Ämne	Compd %
	MgO	2.8
	Al ₂ O ₃	16.5
	SiO ₂	53.6
	K ₂ O	17.0
	FeO	10.1

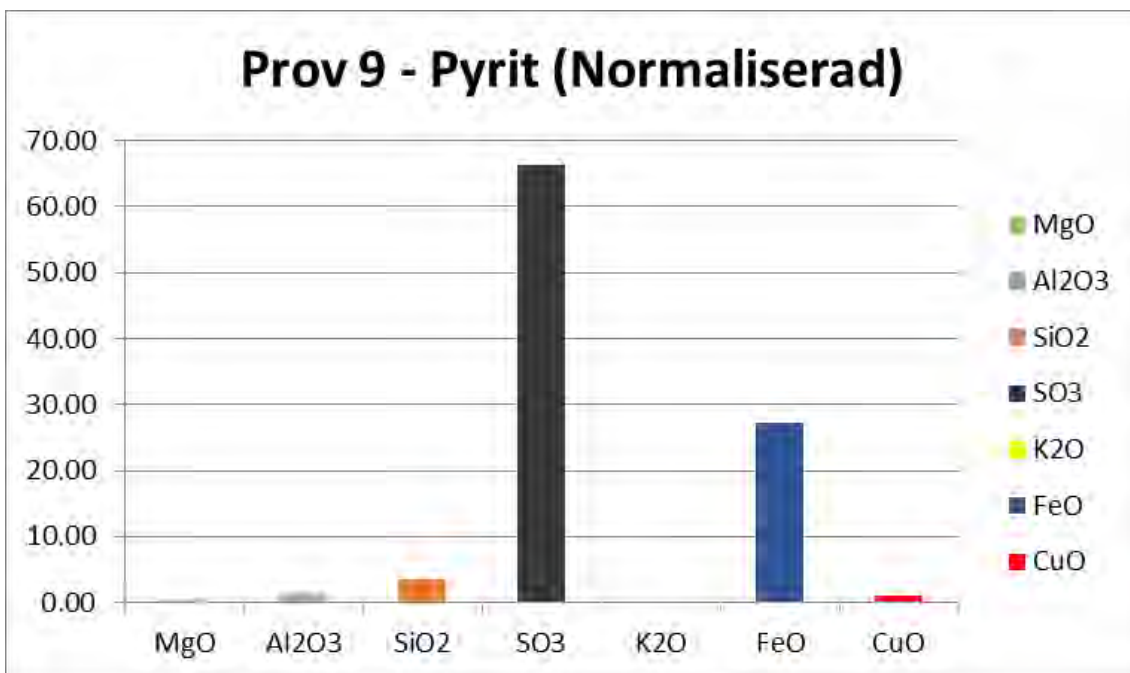
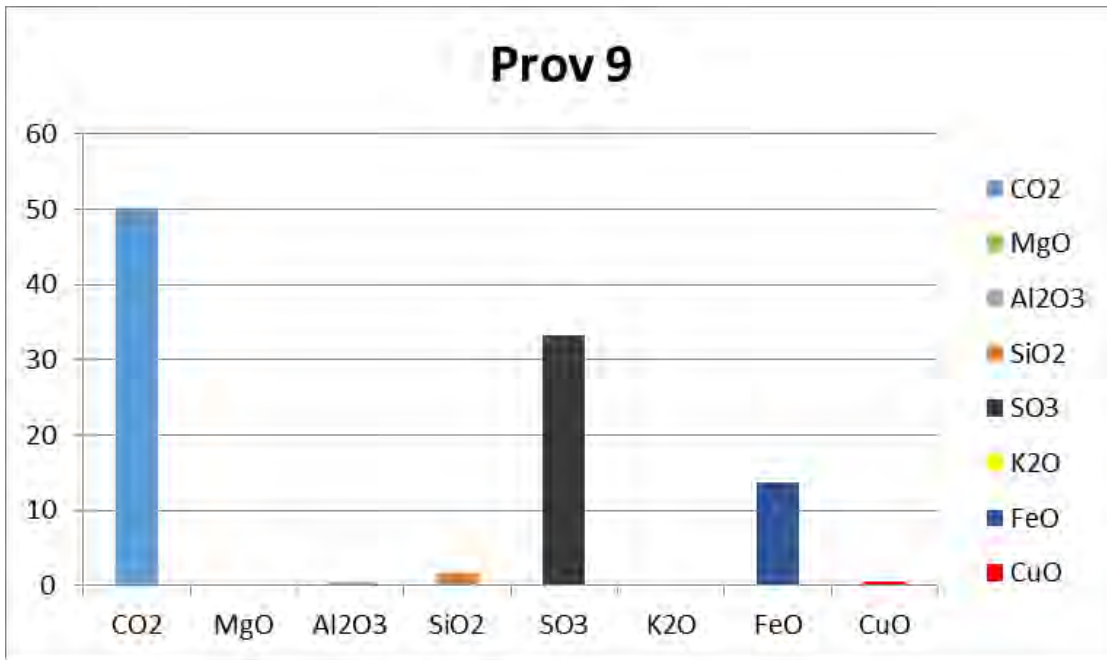


"Sorterad lera" – Med kolbeläggning

Prov 9

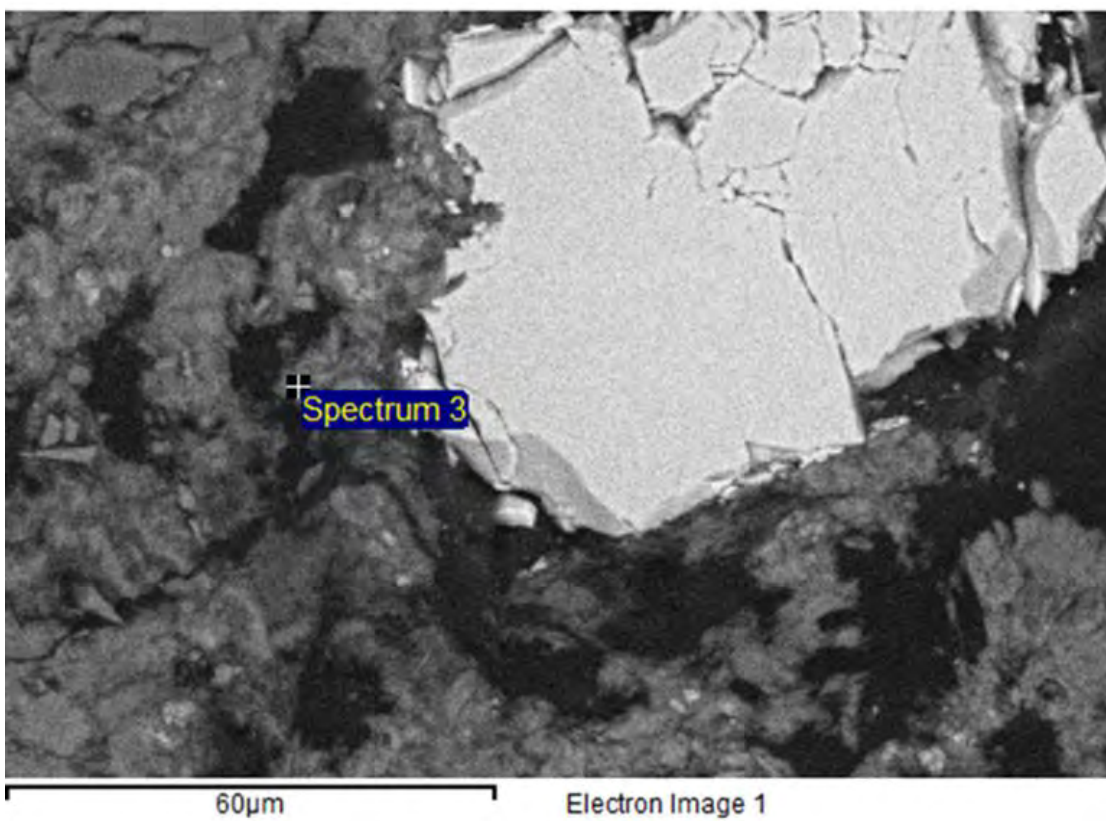
Prov 9	Ämne	Compd %	Normativ %
	CO ₂	49.84	-
	MgO	0.18	0.36
	Al ₂ O ₃	0.63	1.26
	SiO ₂	1.74	3.47
	SO ₃	33.26	66.31
	K ₂ O	0.11	0.22
	FeO	13.7	27.31
	CuO	0.54	1.08
	Tot utan C	50.16	

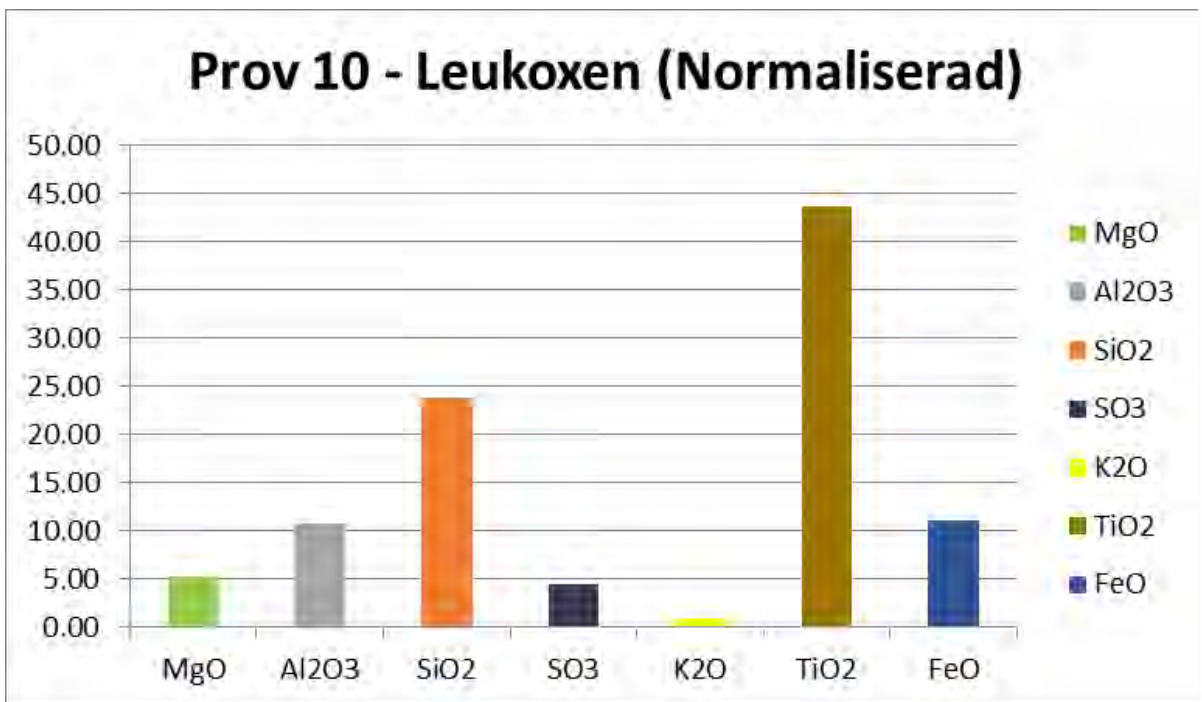
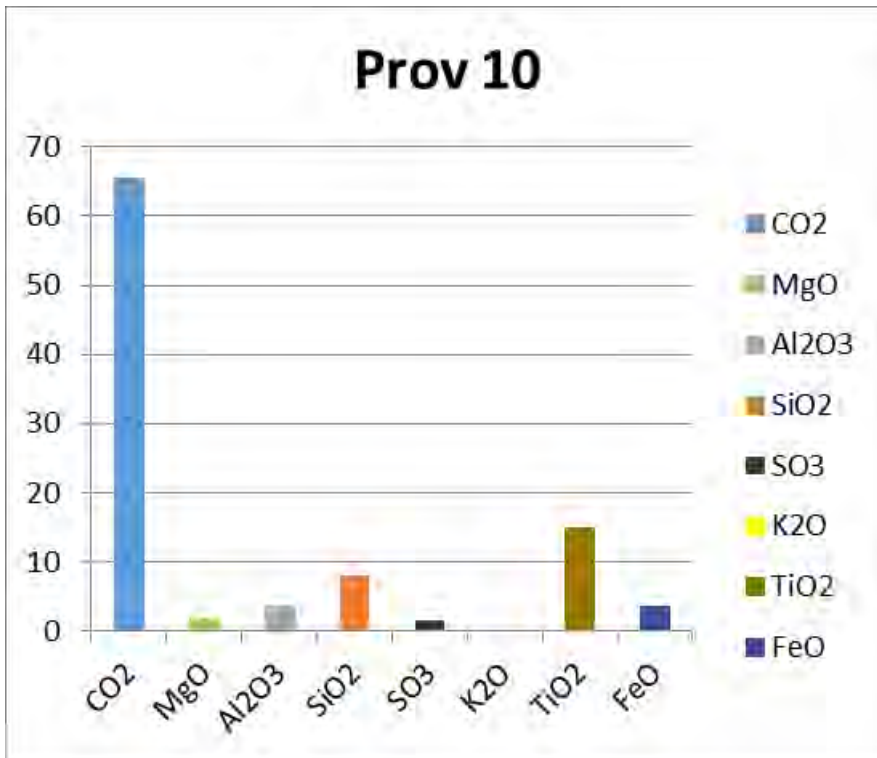




Prov 10

Prov 10	Ämne	Compd %	Normativ %
	CO2	65.61	-
	MgO	1.84	5.35
	Al2O3	3.68	10.70
	SiO2	8.2	23.85
	SO3	1.53	4.45
	K2O	0.32	0.93
	TiO2	15	43.63
	FeO	3.81	11.08
	Tot utan C	34.38	

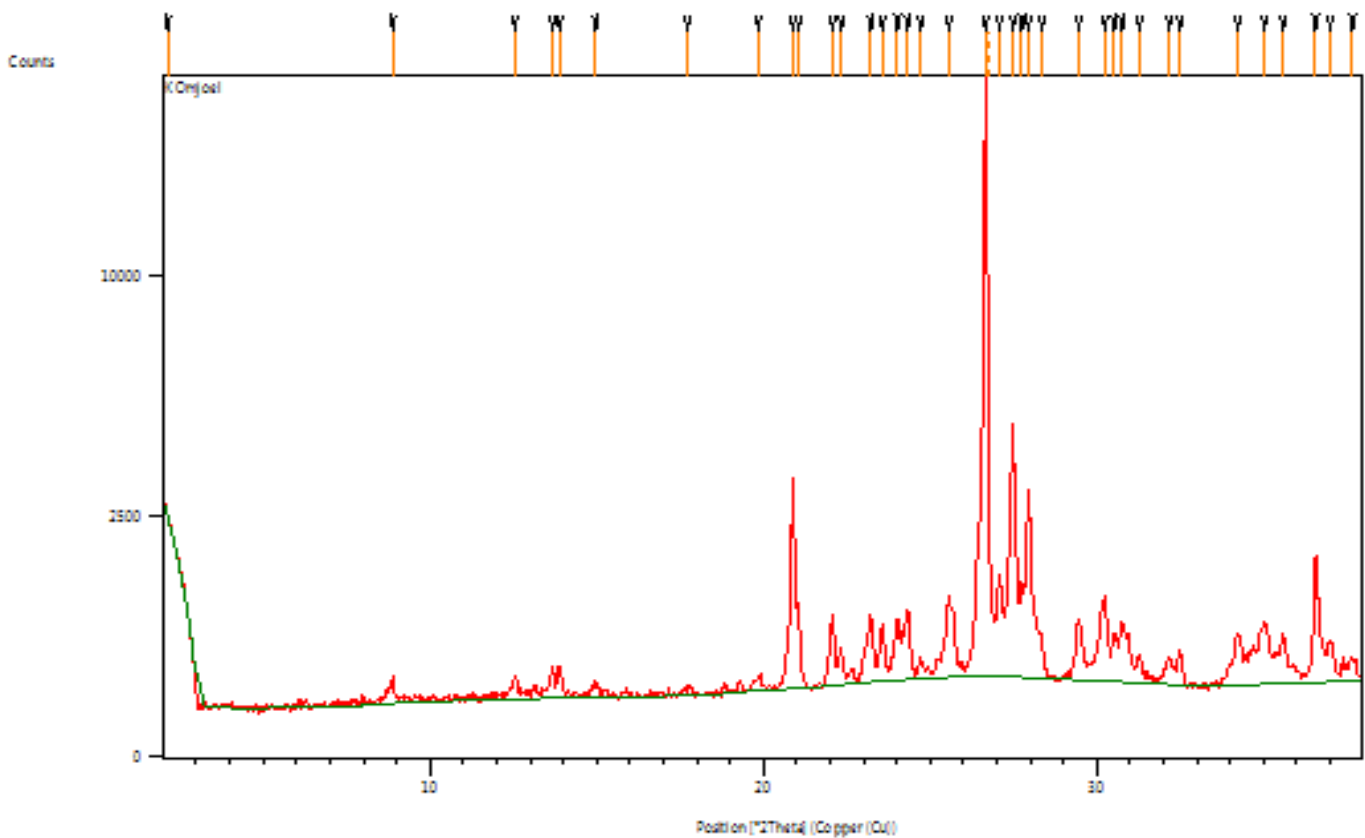
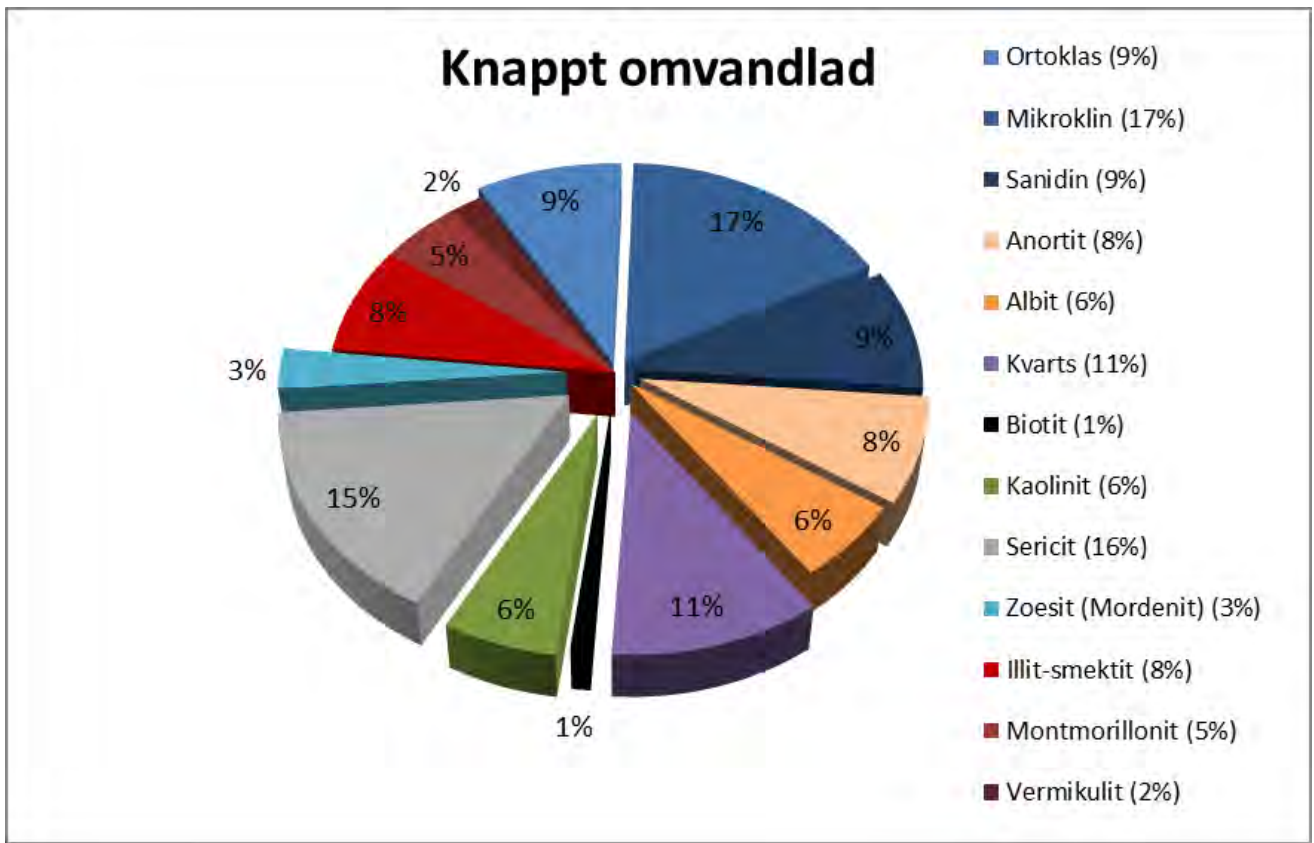




Bilaga 2

Bilaga 1 och 2 visar listor över undersökta mineral vid XRD-analyserna. ”Pattern List” kan användas tillsammans med ”Peak List” för att identifiera olika mineral vid olika toppar. Under varje enskilt kvantifieringsdiagram finns diagram som visar intensiteten av ett visst antal d-avstånd vid olika instrålningsvinklar. Den första toppen där infallsvinkeln är under 3° och med ett högt d-avstånd (längst till vänster) är ett resultat av primärstrålen som registreras av detektorn. Att tänka på vid jämförelse mellan dessa resultat är förändringar i skalan i vertikalt led. Efter varje intensitetsspektrum följer en lista med intensiteten för varje d-avstånd och vid vilken vinkel som påträffas. De registrerade mineralen har en angiven referenskod på 9 siffror och börjar med 98-... På grund av mjukvarans begränsning visualiseras endast ett mineral vid varje intensitetstopp. En indikation på att det finns andra mineral vid den toppen är den efterföljande början på en ny referenskod som visar ”98...” under ”Motsvarar” i ”Peak List”. Detta problem gör att det manuellt är betydligt mer tidskrävande att jämföra mineralen i ”Peak List” med sökta mineral i ”Pattern List”. Sökta mineral måste då manuellt jämföras i en PDF. Som tur är behöver detta inte göras då det endast rör sig om ett visuellt hinder vid bildandet av *rapport* för programmet. Mjukvaran vet vilka mineral som finns vid respektive topp och kan därför göra en kvantitativ bedömning. ”Score”-värdena som anges i ”Pattern list” indikerar hur väl varje utvalt mineral passar med samtliga, registrerade d-avstånd. Ett högt ”score”-värde kan ge en indikation på förekomsten av mineralet i provet.

Knappt omvandlad - Mjöl



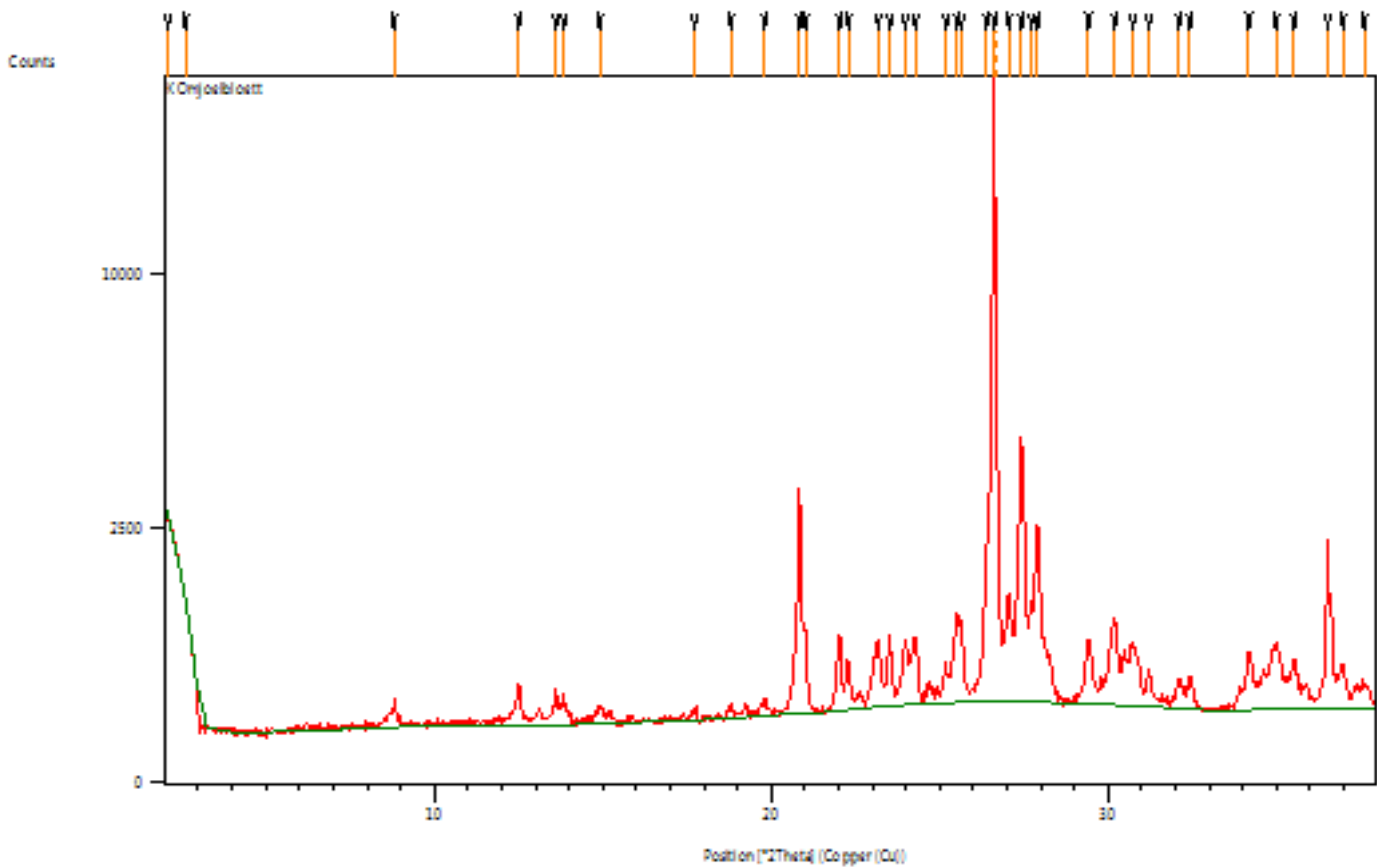
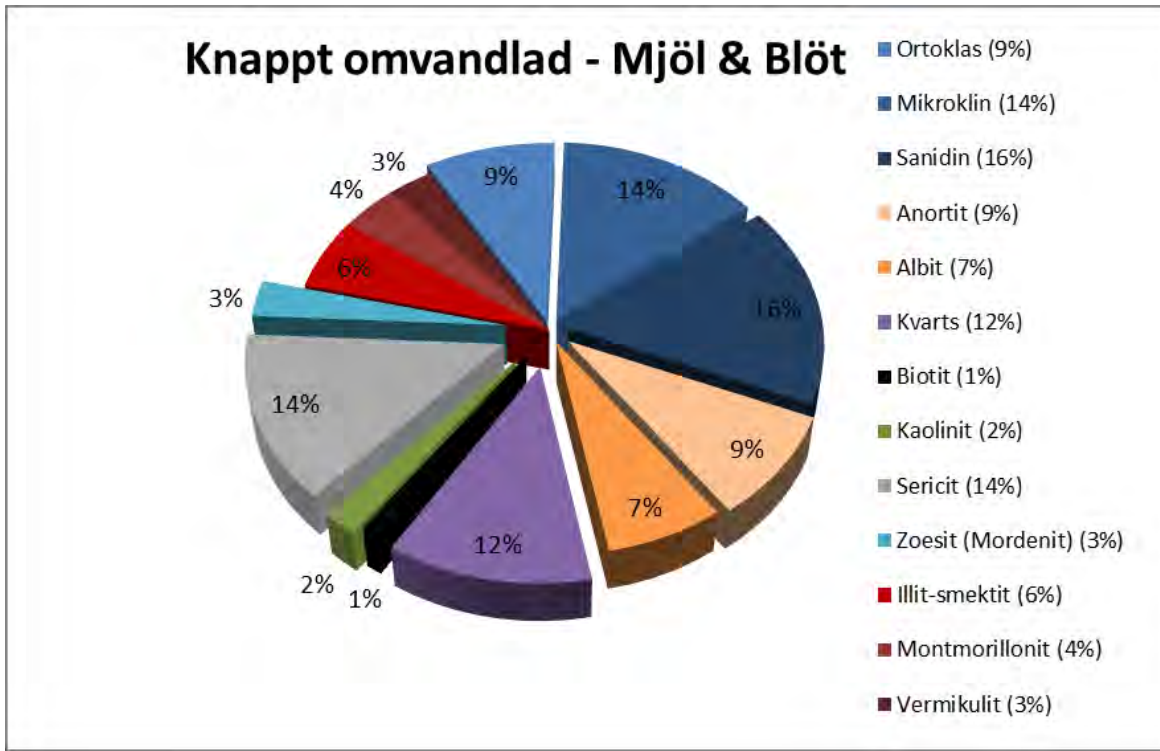
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
8.8887	169.66	9.94872	0.0602	98-008-7447;98..
12.5544	144.27	7.05092	0.0803	98-015-9384;98..
13.6743	185.70	6.47588	0.0803	98-003-4782;98..
13.8856	224.80	6.37781	0.0602	98-003-4943;98..
14.9636	91.88	5.92067	0.1606	98-003-4788;98..
17.7222	41.64	5.00481	0.3212	98-008-7447;98..
19.8346	81.51	4.47631	0.3212	98-003-0285;98..
20.8884	3221.84	4.25280	0.1004	98-000-0174;98..
21.0573	747.46	4.21905	0.0602	98-003-4782;98..
22.0733	666.07	4.02711	0.1004	98-003-0285;98..
22.3238	294.72	3.98249	0.0803	98-003-4788;98..
23.2155	644.58	3.83149	0.1204	98-009-7848;98..
23.5692	518.81	3.77480	0.1004	98-003-0285;98..
24.0249	570.16	3.70422	0.1004	98-007-7424
24.3292	672.27	3.65857	0.1004	98-015-9384;98..
24.7243	150.42	3.60099	0.1606	98-003-4788;98..
25.5611	848.27	3.48497	0.0803	98-003-4782;98..
26.6638	20010.74	3.34053	0.0979	98-000-0174;98..
26.7474	8201.24	3.33856	0.0490	
27.0813	1162.94	3.28998	0.1224	98-003-4782;98..
27.4765	4510.31	3.24355	0.0979	98-003-0285;98..
27.7476	1060.68	3.21247	0.0734	98-003-4943;98..
27.9500	2817.44	3.18966	0.1469	98-003-4943;98..
28.3436	338.80	3.14626	0.1469	98-003-4943;98..
29.4550	543.87	3.03003	0.1469	98-003-4943;98..
30.2290	869.22	2.95418	0.0979	98-003-4788;98..
30.5157	412.78	2.92707	0.1469	98-003-4782;98..
30.7553	541.93	2.90482	0.1469	98-003-4782;98..
31.2678	193.85	2.85837	0.1714	98-008-7447;98..
32.1668	191.71	2.78050	0.1469	98-003-0285;98..
32.4794	259.60	2.75444	0.1958	98-003-4788;98..
34.2233	433.73	2.61798	0.1469	98-003-4788;98..
35.0128	557.67	2.56073	0.3427	98-003-0285;98..
35.5760	427.55	2.52147	0.0734	98-003-4782;98..
36.5638	1510.92	2.45559	0.0979	98-000-0174;98..
36.9925	327.94	2.42811	0.2448	98-003-4788;98..
37.6562	156.34	2.38682	0.2938	98-003-0285;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	49	Kvarts
98-003-0285	Unmatch	Kaolinit
98-003-4782	43	Ortoklas
98-003-4788	39	Mikroklin
98-003-4943	33	Anortit
98-007-7424	19	Albit
98-008-7447	15	Sericit
98-009-7848	14	Mordenit
98-009-8156	31	Biotit
98-015-9384	1	Vermikulit
98-016-1171	1	Montmorillonit
98-016-6967	19	Illit-smektit
98-025-0085	30	Sanidin
98-006-4735	8	Chamosit

Knappt omvandlad – Mjöl & Blöt



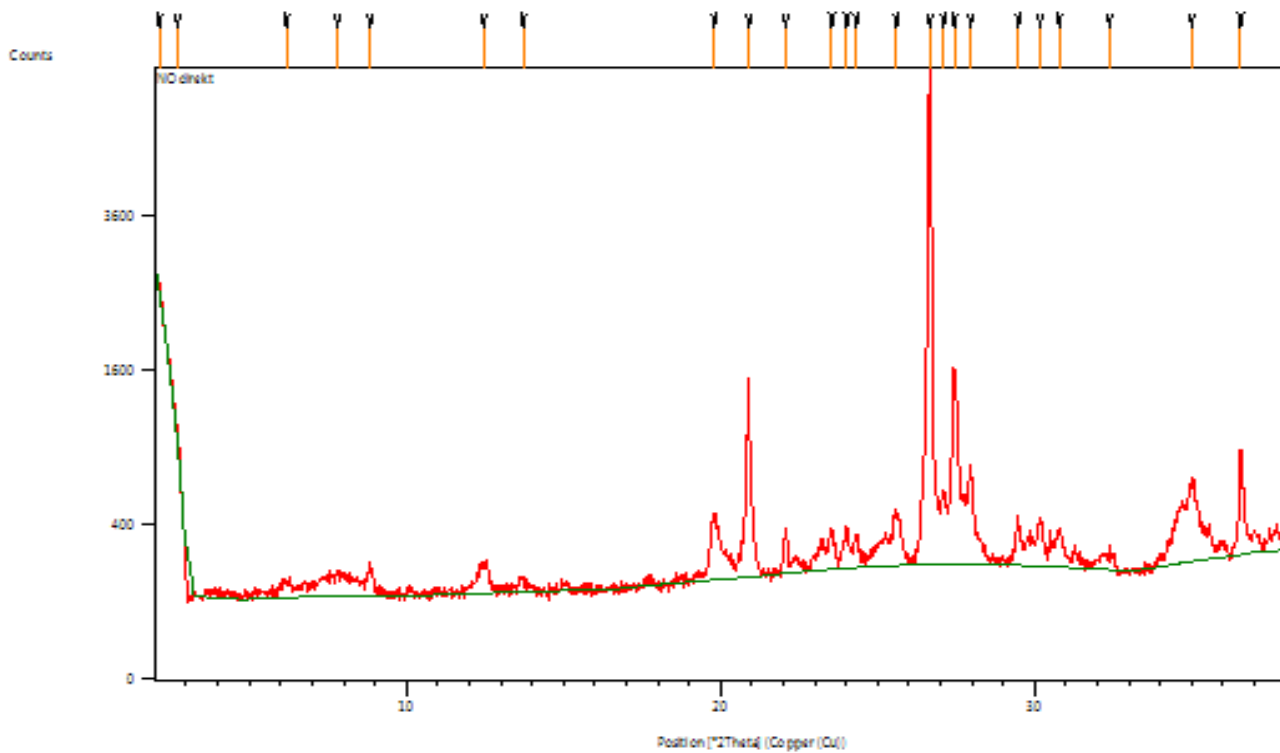
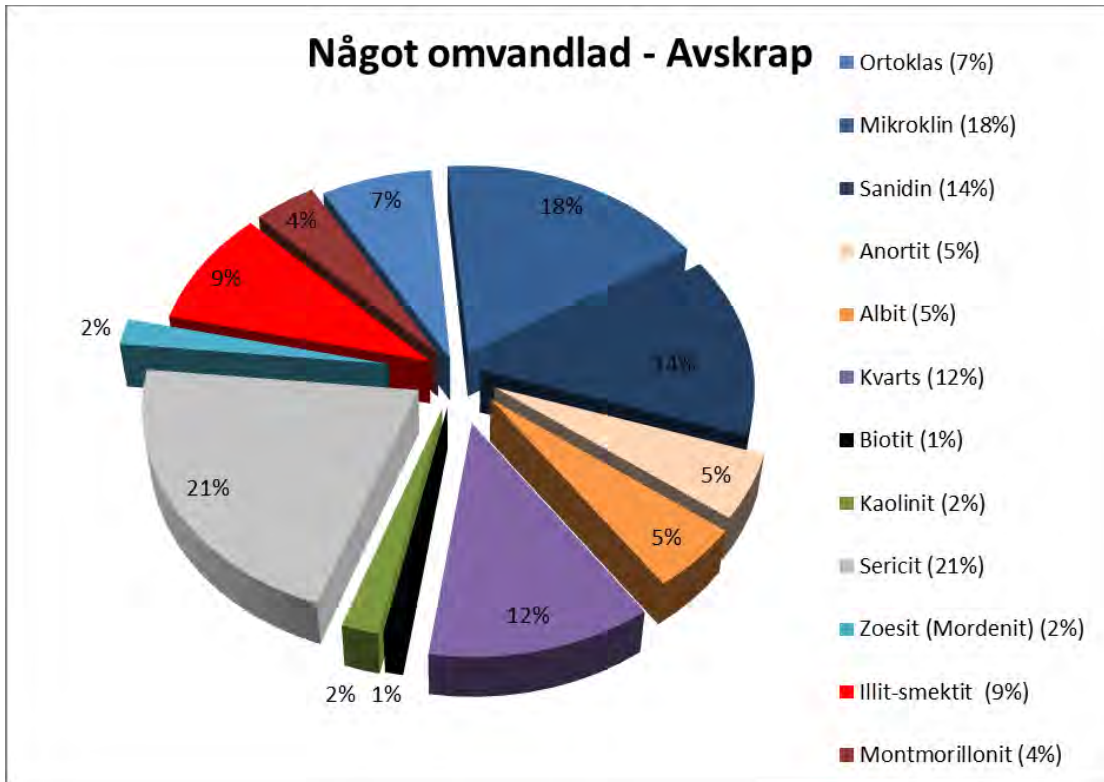
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
8.8071	124.83	10.04078	0.1204	98-008-7447;98..
12.4965	249.66	7.08344	0.1004	98-015-9384
13.6155	198.08	6.50368	0.1004	98-003-4782;98..
13.8362	169.02	6.40044	0.0803	98-003-4943;98..
14.9106	100.62	5.94160	0.1606	98-003-4788;98..
17.7311	59.11	5.00230	0.1204	98-008-7447;98..
18.7953	56.73	4.72141	0.2409	98-003-4943;98..
19.7990	77.24	4.48426	0.2409	98-008-7447;98..
20.8362	3178.07	4.26332	0.1004	98-025-0085;98..
21.0093	685.04	4.22859	0.0602	98-003-4782;98..
22.0276	646.10	4.03536	0.1204	98-003-0285;98..
22.2836	375.50	3.98957	0.1204	98-025-0085;98..
23.1746	540.05	3.83817	0.1004	98-003-4788;98..
23.5132	623.58	3.78365	0.1204	98-003-4782;98..
23.9815	557.05	3.71082	0.1004	98-007-7424
24.2809	564.76	3.66574	0.1204	98-025-0085;98..
25.1823	303.95	3.53653	0.0803	98-003-4782;98..
25.5126	862.59	3.49149	0.1004	98-003-4788;98..
25.6472	705.84	3.47347	0.0803	98-003-4782;98..
26.3788	1795.18	3.37877	0.0602	98-003-4943;98..
26.6139	19099.36	3.34669	0.1224	98-003-4788;98..
26.6964	8040.37	3.34483	0.0490	
27.0413	1100.92	3.29475	0.1469	98-003-4782;98..
27.4265	4310.77	3.24935	0.1224	98-003-4782;98..
27.7140	1033.97	3.21629	0.0734	98-003-4943;98..
27.9007	2350.66	3.19519	0.1714	98-008-7447;98..
29.4103	555.86	3.03452	0.1714	98-003-4943;98..
30.1925	797.21	2.95767	0.0979	98-003-4788;98..
30.7293	503.15	2.90721	0.1958	98-003-4782;98..
31.2152	269.14	2.86306	0.1469	98-008-7447;98..
32.1054	203.17	2.78567	0.1958	98-003-4782;98..
32.4315	225.57	2.75840	0.1958	98-003-4782;98..
34.1762	455.90	2.62148	0.1224	98-003-4788;98..
34.9738	536.90	2.56350	0.3917	98-003-4788;98..
35.5241	389.66	2.52503	0.0734	98-003-4782;98..
36.5195	2059.55	2.45846	0.0734	98-003-4782;98..
36.9582	324.59	2.43028	0.1469	98-003-4788;98..
37.6029	146.09	2.39008	0.3427	98-003-4782;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-003-4782	44	Ortoklas
98-003-4788	37	Mikroklin
98-008-7447	28	Sericit
98-025-0085	27	Sanidin
98-000-0174	46	Kvarts
98-003-0285	15	Kaolinit
98-003-4943	26	Anortit
98-007-7424	15	Albit
98-009-7848	17	Mordenit
98-009-8156	17	Biotit
98-015-9384	1	Vermikulit
98-016-1171	1	Montmorillonit
98-016-6967	20	Illit-smektit
98-006-4735	3	Chamosit

Något omvandlad – Avskrap



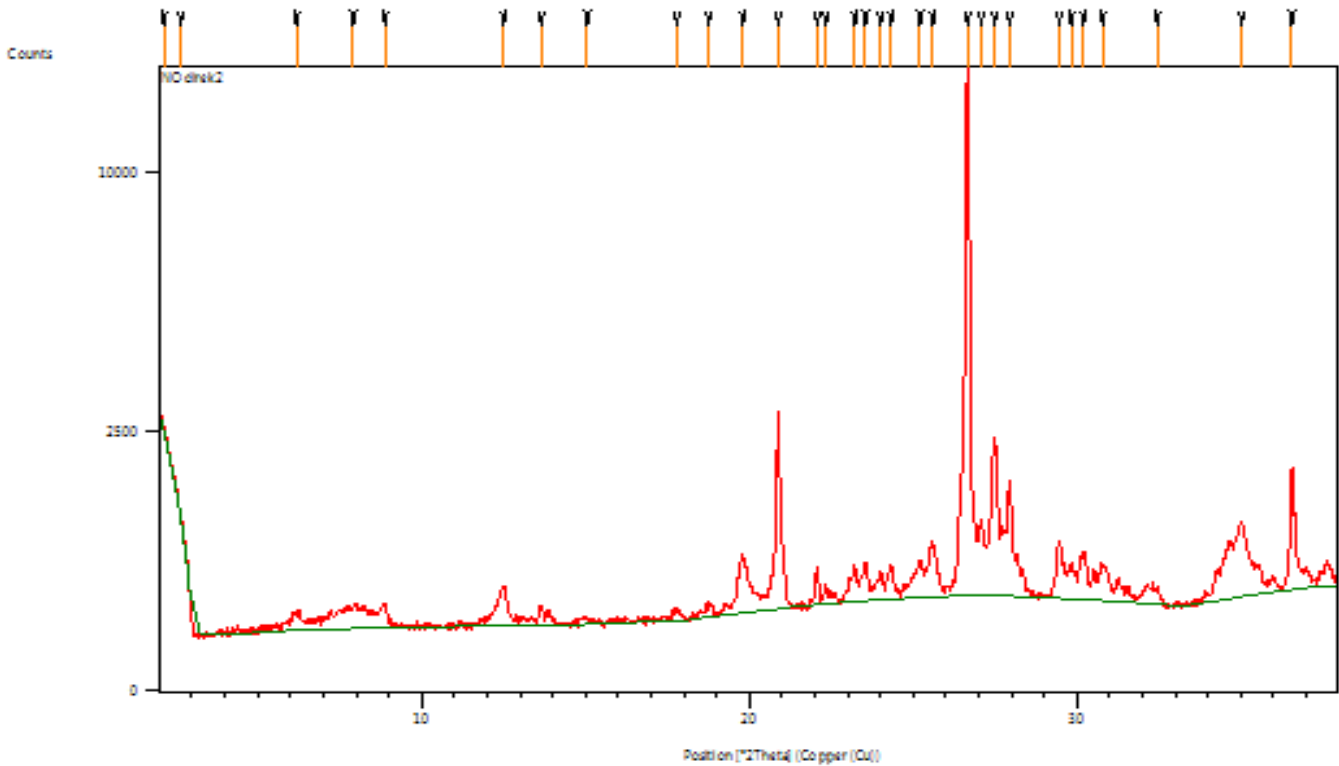
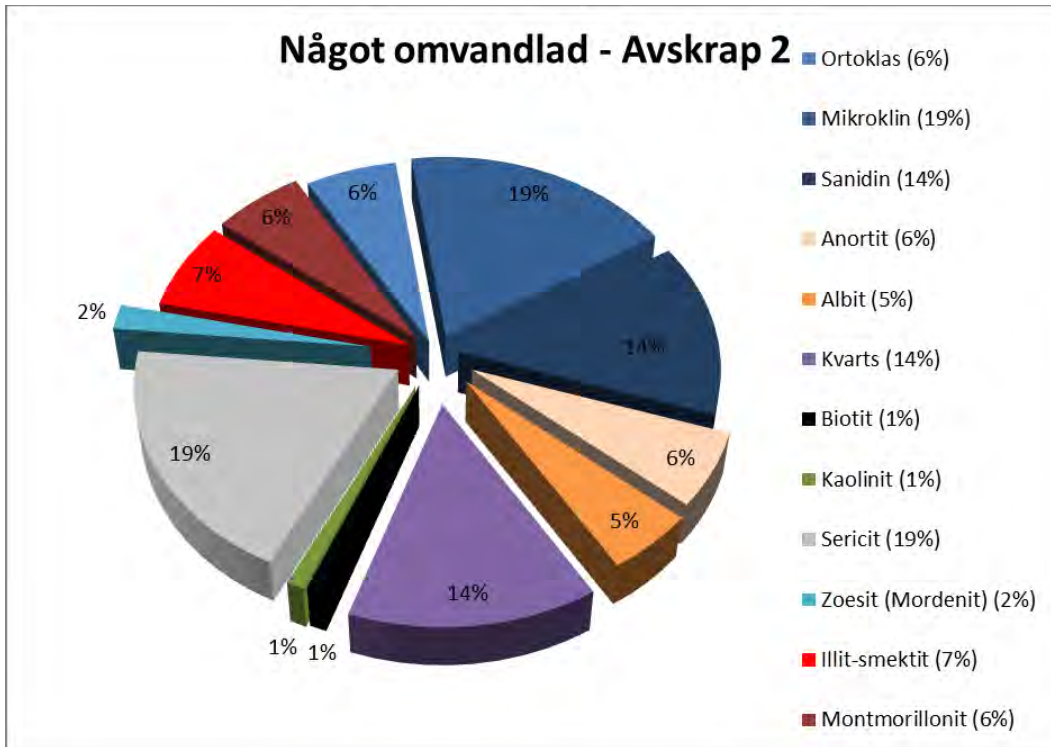
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1766	48.69	14.30970	0.4818	98-006-4735;98..
7.8059	64.69	11.32621	0.9635	
8.8516	96.12	9.99038	0.1606	98-016-6967;98..
12.4573	100.76	7.10566	0.4015	98-003-0285;98..
13.7079	38.68	6.46008	0.6424	98-003-4782;98..
19.8072	283.11	4.48243	0.2409	98-016-6967;98..
20.8949	1326.31	4.25149	0.0803	98-000-0174;98..
22.0801	176.58	4.02589	0.1004	98-003-0285;98..
23.5343	172.99	3.78032	0.1606	98-003-4782;98..
24.0222	180.33	3.70463	0.1606	98-003-4788;98..
24.3218	128.46	3.65966	0.1204	98-016-6967;98..
25.6019	222.33	3.47952	0.2810	98-003-4782;98..
26.6620	6053.05	3.34352	0.1204	98-000-0174;98..
27.1013	375.36	3.29031	0.1204	98-003-4782;98..
27.4460	1315.44	3.24977	0.0803	98-003-4782;98..
27.9542	545.94	3.19184	0.1004	98-003-4943;98..
29.4733	193.97	3.03069	0.1204	98-016-1171;98..
30.1769	200.17	2.96162	0.2007	98-003-4788;98..
30.7662	164.37	2.90622	0.1606	98-003-4782;98..
32.3844	64.32	2.76460	0.6424	98-003-4782;98..
35.0054	402.10	2.56338	0.2810	98-003-4782;98..
36.5653	617.62	2.45753	0.0803	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	60	Kvarts
98-003-4782	40	Ortoklas
98-016-6967	22	Illit-smektit
98-016-1171	2	Montmorillonit
98-003-0285	17	Kaolinit
98-003-4788	29	Mikroklin
98-003-4943	20	Anortit
98-006-4735	11	Chamosit
98-007-7424	14	Albit
98-008-7447	28	Sericit
98-009-7848	12	Mordenit
98-009-8156	18	Biotit
98-015-9384	11	Vermikulit
98-025-0085	30	Sanidin

Något omvandlad – Avskrap 2



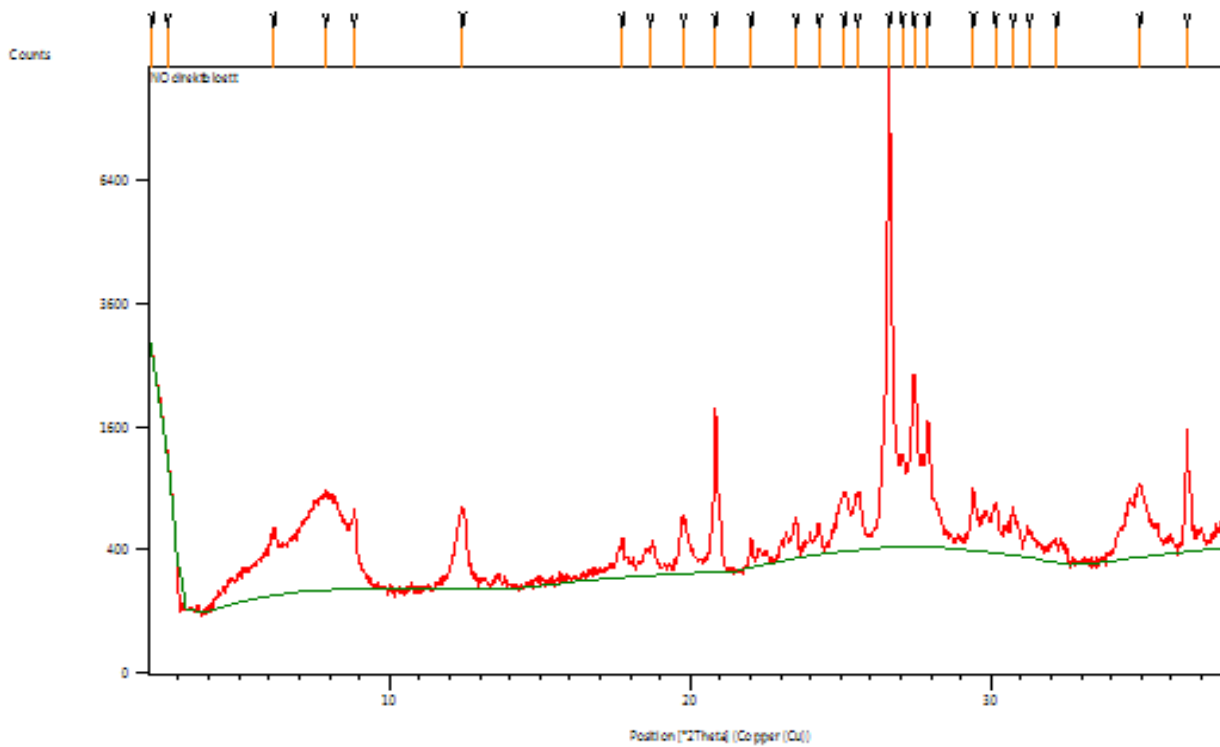
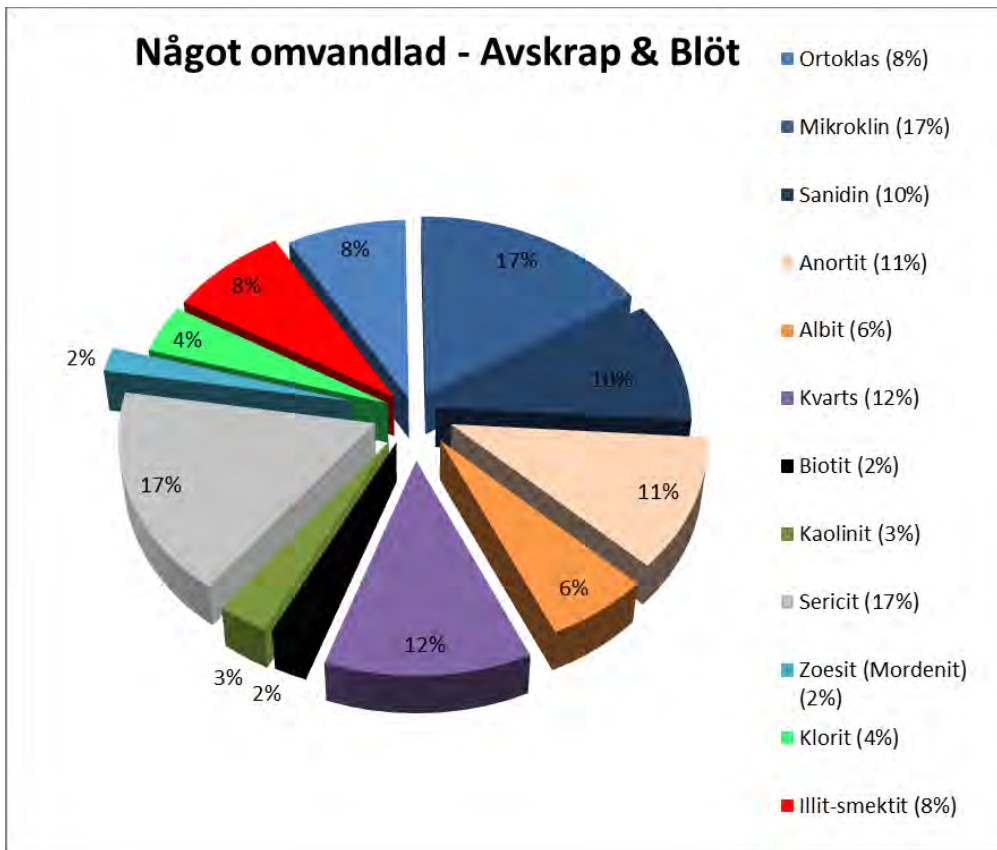
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1751	62.80	14.31325	0.2409	98-006-4735;98..
7.9250	79.38	11.15625	0.9635	
8.8844	119.19	9.95360	0.1606	98-008-7447;98..
12.4934	213.55	7.08521	0.2810	98-003-0285;98..
13.6422	91.14	6.49104	0.1204	98-003-4782;98..
15.0611	25.01	5.88256	0.4818	98-003-4782;98..
17.7815	55.49	4.98824	0.2409	98-008-7447;98..
18.7526	49.73	4.73206	0.3212	98-003-4943;98..
19.8001	415.21	4.48401	0.2810	98-008-7447;98..
20.8828	2621.84	4.25392	0.0803	98-000-0174;98..
22.0692	276.75	4.02785	0.1204	98-003-0285;98..
22.3356	117.58	3.98040	0.1204	98-003-4782;98..
23.2189	254.88	3.83095	0.1204	98-016-6967;98..
23.5479	296.44	3.77816	0.1405	98-003-4782;98..
24.0086	175.29	3.70670	0.1204	98-007-7424
24.3161	220.13	3.66051	0.1606	98-016-6967;98..
25.2173	229.73	3.53169	0.1606	98-003-4782;98..
25.5958	404.96	3.48032	0.2409	98-003-4782;98..
26.6542	14272.89	3.34449	0.0803	98-000-0174;98..
27.0682	706.25	3.29426	0.1004	98-003-4782;98..
27.4802	1944.08	3.24580	0.1807	98-003-4782;98..
27.9388	1282.06	3.19356	0.1405	98-008-7447;98..
29.4514	487.69	3.03290	0.1004	98-016-1171;98..
29.8191	240.85	2.99633	0.1606	98-003-4782;98..
30.1937	357.45	2.96000	0.2007	98-003-4788;98..
30.7680	252.92	2.90605	0.1606	98-003-4782;98..
32.4412	101.57	2.75989	0.2409	98-003-4782;98..
35.0092	668.23	2.56310	0.1405	98-003-4782;98..
36.5587	1446.40	2.45795	0.0803	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	56	Kvarts
98-003-4782	48	Ortoklas
98-008-7447	28	Sericit
98-016-6967	19	Illit-smektit
98-016-1171	2	Montmorillonit
98-003-0285	14	Kaolinit
98-003-4788	30	Mikroklin
98-003-4943	25	Anortit
98-006-4735	11	Chamosit
98-007-7424	11	Albit
98-009-7848	15	Mordenit
98-009-8156	19	Biotit
98-015-9384	11	Vermikulit
98-025-0085	29	Sanidin

Något omvandlad – Avskrap & Blöt



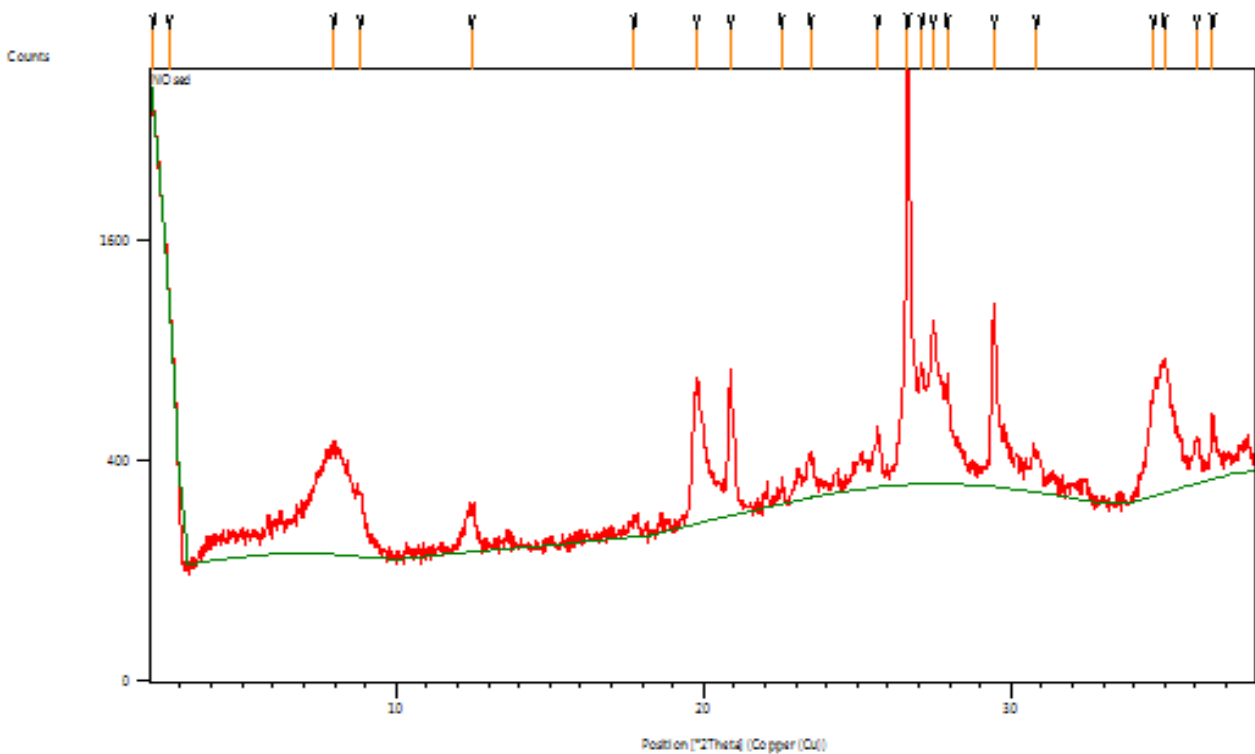
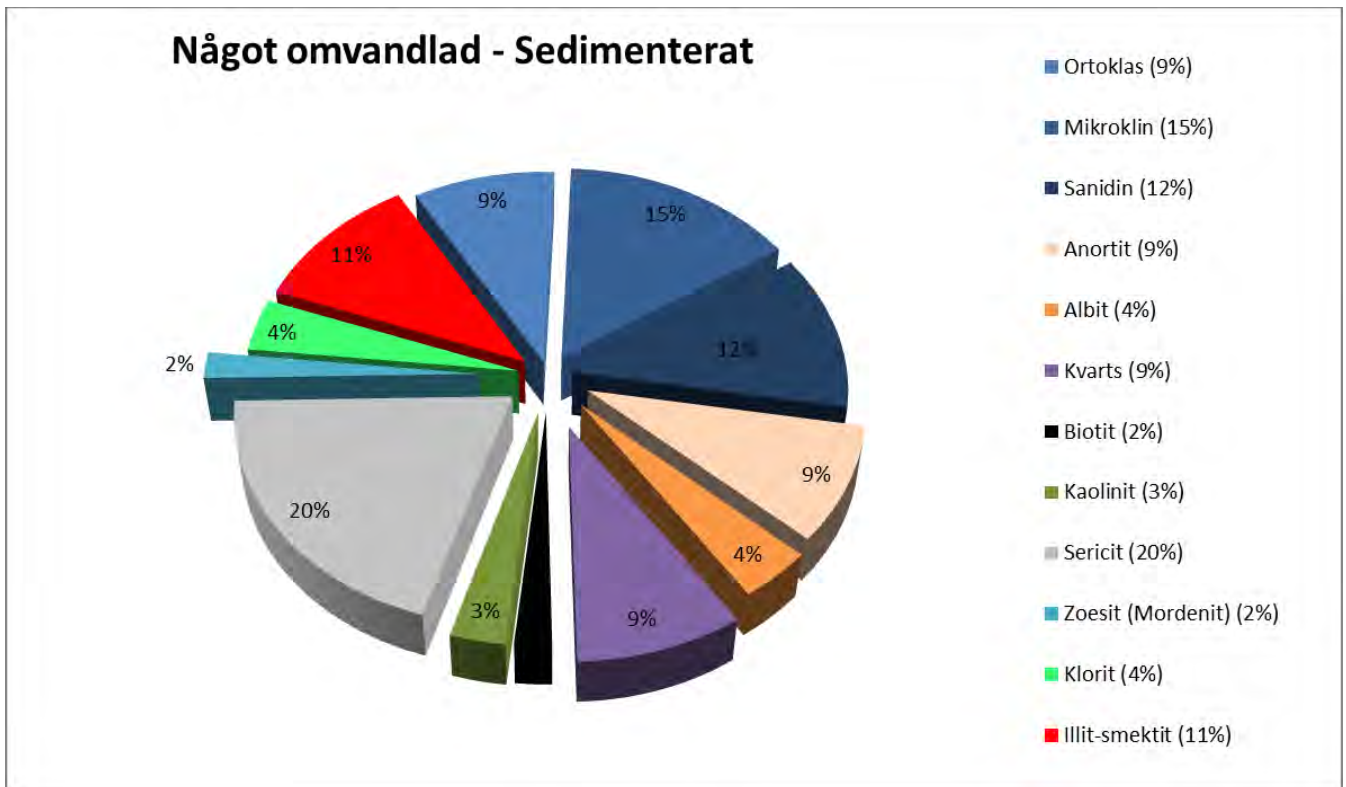
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1698	342.76	14.32561	0.2007	98-015-9384;98..
7.8883	616.75	11.20811	0.6424	
8.8304	496.27	10.01431	0.1004	98-008-7447;98..
12.4324	498.69	7.11984	0.3613	98-003-0285;98..
17.7452	180.14	4.99835	0.1606	98-008-7447;98..
18.6789	119.19	4.75057	0.4818	98-015-9384;98..
19.7827	335.82	4.48793	0.2810	98-008-7447;98..
20.8434	1576.67	4.26187	0.1004	98-000-0174;98..
22.0251	192.74	4.03581	0.0803	98-003-0285;98..
23.5233	241.38	3.78205	0.1606	98-003-4782;98..
24.2773	164.90	3.66628	0.1606	98-016-6967;98..
25.1299	381.53	3.54378	0.4015	98-003-4782;98..
25.5609	369.40	3.48499	0.2409	98-003-4782;98..
26.6163	9295.90	3.34916	0.1204	98-000-0174;98..
27.0505	754.54	3.29638	0.1204	98-003-4782;98..
27.4402	1863.69	3.25044	0.1004	98-003-4782;98..
27.8993	1176.60	3.19799	0.1405	98-008-7447;98..
29.4035	435.22	3.03772	0.0803	98-016-1171;98..
30.1459	303.60	2.96458	0.1606	98-003-4788;98..
30.7287	283.49	2.90967	0.1606	98-003-4782;98..
31.2637	147.92	2.86110	0.2409	98-008-7447;98..
32.1792	108.45	2.78176	0.4818	98-003-4782;98..
34.9494	551.92	2.56736	0.2409	98-003-4782;98..
36.5157	1148.50	2.46075	0.0602	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	51	Kvarts
98-003-4782	42	Ortoklas
98-008-7447	39	Sericit
98-016-6967	25	Illit-smektit
98-016-1171	14	Montmorillonit
98-003-0285	30	Kaolinit
98-003-4788	36	Mikroklin
98-003-4943	25	Anortit
98-007-7424	10	Albit
98-009-7848	19	Mordenit
98-009-8156	21	Biotit
98-015-9384	22	Vermikulit
98-016-4237	30	Klinoklor
98-025-0085	36	Sanidin

Något omvandlad – Sedimenterat



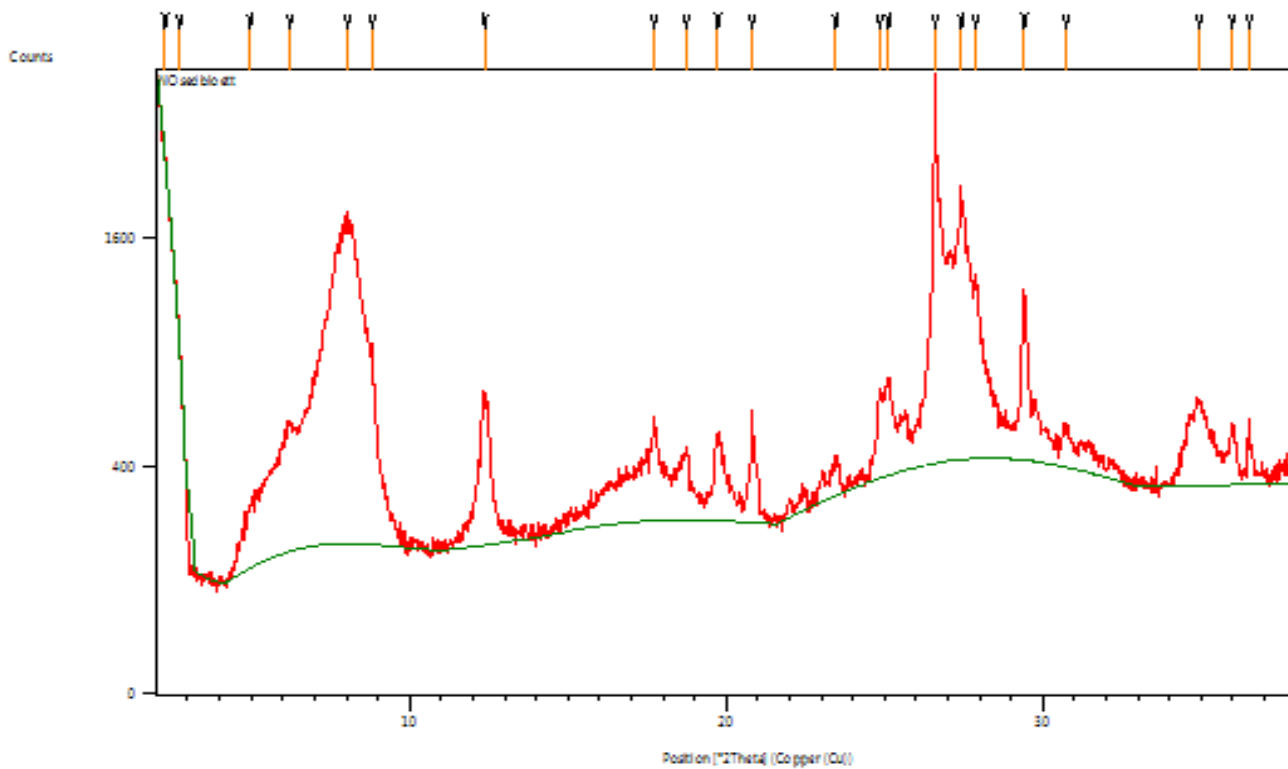
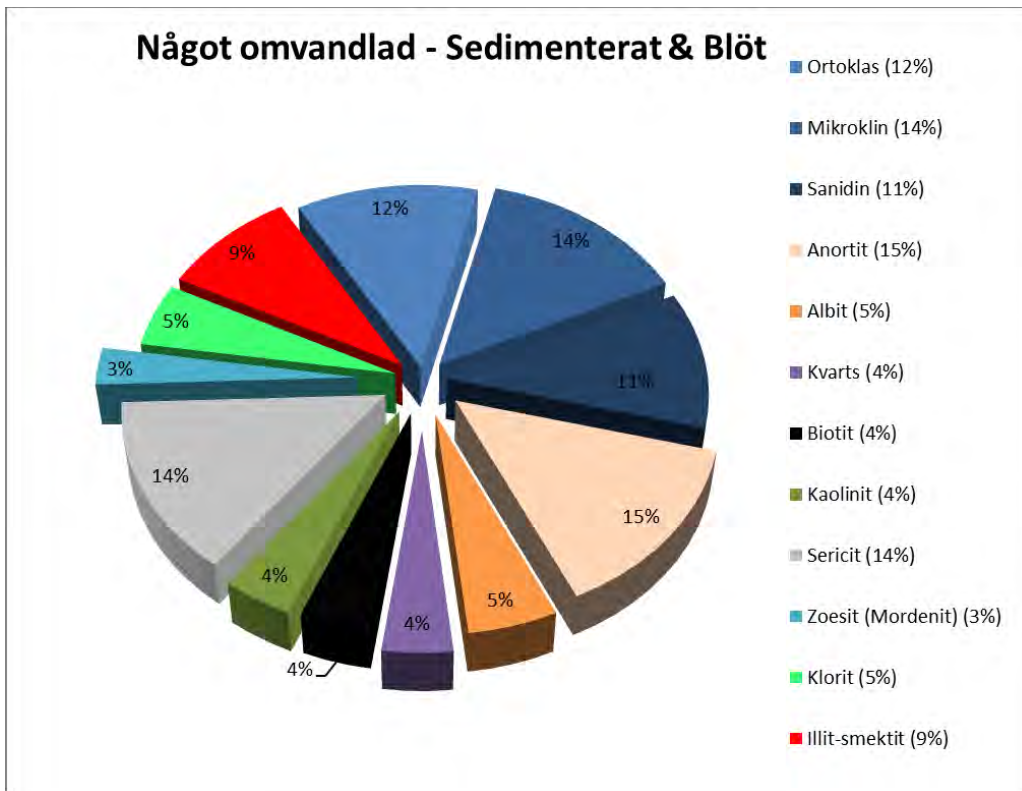
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
7.9864	295.23	11.07059	1.1241	
8.8439	153.15	9.99902	0.2409	98-008-7447;98..
12.4568	95.59	7.10592	0.3613	98-003-0285;98..
17.7427	43.70	4.99907	0.4818	98-016-1171;98..
19.7862	542.04	4.48713	0.2810	98-016-1171;98..
20.8780	566.07	4.25489	0.1004	98-000-0174;98..
22.5297	53.82	3.94654	0.2409	98-003-4782;98..
23.4702	135.44	3.79049	0.2007	98-003-4782;98..
25.6739	193.26	3.46992	0.1606	98-003-4782;98..
26.6490	2789.40	3.34512	0.1004	98-000-0174;98..
27.0902	483.50	3.29163	0.1204	98-003-4782;98..
27.4693	732.82	3.24707	0.1004	98-003-4782;98..
27.9184	413.20	3.19584	0.1204	98-003-4943;98..
29.4448	813.20	3.03356	0.1004	98-016-1171;98..
30.8130	124.21	2.90191	0.2409	98-003-4782;98..
34.6388	405.79	2.58966	0.3212	98-003-4782;98..
34.9701	542.60	2.56588	0.2409	98-003-4782;98..
36.0388	153.75	2.49221	0.2007	98-003-4782;98..
36.5599	211.13	2.45788	0.1606	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	60	Kvarts
98-003-4782	44	Ortoklas
98-016-1171	7	Montmorillonit
98-003-0285	15	Kaolinit
98-003-4788	35	Mikroklin
98-003-4943	17	Anortit
98-007-7424	7	Albit
98-008-7447	34	Sericit
98-009-7848	17	Mordenit
98-009-8156	17	Biotit
98-015-9384	12	Vermikulit
98-016-4237	Unmatch	Klinoklor
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit
98-025-0085	30	Sanidin

Något omvandlad – Sedimenterat & Blöt



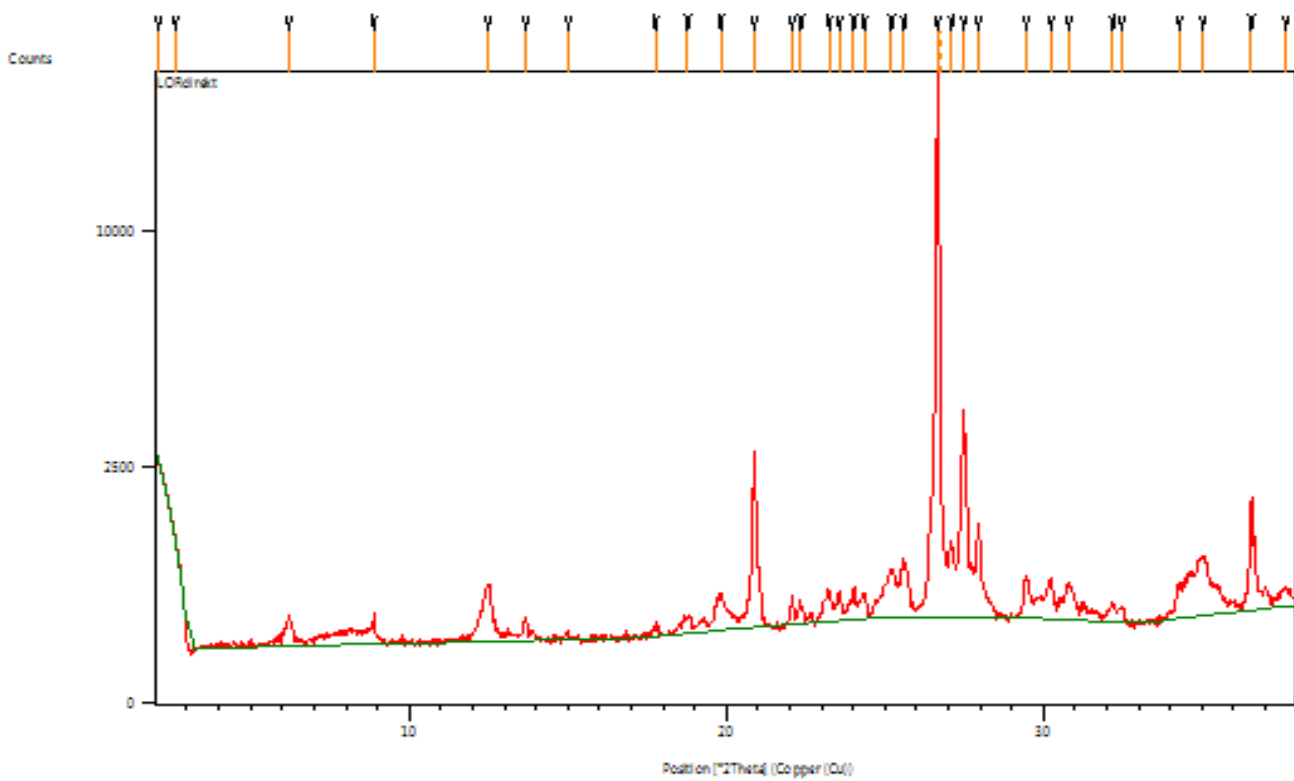
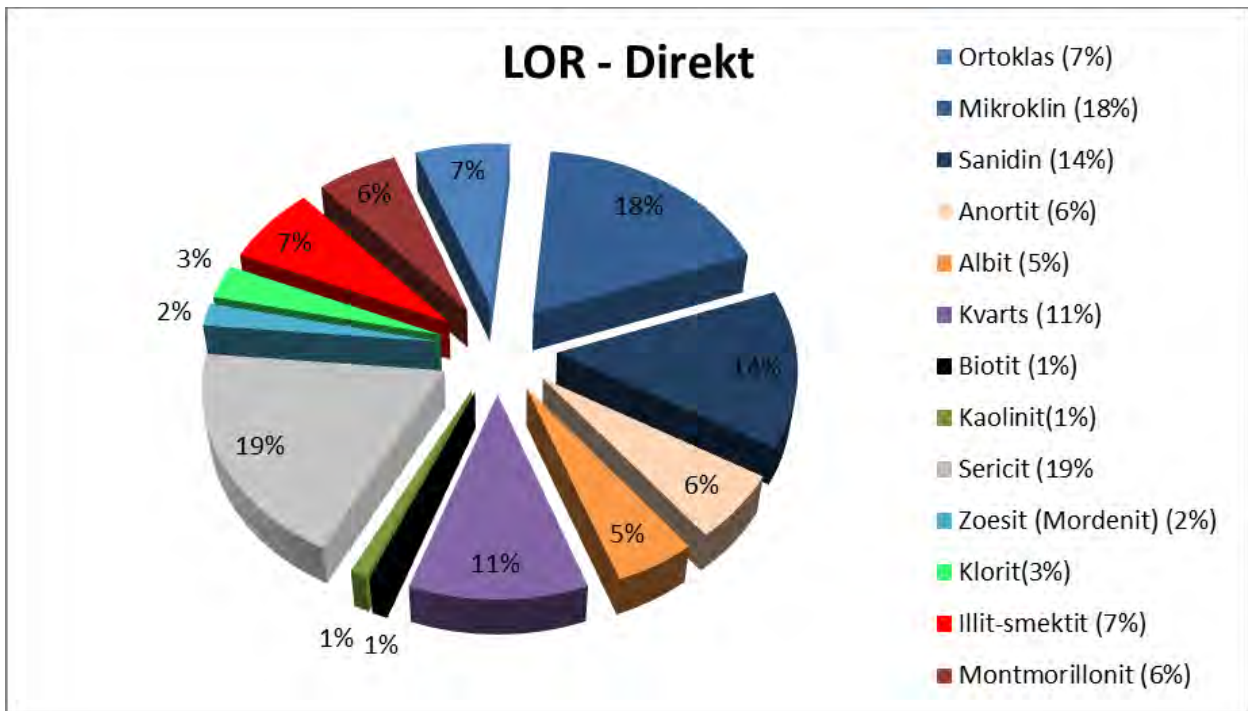
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
4.9743	147.24	17.76552	0.6424	
6.2294	401.30	14.18859	0.3212	98-015-9384;98..
8.0438	1554.22	10.99177	0.8832	
8.8200	741.38	10.02606	0.1606	98-008-7447;98..
12.3649	513.09	7.15856	0.1606	98-015-9384;98..
17.7259	316.15	5.00377	0.1606	98-016-1171;98..
18.7285	202.00	4.73810	0.1606	98-015-9384;98..
19.7403	257.15	4.49747	0.2810	98-016-1171;98..
20.8259	377.63	4.26542	0.0602	98-000-0174;98..
23.4476	105.83	3.79409	0.2409	98-003-4782;98..
24.8427	332.18	3.58410	0.1204	98-016-1171;98..
25.1262	404.47	3.54430	0.1606	98-003-4782;98..
26.6004	2589.68	3.35113	0.0803	98-000-0174;98..
27.4216	1494.41	3.25260	0.0803	98-003-4782;98..
27.8836	896.66	3.19975	0.1606	98-015-9384;98..
29.4049	841.81	3.03758	0.0803	98-016-1171;98..
30.7373	155.04	2.90888	0.2409	98-003-4782;98..
34.9348	317.80	2.56839	0.7226	98-003-4782;98..
35.9757	221.51	2.49643	0.2007	98-003-4782;98..
36.5037	233.86	2.46153	0.0602	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	49	Kvarts
98-003-4782	30	Ortoklas
98-016-1171	14	Montmorillonit
98-025-0085	28	Sanidin
98-015-9384	27	Vermikulit
98-016-4237	36	Klinoklor
98-003-0285	40	Kaolinit
98-003-4788	19	Mikroklin
98-003-4943	21	Anortit
98-007-7424	10	Albit
98-008-7447	33	Sericit
98-009-7848	15	Mordenit
98-009-8156	15	Biotit
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit

LOR – Direkt



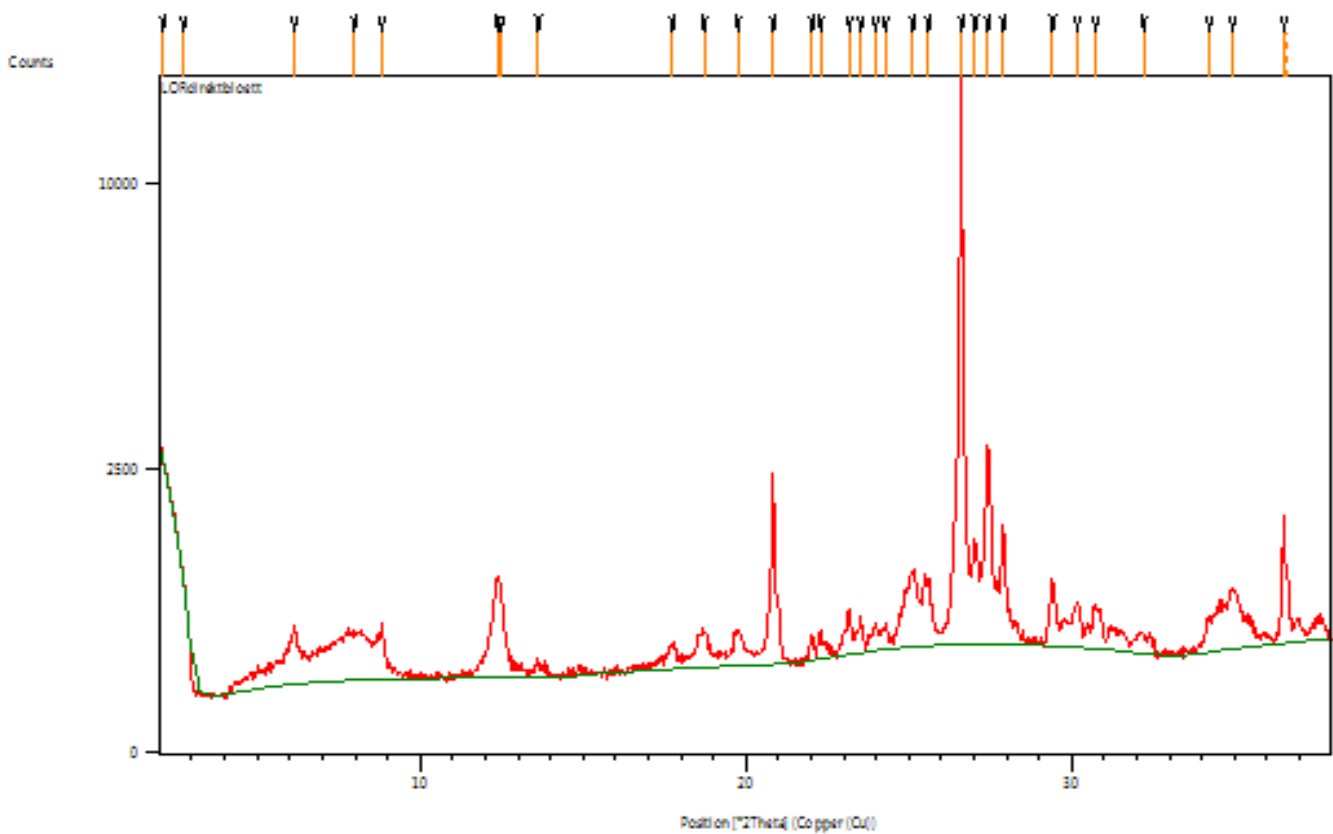
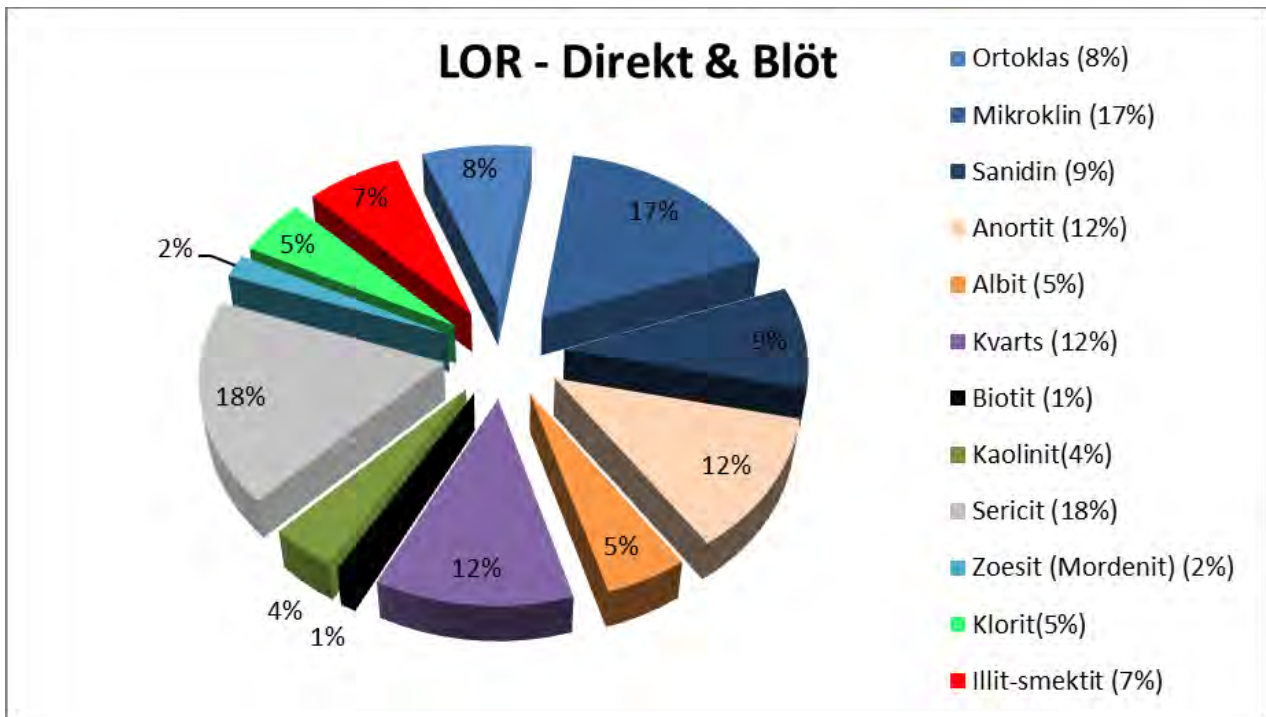
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.2114	157.09	14.22976	0.1606	98-015-9384;98..
8.8859	193.84	9.95188	0.0602	98-008-7447;98..
12.4823	418.15	7.09148	0.2409	98-003-0285;98..
13.6663	139.77	6.47963	0.0803	98-003-4782;98..
15.0244	19.59	5.89683	0.4818	98-003-4782;98..
17.7738	62.47	4.99038	0.2409	98-008-7447;98..
18.7877	88.90	4.72331	0.2409	98-003-4943;98..
19.8121	253.50	4.48134	0.2810	98-008-7447;98..
20.8882	2630.61	4.25283	0.1004	98-000-0174;98..
22.0812	229.03	4.02568	0.1004	98-003-0285;98..
22.3506	164.86	3.97777	0.1606	98-003-4782;98..
23.2411	240.66	3.82734	0.1204	98-016-6967;98..
23.5683	225.14	3.77493	0.1204	98-003-4782;98..
24.0301	213.99	3.70342	0.0602	98-003-4943;98..
24.3378	142.89	3.65729	0.1606	98-016-6967;98..
25.2180	375.66	3.53161	0.2007	98-003-4782;98..
25.6055	436.69	3.47903	0.2810	98-003-4782;98..
26.6656	17718.46	3.34031	0.0979	98-000-0174;98..
26.7474	7413.88	3.33856	0.0490	
27.0888	786.97	3.28909	0.0979	98-003-4782;98..
27.4829	3448.78	3.24280	0.1224	98-003-4782;98..
27.9481	1097.18	3.18988	0.1224	98-008-7447;98..
29.4520	374.71	3.03032	0.0979	98-016-1171;98..
30.2260	325.12	2.95447	0.1958	98-003-4788;98..
30.8000	264.74	2.90070	0.3917	98-003-4782;98..
32.1813	115.60	2.77927	0.3917	98-003-4782;98..
32.4625	106.59	2.75585	0.1958	98-003-4782;98..
34.2882	268.13	2.61317	0.1958	98-003-4782;98..
35.0094	583.91	2.56097	0.3917	98-003-4782;98..
36.5665	1490.38	2.45541	0.0734	98-000-0174;98..
37.6313	187.43	2.38834	0.3917	98-003-4782;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	53	Kvarts
98-003-4782	43	Ortoklas
98-008-7447	28	Sericit
98-016-6967	18	Illit-smektit
98-016-1171	2	Montmorillonit
98-003-0285	24	Kaolinit
98-003-4788	38	Mikroklin
98-003-4943	29	Anortit
98-007-7424	14	Albit
98-009-7848	17	Mordenit
98-009-8156	28	Biotit
98-015-9384	24	Vermikulit
98-016-4237	27	Klinoklor
98-025-0085	34	Sanidin

LOR – Direkt & Blöt



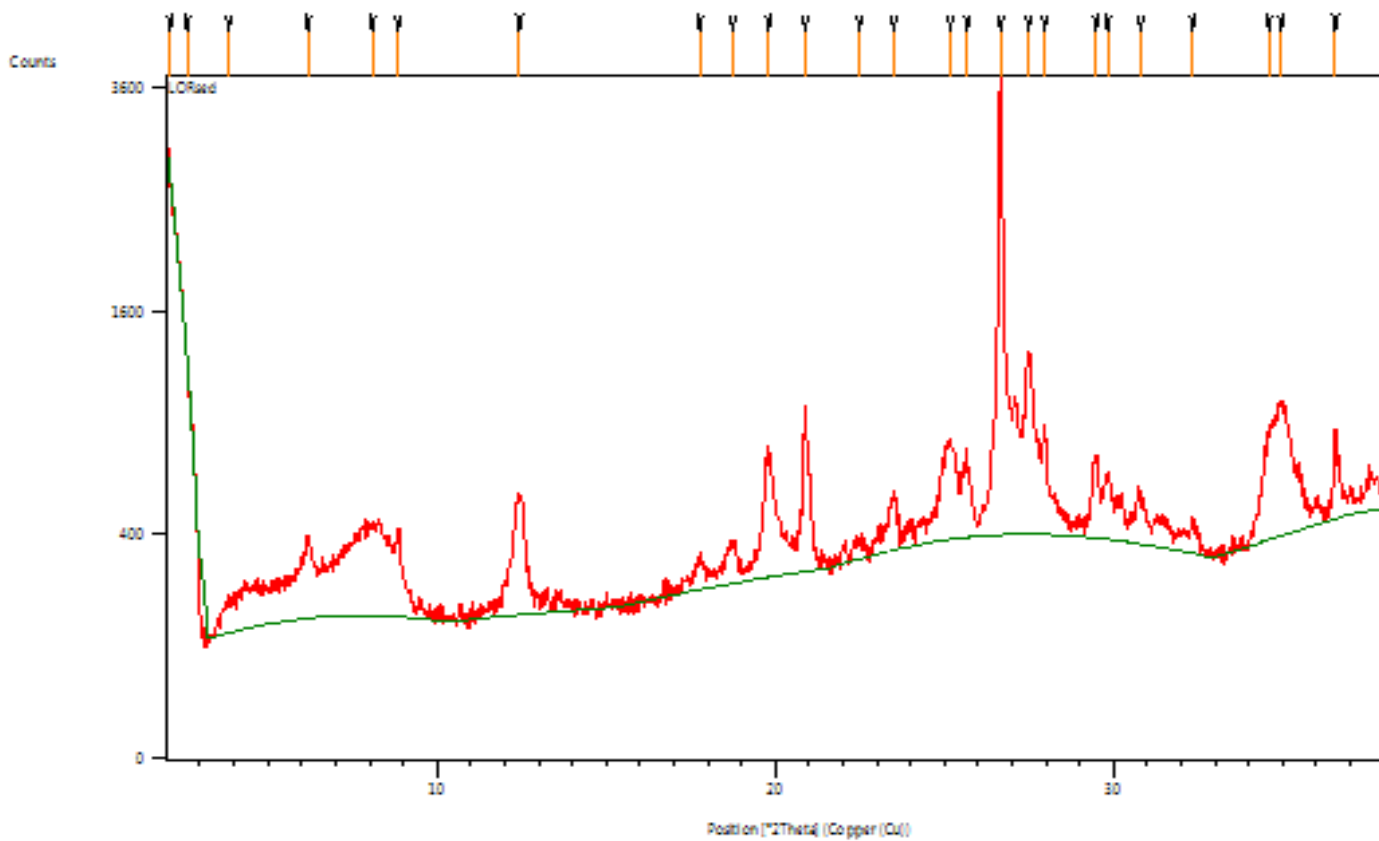
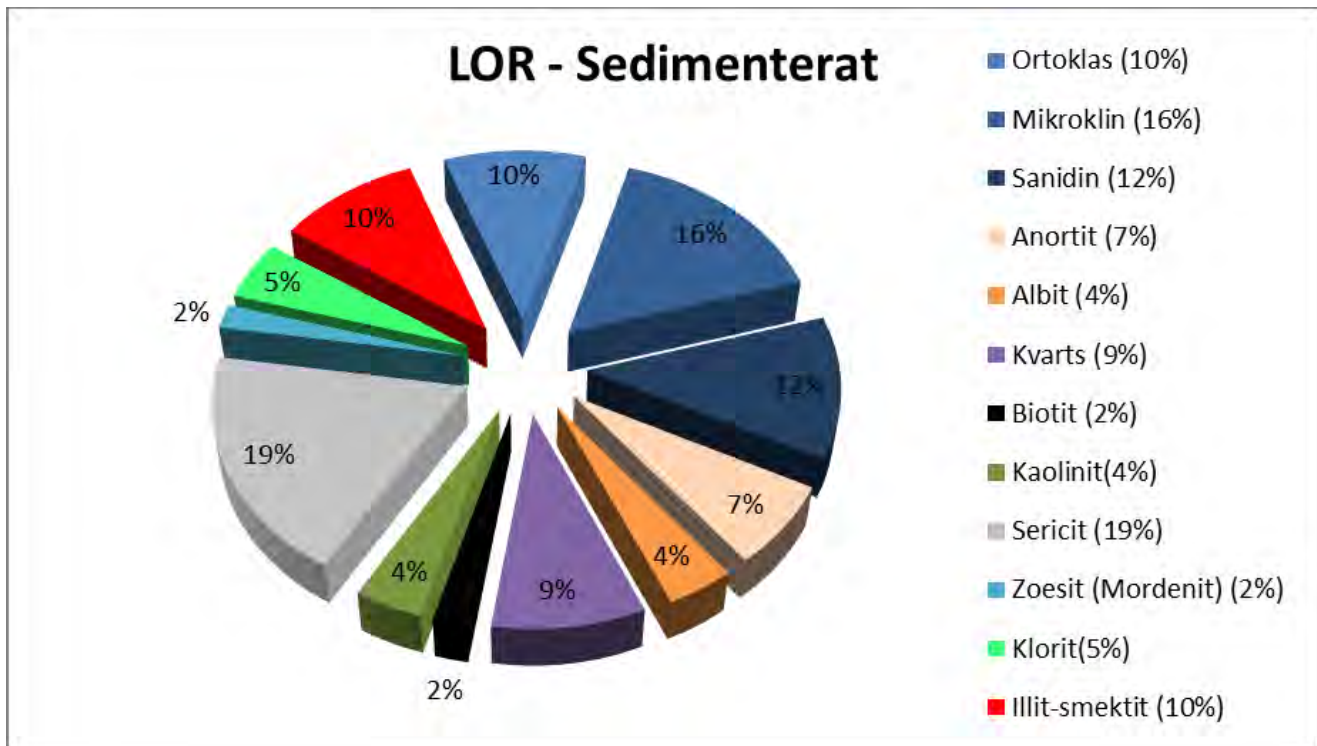
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1397	333.69	14.39558	0.2007	98-016-4237;98..
7.9788	274.38	11.08117	0.8029	
8.8194	340.78	10.02681	0.1004	98-008-7447;98..
12.3801	749.47	7.14977	0.1606	98-016-4237;98..
12.4761	678.06	7.09496	0.1204	98-016-4237;98..
13.6395	80.08	6.49232	0.4015	98-003-4782;98..
17.7462	147.70	4.99808	0.2007	98-008-7447;98..
18.7094	216.75	4.74288	0.3613	98-016-4237;98..
19.7532	229.68	4.49457	0.3212	98-008-7447;98..
20.8330	2176.47	4.26397	0.1004	98-000-0174;98..
22.0244	171.35	4.03593	0.1204	98-003-0285;98..
22.2800	187.78	3.99021	0.1004	98-008-7447;98..
23.1699	314.35	3.83893	0.1004	98-003-4782;98..
23.5134	258.94	3.78362	0.0602	98-003-4782;98..
23.9755	198.46	3.71173	0.1606	98-008-7447;98..
24.2775	170.97	3.66625	0.1606	98-016-6967;98..
25.1150	663.77	3.54585	0.2409	98-003-4782;98..
25.6089	602.84	3.47858	0.0602	98-003-4782;98..
26.6087	13840.57	3.35009	0.0803	98-000-0174;98..
27.0270	1061.07	3.29919	0.0803	98-003-4782;98..
27.4206	2614.94	3.25272	0.1004	98-003-4782;98..
27.8885	1259.43	3.19921	0.1405	98-008-7447;98..
29.4020	576.53	3.03788	0.1204	98-016-1171;98..
30.1602	361.08	2.96322	0.2007	98-025-0085;98..
30.7292	334.40	2.90963	0.1204	98-003-4782;98..
32.1956	119.57	2.78038	0.4818	98-003-4782;98..
34.2157	238.90	2.62071	0.1606	98-003-4782;98..
34.9399	496.39	2.56803	0.3212	98-003-4782;98..
36.5063	1357.45	2.45932	0.0979	98-000-0174;98..
36.6147	695.29	2.45838	0.0734	

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	45	Kvarts
98-003-4782	43	Ortoklas
98-008-7447	28	Sericit
98-016-6967	17	Illit-smektit
98-016-1171	13	Montmorillonit
98-025-0085	34	Sanidin
98-003-4788	30	Mikroklin
98-016-4237	35	Klinoklor
98-003-0285	35	Kaolinit
98-003-4943	25	Anortit
98-007-7424	11	Albit
98-009-7848	21	Mordenit
98-009-8156	14	Biotit
98-015-9384	16	Vermikulit

LOR – Sedimenterat

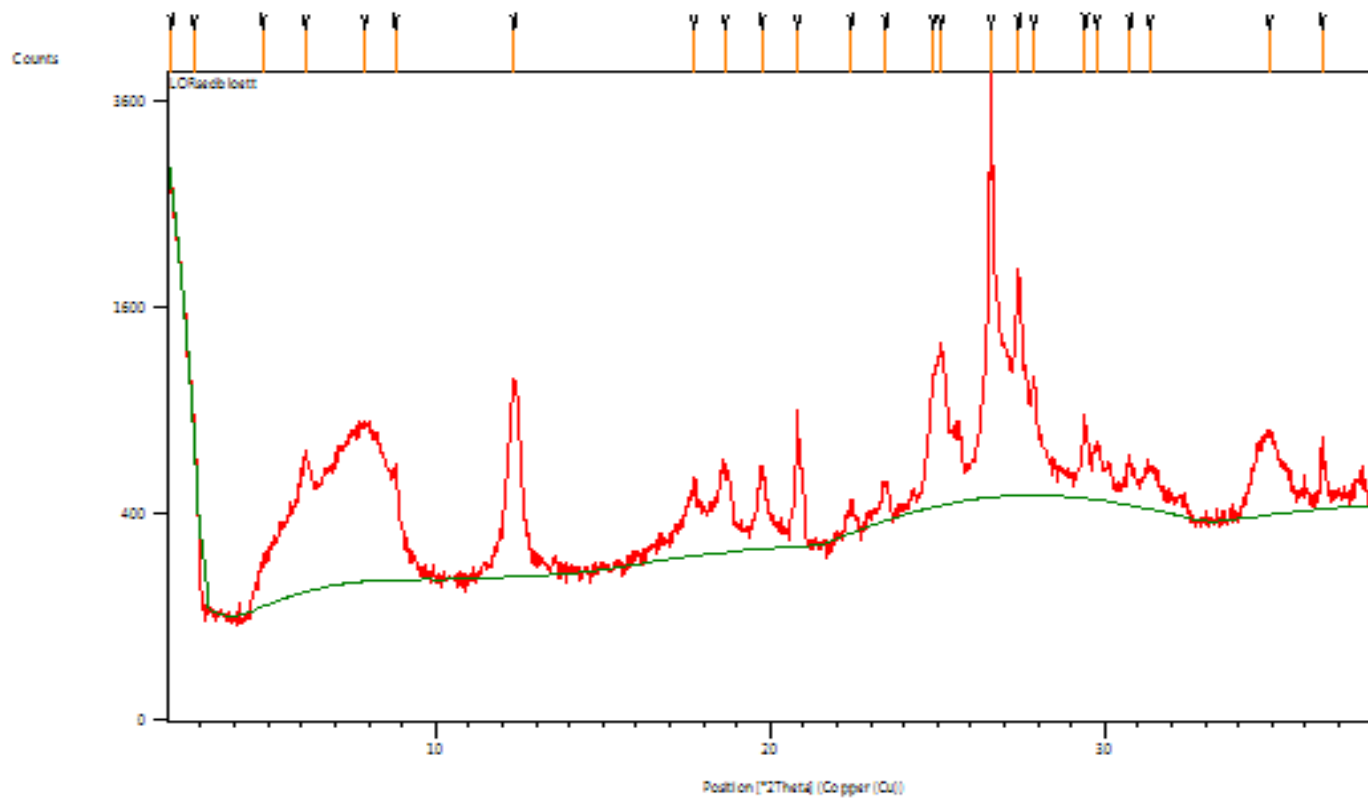
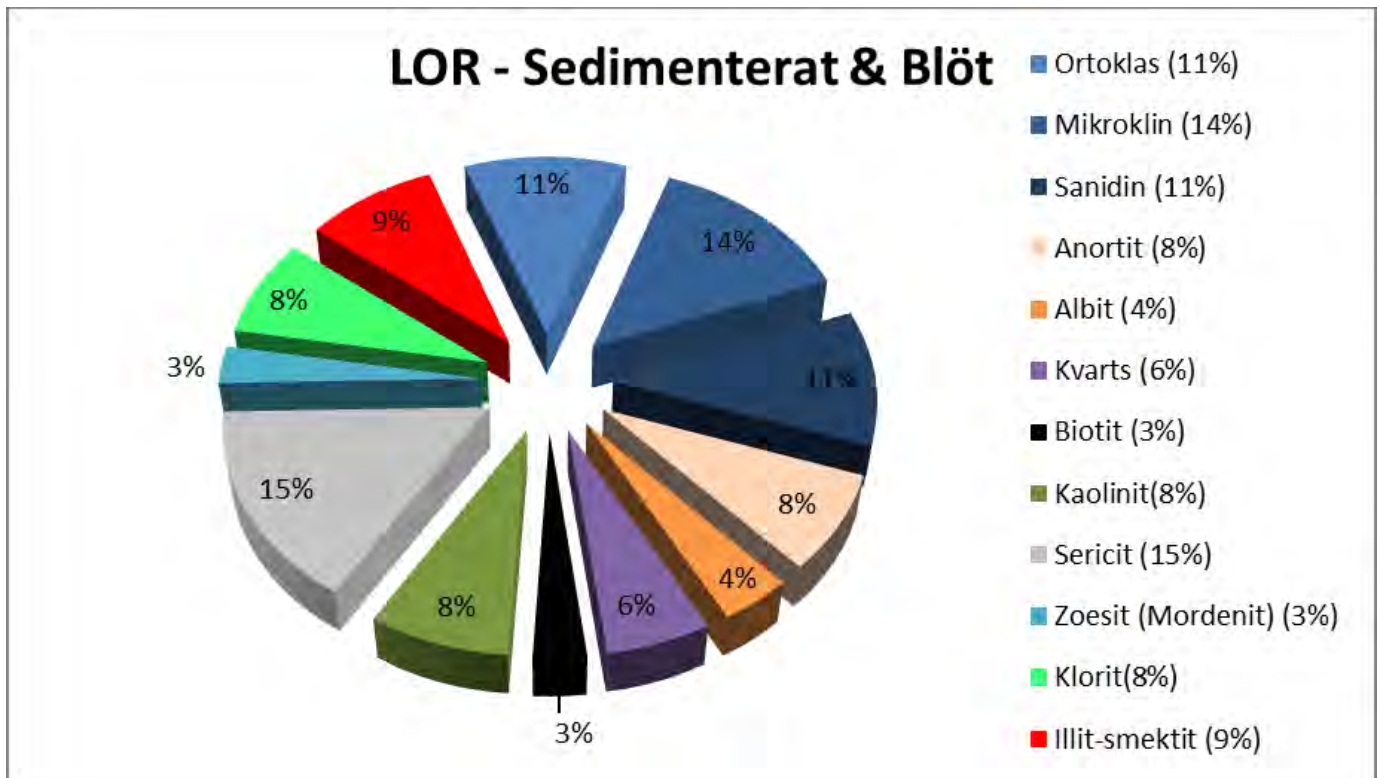


Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
3.8520	63.96	22.93842	0.6424	
6.1792	222.12	14.30384	0.1606	98-015-9384;98..
8.0907	259.57	10.92810	1.1241	
8.8495	242.10	9.99269	0.1204	98-008-7447;98..
12.4344	379.81	7.11868	0.3212	98-003-0285;98..
17.7658	75.29	4.99263	0.2409	98-016-1171;98..
18.7282	102.75	4.73817	0.3212	98-003-4943;98..
19.7941	473.64	4.48536	0.2810	98-016-1171;98..
20.8845	705.01	4.25357	0.0803	98-000-0174;98..
22.4812	45.31	3.95495	0.3212	98-003-4782;98..
23.5069	200.40	3.78465	0.2409	98-003-4782;98..
25.1690	405.87	3.53837	0.4015	98-003-4782;98..
25.6690	325.11	3.47056	0.1606	98-003-4782;98..
26.6563	3335.52	3.34423	0.1004	98-000-0174;98..
27.4900	908.32	3.24467	0.2007	98-003-4782;98..
27.9516	441.25	3.19213	0.1405	98-003-4943;98..
29.4662	328.56	3.03141	0.2007	98-016-1171;98..
29.8179	237.39	2.99644	0.2007	98-003-4782;98..
30.7889	168.56	2.90413	0.3212	98-003-4782;98..
32.3424	97.52	2.76809	0.2409	98-003-4782;98..
34.5950	473.16	2.59284	0.4015	98-003-4782;98..
34.9542	603.06	2.56701	0.4015	98-003-4782;98..
36.5606	395.14	2.45783	0.0602	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	59	Kvarts
98-003-4782	46	Ortoklas
98-016-1171	12	Montmorillonit
98-003-0285	29	Kaolinit
98-003-4788	35	Mikroklin
98-003-4943	18	Anortit
98-007-7424	8	Albit
98-008-7447	39	Sericit
98-009-7848	18	Mordenit
98-009-8156	23	Biotit
98-015-9384	32	Vermikulit
98-016-4237	28	Klinoklor
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit
98-025-0085	31	Sanidin



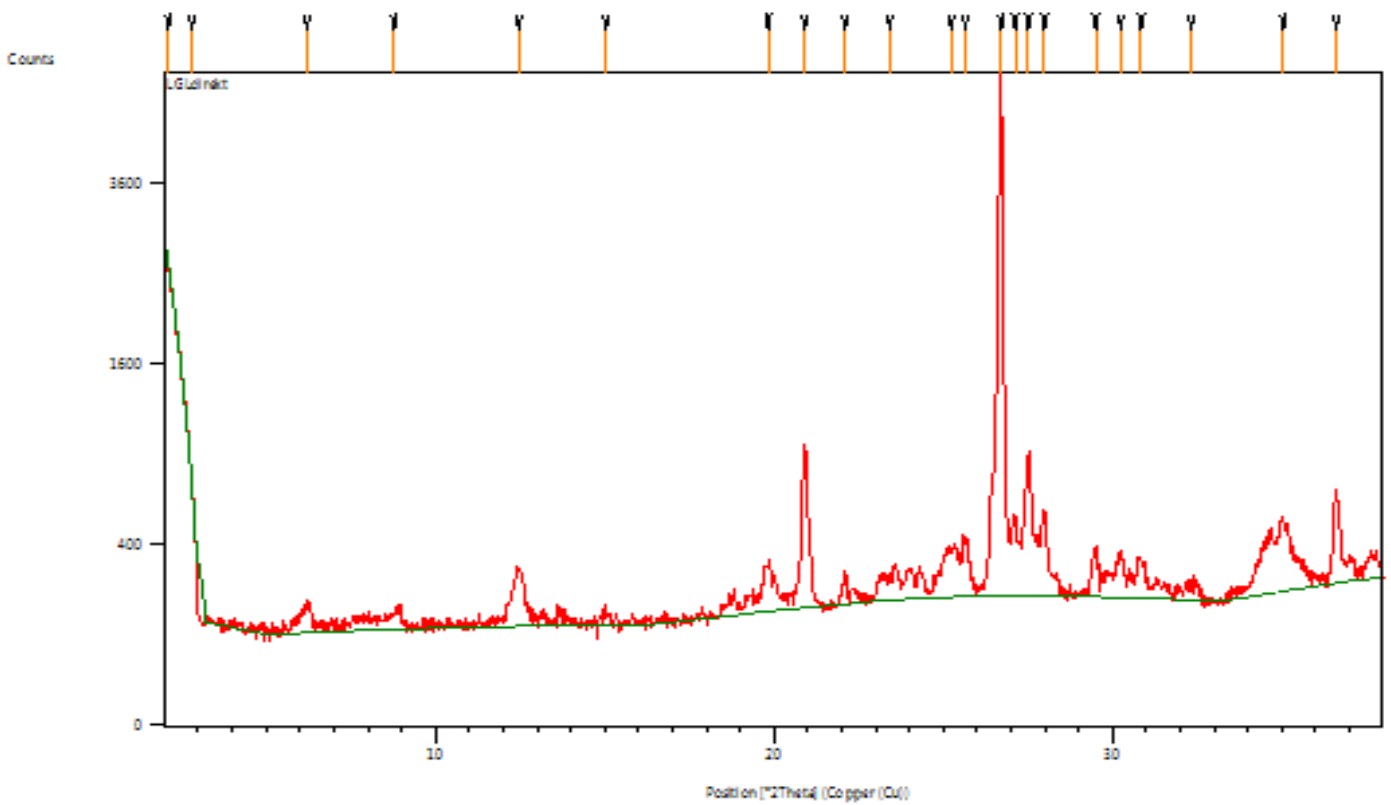
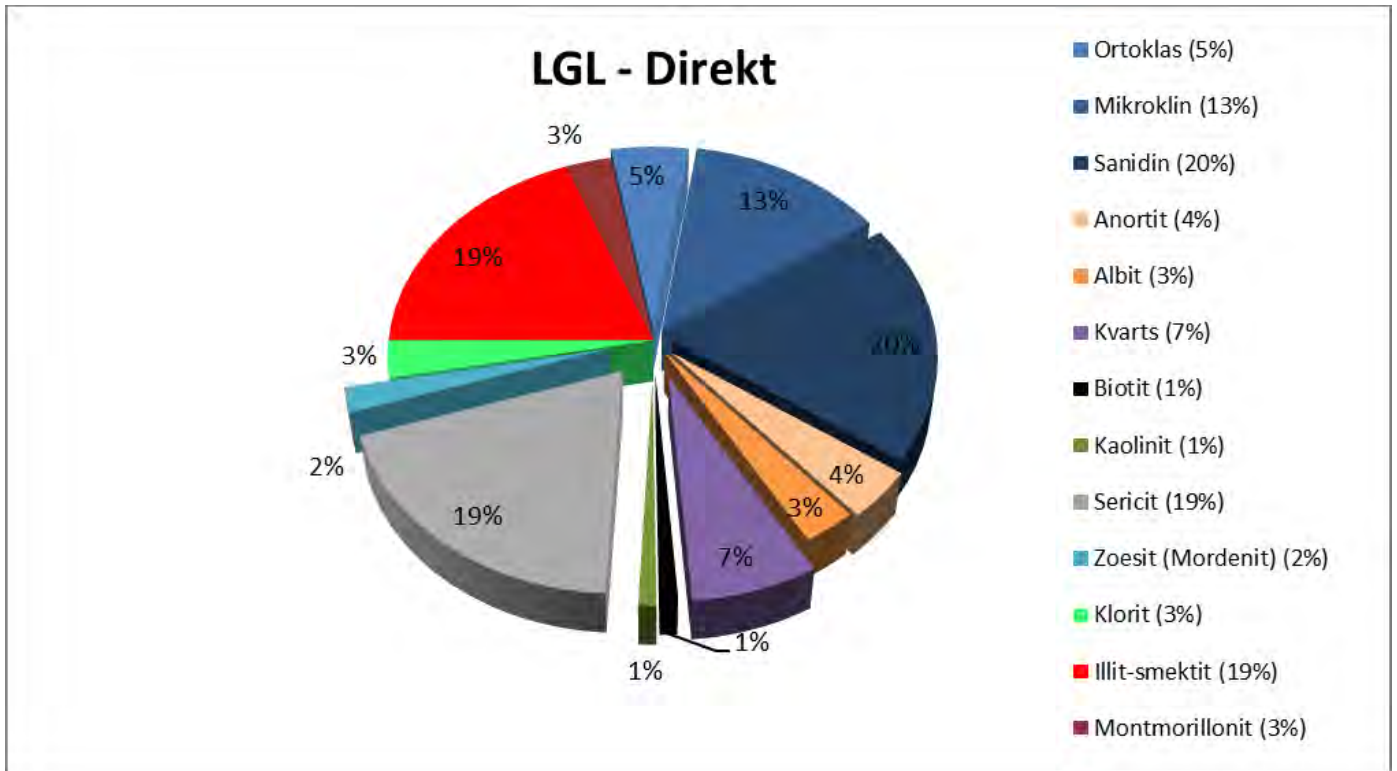
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
4.8347	110.16	18.27820	0.5621	
6.1165	517.26	14.45032	0.1606	98-015-9384;98..
7.8942	636.05	11.19966	0.4818	
8.8100	415.35	10.03747	0.1204	98-008-7447;98..
12.3599	884.44	7.16140	0.3613	98-003-0285;98..
17.7318	278.19	5.00212	0.1204	98-008-7447;98..
18.6457	312.95	4.75896	0.4015	98-015-9384;98..
19.7549	294.15	4.49418	0.2409	98-008-7447;98..
20.8252	612.83	4.26556	0.0803	98-000-0174;98..
22.4286	95.00	3.96411	0.3212	98-008-7447;98..
23.4486	151.81	3.79393	0.2409	98-003-4782;98..
24.8563	645.97	3.58218	0.1606	98-008-7447;98..
25.1006	848.79	3.54786	0.2810	98-008-7447;98..
26.5991	3519.30	3.35128	0.0803	98-000-0174;98..
27.4265	1439.78	3.25204	0.1204	98-003-4782;98..
27.8814	607.65	3.20001	0.1204	98-008-7447;98..
29.4137	371.03	3.03669	0.1606	98-016-1171;98..
29.7560	261.71	3.00254	0.2007	98-008-7447;98..
30.7519	182.62	2.90753	0.2409	98-003-4782;98..
31.3395	177.83	2.85435	0.4818	98-008-7447;98..
34.9065	369.20	2.57041	0.8029	98-008-7447;98..
36.4995	319.55	2.46181	0.0602	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	47	Kvarts
98-008-7447	38	Sericit
98-003-4782	35	Ortoklas
98-016-1171	18	Montmorillonit
98-003-0285	40	Kaolinit
98-003-4788	26	Mikroklin
98-003-4943	13	Anortit
98-007-7424	11	Albit
98-009-7848	18	Mordenit
98-009-8156	16	Biotit
98-015-9384	22	Vermikulit
98-016-4237	43	Klinoklor
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit
98-025-0085	28	Sanidin

LGL – Direkt

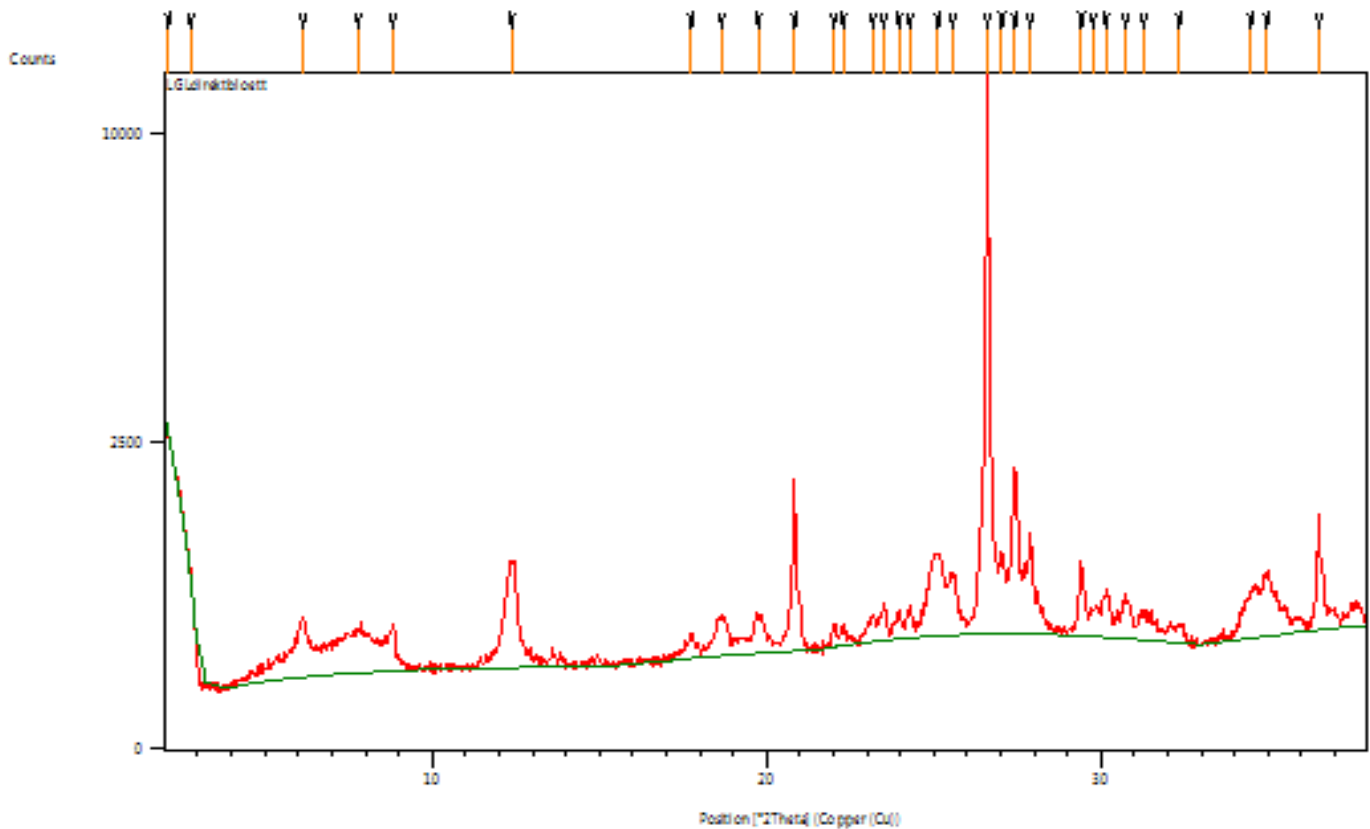
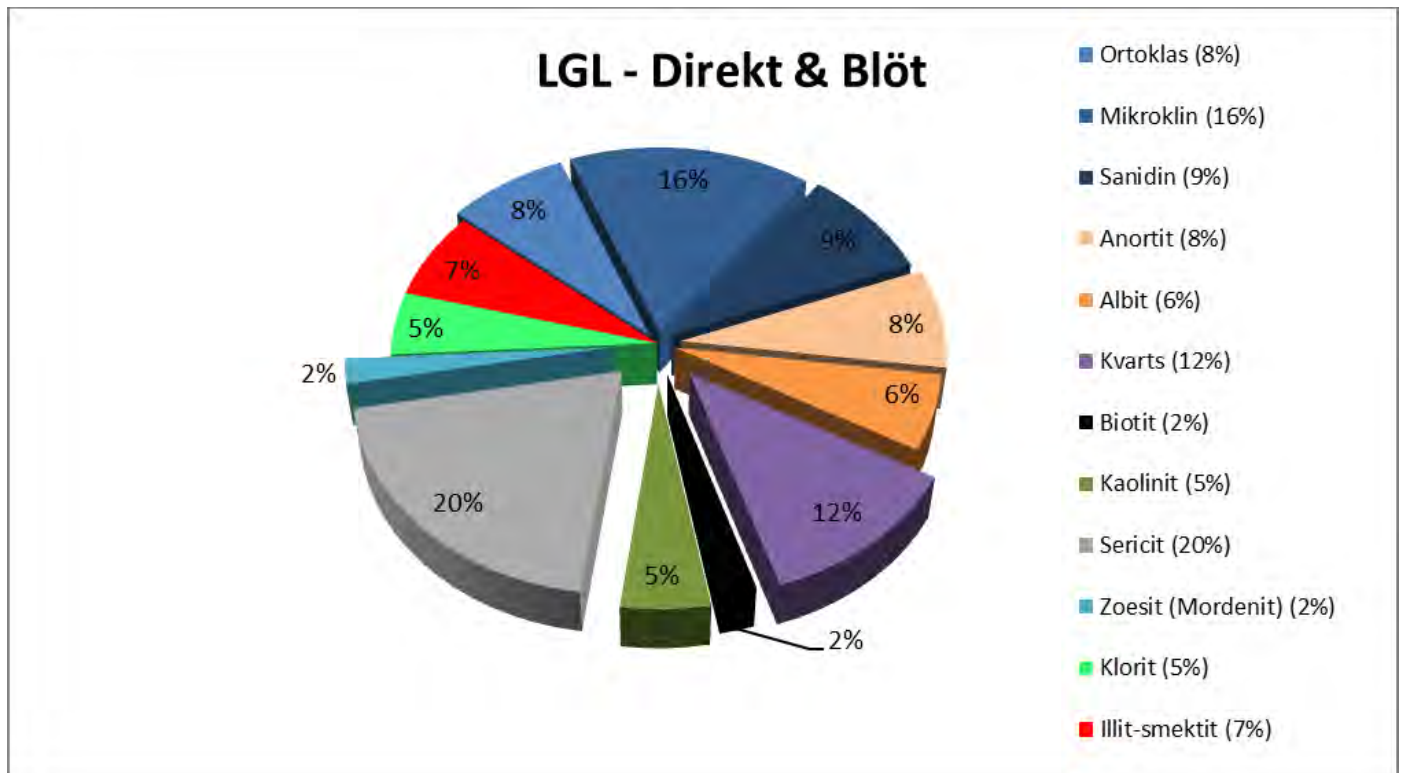


Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1957	56.94	14.26575	0.2409	98-015-9384;98..
8.7741	33.01	10.07849	0.4818	98-008-7447;98..
12.4534	153.44	7.10783	0.2810	98-003-0285;98..
15.0268	32.33	5.89590	0.4818	98-003-4782;98..
19.8245	129.30	4.47856	0.2007	98-003-0285;98..
20.9101	792.50	4.24843	0.1204	98-000-0174;98..
22.0924	94.85	4.02367	0.1204	98-003-0285;98..
23.4053	43.22	3.80086	0.4818	98-003-0285;98..
25.2402	135.76	3.52854	0.4015	98-003-0285;98..
25.6460	186.10	3.47363	0.2409	98-003-4782;98..
26.6967	4976.69	3.33926	0.1606	98-000-0174;98..
27.1190	276.73	3.28821	0.1606	98-003-4782;98..
27.5163	658.99	3.24163	0.1606	98-003-0285;98..
27.9767	335.16	3.18931	0.1405	98-003-4943;98..
29.4878	157.93	3.02923	0.1606	98-003-0285;98..
30.2269	122.39	2.95682	0.2007	98-003-4782;98..
30.8363	100.08	2.89977	0.2409	98-003-4782;98..
32.3060	36.97	2.77113	0.4818	98-003-4782;98..
35.0355	248.15	2.56124	0.3212	98-003-0285;98..
36.5950	379.34	2.45560	0.1204	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	60	Kvarts
98-003-0285	22	Kaolinit
98-003-4782	36	Ortoklas
98-003-4788	29	Mikroklin
98-003-4943	23	Anortit
98-007-7424	4	Albit
98-008-7447	17	Sericit
98-009-7848	11	Mordenit
98-009-8156	12	Biotit
98-015-9384	20	Vermikulit
98-016-1171	1	Montmorillonit
98-016-4237	Unmatch	Klinoklor
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit
98-025-0085	28	Sanidin



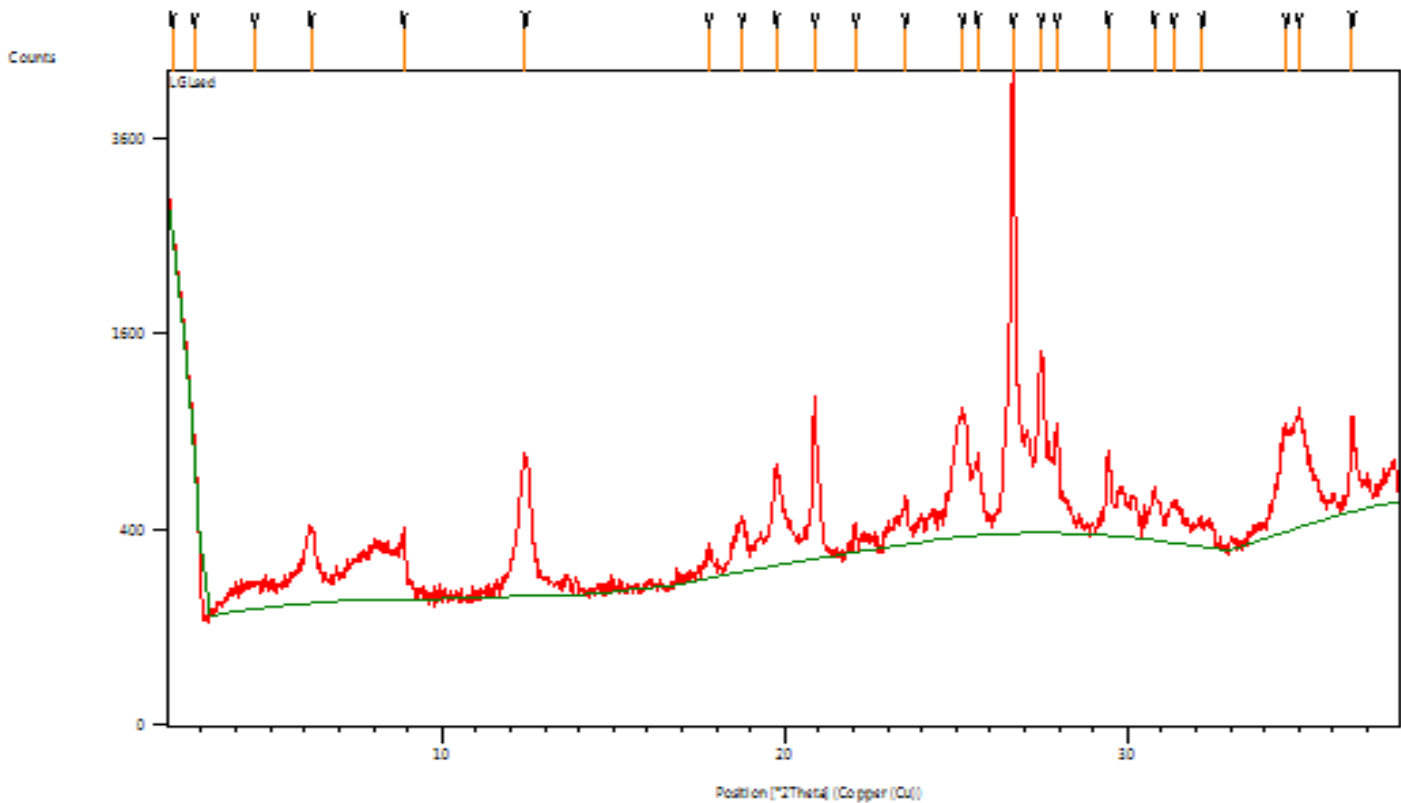
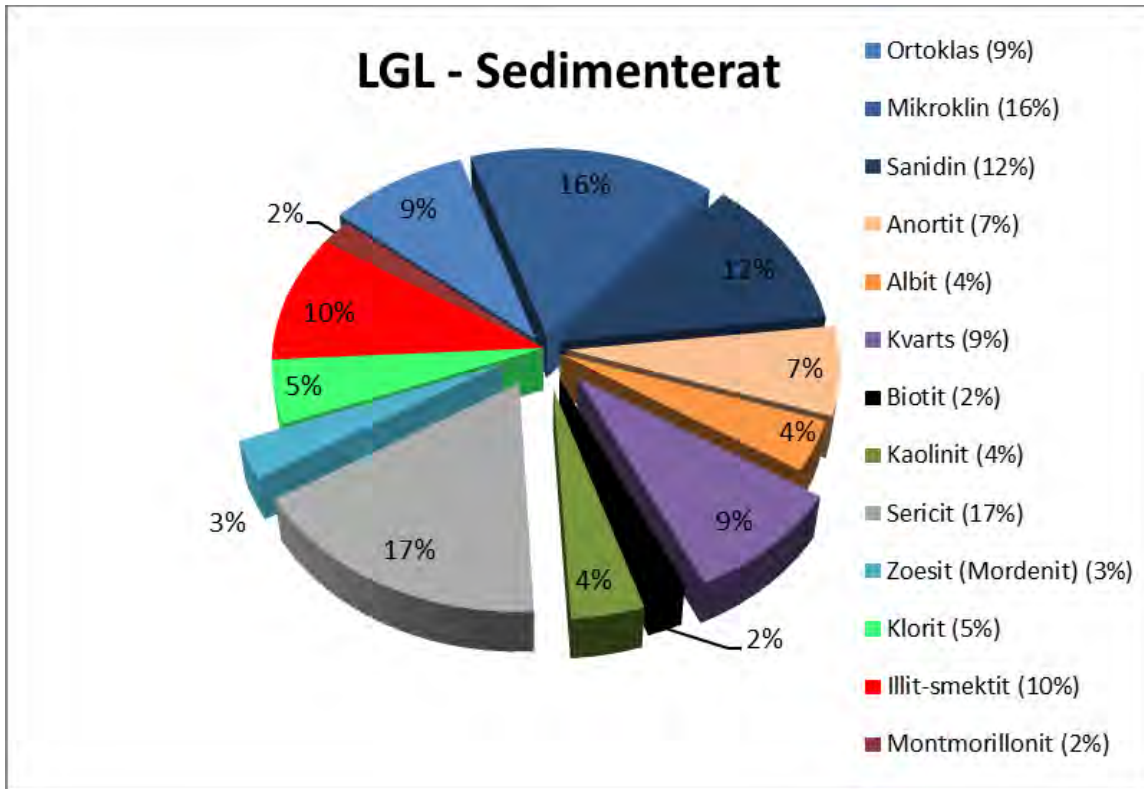
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1325	265.59	14.41264	0.2007	98-015-9384;98..
7.7937	159.62	11.34386	1.1241	
8.8256	234.66	10.01970	0.1204	98-008-7447;98..
12.3820	727.36	7.14866	0.3212	98-003-0285;98..
17.7498	104.75	4.99709	0.1606	98-008-7447;98..
18.6567	186.65	4.75616	0.4015	98-015-9384;98..
19.7470	182.98	4.49595	0.1606	98-008-7447;98..
20.8293	1662.20	4.26472	0.0803	98-003-4782;98..
22.0168	136.23	4.03731	0.1204	98-003-0285;98..
22.2861	106.12	3.98913	0.1204	98-025-0085;98..
23.1790	137.79	3.83745	0.2810	98-003-4782;98..
23.5097	212.50	3.78420	0.0803	98-003-4782;98..
23.9591	125.28	3.71424	0.1204	98-003-4788;98..
24.2717	152.21	3.66711	0.1606	98-025-0085;98..
25.1266	590.61	3.54425	0.1807	98-003-4782;98..
25.5561	380.52	3.48564	0.2409	98-003-4782;98..
26.6057	11820.78	3.35047	0.0602	98-025-0085;98..
27.0360	585.74	3.29811	0.1204	98-003-4782;98..
27.4245	1693.26	3.25227	0.1004	98-003-4782;98..
27.8779	854.94	3.20040	0.0803	98-008-7447;98..
29.4040	562.82	3.03767	0.1004	98-025-0085;98..
29.7687	138.38	3.00128	0.6424	98-003-4782;98..
30.1511	272.84	2.96409	0.2007	98-025-0085;98..
30.7431	245.70	2.90835	0.2810	98-003-4782;98..
31.2755	126.74	2.86005	0.2409	98-008-7447;98..
32.3359	87.44	2.76863	0.2409	98-003-4782;98..
34.4799	283.64	2.60123	0.4818	98-003-4782;98..
34.9565	412.38	2.56685	0.2409	98-003-4782;98..
36.5105	1066.45	2.46108	0.0803	98-003-4782;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-003-4782	44	Ortoklas
98-025-0085	38	Sanidin
98-003-4788	37	Mikroklin
98-008-7447	35	Sericit
98-003-0285	35	Kaolinit
98-003-4943	23	Anortit
98-016-6967	21	Illit-smektit
98-009-7848	21	Mordenit
98-016-1171	14	Montmorillonit
98-000-0174	47	Kvarts
98-007-7424	12	Albit
98-015-9384	21	Vermikulit
98-009-8156	19	Biotit
98-016-4237	40	Klinoklor

LGL – Sedimenterat



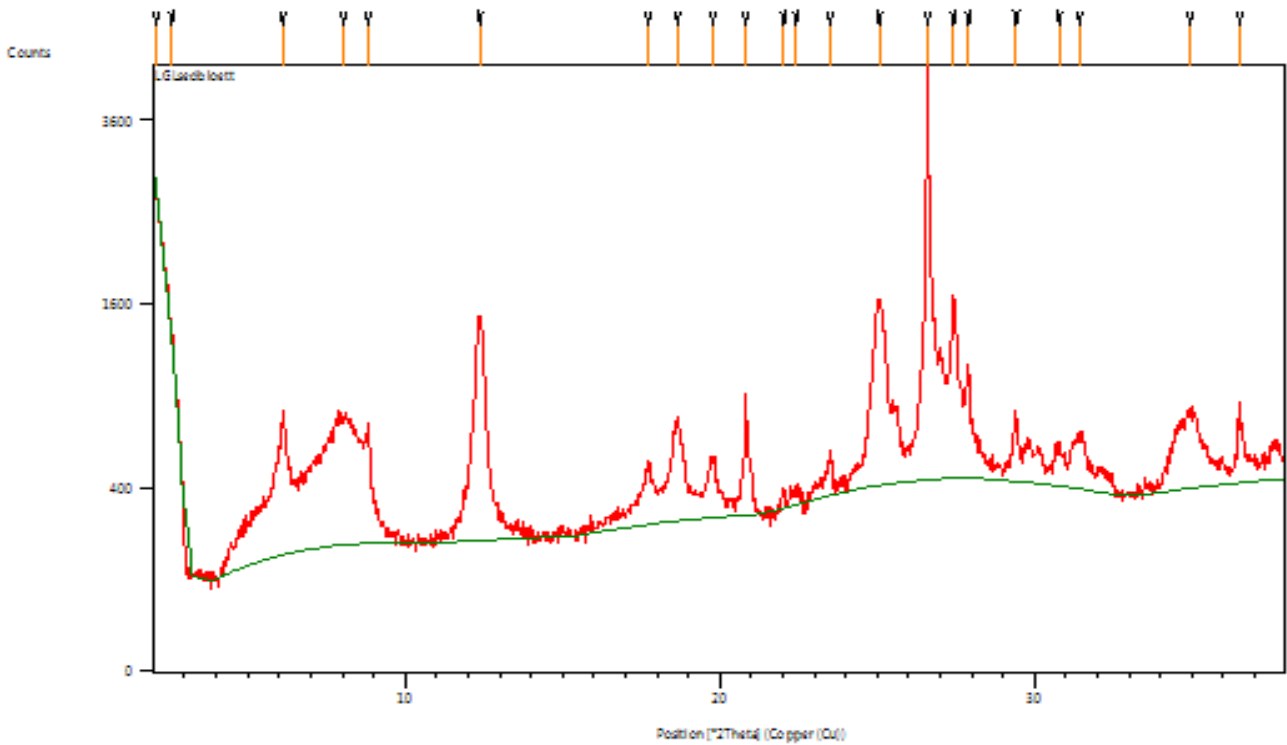
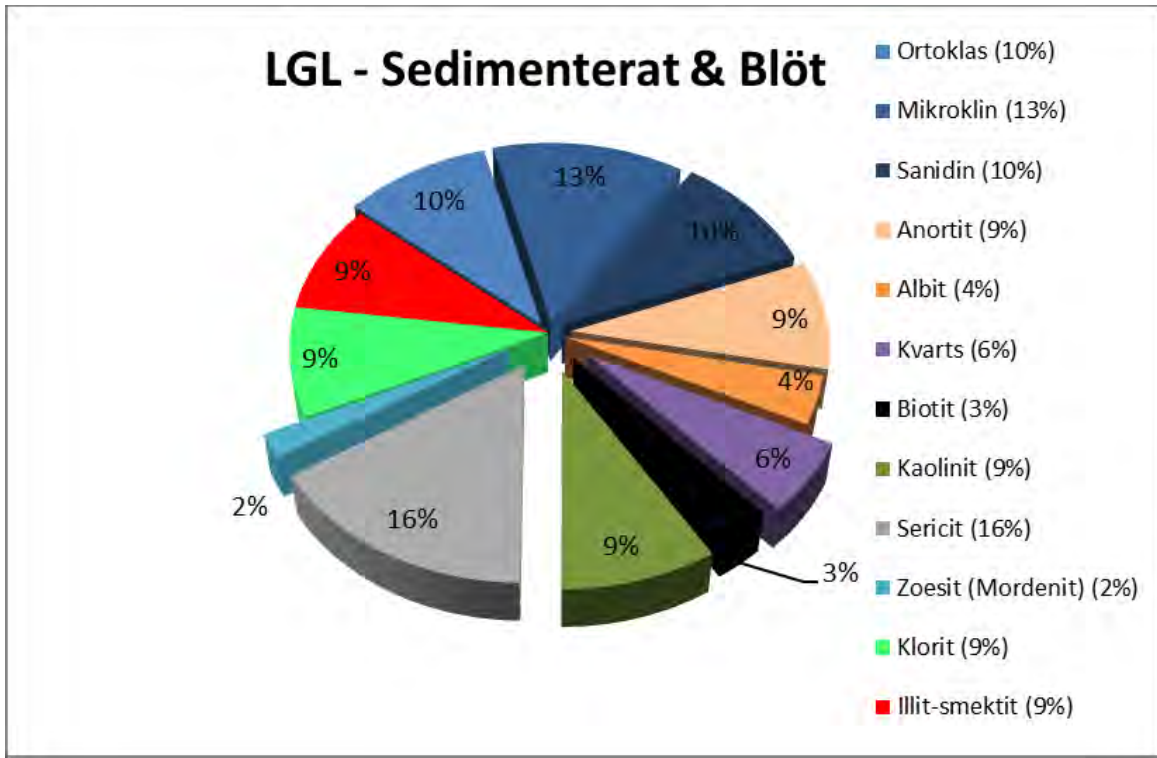
Peak List

Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
4.5289	46.96	19.51135	0.9635	
6.1792	220.02	14.30373	0.2810	98-015-9384;98..
8.8806	237.54	9.95783	0.1204	98-008-7447;98..
12.4343	550.77	7.11875	0.3212	98-015-9384;98..
17.7931	72.84	4.98502	0.3212	98-008-7447;98..
18.7536	172.69	4.73180	0.3613	98-015-9384;98..
19.7496	416.03	4.49538	0.1405	98-008-7447;98..
20.8801	843.68	4.25447	0.0803	98-000-0174;98..
22.0669	94.73	4.02826	0.1204	98-015-9384;98..
23.5280	182.87	3.78131	0.1606	98-003-4782;98..
25.1943	614.98	3.53487	0.3613	98-003-4782;98..
25.6210	299.41	3.47696	0.1606	98-008-7447;98..
26.6534	4031.87	3.34458	0.1204	98-000-0174;98..
27.4820	1033.07	3.24560	0.1405	98-003-4782;98..
27.9350	541.57	3.19399	0.1004	98-008-7447;98..
29.4416	353.50	3.03388	0.1204	98-015-9384;98..
30.7729	195.94	2.90560	0.2007	98-003-4782;98..
31.3490	142.23	2.85350	0.4015	98-008-7447;98..
32.1892	87.52	2.78092	0.4818	98-008-7447;98..
34.6241	519.02	2.59073	0.2810	98-008-7447;98..
34.9917	609.88	2.56435	0.2007	98-008-7447;98..
36.5555	514.79	2.45816	0.0602	98-000-0174;98..

Pattern List

Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-000-0174	59	Kvarts
98-008-7447	40	Sericit
98-003-4782	39	Ortoklas
98-003-4788	30	Mikroklin
98-015-9384	28	Vermikulit
98-016-4237	34	Klinoklor
98-025-0085	30	Sanidin
98-003-0285	34	Kaolinit
98-003-4943	20	Anortit
98-007-7424	8	Albit
98-009-7848	13	Mordenit
98-009-8156	21	Biotit
98-016-1171	5	Montmorillonit
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit

LGL – Sedimenterat & Blöt



Peak List

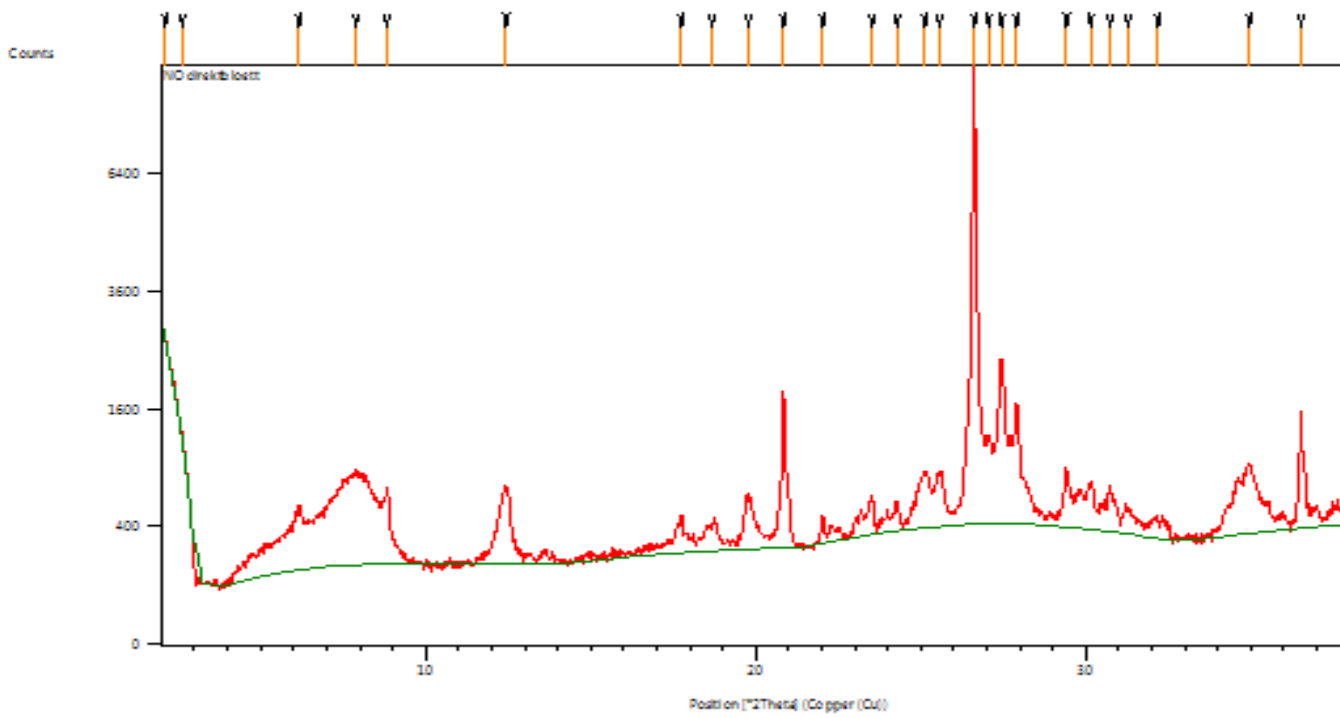
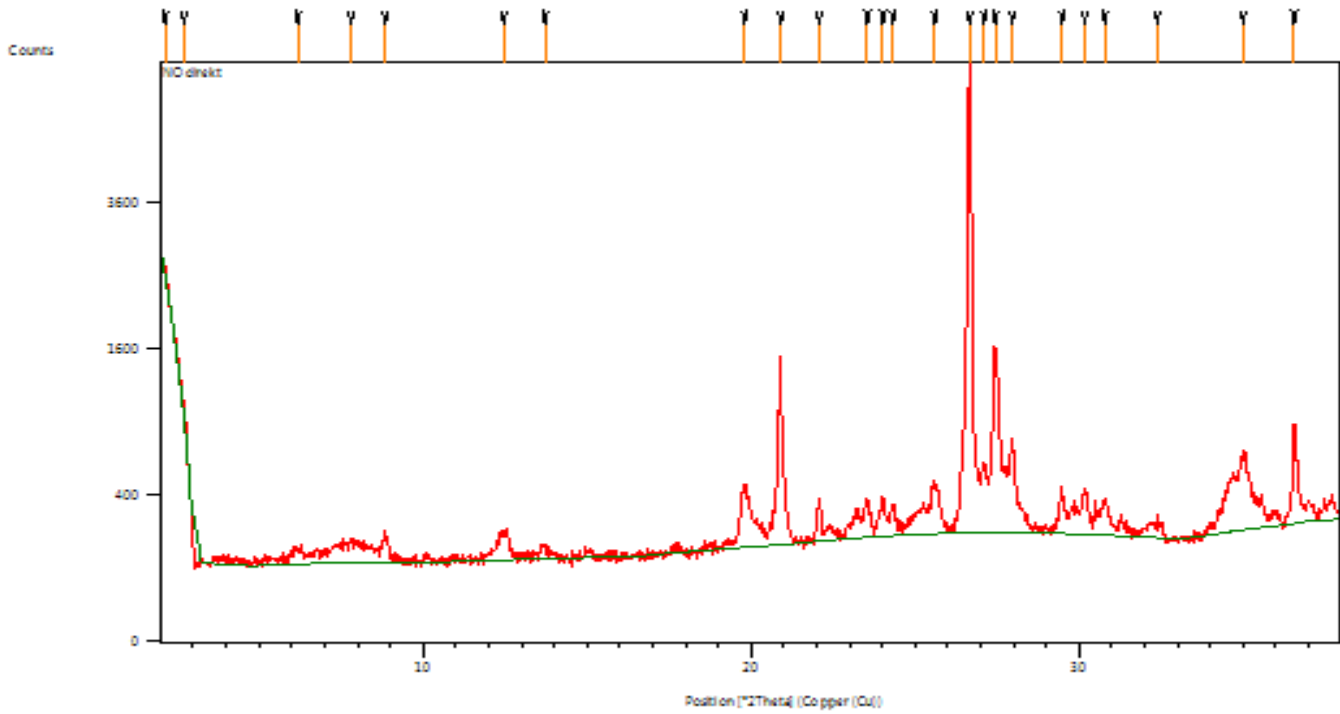
Pos. [°2 θ .]	Intensitet [n]	d-avstånd [Å]	Toppbredd	Motsvarar
6.1268	641.89	14.42598	0.0803	98-016-4237;98..
8.0373	559.08	11.00064	0.8029	
8.8138	541.75	10.03311	0.0803	98-008-7447;98..
12.3662	1291.99	7.15781	0.1606	98-016-4237;98..
17.7233	231.58	5.00450	0.2007	98-008-7447;98..
18.6418	448.01	4.75993	0.4015	98-016-4237;98..
19.7721	232.03	4.49031	0.2409	98-016-4237;98..
20.8238	620.21	4.26583	0.0803	98-016-4237;98..
22.0282	77.72	4.03524	0.1204	98-003-0285;98..
22.4160	44.69	3.96631	0.2409	98-008-7447;98..
23.5052	173.55	3.78493	0.1204	98-025-0085;98..
25.0688	1224.41	3.55229	0.4818	98-016-4237;98..
26.6026	3909.66	3.35086	0.0602	98-016-4237;98..
27.4210	1232.94	3.25268	0.1204	98-025-0085;98..
27.8870	672.89	3.19937	0.1004	98-008-7447;98..
29.4059	336.66	3.03749	0.1204	98-025-0085;98..
30.7722	175.67	2.90566	0.2409	98-025-0085;98..
31.4234	252.72	2.84692	0.4818	98-016-4237;98..
34.9315	379.63	2.56863	0.4015	98-016-4237;98..
36.5068	426.05	2.46133	0.0803	98-016-4237;98..

Pattern List

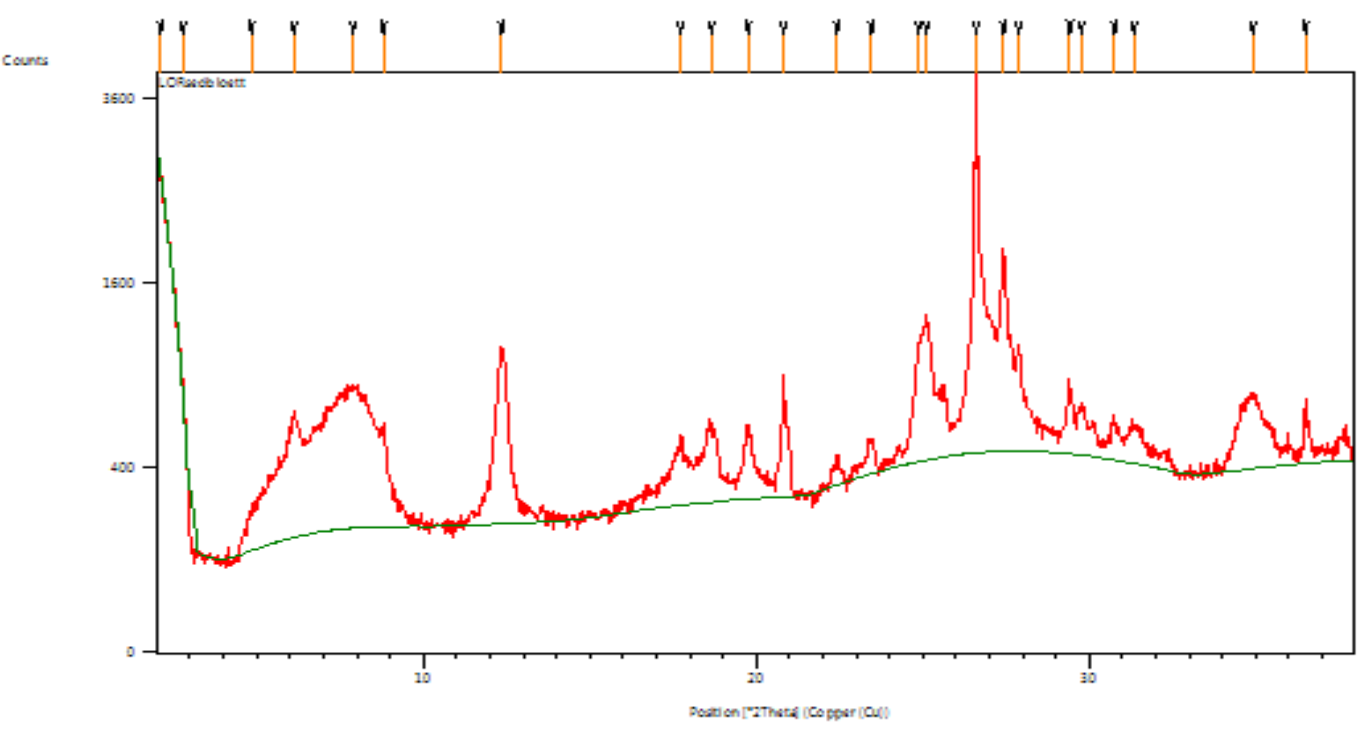
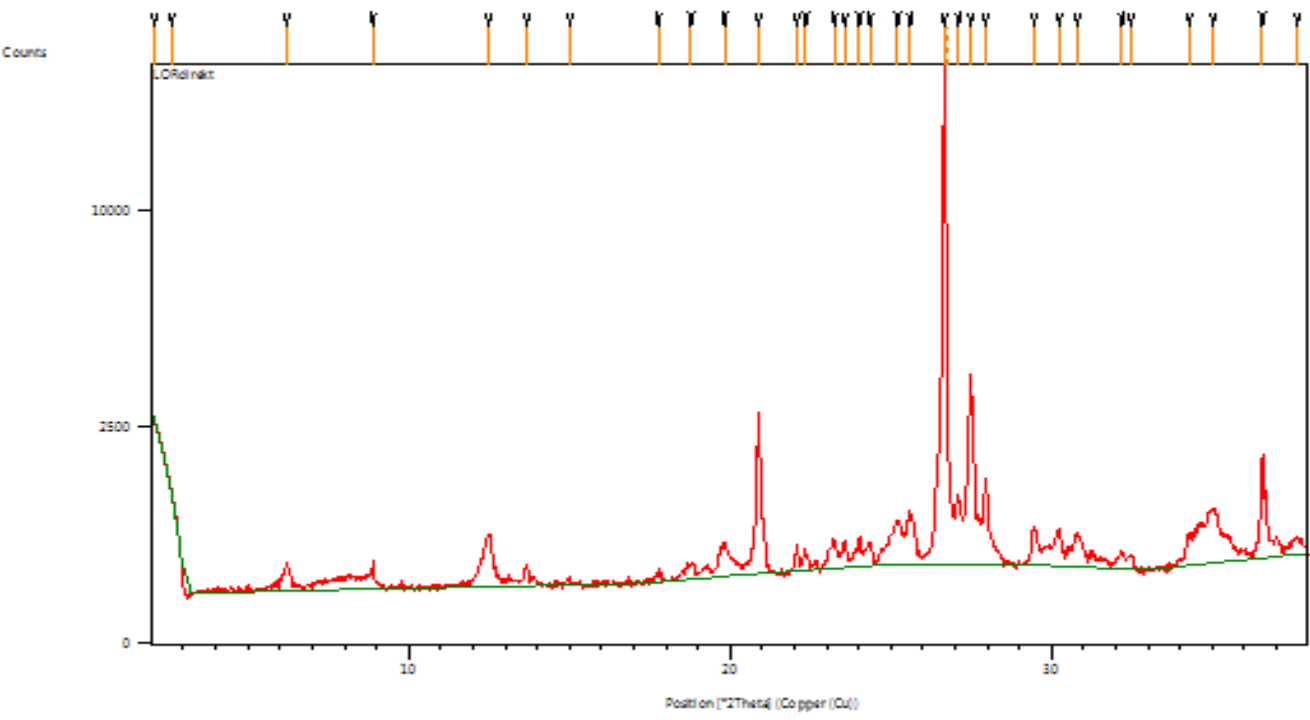
Ref.kod	Score	Mineralnamn
98-016-4237	41	Klinoklor
98-008-7447	40	Sericit
98-025-0085	26	Sanidin
98-000-0174	50	Kvarts
98-003-0285	36	Kaolinit
98-003-4782	35	Ortoklas
98-003-4788	24	Mikroklin
98-003-4943	19	Anortit
98-007-7424	11	Albit
98-009-7848	18	Mordenit
98-009-8156	18	Biotit
98-015-9384	23	Vermikulit
98-016-1171	18	Montmorillonit
98-016-6967	Unmatch	Illit-smektit

Bilaga 3

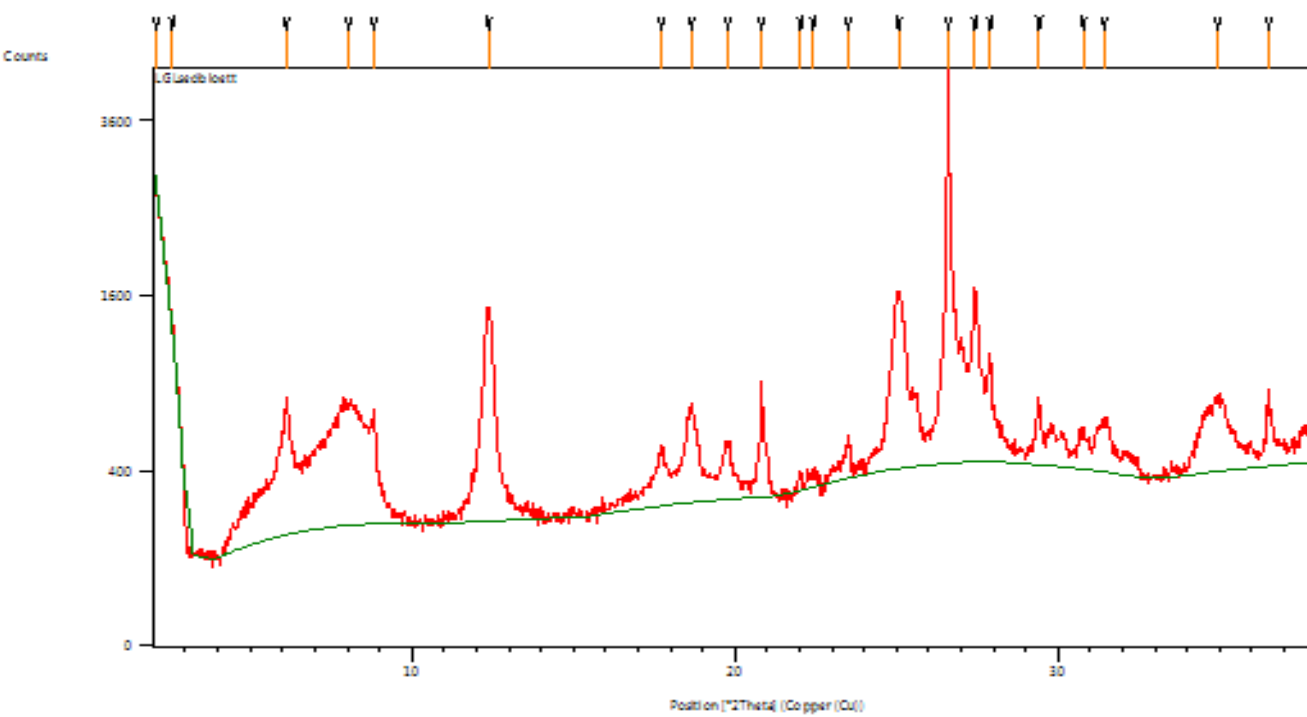
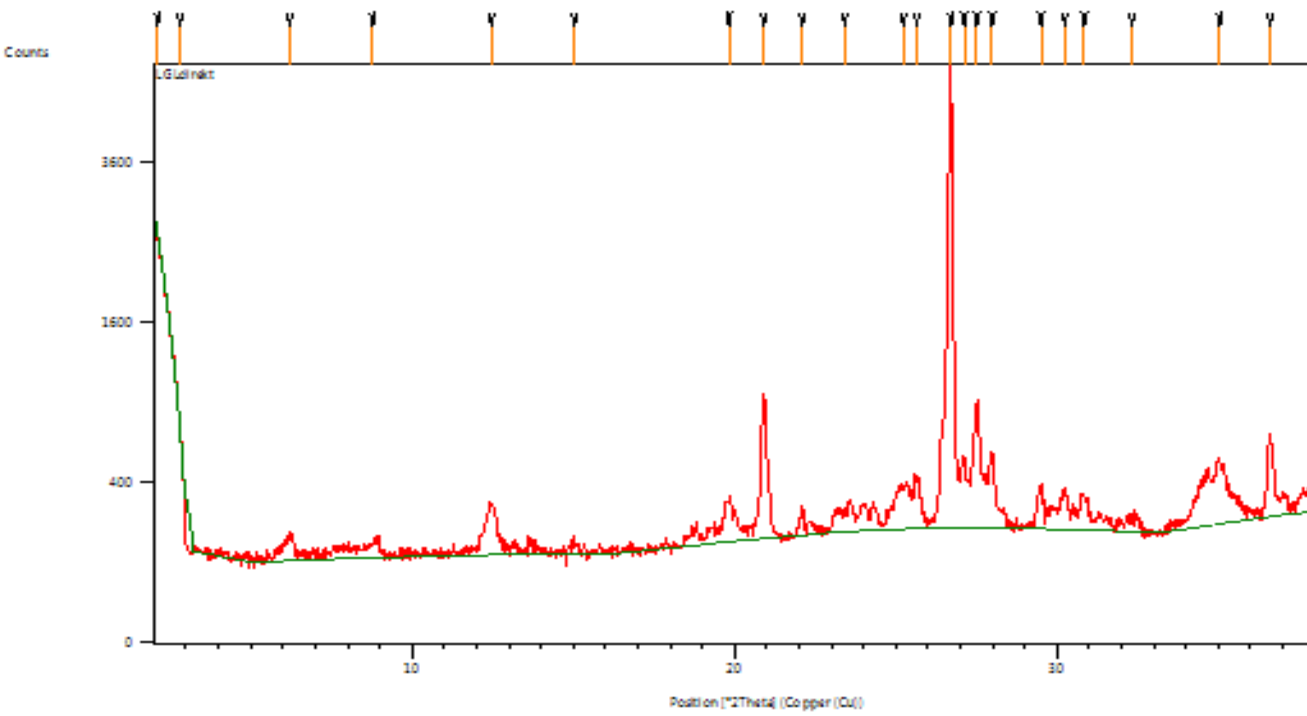
NO – "Avskrap" (över) och "Sedimenterat & Blöt" (nere)



LOR – "Avskrap" (över) och "Sedimenterat & Blöt" (nere)



LGL – "Avskrapat" (över) och "Sedimenterat & Blöt" (nere)



Bilaga 4

Med hjälp av klassifikationsdiagram baserad på Streckeisen (1976) kan en bergartsbestämning göras.

