

# Vaskning

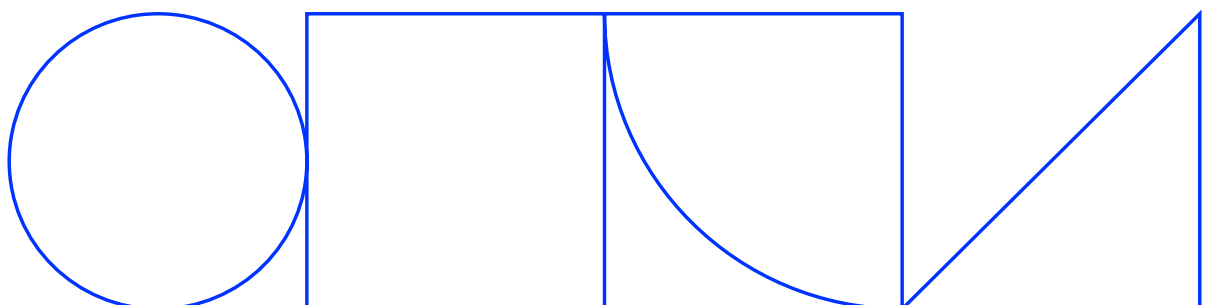
## Metod för inventering av sulfidinnehåll i bergmaterial

---

Emma Rehnström & Linnéa Johansson

Skanska Sverige AB

2024-12-18



## Förord

Projekt 14289 ”Vaskning- Metod för inventering av sulfidinnehåll i bergmaterial” har genomförts av arbetsgruppen med representanter från Skanska Sverige AB, med stöd från referensgruppen och finansiärer.

Arbetsgruppen vill uttrycka sitt tack till Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), som har gjort det möjligt för arbetsgruppen att genomföra projektet.

Ett extra tack till projektets referensgrupp för att bidra med sin tid, värdefull input och goda diskussioner.

*Projektets arbetsgrupp:*

Projektledare Emma Rehnström, Skanska Teknik  
Linnéa Johansson, Skanska Teknik  
Lars Stenlid, Skanska Teknik  
Amanda Nejman, Skanska Teknik

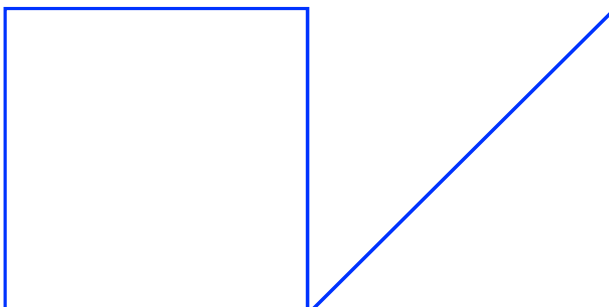
*Projektets referensgrupp (utöver arbetsgruppen):*

Mats Fehrm, NCC  
Matz Jönsson Forsell, Peab  
Åsa Sjöstrand, Skanska  
Felix Makowsky, Scandinavian Infra (tidigare Sigma Civil)  
Jarkko Lamminen, GTK  
Rickard Sundvall, Skanska

Malmö, 2024-12-18

Emma Rehnström  
Skanska Sverige AB

Linnéa Johansson



## Sammanfattning

I innevarande projekt har undersökts om framtagning av tungmineralseparat med hjälp av vaskning skulle kunna användas för att komplettera petrografiska och kemiska analyser för att karakterisera mineralinnehållet i bergmaterial.

Under projektets gång har det genomförts en inledande och en avslutande workshop och däremellan har det genomförts ett 60-tal vaskningar. Det analyserades sex olika bergmaterialprover, med svavelhalter mellan 0 och 10 000 ppm.

Testningen av reproducerbarhet, både genom succesiv vaskning av samma provmaterial av samma person och genom vaskning av olika personer visar att separaten varierar något i omfång, men proportionerna är lika. Således ger en större mängd prov en större mängd sulfidmineral. Trots variation i storlek på separaten, blir resultaten jämförbara.

Sulfidfraktionen är väldigt liten i alla diabasproven och mycket hög i gnejsproven. Inget prov sticker ut med signifikant högre eller lägre andel sulfider.

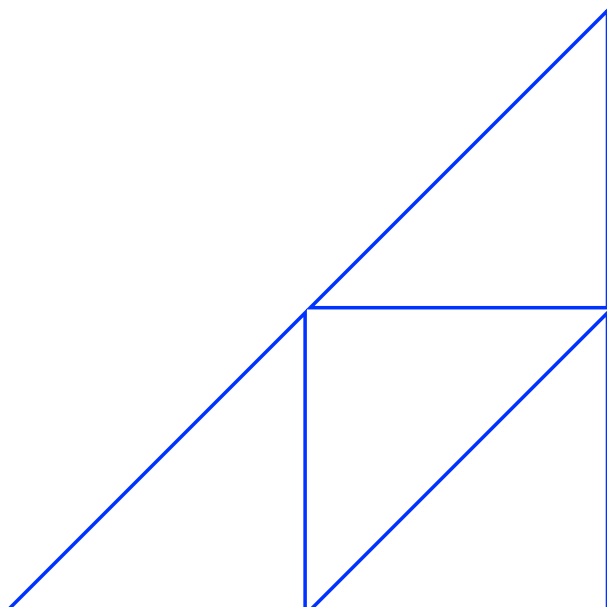
Det blev också tydligt att ett större separat inte var en fördel utan snarare försvårade plockningen. Diabasen innehåller en stor andel magnetit, vilka kom att utgöra den magnetiska fraktionen, men som också försvårade själva vaskningen.

Vid testningen av olika bergartstyper framkom att även prov med mycket låg totalsvavelhalt innehåller sulfidmineral och att det i prov med en totalsvavelhalt under detektionsgränsen inte fanns några sulfidmineral.

Prov med en totalsvavelhalt på 1% eller högre finns enorma (oräkneliga) mängder sulfidmineral.

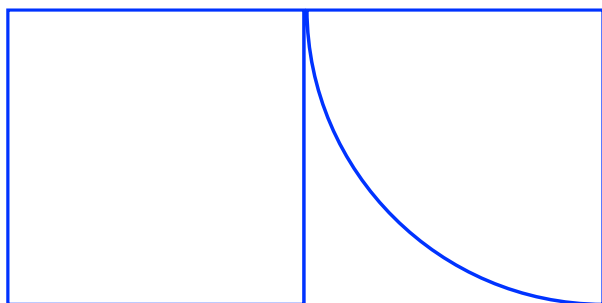
Prov med svavelhalter i intervallet mellan 500 och 10 000 ppm fanns inte med i innevarande projekt och bör undersökas närmare.

Det rekommenderas att metoden undersöks närmare med fokus på att ta fram underlag för vaskning som en kompletterande metod till de petrografiska provningsmetoderna SS EN 932-3 och Rilem AAR 1.1.



## Innehåll

|     |                                                    |    |
|-----|----------------------------------------------------|----|
| 1   | Inledning                                          | 4  |
| 1.1 | Bakgrund                                           | 4  |
| 1.2 | Syfte och mål                                      | 4  |
| 1.3 | Metodik                                            | 4  |
| 1.4 | Avgränsningar                                      | 5  |
| 2   | Genomförande                                       | 6  |
| 2.1 | Etapp 1- Inledande metodutveckling                 | 6  |
| 2.2 | Etapp 2                                            | 15 |
| 2.3 | Etapp 3                                            | 15 |
| 3   | Resultat                                           | 16 |
| 3.1 | Resultat från testning av reproducerbarhet         | 16 |
| 3.2 | Reproducerbarhet mellan olika vaskare              | 19 |
| 3.3 | Jämförelse mellan sulfidinnehåll och kemisk analys | 21 |
| 4   | Diskussion                                         | 24 |
| 5   | Framtida arbete                                    | 25 |
| 6   | Slutsats                                           | 26 |
|     | Litteraturförteckning                              | 27 |
|     | Bilagor                                            | 28 |





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Provning av bergmaterial för ballaständamål görs för säkerställa kvalitetsparametrar och att materialet inte innehåller komponenter som kan utgöra risker för hälsa eller miljö. Samtidigt finns ingen lättillgänglig och tidseffektiv metod för bestämning av så kallade opaka mineral. De opaka mineralen är viktiga i ballastsammanhang eftersom de kan utgöras av sulfidmineral. Sulfidmineral består av svavel och metalljoner och de är lättvittrade. Vittringsprocessen är en oxidationsprocess som kan bilda surt lakvatten om alla förutsättningar är uppfyllda (Bellander 2021). Idag måste bergmaterial analyseras kemiskt om det föreligger en misstanke om förhöjda sulfidhalter. Kemiska analys ger information och totalsvavelhalten i materialet, men ingen mineralogisk information.

Samhällets mål om klimatneutralitet och hushållning av resurser leder till ett behov av att öka cirkulariteten för material i anläggningsbranschen. En viktig förutsättning för att nå målen är att få till en resurseffektiv användning av material som uppstår i samband med entreprenadprojekt, så kallat entreprenadberg. Stora infrastruktursatsningar i storstadsregionerna, särskilt med tunneldrivning under jord, genererar stora mängder bergmaterial, som helst ska användas. Bara utbyggnaden av tunnelbanan i Stockholm genererar sex till åtta miljoner ton entreprenadberg per år. Samtidigt är behovet av ballastmaterial ännu större och det är stort behov av provningsmetoder som mer effektivt kan bemöta den större variationen i sammansättning som finns hos det entreprenadgenererade bergmaterialet jämfört med jungfruligt berg från täkt.

Föreliggande projekt har beröringspunkter med nu pågående SBUF-projekt; *Genomlysning sulfidberg - kunskapsläge och behovsanalys* (ID 14175), *Kvalitetsprediktering på tunnelberg* (ID 14225), *Tidsoptimerad metodik för bestämning av ämnen i cirkulära materialflöden* (ID 14127).

Osäkerhet kring om entreprenadberg kommer innehålla sulfid i höga halter utgör en stor risk ur ett entreprenörsperspektiv som kan medföra stora kostnader för projektet. Det finns därmed en stor branschnytta att hitta en förenklad metodik för att undersöka bergets sulfidinnehåll och därmed minska entreprenadriskerna och även se möjligheterna och användbarheten av bergmaterialet.

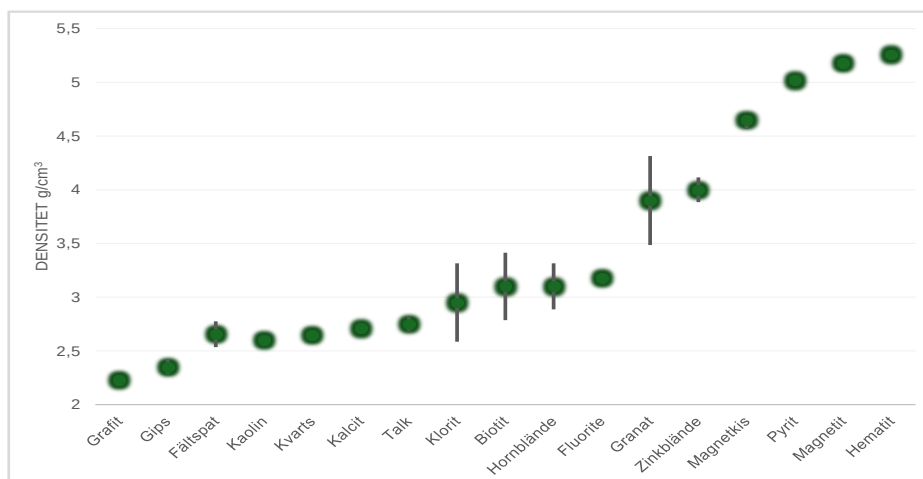
## 1.2 Syfte och mål

Detta projekt syftar till att undersöka om vaskning med syfte att separera tungmineral, kan användas som kvalitativ eller semikvantitativ fält- och/ eller laboratorieanpassad metod för att identifiera sulfidmineral i bergmaterialprover. Visar det sig att metodiken fungerar kan resultaten utgöra underlag för metodutformning och lyftas till metodgruppen för obundna material, för att vidimera branschnytta och fastlägga metodutformning, i fält och/eller laboratorium.

## 1.3 Metodik

Mineral har olika densitet (Figur 1) och detta är en egenskap som används för separation av olika mineralfaser från varandra i många olika tillämpningar, både storskaligt som vid malmextraktion och småskaligt, såsom separation av mineralseparat för forskning. Densitetsseparation är dock inte en metod som traditionellt har använts inom provning av bergmaterial. Det finns två principiellt olika typer av densitetsseparation, antingen separation med hjälp av tungvätskor med olika densitet eller genom vattenassisterad gravitationsseparation, t.ex. på skakbord (e.g. Söderlund & Johansson 2002) eller i vaskpanna. Det finns också mer storskalig gravitationsseparation som används mycket inom guldutvinning (Toverud 1984). Principen är alltså välbeprövad inom flera branscher.

Oxider och sulfider, vilka utgör de flesta malmmineral har ofta hög densitet, medan karbonat- och silikatmineral generellt har lägre densitet, även om det finns undantag. De flesta sulfidmineral som är relevanta i svensk kontext (t.ex. pyrit, magnetkis, zinkblände, blyglans, kopparkis, kopparglans m. fl.) har en densitet  $> 4 \text{ g/cm}^3$ . Som jämförelse har guld har en specifik vikt på över  $19 \text{ g/cm}^3$ , medan de vanligaste bergartsbildande silikaterna har en densitet mellan 2,5 och  $3 \text{ g/cm}^3$ .



Figur 1. Specifik vikt för några vanliga mineral. Data från ThoughtCo (2023).

Eftersom ekonomiskt viktiga mineral ofta har hög densitet utnyttjats denna egenskap inom gruv- och prospekteringsbranschen, både som fältundersökningsmetod och vid anrikning av malm. Det mest kända exemplet är guldprospektering med hjälp av vaskpanna, men vaskningsmetoden kan också användas på andra sätt.

Inom prospekteringen finns beprövade fältmetoder för att snabbt konstatera om ett material innehåller malmmineral eller andra industri- och/eller indexmineral. I bergarter som innehåller mer än 1000 ppm svavel och där svavel är bundet i sulfidmineral (till skillnad från sulfatmineral) är det möjligt att se sulfidmineral med blotta ögat. Det är värt att poängtera att man för prospekteringsändamål gärna vill upptäcka eventuella sulfidmineraliseringar och att man därför får förutsätta att metoden har en relativt hög känslighet.

Metoden som använts framgångsrikt i Öst- och Västgrönland (e.g. Hallenstein m. fl. 1981, Appel 1989, Erfurt m. fl. 1992, Thomassen & Tukiainen 2009, Toverud 1984) där vaskning av bäcksediment var en del av regionala screeningprogram för att identifiera prospektiva områden. Särskilt framgångsrikt användes metoden för scheelit-prospektering. Scheelit är ett wolframmineral som lyser klart blått i UV-ljus. Ett prov togs av sediment i bäckar och ett tungmineralseparat togs fram genom vaskning i vaskpanna eller motoriserad vaskare. Separatet undersöktes sedan med lupp i fält och/eller i stereolupp i laboratorium för att konstatera om det innehåller malm- eller indikatormineral eller inte.

Dessa metoder är inspirationen för detta projekt som avser att undersöka om tungmineralseparering med hjälp av vaskpanna kan användas som en enkelt screeningmetod för sulfidmineral i entreprenadberg, antingen direkt i fält i produktionsledet eller som en förenklad laboratorieprovningmetod.

## 1.4 Avgränsningar

Metoden är tänkt som ett kvalitativt screening-test för bedömning inför vidare hantering och avser inte en kvantifiering av sulfidmineralhalt eller svavelhalt. Metoden avses heller inte användas fristående utan som komplement till petrografiska och kemiska analyser.

## 2 Genomförande

Projektet inleddes med en workshop och utfördes sedan i tre etapper. Metodiken går ut på att utvinna ett tungmineralseparat från prover med 0-fraktion, till exempel borrhaxprover eller krossbergsfraktioner. Proverna vaskas på laboratorium eller i möjligen fält och tungmineralseparatet undersöks sedan med handlupp eller stereolupp som undersöks med lupp för att påvisa sulfidmineral redan i fält.

### 2.1 Etapp 1- Inledande metodutveckling

#### 2.1.1 A0 – Workshop

En heldagsworkshop hölls den 14 februari 2024 där Linnéa Johansson, Emma Rehnström, Lars Stenlid och Amanda Nejman deltog. På workshoppen provade arbetsgruppen ut ett förfaringssätt som sedan användes i resten av projektet. Metodiken justerades något under projektets gång.

Arbetsgruppen träffades under en dag i labb och gick igenom ett antal startsteg. Frågor som diskuterades inkluderade:

- Hur stora bör proven vara?
- Vilken fraktion är mest lämplig att sikta fram för vaskning?
- Är det praktiskt möjligt ute i en fältmiljö?
- Hur mycket material skall vi vaska igenom för varje prov?

Efter detta arbetsmöte hölls ett startmöte med referensgruppen där arbetsprocessen beskrevs och justerades utifrån input från referensgruppen.

##### 2.1.1.1 Förberedelser

Det beslutades redan i ansökningsfasen att projektet skulle använda Guldströms nybörjarkit ([www.guldstrom.se](http://www.guldstrom.se)). Utrustningspaketet innehåller bland annat blå vaskningspannor, en grov sikt, en enkel lupp, en pipett och en handmagnet, som kom att användas under dagen. Utöver utrustningen i paketet användes under workshoppen en 2 mm-sikt, större petriskålar i glas och ett större vattenfylld metallkar där vaskningen utfördes. Färdiga prover inspekterades med både handlupp och stereolupp.

Lars hade med hinkar med 0/4 och 0/32-material från två olika sulfidanrikade provlokaler i Stockholmsområdet. Dessa har en totalsvavelhalt på garanterat över 5000 ppm och högt innehåll av sulfidmineral. Linnea demonstrerade själva vaskningstekniken för övriga deltagare (Figur 2), se vidare under kapitel 2.1.1.3.



*Figur 2. Linnéa Johansson (Skanska) demonstrerar tekniken att använda vaskpanna under överinseende av Lars Stenlid (Skanska).*

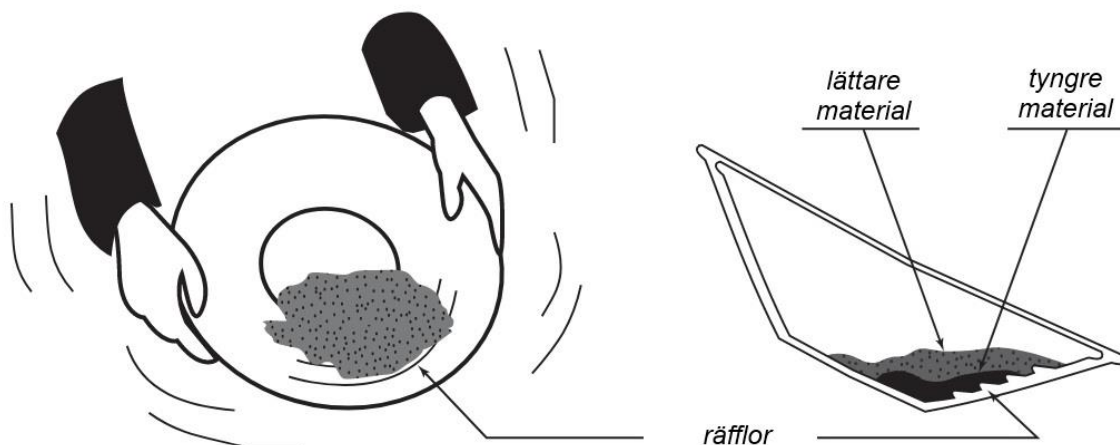
#### 2.1.1.2 Testning av provberedning

Några olika varianter att provbereda, med tvättning och siktning, testades. Det som verkade fungera bäst var att lyfta av korn > 2 mm genom att skölja provet igenom sikten ner i vaskpannan.

Både prover med känt, högt sulfidinnehåll och prov med okänt eller lågt sulfidinnehåll testades. Efter visst experimenterande kom vi fram till att en provmängd på ca. 2 dl (två hela ALS-burkar med material) från ett samlingsprov är en passande volym att utgå ifrån.

#### 2.1.1.3 Vaskning

Vaskningen utfördes genom att doppa vaskpannan i en balja med vatten som stod under (Figur 2). Då sköljs finmaterialet bort. Själva vaskningen går till så att pannan skakas från sida till sida, samtidigt som den vinklas framåt med successivt större och större vinkel. Det skall inte vara en cirkulär rörelse, utan från sida till sida. Mineralkorn med högre densitet hamnar då längre ned mot pannans botten (Figur 3). De lättare kornen som ligger överst kan sköljas av genom att pannan doppas ner i vattnet och lyfts upp med en knyck. En bra utförligare beskrivning finns i Huber & Kurtak. Sedan upprepas detta förfarande till dess att, i det här projektet, en förutbestämd mängd material är kvar i pannan. För att få en representativ volym att jämföra med beslutades preliminärt att vaska till dess att en volym motsvarande det runda märket i vaskpannan återstår (diameter som en 5-krona).



Figur 3. Vaskning görs med en skakande rörelse från sida till sida. Det tyngre materialet samlas då mot botten och fångas upp av räfflorna. Modifierad efter Huber & Kurtak.

Den framvaskade volymen kan efterföljande undersökas med lupp och gärna också undersökas i stereolupp. Det framgick direkt att det inte bara är möjligt att se *om* det finns sulfider, om det är *mycket eller lite*, men också *vilka typer av sulfidmineral* och eventuella andra opaker som finns i provet. I ett prov som testades under workshopen kunde till exempel identifieras pyrit, kopparkis, magnetkis och grafit.

Det är viktigt att kontrollera hur mycket av tungmineralseparatet som är magnetiskt, detta kan göras med inplastad handmagnet (Figur 4). Det är dock viktigt att undersöka även den magnetiska fraktionen okulärt eftersom även sulfidmineral kan vara magnetiskt, t.ex. magnetkis.



Figur 4. Den magnetiska fraktionen avskiljs gärna med inplastad handmagnet. Den magnetiska fraktionen bör också undersökas med avseende på sulfidmineral.

#### 2.1.1.4 Viktiga parametrar och förslag till metodik

Under workshopen testades olika startmängder för vaskning och en provmängd motsvarande 2 fulla ALS-burkar (ca. 2 dl) visade sig ge en förnuftig balans mellan tyngd på vaskpannan, tid för vaskning och storleken på tungfraktionen. I en provningssituation kan man tänka sig att ett ursprungligen större prov delas ned till denna mängd, som efterföljande vaskas.



#### 2.1.1.5 Preliminära resultat

De preliminära resultaten från workshopen visar att vaskning som metod fungerar utmärkt för att ta fram ett tungmineralseparat från borrhax eller krossad noll-fraktion. Separaten är inte rena, det innehåller alltså också mineral med låg densitet, såsom kvarts och fältspat. I separatet hamnar alla typer av tunga faser, inte bara sulfider, och här återfinns järnoxider som magnetit och silikatmineral med mellanhög eller hög densitet som epidot, granat, hornblände och pyroxen. Tungaccessoriska mineral såsom apatit, zirkon och monazit observerades också i tungmineralseparaten.

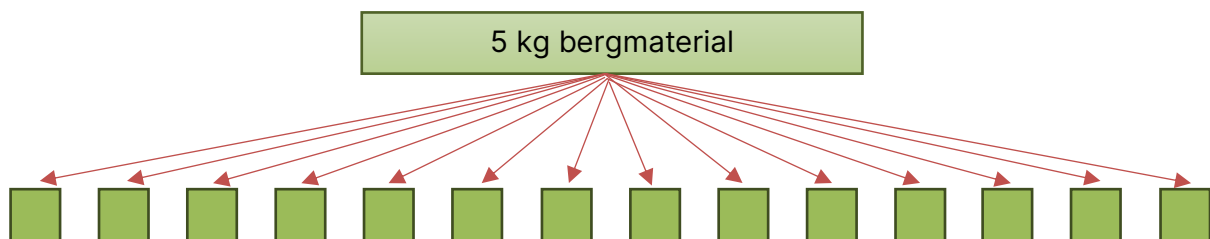
#### 2.1.2 A1- Inledande provning

Den inledande laboratorietestningen syftade till att undersöka hur olika material beter sig i vaskningen, undersöka reproducerbarheten mellan olika deltester, samt jämföra effekten av att olika personer utför vaskningen.

Två olika bergartsprover valdes ut, ett med känd hög sulfidhalt och ett med låg. De prover som användes vid metodutvärderingen var ett prov av diabas med låg svavelhalt och ett prov av sedimentådergnejs med hög svavelhalt. Båda proverna består av material med 0-fraktion. Proven delades ned till dess ett representativt prov på 5 kg återstod av vardera.

##### 2.1.2.1 Reproducerbarhet

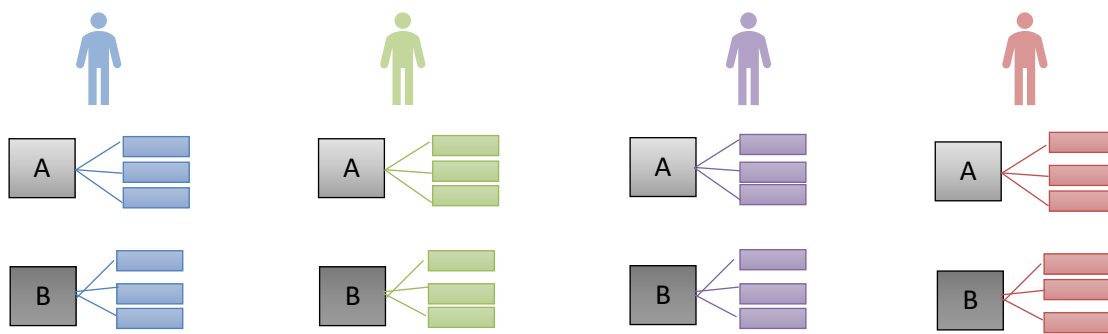
För att testa reproducerbarheten hos metoden sattes två experimentserier upp. I det första försöket undersöktes variationen hos 14 delprover tagna successivt från ett 5 kg utgångsprov tills detta tog slut (Figur 5). Detta gjordes för två olika bergarter, en mafisk bergart med lågt svavelinnehåll (400 ppm) och en sedimentådergnejs med högt sulfidinnehåll (8700 ppm).



Figur 5. Experimentuppställning för kontroll av reproducerbarhet. Varje delprov vaskades och plockade separat.

I det andra experimentet undersöktes variationen mellan olika personers hantering av vaskningsutrustningen. Fyra olika testpersoner vaskade tre delprover från vardera två olika bergartsprov, bergart A, en sedimentådergnejs med högt sulfidinnehåll och bergart B, en mafisk bergart med lågt sulfidinnehåll (Figur 6).





Figur 6. Experimentuppställning för kontroll av reproducerbarhet mellan olika utövare.

#### 2.1.2.2 Förfarande vaskning

De två 5 kg-proven vaskades igenom som mindre delprov på ca. två dl prov per vaskningsomgång.

Sikten med 2 mm-gitter placerades ovanpå vaskpannan där materialet sedan hälldes på. Pannan och sikten sänktes sedan ner i vattnet tills materialet var helt täckt av vatten, varefter sikten sedan skakades kraftigt i sidled tills materialet som kan passera 2 mm sikten hamnat i vaskpannan. Sikten med överkorn lyftes bort. Finmaterialet vaskades igenom i pannan till dess att ungefär en matsked material återstod. Den allra sista vaskningen gjordes med rent vatten för att tvätta bort oönskad smuts. I allt genomfördes 14 efter varandra följande delvaskningar från vardera två utgångsprov. I tillägg testades tre delprov från ett tredje material.

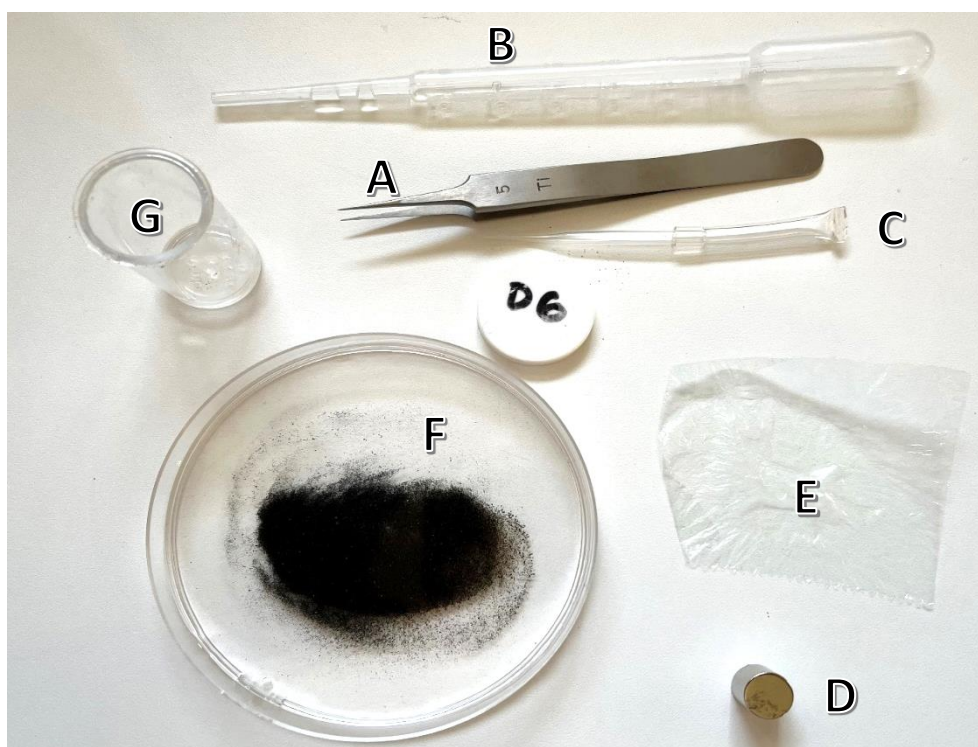
Fyra olika personer genomförde tre delvaskningar av två olika prover, samma prover som ovan.

#### 2.1.2.3 Utvärdering sulfidinnehåll

I ett försök att få ett kvalitativt mått på andelen sulfidmineral gjordes en efterföljande undersökning av tungmineralseparaten i stereolupp. Som ett första steg avlägsnades den magnetiska fraktionen temporärt. Därefter undersöktes separaten i stereolupp och en sulfidfraktion sorterades ut från det omagnetiska restmaterialet. Följande utrustning för undersökningen användes, bokstäverna refererar till märkning i Figur 7:

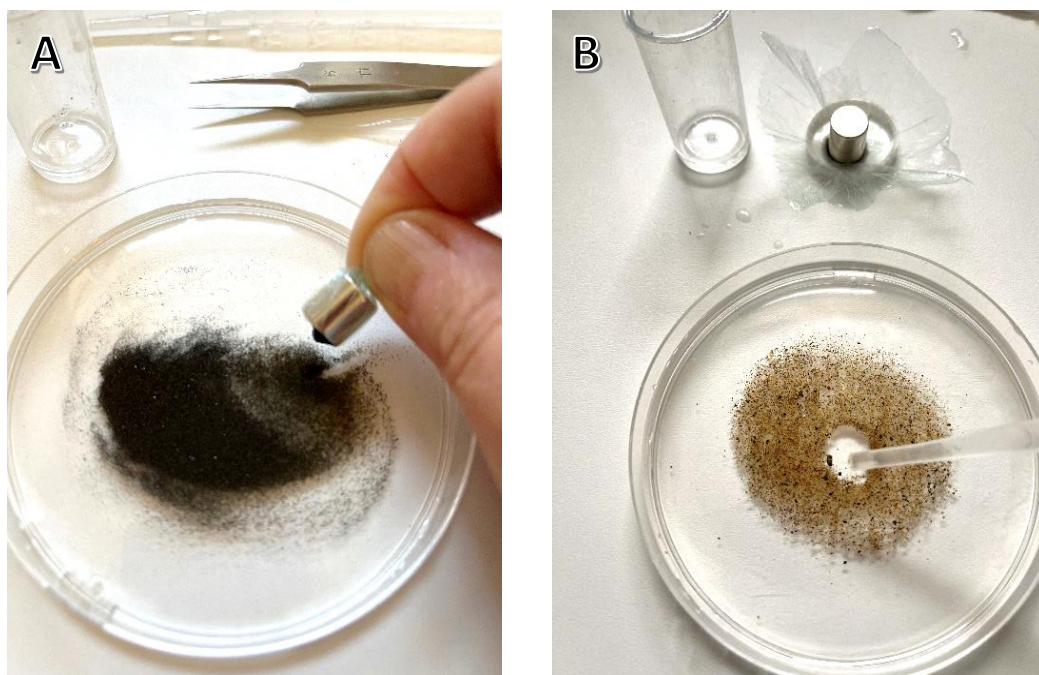
- Stereolupp med förstoring från 5-100 ggr förstoring
- Urmakarpincett (A), omagnetisk titanpincett
- Pipett (B)
- Minipipett (C)
- Handmagnet (D)
- Plastfilm (E)
- Petriskål (F)





Figur 7. Utrustning för plockning av tungmineralseparat: A) urmakarpincett i titan, B) plastpipett, C) minipipett av plast, D) handmagnet, E) plastfilm, F) petriskål. På bilden syns också en provburk och dess lock med provnamn, samt ett tungmineralprov i petriskålen.

Som första steg fördes hela provet över från provburk (G i Figur 7) till en petriskål (Ø~ 9 cm) (F i Figur 7). Provet är hela tiden vått. Överföringen gjordes helt eller delvist med plastpipett (B och C i Figur 7).



Figur 8. A) För att underlätta plockningen av separatet avlägsnas den magnetiska fraktionen temporärt. B) En tom yta skapas med hjälp av vattenstrålen från pipetten. Notera den magnetiska fraktionen som förvaras temporärt på provburens lock.

Avlägsnandet av den magnetiska fraktionen gjordes med inplastad handmagnet (D och E i Figur 7, samt Figur 8a). Det magnetiska separatet förvarades vid sidan om provet medan det resterande provet undersöktes närmare. Den magnetiska fraktionen lades helt enkelt på insidan av provburkens lock. En tom yta skapades i petriskålen med provet med hjälp av att spruta vatten med pipetten (Figur 8b).

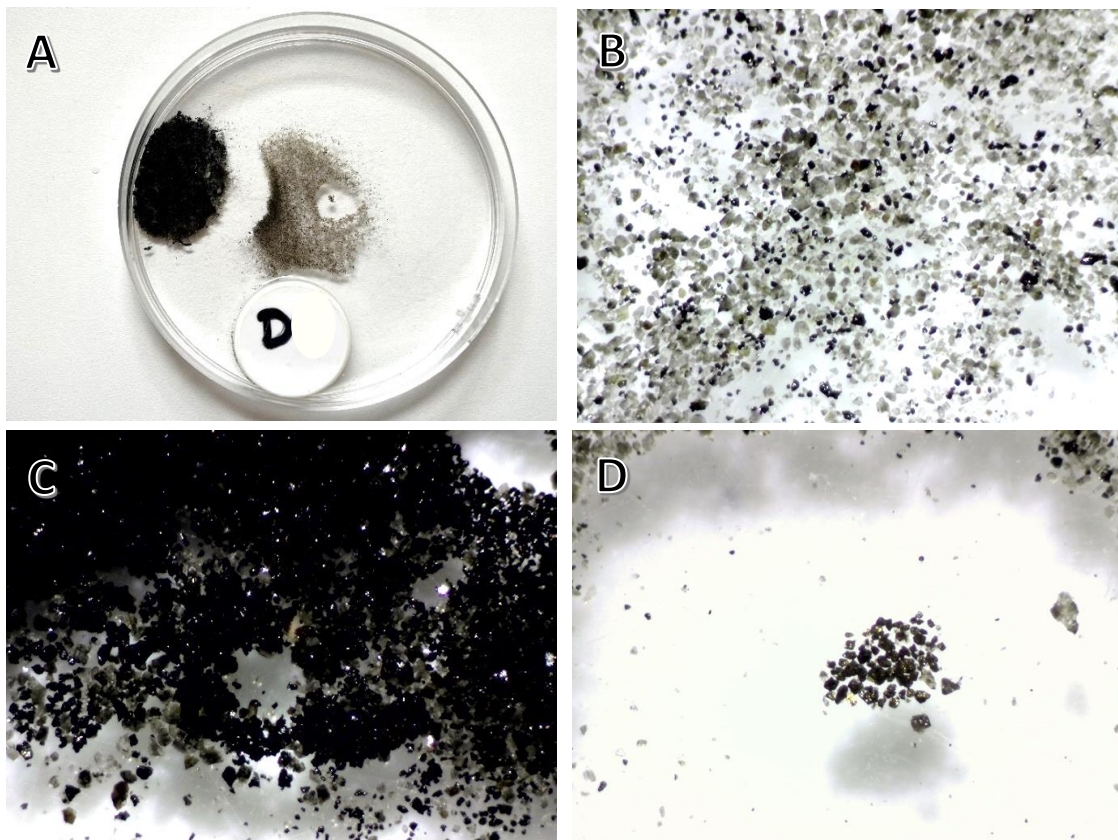
Provet placeras under stereoluppen och sulfidkorn sorterades ut genom att handplockas med pincett till det tomma fältet i petriskålen (Figur 9). Pincetten som användes är en omagnetisk titanpincett, som används av till exempel urmakare och juvelerare (A i Figur 7).



*Figur 9. Separaten plockas för hand med pincett i stereolupp.*

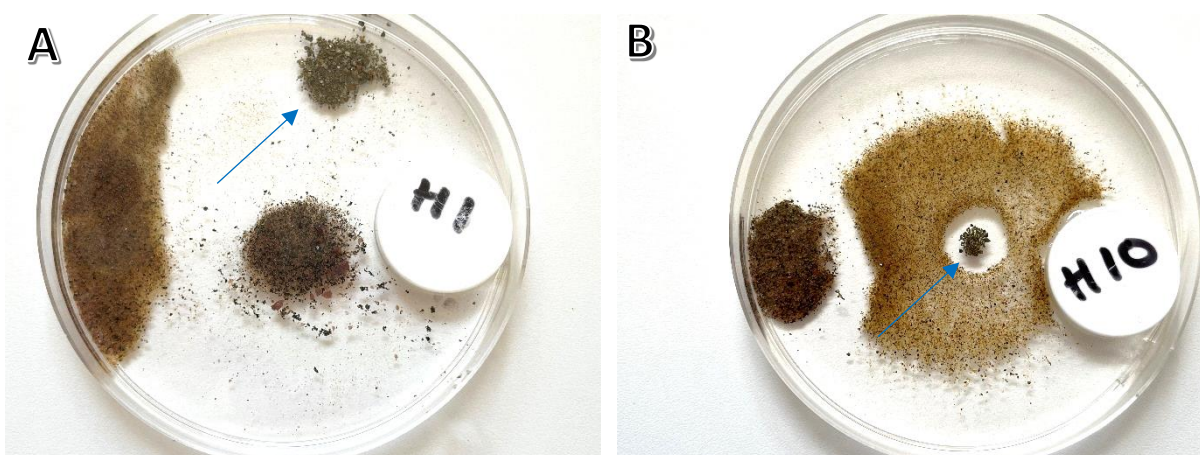
Efter att sulfidfraktionen separerats ur provet läggs den magnetiska fraktionen försiktigt tillbaka och de olika faserna fotograferades (Figur 10b, c och d). För att underlätta jämförelsen mellan proven fotograferades provena med 6,5 ggr förstoring (några prov fotograferades med högre förstoring). Efter detta lades locket med provnamn försiktigt ned i petriskålen och hela skålen med de olika separerade fraktionerna fotograferades för dokumentation (Figur 10a).





Figur 10. Exempel på mineralseparat. A) översiktsbild över plockat tungmineralseparat. B) restprovet utan sulfider och magnetisk fraktion. C) magnetisk fraktion. Notera hur magnetit ligger i klumpar "trådar". D) sulfidseparat, här pyrit.

I proverna med låg svavelhalt och därmed ett lågt sulfidinnehåll plockades majoriteteten av sulfidkorn ut från mineralseparatet (Figur 10). I proverna med hög andel sulfider testades detta först, med resultatet att det skulle ta flera timmar att plocka färdigt ett prov (jämför 1a). Som alternativ metod plockades provet i ungefär 20 minuter och fotograferades efter det (Figur 11b).



Figur 11. Stora mängder pyrit i sedimentådergnejsen föranledde en justering av metodologin. I A) visas ett prov efter en timmes plockning och i B) ett annat delprov efter ca. 20 minuters plockning. Notera att den magnetiska fraktionen och restfraktionen är av jämförbar storlek i båda delproven.

## 2.2 Etapp 2

### 2.2.1 A3- Labtester på borrhax

Andra etappen utfördes på borrhax- och andra 0-fraktionsprover i laboratoriemiljö. Tre delprov från fyra olika bergarter testades, alltså 12 olika delprover. Här fanns möjlighet att utvärdera fler olika bergartstyper med olika svavelhalt. De undersökta proverna var en sedimentådergnejs, två granitiska gnejser och ett prov med blandat material bestående av granitisk gnejs, amfibolit och diabas, vilket är en mycket vanlig sammansättning i svensk berggrund.

Proverna delades ned, siktades och vaskades som förut. Efterföljande sorterades eventuella sulfidmineral ut genom plockning med pincett.

## 2.3 Etapp 3

### 2.3.1 A4 – Metodik fälttest

Under projektets gång och efter rekommendationer från referensgruppen, blev det allt tydligare att det var ett för stort steg att försöka adaptera metoden som en fältmetod i detta tidiga läge. Det blev också tydligt att förfarandet kräver en hel del vatten, vilket i sig kan utgöra en utmaning i många miljöer. Referensgruppens råd var att i första hand utvärdera metodiken som en enkel laboratoriemetod, som eventuellt senare kan utvecklas vidare och användas som fälttest.

### 2.3.2 A5 – Workshop

Projektet avslutades med en workshop med delar av referensgruppen, där metodiken demonstrerades och idéer för ett uppföljningsprojekt diskuterades. På workshopen närvarade: Emma Rehnström, Linnéa Johansson, Amanda Nejman, Lars Stenlid, Malin Norin och Mats Ferhm.

### 3 Resultat

Resultat från den inledande workshopen visade att metoden, det vill säga att vaska med panna, är en utmärkt metod för att snabbt och enkelt få fram ett tungmineralseparat. Mineralinnehållet i proven varierar beroende på bergartens mineralogi. Mineralogin i sin tur varierar beroende på kemisk sammansättning och geologiska bildningsprocesser. Mafiska bergarter, vilka består av en högre andel mörka mineral, beroende på högre järn- och magnesiumhalt, samt lägre kiselhalt, innehåller ofta en högre andel tungmineral. Bergarter med högre metamorf grad kan innehålla metamorfa mineral som i hög utsträckning hamnar i tungmineralseparat, såsom till exempel granat eller monazit. Andra accessoriska mineral som hamnar i tungmineralfraktionen är zirkon och apatit, samt titanit. En stor andel av mineralen i tungmineralfraktionen är så kallade malmmineral. Dessa är oftast opaka i polarisationsmikroskop och därför ej möjliga att bestämma genom petrografisk undersökning i polarisationsmikroskop med genomfallande ljus. Malmmineral utgörs mestadels av oxider eller sulfider. De vanligaste oxiderna är magnetit (järnoxid) och ilmenit (järntitanoxid), som båda är magnetiska. Sulfider finns av flera olika typer och bildas av flera olika metaller i kombination med svavel. Det allra vanligaste sulfidmineralet är pyrit (järnsulfid), men också kopparkis, kopparglans, magnetkis, blyglans och zinkblände förekommer, samt även mer ovanliga, till exempel molybdenglans och arsenikkis. Det finns också opaka och metallglänsande mineral som inte är tunga, till exempel grafit, som kan hamna i tungmineralseparatet i små mängder om det förekommer.

Inom ramen för projektet har i allt 58 provvaskningar gjorts av 6 olika bergarter, med fyra olika personer medverkande.

#### 3.1 Resultat från testning av reproducerbarhet

För att testa om resultaten varierade mellan successiva vaskningar från samma utgångsmaterial delades ett fem-kilosprov upp i 14 separata delprov. Två olika bergarter testades. De 14 delproven var lika stora och vaskades av samma person.

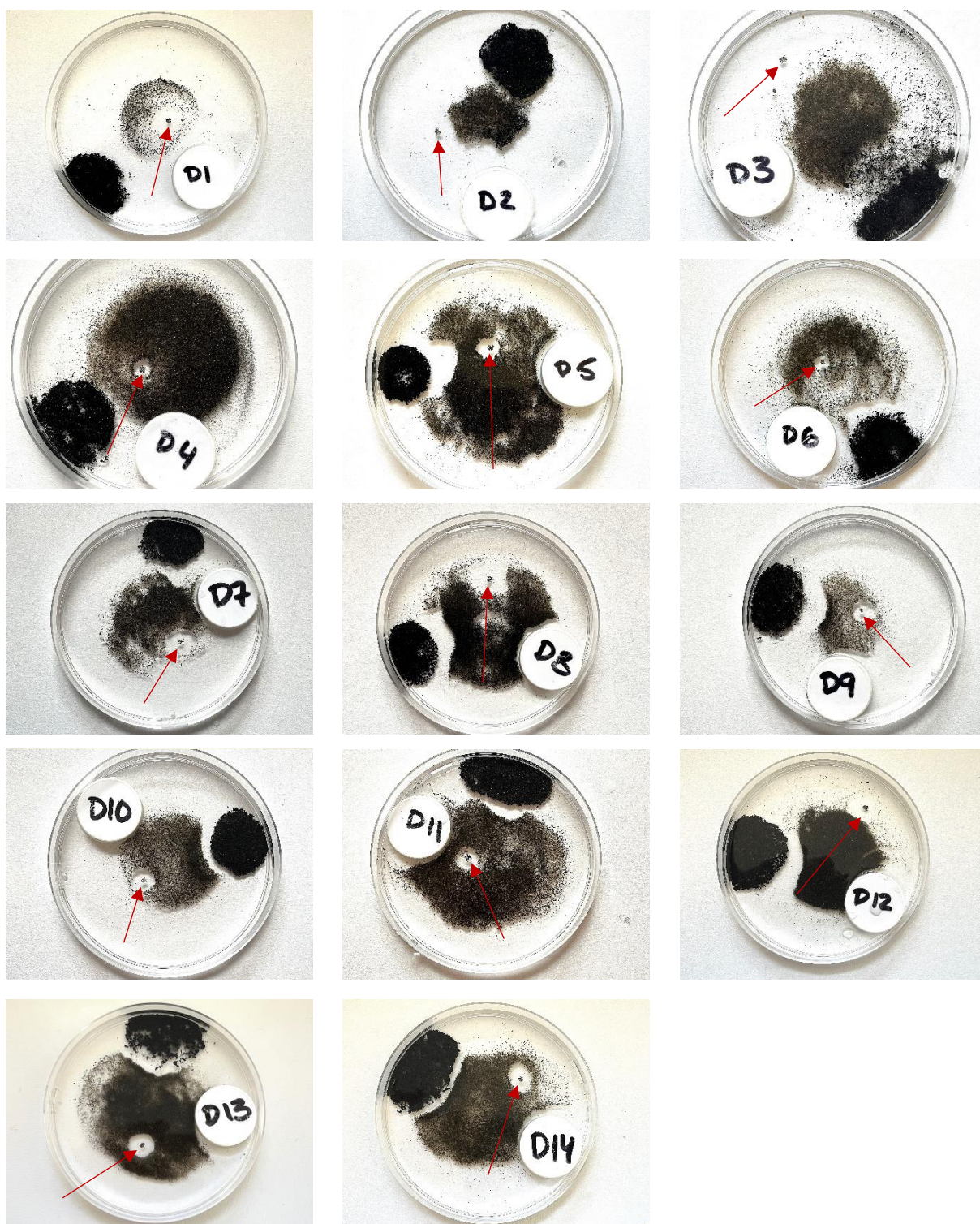
Nedan visas översiktbilder av proven från diabas respektive sedimentådergnejs efter plockning i Figur 12 och Figur 13. Bilderna visar flera olika resultat.

- Separaten varierar något i omfång, men proportionerna är lika. Således ger en större mängd prov en större mängd sulfidmineral.
- Trots variationen i storleken på separatet, blir resultaten jämförbara.
- Sulfidfraktionen är väldigt liten i alla diabasproven och mycket hög i gnejsproven. Inget prov sticker ut med signifikant högre eller lägre andel sulfider.

Det blev också tydligt att ett större separat inte var en fördel utan snarare försvårade plockningen. Diabasen innehåller en stor andel magnetit. Magnetit utgjorde huvuddelen av den magnetiska fraktionen och en så stor andel tunga mineral försvårade själva vaskningen.

Resultaten från de 14 delproverna från sedimentådergnejs är jämförbara med de från diabas. Sedimentådergnejsen var lättare att vaska och den innehåller mycket mindre magnetit. Den magnetiska fraktionen består av något magnetit, samt granat och titanit, säkert med inneslutningar av magnetit.





Figur 12. Separat från 14 olika delprov av diabas. Den röda pilen markerar den utplockade sulfidfraktionen. Det helsvarta materialet är den magnetiska fraktionen. Petriskålen har en diameter på 8,75 cm.



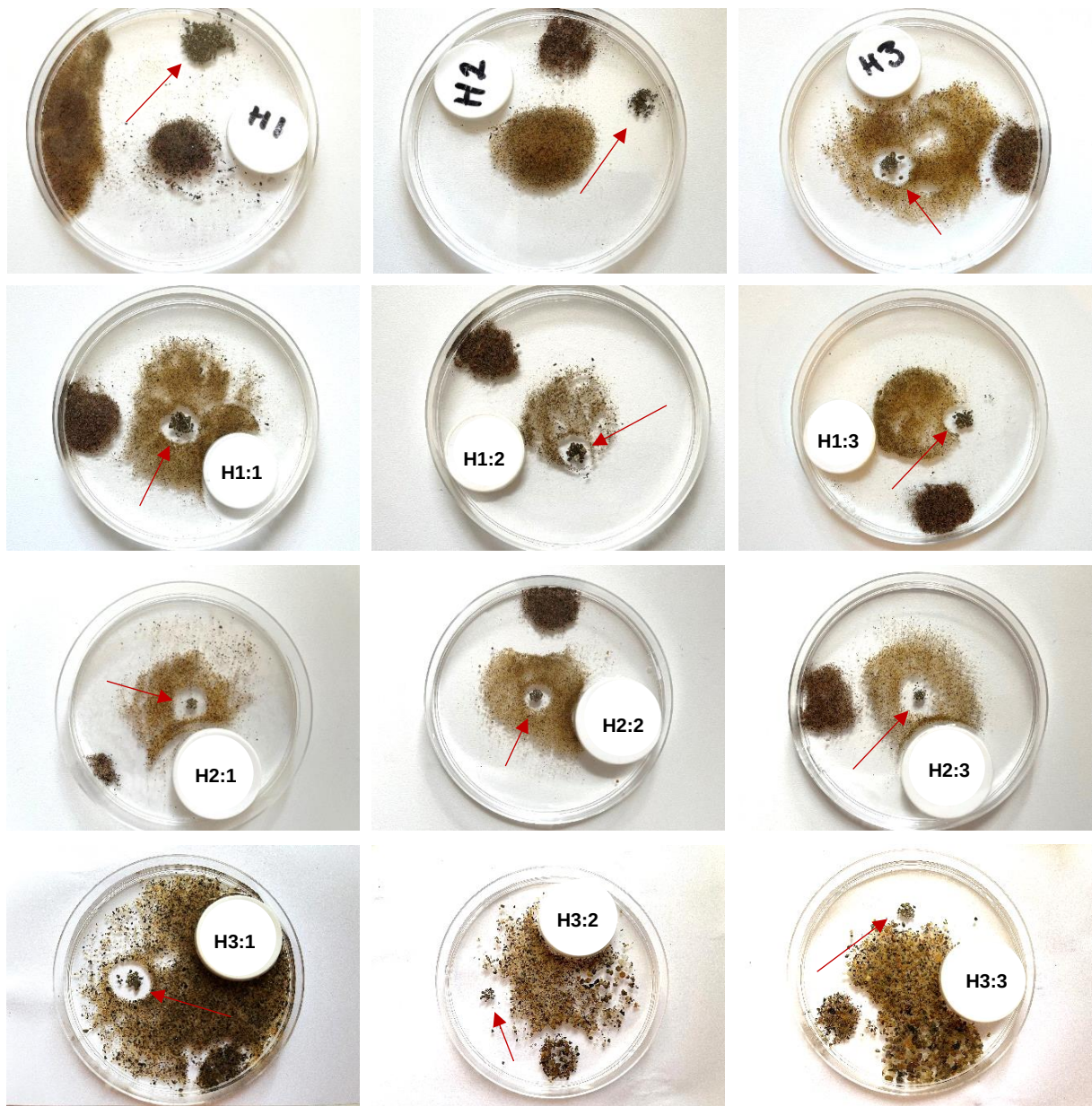


Figur 13. Separat från 14 olika delprov av sedimentådergnejs. Den röda pilen markerar den utplockade sulfidfraktionen. Det mörkare materialet är den magnetiska fraktionen.



### 3.2 Reproducerbarhet mellan olika vaskare

Experimentuppställningen genomfördes som skisserat i kapitel 2.1.2.1, alltså att fyra olika personer vaskade tre delprov från 2 olika bergarter. Varje person vaskar således fram sex delprover och i allt togs 24 separat fram. Bilddokumentation av alla proverna finns i Bilaga 1, med bilder av den magnetiska fraktionen, av sulfider och av separatets resterande innehåll för jämförelse. I de fall att det finns olika sulfidslag finns de olika mineralen dokumenterade.



Figur 14. Plockade separat av tre delprover från samma prov H av fyra olika personer. Pilen indikerar den utplockade sulfidfraktionen, medan det mörkare materialet är den magnetiska fraktionen.

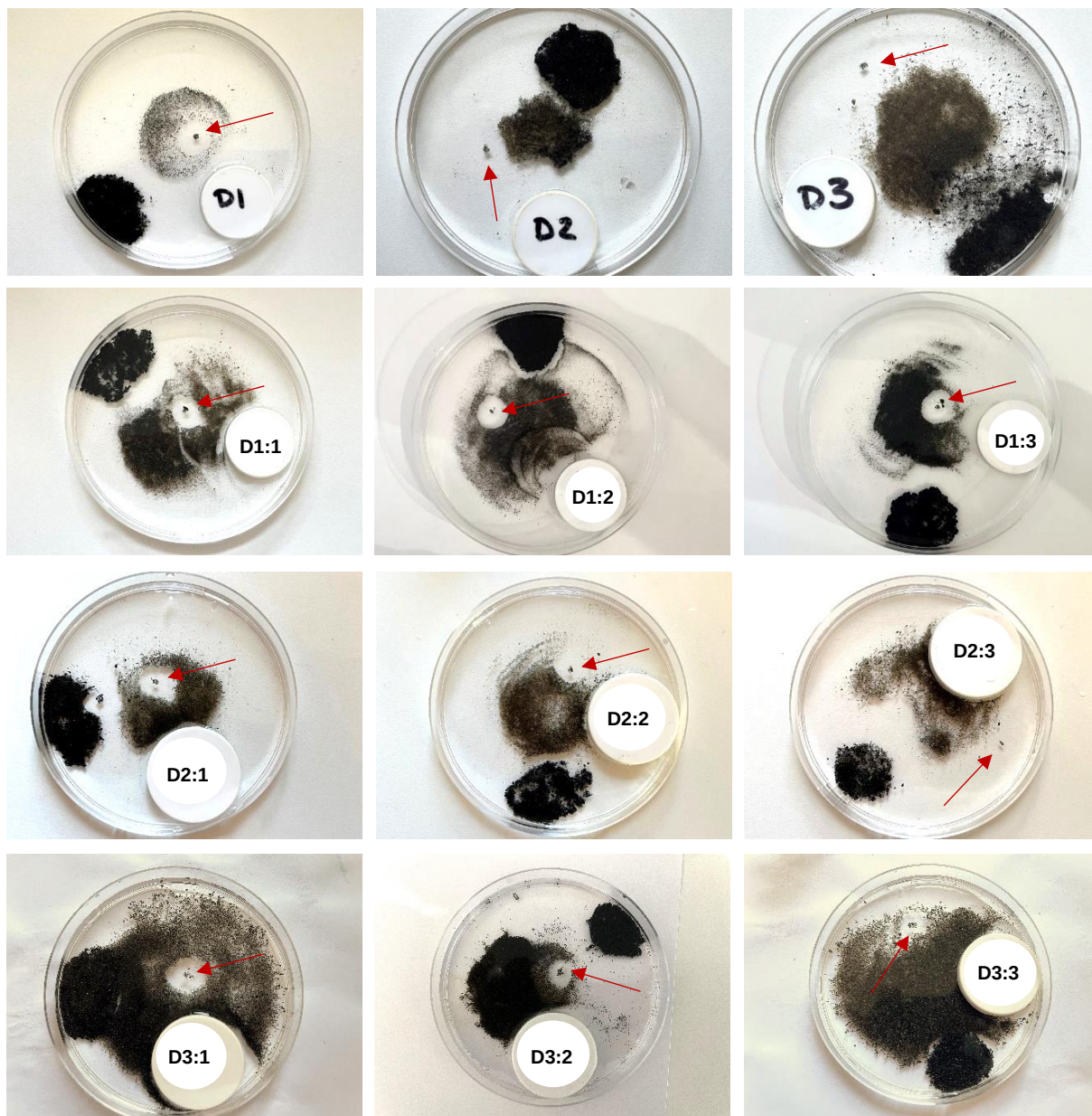
I Figur 14 framkommer både likheter och skillnader. Det bör tilläggas att detta är några av de första försöken med att vaska med vaskpanna för flera av testpersonerna, bortsett från den inledande workshopen.



Den tydligaste observationen är egentligen hur lika proverna framstår, men smärre skillnader finns.

Materialmängden varierar en del mellan provseparaten och beror mer på hur hårt personen har vaskat mer än andelen tungmineral i proven. Till exempel har person 2 generellt vaskat hårdare än de tre andra, således att separaten är mindre. Person 2 råkade också sikta proven på 1 mm-sikt i stället för 2 mm-sikt. Separat från person 3 är betydligt mer grovkorniga än de andra.

Den utplockade andelen pyrit är betydligt större i prov H1, men detta kan förklaras med att detta prov plockades väldigt noga. I de övriga proverna begränsades tiden för plockning till ungefär 20-30 minuter per prov.



Figur 15. Plockade separat för tre delprov vardera från prov D vaskade av fyra olika personer. Pilen indikerar den utplockade sulfidfraktionen, medan det mörkare materialet är den magnetiska fraktionen.

I Figur 15 syns motsvarande tre delprov av samma bergart, D, vaskade av samma fyra personer. Sulfidmineralhalten i prov D är mycket lägre än i prov H och den utplockade sulfidfraktionen omfattar

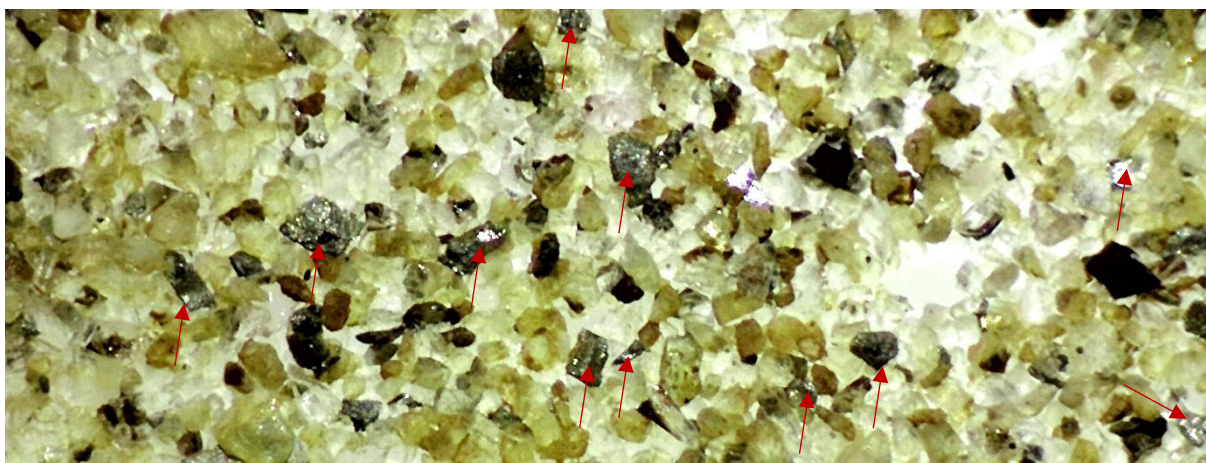
majoriteten av sulfider i provet, utom i de fall där det finns väldigt mycket material. Prov D, som utgörs av diabas upplevdes som besvärligt att vaska av alla försökspersonerna.

Trots det är resultaten igen snarlika, med en hög andel magnetiska mineral (magnetit) och en mycket liten andel sulfider.

### 3.3 Jämförelse mellan sulfidinnehåll och kemisk analys

Den kanske mest intressanta jämförelsen är den mellan tungmineralseparaten för bergarter med olika svavelinnehåll.

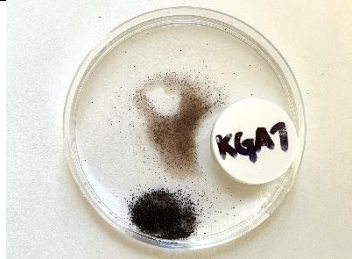
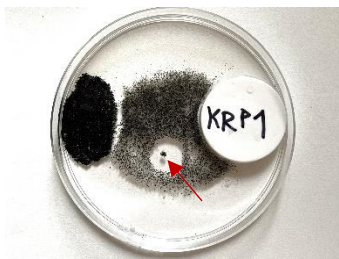
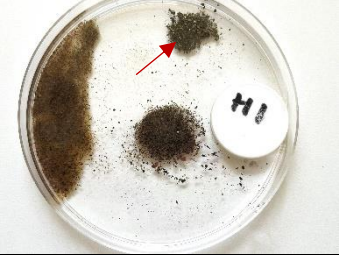
En sammanställning finns i Tabell 1. I prov där svavelhalten är under detektionsgränsen återfanns inga sulfidmineral, men redan vid halter på 80 ppm fanns tillräckligt med sulfidmineral i provet för att kunna plocka ut en liten hög. Svavelhalter på 400 och 500 ppm ger en fin mängd plockningsbara sulfider och här uppträder redan lite sulfider i restmaterialet. I proverna med 9500 och 12000 ppm svavel består en mycket hög andel av tungmineralseparatet av sulfidmineral och det går inte att plocka ut alla sulfidkorn för hand (Figur 16). I prov AE3 finns förutom pyrit också magnetkis.



Figur 16. Bild på restmaterialet efter plockning från prov H2:2. Lägg märke till att det är ett stort antal sulfidkorn kvar i restmaterialet, exempelvis vid de röda pilarna.



Tabell 1. Egenskaper för prov med olika svavelhalt och motsvarande separat. I prov KGA1 observerades inga sulfidmineral alls. I separat H1 och AE3 finns stora mängder sulfider kvar i restiten. I prov AE3 finns förutom pyrit en betydande mängd magnetkis.

| Provnamn | Bergart                    | Svavelhalt | Sulfidmineral    | Bild                                                                                 |
|----------|----------------------------|------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| KGA1     | Granitisk gnejs            | > 100 ppm  |                  |    |
| HRG2     | Granitisk gnejs, amfibolit | > 100 ppm  | pyrit            |   |
| D10      | Diabas                     | 400 ppm    | pyrit            |   |
| KRP1     | Granit, amfibolit, diabas  | 550 ppm    | kopparkis        |  |
| H1       | Sediment-ådergnejs         | 9 500 ppm  | pyrit, kopparkis |  |
| AE3      | Sediment-ådergnejs         | 12 000 ppm | pyrit, magnetkis |  |

Tabell 1 visar att det finns en god korrelation mellan totalsvavelhalt och sulfidinnehåll. Proverna har inte valts ut för att ge jämnt utspridda svavelhalter, vilket avspeglas i att det i nuvarande studie inte finns några prov med svavelhalter mellan 500 och 9500 ppm. Det är i detta intervall som de verkligt spännande halterna finns eftersom det är i detta intervall som olika svavelhalter diskuteras som gränsvärden för när bergmaterial bör anses som problematiskt eller inte finns. I den nuvarande studien kan konstateras:

- att även prov med mycket låg totalsvavelhalt innehåller sulfidmineral
- att det i prov med en totalsvavelhalt under detektionsgränsen inte fanns några sulfidmineral
- att prov med en totalsvavelhalt på 1% eller högre finns enorma (oräkneliga) mängder sulfidmineral
- att svavelhalter mellan 500 och 10 000 ppm bör undersökas närmare



## 4 Diskussion

Utgångspunkten för innevarande projekt var att undersöka möjligheterna för att använda vaskning och efterföljande undersökning av tungmineralseparat som en enkel fältteknik för undersökning opaka faser i bergmaterial. Det blev tydligt under projektets gång att det behövs en hel del vatten för att kunna genomföra vaskningen och till del också rent vatten, åtminstone i slutet av vaskningen. Fokus flyttades således mot att se på tekniken som en enkel laboratoriemetod, som om den blir etablerad skulle kunna användas i fält om de riktiga förutsättningarna finns.

Den löpande standardprovningen av bergmaterial innefattar bland annat petrografiska analyser i polarisationsmikroskop för att kvantifiera mängden av olika mineral. Ofta finns en liten del av mineralinnehållet som är ogenomskinligt, eller opakt. Dessa mineral kan inte bestämmas genom polarisationsmikroskopering. Största delen av de opaka mineralen utgörs av oxider och sulfider och är halten över 1 % bör materialet undersökas närmare för att utesluta att materialet innehåller sulfider. Sulfidmineral besitter önskade egenskaper för flera viktiga användningsområden, främst i obundna lager och som betongballast och därför finns kravställda halter som skall underskridas. Idag skickas sådana prover till kemiska analys för att kontrollera svavelhalten. Detta förfarande är dyrt, tidkrävande och ger ändå inte information om själva sulfidmineralogin. Här finns det alltså utrymme för en kompletterande metod som faktiskt ger information om själva sulfidmineralen.

Den kanske mest intressanta aspekten av metoden är möjligheten att snabbt och enkelt kunna identifiera olika slag av sulfidmineral. I delar av landet finns berggrund med förhöjd sulfidhalt som kan utgöra en utmaning vid stora infrastrukturprojekt som innefattar losshållning av bergpolymer (t.ex. Länsstyrelsen Stockholms län 2023 och referenser däri). I dessa sammanhang skulle det vara till stor hjälp att snabbt få en överblick över vilka sulfidmineral som finns i ett bergmaterial då dessa reagerar väldigt olika. Vissa sulfidmineral är i stort sett ej syrabildande, exempelvis kopparkis och blyglans, medan andra är det, men i olika hög grad. Exempelvis är pyrit ett kraftigt syraproducerande mineral och det vanligaste sulfidmineralet, medan mineralet magnetkis förvisso är mer ovanligt, men är 20–100 gånger mer potent än pyrit (Rapp 2019). Alltså är det viktigt att veta inte bara hur mycket sulfidmineral en bergart innehåller utan också vilka mineralslag som finns eftersom detta kan ha stor inverkan på den syrabildande potentialen hos ett bergmaterial. Med geologisk kompetens är det relativt enkelt att särskilja de vanligaste sulfidmineralen från varandra och få en uppfattning om proportionerna av oxider och sulfider.

Det blev tydligt under projektets gång att det behövs en annan metod för den kvalitativa bedömningen av sulfidinnehåll. Det var dock utanför innevarande projekts målsättning och får arbetas vidare med.

## 5 Framtida arbete

Det som utkristalliserat sig längs arbetets gång och i diskussioner med referensgruppen är att det sannolikt skulle bli utmanade att införliva denna teknik som ett rent fältredskap. Rekommendationen blir i stället att metoden kan utvecklas till en enkel och tidseffektiv laboratoriemetod.

Användningsområdet för metoden kan bli flera. Huvudanledningen till att utveckla metodiken skulle vara att den kan användas som en kompletterande metod till de petrografiska provningsmetoderna (SS EN 932-3 och Rilem AAR-1.1) för karakterisering av opakmineralogi. Bergmaterial med en halt opaka mineral över 1 % måste idag skickas för kemisk analys, antagligen oftast i onödan. Metoden skulle också kunna användas som screeningmetod för att påvisa sulfidmineral vid behov av löpande undersökning av bergvolym, exempelvis vid större infrastrukturprojekt såsom tunneldrivning. Idag görs detta med provtagning för kemisk analys, vilket är både kostsamt och tidskrävande. Ett vaskningsprov tar ungefär en timme i effektiv arbetstid, med vaskning, plockning och dokumentation, från det att ett prov finns tillgängligt. Det skulle vara önskvärt att utvärdera metodiken vidare och ta fram ett underlag för vidare behandling i relevant metodgrupp.

Det som behöver undersökas närmare är dels hur material med totalsvavelhalter mellan 500 och 10 000 ppm uppför sig. I detta intervall finns föreslagna gränsvärden för när bergmaterial bör definieras som problematiskt med avseende på sulfider och därför skulle det vara viktigt att förfina den skala som påbörjats i Tabell 1.

Det skulle också vara önskvärt att undersöka olika bergartstyper med varierande svavelhalt för att se om det finns systematiska skillnader mellan exempelvis granitiska och basiska bergarter.

En framtida studie borde också se på bergarter som innehåller fler sulfidslag, exempelvis zinkblände, arsenikkis och blyglans, som inte varit en del av innevarande projekt.

Den största utmaningen med metoden är dock själva kvantifieringen av mängden sulfidmineral och ett framtida arbete skulle behöva utvärdera olika tekniker för att kvantifiera. Metodologiskt finns säkert inspirationskällor i paleontologiska, biologiska eller medicinska metoder och detta skulle behöva utredas.

## 6 Slutsatser

I innevarande projekt har undersökts om framtagning av tungmineralseparat med hjälp av vaskning skulle kunna användas för att komplettera petrografiska och kemiska analyser för att karakterisera mineralinnehållet i bergmaterial.

Under projektets gång har det genomförts en inledande och en avslutande workshop och däremellan har det genomförts ett 60-tal vaskningar. Det analyserades sex olika bergmaterialprover, men svavelhalter mellan 0 och 10 000 ppm.

Testningen av reproducerbarhet, både genom succesiv vaskning av samma provmaterial av samma person och genom vaskning av olika personer visar att separaten varierar något i omfång, men proportionerna är lika. Således ger en större mängd prov en större mängd sulfidmineral. Trots variation i storlek på separaten, blir resultaten jämförbara.

Sulfidfraktionen är väldigt liten i alla diabasproven och mycket hög i gnejsproven. Inget prov sticker ut med signifikant högre eller lägre andel sulfider.

Det blev också tydligt att ett större separat inte var en fördel utan snarare försvårade plockningen. Bergarter med hög andel tunga mineral är betydligt besvärligare att vaska. Exempelvis innehöll diabasen en stor andel magnetit, vilken kom att utgöra den magnetiska fraktionen, men som också försvårade själva vaskningen.

Vid testningen av olika bergartstyper framkom att även prov med mycket låg totalsvavelhalt innehåller sulfidmineral och att det i prov med en totalsvavelhalt under detektionsgränsen inte fanns några sulfidmineral.

Prov med en totalsvavelhalt på 1% eller högre finns enorma (oräkneliga) mängder sulfidmineral.

Prov med svavelhalter i intervallet mellan 500 och 10 000 ppm fanns inte med i innevarande projekt och bör undersökas närmare.

Det rekommenderas att metoden undersöks närmare med fokus på att ta fram underlag för vaskning som en kompletterande metod till de petrografiska undersökningarna SS EN 932-3 och Rilem AAR 1.1.

## Litteraturförteckning

Appel, P.W.U. 1989: Investigations of heavy mineral concentrates from stream sediment samples collected during the period 1982 to 1986 in the Nuuk area, West Greenland. Grønlands Geologiske Undersøgelse, Open File Series No. 89/1, 93 s.

Erfurt, P., Appel, P.W.U. & Lind, M. 1992: Geochemical investigation of heavy mineral concentrates from stream sediments in southern West Greenland, 62°30'N to 64°00'N - 1991 results. Grønlands Geologiske Undersøgelse, Open File Series 92/1, 44 s.

Hallenstein, C.P., Pedersen, J.L. and Stendal, H. 1981: Exploration for scheelite in East Greenland - a case study. In: A.W. Rose and H. Gundlach (Editors), Geochemical Exploration 1980. Journal of Geochemical Exploration, 15: s. 381-392.

Huber, C. & Kurtak, J. A guide to recreational gold panning on the Kenai Peninsula, Chugach National Forest, Alaska. Chugach National Forest, Anchorage, Alaska. 34 s.

Länsstyrelsen Stockholms län 2023: Strategi för hantering av massor i Stockholms län. 28 s.

Rapp, A. 2019: Undersökning av lakningspotential och kristallareafördelning av opaka mineral i bergarter från Ekobacken, Värmdö kommun. Självständigt arbete vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, 15, 50 s.

Söderlund, U. & Johansson, L. 2002: A simple way to extract baddeleyite (ZrO<sub>2</sub>). Geochemistry, Geophysics, Geosystems 3(2), DOI: 10.1029/2001GC000212

Toverud, O. 1984: The Goldhound: A new device used in geochemical prospecting for tin and tungsten in Sweden. I: Armands, G. & Schager, S. (ed.) 16:e Nordiska Geologiska Vintermötet, Stockholm 1984. Medd. Stockholms Univ. Geol. Inst., nr. 255, s. 229.



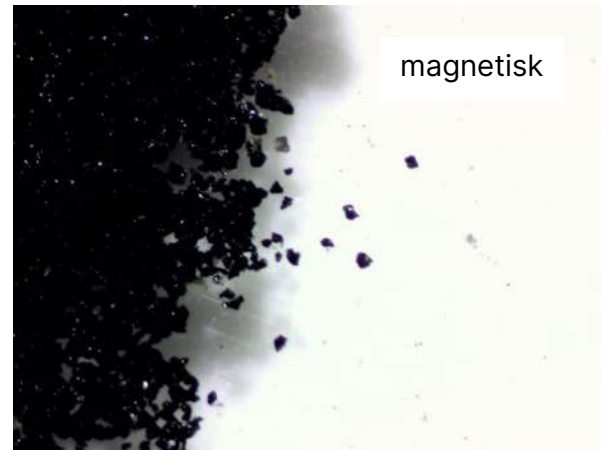
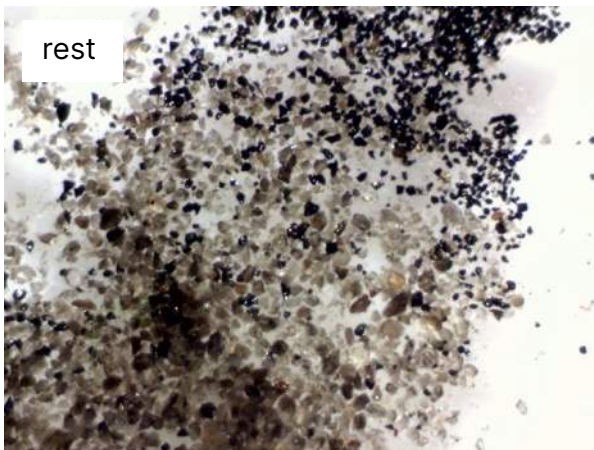
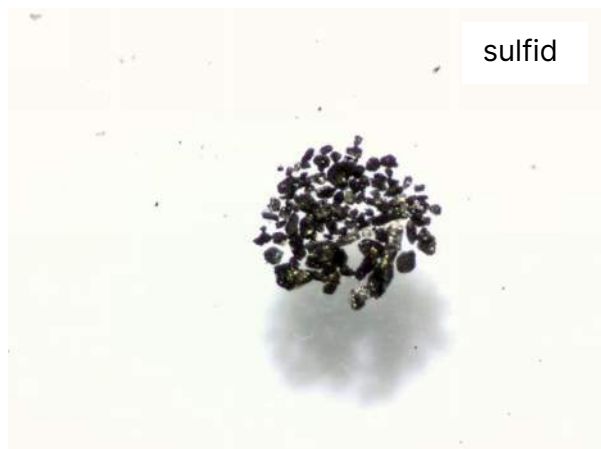
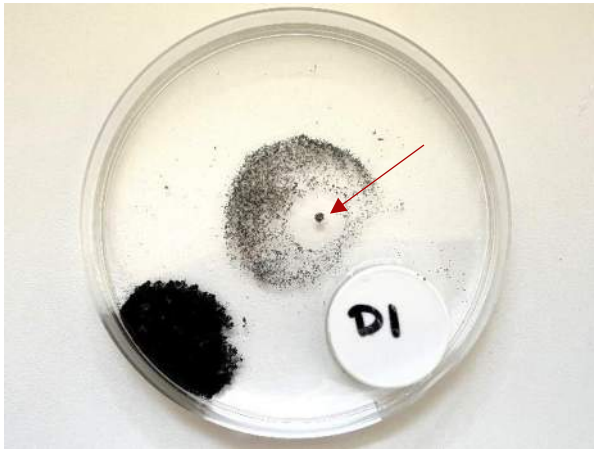
## Bilagor

Bilaga 1: bilddokumentation av tungmineralseparat

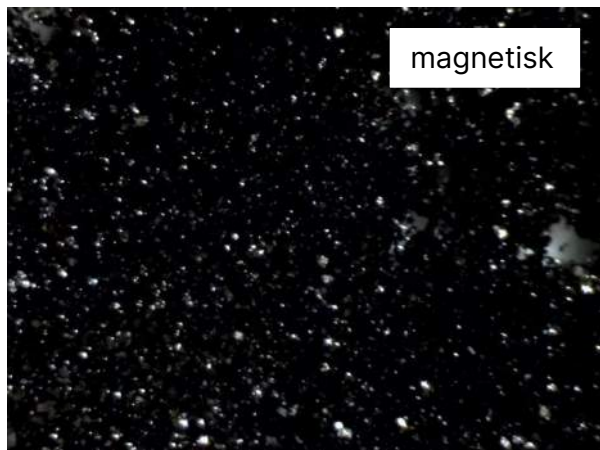
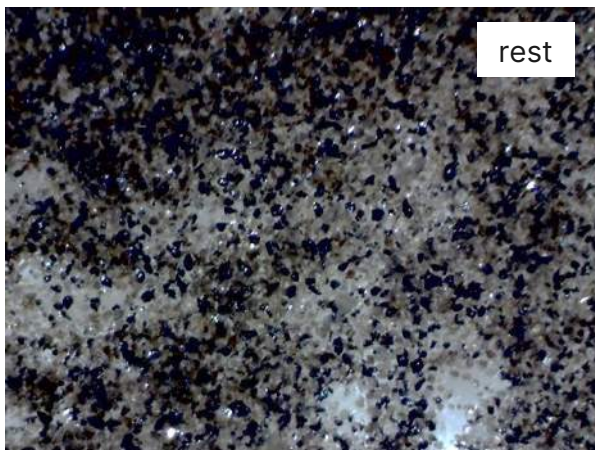
# 1 Bilaga 1

Nedan följer fotodokumentation av alla vaskade prover, med översiktsbild och närbilder på de olika fraktionerna; sulfider, magnetisk och omagnetisk restfraktion. I vissa prover förekommer mer än ett sulfidmineral och då har dessa dokumenterats i görligaste mån. Röda pilar pekar på pyritfraktionen och i de fall det förekommer fler sulfidfraktioner finns ytterligare pilar, blå för molybdenglans och brun för magnetkis.

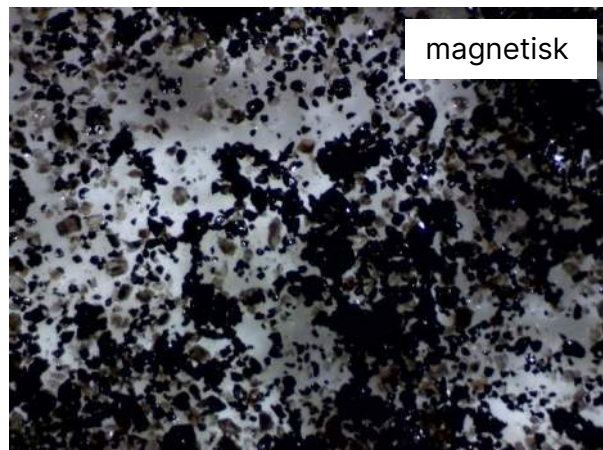
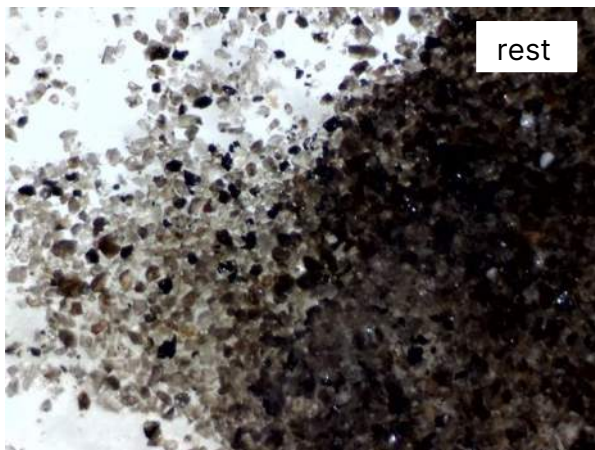
D1



D2

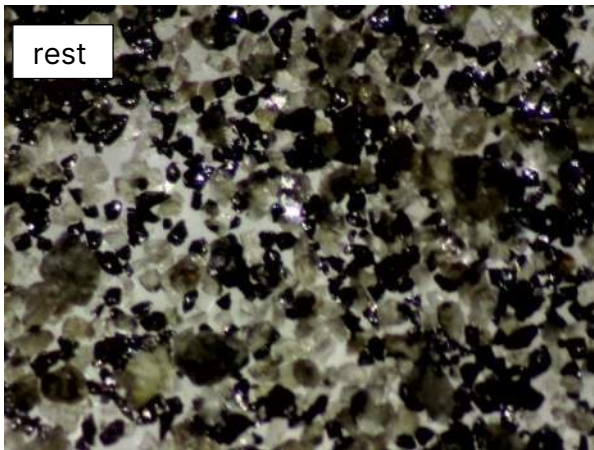
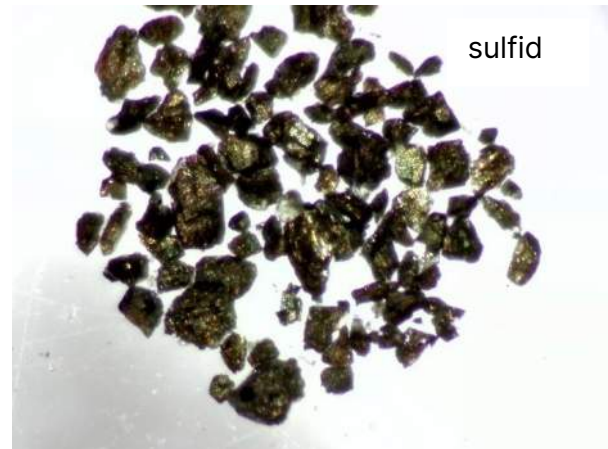


D3

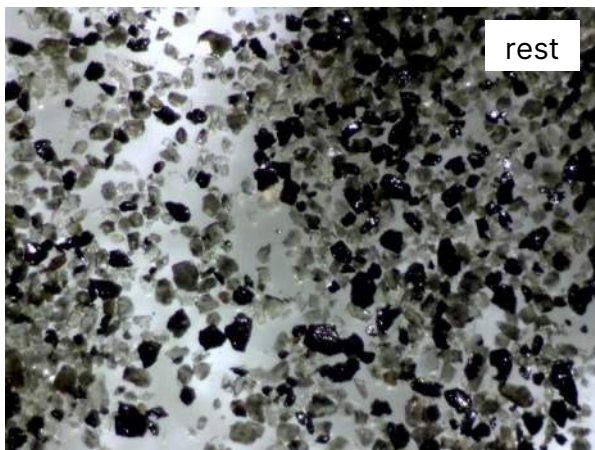
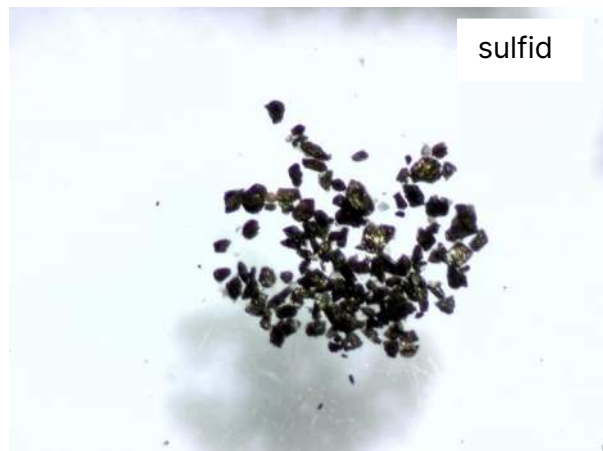




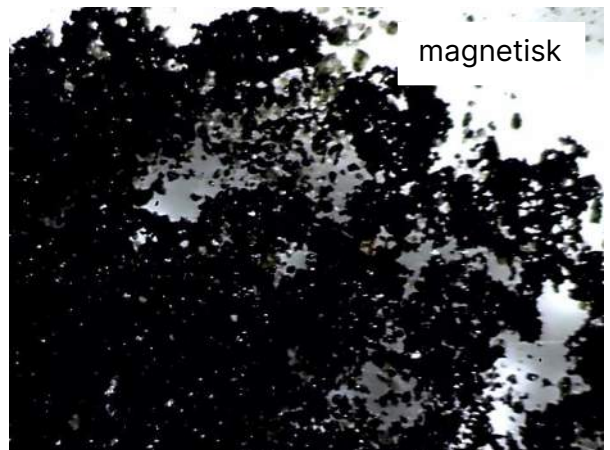
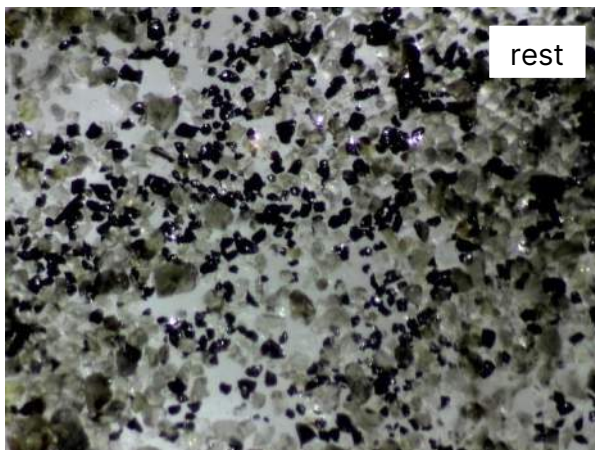
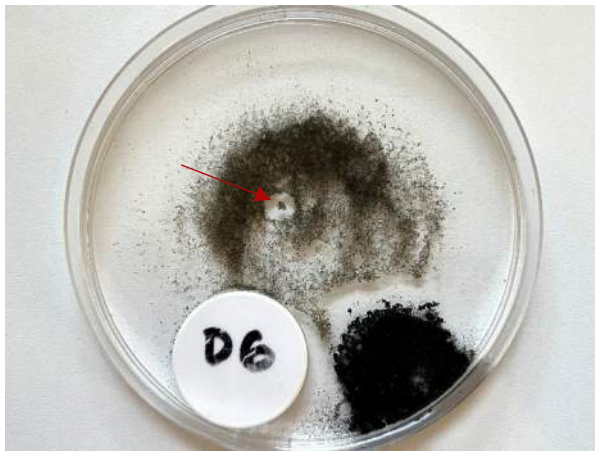
D4



D5

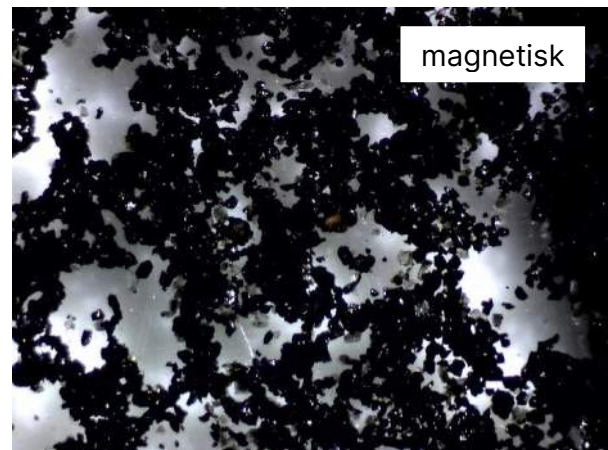
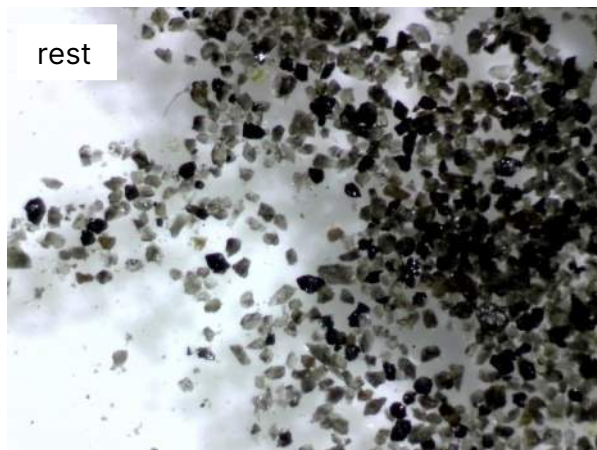
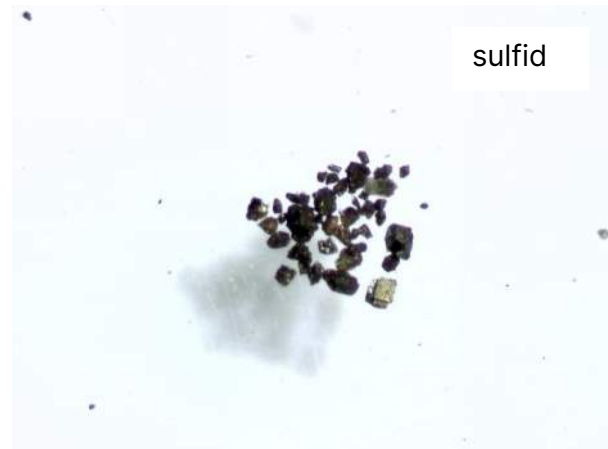


D6

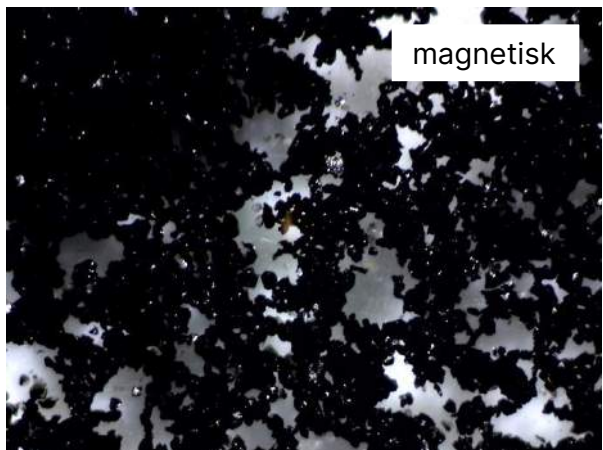
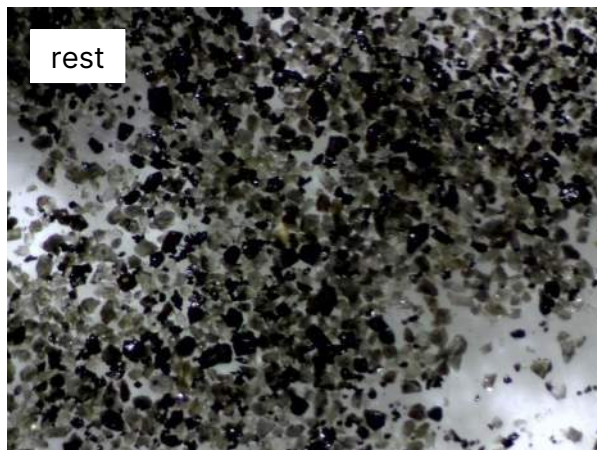
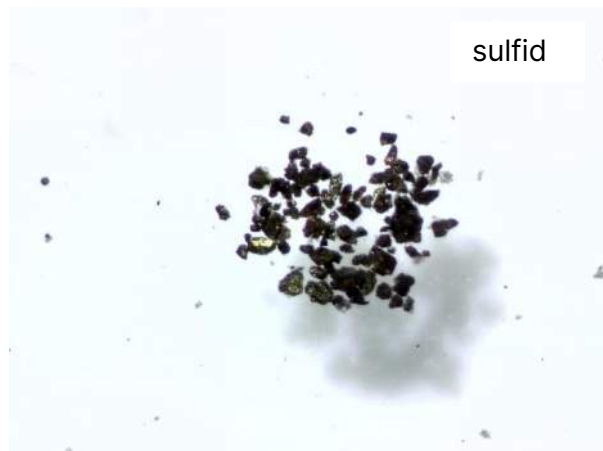




D7

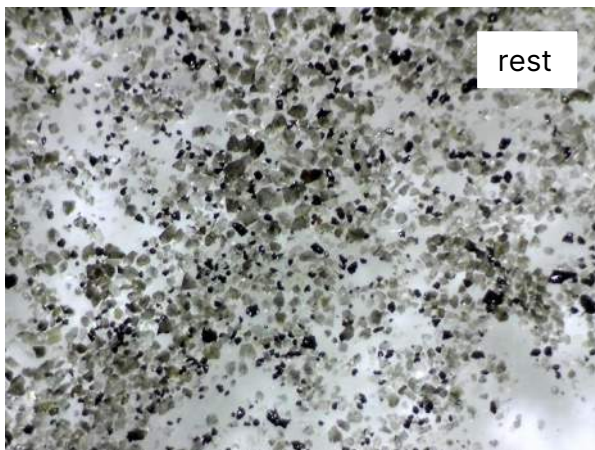
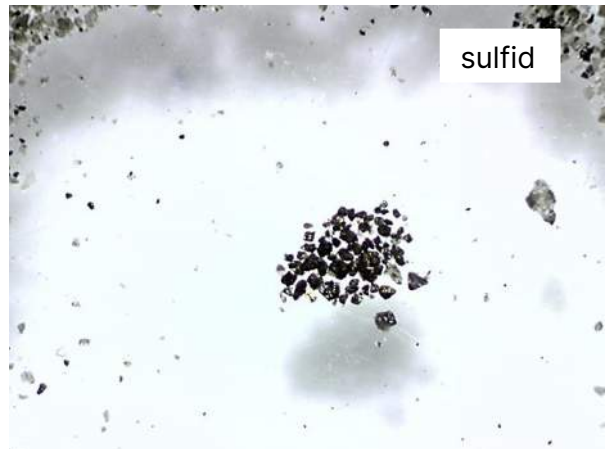


D8

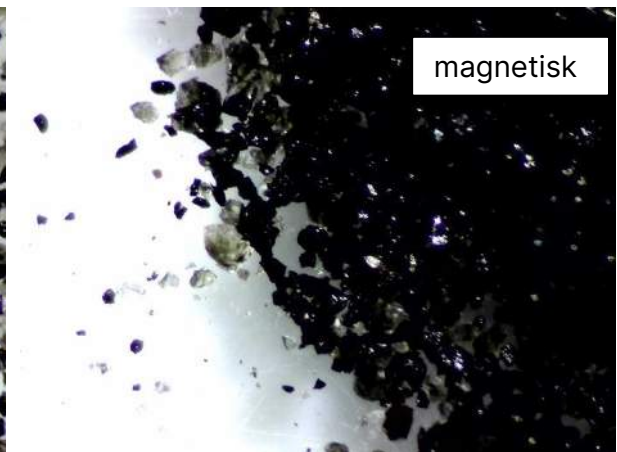
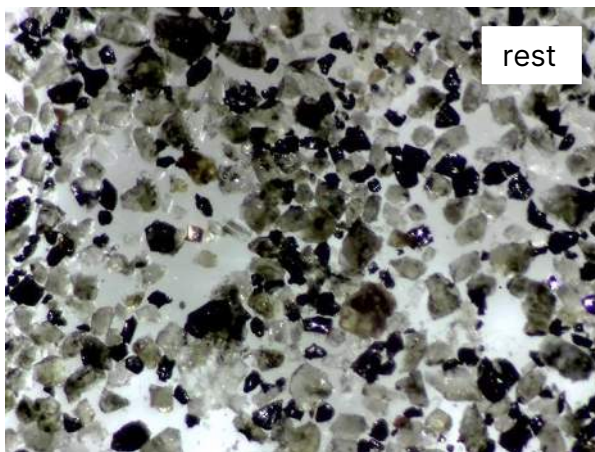




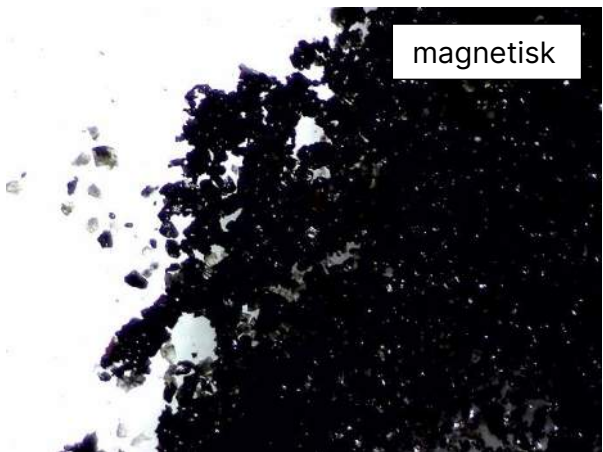
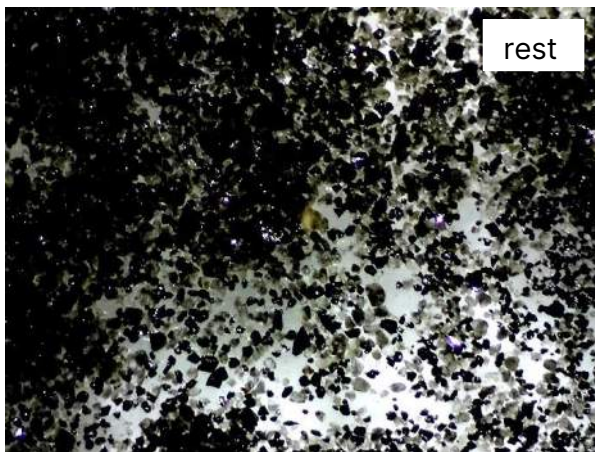
D9



D10

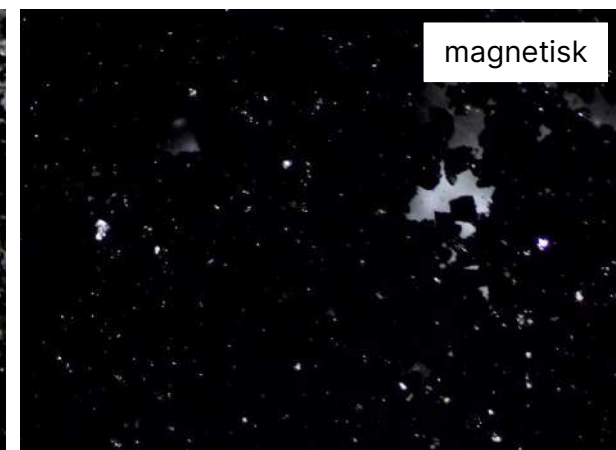
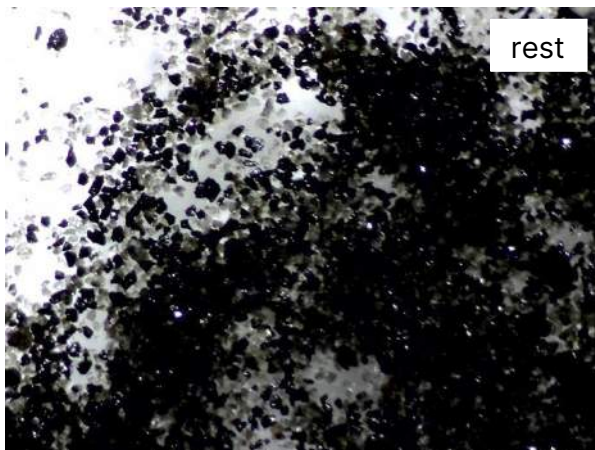
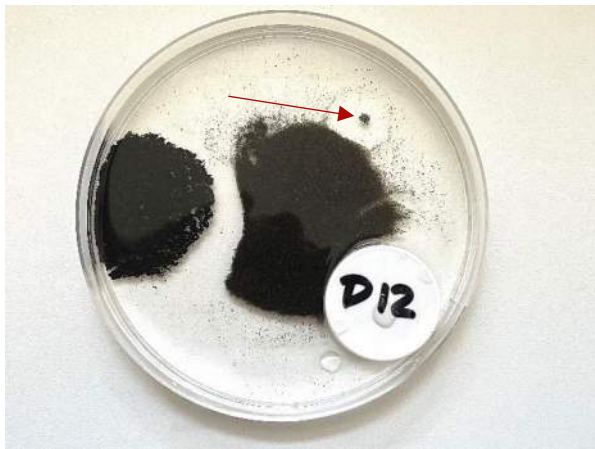


D11



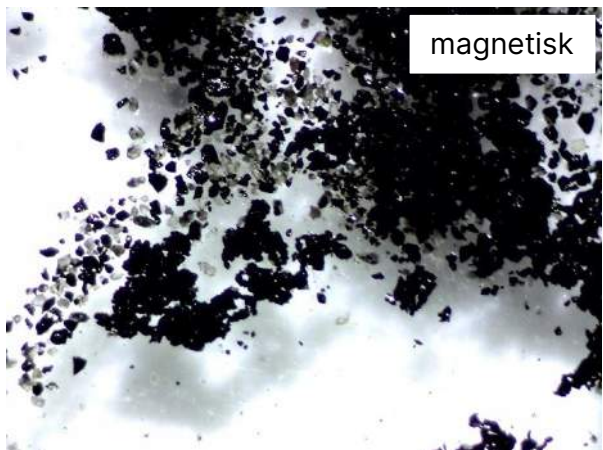
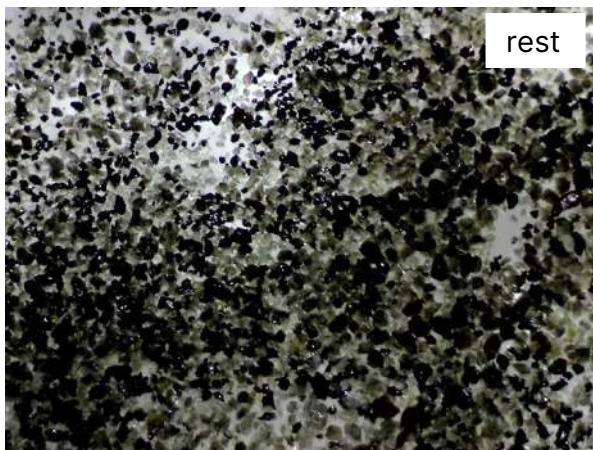
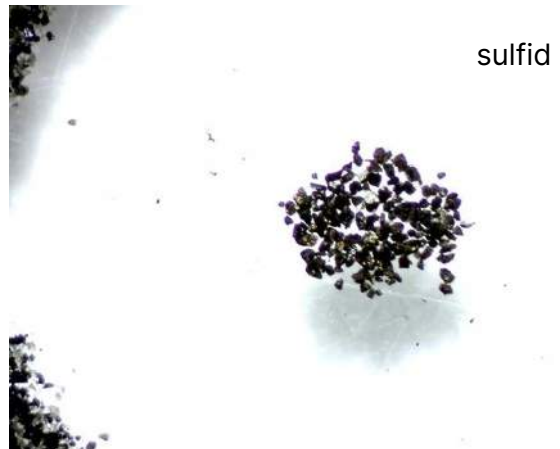


D12

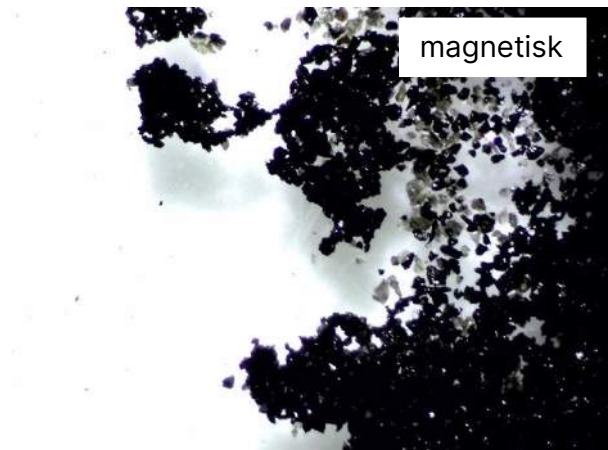
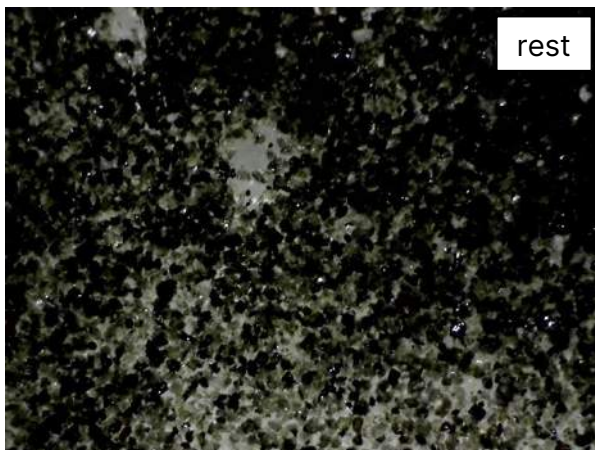




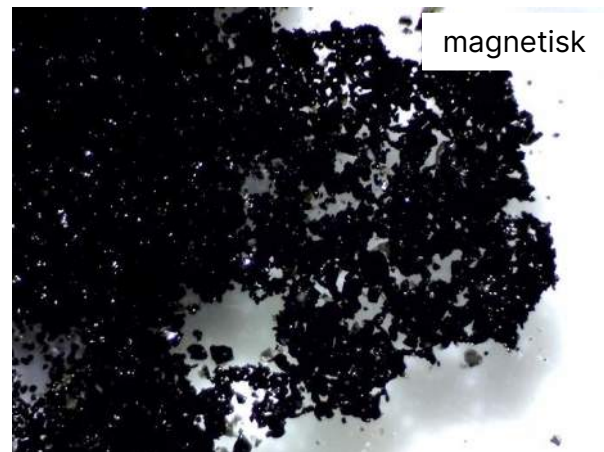
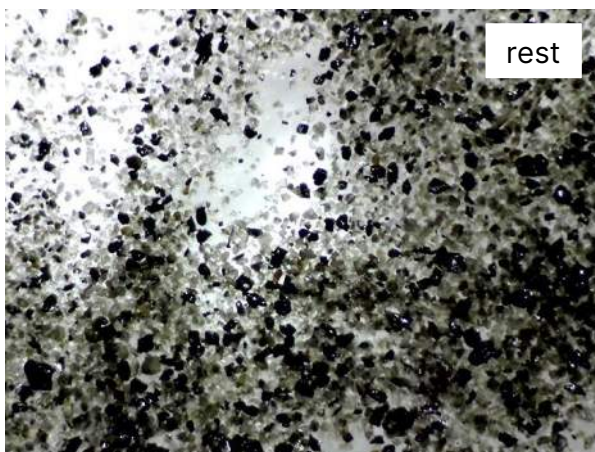
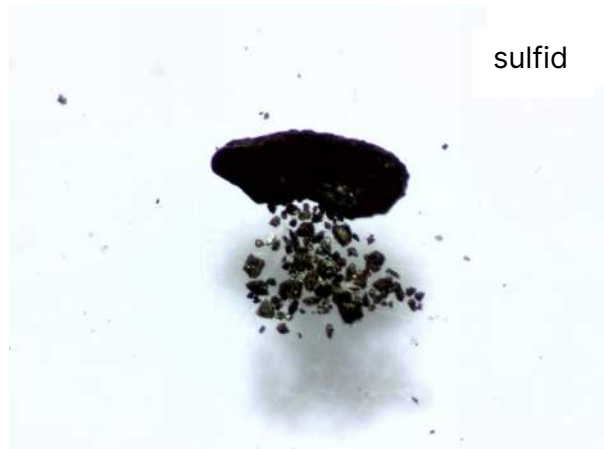
D13



D14

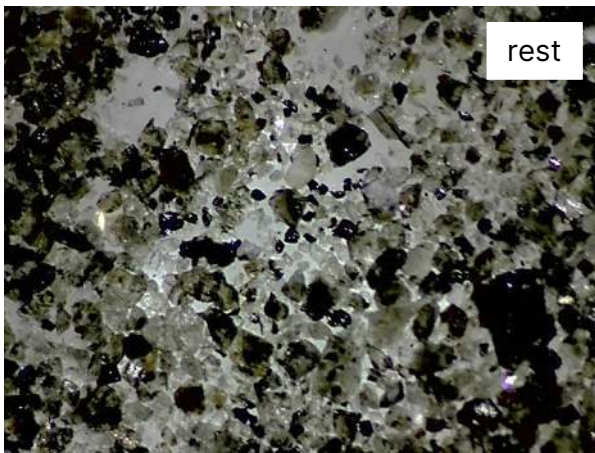
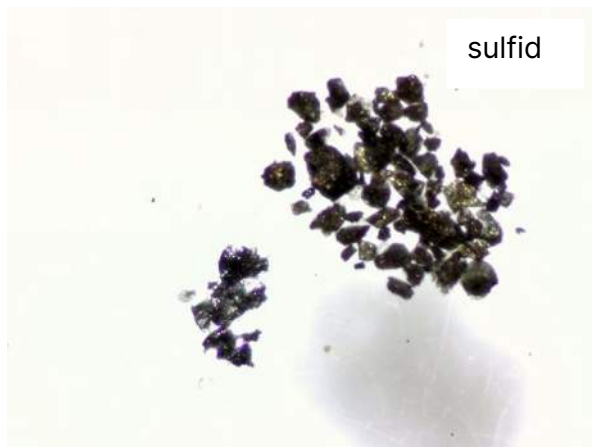
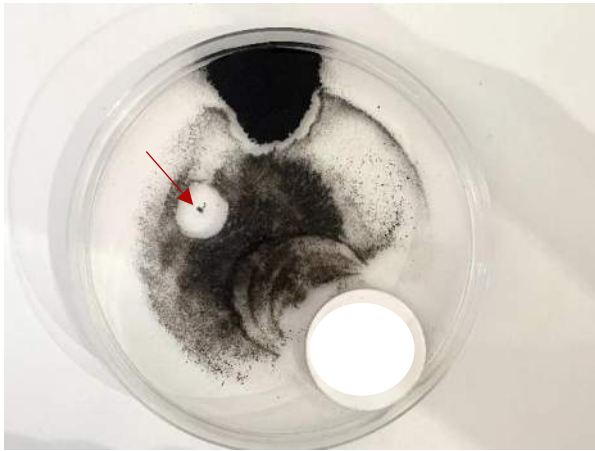


D1:1



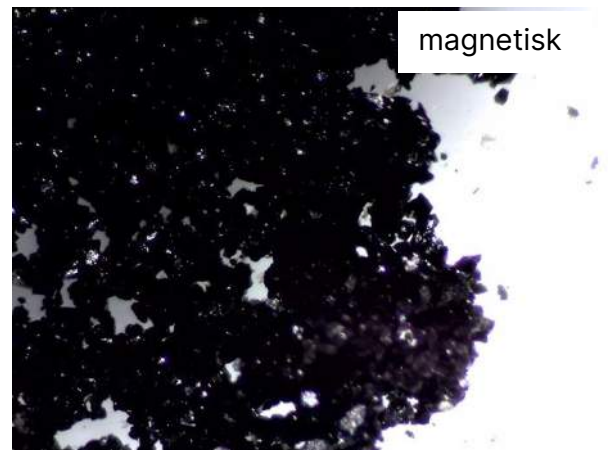
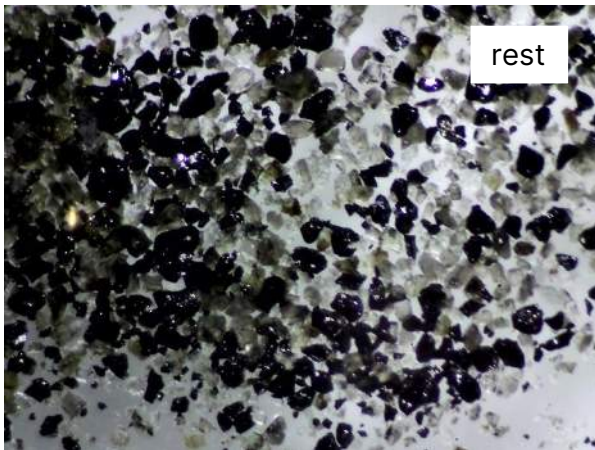
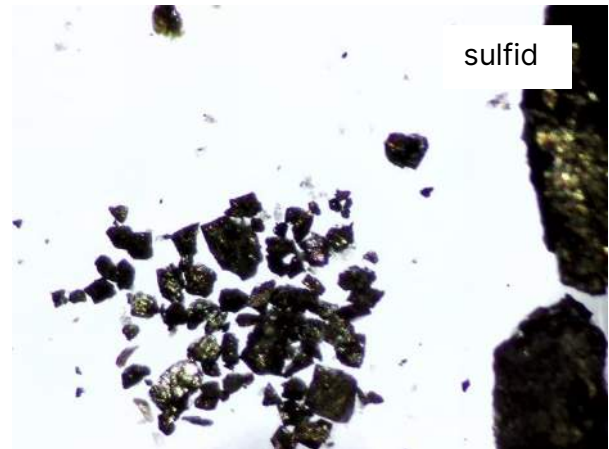
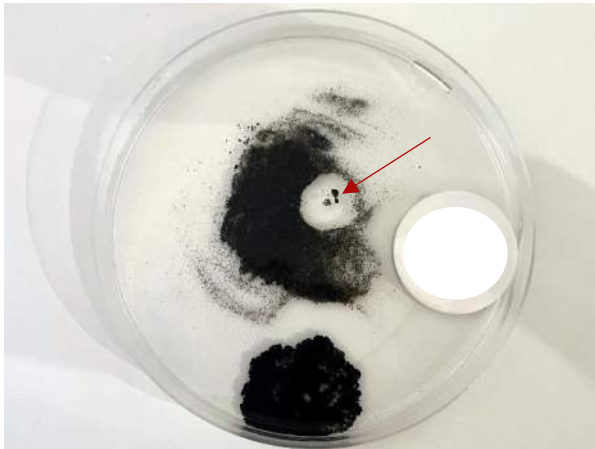


D1:2

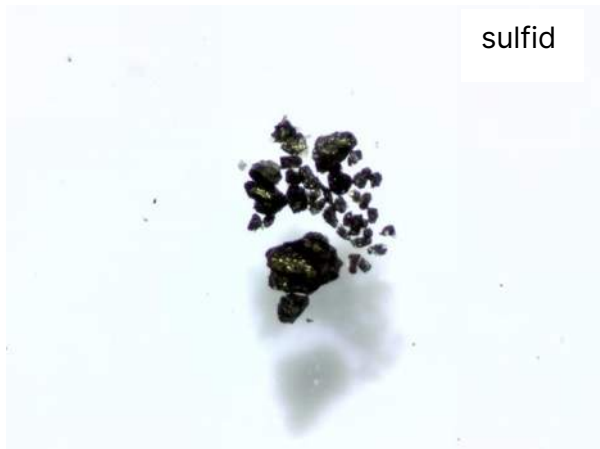




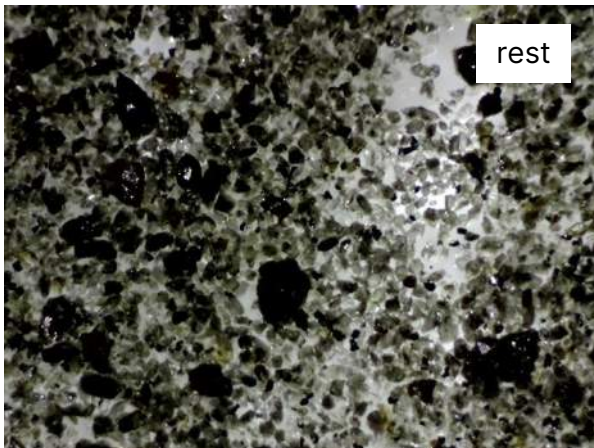
D1:3



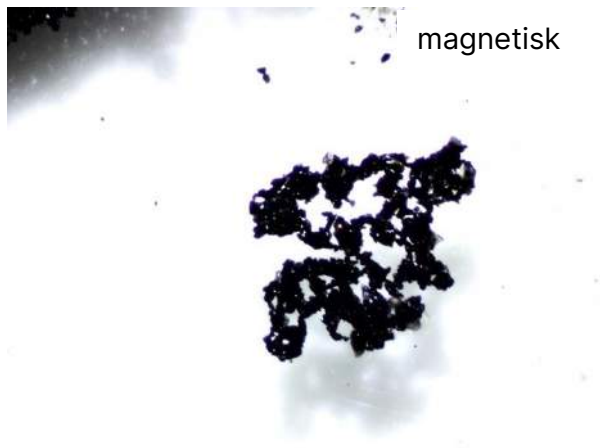
D2:1



sulfid

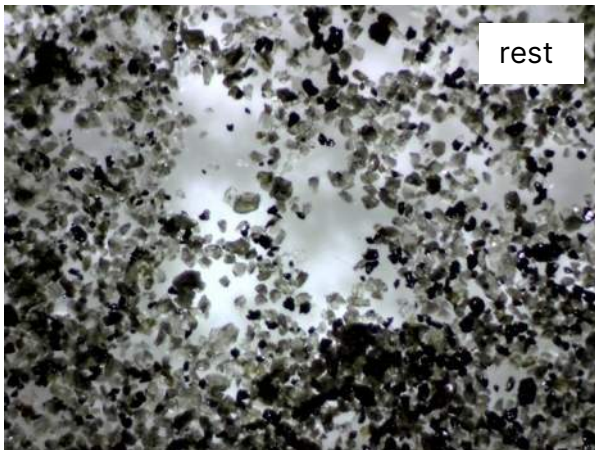


rest



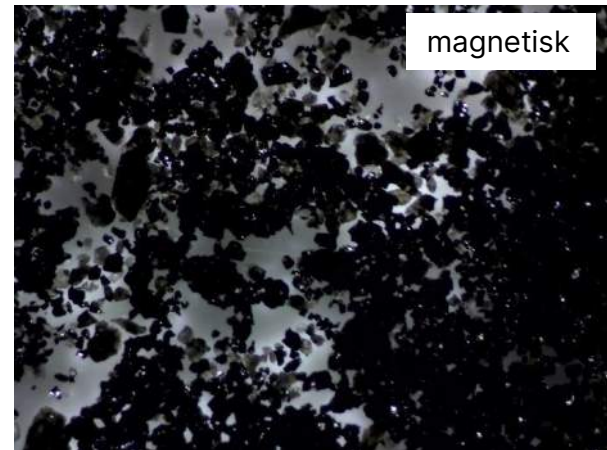
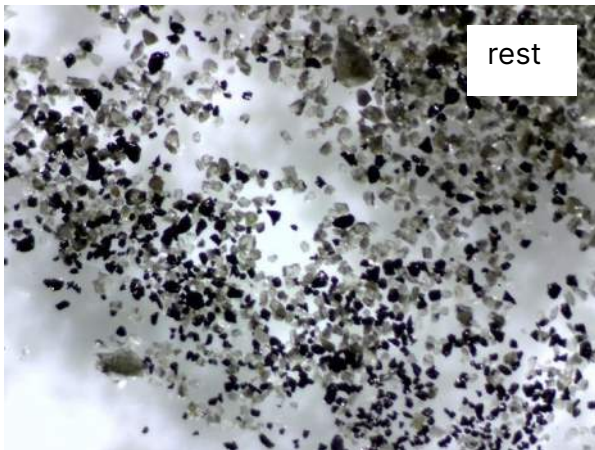
magnetisk

D2:2



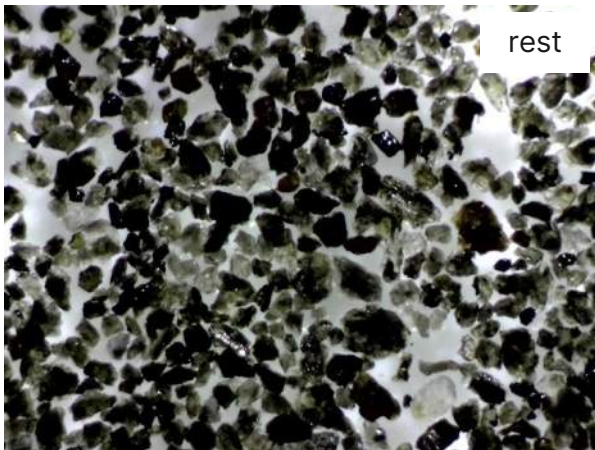


D2:3

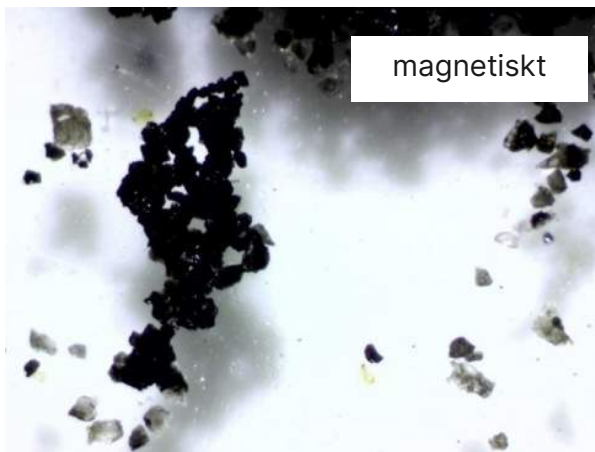




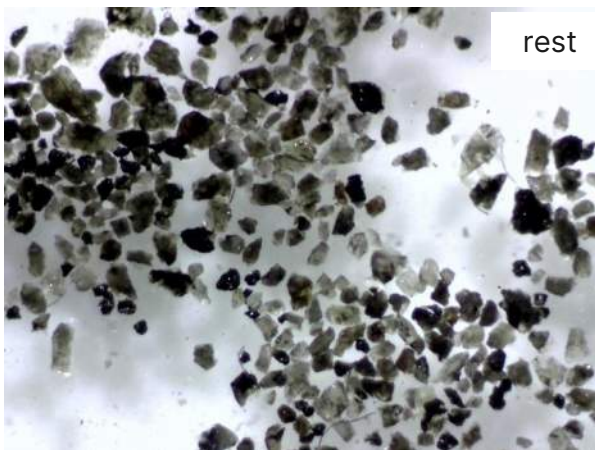
D3:1



D3:2

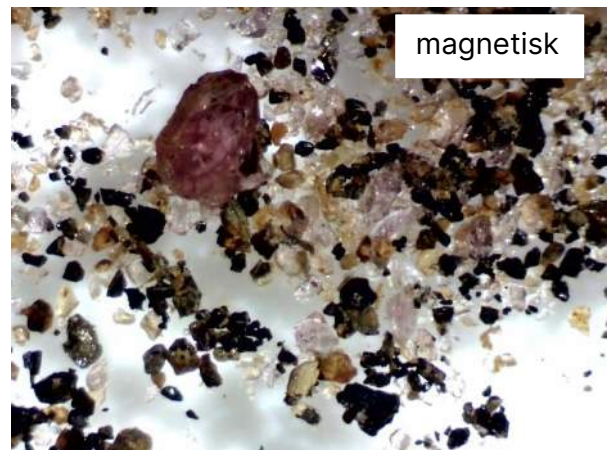
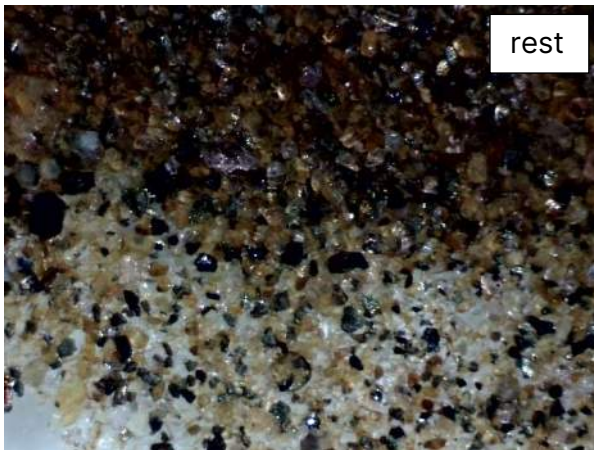
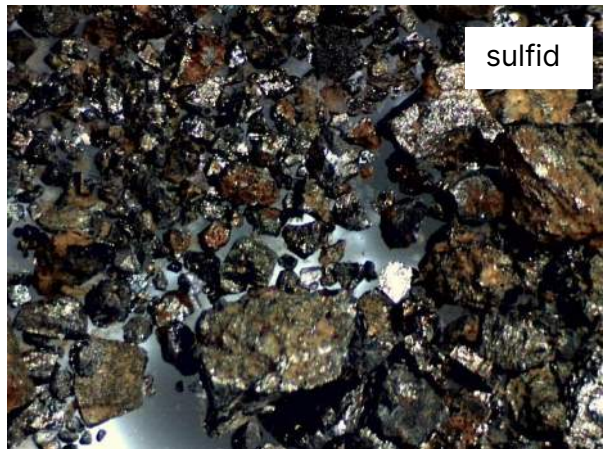
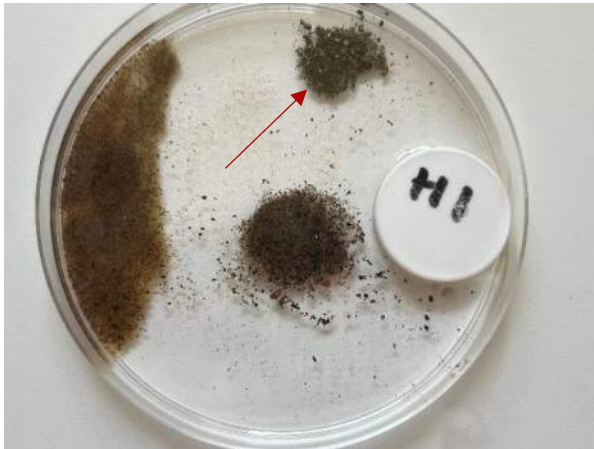


**D3:3**



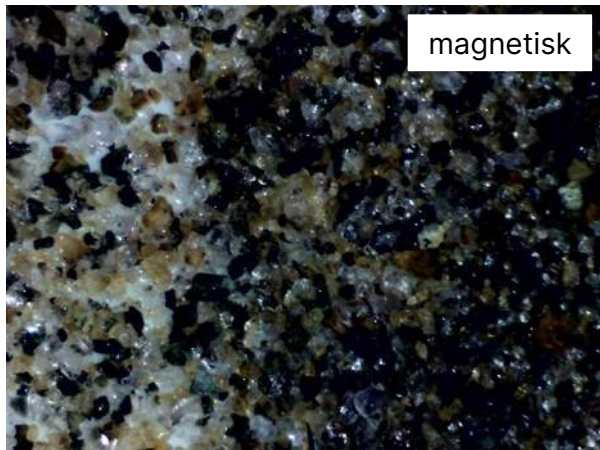
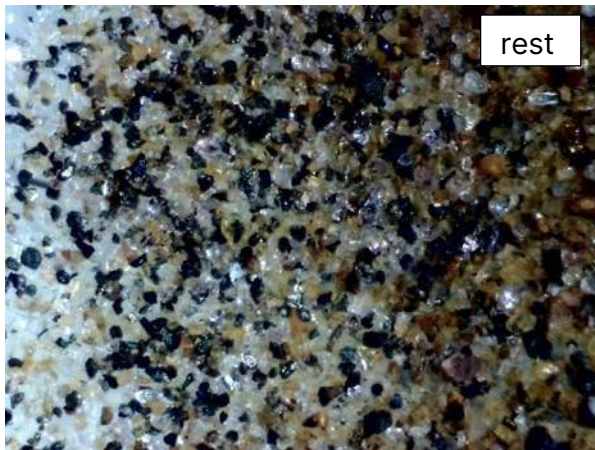
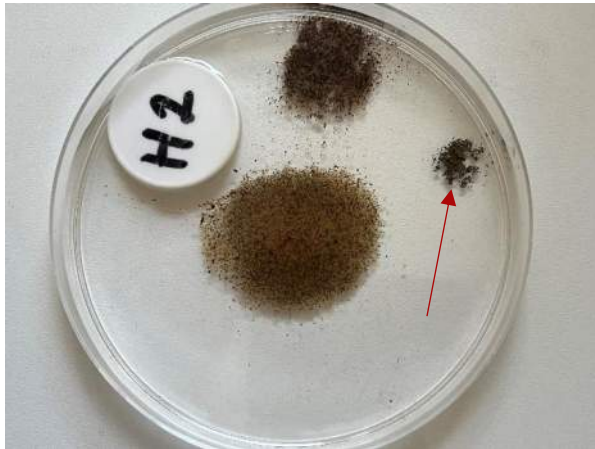


H1

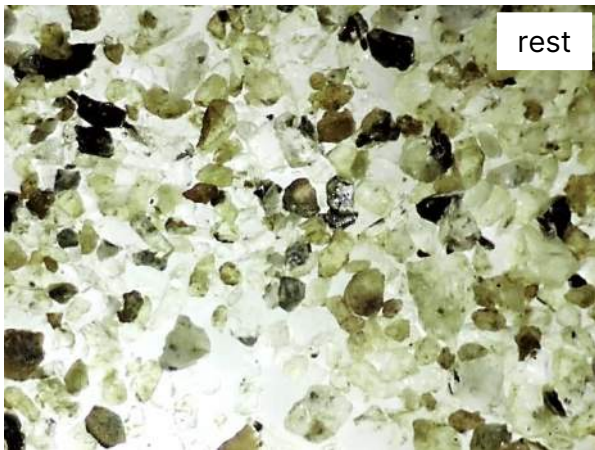




H2

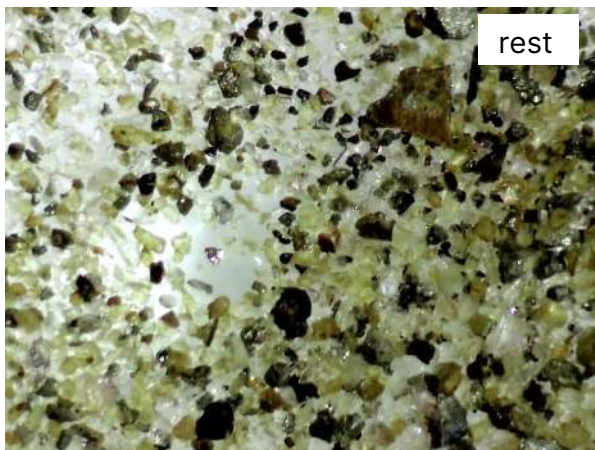


H3

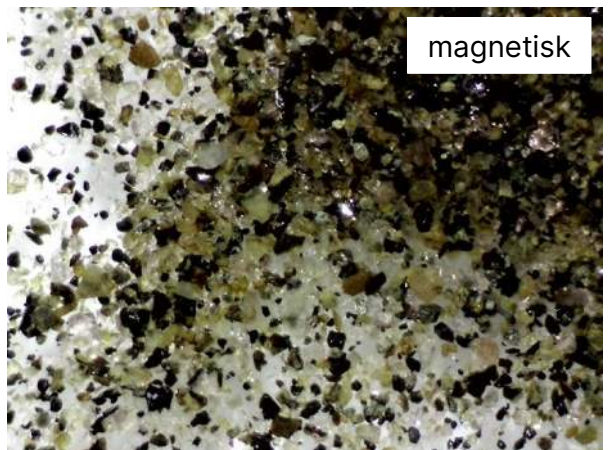
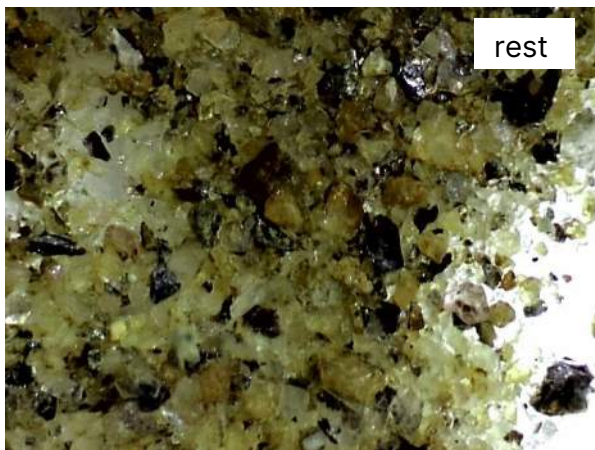




H4

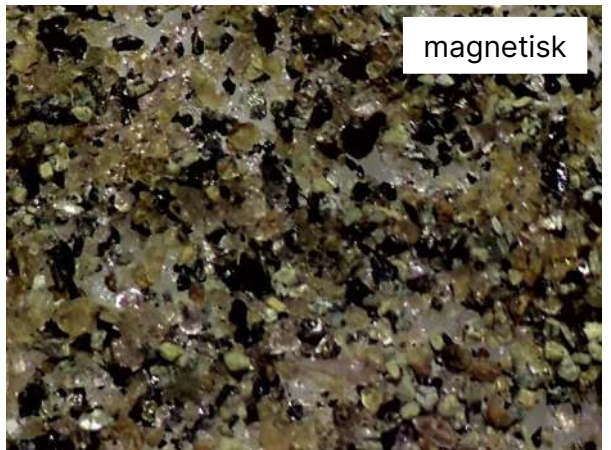
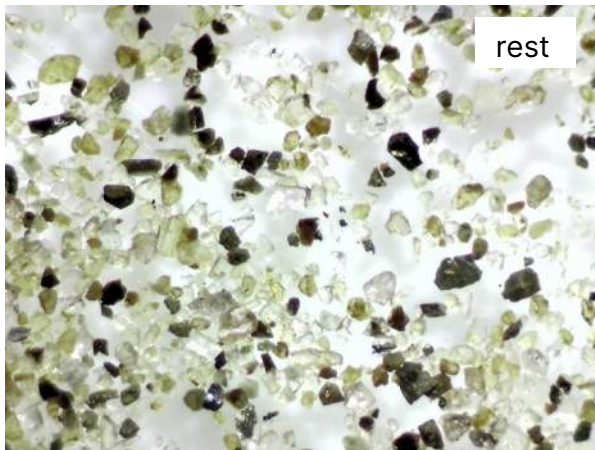
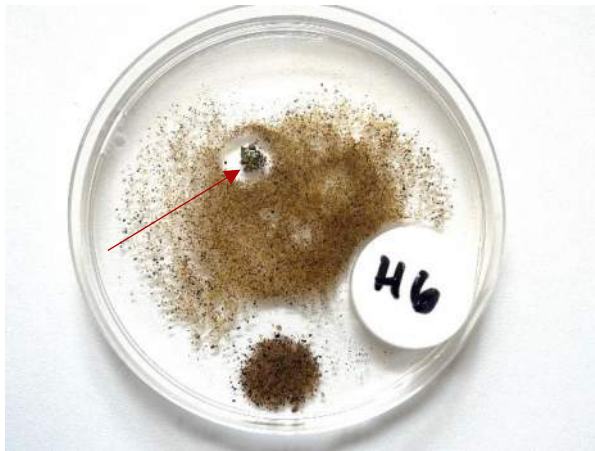


H5

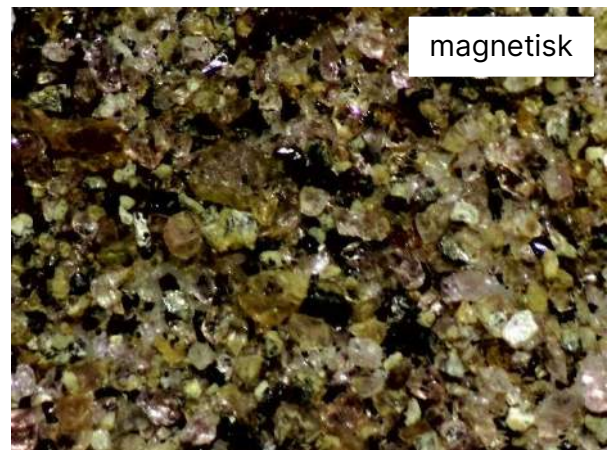
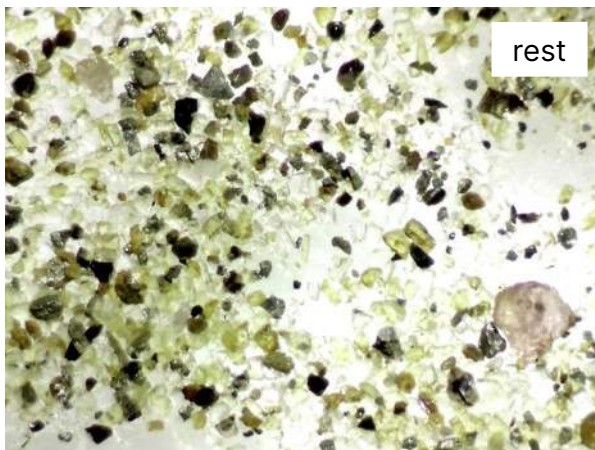
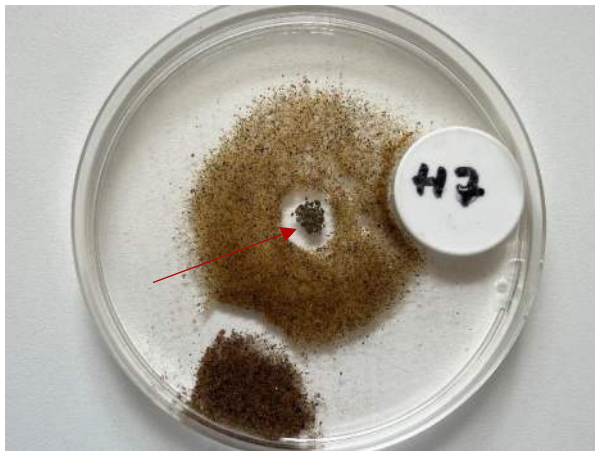




H6

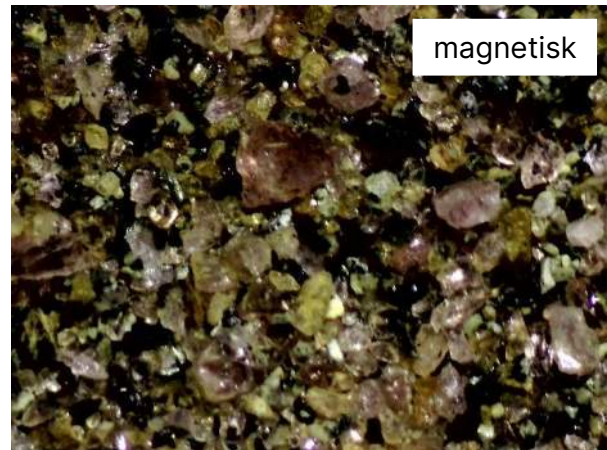
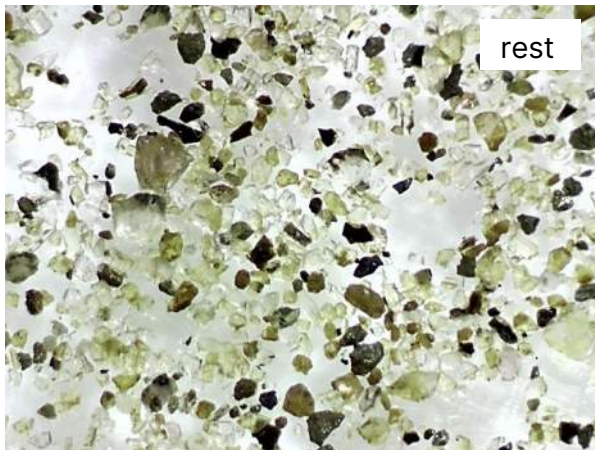
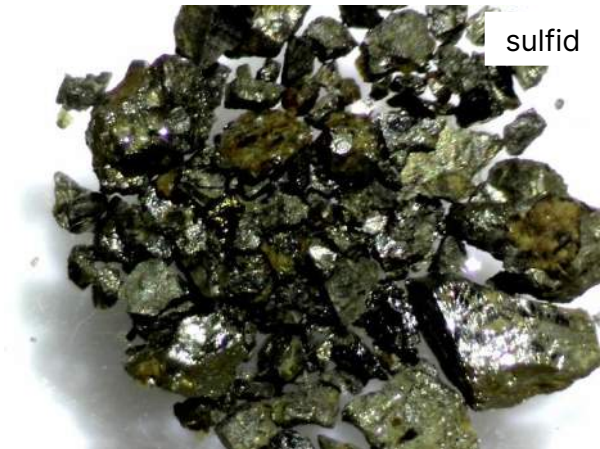
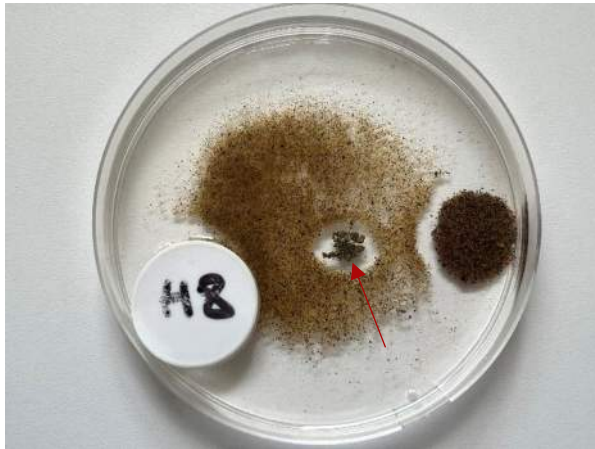


H7

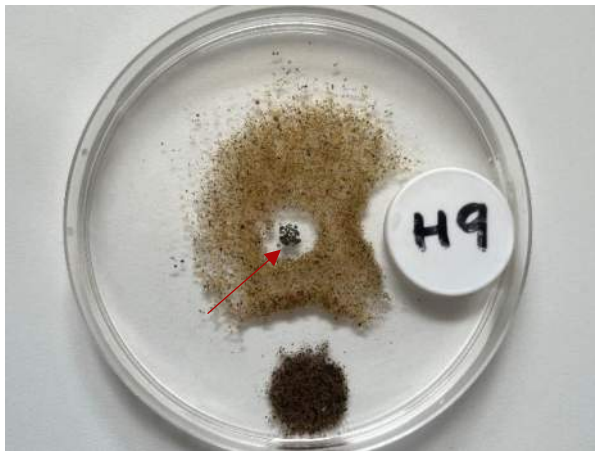




H8



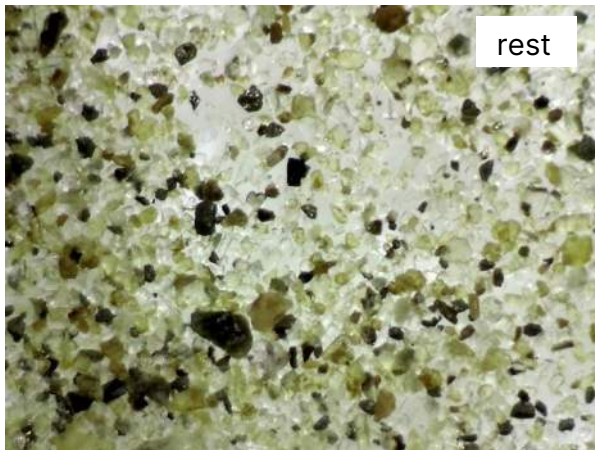
H9



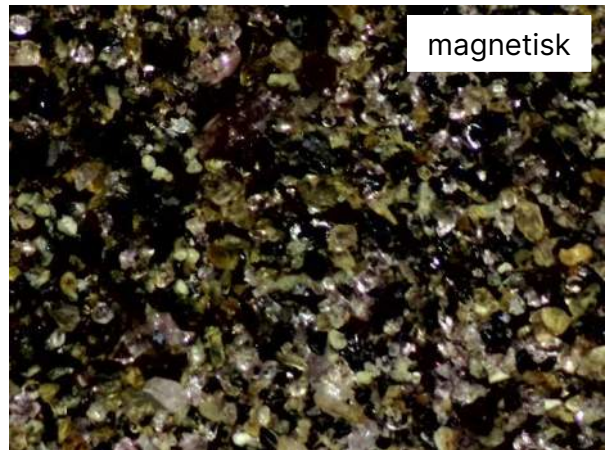
sulfid



rest

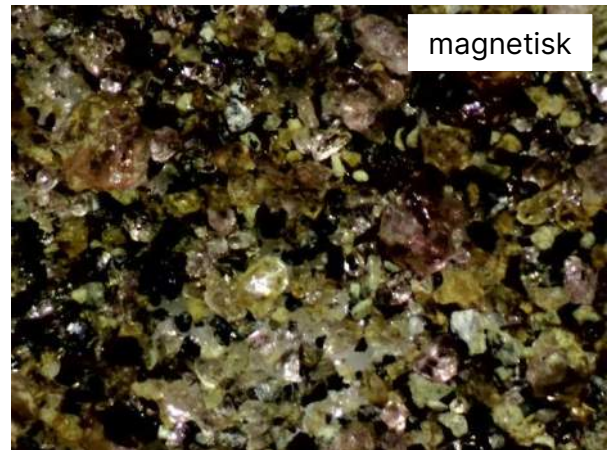
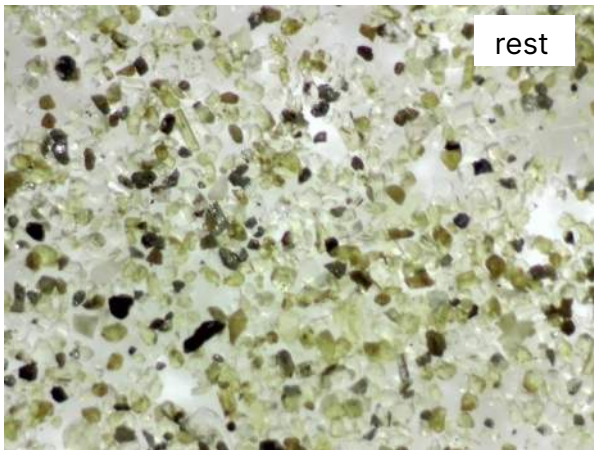


magnetisk

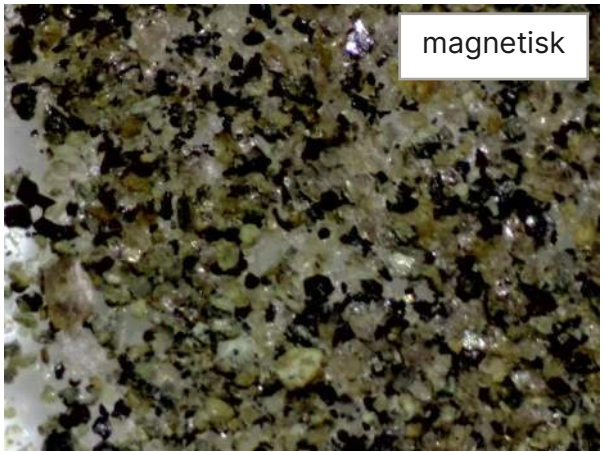
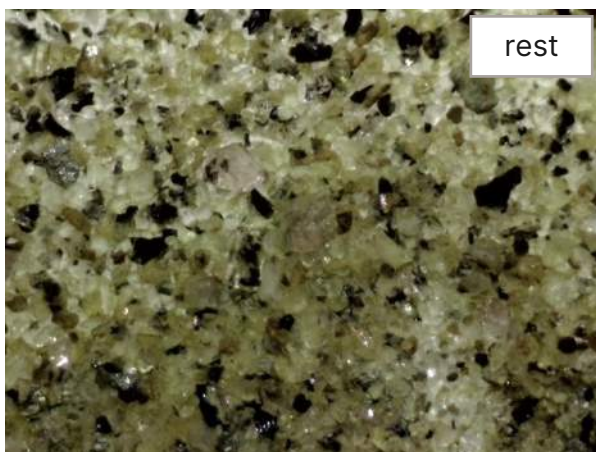




H10

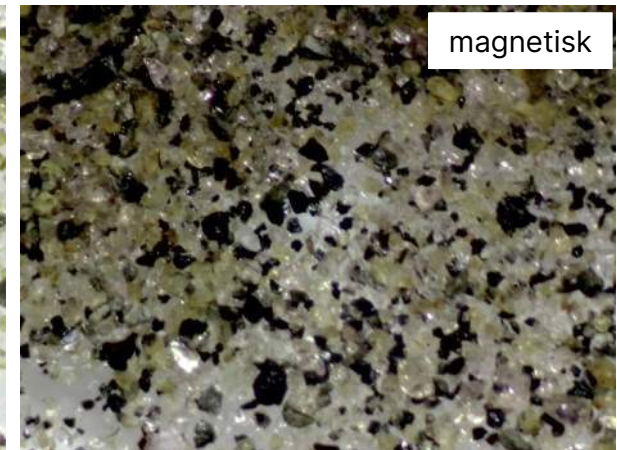
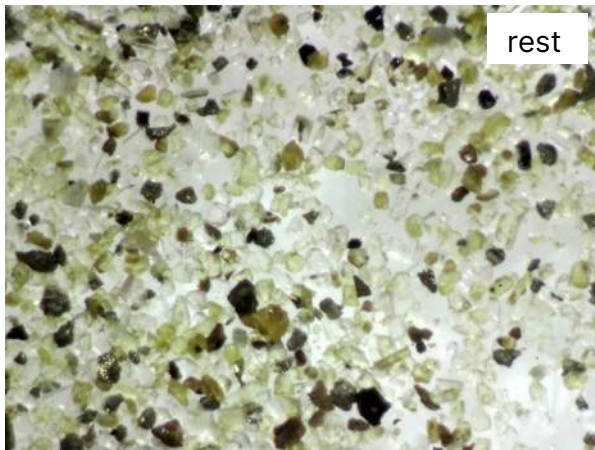


H11

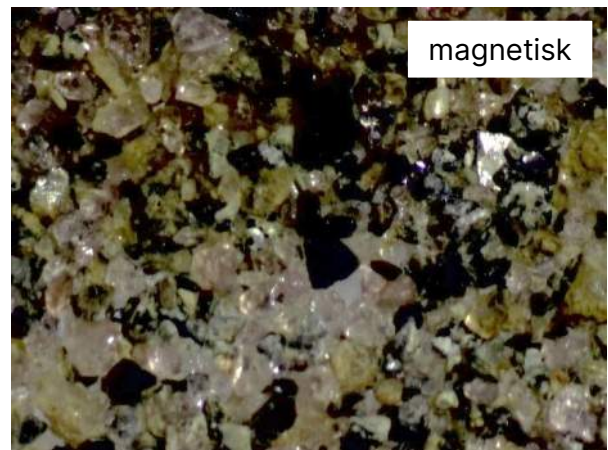
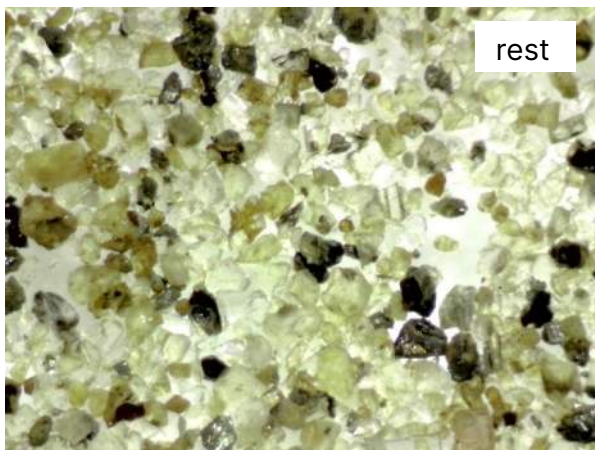




H12



H13

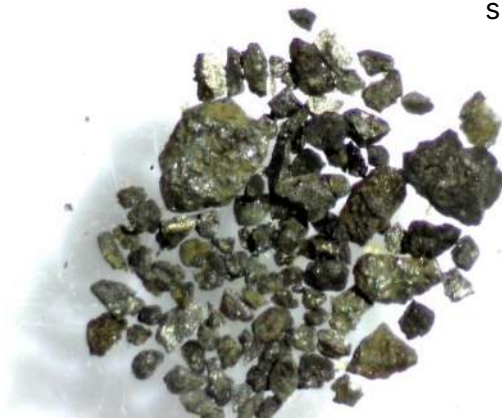




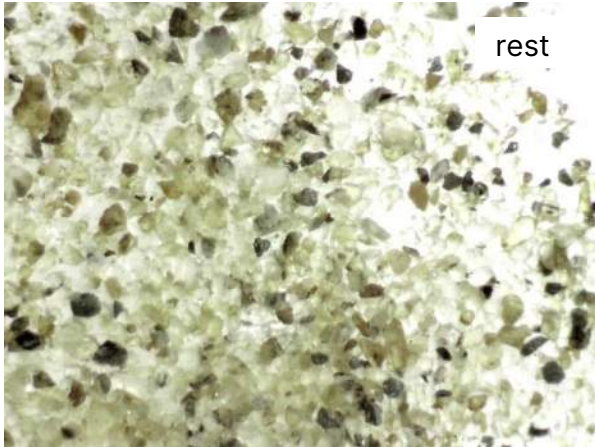
H14



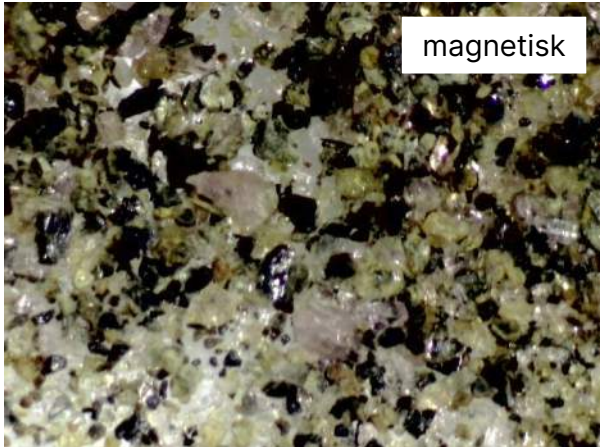
sulfid



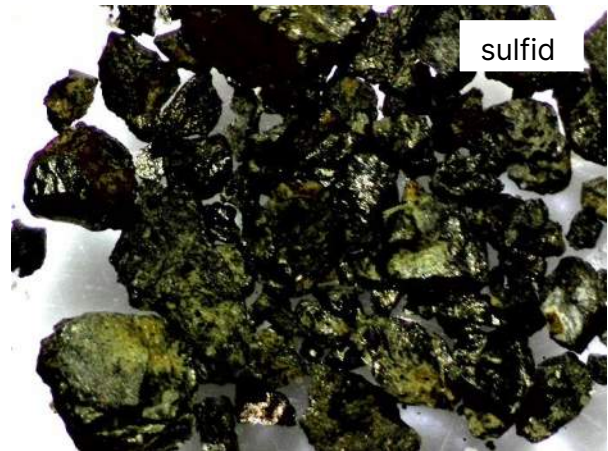
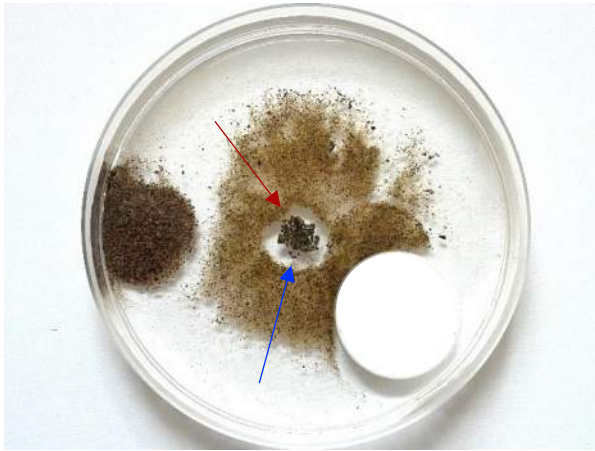
rest



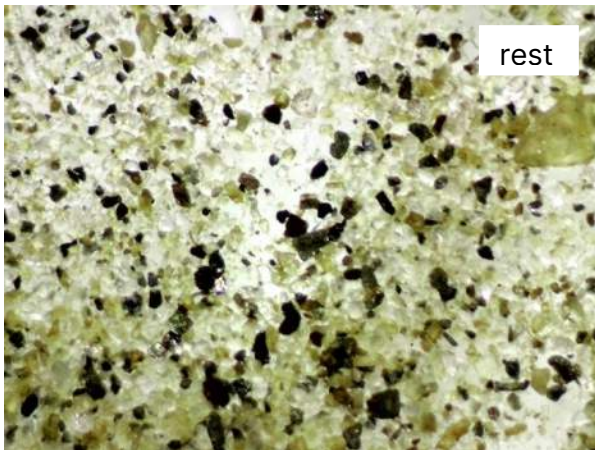
magnetisk



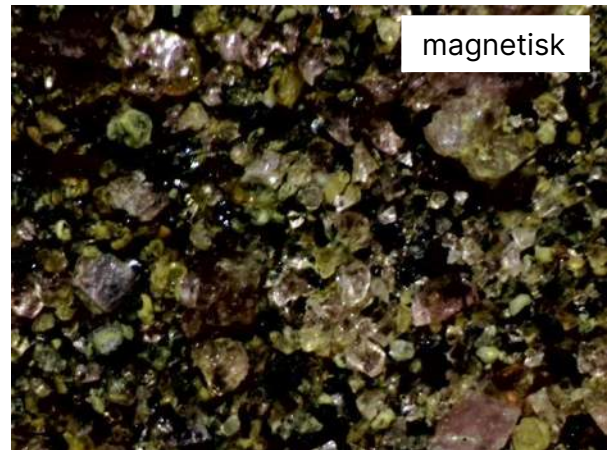
H1:1



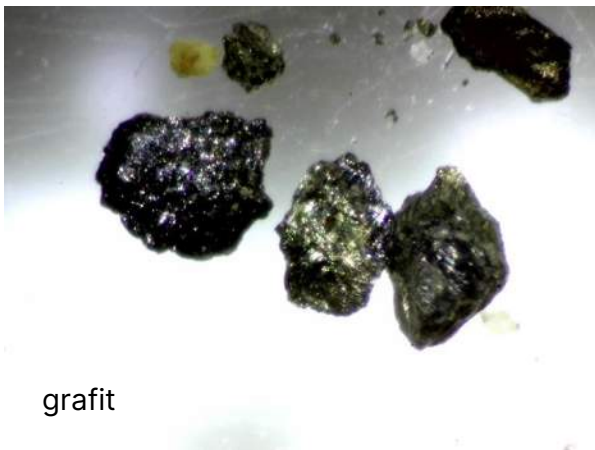
sulfid



rest



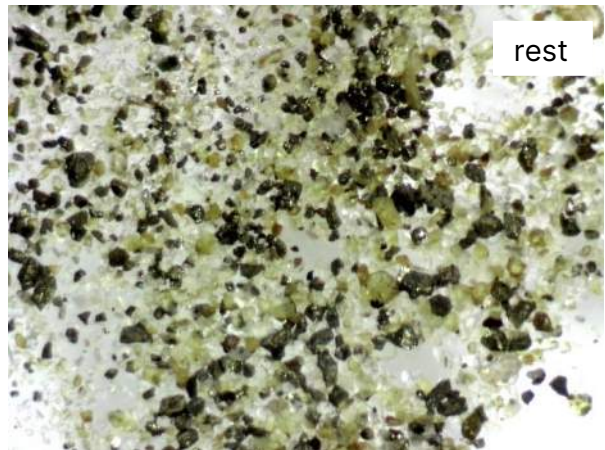
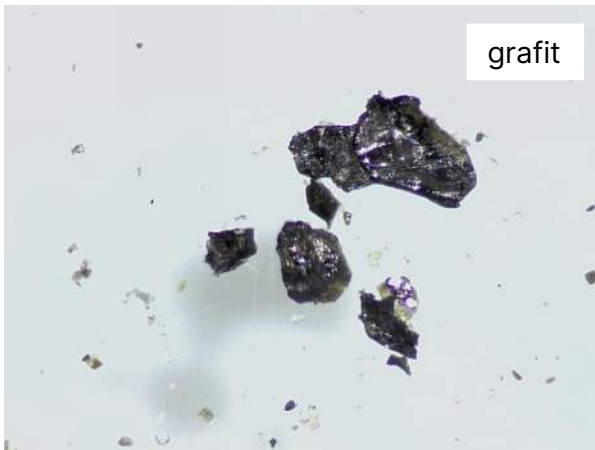
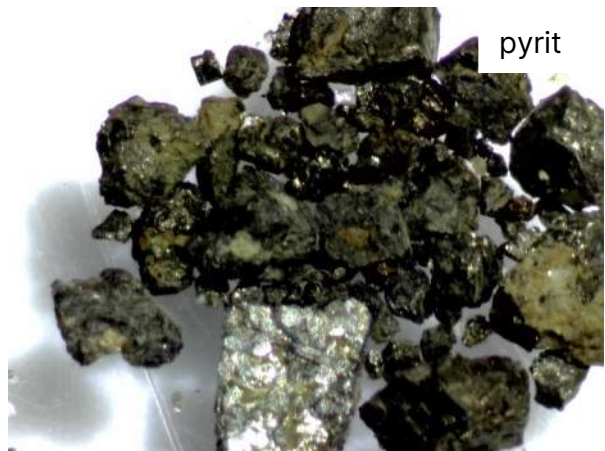
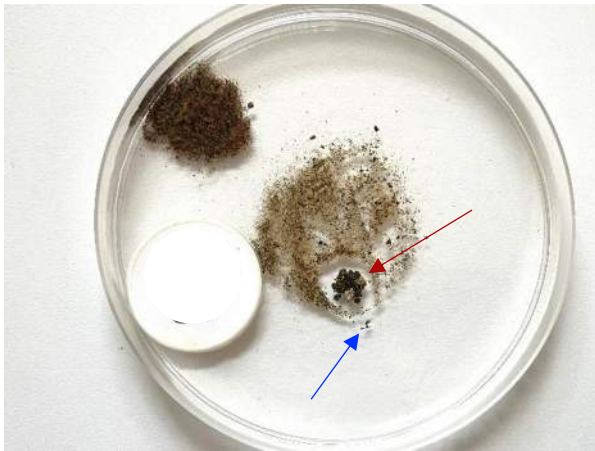
magnetisk



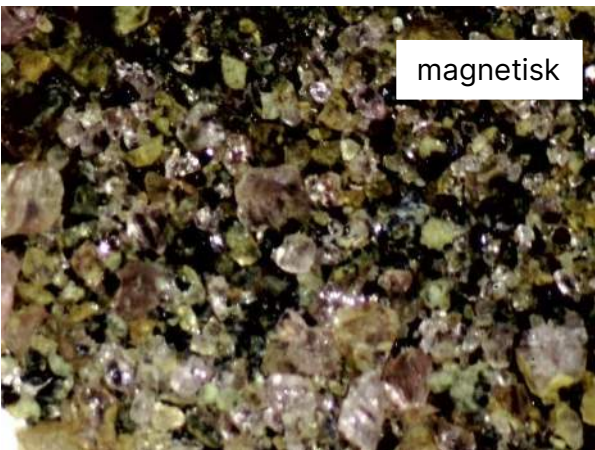
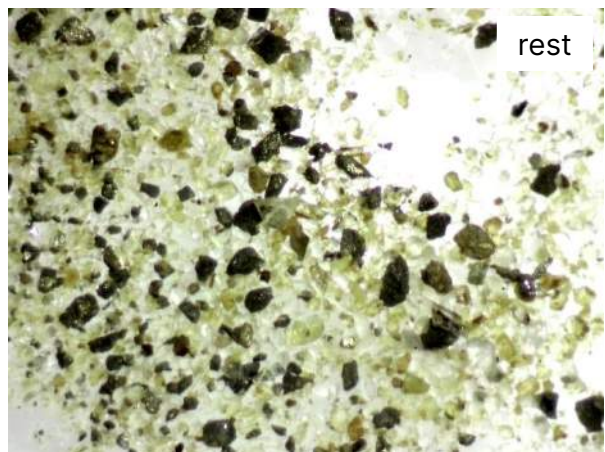
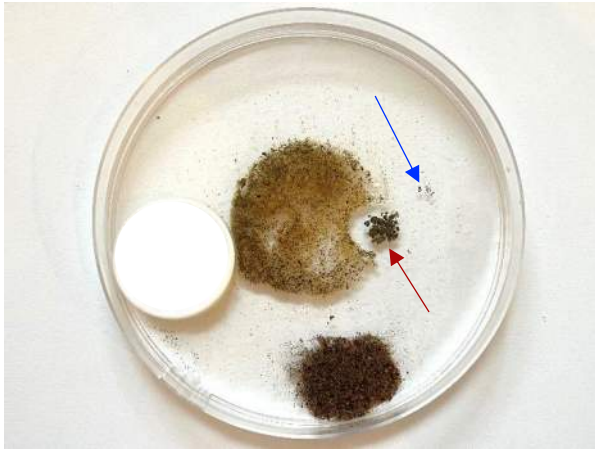
grafit



H1:2

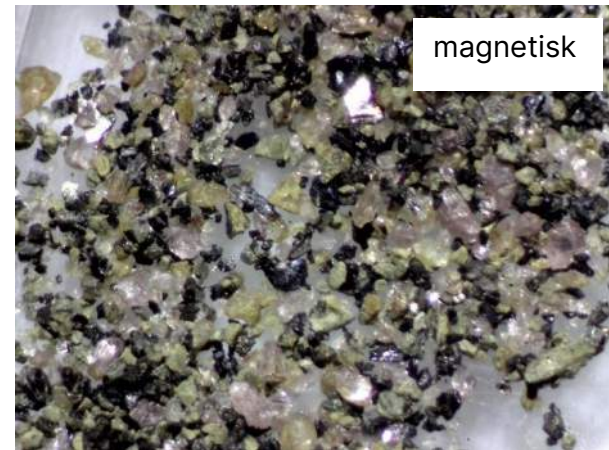
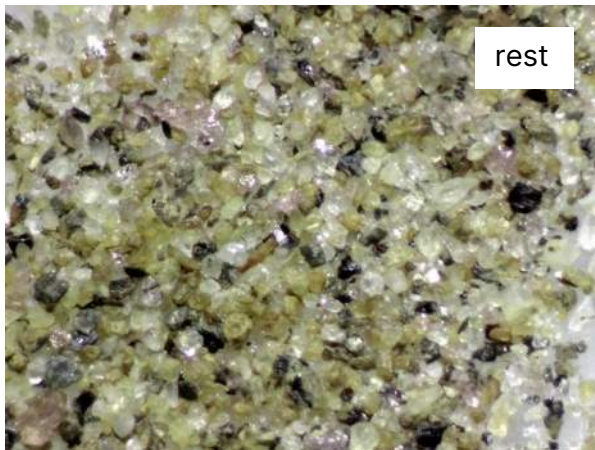
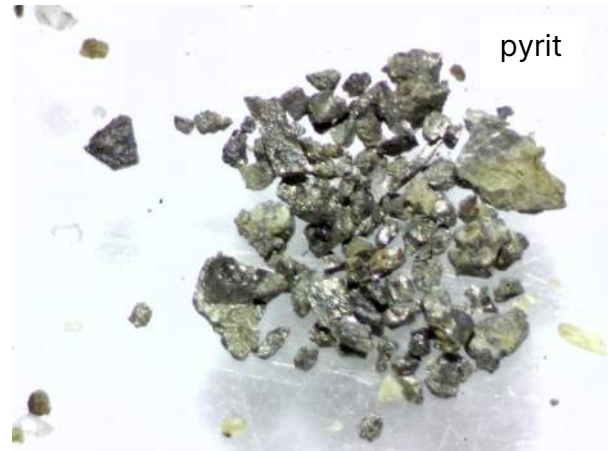


H1:3

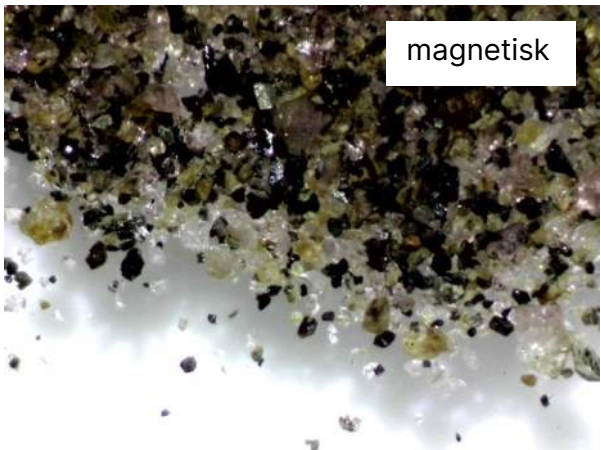
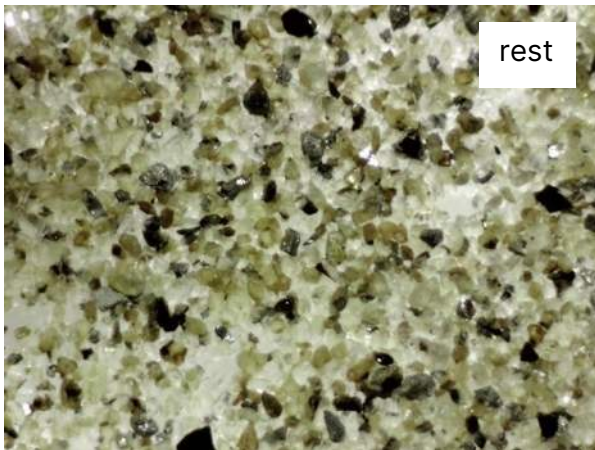




H2:1



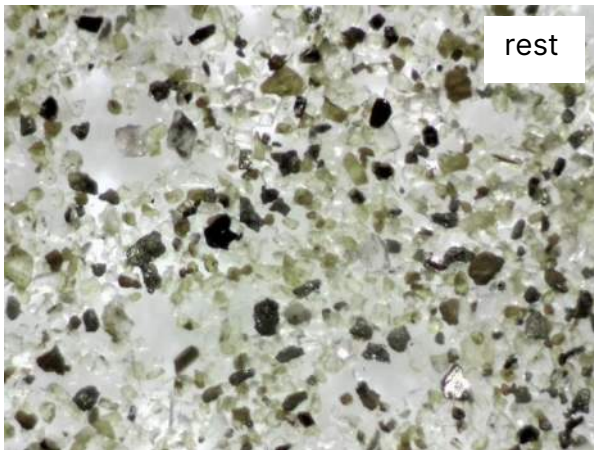
H2:2



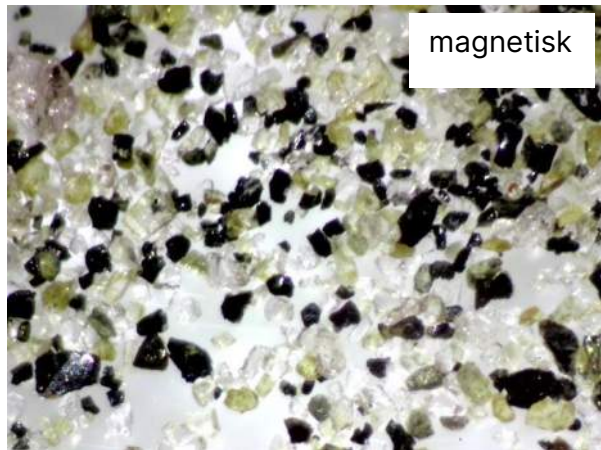
H2:3



pyrit



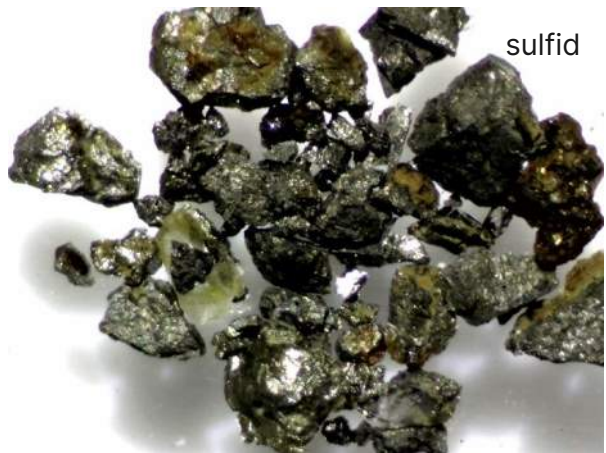
rest



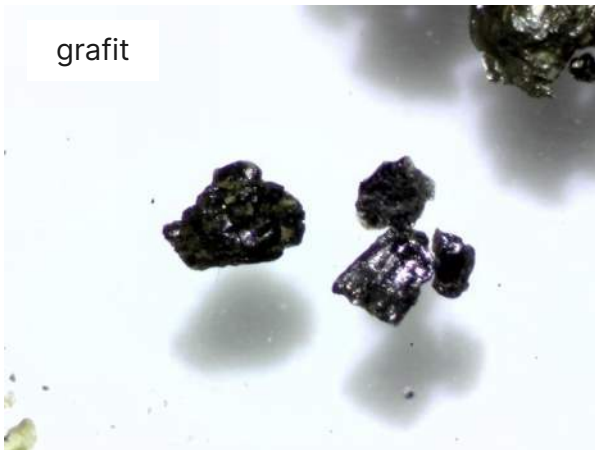
magnetisk



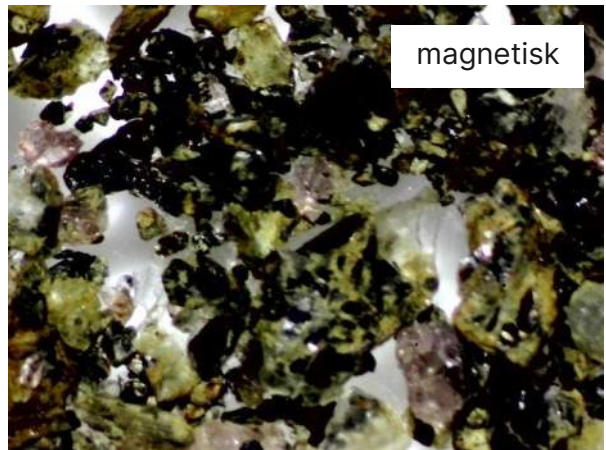
H3:1



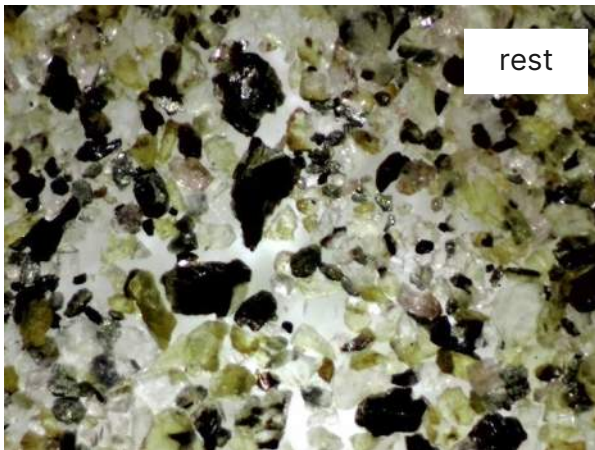
sulfid



grafit

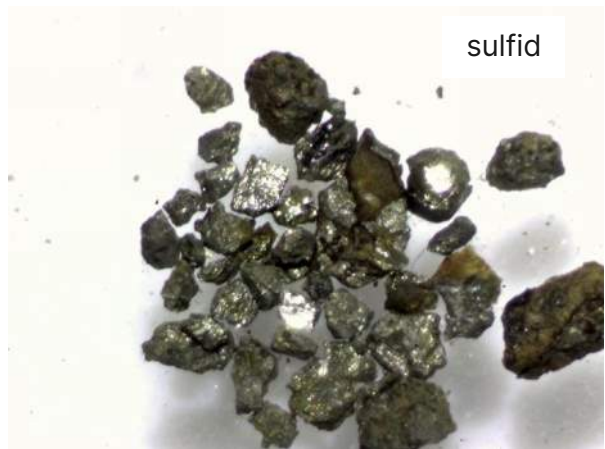


magnetisk

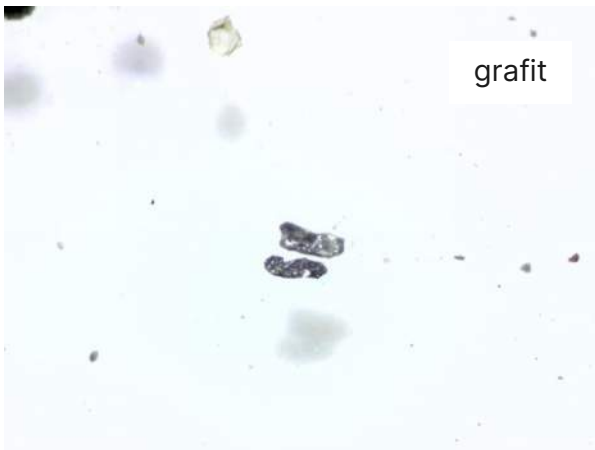


rest

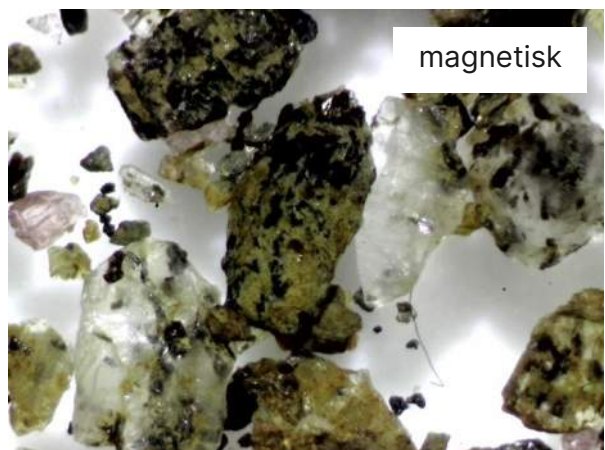
H3:2



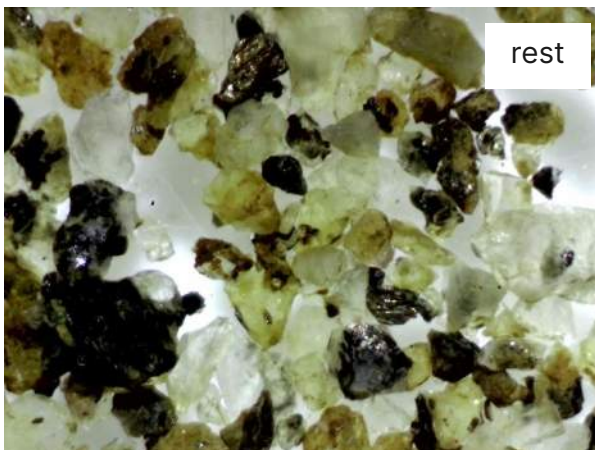
sulfid



grafit



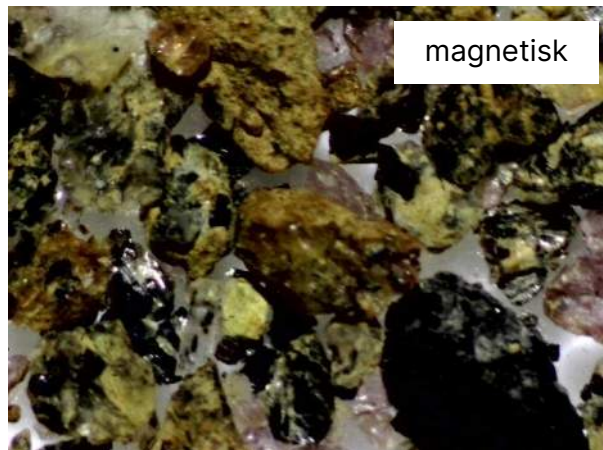
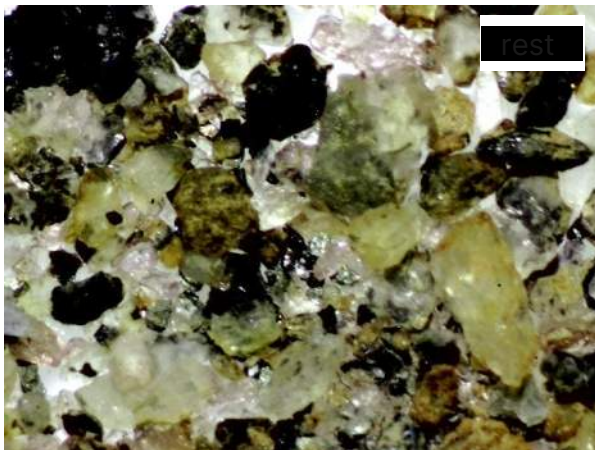
magnetisk



rest

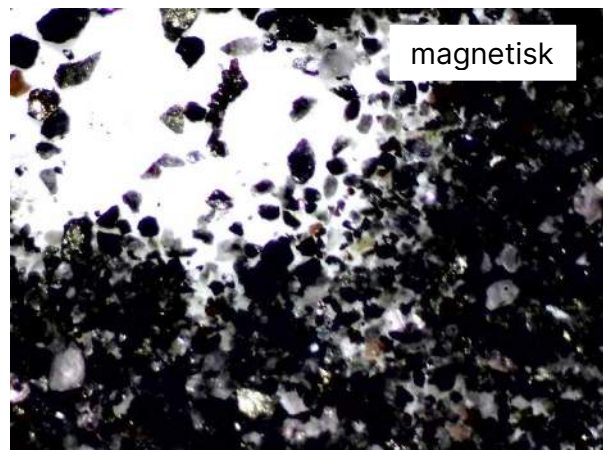
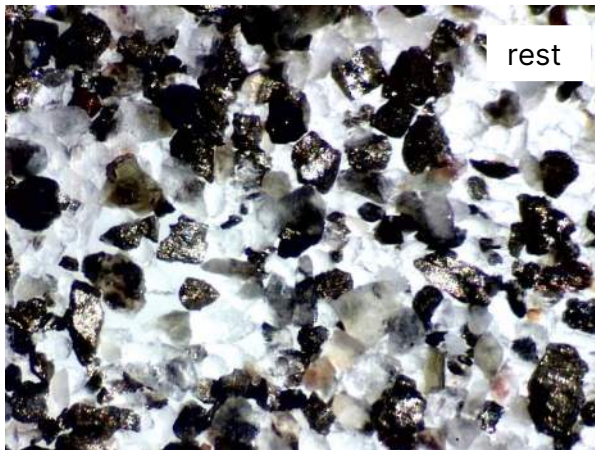
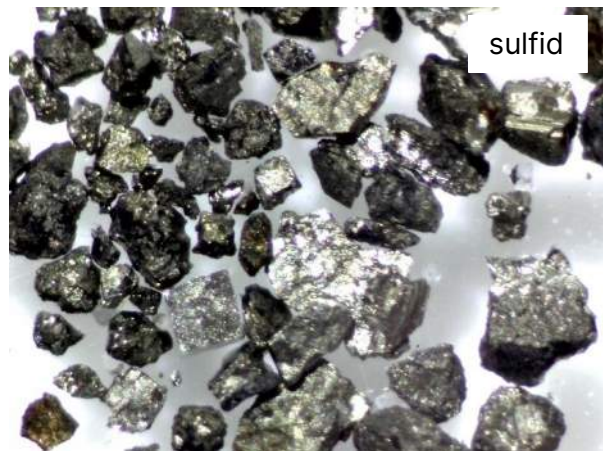


H3:3

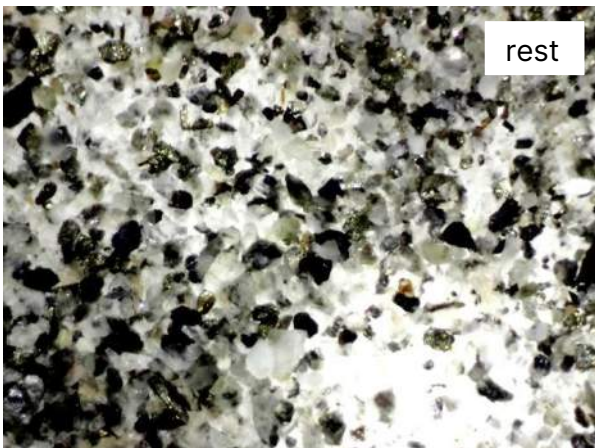
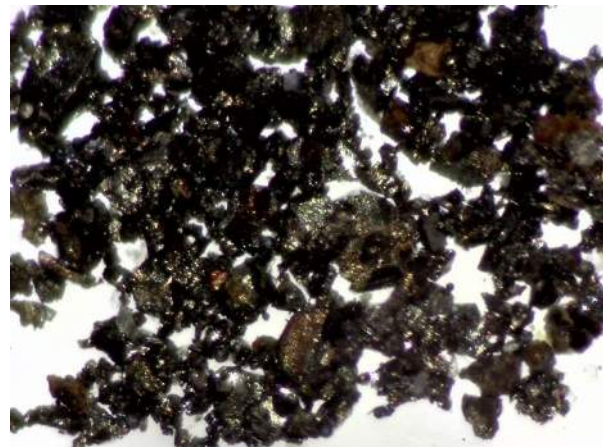
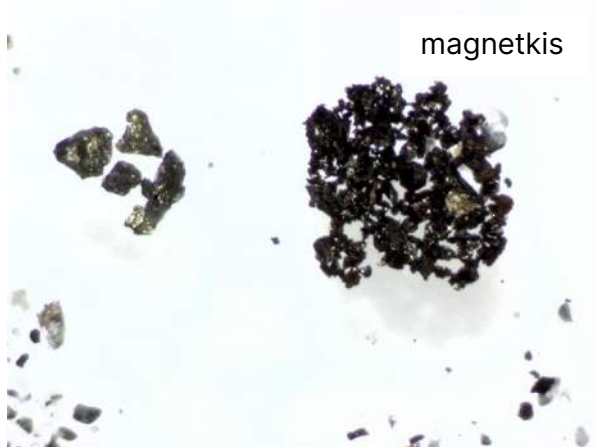
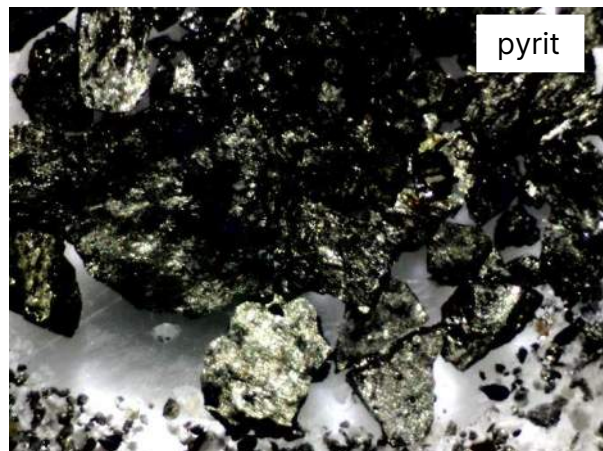
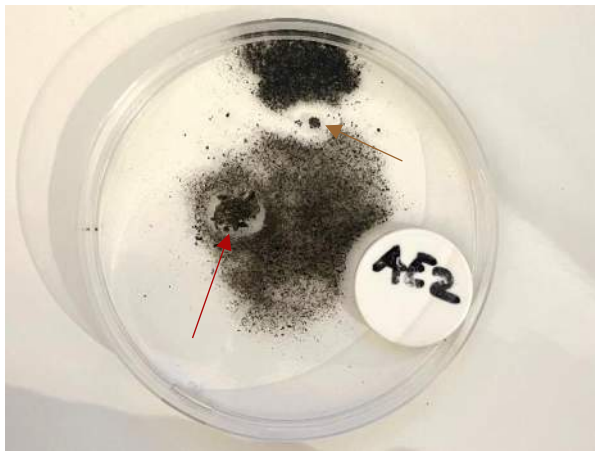




AE1

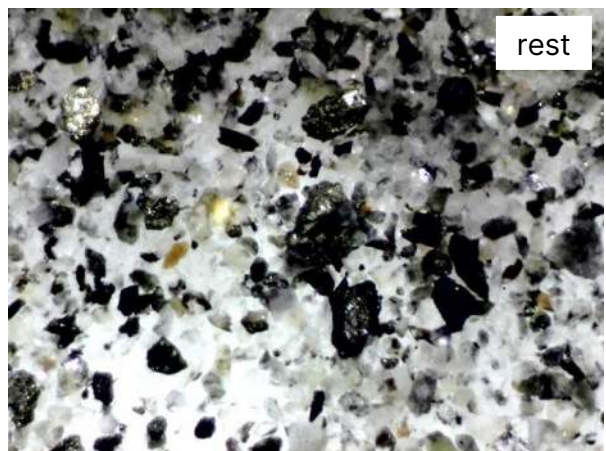
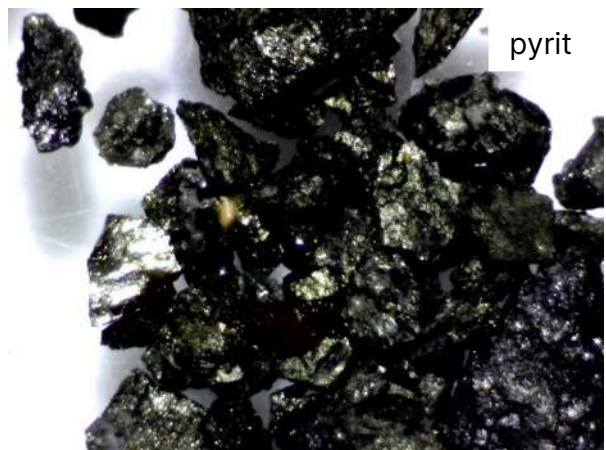


AE2



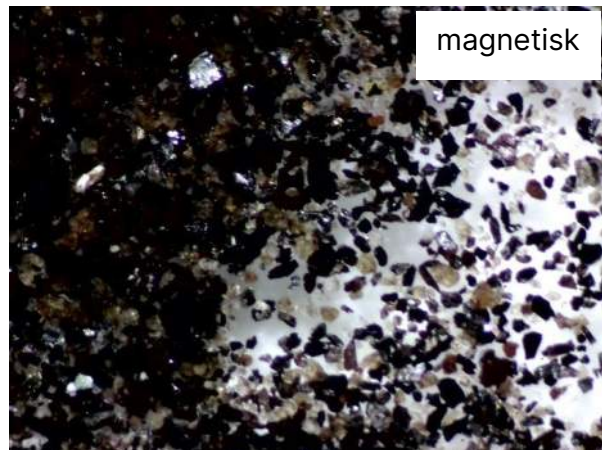
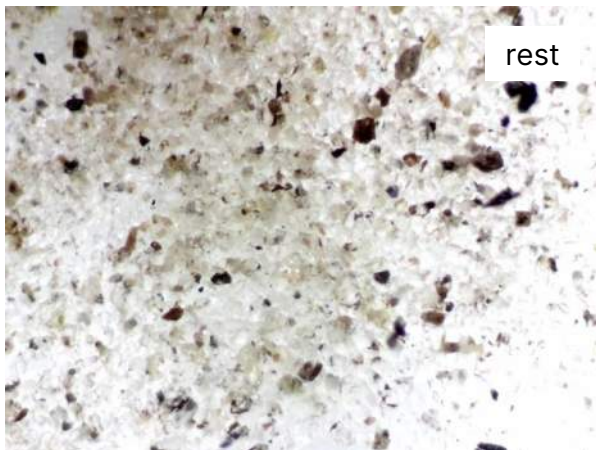
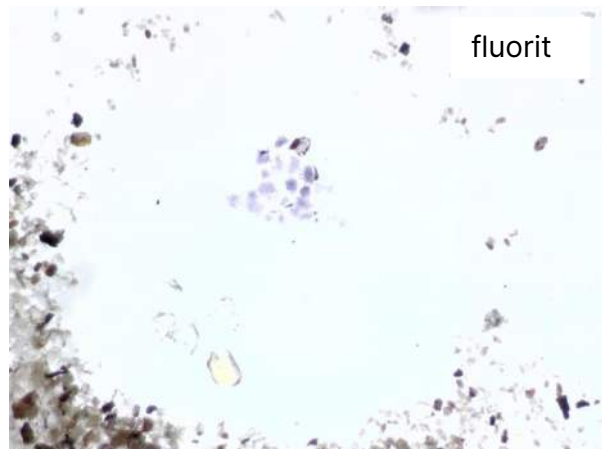
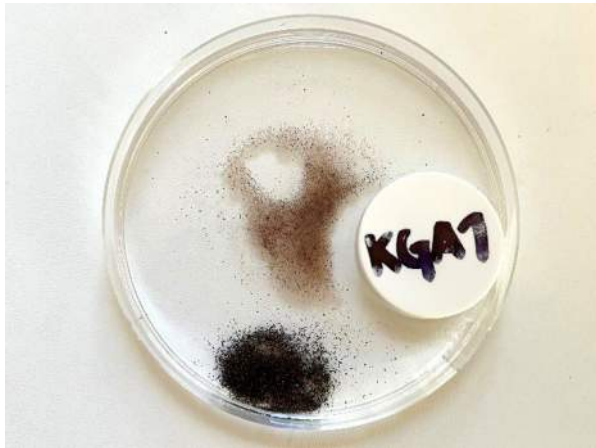


AE3

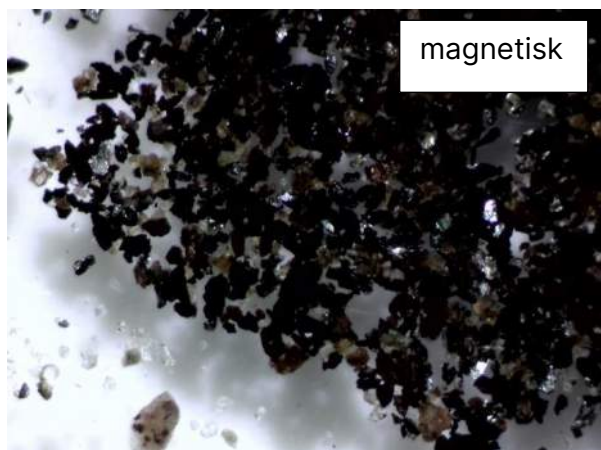
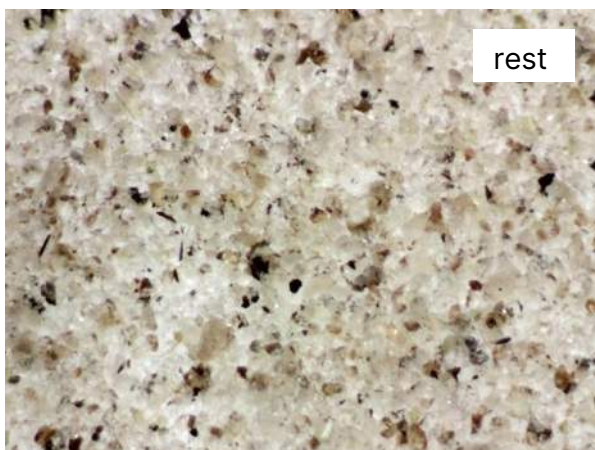
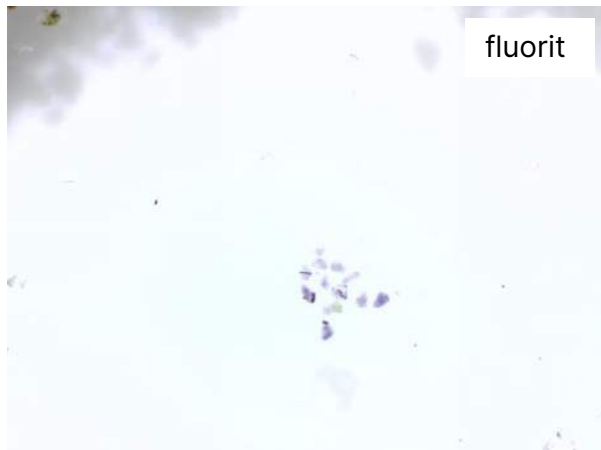
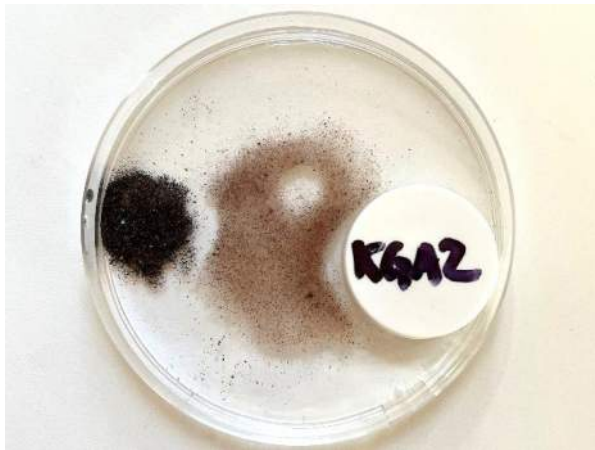




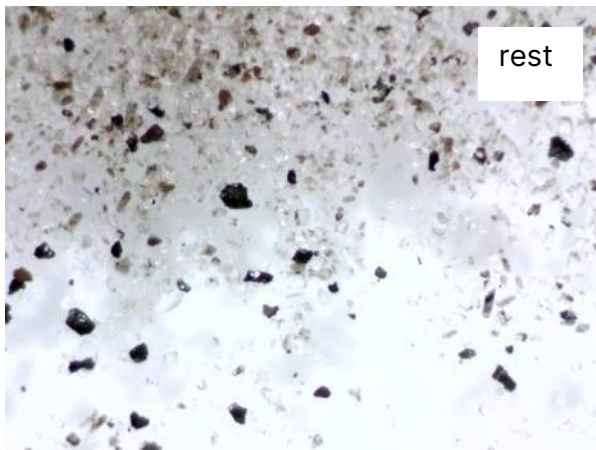
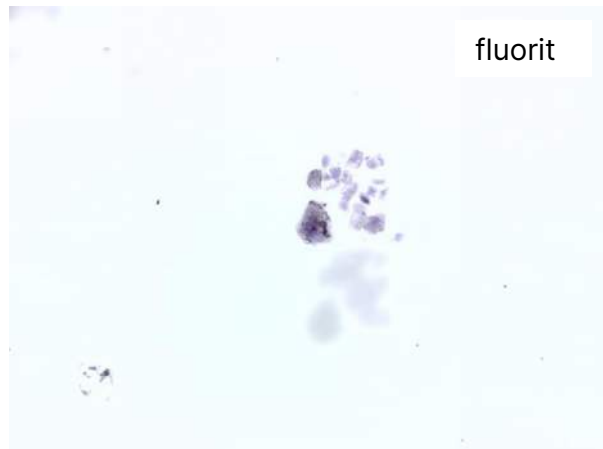
KGA1



KGA2

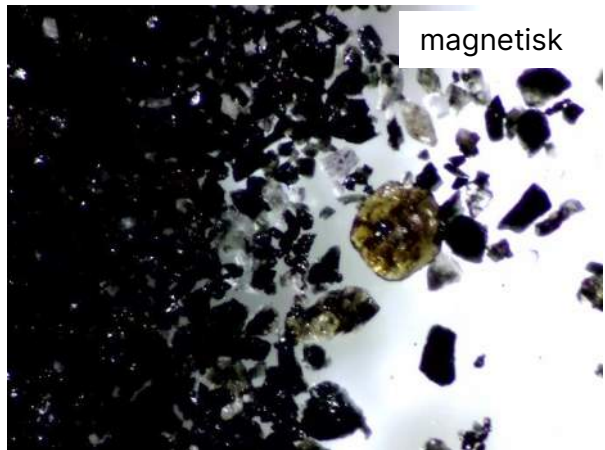
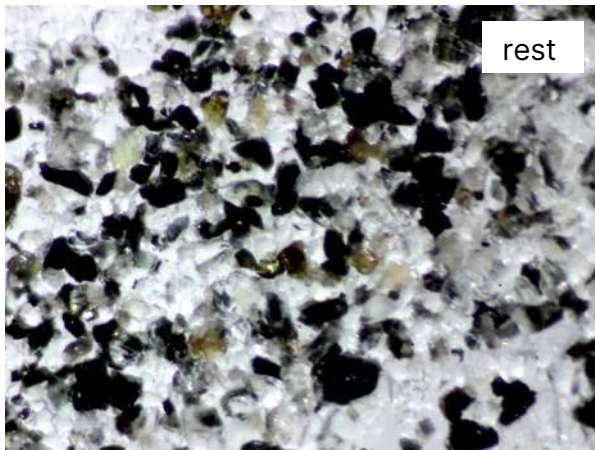
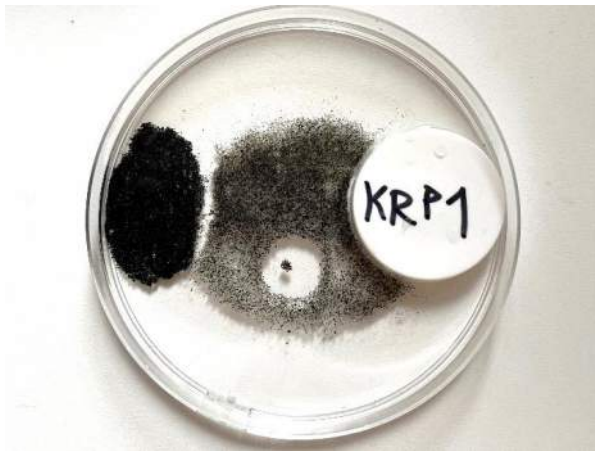


KGA3

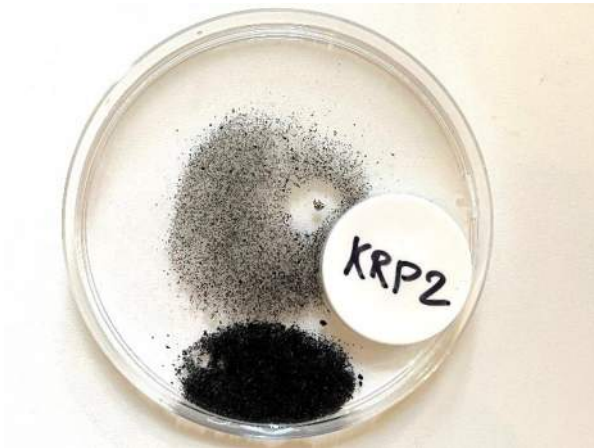




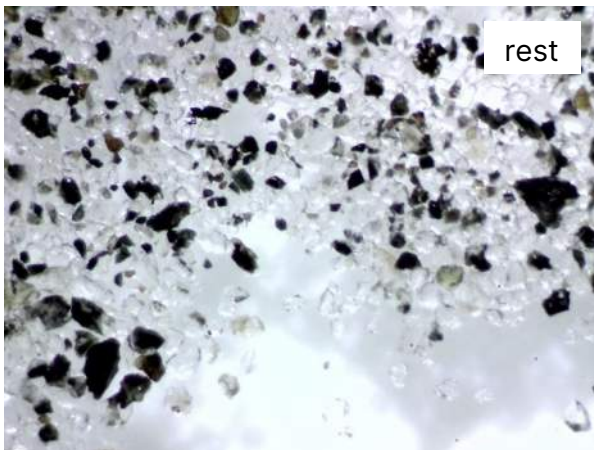
KRP1



KRP2



kopparkis



KRP3

