

GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Report nr.: 2018.030	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen
Tittel: Kortreist kvalitet - undersøkelse av bergartskvalitet til byggeråstoff-formål i Nordland fylke		
Forfatter: Jakob K. Keiding, Eyolf Erichsen og Eirik Pettersen	Oppdragsgiver: Nordland fylkeskommune	
Fylke: Nordland	Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:	Sidetall: 93 Kartbilag:	Pris: 410,-
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 10.01.2018	Prosjektnr.: 372500
		Ansvarlig: <i>Ulf A. Døry</i>
Sammendrag: <p>I samarbeid med Nordland fylkeskommune har Norges geologiske undersøkelse (NGU) gjennomført kartlegging av bergartskvalitet for anvendelse av knust stein (pukk) som byggeråstoff i Nordland fylke. Målet med dette prosjektet har vært å få en bedre oversikt over variasjonen i bergartskvaliteten i fylket og dessuten undersøke petrografiens innflytelse på mekaniske egenskaper.</p> <p>For første gang er sammenstilt prognosekart som viser variasjoner i de mekaniske egenskaper på fylkesnivå i Norge. Prognosekartene er fremstilt basert på bakgrunn av NGUs database av mekaniske egenskaper av ca. 220 prøver fordelt over hele fylket koblet til den underliggende geologi. Undersøkelsen viser stor variasjon i kvaliteten innenfor fylket, men generelt sett har kun få mindre områder i Nordland høy bergartskvalitet (ÅDT > 3000). Særlig den midtre del av fylket innehar kun moderat kvalitet, mens kvaliteten er bedre i de nordlige og sørlige delene av fylket. Dette gjenspeiler den geologiske variasjonen med kaledonske skyvedekker i det sentrale Nordland, mens mekanisk sterkere prekambrisk grunnfjell dominerer mot nordvest i Lofoten-Vesterålen og kaledonske intrusjoner sørlig i fylket.</p> <p>Petrografiens påvirkning på de mekaniske egenskapene er undersøkt med særlig fokus på effekten av mikrosprekker. Disse er ganske små riss som kun sees i mikroskop og det har hittil vært uklart om de har noen målbar negativ innvirkning på de mekaniske egenskapene til bergarter. Der er gjennomført omfattende karakterisering og kvantifisering av mikrosprekker i ca. 40 prøver fra Nordland og det er utviklet en metode for undersøkelse av mikrosprekker basert på fluorescensimpregnerte tynnslip. Analysen viser stor variasjon i sprekketetthet og hyppighet av forskjellige typer av mikrosprekker. Der er observert korrelasjon mellom sprekketetthet og flere styrkeparametere. Størst innflytelse har mikrosprekker på punktlaststyrken og dernest Los Angeles-verdien hvor der er rimelig god samvariasjon mellom sprekketetthet og mekanisk styrke. Derimot sees der ingen innvirkning på slitasjeegenskaper undersøkt med kulemøllemetoden. Undersøkelsen tyder på at mikrosprekker har en negativ påvirkning på de mekaniske egenskapene, men ofte vil andre forhold som for eksempel kornstørrelse, kornform, mineralogi og graden av omvandling antakeligvis ha en langt større betydning for bergartens mekaniske kvalitet.</p>		
Emneord:	Pukk	Mikrosprekker
Mekaniske egenskaper	Mekanisk styrke	Byggeråstoff
Nordland	Los Angeles-verdi	Mølleverdi

INNHOOLD

1.	INNLEDNING	7
2.	KVALITETSEGENSKAPER FOR PUKK	8
3.	METODIKK.....	9
3.1	Prøver.....	9
3.2	Fremstilling av kart.....	9
3.3	Analysemetoder for mekaniske tester og grunnlagsmateriale for kvalitets- vurderingen av berggrunnen.....	9
3.4	Fluorescensimpregnerte tynnslip for undersøkelse av mikrosprekker	13
3.5	Bildeanalyse og kvantifisering av mikrosprekker	14
4.	RESULTATER	16
4.1	Materialtekniske egenskaper for bergarter i Nordland	16
4.2	Nordland - variasjon i materialtekniske egenskaper.....	19
4.3	Kart og statistikk over materialtekniske egenskaper	20
4.3.1	Los Angeles.....	20
4.3.2	Mølleverdi	22
4.3.3	ÅDT kart	23
4.3.4	Prognosekart over pukkb-/bergartskvalitet for anvendelse som byggeråstoff.....	26
5.	UNDERSØKELSE AV MIKROSPREKKER.....	28
5.1	Mikrosprekker definisjon og tidligere studier	28
5.2	Dannelse av mikrosprekker	29
5.3	Mikrosprekketyper.....	29
5.4	Mikrosprekkeobservasjoner.....	32
5.5	Kvantitative resultater for mikrosprekkeundersøkelsen	36
5.6	Undersøkelse av variasjon av mikrosprekker med dypet	43
6.	KONKLUSJON	46
7.	REFERANSER	47

VEDLEGG

- 1: Prøveliste for mikrosprekke-undersøkelse
- 2: Bildemosaikker av mikrosprekker for undersøkte prøver
(Vedlegg 2, s. 51-87 finnes kun i den trykte utgaven – kan nedlastes fra www.ngu.no)
- 3: punktlasttest resultater og borelogg
- 4: Oversiktsbilder av borekjerner

1. INNLEDNING

Fortsatt god tilgang til byggeråstoff som knust stein (pukk) er avgjørende for fremtidig utvikling av infrastruktur og alle former for utbygging i Norge. Byggeråstoff skal innfri en rekke krav til materiale tekniske (mekaniske) egenskaper ved bruk til vei- og betongformål for at sikre høy kvalitet og lang levealder til konstruksjonene. Behovet er stort og hver nordmann bruker ca. 12 tonn byggeråstoffer om året (DMF, 2018). Byggeråstoff utgjør 60 % av omsetningen innen mineralnæringen i Norge (DMF, 2018) og utgjør også en viktig eksportartikkel.

Tidligere har en større andel av byggeråstoff i Norge kommet fra løsmasser av sand og grus fra kvartære avsetninger. Disse ressurser har imidlertid begrenset utbredelse og kan også være viktige grunnvannsmagasiner. Over lengre tid har det vært en klar trend med reduksjon i forbruket av grus, til fordel for pukk som per i dag utgjør 84 % av den samlede produksjonen av byggeråstoff (DMF, 2018). Strengere krav til kvalitet har også medført til mer bruk av pukk framfor grus. Det må forventes at pukk også i fremtiden blir den klart dominerende byggeråstoffressursen.

Grunnlaget for utbygging av infrastruktur er på mange måter avhengig av Norges berggrunn. Produksjonen av pukk bør være effektiv og bærekraftig blant annet ved å bruke «kortreist stein» så utgiftene til transport og CO₂ avtrykk blir minst mulig. Ressursoptimalisering er samtidig helt avhengig av de materiale tekniske egenskapene til byggeråstoffene for at sikre høy kvalitet og lang levealder av nye veier, bygninger og konstruksjoner.

Undersøkelser viser at det er utfordrende å finne bergarter av tilstrekkelig høy kvalitet til pukk til disse formålene i deler av Norge. Det er derfor viktig å øke kunnskapen til kvaliteten av pukk og kartlegge ressursene. Denne informasjonen er nødvendig for å sikre fremtidig ressursbehov ved arealplanlegging.

En forutsetning for denne kartleggingen er omfattende mekaniske undersøkelser av bergartenes materiale tekniske egenskaper. Dette er dyrt og omstendelig da hver prøve krever 60 kg prøvemateriale og omfattende analyser. Det er derfor ønskelig å finne enklere metoder for å vurdere kvaliteten av pukk blant annet basert på optisk mikroskoping av bergartsprøver. Målet er å gi komplementære verktøy i vurderingen av bergartskvalitet. En lang rekke forhold påvirker bergarters materiale tekniske egenskaper og det er dessverre ikke enkelt å fastslå hvilke forhold som er avgjørende for kvaliteten. Mikrosprekker er meget små sprekker i bergarter som kun kan observeres med mikroskop. En rekke studier har dokumentert at opptreden av mikrosprekker har negativ innvirkning på materiale tekniske egenskaper, men det er stadig uklart hvor stor betydning mikrosprekker har for byggeråstoffkvaliteten.

Studiet i denne rapporten undersøker pukk i Nordland og er delfinansiert av Nordland fylke. Rapporten består av to deler 1) kartlegging av den mekaniske kvaliteten til bergarter i Nordland og generell undersøkelse av ulike bergarters innvirkning på materiale tekniske egenskaper. 2) Spesifikk undersøkelse av mikrosprekkers opptreden i bergarter fra Nordland og hvilken betydning det har for den mekaniske kvaliteten.

2. KVALITETSEGENSKAPER FOR PUKK

Byggeråstoffer som grus, sand og pukk undersøkes kvalitetsmessig med standardiserte tekniske testmetoder som er ment å gi uttrykk for motstandskraft mot nedknusing og slitasje. Særlig til vegformål, som utgjør over 50 % av innlandsforbruket av byggeråstoff (DMF, 2018), stilles det strenge krav til materialtekniske egenskaper. Disse forholdene er beskrevet ytterligere i metodeavsnittet 3.3 og danner bakgrunnen for kvalitetsvurderingen i denne rapporten.

En rekke andre forhold har også betydning for bergartskvaliteten til anvendelse som byggeråstoff. Disse egenskapene kan ha varierende betydning for egnethet og kvalitet avhengig av det spesifikke formålet. Noen av disse forholdene er kort beskrevet herunder, men er ikke ellers vurdert i dette studiet.

Det stilles krav til kornformen til materialer uttrykt ved flisighetsindeks (FI). Ettersom flisig kornform gjerne gir dårligere mekanisk kvalitet, er det ønskelig at det knuste materialet er mest mulig kubisk, det vil si har lavt flisighetsindeks. Kornformen er vel så mye avhengig av prosesseringen ved knusing/sikting i verk framfor bergartens iboende egenskap der en skulle anta at skifrige eller kraftige retningsorienterte bergarter vil gi flisig materiale.

Til betongformål stilles ingen spesielle krav til mekanisk styrke, med unntak for høyfastbetong, hvor tilslaget ofte er bestemmende for betongens totalstyrke. For vanlig betong bør tilslaget inneholde minst mulig glimmer og det er heller ikke ønskelig med magnetkis. Videre er kornformen av betydning for støpeligheten. Andre viktige parametere som blir vurdert er risikoen for kjemiske reaksjoner (såkalt alkali-kisel reaksjoner).

Farlige stoffer som tungmetaller og radioaktivt radium skal være lav i byggeråstoffer. Uran er kilden til radongass. Det radioaktive stoffet spaltes ned til radium og videre til radon som er en radioaktiv gass, som siver inn i boliger fra undergrunnen og som kan forårsake lungekreft (Watson et al., 2013). Radon dannes kontinuerlig fra uran (U) som forekommer i små mengder naturlig i alle bergarter, men i varierende mengde. Statens strålevern (2015) anbefaler for byggeråstoffer til anvendelse under og rundt bygninger for varig opphold at konsentrasjon av radium (^{226}Ra) i massene bør være så lav som mulig, og lavere enn 150 Bq/kg (becquerel per kilogram). For pukk tilsvarer dette 12 ppm uran (parts per million dvs. mg/kg). Det finnes ingen nedre terskelverdi for når radon gjør skade og derfor bør byggeråstoffer til bygninger og omkring dem ha så lave radonkonsentrasjoner som mulig, men NGU anbefaler at masseuttak til bygningsformål ikke bør ha konsentrasjoner over 5 ppm U (Watson et al., 2013). Uttak kan finne sted fra berggrunn med høyere uraninnhold, men bør her observeres grundig og følge NGUs anbefalinger (se Watson et al. (2015) og NGU (2016) for ytterligere beskrivelse).

Bergarters egenvekt, uttrykt ved densitet er en viktig parameter å vurdere for anvendelse til pukk. Der stilles ingen krav til egenvekten, men generelt ønskes lav densitet, da det gjør transporten billigere og begrenser klimapåvirkningen av pukk. Til enkelte formål, som en stor blokkstein til diker eller tung ballaststein som tildekkingsmateriale til oljerørledninger på sjøbunnen etc., kan det stilles krav til minimum egenvekt, men det er unntaket. Markedsdelen for spesialprodukter med høy egenvekt er forholdsvis liten.

3. METODIKK

3.1 Prøver

Prøvene som er anvendt i denne rapporten kommer hovedsakelig fra NGUs database fra Nordland fylke. Totalt inneholder databasen 230 prøver som dekker hele fylket, men kun 198 av prøvene samsvarer med bergarten som er registrert og navngitt på det geologiske kartet. Prøvelokalitetene fremgår av Figur 1. I tillegg til kartframstilling er det laget illustrasjoner som viser variasjon i egenskaper for bergartsprøver der en har fått utført minst 3 analyser av samme bergart. Grunnlaget for illustrasjonene er 221 prøver.

Prøvene som er anvendt til mikrosprekkestudiet er også fra NGUs database. Prøvene er valgt med fokus på relativt udeformerte intrusive bergarter av henholdsvis basiske bergarter (primært gabbroer) og sure bergarter (granittiske bergarter). Et mindre antall prøver av intermediær sammensetning (primært monzonitter) inngår også i studiet. I tillegg til prøvene tatt fra NGUs pukkdatabaser er det undersøkt prøver fra 3 borekjerner. Disse prøvene inngår i studiet for å undersøke hvordan mikrosprekkene varierer med dypet. En oversikt over prøvene for mikrosprekkeundersøkelsene er sammenstilt i tabellform i Vedlegg 1 og den geografiske plasseringen av prøvene fremgår av Figur 1.

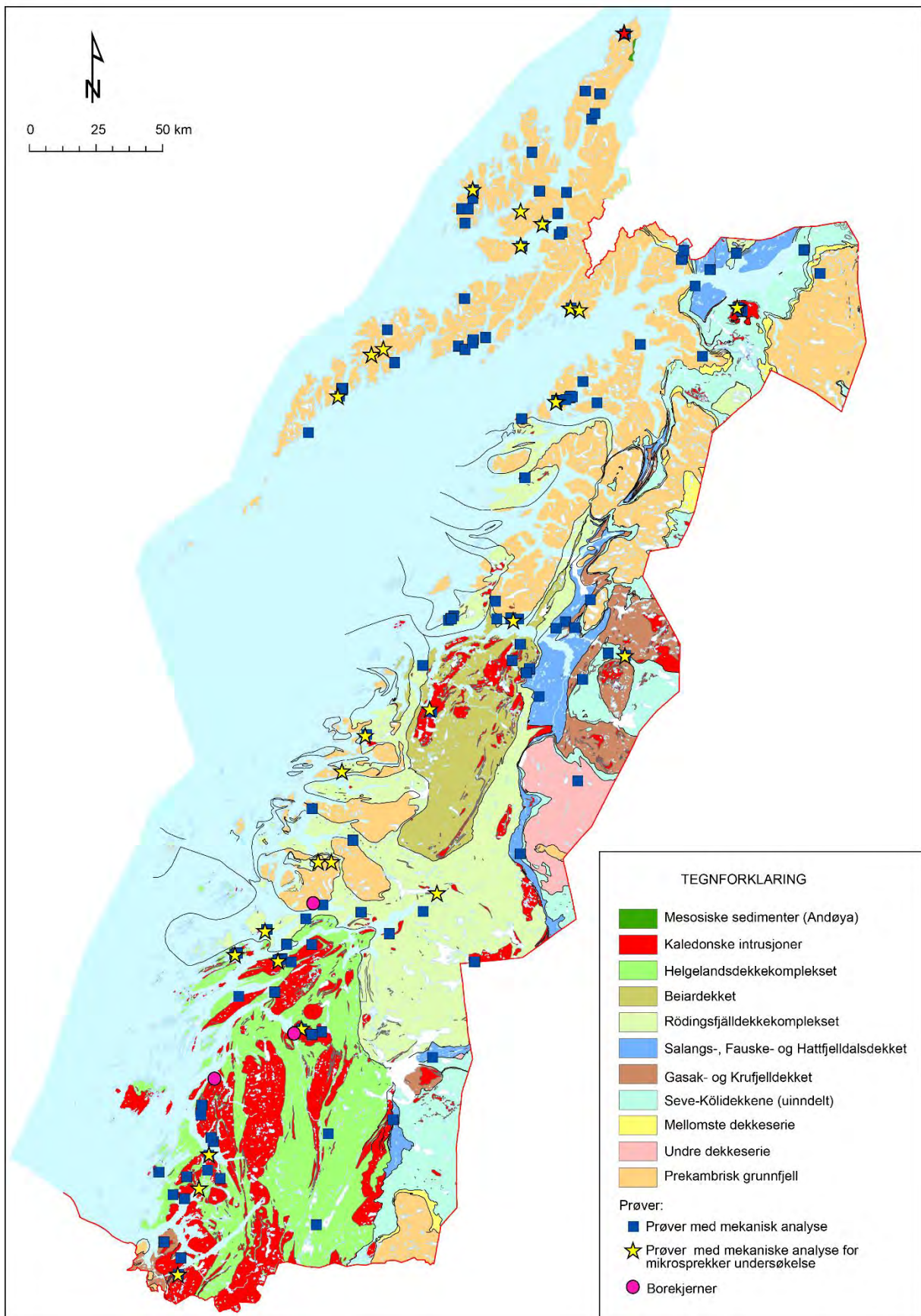
3.2 Fremstilling av kart

Kartene som viser variasjonen i bergartskvalitet for ulike mekaniske egenskaper er fremstilt ved å koble analyserte prøver med berggrunnskart. For noen områder (avgrenset polygon på det geologiske kartet) finnes kun en prøve, men for de fleste områdene, er kartene basert på gjennomsnitt av flere analyserte prøver. Alle areal og arealavgrensinger i kartene er basert på NGUs harmoniserte geologiske berggrunnskart i målestokk 1:250 000 noe som tilsier en framstilling som er sterkt forenklet. Kartene viser derfor kun generelle hovedtrekk med hensyn til variasjon i de materialtekniske egenskapene. På et detaljert nivå kan en derfor ikke gå god for at de kartene viser det sanne bilde.

Enkelte store arealer er ikke prøvetatt og framkommer som hvite felt på kartene. Dette er hovedsakelig områder med glimmerrike bergarter som ikke er blitt prøvetatt for materialteknisk egenskaper ettersom de ikke ansees som egnet som byggeråstoff. Andre områder framkommer som hvite fordi bergarten til de mekaniske prøvene ikke stemmer med hoved bergarten for området.

3.3 Analysemetoder for mekaniske tester og grunnlagsmateriale for kvalitetsvurderingen av berggrunnen

Gode materialtekniske knuse- og slitasjeegenskaper til bergartsmateriale er grunnlaget for å oppnå tilfredsstillende funksjonsegenskaper til ulike bruksområder som veg- og betongformål. Spesielt gjelder dette for materiale til bruk i vegdekke. Testmetoder for bestemmelse av de materialtekniske egenskapene er standardisert innenfor EU/EØS området. Knuseegenskapene bestemmes ved Los Angelesmetoden, mens for slitasjen benyttes to metoder henholdsvis kulemetoden for piggedekkslitasje og micro-Deval for slitasje for tilslagsmateriale for bruk i vegfundamentet (bære- og forsterkningslag). Gjeldende norske krav for ulike trafikk-klasser fremgår av Statens vegvesen (2018), men er også vist på Figur 8 og 9. De mekaniske



Figur 1. Forenklet geologisk kart over Nordland som viser ulike dekkeserier og geografisk plassering av alle prøver som er benyttet i dette studiet. Det geologiske kartet er modifisert etter Solli (1999).

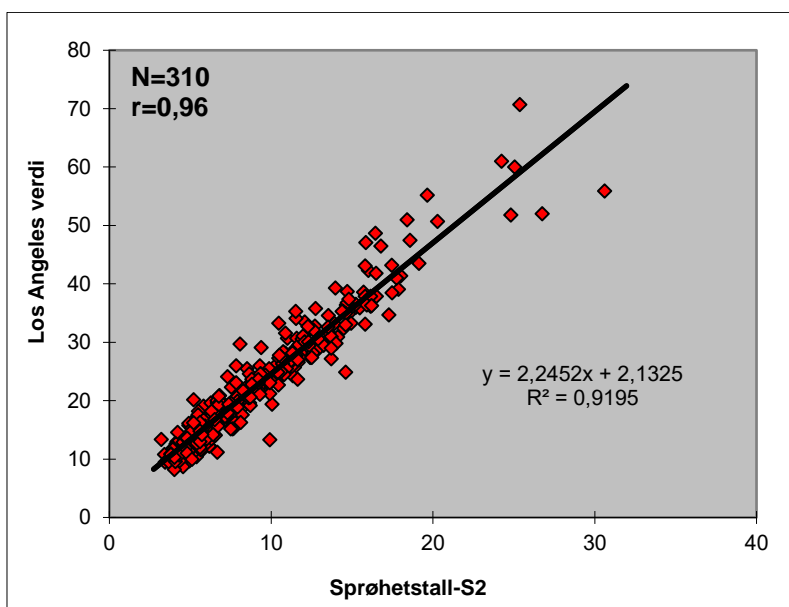
testmetodene for Los Angeles, micro-Deval og kulemølle metodene utføres alle som trommeltester med ulik utforming og gjennomføring. Analyseverdiene for de tre testene gir uttrykk for mengde produsert finstoff etter tromling. Detaljert beskrivelse av testmetodene er gitt av Erichsen (2012).

Fram til 2005 ble det benyttet andre testmetoder for bedømmelse av funksjonsegenskaper til tilslagsmaterialer for bruk som byggeråstoff. I Nordland er en god del analyser kun analysert etter de gamle metodene. Tabell 1 gir en oversikt over antallet prøver som er undersøkt med de ulike metodene. Ved fallprøven bestemmes bla materialets sprøhet som viser meget god samvariasjon med Los Angeles-verdien (Figur 2 og 3). Det er beregnet en «fiktiv» Los Angeles-verdi basert på formelen i regresjonslinjen for korrelasjonen mellom Los Angeles og sprøhetstall.

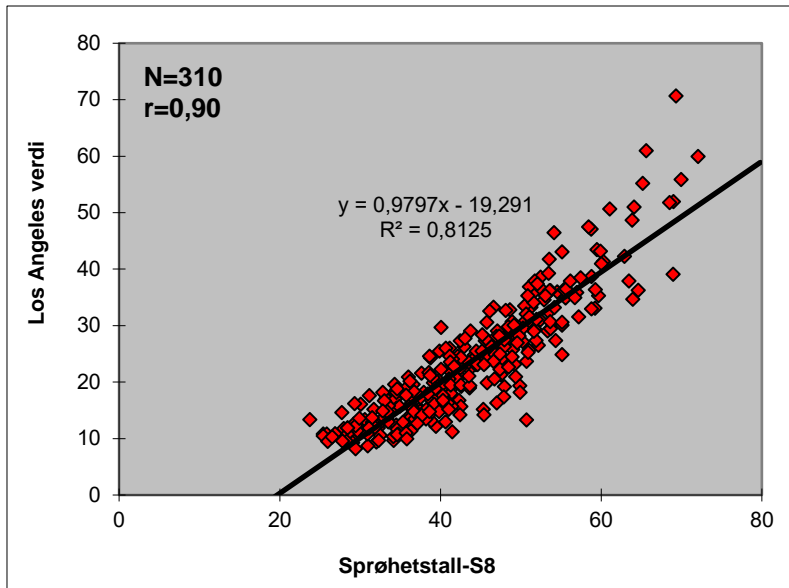
Tabell 1 Antall analyser fra Nordland.

Metode	Egenskap som undersøkes	Antall
Los Angeles	Motstand mot nedknusing	118
Fallprøve* (Sprøhetstall, < 2mm)	Motstand mot nedknusing	96
Fallprøve* (Sprøhetstall, < 8mm)	Motstand mot nedknusing	11
Kulemølle	Slitasjemotstand for piggdekk bruk	143
Micro-Deval	Slitasjemotstand for bære- og forsterkningslag	56

*Gammel metode

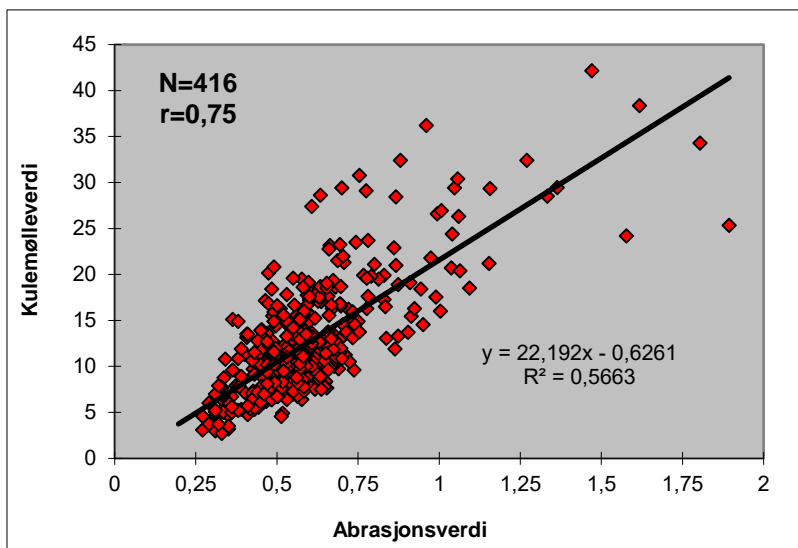


Figur 2 Samvariasjon for 310 antall analyser mellom prøver analysert med Los Angeles-verdi og sprøhetstall (S2, < 2mm).



Figur 3 Samvariasjon for 310 antall analyser mellom prøver analysert med Los Angeles-verdi og sprøhetstall (S8, < 8mm).

Den tidligere benyttede metoden for bedømmelse av slitasjeegenskaper, abrasjonsmetoden, viser ikke tilsvarende god samvariasjon med kulemøllemetoden (Figur 4). Her er det derfor ikke beregnet en tilsvarende «fiktiv» verdi.



Figur 4 Samvariasjon for 416 antall analyser mellom prøver analysert med mølleverdi og abrasjonsverdi.

De tre kjerneboringene er undersøkt for mekaniske styrke med punktlastmetoden som er beskrevet av Brosch (1971) med anvendelse av GCTS mobil punktlastpresse. Punktlasttesten bli utført med typisk 5-10 cm avstand ned gjennom kjernene. Testing ble utført vinkelrett på kjerneprøvene. For å unngå endeeffekter ble det kun test på kjernebiter over en viss lengde etter standardmetode (lengde > 2 x 0,7 x 35 mm = 49 mm). I denne undersøkelsen er det kun av interesse å undersøke den relative forskjellen mellom prøvene. Punktlaststyrkeindekset er derfor ikke korrigert for formfaktor.

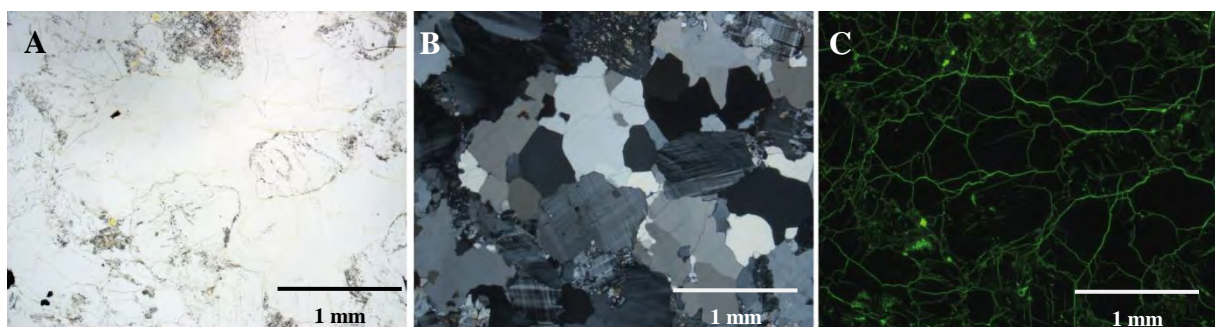
3.4 Fluorescensimpregnerte tynnslip for undersøkelse av mikrosprekker

Der finnes per i dag ingen standardmetode til undersøkelse av mikrosprekker og en rekke forskjellige metoder er blitt benyttet til dokumentasjon av fenomenet (se beskrivelse av Krantz, 1983; Anders et al., 2014). Den enkelteste metoden er bruk av vanlig tynnslip og petrografisk mikroskop. Slike undersøkelser er nyttige for å gi en første indikasjon på om det finnes markante og hyppige mikrosprekker i en prøve, men er ofte uhensiktsmessig og problematisk da mange sprekker ikke vil bli observert med denne metoden.

En annen måte å undersøke mikrosprekker bruker fluorescensmikroskopi og det er metoden som benyttes i dette studiet. Metoden er utviklet og særlig ofte benyttet innenfor biologisk og medisinsk forskning ved undersøkelser, hvor cellulære bestanddeler og funksjoner studeres kvalitativt og kvantitativt ved å binde fluorescerende fargestoff til undersøkelsespreparatet. Metoden benyttes ofte til å undersøke kvaliteten av betong (Broekmans, 2012; Sanchez et al., 2015), men er også har vunnet innpass til å studere byggeråstoffer som pukk eller naturstein (e.g. Nishiyama, & Kusuda, 1996; Åkesson et al., 2004; Liu et al., 2005; Sousa et al., 2005; Chen et al., 2011; Nålsund, 2014).

Fluorescensmikroskopi er en spesiell form for optisk mikroskopi som utnytter at en rekke fargestoffer (såkalte fluorokromer) utstråler absorbert lysenergi med en lengre bølgelengde. Denne effekten betegnes som fluorescens. I praksis benyttes en lyskilde av ultrafiolett lys som med en bølgelengde på 100-400 nanometer (nm) ikke er synlig for det menneskelige øye. Dette lyset treffer preparatet og fluorokromer utsender lys innenfor det synlige spektret typisk med en bølgelengde som gir grønn farge. Denne bølgelengden er bevisst valgt da øyet er særlig reseptiv for den grønne fargen. Ved fluorescensmikroskopi fremtreder objektet som selvlysende. Det er derfor mulig at å synliggjøre strukturer, hvis størrelse er langt under mikroskopets oppløsningsevne.

Til denne typen tynnslip anvendes en spesiell epoksyharpiks som inneholder fargestoff (fluorokrom) som gjør at mikrosprekkene trer tydelig frem under UV-lys og enkelt kan dokumenteres i mikroskop (Figur 5). Vakuumimpregnering gjør at alle riss, sprekker og porer/hulrom impregneres ned til 0,2 μm som er vesentlig mindre enn den maksimale oppløsning for optisk mikroskopering. Prøvene er preparert ved laboratoriet Pelcon Materials & Testing i Danmark som er blant de ledende selskaper til fremstilling av denne type slipene.

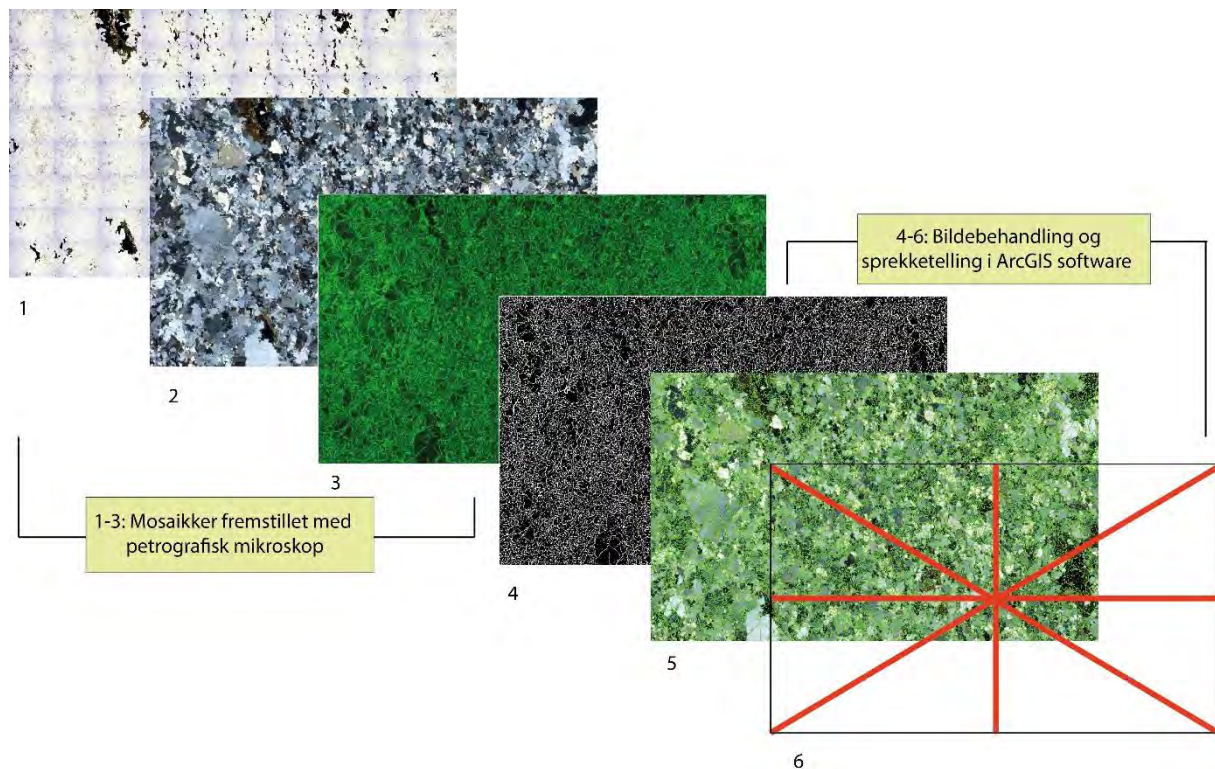


Figur 5. Eksempel på tynnslip av granitt impregnert med fluorescens. A) Vanlig tynnslipsbilde med gjennomfallende planpolarisert lys (PPL) B) krysspolarisert lys (XPL). C) tynnslip med fluorescens (FL). Bemerk hvor tydelig sprekker trer frem i bilde lengst til høyre sammenlignet med de andre bildene (samme utsnitt). Prøve 1836-502.

En ulempe med fluorescensmetoden er at kun sprekker som er åpne og forbundet vil kunne detekteres. Lukkede sprekker eller sprekker med sprekkefyll vil ikke bli injisert med epoksy og observeres derfor ikke med metoden. Ofte kan sådanne sprekker sees under vanlig petrografisk mikroskopering. Detaljerte undersøkelser av lukkede sprekker er ofte utført med hjelp av skanning elektron mikroskopi (SEM) (e.g. Hadley, 1976; Lee et al., 1998) og kan også kvantifiseres med QEMSCAN (Sajid et al., 2016) og SEM basert katode luminescens (CL) (Pagel et al., 2000). I dette studiet er kun åpne sprekker som kan sees med fluorescensmikroskopi undersøkt, registret og kvantifisert. Det vurderes at disse åpne sprekkenes har størst betydning for de mekaniske egenskapene og av tidshensyn er andre sprekker ikke undersøkt.

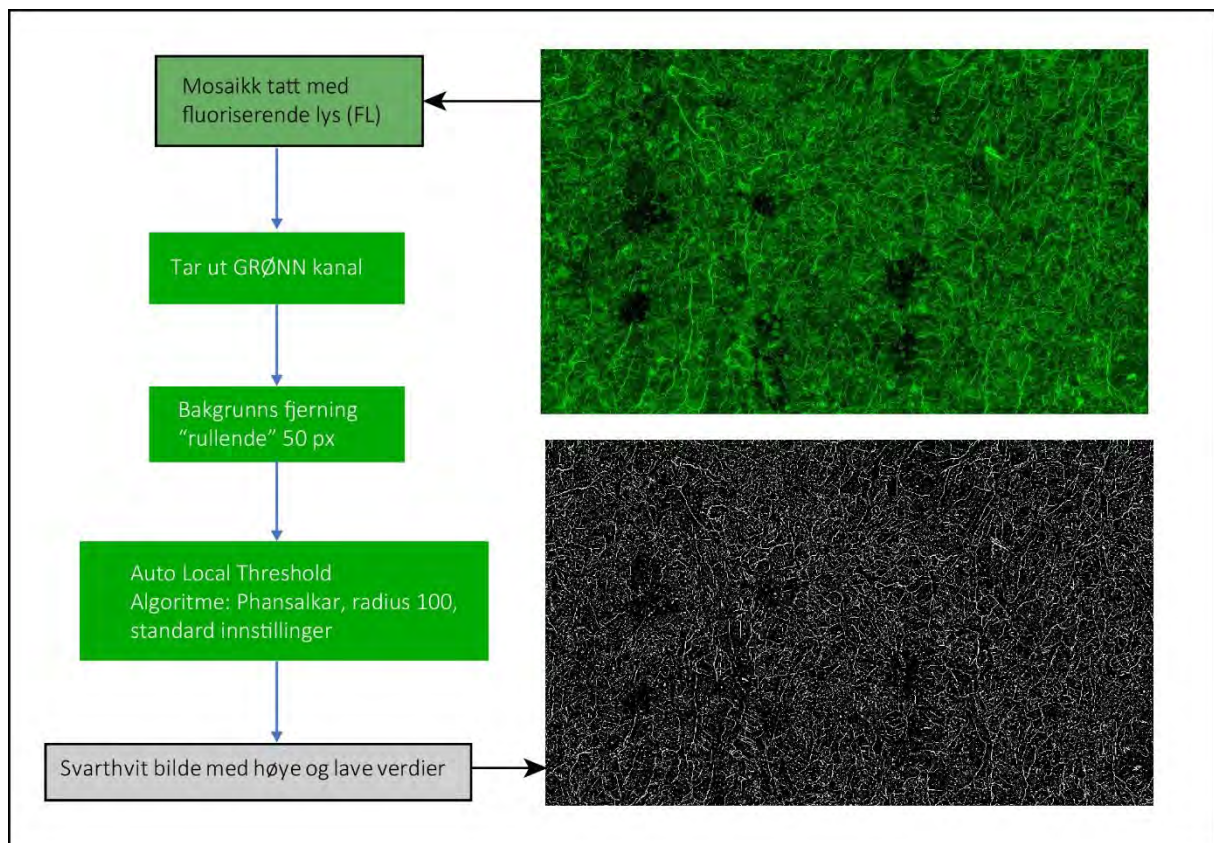
3.5 Bildeanalyse og kvantifisering av mikrosprekker

Undersøkelsen av mikrosprekker er basert på delvis automatisert bildeanalyse som er blitt utviklet i denne undersøkelsen. Figur 6 gir en oversikt over de ulike bildetyper som er benyttet under bildebehandlingen.



Figur 6. Oversikt over de ulike bilder fra en enkelt prøve som er benyttet til den systematiske undersøkelsen og kvantifisering av mikrosprekker. Bilde 1: Mosaikk av 80 PPL bilder. Bilde 2: Mosaikk av XPL bilder (dekkende presis samme areal som bilde 1). 3: Mosaikk av FL bilder (dekker presis samme areal som bilde 1 og 2). Bilde 4: Binært bilde av optimert FL mosaikk behandlet i ImageJ. Bilde 5: Kombinert bilde av XPL bilde (3) og modifisert bilde av nr. 4. Bilde 6: kryssramme som kan legges over bilde 5 til telling av sprekker. Alle bildene 1-6 ligger som separate lag og kan benyttes separate eller legges over hverandre for å undersøke hvor og i hvilke mineraler sprekker opptrer.

I utgangspunktet er det blitt fremstilt 3 bildemosaikker med petrografiske mikroskop: 1) vanlig planpolarisert (PPL) bilde, 2) krysspolarisert (XPL) bilde og 3) bilde tatt med fluorescens (FL) ved hjelp av UV-lys og særlige filtre. Bildene er tatt med objektiv med 2,5 gangers forstørrelse og mosaikkene består typisk av 10 x 8 bilder (for enkeltprøver som borekjerner imidlertid litt færre) dette tilsvarer en lengde på 19,1 mm x 31,7 mm og et areal på ca. 6,3 cm². Tynnslipet er festet på en prøveholder og bildene er tatt med elektronisk X-Y bord og 10 % overlapp og kombinert til et bilde i Zeiss AxioVision programvare.



Figur 7. Skjematisk gjennomgang som viser de ulike trinn i bildebehandlingen for å optimere bilde med fluoriserende lys. Til høyre i figuren er vist bilde før og etter denne bildebehandlingen som er fortatt i ImageJ.

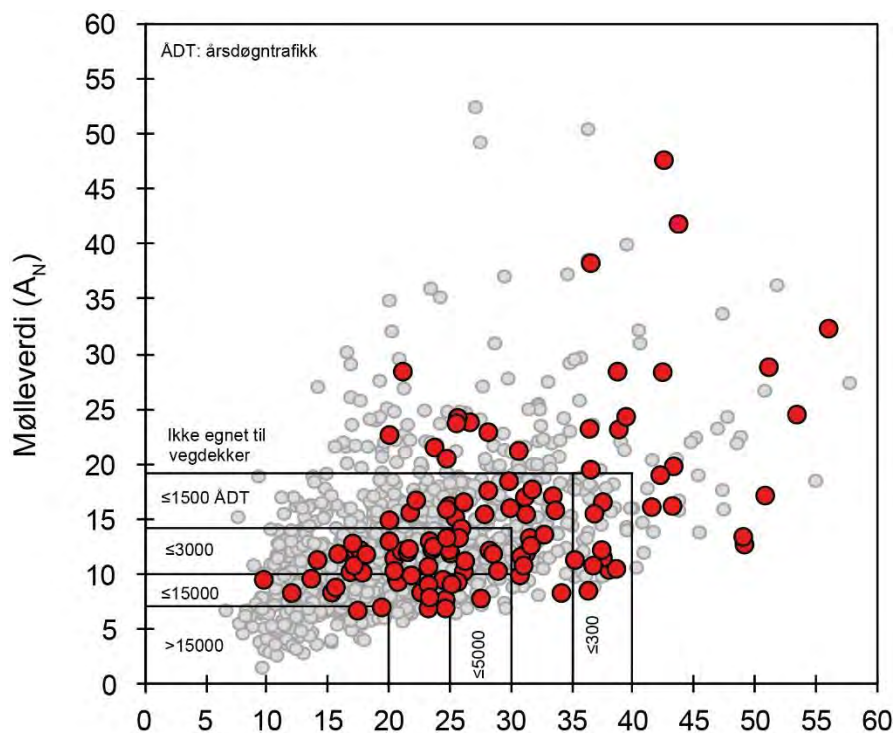
Bildemosaikken tatt med fluoriserende lys (Bilde 3) er blitt behandlet med softwaren *ImageJ* for å minimere støy, fjerne noen kunstige effekter (artefakter) og få sprekker til å tre tydeligere fram (Figur 7). Bildet som framkommer etter denne manipulering er svart-hvit (Figur 6, bilde 4) og kan konverteres slik at alle sprekker opptrer med grønnfarge og andre områder er transparente. Dette bildet som kun viser sprekke mønstret kan da legges over de øvrige mikroskopbildene for å bestemme sprekke type med mer. Dette sprekke mønstret er brukt typisk i kombinasjon med XPL mosaikken (Figur 6, bilde 5) for videre undersøkelse. I tillegg kan det legges et kryssmønster som kan brukes ved telling av sprekker i forskjellige orienteringer (Figur 6, bilde 6). Alle bilder har akkurat samme størrelse og utsnitt slik at de kan kombineres. Denne delen gjøres i programvaren ArcMap og gir stor fleksibilitet for å benytte kombinasjon av et eller flere bilder til å bestemme sprekke typer og sammenholde sprekker med andre petrografiske observasjoner for prøvene.

Kvantifisering av sprekker er gjort på to ulike måter. Arealet med fluorescens er beregnet med ArcMap basert på bildemosaikk av hvite pixler i bilde 4, Figur 6). Dette gir en estimering av det samlede arealet med porøsitet og et uttrykk for det samlede arealet med sprekker. Sprekkemengden er også kvantifisert ved manuell telling. Alle prøvene for mikrosprekkeundersøkelse er analysert for total sprekkemengde og ulike sprekketyper (beskrevet ytterligere i avsnitt 5.4) ved telling over kryssramme med sentrert kryss og opptelling langs nord-syd og øst-vest retning samt langs to diagonaler fra hjørne til hjørne av slippet, se bilde 6 i Figur 6. I området omkring det sentrale krysspunktet som analyseres flere ganger, er sprekker ved opptelling blitt markert slik at samme sprekk ikke er registrert flere ganger.

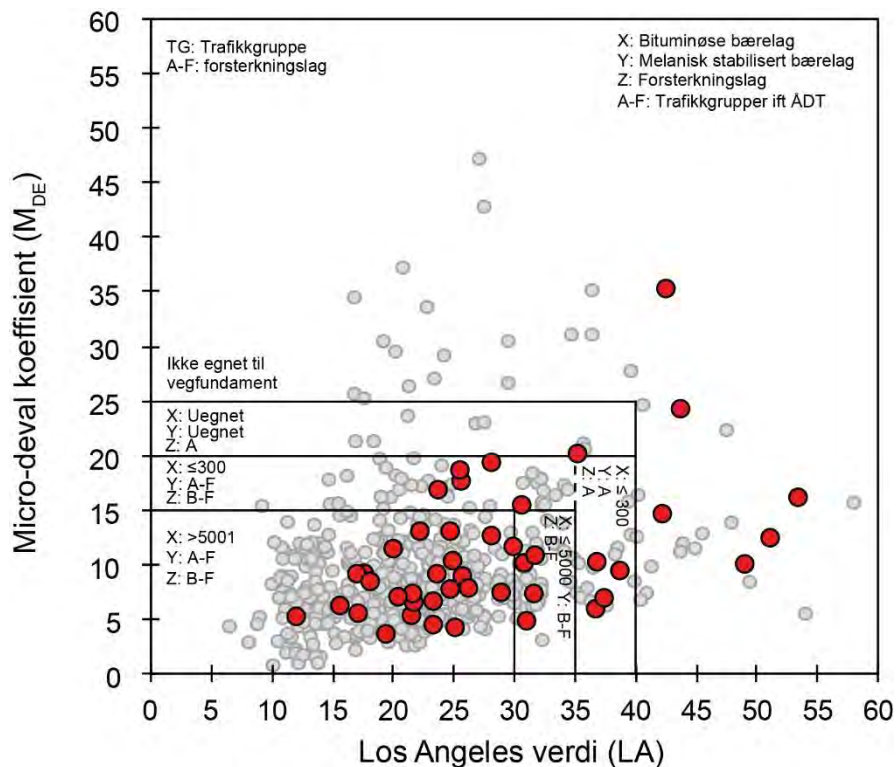
4. RESULTATER

4.1 Materialtekniske egenskaper for bergarter i Nordland

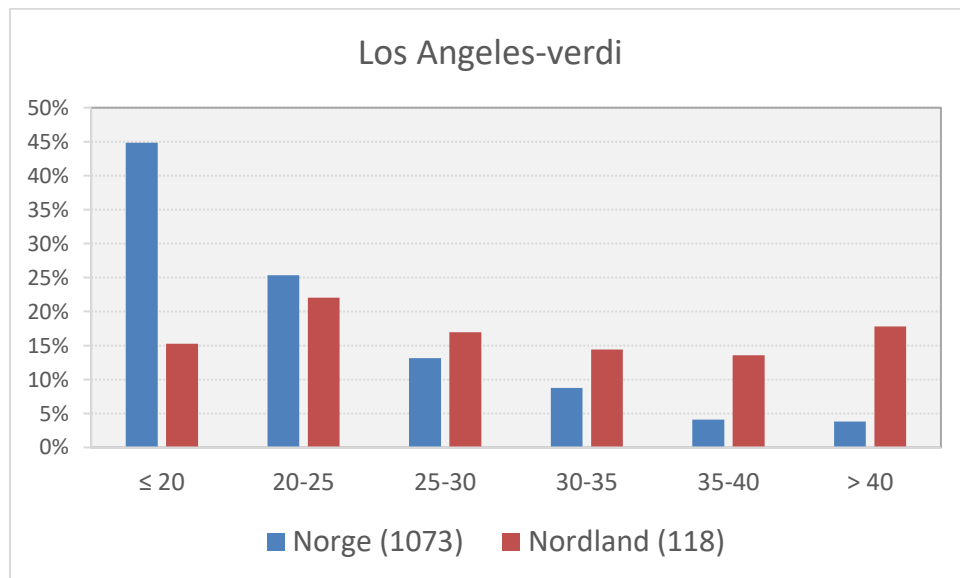
De materialtekniske egenskaper for bergarter i Nordland i forhold til resten av Norge er vist i Figur 8-12. Sammenliknet med resten av landet viser prøver fra Nordland gjennomgående moderate til svake materialtekniske egenskaper både mht. knuse- og slitasjeegenskaper (dårligere egenskaper er tilkjennegett med økende tallverdi i Figurene 8-12).



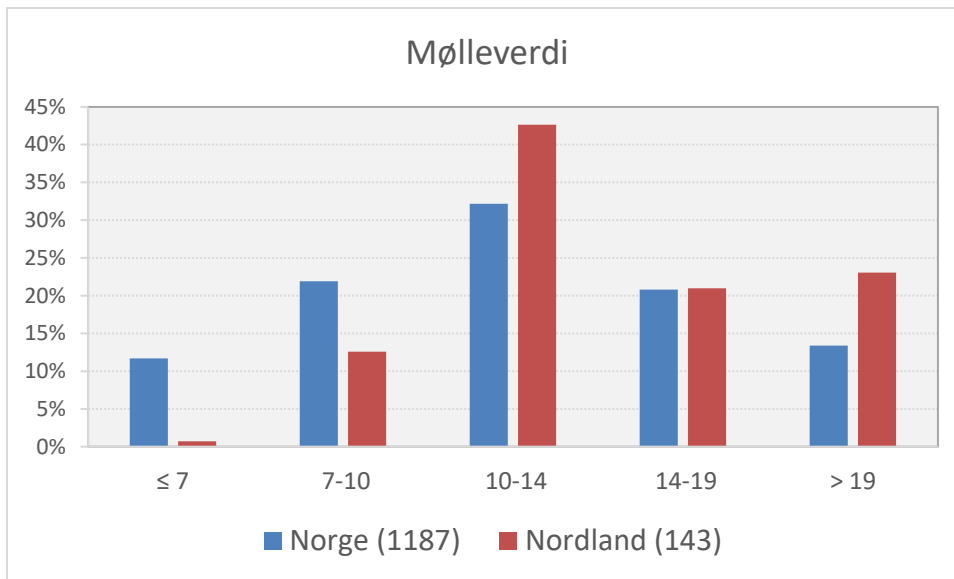
Figur 8. Egnethet til vegdekke i forhold til kravene fra Statens vegvesen (2018). Analyser angitt med røde sirkler er fra Nordland, øvrige punkter viser prøver fra resten av Norge. Det bemerkes at kun to prøver fra Nordland så vidt faller innenfor feltet som kan brukes til toppkvalitets vegdekker som oppfyller kravet for $\text{ÅDT} > 15000$ kjøretøyer.



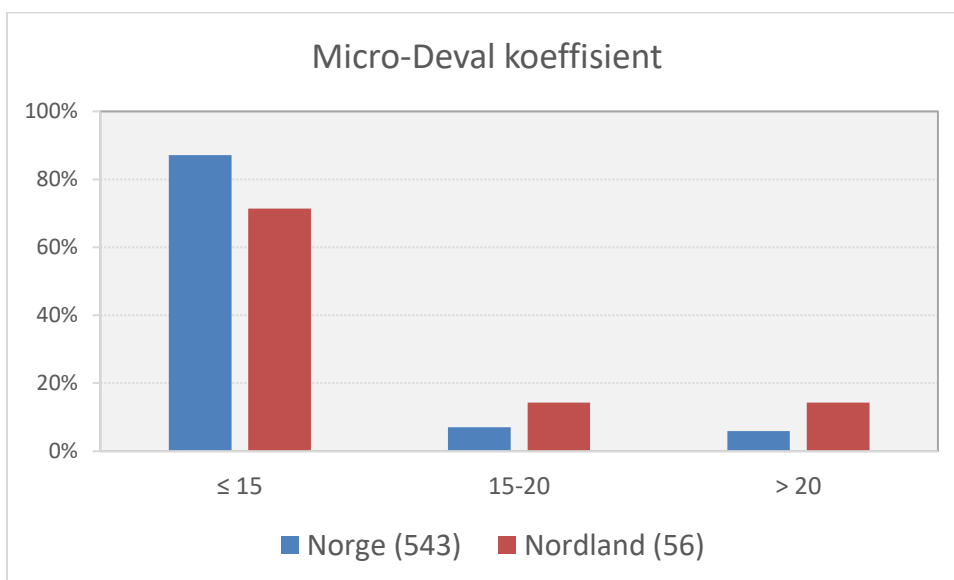
Figur 9. Egnethet til vegfundament i forhold til kravene fra Statens vegvesen (2018). Analyser angitt med røde sirkler er fra Nordland, øvrige punkter viser prøver fra resten av Norge. Relativt få prøver viser lave verdier (gode mekaniske egenskaper) fra Nordland sammenlignet med resten av landet.



Figur 10. Fordeling av Los Angeles-verdier for analyser fra Nordland fylke sett i forhold til resten av landet (lavere verdi = bedre kvalitet). Antall analyser er oppgitt i parentes.

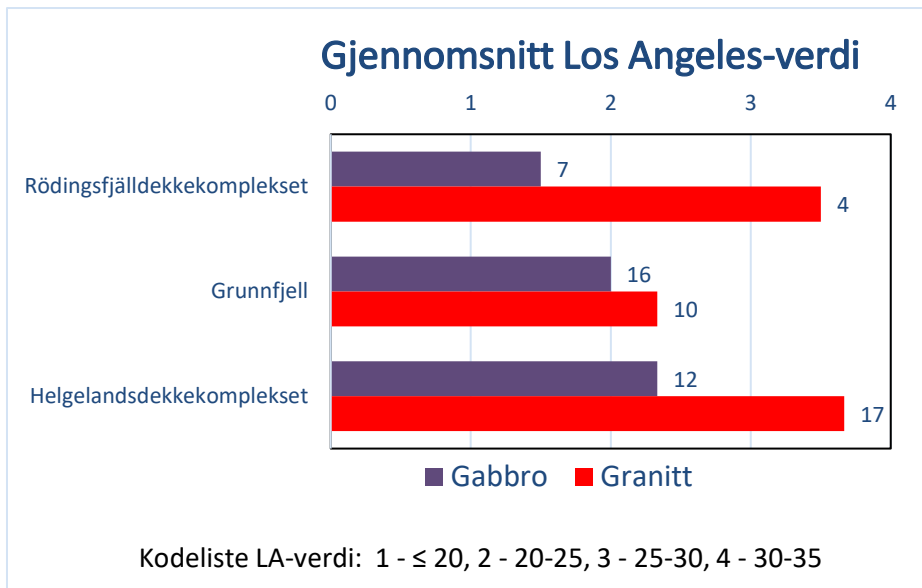


Figur 11. Fordeling av mølleverdier for analyser fra Nordland fylke sett i forhold til resten av landet (lavere verdi = bedre kvalitet). Antall analyser er oppgitt i parentes.

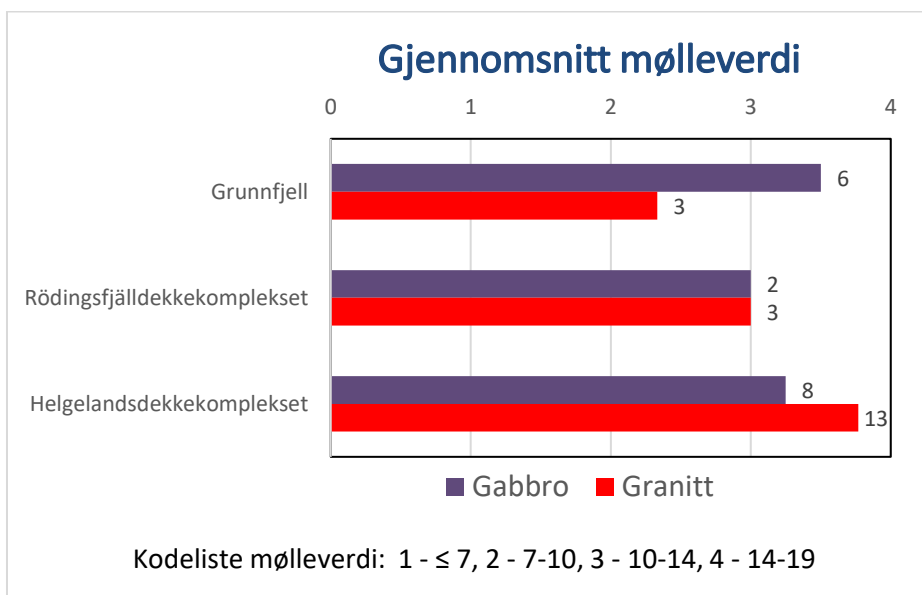


Figur 12. Fordeling av micro-Deval for analyser fra Nordland fylke sett i forhold til resten av landet (lavere verdi = bedre kvalitet). Antall analyser er oppgitt i parentes.

Det i første rekke til vegdekke med høy gjennomsnittlig årsdøgntrafikk (ÅDT) det stilles strenge krav til de materialtekniske egenskapene. Analysene fra Nordland fylke tilfredsstiller i mindre grad de strengeste kravene (ÅDT > 3000 kjøretøyer) sett i forhold til resten av landet (Figur 13). Det er først og fremst riksvegene i fylket hvor det er behov for kvalitetsmasser (Tabell 2).



Figur 14. Gjennomsnittlig Los Angeles-verdi for bergartene gabbro og granitt fra ulike dekker eller grunnfjell.

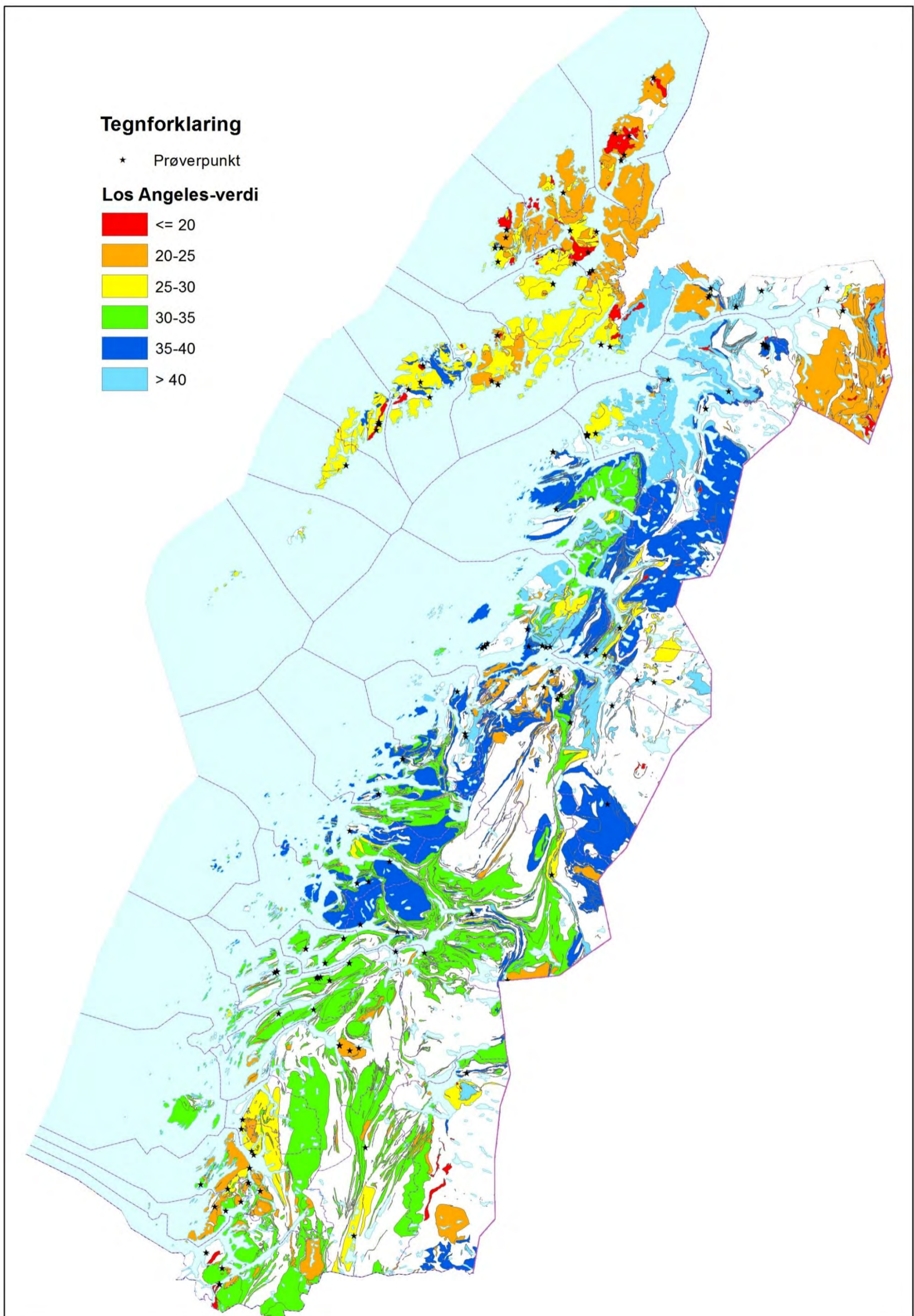


Figur 15. Gjennomsnittlig mølleverdi for bergartene gabbro og granitt fra ulike dekker eller grunnfjell.

4.3 Kart og statistikk over materialtekniske egenskaper

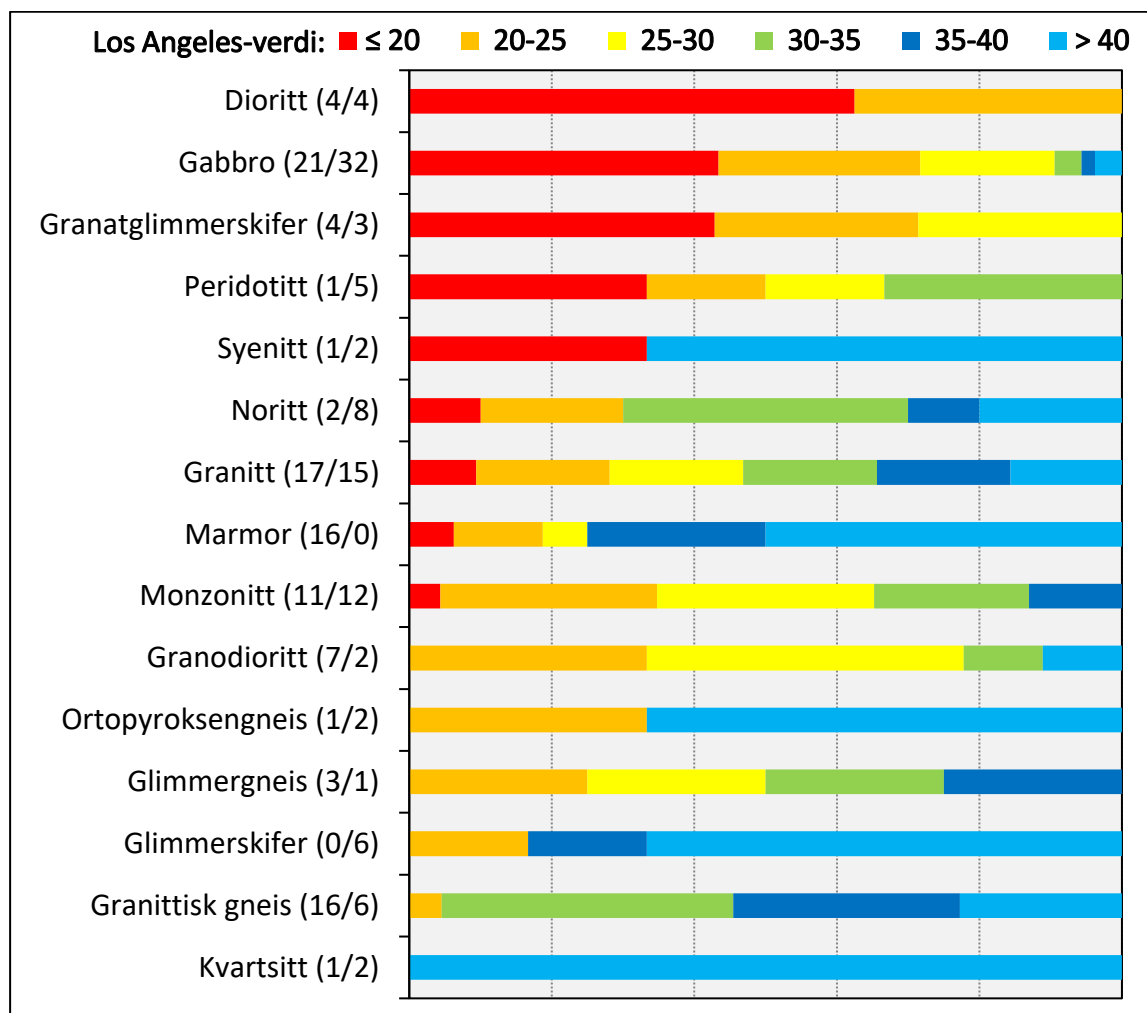
4.3.1 Los Angeles

Kart over fordelingen av Los Angeles er vist i Figur 16. Regionen Lofoten og Vesterålen peker seg ut med best knusetekniske egenskaper. Øvrige områder med god kvalitet (Los Angeles-verdi ≤ 25) er der det foreligger en del prøver i Velfjordområdet og gabbroforekomsten nord for Mosjøen. Granittområdet inn mot grensen til Sverige mellom Rombak og Skjomen er ikke prøvetatt, men tilhører samme bergart-/dekkeenhet som prøvetatt i Lofoten/Vesterålen. Berggrunnen ellers i Nordland domineres av glimmer og kalkrike bergarter av moderat til dårlig knuseteknisk kvalitet.



Figur 16. Kart som viser variasjon i de knusetekniske egenskapene uttrykt ved variasjon i Los Angeles-verdi.

Det er stor variasjon i de mekaniske egenskapene for de forskjellige bergartene (Figur 17). Fordelingen kan til dels avspeile ulik prøvehypighet. For å begrense denne effekten er kun bergarter med tre eller flere analyser tatt med i Figur 17 (og tilsvarende diagramtyper i Figur 18 og 19). Overordnet sees at knusetekniske «seige» bergarter som dioritt og gabbro viser gjennomgående lave Los Angeles-verdier, mens kvartsrike bergarter ofte er «sprø» noe som gir høye verdier.

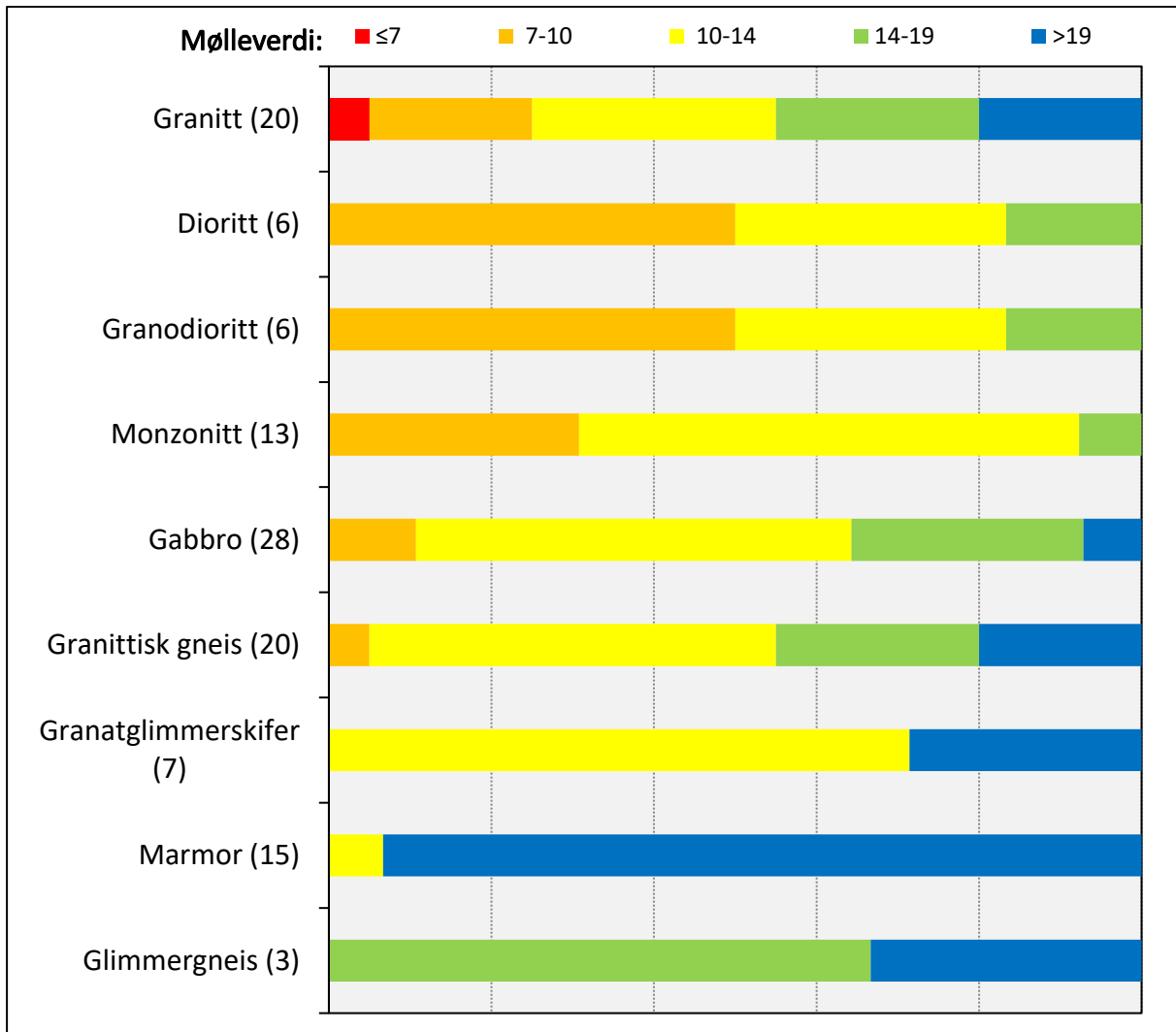


Figur 17. Variasjon i Los Angeles-verdi for bergarter som er prøvetatt med mer enn 3 analyser. Figuren viser den relative fordelingen av Los Angeles-verdier for de forskjellige bergartstypene inndelt i 6 klasser. Prøver med lave verdier (rød farge) er vist øverst i figuren, mens prøver med dårlig kvalitet (blå farger) er vist nederst. Antall analyser er oppgitt i parentes (4/3 – 4 Los Angeles analyser/3 beregnet «fiktive» Los Angeles-verdier, basert på S2 verdier).

4.3.2 Mølleverdi

Slitasjeegenskapene til prøvene tatt i fylket tilsier moderat til dårlig kvalitet (Figur 18 og 19). Kartbilde viser ellers noe av de samme som for de de knusetekniske egenskapene med laveste verdier i Lofoten, Vesterålen, Velfjordområdet og Mosjøen.

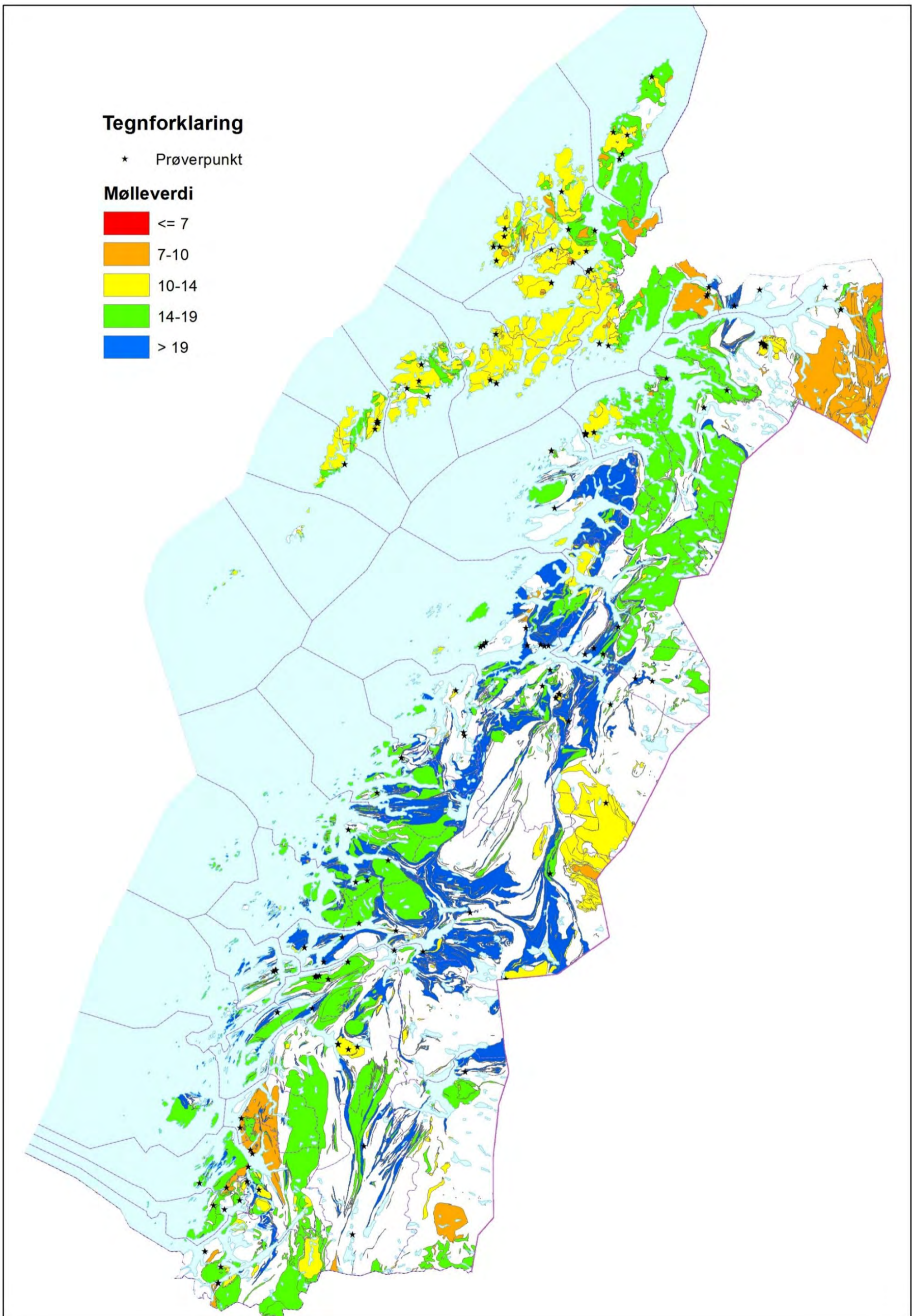
Den beste enkeltanalysen med laveste mølleverdi i Nordland fylke (mølleverdi ≤ 7) er fra en granitt, men bergartstypen viser stor variasjon (Figur 19). Igjen er det glimmer- og kalkrike bergarter som viser høye/dårlige mølleverdier.



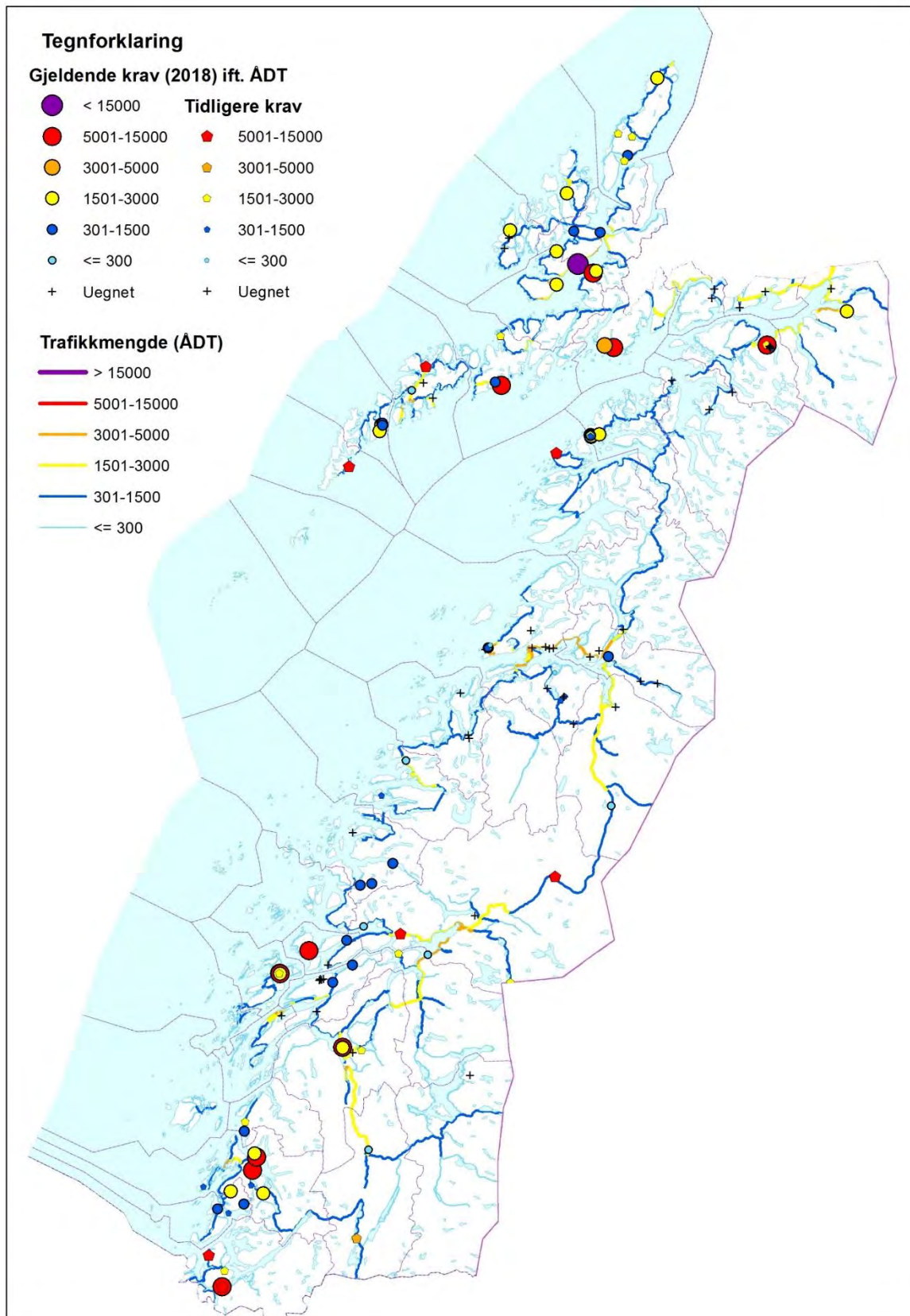
Figur 18. Variasjon i mølleverdi for bergarter som er prøvetatt med mer enn 3 analyser. Figuren viser den relative fordelingen av mølleverdier for de forskjellige bergartstypene inndelt i 5 klasser. Bergartene er listet etter kvalitet med beste prøver øverst. Antall analyser er oppgitt i parentes.

4.3.3 ÅDT kart

Et kart som viser prøver som dekker ulike krav i henhold Statens vegvesens krav til tilslag for anvendelse i vegdekke avhengig av gjennomsnittlig årsdøgntrafikk (ÅDT) sammenholdt med tilsvarende inndeling for vegstrekninger med ulik trafikkmengde er vist i Figur 19. Dataene over trafikkmengde er hentet fra Nasjonal vegdatabank (Statens vegvesen, 2014). For en god del områder er kvaliteten tilstrekkelig for å oppfylle kravene til de lokale vegene innenfor fylket.

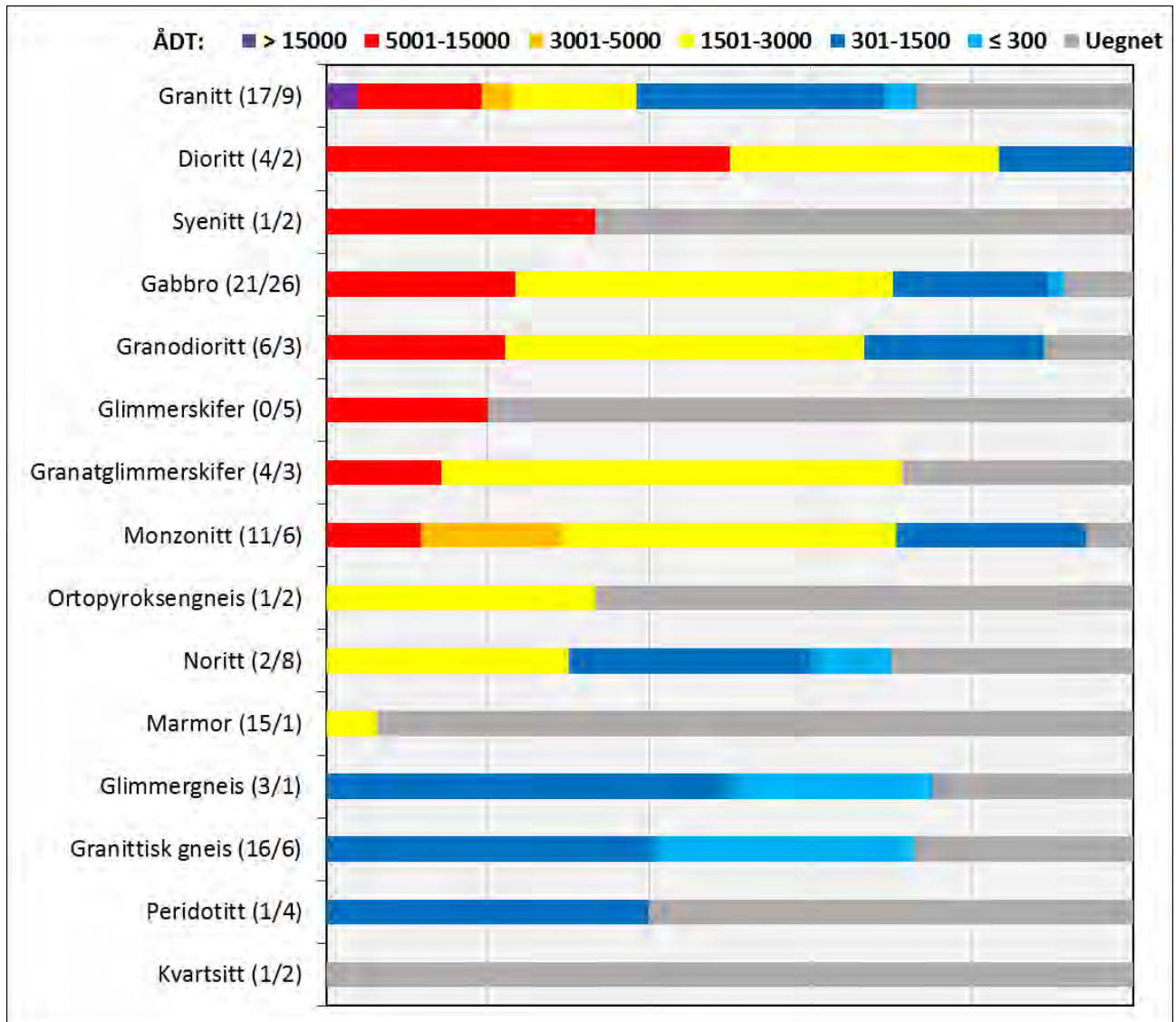


Figur 18. Kart som viser variasjon i de slitasjetekniske egenskapene uttrykt ved variasjon i mølleverdi.



Figur 19. Trafikkmengde og kvalitet av enkelte prøver i forhold til kravene til vegdekke (Statens vegvesen, 2018).

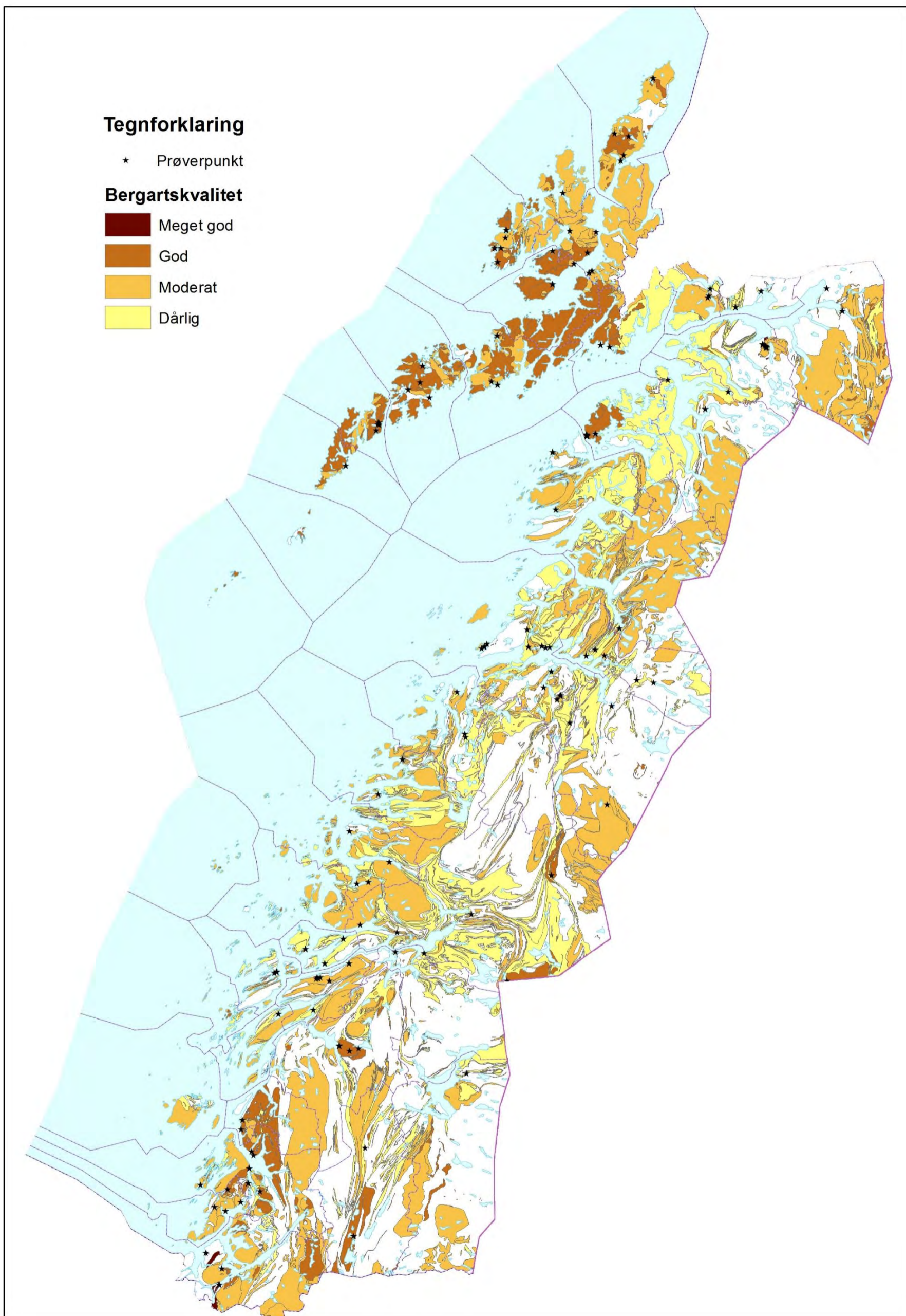
Kombinasjonen god Los Angeles- og mølleverdi er bestemmende for om kravene til vegdekke innfris, men mølleverdien har som regel størst og avgjørende betydning. De strenge kravene til slitasjegenskapene skyldes omfattende slitasje av vegdekker ikke minst på grunn av bruk av piggdekk. Bergarter med god mølleverdi innfrir derfor de høyeste kravene til vegdekke best, men som det framgår av Figur 20 er variasjonen stor.



Figur 20. Variasjon for bergarter som innfrir kravene til gjennomsnittlig årsdøgntrafikk (ÅDT) som er prøvetatt med mer enn 3 analyser. Antall analyser er oppgitt i parentes (4/3 – 4 Kombinasjon Los Angeles- og mølleverdi/3 kombinasjonen beregnet «fiktiv» Los Angeles-verdi fra S2 verdier og mølleverdi).

4.3.4 Prognosekart over pukk-/bergartskvalitet for anvendelse som byggeråstoff

Som en oppsummering er det laget et prognosekart over bergartskvalitet for anvendelse som byggeråstoff i Nordland fylke (Figur 21). Kartet viser mye av det samme som framkommer på kartene for Los Angeles- og mølleverdi. Inndelingen i tegnforklaringen følger kravene til vegdekke ved at; Meget god tilsvarer ÅDT > 5000, God – ÅDT 5000-1500, Moderat – ÅDT < 1500 og Dårlig – uegnet.

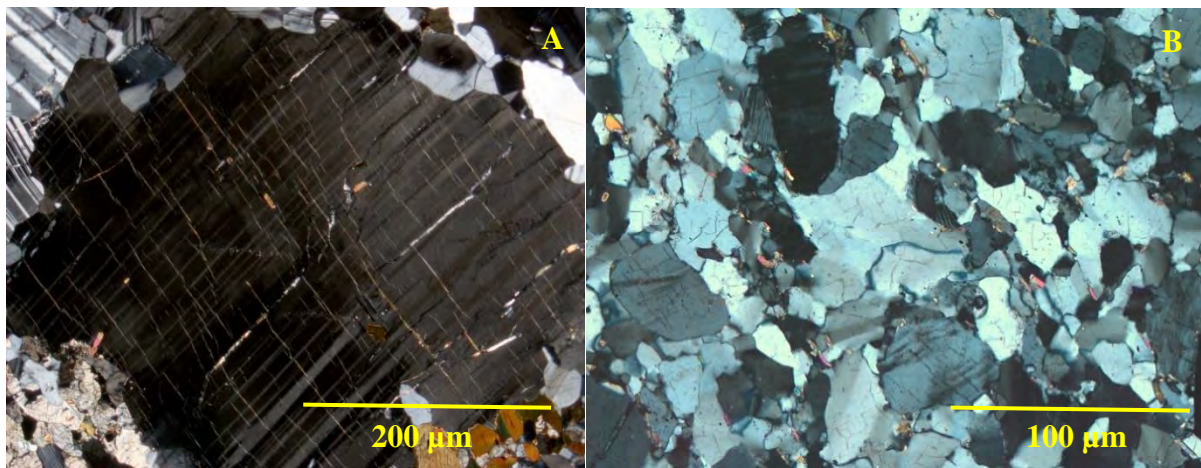


Figur 21. Prognosekart som viser kombinasjon av knuse- og slitasjetekniske egenskaper.

5. UNDERSØKELSE AV MIKROSPREKKER

5.1 Mikrosprekker definisjon og tidligere studier

Mikrosprekker er små høy-aspekt-ratio riss i bergarter dannet som et resultat av differensialt stress (Anders et al., 2014). Begrepet anvendes i praksis om en rekke typer forskjellige sprekker som kun kan sees i mikroskop, vanligvis med viss utvidelse, men med ubetydelig forskyvning (Anders et al., 2014). Figur 22 viser eksempler på vanlig tynnslip med mikrosprekker. Mikrosprekker har typisk en lengde på under hundrede mikrometer og en utbredelse som er vesentlig i en retning enn de to andre dimensjonene.



Figur 22 Eksempler på tydelige mikrosprekker fra vanlig mikroskop i XPL. A) Plagioklas med to sett av mikrosprekker. Sprekkene står tydelig frem på grunn av krystallisert karbonat. B) mikrosprekker i kvarts og feltspat.

Mens den negative effekten av sprekker er velkjent i betong (Brockmans, 2012; Sanchez et al., 2015) er det ikke enighet om betydningen av sprekker for de mekaniske egenskaper for tilslag til vegbygging, ballast til jernbane m.m. Det er umiddelbart klart at sprekker (herunder mikrosprekker) er svakhetssoner og det har lenge vært kjent at sprekker er en viktig parameter for forståelsen av sprø deformasjon fordi de skaper mekanisk svake, plane diskontinuiteter i bergarter. For eksempel brukes sprekketettheten ofte til å måle intensiteten av forkastningsrelatert sprø deformasjon (Anders et al., 2014). Det er velkjent at makrosprekker nedsetter styrken av fjell og sprekker undersøkes derfor rutinemessig blant annet i områder med risiko for fjellskred og ved geotekniske undersøkelser ved funderings- og tunnelarbeider.

Imidlertid er betydningen av mikrosprekker for mekaniske egenskaper ikke vel belyst. Mikrosprekker bør forventes å være viktige for de mekaniske og fysiske egenskapene for pukk fordi mikrosprekker danner mekanisk svake diskontinuiteter på mikro- til nanoskala (Kudo et al., 1986; Schedl et al., 1986). Videre er mikrosprekker viktige fordi de danner små kanaler for inntrenging av vann. Slik vanninntrenging kan øke risikoen for frostsprengning og dermed redusere styrken av materialet.

Det har vært en rekke tidligere studier av mikrosprekker og deres innflytelse på de materialtekniske egenskapene. Willard & McWilliams (1969) var sannsynligvis blant de første som undersøkte fenomenet og fant en sammenheng mellom mikrosprekker og nedsatt styrke. Basu et al. (2009) vurderte de mekaniske egenskapene i granitter fra Brasil. De noterte at

initieringen av nye sprekker forårsaket en reduksjon av styrken av de undersøkte granitter. Åkesson et al. (2004) viste at etter gjentagende uniaksial kompresjon ble eksisterende mikrosprekker større samtidig med at nye mikrosprekker ble dannet, mens Sousa et al. (2005) undersøkte portugisiske granitter som anvendes til naturstein og fant at den åpne porøsiteten som prøvene hadde, hovedsakelig skyltes mikrosprekker. De observerte at uniaksial kompresjonsstyrke og akustiske bølgehastighet tilsynelatende falt med økende sprekkdensitet, om enn med lave korrelasjonskoeffisienter. Liu et al. (2005) og Lindqvist et al. (2007) fant også at opptreden av mikrosprekker har negativ innvirkning på materialtekniske egenskaper, mens en lang rekke studier har påpekt andre egenskaper som middelkornstørrelse, kornform og graden av og mineralogi som de viktigste parametere for den mekaniske styrken av bergarter til bruk som pukk (Brattli, 1991; Prikryl, 2001; Åkesson et al. 2003; Sousa, 2013; Rigopoulos et al., 2014).

Omfattende undersøkelser av mikrosprekker og deres påvirkning på mekaniske egenskaper på norske bergarter er tilsynelatende kun utført av Erichsen & Broekmans (1999) og Nålsund (2014). De to undersøkelsene er kommet frem til forskjellige resultater. Hvor Erichsen & Broekmans (1999) så negativ korrelasjon mellom hyppighet og punktlaststyrke i to borekjerner, observerte Nålsund (2014) ingen sammenheng mellom mengden av mikrosprekker, estimert ved luminescens fra FL-mikroskopering, og Los Angeles tester.

Sammenfattende kan det konkluderes at selv om en rekke studier har undersøkt mikrosprekker og deres betydning for de materialetekniske egenskaper av bergarter, er der intet entydig svar på hvorvidt mikrosprekker har målbar negativ innvirkning på de mekaniske egenskaper.

5.2 Dannelse av mikrosprekker

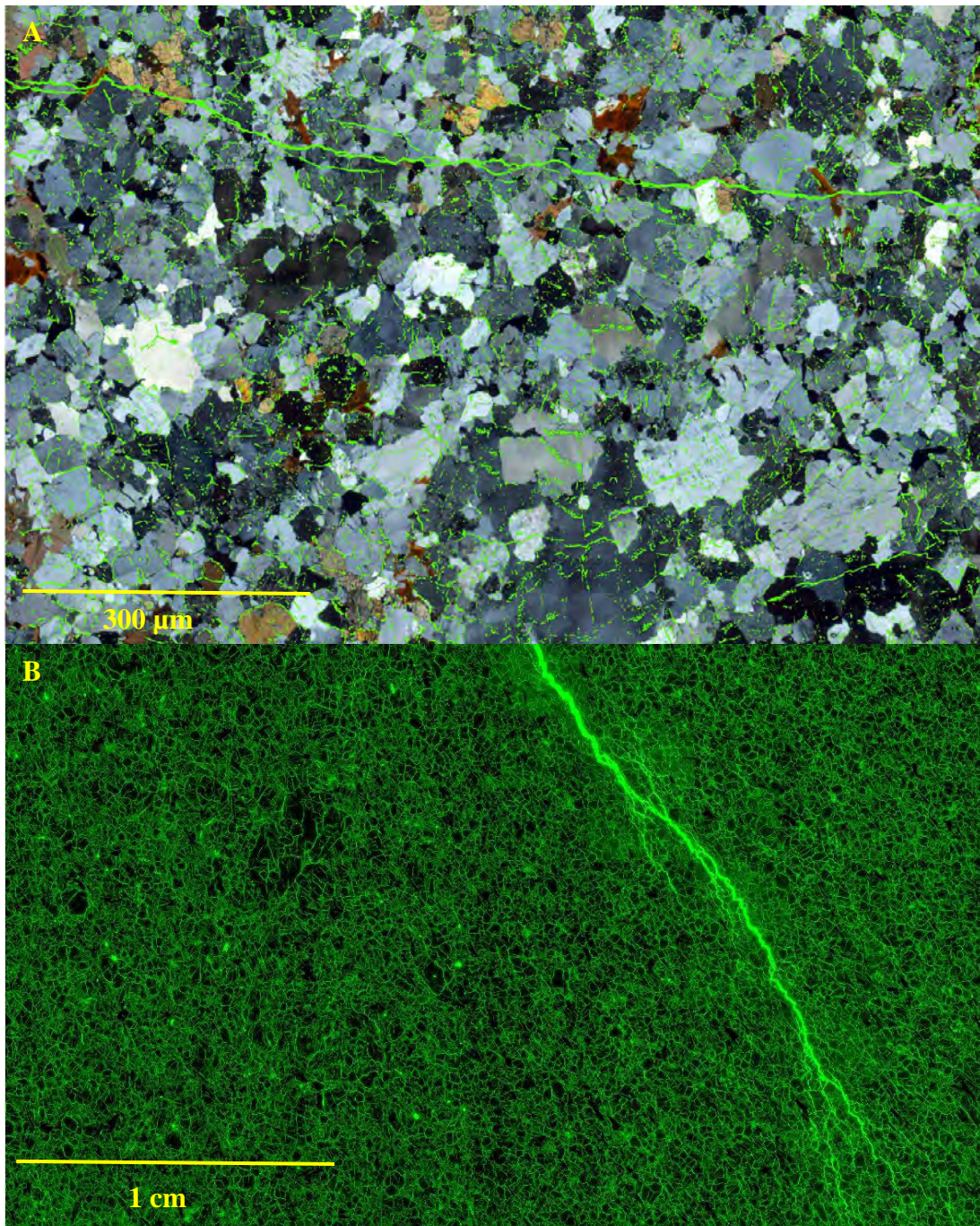
Sprekker oppstår når det lokale stress overstiger styrken av bergarten. Det eksisterer en omfattende litteratur om dannelse av sprekker, deres kinematikk og matematisk beskrivelse herav (Krantz, 1983; Edelbro 2003; Tentler & Amcoff 2010). Kortfattet kan det sammenfattes at mikrosprekker dannes ved differensialt stress på grunn av termisk sammentrekning under avkjøling og tektoniske belastninger under stadier av sprø deformasjon. Mikrosprekker utvikles særlig i forbindelse med ekstensionsbegivenheter for eksempel ved eksfoliasjon som resultat av oppløft (Kowallis & Wang, 1983; Anders et al., 2014).

5.3 Mikrosprekketyper

I beskrivelsen av sprekker i denne undersøkelsen skilles det overordnet mellom mikrosprekker og makrosprekker. Mikrosprekker er små sprekker som primært kan observeres med mikroskop og typisk har en lengde på under 1 mm, mens makrosprekker er større sprekker som kan sees i prøvene uten mikroskop. Figur 23 viser eksempler på mikro- og makrosprekker og illustrerer at mikrosprekker er langt mer hyppige enn makrosprekker. Dette gjelder i alle de undersøkte prøvene.

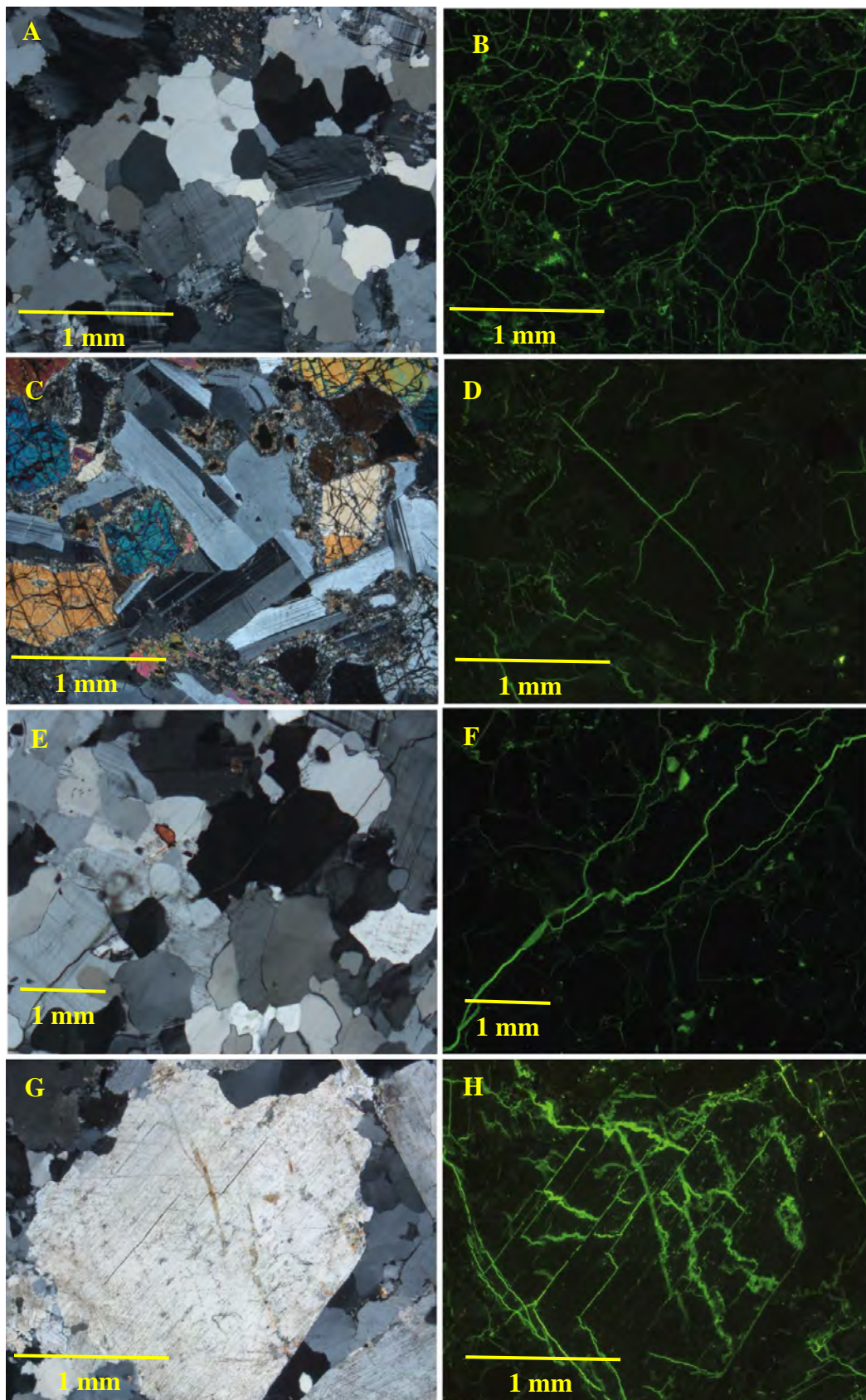
Deet finnes forskjellige måter å klassifisere mikrosprekker etter deres hyppighet, orientering og type. Kranz (1983) delte inn mikrosprekker i fire grupper; 1) intergranulære sprekker, 2) intragranulære sprekker, 3) transgranulære sprekker og 4) sprekker relatert til spalteplaner i enkelte mineralkorn (Figur 24). Intergranulære sprekker forekommer mellom korn og er ofte relatert til korn grenser. Intragranulære sprekker forekommer inne i korn, mens transgranulære

sprekker går gjennom mer enn et krystallkorn. Sprekker som er relatert til spalteplan er egentlig enn undertype av intragranulære sprekker og ikke særskilt registret her. Den relative mengden av intergranulære og intragranulære sprekker avhenger ifølge Krantz (1983) av mineralogi, bergartstype og stress forholdene som prøvematerialet har vært utsatt for.



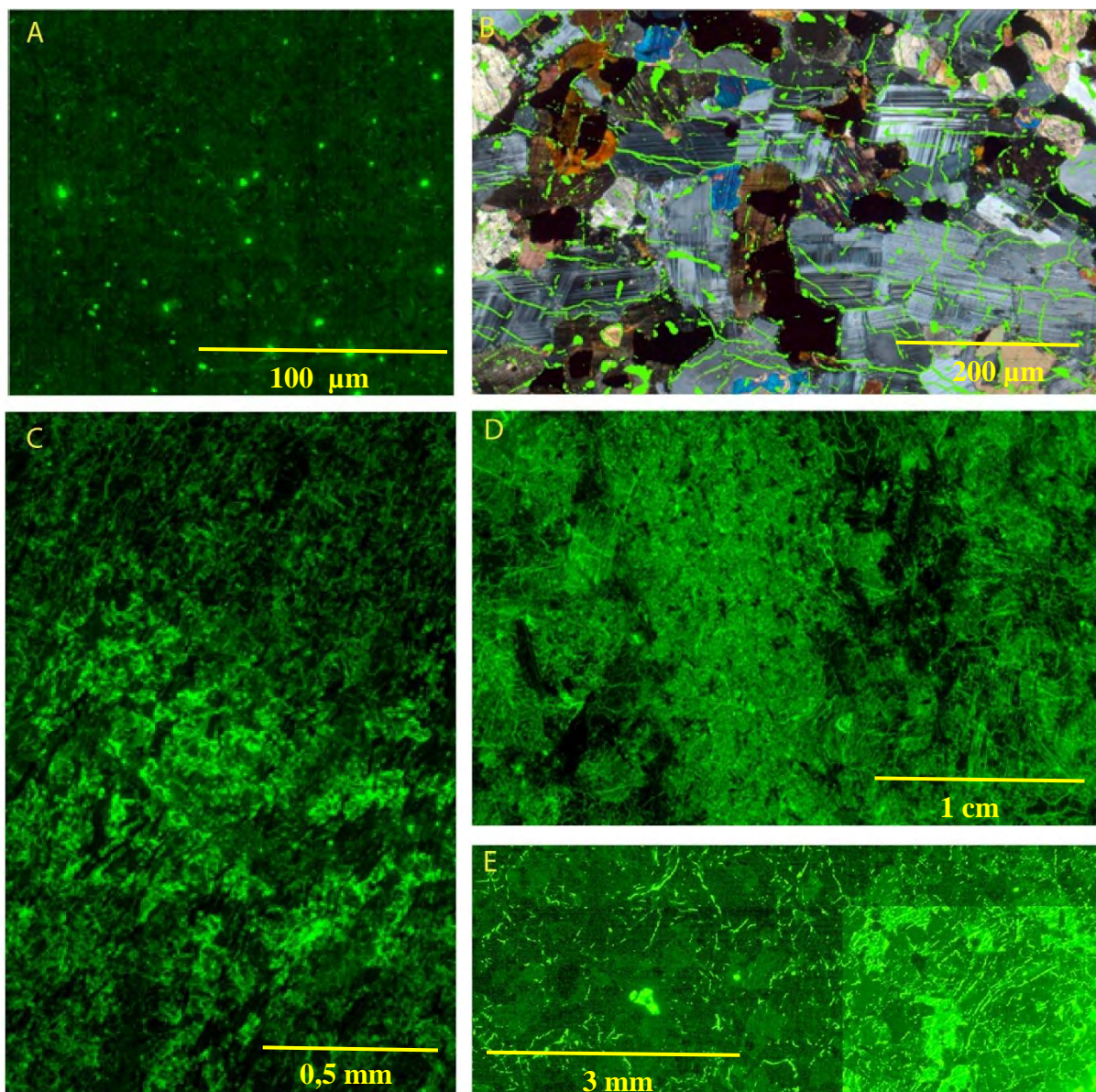
Figur 23. Eksempler på prøver med makrosprekker og hyppige mikrosprekker. A: Prøve 1851-514 og B: 1804-501.

Andre fluorescensfenomener som ikke er relatert til mikrosprekker forekommer også i prøvene (Figur 25). De oftest observerte effekter er hulrom og støy på bildene. Mer massiv porøsitet er også observert men er mindre hyppig. Hulrom kan være opprinnelig porøsitet i bergartene men kan også være et resultat av preparering av prøvene.



Figur 24. Mikrofotografier med eksempler på vanlig sprekketyper etter klassifikasjonen av Krantz (1983). A-B) Prøve dominert av intergranulære sprekker (prøve 1836-502). C-D) Prøve dominert av intragranulære sprekker (Prøve 1871-530). E-F) Eksempel på transgranulær sprekk (Prøve 1837-502). G-H) sprekker relatert til spalteplaner (Prøve 1866-533). Bilder til venstre krysspolarisert lys (XPL) bilder til høyre samme område men fluorescens (FL).

En lang rekke studier har vist at porøsitet generelt har en negativ innvirkning på de mekaniske egenskapene (Dunn et al., 1973; Scott & Nielsen, 1991; Vernik, 1992). Porerom (hulrom m.m. – men ikke sprekker) påvirker også utviklingen av sprekker. Disse områder kan både utløse dannelse av nye sprekker dannes, men fungerer også som steder som forhindrer utvikling av sprekker (Lindqvist et al., 2007).



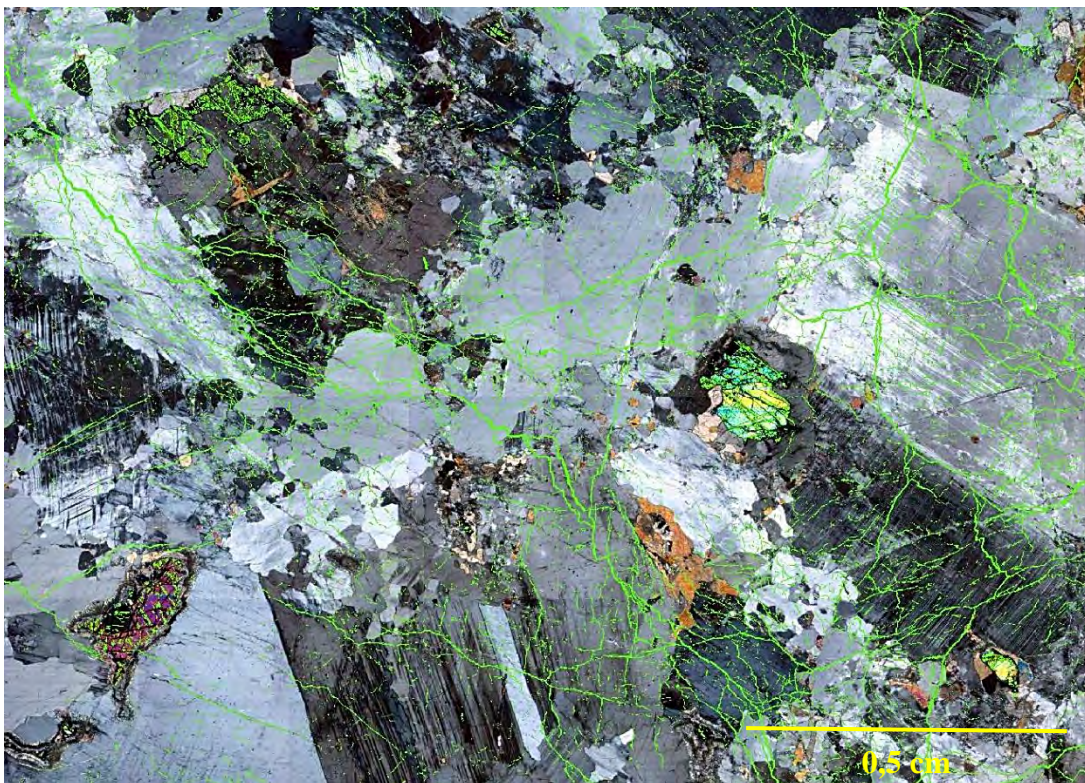
Figur 25. Eksempler på hulrom, porøsitet og støy i mikroskopbilder. A) FL bilde som viser huller i tynnslip (prøve Lito-2753-1). B) kombinert bilde av XPL og manipulert FL bilde som viser både sprekker og huller. C-D) FL bilder som viser bergarter med områder som har mer massiv porøsitet (prøve SK-2 og Lito-1431-2). E utsnitt av FL bilde med varierende støy i ulike del av bilder, men i særlig grad nederst til høyre (prøve Lito-2753-2).

5.4 Mikrosprekkeobservasjoner

Figur 26-28 viser eksempler på prøver som er henholdsvis er dominert av transgranulære intergranulære og intragranulære sprekker. Det er tydelig at det er stor variasjon i hvor lett

mikrosprekker utvikles i (og omkring) forskjellige mineraler og at hvilken sprekketype som utvikles også er sterkt avhengig av mineralogien.

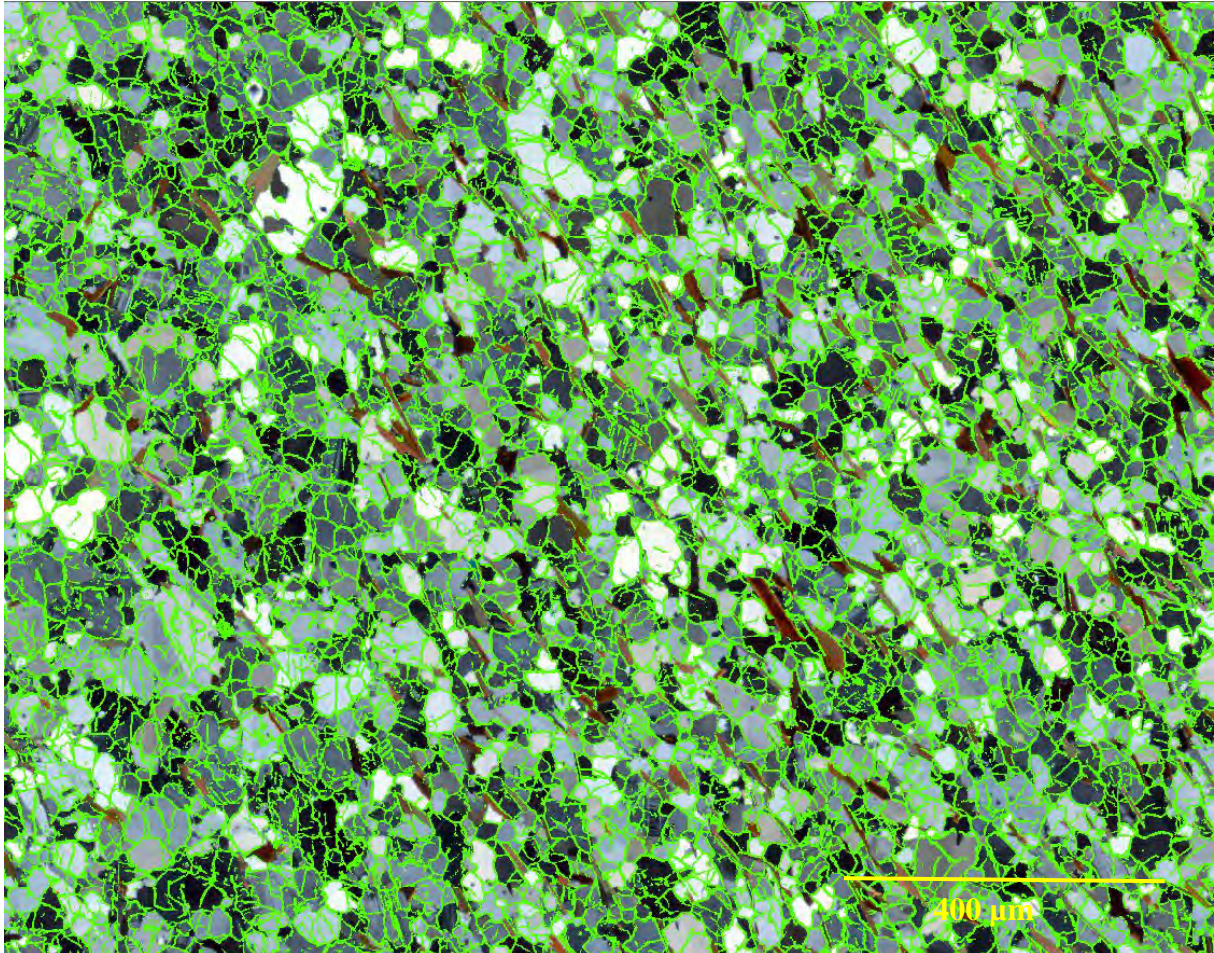
Opake mineraler er de mest «robuste» og har nesten aldri mikrosprekker. Likeledes er det få mikrosprekker relatert til de mafiske fasene pyroksener og amfibol. Litt flere sprekker er observert i olivin (som har relativt mange fylte sprekker), men imidlertid langt færre enn i feltspat og kvarts. Glimmermineralene biotitt og muskovitt er også kjennetegnet ved få sprekker, men ofte er grensesprekker og intragranulære sprekker observert rundt glimmer mineralene. Dette er tidligere observert (Shea & Kronenberg, 1993; Åkesson, 2004) og er sannsynligvis relatert til forskjeller i styrken mellom mineralene, deres E-modulus og høyere overflateenergi sammenlignet med mer sprø mineraler som feltspat og særlig kvarts (Åkesson, 2004).



Figur 26. Gabbro som er dominert av transgranulære mikrosprekker. Kombinert bilde av XPL og manipulerte FL bilder. Prøve 1859-502.

Kvarts kjennetegnes ved mange intergranulære sprekker som ofte er relativt brede og markante (Figur 26) men inneholder også noen intragranulære sprekker. De hyppige intergranulære sprekkene kan muligvis forklare nettverk av sprekker/svake korngrenser sees tydelig i prøven 1804-501 Storeheia som har den største tettheten av sprekker av de undersøkte prøvene og dårlige mekaniske egenskaper.

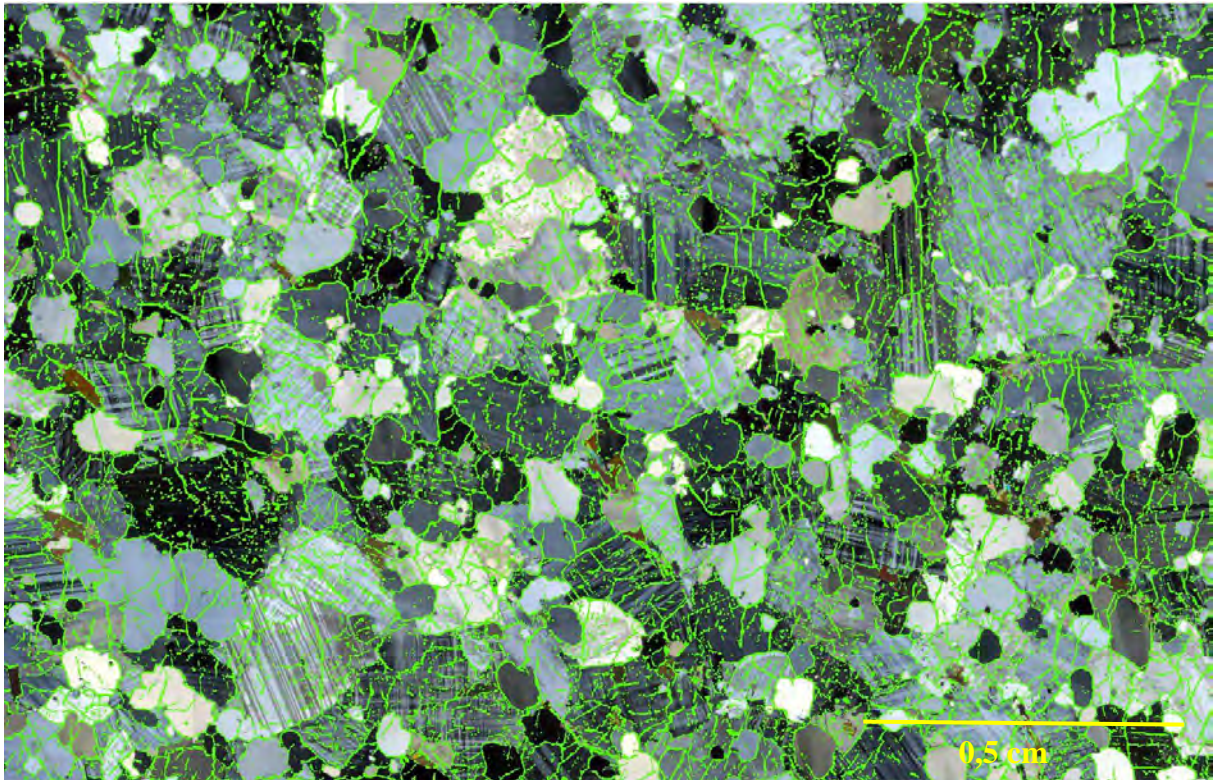
Feltspat med serisittomvandling har gjennomgående færre mikrosprekker enn frisk feltspat. Dette er tidligere observert av Åkesson (2004) og kan kanskje foreklare den umiddelbare ulogiske observasjon at svak til moderat omvandlet feltspat ofte har bedre mekanisk styrke enn uomvandlet feltspat således at serisitt armerer bergarten (Räisänen, 2004). Modsatt har Tuğrul, & Zarif (1999) sett økende mengde av mikrosprekker med omvandling.



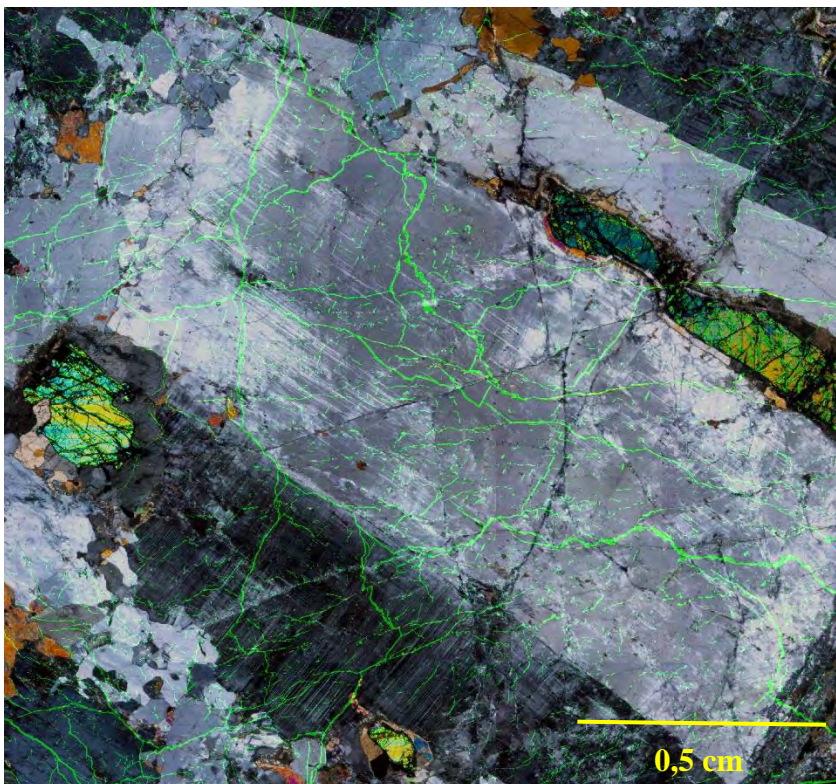
Figur 27. Utsnitt av Meta-arkose (gneissgranitt) dominert av intergranulære sprekker. Kombinert bilde av XPL og manipulert FL bilder. Prøve 1804-501.

I noen prøver forekommer det sprekker som ikke er blitt impregnert med fluoriserende epoksy (Figur 28). Dette er lukkede sprekker og kan ha sprekkefyll av forskjellige mineraler som karbonater, leirmineraler, jern-hydroksider m.m. Disse sprekkenes er ikke ytterligere undersøkt for mineralogi (som ofte vil kreve SEM undersøkelse) eller blitt kvantifisert og det vurderes at de har liten innflytelse på materialtekniske egenskaper.

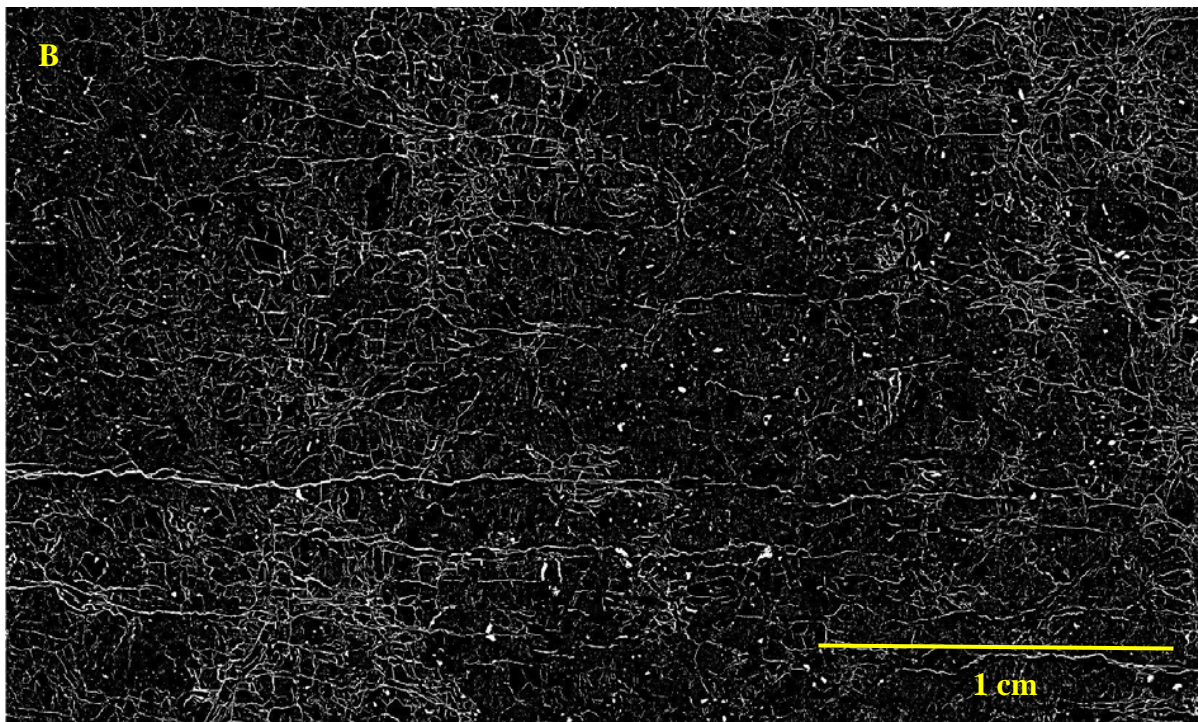
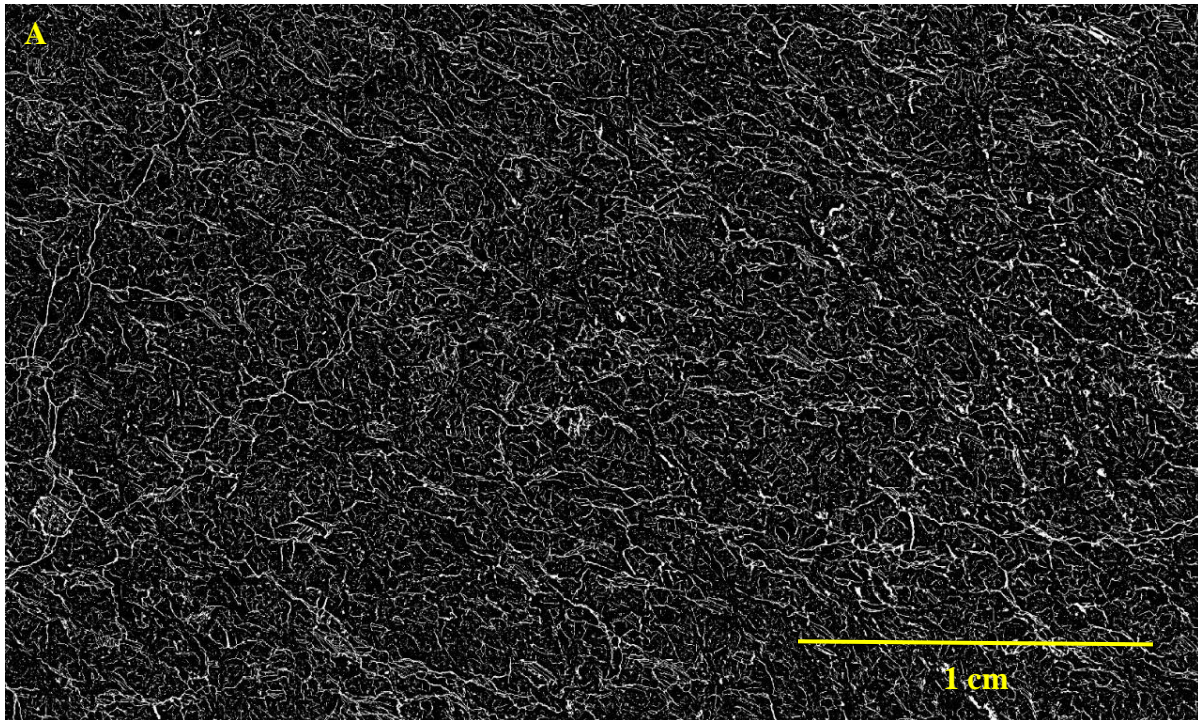
I dette studiet er orientering av sprekker ikke målt og kvantisert. Enkelte prøver viser svak orientering eller parallellitet av sprekker (Figur 29) men en umiddelbar visuell vurdering viser at mesteparten av prøver ikke har noen orientering av sprekkenes (se Vedlegg 2).



Figur 28. Utsnitt av gabbro dominert av intergranulære sprekker. Kombinert bilde av XPL og manipulert FL bilder. (Prøve 1836-504).



Figur 29. Kombinert bilde av XPL og manipulert FL bilder. Det kombinerte bilde viser tydelig at det er både åpne og lukkede mikrosprekker i denne prøven. De åpne mikrosprekker er blitt impregnert med fluoriserende epoksy og står her frem med den grønne fargen mens de lukkede sprekker ikke er blitt innfarget (Prøve 1859-502).

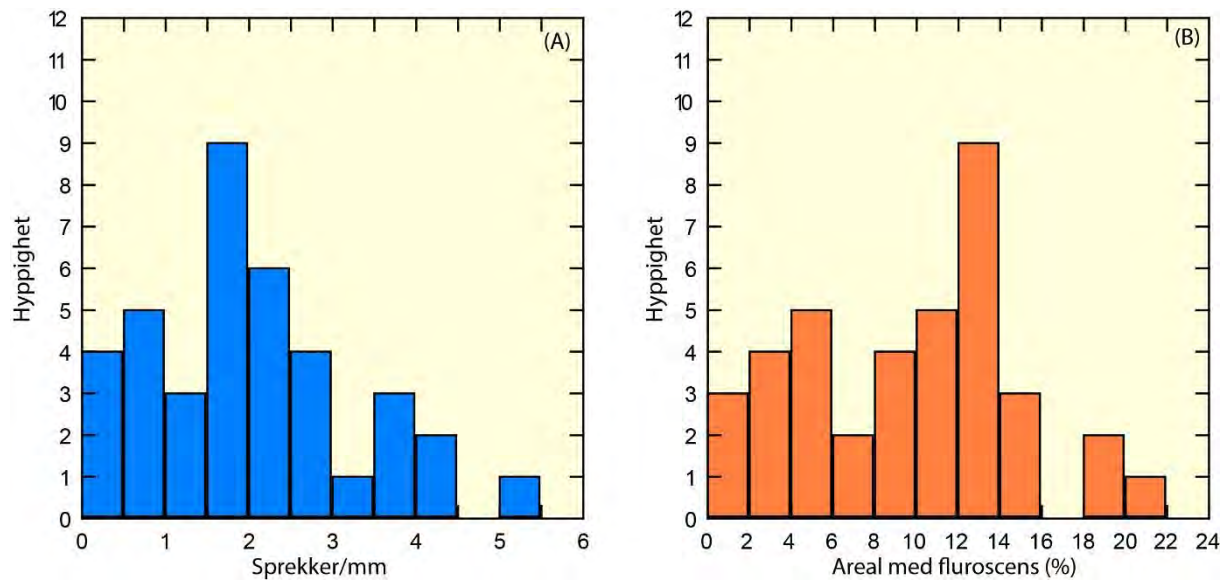


Figur 30. Eksempler på mikrosprekker med svak orientering (A) og parallellitet (B) Sort-hvit manipulerte FL-bildemosaikker. A: prøve 1837-505. B: Prøve 1854-510.

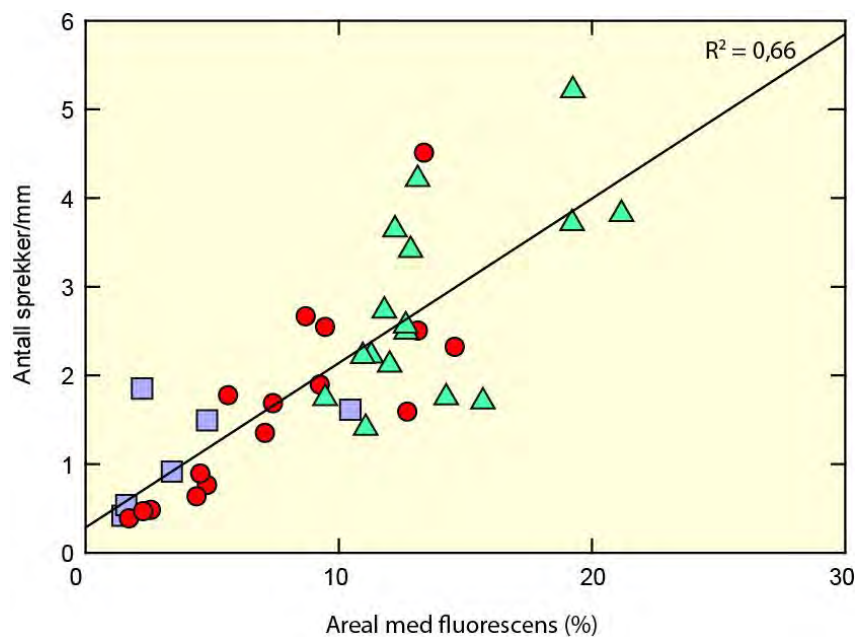
5.5 Kvantitative resultater for mikrosprekkeundersøkelsen

Som beskrevet i metodeavsnittet 3.5 er mengden av sprekker kvantifisert med to metoder, dels ved å bestemme arealet som inneholder fluorescens og dels ved sprekketelling. Resultatene for

den totale mengde sprekk er vist som histogrammer i Figur 31 og de to ulike metodene er plottet mot hverandre i Figur 32 og sammenfattet i Tabell 3.



Figur 31. Histogrammer over hyppighet av mikrosprekker i de undersøkte prøvene. A) Histogram som viser totale antall sprekker per mm bestemt ved manuell sprekketelling. B) Histogram som viser beregnet areal i prosent med fluorescens.



Figur 32. Kvantifisering av mikrosprekker med areal plottet mot sprekketetthet vurdert ved telling (angitt som sprekker per mm). Symboler: røde sirkler – basiske bergarter; blå firkanter – bergarter med intermediære sammensetninger; grønne trekanter – sure bergarter.

Tabell 3 Mikrosprekke resultater

Prøve nr.	Forekomst/ navn	Prøve- type	Bergart	FL%	Antall sprekker					Sprekkesetetthet (sprekker/mm)				sprekkertype %		
					Inter	Intra	Trans	Total	Makro	Inter	Intra	Trans	Total	Inter	Intra	Trans
1804-502	Storheia	DB	Gneisgranitt	19,2	482	154	14	650	1	3,87	1,23	0,11	5,21	74,2 %	23,7 %	2,2 %
1811-501	Sandviksætra	DB	Gabbro	4,8	11	69	14	94	0	0,09	0,55	0,11	0,75	11,7 %	73,4 %	14,9 %
1812-502	Teisdal?	DB	Gabbro	7,1	67	86	14	167	0	0,54	0,69	0,11	1,34	40,1 %	51,5 %	8,4 %
1813-502	Vanndalsvirken	DB	Granitt	13,2	170	119	22	311	2	1,36	0,95	0,18	2,49	54,7 %	38,3 %	7,1 %
1822-504	Leirfjord 3	DB	Granitt	14,6	91	171	26	288	0	0,73	1,37	0,21	2,31	31,6 %	59,4 %	9,0 %
1824-533	Vefsen Vest 1	DB	Gabbro	9,5	195	111	10	316	0	1,56	0,89	0,08	2,53	61,7 %	35,1 %	3,2 %
1827-505	Glein (Prøve 2)	DB	Gneisgranitt	11,3	114	69	94	277	1	0,91	0,55	0,75	2,22	41,2 %	24,9 %	33,9 %
1828-502	Tomma pv	DB	Gabbro	12,7	74	113	10	197	1	0,59	0,91	0,08	1,58	37,6 %	57,4 %	5,1 %
1833-505-1	Langvassheia	DB	Granodioritt	19,2	275	179	9	463	2	2,21	1,44	0,07	3,71	59,4 %	38,7 %	1,9 %
1836-502	Skivika	DB	Granitisk gneis	21,2	331	143	2	476	0	2,65	1,15	0,02	3,82	69,5 %	30,0 %	0,4 %
1836-504	Kalvika	DB	Granitt	12,7	115	101	6	222	0	1,29	1,13	0,07	2,49	51,8 %	45,5 %	2,7 %
1837-502	Åmnøyssundet	DB	Gneisgranitt	12,6	217	97	5	319	0	1,74	0,78	0,04	2,56	68,0 %	30,4 %	1,6 %
1837-510	Høgset/Reipå	DB	Granitt	12,0	165	95	4	264	0	1,32	0,76	0,03	2,12	62,5 %	36,0 %	1,5 %
1838-503	Gildeskål 5	DB	Granitt	14,2	54	99	27	180	0	0,52	0,96	0,26	1,75	30,0 %	55,0 %	15,0 %
1841-505	Hellarmo	DB	Gabbro	13,4	419	127	15	561	0	3,36	1,02	0,12	4,50	74,7 %	22,6 %	2,7 %
1849-501	Skutvik 1	DB	Monsonitt	1,5	18	25	9	52	0	0,14	0,20	0,07	0,42	34,6 %	48,1 %	17,3 %
1849-501_2	Skutvik 2	DB	Monsonitt	2,2	103	98	30	231	0	0,83	0,79	0,24	1,85	44,6 %	42,4 %	13,0 %
1851-513.1	Annfinnsletta pv	DB	Monzonitt	1,6	13	41	13	67	0	0,10	0,33	0,10	0,54	19,4 %	61,2 %	19,4 %
1851-513.2	Annfinnsletta pv	DB	Monzonitt	3,4	35	69	10	114	0	0,28	0,55	0,08	0,91	30,7 %	60,5 %	8,8 %
1851-514	Vestbygda	DB	Mangeritt	4,8	81	94	11	186	3	0,65	0,75	0,09	1,49	43,5 %	50,5 %	5,9 %
1854-510	Råna	DB	Noritt	7,4	65	114	30	209	3	0,52	0,91	0,24	1,68	31,1 %	54,5 %	14,4 %
1859-502	Flakstad 5	DB	anorthositt	4,4	4	58	16	78	5	0,03	0,47	0,13	0,63	5,1 %	74,4 %	20,5 %
1860-501	Nymark	DB	Gabbro	9,3	79	146	10	235	0	0,63	1,17	0,08	1,88	33,6 %	62,1 %	4,3 %
1860-528	Vian	DB	Gneisgranitt	13,1	370	135	20	525	0	2,97	1,08	0,16	4,21	70,5 %	25,7 %	3,8 %
1866-512	Brattåsen	DB	Mangeritt	10,5	65	74	62	201	0	0,52	0,59	0,50	1,61	32,3 %	36,8 %	30,8 %
1866-529	Slåttnes 2	DB	anorthositt	8,7	15	280	36	331	0	0,12	2,25	0,29	2,65	4,5 %	84,6 %	10,9 %
1866-533	Gjerstad	DB	Granitt	9,5	75	131	11	217	0	0,60	1,05	0,09	1,74	34,6 %	60,4 %	5,1 %
1867-514	Kobbervågen	DB	Gabbro	2,6	9	33	17	59	0	0,07	0,26	0,14	0,47	15,3 %	55,9 %	28,8 %
1871-530	Bleik gabbro	DB	Gabbro	4,6	4	42	64	110	0	0,03	0,34	0,51	0,88	3,6 %	38,2 %	58,2 %
2753-1	Lito	BK	gabbro	1,8	18	24	5	47	2	0,14	0,19	0,04	0,38	38,3 %	51,1 %	10,6 %
2753-2	Lito	BK	gabbro	2,3	14	41	2	57	0	0,11	0,33	0,02	0,46	24,6 %	71,9 %	3,5 %
2753-3	Lito	BK	gabbro	5,7	54	145	21	220	0	0,43	1,16	0,17	1,76	24,5 %	65,9 %	9,5 %
SK-1	Sjona	BK	Gneisgranitt	12,2	276	170	8	454	0	2,21	1,36	0,06	3,64	60,8 %	37,4 %	1,8 %
SK-2	Sjona	BK	Gneisgranitt	11,8	195	130	15	340	0	1,56	1,04	0,12	2,73	57,4 %	38,2 %	4,4 %
SK-3	Sjona	BK	Gneisgranitt	12,8	220	192	13	425	0	1,76	1,54	0,10	3,41	51,8 %	45,2 %	3,1 %
1431-1	Lito	BK	Porfyrisk granit	10,9	94	130	23	247	0	0,84	1,16	0,21	2,21	38,1 %	52,6 %	9,3 %
1431-2	Lito	BK	Porfyrisk granit	15,7	71	107	6	184	0	0,66	0,99	0,06	1,70	38,6 %	58,2 %	3,3 %
1431-3	Lito	BK	Porfyrisk granit	11,1	67	57	2	126	0	1,07	0,64	0,02	1,40	53,2 %	45,2 %	1,6 %

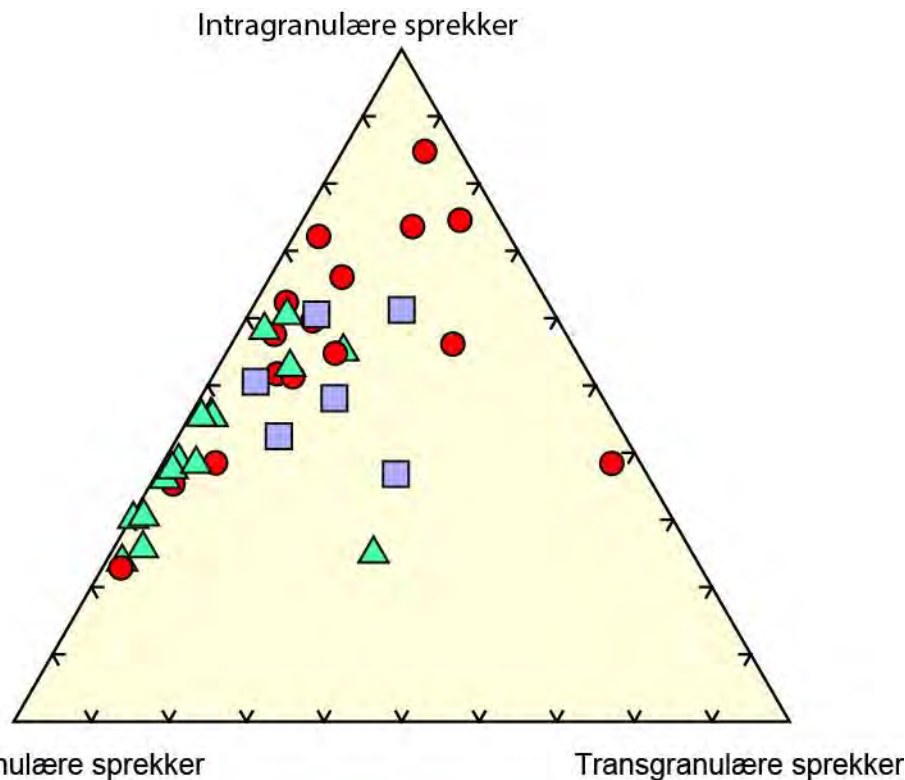
Forkortelser: BK - borekjerne; DB - database (prøve fra NGUs grus- og pukk-database); Inter - intergranulær sprekker; Intra - intragranulære sprekker; trans - transgranulære sprekker; makro - makrosprekker.
FL % - areal med fluorescens.

Hyppigheten i sprekke mengder varierer sterk fra 0,4 til 5,2 sprekker/mm med fleste prøver har 0-3 sprekker/mm (Figur 31A). Arealet med fluorescens er 1,5-21,2 % med et gjennomsnitt på 9,6 % med største hyppighet i intervallet mellom 12-14 % (Figur 31B). Spekkearealet vurderes å være noe overvurdert og avspeiler ikke den reelle porøsitet i prøven. Typisk porøsitet for bergarter er 0-2 % (Sousa et al., 2005) og det forventes å være i samme størrelsesorden her og det absolutte tallet for arealet er derfor ikke representativt for sprekkearealet eller porøsiteten i prøvene. Årsaken til dette er at et større areal opplyses (utsender luminescens) enn volumet som sprekke representerer. Dette skyldes dels snitteffekt som ofte forekommer, hvis sprekke ikke er orientert helt vinkelrett på tynnslipet. Dessuten gjør metoden med markering av sprekke at de står tydelig fram slik at arealet blir overrepresentert.

Der er relativ god korrelasjon mellom de to metodene for bestemmelse av sprekke mengden (Figur 32) men imidlertid noen variasjon ($R^2 = 0,66$) og en del usikkerhet knyttet til verdier ved begge metoder som har forskjellige styrker. Fordelen med arealmetoden er at den er automatisert, objektiv og ikke tidskrevende. Til gjengjeld vil andre fluorescensfenomener enn mikrosprekker også bli registret (Figur 25). Bildebehandlingen med *ImageJ* tar i noen grad høyde for dette ved til dels å filtrere støy og hulrom bort men langt fra alle effekter fjernes med denne metoden. Tellemetoden er tidskrevende og påvirket av observatørens erfaring og skjønn. Ved impregnering av tynnslip blir både korngrenser, sprekke og riss impregnert. Det finnes ingen klare kriterier for å skille mellom disse ulike typer av impregnerte partier og det kan derfor påvirkes av subjektivt skjønn. Muligvis vil et bedre resultat oppnås ved bruk av digitalbehandling. Det er under prosjektet blitt eksperimentert med å kvantifisere antall sprekke digitalt, men det er knyttet for stor feil med denne metoden. Selv om det er usikkerhet knyttet til begge kvantifiseringsprosedyrene, vurderes det at den manuelle tellingen er mest riktig for sprekke mengden og brukes derfor til den videre analysen.

Tettheten av sprekke varierer med bergartstypen (Figur 32) og er høyest i de sure (kvartsrrike) bergarter som alle har $1 >$ sprekke/mm og generelt lavere i de to andre bergartsgruppene.

Den relative mengden av sprekke typer varierer en del (Figur 33). Det er stor variasjon fra prøve til prøve og alle tre sprekke typer er funnet i alle prøver, men ofte med en type som dominerer over de andre (Tabell 3). Overordnet sett er transgranulær klart den minst hyppige sprekke typen og intragranulær den dominerende typen. Dette svarer fint overens med studiet av Sousa et al. (2005) som undersøkte portugisiske granitter og fant at intragranulære sprekke var den hyppigste typen. Imidlertid skiller denne undersøkelse seg fra resultatene av Sousa et al. (2005) ved at intergranulære sprekke utgjør mer enn 50 % for mange granitter og andre sure bergarter, mens mesteparten av gabbro og anortositter (basiske bergarter) er dominert av intra- og transgranulære sprekke (Figur 33). Prøver med mange sprekke har en stor mengde intergranulære sprekke, færre men varierende antall intragranulære sprekke og få transgranulære sprekke (Figur 34).



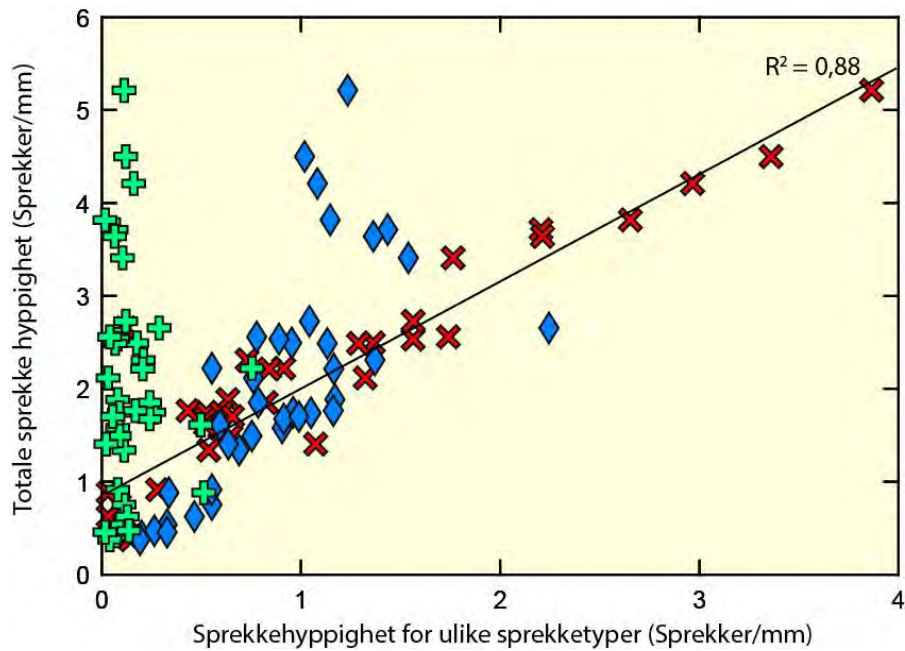
Figur 33 Trekantdiagram som viser fordeling av de tre sprekketypene registrert i prøvesettet. Symboler: røde sirkler er basiske bergarter; blå firkanter er bergarter med intermediære sammensetninger; grønne trekkanter er sure bergarter.

Figur 35-38 viser den totale sprekketettheten mot forskjellige mekaniske egenskaper. Som det fremgår av Vedlegg 1 er det kun foretatt micro-Deval analyser på få av prøvene og derfor er det her ikke vist diagram for denne undersøkelsesmetoden.

Mengden av mikrosprekker korrelerer positivt med Los Angeles- og abrasjonsverdien (Figur 35 og 36) mens det ikke sees noen korrelasjon mellom mølleverdi (Figur 37) og plott mot Statens vegvesens krav til tilslag for anvendelse i vegdekke avhengig av gjennomsnittlig årstdøgntrafikk (ÅDT) vist i Figur 38. For ÅDT plottet er det imidlertid en tendens til bedre kvalitet med færre sprekker.

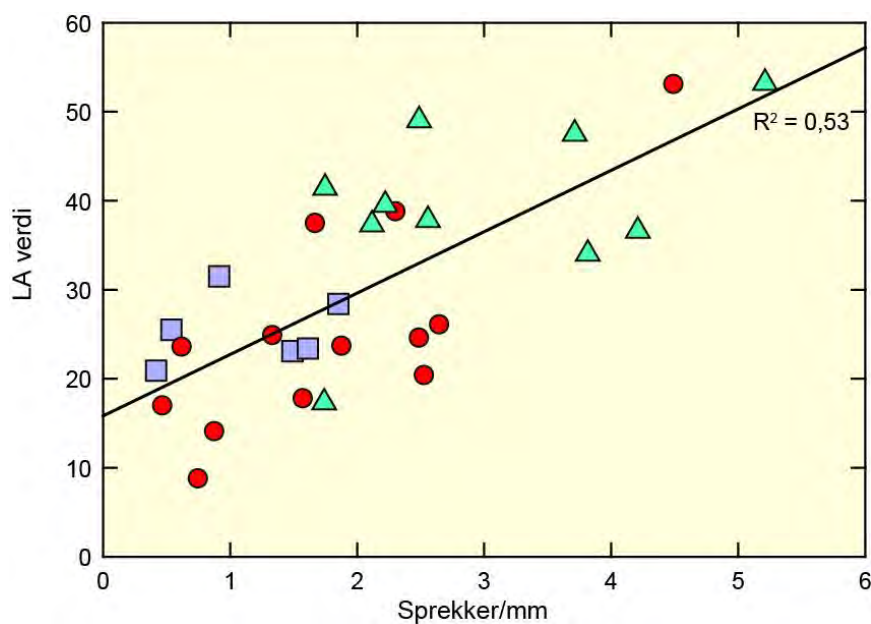
Resultatene tyder på at mikrosprekker først og fremst påvirker de knusetekniske egenskapene og ikke har noen innvirkning på slitasjeeenskapen gitt ved kulemøllemetoden. Det bør imidlertid også bemerkes at korrelasjonsfaktoren for Los Angeles analyse er relativ lav ($R^2 = 0,56$) hvilket indiker at mikrosprekker ikke alene kan foreklare variasjonen i Los Angeles-verdiene.

Der er relativ få analyser ($n = 17$) som er undersøkt med abrasjonsmetoden som er en eldre analysemetode for undersøkelse av slitasje som ikke benyttes lenger. Det bemerkes at to felsiske prøver har veldig dårlige abrasjonsegenskaper (abrasjonsverdi >1) og er de prøvene med klart fleste sprekker. Muligens er det en terskelverdi hvor stor sprekkehyppighet markant påvirker abrasjonsverdien. Ytterligere undersøkelser av flere prøver som er undersøkt med metoden er nødvendig for å undersøke dette og for generelt å klarlegge om det er god korrelasjon mellom abrasjonsverdien og opptreden av mikrosprekker.



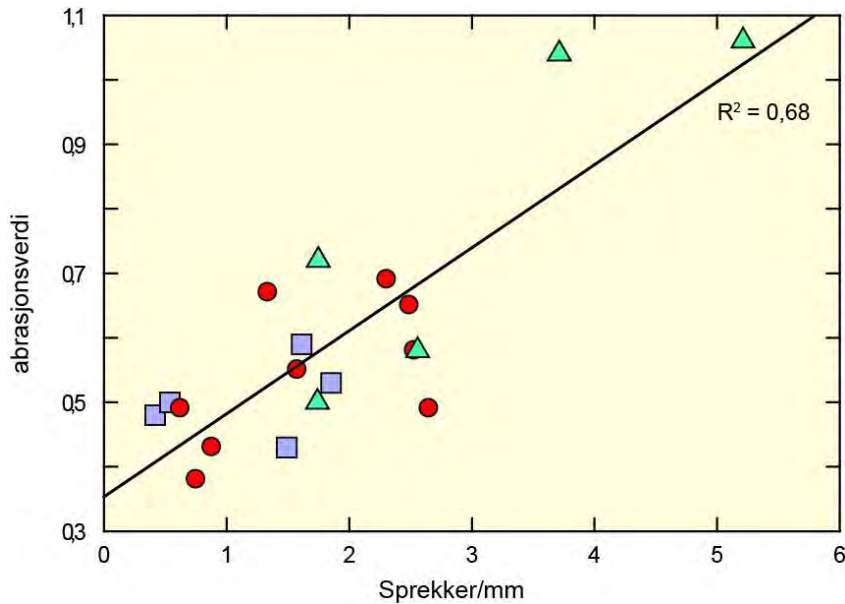
Figur 34. Sprekketypet hyppighet for ulike sprekketyper mot den totale sprekketypet hyppigheten. Røde symboler – intergranulære sprekker; blå symboler – intragranulære sprekker; Grønne symboler – transgranulære sprekker. Regressionslinjen er tegnet for intergranulære sprekker (røde kryss).

Det er også foretatt analyse for de ulike sprekketypene mot mekaniske egenskaper for å undersøke om sprekketyper påvirker mekaniske egenskaper i særlig grad, men det er ikke funnet noen korrelasjon mellom henholdsvis intergranulære, intragranulære og transgranulære sprekker og mekaniske egenskaper (ikke plottet i rapporten).

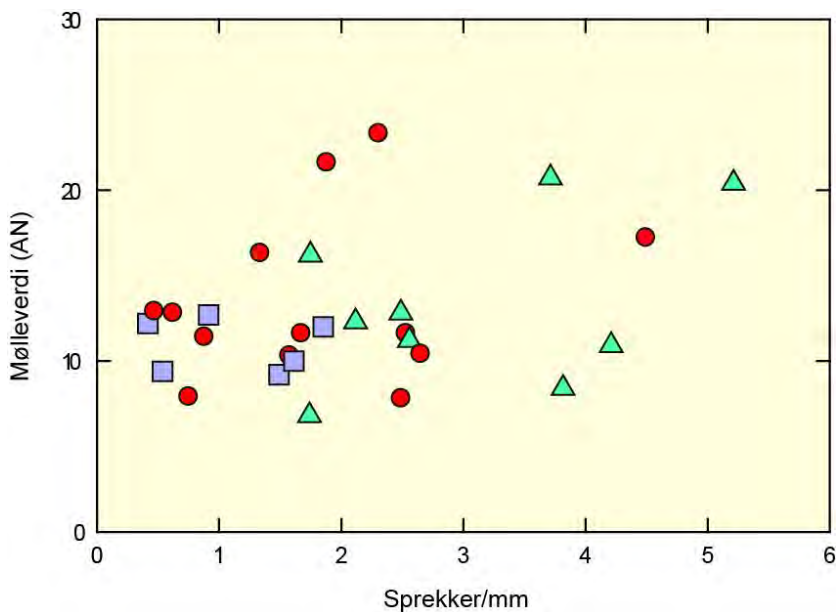


Figur 35. Sprekkemengde mot Los Angeles verdi. For enkelte prøver hvor det ikke er foretatt Los Angeles test er det beregnet en verdi utfra S2-verdien. Symboler: røde sirkler er basiske bergarter; blå firkanter er bergarter med intermediære sammensetninger; grønne trekant er sure bergarter.

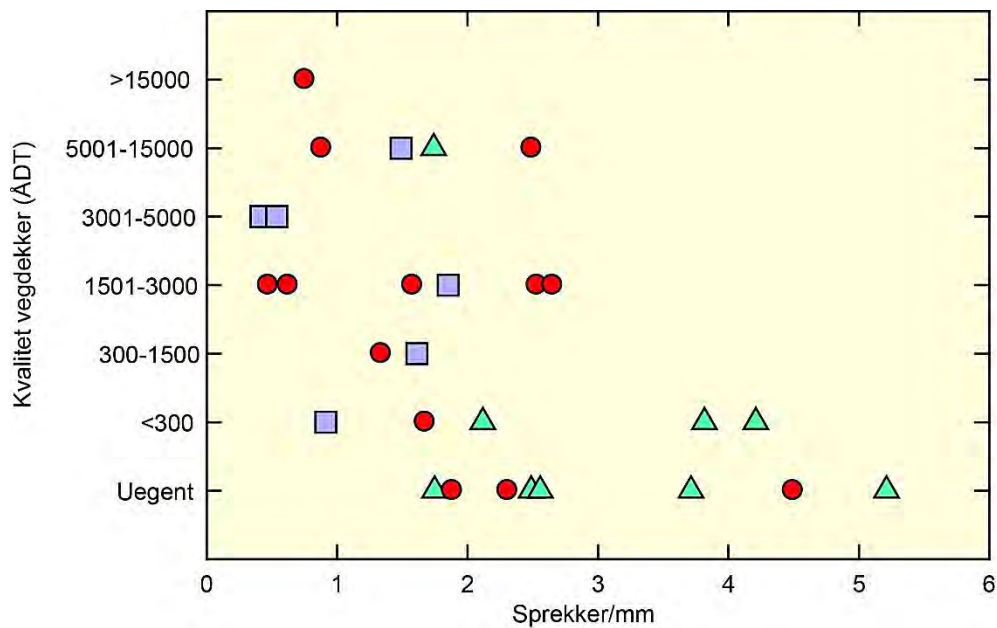
Overordnet sett viser analysen at de mekaniske egenskaper kun til dels er styrt av mengden av mikrosprekker for de undersøkte testmetodene og det må antas at andre teksturelle forhold samt mineralogi har en meget viktig rolle på de materialtekniske egenskapene.



Figur 36. Sprekkehyppighet mot abrasjonsverdi. Symboler: røde sirkler – basiske bergarter; blå firkanter – bergarter med intermedieære sammensetninger; grønne trekantar – sure bergarter.



Figur 37 Sprekkehyppighet mot mølleverdi. Symboler: røde sirkler – basiske bergarter; blå firkanter – bergarter med intermedieære sammensetninger; grønne trekantar – sure bergarter.



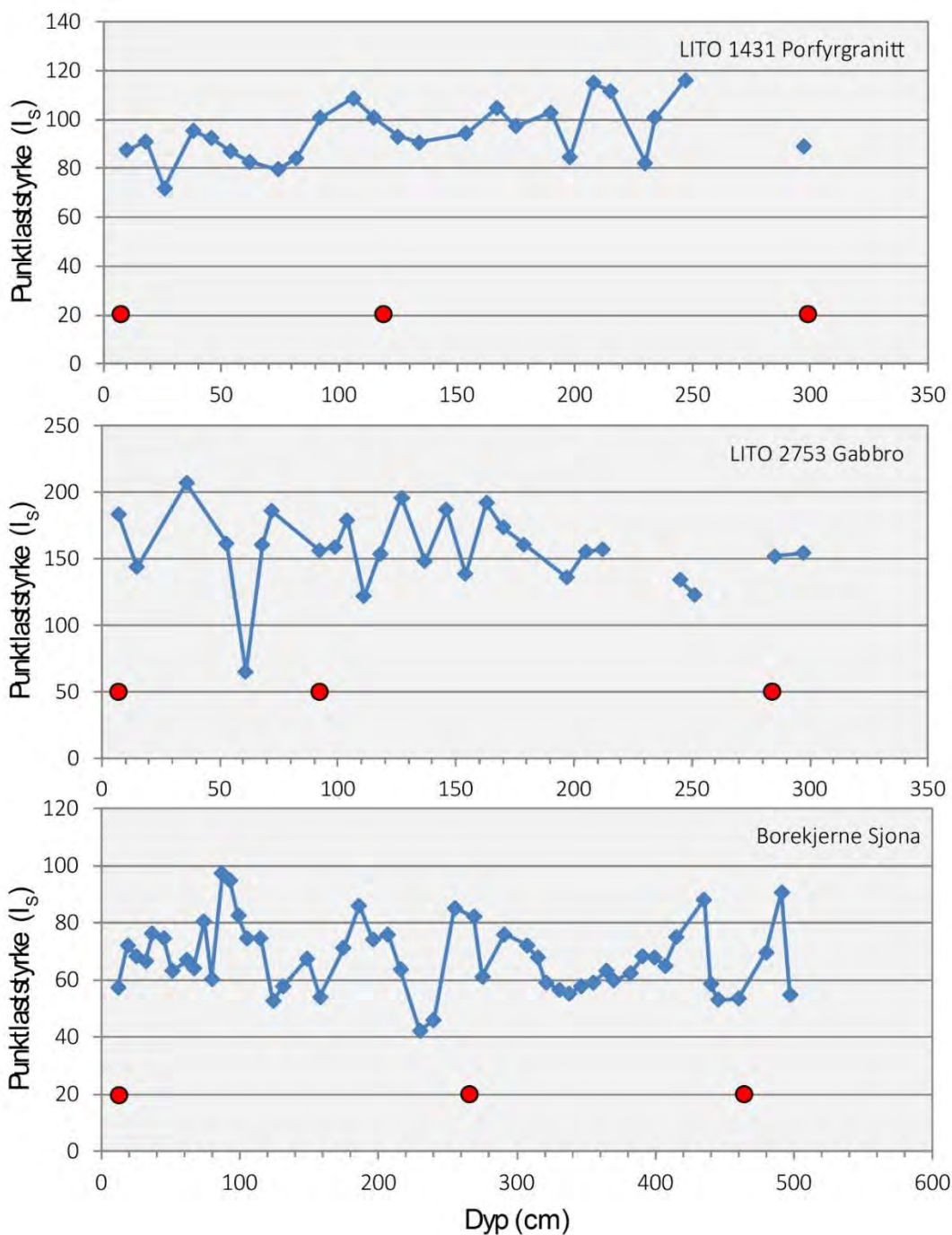
Figur 38. Sprekkeantall mot Trafikkgruppe i forhold til ÅDT. Symboler: røde sirkler – basiske bergarter; blå firkanter – bergarter med intermediaære sammensetninger; grønne trekanter – sure bergarter.

5.6 Undersøkelse av variasjon av mikrosprekker med dypet

En tidligere studie av Erichsen og Broekmans (1999) har vist at mikrosprekker særlig er et overflatefenomen i dagfjellsonen og avtar med dypet og ikke er et problem ved bare et par meters dyp. Variasjonen av sprekker mot dypet er ytterligere undersøkt her for 3 boreprøver. To borekjerne på 3 meters lengde av henholdsvis gabbro og granitt (Lito-2753 og Lito-1431). I tillegg er en tredje kjerne (Sjona) på mer enn 5 meter undersøkt da det ble vurdert at 3 meter lange kjerner muligvis er for korte. Bilder og logg av kjernene finnes i Vedlegg 3 og 4. For hver borekjerne er det tatt tre prøver for impregnerte tynnslip for undersøkelse av mikrosprekker med fluorescens i topp, midten og bunnen av kjernene.

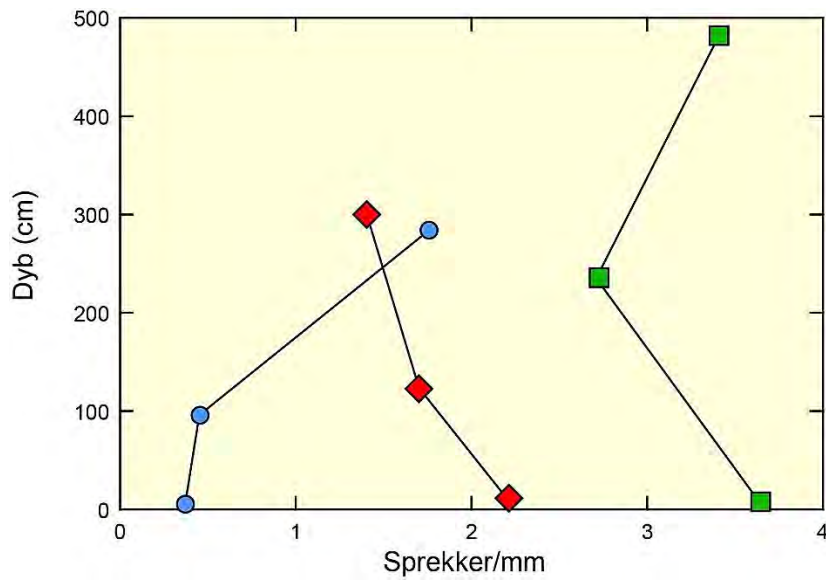
Resultatene av punktlasttest finnes i Vedlegg 3 og er vist i Figur 39 hvorav det også fremgår ved hvilken dybde det er tatt prøver for mikrosprekkeundersøkelse. Det er stor forskjell i styrken av bergarten uttrykt ved punktlaststyrken og ikke noen tydelig systematikk for punktlaststyrken mot dypet om enn en svak tendens til økende styrke kan observeres for porfyrgranitt, Lito-borekjerne 1431 (Figur 39). Erichsen og Broekmans (1999) registrerte for begge borekjernene de undersøkte, en økende trend i punktlaststyrken mot dypet, dette er ikke bekreftet for gabbro og den granittiske gneisen testet her.

Kun i borekjernen med porfyrgranitt sees det at mengden av sprekker reduseres fra topp til bunn. For de to andre prøvene er det derimot høyest sprekkehyppighet i den nederste prøven (Figur 40), hvilket er motsatt hva som var forventet. Mikroskopering viser imidlertid at det er relativ stor petrografisk forskjell mellom noen av prøvene for disse to kjerner (Se bilder i Vedlegg 2). For eksempel er prøve Lito-2753-3 fra et område som er ganske omvandlet sammenlignet med de to andre prøvene fra borekjernen. Dette gjør at mengden av mikrosprekker ikke kan relateres til dybde, men snarere reflekterer mineralogiske og teksturelle forskjeller mellom prøvene i kjerne Lito-2753 og Sjona borekjernene.

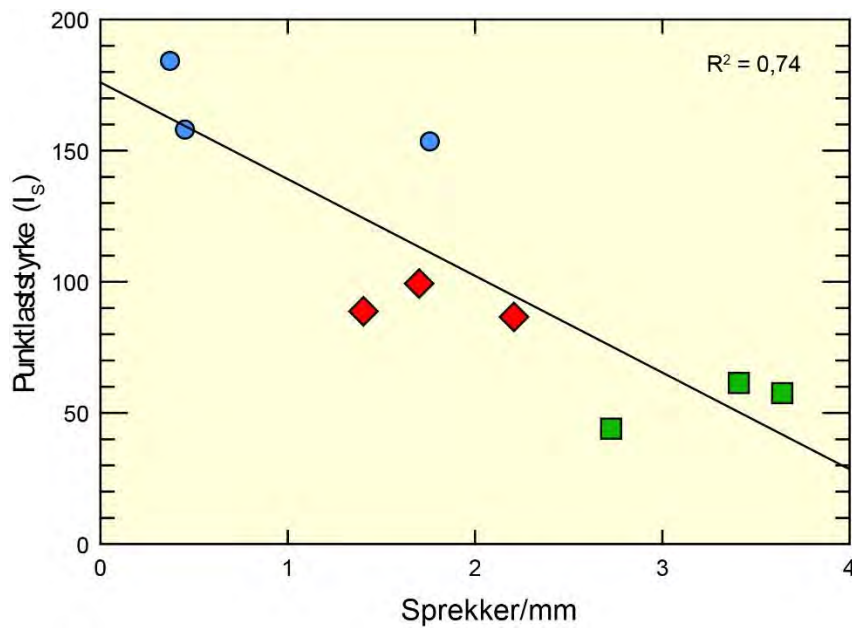


Figur 39. Punktlasttest for de undersøkte borekjerne (blå kurver). Røde sirkler indikerer dybder hvor der er tatt prøve til FL-tynnslip.

De undersøkte borekjernene viser god korrelasjon mellom punktlaststyrke og tettheten av mikrosprekker (Figur 41). Det er ikke undersøkt hvorvidt andre petrografiske forhold kan forklare variasjonen i bergartenes styrke, men tilsynelatende har sprekketettheten en stor innflytelse på punktlasttesten og er muligvis den testmetoden anvendt i dette studiet, som påvirkes sterkest av mikrosprekker.



Figur 40 Sprekkesetettheten mot dybde for de tre undersøkte borekjernene. Symboler: Grønne firkanter – Granittisk gneis Sjona borekjerne; Røde firkanter – porfyrgranitt Lito-1431; blå sirkler – Gabbro Lito-2753.



Figur 41. Sprekkesetetthet mot punktlaststyrke for de tre undersøkte borekjernene. Symboler: Grønne firkanter – Granittisk gneis Sjona borekjerne; Røde firkanter – porfyrgranitt Lito-1431; blå sirkler – Gabbro Lito-2753)

6. KONKLUSJON

Dette prosjekt er tenkt som et første steg mott NGUs ønske om utarbeiding av prognosekart over bergartskvaliteten for anvendelse som byggeråstoff. Slike kart vil være viktige i planlegging for optimal utnyttelse av georessurser både i sterkt urbaniserte områder, men også i mer tynt befolkede områder hvor større infrastrukturbygging eller eksport av byggeråstoffer kan bli aktuelt.

Undersøkelsen har kartlagt variasjonen i bergartskvalitet i Nordland i forhold til de materialtekniske egenskapene for anvendelse av pukk som byggeråstoff. Alle areal og arealavgrensinger i kartene er basert på NGUs harmoniserte geologiske berggrunnskart i målestokk 1:250 000 koblet mot prøver fra NGUs database for mekaniske egenskaper. Dette er en første utgave av kartene som ønskes oppdatert med ytterligere data i fremtiden og de viser kun generelle hovedtrekk med hensyn til variasjon i de materialtekniske egenskapene. Det er derfor knyttet stor usikkerhet til kartene på detaljert nivå.

Kartene over bergartskvalitet for Los Angeles og kulemølleverdi samt prognosekart for bergartskvalitet for pukk (Figur 16, 18 og 21) viser overveiende lave verdier/kvalitet for fylket. Særlig de midtre delene av fylket er utfordret med kun moderat kvalitet, mens kvaliteten er bedre i de nordlige og sørlige delene. Dette avspeiler den geologiske variasjonen med kaledonske skyvedekker i det sentrale Nordland, mens mekanisk sterkere prekambrisk grunnfjell dominerer mod nord-vest i Lofoten-Vesterålen og kaledonske intrusjoner sørlig i fylket. Samtidig viser Figur 19 at det ikke er store utfordring med å finne pukk av rimelig kvalitet for lokal bruk til vegbygning i Nordland, som er det største forbruksområde. Dette skyldes den relative lave trafikkbelastningen i fylket.

Der er stor variasjon i kvaliteten av bergarter, men generelt viser bergarter som dioritt, gabbro og enkelte granitter best kvalitet, mens glimmerrike, deformerte og karbonatholdige bergarter ofte har den dårligste kvaliteten.

Undersøkelser for mikrosprekker viser stor variasjon i type og hyppighet av sprekker. Mikrosprekker er særlig hyppige i sure (kvartsrike) bergarter og domineres av intragranulær og til dels intergranulære sprekker, mens transgranulære sprekker er mindre hyppige i de undersøkte bergartstypene. Det er observert korrelasjon mellom sprekketetthet og styrkeparameterer som Los Angeles og punktlaststyrke, men dog med en del spredning i dataene. Det antas derfor at andre teksturforhold og mineralogi også spiller en viktig rolle for den mekaniske styrke av de undersøkte prøvene.

Der er behov for ytterligere studier for videre å avklare betydning av mikrosprekker for mekaniske egenskaper. Særlig er det interessant å undersøke meget sterke bergarter og studere hvorvidt disse inneholder mikrosprekker. Disse prøvene er underrepresentert i dette studiet da de stort sett ikke forekommer i Nordland.

7. REFERANSER

- Anders, M.H., Laubach, S.E. and Scholz, C.H. (2014). Microfractures: A review. *Journal of Structural Geology*, 377-394.
- Basu, A., Celestino, T.B. and Bortolucci, A.A. (2009). Evaluation of rock mechanical behaviours under uniaxial compression with reference to assessed weathering grades. *Rock Mech. Rock. Eng.* 42, 73–93.
- Brattli, B. (1991). Geologiske parametrers betydning for steinmaterialers styrkeegenskaper, Universitetet i Trondheim Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, 260 pp.
- Broch, E. (1971). Point load testing of rocks. Institutt for Bergteknikk og Geologi, NTH Trondheim. *Ingeniørgeologi rapport 4*, pp. 87.
- Broekmans, M.A.T.M. (2012). Deleterious reactions of aggregate with alkalis in concrete. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 74, 279-364.
- Chen, Y., Watanabe, K., Kusuda, H., Kusaka, E. and Mabuchi, M. (2011). Crack growth in Westerly granite during a cyclic loading test. *Eng. Geol.*, 117: 189-197.
- DMF (2018). Harde fakta om mineralnæringen - Mineralstatistikk 2017. Direktoratet for mineralforvaltning, pp 60.
- Dunn D.E., Fountain L.L.J. and Jackson R.E. (1973). Porosity dependence and mechanisms of brittle fracture in sandstones. *Journal of Geophysical Research* 78, 2403-2417.
- Edelbro, C. (2003). Rock Mass Strength - A review, Technical Report. Luleå University of Technology, 160 pp.
- Erichsen, E. (2012). En vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer til vegformål. NGU rapport 2012.011. ISSN 0800-3416, 34 pp.
- Erichsen, E. and Broekmans, M. (1999). Påvirkninger av mekaniske egenskaper ved prøvetakning i dagfjellsonen, NGU fagrapport 99.060, 33 pp.
- Hadley, K. (1976). Comparison of calculated and observed crack densities and seismic velocities of Westerly granite *Journal of Geophysical Research* 81, 3485-3494.
- Kowallis, B.J., Wang, H.F., (1983). Microcrack study of granitic cores from Illinois deep borehole UPH-3. *Journal of Geophysical Research* 88, 7373– 7380.
- Kranz, R.L. (1983). Microcracks in rocks: A review. *Tectonophysics*, 100, 449-480.
- Kudo Y., Hashimoto, K, Sano O, Nakagawa, K. (1985). Relation between physical anisotropy and microstructure of granite. *Proceedings of Japan Society of Civil Engineers* 370, 189-198.
- Lee, M.R., Hodson, M.E. and Parsons, I. (1998). The role of intragranular microtextures and microstructures in chemical and mechanical weathering: Direct comparisons of experimentally and naturally weathered alkali feldspars. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 62, 2771-2788.

- Lindqvist, J.-E., Åkesson, U. and Malaga, K. (2007). Microstructure and functional properties of rock materials. *Materials Characterization*, 58, 1183-1188.
- Liu, H., Kou, S., Lindqvist, P.-A., Lindqvist, J.E. and Åkesson, U. (2005). Microscope rock texture characterization and simulation of rock aggregate properties, SGU report, 94 pp.
- Nishiyama, T. and Kusuda, H. (1996). Application of a fluorescent technique to the study of the weathering process. *Engineering Geology* 43, 247-253.
- NGU (2016). Radon fra puk. Grenseverdier og prøvetakning. Norges geologiske undersøkelse, pp. 6.
- Nålsund, R. (2014). Railway ballast characteristics, selection criterion and performance. Ph.D. thesis Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, pp
- Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., Ohnenstetter (Eds.), (2000). *Cathodoluminescence in Geosciences*. Springer-Verlag, New York.
- Přikryl, R. (2001). Some microstructural aspects of strength variation in rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 38, 671-682.
- Räisänen, M. (2004). Relationships between texture and mechanical properties of hybrid rocks from the Jaala–Iitti complex, southeastern Finland. *Engineering Geology* 74, 197-211.
- Rigopoulos, I., Tsikouras, B., Pomonis, P., Hatzipanagiotou, K. (2014). Correlations between petrographic and geometrical properties of ophiolitic aggregates from Greece. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 73, 1–12.
- Sajid, M., Coggan, J., Arif, M., Andersen, J. and Rollinson, G. (2016). Petrographic features as an effective indicator for the variation in strength of granites. *Engineering Geology* 202, 44-54.
- Sanchez, L.F.M., Fournier, B., and Duchesne, J. (2015). Reliable quantification of AAR damage through assessment of the Damage Rating Index (DRI). *Cement and Concrete Research* 67, 74-92.
- Schedl A., Kronenberg A.K. and Tullis, J. (1986). Deformation microstructures of Barre granite: an optical SEM and TEM study. *Tectonophysics*, 122, 149-164.
- Scott T.E. and Nielsen K.C. (1991). The effects of porosity on the brittle-ductile transition in sandstones. *Journal of Geophysical Research* 96, 405-414
- Shea, W.T. and Kronenberg, A.K. (1993). Strength and anisotropy of foliated rocks with varied mica contents. *Journal of Structural Geology* 15, 1097-1121.
- Solli, A. (1999). Bergartskart over Nordland. Norges geologiske undersøkelse.
- Sousa, L.M.O. (2013). The influence of the characteristics of quartz and mineral deterioration on the strength of granitic dimensional stones. *Environmental Earth Sciences* 69, 1333-1346.

Sousa, L.M.O., del Rio, L.M.S., Calleja, L., de Argandona, V.G.R. and Rey, A.R. (2005). Influence of microfractures and porosity on the physico-mechanical properties and weathering of ornamental granites. *Engineering Geology* 77, 153-168.

Statens strålevern (2015). Radon fra tilkjørte masser under bygg - anbefalt grenseverdi. pp. 2, ISSN: 1891-5191.

Statens vegvesen (2014). Vegbygging. Håndbok N200, pp. 524, ISBN: 978-82-7207-672-5

Statens vegvesen (2018). Vegbygging Håndbok N200, pp 308. ISBN: 978-82-7207-723-4,

Tentler, T. and Amcoff, Ö. (2010). Interaction of microfractures: The mechanism of network building. *Tectonophysics*, 485: 215-230.

Tuğrul, A. and Zarif, I.H. (1999). Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology* 51, 303-317.

Vernik L, Nur A. (1992). Petrophysical classification of siliciclastics for lithology and porosity prediction from seismic velocity. *Am Assoc Pet Geol Bull* 9: 1295-1309.

Watson, R. J., Erichsen, E., Finne, T. E., Ganerød, G. V., Neeb, P.-R., Rønning, J. S. og Tangstad, R. (2013). Radontrygge byggeråstoffer. Vurdering av kartleggingsmetoder og fastsettelse av grenseverdier for pukkbegarter. 2013.031, N. r. 85 pp.

Watson, R.J, Erichsen, E. Finne, T. E., & Ganerød, G. V. (2015). Radon from building materials. *Mineralproduksjon* 6, B7-B13.

Willard R.J. and McWilliams J.R. (1969). Microstructural techniques in the study of physical properties of rocks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 6, 1-12.

Åkesson, U., Hansson, J. and Stigh, J. (2004). Characterisation of microcracks in the Bohus granite, western Sweden, caused by uniaxial cyclic loading. *Engineering Geology* 72, 131-142.

Åkesson, U., Stigh, J., Lindqvist, J.E. and Göransson, M. (2003). The influence of foliation on the fragility of granitic rocks, image analysis and quantitative microscopy. *Engineering Geology* 68, 275-288.

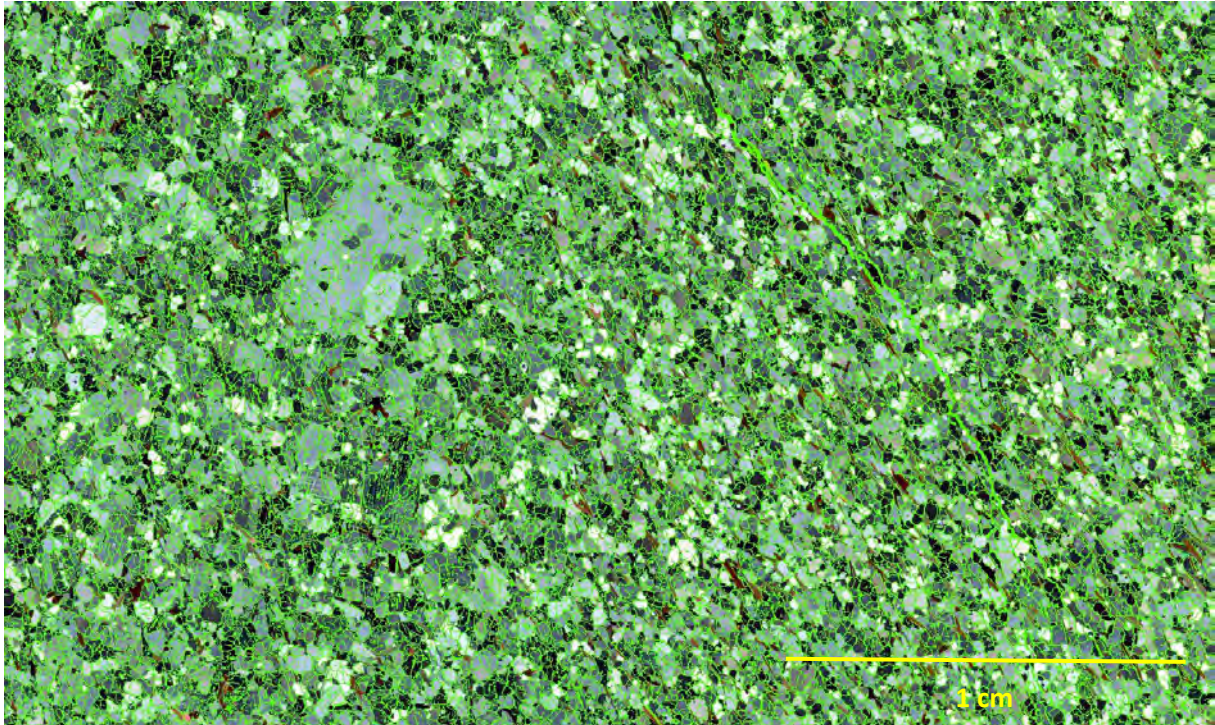
Vedlegg 1. Prøveliste for mikrosprekke-undersøkelse

Forekomst/ prøve nr	Forekomst/navn	Lab. Nr.	dyp cm	Prøve- Type	Bergart	Koordinater			Mekaniske egenskaper							Kvalitet ift vegdekker				
						UTMS	UTMX	UTMY	S ₈	S ₂	Abr	A _N	LA	PSV	M _{DE}	I _s	gamle krav (ÅDT)	nye krav (ÅDT)		
1804-502	Storheia	200003		DB	Gneisgranitt	32	754643	7476196	64,8	22,8	1,06	20,4							Uegnet	
1811-501	Sandviksætra	200008		DB	Gabbro	32	652559	7218986	28,5	3,5	0,38	7,9							> 15000	
1812-502	Teisdal?	960047		DB	Gabbro	32	657695	7251524	44,2	10,6	0,67	16,3	24,8	52					< 300	301-1500
1813-502	Vanndalsvirken	1813702		DB	Granitt	32	659744	7264781	45,5	9,8	0,65	7,8	24,5	55					301-1500	5001-15000
1822-504	Leirfjord 3	960076		DB	porfyrgranitt	32	679261	7340553	58,8	14,7	0,69	23,3	38,7						Uegnet	Uegnet
1824-533	Vefsen Vest 1	990012		DB	Gabbro	32	689849	7315260	39,8	7,7	0,58	11,6	20,3	48					301-1500	1501-3000
1827-505	Glein (Prøve 4)	2011011		DB	gneisgranitt	32	662958	7341402				7,1	19,3		3,8					5001-15000
1828-502	Tomma pv	990081		DB	Gabbro	32	673370	7351296	35,7	6,6	0,55	10,3	17,7	52					1501-3000	1501-3000
1833-505.1	Langvassheia	990017		DB	trondhjemit	32	735854	7370838	68,1	22,9	1,04	20,7							Uegnet	
1836-502	Skivika	2003179		DB	Granitt	32	690766	7378342				8,4	34,0							< 300
1836-504	Kalvvika	2003178		DB	Granitt	32	695116	7379310				12,8	49,0							Uegnet
1837-502	Åmnøysundet	200006		DB	gneisgranitt	32	695531	7413593	58,3	14,4	0,58	11,2							Uegnet	
1837-510	Høgset/Reipå	2011085		DB	gneisgranitt	32	703607	7427802				12,3	37,3		7,1					< 300
1838-503	Gildeskål 5	960049		DB	Granitt	32	726668	7439953	60,2	18,0	0,72	16,2	41,4						Uegnet	Uegnet
1841-505	Hellarmo	2015050		DB	Gabbro	32	797585	7466833				17,2	53		16					Uegnet
1849-501	Skutvik 1	990092		DB	monzonitt	32	762718	7559480	36,0	6,8	0,48	12,2	20,9						3001-5000	1501-3000
1849-501.2	Skutvik 2	990093		DB	monzonitt	32	762641	7559246	45,2	10,7	0,53	12,0	28,4						301-1500	1501-3000
1851-513.1	Annfinnslett pv	990077		DB	mangeritt	32	764496	7594854	44,4	9,9	0,50	9,4	25,5	52					1501-3000	3001-5000
1851-513.2	Annfinnsletta pv	2011061		DB	monzonitt	32	764496	7594854				12,7	31,5	50	7,5					< 300
1851-514	Vestbygda	990078		DB	mangeritt	32	768020	7594435	41,4	8,9	0,43	9,2	23,1	49					3001-5000	5001-15000
1854-510	Råna	2002078		DB	noritt	32	826860	7601146				11,6	37,4	54						< 300
1859-502	Flakstad 5	960043		DB	anorthositt	32	681265	7553503	44,6	10,4	0,49	12,8	23,5	53					1501-3000	1501-3000
1860-501	Nymark	2011053		DB	Gabbro	32	696267	7573574				21,6	23,6		17					Uegnet
1860-528	Vian	2011055		DB	gneisgranitt	32	692049	7570274				10,9	36,6		6,1					< 300
1866-512	Brattåsen	200000		DB	mangeritt	32	743755	7616342	43,6	10,4	0,59	10,0							301-1500	
1866-529	Slåttnes 2	990075		DB	anorthositt	32	742414	7629201	40,6	9,3	0,49	10,4	26,0	45					1501-3000	1501-3000
1866-533	Gjerstad	990072		DB	Granitt	32	751063	7625181	37,5	7,1	0,50	6,8	17,3	47					1501-3000	5001-15000
1867-514	Kobbervågen	2011042		DB	Gabbro	32	723716	7635516				12,9	16,9	49	9,3					1501-3000
1871-530	Bleik gabbro	872069		DB	Gabbro	32	774656	7699579	32,6	7,4	0,43								5001-15000	
SK-1	Sjona kjerne		7	BK	granittisk gneis	32	693434	7362511									57,6			
SK-2	Sjona kjerne		235	BK	granittisk gneis	32	693434	7362511									44,0			
SK-3	Sjona kjerne		482	BK	granittisk gneis	32	693434	7362511									61,4			
2753-1	Lito		5	BK	gabbro	32	689405	7314381									183,8			
2753-2	Lito		95	BK	gabbro	32	689405	7314381									157,6			
2753-3	Lito		283	BK	gabbro	32	689405	7314381									153,1			
1431-1	Lito		8	BK	porfyrgranitt	32	660207	7294417									87,4			
1431-2	Lito		120	BK	porfyrgranitt	32	660207	7294417									98,0			
1431-3	Lito		299	BK	porfyrgranitt	32	660207	7294417									89,1			

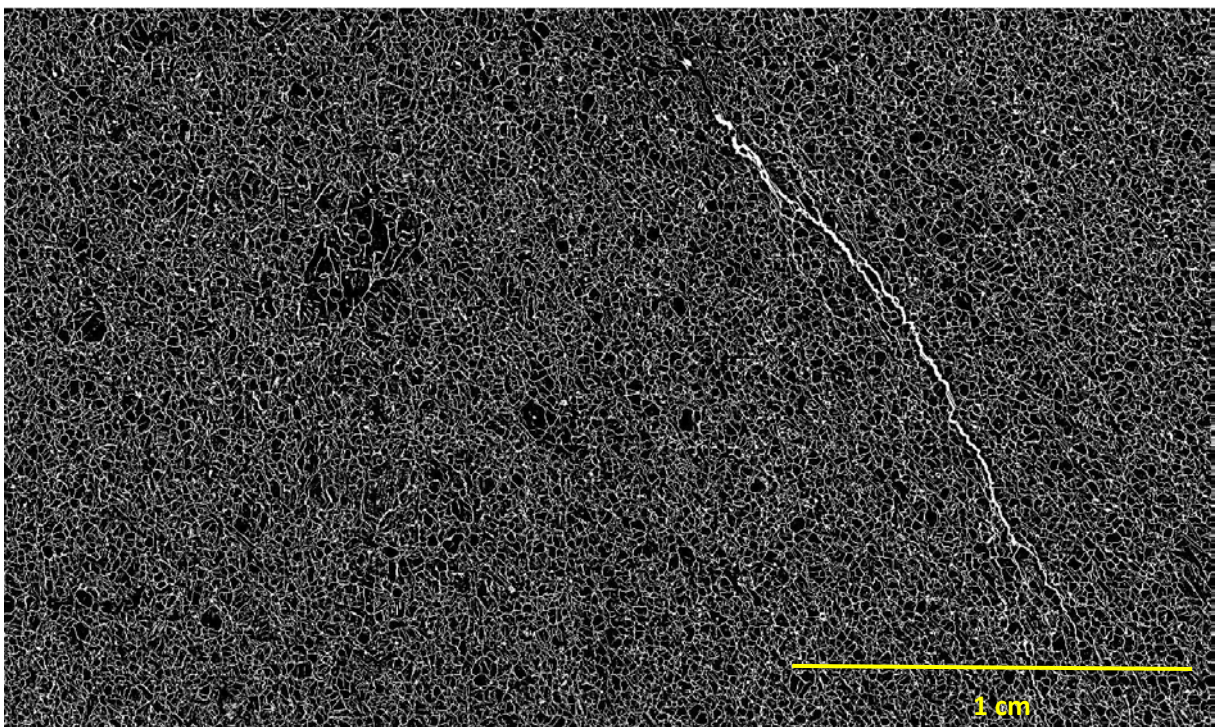
Forkortelser: BK borkjerne; DB database (NGUs grus- og pukkdatabase); S₂, S₈ - sprøthetstall; Abs - abrasjonsverdi; A_N - kulemølleverdi; LA - los Angeles verdi; PSV - poleringsverdi; M_{DE} Microdeval verdi; I_s - punktlast test; M_{DE} Microdeval verdi; ÅDT årdsøgntrafikk.

Vedlegg 2. Bildemosaikker av mikrosprekker for undersøkte prøver

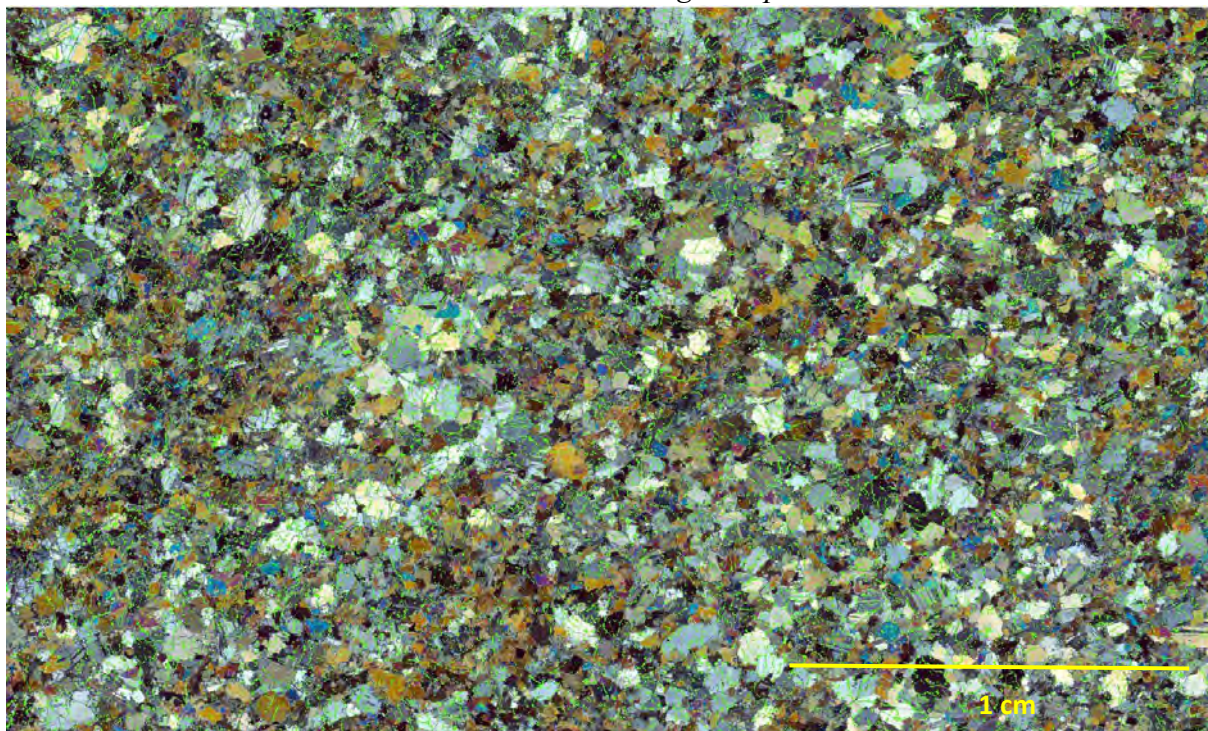
Prøve: 1804-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



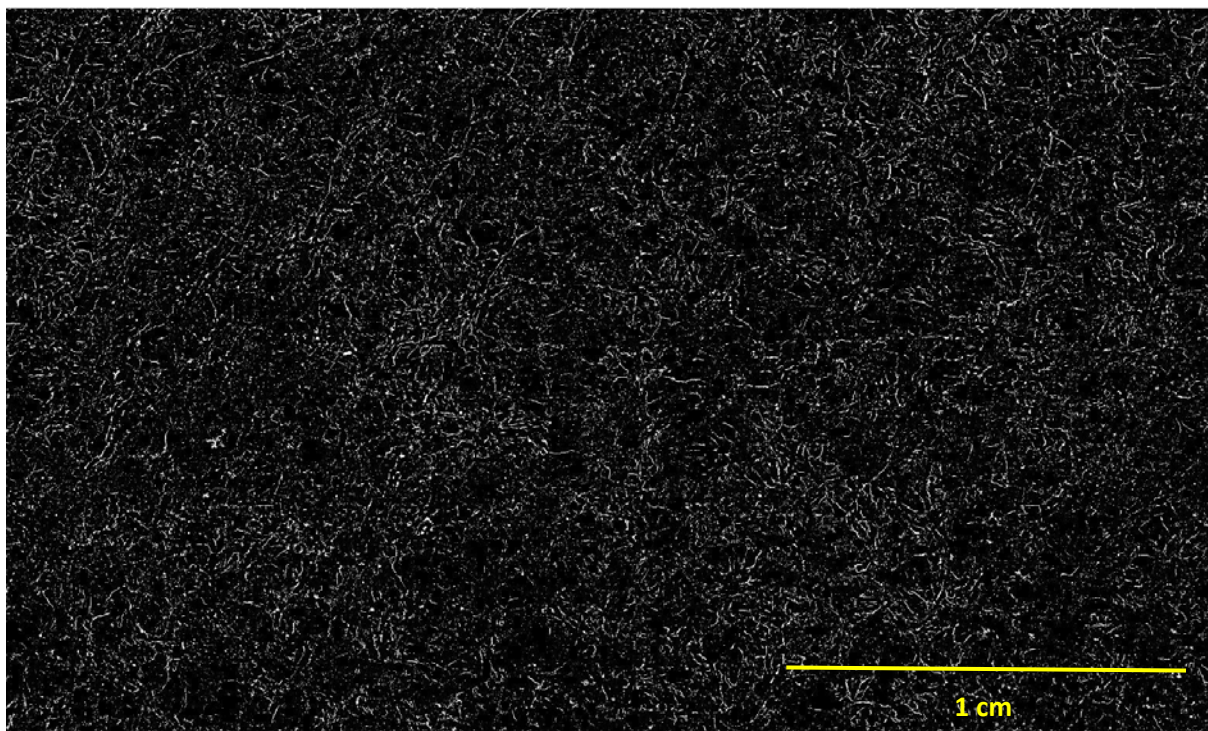
Prøve: 1804-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



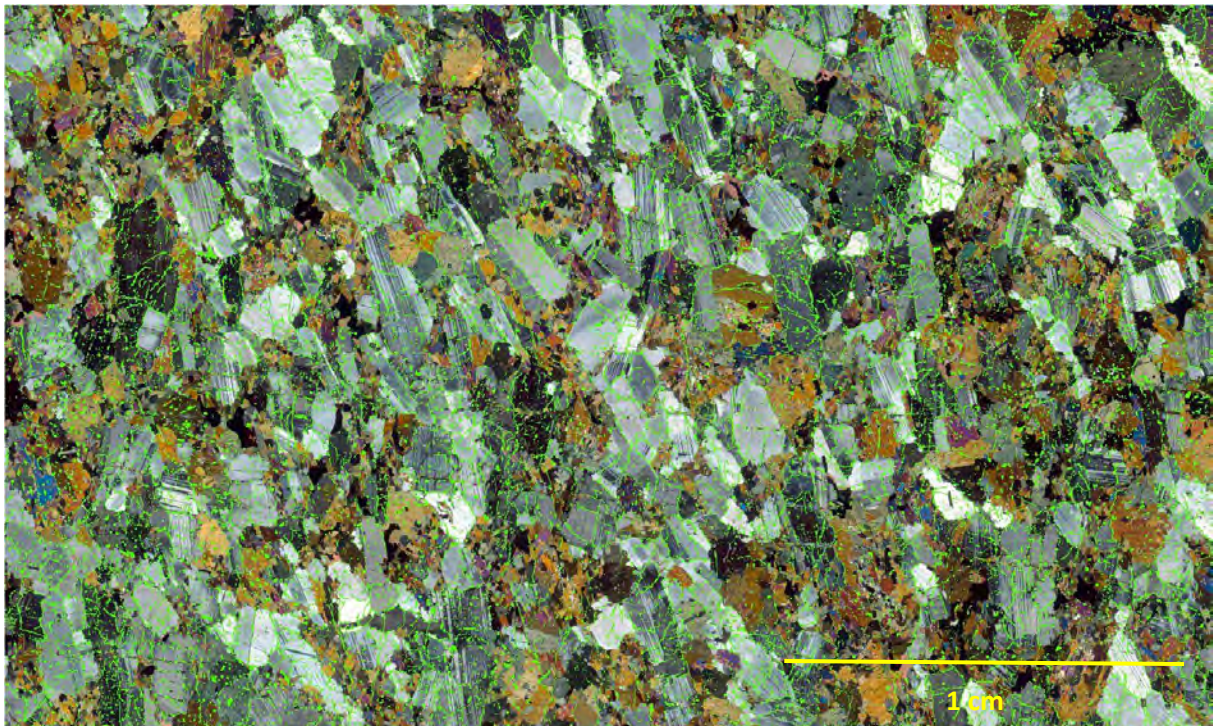
Prøve: 1811-501. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



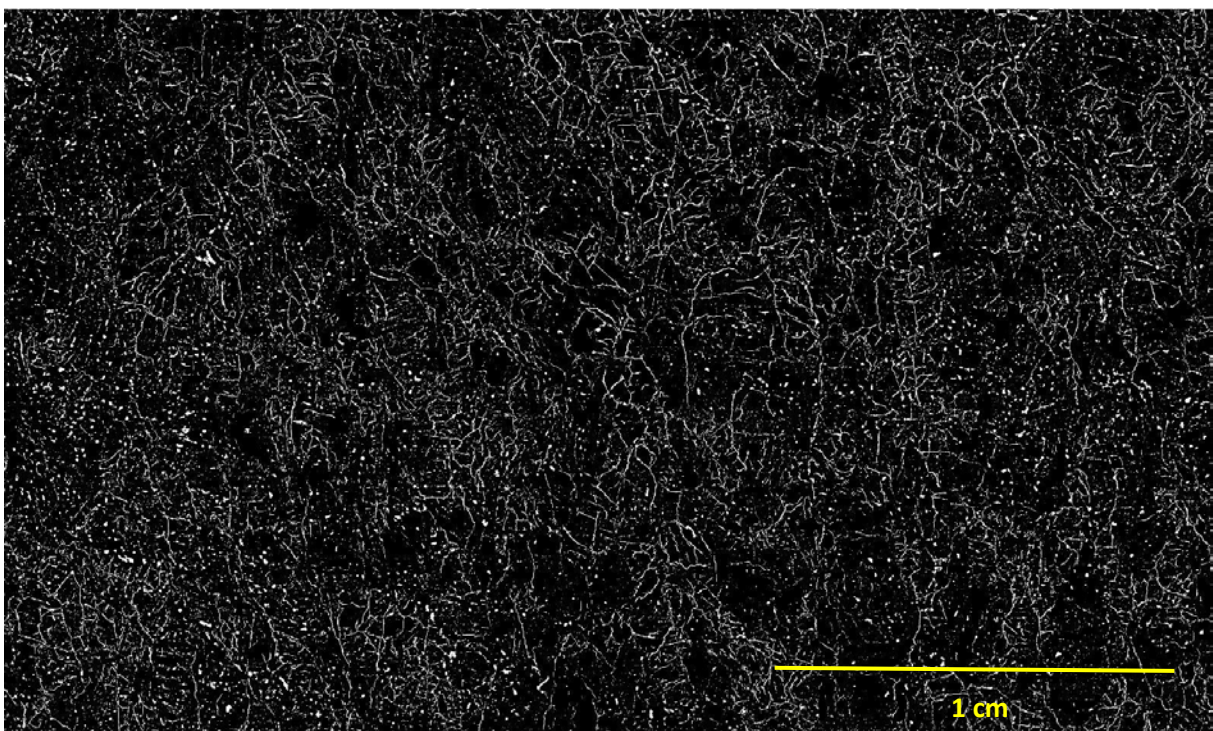
Prøve: 1811-501. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



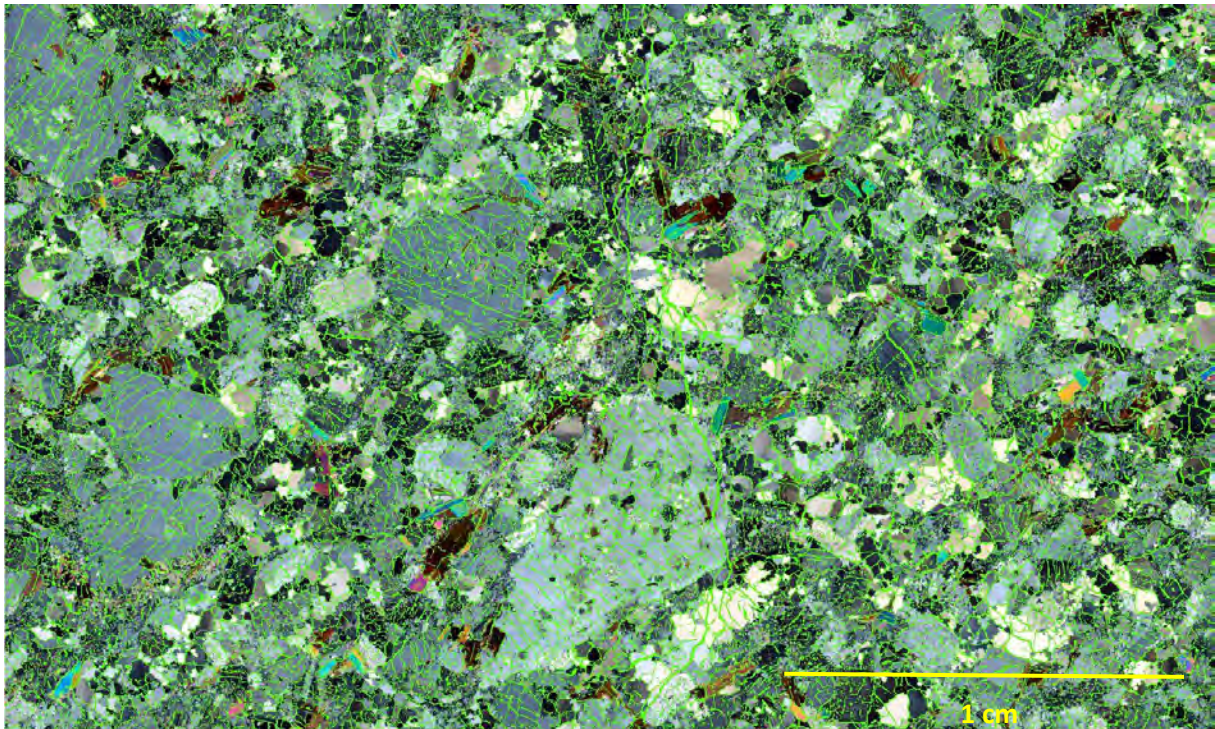
Prøve: 1812-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



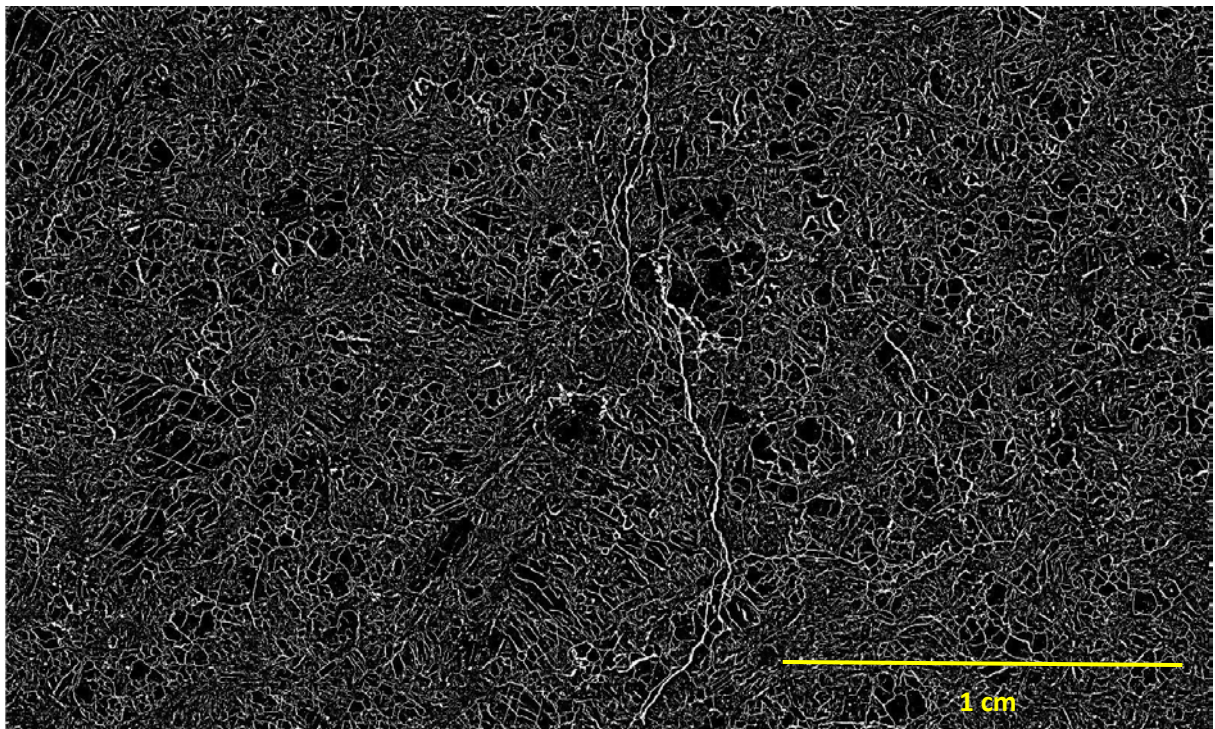
Prøve: 1812-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



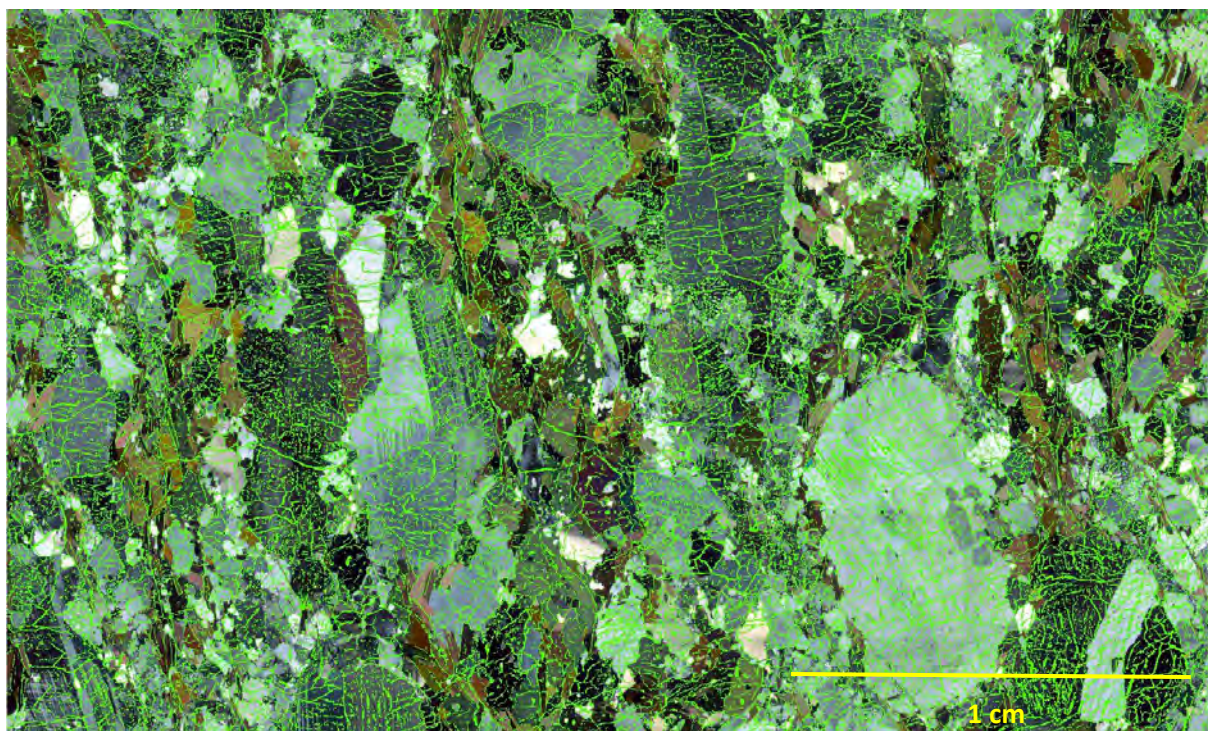
Prøve: 1813-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



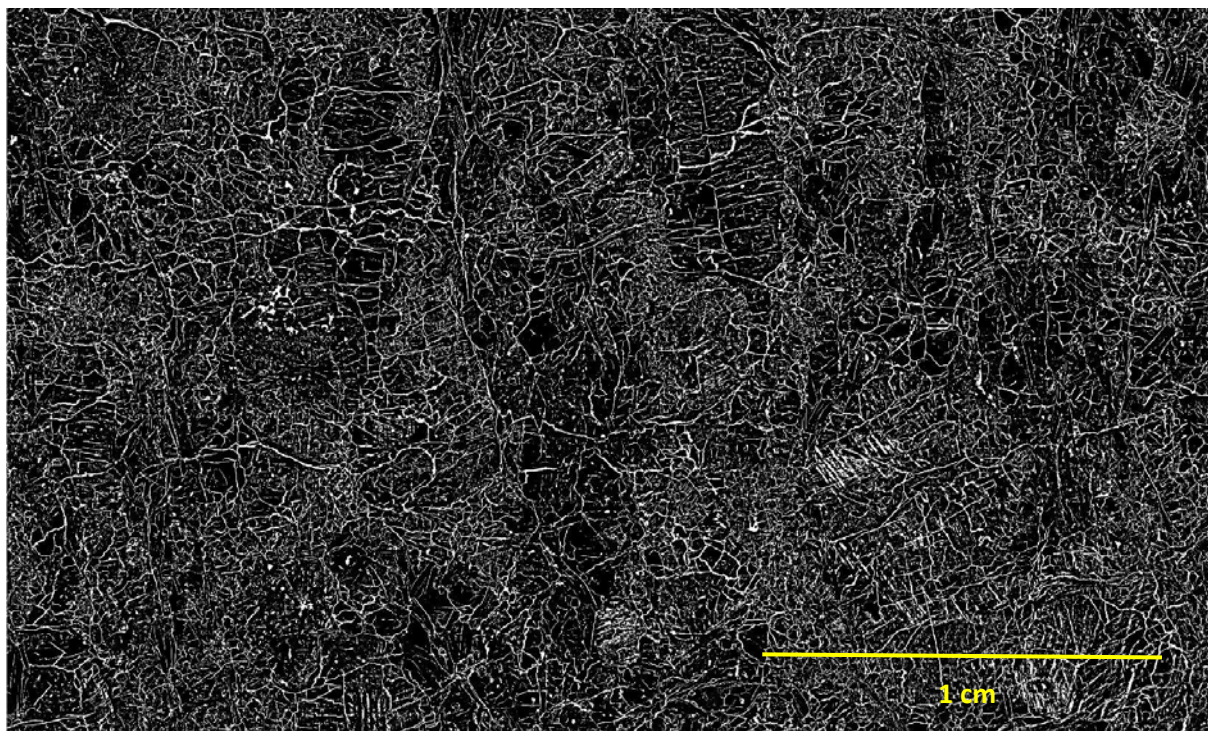
Prøve: 1813-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



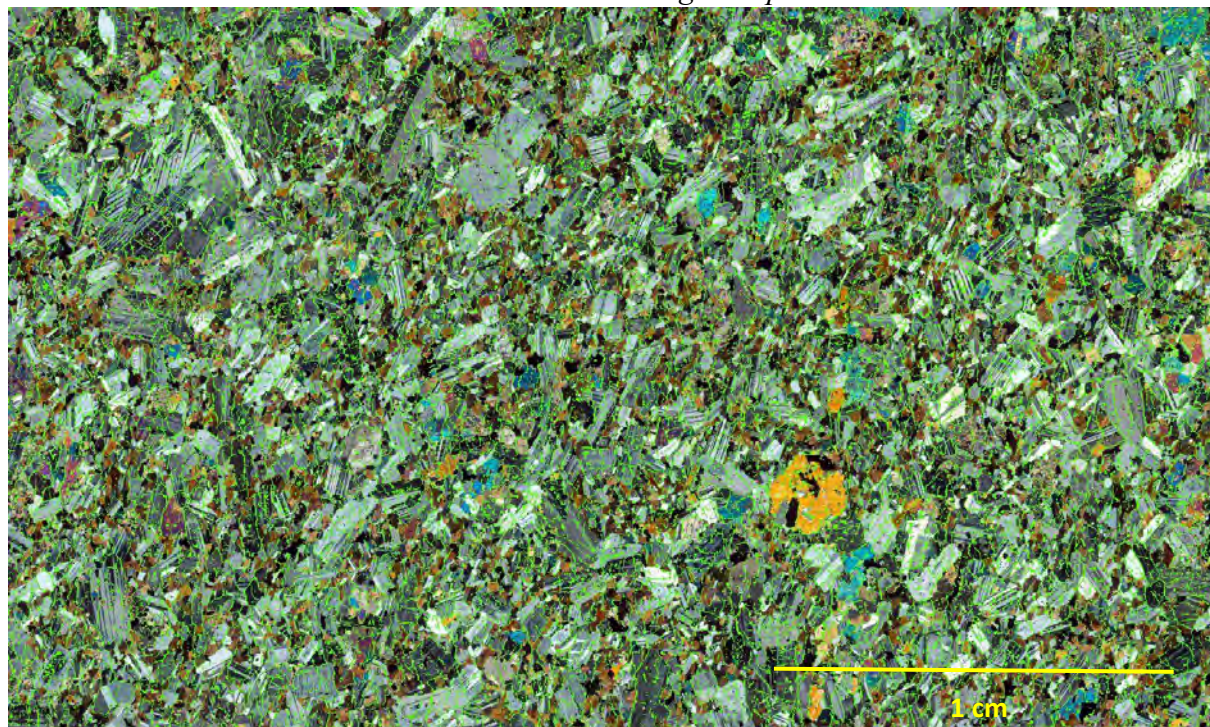
Prøve: 1822-504. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



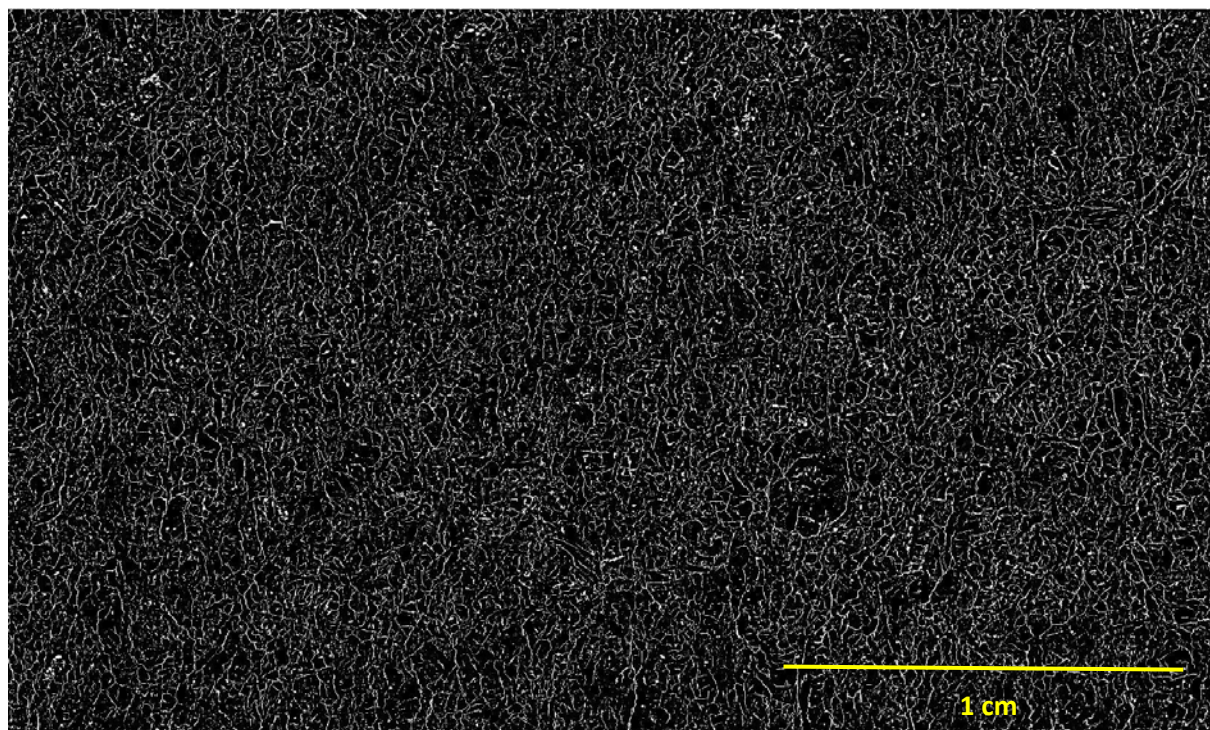
Prøve: 1822-504. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



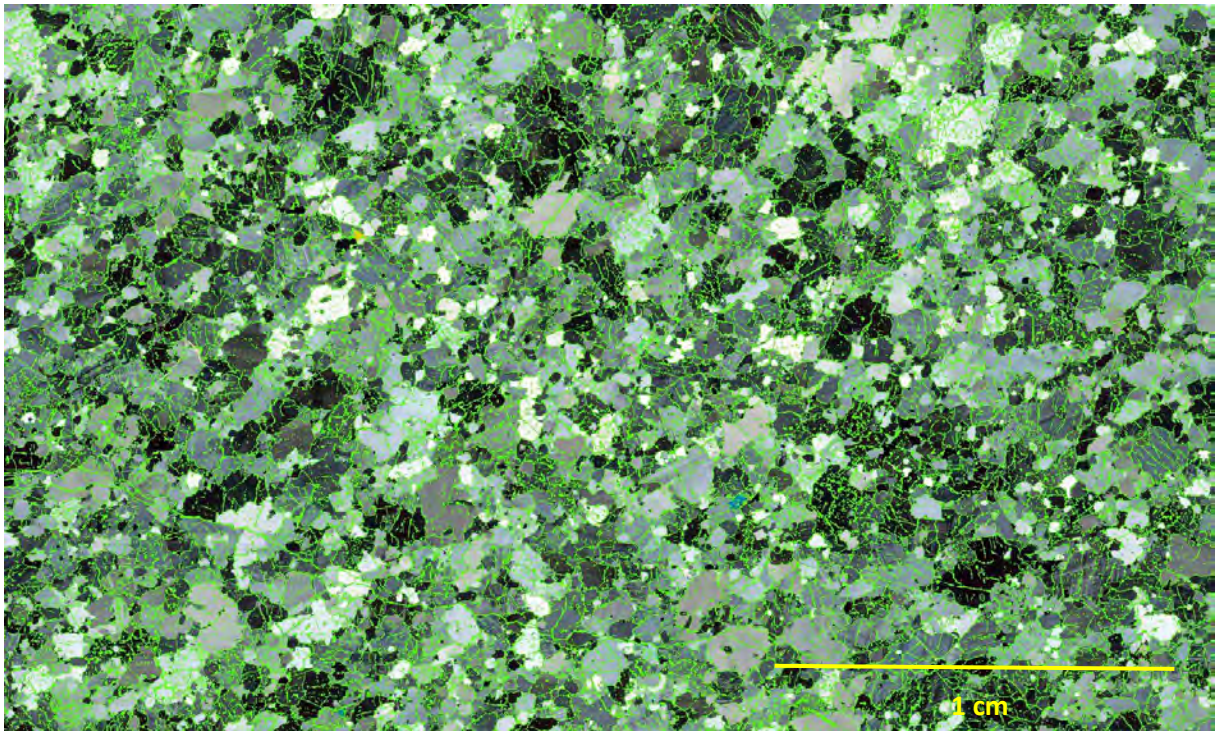
Prøve: 1824-533. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



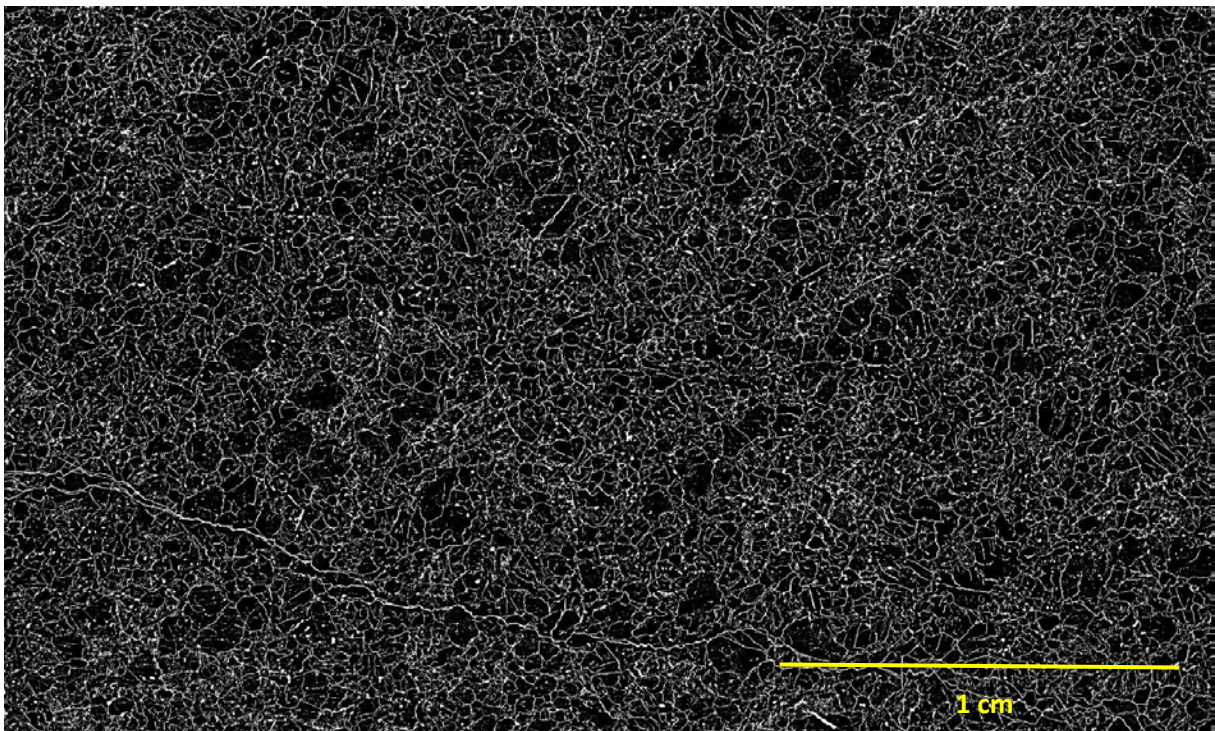
Prøve: 1824-533. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



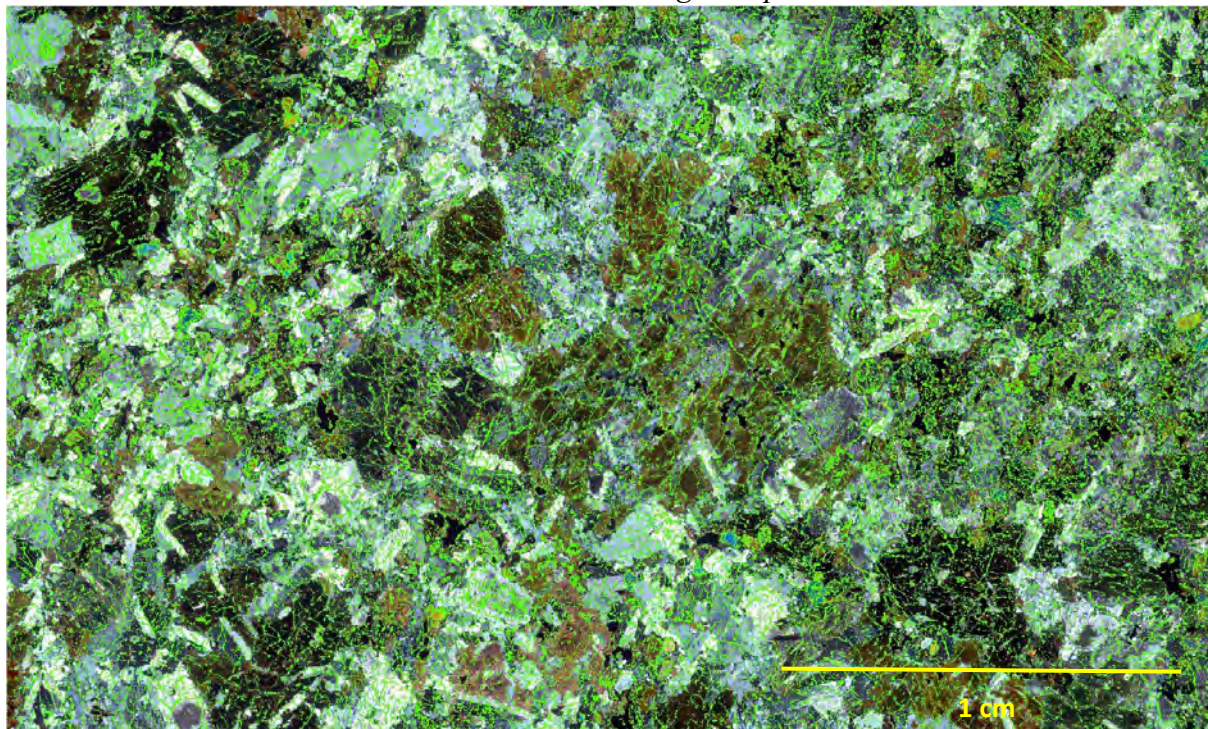
Prøve: 1827-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



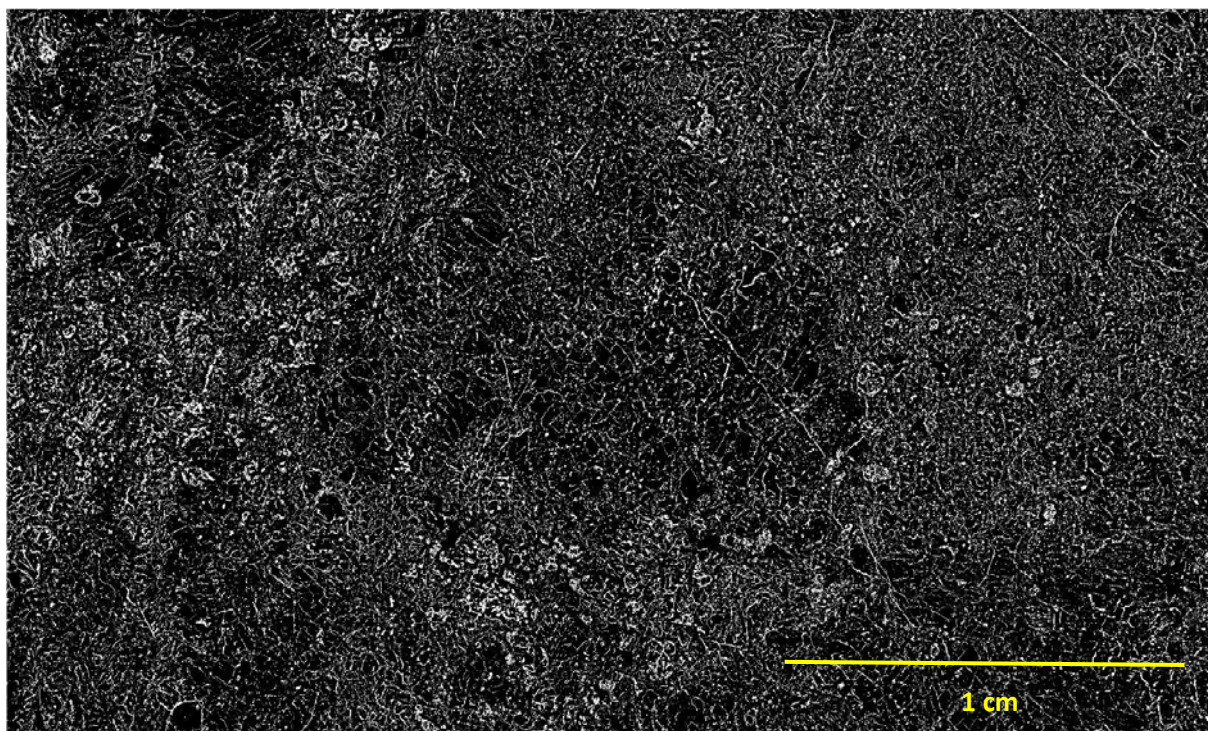
Prøve: 1827-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



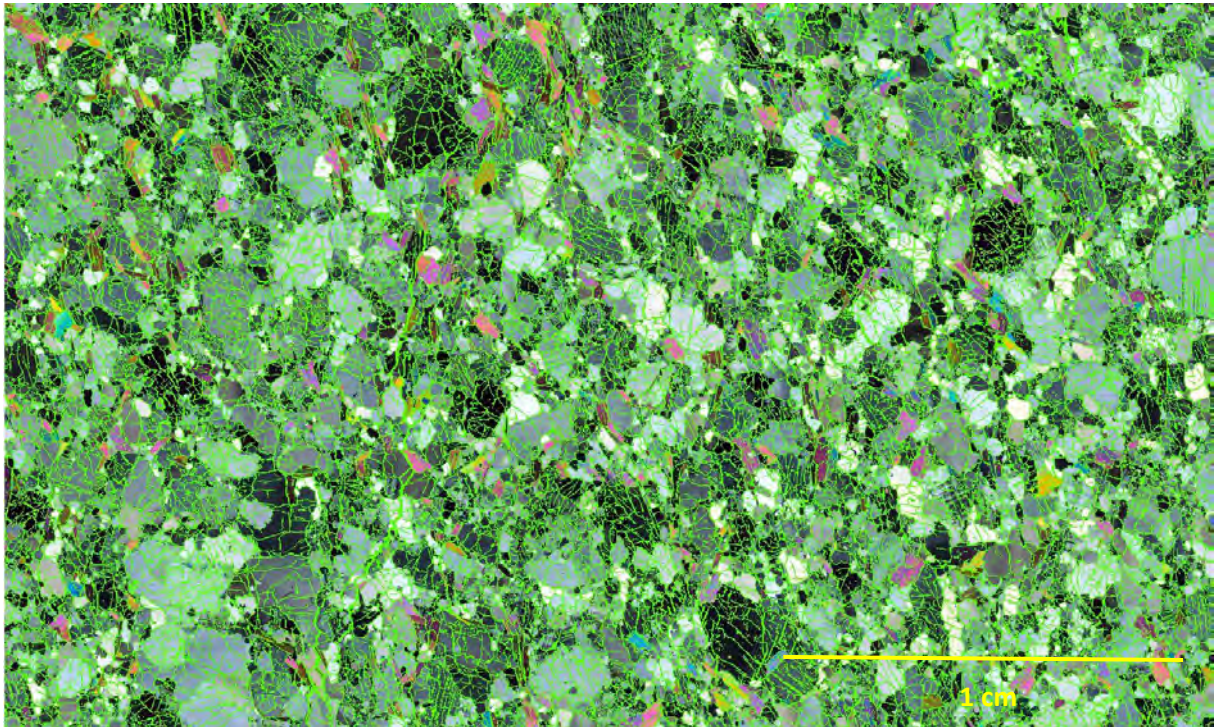
Prøve: 1828-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



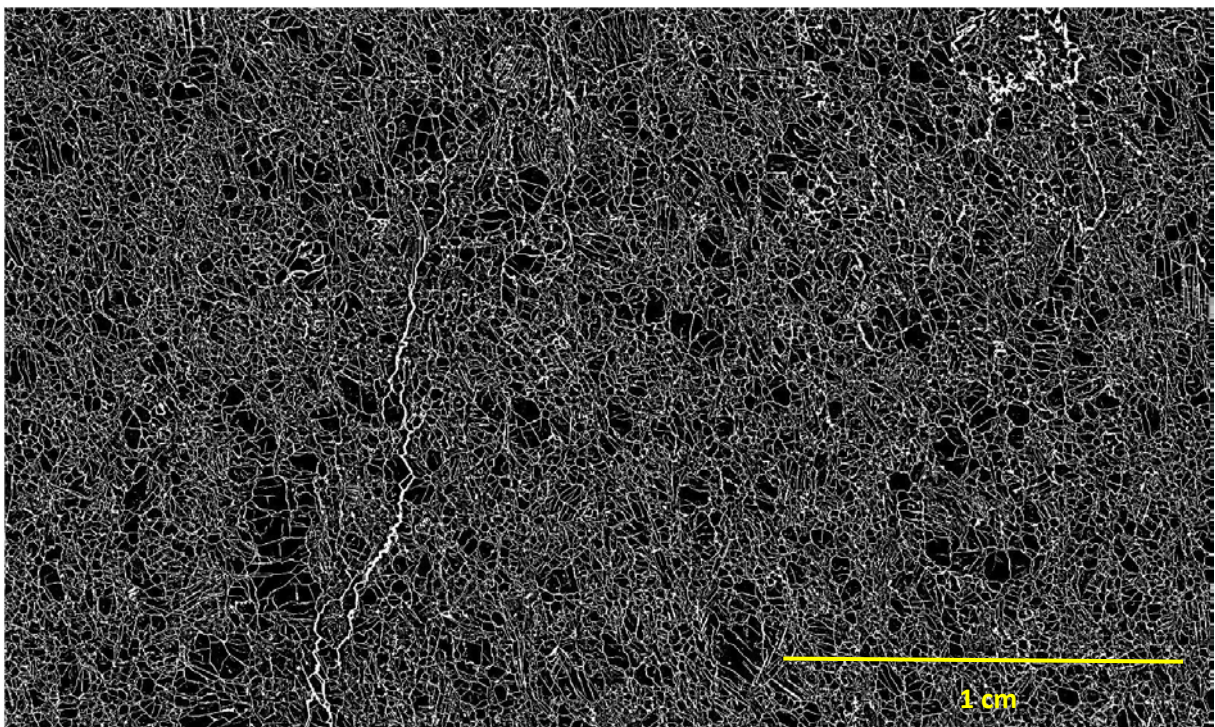
Prøve: 1828-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



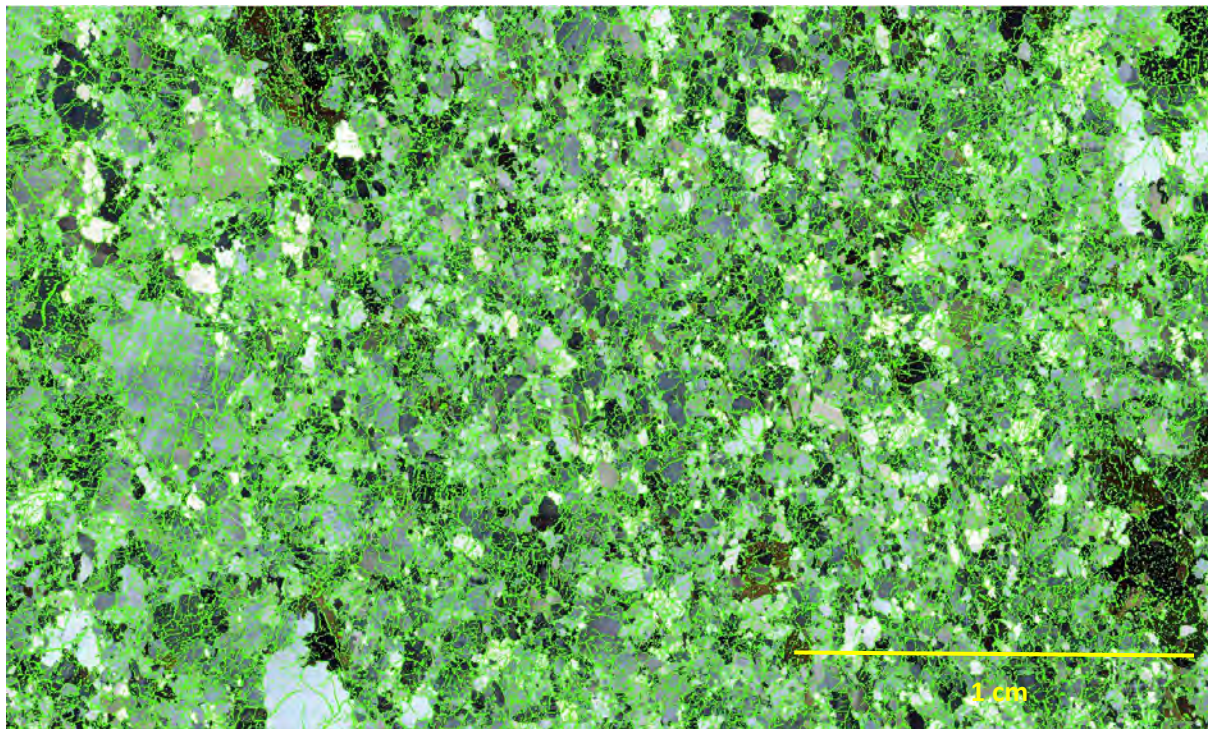
Prøve: 1833-505-1. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerede FL bilder.*



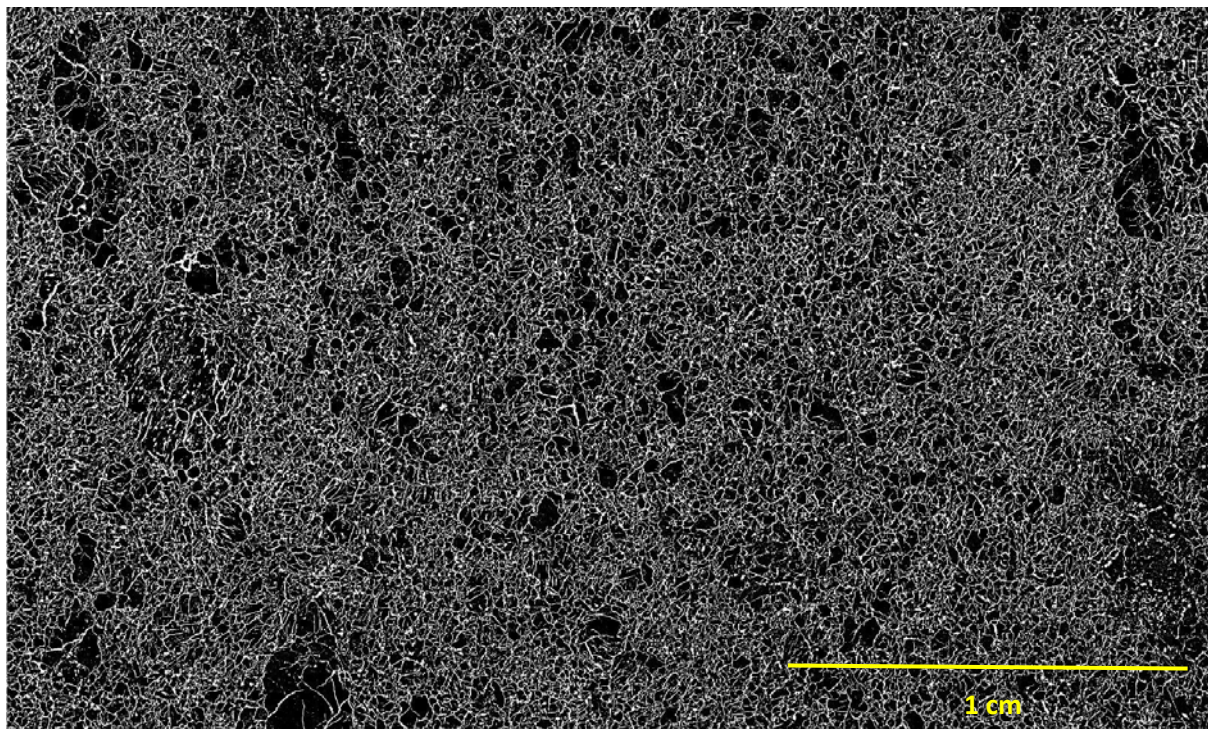
Prøve: 1833-505-1. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



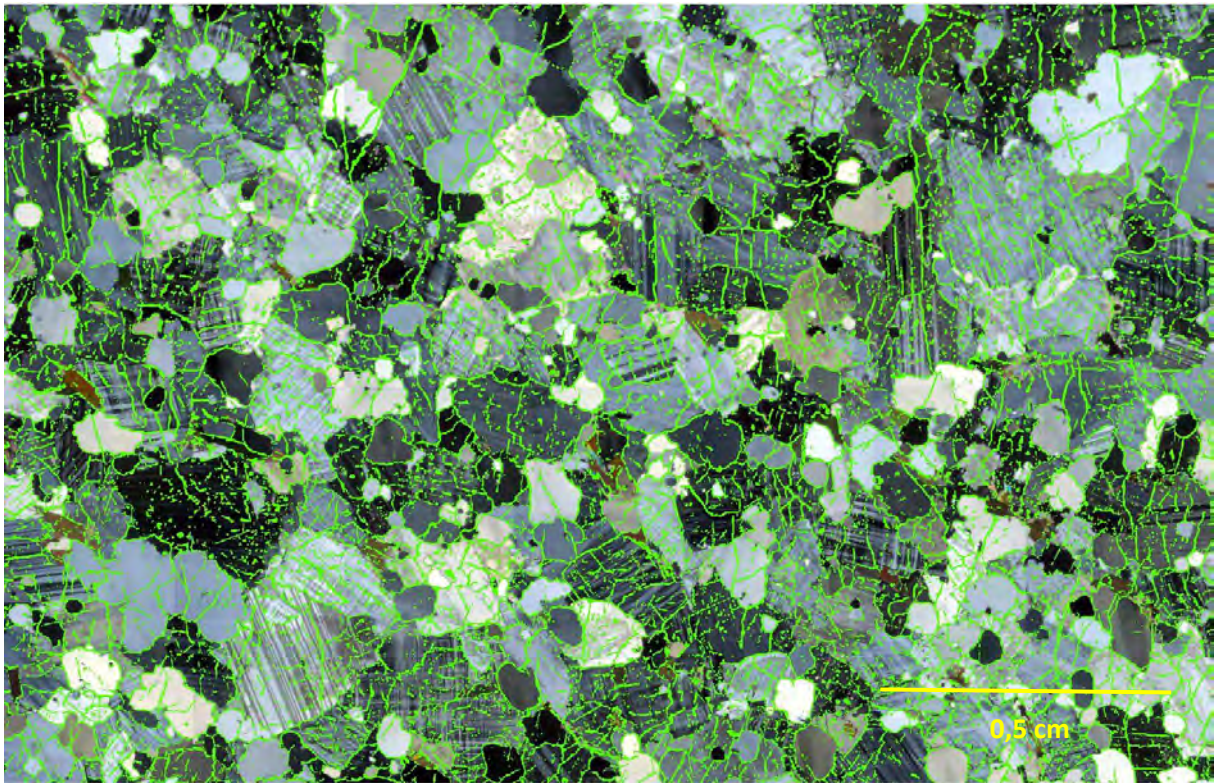
Prøve: 1836-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



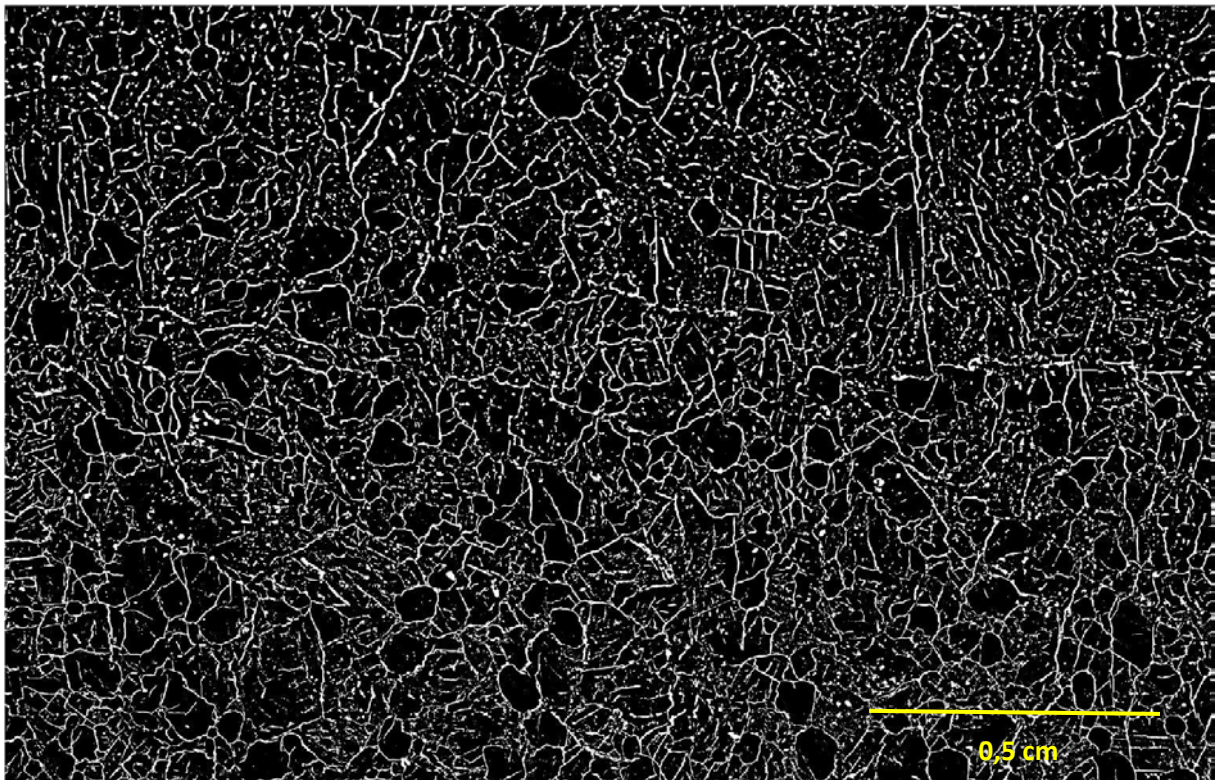
Prøve: 1836-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



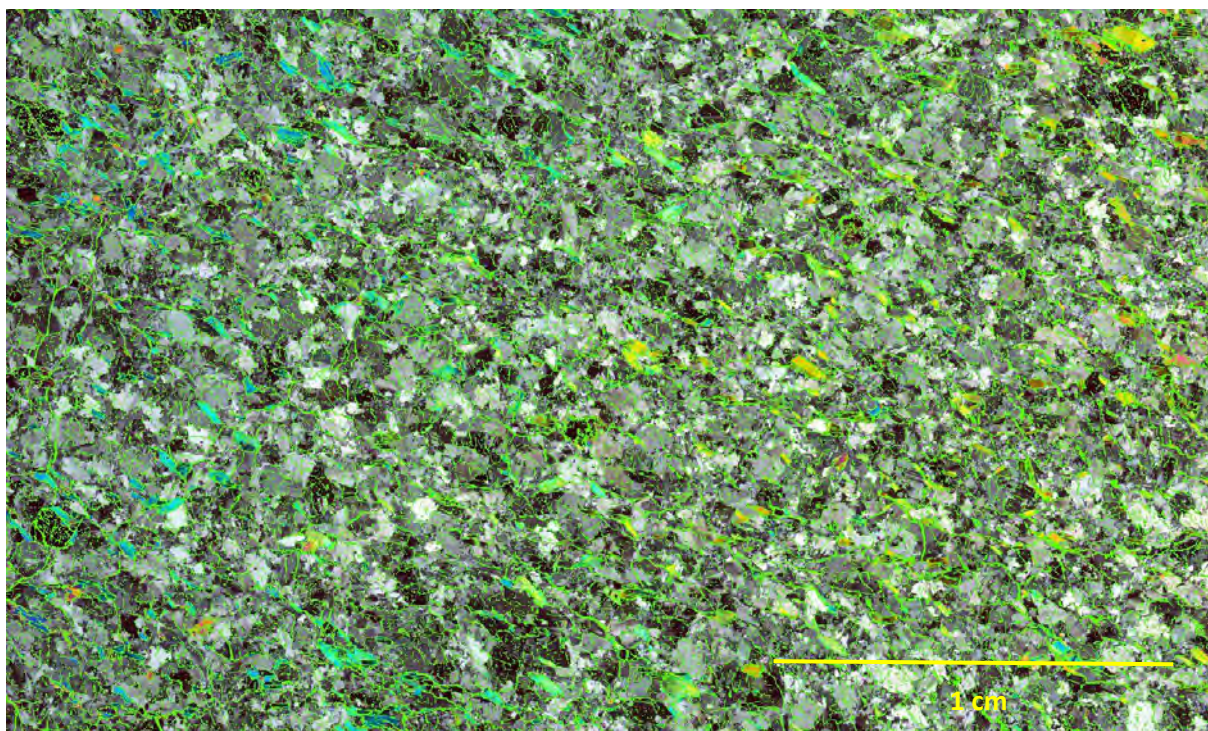
Prøve: 1836-504. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



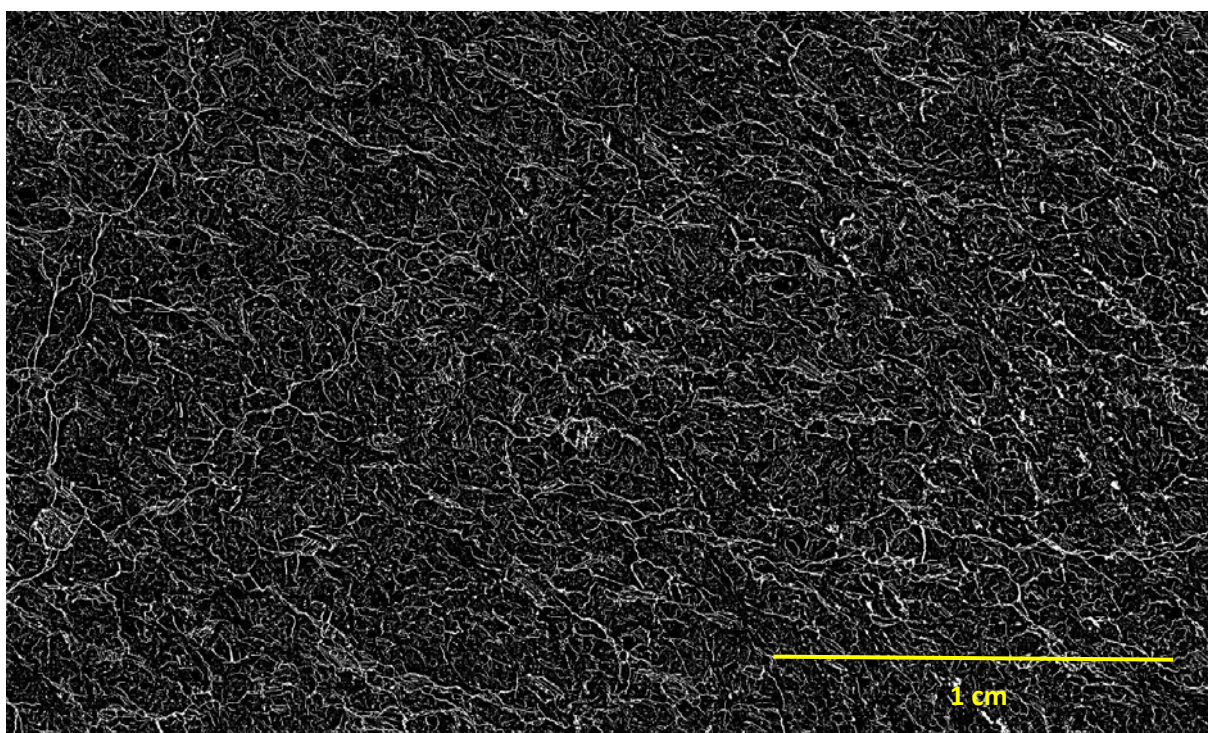
Prøve: 1836-504. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



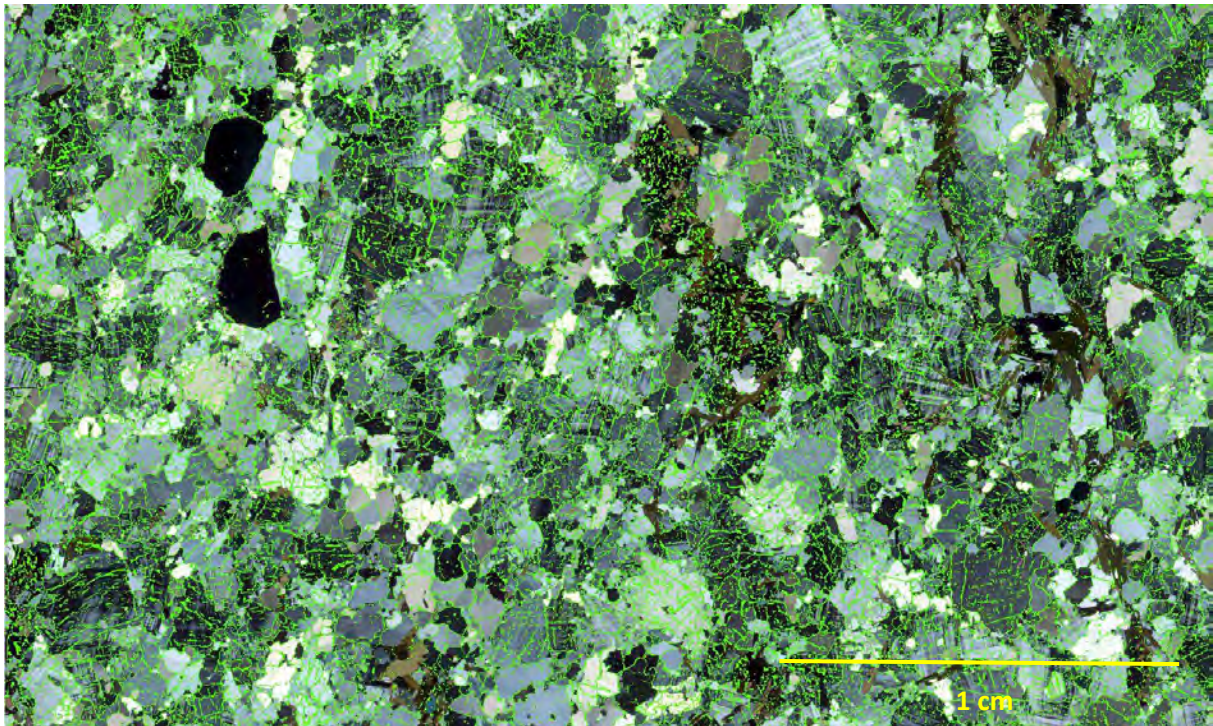
Prøve: 1837-505. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



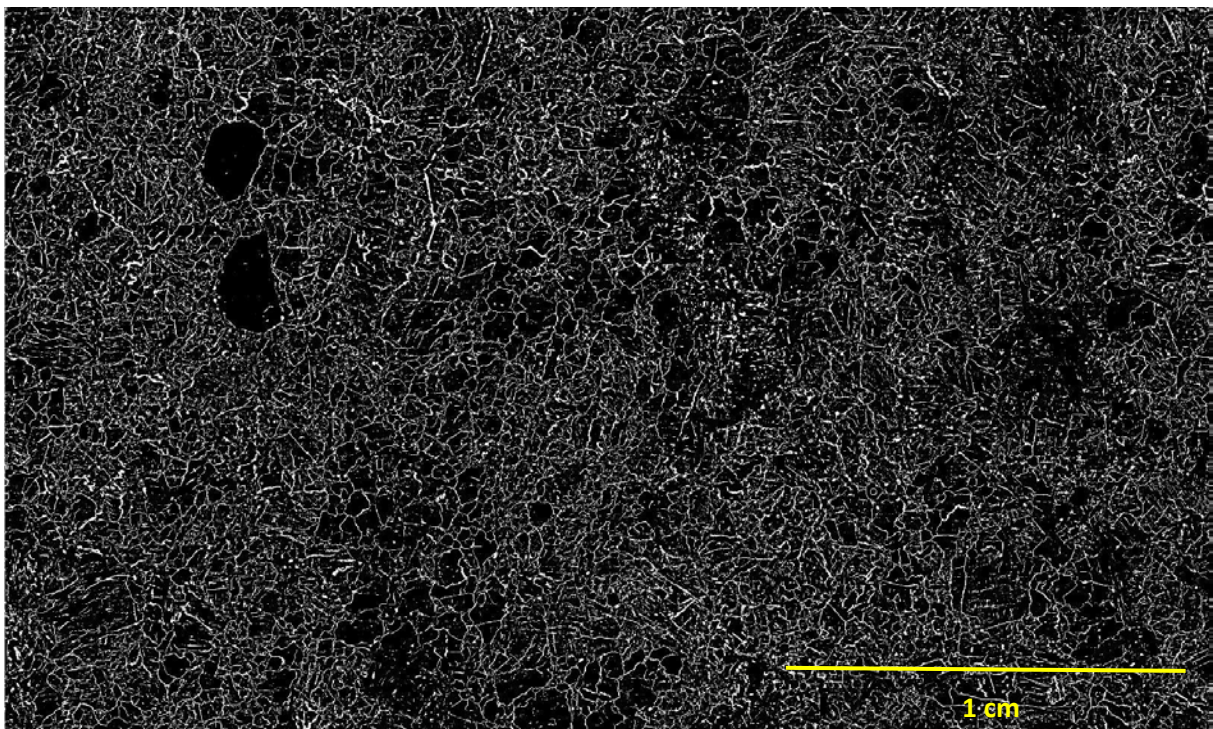
Prøve: 1837-505. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



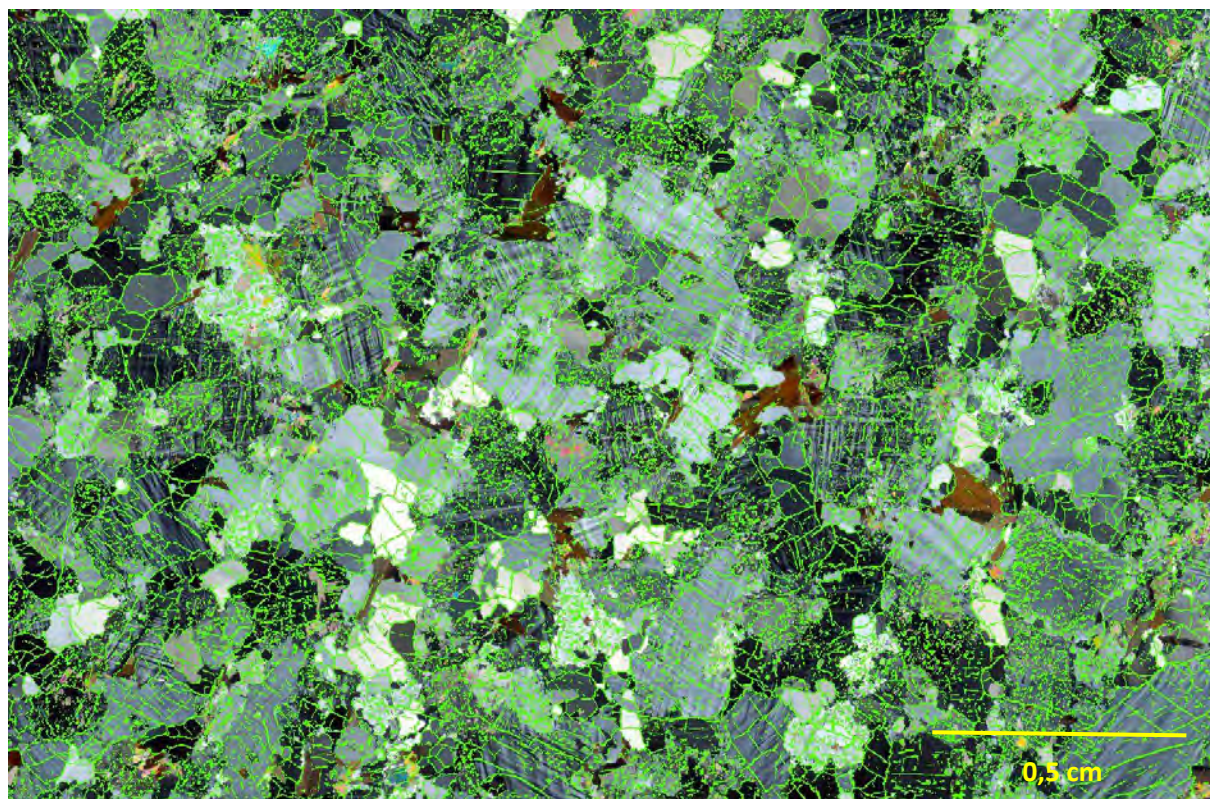
1837-510. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



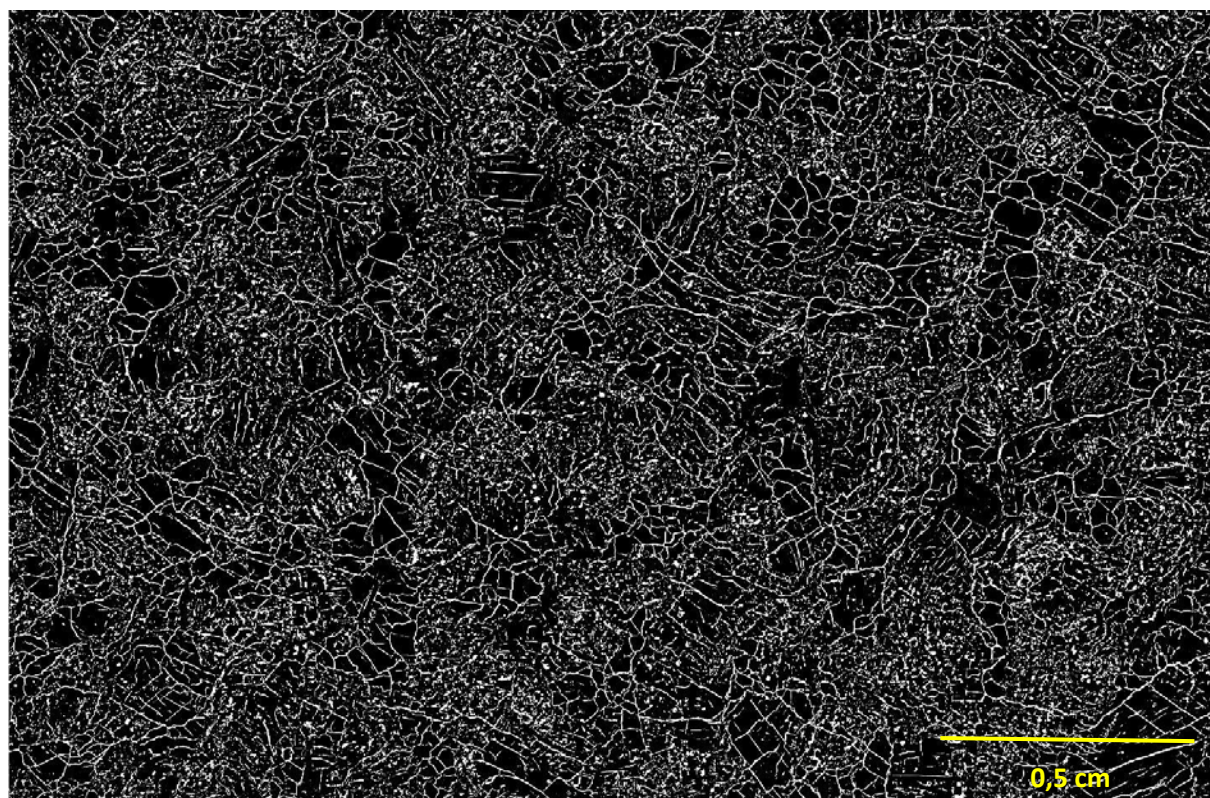
Prøve: 1837-510. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



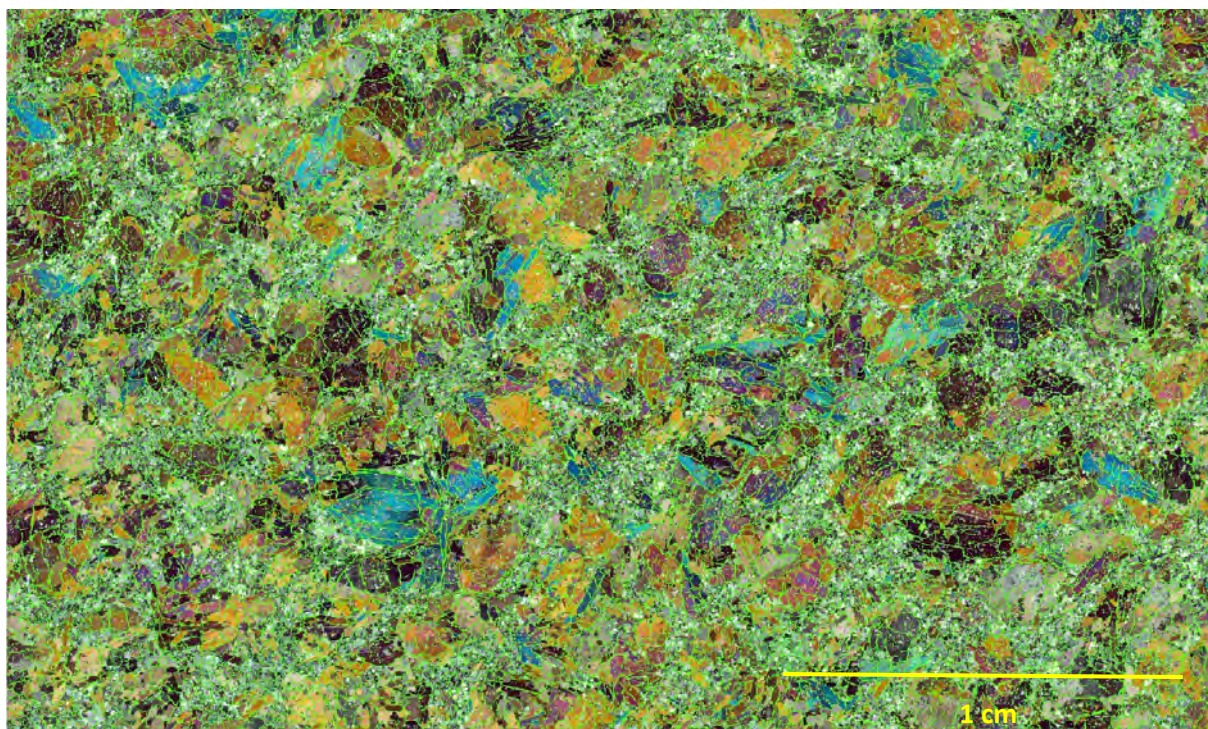
Prøve:1838-503. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



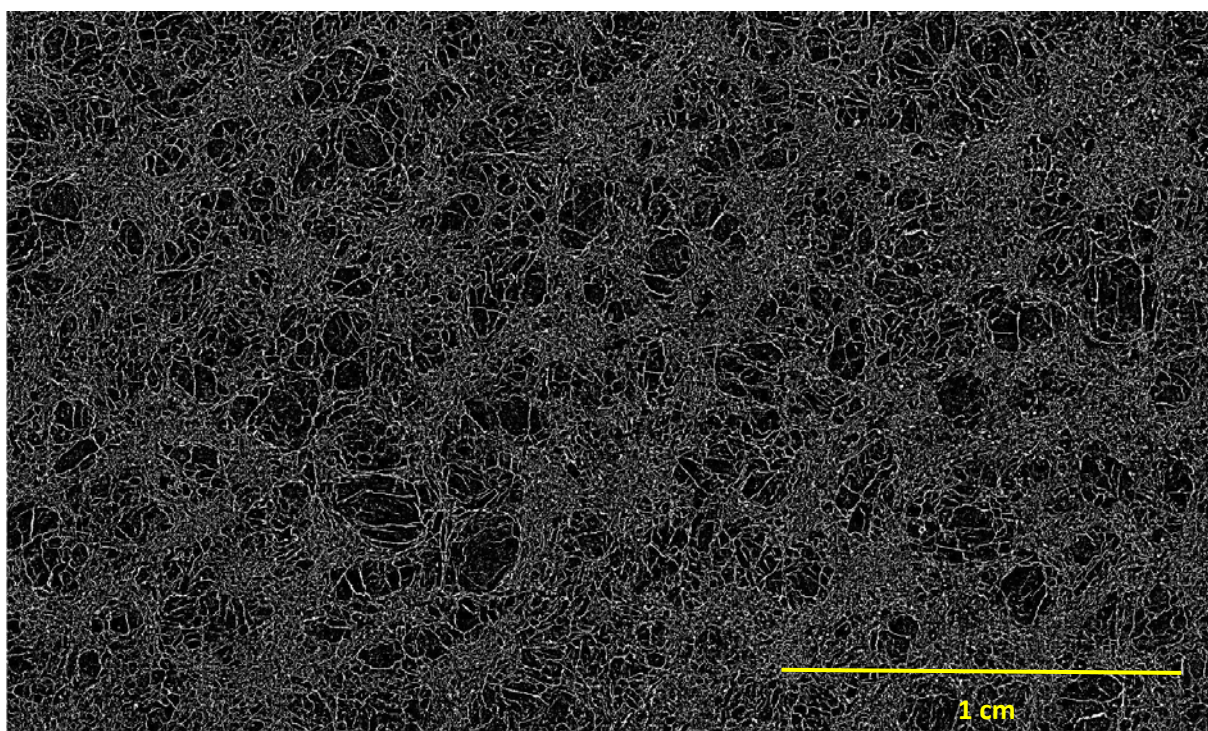
Prøve: 1838-503. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



Prøve: 1841-505. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



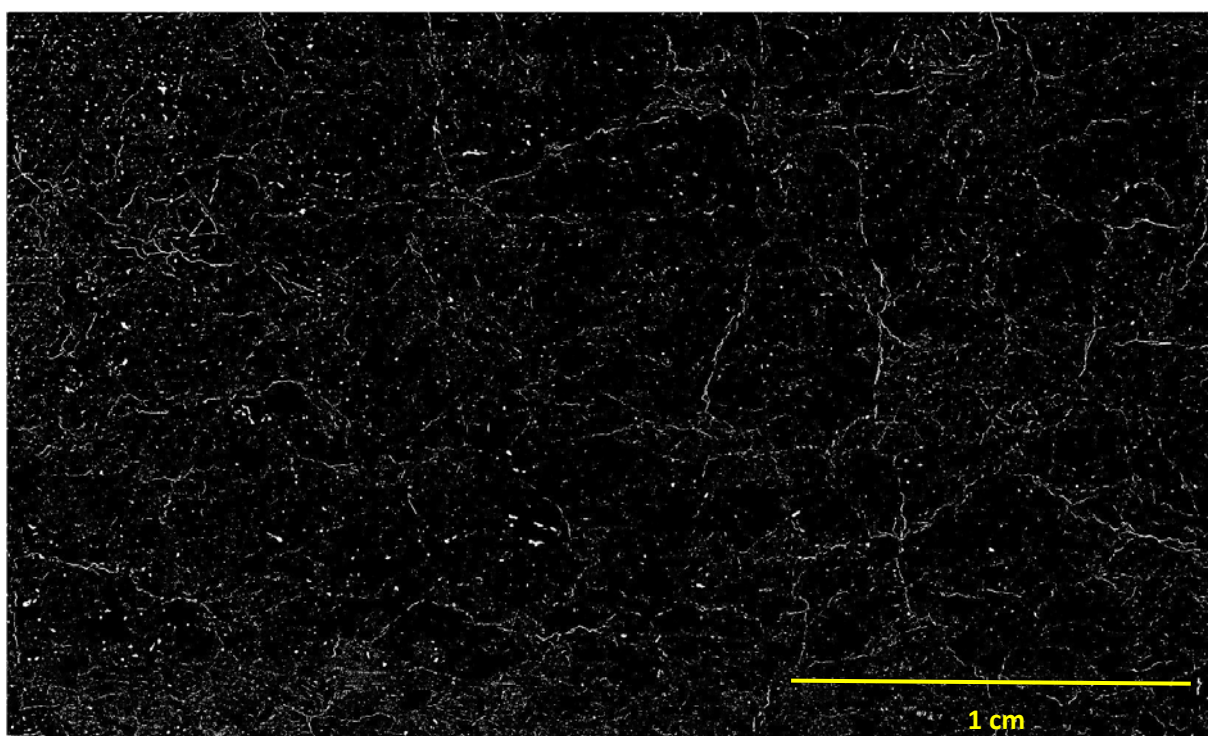
Prøve: 1841-505. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



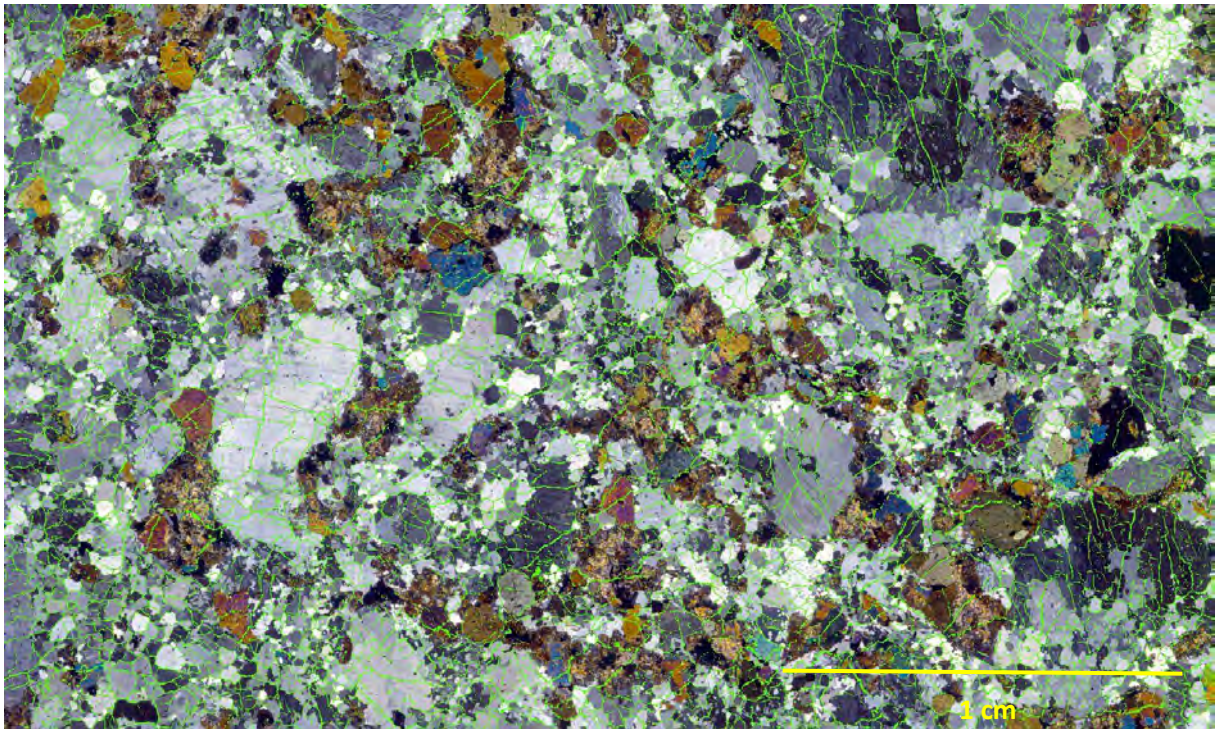
Prøve: 1849-501. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



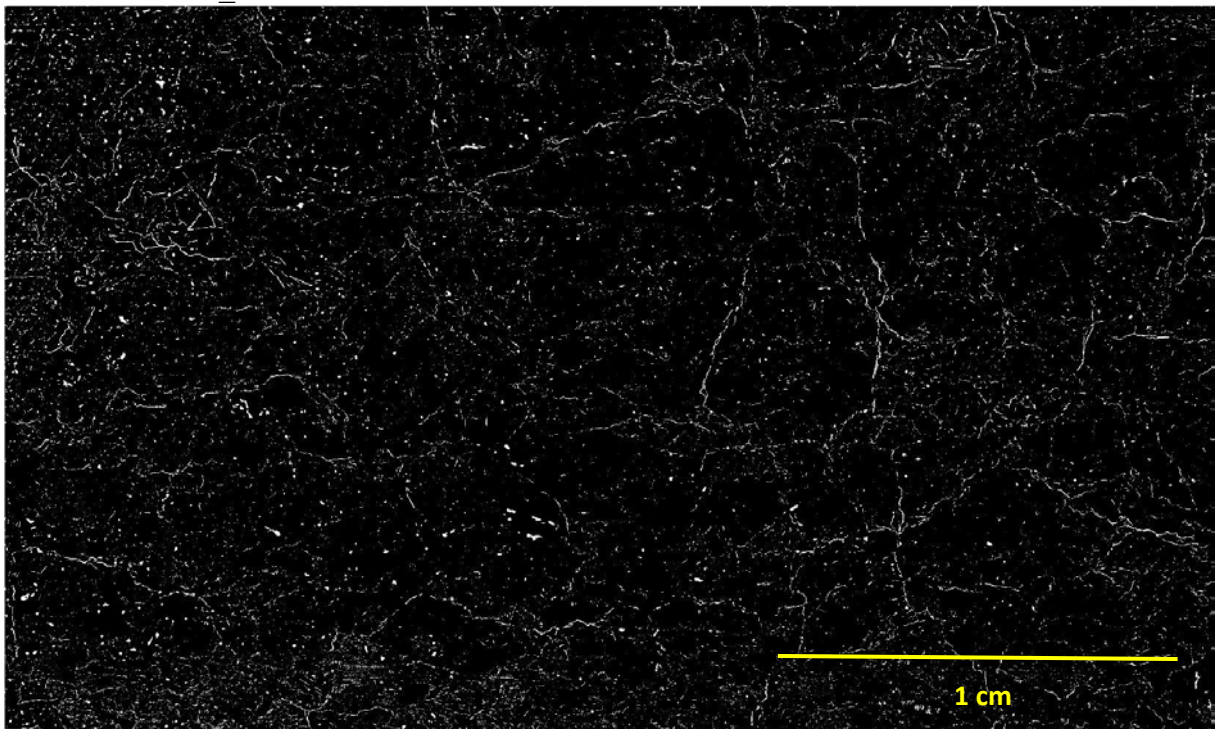
Prøve: 1849-501. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



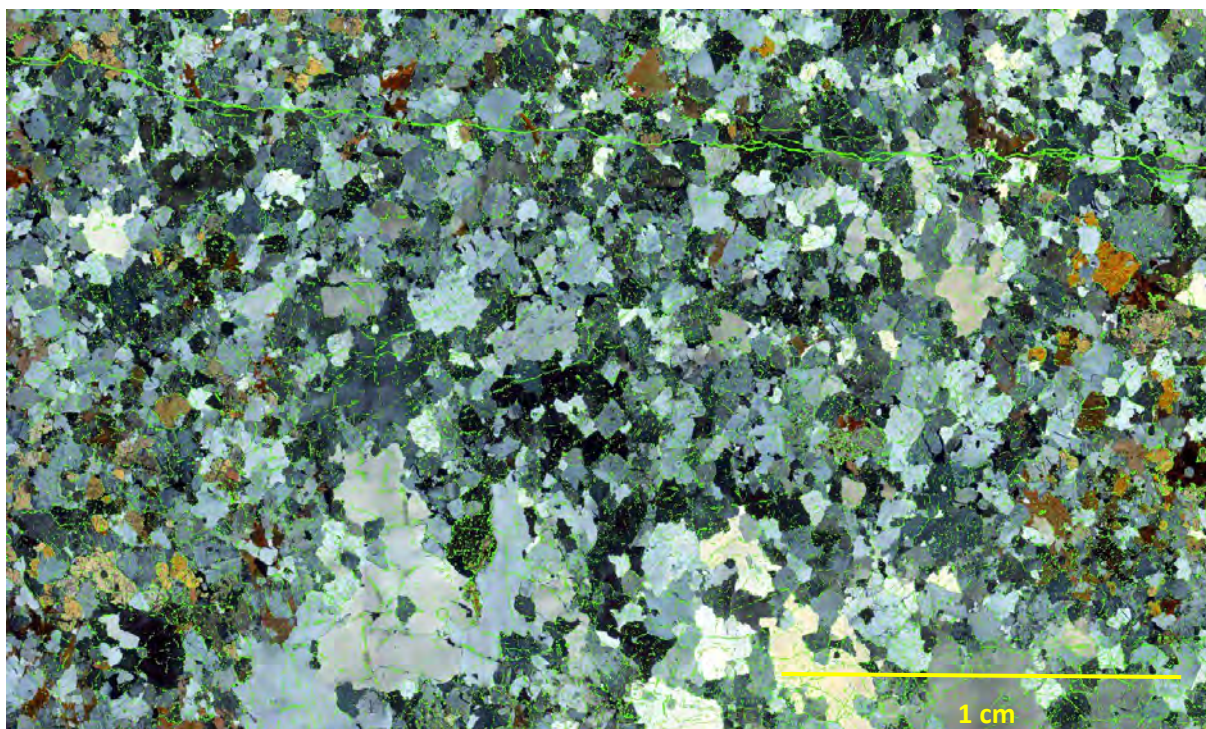
Prøve: 1849-501_2. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



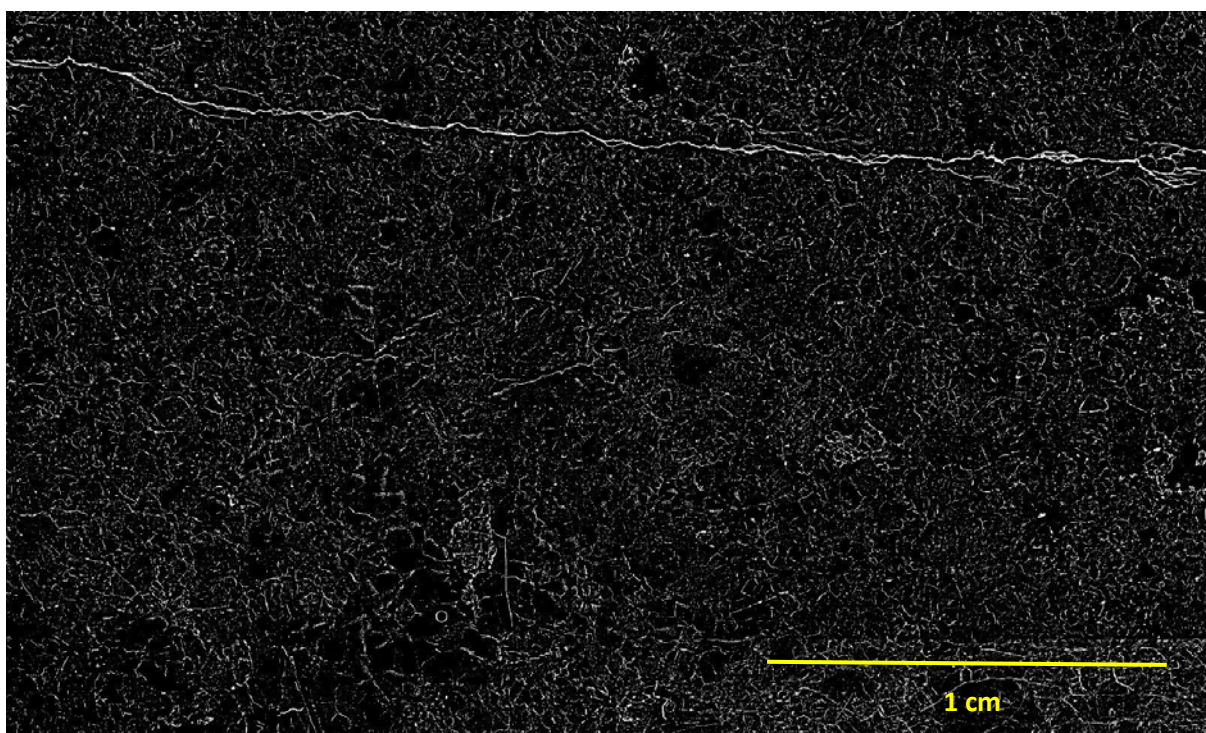
Prøve: 1849-501_2. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



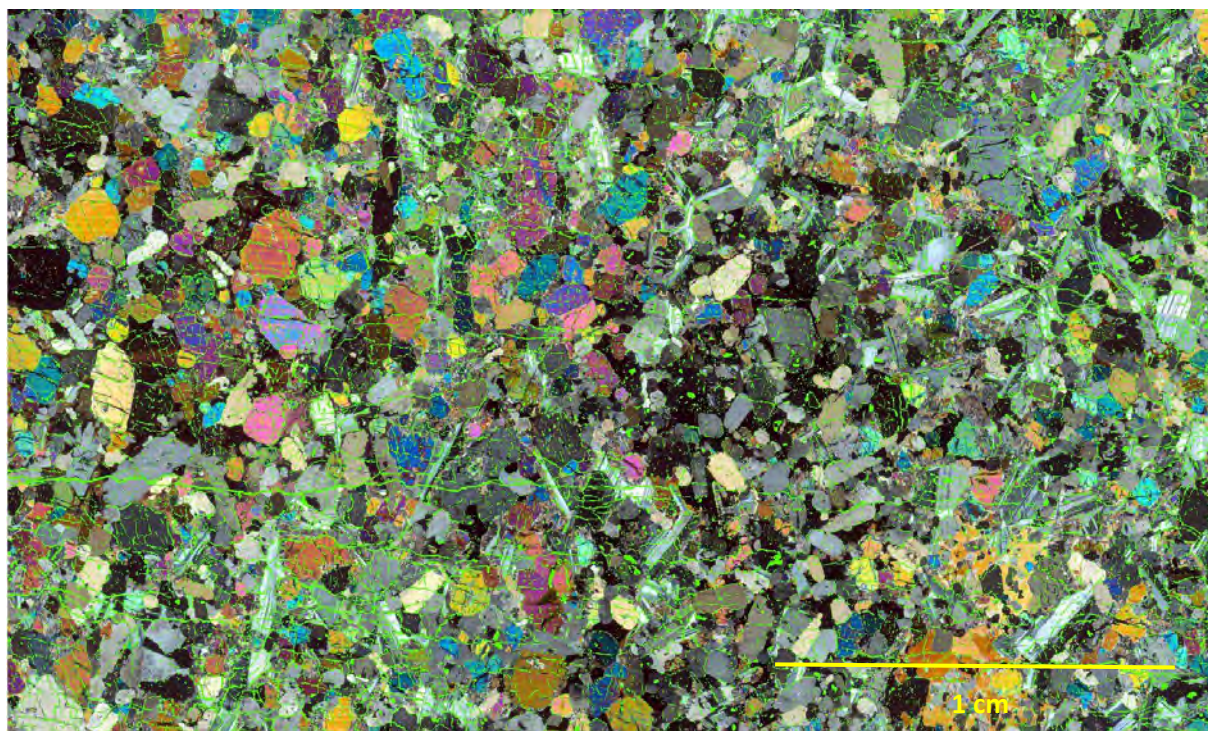
Prøve: 1851-514. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



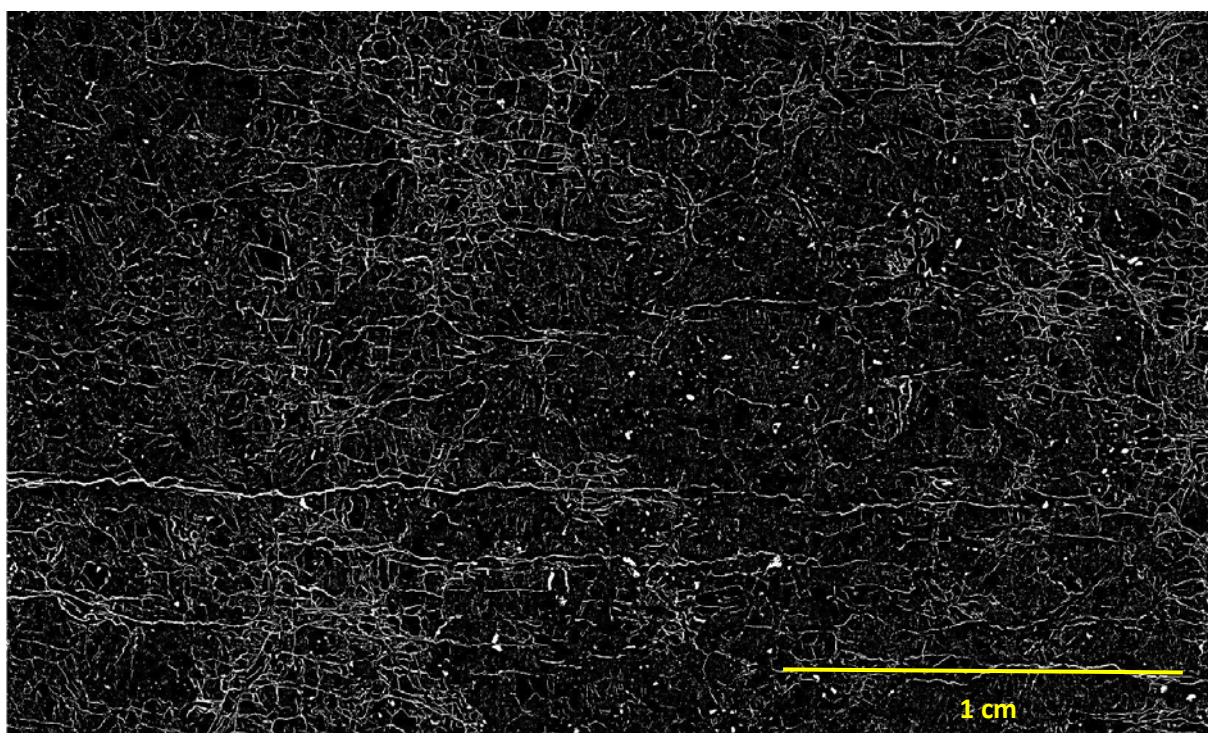
Prøve: 1851-514. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



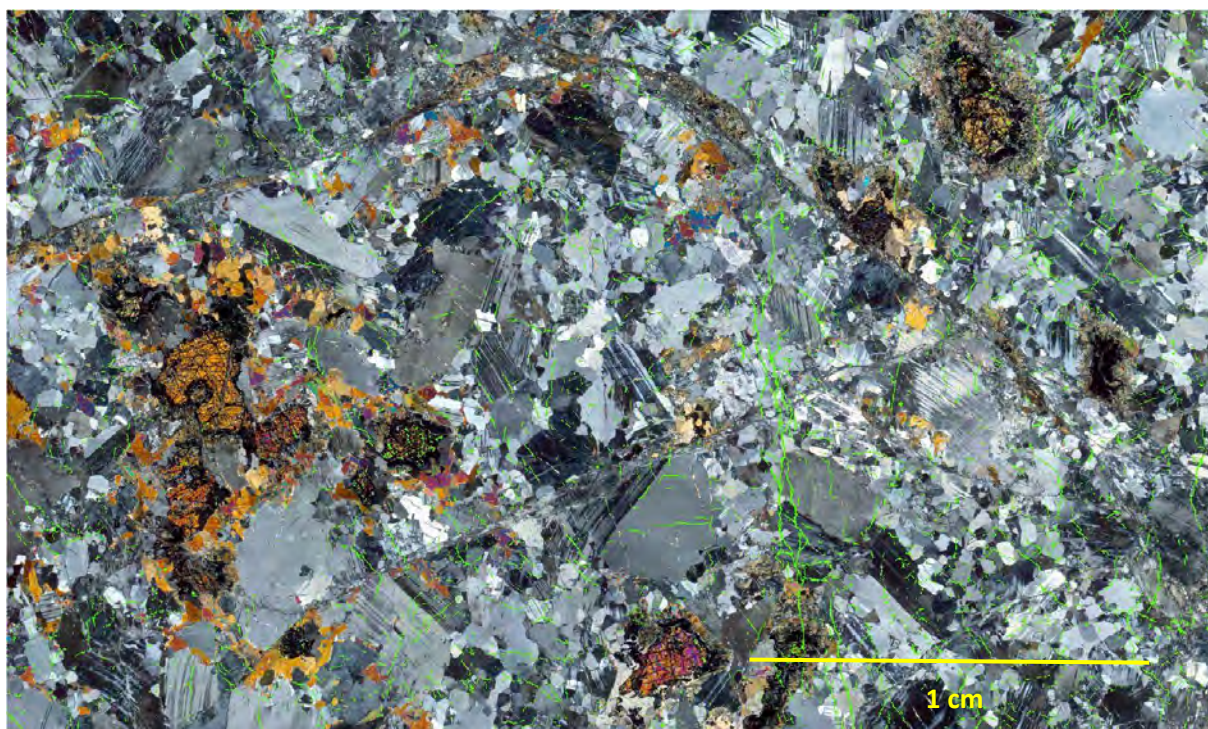
Prøve: 1854-510. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



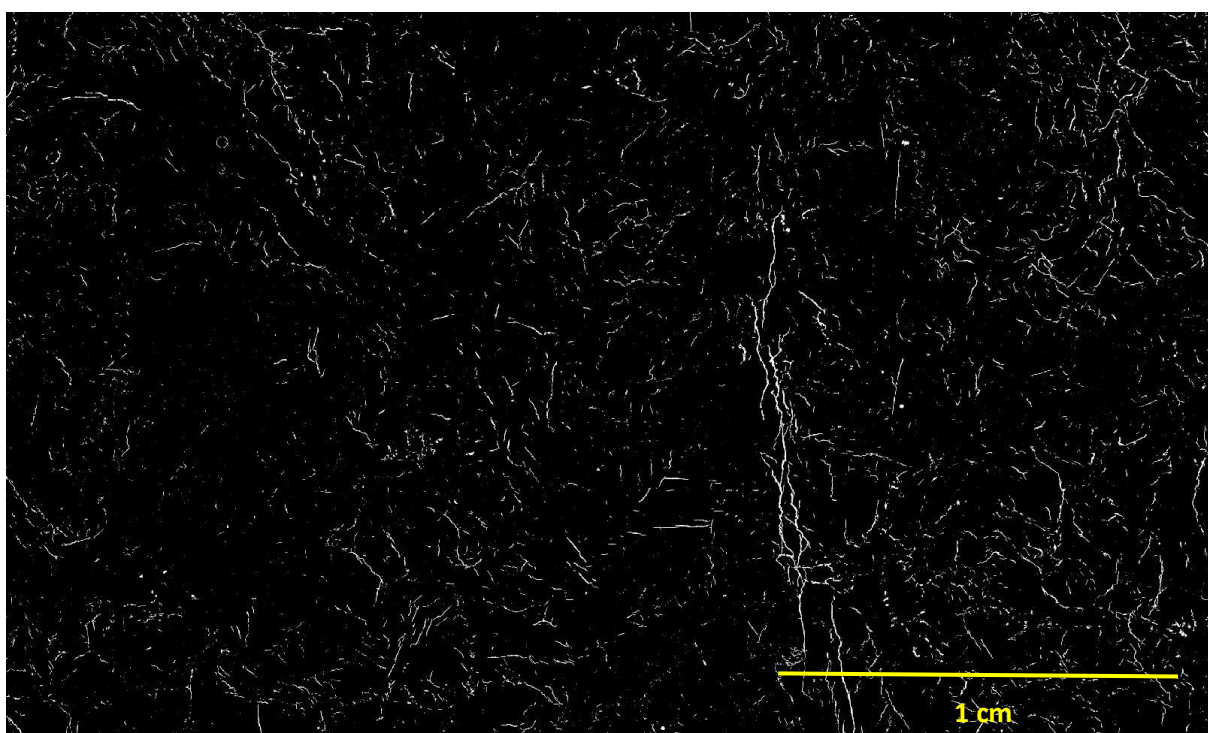
Prøve: 1854-510. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



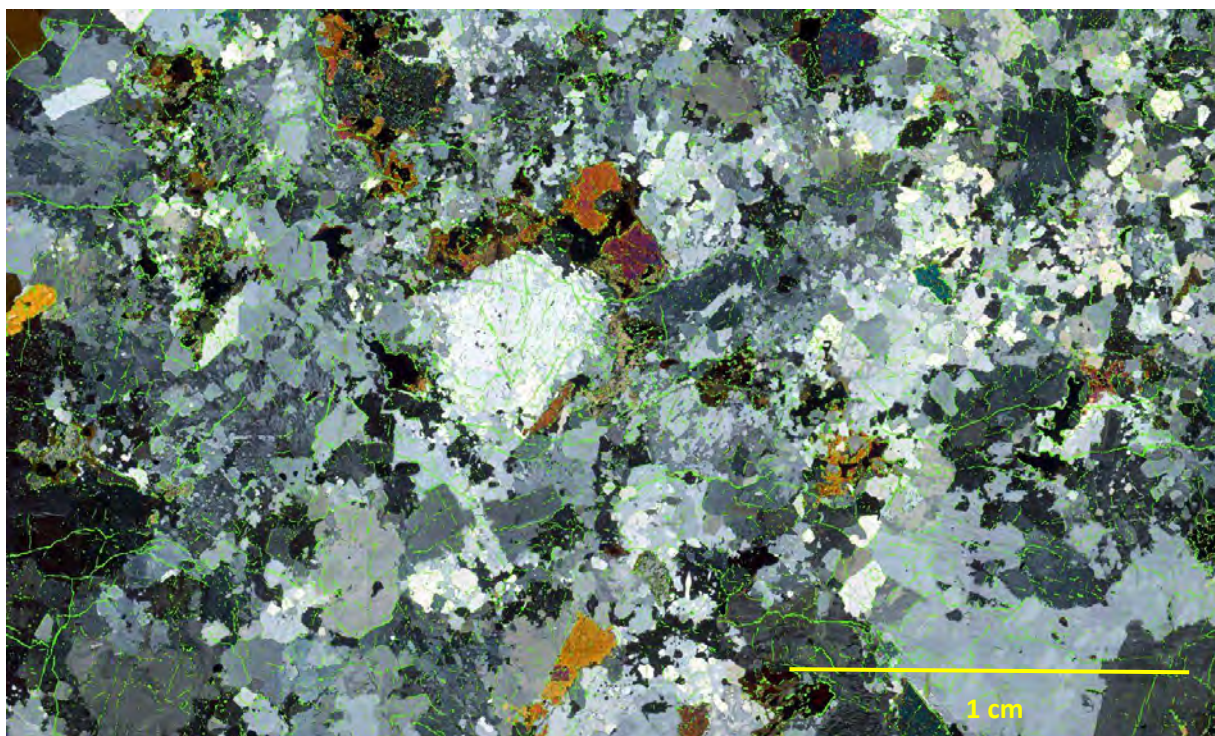
Prøve: 1857-513-1. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



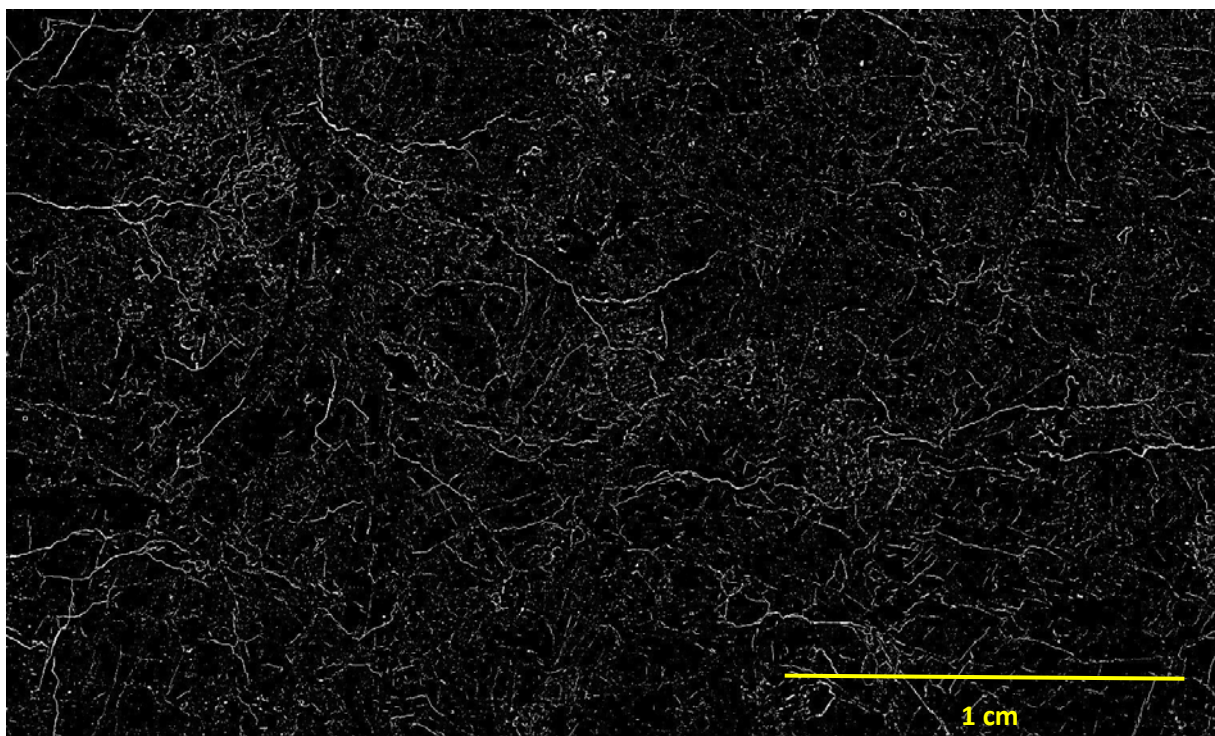
Prøve: 1857-513-1. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



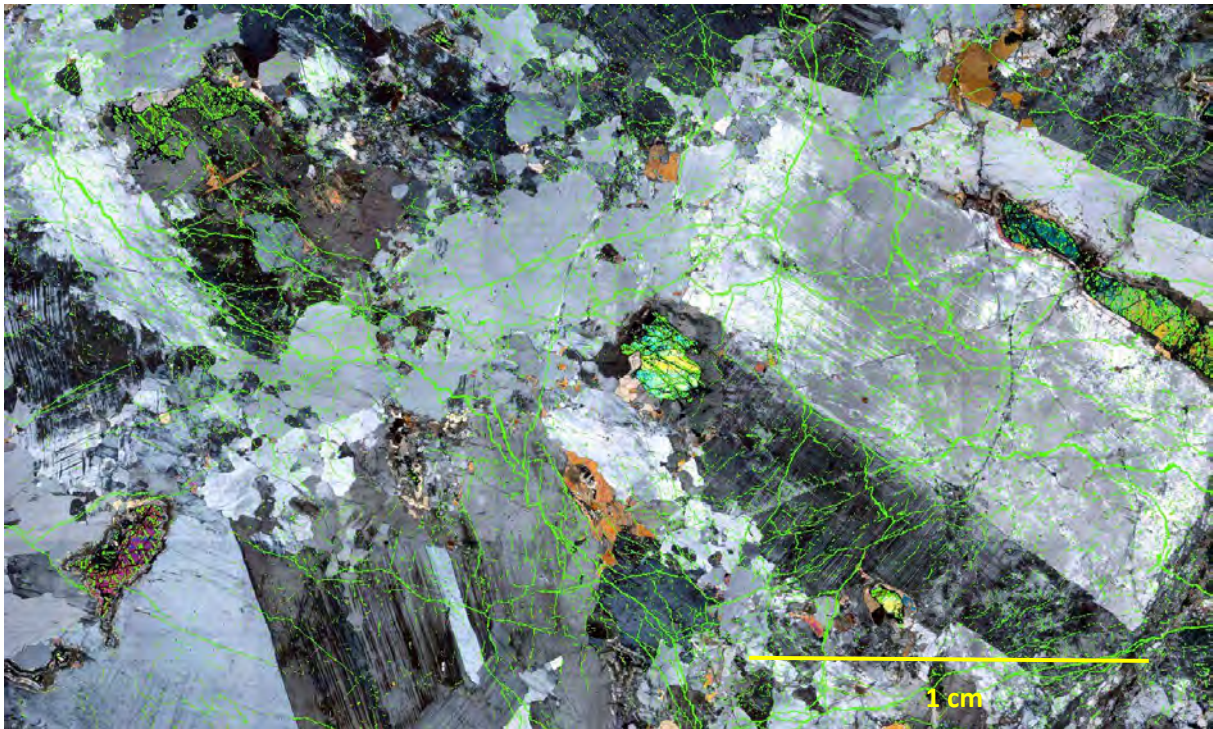
Prøve: 1857-513-2. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



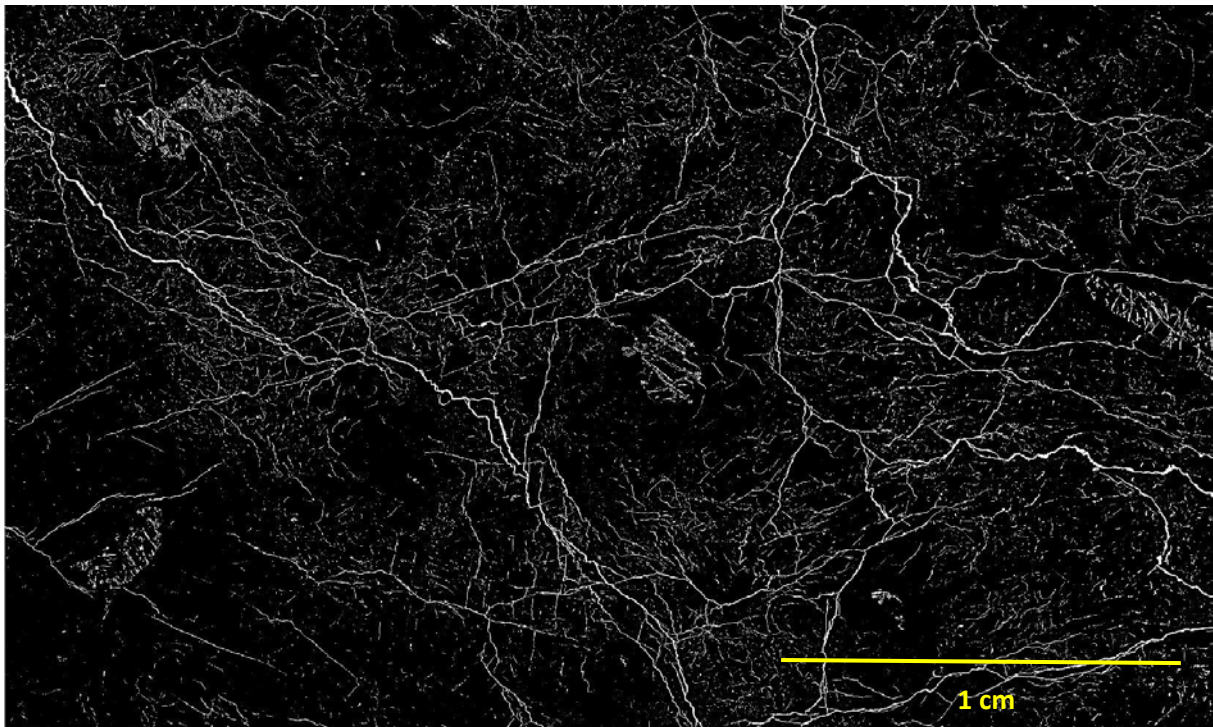
Prøve:1857-513-2. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



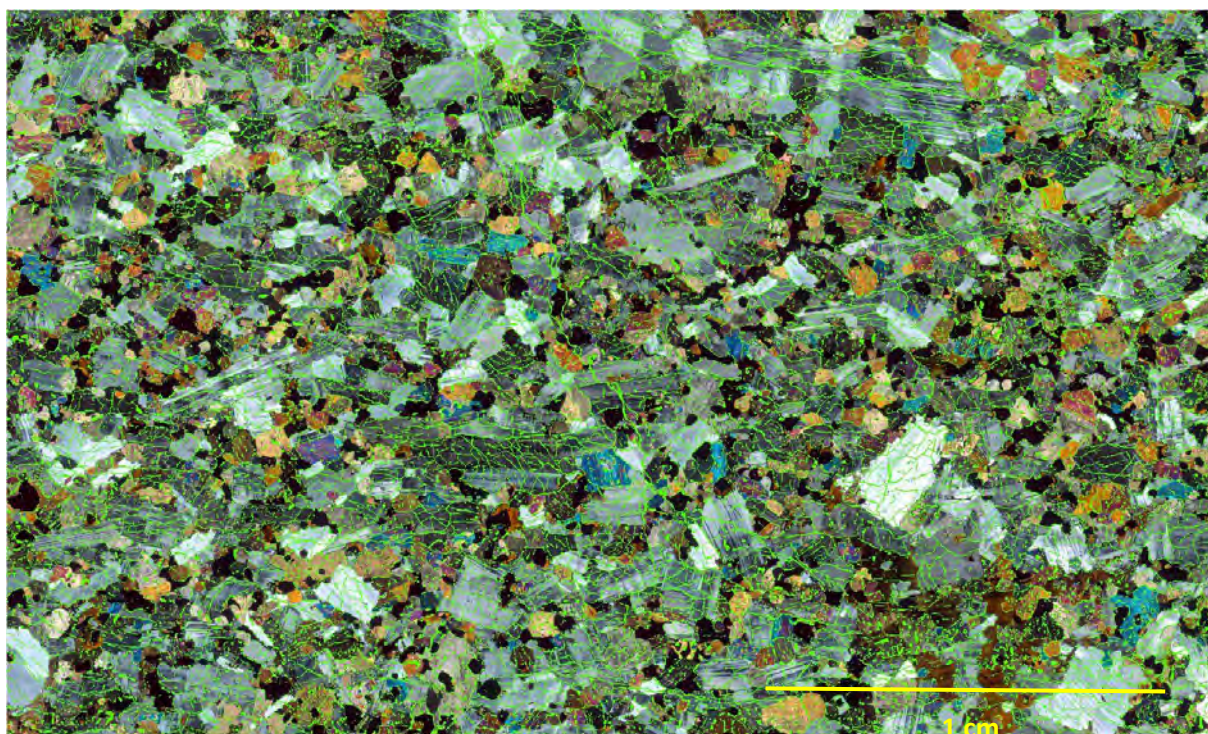
Prøve: 1859-502. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



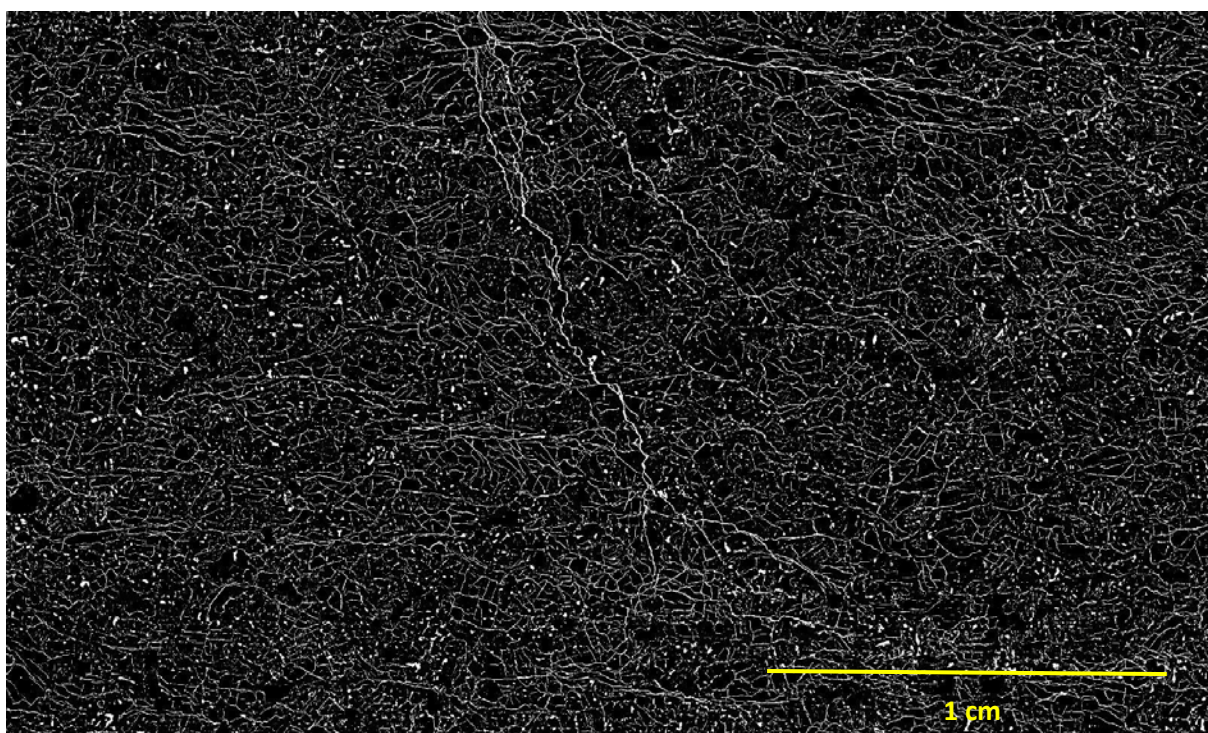
Prøve:1859-502. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



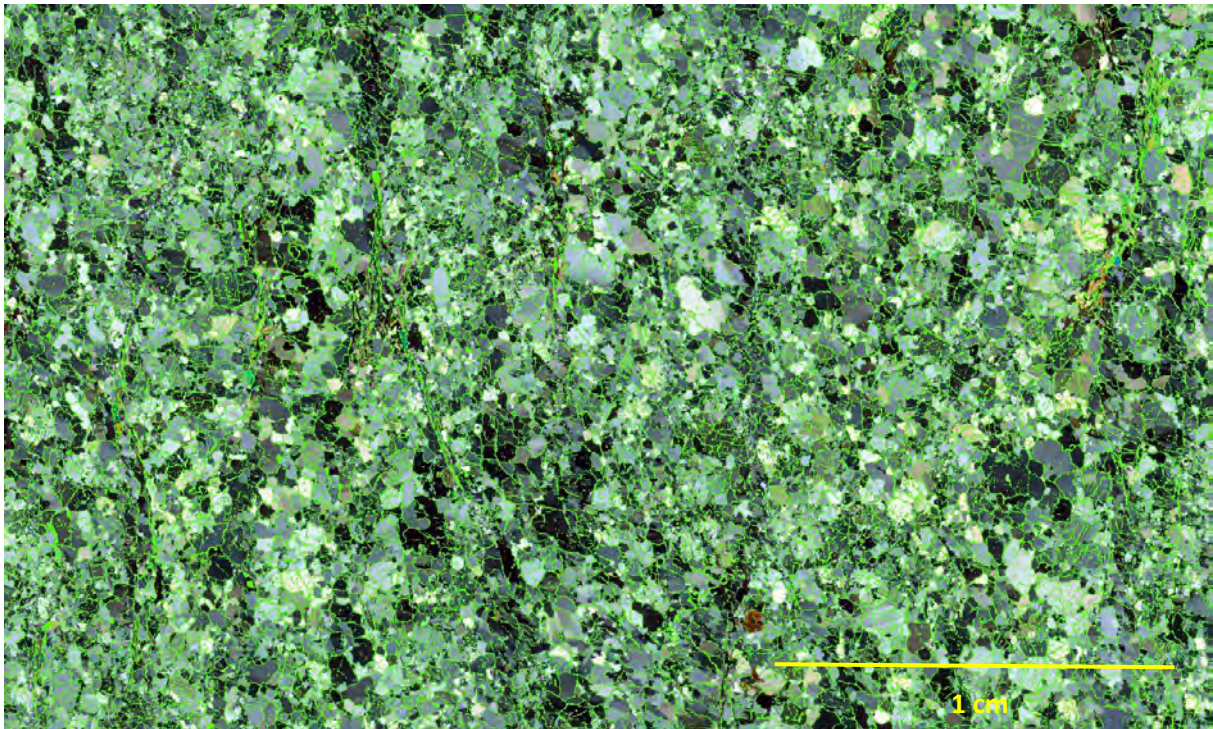
Prøve: 1860-501. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



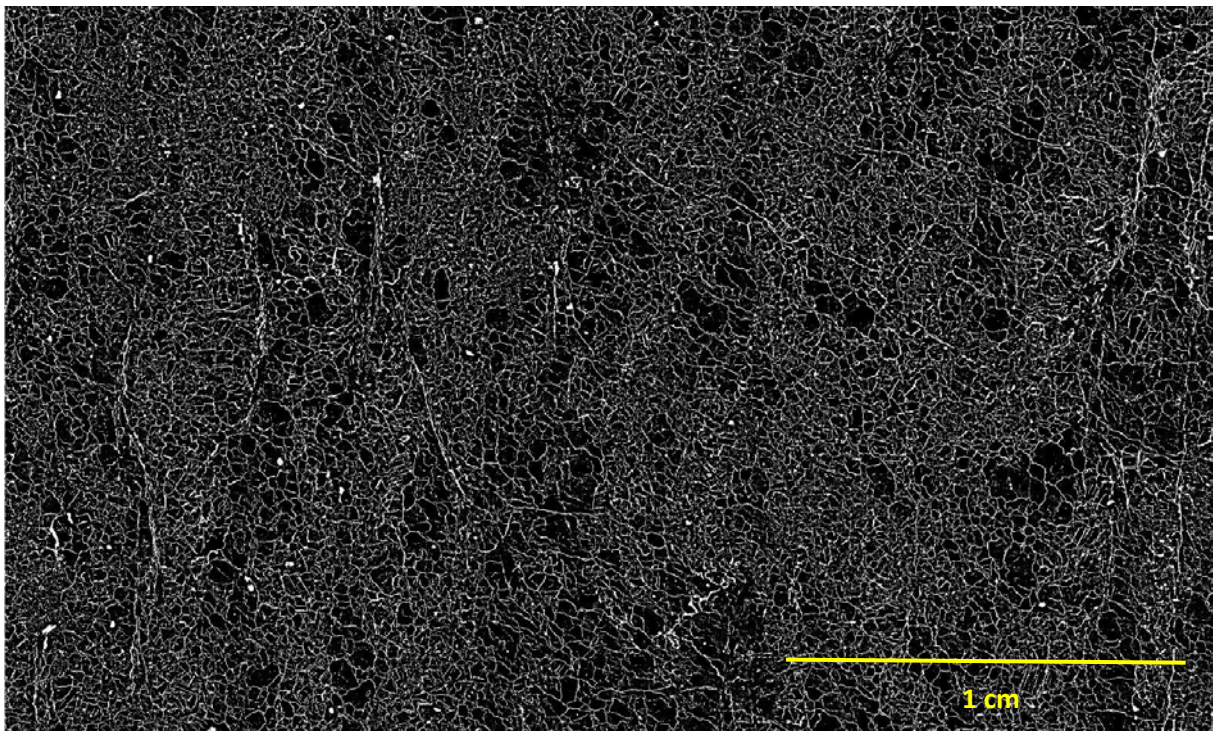
Prøve: 1860-501. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



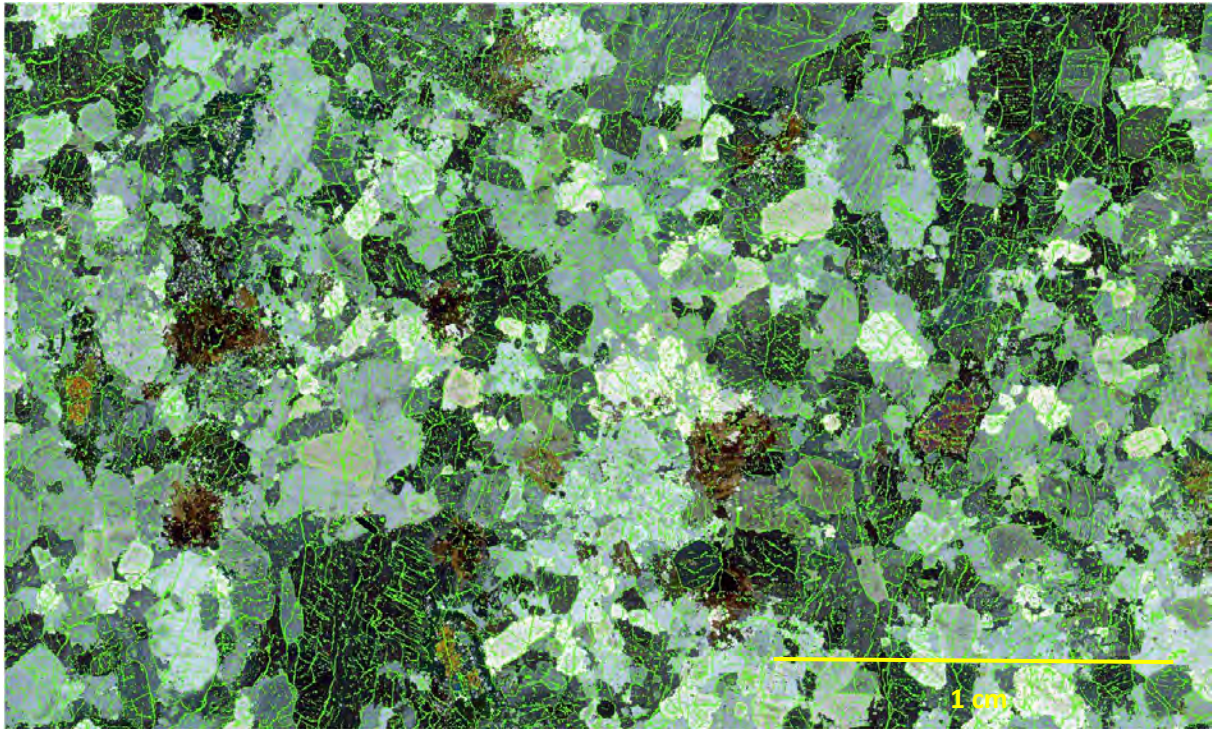
Prøve: 1860-528. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



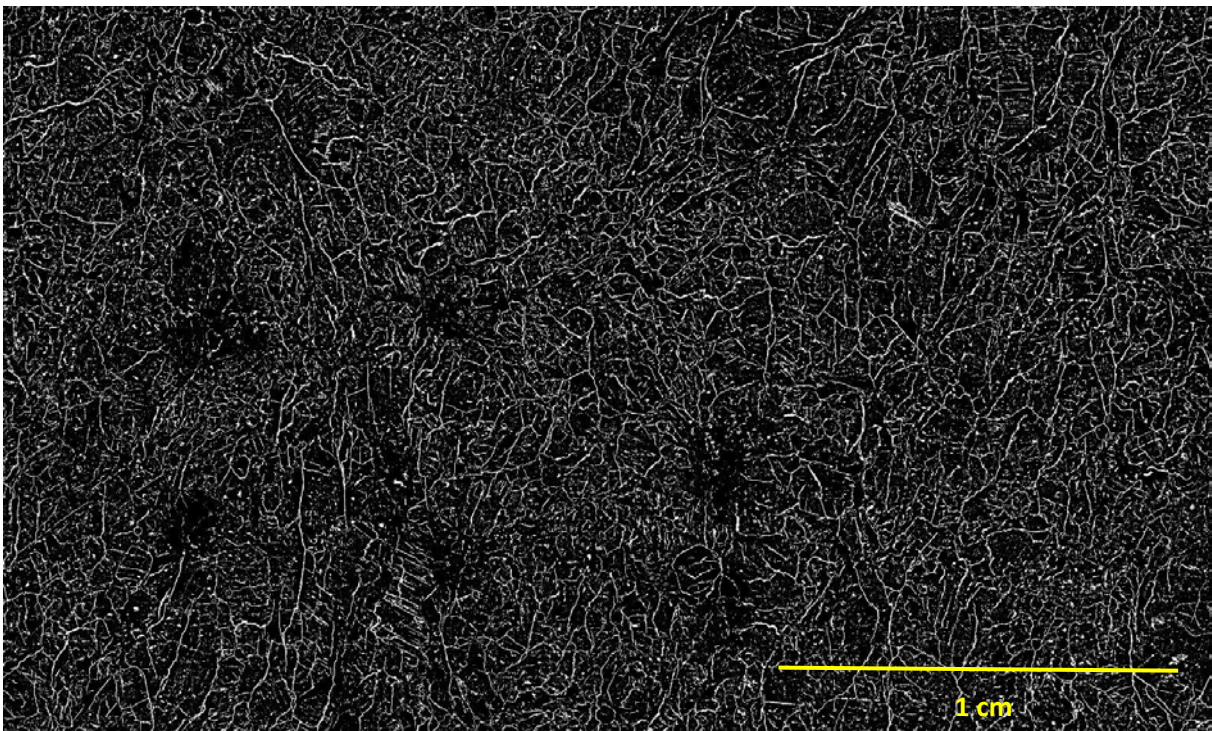
Prøve: 1860-528. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



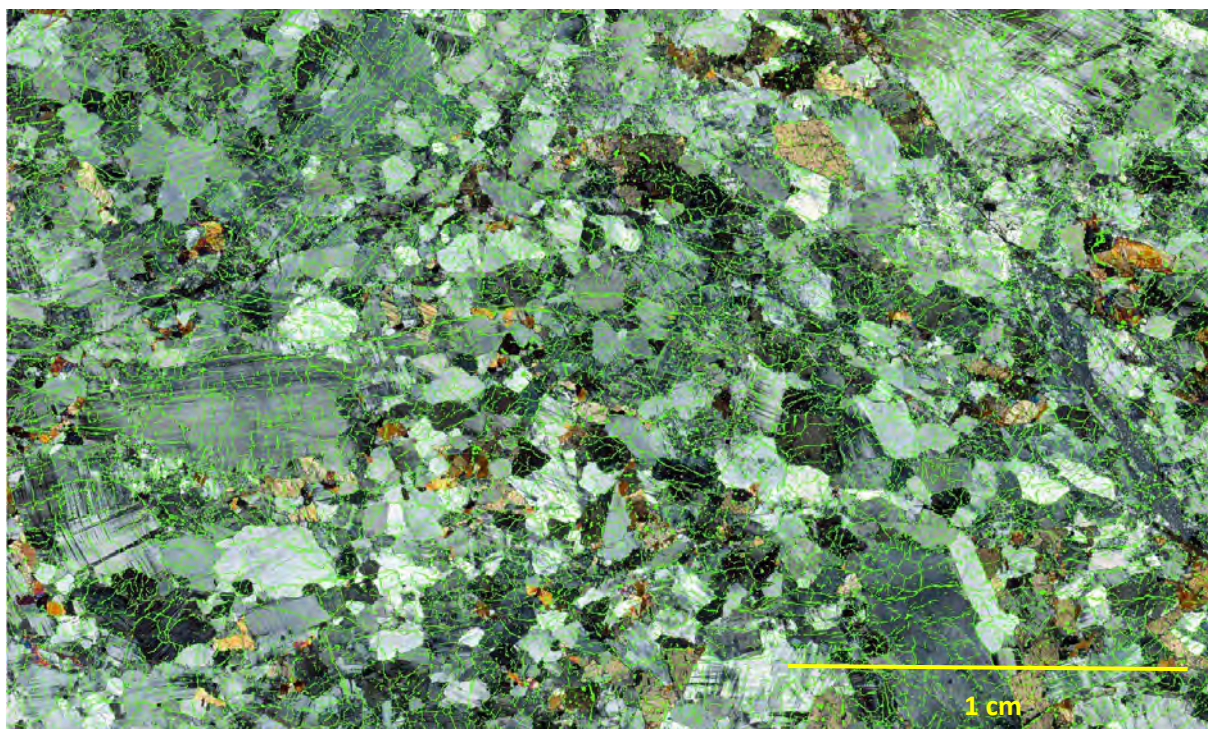
Prøve:1866-512. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerede FL bilder.*



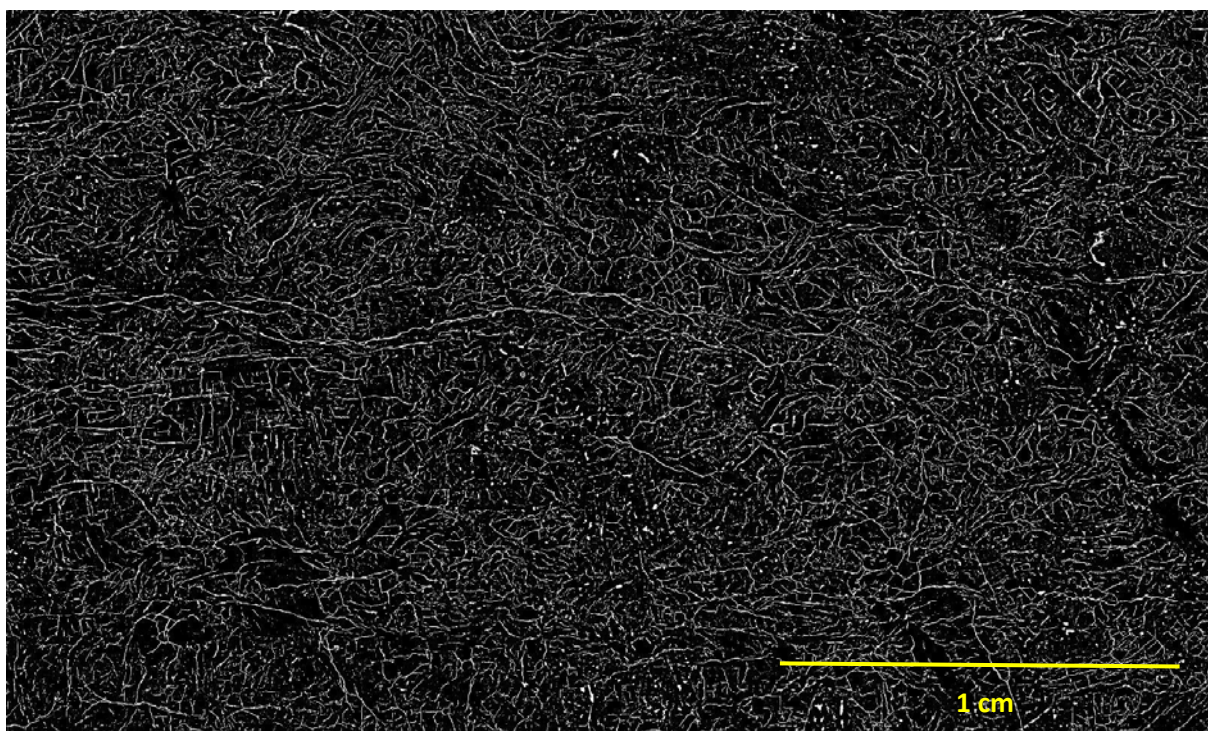
Prøve: 1866-512. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



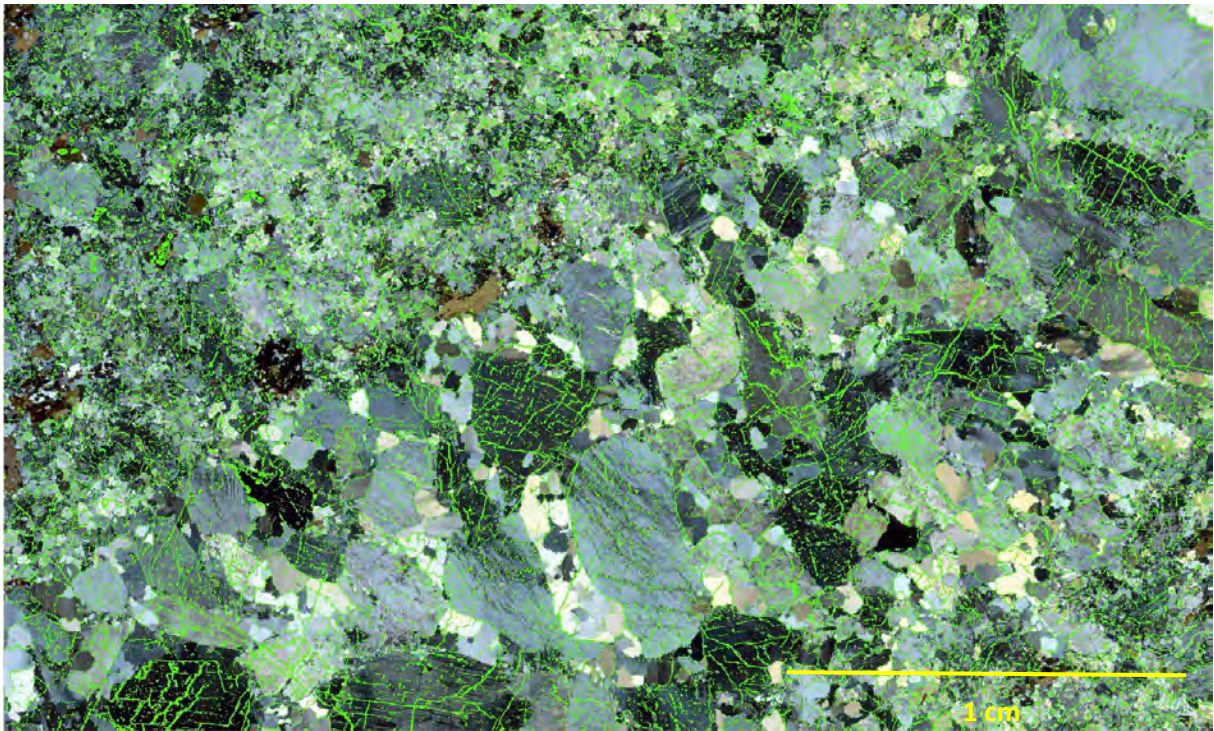
Prøve: 1866-529. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



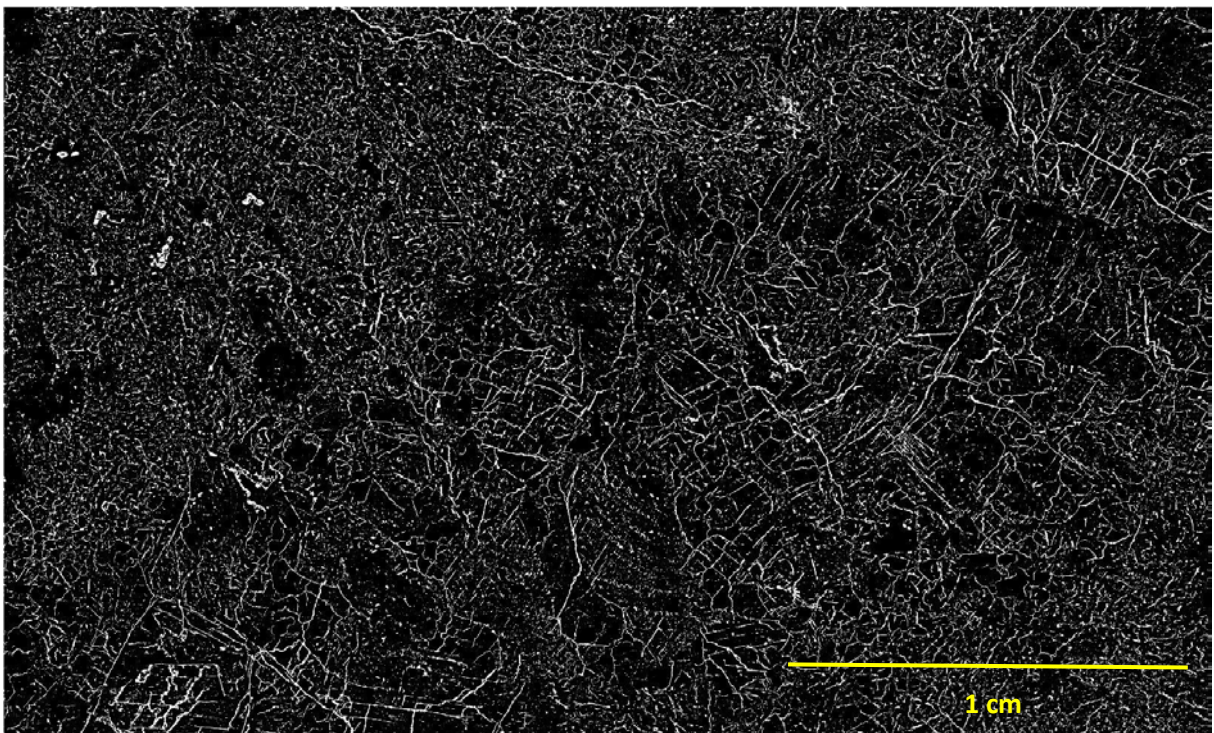
Prøve: 1866-529. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



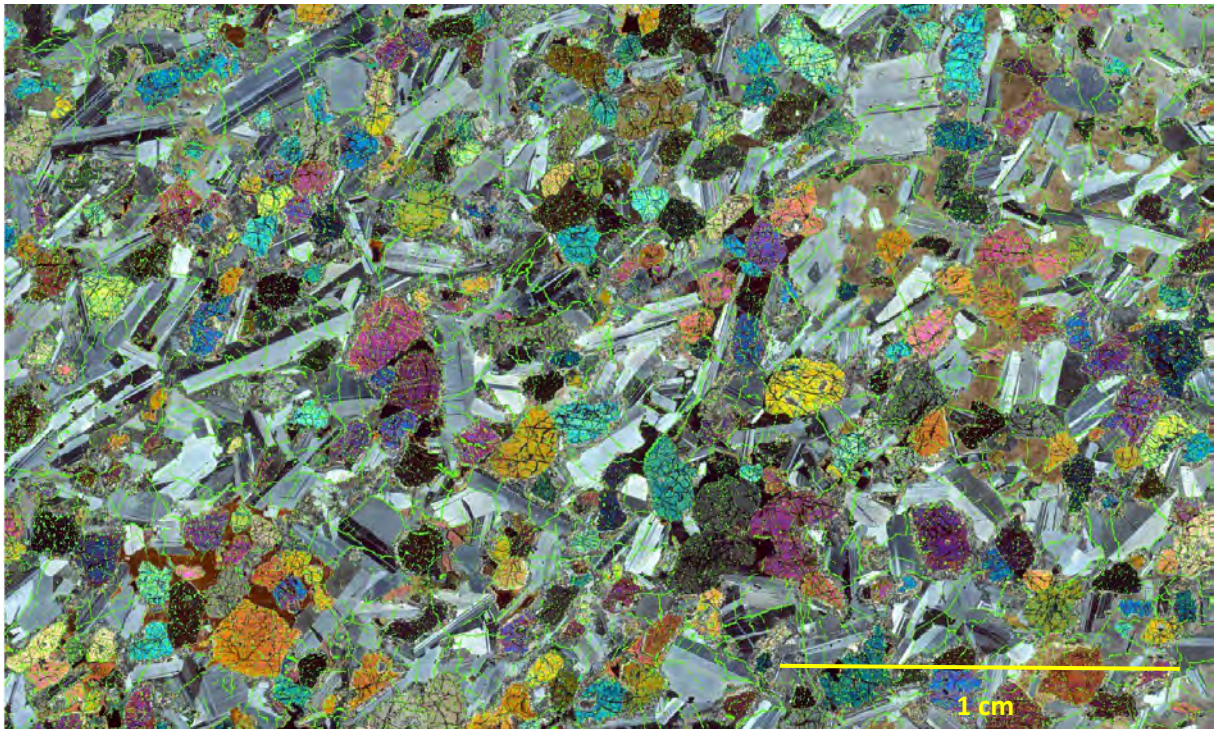
Prøve:1866-533. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulererte FL bilder.*



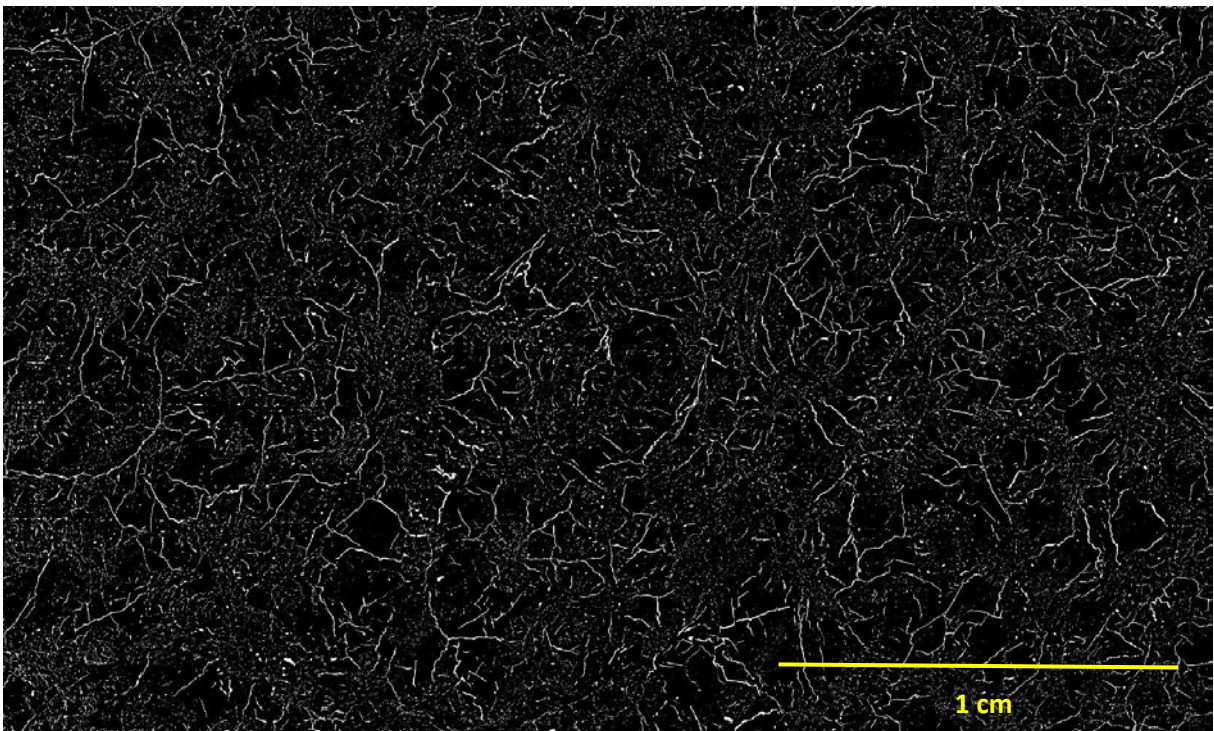
Prøve: 1866-533. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



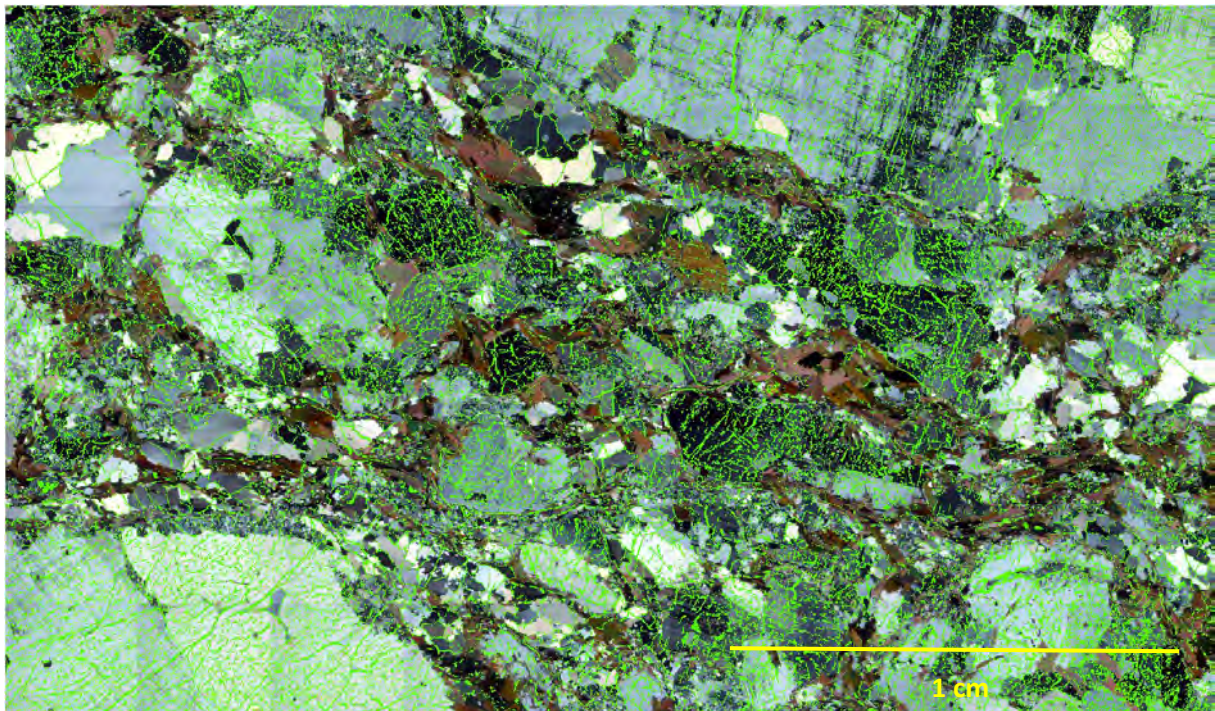
Prøve:1871-530. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulererte FL bilder.*



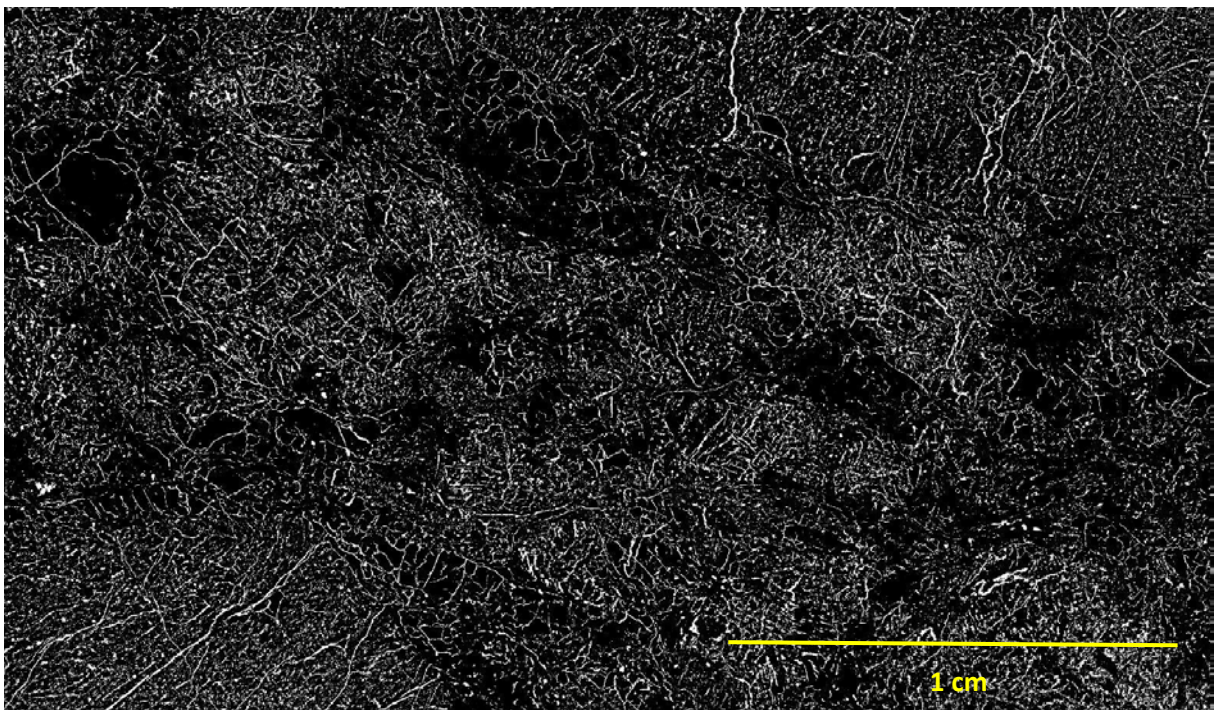
Prøve: 1871-530. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



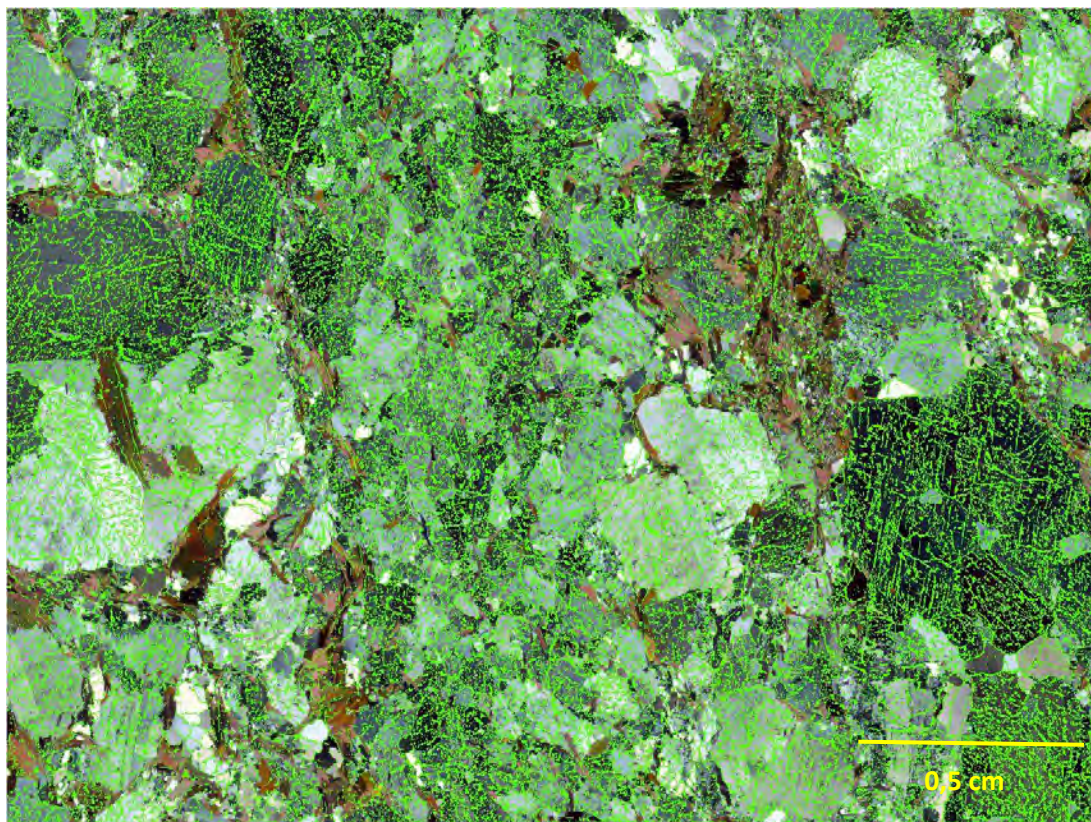
Prøve: Lito 1431-1. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



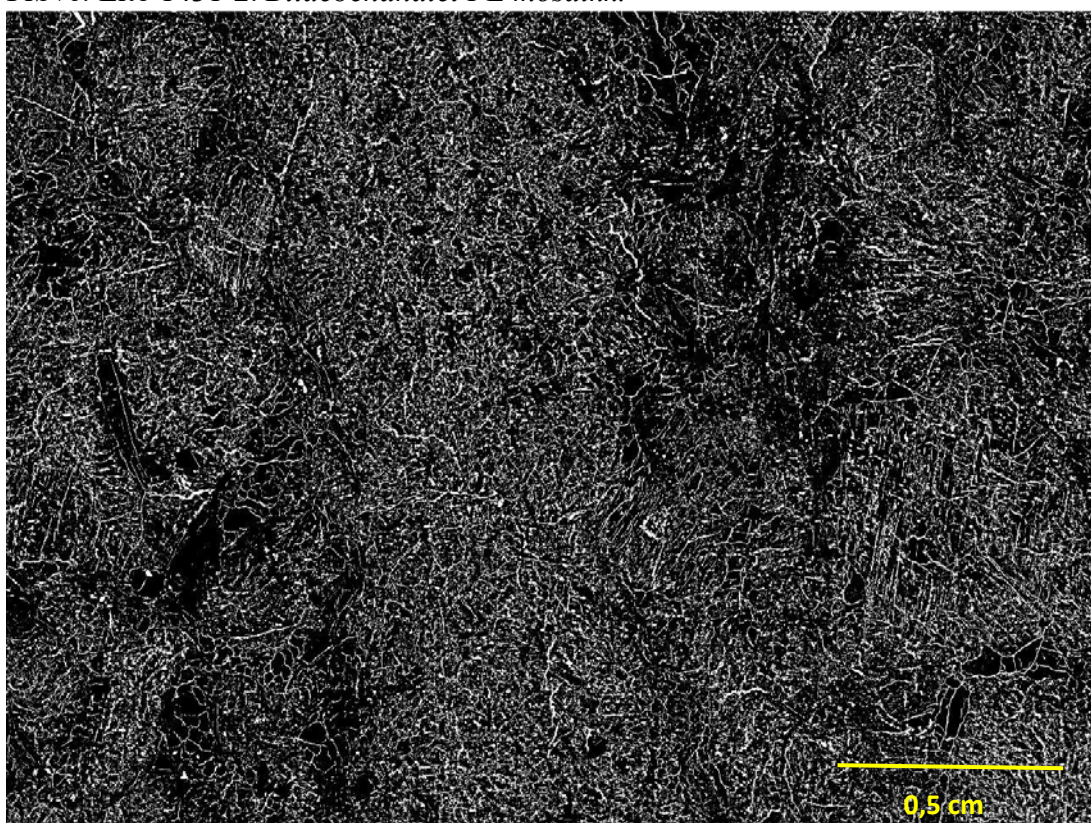
Prøve: Lito 1431-1. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



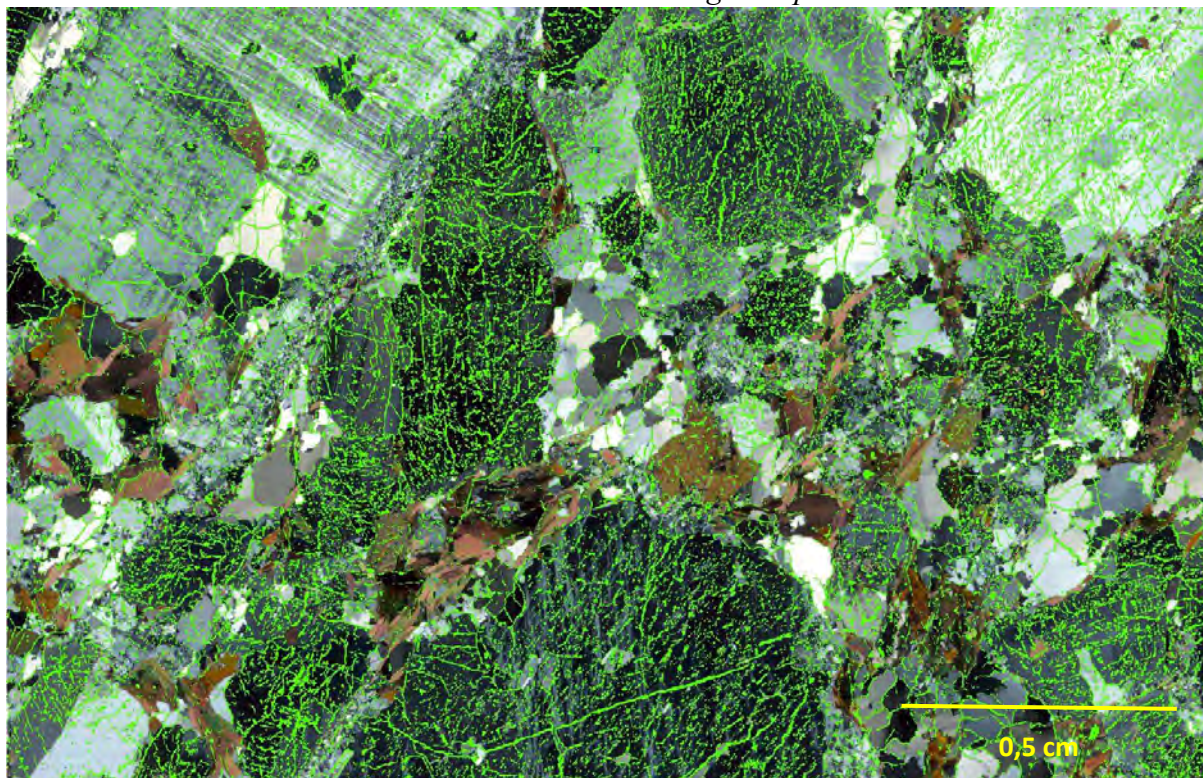
Prøve: Lito 1431-2. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



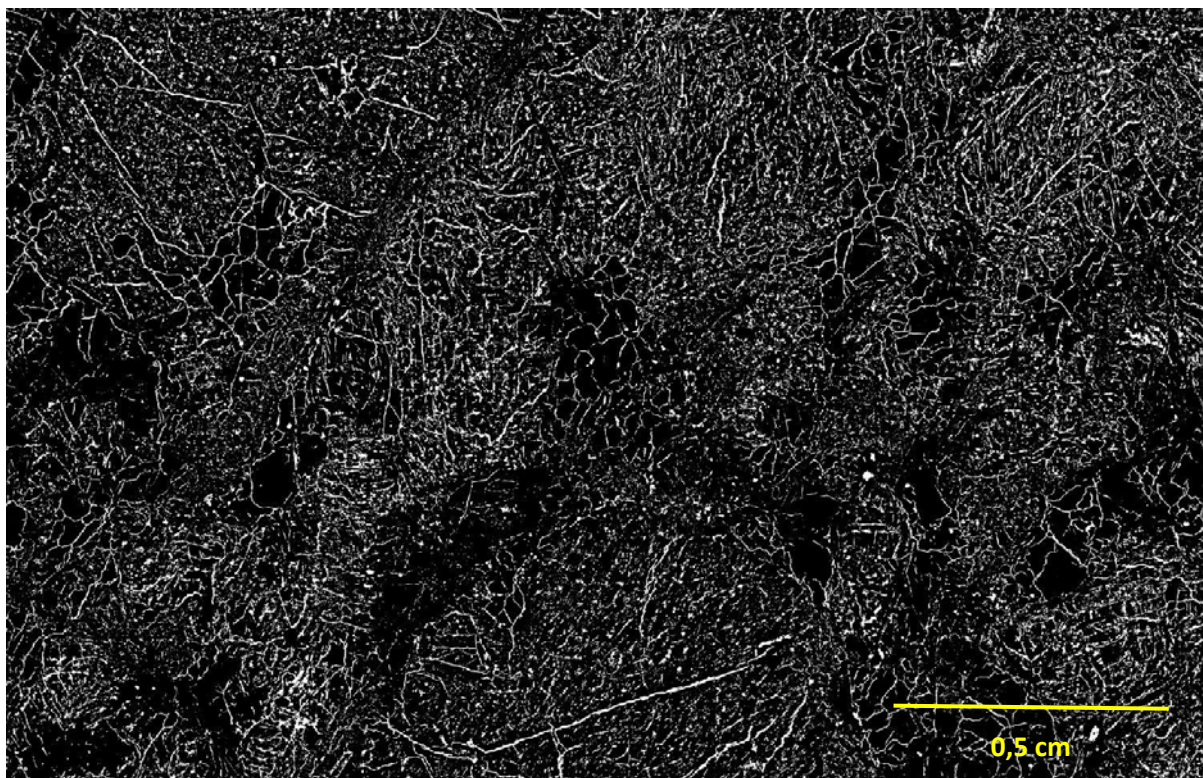
Prøve: Lito 1431-2. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



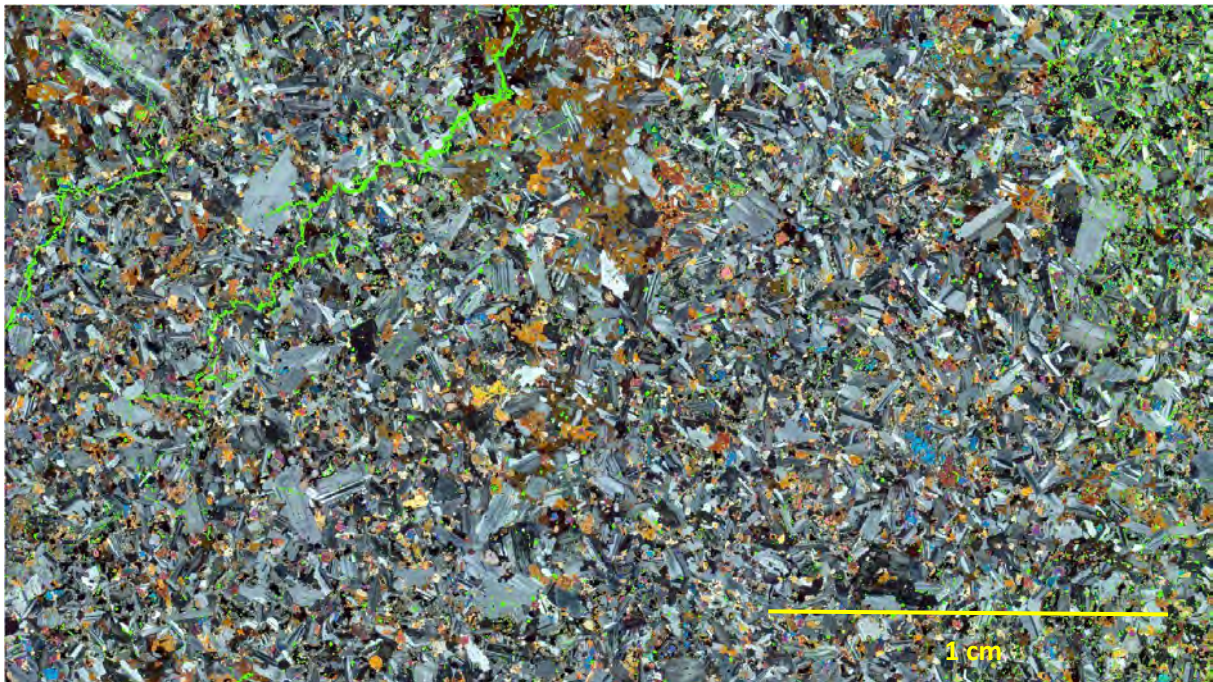
Prøve: Lito 1431-3. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



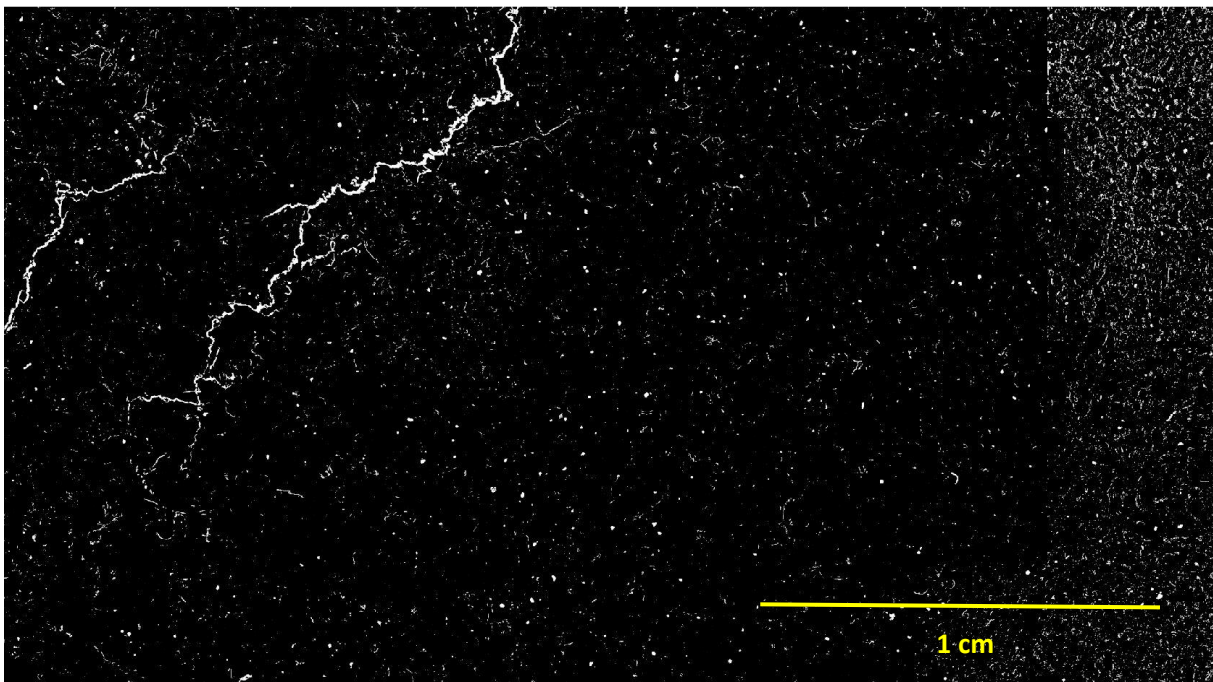
Prøve: Lito 1431-3. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



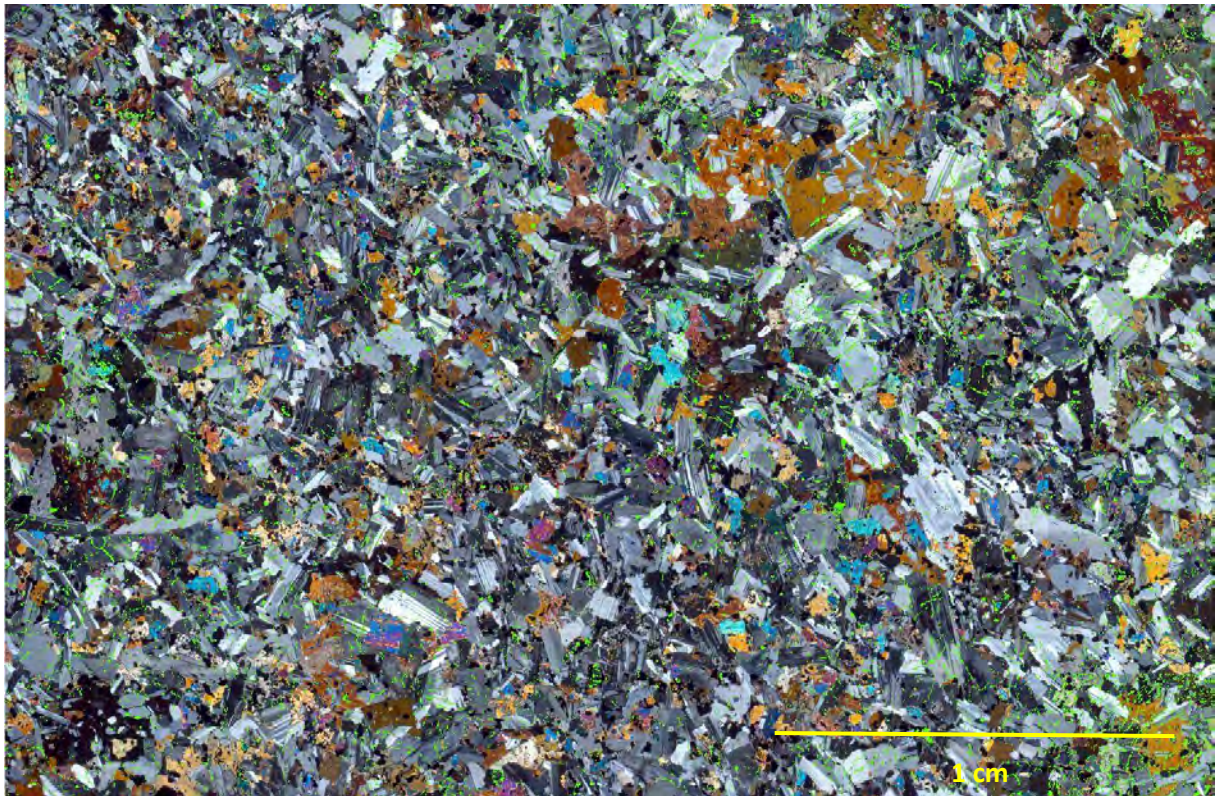
Prøve: Lito 2753-1. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



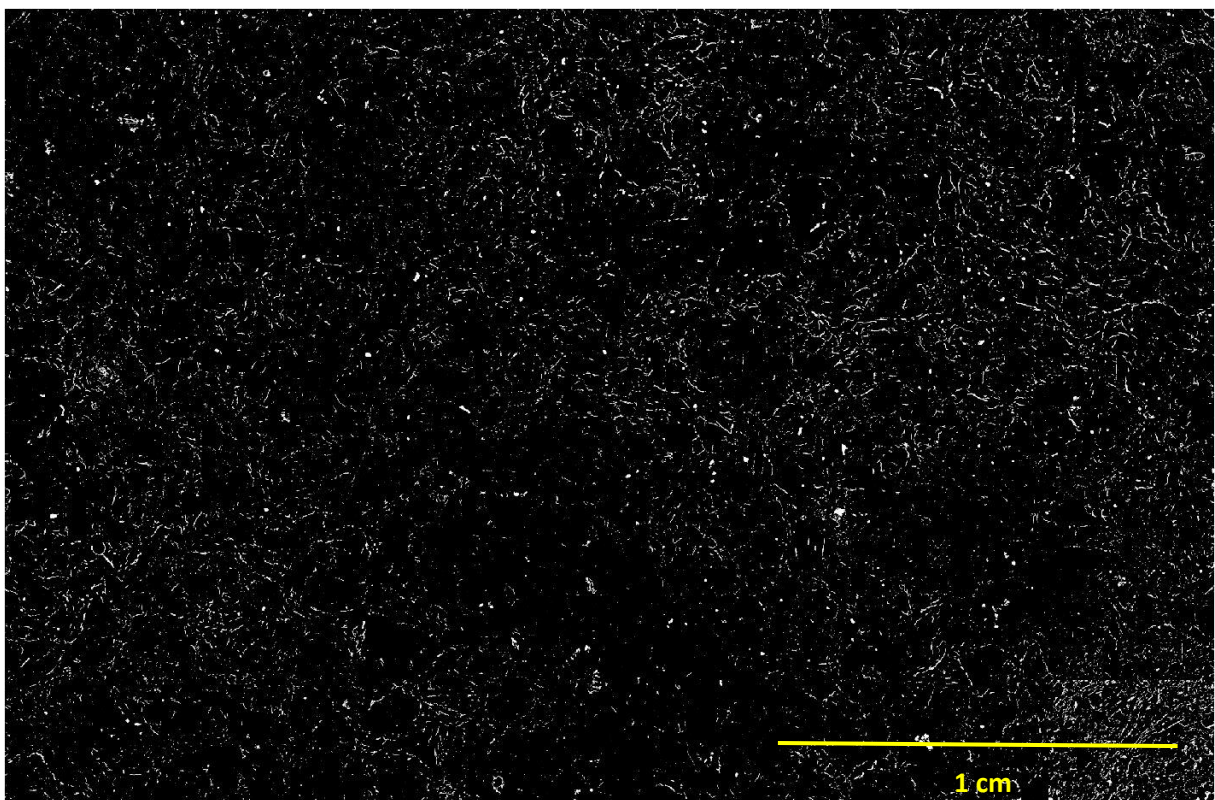
Prøve: Lito 2753-1. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



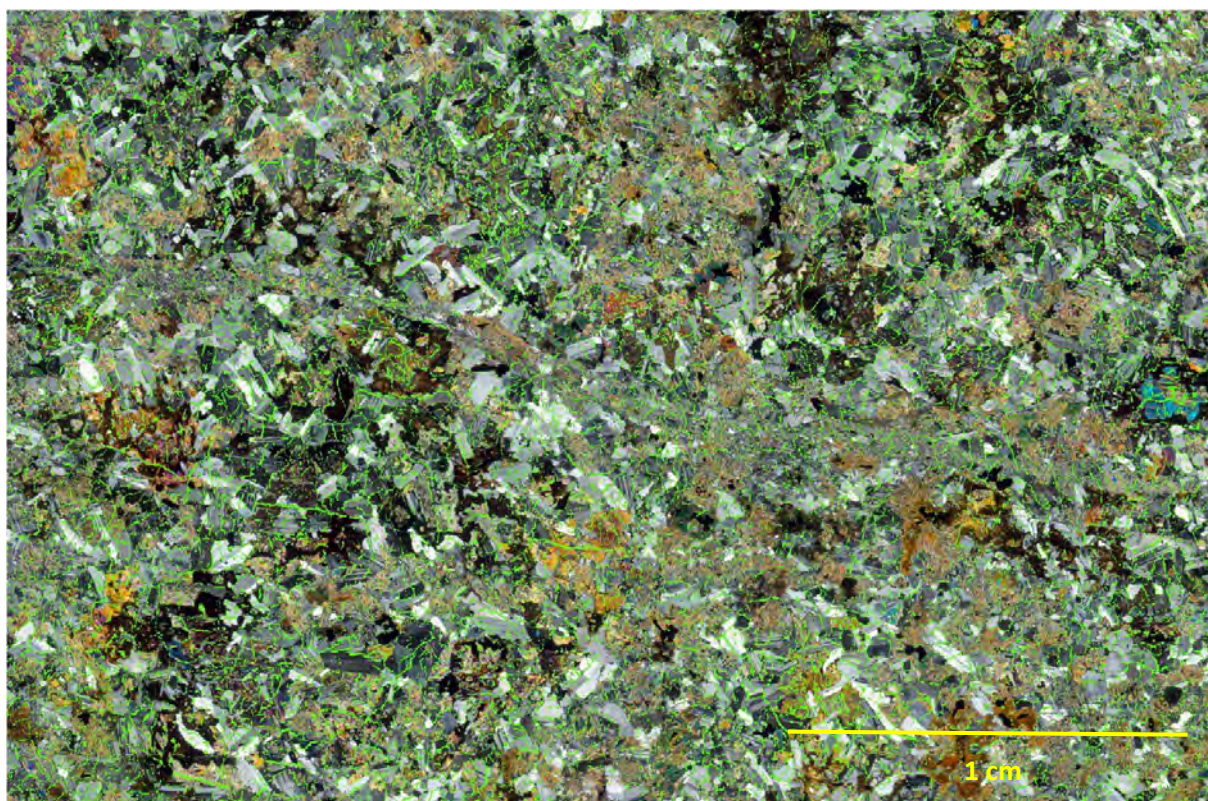
Prøve: Lito 2753-2. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



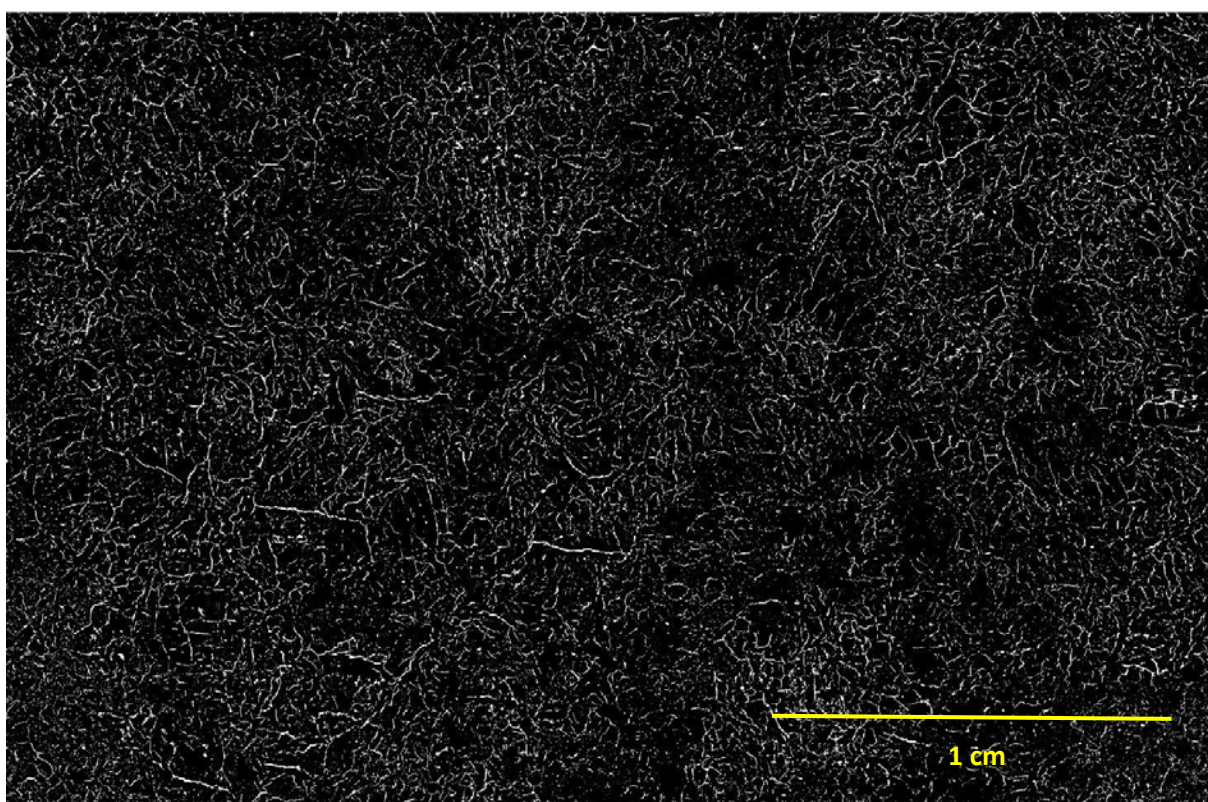
Prøve: Lito 2753-2. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



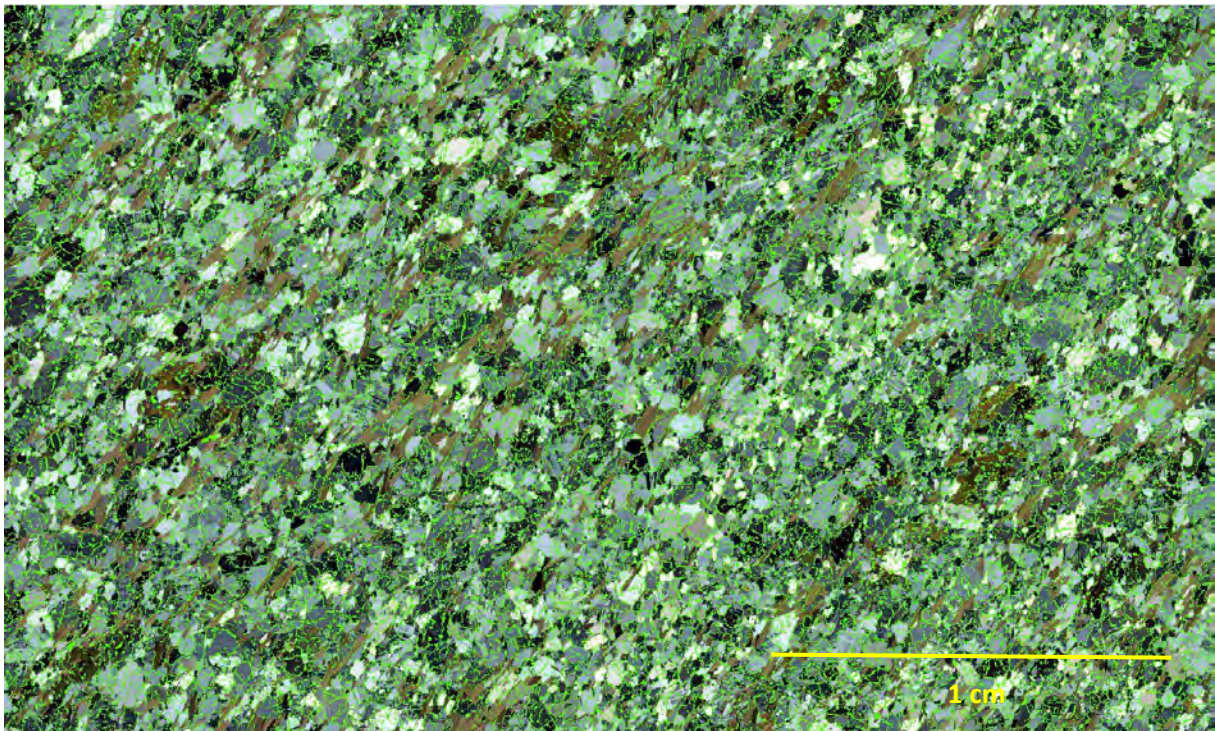
Prøve: Lito 2753-3. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



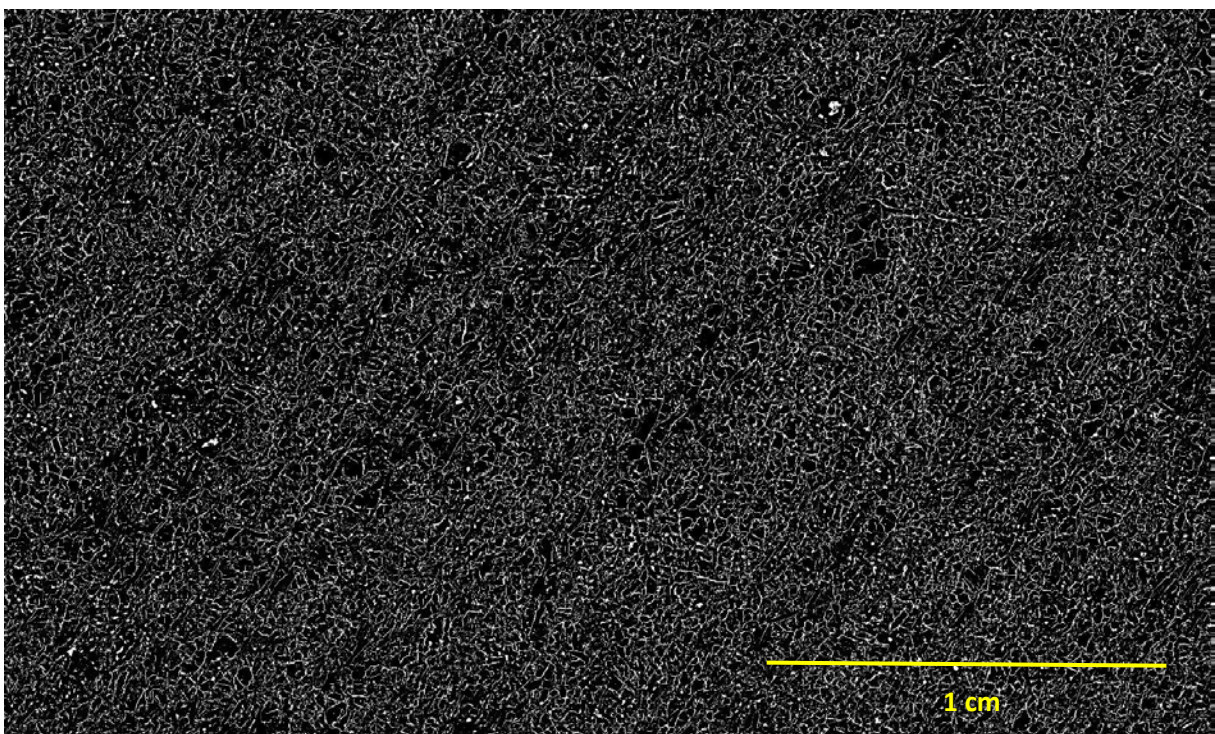
Prøve: Lito 2753-3. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



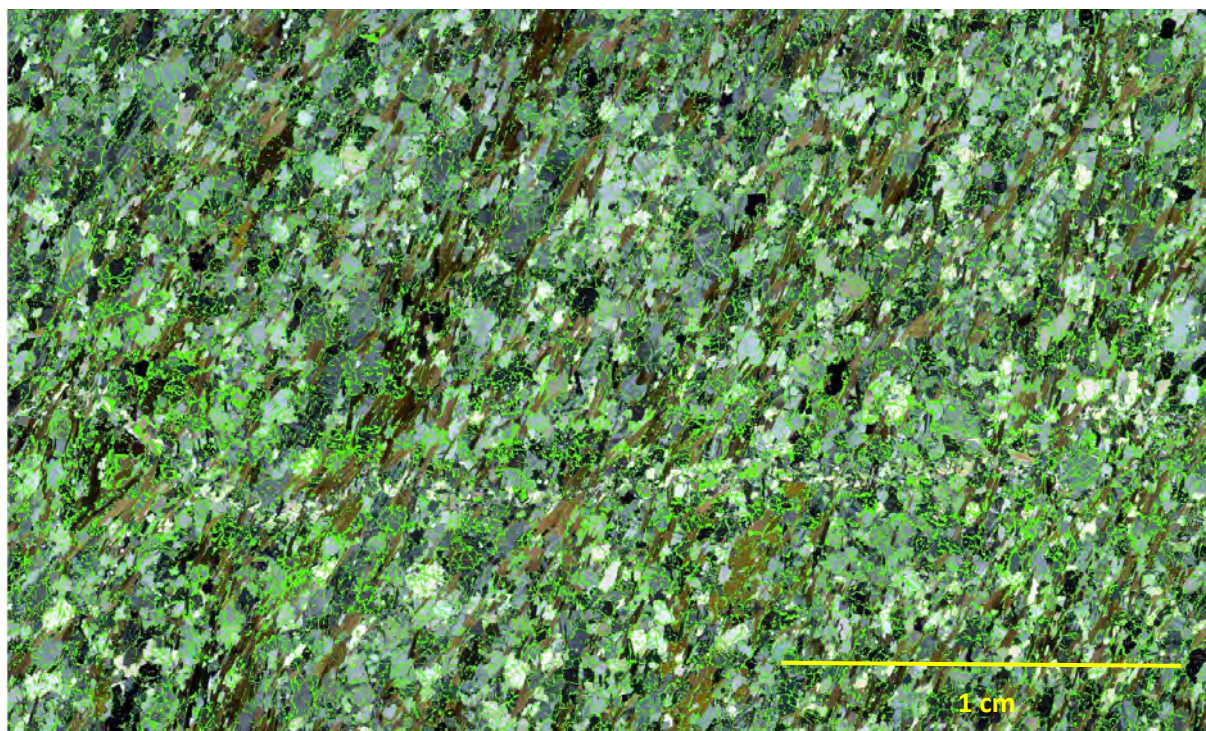
Prøve: SK-1. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



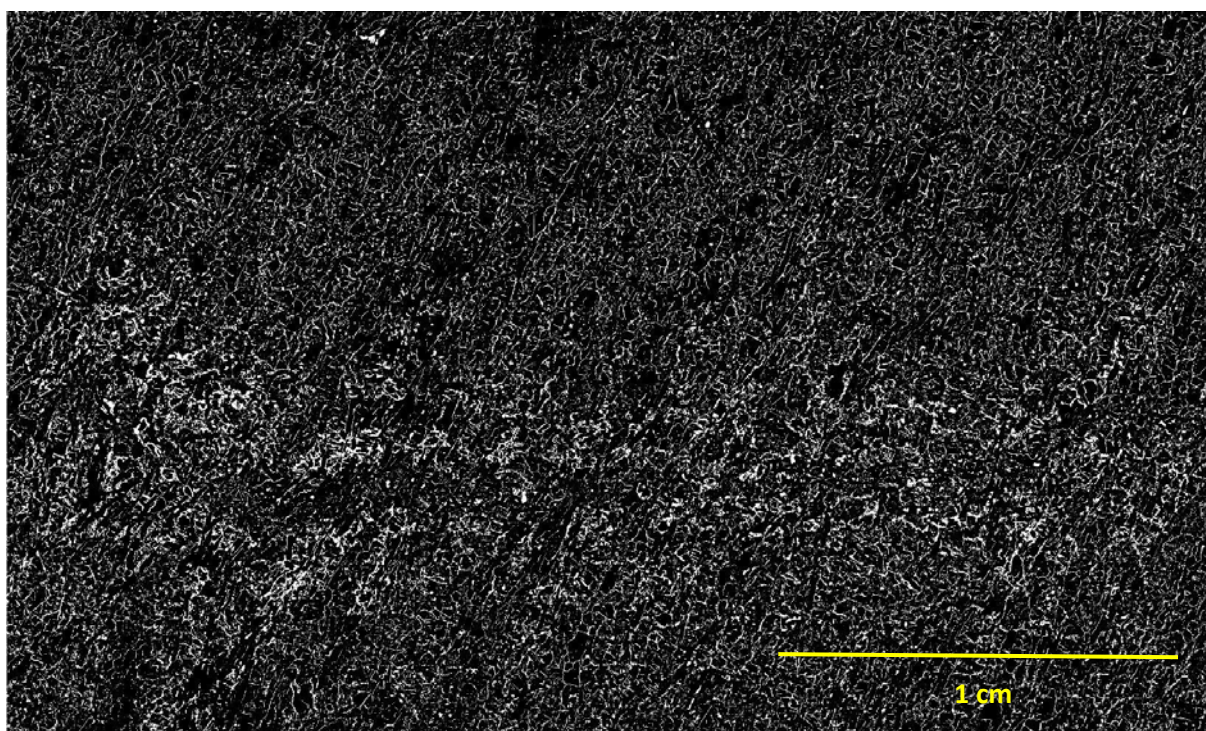
Prøve: SK-1. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



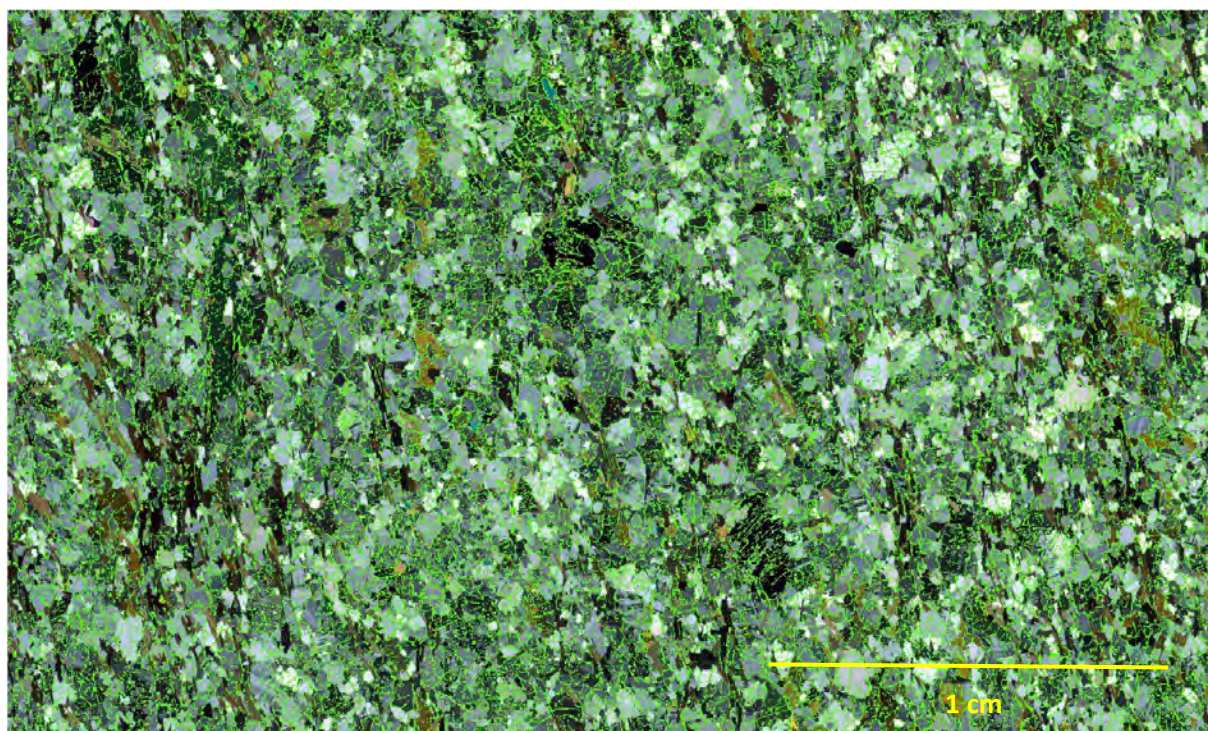
Prøve: SK-2. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



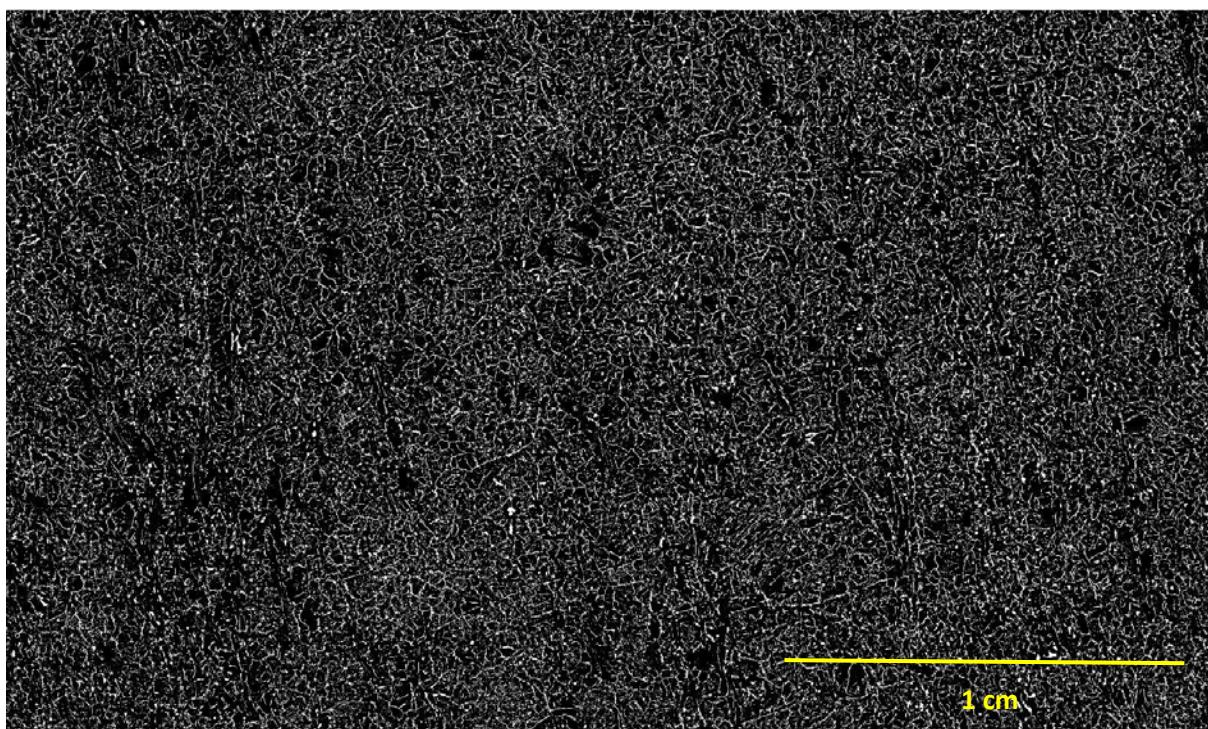
Prøve: SK-2. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



Prøve: SK-3. *Kombinert bildemosaikk av XPL og manipulerte FL bilder.*



Prøve: SK-3. *Bildebehandlet FL mosaikk.*



Vedlegg 3. punktlasttest resultater og borelogg

Sjona kjerne (SK-1) punktlasttest:

Sjona Dyp (cm)	Brudd- styrke (P)	Punktlast- styrke ($I_s=P/D^2$)	Utstyr: GCTS Merknad
12,0	7,05	57,6	Langs foliasjon, korte kjernelengder
19,0	8,85	72,2	"
25,0	8,38	68,4	"
32,0	8,18	66,8	"
37,0	9,34	76,2	"
45,0	9,16	74,8	"
51,0	7,73	63,1	"
62,0	8,20	66,9	"
67,0	7,86	64,2	"
74,0	9,89	80,7	"
80,0	7,41	60,5	"
87,0	11,92	97,3	"
93,0	11,63	94,9	"
99,0	10,12	82,6	"
105,0	9,15	74,7	Langs foliasjon, lange
115,0	9,17	74,9	"
124,0	6,46	52,7	"
131,0	7,07	57,7	"
149,0	8,27	67,5	"
158,0	6,64	54,2	"
175,0	8,73	71,3	"
186,0	10,54	86,0	"
196,0	9,07	74,0	"
207,0	9,32	76,1	"
216,0	7,79	63,6	"
230,0	5,18	42,3	"
240,0	5,63	46,0	"
255,0	10,44	85,2	"
269,0	10,07	82,2	"
275,0	7,52	61,4	"
291,0	9,31	76,0	"
307,0	8,85	72,2	"
315,0	8,31	67,8	"
321,0	7,22	58,9	"
331,0	6,93	56,6	Langs foliasjon, korte kjernelengder
338,0	6,77	55,3	Langs foliasjon, lange
346,0	7,10	58,0	"
355,0	7,25	59,2	"
365,0	7,73	63,1	"
370,0	7,32	59,8	"
382,0	7,65	62,4	"
391,0	8,35	68,2	"
399,0	8,34	68,1	"
407,0	7,98	65,1	"
415,0	9,18	74,9	"
435,0	10,80	88,2	"
440,0	7,20	58,8	Langs foliasjon, korte kjernelengder
445,0	6,50	53,1	Langs foliasjon, korte kjernelengder
460,0	6,55	53,5	Langs foliasjon, lange + sprekkefylling
480,0	8,55	69,8	Langs foliasjon, lange
491,0	11,11	90,7	"
497,0	6,73	54,9	"

Sjona kjerne (SK-1) borelogg:

Sjona Dyp (cm)	Beskrivelse
0	Granittisk gneis homogen, sterkt foliert, båndet
5-10	Prøve for tynnslipp
26	mer felsisk 1 cm bånd
42	granittisk gneis foliasjon 42°
80	mafisk bånd 60° i foliasjonen 0,5 cm tykk
81-115	lysere mer felsisk med qtz-bånd
84	3 mm kvarts-åre subparallelt med foliasjonen 57 °
85	sprekke 58°
138	sprekke 30°
144	sprekke langs foliasjonen 66°
167	sprekke 29°
235-240	Prøve for tynnslipp
284	sprekke 25°
290-293	lyst felsisk bånd
323	Foliasjon 63 °
376	Sprekke 34°
424	sprekke27°
428	sprekke 24°
465	markant kvarts-karbonat åre 0,4 cm tykk 20° bøyer en del
479-484	Prøve for tynnslipp
502	Slutt

Lito-1431 punktlasttest:

Porfyrgranitt Dyp (cm)	Brudd- styrke (P)	Puktlast- styrke ($I_s=P/D^2$)	Utstyr: GCTS Merknad
10	10,71	87,4	Lang
18	11,17	91,2	Lang
26	8,82	72,0	Lang
38	11,68	95,3	Lang
46	11,33	92,5	Lang
54	10,64	86,9	Lang
62	10,13	82,7	Lang
74	9,76	79,7	Lang
82	10,31	84,2	Lang
92	12,34	100,7	Lang
106	13,34	108,9	Lang
115	12,33	100,7	Lang
125	11,42	93,2	Lang
134	11,11	90,7	Lang
154	11,57	94,4	Lang
167	12,86	105,0	Lang
175	11,93	97,4	Lang
190	12,60	102,9	Lang
198	10,39	84,8	Lang, brudd i porfyr
208	14,08	114,9	Lang
215	13,69	111,8	Lang
230	10,07	82,2	Lang
234	12,33	100,7	Lang
247	14,22	116,1	Lang
			Prøvesone
297	10,92	89,1	Kort

Lito-1431 borelogg:

Porfyrgranitt Dyp (cm)	Beskrivelse
0	Porfyrgranitt med cm store elongerte feltspatfenokryster
3	sprekke 40°
6-13	stor mengde fenokryster
7-12	Prøve for tynnslip
85-90	Parti med mm-tynne åre ca. 40°
117-123	Prøve for tynnslip
132	Tynn (1 mm bred) åre 48°
137	Tynn (1-2 mm bred) åre 37°
160	sprekke 60°
203	1-2mm åre gjennom porfyr 55°
251-291	mangler (tidligere prøvesone)
297-301	Prøve for tynnslip
301	Slutt

Lito-2753 punktlasttest:

Dyp (cm)	Brudd- styrke (P)	Puktlast- styrke ($I_s=P/D^2$)	Utstyr: GCTS Merknad
7	22,52	183,8	Kort
15	17,63	143,9	Kort
36	25,37	207,1	Kort
53	19,83	161,9	Kort
61	7,98	65,1	Lang
68	19,74	161,1	Lang
72	22,76	185,8	Lang
92	19,18	156,6	Lang
99	19,43	158,6	Lang
104	22,00	179,6	Kort
111	14,95	122,0	Lang
118	18,89	154,2	Lang
127	24,02	196,1	Lang
137	18,14	148,1	Lang
146	22,87	186,7	Lang
154	16,96	138,4	Lang
163	23,55	192,2	Lang
170	21,27	173,6	Lang
179	19,74	161,1	Lang
197	16,67	136,1	Kort
205	19,06	155,6	Lang
212	19,24	157,1	Lang
			Prøvesone
245	16,44	134,2	Lang
251	15,10	123,3	Lang
			Prøvesone
285	18,63	152,1	Kort
297	18,90	154,3	Kort

Lito-2753 borelogg:

Dyp (cm)	Beskrivelse
0	mellomkornet metagabbro
0-5	Prøve for tynnslip
5-8	sone med 1-2 mm tykke grovkornet årer (pegmatitt) av gabbro
280-285	Prøve 3
18	sprekke 42°
23	sprekke 45°
27	sprekke 60°
29	sprekke 55°
41-47	sprekkesone varierende orientering 60°
51	tynn < 1mm tykk felsisk åre
30-40	plettestekstur definert av hornblende oikokryster
40-50	mellomkornet metagabbro
50-55	plettestekstur definert av hornblende oikokryster
56	sprekke 40°
58	lukket sprekk 35°
64-82	plettestekstur definert av hornblende oikokryster
81	sprekke 65°
85-88	sprekkesone subparallele sprekker ca 70°
95-100	Prøve for tynnslip
118-158	plettestekstur definert av hornblende oikokryster
158-166	finkornet homogent parti av metagabbro
166-218	plettestekstur, litt mer grovkornet enn tilsvarende litologi lengre oppe i kjernen
218-240	mangler (tidligere prøvesone)
240-254	mellomkornet til grovkornet med gabbroid tekstur
254-260	mellomkornet til grovkornet med gabbroid tekstur, men mer felsisk
260	plettestekstur definert av hornblende oikokryster
265-280	mangler (tidligere prøvesone)
280-293	mellemkornet med gabbroid tekstur
280-285	Prøve for tynnslip
293-299	Mer grovkornet, tydelig gabbroid tekstur
299	Slutt

Vedlegg 4. Oversiktsbilder av borekjerne

Borekjerne: Lito-1431



Borekjerne: Lito-2753



Borekjerne: Sjona kjerne (SK)





NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no