

Matias Vinje

Studie av metylenblå- og sandekvivalentmetoden for materialer til asfalttilslag

Masteroppgave i Geologi
Veileder: Elena Scibilia
Medveileder: Arnhild Ulvik
Juni 2022

Matias Vinje

Studie av metylenblå- og sandekvivalentmetoden for materialer til asfalttilslag

Masteroppgave i Geologi
Veileder: Elena Scibilia
Medveileder: Arnhild Ulvik
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Kvalitetskontroll av steinmateriale som skal brukes til vegformål er helt essensielt for å kunne sikre levetiden til vegen. I Norge i dag stilles det ikke spesifikke krav for tilslag til asfalmørtel og dette gir en usikkerhet til hvorvidt vegbyggingsmaterialet holder tilfredsstillende kvalitet i de fineste fraksjonene. Målet i denne oppgaven er å undersøke hvorvidt metylenblå- og sandekvivalentmetoden er egnet som testmetoder for tilslag til asfalmørtel, og om disse kan brukes til å vurdere kvaliteten på materialet. Det er sett på hvilke materialegenskaper som påvirker testene, spesielt med tanke på glimmer. For sandekvivalentmetoden er det også undersøkt hvorvidt testene lar seg gjennomføre med mer finstoff enn hva den europeiske standarden tillater.

For undersøkelse av metodene er en rekke metylenblå- og sandekvivalenttester gjennomført på 19 ulike materialer. Materialene er hentet inn fra ulike deler av Norge og består for det meste av steinmaterialer som brukes til vegbygging. For de ulike materialene er det undersøkt densitet, flisighet, kornkurve, abrasive egenskaper og glimmerinnhold. Glimmerinnholdet er undersøkt med både XRD og ved glimmertelling.

Den amerikanske og europeiske standarden for sandekvivalentmetoden viser seg å ha betydelige avvik. Dette gjør at resultatet påvirkes av hvilken standard som er brukt, som igjen gjør det vanskelig å sammenlikne resultater fra tester hvor ulike standarder er benyttet. Avvikene i standardene går på preparering av materialet, prøvemengde, tillatt finstoffinnhold og setningstid. Begge standardene har sine svakheter, og det anbefales å endre standardene slik at resultatene etter testing er sammenliknbare. Det er til slutt i oppgaven foreslått hvordan standardene kan tilpasses testing av asfalttilslag.

For materialene er det i hovedsak sandekvivalentmetoden som har gitt resultater som kan arbeides videre med. Resultatene viser at finstoffinnholdet og glimmerinnholdet er av faktorene som i størst grad påvirker resultatet av metoden. Det viser seg at testene lar seg gjennomføre med mer finstoffinnhold enn hva den europeiske standarden tillater, men at sandekvivalentverdien da må justeres med finstoffinnholdet til prøven. Sandekvivalenttesten er også sensitiv til variasjoner i glimmerinnhold, hvor økende glimmerinnhold gir en lavere sandekvivalentverdi. Likevel tyder resultatene på at metoden ikke kan erstatte glimmertelling som metode for mengdebestemmelse av glimmer. Dette er fordi flere andre faktorer påvirker resultatet av testen, som gjør at metoden ikke nøyaktig kan bestemme glimmerinnholdet i prøvene.

Testene gjennomført på metylenblåmetoden har ikke gitt resultater som kan brukes til å konkludere med hvordan metoden kan forbedres, eller hvilke materialegenskaper som påvirker resultatet. Metoden er i sin helhet vurdert som svært operatørvhengig siden resultatet fra testen er en visuell vurdering av blåfarge på et filtrerpapir. Resultatene fra testene viser at samtlige materialer har lav metylenblåverdi, og ingen overskrider det strengeste kravet som stilles til denne typen materialer. Denne dårlige variasjonen i materialene gjør at eventuelle trender er vanskelig å finne.

Abstract

Quality control of stone material to be used for road purposes is absolutely essential in order to ensure the service life of the road. In Norway today, there are no specific requirements for aggregates for asphalt mortar and this gives an uncertainty as to whether the road construction material maintains satisfactory quality in the finest fractions. The aim of this thesis is to investigate whether the methylene blue and sand equivalent method is suitable as test methods for asphalt mortar aggregates, and whether these can be used to assess the quality of the material. It has been looked at which material properties affect the tests, especially with regard to mica. For the sand equivalent method, it has also been investigated whether the tests can be carried out with more fines than what the European standard allows.

To investigate the methods, several methylene blue and sand equivalent tests have been carried out on 19 different materials. The materials are sourced from different parts of Norway and mostly consist of stone materials used for road construction. For the various materials the density, chipping, grain curve, abrasive properties and mica content have been investigated. The mica content is examined with both XRD and by mica counting.

The American and European standards for the sand equivalent method proves to have significant deviations. This means that the result is significantly affected by which standard is used, which in turn makes it difficult to compare results from tests where different standards have been used. The deviations in the standards are preparation of the material, amount of sample, permitted fines content and setting time. Both standards have their weaknesses, and it is recommended to change the standards so that the results after testing are comparable. Finally, the thesis proposes how the standards can be adapted to testing of road aggregates.

For the materials, it is mainly the sand equivalent method that has given results that can be worked on further. The results show that the fines content and mica content are among the factors that most influence the result of the sand equivalent method. It turns out that the tests can be carried out with more fines content than what the European standard allows, but that the sand equivalent value must then be adjusted with the fines content of the sample. The sand equivalent test is also sensitive to variations in mica content, where increasing mica content gives a lower sand equivalent value. Nevertheless, the results suggest that the method cannot replace mica counting as a method for quantifying mica. This is because several other factors affect the result of the test, which means that the method cannot accurately determine the mica content of the samples.

The tests performed on methylene blue method have not given results that can be used to conclude how the methods can be improved or which material properties affect the result. The method as a whole is considered to be very operator-dependent since the result of the test is a visual assessment of the blue color on a filter paper. The results from the tests show that all materials tested have a low methylene blue value, and no one exceeds the strictest requirement for this type of material. This poor variation in the materials makes any trends difficult to find.

Forord

Denne oppgaven er gjennomført som et avsluttende arbeid på masterstudiet geologi på institutt for geovitenskap og petroleum på NTNU i Trondheim. Masteroppgaven utgjør 60 studiepoeng.

Jeg ønsker å gi en stor takk til Arnhild Ulvik, som har vært veileder og en stor pådriver for denne oppgaven. Uten deg Arnhild hadde denne oppgaven ikke vært mulig å gjennomføre, jeg setter virkelig pris på dine bidrag! En stor takk til mine veiledere på NTNU, Inge Hoff og Elena Scibilia som har vært til stor hjelp og gitt meg gode tips og ideer underveis. Jeg setter også pris på Alessandro sin tålmodighet, som har vært med på nesten alle veiledermøtene.

Statens Vegvesens sentrallaboratorium på Tiller, med Wenche Hovin i spissen, skal også ha en stor takk for å ha gitt meg mulighet til å gjennomføre testene. Otto Helge Reitan, som har lært meg det praktiske rundt testing av steinmateriale, har også vært en stor bidragsyter til gjennomføring av tester i denne oppgaven. Takk til alle fra Norges Geologiske Undersøkelser som har bidratt tidlig i oppgaven og har satt av tid til undersøkelser med mikroskop. Jeg også takke alle pukkverkene som har bidratt med uttak og sending av materialer til oppgaven.

Til slutt vil jeg også takke foreldre, kjæreste og Steinkubben for sine bidrag!

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Innhold	vii
Figurliste	ix
Tabelliste	xi
Begrepsliste	xii
1. Introduksjon	1
1.1 Dagens testmetoder til asfaltmaterialer	1
1.2 Testmetoder på tilslag til asfalmørtel	2
1.3 variasjoner i gjeldende standarder	3
1.4 Glimmer	3
1.5 Korrelasjon mellom metylenblå- og sandekvivalent-metoden	6
1.6 Forsknings spørsmål	9
2. Metode	10
2.1 Oppgavens gjennomføring	10
2.1.1 Innkjøp av utstyr og bygging av teststasjon	10
2.1.2 Tidsforbruk på laboratoriet	11
2.2 Preparering av materiale til metylenblå- og sandekvivalentmetoden	12
2.3 Sandekvivalentmetoden	13
2.3.1 Utvidelse av akseptert finstoffinnhold i sandekvivalent-metoden	13
2.3.2 Gjennomføring av sandekvivalenttesten	13
2.3.3 Avvik fra standard i denne oppgaven	15
2.3.4 Undersøkelse av finstoffinnholdets betydning	16
2.3.5 Undersøkelse av setningstidens betydning	18
2.3.6 Variasjon i gjennomføring av sandekvivalentmetoden i amerikansk og europeisk standard	18
2.3.7 Praktiske implikasjoner ved gjennomføring	19
2.4 Metylenblåmetoden	22
2.4.1 Gjennomføring av metylenblåtesten	22
2.5 Undersøkelser av ulike materialegenskaper	24
2.5.1 Glimmerinnhold ved XRD	24
2.5.2 Glimmerinnhold ved glimmertelling	24
2.5.3 Glimmerblandinger	24
2.5.4 Micro – Devalmetoden (abrasive egenskaper)	28
2.5.5 Densitet	28
2.5.6 Flisighetsindeks og kornkurve (0-4mm)	29
2.5.7 Kornkurve med hydrometer og partikkelteller	30

3. Materialer.....	31
3.1 Materialvalg	31
3.2 XRD og tynnslipsanalyser.....	41
3.3 Glimmerinnhold (XRD og glimmertelling)	44
4. Resultater og diskusjon	46
4.1 Flisighet (tilslag til asfaltmørtel).....	46
4.2 Abrasive egenskaper (Micro-deval).....	48
4.3 Densitet.....	49
4.4 Sandekvivalentmetoden.....	50
4.4.1 Finstoffinnhold i opprinnelige prøver	51
4.4.2 Modellering av varierende finstoffinnhold	52
4.4.3 Setningstid.....	57
4.4.4 Glimmerinnhold	61
4.4.5 Flisighet	65
4.4.6 Densitet	66
4.4.7 Abrasive egenskaper (micro-Deval)	67
4.4.8 Kornkurve for materiale <0,125mm	68
4.4.9 Anomali for materiale nr. 11 og 12 fra samme forekomst.....	69
4.4.10 Sandekvivalent oppsummering.....	72
4.5 Metylenblåmetoden	74
4.5.1 Finstoffinnhold	76
4.5.2 Glimmerinnhold	76
4.5.3 Flisighet	78
4.5.4 Densitet	79
4.5.5 Abrasive egenskaper (micro-Deval)	79
4.5.6 Metylenblå oppsummering.....	80
4.6 Korrelasjon mellom metylenblå- og sandekvivalent-metoden.....	80
5. Konklusjoner.....	82
5.1 Sandekvivalentmetoden.....	82
5.2 Metylenblåmetoden	83
6. Videre arbeid	84
7. Referanser.....	85
Vedlegg A - Kart over lokasjoner til pukkverkene.....	I
Vedlegg B – XRD og tynnslip.....	II
Vedlegg C – Glimmerblandinger	XIV
Vedlegg D – Kornkurver (0/4mm)	XV
Vedlegg E – Laserkurver og hydrometer	XXV
Vedlegg F – Partikkelteller Cilas 1190.....	XXXI

Figurliste

Figur 1-1: Korrelasjon mellom metylenblåverdien og glimmerinnholdet (Kondelchuk og Miskovsky, 2009).	4
Figur 1-2: Korrelasjon mellom sandekvivalentverdien og glimmerinnholdet (Kondelchuk og Miskovsky, 2009).	5
Figur 1-3: Prinsippskisse av en luftklassifiserer (Metso Outotec, 2022).	5
Figur 1-4: Sammenhengen mellom metylenblå- og sandekvivalentverdien (Fournari og Ioannou, 2019).	6
Figur 1-5: Sammenhengen mellom metylenblå- og sandekvivalentverdien for sandsteiner og «ikke kalksteiner» for fraksjonen 0/0,125mm (Nikolaides et al., 2007).	7
Figur 1-6: Sammenheng mellom sandekvivalent- og metylenblåverdien (Tugrul og Ylmaz, 2012).	8
Figur 2-1: Til venstre; sandekvivalentutstyr, sylindere m.m. Til høyre; ristemaskin benyttet i sandekvivalent-testen. Hentet fra nettsiden til Nycander AB (2022).	10
Figur 2-2: Utstyr som benyttes til gjennomføring av metylenblåmetoden.	11
Figur 2-3: Ferdig preparert materiale til metylenblå- og sandekvivalentmetoden.	12
Figur 2-4: Flytskjema for gjennomføring av sandekvivalentmetoden i henhold til europeisk standard.	14
Figur 2-5: Prinsippskisse av sandekvivalenttesten (Wang, 2016).	15
Figur 2-6: Flytskjema for gjennomføring av sandekvivalentmetoden i denne oppgaven.	16
Figur 2-7: Preparering av prøver med kjent finstoffinnhold.	17
Figur 2-8: Prøver med ulik mengde finstoff.	17
Figur 2-9: Beholder som brukes til uttak av prøver i sandekvivalent-metoden.	18
Figur 2-10: Illustrasjon av mellomsjikt med betydelig mektighet i sylindere til venstre etter gjennomført sandekvivalenttest. Sylindere til høyre er mellomsjiktet av betydelig mindre mektighet.	20
Figur 2-11: Bildet viser hvor langt ned det er mulig å presse vaskerøret ved gjennomføring av sandekvivalenttesten på 0/4 mm fraksjonen.	21
Figur 2-12: Visuell avlesning/registrering av halo for metylenblåmetoden.	23
Figur 2-13: Preparert materiale til glimmerblandinger. Til venstre er opprinnelig flogopitt, i midten knust flogopitt og til høyre materiale nr. 2.	25
Figur 2-14: Sylindere til venstre er testen gjennomført slik beskrevet i standard. I sylindere til høyre er prøven i tillegg ristet for å fukte alt materialet, dette er ikke i henhold til standard.	27
Figur 2-15: Spesiellagde stavsikt for tester av flisighetsindeks for materiale mellom 0,8 og 4 mm.	29
Figur 3-1: Kart over Auma pukkverk og bergarter i området.	32
Figur 3-2: Kart over Bingsa pukkverk og bergarter i området.	32
Figur 3-3: Kart over Buhammaren pukkverk og bergarter i området.	33
Figur 3-4: Kart over Fossberga pukkverk og bergarter i området.	33
Figur 3-5: Kart over Gullkista pukkverk og bergarter i området.	34
Figur 3-6: Kart over Hyllestad pukkverk og bergarter i området.	34
Figur 3-7: Kart over Lauvåsen pukkverk og bergarter i området.	35
Figur 3-8: Kart over Farberg pukkverk og bergarter i området.	35
Figur 3-9: Kart over Vikamoen pukkverk og bergarter i området.	36
Figur 3-10: Kart over Ottersbo pukkverk og bergarter i området.	36
Figur 3-11: Kart over Vassfjell pukkverk og bergarter i området.	37
Figur 3-12: Kart over Jelsa pukkverk og bergarter i området.	37
Figur 3-13: Kart over Rekefjord pukkverk og bergarter i området.	38
Figur 3-14: Kart over Tau pukkverk og bergarter i området.	38

Figur 3-15: Kart over Stryken pukkverk og bergarter i området.	39
Figur 3-16: Kart over Feiringåsen pukkverk og bergarter i området.	40
Figur 3-17: Kart over Bjørndalen pukkverk og bergarter i området.	40
Figur 3-18: Kart over de to pukkverkene i Verdalen og bergarter i området.	41
Figur 3-19: Skannet tynnslip av materiale nr. 3. Bildet viser sandsteinskorn til høyre og venstre, og et hornfelskorn i midten.	42
Figur 3-20: Variasjon i glimmerinnhold mellom XRD og glimmertelling.	45
Figur 4-1: Flisighetsindeks for materialer mindre enn 4mm.	46
Figur 4-2: Variasjon i flisighetsindeks for materialer mellom 3,15-4mm og 0,8-1mm. ...	47
Figur 4-3: Flisighetsindeks til de ulike fraksjonene for materiale nr. 2.	48
Figur 4-4: Micro deval verdi for de ulike materialene for fraksjonene 0,2/5,6mm og 10/14mm. (Mathisen, 2022).	49
Figur 4-5: Densiteten til materialene testet.	49
Figur 4-6: Den modellerte sandekvivalentverdien (SE_{10mod}) til de ulike materialene.	50
Figur 4-7: Sammenhengen mellom finstoffinnhold og sandekvivalentverdien (SE).	51
Figur 4-8: Sandekvivalentverdiene er plottet mot finstoffinnholdet til materialene for materiale nr. 8 og 1.	52
Figur 4-9: Empirisk bestemt trendlinje basert på undersøkelser av finstoffinnhold.	53
Figur 4-10: Modell 1 presentert med eksempelvis 20% avvik fra trendlinjen. Et sterkt materiale (gul) og et svakt materiale (oransje)	54
Figur 4-11: Modell 2 presentert med eksempelvis 20% avvik fra trendlinjen. Et sterkt materiale (lys) og et svakt materiale (mørk)	54
Figur 4-12: Sammenlikning av modell med finstofftestene til materiale nr. 1 og nr. 8. ...	55
Figur 4-13: Stolpediagram viser sandekvivalentverdien for materialer testet i henhold til standard (SE_{10}), modellert med modell 1 (SE_{10mod}) og opprinnelig sandekvivalentverdi (SE) med finstoffinnhold som var i prøven.	56
Figur 4-14: Sandekvivalentverdien til de ulike materialene plottet mot tidspunktet leiravlesningen er gjennomført.	58
Figur 4-15: Sylindren til venstre er en ferdig satt prøve med tydelig overflate, til høyre en prøve som fortsatt ikke er ferdig satt.	59
Figur 4-16: Tolket setningstid til materiale nr. 7 og 9.	60
Figur 4-17: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot glimmerinnhold for prøver blandet med flogopitt.	61
Figur 4-18: Leiravlesningen plottet mot glimmerinnholdet for prøver blandet med flogopitt.	62
Figur 4-19: Sandavlesning plottet mot glimmerinnhold i prøver blandet med flogopitt. ...	62
Figur 4-20: Trendlinje for sandavlesning for prøver blandet med flogopitt.	63
Figur 4-21: Sandavlesning plottet mot glimmerinnhold fra XRD for opprinnelige prøvene.	64
Figur 4-22: Leiravlesning mot glimmerinnhold fra XRD i opprinnelige prøvene.	65
Figur 4-23: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot flisighetsindeksen til opprinnelige prøver.	65
Figur 4-24: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot densiteten til opprinnelige prøver.	66
Figur 4-25: Setningstiden plottet mot densiteten.	67
Figur 4-26: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot micro-Deval verdier.	67
Figur 4-27: Modellert sandekvivalentverdi mot materiale mindre enn 7 μm	68
Figur 4-28: Modellert sandekvivalentverdi mot materiale mindre enn 25 μm	68
Figur 4-29: Kornstørrelser undersøkt med laser (partikkel teller) og hydrometer (slemmeanalyse).	70
Figur 4-30: Tolket setningstid for material nr. 11 og 12.	71
Figur 4-31: Metylenblåverdier (0/2mm) for de ulike materialene. Oransje linje er strengeste krav som stilles i henhold til NS-EN 13043 (Standard Norge, 2013b).	74

Figur 4-32: Metylenblåverdier (0/0,125mm) for de ulike materialene. Linjene er krav som stilles i henhold til NS-EN 13043(Standard Norge, 2013b).	75
Figur 4-33: Resultat av metylenblåtest. En visuell vurdering av blåfarge bestemmer når prøven er ferdig.	75
Figur 4-34: Metylenblåverdi plottet mot finstoffinnholdet i prøvene.....	76
Figur 4-35: Metylenblåverdi plottet mot glimmerinnholdet i prøver blandet med flogopitt.	77
Figur 4-36: Metylenblåverdi plottet mot glimmerinnholdet fra XRD i opprinnelige prøver.	77
Figur 4-37: Korrelasjon mellom metylenblåverdien og glimmerinnholdet (Kondelchuk og Miskovsky, 2009).	78
Figur 4-38: Metylenblåverdien plottet mot flisighetsindeksen til de opprinnelige prøvene.	78
Figur 4-39: Metylenblåverdi plottet mot densiteten til de opprinnelige materialene.	79
Figur 4-40: Metylenblåverdi plottet mot micro-Deval verdien for de opprinnelige materialene.	79
Figur 4-41: Sammenheng mellom modellert sandekvivalentverdi og metylenblåverdi for undersøkte materialer.	81

Tabelliste

Tabell 2-1: Tilsatte mengder metylenblå for hver økning	22
Tabell 2-2 Blandingsforhold for glimmerblandingene til sandekvivalentmetoden.....	26
Tabell 2-3: Blandingsforhold for glimmerblandingene til metylenblåmetoden.....	28
Tabell 2-4: Fraksjon og stavsikt for materialer mindre enn 4 mm	29
Tabell 2-5: Fraksjon og stavsikt for materialer større enn 4 mm	29
Tabell 2-6: Fraksjoner siktet ut til kornkurve.....	30
Tabell 3-1: Oversikt over materialer valgt ut til oppgaven.....	31
Tabell 3-2: Variasjon i glimmerinnhold mellom XRD, glimmertelling og NGUs tidligere tynnslipanalyser	44
Tabell 4-1: Krav til sandekvivalentverdier for 0/2 mm og 0/4 mm materialer.	51
Tabell 4-2: Det faktiske finstoffinnholdet til prøvene sammenliknet mot det ønskede finstoffinnholdet i testene iht. standarden.	56
Tabell 4-3: Densitet og setningstid til utvalgte materialer.	66
Tabell 4-4: Verdier fra gjennomføring av sandekvivalentmetoden for begge materialene	69
Tabell 4-5: Mineralinnhold fra XRD	69
Tabell 4-6: Flisighetsindeks og densitet til materialene	69
Tabell 4-7: Oppsummering av hvordan ulike materialeegenskaper påvirker resultatet fra sandekvivalentttesten.	72
Tabell 4-8: Ulike materialeegenskapers påvirkning på resultatet av metylenblåtesten....	80

Begrepsliste

SE₁₀: Standardisert sandekvivalentverdi til materialet testet i henhold til standard NS-EN 933-8 (Standard Norge, 2015). I disse testene overskrider finstoffinnholdet aldri 10%.

SE: Sandekvivalentverdien til materialet. Denne verdien tar ikke høyde for finstoff, og materialet er ikke testet etter standard. I enkelte undersøkelser testes materialet «slik det er». Da vil finstoffinnholdet kunne være over 10%, og sandekvivalentverdien vil variere med finstoffinnholdet. I andre undersøkelser er «sandekvivalentverdien» lest av etter andre tidspunkt enn 20 minutter. Disse verdiene vil også bli omtalt som «sandekvivalentverdi (SE)».

SE_{Mod10}: Modellert sandekvivalentverdi til materialet etter at det er regnet tilbake til 10% finstoff ved bruk av Modell 1: Prosentvis avvik.

MB: Metylenblåverdien til et materiale testet i henhold til standard NS-EN 933-9 (Standard Norge, 2009) for materialet med kornstørrelse 0-2mm.

MB_F: Metylenblåverdien til et materiale testet i henhold til standard NS-EN 933-9 Annex A (Standard Norge, 2009) for materialet med kornstørrelse 0-0,125mm.

Asfaltmørtel: Knust berg med kornstørrelse 0-4mm blandet med bindemiddel.

Tilslag til asfaltmørtel: Asfaltmørtel uten bindemiddel

Finstoff: Knust berg med kornstørrelse <0,063mm.

1. Introduksjon

Veger har i flere tusener av år vært sivilisasjoners måte for fremkommelighet. Den første vegen ble bygget i Midtøsten tilbake i oldtiden, men vegbygging tok seg for alvor opp ved hjulets oppfinnelse i Mesopotamia for omtrent 5500 år siden (Nordahl og Hoff, 2020). Veger har vært viktig både sosialt, militært og økonomisk for sivilisasjoner gjennom hele vår historie. Romerne var også store vegbyggere, og mye av grunnen til at de greide å utvide sitt rike var de gode mulighetene til å transportere folk og utstyr. Hvem har vel ikke hørt om uttrykket; «Alle veier fører til Rom».

Vegbygging i dag er svært forskjellig fra oldtidens vegbygging. Likevel er essensen relativt simpel. Asfalt er laget ved at bindemiddel blandes med steinkorn, og danner en overflate som er slitedyktig nok til å bære lasten av trafikk. Overflaten skal også hindre vann å trenge ned og sikre et jevnt underlag for kjøretøy. Bæreevnen til vegen er sikret ved at ubunden pukkk legges ned før asfalten. Pukken tar opp lasten fra trafikk, og hindrer at det slitedyktige topplaget bøyes og deformeres (Statens Vegvesen, 2022).

Ordet «asfalt» brukes i dag som en fellesbetegnelse på en blanding av steinmateriale og bindemiddel. Den første kjente bruken av bindemiddel var for rundt 3500 år siden, og på den tiden var det brukt for å tette båter. Det første bruken av asfalt er trolig beskrevet i bibelen, hvor det står at Noahs ark var tettet med naturasfalt. Naturasfalt er da sannsynligvis det vi i dag kaller bitumen, som er en type bindemiddel. I Norge ble asfalten først tatt i bruk som gulv i bryggerier og meierier rett før første verdenskrig. Som vegbyggingsmateriale var det ikke før etter 2. verdenskrig at flere norske byer fikk asfalterte veger (Kontrollrådet, 2018).

For å sikre levetiden til vegen i dag testes alt av materiale som brukes. Kravene til steinmaterialet går hovedsakelig på mekaniske krav, hvor motstand mot nedknusing og motstand mot slitasje er de sentrale testene.

1.1 Dagens testmetoder til asfaltmaterialer

Alt av materiale som brukes må nøye testes og kontrolleres, dette gjelder både steinmaterialet og bindemiddelet. Testene på steinmaterialet er i hovedsak mekaniske analyser og er standardiserte og velprøvde metoder. Kravene som stilles til stein brukt i veg er for å sikre lengst mulig levetid på vegen. For å kunne brukes til vegbygging i Norge må tilslagsmaterialet kontrolleres for mekanisk styrke, kornform, kornfordeling, renhet og innhold av humus (Vegdirektoratet, 2018).

Vegbanen er grovt sett bygget opp av slitelag, bærelag, forsterkningslag og frostsikringslag. Kravene til mekaniske tester varierer med lagene i vegen, hvor det stilles strengere krav til øvre lag. Dette har sammenheng med hvordan lastfordelingen forplanter seg i underlaget, der øvre lag får større påkjenninger fra trafikken (Hoff, 2013). De mekaniske testene er Los Angeles, micro-Deval og kulemølle, som alle gjennomføres ved at steinmateriale og stålkuler plasseres i en trommel som roterer et gitt antall ganger. Resultatene fra disse testene er empiriske verdier, som gjenspeiler tilstander som finnes på vegen (Erichsen et al., 2011).

For å bestemme kornformen til tilslagsmaterialet er to standardiserte metoder i bruk i Norge, stenglighet og flisighet. Flisighet er den mest brukte metoden, da den er enklere og mer praktisk å gjennomføre enn stenglighet. Ved bestemmelse av flisighetsindeksen siktes materialet i to ganger, først gjennom kvadratiske sikt, og deretter gjennom stavsikt. Den prosentvise gjennomgangen er flisighetsindeksen til materialet (Vegdirektoratet, 2016). Stenglighetsindeks bestemmes ved at hvert enkelt korn måles manuelt. Lengste og

korteste side måles, og korn hvor dette forholdet er større enn tre velges ut. Stenglighetsindeks er prosentvis andel korn hvor den lengste siden er tre ganger større enn den korteste (Vegdirektoratet, 2016).

Innhold av humus er i hovedsak relatert til bruk av naturlig grus. Ved bruk av knust fjell er innholdet av humus normalt veldig lavt. For testing av humusinnhold benyttes glødetapsmetoden (Vegdirektoratet, 2016). Renheten til tilslagsmateriale gjelder hovedsakelig for gjenbruk av asfalt. Dersom asfaltmasser som skal gjenbrukes lagres over lengre tid kan hydrogensulfid dannes. Dette stoffet er skadelig for mennesker ved høye konsentrasjoner. Asfaltmaterialer som lagres skal derfor testes for renhet. Dersom asfaltmaterialene ikke lagres regnes disse som rene (Vegdirektoratet, 2005). I Norge er takverdien for hydrogensulfid 10 ppm. (Arbeidstilsynet, 2011).

1.2 Testmetoder på tilslag til asfalmørtel

I dag stilles det ingen direkte krav til tilslag til asfalmørtel (materiale 0-4mm) (Andersen og Telle, 2010). Dagens testmetoder brukes på materiale i fraksjonen 4 -16 mm og 31,5-50mm (Vegdirektoratet, 2016), og resultatene fra disse testene forventes å gjelde alle kornstørrelser som benyttes i asfalten . I håndbok N200 (Vegdirektoratet, 2018, p. 226) står det: «*I materiale fra knust berg vil den mineralogiske sammensetningen for materialet mindre enn 4 mm normalt ikke avvike i vesentlig grad fra materialet i fraksjonen som er benyttet ved dokumentasjon av materialenes mekaniske egenskaper*». Dette motstrider hva Miskovsky (2004) fant ut at ved nedknusing av glimmerrike bergarter vil mengden glimmer øke i de finere fraksjonene. Dette gjelder også andre mineraler som har lav motstand mot nedknusing. Det er derfor usikkerhet rundt hvorvidt tilslag til asfalmørtel holder samme kvalitet som produktet det er produsert fra.

Det er derfor av interesse å undersøke hvorvidt det finnes testmetoder som kan undersøke kvaliteten på tilslagsmateriale i mørtelfasen. Testmetodene som skal vurderes i denne oppgaven er metylenblå- og sandekvivalentmetoden. I tillegg skal flisighet, densitet, glimmerinnhold, abrasive egenskaper (micro-Deval) og finstoffinnholdets (materiale <0,063mm) betydning vurderes opp mot metylenblå- og sandekvivalentmetoden. For flisighetsindeks for materialer mindre enn 4 mm finnes det ikke standardiserte metoder, og testene må gjennomføres med spesiallagd utstyr som ikke er standardisert.

Standardfraksjonen som benyttes til metylenblå- og sandekvivalentmetoden er i størrelsesorden 0-2 mm, med tillegg i standard som tillater tester på alternative fraksjoner (Standard Norge, 2015). Disse testene dekker et spenn i fraksjonene brukt i asfalt som det i dag ikke stilles krav til gjennom tester. Sandekvivalentmetoden bruker finstoffets avsetningshøyde i vann som vurderingskriteria for kvalitet, mens metylenblåmetoden ser på det totale overflatearealet til finstoffet.

De utvalgte standardiserte testmetodene har man liten erfaring med i Norge, og det er derfor av interesse å finne ut om de kan erstatte eller supplere de ikke-standardiserte. Det er spesielt stor interesse knyttet til om metodene kan gi resultater som munner ut i krav i N200.

Sandekvivalentmetoden kan brukes til å undersøke hvorvidt materialet inneholder uønsket og mulig skadelig finstoff med tanke på vegbygging (Petkovšek et al., 2010). Metoden brukes i Europa hovedsakelig på naturlig finstoff. Materialeegenskapene til finstoff fra typiske materialer brukt til vegbygging i Norge er svært forskjellig fra naturlig finstoff. Svellende leirer er et eksempel på egenskaper sandekvivalentttesten gjør utslag på, men denne typen egenskaper finner man sjeldent i finstoff fra knust berg. Metylenblåmetoden måler den spesifikke overflaten til en leire eller finstoff fra knust berg. Meytlenblå i vannløsninger fester seg til negativt ladede overflater, til alle overflater er dekt. Etter dette vil blåfargen begynne å lekke ut i vannet, som da betyr at løsningen er mettet

(Santamarina et al., 2002). Det er usikkerhet til hvor sensitiv testene er for materialer som har mindre variasjon enn de naturlige materialene testene er utviklet til å undersøke. Derfor er det av interesse å undersøke hvilke materialegenskaper som kan påvirke resultatet av metylenblå- og sandekvivalenttesten

Forskningsspørsmål 1: *Hvilke materialegenskaper påvirker resultatet av metylenblå- og sandekvivalentmetoden?*

1.3 Variasjoner i gjeldende standarder

Metylenblå- og sandekvivalentmetoden er som nevnt utviklet for å teste naturlig sand og leirer. I nyere tid har flere testet ut metodene på knust fjell, men det er ikke gjort modifikasjoner til standardene for å bedre tilpasse metodene til bruk på knust berg. Det er derfor av interesse å undersøke hvordan metodene kan endres slik at de passer bedre til bruk på knust berg.

For sandekvivalentmetoden er det to standarder som benyttes ved gjennomføring av testene, den amerikanske og den europeiske. Disse standardene har store likhetstrekk, men noen av avvikene vil mulig påvirke resultatet av metoden. Prepareringen av prøvene, prøvemengden, mengde tillatt finstoffinnhold og setningstiden prøven er ulik i den amerikanske og europeiske standarden. Betydningen av disse avvikene er usikker, og det er derfor av interesse å undersøke hvilke utslag dette gir, og hvilken av standardene som er mest praktisk å følge ved gjennomføring av testing på knust berg.

Forskningsspørsmål 2: *Hvordan kan standardene tilpasses bruk på steinmateriale fra knust fjell?*

1.4 Glimmer

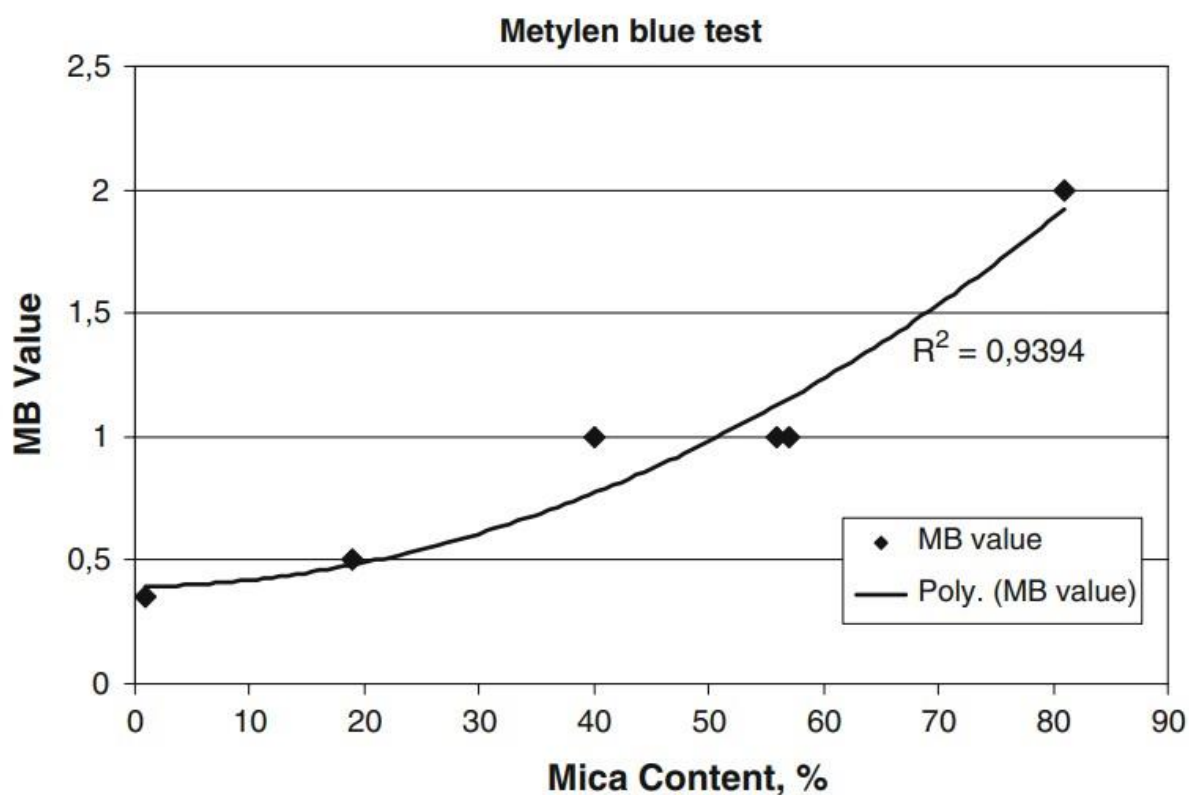
Glimmer er et mineral som forekommer naturlig i flere bergarter, men mengden glimmer varierer fra bergart til bergart. Det finnes mange forskjellige typer glimmer, men de mest vanlige er biotitt, muskovitt og flogopitt. Asfalt består av omtrent 95 prosent stein, altså er egenskapene til tilslagsmaterialet svært viktig. Miskovsky (2004)) viste at de mekaniske egenskapene til tilslagsmaterialet reduseres med økende innhold av frie glimmerkorn. Med frie glimmerkorn menes rene mineralkorn. Disse finnes vanligvis i størrelsesorden 0 – 250 mm, og bestemmelse av glimmerinnhold gjøres ved glimmertelling i fraksjonen 0,125-0,250 mm (Vegdirektoratet, 2016).

Bäckström og Andersson (2007) mener fri glimmer øker absorpsjonsevnen til materialet. Altså binder materialet mer vann dersom mengden glimmer er høy. I Norge tillates ikke glimmerinnhold over 15% for tilslagsmaterialer som skal brukes til betong siden dette gjør at vannbehovet økes betraktelig i betongen (Vegdirektoratet, 2022). For vegformål finnes ikke en slik grenseverdi. Både i Norge og Sverige jobbes det med å sette krav til glimmer i asfalt, siden det de siste årene har blitt rapportert flere skader på vegbaner som skyldes bruk av glimmerrik stein (Bäckström og Andersson, 2007).

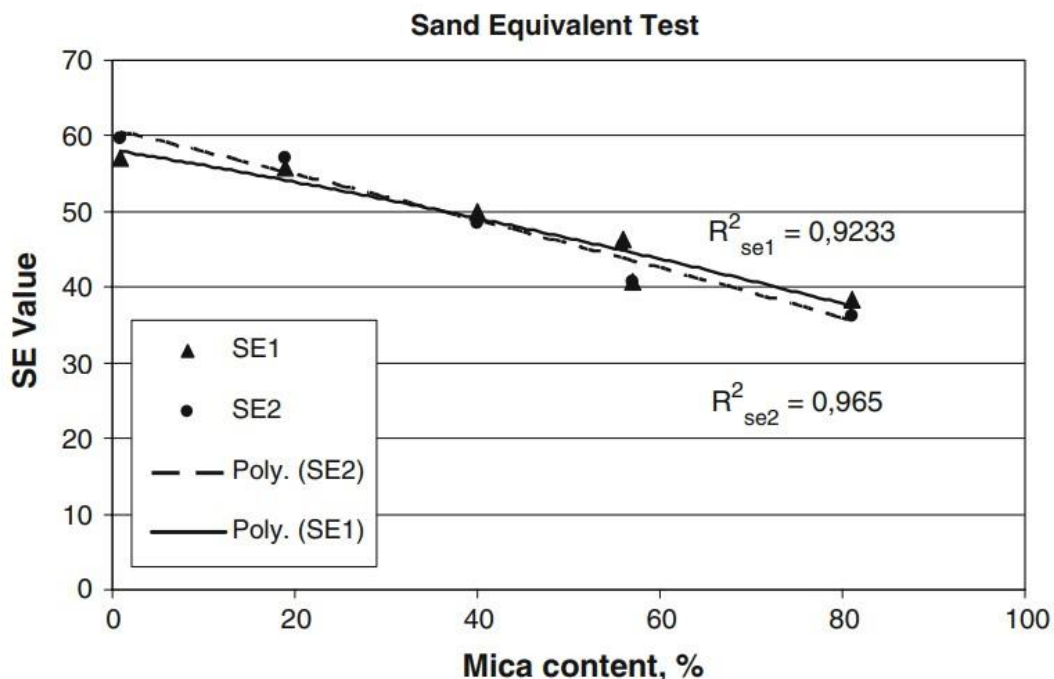
Woodward et al. (2002) har gjort undersøkelser av hvordan en asfalt påvirkes negativt av høyt glimmerinnhold i benyttet tilslagsmateriale. Han påpeker blant annet at høyt glimmerinnhold gir mikroskopiske flater fordelt i asfalten med veldig høyt spesifikt flateareal, som kan føre til spesielt stort bitumenbehov på enkelte områder i asfalten. Dette kan føre til at asfalt på enkelte steder ikke har nok bitumen til å binde alt steinmaterialet, som igjen gjør at svakhetsområder oppstår i asfalten.

Videre peker Woodward et al. (2002) på glimmers egenskaper til å ta opp vann. Dette gir spesielt to negative konsekvenser for vegbanen. For det første kan glimmers egenskaper til å absorbere vann forårsake at blandingsforholdet mellom steinmateriale og bindemiddel blir unøyaktig. Videre peker han også på fukte/tørke prosesser som problematisk. Dersom glimmer i perioder binder opp mye vann, og dette i andre perioder tørker ut vil denne volumendringen av glimmer i asfalten kunne føre til at vedheften i asfalten blir dårligere. Dette stemmer også godt overens med hva Ekblad (2008) påpeker om at fri glimmer reduserer bæreevnen og påvirker den hydrauliske oppførselen til vegen.

Kondelchuk og Miskovsky (2009) har vist gjennom sine undersøkelser av sandekvivalent og metylenblåmetoden at de er sensitive for glimmerinnhold. Deres undersøkelser viser at ved økende glimmerinnhold vil sandekvivalentverdien reduseres mens metylenblåverdien vil øke. Figur 1-1 viser sammenhengen mellom glimmer og metylenblåverdi vist og i figur 1-2 er sammenhengen mellom sandekvivalentverdien og glimmerinnholdet.



Figur 1-1: Korrelasjon mellom metylenblåverdien og glimmerinnholdet (Kondelchuk og Miskovsky, 2009).

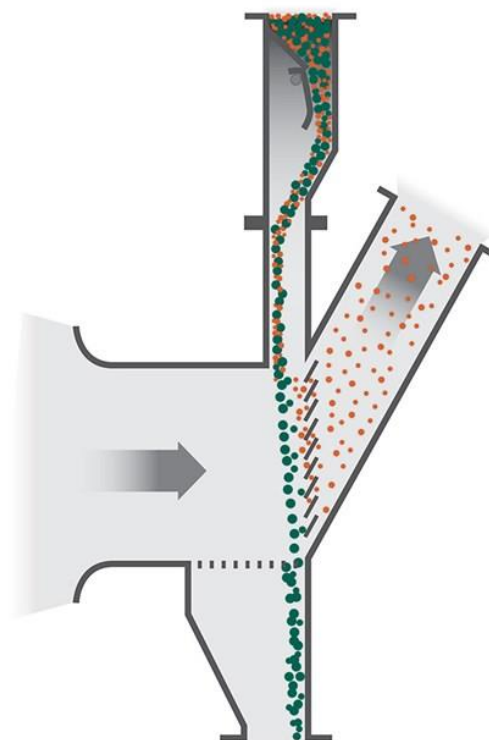


Figur 1-2: Korrelasjon mellom sandekvivalentverdien og glimmerinnholdet (Kondelchuk og Miskovsky, 2009).

Ved nedknusing økes mengden svake korn i finstoffet. Dette er fordi at det ved knusing reduseres kornstørrelsen til de svakeste mineralene mest. Dette gjør i praksis at ved nedknusing av en bergart med lavt innhold av glimmer opprinnelig, kan mengde glimmer i det nedknuste produktet være betydelig høyere. Det finnes metoder for å forbedre kvaliteten på finstoffet. Ulike typer knusere kan være med å påvirke dette, men spesielt vil såkalte luftklassifiserer forbedre kvalitet på finstoffet betydelig.

En prinsippsskisse av en luftklassifiserer er avbildet i figur 1-3. Dette er en apparatur som på en eller flere bestemte plasser i produksjonen av pukk fjerner overflødig finstoff. Prinsippet er at luft pumpes opp mens steinmaterialet faller ned. Dette gjør at finere partikler fjernes fra produktet. Siden glimmer er et svakt materiale, vil tidlige knusetrinn produsere mye finstoff av glimmer. En slik luftklassifiserer vil derfor fjerne mye av det uønskede finstoffet tidlig i prosessen.

Kondelchuk og Miskovsky (2009) påpeker at det i dag finnes få gode og raske metoder for å bestemme glimmerinnholdet i en prøve. I Norge benyttes glimmertelling av tellefraksjonen 0,125-0,250 mm som metode for å bestemme



Figur 1-3: Prinsippsskisse av en luftklassifiserer (Metso Outotec, 2022).

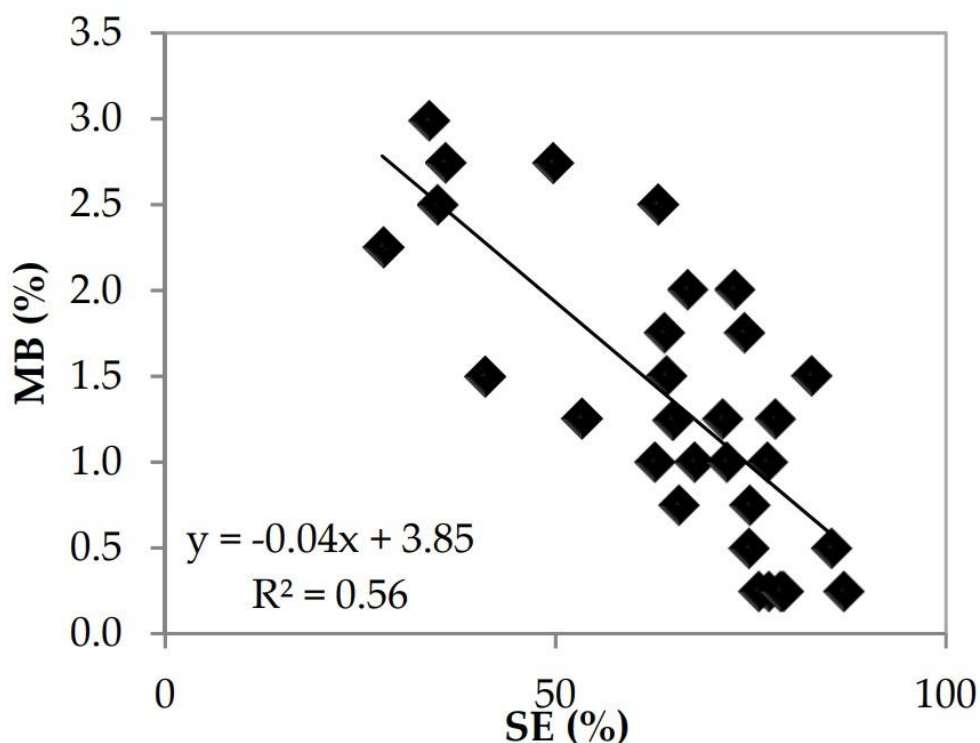
glimmerinnholdet i en prøve. Denne fraksjonen benyttes fordi det er først i denne kornstørrelsen glimmer opptrer som rene glimmerkorn, og ikke bare som blandkorn (Vegdirektoratet, 2018). Glimmertelling er ikke-standardisert og kan være personavhengig, da metoden utføres ved hjelp av en visuell vurdering gjennom en stereolupe (mikroskop med pålys). Det kommer litt an på «øyet som ser», og hvor man teller på det materialet som strøs utover på et millimeterark. Glimmerkornene er relativt enkle å registrere, men spesielt biotitt kan noen ganger forveksles med andre mørke mineraler.

Det er derfor av interesse å undersøke alternative og standardiserte metoder for å mengde bestemme glimmer i prøver. Sandekvivalentmetoden og metylenblåmetoden har gjennom tidligere undersøkelser vist seg å være sensitiv til variasjoner i glimmerinnhold, og det er derfor interessant å undersøke hvorvidt metodene lar seg bruke til å mengde bestemme glimmer i ulike prøver.

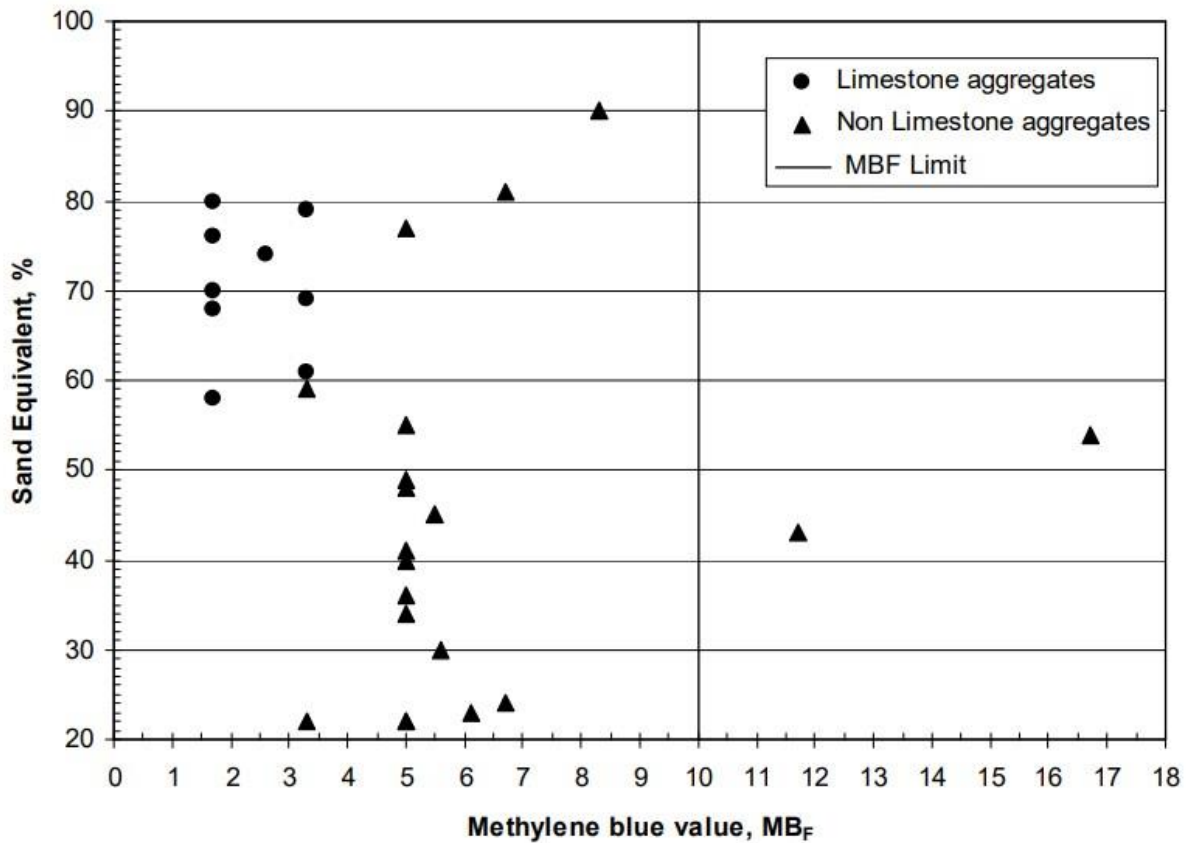
Forskningsspørsmål 3: Hvordan påvirker økt glimmerinnhold resultatet av testene? Kan metodene brukes som erstatning for glimkertelling?

1.5 Korrelasjon mellom metylenblå- og sandekvivalentmetoden

Forholdet mellom resultatene fra metylenblå- og sandekvivalentmetoden har vært undersøkt av flere. Enkelte, slik som Fournari og Ioannou (2019) finner god sammenheng mellom resultatene fra testmetodene, der lavere sandekvivalentverdi gir en høyere metylenblå verdi. Andre, som Nikolaides et al. (2007) finner ingen sammenheng. I Figur 1-4 viser resultatene til Fournari og Ioannou og figur 1-5 viser Nikolaides sine funn. En viktig forskjell i analysene er at Fournari og Ioannou har benyttet standardfraksjonen 0/2 mm, mens Nikolaides har testet på fraksjonen 0/0,125 mm.



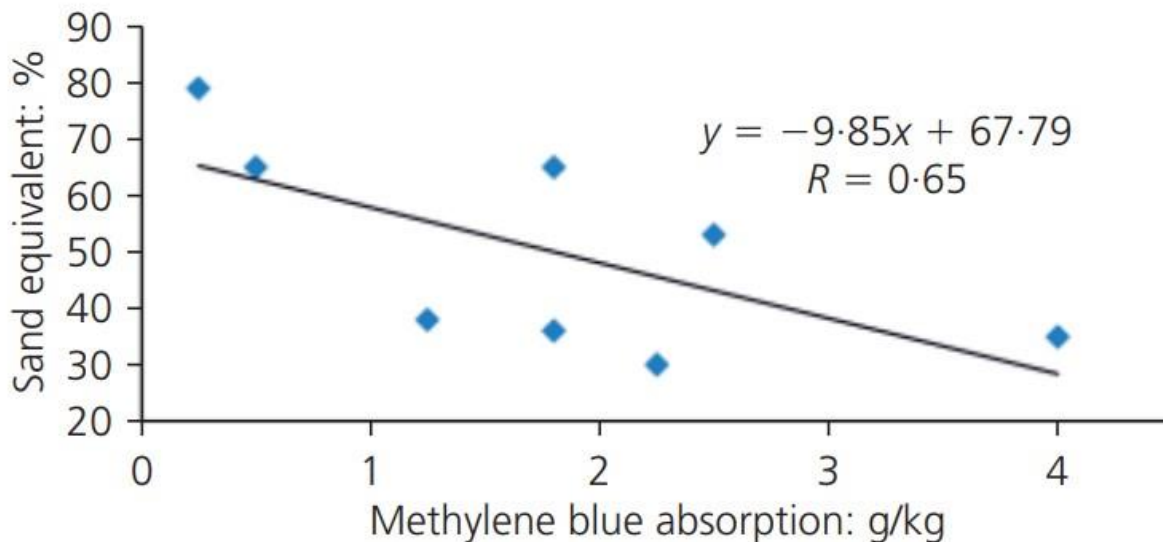
Figur 1-4: Sammenhengen mellom metylenblå- og sandekvivalentverdien (Fournari og Ioannou, 2019).



Figur 1-5: Sammenhengen mellom metylenblå- og sandekvivalentverdien for sandsteiner og «ikke kalksteiner» for fraksjonen 0/0,125mm (Nikolaides et al., 2007).

Fournari og Ioannou (2019) undersøkelser er gjennomført på noe ulike bergarter enn Nikolaides et al. (2007). Fournari og Ioannou har undersøkt en blanding med 40% magmatiske bergarter og 60 % kalksteiner. Totalt har de inkludert 30 forskjellige bergarter. Nikolaides et al. har kun skilt bergartene på hvorvidt bergarten er kalkstein eller ikke, og har i testene 53 % kalksteiner og 47 % «ikke kalksteiner». Totalt sett er det 15 bergarter i undersøkelsen.

Tugrul og Ylmaz (2012) har også undersøkt sammenhengen mellom metylenblå- og sandekvivalentverdien til ulike materialer. De har funnet at en reduksjon i sandekvivalentverdi gir høyere metylenblå verdi, dette er illustrert i figur 1-6. Disse testene er utelukkende gjennomført på sandsteiner. Resultatene til Tugrul og Ylmaz støtter opp om Fournari og Ioannus resultater om at ved høyere metylenblåverdi vil sandekvivalentverdien reduseres.



Figur 1-6: Sammenheng mellom sandekvivalent- og metylenblåverdien (Tugrul og Ylmaz, 2012).

Fra figur 1-4, figur 1-5 og figur 1-6 ser man at benevningene på aksene for metylenblå varierer mellom de ulike artiklene. Fournari og Ioannis bruker prosentvis gjengivelse av metylenblåverdi, dette tilsvarer gram metylenblå per kg prøvemateriale, som er benevningen Tugrul og Yilmaz benytter. Begge disse verdiene kalles MB-verdi, siden det er testet på standardfraksjonen 0/2 mm. Nikolaides bruker MB_F , som er benevnelsen for fraksjonen 0/0,125 mm etter den europeiske standarden. Denne verdien er også gram metylenblå per kg prøvemateriale.

For benevningen av sandekvivalentmetoden har samtlige forfattere gjengitt i henhold til amerikansk standard (ASTM, 2014) som prosentvis avvik mellom leiravlesningen og sandavlesningen. I henhold til europeisk standard (Standard Norge, 2015) skal sandekvivalentverdien rapporteres som kun et heltall. Denne forskjellen gir ingen avvik i verdi, men kan være en kilde til forvirring. Flere forfattere støtter Nikolaides syn på ingen korrelering mellom testmetodene, blant annet finner verken Petkovšek et al. (2010) og eller Richardson (2009) noen sammenheng mellom resultatene.

I henhold til annex A i standard for mekanisk stabiliserte materialer (Standard Norge, 2002b) skal finstoff kunne beskrives som «Ikke skadelig» dersom det enten tilfredsstillende krav til metylenblå- eller sandekvivalentverdi. Dette indikerer at metodene er likestilte for å identifisere skadelig finstoff, og dermed ligger en antagelse i bunn at begge metodene tester for relativt tilsvarende materialegenskaper. Det er derfor av interesse å undersøke hvorvidt metylenblå- og sandekvivalentmetoden gir resultater som korrelerer. Dette vil indikere at tilsvarende materialegenskaper gir utslag i begge metodene.

Forskningsspørsmål 4: Hvordan er sammenhengen mellom resultater fra metylenblå- og sandekvivalentmetoden?

1.6 Forskningsspørsmål

For videre testing er det altså følgende forskningsspørsmål som skal undersøkes:

1. **Hvilke materialegenskaper påvirker resultatet av metylenblå- og sandekvivalentmetoden?**
2. **Hvordan kan standardene tilpasses bruk på steinmateriale fra knust fjell?**
3. **Hvordan påvirker økt glimmerinnhold resultatet av testene? Kan metodene brukes som erstatning for glimmertelling?**
4. **Hvordan er sammenhengen mellom resultater fra metylenblå- og sandekvivalentmetoden?**

2. Metode

I N200 stilles det ikke spesifikke krav til materialer mindre enn 4 mm brukt som asfalttilslag, men det antas at disse kornstørrelsene holder samme kvalitet som referansefraksjonene som blir testet mekanisk. Fournari og Ioannou (2019) har arbeidet med fine kornstørrelser og asfalt, og påpeker materiale mindre enn 4 mm har naturlig stor inhomogenitet som gjør det vanskelig å etablere tydelige spesifikasjoner av kvalitet.

I Norge brukes europeiske standarder i arbeidet med å kvalitetssikre materialer til vegbygging. Disse standardene dekker generelle krav til tilslagsmateriale, og utfra disse utarbeides nasjonale standarder. Disse nasjonale standardene er som regel identiske til de europeiske, men land har muligheten til å gjøre små endringer i forhold til spesifikke problemstillinger nasjonalt. Europeiske standarder (EN) stiller krav til geometriske, fysiske, mekaniske og kjemiske egenskaper. For å undersøke disse egenskapene er testmetodene; metylenblå, sandekvivalent, partikkeldensitet (densitet på finstoff/filler), vannabsorpsjon, magnesiumsulfat soliditet og micro-Deval testmetodene foreslått for å bestemme kvaliteten. For metylenblå- og sandekvivalentmetoden er de amerikanske standardene utviklet av ASTM (2014) trolig mest brukt (Schouenborg og Akesson, 2004).

For å kunne studere betydningen av de ulike materialeegenskapene er det gjennomført tester som isolerer egenskaper som det mistenkes kan påvirke resultatet. Dette gjelder finstoffinnhold, setningstid og glimmerinnhold. Flere sammenhenger er studert ved å sammenlikne resultatene fra metylenblå- og sandekvivalentmetoden med andre tester. Disse testene er densitet (filler), flisighet (0,8-4), slemmeanalyse, kornkurve (sikting og partikkel teller), og XRD. XRD er kun brukt med tanke å tallfeste faktisk glimmerinnhold i prøvene.

2.1 Oppgavens gjennomføring

2.1.1 Innkjøp av utstyr og bygging av teststasjon

Testene i denne masteroppgaven er gjennomført ved Statens vegvesens sentrallaboratorium på Tiller. Siden metodene metylenblå og sandekvivalent ikke var utprøvd av laboratoriet tidligere, besto den første delen av masteroppgaven med innkjøp av utstyr og bygging av teststasjon. Det ble kjøpt inn et fullstendig sandekvivalent-sett, og et metylenblå-sett. Til venstre i figur 2-1 er utstyret som benyttes for å fylle steinmaterialet, vann og flokkuleringsmiddel i sylindrene. Til høyre i bildet er ristemaskinen som sylindrene plasseres i for å blande steinmaterialet med vann og flokkuleringsmiddel. Figur 2-2 viser utstyret som er kjøpt inn til metylenblåmetoden.



Figur 2-1: Til venstre; sandekvivalentutstyr, sylindere m.m. Til høyre; ristemaskin benyttet i sandekvivalent-testen. Hentet fra nettsiden til Nycander AB (2022).



Figur 2-2: Utstyr som benyttes til gjennomføring av metylenblåmetoden.

Som teststasjon ble et gammelt kontor/arkiv bygget om. Det ble satt inn to benker og en reol på rommet. En benk ble benyttet som lagringsplass mens testene foregikk, mens den andre benken ble brukt til gjennomføring av testene.

2.1.2 Tidsforbruk på laboratoriet

Totalt sett er det gjennomført over 300 ulike tester i denne masteroppgaven. Dette inkluderer tester gjennomført for å bli kjent med utstyret, kalibrering av utstyr, selve testingen og til kontroll av modeller som er laget i sammenheng med oppgaven. I tillegg til bygging av teststasjon og innhenting av materiale er det brukt omtrent 8 måneder på laboratorieundersøkelser. I oppgaven er derfor resultatene fra forsøkene prioritert, og resultatdelen er derfor veldig stor. Årsaken til dette er at testmetodene i liten grad er undersøkt tidligere på knust berg, og det er et behov for bygge opp et datagrunnlag for å kunne vurdere testmetodene.

Sentrallaboratoriet har også stilt personell til rådighet for å gjennomføre enkelte av testene. Otto Helge Reitan har gjennomført slemmeanalyser av materialene og Arnhild Ulvik har gjennomført glimmertellinger. FIAM (Filler I Asphalt og Mørtel) prosjektet har også gjennomført XRD på 4 av materialene testet i denne oppgaven.

2.2 Preparering av materiale til metylenblå- og sandekvivalentmetoden

Generelt sett blir steinmaterialer i laboratoriet testet på kornstørrelser mellom 10-16 mm, og er hovedsakelig for mekaniske egenskaper (Los Angeles, micro-Deval og kulemåll). Kornkurve er den eneste testmetoden som gjennomføres rutinemessig hvor fint materiale er inkludert, men i denne metoden utgjør finstoff kun en liten mengde med tanke på vektprosent. Ved gjennomføring av testmetoder som utelukkende benytter fint materiale er det derfor viktig å behandle prøvene på en egnet måte.

Standard for nedsplitting av materiale (Standard Norge, 1999) er av den grunn ikke benyttet ved behandling av finstoffet i testene. Årsaken til dette er at nedsplitting skaper mye svevestøv når det benyttes på finstoff. Dette forårsaker at egenskapene til prøven kan endres, siden finstoffet er det som testes i metodene. Dette er tilsvarende gjennomføring som «Procedure A» i amerikansk standard for sandekvivalentmetoden (ASTM, 2014). Amerikansk gjennomføring er beskrevet ytterligere i kapittel 2.3.6 *Variasjon i gjennomføring av sandekvivalentmetoden i amerikansk og europeisk standard*.

Mye støv er heller ikke bra for personell som gjennomfører testene, og til tross for at vernemaske kan benyttes, er det ikke ønskelig at nye metoder skal kunne forverre HMS på laboratoriene. Istedenfor nedsplitting av materialet er derfor prøvene tatt ut i større beholdere og blandet godt i disse.

Nedsplitting er i amerikansk standard for sandekvivalentmetoden (ASTM, 2014) også påpekt som problematisk. Dette er løst ved fukting av materialet før splitting. Dette fungerer ikke i den europeiske standarden da mengde materiale er klart bestemt, og fuktig av materiale vil gjøre det vanskelig å sikre nøyaktig 120g tørt materiale. Det er derfor valgt en annen metode for preparering av prøvene.

Prøvene med tilslag til asfalmørtel er samlet inn og oppbevart i poser med opptil 25 kg innhold. Prøvene er preparert ved at det tas ut minimum 1,8 kg (15 ganger prøvestørrelse) av den aktuelle prøven i en beholder. Denne beholderes røres forsiktig om og settes videre i tørkeskap for å fjerne vanninnholdet i prøven. Beholderen med materialet settes i tørkeskap på 110 °C i minimum et døgn. Etter dette antas materialet i beholderen som tørt (0% vanninnhold).

Beholderen tas ut av tørkeskap, og nedkjøles til romtemperatur. Etter at materialet er nedkjølt blandes materialet forsiktig for å sikre en mest mulig homogen prøve, men uten betydelig tap av finstoff. Fra beholderen tas det ut nødvendig prøvemengde. Figur 2-3 viser ferdig preparert prøvematerialet i en beholder.



Figur 2-3: Ferdig preparert materiale til metylenblå- og sandekvivalentmetoden.

2.3 Sandekvivalentmetoden

Målet med sandekvivalentttesten er å identifisere og kvantifisere mengde uønsket finstoff i fraksjonene. Sandekvivalentverdien vil for materialer variere mellom 0 og 100, hvor en lav verdi indikerer at materialet har dårligere kvalitet. I Norge stilles det ikke krav til denne metoden, men flere europeiske land stiller krav til sandekvivalentverdi både for ubundne og bitumiøse lag i veggen.

2.3.1 Utvidelse av akseptert finstoffinnhold i sandekvivalentmetoden

I Norge er det gjort lite arbeid med metylenblå- og sandekvivalentmetoden tidligere, og ellers i verden er mesteparten av arbeidet som er gjort gjennomført på naturlige løsmasser. Sandekvivalenttesten er opprinnelig en test som undersøker uønsket finstoff i naturlig grus og leire, og spesielt med tanke på svellende leirer. I Norge i dag benyttes nesten ikke naturlig leire og grus til vegbygging, og det er derfor aktuelt å vurdere metodene opp mot knust berg. Det må derfor gjennomføres forsøk som ser på helt elementære deler av metodene.

For å kunne tilpasse testene til bruk på samfengt knust berg, samt å gjøre testene mer praktisk å gjennomføre i en større skala er det gjort noen endringer i henhold til standarden. Standarden krever maksimalt 10% finstoff for gjennomføring av en prøve. I forsøkene gjennomføres sandekvivalentmetoden med avvik, dvs. at materialene testes uavhengig av mengde finstoff. Med bakgrunn i denne endringen er derfor finstoffets betydning undersøkt nøye. Undersøkelsene av finstoff er en svært sentral del av oppgaven da de videre resultatene avhenger av resultatene fra disse undersøkelsene.

2.3.2 Gjennomføring av sandekvivalentttesten

Sandekvivalentttesten skal i henhold til standard NS-EN 933-8 (Standard Norge, 2015) gjennomføres på fraksjonen 0/2 mm, med anneks som tillater testing på fraksjonen 0/4 mm. Testen gjennomføres ved at prøvematerialet splittes ned til to delprøver i henhold til standard NS-EN 932-2 (Standard Norge, 1999). Den første delprøven brukes til å bestemme vanninnholdet og mengde finstoff. Vanninnholdet bestemmes i henhold til standard NS-EN 1097-5 (Standard Norge, 2008) og finstoffinnholdet beregnes ved bruk av formel a:

$$f = 100 - \frac{M_2(100+w)}{M_1} \quad (a)$$

w – Vanninnhold

M₁ – Total vekt av masse i delprøven

M₂ – Masse større enn 0,063 mm

Vanninnhold og finstoffinnholdet brukes til bestemmelse av prøvemengden i den andre delprøven. Den andre delprøven brukes til gjennomføring av selve sandekvivalentttesten. Dersom finstoffinnholdet er mindre eller lik 10% beregnes prøvemengden (M_T) av formel b:

$$M_T = \frac{120(100+w)}{100} \quad (b)$$

Dersom finstoffinnholdet er over 10 % skal det tilsettes grovere masser (M_4) redusere finstoffinnholdet i prøven til maksimalt 10% og prøvemengden beregnes etter formel c:

$$M_T = M_3 + M_4 \quad (c)$$

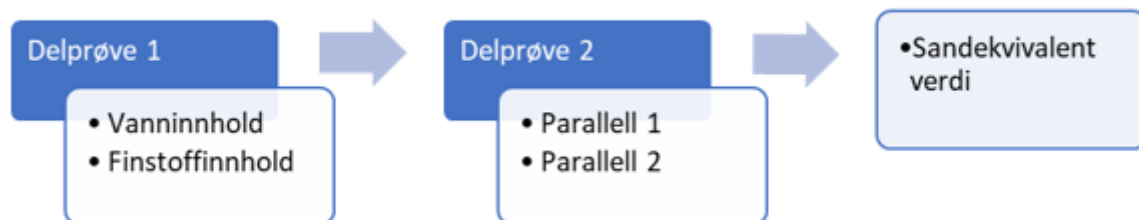
Hvor:

$$M_3 = \frac{1200}{f} * \left(1 + \frac{w}{100}\right) \quad (d)$$

$$M_4 = 120 - \frac{1200}{f} \quad (e)$$

M_3 er materiale fra den andre delprøven, mens M_4 er materiale fra den første delprøven med kornstørrelse over 0.063mm.

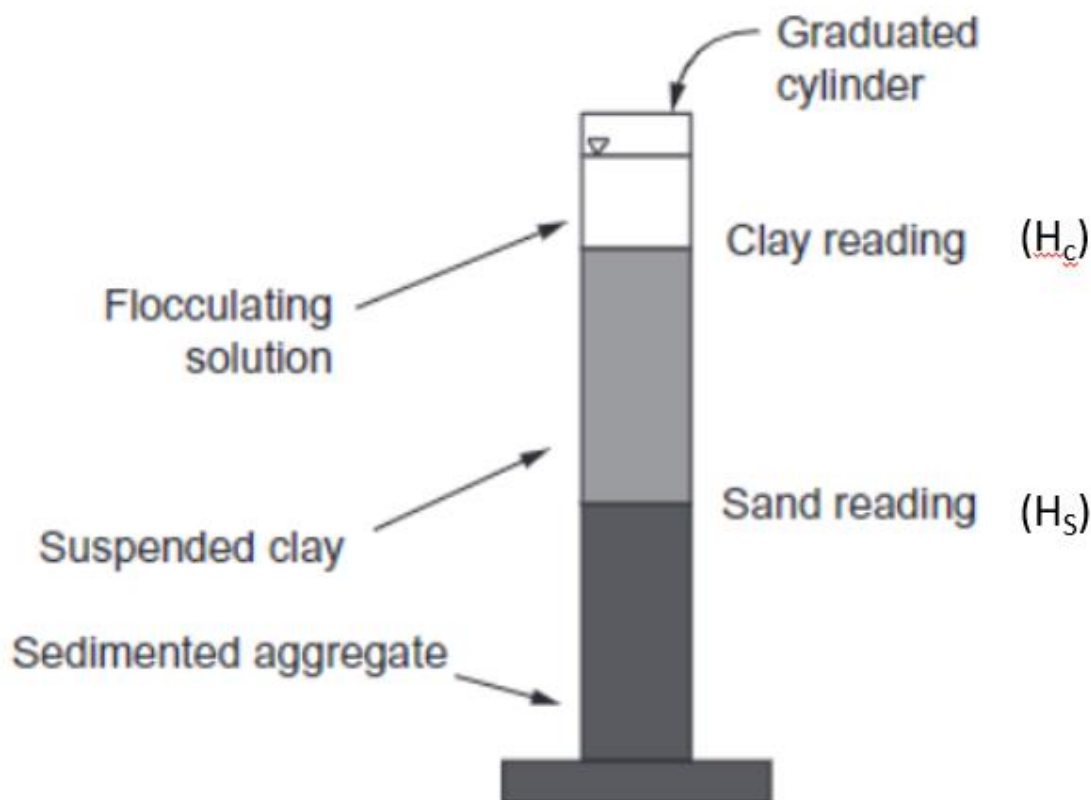
Den andre delprøven brukes til å beregne sandekvivalent verdien. Denne delprøven består igjen av to paralleller. Sandekvivalentverdien er gjennomsnittet av parallellene. I denne testen fylles en sylinder med vann og flokkuleringsmiddel til et merke 100 mm opp på sylindere. Deretter fylles steinmaterialet (M_T) i sylindere. Prøven står så i 10 (± 1) minutt for å bløtlegges. Videre plasseres sylindere horisontalt i en maskin som rister den i 30 (± 1) sekunder. Etter prøven er ristet fylles sylindere helt opp med vann tilsatt flokkuleringsmiddel ved bruk av et vaskerør. Dette muliggjør å fylle sylindere fra bunnen, under steinmaterialet. Dette gjør at finstoffet flyter opp, og legger seg på toppen av steinmaterialet i sylindere. Prøven står videre i 20 [$\pm 0,25$] minutter før resultatene kan leses av. Fremgangsmetoden er presentert i figur 2-4.



Figur 2-4: Flytskjema for gjennomføring av sandekvivalentmetoden i henhold til europeisk standard.

Sandekvivalentverdien er et forholdstall mellom leiravlesningen (H_c) og sandavlesningen (H_s). Leiravlesningen er avsetningshøyden til finstoffet inne i sylindere. Sandavlesningen er lest av ved et stempel senkes ned i sylindere, mens leiravlesningen måles med linjal på utsiden av sylindere. Dette stempet gjør det mulig å måle avsetningshøyden til det grove materialet i bunn av sylindere. Avlesningshøydene er illustrert i figur 2-5. Resultatet, sandekvivalentverdien (SE) verdien, beregnes ved formel f:

$$SE = \frac{H_s}{H_c} * 100 \quad (f)$$



Figur 2-5: Prinsippskisse av sandekvivalentttesten (Wang, 2016).

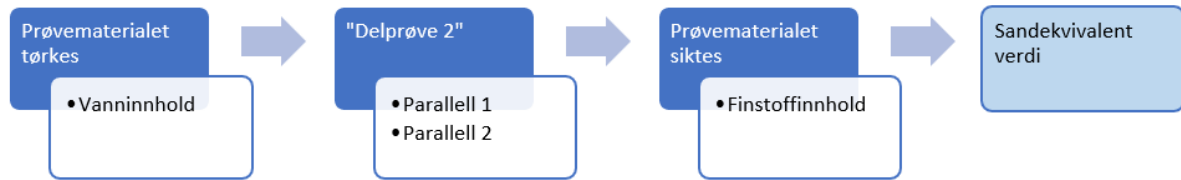
2.3.3 Avvik fra standard i denne oppgaven

Målet med metodestudiet er å undersøke om sandekvivalentmetoden er egnet for materialer som brukes på norske veier, i første omgang asfalttilslag. Statens vegvesen ønsker å teste opprinnelig produkt av 0/4, og derfor er det undersøkt hvorvidt materialet kan testes med mer enn 10% finstoff. Å endre sammensetningen (her finstoffinnholdet) til materialet før det testes kan påvirke egenskapene til materialet. Testene gjennomført i dette metodestudiet avviker fra standard som følgende:

I metodestudiet er det ikke benyttet to delprøver. Før materialet testes, tørkes det på 110 grader i varmeskap i et døgn. Dette for å minimere vanninnholdet, og i videre beregninger settes vanninnholdet til 0%. Beregnes prøvemengde etter formel b ved 0% vanninnhold gir dette 120g. Tilsvarende avvik fra standard gjøres ved VTI i Sverige ved gjennomføring av sandekvivalentmetoden (Metodgruppen, 2014).

Finstoffinnholdet undersøkes ikke før testing. Dette fordi testen gjennomføres uavhengig av finstoffinnholdet i prøven. Etter testing siktes materialet gjennom en 0,063 mm sikt. Materialet som blir liggende på siktet settes i tørkeskap på 110 grader til konstant vekt er oppnådd. Videre beregnes finstoffinnholdet i prøven. Finstoffinnholdet brukes til å beregne sandekvivalentverdien tilsvarende en prøve med 10 % finstoff etter en modell. Denne modellen er beskrevet i kapittelet 4.4.2 *Modellering av varierende finstoffinnhold*. Sandekvivalentverdien som kommer ut av denne modellen er kalt SE_{mod10} , som betyr at materialet er modellert tilbake til 10% finstoffinnhold.

Utover dette gjennomføres sandekvivalentmetoden tilsvarende i metodestudiet som i standard. I figur 2-6 er fremgangsmåten for hvordan sandekvivalentmetoden er gjennomført i denne oppgaven presentert.



Figur 2-6: Flytskjema for gjennomføring av sandekvivalentmetoden i denne oppgaven.

Fordelen ved å gjennomføre testen med nevnte avvik fra standarden er at gjennomføringen av selve testen er raskere, og metoden gir minimalt med preparering før testing. Ved mottak av prøvene kan materialet settes rett i tørkeskap. Derfra kan prøvematerialet tas ut og testen gjennomføres. Siden mengde finstoffinnhold i prøvene endres i henhold til standard, er det nødvendig å kunne kontrollere finstoffinnholdet etter testing. Denne metoden muliggjør dette.

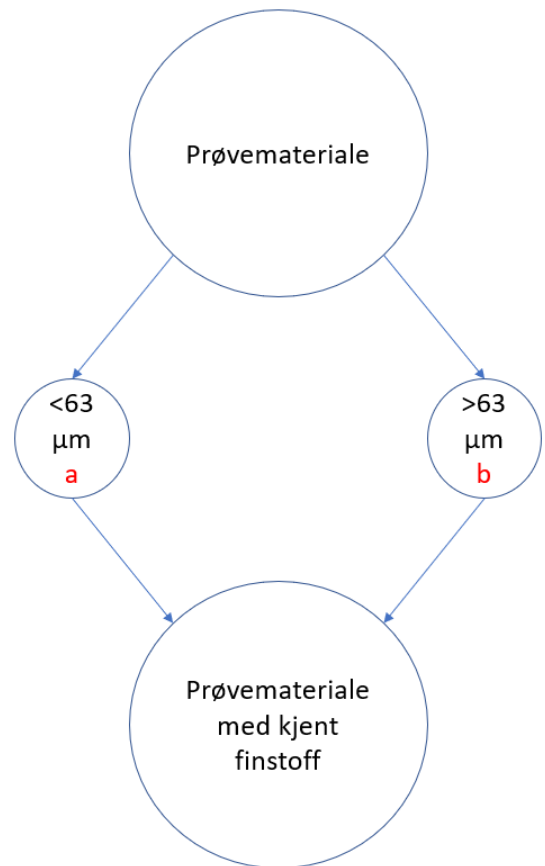
2.3.4 Undersøkelse av finstoffinnholdets betydning

For flere av materialene er sammenhengen mellom sandekvivalent verdien og finstoffinnholdet undersøkt. Med finstoffinnhold menes mengden materialet i testen med kornstørrelse mindre enn 0,063 mm. Bakgrunnen for at denne testen gjennomføres er fordi Petkovšek et al. (2010) skriver at finstoffinnholdet ikke påvirker sandekvivalent verdien når finstoffet er «steinete» eller «leiraktig». Det er noe uklart hva som menes med steinete og leiraktig, og det er derfor interessant å undersøke sammenhengen mellom finstoffinnholdet og sandekvivalent verdien for materialene i denne oppgaven.

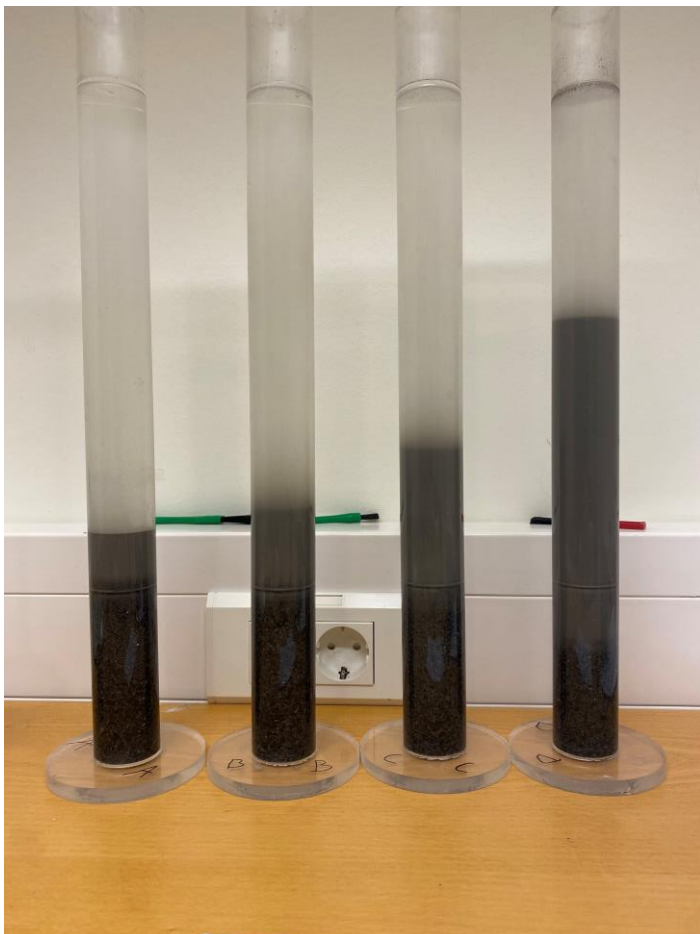
For gjennomføring av testen med varierende finstoffinnhold må materialet først siktes, slik at finstoffmengden er kjent i alle prøvene. Dette er illustrert i figur 2-7. Materialet tørrsiktet først på 0,063 mm, med ulike avlastningsikt. Materialet under 0.063 mm (b) holdes separat, mens materialet over 0,063 mm (a) blandes i en beholder til det fremstår homogent.

Videre blandes materialet med ulike kjente mengder finstoff. De ulike blandingene tilsvarende som metoden beskrevet i kapittel 2.3.2 *Gjennomføring av sandekvivalenttesten* og sandekvivalentverdien bestemmes. Siden materialet tørrsiktet, vil noe av finstoffet ikke passere 0,063 mm siktet, og det faktiske finstoffet vil bli høyere enn det tilsatte finstoffet. Det er derfor nødvendig å vaske prøven som skal kjøres med 0 % finstoff.

Prøvene er blandet med finstoffinnhold fra 0% til 35%. Figur 2-8 viser den visuelle forskjellen på prøver testet med ulik mengde finstoff.



Figur 2-7. Preparering av prøver med kjent finstoffinnhold.



Figur 2-8: Prøver med ulik mengde finstoff.

2.3.5 Undersøkelse av setningstidens betydning

Den norske/europeiske (Standard Norge, 2015) og amerikanske (ASTM, 2014) standarden for sandekvivalentmetoden har for enkelte tester ulikt avlesningstidspunkt for beregning av analyseverdi. I henhold til den norske/europeiske standarden skal leiravlesningen gjennomføres etter nøyaktig 20 minutter, mens den amerikanske har avlesning etter 20 minutter, gitt at materialet er ferdig satt. Dersom det fortsatt er materiale i suspensjon, skal man vente til materialet har satt seg, men maksimalt i 30 minutter.

Betydningen av avlesningstidspunktet til leiravlesningen blitt undersøkt for seks av materialene på generelt grunnlag, men også for å sammenligne europeisk og amerikansk standard. Leiravlesninger er utført fra 10 minutters setningstid til 40 minutters setningstid, mens sandavlesningen kun er målt etter 40 minutter. Sandekvivalentverdier er beregnet for hver avlesning. Det standardiserte avlesningstidspunktet (etter europeisk standard) er ved 20 minutter. Sandekvivalentverdien fra 15 til 40 minutter beregnes og plottes i en graf. Betydningen av avlesning etter nøyaktig 20 minutter undersøkes, samt hvorvidt dette tidspunktet er det ideelle for å få reproduerbare resultater.

2.3.6 Variasjon i gjennomføring av sandekvivalentmetoden i amerikansk og europeisk standard

Til tross for at den amerikanske og europeiske standarden for sandekvivalentmetoden har flere likehetstrekk, og resultatet etter testing på mange måter er sammenlignbart har standardene på enkelte områder noen avvik. Hvorvidt disse avvikene på en betydelig måte gir variasjon i resultatene er usikkert, og med stor sannsynlighet er betydningen av de ulike avvikene varierende.

Preparering

Ved preparering av prøve påpekes det i den amerikanske standarden at minimum 1500 g materiale skal tas ut før testing, dette er for å sikre en representativ prøve. Den europeiske standarden spesifiserer ikke metoden for å ta ut prøven, men kun hvor mye prøvemateriale som er nødvendig. Videre spesifiserer den amerikanske standarden hvordan denne prøvemengden skal tas ut med to alternativer, «Procedure A» og «Procedure B». Hvilken av metodene som benyttes kan velges av vedkommende som gjennomfører testen. Begge metodene benytter fukting av materialet før uttak av prøven, for å minimere tap av finstoff. «Procedure A» er gjennomført uten å splitte materialet, men ved å blande materialet godt i en beholder. Ved «Procedure B» benyttes nedsplitting til å ta ut prøven.

Prøvemengde

Prøvemengden varierer betydelig i standardene. I henhold til den europeiske metoden skal prøvemengden tilsvare 120g tørt materiale. Denne prøvemengden sikres ved å først kontrollere vanninnholdet i prøven, og videre beregne hvor mye av materialet som tilsvarer 120g tørket materiale. I den amerikanske standarden er ikke prøvemengden av stor betydning. Prøvemengden i henhold til den amerikanske metoden er å fylle beholderen, som er avbildet i figur 2-9. Beholderen skal da fylles jevnt med høyden på kantene, og overflødig materiale skrapes bort. Etter beholderen er fylt settes den med materialet i tørkeskap og tørkes til konstant vekt. Vekten har ingen betydning for testen, men standarden påpeker at dersom materialet ikke tørkes kan dette gi en lavere sandekvivalentverdi enn for tørt materiale.



Figur 2-9: Beholder som brukes til uttak av prøver i sandekvivalentmetoden.

Finstoffinnhold (materiale mindre enn 0,063mm)

Ved testing i henhold til den amerikanske standarden tas ikke mengde finstoffinnhold med i beregningen. Etter den europeiske standarden skal materialet testes med maksimalt 10% finstoff. For å sikre dette kontrolleres finstoffinnholdet før testing, og dersom dette er over 10%, settes prøven sammen slik at finstoffinnholdet ikke overskrider 10%.

Setningstid

Det siste betydelige avviket mellom standardene er setningstiden materialet har i sylindren hvor sandekvivalenttesten gjennomføres. I den europeiske standarden skal resultatet av leiravlesningen skje 20 minutter $\pm 0,25$ min (=15 sekunder), uavhengig av hvordan prøven ser ut. I den amerikanske standarden skal en vurdering av prøven skje etter 20 minutter ± 15 sekunder. Dersom leiravlesningen ikke er tydelig fordi deler av materialet fortsatt er i suspensjon, skal man avvente inntil 10 minutter til før avlesning skjer.

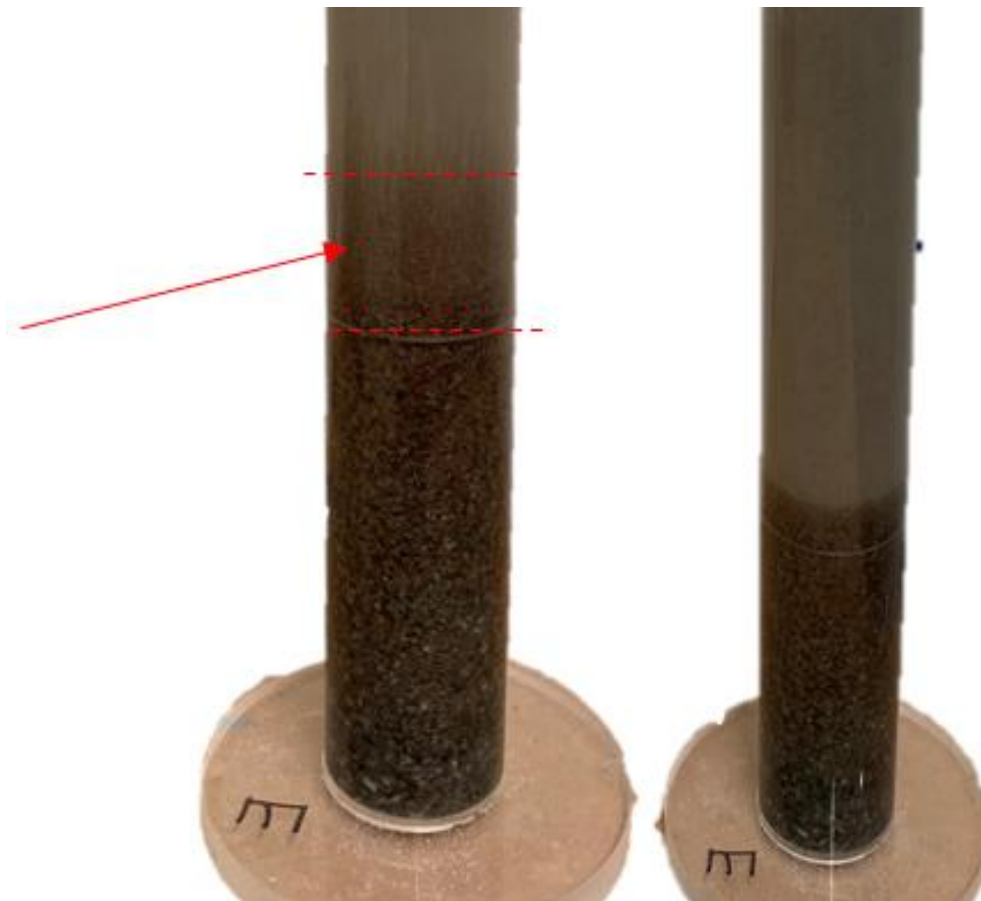
2.3.7 Praktiske implikasjoner ved gjennomføring

Sandavlesningen

Sandekvivalentverdien beregnes ut fra to avlesninger, leiravlesning og sandavlesning. Ut fra testene i denne masteroppgaven, med variasjonene i parallellene, kommer det frem at sandavlesningen er den som varierer mest innad i parallellene.

Sandavlesningen skal være et mål på hvor mye grovt materiale som ligger i bunn av sylindren. Denne måles ved at et lodd penetrerer det fine materialet øverst i sylindren og legger seg på toppen av det grove materialet på bunn. Nøyaktig hvor langt ned loddet når kan variere i paralleller og siden testen er svært følsom i variasjoner i sandavlesningen kan noen millimeter avvik gi relativt store utslag i sandekvivalentverdien.

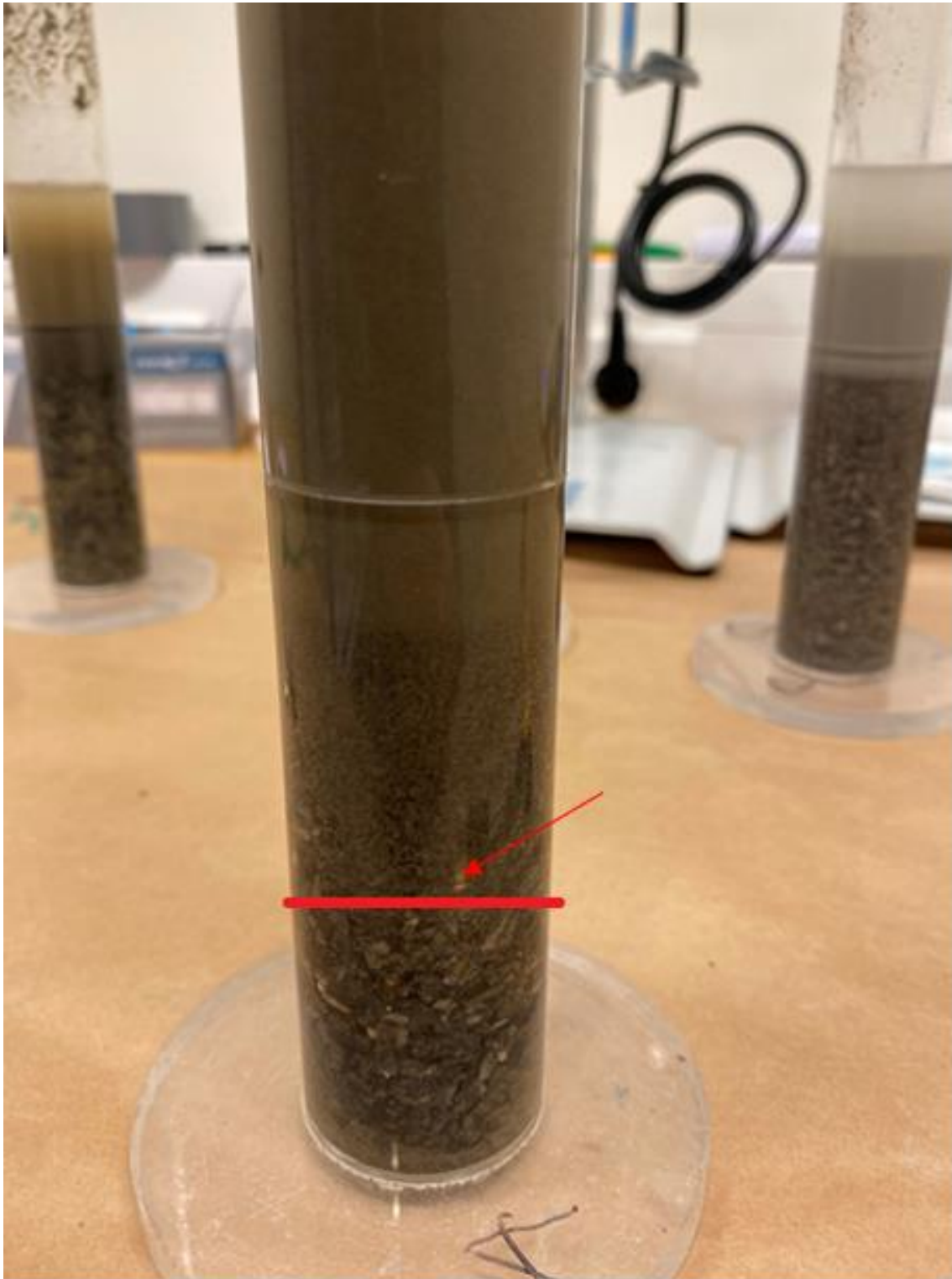
Mulige årsaker til variasjoner i sandavlesninger kan være mange. En av teoriene er at det i flere prøver dannes et mellomsjikt mellom det grove materialet på bunn og det fine på toppen, se figur 2-10. Dette sjiktet forekommer for de fleste prøvene som er utført, men i varierende mektighet. Prøver med høyt innhold av glimmer har i testene gitt et større mellomsjikt enn prøver med lavere glimmerinnhold. Dette mellomsjiktet er problematisk for sandavlesningen ved at loddet sakte presser seg gjennom. I standarden (Standard Norge, 2015) er det ikke spesifisert hvor lenge loddet skal stå før sandavlesningen. Dette kan gi variasjoner i sandavlesningen.



Figur 2-10: Illustrasjon av mellomsjikt med betydelig mektighet i sylindren til venstre etter gjennomført sandekvivalenttest. Sylinder til høyre er mellomsjiktet av betydelig mindre mektighet.

Sandekvivalenttesting på 0-4mm fraksjon

Standarden NS-EN 933-8 Sandekvivalentmetoden (Standard Norge, 2015) har etter 2015 tillatt testing med metoden på fraksjonen 0/4 (Annex A). For den generelle produksjon av asfalt er derfor 0-4mm fraksjonen mer praktisk å teste på siden massen produseres på knuseverkene. Likevel viser testene gjennomført i denne masteroppgaven at fraksjonen er ugunstig å teste på. Vasketuben, som brukes til å tilsette flokkuleringsmiddelet, trenger ikke tilstrekkelig ned i massen i sylindren. Dette fører til dårlig spyling av materialet, og dermed finstoff som blir liggende blant den grove massen. Dette vil gi fiktivt gode resultater som må forkastes. Figur 2-11 viser hvor langt ned det er mulig å presse vasketuben, og at den langt fra når bunnen av sylindren. Massen under tuben blir ikke tilstrekkelig vasket, og finstoff blir liggende igjen mellom den grove massen på bunn av sylindren.



Figur 2-11: Bildet viser hvor langt ned det er mulig å presse vaskerøret ved gjennomføring av sandekvivalenttesten på 0/4 mm fraksjonen.

2.4 Metylenblåmetoden

Metylenblåmetoden har i flere tiår vært brukt til å beskrive den spesifikke overflaten til et materiale (Santamarina et al., 2002). Spesielt er metoden benyttet på naturlig finstoff, som leire og grus. Mukhopadhyay et al. (2013) beskriver metoden som svært subjektiv da resultatene fra metoden kommer av en visuell vurdering av blåfarge på filterpapir.

En ny metylenblåmetode beskrevet av både Bablouzian et al. (2013) og Mukhopadhyay et al. (2013) prøver fjerne den menneskelige faktoren fra testmetoden. I den nye metoden, kalt modifisert metylenblåtest benyttes et kolorimeter til å bestemme når steinmaterialet i testen er ferdig satt. Dette fjerne den menneskelige vurderingen av når en halo oppstår på filterpapiret som benyttes til å gjennomføre testen

2.4.1 Gjennomføring av metylenblåtesten

Metylenblåmetoden gjennomføres i henhold til standard NS-EN 933-9 (Standard Norge, 2009). Testen er gjennomført på 0/2 mm fraksjonen og 0/0,125 mm (filler). Materialet er lagt i en beholder med omtrent 500 ml vann, som røres om med en blender. Mengden vann har ikke innvirkning på resultatet i testen. Videre er det tilsatt stegvis en løsning metylenblå med kjent konsentrasjon. Metylenblå dekker overflater fra materialet i vannet. Når blåfargen lekker ut i vannet, betyr dette at prøvematerialet er «mettet» med metylenblå, og at alle overflater er dekket. For hver gang det tilsettes metylenblå i blandingen er det undersøkt hvorvidt løsningen er «mettet».

Metylenblå er tilsatt i mindre doser enn hva som er beskrevet i standarden. I henhold til standard skal metylenblå med en konsentrasjon på 10 mg/L tilsettes 5 ml i gangen. Siden knust fjell gir utslag på lave konsentrasjoner, er derfor mengden tilsatt metylenblå redusert. Tabell 2-1 viser stegvise mengder metylenblå tilsatt i prøvene.

Tabell 2-1: Tilsatte mengder metylenblå for hver økning

Steg	Mengde tilsatt	Kumulativ mengde
1	1 ml	1 ml
2	2 ml	3 ml
3	2 ml	5 ml
4	2 ml	7 ml
5	2 ml	9 ml
6	2 ml	11 ml
7	2 ml	13 ml

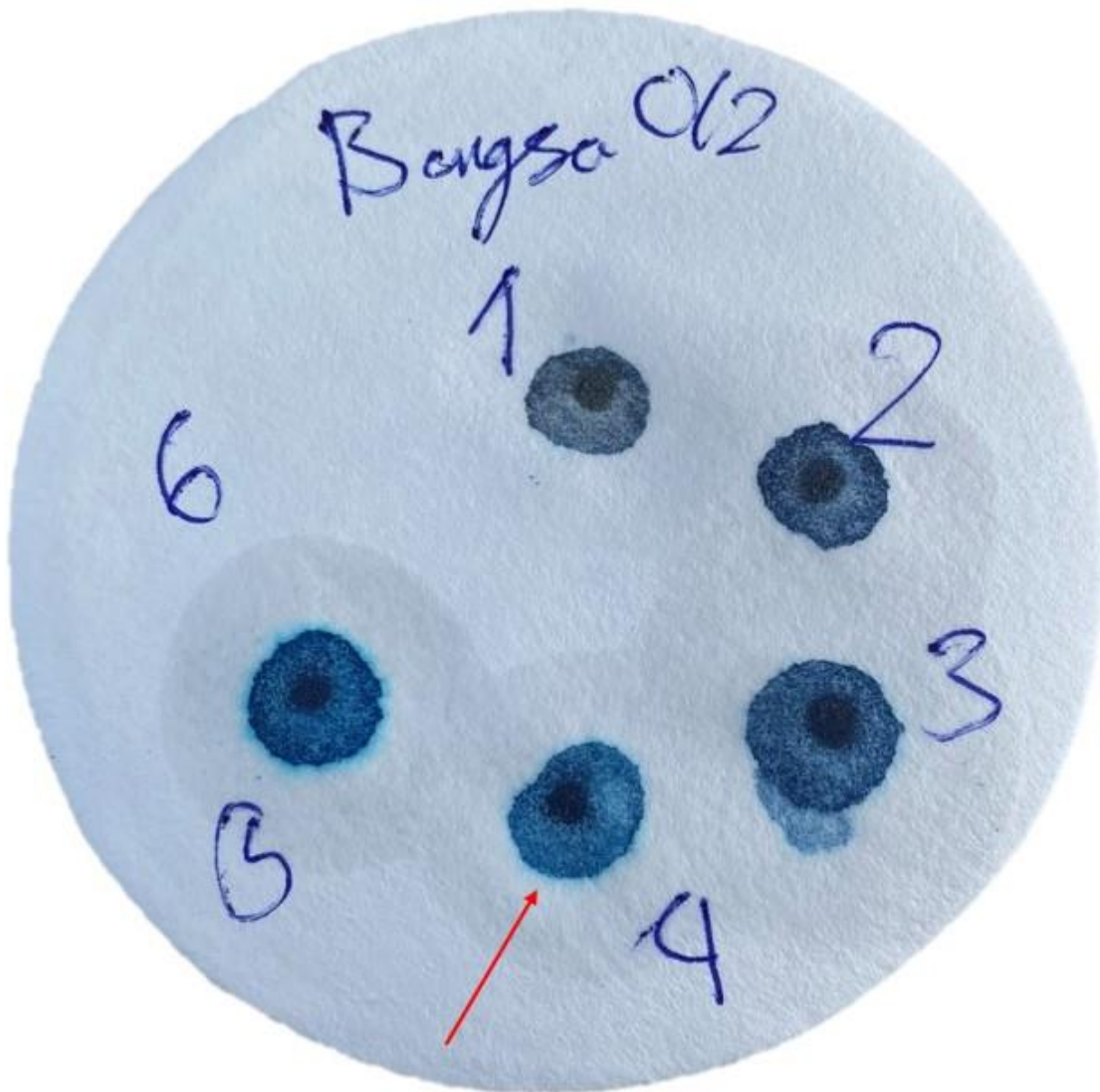
Metylenblåverdien beregnes etter formel g, ved å dele volum av den tilsatte kumulative fargeblandingen og dele på tilsatt masse av materialet testet (200g).

$$MB = \frac{V_1}{M_1} * 10 \quad (g)$$

Ved bruk av metylenblåmetoden er ikke finstoffinnholdet påvist med like stor grad av sikkerhet som ved sandekvivalentmetoden. Dette er fordi prøvene ikke lar seg teste for finstoffinnhold etter at metylenblåmetoden er gjennomført. Etter testing er prøvene tilsatt et sterkt fargestoff som ikke bør tømmes gjennom en oppsamlingstank. Blåfargen er svært vanskelig å få av, og siden oppsamlingstanken tømmes for hånd, må materialet fra metylenblåmetoden kastes og vannet tømmes ut i avløpssystemet etter endt

gjennomføring. Finstoffinnholdet er derfor forventet å være tilsvarende som for sandekvivalentmetoden, siden prøvene er tatt fra samme beholdere.

Figur 2-12 viser når resultatene i denne oppgaven er tolket til å være ferdig analysert. Sirkel 1 til 3 er tolket til å ikke være mettet, og dermed har mer metylenblå blitt tilsatt. Sirkel fire (markert med rød pil) er tolket til å være mettet, og utgjør resultatet for testen. Sirkel fem er overmettet, det er altså tilsatt for mye metylenblå på dette stadiet. Resultatene beregnes fra sirkel 4, der konsentrasjonen med metylenblå tilsatt på dette stadiet benyttes.



Figur 2-12: Visuell avlesning/registrering av halo for metylenblåmetoden.

2.5 Undersøkelser av ulike materialegenskaper

For å kunne undersøke hvilke materialegenskaper som påvirker resultatene for metylenblå- og sandekvivalentmetoden, er ulike materialegenskaper testet slik at resultatene kan korreleres opp mot de respektive metodene. Videre er metodene benyttet for å preparere og gjennomføre disse testene beskrevet.

2.5.1 Glimmerinnhold ved XRD

For å undersøke glimmerinnholdet er det gjennomført XRD på prøvene. Materialet med kornstørrelse 0-4mm er tatt ut. For å sikre representative prøver er prøvemengden tatt ut omtrent 1 kg pr. materiale, da nødvendig prøvemengde er bare noen få gram pr prøve. Materialet er videre siktet på 2mm sikt, slik at materialet skal tilsvare det som testes i metylenblå- og sandekvivalentmetoden.

Omtrent 10 g av materialet med kornstørrelse 0-2 mm er malt ned til pulver med en skivesvingmølle. Skivesvingmøllen består av et kammer og malelegemer i stål. Materialet er videre overført til små prøveposer av papir. Av det nedmalte materialet er det videre tatt ut omtrent 2 ml materiale, og dette tilsatt 10 ml etanol. Dette er mikronisert med en mikroniseringsmølle fra McCrone i to minutter, før det er tørket i tørkeskap på 45 °C.

Etter tørking er det mikroniserte materialet plassert i prøvekopper og fordelt slik at materialet har en jevn og tett overflate. Prøven er så satt inn i en «Bruker D8 Advance XRD»-maskin og analysert. Maskinen benytter en bølgelengde på 1,54056 Å og analyserer materialet med vinkler fra 3 til 65 grader. Etterpå er dataene tolket i samarbeid med Laurentius Tijhuis ved XRD-laben på NTNU. Totalt er det gjennomført XRD på 12 materialer, material nr. 1-12. For materialet inkludert i FIAM prosjektet er XRD gjennomført eksternt.

2.5.2 Glimmerinnhold ved glimmertelling

For materialene er det utført glimmertelling i henhold til metode 114 «*Glimmertelling*» beskrevet i R210 (Vegdirektoratet, 2016). Arnhild Ulvik hos Statens Vegvesen har gjennomført analysene. Metoden går ut på å sikte materialet ut i tellefraksjonen 0.125-0,250 mm. Denne fraksjonen brukes siden det er i denne kornstørrelsen glimmerkorn opptre som rene korn (Storrø, 1984). Dette er ønskelig siden korn telles som enten glimmerkorn eller ikke glimmerkorn, og blandkorn er derfor vanskelig å vurdere.

Metoden gjennomføres ved at tellefraksjonen strøs ut på et millimeterpapir. Kornene spres slik at de fordeler seg jevnt på millimeterpapiret. Millimeterpapiret har ruter på 5x5 millimeter. En slik rute velges ut, og samtlige korn inne i ruten telles, og det vurderes for hvert korn om det er et glimmerkorn eller et annet mineral. Til tellingen benyttes et mikroskop med 40-50 ganger forstørrelse. Glimmerinnholdet bestemmes ved å dele totalt antall korn på antall glimmerkorn funnet i ruten.

2.5.3 Glimmerblandinger

For å undersøke sammenhengen mellom sandekvivalent-/metylenblåverdien og glimmerinnholdet til materialene, har et materiale blitt satt sammen med rent glimmer med flere ulike blandingsforhold.

Som glimmer ble flogopitt valgt, som er et brunlig mineral med store visuelle likhetstrekk som biotitt. Kjemisk sett skiller flogopitt seg fra biotitt ved lavere jerninnhold og høyere magnesiuminnhold. Mineralogisk sett er flogopitt en mellomting mellom biotitt og muskovitt, da spektrumen til flogopitt har en topp i XRD midt mellom biotitt og muskovitt. Dette gjør at flogopitt er godt egnet som testmateriale, og har trolig egenskaper i testen som reflekterer egenskaper til både muskovitt og biotitt. Det er selvfølgelig en stor mulighet for at biotitt og muskovitt kan påvirke resultatene av testene på en måte flogopitt ikke kan, men dette må undersøkes i videre testing med glimmertypene.

I utgangspunktet skulle material nr. 12 blandes med glimmer. Dette materialet var valgt ut siden det inneholder 0% glimmer. I tillegg er tilgangen på materialet god, da pukkverket ligger i umiddelbar nærhet til sentrallaboratoriet hvor testene skulle gjennomføres. Gjennom innledende tester av sandekvivalentmetoden ga material nr. 11 og 12 store avvik som ikke er enkle å forklare. Disse er fra samme pukkverk, men tatt med tre års mellomrom. For å redusere ukjente faktorer i testingen til kun glimmerinnholdets betydning er materiale nr. 12 valgt bort som testmateriale for blanding med glimmer.

Med bakgrunn i materialer med gode resultater i sandekvivalentmetoden og store nok mengder tilgjengelig er materiale nr. 2 valgt som blandingsmateriale. Materialet har god $SE_{mod10}(77)$, lavt finstoffinnhold (12,2%) og relativt lite glimmer (5%). Dette gjør materialet godt egnet til å blande med glimmer. For å forenkle utførelsen og beregningen, ses det opprinnelige glimmerinnholdet i bergarten på 5% bort fra.

Flogopitten, som er tilsendt fra LKAB i Finland, er et materiale i fraksjonen 0-2 mm. Flogopitten har opprinnelig et finstoffinnhold på omtrent 4%, mens materiale nr. 2 har omtrent 12 % finstoffinnhold. Ideelt sett er det ønskelig at glimmermaterialet og materiale nr. 2 har like kurver og likt finstoffinnhold, men dette er vanskelig å få til. For å øke finstoffandelen i flogopitten er denne kjørt i Los Angeles trommelen i 10 000 omdreininger. Dette ga et produkt med 41% finstoffinnhold, som blir for høyt til å brukes alene.

Ved blanding av prøvene er derfor to ulike produkter av flogopitten tilsatt, halvparten fra det originale med 4% finstoff og halvparten fra materialet med 41% finstoff. Dette gjør at glimmerinnholdet i flogopitten er lavt nok til at det endelige blandingsproduktet får et finstoffinnhold innenfor et område som er akseptabelt, og som gjør det mulig å sammenligne resultatene med de forskjellige mengder tilsatt glimmer. Figur 2-13 viser de tre materialene som er blandet til prøvene. Til venstre er flogopitten slik den er levert (flogopitt original), i midten er flogopitten knust i Los Angeles trommel (flogopitt knust), og til høyre materiale nr. 2. I vedlegg C er blandingsforholdene i de ulike prøvene og de respektive prøvenes finstoffinnhold vist.



Figur 2-13: Preparert materiale til glimmerblandinger. Til venstre er opprinnelig flogopitt, i midten knust flogopitt og til høyre materiale nr. 2.

For tillaging av prøvene er det tatt ut beregnet mengde fra hver beholder. De ulike materialene er tatt ut som vektprosent, det er altså ikke tatt hensyn til variasjon i densitet og dermed volumet til de ulike materialene. Hvert materiale er veid opp kumulativt i en beholder på vekt.

Glimmerblandinger i sandekvivalentmetoden

Tabell 2-2 viser blandingsforholdene til sandekvivalentttesten de ulike prøvene. Kolonne med rød skrift er total mengde flogopitt i prøven, altså en sum av knust og uknust flogopitt. Kolonne med gul skrift er den knuste flogopitten fra Los Angeles trommelen, mens kolonne med blå skrift er den uknuste flogopitten slik den var levert. Kolonnen med grønn skrift er materiale nr. 2 som var blandet med flogopitten.

Tabell 2-2 Blandingsforhold for glimmerblandingene til sandekvivalentmetoden

Glimmerinnhold	Flogopitt (g)	Flogopitt knust (g)	Flogopitt original (g)	Materiale nr. 2 (g)
0 %	0	0	0	120,0
5 %	6	3	3	114,0
10 %	12	6	6	108,0
15 %	18	9	9	102,0
20 %	24	12	12	96,0
25 %	30	15	15	90,0
30 %	36	18	18	84,0
35 %	42	21	21	78,0
40 %	48	24	24	72,0
50 %	60	30	30	60,0
60 %	72	36	36	48,0
70 %	84	42	42	36,0

Glimmerblandinger opptil 70% er beregnet. Årsaken til at høyere glimmerblandinger ikke er vurdert, er fordi glimmermaterialet tar opp et stort volum. Av sandekvivalentmetodens natur hvor materialet tilsettes i en sylinder med bestemt mengde vann lar ikke testen seg gjennomføre med høyere glimmerinnhold. Dette er fordi vannmengden er for lav til å fukte hele prøven, når volumet av glimmer tar opp veldig mye plass. I figur 2-14 er dette illustrert. Prøvene på bildet er testet med 100% glimmer, som en del av forundersøkelsene for hvor mye glimmerinnhold de ulike prøvene kan ha.



Figur 2-14: Sylindere til venstre er testen gjennomført slik beskrevet i standard. I sylindere til høyre er prøven i tillegg ristet for å fukte alt materialet, dette er ikke i henhold til standard.

Gjennom testene er resultatene fra prøvene med mer enn 50% finstoffinnhold også forkastet av samme grunn som forklart ovenfor. Testene lar seg ikke gjennomføre på en logisk måte med mindre mer vann tilsettes før prøvene ristes. Det er valgt å ikke tilsette mer vann.

Glimmerblandinger i metylenblåmetoden

Prøvene til metylenblå er blandet tilsvarende som ved sandekvivalentmetoden, men avviker ved at prøvemengden er 200g istedenfor 120g. I tabell 2-3 vises blandingsforholdet for prøvene til undersøkelsene med glimmer for metylenblå.

Tabell 2-3: Blandingsforhold for glimmerblandingene til metylenblåmetoden

Glimmerblandinger	Flogopitt (g)	Flogopitt knust (g)	Flogopitt original (g)	Materiale nr. 2 (g)
0 %	0	0	0	200,0
5 %	10	5	5	190,0
10 %	20	10	10	180,0
15 %	30	15	15	170,0
20 %	40	20	20	160,0
25 %	50	25	25	150,0
30 %	60	30	30	140,0
35 %	70	35	35	130,0
40 %	80	40	40	120,0
50 %	100	50	50	100,0
60 %	120	60	60	80,0
70 %	140	70	70	60,0

2.5.4 Micro – Devalmetoden (abrasive egenskaper)

NS-EN 1097-1 (Standard Norge, 2011), som er standarden til micro-Deval er under revisjon, og var på høring i mars 2021. Der er det forslag om testing på finere masser enn referansefraksjonen 10-14 mm. Vegvesenet er interessert i å få undersøkt om det kan stilles mekaniske krav til kornstørrelser mindre enn 4 mm, og parallelt med denne masteroppgaven gjennomfører Simen Mathisen sin masteroppgave (Mathisen, 2022) om micro-Devalmetoden hos sentrallaboratoriet til Statens vegvesen. Mathisen undersøker om det er noen sammenheng i micro-Deval verdi mellom materialer < 5,6 mm og referansefraksjonen 10-14 mm, og om det vil være mulig å stille separate krav til tilslag til asfaltmørtel, eller om verdiene blir identiske. Mathisen bruker de samme materialene som er undersøkt i denne masteroppgaven. Resultatene fra Mathisen sine tester skal brukes som sammenlikningsgrunnlag for testverdier i metylenblå- og sandekvivalentmetoden i denne oppgaven.

Micro-deval metoden er gjennomført på materiale med kornstørrelse 0,2-5,6 mm. Annex D, fra standard NS-EN 1097-1 (Standard Norge, 2021), tillater testing på denne fraksjonen. Denne standarden er fortsatt på høring, og foreløpig ikke den gyldige standarden for micro-Deval metoden. Metoden tester materialets abrasive egenskaper. Resultatene skal ses i sammenheng med resultater fra metylenblå og sandekvivalent, og det vurderes hvorvidt testene påvirkes av variasjon i materialets abrasive egenskaper. Testene er gjennomført av Simen Mathisen.

Med unntak av materialnummer 9 og 11 er tilsvarende materialer testet som for sandekvivalent og metylenblå.

2.5.5 Densitet

Densiteten er undersøkt på filler (<0,125mm). Metoden er gjennomført i henhold til standard NS-EN 1097-6 (Standard Norge, 2013a). For bestemmelse av densitet er metode 122 «densitet for tilslag 0,063-4,0mm (pyknometer)» i R210 (Vegdirektoratet, 2016) benyttet. Metoden gjennomføres på minimum 50g materiale med kornstørrelse mindre enn 0,125 mm. Dette materialet tørkes i varmeskap på 100 °C til konstant vekt er oppnådd. Videre settes materialet i eksikator og avkjøles til romtemperatur. Pyknometrene, med har kjent vekt og volum, tilsettes 10 ± 1g filler og total vekt skrives ned. Pyknometeret fylles videre halvfullt med vann og settes i vakuumeksikator og trykket kan reduseres til 30 millibar i minst 5 minutter. For fjerning av luft gjentas trykkreduksjonen til det ikke kommer flere luftbobler, og minimum i 30 minutter. Etter dette fylles pyknometeret helt opp med vann og plasseres i vannbad i minst 60 minutter ved 25 °C. Etter dette tørkes pyknometeret og veies.

2.5.6 Flisighetsindeks og kornkurve (0-4mm)

Flisighet

Den standardiserte metoden (Standard Norge, 2012) for flisighetsindeks gjelder for materialer mellom 4 og 100 mm. Analyser av flisighet er ikke standardisert, men er gjennomført for materialer mindre enn 4 mm etter samme system som for materialer mellom 4 – 100mm. Det er undersøkt hvorvidt flisighet lar seg teste på materialer med mindre kornstørrelse, og framkommet verdi som benevnes modifisert flisighetsindeks, $FI_{0,8}$. I tabell 2-4 er delfraksjoner og tilhørende stavsikt for kornformbestemmelse vist. Tabell 2-5 viser delfraksjoner og tilhørende stavsikt for standardisert metode for flisighet for materialer over 4 mm.

Tabell 2-4: Fraksjon og stavsikt for materialer mindre enn 4 mm

Fraksjon (d/D) (mm)	Spaltebredde stavsikt (mm)
3,15/4	2
2,5/3,15	1,6
2/2,5	1,25
1,6/2	1,0
1,12/1,6	0,8
1/1,25	0,63
0,8/1	0,5

Tabell 2-5: Fraksjon og stavsikt for materialer større enn 4 mm

Fraksjon (d/D) (mm)	Spaltebredde stavsikt (mm)
80/100	50
63/80	40
50/63	31,5
40/50	25
31,5/40	20
25/31,5	16
20/25	12,5
16/20	10
12,5/16	8
10/12,5	6,3
8/10	5
6,3/8	4
5/6,3	3,15
4/5	2,5

Figur 2-15 viser hvordan siktene ser ut. Disse er spesiallaget på bestilling fra laboratoriet, og ikke laget etter produktstandarder. Materialet håndsiktes, hvor en stavsikt plasseres over bunnpannen og ristes til alt materialet som kan passere stavsiktene ligger i bunnpannen.



Figur 2-15: Speziallagde stavsikt for tester av flisighetsindeks for materiale mellom 0,8 og 4 mm.

Med unntak av kornstørrelsen gjennomføres metoden for testing av flisighet til finstoff på samme måte som NS-EN 933-3 (Standard Norge, 2012). På samme måte som for materialer mellom 4-100 mm er spaltebredden på tilhørende stavsikt halvparten av øvre kornstørrelse (D) i fraksjonen. Det er ikke gjennomført kornformsanalyser av materialer finere enn 0,8 millimeter siden det ikke finnes stavsikt til så finkornet materiale.

Kornkurve

Kornkuven til materialene er gjennomført samtidig som flisighetsanalysen. Materiale over 0,8mm er veid i de ulike fraksjonene i sammenheng med flisighetsindeksen. Vekten på de ulike fraksjonene brukes ved beregning av kornkurve. Materialer mindre enn 0,8mm er siktet videre på siktet og veid. Fraksjonene som er siktet og veid er vist i tabell 2-6.

Tabell 2-6: Fraksjoner siktet ut til kornkurve.

Fraksjon (d/D) (mm)	Spaltebredde stavsikt (mm)
3,15/4	2
2,5/3,15	1,6
2/2,5	1,25
1,6/2	1,0
1,12/1,6	0,8
1/1,25	0,63
0,8/1	0,5
0,5/0,8	
0,250/0,5	
0,125/0,250	
0,063/0,125	
<0,063	

Gjennomføring av flisighetsindeks og kornkurve er uavhengige analyser og påvirker ikke resultatene til hverandre. Praktisk sett gir en slik måte å gjennomføre testene tidsbesparing og materialebehovet vil være mindre.

Kornkurve av materiale nr. 15 er gjennomført av Arnhild Ulvik. Dette materialet er satt sammen av fraksjonene 0/2mm og 2/4mm. I vedlegg D er de ulike kornkurvene presentert.

2.5.7 Kornkurve med hydrometer og partikkelteller

For undersøkelse av kornkurvene til finstoffet med kornstørrelse mindre enn 0,125 mm er slemmeanalyse (hydrometer) og laserkurve (partikkelteller) gjennomført. Hydrometeranalysene er gjennomført av Otto Helge Reitan ved Statens Vegvesens sentrallaboratorium på Tiller. Metode 215 «Kornfordeling ved våtsikting med slemmeanalyse» fra R210 (Vegdirektoratet, 2016) er benyttet ved undersøkelsene.

Arnhild Ulvik har gjennomført laserkurveanalysene. For undersøkelse med laserkurve er partikkelteller Cilas 1190 benyttet. Se vedlegg F for mer informasjon om partikkeltelleren. I denne undersøkelsen tilsettes noen få gram materiale og kjøres gjennom apparaturen. Etter gjennomført test lages automatisk en kurve av materiale tilsatt.

3. Materialer

For gjennomføring av forsøkene ble det valgt å hente inn steinmateriale fra flere ulike pukkverk rundt om i Norge. Flere av materialene ble hentet inn egenhendig og fraktet med bil til laboratoriet, men materialer fra pukkverk lengre vekk fra Trondheim ble tilsendt pr. post. Alle pukkverkene som er kontaktet har vært svært hjelpelige med utheiting og sending av steinmateriale.

Det er hentet inn materialer fra ulike geografiske deler av Norge. Kriteriene som ligger bak utvelgelsen er basert på drift i massetakene, samtidig som at materialegenskapene har et visst spenn i verdier. NGUs pukkdatabase (Norges Geologiske Undersøkelse, 2022) er benyttet i arbeidet. Pukkdatabaseen inneholder informasjon om pukkforekomster, der analyseresultater fra både mekaniske egenskaper og geologiske parameter ligger tilgjengelig. Det er også et ønske om variasjon i spesielt glimmerinnhold i materialene, der NGUs tynnslipanalyser har blitt lagt til grunn.

I tabell 3-1 gjengis NGUs analyserte glimmerinnhold fra tynnslipsundersøkelser, benevnt som «Glimmerinnhold (Tynnslip NGU)» i egen kolonne. Hver forekomst er undersøkt opp mot NGUs berggrunns kart, for å bestemme bergart, og hvilke andre bergarter som ligger i nærheten av de ulike pukkverkene. I kartene (figur 3-1 til figur 3-18) presentert for de ulike materialene er pukkverket markert med lilla med stiplet omringning. Lokasjon til de ulike pukkverkene er presentert i vedlegg A.

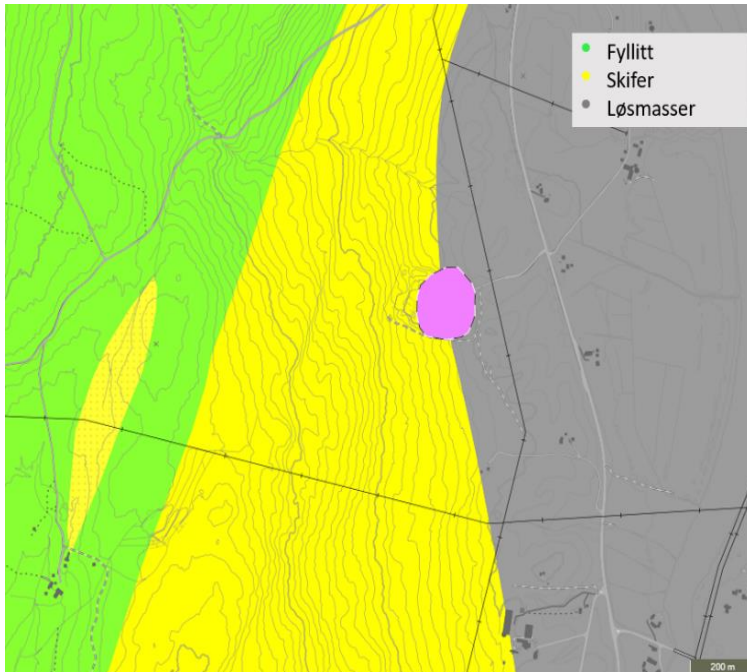
3.1 Materialvalg

Tabell 3-1: Oversikt over materialer valgt ut til oppgaven.

Materialnr.	Lokasjon	Bergart	Glimmerinnhold (tynnslip NGU)	Los Angeles verdi (NGU)	Micro-Deval verdi (NGU)
1	Auma	Glimmerskifer	44%	27	15
2	Bingsa	Granitt	27%	22	9
3	Buhammeren	Hornfels og sandstein	5%	14	Ukjent
4	Fossberga	Rhyolitt	20%	17	6
5	Gullkista	Dioritt	Ukjent	16	6
6	Hyllestad	Trondhjemit	2%	17	2,5
7	Lauvåsen	Gråvakke	30%	23	34
8	Lillehammer	Arkose	1%	14	9
9	Oppdal	Breksje	2%	Ukjent	Ukjent
10	Ottersbo	Mylonitt	2%	10	4
11 og 12	Vassfjell (2018) og Vassfjell (2021)	Gabbro	0%	15	7
13	Jelsa	Granodioritt	15%	16	7
14	Rekefjord	Anortositt	3%	18	Ukjent
15	Tau	Kvartsdioritt	6%	12	6
16	Stryken (FIAM)	Porfyr	0%	12	4
17	Feiringåsen (FIAM)	Gneis	5%	17	9
18	Bjønndalen (FIAM)	Rombeporfyr	0%	15	7
19	Verdal kalk (FIAM)	Kalkstein	0%	Ukjent	Ukjent

Materiale nr. 1 (Auma)

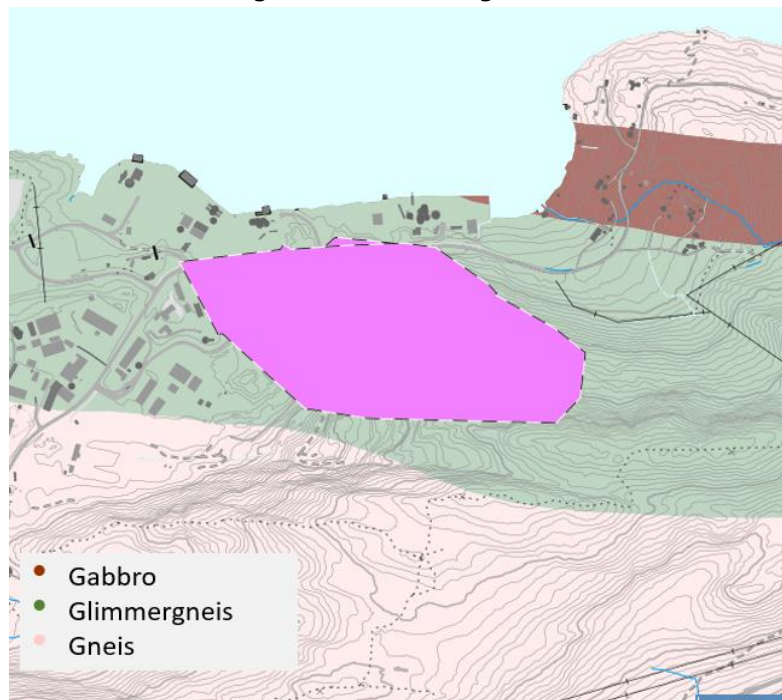
Auma pukkverk ligger sør for Tynset. Pukkverket ligger inne i et større område med skifer (gult område), med fyllitt plassert lengre vest. I det gule området er det liten grad av homogenitet. Man finner flere ulike typer skifre, og innslag av kvartsitt. Til tross for at pukkverket er relativt lite i størrelse, er det stor variasjon i bergarter som hentes ut. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-1: Kart over Auma pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 2 (Bingsa)

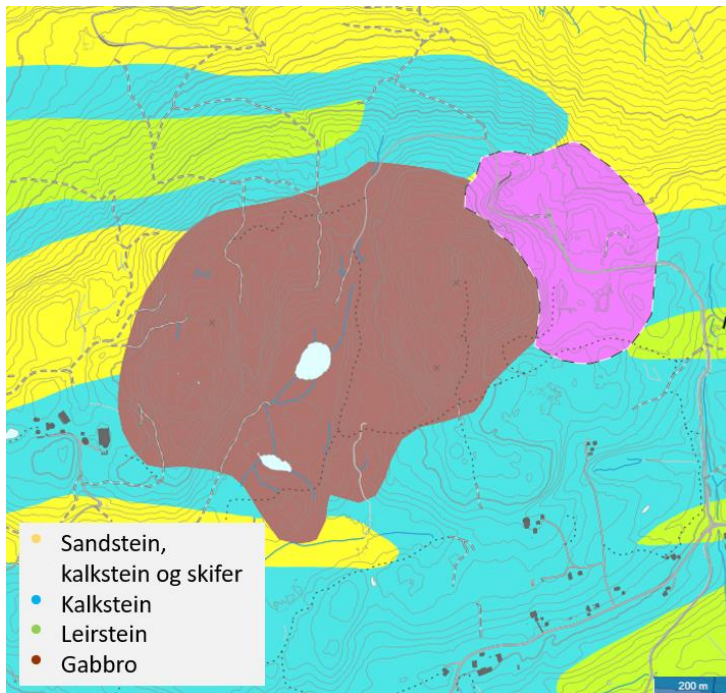
Bingsa pukkverk ligger øst for Ålesund. Pukkverket drives i ulike bergarter, hvorav i en glimmergneis. I pukkverket forekommer også innslag av granitt, dette kommer ikke frem av NGUs kart. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000



Figur 3-2: Kart over Bingsa pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 3 (Buhammaren)

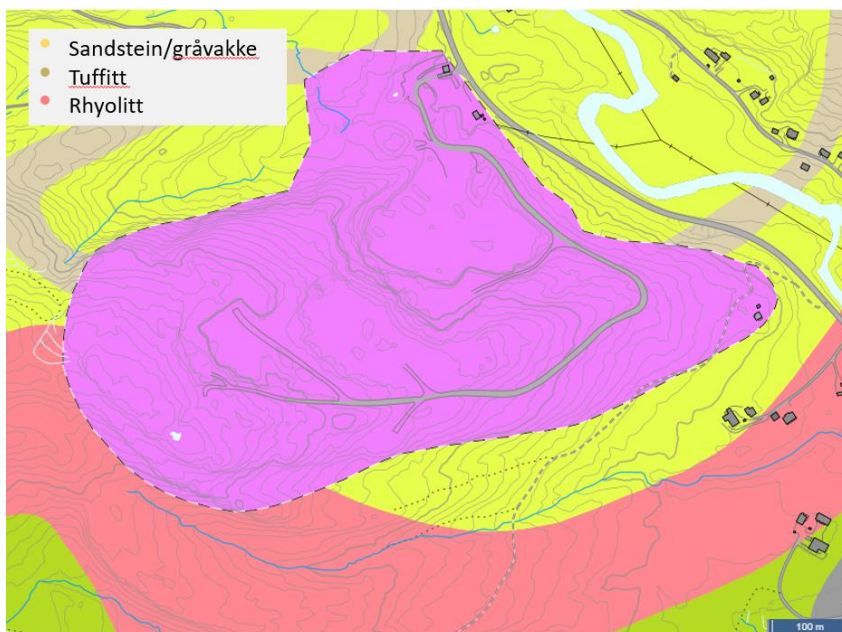
Materialet fra Buhammaren består av en blanding mellom hornfels og sandstein. Pukkverket ligger inntil en gabbro, men driver ikke på den. Denne intrusjonen av gabbro har omdannet sandsteinen i området til hornfels. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-3: Kart over Buhammaren pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 4 (Fossberga)

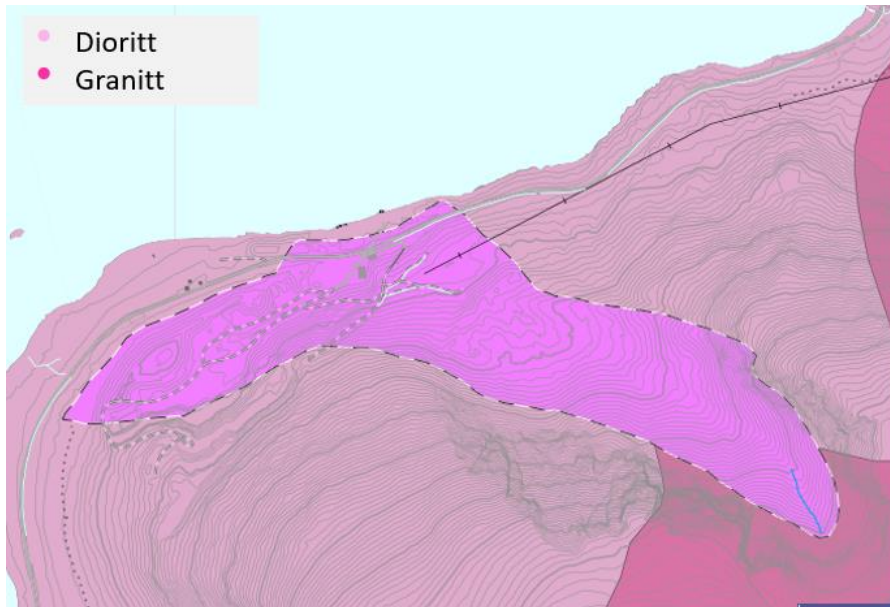
Fossberga ligger sør for Stjørdal. Pukkverket ligger på grensen mellom to kaledonske skyvedekker, ett med gråvakke og ett med rhyolitt. Tuffitten som går gjennom pukkverket har rhyolittisk sammensetning. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000



Figur 3-4: Kart over Fossberga pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 5 (Gullkista)

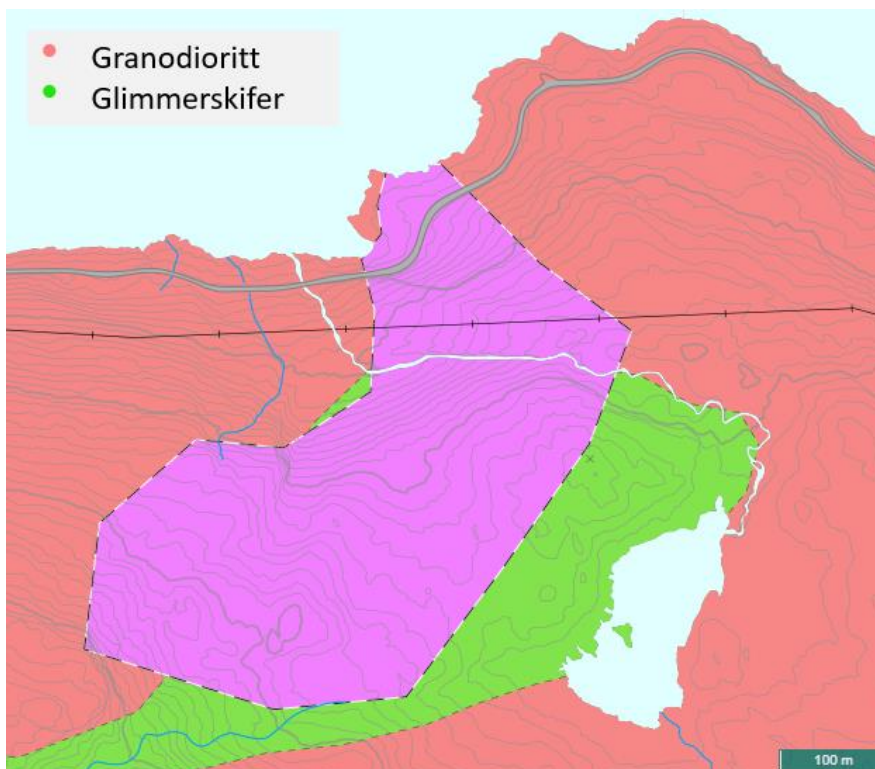
Gullkista pukkverk ligger i Nordland, rett sør for Sortland. Pukkverket drives i en knusningssone, der dioritt er den dominerende bergarten. Bergartene er kartlagt i 1:250 000



Figur 3-5: Kart over Gullkista pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 6 (Hyllestad)

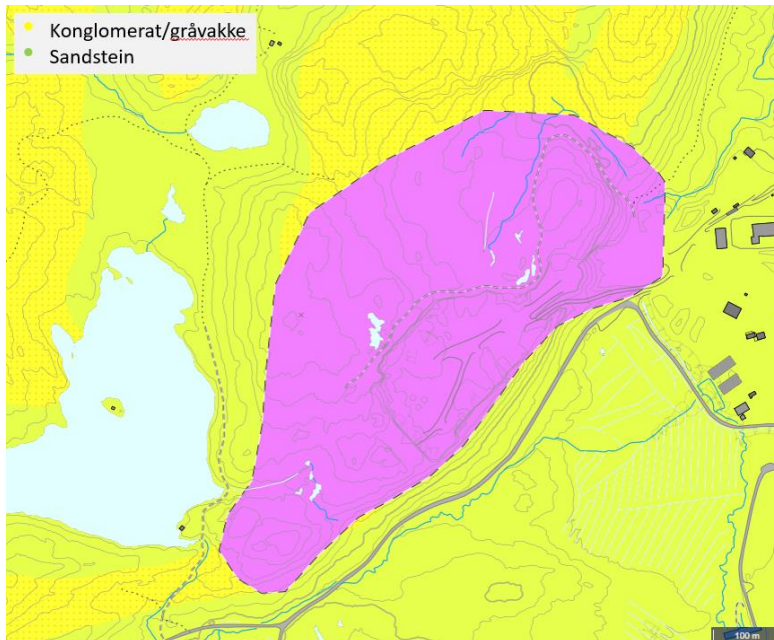
Hyllestad pukkverk ligger i Vestland på nordsiden og ytterst i Sognefjorden. Pukkverket driver på en større forekomst av granodioritt, som har relativt høyt innhold kvarts og plagioklas. Denne bergarten er mer spesifikt kalt Trondheimitt. Bergartene er kartlagt i 1:250 000.



Figur 3-6: Kart over Hyllestad pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 7 (Lauvåsen)

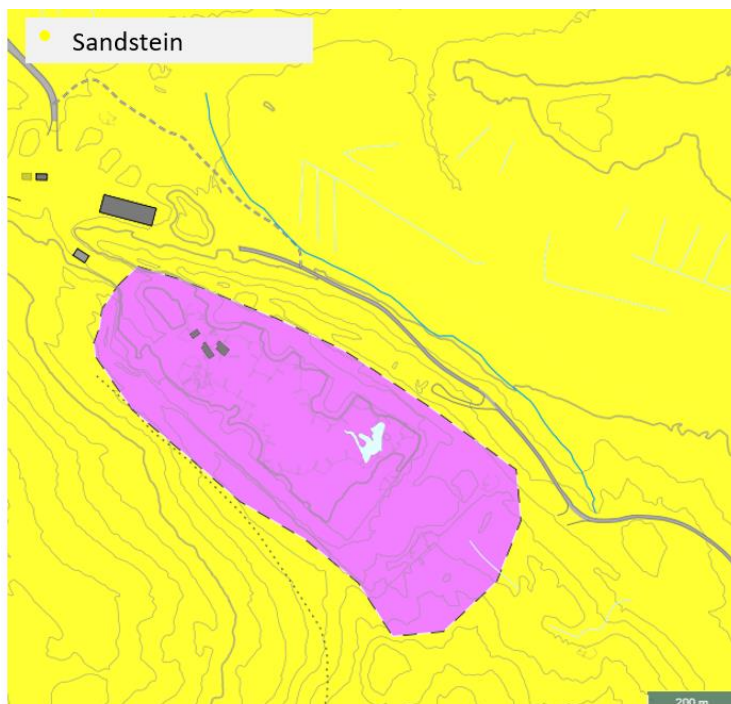
Lauvåsen pukkverk ligger sør for Stjørdal, i nærheten av Fossberga. Lauvåsen ligger på grensen mellom en leirskifer og en konglomeratisk gråvakke. Analyseresultater fra pukkverket viser svært dårlige abrasive egenskaper, med en micro-Deval verdi på 34 (Norges Geologiske Undersøkelse, 2022). Bergarterne er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-7: Kart over Lauvåsen pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 8 (Farberg)

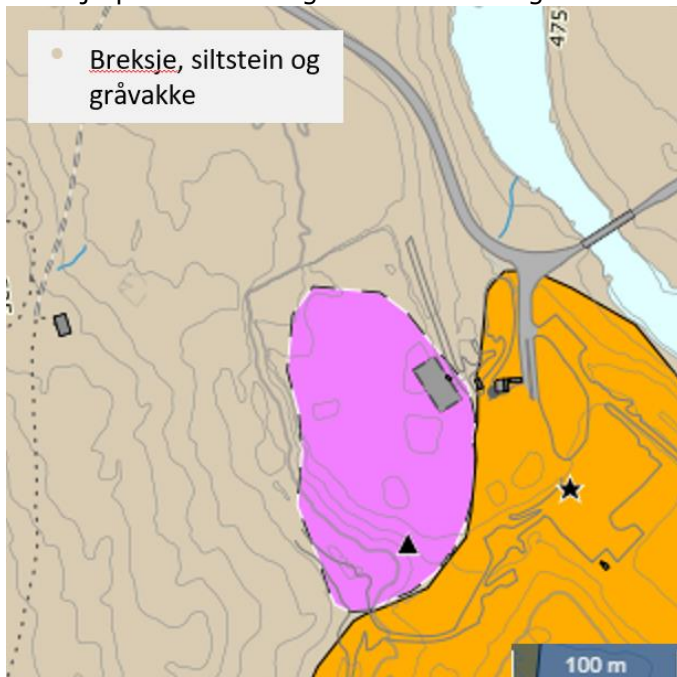
I området rundt Lillehammer er det større forekomster av sandstein. Variasjonene i sandsteinen er ikke kartlagt i detalj. Farberg pukkverk ligger midt inne i denne større forekomsten av sandstein. Bergarterne er kartlagt i målestokk 1:50 000



Figur 3-8: Kart over Farberg pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 9 (Vikamoen)

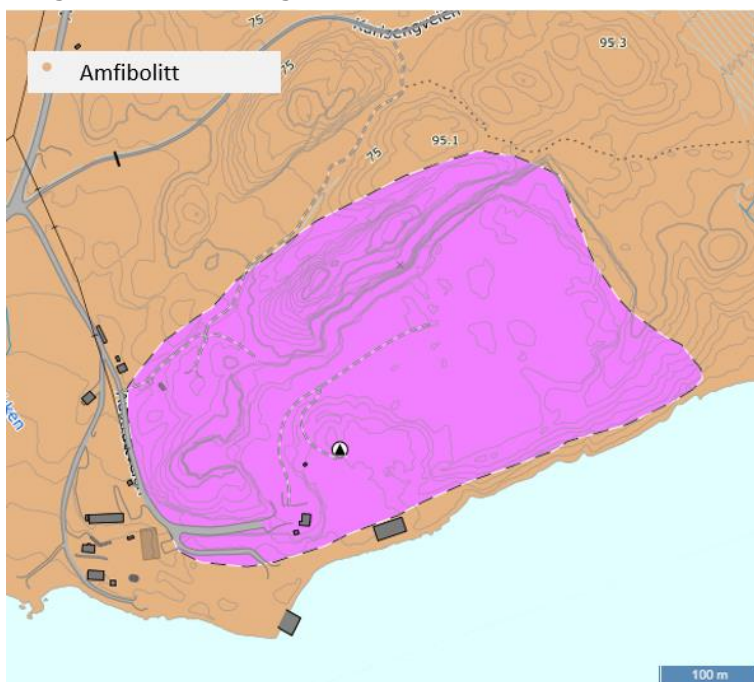
Fra Vikamoen, vest for Oppdal, er det hentet inn en breksje. Denne bergarten har fra NGU blitt kartlagt med lavt glimmerinnhold. Breksjesonen er tynn, og ligger mellom siltstein og gråvakke. Sørvest for pukkverket ligger et sandtak, dette er markert med oransje på kartet. Bergartene er kartlagt i 1:250 000.



Figur 3-9: Kart over Vikamoen pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 10 (Ottersbo)

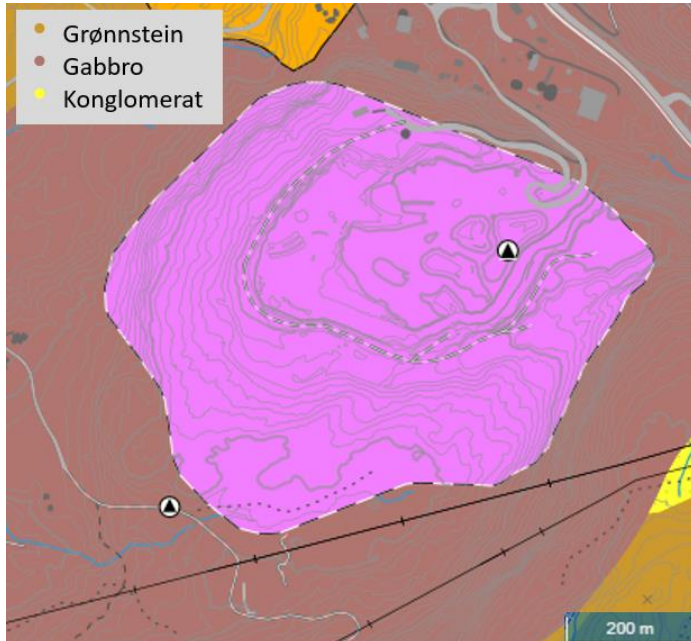
Ytterst i Trondheimsfjorden ligger Ottersbo pukkverk. I området ligger en større forekomst amfibolitt. Bergarten har ifølge NGUs undersøkelse av tynnslip lite glimmer. Bergarten har svært god abrasjonsegenskaper, med en micro-Deval verdi på 4. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-10: Kart over Ottersbo pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 11 og 12 (Vassfjell (2018 og 2021))

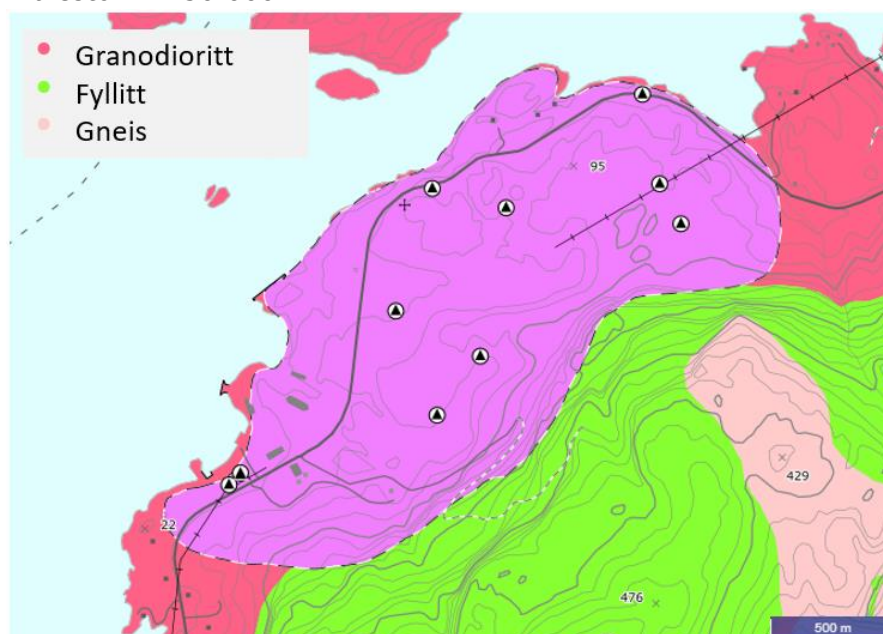
Vassfjell pukkverk ligger sør for Trondheim. Dette pukkverket driver på en større forekomst av grønnstein, med enkelte områder dominert av gabbro. Bergarten har ikke glimmer, da dette vanligvis ikke forekommer i gabbro og grønnsteiner. Derfor er bergarten godt egnet som nullpunkt når glimmerinnholdets betydning skal vurderes i sandekvivalent og metylenblåmetoden. Bergarten har relativt gode mekaniske egenskaper. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-11: Kart over Vassfjell pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 13 (Jelsa)

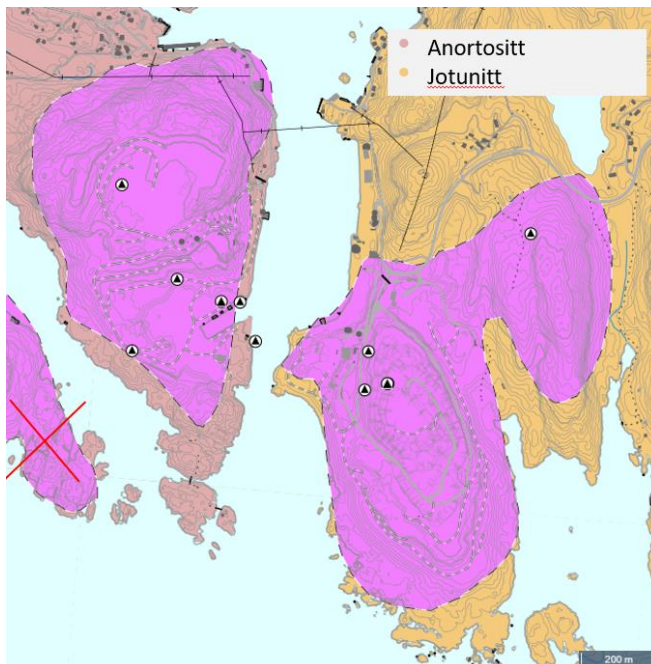
Jelsa pukkverk er Europas største pukkverk (Norsk Stein, 2022) og produserer tilslagsmasser til det europeiske markedet. Pukkverket ligger i Rogaland øst for Haugesund. Pukken som produseres hentes ut av en større forekomst av kvarts og feltspat rik granitt, som klassifiseres som granodioritt. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-12: Kart over Jelsa pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 14 (Rekefjord)

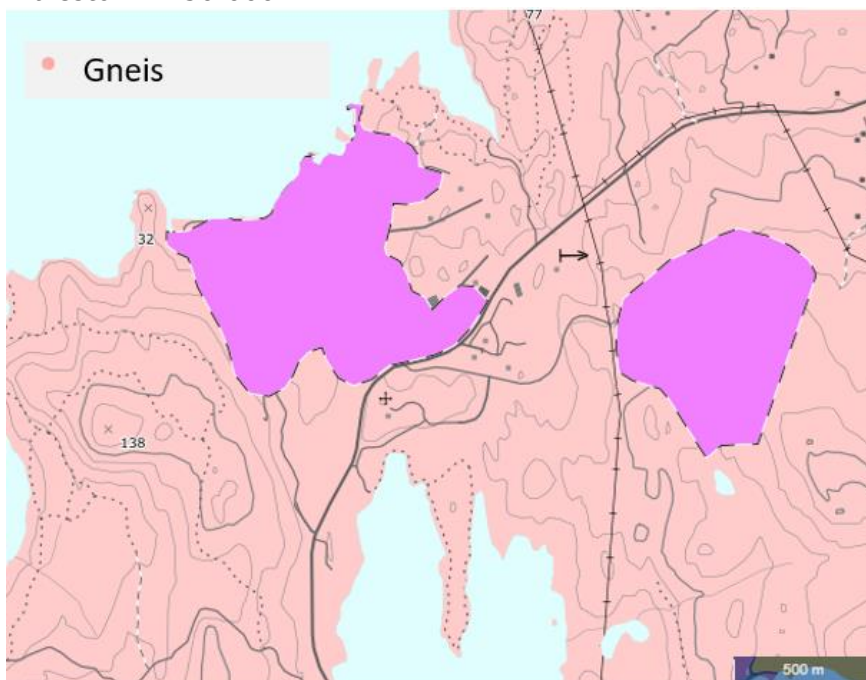
Rekefjord pukkverk ligger helt sør i Rogaland, helt på grensen til Agder. Pukkverket består av Rekefjord vest, som driver på en anortositt, og Rekefjord øst driver på en jotunitt. Materialet som er mottatt er fra Rekefjord vest. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-13: Kart over Rekefjord pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 15 (Tau)

Tau pukkverk ligger like øst for Stavanger. Pukkverket er noe mindre enn Jelsa, men produserer materialer av høyeste kvalitet sammenlignet med norske krav til valgmaterialer. Altså kan pukk fra dette pukkverket benyttes uansett trafikkgrunnlag (ÅDT). Pukkverket driver i en forekomst av kvartsdiorittisk gneis. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-14: Kart over Tau pukkverk og bergarter i området.

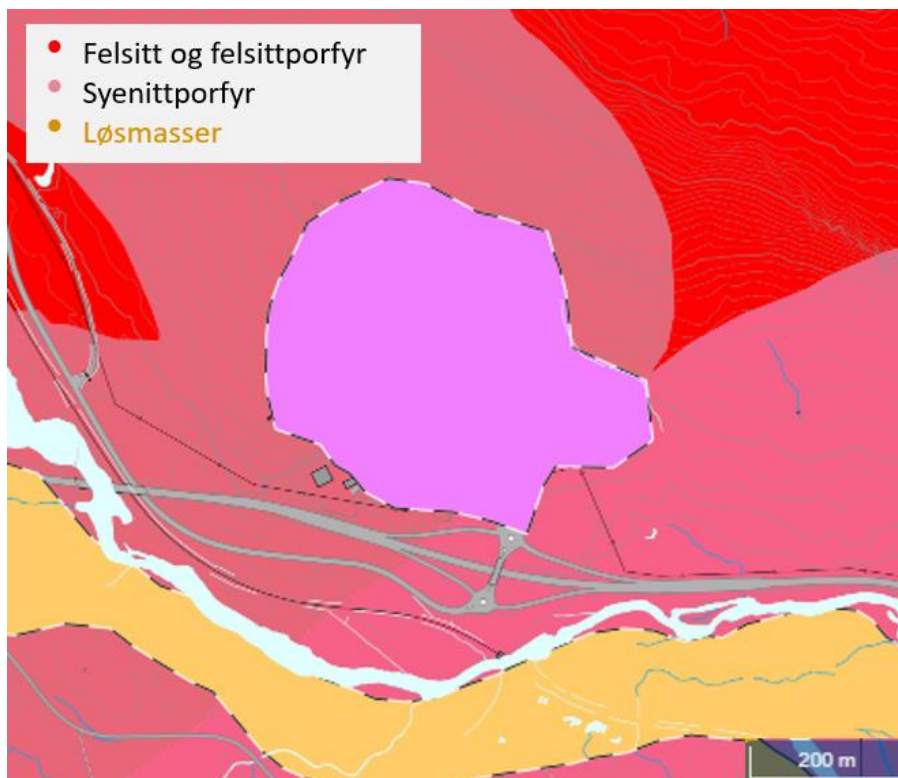
FIAM prosjektet

Gjennom FIAM (finstoff i asfalt og mørtel) prosjektet er fire materialer inkludert. Disse er blitt analysert med XRD gjennom FIAM-prosjektet.

Filler i Asfalt og Mørtel prosjektet er startet for å undersøke hvordan man kan forbedre og kvalitetssikre mørtel slik at asfaltdekkers levetid blir lengre. Prosjektet undersøker hvordan man kan benytte kortreist stein som mørtel til bestandige asfaltdekker for å redusere transport og dermed spare miljøet. Prosjektet undersøker også nærmere på kravet til kalkfiller i asfalt, og hvordan dette eventuelt kan erstattes med egenfiller (Mengede et al., 2022).

Materiale nr. 16 (Stryken (FIAM))

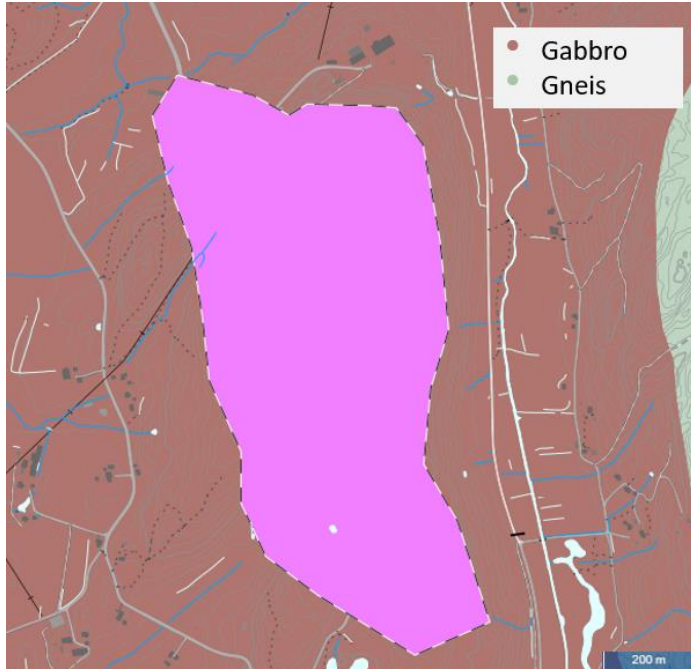
Stryken pukkverk ligger nord for Oslo, i Lunner kommune. Pukkverket driver på en porfyr med lavt innhold av glimmer. De mekaniske egenskapene er svært gode, og materialet benyttes som asfalttilslag på høytrafikkert veg. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-15: Kart over Stryken pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 17 (Feiringåsen (FIAM))

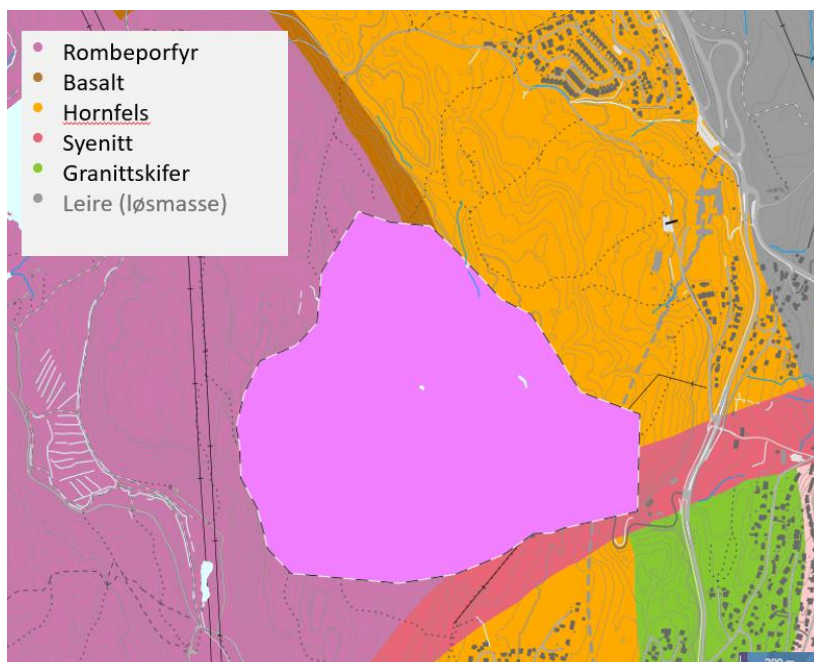
Feiringåsen pukkverk ligger rett øst for Oslo. Pukkverket ligger i en fjellrygg i et heterogent, foldet gneiskompleks. I pukkverket er det innslag av både gabbro (brun farge) og gneis (grønn farge). Hovedbergarten er forgneiset tonalitt med innslag av metadoleritt/metagabbro. Bergarten har relativt lavt innhold glimmer. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-16: Kart over Feiringåsen pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 18 (Bjønndalen (FIAM))

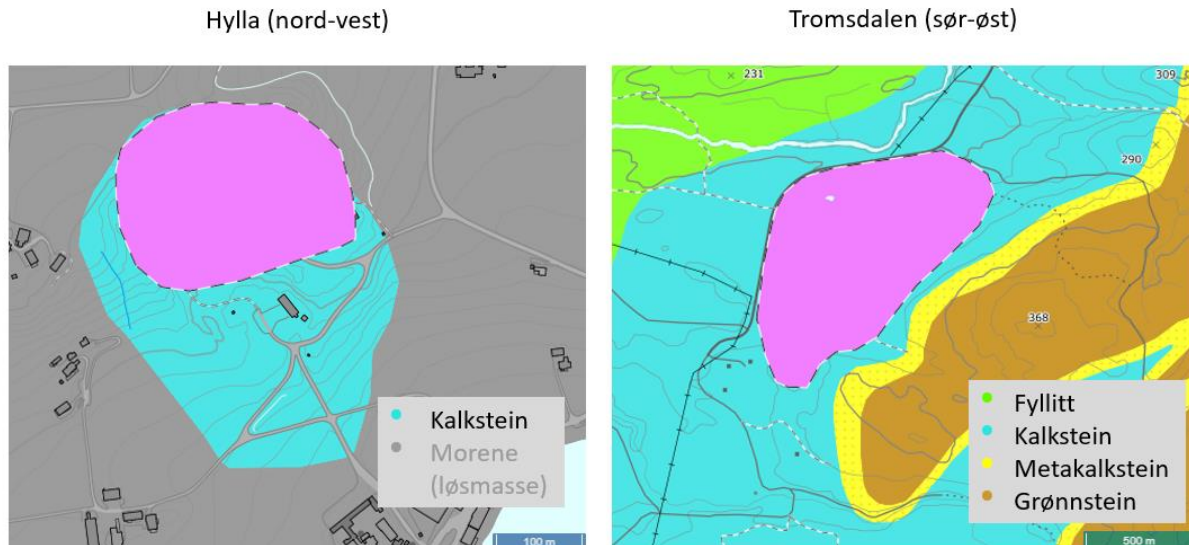
Bjønndalen pukkverk ligger nord-øst for Oslo, i Nittedal kommune. Pukkverket driver i en større forekomst av rombeporfyr. Pukkverket ligger i grensen mellom basalt og syenitt fra osloriften. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-17: Kart over Bjønndalen pukkverk og bergarter i området.

Materiale nr. 19 (Verdalen kalk (FIAM))

Både nord-vest og sør-øst for Verdalen er det to mindre forekomster av kalkstein. Kalkstein er ikke vanlig å bruke som asfalttilslag, men har gode egenskaper ved å forbedre bindingen mellom bindemiddel og steinmateriale. Det er derfor vanlig å bruke kalk som filler ved produksjon av asfalt. Bergartene er kartlagt i målestokk 1:50 000.



Figur 3-18: Kart over de to pukkverkene i Verdalen og bergarter i området.

3.2 XRD og tynnslipsanalyser

Forrige delkapittel beskriver steinmaterialet som er ønsket til oppgaven, men det er usikkerhet til nøyaktig hva som er levert fra de ulike pukkverkene. Pukkverk driver ofte på ulike bergarter, og det er derfor ønskelig å undersøke hva som faktisk er levert. For å med sikkerhet vite hva som er mottatt er det gjennomført forundersøkelser før testing for å kunne bekrefte hva som er mottatt. Årsaken er at flere pukkverk driver på flere forskjellige bergarter, og det er i enkelte tilfeller usikkerhet til hva som er levert til laboratoriet.

XRD-analyser er gjennomført for å identifisere mineralinnholdet i materialene, deriblant mengden av glimmer i prøvene. Glimmerinnholdet er en av parameterne som skal undersøkes om påvirker resultatet av sandekvivalent- og metylenblåmetoden. Det er derfor ønskelig å ha en verdi av glimmer i prøven for å korrelere denne til resultatene i metylenblå og sandekvivalent. XRD er gjennomført på materiale nedkjust fra 0/2mm fraksjonen, for å teste tilsvarende materiale som er i sandekvivalent og metylenblåtesten.

I denne oppgaven er det laget nye tynnslip for de innsamlede materialene. Det er viktig å presisere at resultatene fra NGU ikke er direkte sammenlignbare med de nye, da det er vidt forskjellige prøver som er analysert. Tynnslip prepareres vanligvis av prøvestykker som er større enn selve glassplata, men fordi materialutvalget besto av finere pukk, ble 5-16 mm store korn støpt inn i epoxy før saging og polering.

Enkelte materialer ble levert sent, og er ikke analysert med XRD og tynnslip. For materialer fra FIAM prosjektet er XRD gjennomført eksternt og tynnslip er ikke produsert.

XRD- resultatene og bilde av skannede tynnslip er presentert i vedlegg B.

Materiale nr. 1 (Auma)

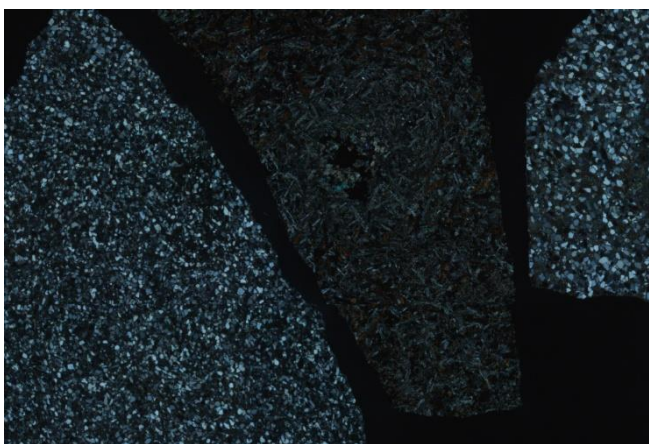
Som vist i tabell 3-1 er det relativt stort avvik mellom analysert glimmerinnhold i tynnslip fra NGU og glimmerinnholdet fra XRD. Dette har sammenheng med den store variasjonen i bergarten pukkverket driver på. Prøven som er hentet ut til analyser har mindre anrikning av glimmer enn tidligere analyserte prøver. Tynnslipsanalysene har mindre glimmerinnhold enn prøvene til XRD. Dette kan ha sammenheng med at tynnslipene er produsert på 5-16 mm korn mens XRD er gjennomført på korn fra 0-2 mm. Glimmer har en tendens til å anrikes i mer finkornete produkter, spesielt i bergarter som opprinnelig har relativt høyt glimmerinnhold.

Materiale nr. 2 (Bingsa)

XRD analyser og tynnslip viser at materialet har betydelig mindre glimmer enn forventet. XRD-analysene viser kun 5 % glimmerinnhold, mens den kartlagte glimmergneisen i området er av NGU kartlagt med 27% glimmer. Dette tyder på at pukkverket har sendt et mindre glimmerrikt materiale enn opprinnelig ønsket. I denne leveringen er det antatt levert granitt, med innslag av gabbro.

Materiale nr. 3 (Buhammaren)

For tynnslipanalyse er bergartene skilt på farge (mørk og lys). Den mørke bergarten er hornfels, mens den lyse bergarten er sandstein. Likevel er mørke og lys muligens ikke den beste måten å skille bergartene på. Tynnslip kalt «mørk» inneholder 6 sandsteinskorn og 2 hornfelskorn. Tynnslip kalt «lys» inneholder bare sandstein. Ved gjennomføring av XRD er begge bergartene blandet, siden det er vanskelig å skille 0/4 masse visuelt. Det kan likevel bekreftes at materialene består av sandstein og hornfels. Figur 3-19 illustrerer forskjellen på hornfelsen og sandsteinen i tynnslip.



Figur 3-19: Skannet tynnslip av materiale nr. 3. Bildet viser sandsteinskorn til høyre og venstre, og et hornfelskorn i midten.

Materiale nr. 4 (Fossberga)

Fra tynnslipsanalyser er bergarten i prøven antatt å være fra området med rhyolitt, da tynnslipsanalyser viser større korn av kvarts som danner stripestrukturer enkelte av kornene, dette er et typisk tegn på rhyolitt.

Materiale nr. 5 (Gullkista)

Tynnslipsanalysene fra materialet fra Gullkista viser mye kvarts og feltspat. Dette stemmer også godt overens med resultatene fra XRD. Det er derfor rimelig å anta at bergarten stammer fra dioritten i området.

Materiale nr. 6 (Hyllestad)

Resultater fra tynnslipsanalyser og XRD stemmer godt overens med antagelsen at dette er en trondhjemit. Bergarten består nesten utelukkende av lyse feltspater og kvarts, men med et lite innslag av glimmer.

Materiale nr. 7 (Lauvåsen)

Fra tynnslipsanalysene er det ikke identifisert større konglomeratkorn, og bergarten er klassifisert som en gråvakke. Glimmerinnholdet fra NGUs tynnslipsanalyser avviker med 14 % fra XRD. Dette er innenfor naturlig variasjon, da glimmerinnholdet kan ha større variasjoner i en sedimentær bergart. Spesielt med tanke på at pukkverket ligger på en bergartsgrense.

Materiale nr. 8 (Lillehammer)

Bergarten fra Lillehammer pukkverk er gjennom tynnslipsanalyser og XRD bestemt til å være en arkose, da bergarten hovedsakelig består av kvarts (ca.50%) og feltspat (ca. 40%). Tynnslipene viser lavt innhold av glimmer, og 7% glimmer fra XRD-analysen er trolig høyt. Siden bergarten hovedsakelig består av harde mineraler, er det en mulighet at nedknusning av bergarten gir en anrikning av glimmer, da glimmer knuses og brytes ned lettere enn kvarts og feltspat.

Materiale nr. 9 (Oppdal)

Fra XRD-analysen er glimmerinnholdet tilsynelatende høyt. Fra tynnslipene laget i sammenheng med XRD er glimmerinnholdet tilsynelatende lavt, noe som kan bety at XRD overvurderer glimmerinnholdet i prøvene. En annen mulighet er at glimmerskiferen som ligger vest for pukkverket er blandet med prøven. Dette gjør glimmerinnholdet i denne bergarten til et stort usikkerhetsmoment, og denne prøven er tatt ut ved sammenligning mot glimmer for metylenblå og sandekvivalent pga. dette.

Materiale nr. 10 (Ottersbo)

Fra NGUs kartlegging av området ligger pukkverket i en større forekomst av amfibolitt. Bergarten hentet ut er tolket til å være fra en knusning sone, altså en mylonitt. Tynnslipene viser tydelig mylonittisering i enkelte korn.

Materiale nr. 11 og 12 (Vassfjell (2018 og 2021))

Bergarten er vurdert gjennom tynnslip og XRD til å være en gabbro. Fra XRD-analyser er glimmerinnholdet bekreftet å være 0%.

Bergartene nr. materiale nr. 13 (Jelsa), materiale nr. 14 (Rekefjord) og materiale nr. 15 (Tau) var levert for sent til å få gjennomført XRD og laget tynnslip av.

Materialene fra FIAM prosjektet er det gjennomført XRD analyser, men ikke tynnslip. Dataen brukes derfor kun til å bekrefte glimmerinnhold i prøvene.

Materiale nr. 16 (Stryken (FIAM))

Porfyren fra Stryken har et rapportert glimmerinnhold på 0% fra NGUs tynnslipanalyser. XRD-analysen har funnet 1 % glimmer i prøvene.

Materiale nr. 17 (Feiringåsen (FIAM))

Gneisen fra Feiringåsen har 4% glimmer fra NGUs analyser, og XRD-analysene bekrefter at glimmerinnholdet er relativt lavt med 5%.

Materiale nr. 18 (Bjønndalen (FIAM))

Rombeporfyren fra Bjønndalen har 0% glimmer fra NGUs analyser, mens XRD-analysene finner 4% glimmer i prøvene.

Materiale nr. 19 (Verdal kalk (FIAM))

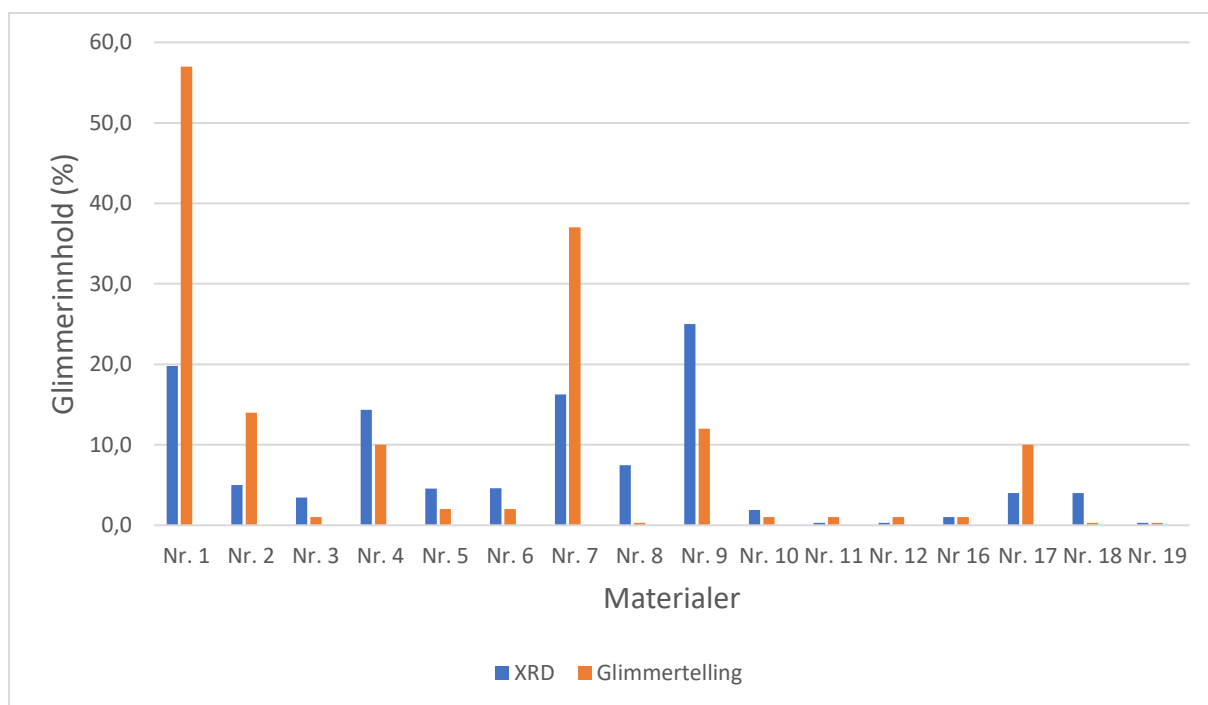
Verdal kalk produserer på en relativt ren kalkstein, og det er derfor ikke glimmer til stede. Både NGUs analyser og XRD-analyser viser derfor 0% glimmerinnhold.

3.3 Glimmerinnhold (XRD og glimmertelling)

Resultatene fra glimmertelling viser relativt stor variasjon for enkelte materialer sammenliknet med glimmerinnholdet fra XRD. Spesielt for materiale nr. 1 og materiale nr. 7 er glimmerinnholdet ved glimmertelling betydelig høyere enn ved XRD. Dette er vist i tabell 3-2 og figur 3-20. Materiale nr. 13-16 er ikke inkludert i figuren da disse ikke er undersøkt med XRD.

Tabell 3-2: Variasjon i glimmerinnhold mellom XRD, glimmertelling og NGUs tidligere tynnslipanalyser

Materiale	Glimmerinnhold fra glimmertelling (%)	Glimmerinnhold fra XRD (%)	Glimmerinnhold (tynnslip NGU) (%)
Nr. 1	57	19,8	44
Nr. 2	14	5,0	27
Nr. 3	1	3,5	5
Nr. 4	10	14,4	20
Nr. 5	2	4,6	Ukjent
Nr. 6	2	4,6	2
Nr. 7	37	16,2	30
Nr. 8	0	7,5	1
Nr. 9	12	25,0	2
Nr. 10	1	1,9	2
Nr. 11	1	0	0
Nr. 12	1	0	0
Nr. 13	17	-	15
Nr. 14	0	-	3
Nr. 15	1	-	6
Nr. 16	1	1,0	0
Nr. 17	10	4	5
Nr. 18	0	4	0
Nr. 19	0	0	0



Figur 3-20: Variasjon i glimmerinnhold mellom XRD og glimmertelling.

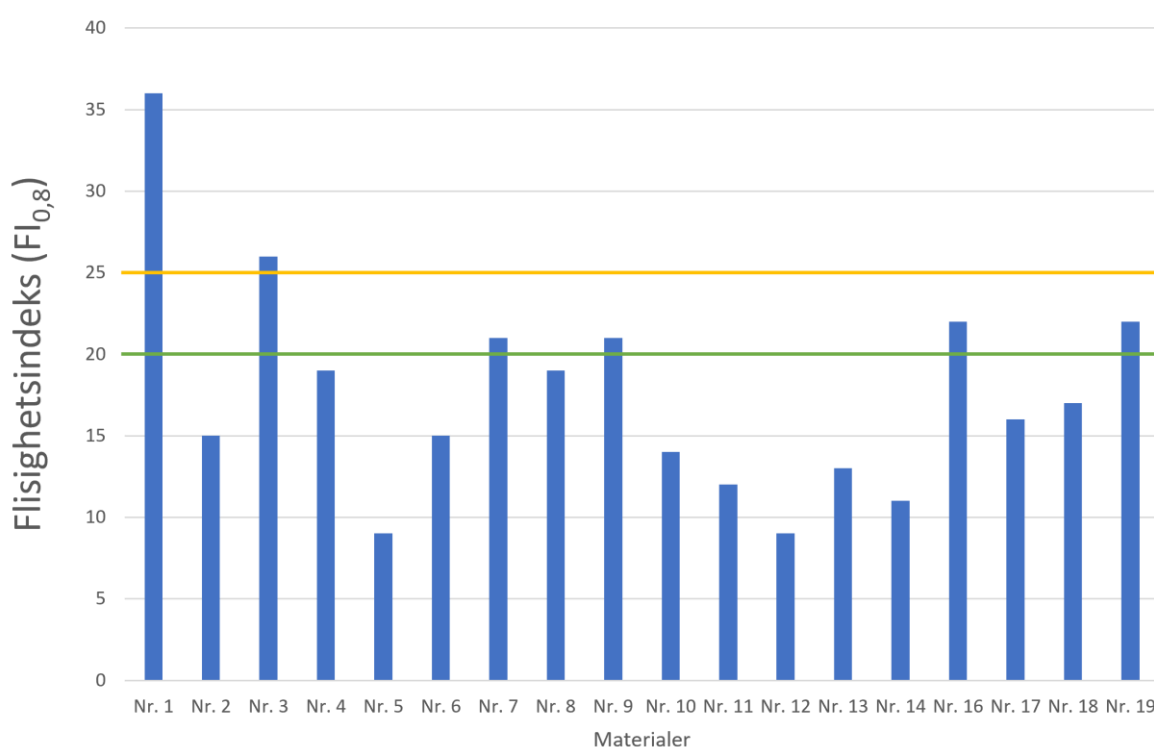
Sammenhengen mellom glimmerinnholdet fra glimmertelling og XRD er sett på for å undersøke om resultatene korresponderer. Det viser seg at korrelasjonen er relativt god for de fleste materialene. Likevel er det enkelte av prøvene som har relativt stort avvik mellom glimmerinnholdet fra XRD og glimmertelling.

Siden glimmertelling kun undersøker antall rene glimmerkorn i tellefraksjonen (0,125-0,250mm), mens XRD i denne oppgaven har undersøkt finmalt 0/2 masse kan dette gi variasjoner i glimmerinnhold mellom testmetodene. For videre undersøkelser er glimmerinnholdet fra XRD benyttet som sammenlikningsgrunnlag når glimmers betydning er vurdert. Dette fordi testmetodene metylenblå og sandekvivalent hovedsakelig påvirkes av finstoffet (<0,063mm) og dette tilsvarer bedre materialet undersøkt av XRD.

4. Resultater og diskusjon

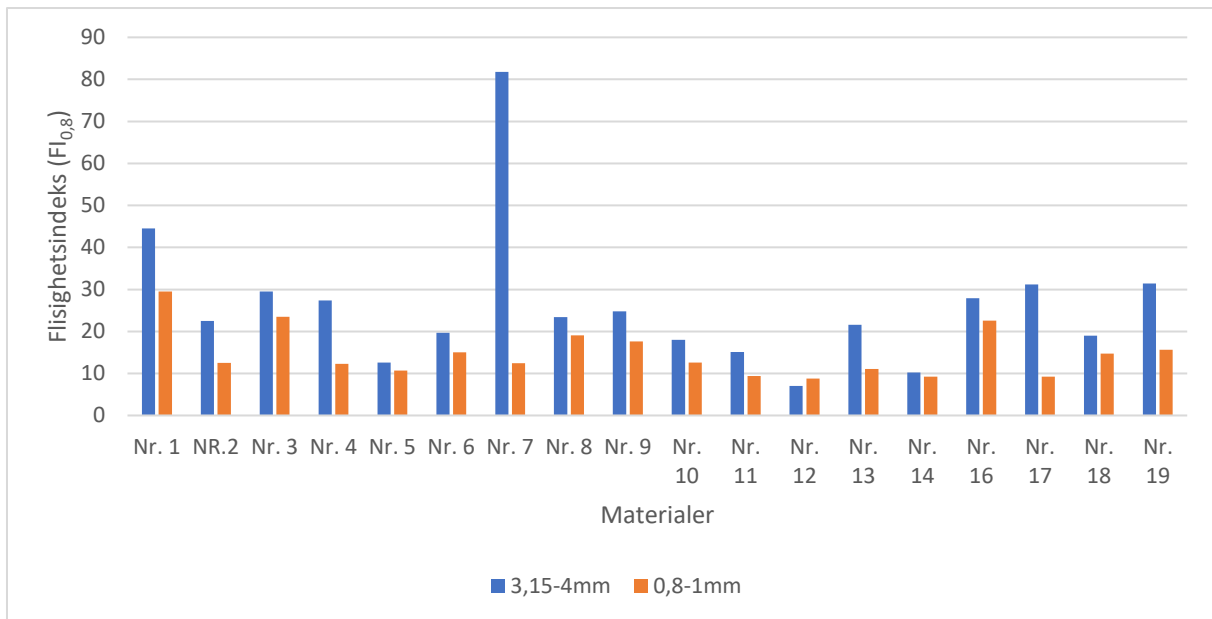
4.1 Flisighet (tilslag til asfalmørtel)

Resultatene fra undersøkelse av flisighetsindeks ($FI_{0,8}$) for fraksjonen 0,8-4 mm viser at de fleste materialene gir verdi i området fra 10 til 25. Materialene har altså relativ god kornform, sammenliknet med krav som stilles flisighetsindeks på standardfraksjonen (4-100 mm). Kravene som stilles til flisighetsindeks i bærelag i N200 er ≤ 25 , og for asfaltdekker varierer kravet fra ≤ 20 til ≤ 25 basert på trafikkmengde (Vegdirektoratet, 2018). Kun to materialer fra testene har høyere flisighetsindeks enn 25, nr. 3 og nr. 1. Figur 4-1 viser resultatene, den grønne linjen er satt ved flisighetsindeks 20 og den gule linjen viser flisighetsindeks 25.



Figur 4-1: Flisighetsindeks for materialer mindre enn 4mm.

Resultatene viser høyest flisighetsindeks for de grovere fraksjonene og lavere flisighet for de finere. Dette tyder på at flisighetsindeksen blir lavere med kornstørrelsen, og derfor generelt gir en bedre verdi for mer finkornede materialer. Figur 4-2 viser hvordan fraksjonen 3,15-4 mm (blå søyle) har høyere flisighetsindeks enn fraksjonen 0,8-1 mm (oransje søyle). Denne reduksjonen i flisighet er tilfellet for 17 av 18 materialer testet. Unntaket er materiale nr. 12, hvor flisighetsindeksen økte minimalt for den finere fraksjonen.



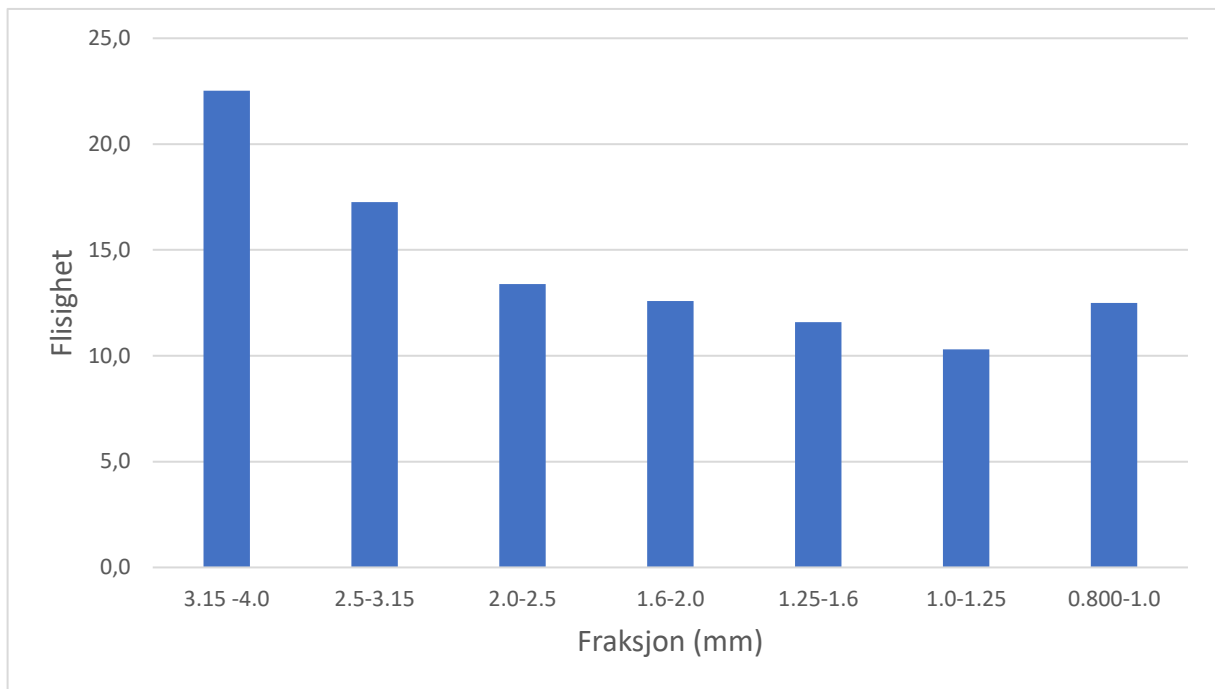
Figur 4-2: Variasjon i flisighetsindeks for materialer mellom 3,15-4mm og 0,8-1mm.

Materiale nr. 7. har et veldig høyt utslag på flisighet for den groveste fraksjonen. Dette har sammenheng med at kun 3.3 g av materiale lå på øverste sikt. Dette innebærer bare noen få korn. Resultatet er derfor ikke nødvendigvis representativt for dette materialet.

Den gjennomsnittlige reduksjonen i flisighetsindeks fra 3,15-4 mm til 0,8-1 mm er på 32%, og det er en jevn reduksjon i flisighetsindeks for finere kornstørrelser. Cepuritis (2016) har gjennom sine tester kommet frem til at gjennomsnittlig flisighetsindeks for maskinsand mindre enn 4 mm ligger mellom 8-12, og at dette kan være et intervall å sette krav etter for denne typen materialer. Tilslag til asfaltmateriale har ikke like strenge krav til kornform som maskinsand for andre materialeegenskaper, og derfor er det rimelig å tenke seg at kravene ikke skal settes like lavt for tilslag til asfalmørtel som for maskinsand når det kommer til flisighet.

Resultatene i denne masteroppgaven tilsier også at flisighetsindeks 8-12 blir et relativt strengt krav. Materialer med høy flisighet vil kunne svekke de abrasive egenskapene til et materiale, og dermed redusere kvaliteten (Erichsen et al., 2010). Horvli og Værnes (2006) har gjennom undersøkelser av steinmateriale i kornstørrelse 4/8 mm vist at høy flisighet også gir veldig høye slitasjeverdier på veggen. Det er mulig at høy flisighetsindeks også for mer finkornede fraksjoner også påvirker slitasjeegenskapene på asfalt, og at det dermed er behov for å sette krav til flisighetsindeks for materialer i kornstørrelsen 0,8-4mm.

Resultatene gir også uttrykk for at flisighetsindeksen øker i den laveste fraksjonen (0,8-1mm) sammenliknet med den nest laveste (1,0-1,25 mm). Resultatene viser at i 13 av 18 tester går flisighetsindeksen opp i dette intervallet. Dette er en indikasjon på at det aller fineste materialet ikke følger samme avtagende trend i flisighet. Figur 4-3 viser flisighetsindeks til de ulike fraksjonene for materialet nr. 2.



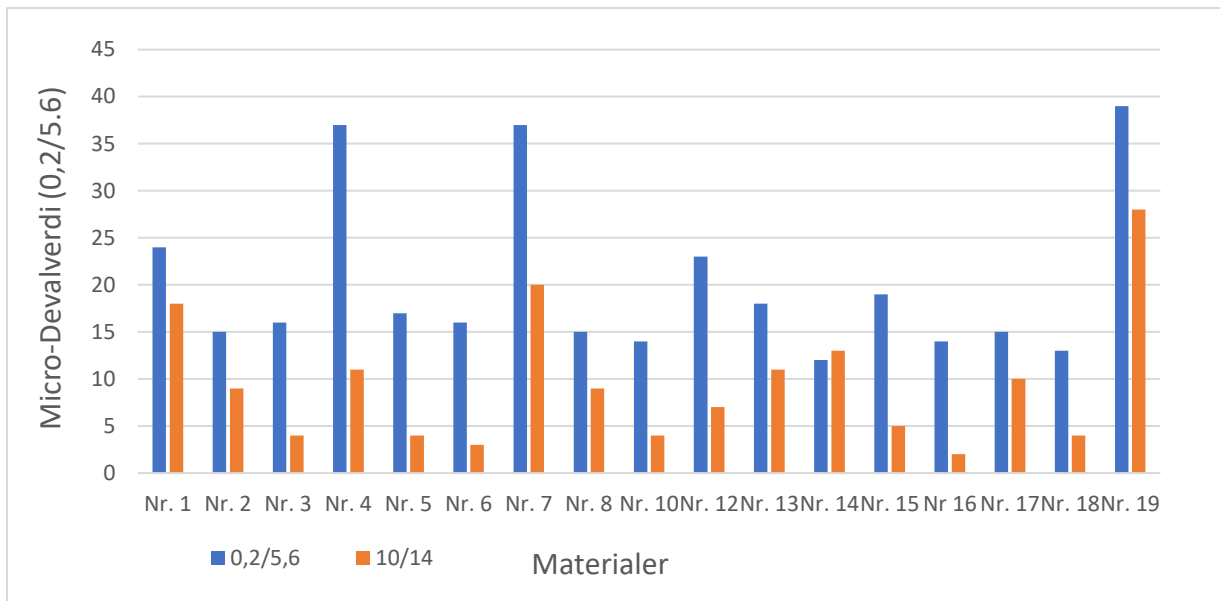
Figur 4-3: Flisighetsindeks til de ulike fraksjonene for materiale nr. 2.

4.2 Abrasive egenskaper (Micro-deval)

I figur 4-4 er resultatene fra micro-Deval analysene av materialene. De blå søylene er resultatet for 0,2-6,5mm fraksjonen, mens de oransje søylene er for standardfraksjonen (10-14 mm). Resultatene viser at testing av standardfraksjonen gir lavere verdier enn ved testing av tilslag til asfaltmørtel.

Tre materialer skiller seg spesielt ut med høy micro-Deval verdi for den fineste fraksjonen, nr. 4, nr. 7 og nr. 19. Materiale nr. 4 er fra NGUs tidligere undersøkelser forventet å ha relativt gode abrasive egenskaper, men resultatene viser en stor variasjon mellom de abrasive egenskapene til 0,2-6,5mm fraksjonen og standardfraksjonen. Dette kan skyldes naturlig variasjon, mens det er også en mulighet at finstoffet fra pukkverket har en annen geologisk sammensetning enn det grovere materialet. Pukkverket ligger på en grense mellom sandstein/gråvakke og rhyolitt, se figur 3-4 . Dersom finstoffet som er testet har en anrikning fra sandsteinen/gråvakken vil det gi materialet dårligere abrasive egenskaper.

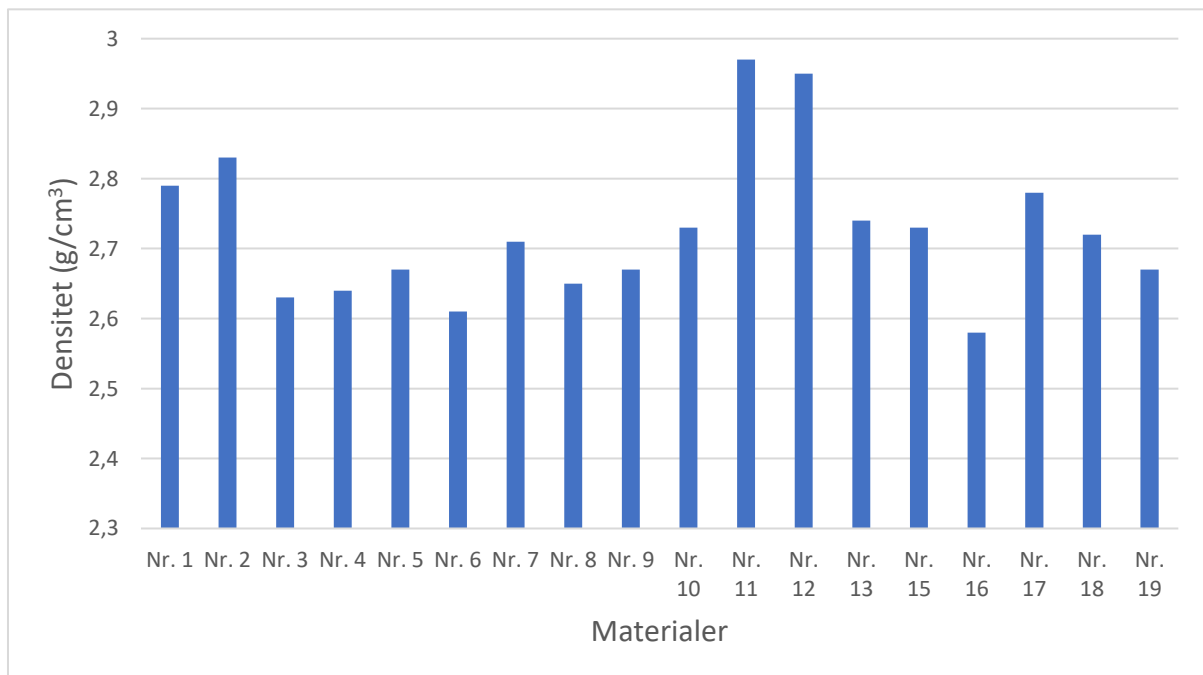
Materiale nr. 7 og 19 er forventet å ha dårligere abrasive egenskaper. For disse to materialene er forskjellen mellom resultatene fra 0,2-6,5mm fraksjonen og standardfraksjonen betydelig mindre enn for material nr. 4.



Figur 4-4: Micro deval verdi for de ulike materialene for fraksjonene 0,2/5,6mm og 10/14mm. (Mathisen, 2022).

4.3 Densitet

De fleste materialene har en densitet i området 2,6-2,8 g/cm³. Ett materiale har densitet lavere enn 2,6 g/cm³ og tre materialer har over 2,8 g/cm³. Densiteten til de ulike materialene er presentert i figur 4-5.

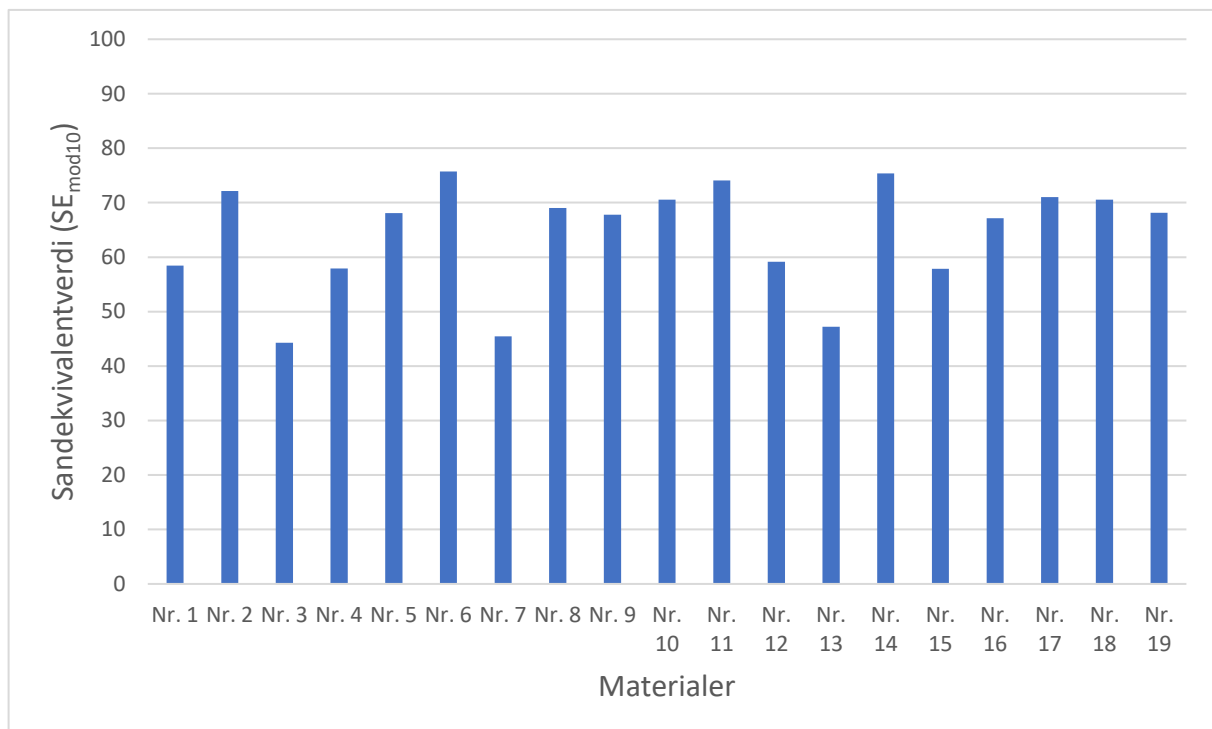


Figur 4-5: Densiteten til materialene testet.

4.4 Sandekvivalentmetoden

Resultatene fra analysene i sandekvivalentmetoden brukes som grunnlag i undersøkelser mot andre materialeegenskaper. Verdiene i seg selv har liten verdi da sammenligningsgrunnlaget er dårlig. I Norge har vi ingen krav til sandekvivalentverdi for materialer brukt til vegbygging.

Siden materialet ikke er testet i henhold til standard (testet med mer enn 10% finstoff) må verdiene modelleres for å kunne sammenliknes. Sandekvivalenttesten er svært sensitiv til finstoffinnhold (materialet mindre enn 0,063 mm), hvor store mengder finstoff vil gi en lav verdi. Videre i oppgaven er derfor sandekvivalentverdien til materialet regnet tilbake til 10 % finstoff. Til dette er modell 1 benyttet (se kapittel «4.4.2 Modellering av varierende finstoffinnhold»). Denne verdien er kalt SE_{mod10} , altså sandekvivalentverdi 10% finstoff. I figur 4-6 er SE_{mod10} for de ulike materialene presentert.



Figur 4-6: Den modellerte sandekvivalentverdien (SE_{10mod}) til de ulike materialene.

Standard NS-EN 13043 (2013b), som ble tilbaketrasket like etter utgivelse, kom med mulige krav til metoden. I tabell 4-1 er de ulike grenseverdiene som ble foreslått i denne utgaven.

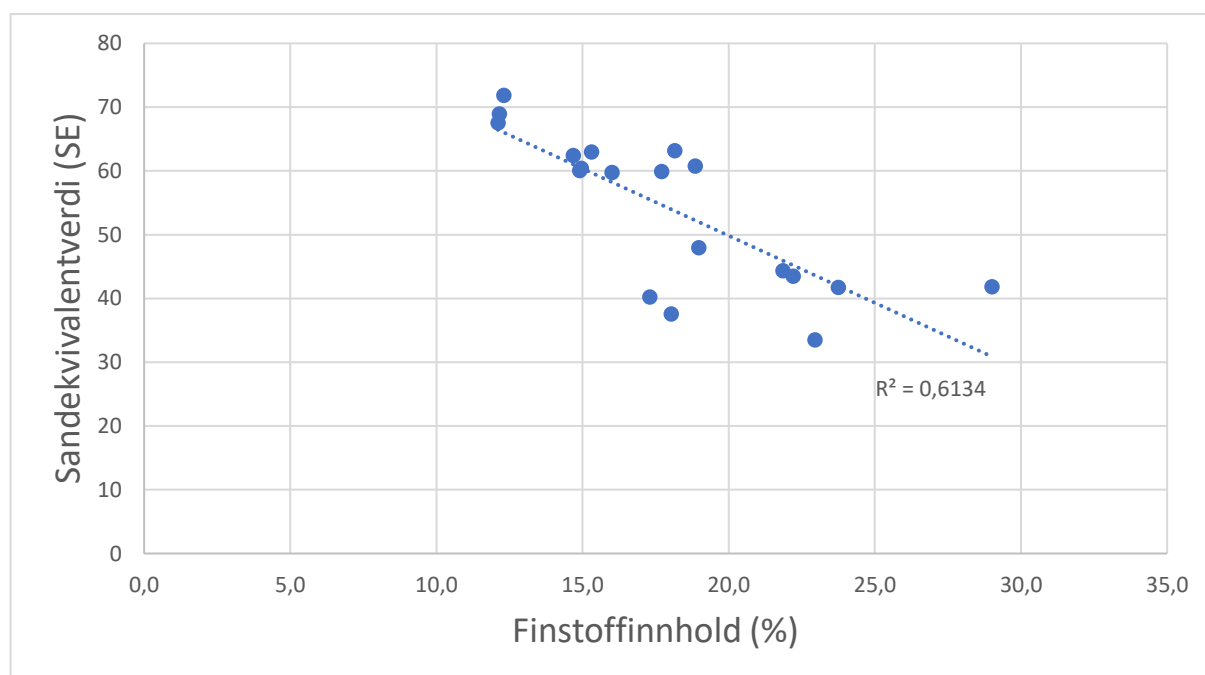
Tabell 4-1: Krav til sandekvivalentverdier for 0/2 mm og 0/4 mm materialer.

Sandekvivalentverdi	Kategori (0/2mm) SE10	Kategori (0/4mm) SE4
≥ 65	SE10 _{65 Declared}	SE4 _{65 Declared}
≥ 60	SE10 ₆₀	SE4 ₆₀
≥ 55	SE10 ₅₅	SE4 ₅₅
≥ 50	SE10 ₅₀	SE4 ₅₀
≥ 45	SE10 ₄₅	SE4 ₄₅
≥ 40	SE10 ₄₀	SE4 ₄₀
≥ 35	SE10 ₃₅	SE4 ₃₅
≥ 30	SE10 ₃₀	SE4 ₃₀
≥ 30	SE10 _{Declared}	SE4 _{Declared}
Ingen krav	SE10 _{NR}	SE4 _{NR}

Grå felt er kategorier som ikke gjaldt for denne standarden, men er hentet fra NS-EN 13242 (ubudne masser)(Standard Norge, 2013c). I sistnevnte standard kan det stilles krav til alle verdiene.

4.4.1 Finstoffinnhold i opprinnelige prøver

Siden et av målene med dette metodestudiet er å gjennomføre sandekvivalentmetoden på originale materialer, uten å ta høyde for mengde finstoff i prøvene på forhånd, er finstoffinnholdet kontrollert ved sikting og senere sammenlignet mot sandekvivalentverdien. Fra resultatene tyder mye på at sandekvivalentverdien til materialet er svært avhengig av finstoffinnholdet til prøven. Figur 4-7 viser sammenhengen mellom sandekvivalentverdien til de ulike materialene og finstoffinnholdet (kornstørrelser mindre enn 0,063mm). Fra disse resultatene tyder mye på at økende finstoffinnhold gir lavere sandekvivalentverdi.

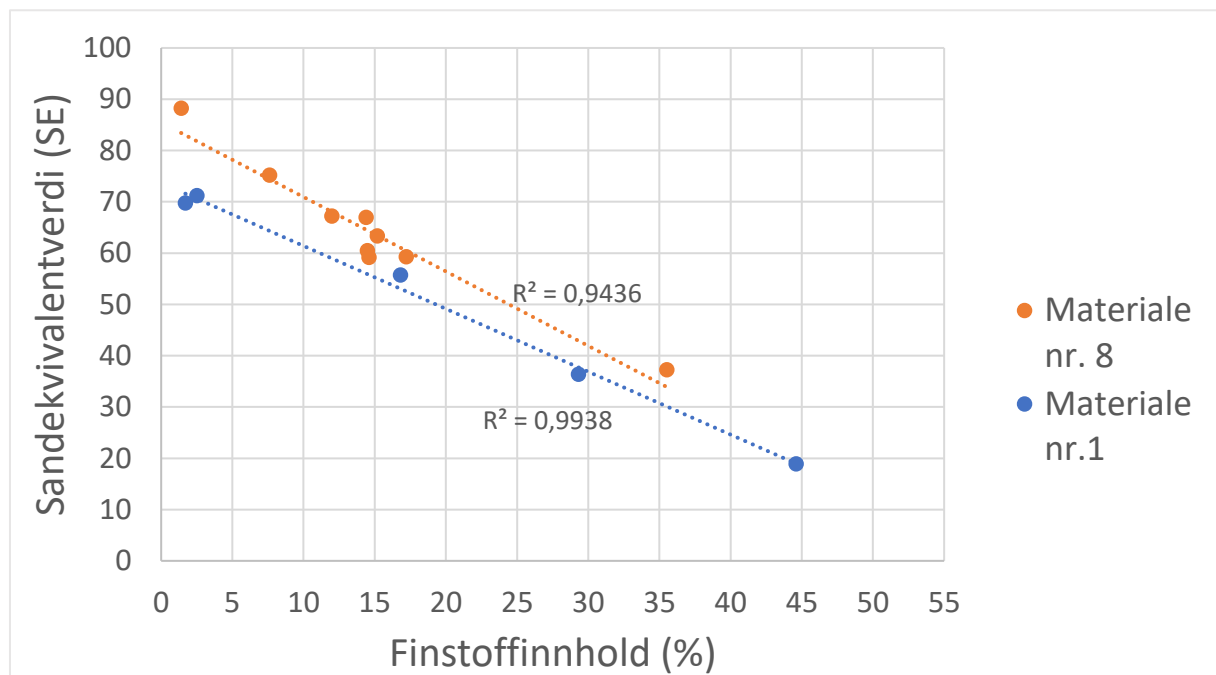


Figur 4-7: Sammenhengen mellom finstoffinnhold og sandekvivalentverdien (SE).

4.4.2 Modellering av varierende finstoffinnhold

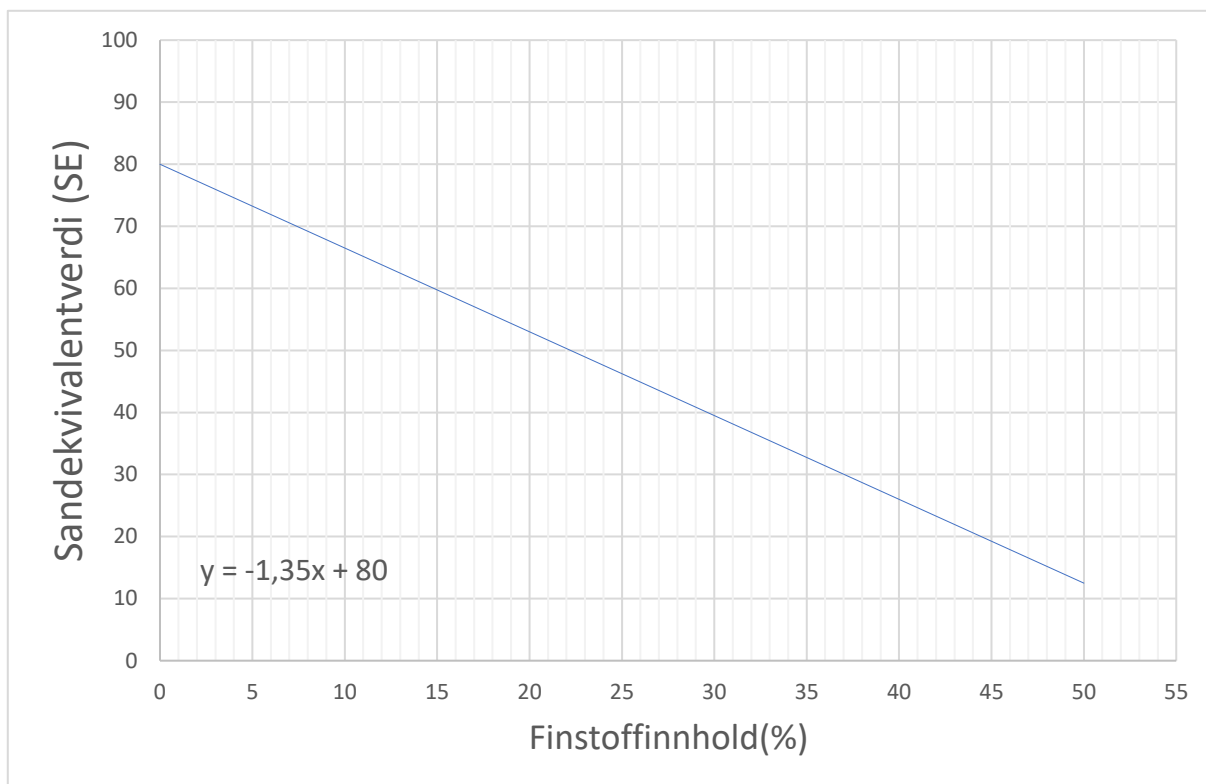
For å undersøke betydningen av finstoffinnhold ved analyse av sandekvivalentverdien er spesifikke finstoffundersøkelser gjennomført for to av materialene. Materiale nr. 1 og nr. 8 ble valgt ut og prøver med varierende mengde finstoff ble preparert. Resultatene fra testene viser tydelig at sandekvivalentverdien er påvirket av mengde finstoff i prøven, men at hvert materiale har hver sin trendlinje med svært god sammenheng, dette er presentert i figur 4-8. Fra tidligere analyser er materiale nr. 8 forventet å ha høyere sandekvivalentverdi enn materialet nr. 1.

Standard for sandekvivalentmetoden (Standard Norge, 2015) baserer seg på at prøvene som analyseres skal ha maksimalt 10% finstoff. Det kan være ønskelig å kunne beregne seg tilbake til 10% finstoff etter at analysene er gjennomført, uavhengig av prøvens opprinnelige finstoffinnhold.



Figur 4-8: Sandekvivalentverdiene er plottet mot finstoffinnholdet til materialene for materiale nr. 8 og 1.

To modeller for beregning av sandekvivalentverdi uavhengig av finstoffinnhold ble vurdert. Begge modellene tar utgangspunkt i en fiktiv trendlinje vist i figur 4-9. Denne er empirisk bestemt, og beskrevet av formel h , er et gjennomsnitt fra begge prøvematerialene. Trendlinjen representerer et materiale med nøytralt god sandekvivalentverdi. Formelen for beregning av trendlinjen tar utgangspunkt i at et nøytralt godt materiale uten finstoff har en sandekvivalentverdi på 80. Videre er det en lineær sammenheng mellom sandekvivalentverdien og finstoffinnholdet til materialet.



Figur 4-9: Empirisk bestemt trendlinje basert på undersøkelser av finstoffinnhold.

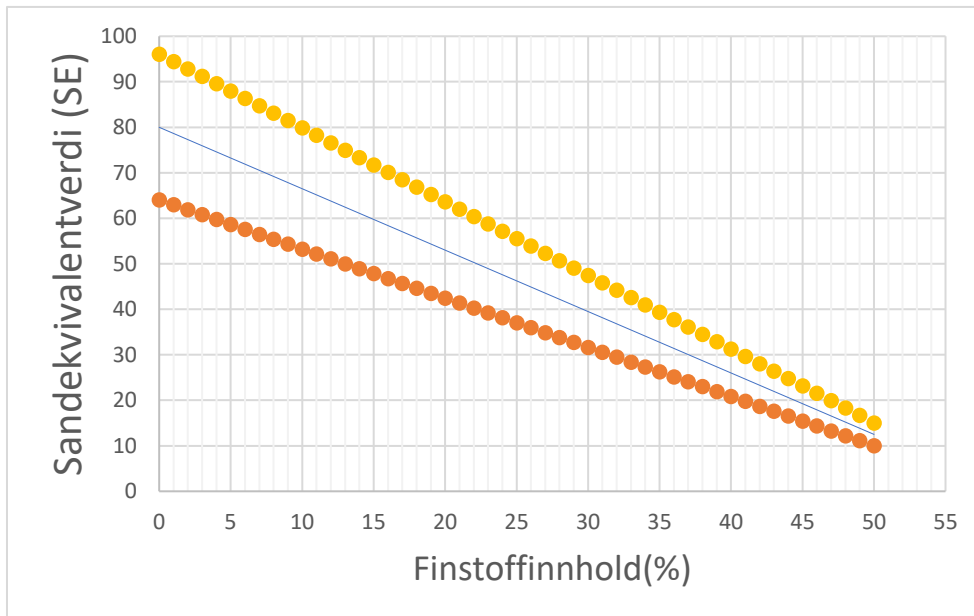
$$-1,35 * \text{finstoffinnhold} + 80 \quad (\text{h})$$

Denne trendlinjen brukes til å modellere resultatene for alle materialer. Etter en sandekvivalentttest er sandekvivalentverdien og finstoffinnholdet kjent, med disse parameterne kan det være mulig å modellere forventede verdier for alle finstoffinnhold til materialet. Dette er ønskelig for å kunne sammenlikne materialer uavhengig av finstoffinnholdet. For modellering av resultatene er to metoder prøvd ut. Modell 1 baserer seg på et det prosentvise avvik materialet har fra trendlinjen, men modell 2 legger til grunn et konstant numerisk avvik fra trendlinjen.

Resultatene fra testing av varierende finstoffinnhold og modellering av dette er nødvendig for å kunne gjennomføre videre testing. Siden sandekvivalentttesten utføres med avvik fra standarden ved at materialer testes med mer enn 10% finstoffinnhold må betydningen av dette gjenspeiles i resultatene. Denne delen av undersøkelsene er derfor gjennomført for å kunne sammenlikne resultater fra analyser utført senere.

Modell 1: Prosentvis avvik

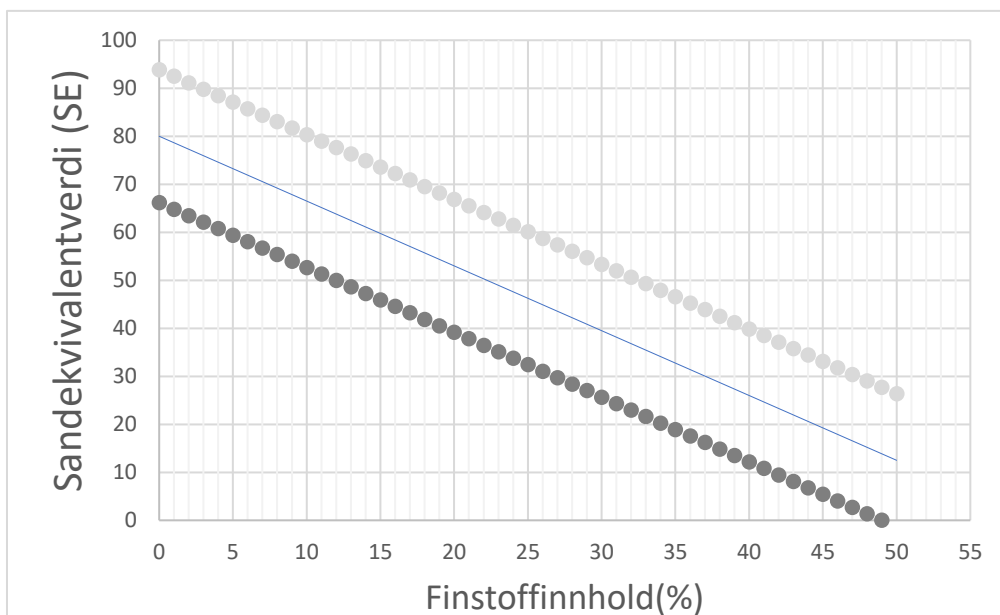
Modell 1 baserer seg på det prosentvise avviket materialet har fra den fiktive trendlinjen. Dette er illustrert i figur 4-10, der de oransje linjene tilsvare et materiale med 20% avvik fra trendlinjen. De oransje linjene representerer to ulike prøvematerialer, men med likt avvik fra trendlinjen. Avviket bestemmes fra prøve til prøve, og kan variere. Ved modellering brukes kun en av linjene, avhengig av om materialet er over eller under trendlinjen. Denne modellen tar utgangspunkt i at ved økende finstoffinnhold blir finstoffinnholdet den faktoren som har størst innvirkning på sandekvivalentverdien ved at sandekvivalentverdien til materiale konvergerer mot den empiriske trendlinjen.



Figur 4-10: Modell 1 presentert med eksempelvis 20% avvik fra trendlinjen. Et sterkt materiale (gul) og et svakt materiale (oransje)

Modell 2: Numerisk avvik

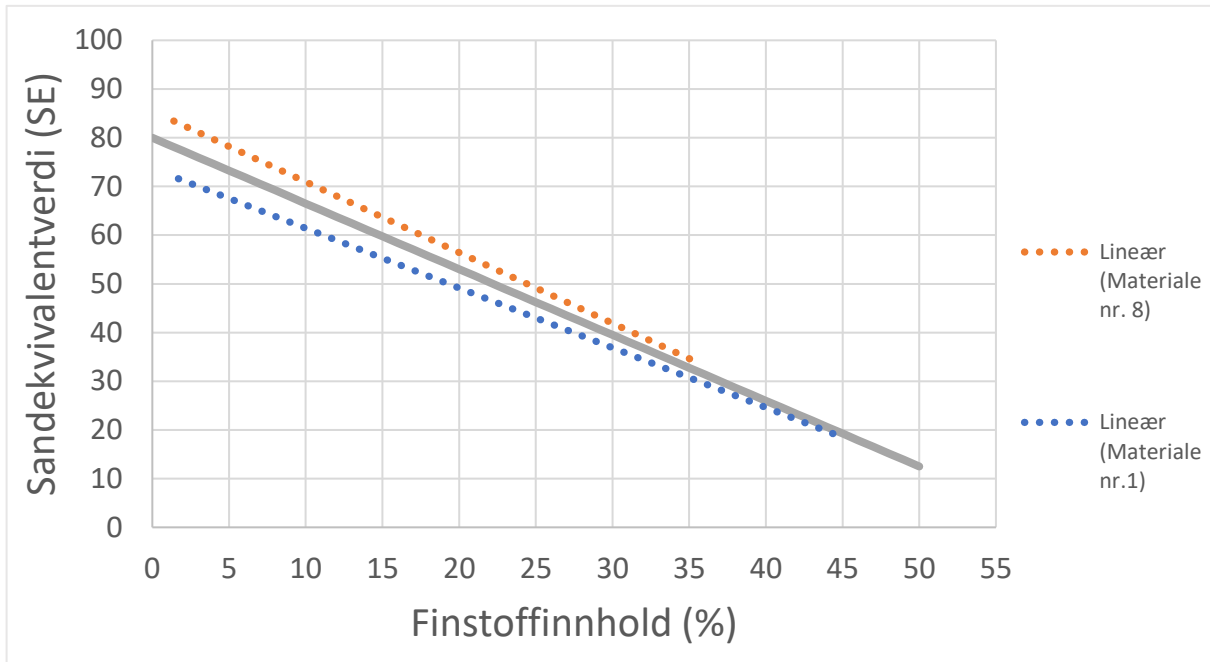
Modell 2 legger til grunn at linjen for sandekvivalentverdien med alle finstoffinnhold er parallell til trendlinjen. Det forventes i denne modellen at forholdet mellom sandekvivalentverdien og trendlinjen er 1:1. Dette forholdet er vist i figur 4-11.



Figur 4-11: Modell 2 presentert med eksempelvis 20% avvik fra trendlinjen. Et sterkt materiale (lys) og et svakt materiale (mørk)

Valg av modell

Figur 4-12 viser resultatene fra prøvene med varierende finstoffinnhold, der kun trendlinjene er inkludert. Ut fra dette er modell 1 valgt som beregningsmodell, da denne stemmer best overens med materialene som er testet.



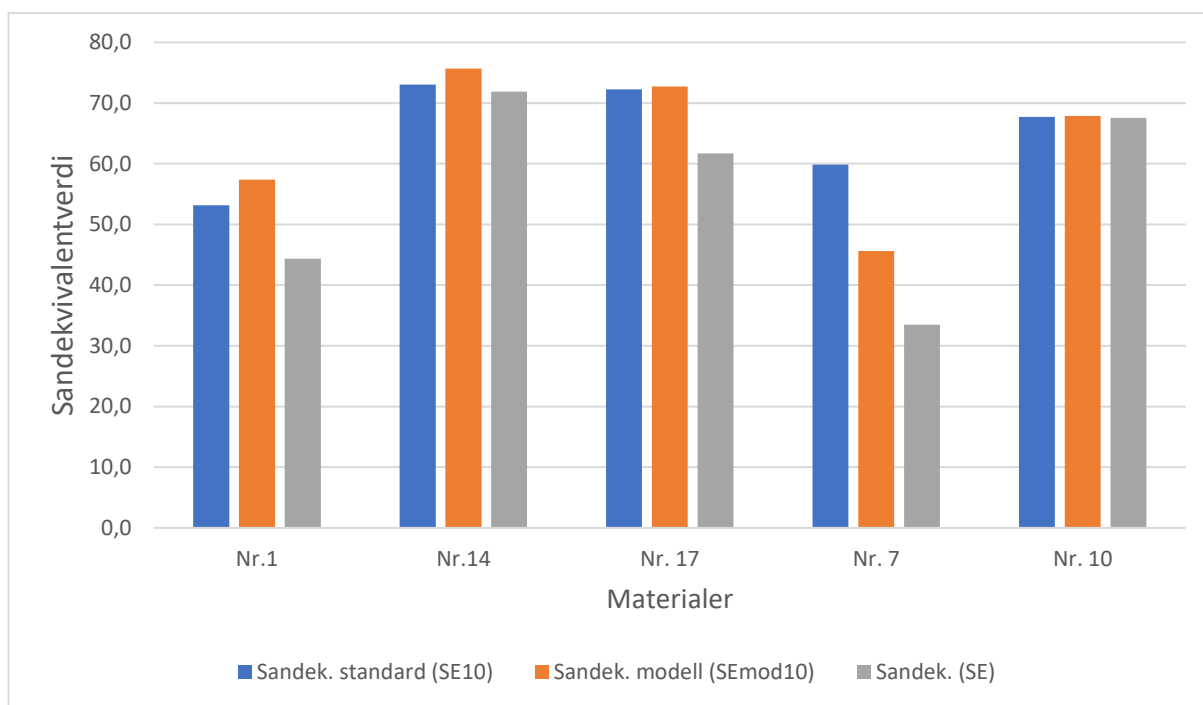
Figur 4-12: Sammenlikning av modell med finstofftestene til materiale nr. 1 og nr. 8.

Ved bruk av modell 1 kan man beregne sandekvivalentverdi for finstoffinnhold opp til omtrent 30%. For finstoffinnhold over dette vil modellen gi større usikkerhet, da modellen nærmer seg trendlinjen. Siden standard for sandekvivalentmetoden krever testing av materiale med 10% finstoff, er resultatene beregnet tilbake til 10 % finstoff. Dette gjør resultatene fra modellen og standarden sammenlignbare.

Videre tester i denne oppgaven benytter materialer med varierende mengde finstoff. For å kunne sammenlikne resultatene i de ulike testene brukes modell 1 til å beregne sandekvivalentverdien. Verdier som er beregnet gjennom modell 1 blir kalt «SE_{mod10}» som innebærer at de er modellert tilbake til 10% finstoff.

Modell 1 testet mot standardisert metode

Modell 1 er testet mot standarden for sandekvivalentmetoden for å sammenlikne resultatene, og vurdere hvorvidt modellen gir avvik i resultatene. Som vist i figur 4-13 har fire av de fem materialene som ble valgt ut til denne undersøkelsen god korrelasjon mellom modellen og standardisert testing. Materialet nr. 7 har derimot stort avvik. Blå søyle er materialer testet i henhold til standarden med 10% finstoff med modell 1. Oransje søyle er materialet testet som det er, og regnet tilbake til 10% finstoff. Grå søyle er sandekvivalentverdien til materialet med opprinnelig finstoffinnhold, men uten at modell 1 er benyttet.



Figur 4-13: Stolpediagram viser sandekvivalentverdien for materialer testet i henhold til standard (SE_{10}), modellert med modell 1 (SE_{10mod}) og opprinnelig sandekvivalentverdi (SE) med finstoffinnhold som var i prøven.

En forutsetning for den lineære sammenhengen mellom finstoffinnholdet og sandekvivalentverdien er at materialets setningstid ikke påvirkes av finstoffinnholdet. For materialet nr. 7 er nettopp finstoffinnholdets påvirkning på setningstiden årsaken til at resultatet ikke stemmer overens. Opprinnelig har materialet fra nr. 7 40 minutters setningstid, og 21 % finstoff (<0,063mm). For testing i henhold til standard er materialet ferdig satt etter 20 minutter, og da med kun 10% finstoff. For de resterende materialene indikerer resultatene at setningstiden ikke blir påvirket av mindre finstoffinnhold og at modellen stemmer godt med standard.

Videre er det undersøkt hvor mye finstoff som faktisk var i prøvene som er testet i henhold til standard. I utgangspunktet ble prøvene komponert til å inneholde 10% finstoff. Etter at det er utført sandekvivalent på materialet er prøvene blitt tørket og siktet. Resultatene i tabell 4-2 indikerer at finstoffinnholdet avviker noe. Dette indikerer at å blande en prøve med nøyaktig 10 % finstoff er en liten feilkilde til usikkerhet.

Tabell 4-2: Det faktiske finstoffinnholdet til prøvene sammenliknet mot det ønskede finstoffinnholdet i testene iht. standarden.

Materialer	Ønsket finstoffinnhold (%)	Faktisk finstoffinnhold i testene
Nr.1	10	13,3
Nr. 14	10	9,8
Nr. 17	10	10,2
Nr. 7	10	9,8
Nr. 10	10	11,9

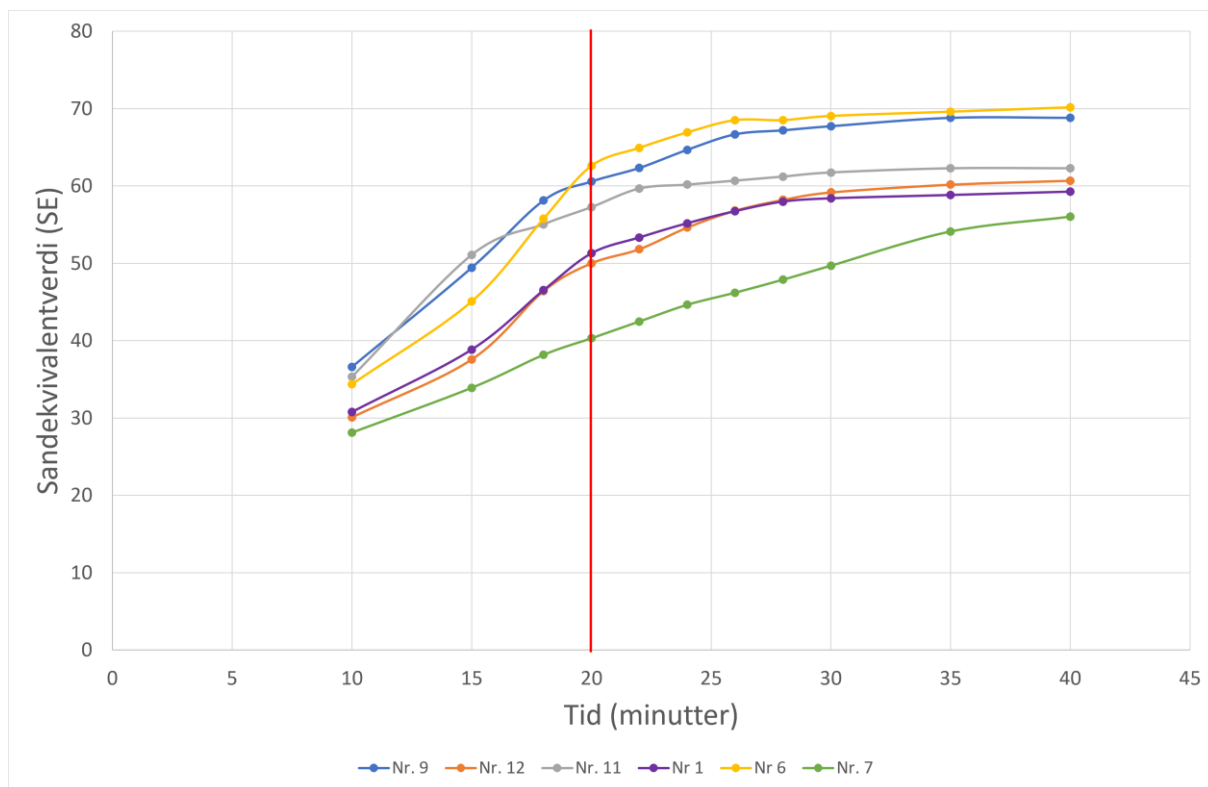
Variierende mengde finstoffinnhold kan bli en feilkilde ved testing i henhold til standard. Siden standarden ikke tar hensyn til at finstoffinnholdet ikke kontrolleres etter testing, vil dette kunne gi utslag på sandekvivalentverdien. Standarden tillater også testing på materiale med mindre enn 10 % finstoff, uten å ta hensyn til variasjonene dette gir i sandekvivalentverdi.

Fra figur 4-8 kan man se at materiale nr. 8 sandekvivalentverdi på 88 ved 1,4 % finstoffinnhold og sandekvivalentverdi på 75 ved 7,6% finstoffinnhold. Dette er avvik som ikke fanges opp ved testing etter standard, da resultatene forventes å ikke å påvirkes av mengde finstoffinnhold dersom finstoffinnholdet er lavere enn 10%. Tilsvarende gjelder dette materiale nr. 1. også har en reduksjon i sandekvivalentverdi i intervallet mellom 0% og 10 % finstoff.

4.4.3 Setningstid

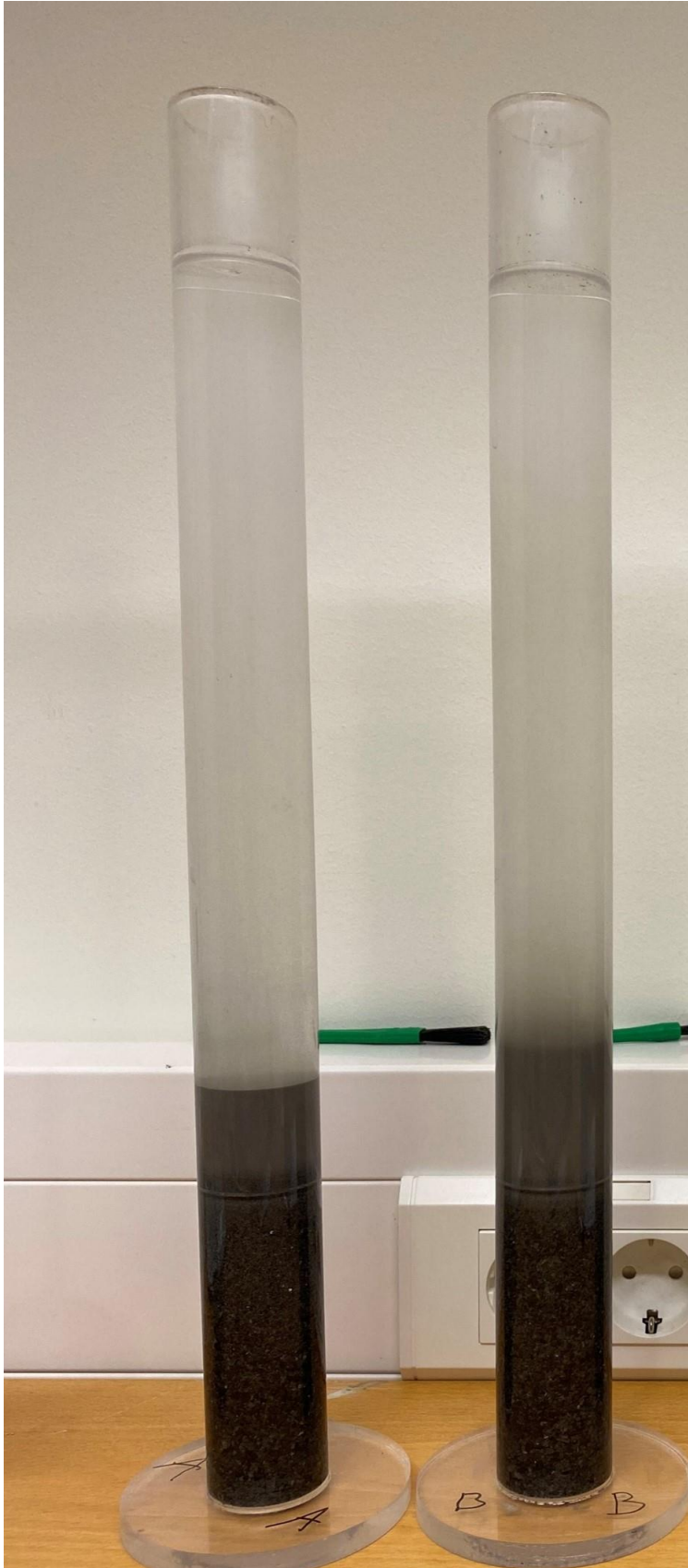
Resultatene viser en trend at sandekvivalentverdien øker hurtigst i begynnelsen, og flater ut etter lengre medgått tid, se figur 4-14. Avlesningstidspunktet etter standard er 20 minutter, markert med rød strek. Fra dataen kan man se at fra dette tidspunktet stiger sandekvivalentverdien hurtigst, og det kan tyde på at testen er svært sensitiv dersom avlesningstidspunktet ikke er nøyaktig 20 minutter. Leses verdien av etter for eksempel 23 minutter vil dette gi betydelige utslag i sandekvivalentverdien.

Dette kan skyldes at sandekvivalentmetoden påvirkes av to materialegenskaper, setningstid og vannabsorpsjon. Vannabsorpsjon er beskrevet som en viktig egenskap av Petkovšek et al. (2010) gjennom at sandekvivalentttesten og vannabsorpsjonen korrelerer godt. Setningstiden er ikke beskrevet som en relevant faktor tidligere, men er et tydelig avvik mellom den europeiske og amerikanske standarden. Setningstiden til et materiale er i denne oppgaven definert som tiden det tar før leiravlesningsverdien varierer mindre enn 2 mm på 2 minutter. 2 minutter er valgt som intervall siden dette var tidsrommet mellom avlesningstidspunktet i undersøkelse av setningstid. At en test når sin setningstid kan også tolkes visuelt, ved at når prøven vil ha en tydelig overflate for materiale i sylindren. Dette er illustrert i figur 4-15. Setningstiden er i denne oppgaven tolket som en betydelig faktor når materialer testes i henhold til den europeiske standarden.



Figur 4-14: Sandekvivalentverdien til de ulike materialene plottet mot tidspunktet leiravlesningen er gjennomført.

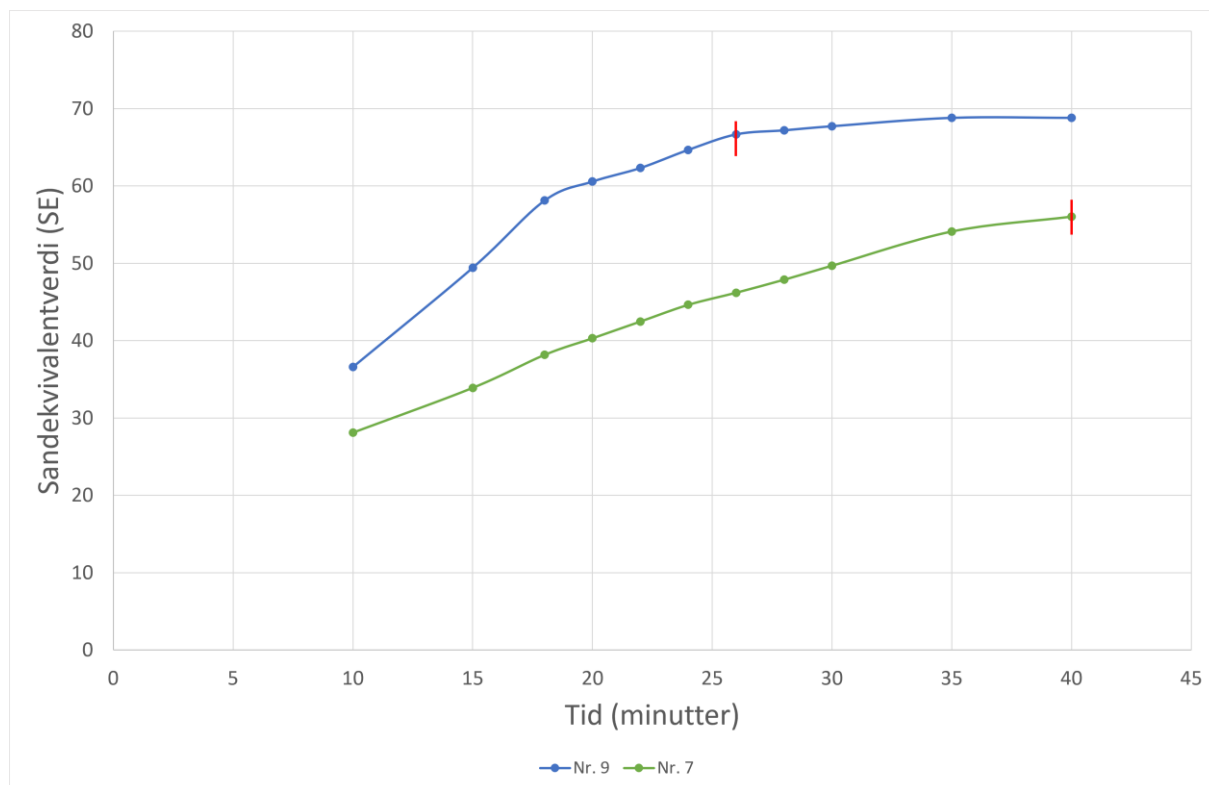
Figur 4-15 viser to prøver, hvor en er ferdig satt og en ikke. Prøven til venstre på bildet viser en tydelig overflate øverst i sylindren. Materialet vil her synke med mindre enn 2 millimeter på 2 minutter, og er derfor definert som ferdig satt. Sylindren til høyre på bildet har en utydelig overflate, som er et tegn på at prøven fortsatt ikke er ferdig satt. I denne prøven er fortsatt en betydelig mengde finstoff i suspensjon, og leiravlesningen vil gi en høyere verdi, og dermed vil sandekvivalentverdien bli lavere.



Figur 4-15: Sylindren til venstre er en ferdig satt prøve med tydelig overflate, til høyre en prøve som fortsatt ikke er ferdig satt.

I startfasen av metoden er store deler av materialet i suspensjon, de største partiklene synker raskt, mens de minste synker saktere mot bunnen. I de tidlige faser av testen er sandekvivalentverdien mest påvirket av hvor raskt materialet synker. Når tiden går vil betydningen av vannabsorpsjonen øke, og når testen er ferdig satt vil effekten av vannabsorpsjonen være den mest betydelige faktoren. Ulike materialer har forskjellig setningstid, og vil derfor være ferdig satt til ulike tider. Dette betyr at ved avlesningstidspunktet etter 20 minutter har forskjellige prøver ulik påvirkning fra setningstid og vannabsorpsjon basert på hvor lang setningstid den spesifikke prøven har.

Figur 4-16 viser resultatene for materiale nr. 7 og 9. Hvert materiale er markert med rødt merke ved tidspunktet der materialet er tolket å være ferdig satt. For Oppdal tilsvarer dette ca. 26 minutter, mens det for Lauvåsen først er etter 40 minutter.



Figur 4-16: Tolket setningstid til materiale nr. 7 og 9.

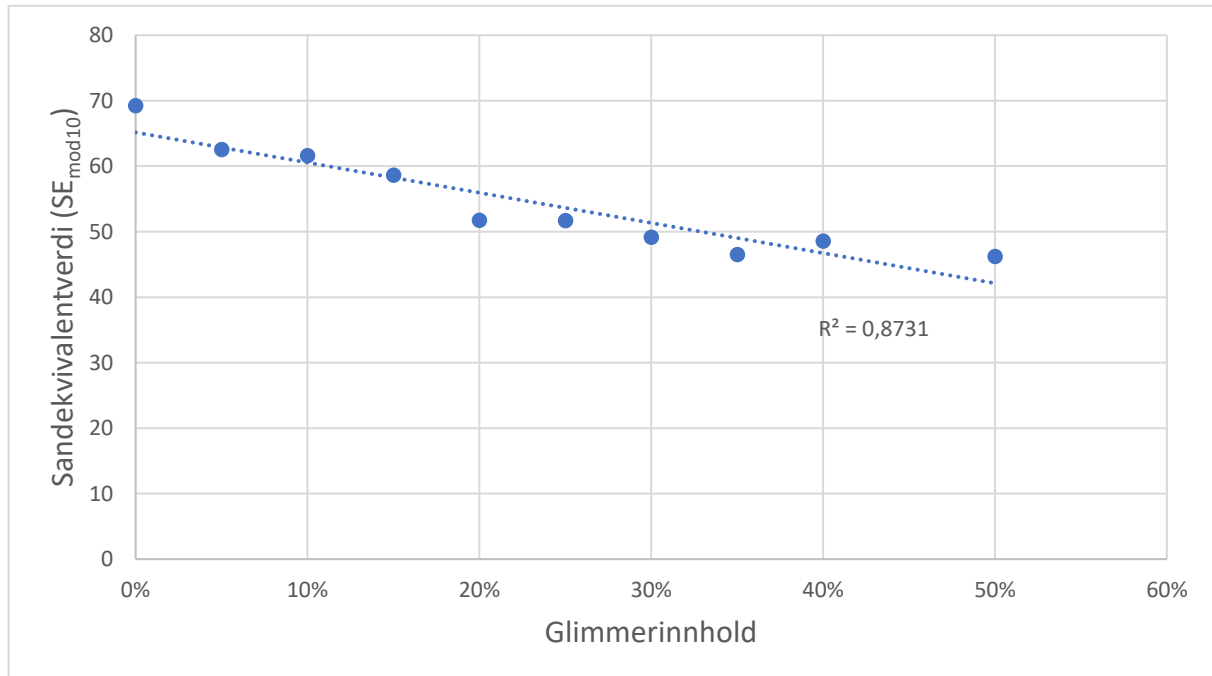
Ved avlesning etter 20 minutter innebærer norsk/europeisk/amerikansk standard at materiale nr. 9 får en sandekvivalentverdi på ca. 60. Men etter amerikansk standard vil det samme materialet få forlenget setningstid fordi en god del av prøven fremdeles befinner seg i suspensjon etter 20 minutter. Verdien etter 26 minutters setningstid blir ca. 66.

For materiale nr. 7 vil en tilsvarende avlesning ved 20 minutter gi en sandekvivalentverdi på ca. 40, mens forlenget setningstid pga. svevende partikler gir en sandekvivalentverdi på ca. 50 etter 30 minutter.

Relatert til krav som stilles i ulike land kan dette være kritisk. Materialene må vurderes på likest mulig grunnlag. Denne undersøkelsen synes å dokumentere at en setningstid på 20 minutter kan være for knapp for enkelte materialer. I den amerikanske standarden er ikke setningstiden til materialet en faktor som påvirker resultatet av testen, mens for den norske/europeiske vil lengre setningstid kunne gi større utslag. Ved å ha mulighet for et lengre setningsforløp på linje med den amerikanske standarden, blir trolig absorpsjonsegenskapene bedre ivaretatt, og sandekvivalentverdiene blir mer «riktige» for ulike materialer.

4.4.4 Glimmerinnhold

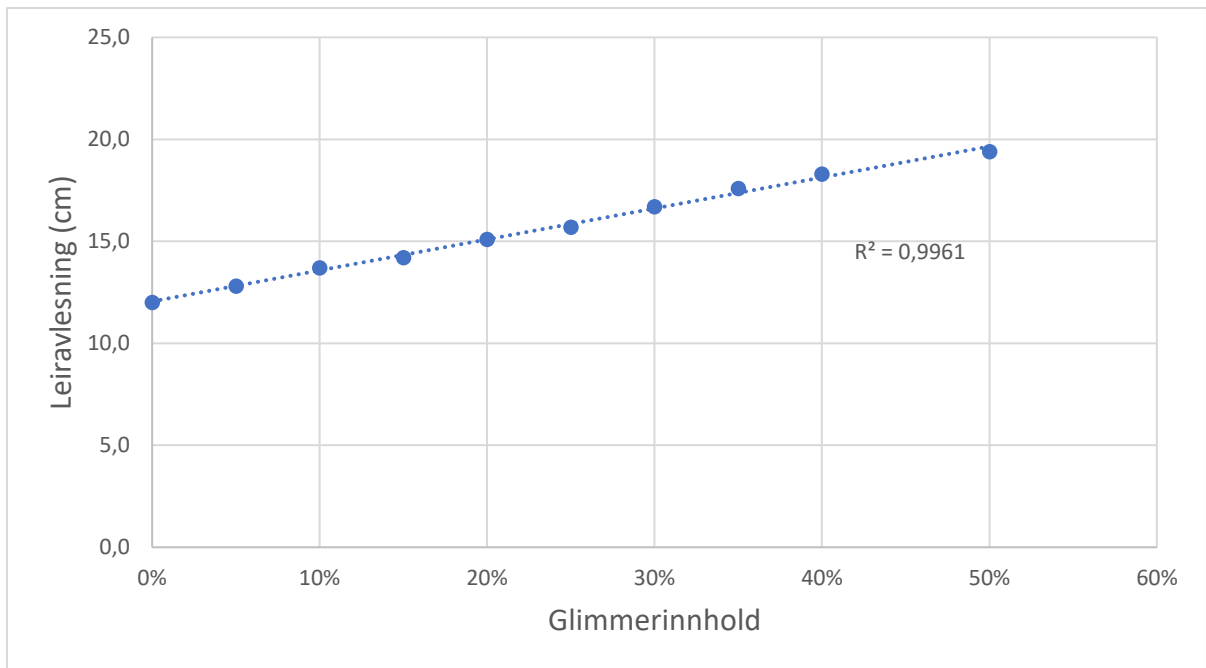
Forholdet mellom glimmerinnhold og SE_{mod10} indikerer at økende glimmerinnhold reduserer sandekvivalentverdien til materialet, se Figur 4-17. Prøvene er blandet med økende mengder glimmer. Dette indikerer at sandekvivalentttesten er sensitiv til varierende glimmerinnhold i prøvene. Høye konsentrasjoner av glimmer vil sannsynligvis gi lavere sandekvivalentverdier.



Figur 4-17: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot glimmerinnhold for prøver blandet med flogopitt.

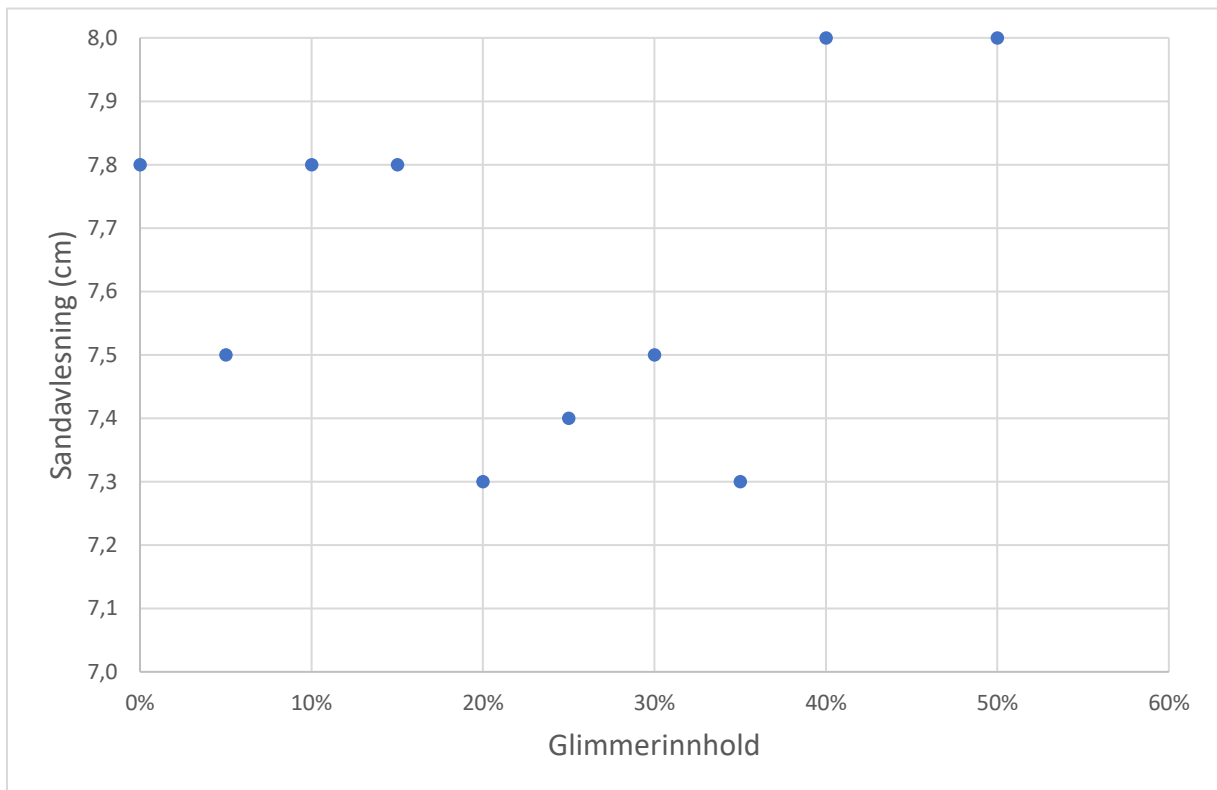
Sandekvivalentverdien er som nevnt tidligere et forholdstall mellom leiravlesning og sandavlesning. Leiravlesningen og sandavlesningen brukes ikke som resultater i seg selv, og er derfor sjeldent presentert sammen med sandekvivalentverdien. Forsøkene med glimmer ga spesielt god korrelasjon med leiravlesningen til prøvene, og derfor er disse resultatene inkludert i denne delen. Forholdet mellom leiravlesningen og glimmerinnholdet i prøvene er nærmest perfekt lineær.

Determinantkoeffisienten, R^2 , indikerer at dette forholdet med stor sannsynlighet ikke er tilfeldig. Figur 4-18 viser forholdet mellom leiravlesningen og glimmerinnholdet i prøvene. Sammenhengen mellom leiravlesningen og glimmerinnholdet gir nærmest en perfekt linje. Det er fra resultatene liten tvil om at ved økende glimmerinnhold øker leiravlesningen til materialet. Dette tyder på at glimmer mindre enn 0,063mm i sandekvivalenttesten pakkes dårlig og gir dermed betydelige utslag i testen.



Figur 4-18: Leiravlesningen plottet mot glimmerinnholdet for prøver blandet med flogopitt.

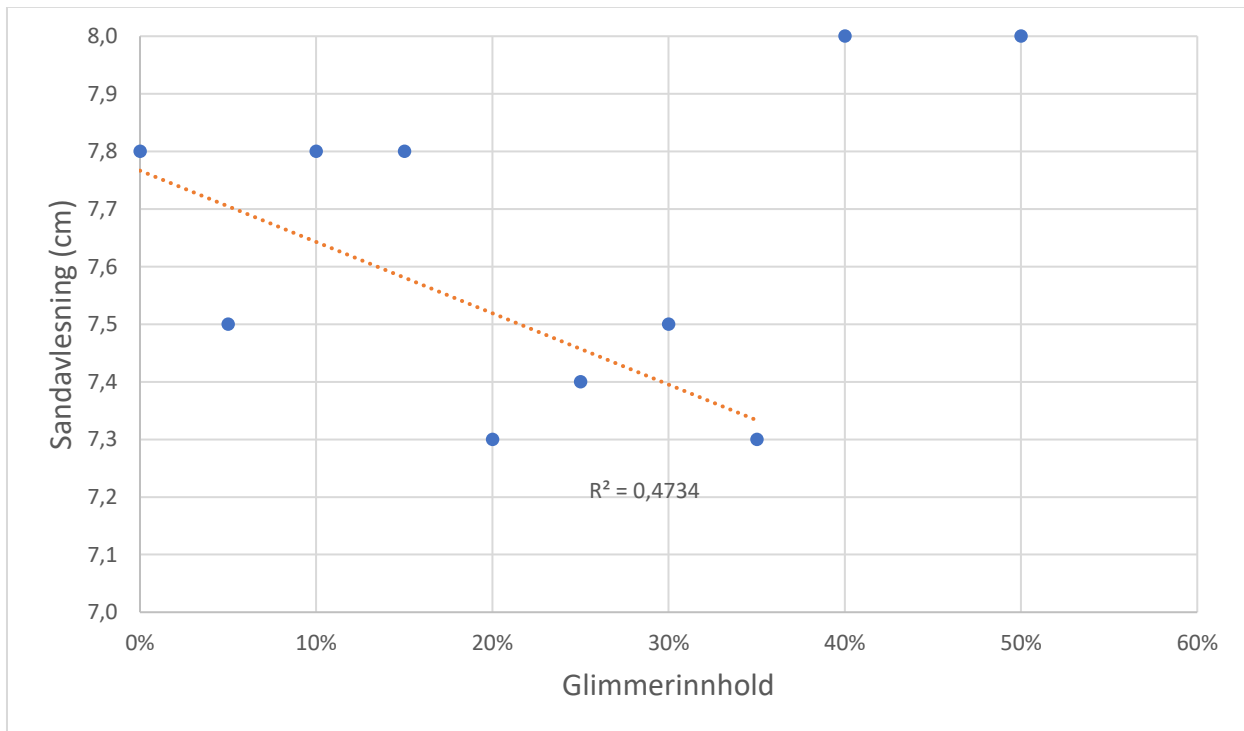
Sandavlesningen varierer mer med glimmerinnholdet. Resultatene gir tilsynelatende lite sammenheng, hvor 40% og 50% glimmerinnhold gir høyest sandavlesningsverdi. Figur 4-19 viser sandavlesningen mot glimmerinnholdet.



Figur 4-19: Sandavlesning plottet mot glimmerinnhold i prøver blandet med flogopitt.

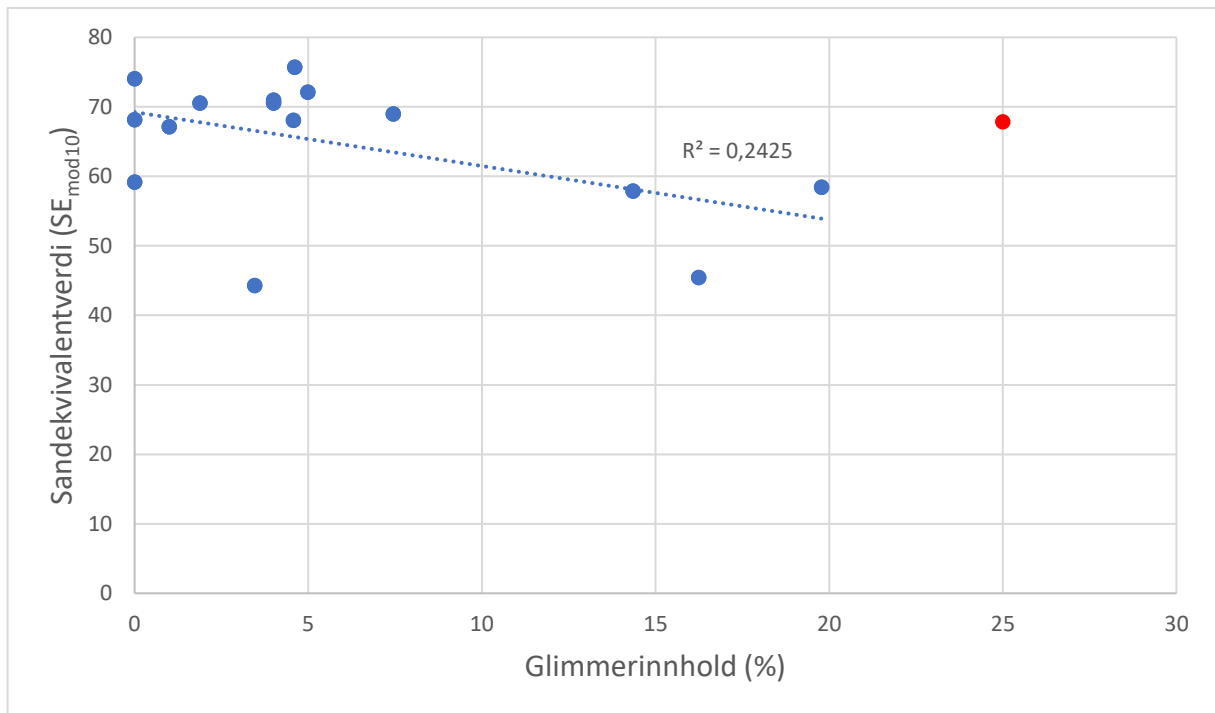
Som nevnt over øker sandavlesningen ved høyere konsentrasjoner av glimmer (40-50%). Dette skyldes trolig at mellomsjiktet som dannes ved høye konsentrasjoner av glimmer blir så tykt at loddet som brukes til avlesning ikke når gjennom. Avlesningen skjer derfor midt i mellomsjiktet, som vi gi en høyere sandavlesningsverdi. Problemet med mellomsjiktet er diskutert ytterligere i delkapittelet 2.3.7 Praktiske implikasjoner ved gjennomføring.

Ser man bort fra prøvene med 40% og 50% glimmer tyder resultatene på at økende glimmerinnhold gir lavere sandavlesningsverdi. Determinantkoeffisienten til denne sammenhengen er lavere, som indikerer større varians i resultatene. Trendlinjen lagt til i figur 4-20 viser sammenhengen mellom testene med 0-35% glimmer.



Figur 4-20: Trendlinje for sandavlesning for prøver blandet med flogopitt.

I prøvene som ble tatt fra forskjellige lokasjoner er sammenhengen mellom SE_{mod10} og glimmerinnhold ikke like fremtredende. I figur 4-21 er denne sammenhengen presentert. Fra dataen kan man se at trenden er den samme som ved prøvene blandet med glimmer, men med større avvik fra trendlinjen. Dette tyder på at flere faktorer spiller inn, men at høyt glimmerinnhold er en av faktorene som reduserer sandekvivalentverdien til materialene. Glimmerinnholdet i prøvene er bestemt ved XRD.

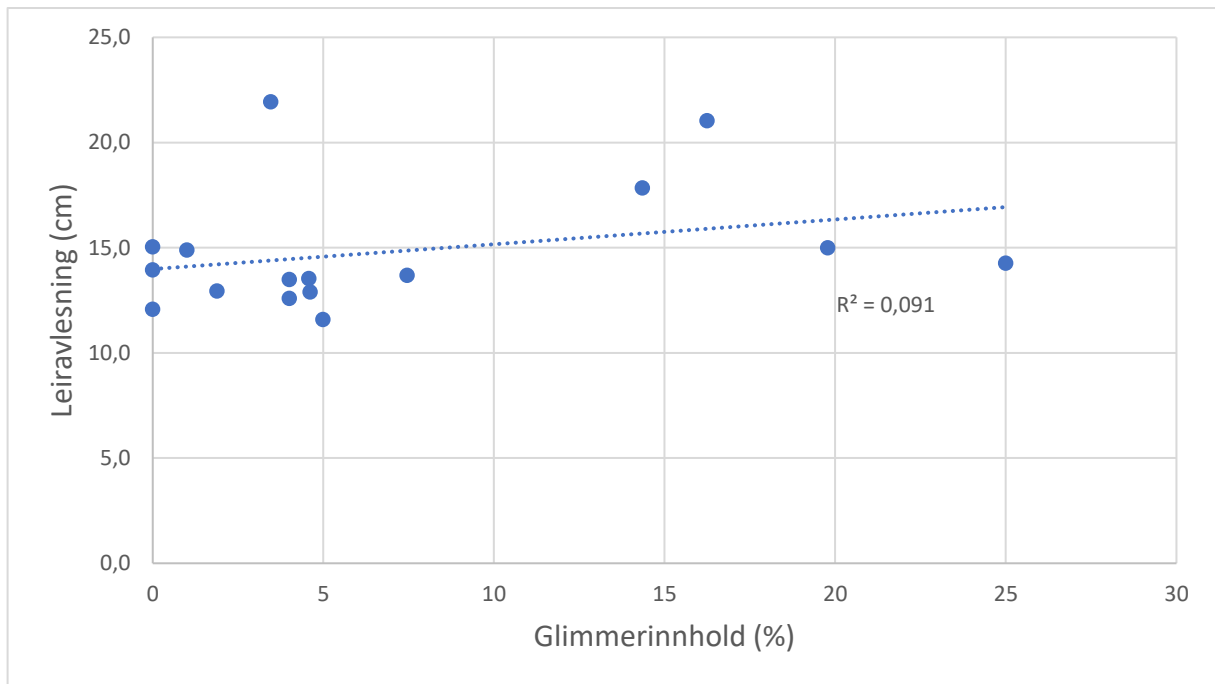


Figur 4-21: Sandavlesning plottet mot glimmerinnhold fra XRD for opprinnelige prøvene.

Det røde punktet i figur 4-21 er materiale nr. 9. Resultatene fra XRD viser at materialet har 25% glimmerinnhold. Tynnslip av materialet tyder på betydelig lavere glimmerinnhold enn 25% og glimmertelling indikerer også en betydelig lavere verdi (12%). Med bakgrunn i usikkerheten fra resultatet i XRD er denne prøven ekskludert fra trendlinjen.

De ulike materialene som er testet har stor variasjon i opprinnelse. Det er både magmatiske, metamorfe og sedimentære bergarter i undersøkelsen. Egenskapene til de ulike type bergart er svært forskjellig. Hvilken type glimmer de inneholder er også varierende og hvordan glimmeren fremtrer varierer stort. For eksempel har materialet nr. 3, (SE_{mod10} 44 og 3% glimmer) den laveste sandekvivalentverdien til tross for veldig lavt glimmerinnhold. I denne bergarten er det andre materialeegenskaper som påvirker resultatet i sandekvivalentttesten, og glimmerinnholdet er derfor av mindre betydning.

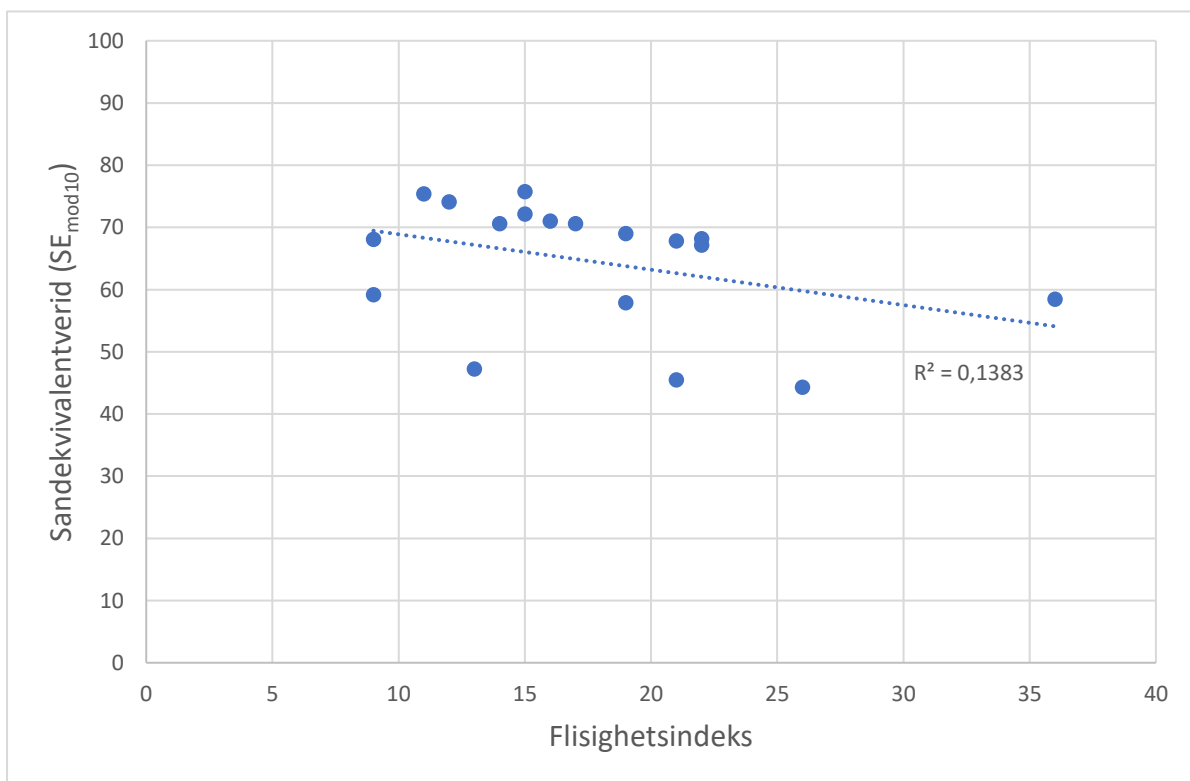
Fra testene med isolert glimmerinnhold viser leiravlesningen en perfekt korrelasjon mot glimmerinnholdet. Ser man på tilsvarende sammenheng mot glimmer for de ulike materialene er sammenhengen fraværende. Dette er vist i figur 4-22.



Figur 4-22: Leiravlesning mot glimmerinnhold fra XRD i opprinnelige prøvene

4.4.5 Flisighet

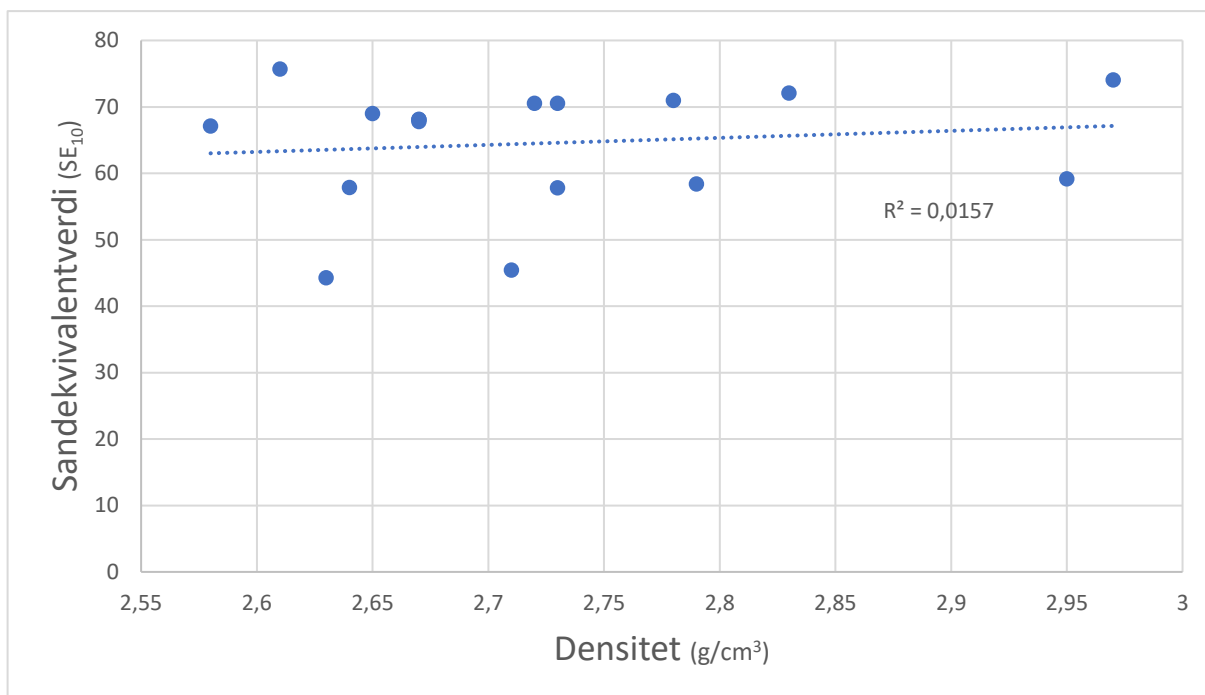
Sandekvivalentverdien har en svak avtagende trend med flisighetsindeksen ($FI_{0,8}$) til materialet, som vist i figur 4-23. Dette er en indikasjon på at flisighetsindeksen til materialet kan påvirke resultatet til sandekvivalentttesten noe. Determinantskoeffisienten er lav ($R^2=0,14$), som kan tyde på at påvirkningen fra flisighet er lav, men det er ikke mulig å utelukke effekten fra flisighet.



Figur 4-23: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot flisighetsindeksen til opprinnelige prøver.

4.4.6 Densitet

Resultatene tyder på ingen eller svært liten sammenheng mellom sandekvivalentverdi og densitet til materialene, se figur 4-24. R^2 er svært lav med verdien 0,0157. Dette skyldes trolig at materialet tilsettes et flokkuleringsmiddel før testing. Muligens utligner effekten av flokkuleringsmiddelet variasjonene i densitet til materialene. Når kornene flokkes blir tyngden av kornene stor nok til at materialet synker relativt raskt nedover i sylindren.



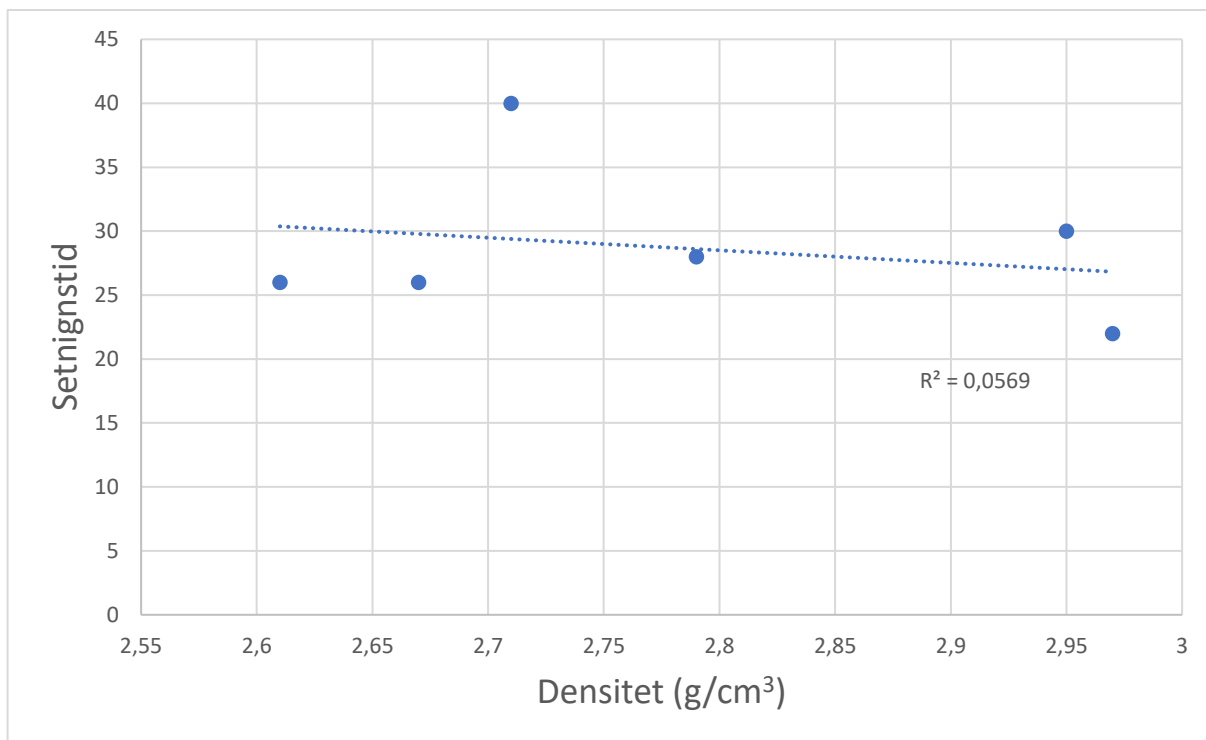
Figur 4-24: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot densiteten til opprinnelige prøver.

Det er også undersøkt hvorvidt setningstiden til materialene blir påvirket av densiteten. Denne sammenhengen er sett på siden slemmeanalysen, som har store likhetstrekk med sandekvivalentmetoden, er påvirket av densiteten. Det er der logisk at tiden et materiale bruker på å synke til bunn kan være påvirket av densiteten til materialet. I tabell 4-3 vises densitet og tolket setningstid for utvalgte materialer.

Tabell 4-3: Densitet og setningstid til utvalgte materialer.

Materiale	Densitet (g/cm ³)	Setningtid (min)
Nr. 11	2,95	22
Nr. 12	2,97	30
Nr. 9	2,67	26
Nr. 7	2,71	40
Nr. 1	2,79	28
Nr. 6	2,61	26

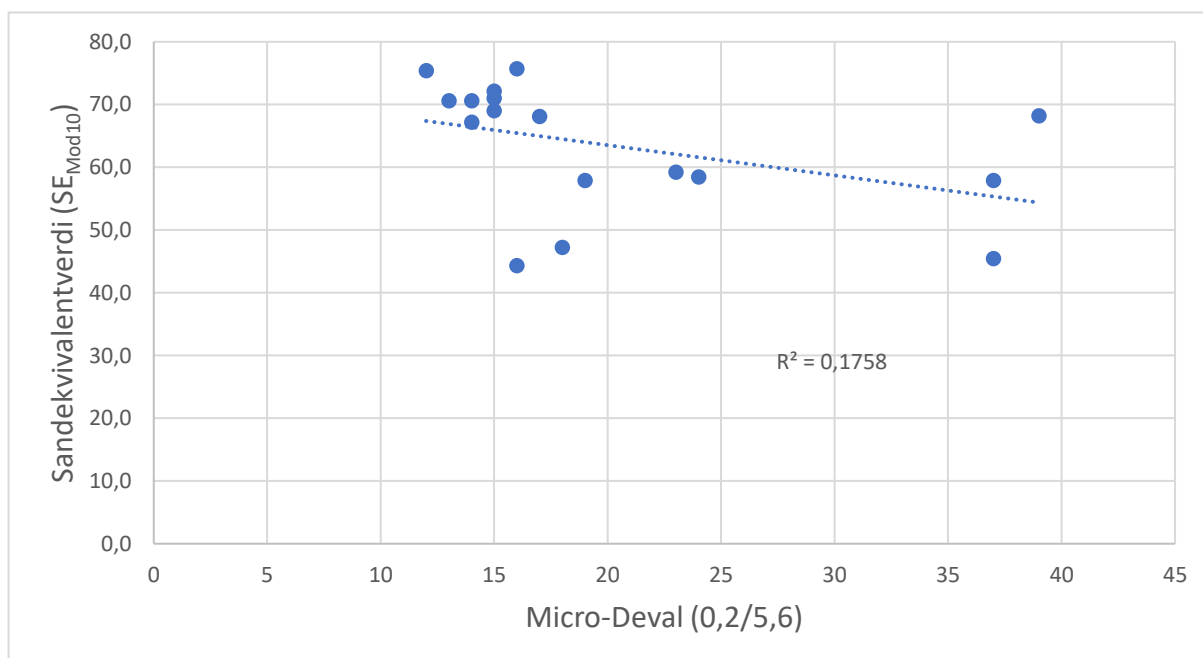
Materialer med lengre setningstid enn 20 minutter gir lavere sandekvivalentverdier. Dette er fordi materialet ikke er ferdig satt etter 20 minutter, og leiravlesningen derfor er høyere. Det er ikke funnet noen sammenheng mellom densiteten og setningstiden til materialene i testen. Dette indikerer at det ikke finnes noen sammenheng i hvor raskt materialet i synker og materialets densitet ved gjennomføring av sandekvivalenttesten. Denne sammenhengen er vist i figur 4-25.



Figur 4-25: Setningstiden plottet mot densiteten.

4.4.7 Abrasive egenskaper (micro-Deval)

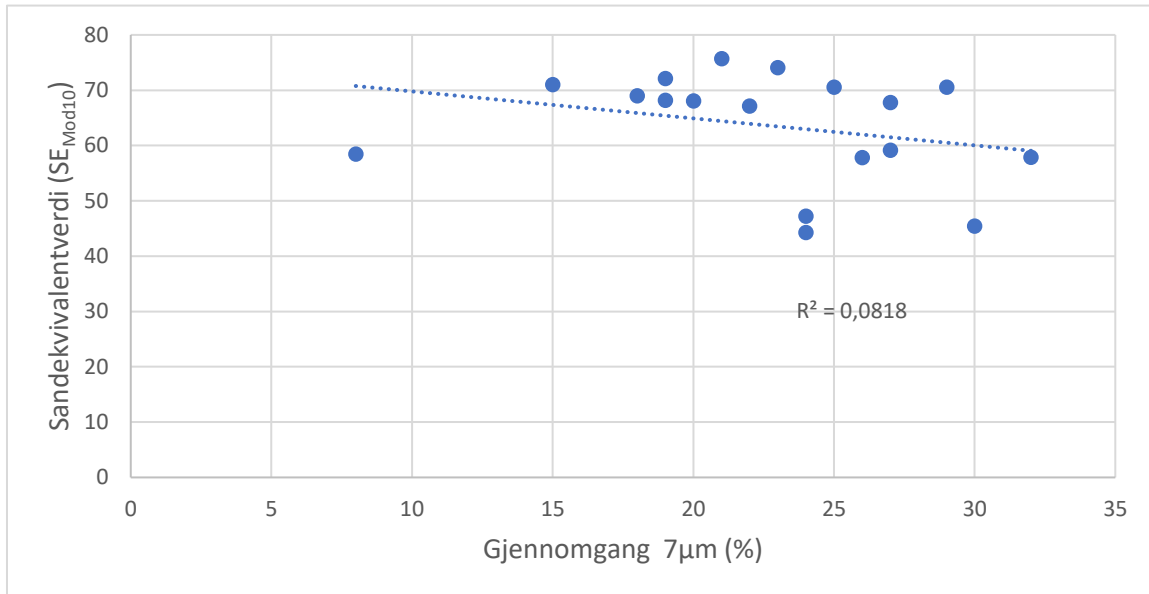
I figur 4-26 er de abrasive egenskapene til materialene plottet mot med den modellerte sandekvivalentverdien (SE_{mod10}). Resultatene tyder på liten korrelasjon, men en svak tendens er at ved økende micro-Deval verdi reduseres sandekvivalentverdien. Altså at materialer med dårligere abrasjonsegenskaper også har lavere sandekvivalentverdi.



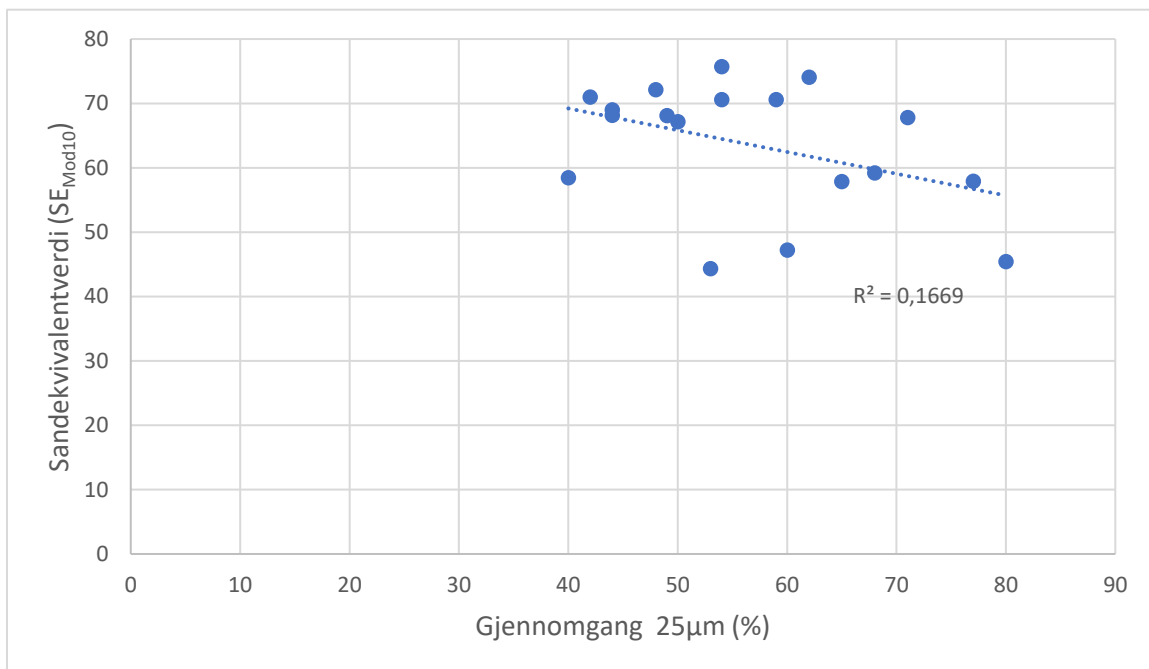
Figur 4-26: Modellert sandekvivalentverdi plottet mot micro-Deval verdier.

4.4.8 Kornkurve for materiale <0,125mm

Siden finstoffinnholdet til et materiale har en god sammenheng med variasjoner i sandekvivalentverdien, er det undersøkt om innhold av enda finere kornstørrelser også påvirker resultatet av testen. Dataen er hentet fra undersøkelser av laserkurver, og kornstørrelser mindre enn henholdsvis 25 μ m og 7 μ m for materiale mellom 0-0,125mm. Resultatene tyder på at det er en svak tendens at sandekvivalentverdien reduseres ved høyere innhold av materiale mindre enn 7 μ m (figur 4-27) og 25 μ m (figur 4-28). Denne svakere trenden indikerer at det hovedsakelig er mengde materiale mindre enn 0,063mm som påvirker resultatet av testen, og at fordelingen av kornstørrelser mindre enn dette er av mindre betydning. De individuelle laserkurvene for materialene er presentert i vedlegg E.



Figur 4-27: Modellert sandekvivalentverdi mot materiale mindre enn 7 μ m.



Figur 4-28: Modellert sandekvivalentverdi mot materiale mindre enn 25 μ m.

4.4.9 Anomali for materiale nr. 11 og 12 fra samme forekomst

Materialet nr. 11 fra 2018 er skaffet i forbindelse med et annet prosjekt (FoU vanninnhold), hvor omtrent 25 kg 0/4 materiale lå igjen. Materiale nr. 12 fra 2021 er hentet inn til denne masteroppgaven, og prøvemengden utgjorde omtrent 100 kg (4 sekker).

Ved gjennomføring av testing til sandekvivalentmetoden ga materialene fra 2021 og 2018 store avvik. Det er videre undersøkt hvorfor dette kan være tilfellet. Resultatene fra sandekvivalentttesten er gitt i tabell 4-4, hvor materiale nr. 11 (2018) har en sandekvivalentverdi på 74, mens materiale nr. 12 (2021) har sandekvivalentverdi på 59. Dette er et avvik på 20%. Årsaken til den store variasjonen i sandekvivalentverdi er forskjellen i leiravlesningsverdi på materialene.

Tabell 4-4: Verdier fra gjennomføring av sandekvivalentmetoden for begge materialene

	Materiale nr. 11 (2018)	Materiale nr. 12 (2021)
Sandavlesning (gj.snitt)	7,3	6,8
Leiravlesning (gj.snitt)	12,1	14
Finstoffinnhold	18,9	19,0
SE_{mod10}	74	59

XRD resultater av materialene viser stor likhet mineralogisk mellom prøvene. I tabell 4-5 er XRD resultatene presentert. Begge prøvene har tilsvarende mineraler, og avviket mellom prøvene for de ulike mineralene er ubetydelig. Det kan derfor antas at bergarten er lik i begge prøvene.

Tabell 4-5: Mineralinnhold fra XRD

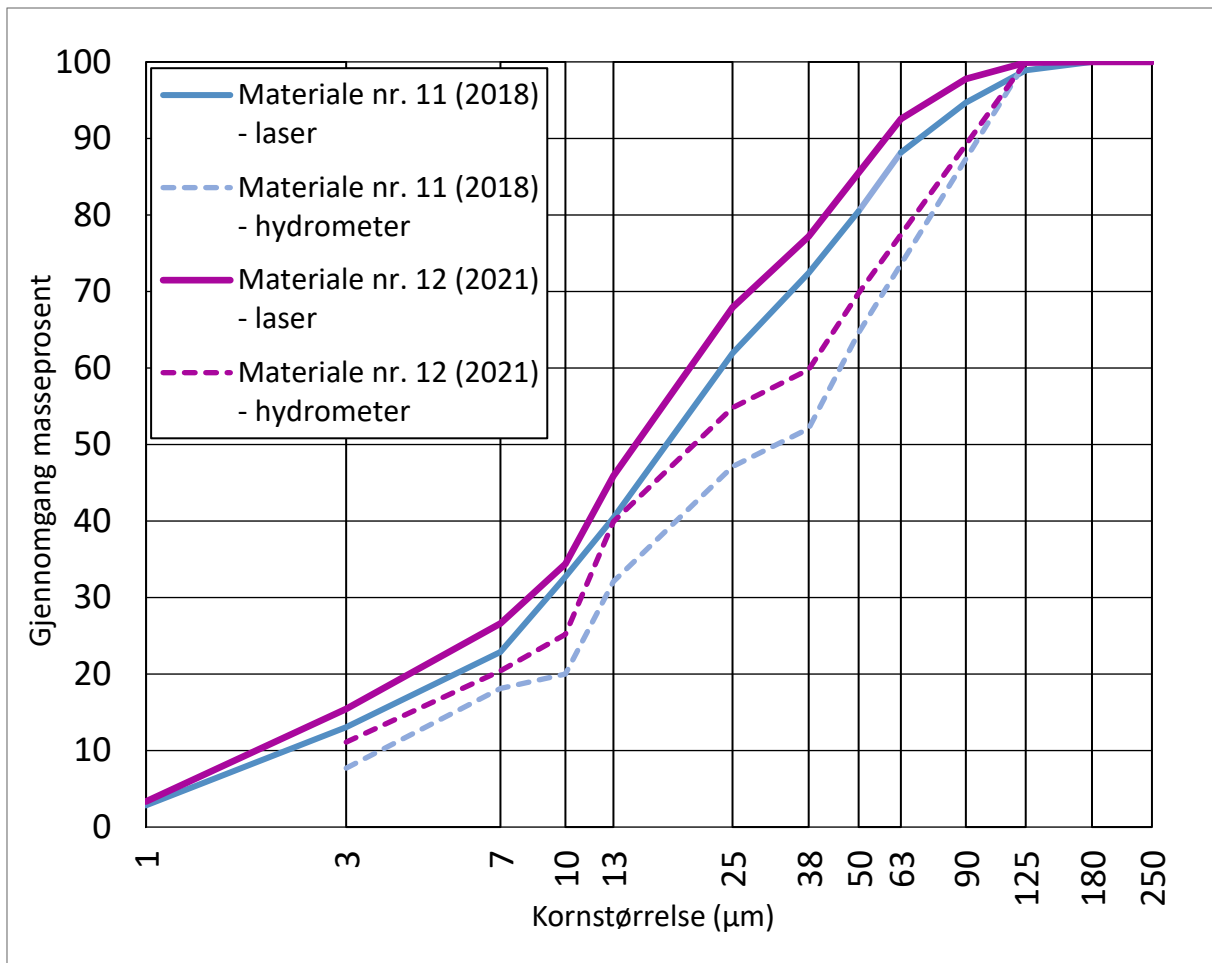
Mineraler	Materiale nr. 11 (2018)	Materiale nr. 12 (2021)
Kvarts (%)	0,56	0,85
Albitt (%)	18,92	19,4
Mikroclin (%)	2,08	2,25
Kloritt (%)	9,78	10,31
Kalsitt (%)	0,73	1,17
Hornblende (%)	42,52	40,46
Augitt (%)	2,22	2,11
Clinozoisite (%)	22,87	23,33
Fosterit t(%)	0,32	0,11

Videre er flisighet og densitet undersøkt. Resultatene fra disse testene er også svært like og er vist i tabell 4-6.

Tabell 4-6: Flisighetsindeks og densitet til materialene

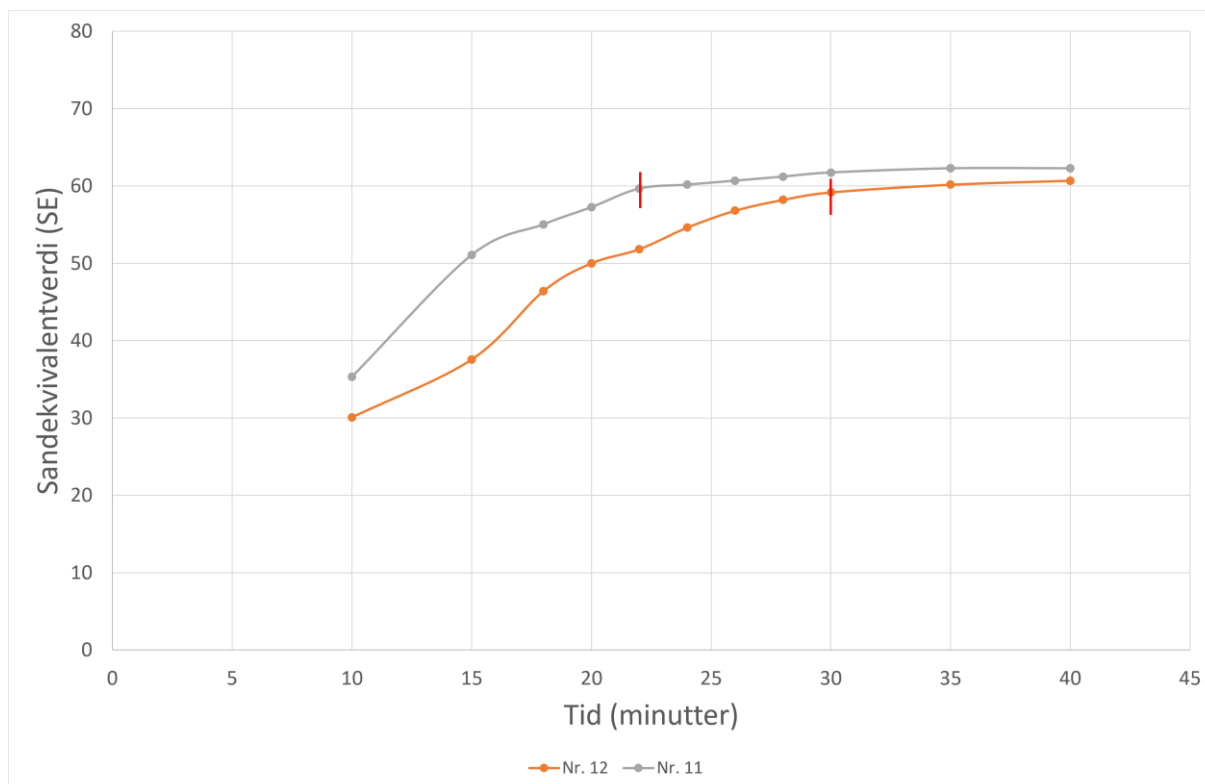
Analysemetode	Material nr. 11 (2018)	Material nr. 12 (2021)
Flisighetsindeks	12	9
Densitet (g/cm ³)	2,97	2,95

Siden variasjonene i hovedsak er relatert til leiravlesningen til materialet, er kornkurven til materialene undersøkt med partikkelteller (laser) og slemmeanalyse (hydrometer). Materialet mindre enn 0,125mm er undersøkt. Analysene viser at 2018 materialet er noe grovere enn 2021 materialet, men likevel relativt like kurver. I figur 4-29 er kurvene for materiale mindre enn 0,125mm presentert. Heltrukket linje er analyser fra partikkelteller, men stiplet linje er slemmeanalyse.



Figur 4-29: Kornstørrelser undersøkt med laser (partikkelteller) og hydrometer (slemmeanalyse).

I figur 4-30 er setningstiden til de to materialene sammenlignet. Her viser grafene stort avvik tidlig i testen. Dette avviket fortsetter over avlesningstidspunktet på 20 minutter (markert med blå strek), dette er tidspunktet materialet er ferdig testet etter europeisk/norsk standard. Rød markør viser når materialene er tolket som ferdig satt, dette er tidspunktet tilsvarer tidspunktet hvor materialet er ferdig testet etter amerikansk standard.



Figur 4-30: Tolket setningstid for material nr. 11 og 12.

Setningstiden til materiale nr. 11 (2018) er tolket til 22 minutter, for materiale nr. 12 (2021) er den 30 minutter. Avviket i sandekvivalentverdi ligger i setningstiden til materialet. Dersom man tolker resultatene etter amerikansk standard, er sandekvivalentverdien for begge materialene svært lik. Da vil sandekvivalentverdien for 2018 materialet være 73 og for 2021 materialet være 72.

Det er vanskelig å vite nøyaktig hvorfor materiale nr. 11 (2018) og materiale nr. 12 (2021) har så store avvik i sandekvivalentverdi. Mineralogi, densitet og flisighet er trolig ikke faktorer som spiller inn på avviket mellom disse prøvene, siden resultatene fra testene viser liten variasjon mellom prøvene i disse parameterne. Fra analysene av kornkurver er 2018 materialet noe grovere, dette kan være medvirkende årsak til variasjonen i sandekvivalentverdi. Det er likevel urimelig å anta at en så liten forskjell i kornkurveforløp for finstoffet skal gi 20% utslag på sandekvivalentttesten. Det er derfor variasjonen i setningstid som gjør at resultatet fra prøvene varierer.

4.4.10 Sandekvivalent oppsummering

I tabell 4-7 er de ulike materialegenskapene oppsummert, og tabellen viser hvor stor påvirkningsgrad disse har for resultatet av sandekvivalenttesten.

Tabell 4-7: Oppsummering av hvordan ulike materialegenskaper påvirker resultatet fra sandekvivalenttesten.

Faktorer	Påvirkning	Determinants-koeffisient (isolert materialegenskap)	Determinants-koeffisient*
Finstoffinnhold	Veldig stor	0,95	0,61
Flisighet	Lav		0,14
Densitet	Ingen		0,01
Glimmerinnhold	Medium	0,87	0,24
Setnignstid**	Stor		
Metylenblå	Ingen		0,01
Abrasive egenskaper	Lav		0,18

* Materialegenskapen er ikke isolert

** Ved testing i henhold til europeisk standard

Med isolert materialegenskap menes at testen er gjennomført når enkelte materialegenskaper sin påvirkning på resultatet er redusert så mye som mulig. I noen tester har det ikke latt seg gjøre å isolere materialegenskapen som er undersøkt, og for disse kan andre materialegenskaper være med på å påvirke resultatet. Et eksempel på en isolert materialegenskap er testene av finstoffinnhold. Da har de ulike testene kun variasjon i finstoffinnhold, mens de andre materialegenskapene (glimmerinnhold, flisighet densitet, osv.) varierer derfor ikke.

Finstoffinnholdet har veldig stor påvirkning på resultatet. Økende finstoffinnhold har vist seg å gi reduksjon i sandekvivalentverdi, og dette forholdet er tilnærmet linjært. Dersom prøvene skal kunne testes uavhengig av finstoffinnhold må finstoffet kontrolleres nøye og resultatene ses i sammenheng med finstoffinnholdet i prøven. For at sandekvivalentverdier skal kunne sammenliknes med andre resultater må ulike materialer beregnes tilbake til likt finstoffinnhold. Modell 1 i denne masteroppgaven er en forslått metode for å kunne sammenlikne materialer med ulikt finstoffinnhold

Dagens standard tillater ikke testing på mer enn 10 % finstoff. Av materialene testet i denne masteroppgaven har samtlige mer enn 10% finstoff, som innebærer at etter standard kan ingen av materialene testes slik de er levert til laboratoriet. Derom prøver blandes for å redusere finstoffinnholdet er det en risiko for å endre materialegenskapene i forhold til prøven som er levert. Et eksempel på dette er materialet fra Lauvåsen, hvor en reduksjon av finstoffet fra 22% til 10% ga et veldig stort utslag i sandekvivalenttesten, betydelig mer enn forventet.

Flisighetsindeksen fra prøvene testet tyder resultatene på at økende flisighetsindeks for materialene reduserer sandekvivalentverdien. Likevel er denne sammenhengen ikke like tydelige som ved finstoffinnhold, så det kan ikke utelukkes at tilfeldigheter er med på å påvirke resultatene. Også med tanke på at flisighetsindeksen til materialene ikke er isolert som egenskap.

Mye tyder på at **densiteten** til materialet ikke påvirker resultatet av sandekvivalenttesten.

Glimmerinnholdet indikerer i testene hvor materiale nr. 2 blandes med flogopitt at det er en tydelig sammenheng mellom økning i glimmerinnhold og reduksjon i sandekvivalentverdi. Ser man på glimmerinnhold i opprinnelige prøver og

sandekvivalentverdien er sammenhengen mindre tydelig. Dette er fordi flere andre faktorer påvirker resultatet av testen. I tillegg er glimmerinnholdet i de opprinnelige prøvene lavere enn 25%.

Metylenblå har tilsynelatende ingen sammenheng med sandekvivalentverdien til materialet i disse testene. Forfattere tidligere har både funnet og ikke funnet sammenhenger. Dette kan ha sammenheng med at metoden er svært personavhengig da resultatet av testen er en visuell vurdering av blåfarge i en halo.

Setningstiden til materialet har dersom testen gjennomføres i henhold til europeisk standard stor påvirkning på resultatet av testen. Denne egenskapen er problematisk ved at den påvirker ulikt for forskjellige materialer. Materialer som settes raskt har mindre påvirkning enn materialer som brukes lang tid. Betydningen av setningstiden er tydelig vist i forskjellene på materialene fra Vassfjell, beskrevet nærmere i

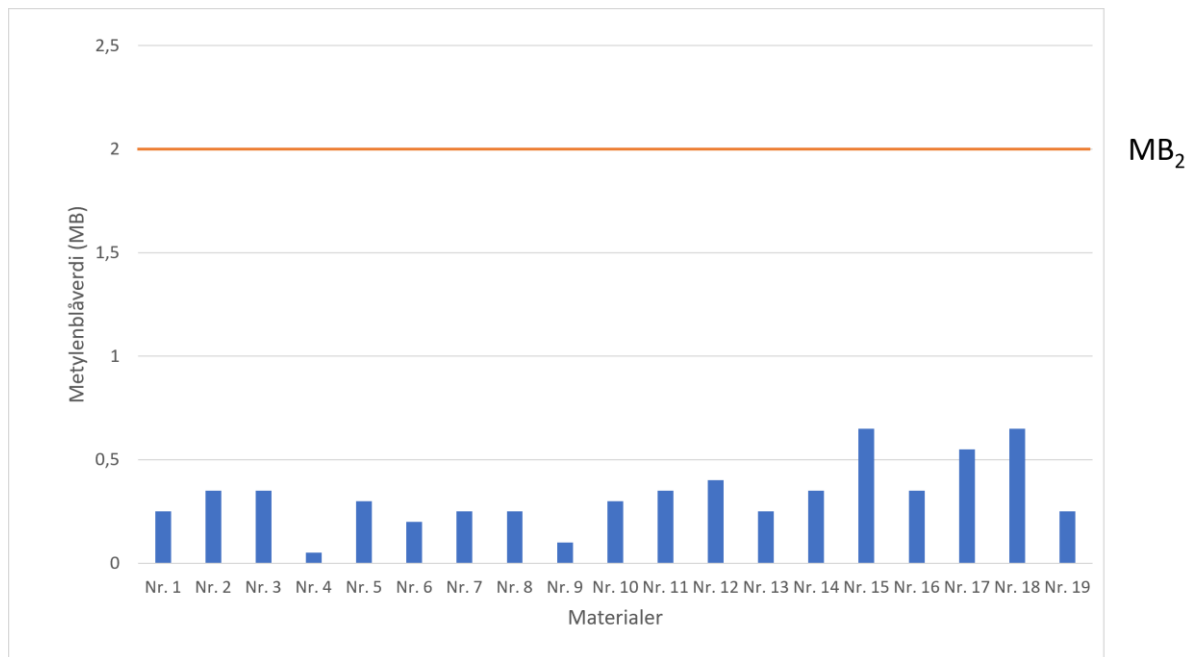
4.4.9 Anomali for materiale nr. 11 og 12 fra samme forekomst. Materialet fra 2018 og 2021 er tilsynelatende likt, men setningstiden gjør at forskjellene i sandekvivalentverdi varierer med mer enn 20%.

Årsaken til lang setningstid for enkelte materialer er fortsatt usikker, og må undersøkes videre. Dersom setningstiden ikke har betydning for en asfalts kvalitet, burde metoden endres slik at denne parameteren ikke gir utslag i sandekvivalenttesten. Dette kan gjøres ved å justere standarden mot den amerikanske metoden. Det vil si at dersom en test ikke er ferdig satt etter 20 minutter, kan man vente inntil 10 ekstra minutter før leiravlesningen gjennomføres. Dette vil gi materialet mer tid til å settes, og ekskludere påvirkningen av lang setningstid for de forskjellige materialene.

De **abrasive egenskapene** tyder på at kan ha en svak tendens at høyere micro-Deval verdi gir lavere sandekvivalentverdi. Likevel er det mulig at denne sammenhengen kan forklares med hvordan materialer blir produsert. Pukkverk som driver på materialer med gode abrasive egenskaper bruker ofte bedre utstyr enn produsenter som henter ut dårligere masser. Dette kan gjøre at kvaliteten på finstoffet er dårligere i svakere masser på grunn av måten disse er produsert på. Dette gjelder spesielt mengden finstoff som blir produsert.

4.5 Metylenblåmetoden

Resultatene fra testing av metylenblå har lite variasjon for knuste samfengte materialer. Materialene med kornstørrelse 0-2 mm varierer i verdi mellom 0,05 og 0,65. I gjeldende standard for bundne materialer (Standard Norge, 2002a) fra 2002 er det ingen spesifiserte kategorier med verdier for metylenblåmetoden, men i standarden fra 2013 som er trukket tilbake, angis strengeste kategori for samfengt tilslag med verdier (≤ 2) (Standard Norge, 2013b). Samtlige materialer tilfredsstiller denne kategorien. Figur 4-31 viser resultatene for de ulike materialene testet på fraksjonen 0-2 mm.

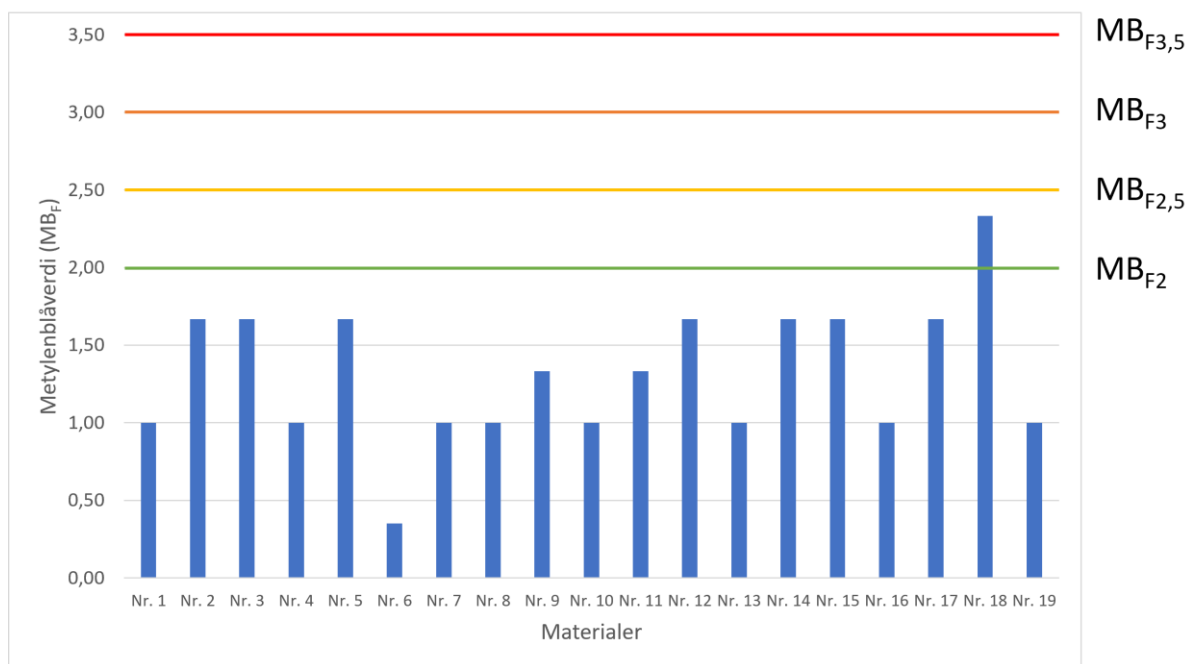


Figur 4-31: Metylenblåverdier (0/2mm) for de ulike materialene. Oransje linje er strengeste krav som stilles i henhold til NS-EN 13043 (Standard Norge, 2013b).

Sammenlignet med sandekvivalentmetoden har resultatene for metylenblåmetoden betydelig mindre variasjon. Metylenblåmetoden benyttes i hovedsak til å påvise skadelig finstoff som svelleleire. Materialene i denne oppgaven er produsert i pukkverk, og finstoffet som er i knuseproduktene har som regel ikke svellende egenskaper. Hvis et pukkverk ligger i tilknytning til svakhetssoner og slepper må man imidlertid være oppmerksom på muligheten for innslag av svelleleire.

Siden materialene er valgt ut med tanke på å ha stor variasjon i mekanisk kvalitet, indikerer resultatene at metylenblåmetoden ikke er godt egnet til å skille mellom finstoffinnhold for denne typen materialer. Men resultatene dokumenterer fravær av skadelig finstoff.

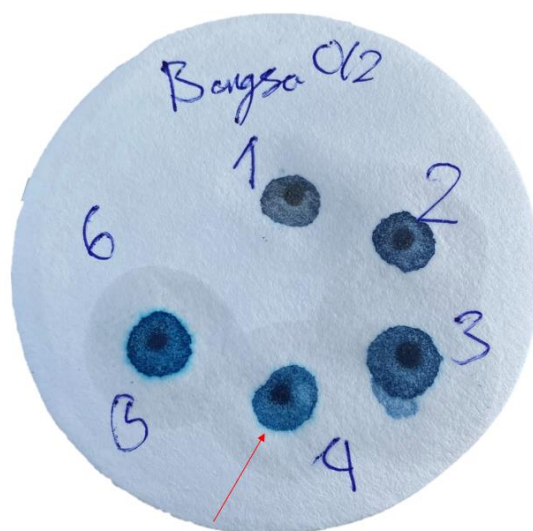
Resultatene fra testing av fraksjonen 0-0,125 mm gir et større spenn i resultatene sammenlignet med kravene som kan stilles til fraksjonen. For denne fraksjonen er den strengeste kategorien i henhold til tilbaketrasket standard fra 2013 for ubudne materialer, dvs. metylenblåverdi ≤ 2 (Standard Norge, 2013b). Kun ett materiale går over denne grenseverdien. Resultatene fra testene med 0/0,125 mm er vist i figur 4-32. Kategoriene ellers er MB_{F2} , $MB_{F2,5}$ og MB_{F3} .



Figur 4-32: Metylenblåverdier (0/0,125mm) for de ulike materialene. Linjene er krav som stilles i henhold til NS-EN 13043(Standard Norge, 2013b).

Mukhopadhyay et al. (2013) beskriver testen som en svært subjektiv testmetode, og dette stemmer godt overens med hvordan opplevelsen ved gjennomføring av metylenblåmetoden var. Metoden er i sin helhet vurdert som svært personavhengig, og ulike operatører vil med stor sannsynlighet gi like materialer svært ulikt metylenblå verdi. Dette er fordi det endelige resultatet vurderes visuelt, og går ut på hvorvidt haloen på filtrerpapiret er tydelig nok.

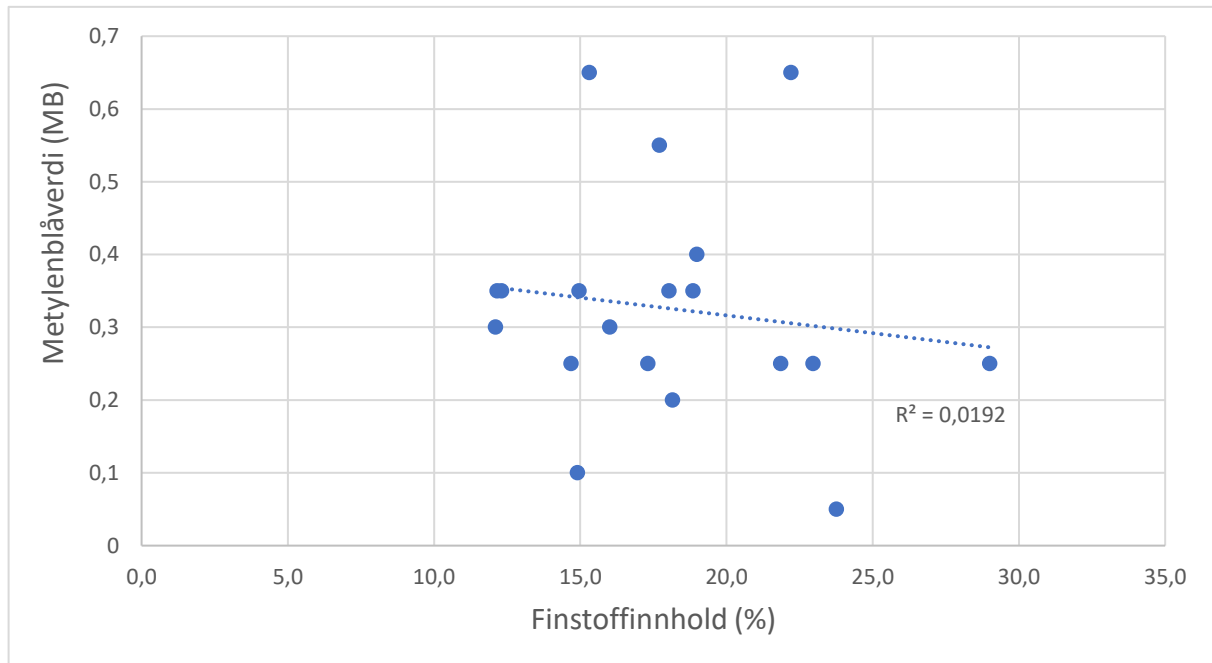
Ulike materialer gir svært forskjellige nyanser av blåfarge og hvor tydelig haloen til sirkelen er varierer mye. I figur 4-33 med material nr. 2 er sirkelen tydelig i forhold til flere andre materialer. I flere av testene må man gå til overmettet prøve og videre beregne tilbake hvor man tror løsningen var mettet med metylenblå. Dette gir en større usikkerhet til prøvene, og resultatene er dermed mer usikre. Bruk av kolorimetri, som er nevnt tidligere fra Bablouzian et al. (2013), fjerner den menneskelige usikkerheten ved bestemmelse av resultatet. Dette gjør at resultatene mellom ulike operatører av testen på en bedre måte kan sammenliknes, siden resultatet da vurderes av en ikke menneskelig faktor. Dette kan gi metoden større sikkerhet i vurdering av ulike materialer.



Figur 4-33: Resultat av metylenblåtest. En visuell vurdering av blåfarge bestemmer når prøven er ferdig.

4.5.1 Finstoffinnhold

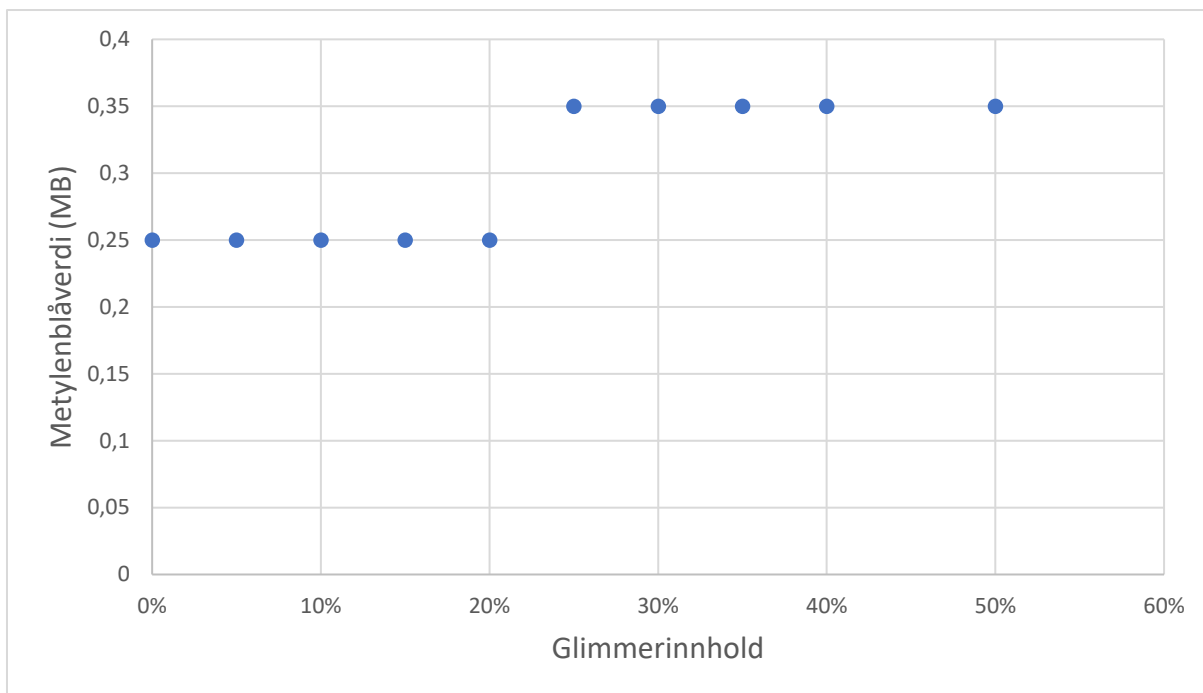
Det er ingen sammenheng mellom finstoffinnholdet og metylenblå verdien for 0-2 mm materialet, se figur 4-34. Det er en viss usikkerhet i hva finstoffinnholdet i prøven er, siden finstoffinnholdet ikke kan testes etter gjennomført metylenblåtest. Mengden finstoff er tatt fra sandekvivalentmetoden for tilsvarende materialer. Dette kan ha betydning for resultatet, men med stor sannsynlighet har høyt finstoffinnhold liten påvirkning på resultatet fra metylenblåmetoden.



Figur 4-34: Metylenblåverdi plottet mot finstoffinnholdet i prøvene.

4.5.2 Glimmerinnhold

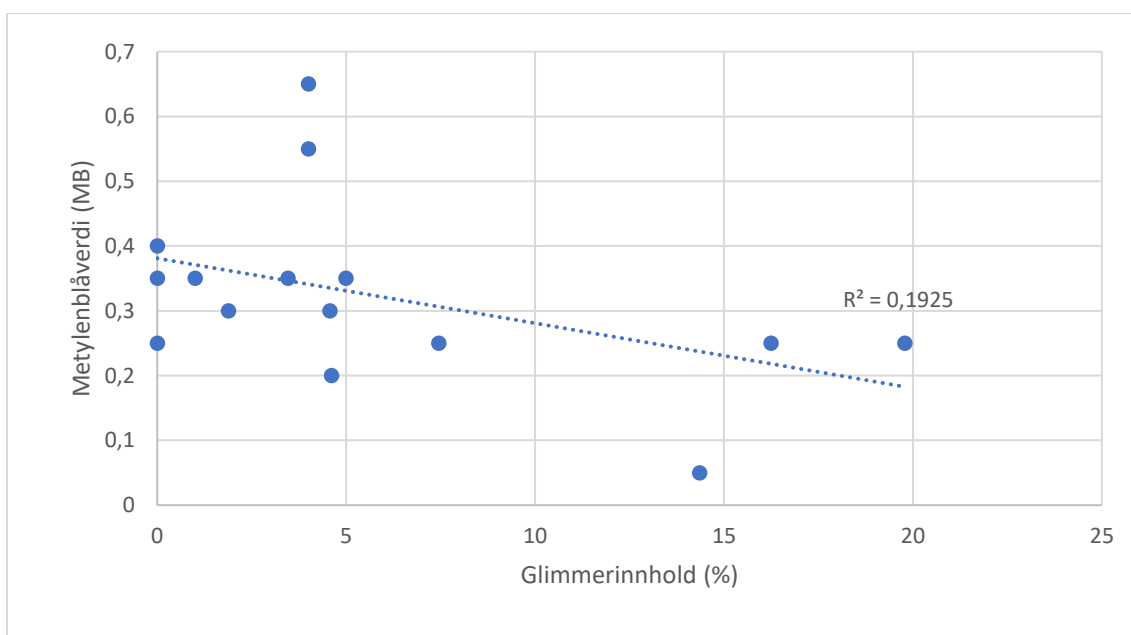
For prøvene med glimmerblanding indikerer resultatene tvetydig. Den første delen av prøven er fra glimmerblandingene, og resultatene er vist i figur 4-35. Resultatene fra denne delen viser at metylenblå verdien stiger noe ved økende glimmerinnhold. Av dataene ser man et tydelig sprang ved 25% glimmerinnhold at metylenblå verdien øker. Dette spranget er så lite at andre årsaker kan være grunnen.



Figur 4-35: Metylenblåverdi plottet mot glimmerinnholdet i prøver blandet med flogopitt.

Uansett er en endring på 0,1 i metylenblå verdi av liten betydning. Det strengeste kravet ($MB \leq 2$) som stilles til denne materiale i Norge er betydelig høyere enn hva metylenblå verdien til prøven har ved 50 % glimmerinnhold. Derfor tyder mye på at metylenblåtesten ikke påvirkes betydelig av glimmerinnholdet i prøven

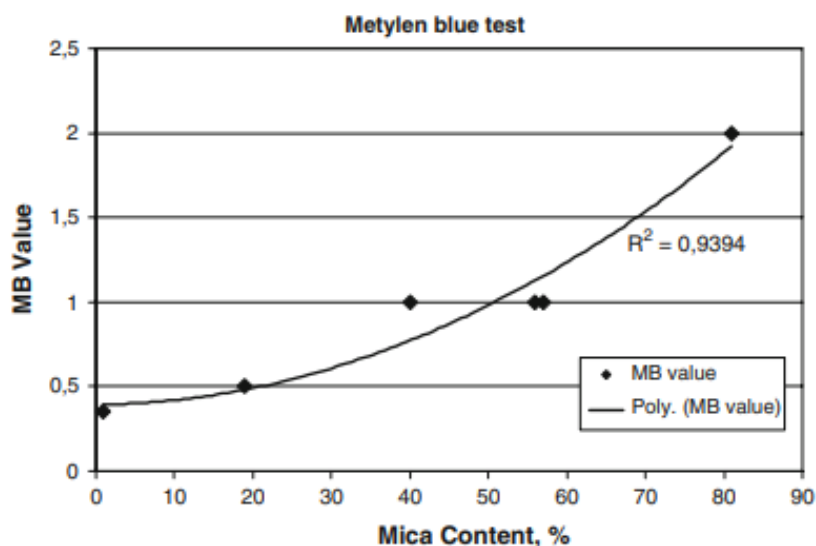
Fra glimmerinnholdet fra XRD har metylenblåverdien en motsatt sammenheng i forhold til glimmerblandingene. Resultatene i figur 4-36 indikerer resultatene at metylenblå verdien reduseres ved økende glimmerinnhold. Material nr. 9 er også i denne delen forkastet da glimmerinnholdet fra XRD er antatt å være for høyt i analysene.



Figur 4-36: Metylenblåverdi plottet mot glimmerinnholdet fra XRD i opprinnelige

Siden resultatene gir motsatt tendens, og fordi prøvene med glimmerblanding ga liten indikasjon på at glimmerinnhold påvirker prøvene, er det antatt at andre materialeegenskaper påvirker metylenblå verdien. Metylenblåtesten antas derfor ikke som egnet til å fange opp variasjoner i glimmerinnhold.

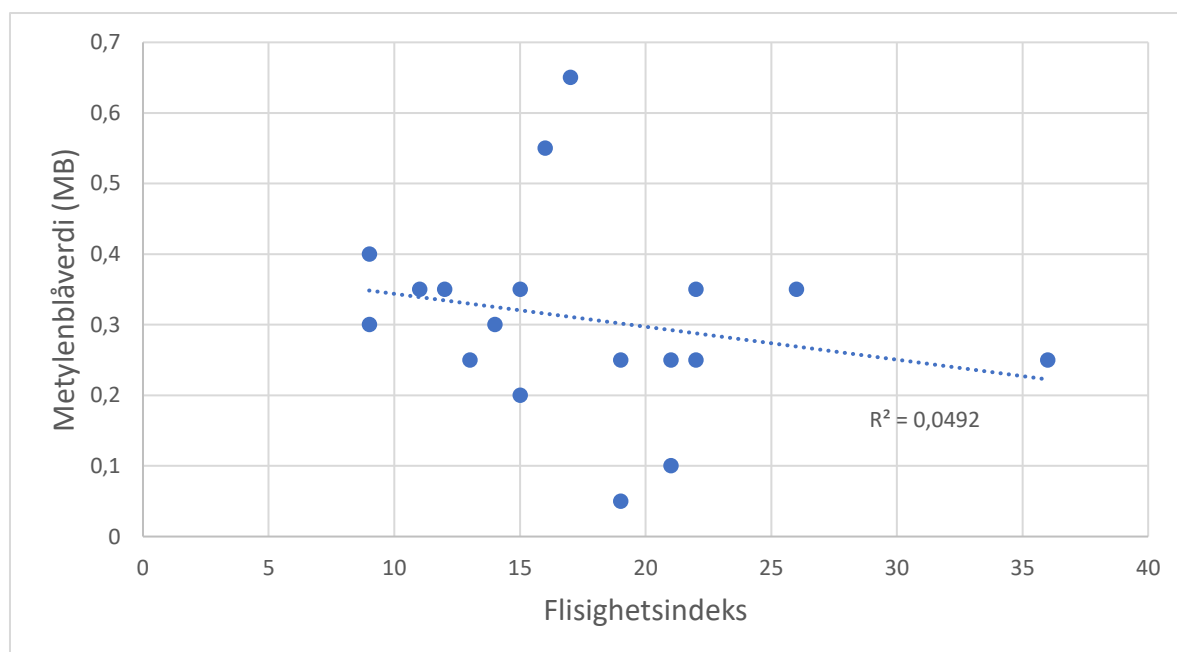
Resultatene fra testing med metylenblåmetoden strider med hvordan Kondelchuk og Miskovsky (2009) mente metylenblåtesten reagerte på materialer med varierende mengde glimmerinnhold. I testene til Kondelchuk og Miskovsky er kun seks materialer testet, og glimmerinnholdet er ikke isolert som egenskap. Det kan derfor ikke utelukkes at andre materialeegenskaper påvirker utfallet av testen og at trenden i figur 4-37 kan forklares med det.



Figur 4-37: Korrelasjon mellom metylenblåverdien og glimmerinnholdet (Kondelchuk og Miskovsky, 2009).

4.5.3 Flisighet

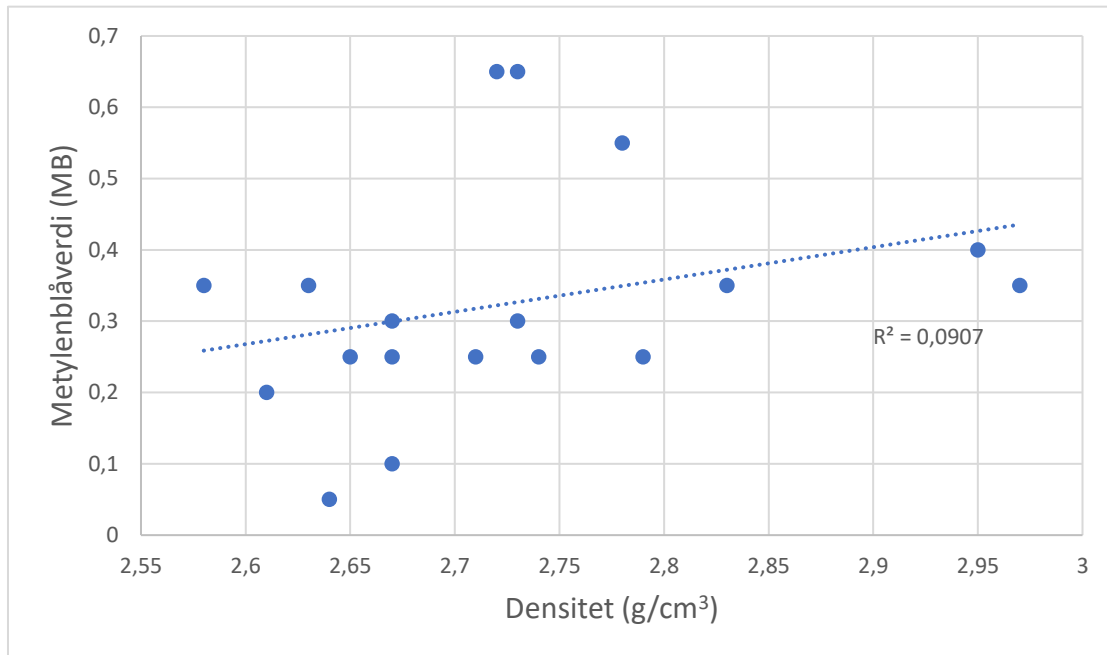
Som ved sandekvivalentmetoden er det en svak avtagende trend i metylenblå verdi når flisighetsindeksen øker. Determinantskoeffisienten er i dette tilfellet 0,05, som indikerer ingen eller veldig liten sammenheng. Resultatene er presentert i figur 4-38.



Figur 4-38: Metylenblåverdien plottet mot flisighetsindeksen til de opprinnelige prøvene.

4.5.4 Densitet

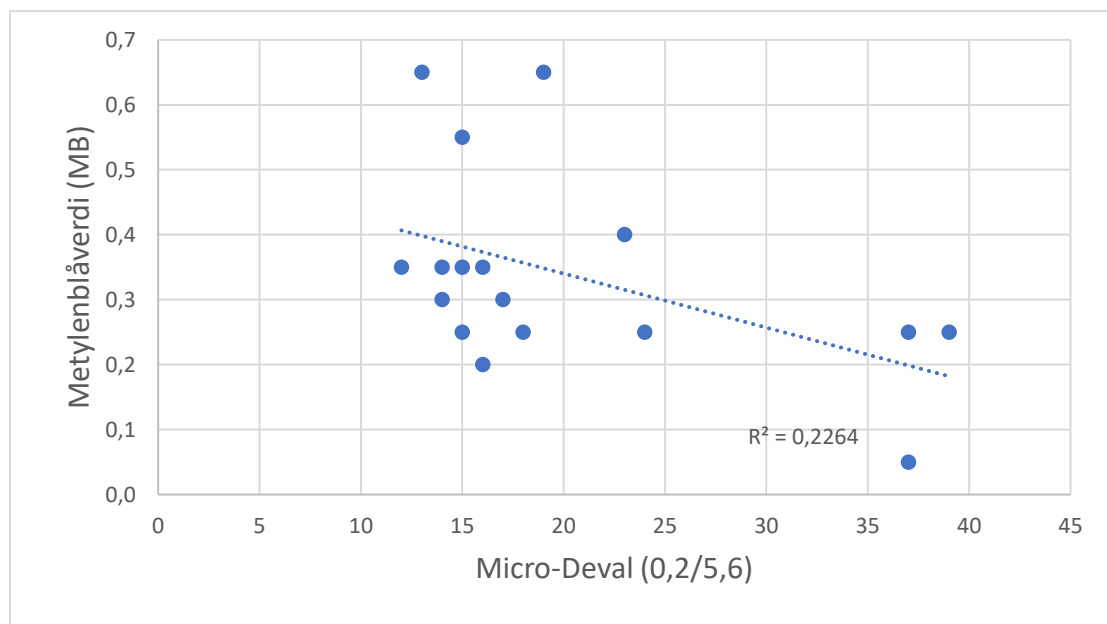
Ved økende densitet tyder resultatene på at metylenblå verdien stiger marginalt. Hvorvidt denne sammenhengen er tilfeldig eller er med på å påvirke resultatene er vanskelig å vurdere med sikkerhet. Resultatene er vist i figur 4-39.



Figur 4-39: Metylenblåverdi plottet mot densiteten til de opprinnelige materialene.

4.5.5 Abrasive egenskaper (micro-Deval)

I figur 4-40 er sammenhengen mellom micro-Deval og materialenes metylenblåverdi vist. En svak tendens er at ved materialer med dårligere abrasjonsegenskaper også gir lavere metylenblåverdi. Denne sammenhengen kan med trolig forklares på samme måte som ved korrelasjon mellom micro-Deval verdi og resultatet fra sandekvivalentmetoden med at tilslagsmateriale med bedre abrasive egenskaper er produsert med bedre utstyr og dermed har bedre kvalitet på finstoffet.



Figur 4-40: Metylenblåverdi plottet mot micro-Deval verdien for de opprinnelige materialene.

4.5.6 Metylenblå oppsummering

Resultatene fra forsøkene med metylenblå har ikke gitt resultater som er gode nok til å konkludere med. Dette kan ha sammenheng med at materialene testet har svært lav metylenblå verdi. Variasjonen i materialene er dårlig, og det er derfor mulig at tilslagsmaterialer fra knust fjell ikke gir variasjoner av betydning.

Metoden er gjennom testing vurdert til å være svært operatørvhengig, og derfor kan det være interessant å gjennomføre ringanalyser på metoden for å undersøke hvordan variasjonene i resultatene er mellom ulike operatører. Den modifiserte metoden med kolorimeter beskrevet av Bablouzian et al. (2013) og Mukhopadhyay et al. (2013) vil også fjerne den menneskelige vurderingen i forsøkene.

Som vist i tabell 4-8 er korrelasjonen mellom de ulike materialeegenskapene og metylenblåverdien svært lav i alle forsøkene. Korrelasjonen med abrasive egenskaper kan som ved sandekvivalentmetoden trolig også forklares med forskjellen på hvordan høykvalitets og lavkvalitets tilslagsmateriale produseres.

Tabell 4-8: Ulike materialeegenskapers påvirkning på resultatet av metylenblåtesten.

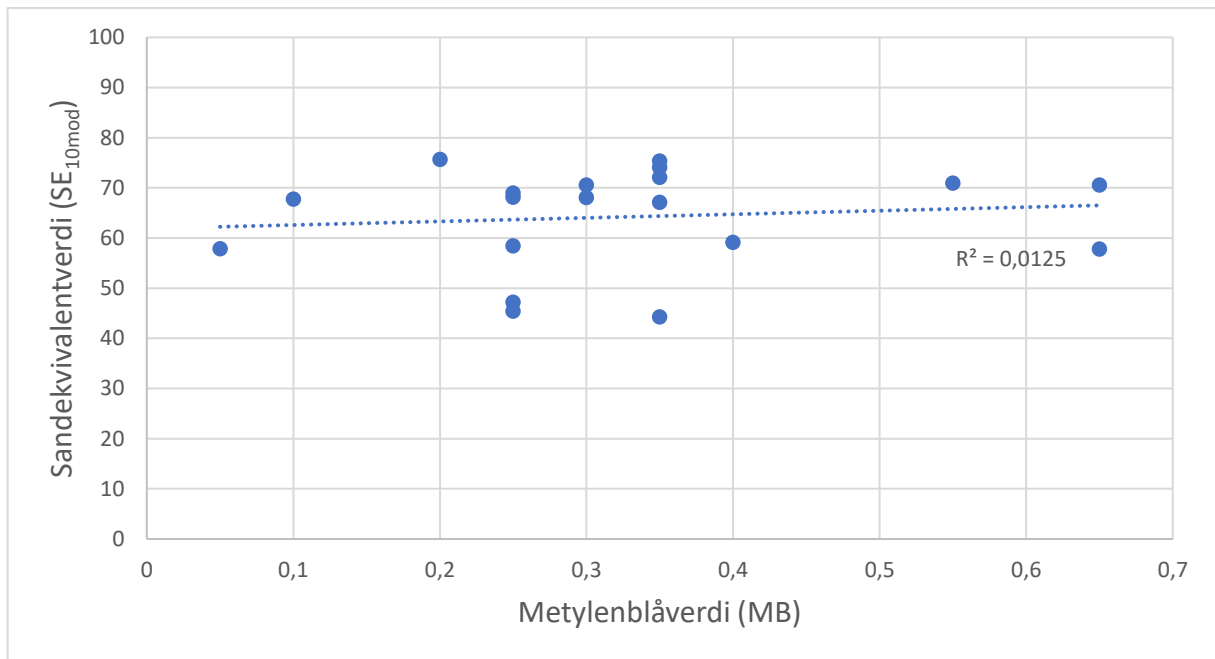
Faktorer	Påvirkning	Determinantskoeffisient
Finstoffinnhold	Ingen	0,02
Flisighet finstoff	Ingen/Lav	0,05
Densitet	Ingen/Lav	0,09
Glimmerinnhold	Usikker	-
Sandekvivalent	Ingen	0,01
Abrasive egenskaper	Lav	0,22

4.6 Korrelasjon mellom metylenblå- og sandekvivalentmetoden

Tidligere har Fournari og Ioannou (2019) funnet en god sammenheng mellom sandekvivalentverdien og metylenblå verdien til et materiale. I denne masteroppgave er det ikke påvist noen sammenheng mellom resultatene fra de to testmetodene. I figur 4-41 er SE_{mod10} og metylenblå verdien for materiale 0-2 mm sammenlignet. Resultatene tyder på ingen sammenheng. På samme måte har sandekvivalentverdiene (Standard, originalt finstoffinnhold) ingen sammenheng med noen av metylenblå verdiene for de ulike fraksjonene (0-2mm, 0-0,125 mm).

Grunnen til dårlig sammenheng mellom testmetodene kan være at metylenblå- og sandekvivalentmetoden undersøker forskjellige materialeegenskaper. Metylenblåmetoden måler den spesifikke overflaten til et materiale, mens sandekvivalentmetoden undersøker hvordan finstoffet i en prøve oppfører seg i vann. Den spesifikke overflaten til et materiale er derfor antatt å ha liten til ingen påvirkning på sandekvivalenttesten.

En av årsakene til store avvik mellom resultatene i denne oppgaven og resultatene til Fournari og Ioannou (2019) kan være avviket i materialvalg i studiene. Fournari og Ioannou har betydelig større mengde sedimentære bergarter i testene, og korrelasjonen de har funnet kan ha sammenheng med sedimentære bergarters egenskaper.



Figur 4-41: Sammenheng mellom modellert sandekvivalentverdi og metylenblåverdi for undersøkte materialer.

Sammenliknes resultatene fra metylenblåmetoden fra denne masteroppgaven med verdiene fra Fournari og Ioannou er det svært store forskjeller i resultatene. Flere av materialene undersøkt av Fournari og Ioannou har metylenblåverdier over grenseverdien på 2 for fraksjonen 0-2mm. I denne masteroppgaven har samtlige bergarter lavere metylenblå verdi enn 1.

Tugrul og Yilmaz (2012) har i sine tester også fått tilsvarende resultat som Fournari og Ioannou, mens Nikolaidis har landet på samme resultat som i denne oppgaven. Fra tidligere undersøkelser er det svært vanskelig å konkludere med hvordan korrelasjonen er mellom metylenblå- og sandekvivalentverdien.

Det er mulig at ulike typer bergarter kan gi varierende sammenhenger mellom sandekvivalent og metylenblå. Fournari og Ioannou har i sine analyser benyttet 40 % magmatiske bergarter og 60 % kalksteiner, mens Tugrul og Yilmaz kun har sett på sandsteiner. Nikolaidis et al. (2007) har gjennom sine undersøkelser kun skilt bergartene på kalkstein og ikke kalkstein, hvor han har brukt halvparten av hver.

En annen årsak til at enkelte forfattere finner sammenheng mellom metodene og andre ikke kan være at resultatene fra metylenblå kan være personavhengig. Resultatene er tolket av en halo, som har varierende synlighet mellom ulike materialer. Det er mulig å vurdere et ferdig mett materiale som ikke ferdig, dersom resultatet fortsatt er «for lavt» for vedkommende som gjennomfører testen og med dette få et resultat som passer korrelerer bedre med sandekvivalentverdien.

Sandekvivalenttesten er i denne oppgaven endret betydelig i forhold til standardisert testing. Resultatene til testen er kjørt gjennom en modell som korrelerer sandekvivalentverdien med prøvens finstoffinnhold. Dette kan være med på å påvirke hvorvidt resultatene i denne masteroppgaven passer mot tidligere arbeid.

5. Konklusjoner

Resultatene fra testingen har vist at sandekvivalentmetoden mulig kan være egnet som testmetode på tilslag til asfalmørtel. Det er likevel et behov for å tilpasse metoden slik at resultatene er reproducerbare og at prøvene testes mot tilsvarende materialegenskaper. Metylenblåmetoden er vurdert som mindre egnet for tilslag til asfalmørtel siden resultatene for denne typen materialer gir liten variasjon.

5.1 Sandekvivalentmetoden

Forskningsspørsmål 1: Hvilke materialegenskaper påvirker resultatet av metylenblå- og sandekvivalentttesten?

For sandekvivalentmetoden er det flere faktorer som ser ut til å ha innvirkning på resultatet. Finstoffinnholdet er det vist gjennom tester at har stor betydning for resultatet av testen. Denne faktoren er i dag på mange måter kontrollert av metoden, som ikke tillater mer enn 10% finstoff. Til tross for at resultatene tyder på at det er variasjoner i sandekvivalentverdi innenfor finstoffinnhold mellom 0-10%. Høyt finstoffinnhold viser seg å gi en reduksjon i sandekvivalentverdi.

Glimmerinnholdet viser seg også å påvirke testene ved at økende glimmerinnhold reduserer sandekvivalentverdien. Dette er vist både gjennom tester som isolerer glimmerinnholdet og tester hvor naturlig glimmerinnhold i prøvene er sammenliknet mot sandekvivalentverdien til de ulike materialene.

Forskningsspørsmål 2: Hvordan kan standardene tilpasses bruk på steinmateriale fra knust fjell?

For sandekvivalentmetoden er det relativt store avvik mellom amerikansk og europeisk standard. Disse avvikene går i hovedsak på preparering, prøvemengde, finstoffinnhold og setningstid. Det er viktig at metodene i standardene tester materialet mot de samme egenskapene, slik at resultater fra tester kan sammenliknes på en bedre måte. I alle fall er det viktig å presisere hvilken standard som er brukt.

Gjennom testing er det kommet frem til følgende forslag på hvordan amerikansk og europeisk standard burde endres, ved å ta det beste fra begge standardene:

Preparering og prøvemengden er anbefalt å gjøres i henhold til en kombinasjon av amerikansk og europeisk standard. Preparering anbefales å skje i henhold til «Procedure A» i amerikansk standard. Dette innebærer å ta ut minimum 1500g uten å splitte materialet. Videre burde prøven tørkes og prøvemengden tas ut i henhold til europeisk standard med 120g materiale fra de 1500g som er tørket. Dette muliggjør å kontrollere finstoffinnholdet i prøven etter testing siden prøvemengden er kjent.

For *finstoffinnholdet* anbefales som i den amerikanske standarden det å akseptere over 10%. Samtlige av de 19 prøvene levert med tilslagsmateriale til asfalmørtel til denne oppgaven overskrider 10% finstoffinnhold for 0/2 mm massen. Likevel er mengden finstoff viktig å ta med i beregningene for resultatet av testen, da dette påvirker resultatet betydelig. Modell 1 i denne oppgaven er forslått som metode for å inkludere finstoffinnholdets betydning.

Setningstiden, tiden materialet får til å synke til bunn av sylindren, anbefales å følge amerikansk standard. Dette innebærer å la prøven stå i minimum 20 minutter. Dersom prøven ikke er ferdig satt etter denne tiden burde den gis inntil ytterligere 10 minutter før

leiravlesningen leses av. Fra undersøkelser anbefales det å definere en prøve som «ferdig satt» dersom leiravlesningen synker med mindre enn 2mm på 2 minutter.

Forskningsspørsmål 3: Hvordan påvirker økt glimmerinnhold resultatet av testene? Kan metodene brukes som erstatning for glimmertelling?

Økt glimmerinnhold har med stor sannsynlighet påvirkning på resultatet, hvor trenden fra resultatene viser at økt glimmerinnhold reduserer sandekvivalentverdien til et materiale. Likevel er det veldig mange andre materialegenskaper som også påvirker resultatet av testen. Dette gjør at metoden ikke er egnet til å nøyaktig bestemme glimmerinnholdet i prøvene som testes, og kan derfor ikke erstatte metoden glimmertelling.

Forskningsspørsmål 4: Hvordan er sammenhengen mellom resultater fra metylenblå- og sandekvivalentmetoden?

Gjennom undersøkelser i denne masteroppgaven er det ikke funnet noen sammenheng mellom metodene. I tidligere undersøkelser fra andre forfattere har noen funnet sammenheng, mens andre ikke. Materialene inkludert i denne masteroppgaven har vist å ha svært lave metylenblåverdier. Det er derfor vanskelig å konkludere med sikkerhet hvorvidt resultatene fra metylenblåmetoden korrelerer med sandekvivalentmetoden.

5.2 Metylenblåmetoden

Testene gjennomført på metylenblåmetoden har ikke gitt resultater som kan brukes til å konkludere med hvordan metoden kan forbedres, eller hvilke materialegenskaper som påvirker resultatet. Det er derfor valgt å ikke svare på forskningsspørsmålene for denne metoden. Metoden er i sin helhet vurdert som svært operatørvhengig siden resultatet fra testen er en visuell vurdering av blåfarge på et filtrerpapir. Knust berg har også vist seg å gi svært lave verdier. Resultatene fra testene viser at samtlige materialer som er testet har lav metylenblåverdi, og ingen overskrider det strengeste kravet som stilles til denne typen materialer. Denne dårlige variasjonen i materialene gjør at eventuelle trender er vanskelig å finne.

6. Videre arbeid

Som videre arbeid anbefales det å undersøke sandekvivalentmetoden. Resultater fra denne masteroppgaven indikerer at denne metoden gir utslag på variasjoner i glimmer i materialene, det er derfor interessant å se hvorvidt dette kan bekreftes.

I denne oppgaven er kun flogopitt brukt som blandingsmateriale for glimmer. Det er av interesse å undersøke hvordan andre glimmertyper (biotitt og muskovitt) gir utslag på testen. Det kan også være interessant å se hvordan forskjellen på magmatiske og sedimentære bergarter oppfører seg i testen.

I denne oppgaven er det ikke sett på hvorvidt verdiene fra testingene plasserer seg i forhold til krav som kan stilles til metoden. Dette er fordi det er usikkerhet til hvilke grenseverdier som vil gjøre at tilslag til asfalmørtel holder tilfredsstillende kvalitet, i tillegg er sandekvivalentmetoden betydelig endret fra standardisert gjennomføring. For å kunne komme frem til krav etter metoden må det undersøkes hvordan variasjoner i sandekvivalentverdier påvirker asfalten. Dette kan undersøkes ved at materialer med kjent sandekvivalentverdi blir brukt til å lage asfalt, og videre undersøke hvordan variasjoner påvirker kvaliteten og levetiden til asfalt. Til dette kan metodene prall, wheeltrack og vedheft fra R210 (2016) brukes til undersøkelsene.

7. Referanser

- Andersen, E. O., & Telle, R. (2010). *Mørtelfasens betydning for asfaltkvalitet* (Rapport nr. 1/2010). Nordisk Vejforum.
- Arbeidstilsynet. (2011). *Grunnlag for fastsettelse av administrativ norm for for hydrogensulfid (H2S)*. Arbeidstilsynet.
- ASTM. (2014). *D2419 Plastic Fines in Graded Aggregates and Soils by Use of the Sand Equivalent Test* (AASHTO T176-17). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Bablouzian, L., Tregger, N., & Eagle, T. (2013). New Test Method For Assessing Fine Aggregate. <https://www.agg-net.com/resources/articles/others/new-test-method-for-assessing-fine-aggregate>
- Bäckström, F., & Andersson, M. (2007). *En studie om glimmers förmåga att absorbera och kvarhålla fukt genom kapillära krafter i jämförelse med finfraktion utan glimmer samt glimmers kohesiva egenskaper* [Masteroppgave, Luleå Tekniska Universitet]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1020851/FULLTEXT01.pdf>
- Cepuritis, R., NTNU. (2016). *Development of crushed sand for concrete production with microproportioning* [Doktoroppgave, NTNU]. NTNU Open. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2378870>
- Ekblad, J. (2008). Influence of water and mica content on resilient properties of coarse granular materials. *International journal of pavement engineering*, 9(3), 215-227. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10298430701551193>
- Erichsen, E., Ulvik, A., & Sævik, K. (2011). Mechanical degradation of aggregate by the Los Angeles-, the micro-Deval-and the Nordic test methods. *Rock mechanics and rock engineering*, 44(3), Article 333. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00603-011-0140-y>
- Erichsen, E., Ulvik, A., Vongraven, H., Tangstad, R., & Fossan, B. (2010). *Miljøvennlige vegdekker – Materialtekniske egenskaper for ulike testfraksjoner* (Rapport nr. 2010.065). Norges Geologiske Undersøkelse.
- Fournari, R., & Ioannou, I. (2019). Correlations between the Properties of Crushed Fine Aggregates. *Minerals*, 9(2), Article 86. <https://www.mdpi.com/2075-163X/9/2/86>
- Hoff, I. (2013). *Analyses of stress and strain in pavements* [Pensum vegteknologi, NTNU]. <https://ntnu.blackboard.com/>
- Horvli, I., & Værnes, E. (2006). *SIV - Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker. Oppsummeringsrapport* (Rapport nr. SBF53 A06013). SINTEF.
- Kondelchuk, D., & Miskovsky, K. (2009). Determination of the test methods sensitive to free mica content in aggregate fine fractions. *Journal of materials engineering and performance*, 18(3), 282-286. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11665-008-9293-6>
- Kontrollrådet. (2018). *Asfaltens Historie*. Kontrollrådet.no. Retrieved 27.05.22 from <https://kontrollbetong.no/aktuelt/asfaltens-historie/>
- Mathisen, S. (2022). *Masterstudium av micro-Deval for alternative fraksjoner* [Masteroppgave, NTNU].
- Mengede, M., Enger, M., Zegheye, M., Gerbi, B. J., Sebastiampillai, E., Ghobadi, S. M., Nsengi, G., & Thodesen, C. (2022). *Kortreist asfalt med Forlenget levetid Arbeidspakke 1: Identifisere og kartlegge forskningsutfordringer*. Universitetet i Oslo.
- Metodgruppen. (2014). *Sandekvivalent SE(10) (ver 1) Metodhandledningens användning och begränsningar. Tvättlösning [5]*. Metodgruppen. <https://docplayer.se/29187041-Sandekvivalent-se-10-ver-1-metodhandledningens-anvandning-och-begransningar-tvattlosning-5.html>
- Metso Outotec. (2022). *Gravitational air classifiers*. Metso Outotec. Retrieved 21.04.22 from <https://www.mogroup.com/products-and-services/plants-and-capital-equipment/classifiers/air-classifiers/>

- Miskovsky, K. (2004). Enrichment of fine mica originating from rock aggregate production and its influence on the mechanical properties of bituminous mixtures. *Journal of materials engineering and performance*, 13(5), 607-611.
<https://link.springer.com/article/10.1361/15477020420837>
- Mukhopadhyay, A. K., Pitre, B., Russell, A., Arambula, E., Estakhri, C., & Deng, Y. (2013). *Treatments for Clays in Aggregates Used to Produce Cement Concrete, Bituminous Materials, and Chip Seals* (Report Number: FHWA/TX-13/0-6444-1). T. A. M. T. Institute.
<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/26117>
- Nikolaides, A., Manthos, E., & Sarafidou, E. (2007). Sand Equivalent and Methylene Blue Value of Aggregates for Highway Engineering. *Foundations of civil and environmental engineering*, 10, 111-121.
- Nordahl, R., NTNU, & Hoff, I., NTNU. (2020). *Vei*. Store Norske Leksikon. Retrieved 15.05.22 from <https://snl.no/vei>
- Norges Geologiske Undersøkelse. (2022, 09.08.21). *NGU Berggrunnskart*. Nasjonal Berggrunnsdatabase. https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- Norsk Stein. (2022). *Norsk stein hjemmeside*. Retrieved 05.04.22 from <https://www.norsk-stein.no/no>
- Nycander AB. (2022). *Sand equivalent*. Retrieved 18.04 from <https://www.nycander.com/en/aggregate/products-by-category/115-sand-equivalent>
- Petkovšek, A., Maček, M., Pavšič, P., & Bohar, F. (2010). Fines characterization through the methylene blue and sand equivalent test: comparison with other experimental techniques and application of criteria to the aggregate quality assessment. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 69(4), 561-574.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10064-010-0274-2>
- Richardson, D. N. (2009). *Quick Test for Percent of deleterious Material* (Report No.: RI07-052). M. U. o. S. a. Technology. https://scholarsmine.mst.edu/civarc_enveng_facwork/39/
- Santamarina, J. C., Klein, K. A., Wang, Y. H., & Prencke, E. (2002). Specific surface: determination and relevance. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(1), 233-241.
- Schouenborg, B., & Akesson, U. (2004). Aggregate Research in support of European Standardization. *Engineering Geology of Infrastructure Planning in Europe*, 94-100.
- Standard Norge. (1999). *Prøvningsmetoder for generelle egenskaper for tilslag. Del 2: Metoder for deling av laboratorieprøver* (NS-EN 932-2).
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=142883>
- Standard Norge. (2002a). *Tilslag for bituminøse masser og overflatebehandlinger for veier, flyplasser og andre trafikkarealer* (NS-EN 13043).
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=604268>
- Standard Norge. (2002b). *Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging* (NS-EN 13242).
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=382832>
- Standard Norge. (2008). *Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag. Del 5: bestemmelse av vanninnhold ved tørking i ventilert tørkeskap* (NS-EN 1097-5).
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=337112>
- Standard Norge. (2009). *Prøvningsmetoder for geometriske egenskaper for tilslag - Del 9: Bedømmelse av finstoffinnhold - Metylenblått-metoden* (NS-EN 933-9:2009+A1:2013).
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=646960>
- Standard Norge. (2011). *Prøvningsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval)* (NS-EN 1097-1).

- <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=479403>
- Standard Norge. (2012). *Prøvingsmetoder for geometriskeegenskaper for tilslag Del 3: Bestemmelse av kornform flisighetsindeks (NS-EN 933-3)*.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=653832>
- Standard Norge. (2013a). *Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon (NS-EN 1097-6)*.
- Standard Norge. (2013b). *Tilslag for bituminøse masser og overflatebehandlinger for veger, flyplasser og andre trafikkarealer (tilbaketrukket) (NS-EN 13043)*.
- Standard Norge. (2013c). *Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging (tilbaketrukket) (NS-EN 13242)*.
- Standard Norge. (2015). *Tests for geometrical properties of aggregates Part 8: Assessment of fines Sand equivalent test (NS-EN 933-8:2012+A1:2015)*.
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=762126>
- Standard Norge. (2021). *Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval) (På høring) (NS-EN 1097-1)*.
- Statens Vegvesen. (2022). *Asfalt*. Retrieved 27.05.22 from
<https://www.vegvesen.no/fag/teknologi/vegteknologi/vegbyggingsmaterialer/asfalt/>
- Storrø, G. (1984). *Bruerveiledning for bestemmeslse av mineralogi i sandprøver*. Norges Geologiske Undersøkelse.
- Tugrul, A., & Ylmaz, M. (2012). Assessing the Quality of Sandstones for Use as Aggregate in concrete. *Magazine of concrete reseach*, 64(12), 1067-1078.
- Vegdirektoratet. (2005). *Asfalt 2005-materialer og utførelse (Håndbok 246)*. Statens Vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2016). *Labratorieundersøkelser (Håndbok R210)*. Statens Vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2018). *Vegbygging (Håndbook N200)*. Statens Vegvesen.
- Vegdirektoratet. (2022). *Bruprojektering. Prosjektering av bruer, fergekaier og andre bærende konstruksjoner (Håndbook N400)*. Statens Vegvesen.
- Wang, C. G. (2016). *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction*. Woodhead Publishing.
- Woodward, D., Woodside, A., & Jellie, J. (2002). *Clay in Rocks [SCI LECTURE PAPERS SERIES, University of Ulster]*. <https://www.slideshare.net/AnaLuz2011/clay-in-rocks>

Vedlegg A - Kart over lokasjoner til pukkverkene



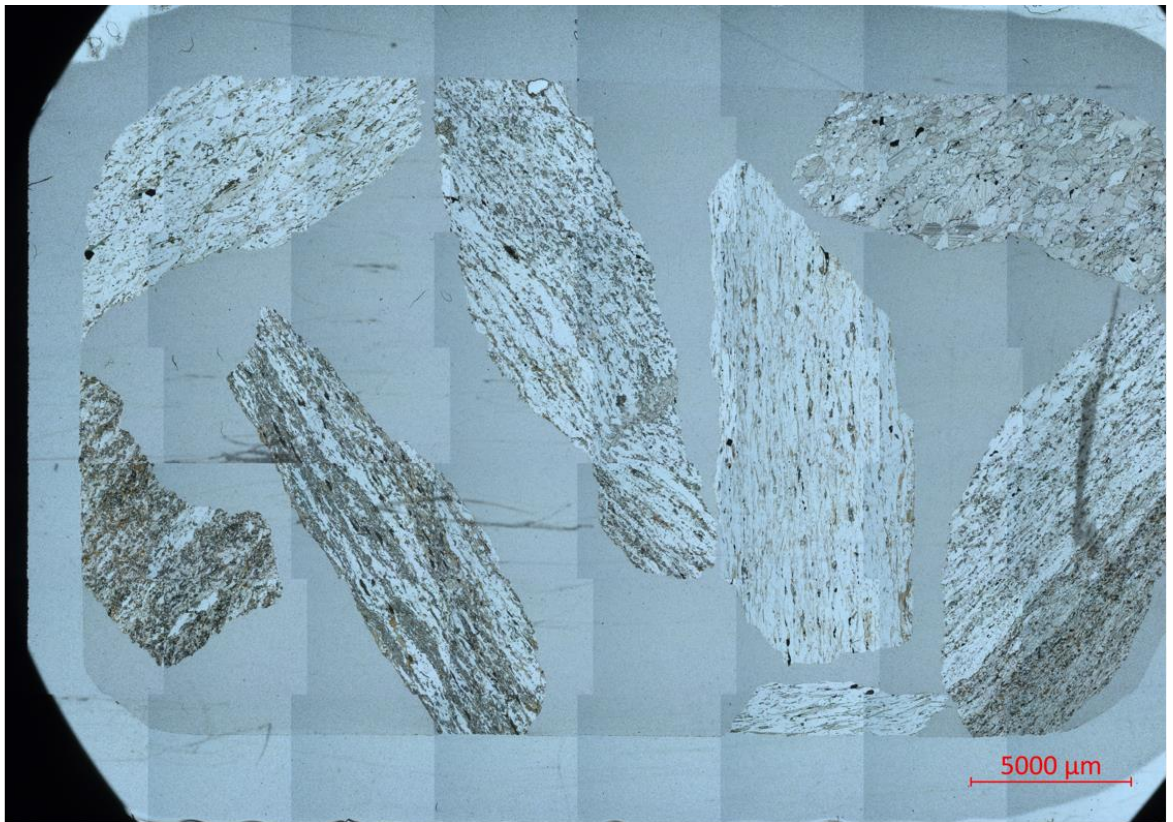
Kart over lokasjonene til de ulike pukkverkene hvor materialene er hentet ut. Nummereringen tilsvarer materialnummer til de ulike materialene gitt i kapittel 3. Kartet er laget av Arnhild Ulvik.

Vedlegg B – XRD og tynnslip

PPL:

Mat. Nr. 1
Glimmerskifer

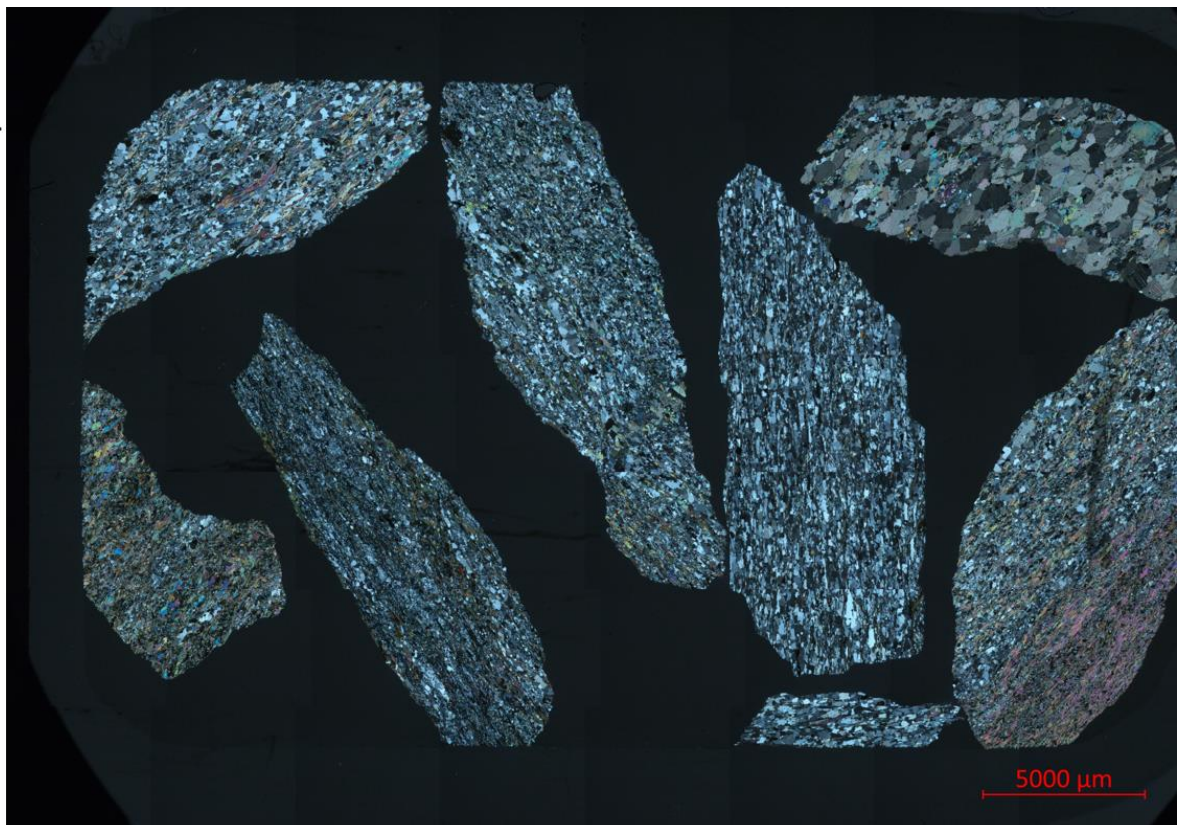
Quartz	30.46 %
Albite	16.97 %
Calcite	0.36 %
Pyrite	0.30 %
Muscovite 2M1	13.78 %
Biotite 1M Mica	5.99 %
Chlorite Ilb	9.90 %
Dolomite	1.06 %
Albite intermediate	2.40 %
Orthoclase	9.03 %
Hornblende magnesian iron	9.75 %



XPL:

Mat. Nr. 1
Glimmerskifer

Quartz	30.46 %
Albite	16.97 %
Calcite	0.36 %
Pyrite	0.30 %
Muscovite 2M1	13.78 %
Biotite 1M Mica	5.99 %
Chlorite Ilb	9.90 %
Dolomite	1.06 %
Albite intermediate	2.40 %
Orthoclase	9.03 %
Hornblende magnesian iron	9.75 %

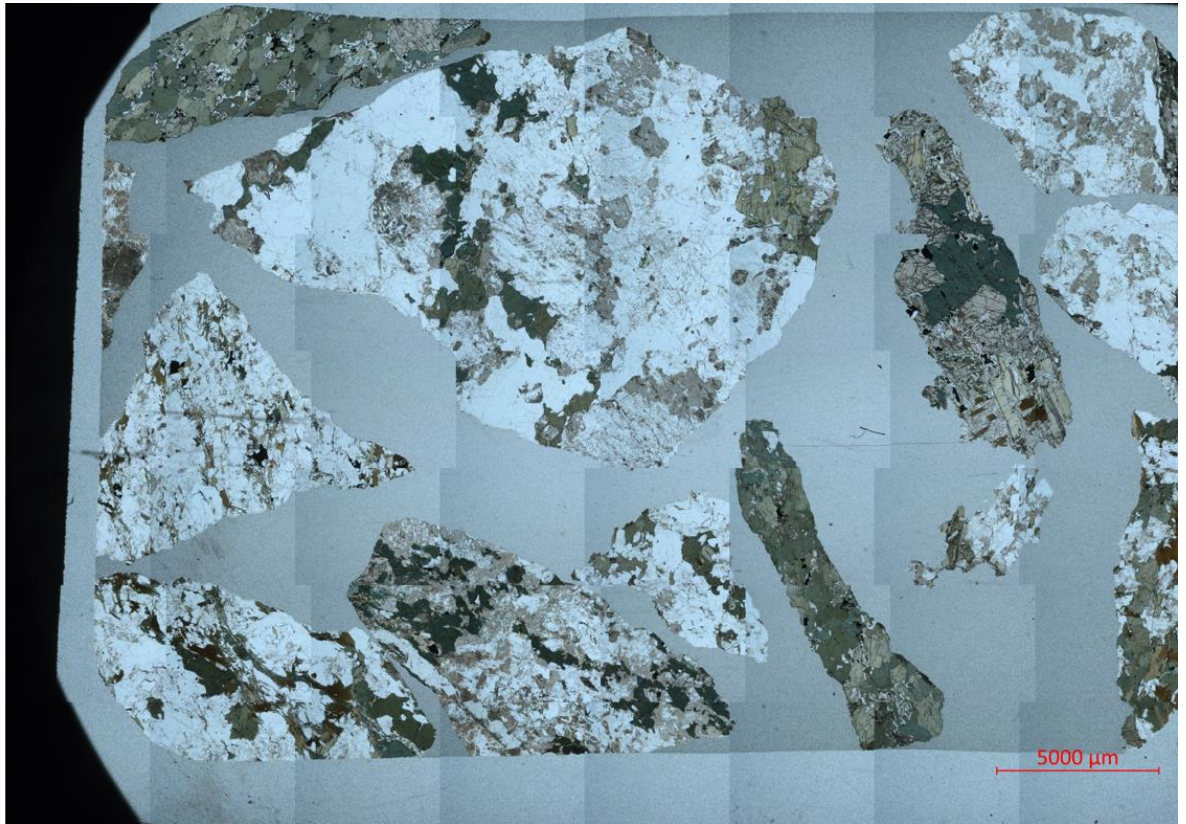


PPL:

Mat. Nr. 2

Granitt

Quartz	16.37 %
Calcite	0.07 %
Albite intermediate	35.59 %
Biotite 1M Mica	4.99 %
Hornblende magnesian iron	22.37 %
Chalcopyrite	0.40 %
Diopside	3.51 %
Chlorite lb	6.93 %
Microcline intermediate1	9.64 %
Dolomite	0.13 %

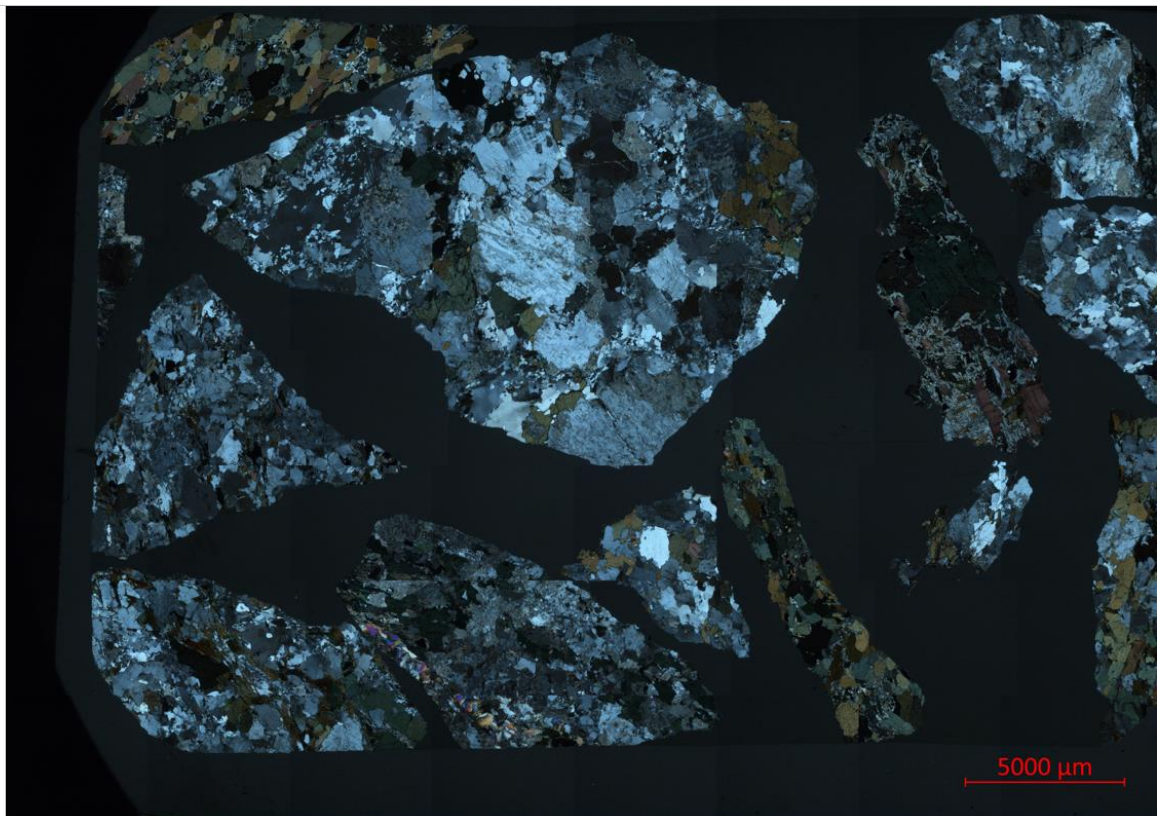


XPL:

Mat. Nr. 2

Granitt

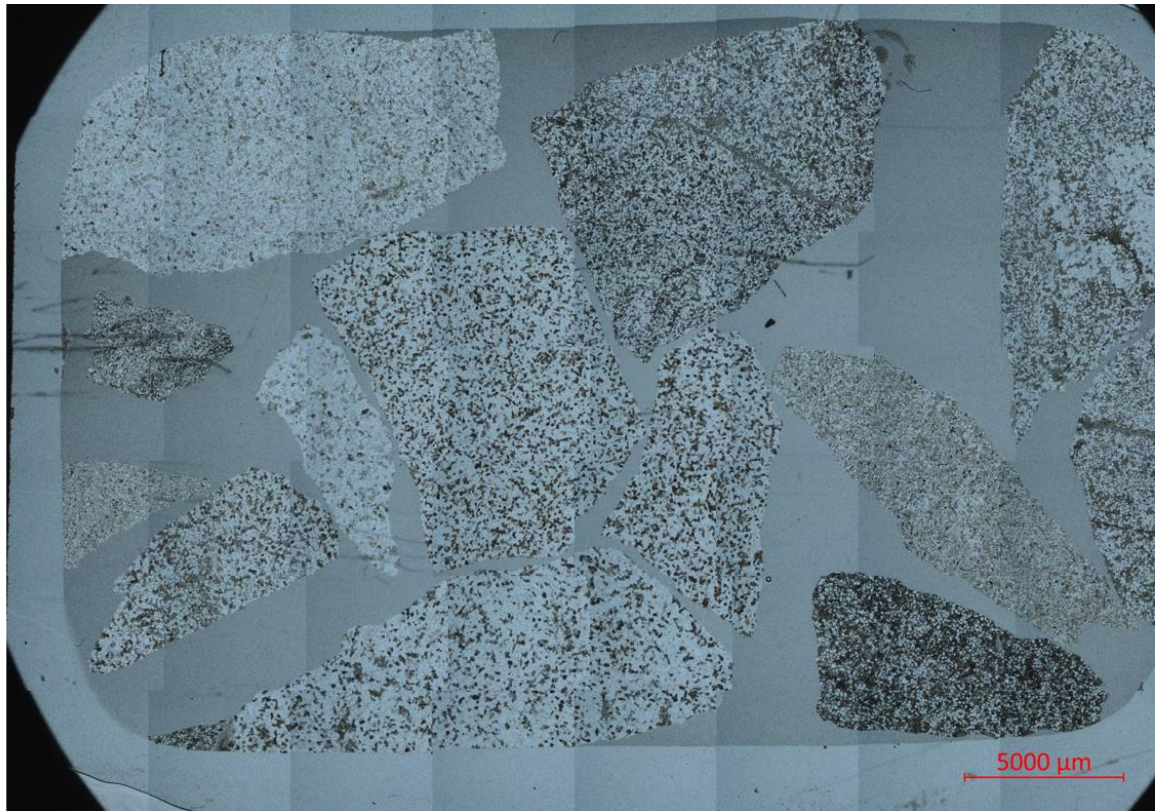
Quartz	16.37 %
Calcite	0.07 %
Albite intermediate	35.59 %
Biotite 1M Mica	4.99 %
Hornblende magnesian iron	22.37 %
Chalcopyrite	0.40 %
Diopside	3.51 %
Chlorite lb	6.93 %
Microcline intermediate1	9.64 %
Dolomite	0.13 %



PPL:

Mat. Nr 3
(lys)
Sandstein/hornfels

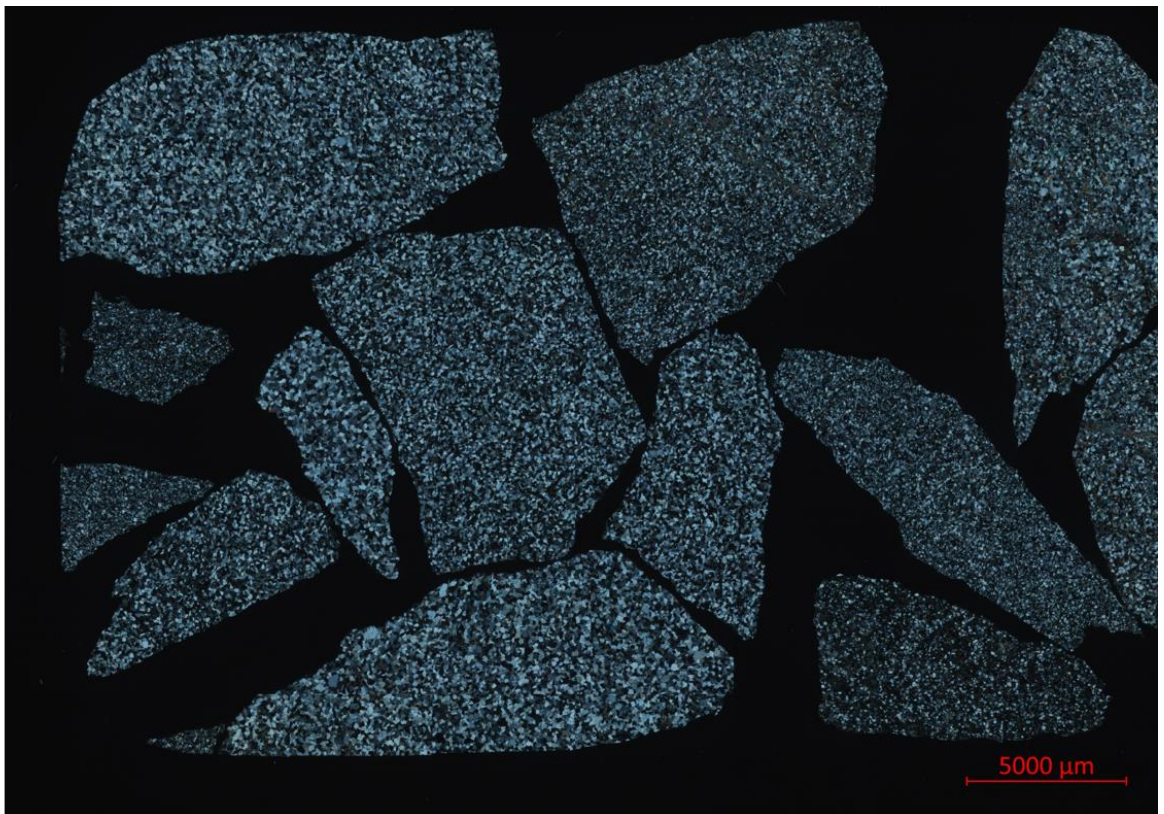
Quartz	54.00 %
Calcite	0.49 %
Microcline maximum	17.73 %
Biotite 1M Mica	3.46 %
Chlorite IIb	0.99 %
Albite intermediate	14.13 %
Hornblende magnesian iron	4.31 %
Diopside	4.79 %
Chalcopyrite	0.10 %



XPL:

Mat. Nr .3
(lys)
Sandstein/hornfels

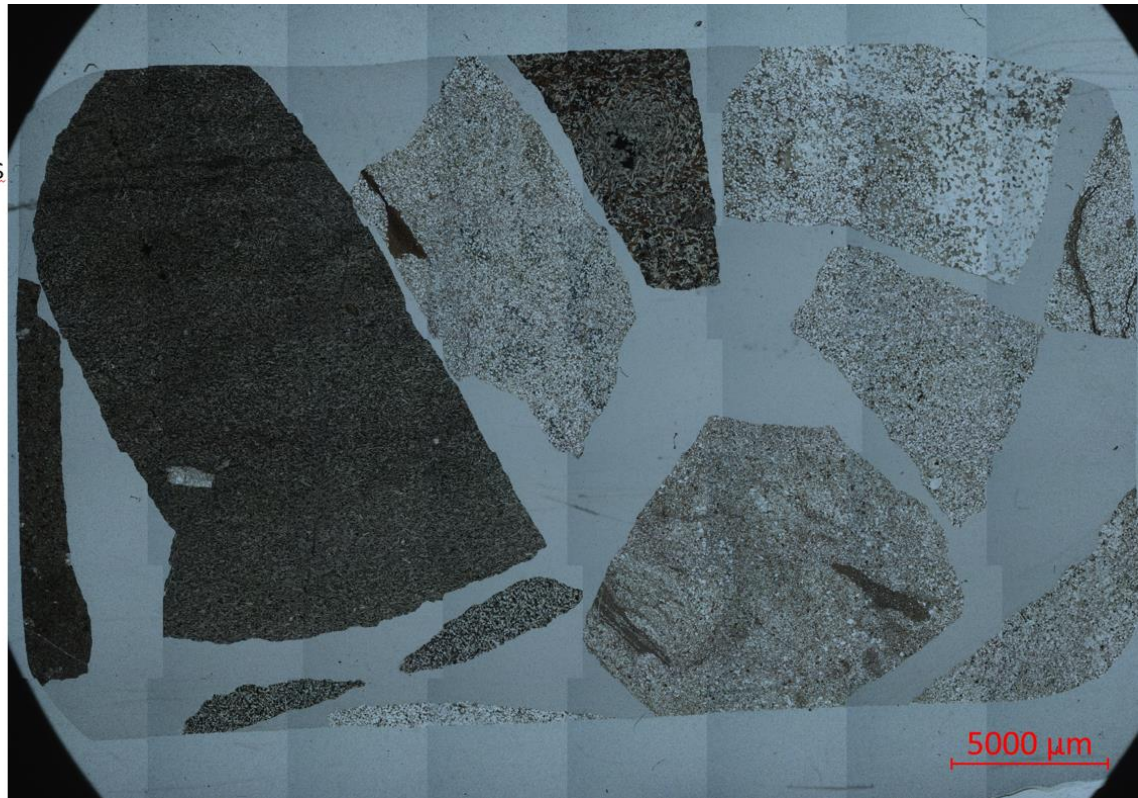
Quartz	54.00 %
Calcite	0.49 %
Microcline maximum	17.73 %
Biotite 1M Mica	3.46 %
Chlorite IIb	0.99 %
Albite intermediate	14.13 %
Hornblende magnesian iron	4.31 %
Diopside	4.79 %
Chalcopyrite	0.10 %



PPL:

Mat. Nr 3
(mørk)
Sandstein/hornfels

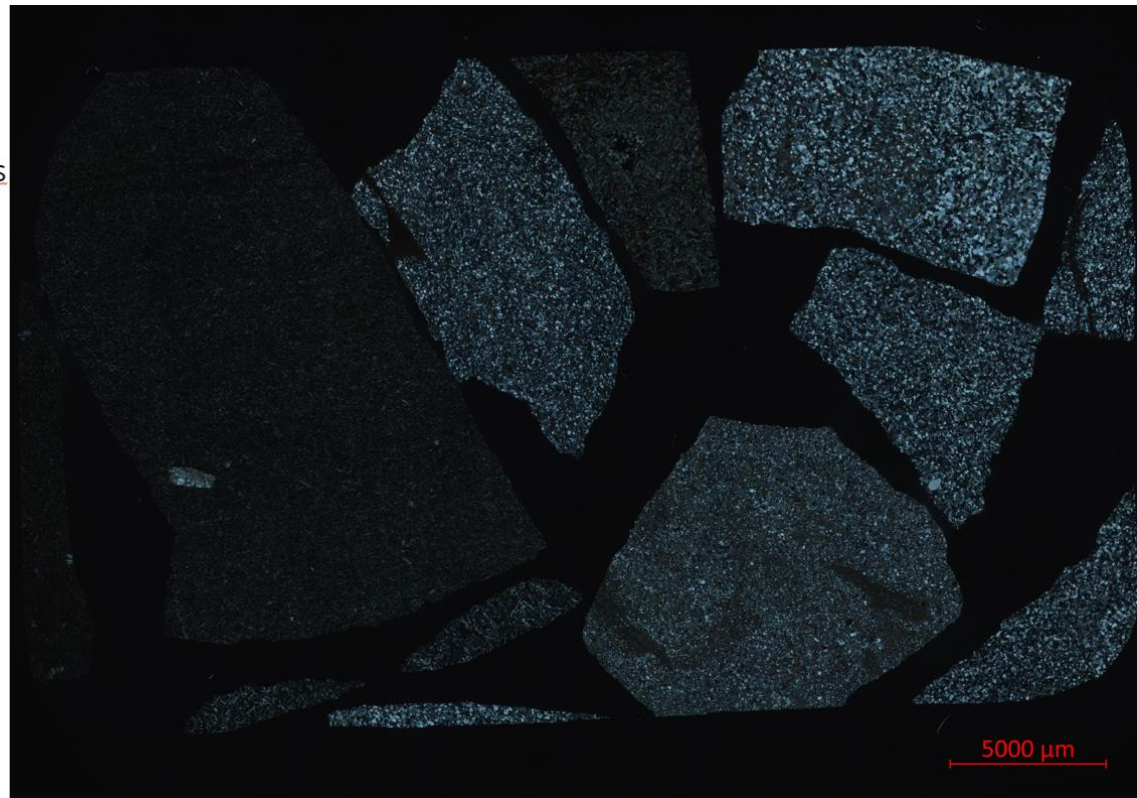
Quartz	54.00 %
Calcite	0.49 %
Microcline maximum	17.73 %
Biotite 1M Mica	3.46 %
Chlorite 1lb	0.99 %
Albite intermediate	14.13 %
Hornblende magnesian iron	4.31 %
Diopside	4.79 %
Chalcopyrite	0.10 %



XPL:

Mat. Nr. 3
(mørk)
Sandstein/hornfels

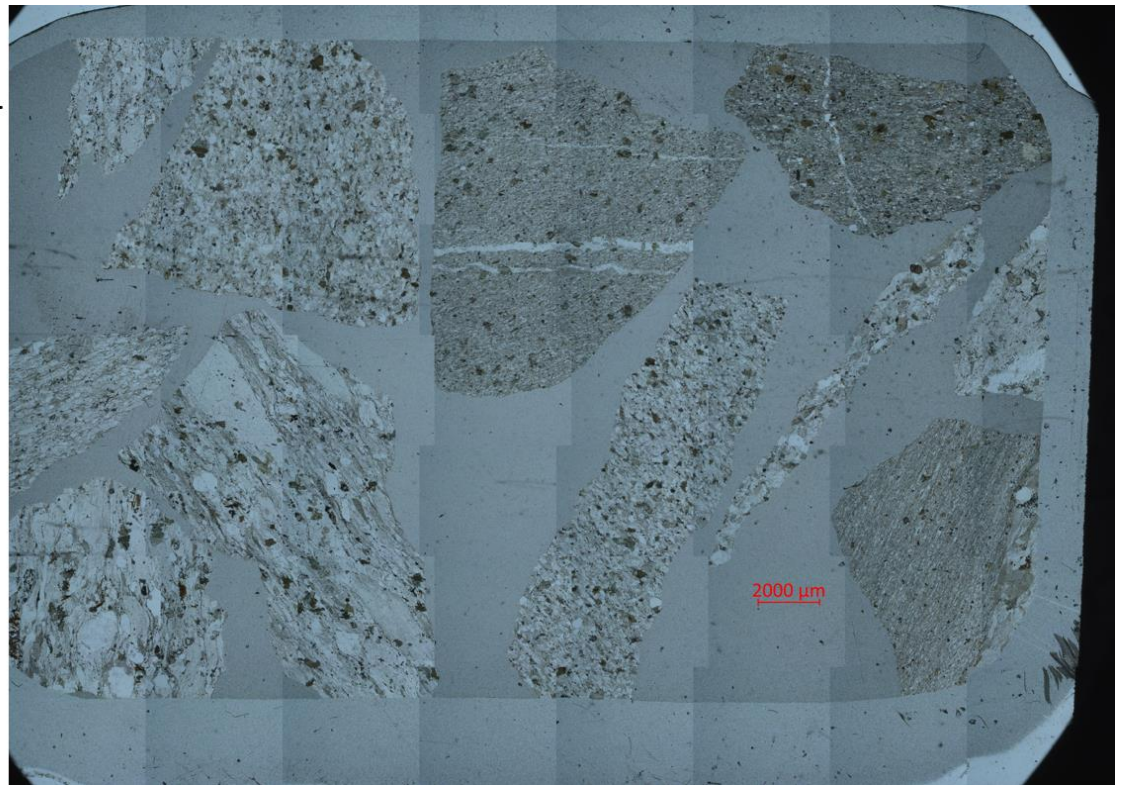
Quartz	54.00 %
Calcite	0.49 %
Microcline maximum	17.73 %
Biotite 1M Mica	3.46 %
Chlorite 1lb	0.99 %
Albite intermediate	14.13 %
Hornblende magnesian iron	4.31 %
Diopside	4.79 %
Chalcopyrite	0.10 %



PPL:

Mat. Nr. 4
Rhyolith

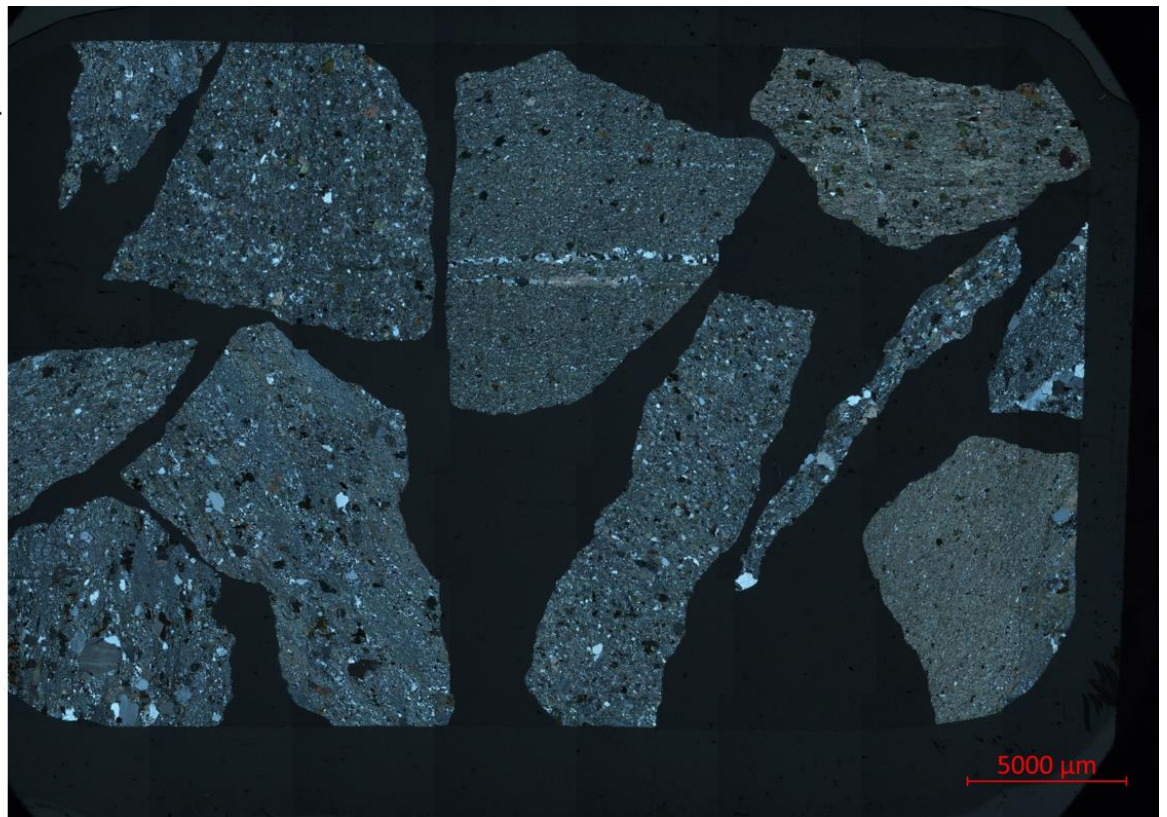
Quartz	32.84 %
Albite	32.23 %
Calcite	0.95 %
Muscovite 2M1	12.81 %
Microcline maximum	15.01 %
Biotite 1M Mica	1.54 %
Chlorite 1lb	3.48 %
Diopside	0.82 %
Spessartine	0.31 %



XPL:

Mat. Nr. 4
Rhyolith

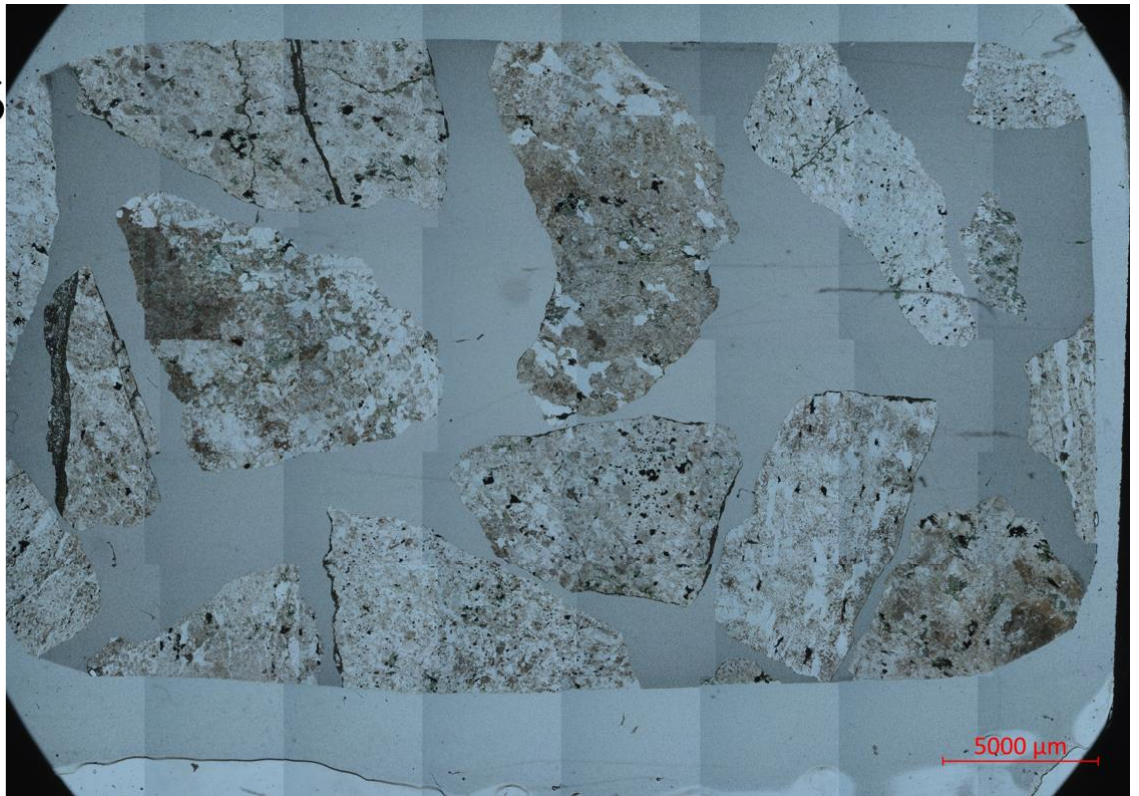
Quartz	32.84 %
Albite	32.23 %
Calcite	0.95 %
Muscovite 2M1	12.81 %
Microcline maximum	15.01 %
Biotite 1M Mica	1.54 %
Chlorite 1lb	3.48 %
Diopside	0.82 %
Spessartine	0.31 %



PPL:

Mat. Nr. 5
Dioritt

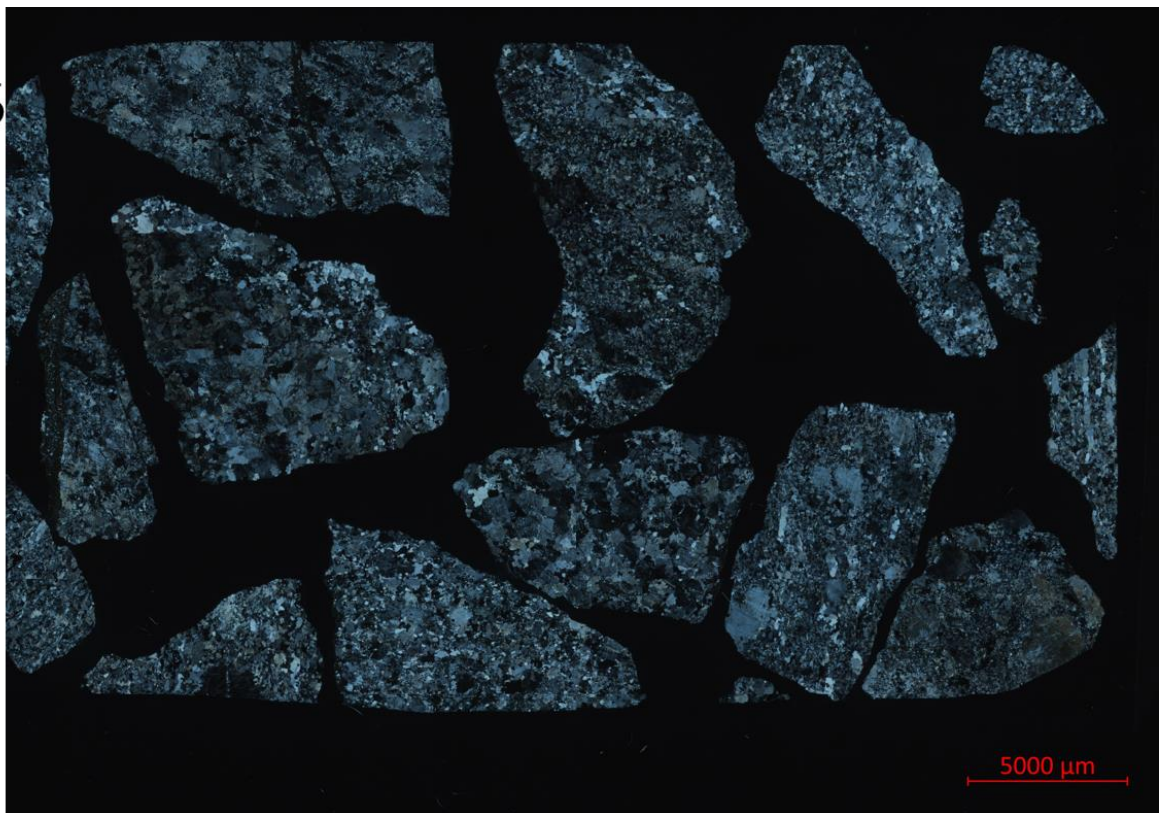
Quartz	18.37 %
Albite	29.38 %
Muscovite 2M1	4.57 %
Microcline maximum	27.68 %
Chlorite 1b	3.43 %
Albite intermediate	8.09 %
Hornblende magnesian iron	2.53 %
Epidote	2.68 %
Diopside	3.27 %



XPL:

Mat. Nr. 5
Dioritt

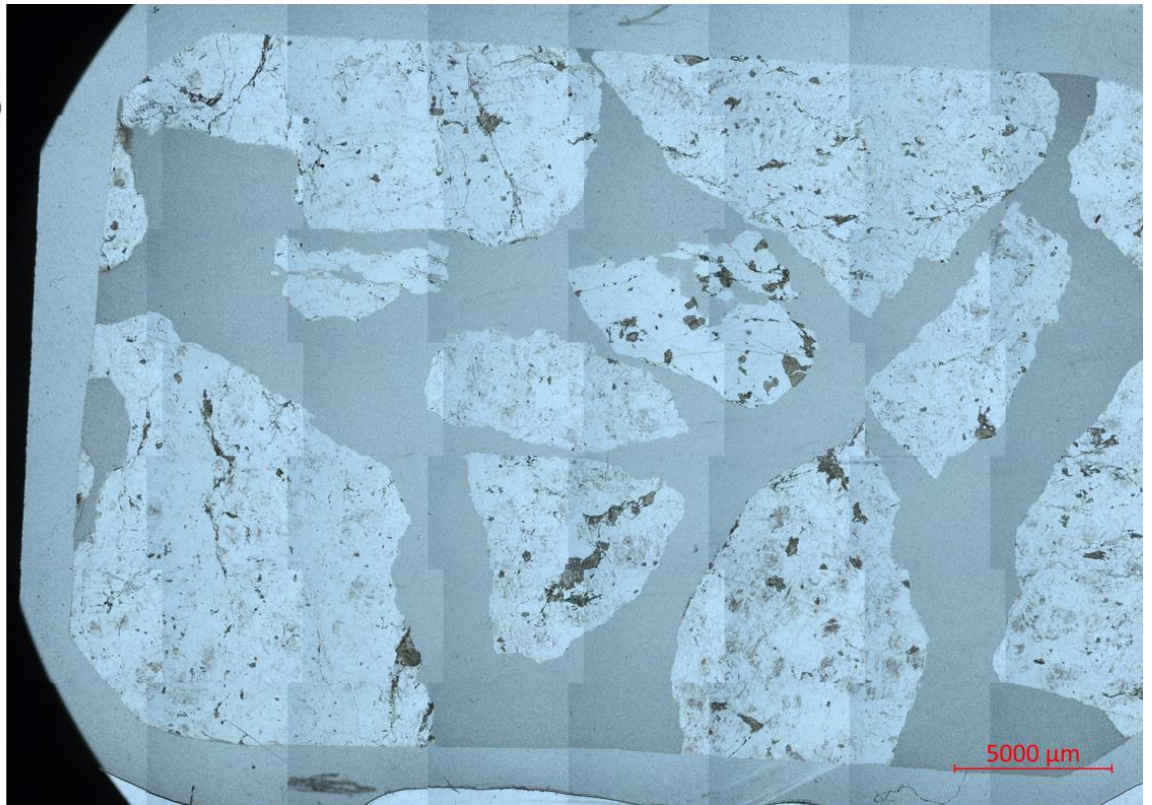
Quartz	18.37 %
Albite	29.38 %
Muscovite 2M1	4.57 %
Microcline maximum	27.68 %
Chlorite 1b	3.43 %
Albite intermediate	8.09 %
Hornblende magnesian iron	2.53 %
Epidote	2.68 %
Diopside	3.27 %



PPL:

Mat. Nr. 6
Trondhjemit

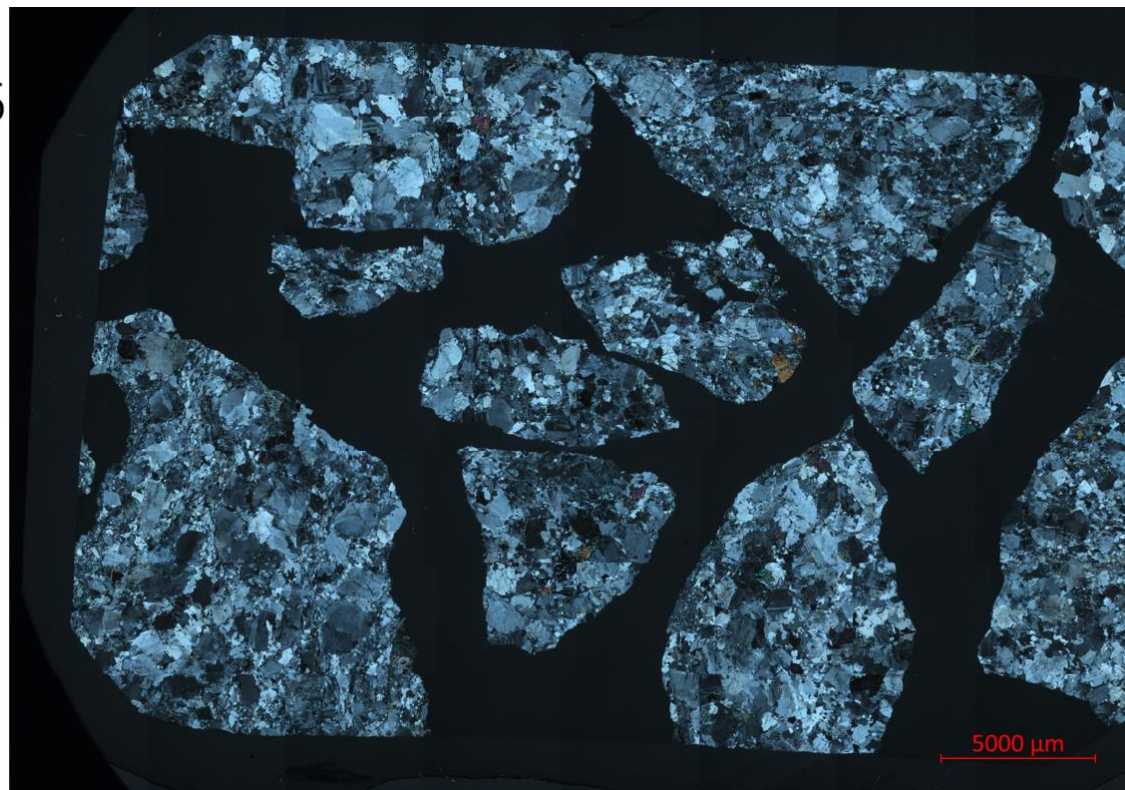
Quartz	22.41 %
Albite	53.35 %
Muscovite 2M1	3.47 %
Microcline maximum	14.66 %
Biotite 1M Mica	1.14 %
Chlorite Ilb	0.52 %
Epidote	2.45 %
Diopside	1.99 %



XPL:

Mat. Nr. 6
Trondhjemit

Quartz	22.41 %
Albite	53.35 %
Muscovite 2M1	3.47 %
Microcline maximum	14.66 %
Biotite 1M Mica	1.14 %
Chlorite Ilb	0.52 %
Epidote	2.45 %
Diopside	1.99 %

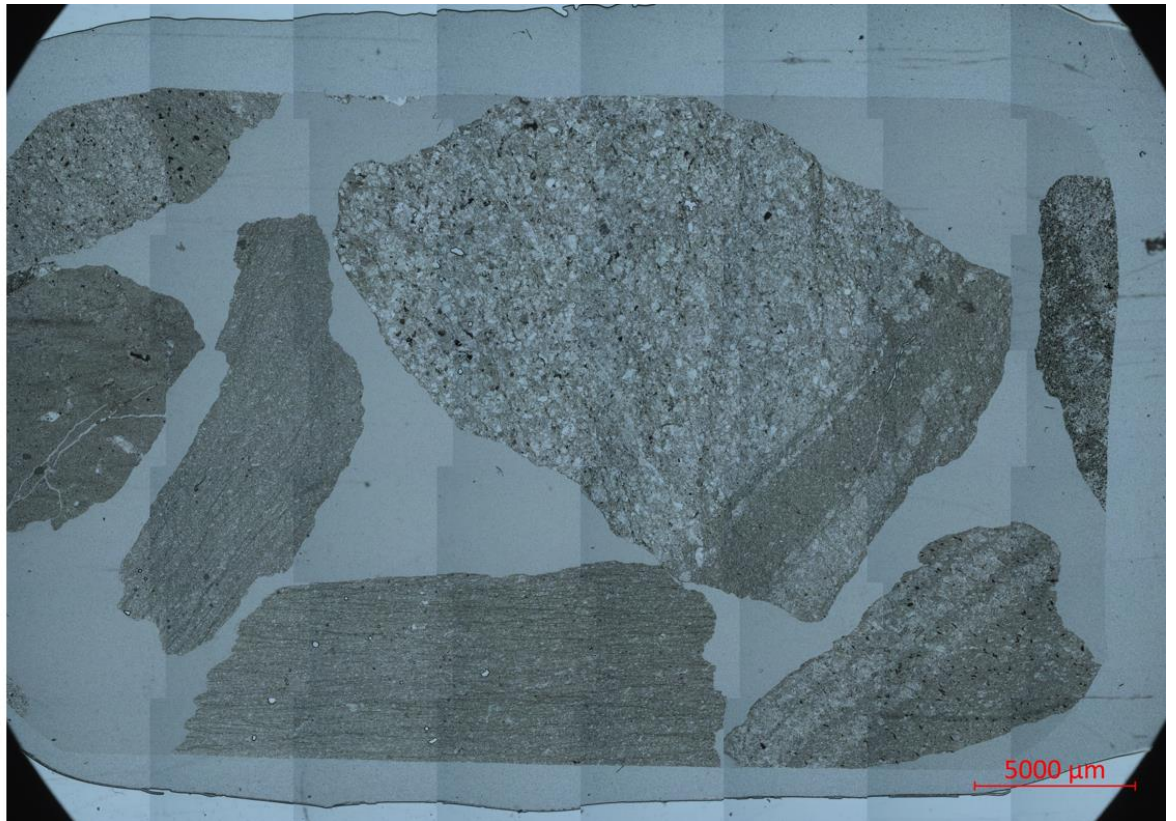


PPL:

Mat. Nr. 7

Gråvakke

Quartz	21.28 %
Albite	21.34 %
Calcite	17.43 %
Muscovite 2M1	16.24 %
Microcline maximum	4.58 %
Chlorite IIb	15.56 %
Dioptside	2.20 %
Spessartine	1.37 %

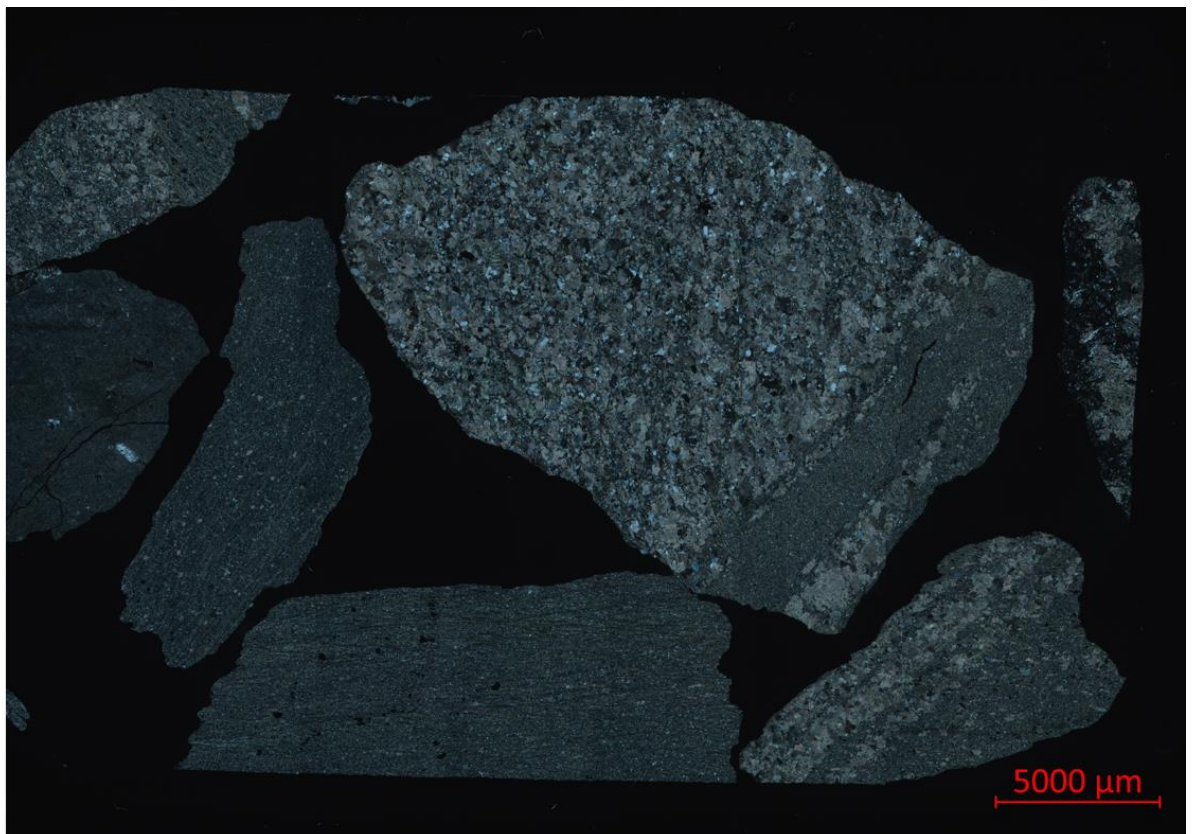


XPL:

Mat. Nr. 7

Gråvakke

Quartz	21.28 %
Albite	21.34 %
Calcite	17.43 %
Muscovite 2M1	16.24 %
Microcline maximum	4.58 %
Chlorite IIb	15.56 %
Dioptside	2.20 %
Spessartine	1.37 %

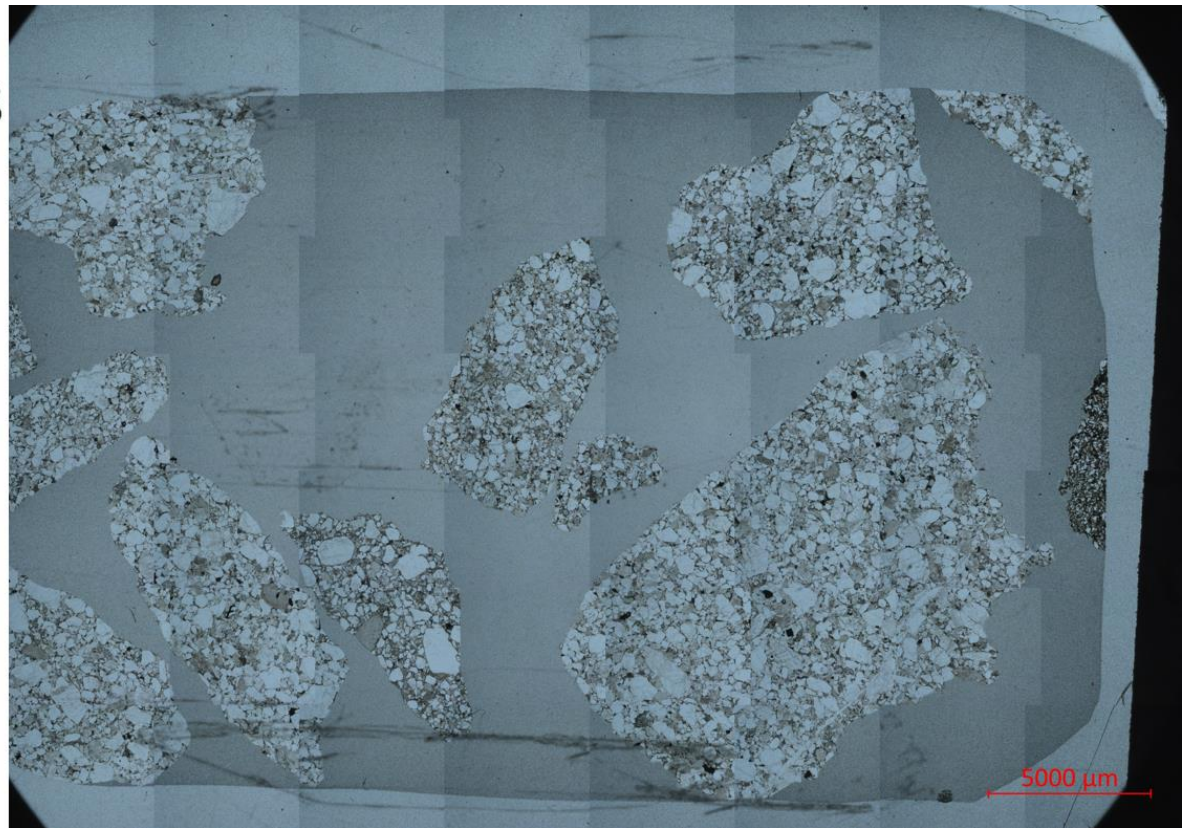


PPL

Mat. Nr. 8

Arkose

Quartz	49.94 %
Albite	20.70 %
Calcite	0.59 %
Pyrite	0.52 %
Muscovite 2M1	7.45 %
Microcline maximum	18.24 %
Chlorite Ilb	2.53 %
Chalcopyrite	0.03 %

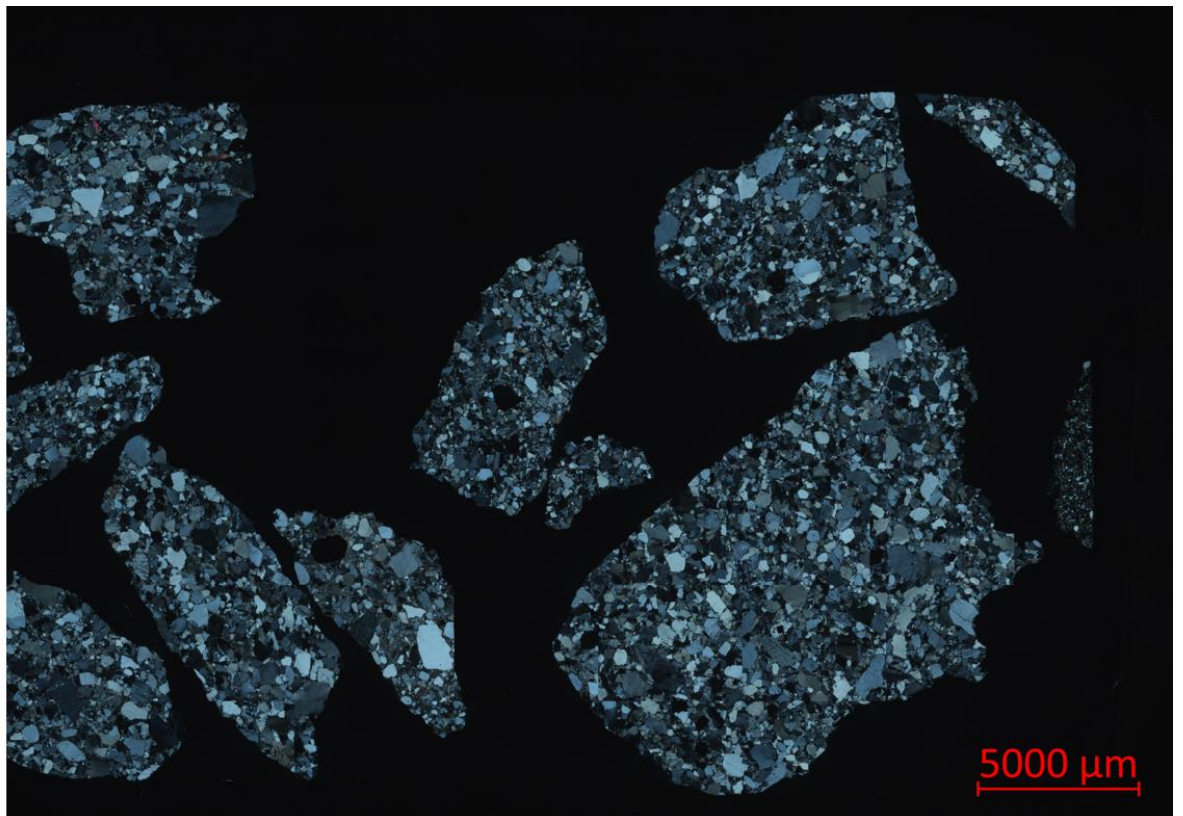


XPL:

Mat. Nr. 8

Arkose

Quartz	49.94 %
Albite	20.70 %
Calcite	0.59 %
Pyrite	0.52 %
Muscovite 2M1	7.45 %
Microcline maximum	18.24 %
Chlorite Ilb	2.53 %
Chalcopyrite	0.03 %

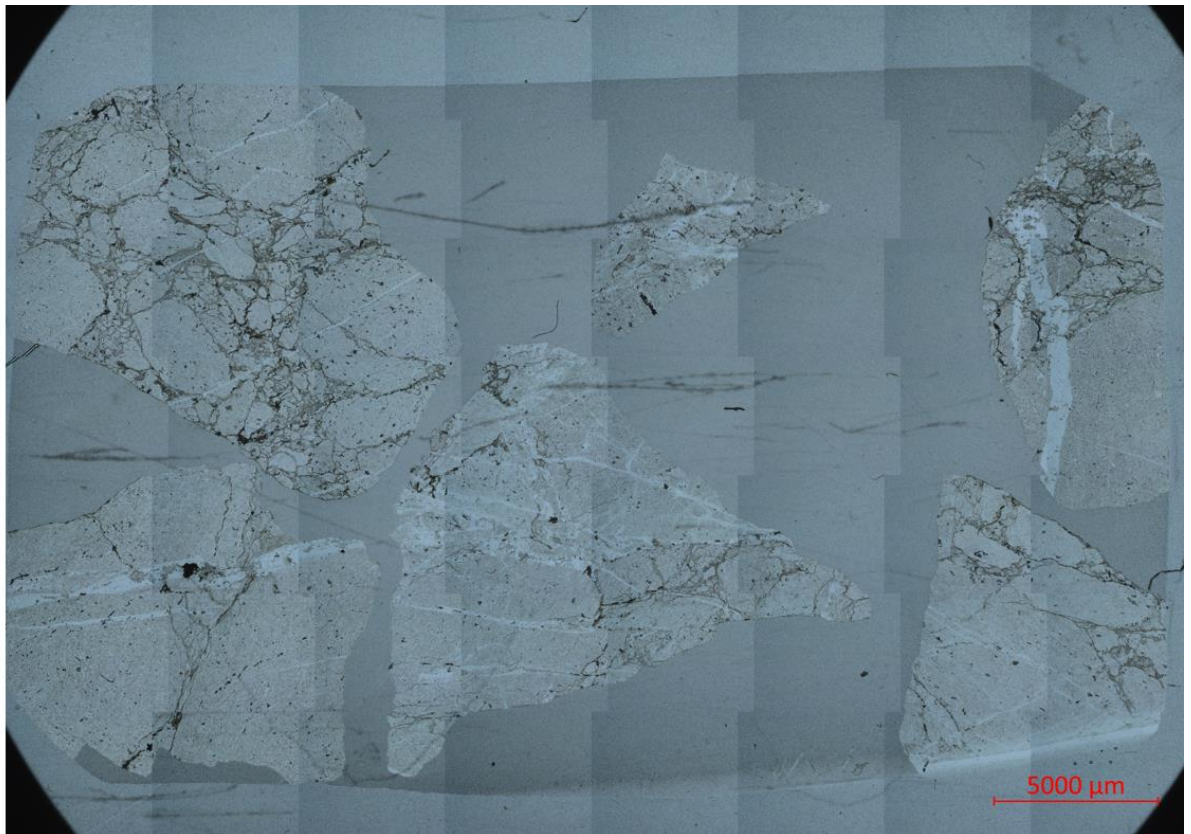


PPL:

Mat. Nr. 9

Breksje

Quartz	7.52 %
Albite	39.31 %
Calcite	1.67 %
Muscovite 2M1	23.19 %
Microcline maximum	25.31 %
Biotite 1M Mica	1.45 %
Chlorite 1lb	0.32 %
Dolomite	0.95 %
Spessartine	0.27 %

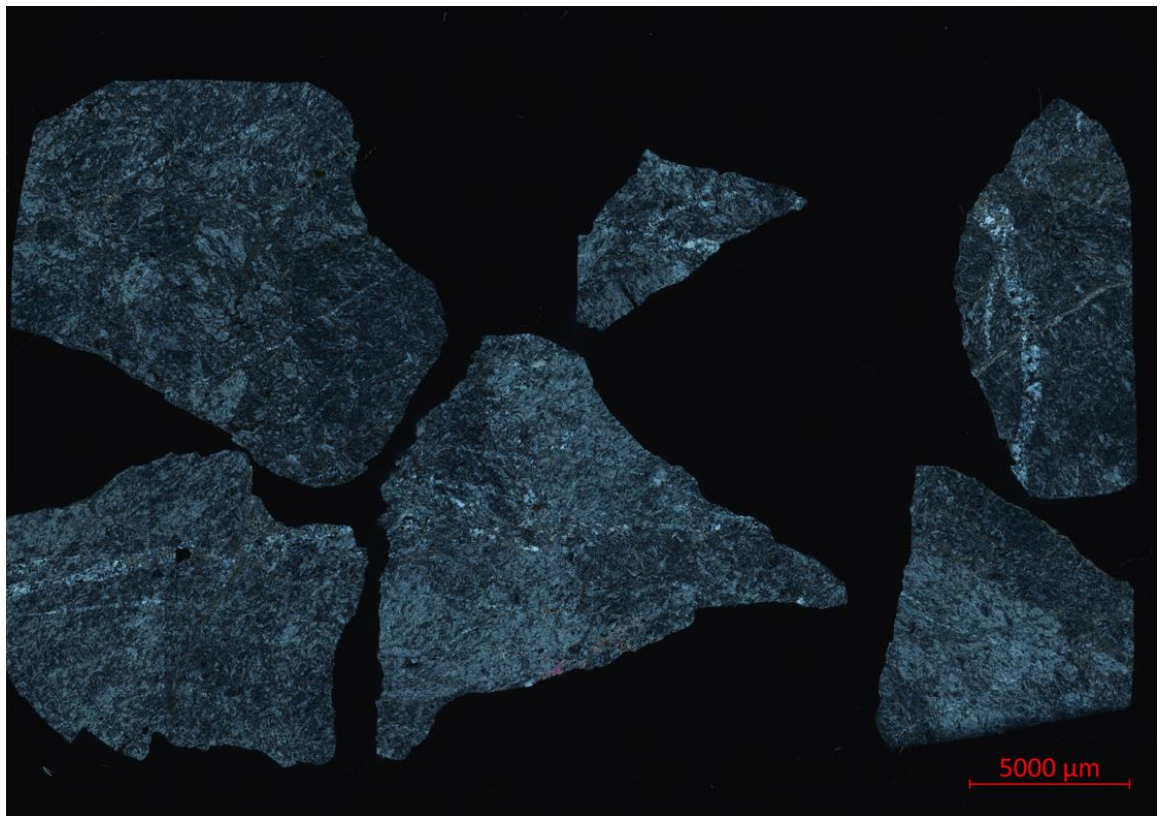


XPL

Mat. Nr. 9

Breksje

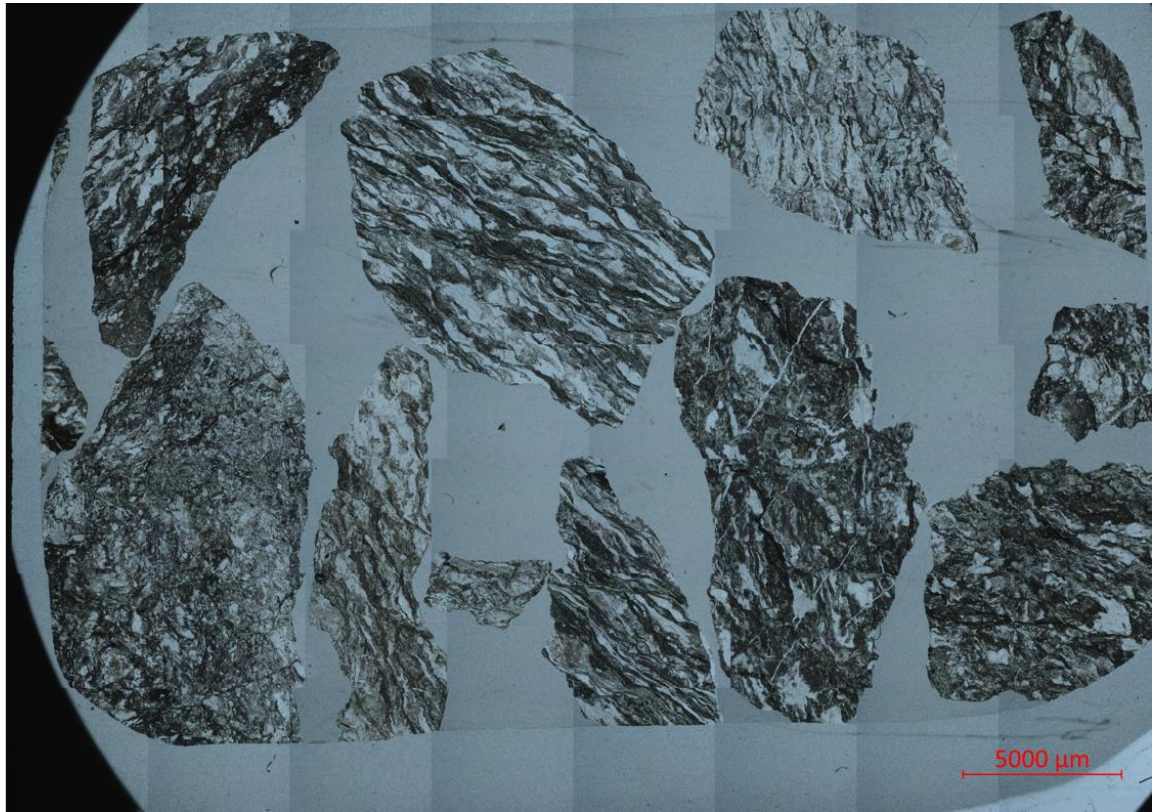
Quartz	7.52 %
Albite	39.31 %
Calcite	1.67 %
Muscovite 2M1	23.19 %
Microcline maximum	25.31 %
Biotite 1M Mica	1.45 %
Chlorite 1lb	0.32 %
Dolomite	0.95 %
Spessartine	0.27 %



PPL:

Mat. Nr.10
Mylonitt

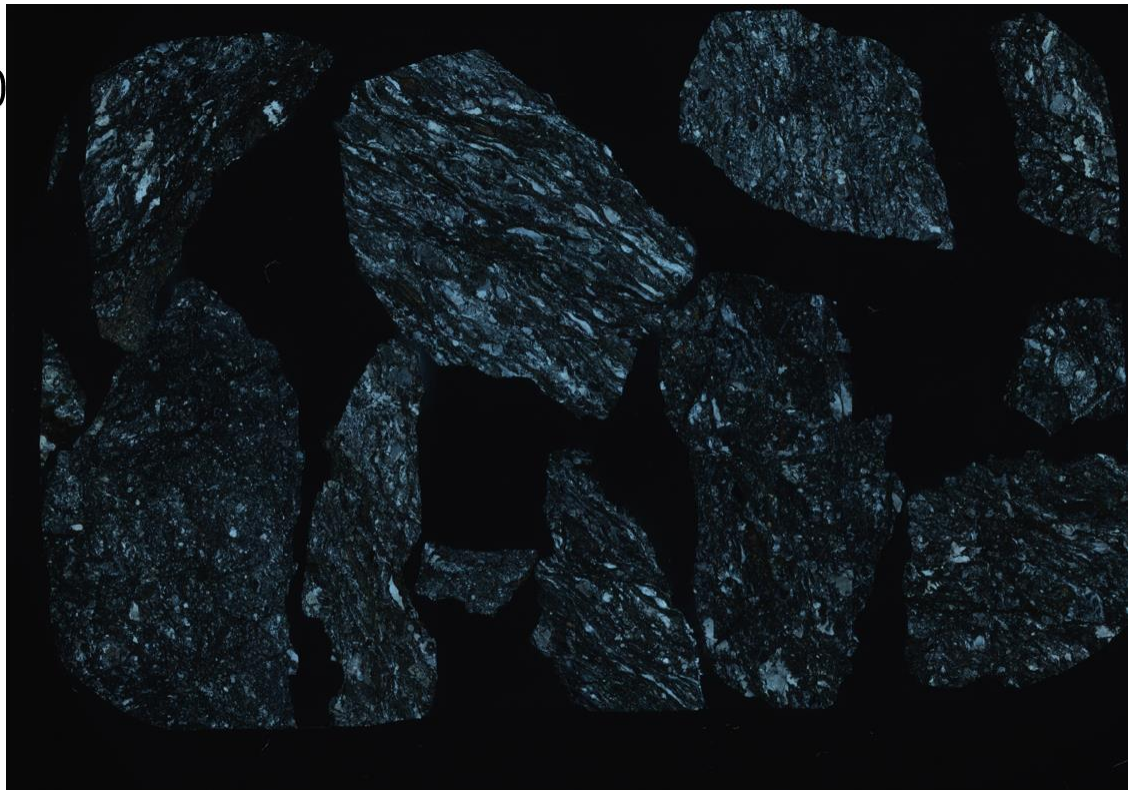
Quartz	29.66 %
Albite intermediate	35.49 %
Microcline maximum	8.13 %
Biotite 1M Mica	1.88 %
Diopside	3.25 %
Chlorite IIb	6.59 %
Clinzoisite	15.00 %



XPL:

Mat. Nr. 10
Mylonitt

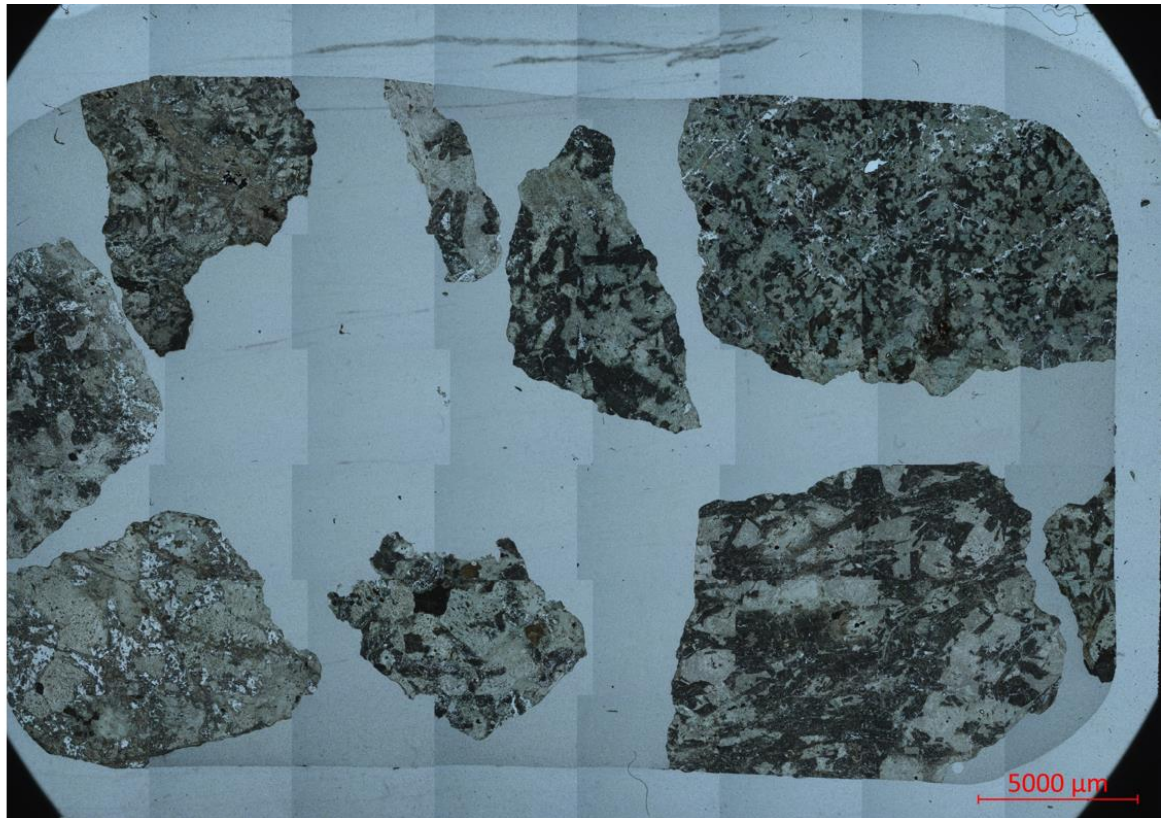
Quartz	29.66 %
Albite intermediate	35.49 %
Microcline maximum	8.13 %
Biotite 1M Mica	1.88 %
Diopside	3.25 %
Chlorite IIb	6.59 %
Clinzoisite	15.00 %



PPL:

Mat. Nr. 11
og 12
Gabbro

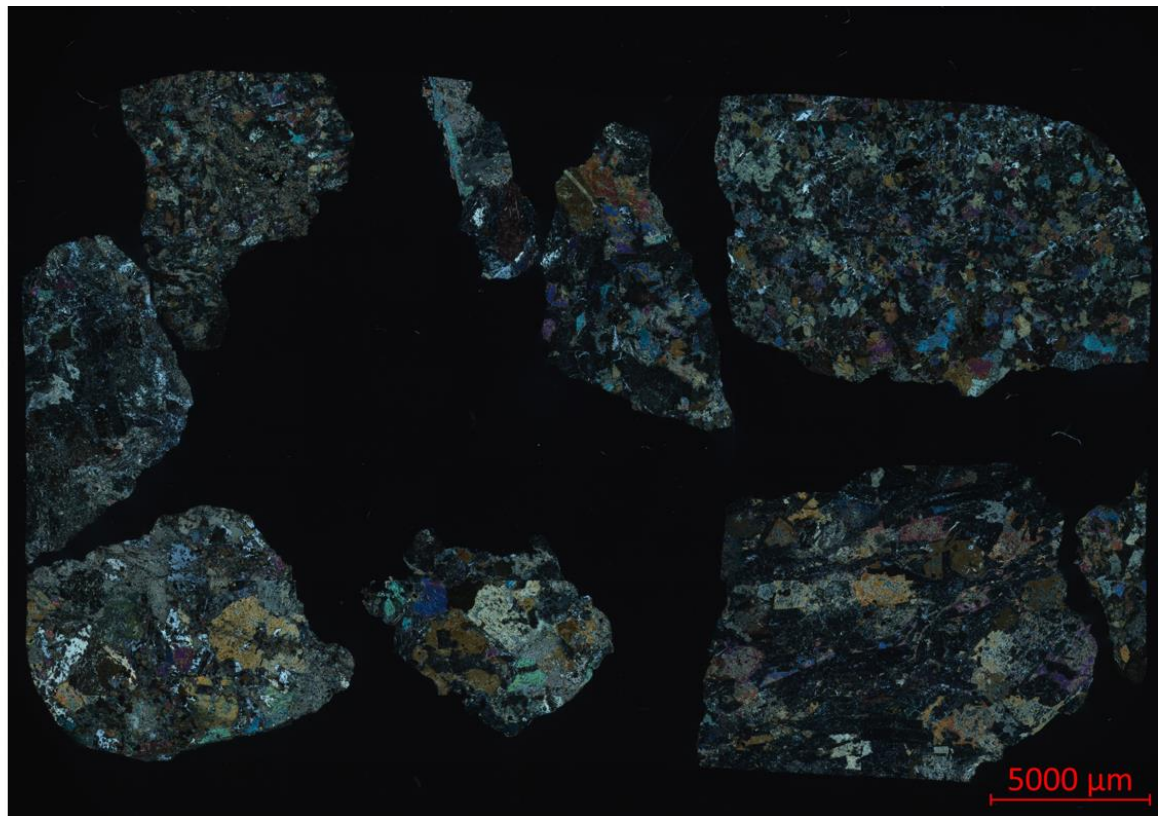
Quartz	0.85 %
Albite	19.40 %
Calcite	1.17 %
Microcline maximum	2.25 %
Chlorite IIb	10.31 %
Hornblende magnesian iron	40.46 %
Augite Px	2.11 %
Clinozoisite	23.33 %
Forsterite iron	0.11 %



XPL

Mat. Nr. 11
og 12
Gabbro

Quartz	0.85 %
Albite	19.40 %
Calcite	1.17 %
Microcline maximum	2.25 %
Chlorite IIb	10.31 %
Hornblende magnesian iron	40.46 %
Augite Px	2.11 %
Clinozoisite	23.33 %
Forsterite iron	0.11 %



Vedlegg C – Glimmerblandinger Sandekvivalentmetoden

Glimmerinnhold	Flogopitt (g)	Flogopitt knust (g)	Flogopitt original (g)	Materiale nr. 2 (g)
0 %	0	0	0	120,0
5 %	6	3	3	114,0
10 %	12	6	6	108,0
15 %	18	9	9	102,0
20 %	24	12	12	96,0
25 %	30	15	15	90,0
30 %	36	18	18	84,0
35 %	42	21	21	78,0
40 %	48	24	24	72,0
50 %	60	30	30	60,0
60 %	72	36	36	48,0
70 %	84	42	42	36,0

Glimmerblandinger (%)	Finstoff fra flugopitt (g)	Finstoff fra flogopitt (%)	Finstoffmengde i prøve (g)	Finstoffmengde (%)
0 %	0,0	0,0	14,6	12,2
5 %	1,4	8,9	15,3	12,7
10 %	2,7	17,1	15,9	13,3
15 %	4,1	24,7	16,5	13,8
20 %	5,4	31,7	17,2	14,3
25 %	6,8	38,2	17,8	14,8
30 %	8,2	44,2	18,4	15,4
35 %	9,5	49,9	19,1	15,9
40 %	10,9	55,2	19,7	16,4
50 %	13,6	64,8	21,0	17,5
60 %	16,3	73,3	22,2	18,5
70 %	19,0	81,0	23,5	19,6

Metylenblåmetoden

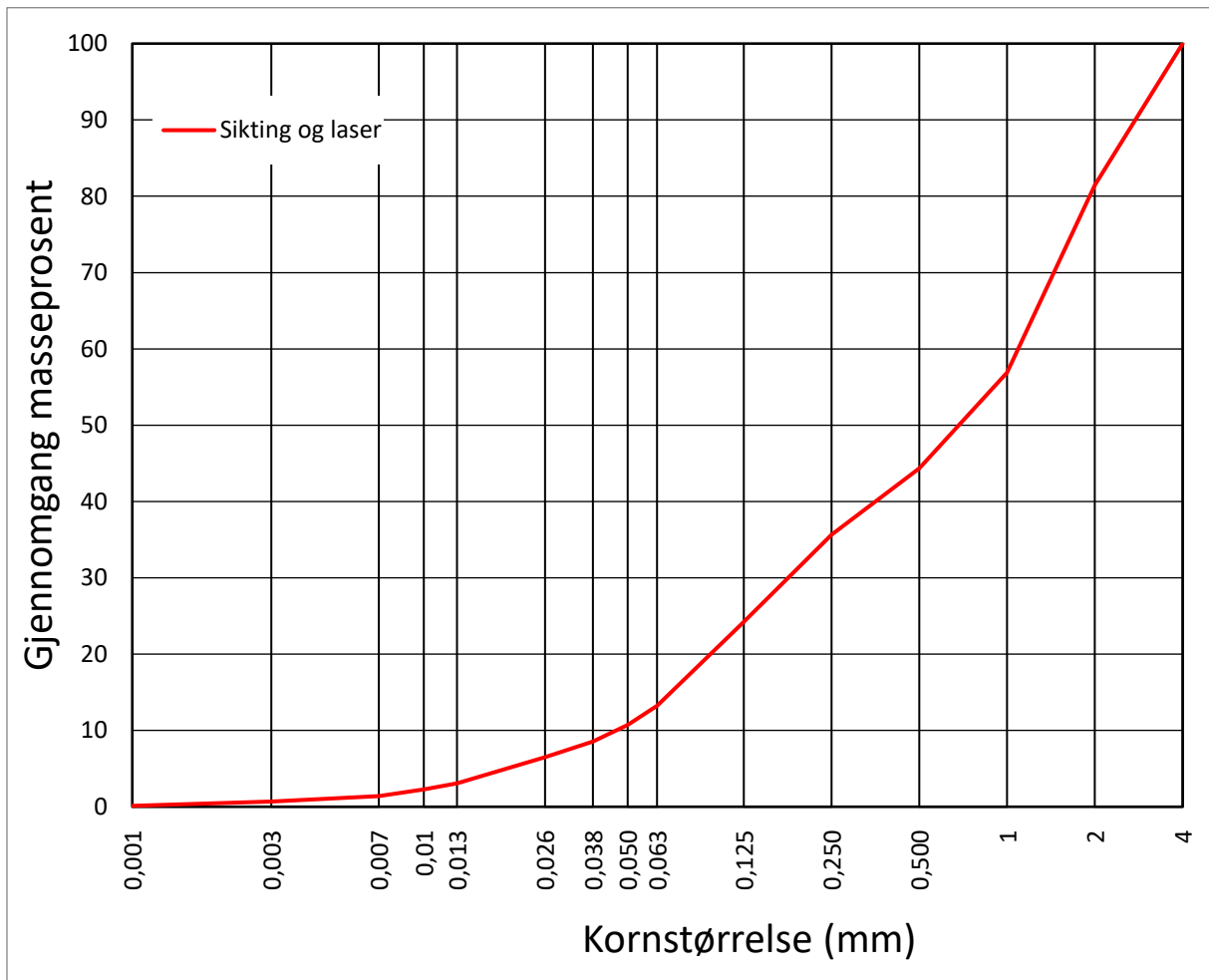
Glimmerblandinger	Flogopitt (g)	Flogopitt knust (g)	Flogopitt original (g)	Materiale nr. 2 (g)
0 %	0	0	0	200,0
5 %	10	5	5	190,0
10 %	20	10	10	180,0
15 %	30	15	15	170,0
20 %	40	20	20	160,0
25 %	50	25	25	150,0
30 %	60	30	30	140,0
35 %	70	35	35	130,0
40 %	80	40	40	120,0
50 %	100	50	50	100,0
60 %	120	60	60	80,0
70 %	140	70	70	60,0

Glimmerblandinger (%)	Finstoff fra flugopitt (g)	Finstoff fra flogopitt (%)	Finstoffmengde i prøve (g)	Finstoffmengde i (%)
0 %	0,0	0,0	24,4	12,2
5 %	2,3	8,9	25,5	12,7
10 %	4,5	17,1	26,5	13,3
15 %	6,8	24,7	27,6	13,8
20 %	9,1	31,7	28,6	14,3
25 %	11,3	38,2	29,7	14,8
30 %	13,6	44,2	30,7	15,4
35 %	15,9	49,9	31,8	15,9
40 %	18,1	55,2	32,8	16,4
50 %	22,7	64,8	35,0	17,5
60 %	27,2	73,3	37,1	18,5
70 %	31,7	81,0	39,2	19,6

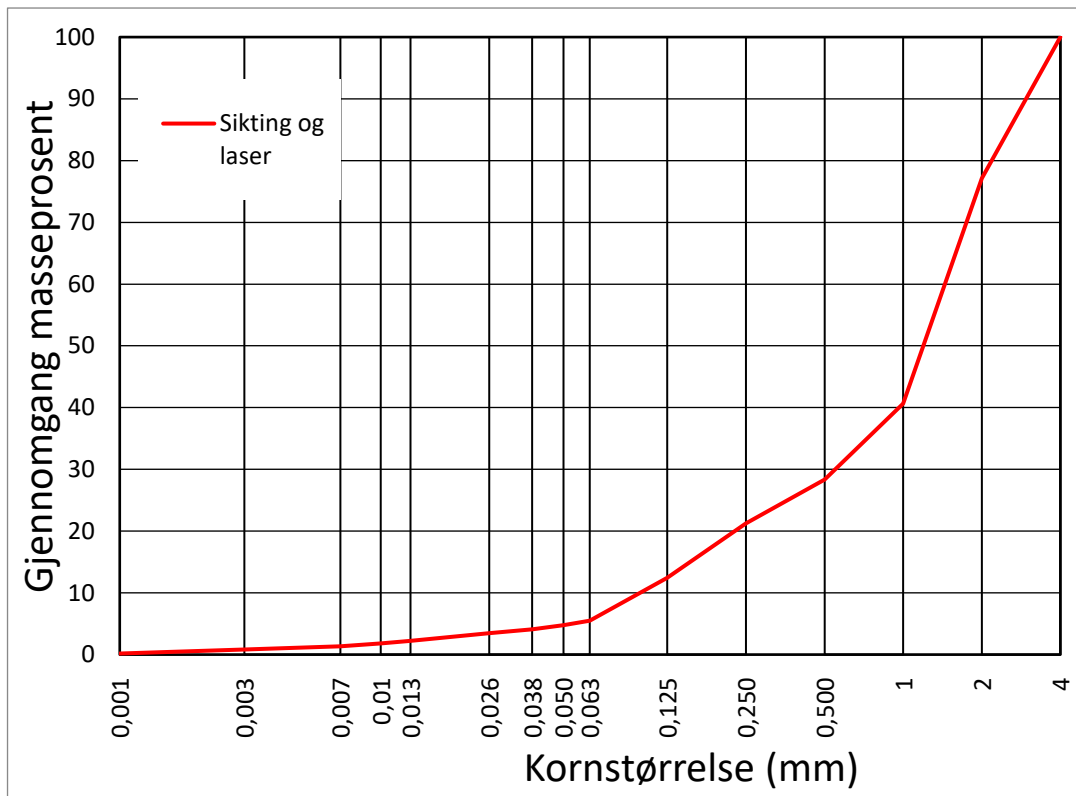
Vedlegg D – Kornkurver (0/4mm)

I dette vedlegget er kornfordelingskurven til de ulike materialene presentert. Kurvene i vedlegget er satt sammen av sikteanalyser med siktesatser og laserkurver fra partikkelteller. For siktedata ned til 0,063 mm er siktekurvene med siktesatser brukt som data. For materialet som passerer 0,063 er laserkurver brukt for å tegne kurvene. Materiale over 4 mm er ikke inkludert i kurvene. Materiale nr. 14 er ikke analysert med partikkelteller.

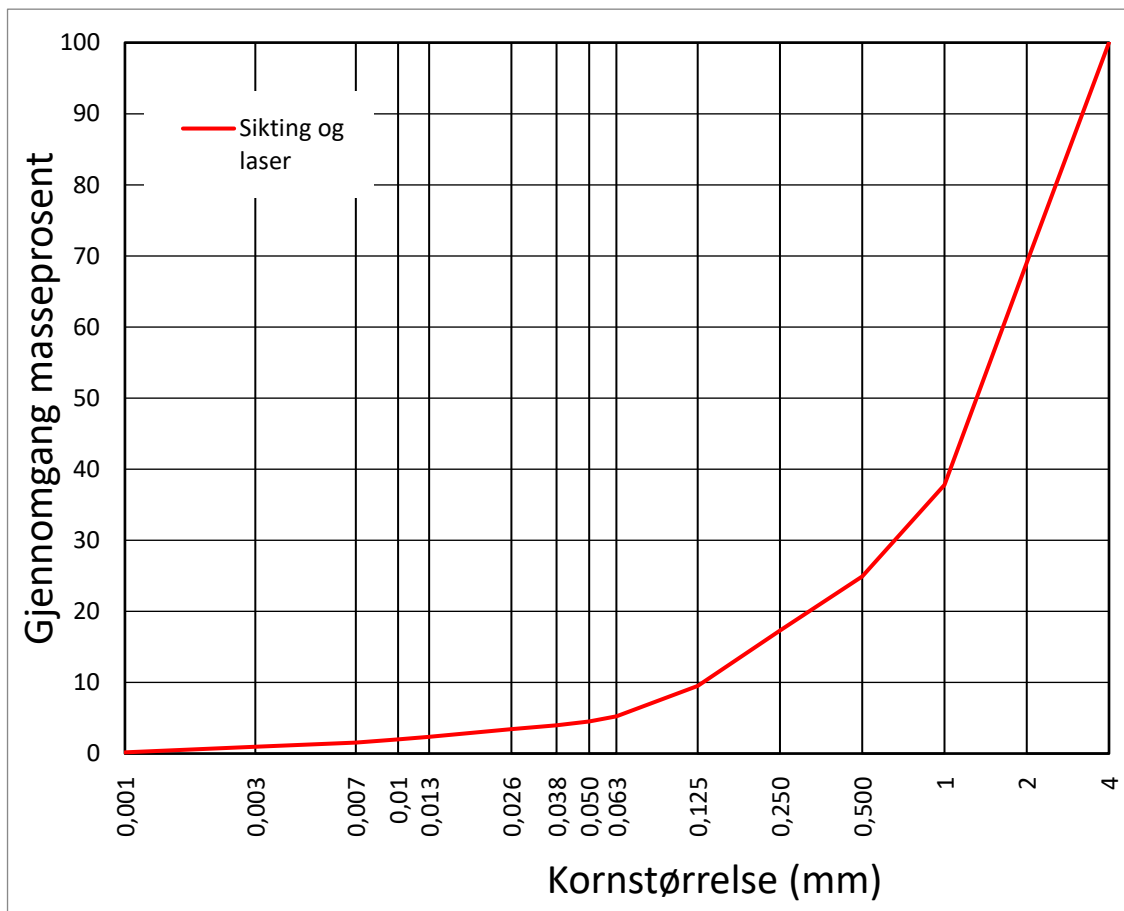
Materiale nr. 1



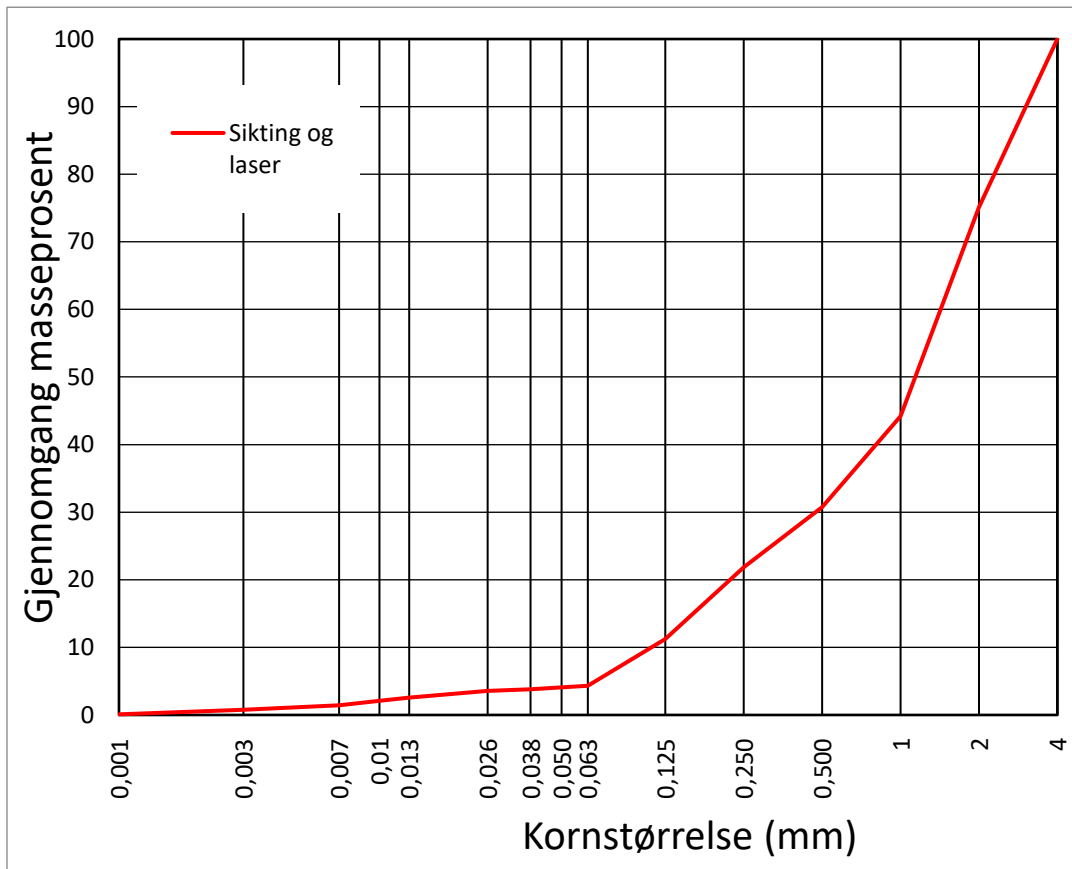
Materiale nr. 2



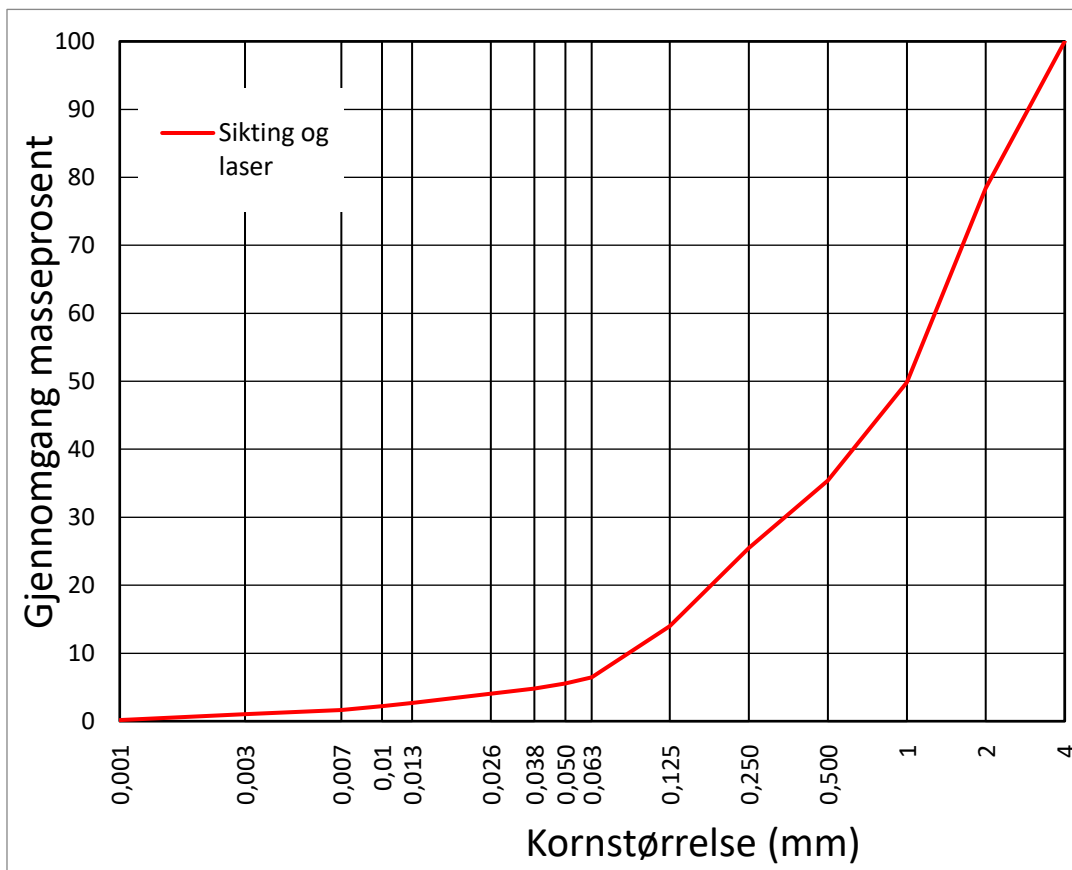
Materiale nr. 3



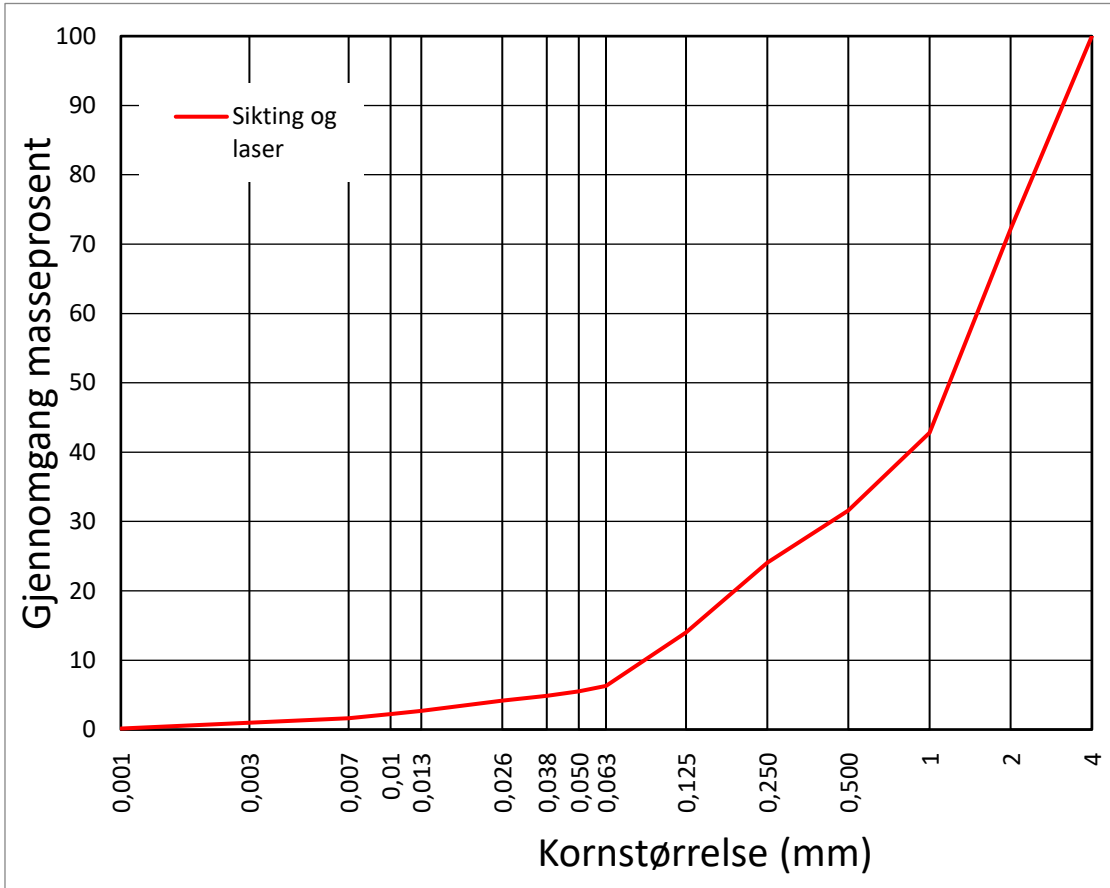
Materiale nr. 4



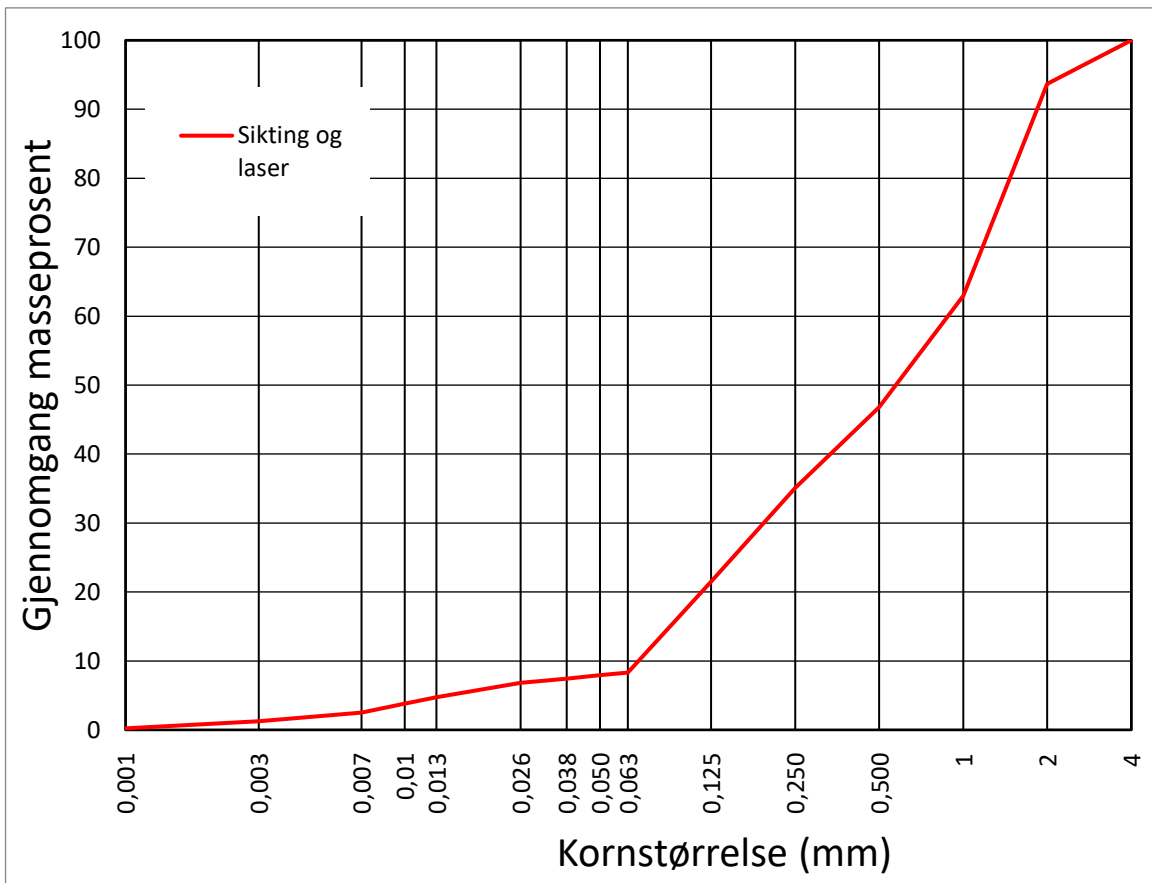
Materiale nr. 5



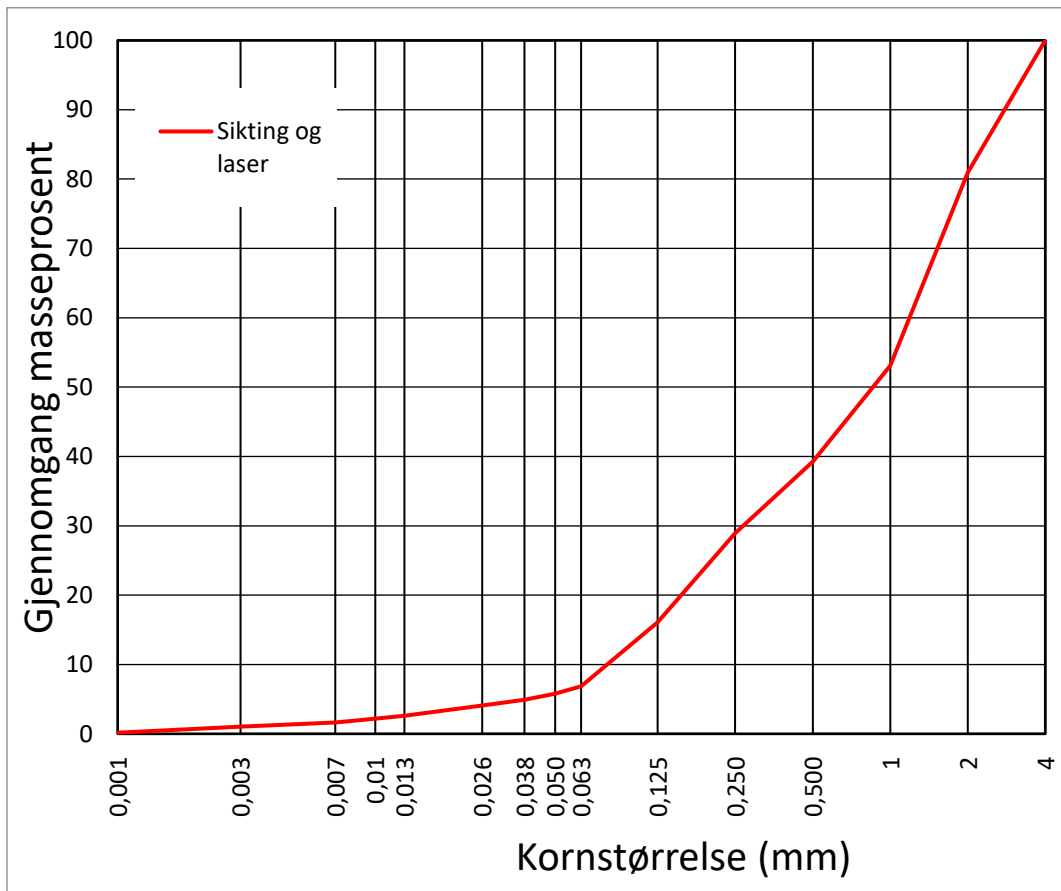
Materiale nr. 6



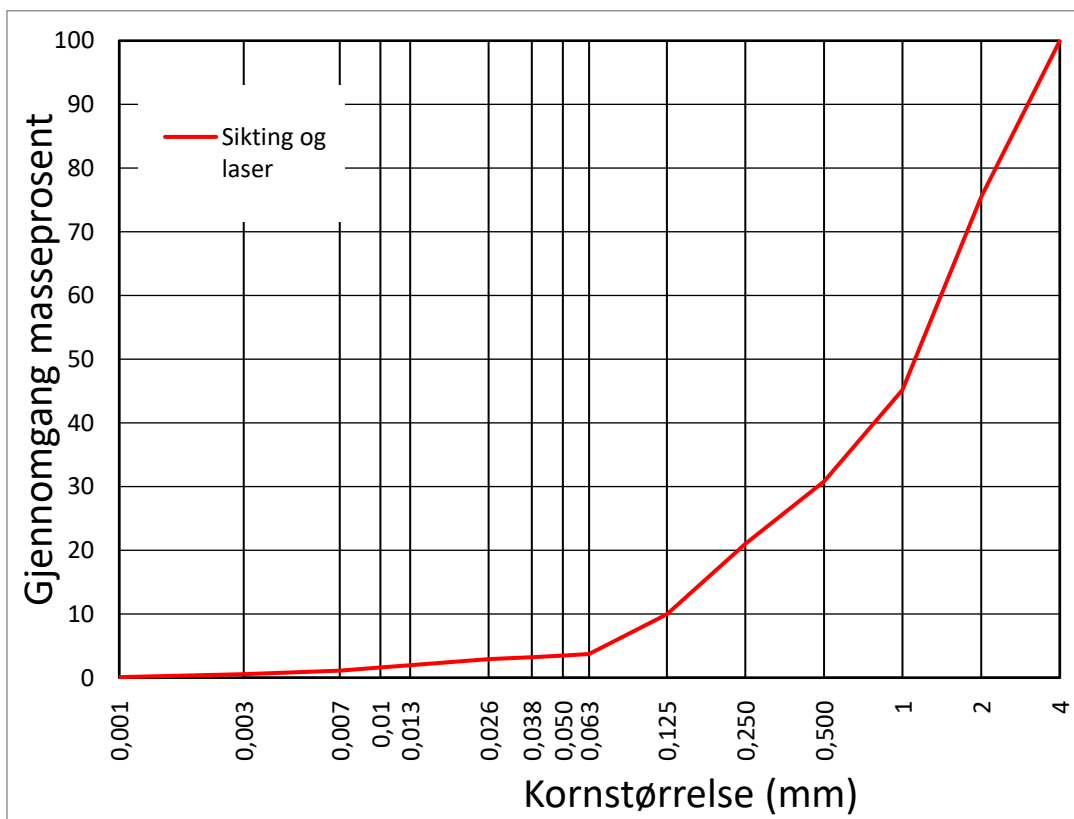
Materiale nr. 7



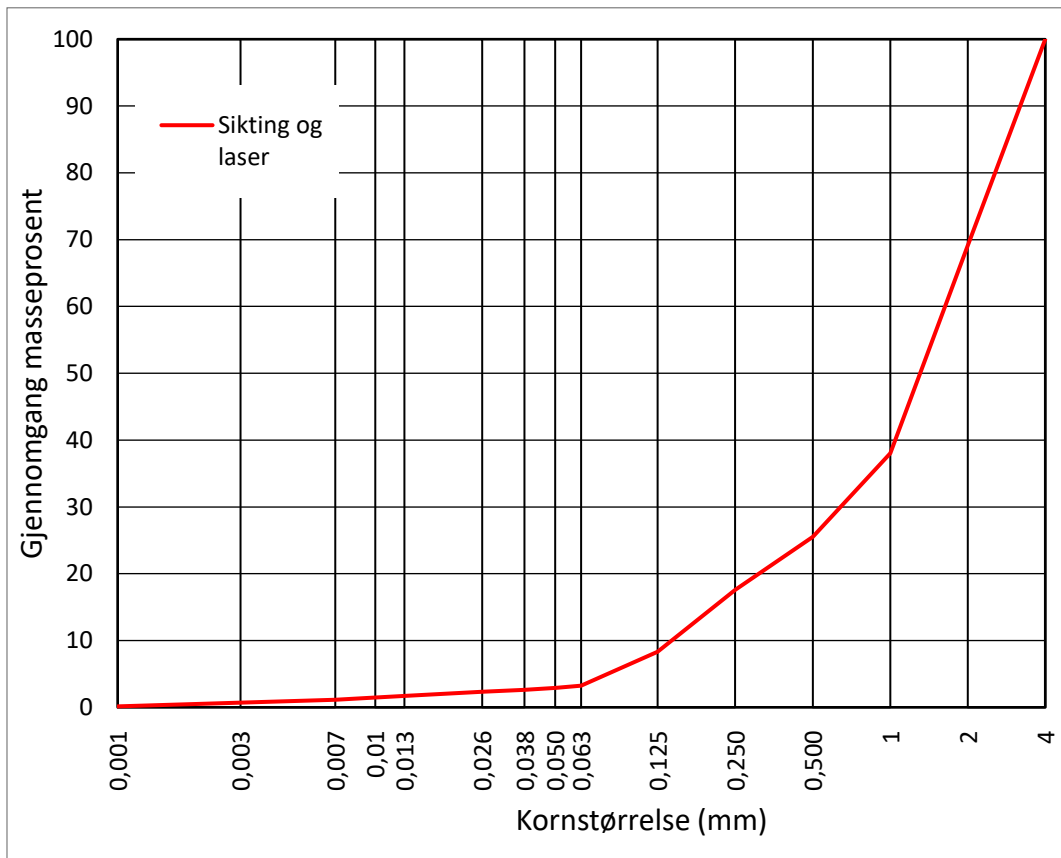
Materiale nr. 8



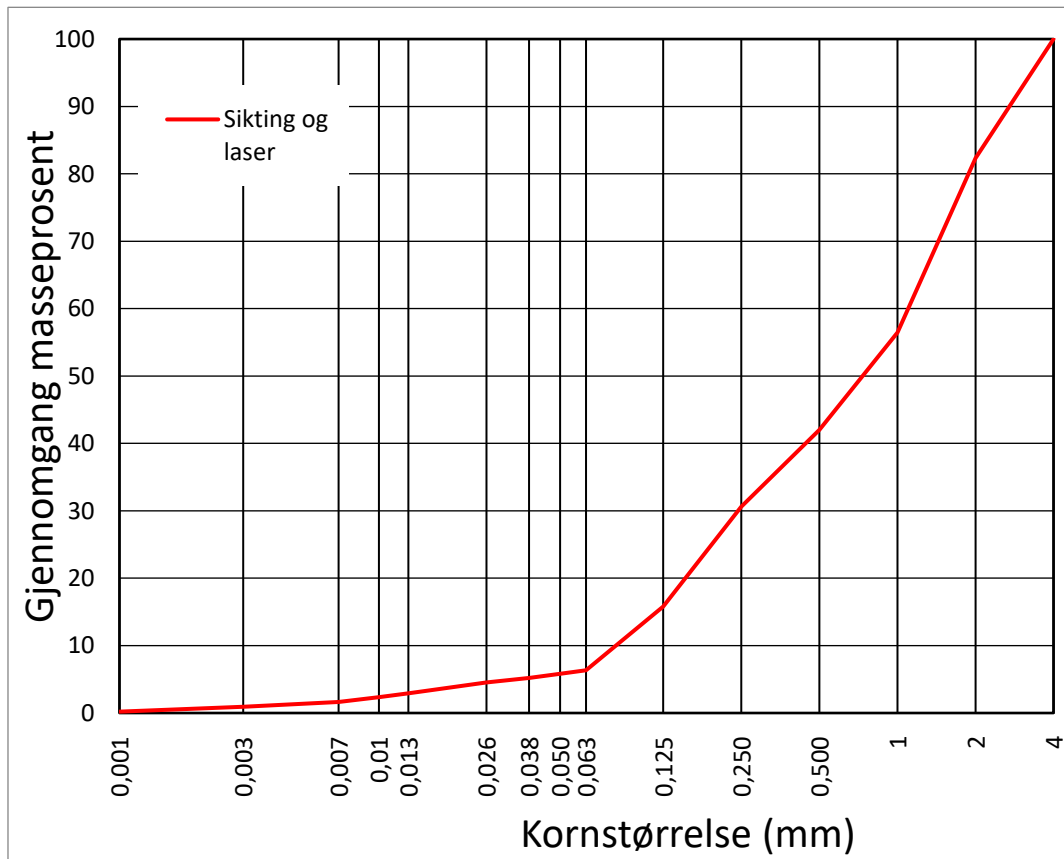
Materiale nr. 9



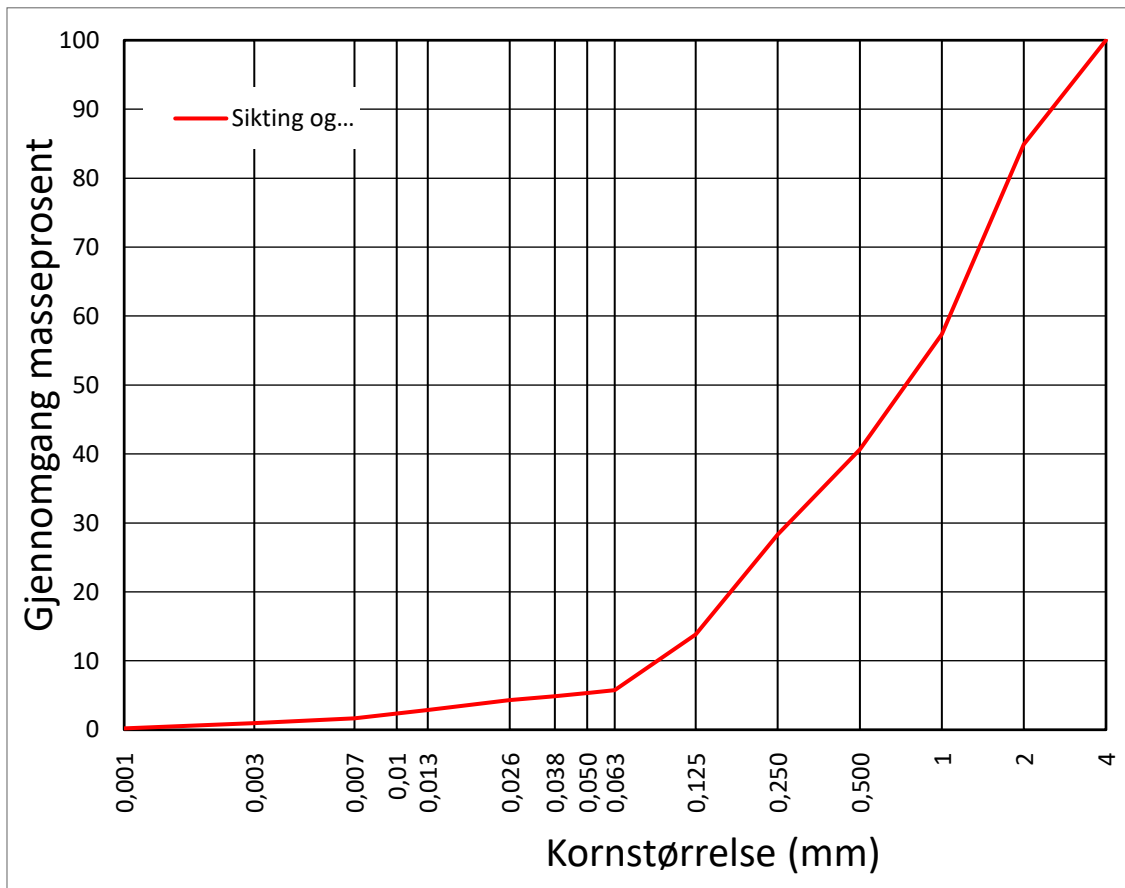
Materiale nr. 10



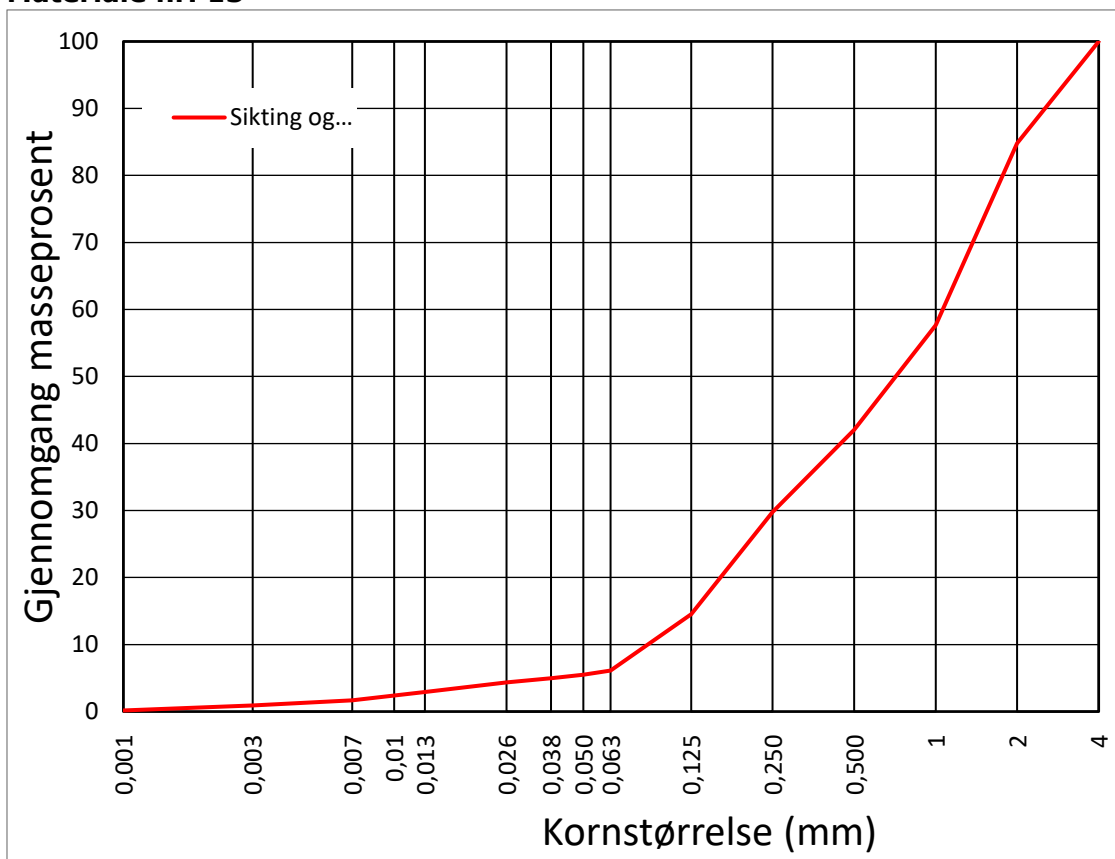
Materiale nr. 11



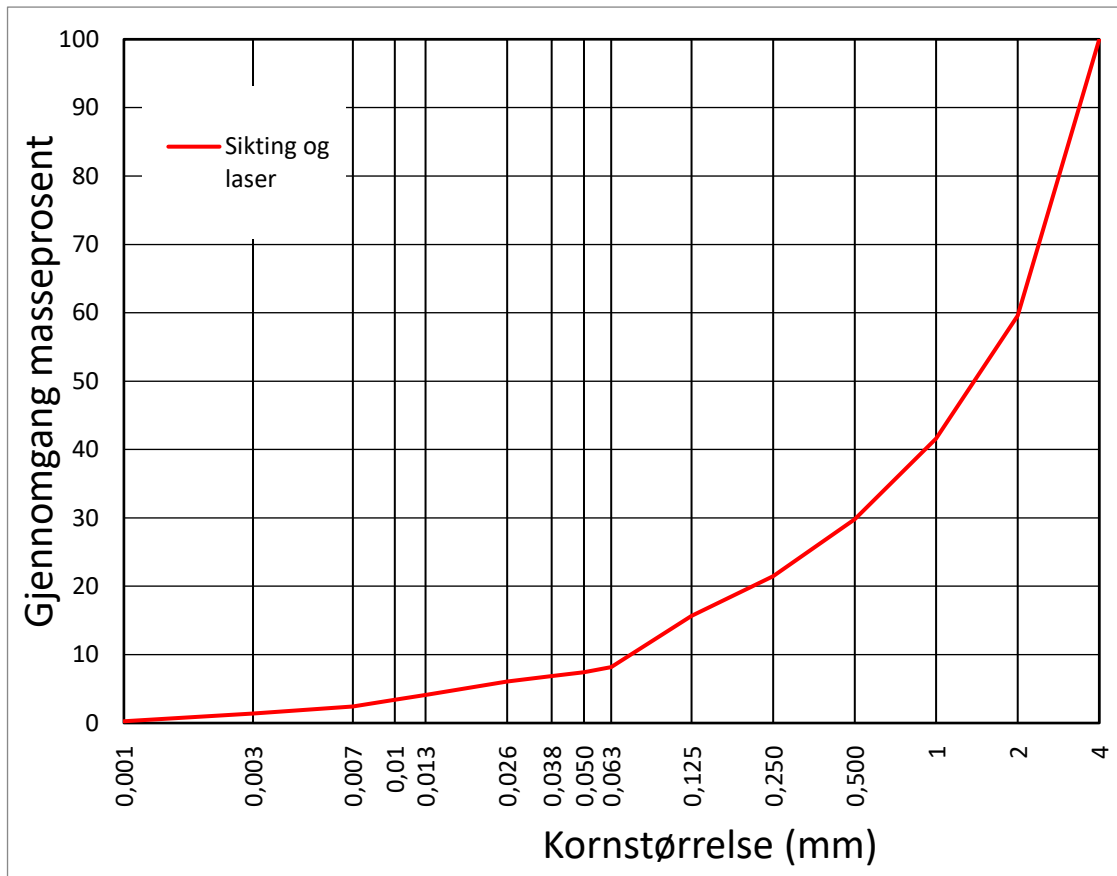
Materiale nr. 12



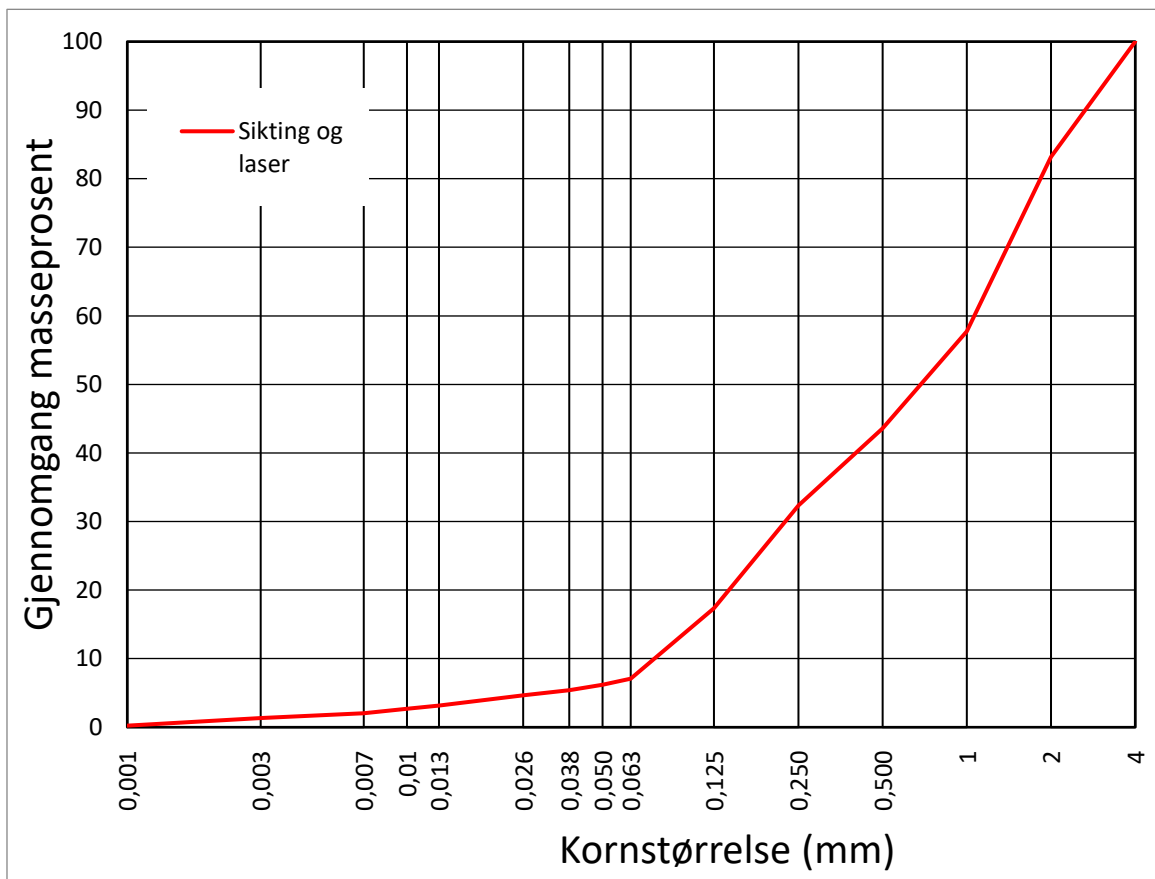
Materiale nr. 13



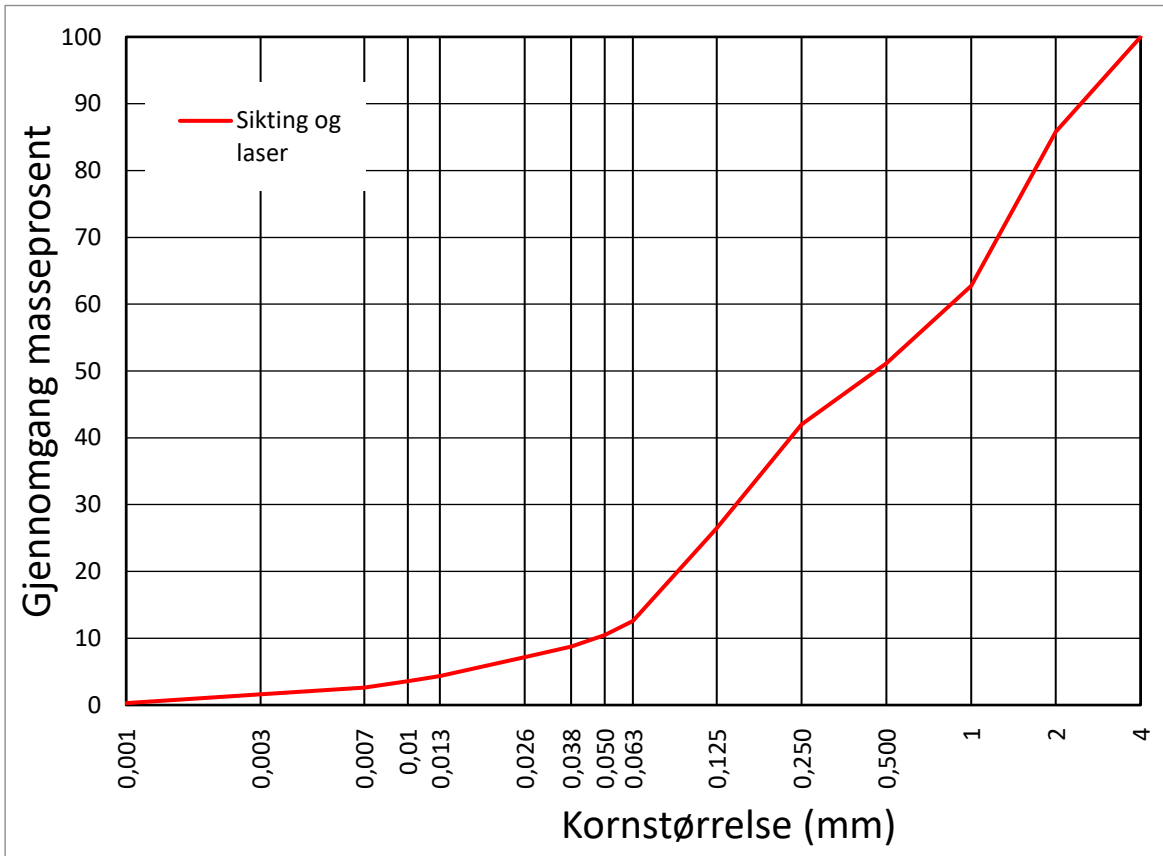
Materiale nr. 15



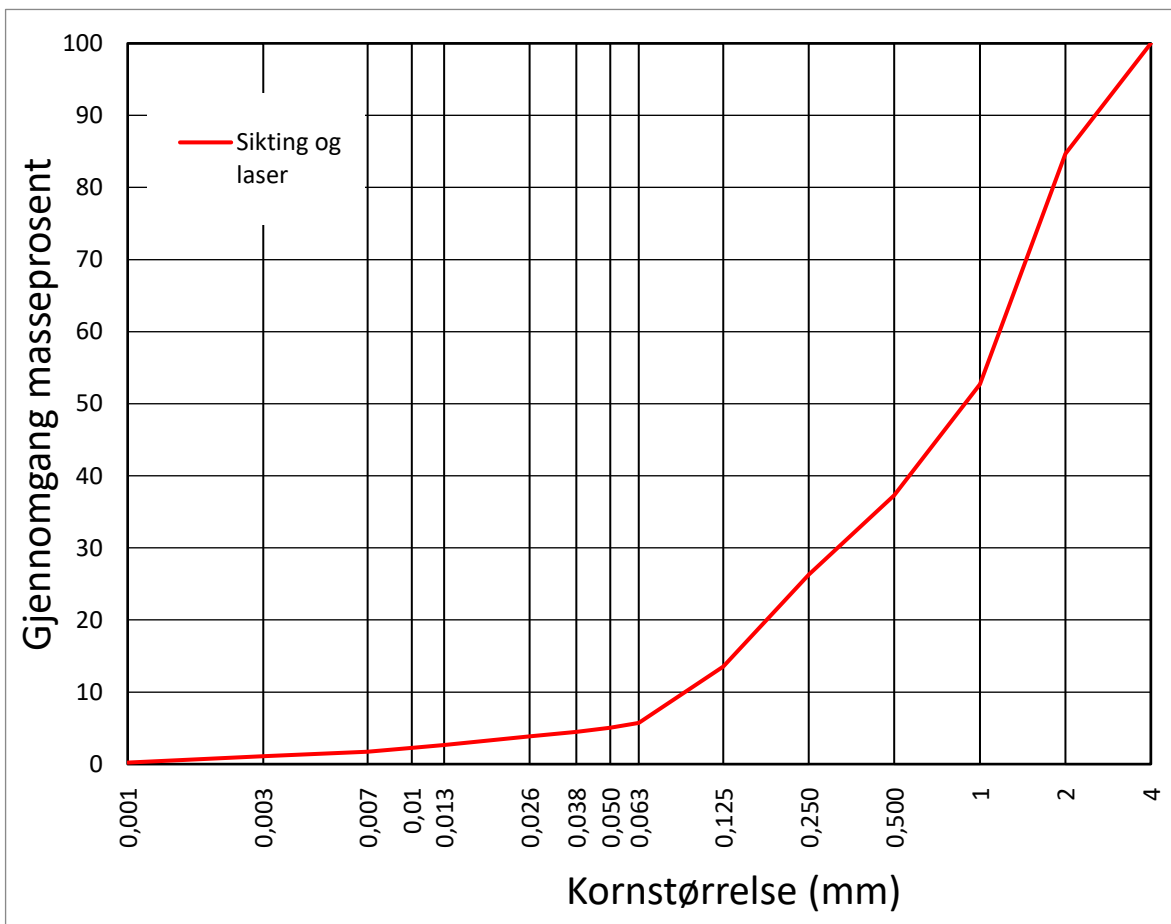
Materiale nr. 16



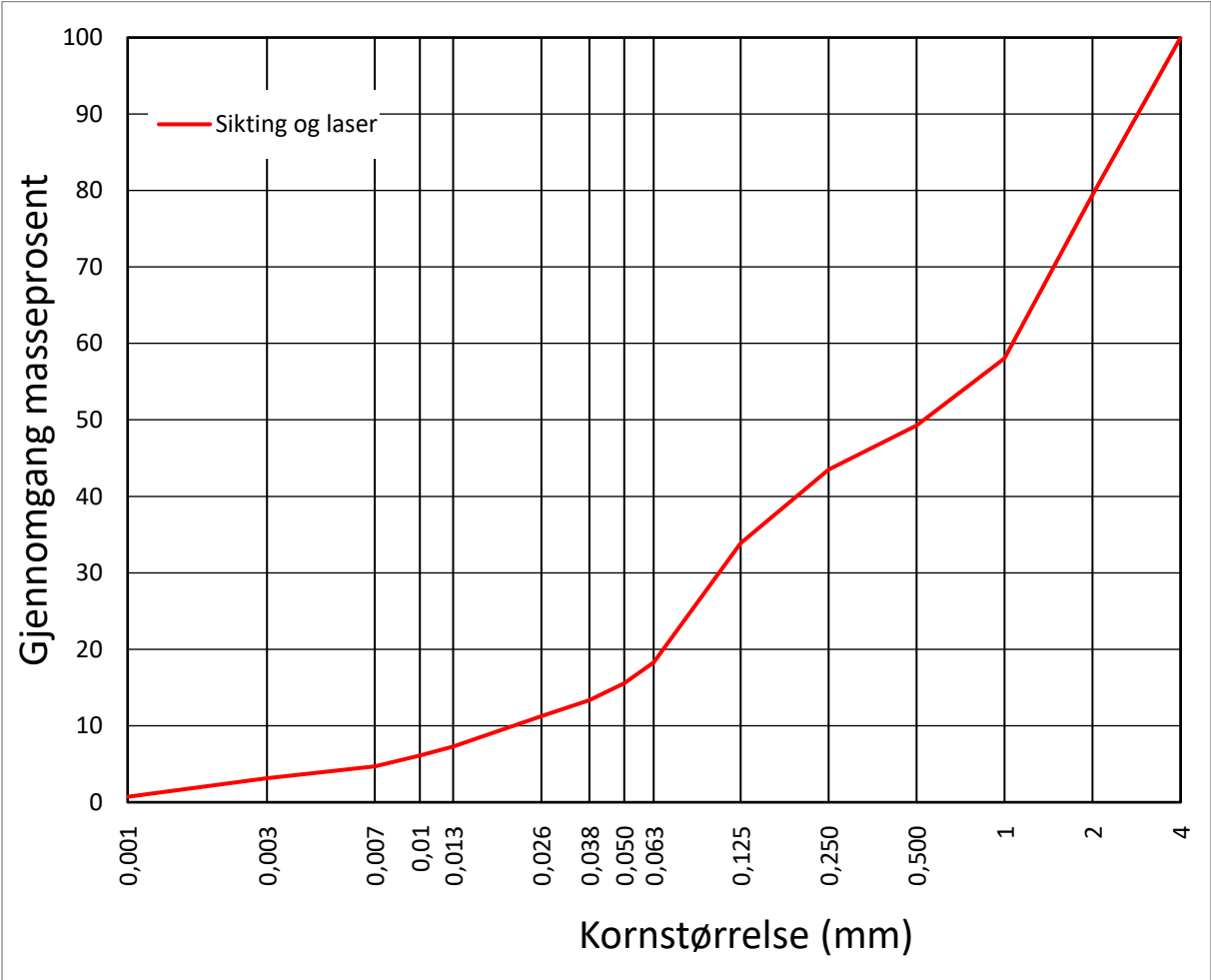
Materiale nr. 17



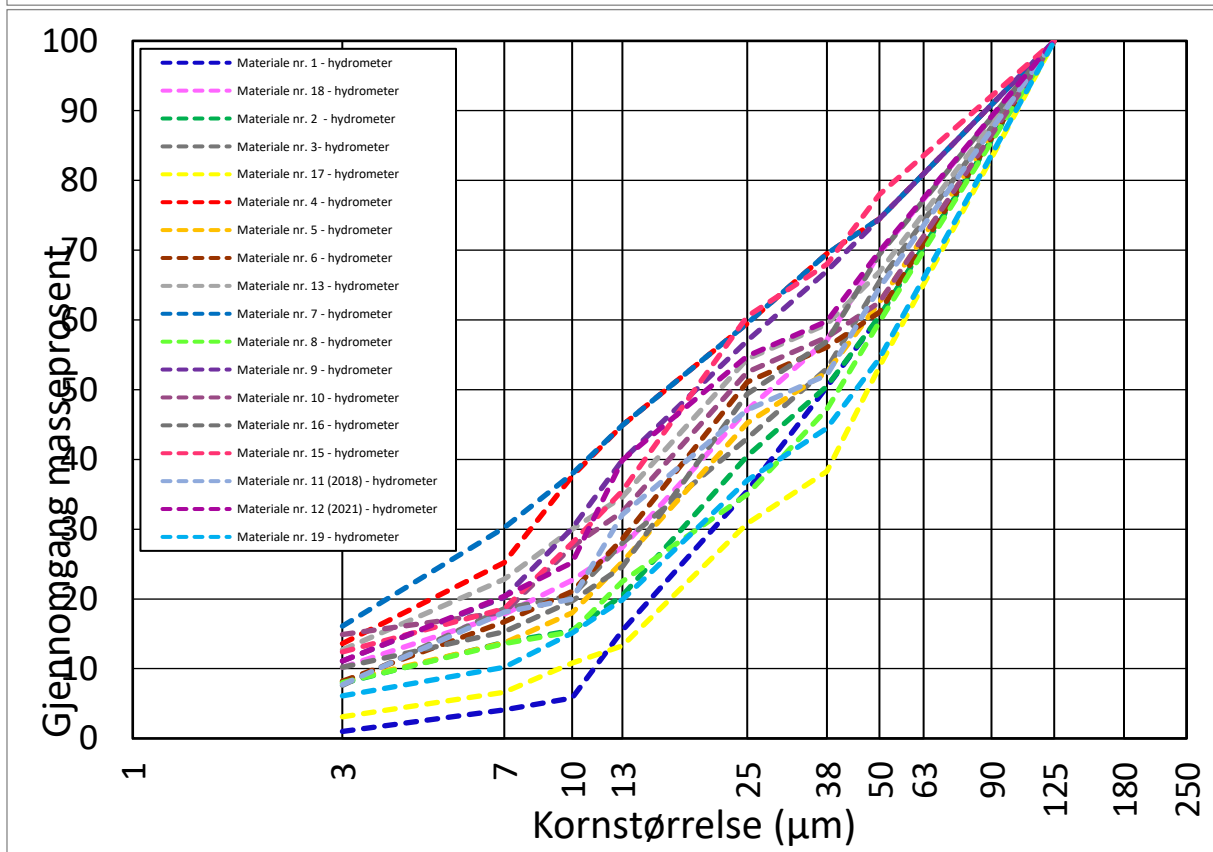
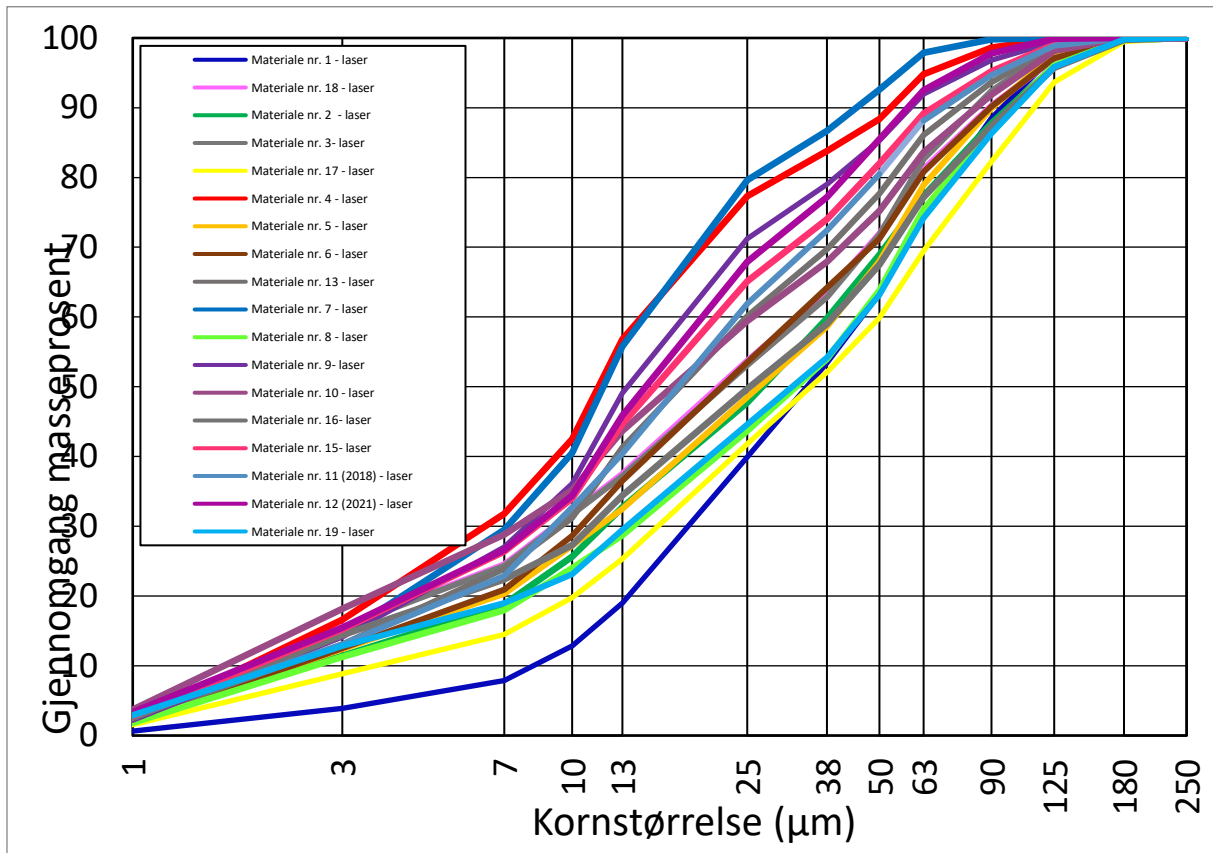
Materiale nr. 18

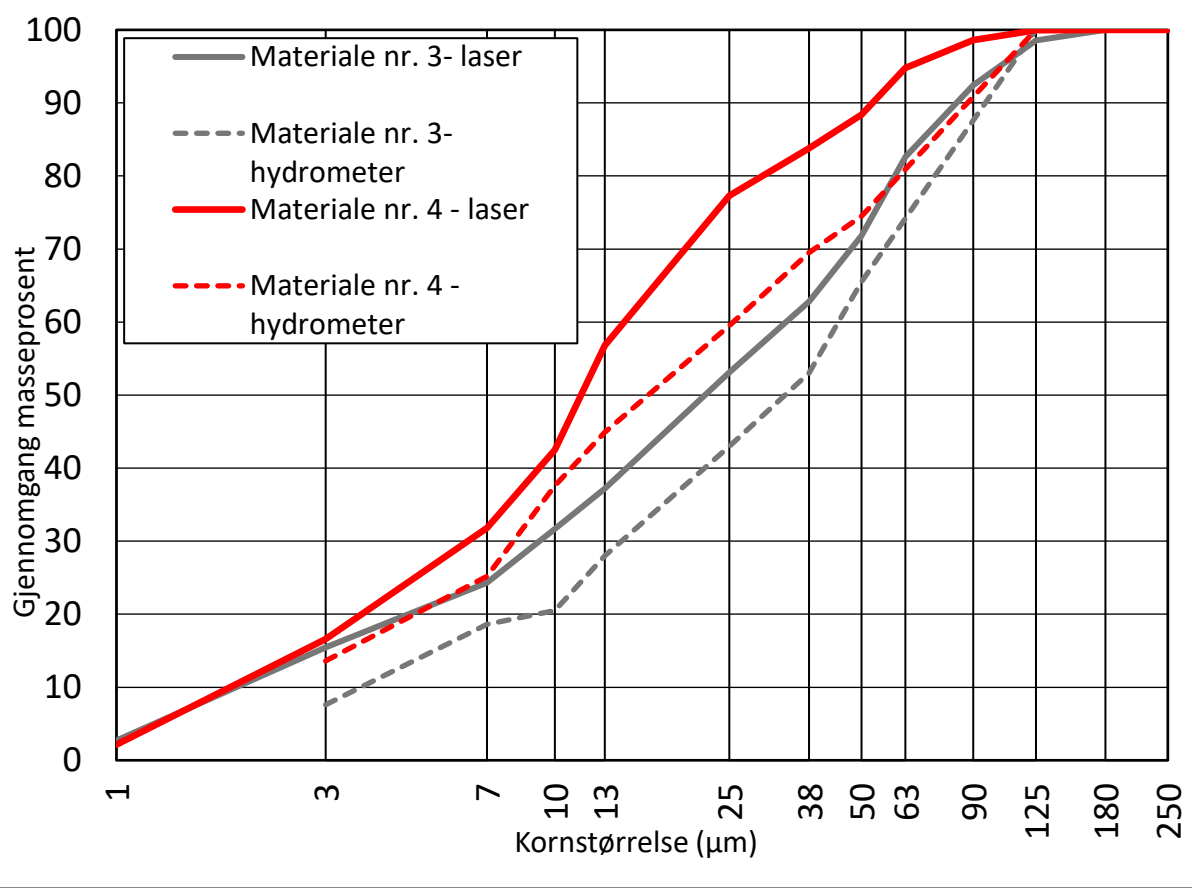
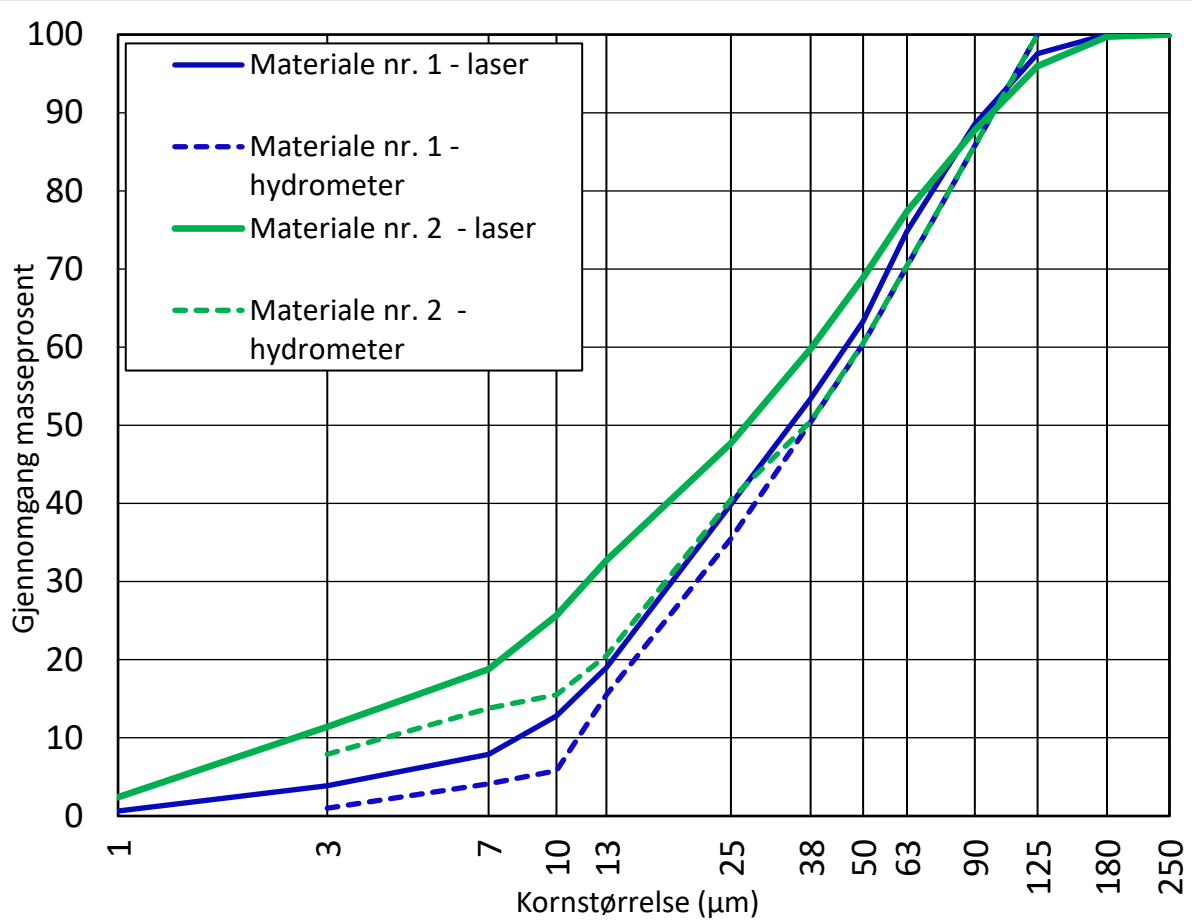


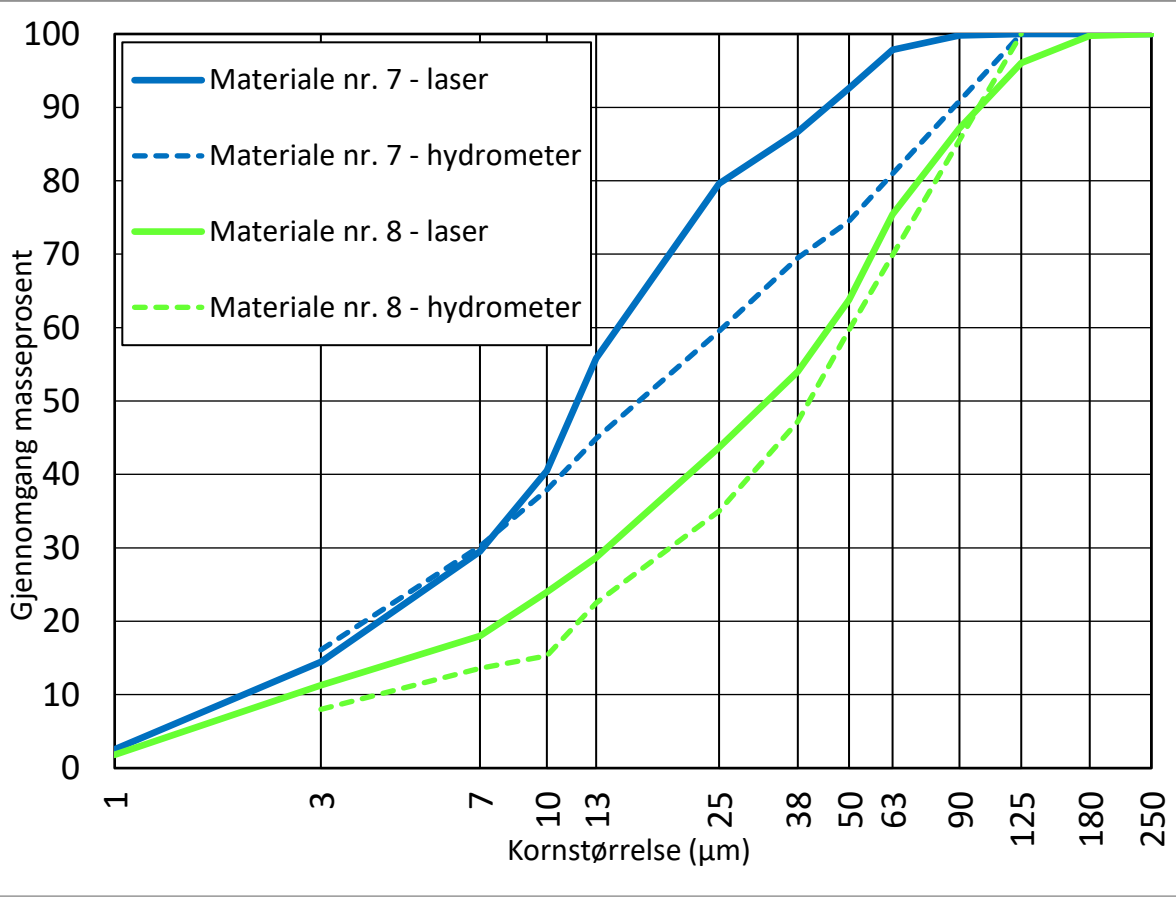
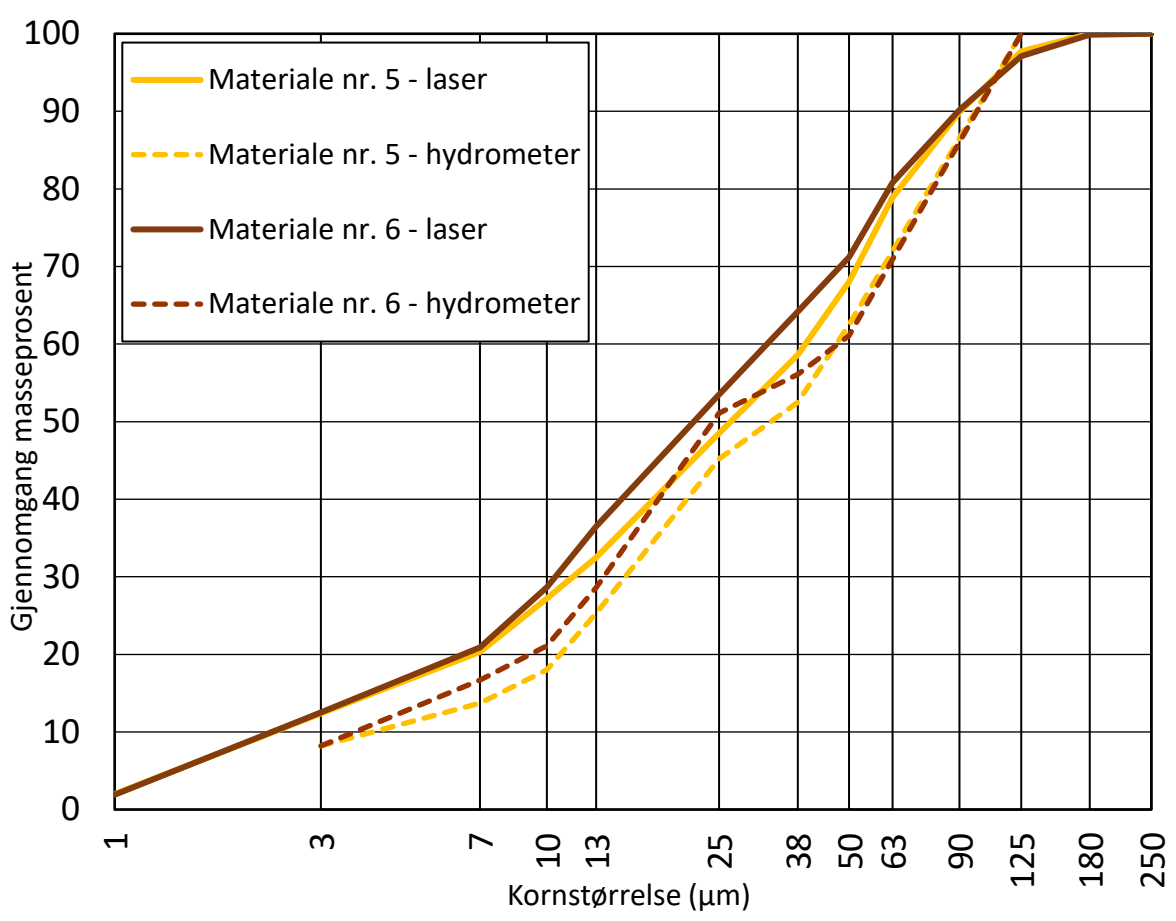
Materiale nr. 19

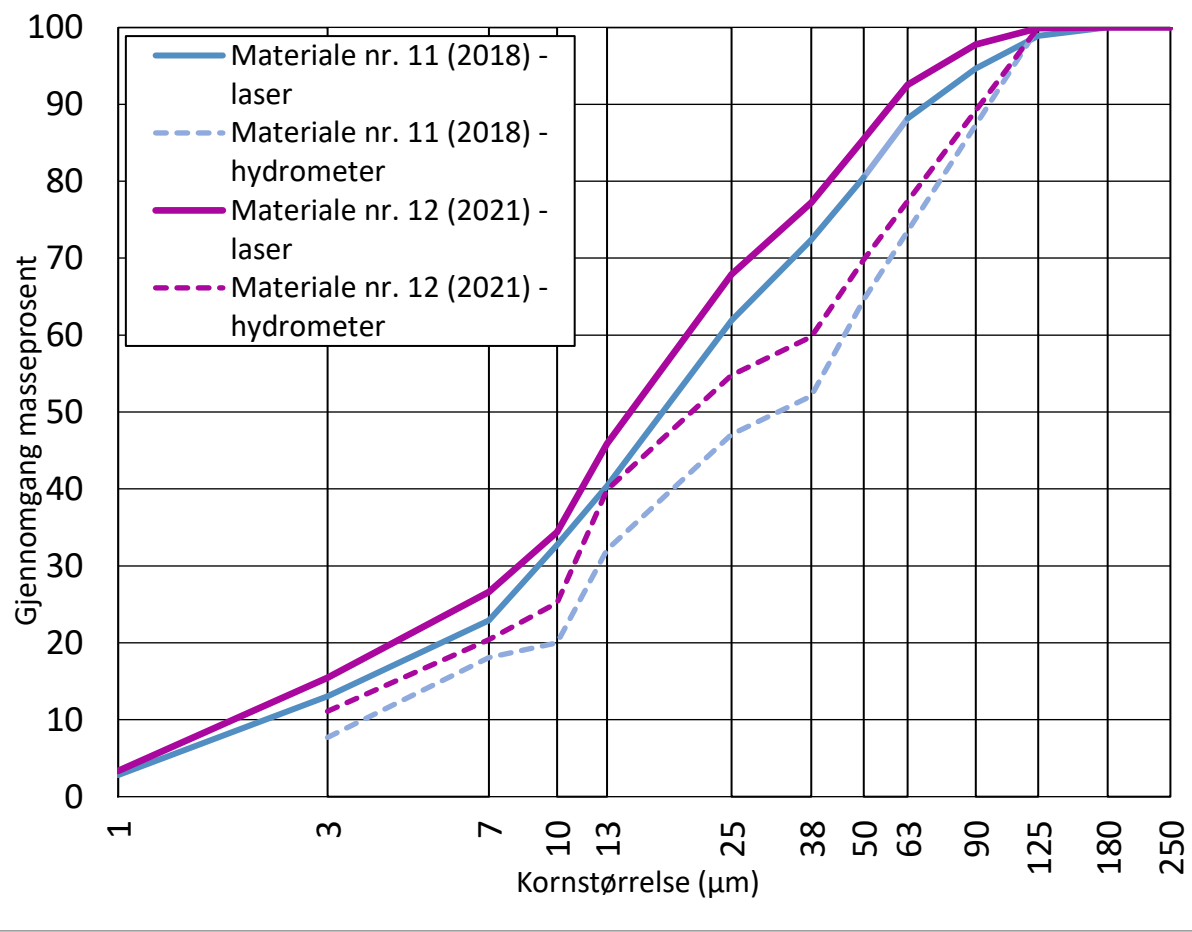
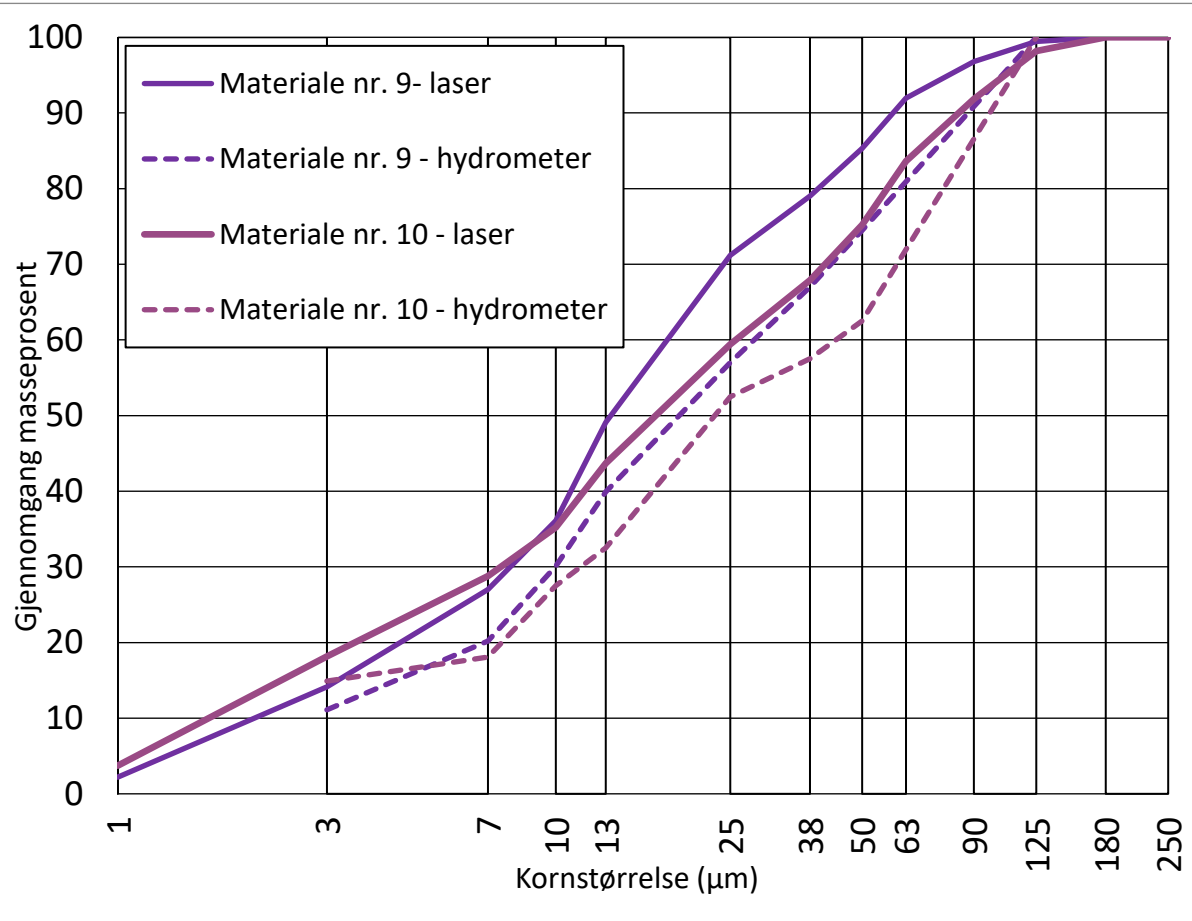


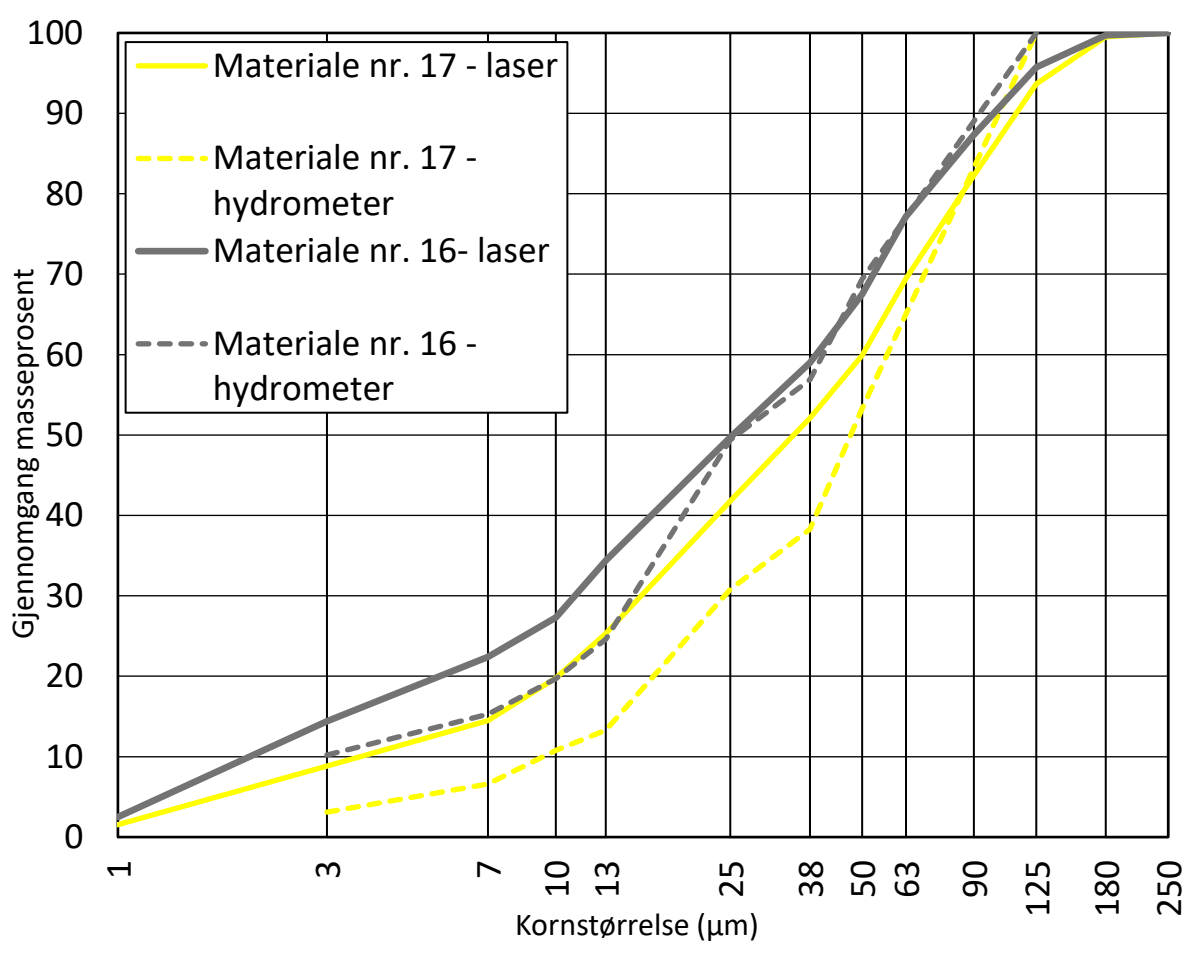
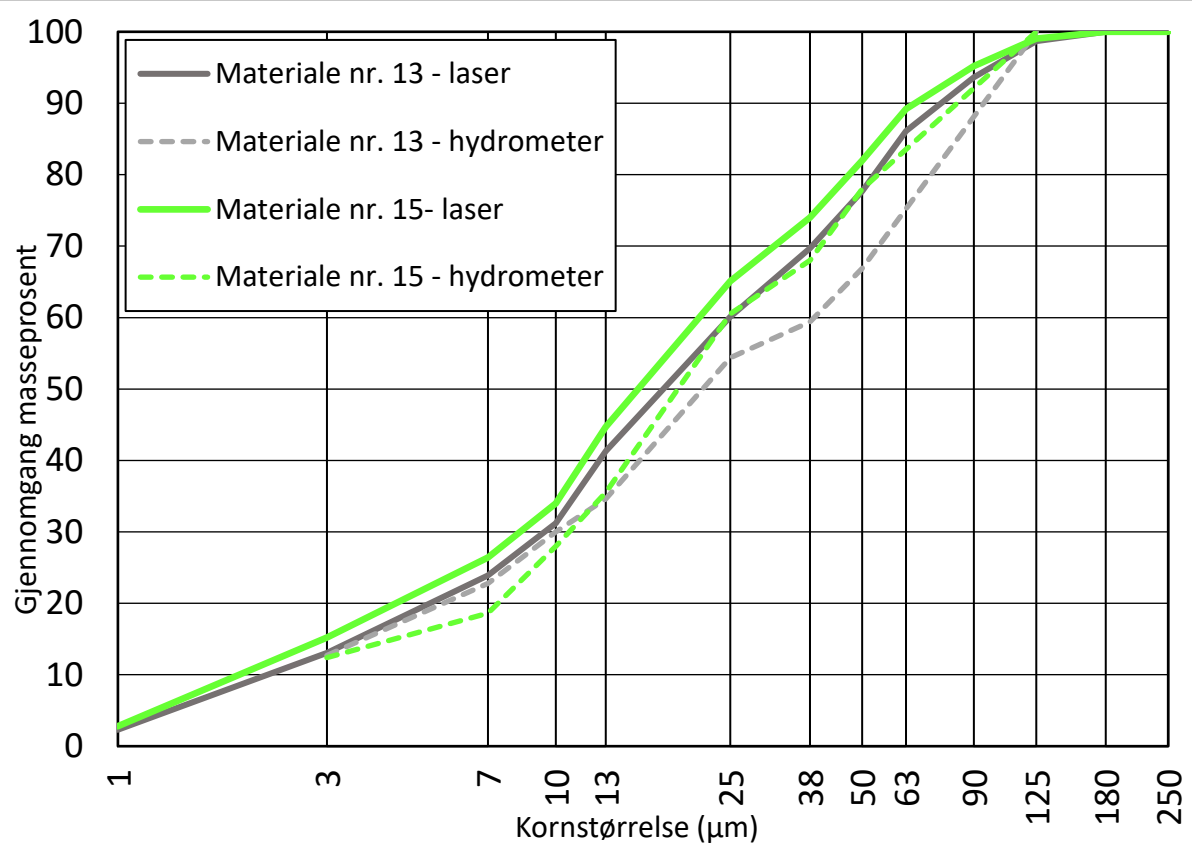
Vedlegg E – Laserkurver og hydrometer

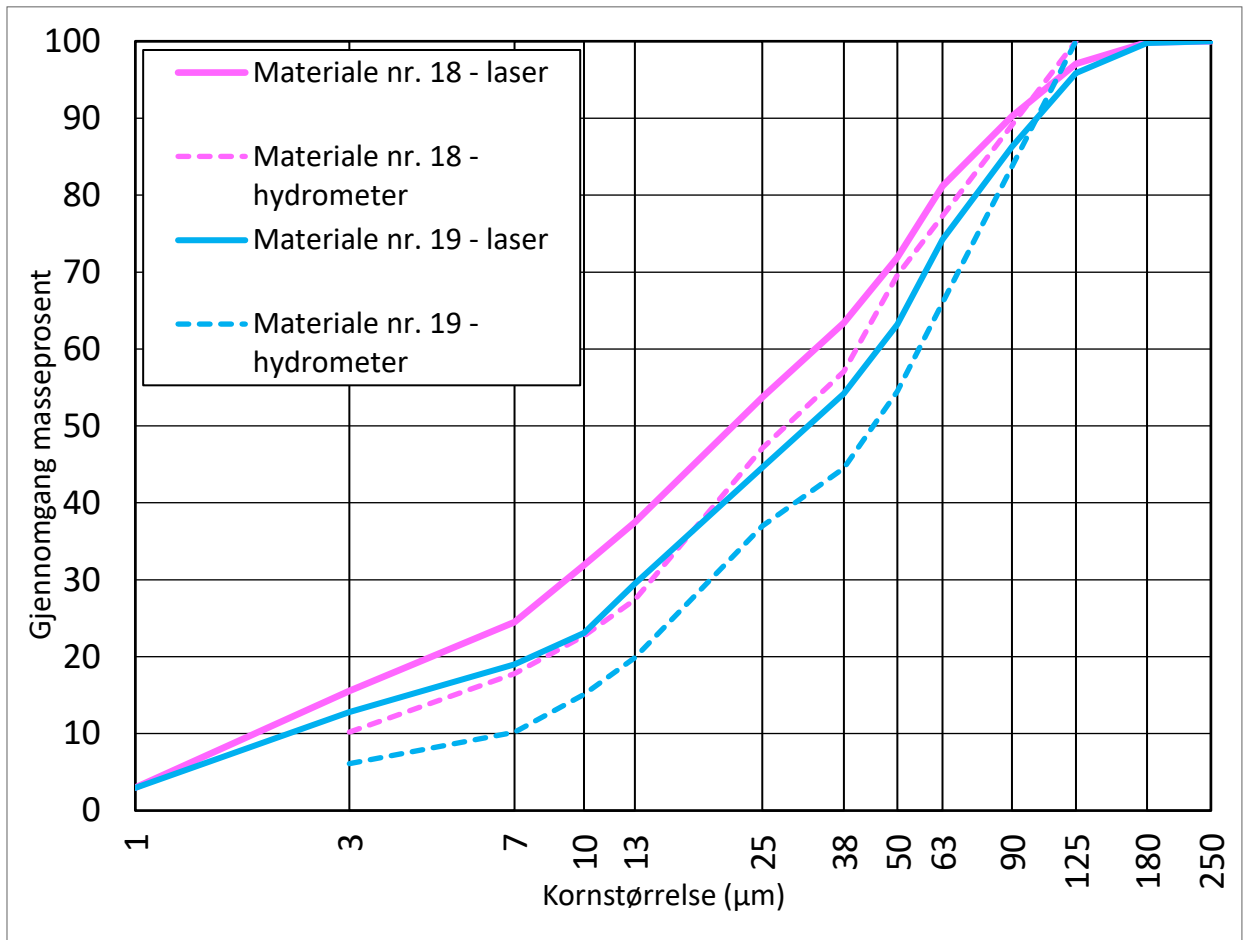












Vedlegg F – Partikkelteller Cilas 1190



PARTICLE SIZE AND SHAPE ANALYZERS

1190

The inventor of
Laser Particle Size
Technology

PARTICLE SIZE ANALYZER CILAS 1190

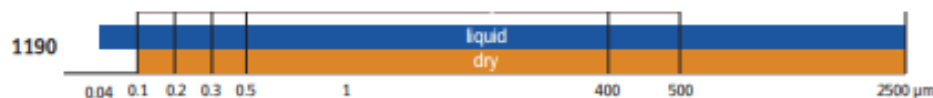


- Rugged, alignment-free design
- Software controlled switching between liquid and dry dispersion modes
- High performance dry dispersion system
- Patented multilaser technology
- Simultaneous size and shape measurements (with *SHAPE ANALYZER* option)

YOUR PARTNER IN PARTICLE ANALYSIS

www.cilas.com
info.particle@cilas.com

MEASUREMENT RANGE



TECHNICAL SPECIFICATIONS

Laser source	Longlife fiber and collimated laser
Wavelength	635 and 830 nm
Power (lasers)	2 and 5 mW
Peristaltic pump	variable 30 - 240 rpm
Mechanical Stirrer	adjustable from 180 rpm up to 500 rpm
Ultrasonic transducer	continuous or pulsed frequency 38 kHz adjustable power 20, 25, 50 W
Input	115 V/60 Hz - 230V/50 Hz consumption < 230 VA
Laser Safety Classification	21 CFR-1040 / NF EN 60825-1/A2
Closed Cover	Class I of NF EN 60825-1/A2
Open Cover	Class III of NF EN 60825-1/A2
Compliance	ISO 13320, 21 CFR-Part 11, CE, USP 429
EMC	NF EN 61326-1 directive 2004-108 / CEE
Safety	NF EN 61010-1 directive 72.23 / CEE

Measurement	Laser diffraction - based on Mie and Fraunhofer scattering theories
Size range	
liquid mode	0.04-2500 µm
dry mode	0.1-2500 µm
Dispersion type	venturi-free fall
Repeatability	< 1%
Accuracy	< 3%

Acquisition time	
liquid mode	60 seconds
dry mode	30 seconds

External dimensions	
Length/width/height	890, 530, 430 mm 35, 21, 17 in
Weight L/D/LD	57-50-63 kg / 126-110-139 lbs

SHAPE ANALYSIS

- The SHAPE ANALYSIS package includes a CCD camera to view particle shape. Particles are analyzed in a flow through cell connected to the laser particle size analyzer. The system is fully automated through software and allows to measure 60 size and shape parameters.
- The SHAPE ANALYSIS system includes an easy to use software package for shape characterization.
- Range: from 0.5 µm to 2500 µm.



ALCOHOL RECIRCULATOR

- The alcohol recirculator is used to regenerate alcohol when analyzing water soluble samples.
- The unit is fully automated using our SIZE EXPERT software.



PRODUCTS AVAILABLE IN

- Liquid mode = 1190 L
- Dry mode = 1190 D
- Liquid and dry mode = 1190 LD

CILAS
8, AVENUE BUFFON
ZI LA SOURCE
45063 ORLEANS (FRANCE)
T : + 33 2 38 64 15 55
F : + 33 2 38 64 59 22
www.cilas.com
info.particle@cilas.com



