



Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer

Varige veger 2011-2014

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 121



Statens vegvesen/SINTEF



VARIGE VEGER

Tittel

Vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer

Undertittel**Forfatter**

Eyolf Erichsen

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Vegteknologi

Prosjektnummer

603102

Rapportnummer

Nr. 121

Prosjektleder

Leif Bakløkk

Godkjent av

Joralf Aurstad

Emneord

Tilslagsmaterialer, Testmetoder, Los Angeles, Micro-Deval, Kulemølle, Flisighet

Sammendrag

Effektmålet til etatsprogrammet Varige veger er «Økt dekkelevetid og reduserte årskostnader for hele vegkonstruksjonen på det norske vegnettet».

Etatsprogrammet har fokus på følgende tre hovedtema som utgjør hver sin arbeidspakke:

1. Vegdekker
 2. Dimensjonering og forsterkning
 3. Kunnskapsformidling- implementering
- Programmets målsettinger skal nås gjennom tiltak på hele vegkonstruksjonen inkludert undergrunn/underbygning.

I arbeidspakke 1 inngår utprøving og evaluering av ulike metoder for kvalitetskontroll av asfalt, både i lab og felt.

Denne rapporten utarbeidet av NGU gir en vurdering av de materialtekniske testmetodene som benyttes for kvalitetsbedømmelse av tilslagsmaterialer til vegformål. Testmetoder som er vurdert er Los Angeles, Micro-Deval, Kulemølle og Flisighetsindeks.

Title

Evaluation of test methods for aggregates

Subtitle**Author**

Eyolf Erichsen

Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Section

Vegteknologi

Project number

603102

Report number

No. 121

Project manager

Leif Bakløkk

Approved by

Joralf Aurstad

Key words

Aggregates, Test methods, Los Angeles, Micro-Deval, Nordic abrasion test, Flakiness

Summary

Forord

De siste åra har det bygd seg opp et stadig sterkere behov for et faglig løft innenfor vegteknologiområdet i Norge. Vi ser at det både er et behov og et potensial for å bedre kvaliteten og øke levetiden på asfaltdekkene. I Nasjonal Transportplan, i Statens vegvesens Handlingsprogram og i mange fylker legges det også opp til sterkere satsing på å ta vare på eksisterende vegnett.

Effektmålet til etatsprogrammet Varige veger er «**Økt dekkelevetid og reduserte årskostnader for hele vegkonstruksjonen på det norske vegnettet**».

Etatsprogrammet har fokus på følgende tre hovedtema som utgjør hver sin arbeidspakke:

- 1. Vegdekker**
- 2. Dimensjonering og forsterkning**
- 3. Kunnskapsformidling og implementering**

Programmets målsettinger skal nås gjennom tiltak på hele vegkonstruksjonen inkludert undergrunn/underbygning. I tillegg er det viktig at det fokuseres på å heve kompetansen både hos Statens vegvesen og andre byggherrer, entreprenører, konsulenter, undervisnings- og forskningsinstitusjoner.

I arbeidspakke 1 inngår utprøving og evaluering av ulike metoder for kvalitetskontroll av asfalt, både i lab og felt. Denne rapporten utarbeidet av NGU gir en vurdering av de materialtekniske testmetodene som benyttes for kvalitetsbedømmelse av tilslagsmaterialer til vegformål. Testmetoder som er vurdert er Los Angeles, Micro-Deval, Kulemølle og Flisighetsindeks.

| | | | |
|---|---------------------------------|--|-------------|
| Rapport nr.: 2012.011 | | ISSN 0800-3416 | Gradering: |
| Tittel: En vurdering av testmetoder for tilslagsmaterialer til vegformål. | | | |
| Forfatter: Eyolf Erichsen | | Oppdragsgiver: NGU og Vegdirektoratet | |
| Fylke: | | Kommune: | |
| Kartblad (M=1:250.000) | | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) | |
| Forekomstens navn og koordinater: | | Sidetall: 34 Kartbilag: | Pris: 170,- |
| Feltarbeid utført: | Rapportdato: 1. februar 2012 | Prosjektnr.: 3317.00 | Ansvarlig: |
| <p>Sammendrag:</p> <p>FoU prosjektet <i>Varige veger</i> har som overordnet mål å bidra til lengre levetid på veger og vegdekker. Formålet med denne rapporten er å gi en vurdering av de materialtekniske testmetodene som benyttes for å kvalitetsbedømme tilslagsmaterialer som anvendes til vegformål. Testmetoder som er benyttet er Los Angeles, micro-Deval og kulemølle. Kornformen er også viktig å vurdere ved at den har innflytelse på de materialtekniske egenskapene.</p> <p>Nedbrytningsprosessen til testmetodene er viktig å forstå sett i forhold til det de empirisk er ment å gi uttrykk for i en vegkonstruksjon.</p> <p>Los Angeles-metoden behandler tilslagsmaterialer med ulike iboende egenskaper forskjellig. Nedbrytningen skjer ved en kombinert knuse- og abrasiv deformasjon, der den abrasive komponenten er mest utpreget i bergarter som har dårlige slitasjeegenskaper. En svakhet ved Los Angeles-testen er at den gir for gode resultater spesielt for en del sedimentære bergarter. Det må derfor alltid utføres en slitasjetest i kombinasjon med Los Angeles-testen.</p> <p>Både micro-Deval- og kulemøllemetoden gir uttrykk for slitasje ved testing på standard fraksjon og de alternative fraksjonene som gjelder for metodene. For grovere fraksjoner gir Los Angeles-testen uttrykk for slitasje framfor knusing.</p> <p>Kontroll og krav til flisighetsindeks for alle delfraksjoner som inngår for eksempel i en asfaltresept, vil gi et godt grunnlag for å kunne sikre god kvalitet for de materialtekniske egenskapene til alle graderinger som inngår.</p> <p>Det bør stilles krav til maks. andel svake mineraler (glimmer) i bergarter eventuelt også i mørtelfasen (< 4mm) for massesammensetningen som benyttes i vegdekke. Et alternativ er å sikte fra finstoffet for fraksjoner med et høyt innhold av svake mineraler.</p> <p>Punktlasttest kan være en aktuell metode for avsløre anisotope bergarter som kan gi for gode testresultater på de gjeldende mekaniske testmetodene som benyttes.</p> | | | |
| Emneord: Los Angeles | Micro-Deval | Kulemølle | |
| Flisighetsindeks | Fallprøve | Sprøhetstall | |
| Abrasjonsverdi | Punktlasttest | Tynnslip | |

INNHold

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | INNLEDNING..... | 4 |
| 2. | TESTMETODER; HISTORISK UTVIKLING OG HVA GIR DE UTTRYKK FOR | 5 |
| 2.1 | Los Angeles-metoden | 5 |
| 2.2 | Micro-Deval metoden | 15 |
| 2.3 | Kulemøllemetoden..... | 20 |
| 2.4 | Kornform (flisighet)..... | 23 |
| 2.5 | Samlet vurdering av testmetodene | 27 |
| 2.6 | Andre egenskaper og analysemetoder | 30 |
| 3. | FORSLAG TIL VIDERE ARBEID..... | 32 |
| 4. | REFERANSER..... | 33 |

1. INNLEDNING

Tilslagsmateriales bruksegenskaper til vegformål vurderes bl.a. ved ulike testmetoder. Metodene er ment å gjenspeile mekaniske egenskaper, som motstand mot knusing, slitasje og polering, samt fysiske egenskaper som kornform. Testmetodene som benyttes i dag utføres på ”smale fraksjoner” sett i forhold til den totale massesammensetningen som benyttes i en vegkonstruksjon. I tillegg, da spesielt for asfaltdekker, består massene av flere ulike tilslagsmaterialer med forskjellige korngraderinger, mens testmetodene som regel kun utføres på det groveste materialet i blandingen.

Nedbrytning av en vegkonstruksjon skyldes flere forhold som deformasjon, slitasje og bestandighet. I denne rapporten omhandles de testmetodene som benyttes for å beskrive de materialtekniske egenskapene som erfaringsvis har innvirkning for kvaliteten på tilslagsmaterialet og som har betydningen for anvendelse til vegformål.

Prosjektet er knyttet til FoU prosjektet *Varige veger* som gjennomføres av Statens vegvesen. NGUs bidrag utføres som en del av samarbeidsavtalen NGU har med Statens vegvesen.

2. TESTMETODER; HISTORISK UTVIKLING OG HVA GIR DE UTTRYKK FOR

Det er viktig at man har en oppfatning av hvilke nedbrytningsprosesser som tilslagsmaterialer som benyttes til vegformål utsettes for, og som må kunne relateres til de deformasjoner de materialtekniske testmetodene faktisk gir uttrykk for. Kunnskap og forståelse om metodenes deformasjonsprosesser er derfor nødvendig.

I gjeldende håndbok 018 - Vegbygging [1a] benyttes følgende testmetoder for å beskrive;

- Los Angeles-metoden / tilslagsmaterialets evne til å motstå knusing
- Micro-Deval metoden / tilslagsmaterialets evne til å motstå slitasje i vegfundamentet
- Kulemøllemetoden / tilslagsmaterialets evne til å motstå piggdekkslitasje
- Flisighetsindeks / kornform til tilslagsmaterialet

I tillegg vil poleringstesten kunne benyttes for å angi en (mikrotekstur) av flere faktorer som har betydning for friksjonsegenskapene til et vegdekke. Per i dag stilles det ikke krav til poleringsmotstanden (PSV).

Testmetodene er ment å gi uttrykk for deformasjonsprosesser som knusing og slitasje. Kornformen er en fysisk egenskap som er delvis avhengig av type steinmateriale, men også prosesseringen i et knuse-/sikteverk. Kornformen vil igjen ha innvirkning på de mekaniske egenskapene. Man stiller krav alle disse egenskapene for å unngå nedbrytning av tilslagsmaterialet i en vegkonstruksjon. De tre mekaniske testmetodene utføres alle som trommeltester med ulik utforming og gjennomføring. Analyseverdiene for de tre testene gir uttrykk for mengde produsert finstoff etter tromling.

Den historiske utviklingen for testmetodene i forhold til tidligere benyttede metoder vil innledningsvis bli anskueliggjort. Videre vil testmetodenes reelle deformasjon bli vurdert nærmere, første for hver enkelt metode og deretter samlet.

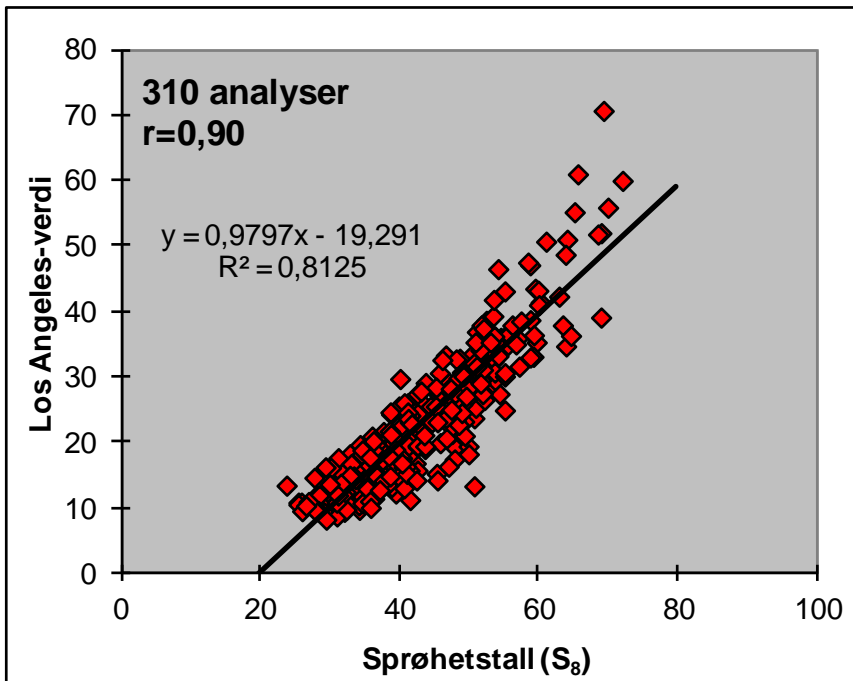
Eventuelle svakheter med metodene vil bli diskutert spesielt. Andre egenskaper og analysemetoder vil også bli omhandlet ved at de kan være aktuelle mht. bedømmelse av materialeegenskaper for tilslag til vegformål.

Avslutningsvis omhandles forslag til videre arbeid.

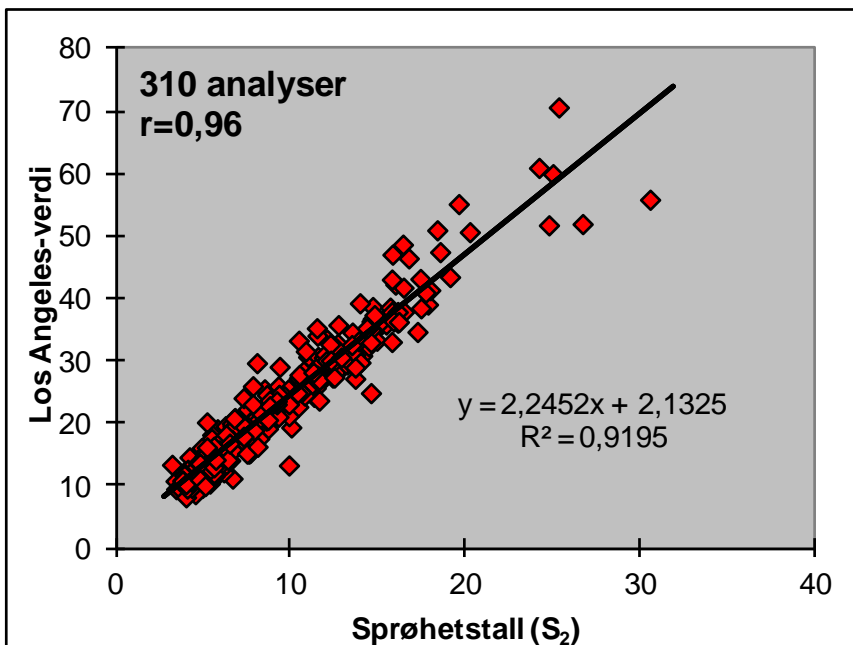
2.1 Los Angeles-metoden

Metoden er opprinnelig beskrevet som en kombinert abrasjon- og knusetest som kan utføres på en rekke alternative fraksjoner [2, 3]. Metoden ble innført i Norge fra 1999 [1c] og fra 2005 [1b] erstattet den sprøhetstallet (S_8 - Andel materiale $< 8\text{mm}$), som tidligere ble benyttet for å bedømme motstanden mot nedknusing. Det er god korrelasjon mellom metodene (figur 1) spesielt ved beregning av sprøheten for andel finstoff $< 2\text{mm}$ (S_2) som produseres etter testing (figur 2). S_8 beregnes for en fraksjon som er "nær" testfraksjonen ($11.2/8\text{mm}$), mens S_2 samsvarer bedre med Los Angeles-verdien som også angir andel finstoff ($< 1.6\text{mm}$) beregnet for en fraksjon som er "langt" fra testfraksjonen ($14/10\text{mm}$). Forbedringen i

korrelasjon mellom S_2 og LA-verdien er derfor et naturlig resultat. Den gode korrelasjonen mellom metodene var grunnlaget for fastsettelse av nye kravgrenser for LA-verdien basert på tidligere krav til S_8 [4].



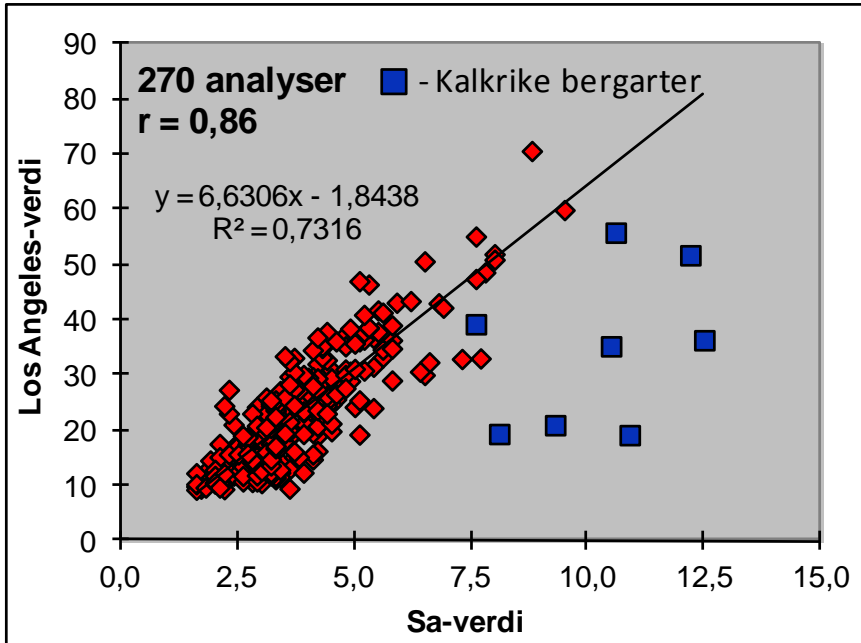
Figur 1. Korrelasjon mellom Los Angeles-verdi og sprøhetstall (S_8).



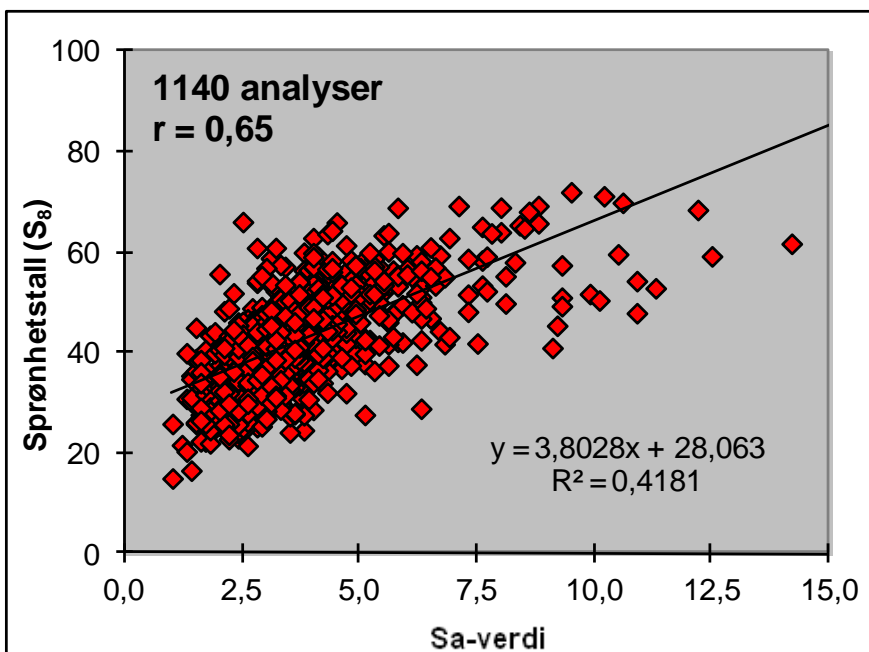
Figur 2. Korrelasjon mellom Los Angeles-verdi og sprøhetstall (S_2).

Fallprøven som gir sprøhetstallet utføres ved at en fallhammer knuser materialet i en morter. Rent intuitivt oppfattes dette å være en tilnærmet "ren knusetest". LA-metodens korrelasjon med sprøhetstallet tilsier derfor at knuseeffekten har størst innvirkning. Rogers [5] viser til tilsvarende korrelasjon mellom LA-metoden og den britiske "fallprøven" (Aggregate Impact test [6]) og konkluderer med at LA-metoden ikke gir uttrykk for abrasive egenskaper, men

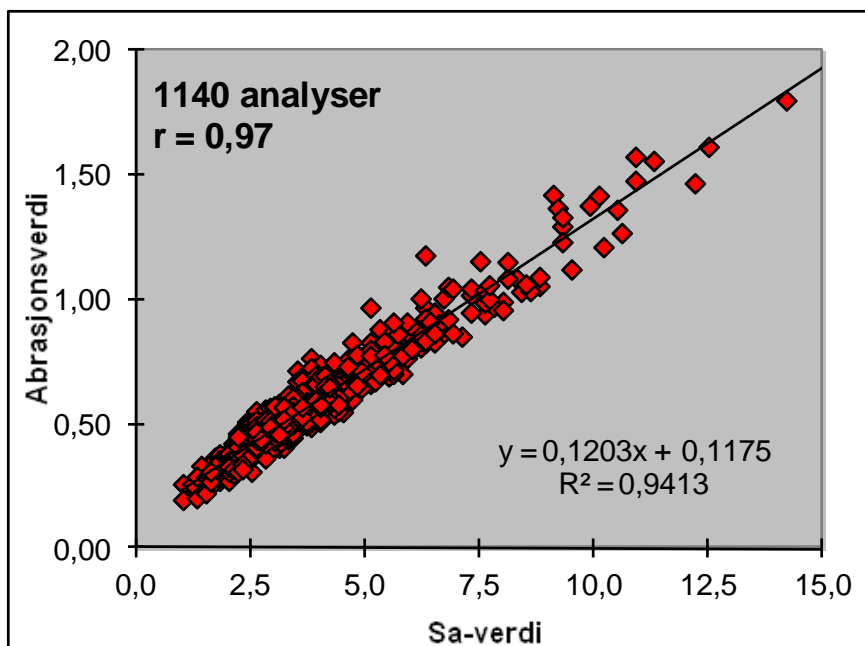
heller motstand mot knusing. Ved å sammenholde LA-verdier med Sa-verdier (figur 3), og ved å se bort i fra kalkrike bergarter som kalkstein og marmor, framkommer en trend som tilsier at slitasjeegenskapene kan ha en viss innvirkning på LA-metoden ($Sa\text{-verdien} = \sqrt{S_8} * \text{abrasjonsverdien}$). Abrasjonsverdien ansees å ha størst innvirkning på Sa-verdien, se figur 4-5).



Figur 3. Korrelasjon mellom Los Angeles-verdi og Sa-verdi.

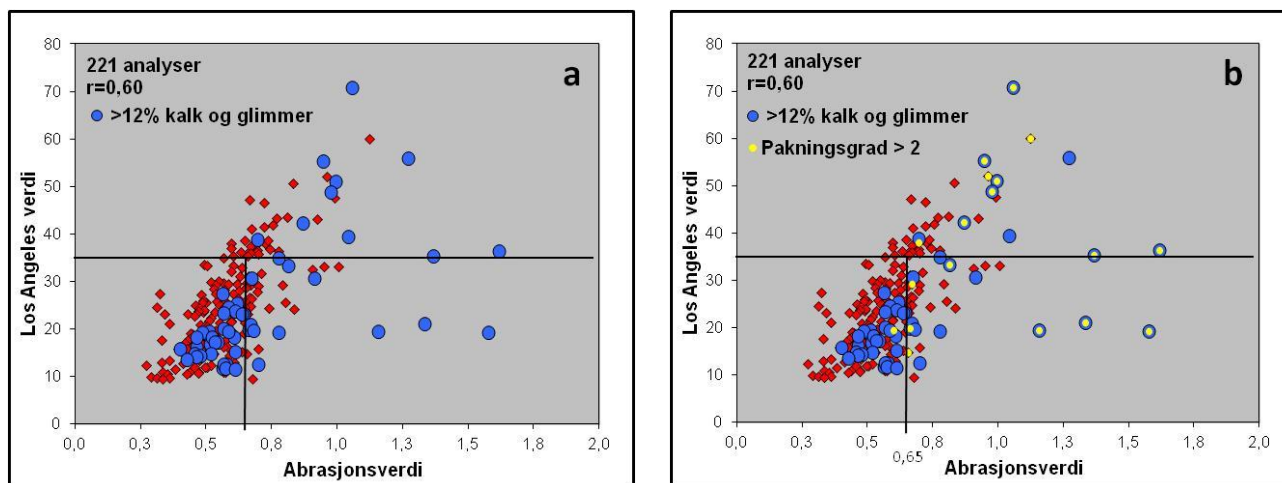


Figur 4. "Korrelasjon" mellom Sa-verdi og S_8 .



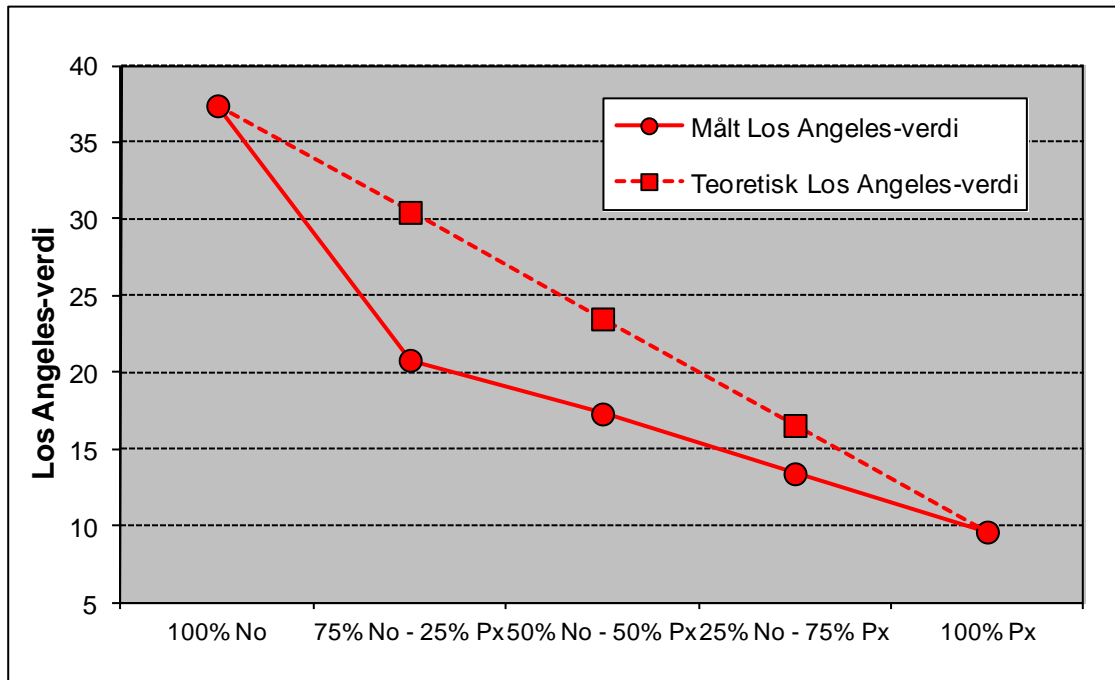
Figur 5. "Korrelasjon" mellom Sa-verdi og abrasjonsverdi.

Los Angeles-metoden har en svakhet ved at den kan gi "for gode resultater" og da spesielt for bergarter med dårlige slitasegenskaper. Erfaringsvis er dette gjeldende for sedimentære bergarter, gjerne med et høyt glimmer- og/eller kalkinnhold (figur 6a). Den tidligere benyttede fallprøven "avslørte" en del av disse bergartene tilkjennegitt med en høy pakningsgrad (fig 6b). Fra 2011 [1a] ble det gjeninnført krav til slitasegenskaper for materialer som skal benyttes for alle typer vegformål. Dette ansees som tilstrekkelig for å avdekke problemet.



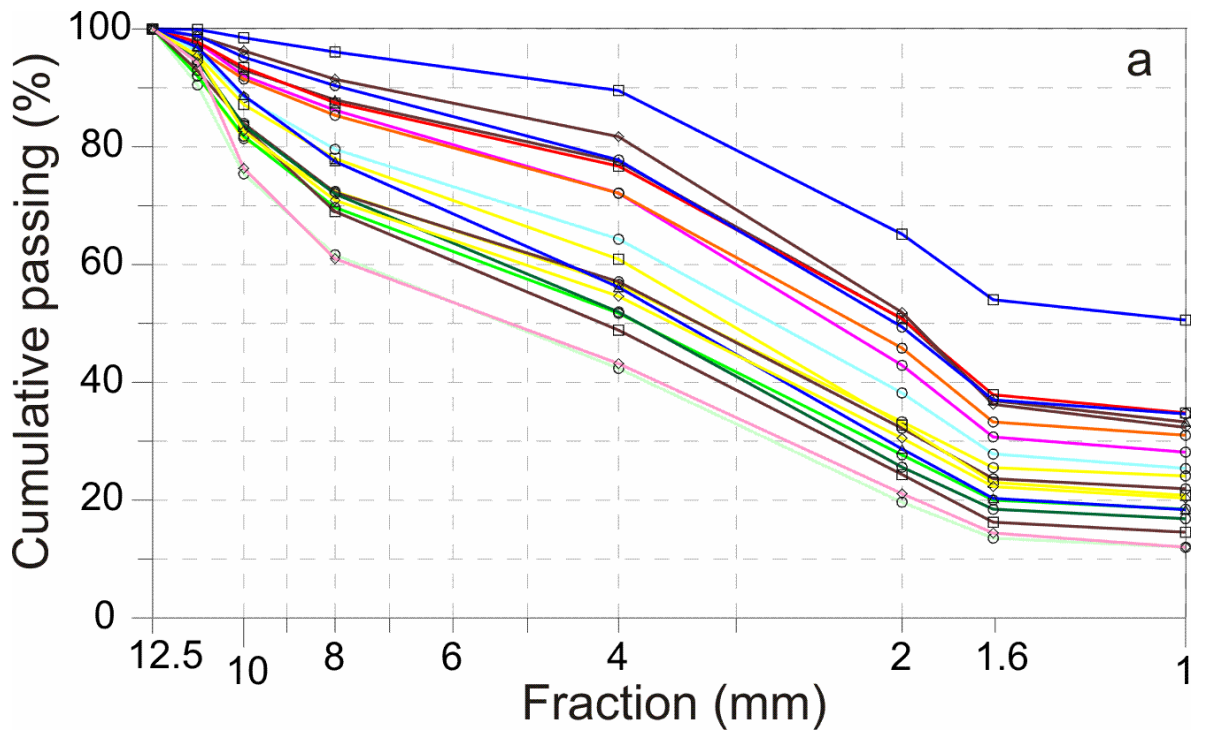
Figur 6. Korrelasjon mellom Los Angeles-verdi og abrasjonsverdi. a) Prøver med mer enn 12% kalk og glimmer. b) Prøver med pakningsgrad ≥ 2 . Kravgrenser for bærelag iht. 1999 utgaven for håndbok 018 [1c] er markert med linjer i figuren.

Inhomogent steinmateriale med varierende knusemotstand vil også kunne gi et feil bilde ved at ”sterkt materiale” beskytter ”svakt materiale”. Dette vil i første rekke gjelde grusmateriale, men kan også inntreffe for en del pukkverk med stor variasjon i berggrunnen som for eksempel vist i figur 7. For dette verket er det utført et forsøk med blanding mellom de to dominerende bergartene i bruddet, som viser at bergarten med best knusemotstand beskytter det svakeste materialet. Mølleverdien er nokså lik for de to bergartene.

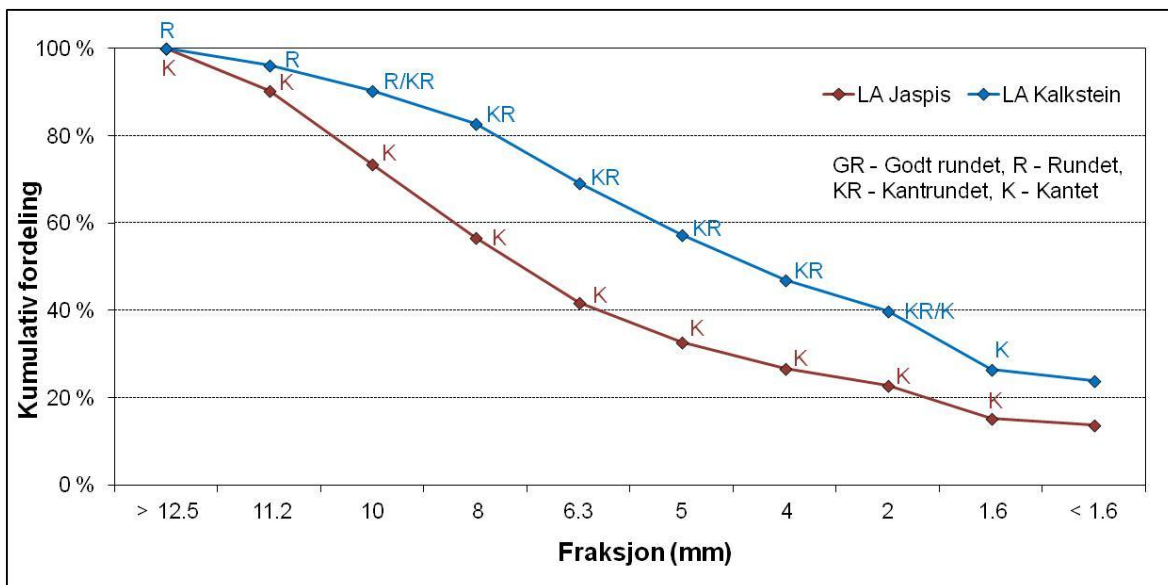


Figur 7. Los Angeles-testing med blanding mellom noritt (No-mølleverdi 11,6) og pyroksenitt (Px-mølleverdi 9,6).

Analyse av siktekurven etter testing kan brukes til å bestemme hva slags nedbrytningsprosess som skjer for de materialtekniske testmetodene [7]. En velgradert siktekurve etter tromling tilsier knusing (figur 8), mens en ensgradert kurve angir slitasje [7, 8]. Variasjon i forløpet for siktekurvene er stor, avhengig av de ulike bergartenes evne til å motstå knusing og/eller slitasje. Effekten av dette sees godt ved å bedømme rundingsgraden [9] før og etter tromling for de ulike fraksjonene (Figur 9 og tabell 1). Slitesterke bergarter som jaspis får en kantet form for alle fraksjoner som tilsier knusing. Bergarter med dårlig slitastmotstand, som kalkstein, blir tydelig utsatt for mer abrasiv slitasje ved Los Angeles testing. Spesielt de groveste fraksjonene får en rundet til kantrundet form, mens det fineste materialet blir kantet.












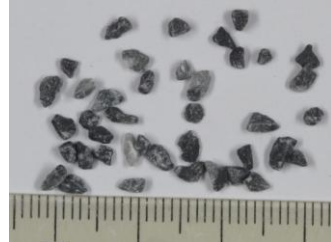


Figur 8. Kumulativt fordelt siktekurve etter Los Angeles-testing for 10/14mm fraksjonen (standard testfraksjon).

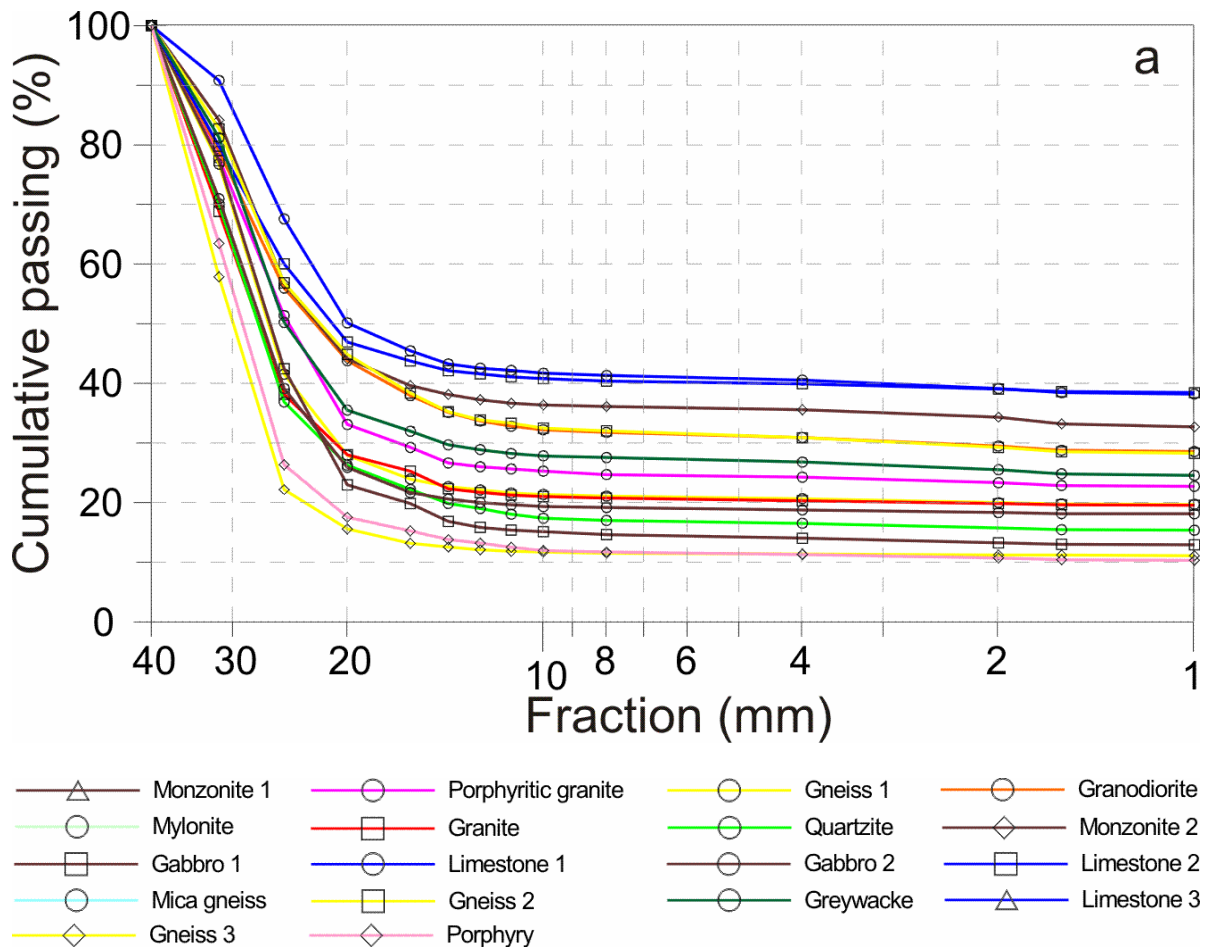


Figur 9. Kumulativt fordelt siktekurve etter Los Angeles-testing med angitt rundingsgrad for alle fraksjonene.

Tabell 1. Rundingsgraden til ulike fraksjoner før og etter Los Angeles-testing.

| Bergart | Før testing | 14/12,5mm | 12,5/10mm |
|---|---|---|--|
| <u>Jaspis</u> LA - 13,8 M _{DE} - 1,3 | Kantet  | Kantet  | Kantet  |
| <u>Kalkstein</u> LA - 24,0 M _{DE} - 19,3 | Kantrundet  | Rundet  | Rundet/Kantrundet  |
| Bergart | 10/8mm | 4/2mm | 2/1.6mm |
| <u>Jaspis</u> LA - 13,8 M _{DE} - 1,3 | Kantet  | Kantet  | Kantet  |
| <u>Kalkstein</u> LA - 24,0 M _{DE} - 19,3 | Kantrundet  | Kantrundet/Kantet  | Kantet  |

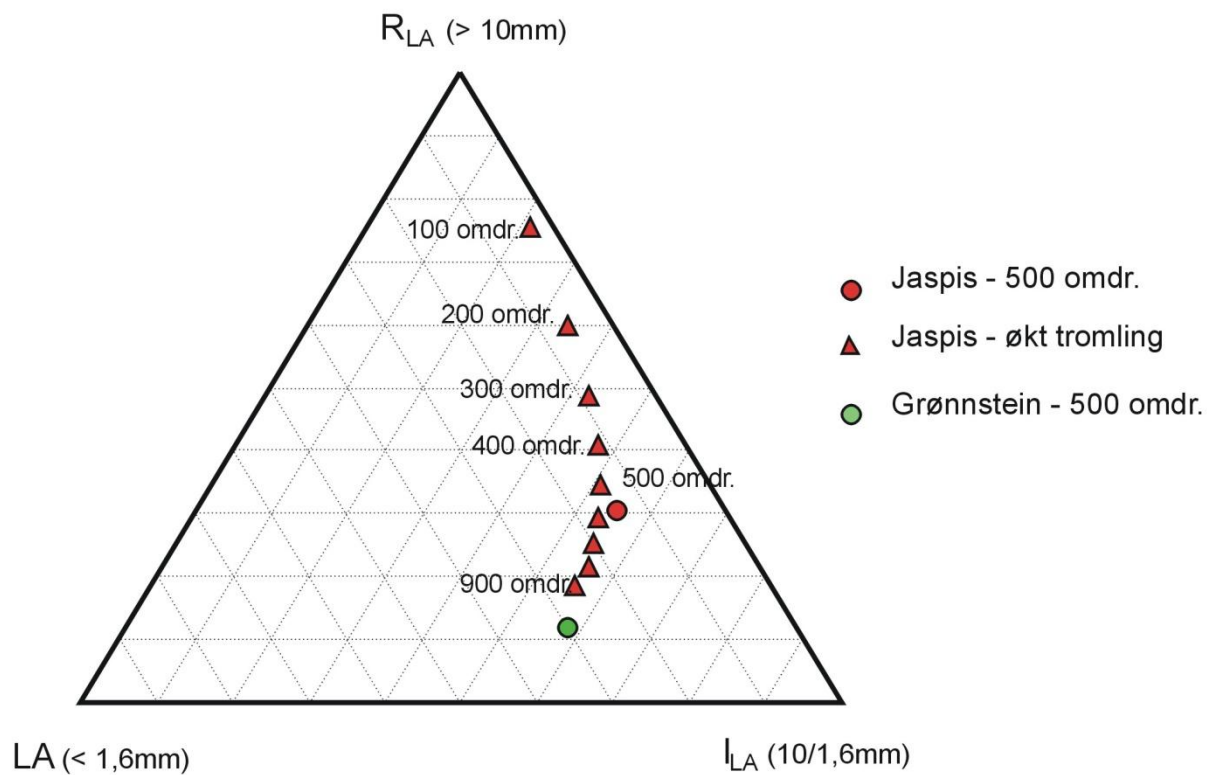
Resultatene for Los Angeles-test utført på grovere sorteringer (figur 10, for jernbanepukk dobbles prøvevekt og tromletid, samt at det benyttes 1 stålkule ekstra i trommelen) gir ensgraderte siktekurver etter tromling som tilsier at metoden utføres som en slitasetest i motsetning til for standardfraksjonen (figur 8).



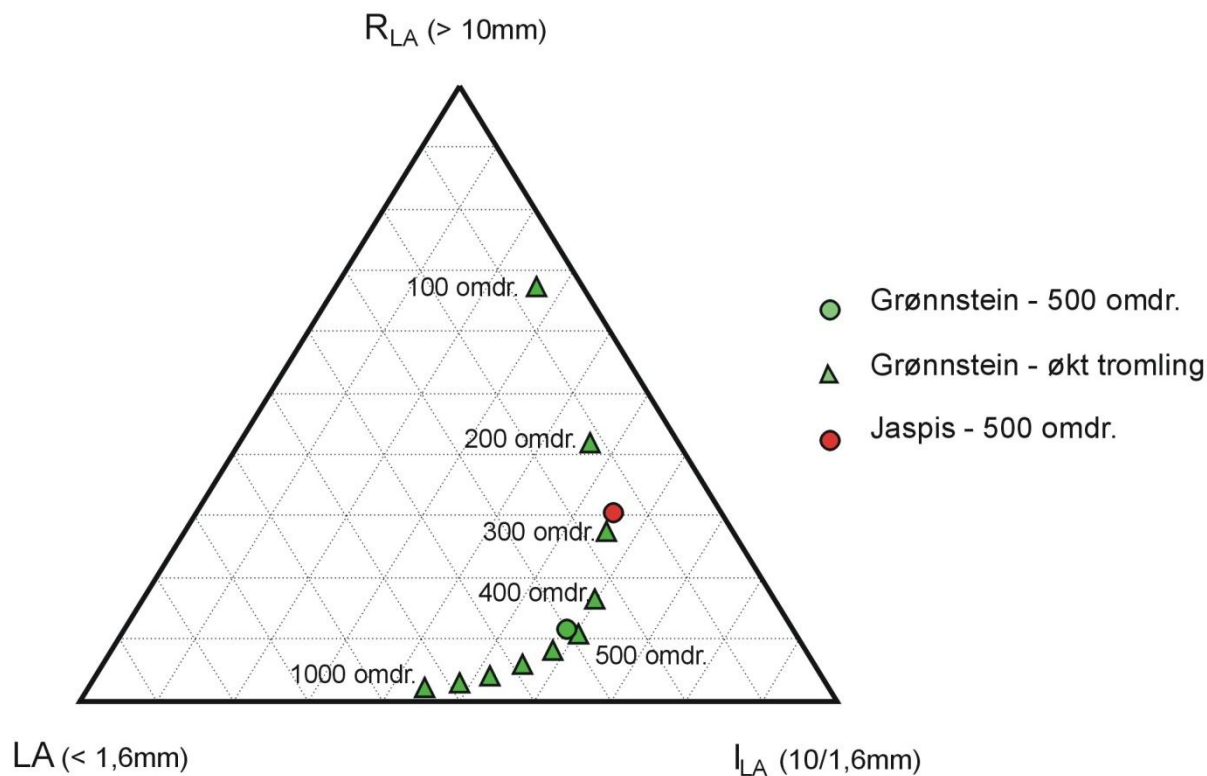
Figur 10. Kumulativt fordelt siktekurve etter Los Angeles-testing for 31.5/50mm fraksjonen (standard testfraksjon for jernbanepukk).

En annen tilnærming som visualiserer nedbrytningsprosessen for Los Angeles-testen kan utføres ved å registrere andel materiale som blir igjen av opprinnelig testfraksjon (10/14mm) etter tromling (residual LA; R_{LA}). Resultatet kan plottes i et trekantdiagram ved at LA-verdien og R_{LA} er kjent, mens mellomliggende verdi kan beregnes (intermediate LA; $I_{LA} = 100\% - LA - R_{LA}$). Ideen med å registrere mengde restmateriale innenfor testfraksjonen etter testing samt å plote resultatene i trekantdiagram, er tidligere foreslått av Ramsay mfl. [10]. Andel restmateriale etter testing ble ansett for å være vel så beskrivende for å bedømme materialets mekaniske egenskaper framfor å benytte mengden som blir pulverisert. Metoden med plotting i trekantdiagram kan også benyttes til å klassifisere tilslag (kap. 2.5).

I et forsøk med gradvis nedknusing utført på to bergarter med ulik Los Angeles-verdi (jaspis; LA-14, grønnstein; LA-30) viser resultatene stort sett samme kurveforløp ved plotting i trekantdiagram (figur 11, 12). Innledningsvis øker andelen i mellomfraksjonen (I_{LA}) inntil kurven viser en avbøyning mot større produksjon av finstoff ($LA < 1.6\text{mm}$) ved økt tromling. Avbøyningen inntreer tidligere for bergarten med høyest LA-verdi. Avbøyningen kan betraktes som et kritisk område som angir når materialets mer eller mindre begynner å bli desintegert.

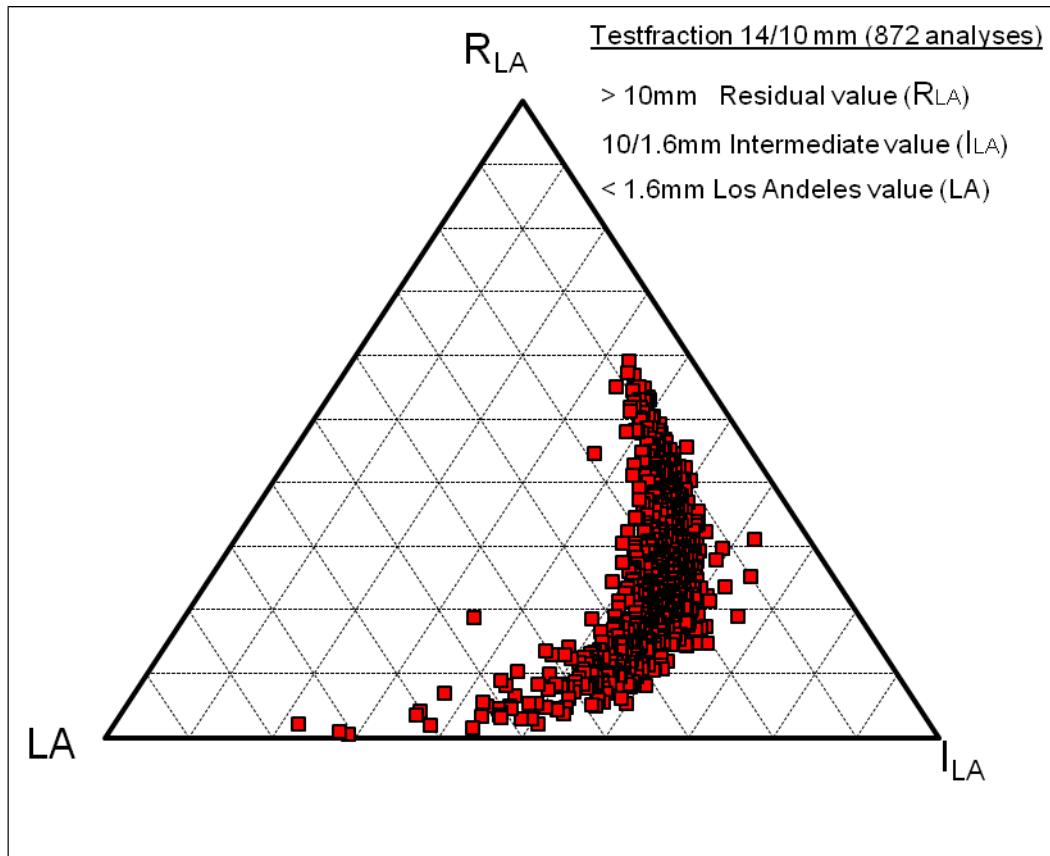


Figur 11. Gradvis nedknusing av jaspis ved økt Los Angeles-testing.



Figur 12. Gradvis nedknusing av grønnstein ved økt Los Angeles-testing.

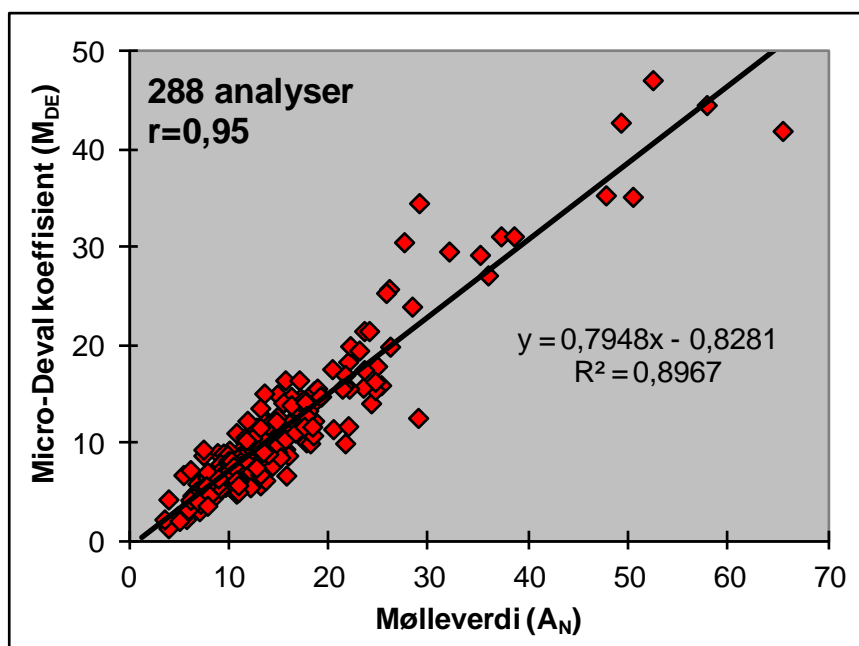
Trekantplotting for Los Angeles analyser utført etter standard testmetode (500 omdreininger) viser en spredning med et forløp (figur 13) som følger mer eller mindre samme trenden som ved gradvis nedknusing. Tilsvarende som i forsøket med gradvis nedknusing framkommer et område der materialene viser en markert avbøyning mot større andel finstoffproduksjon.



Figur 13. Trekantplott av Los Angeles resultater utført etter standard testing.

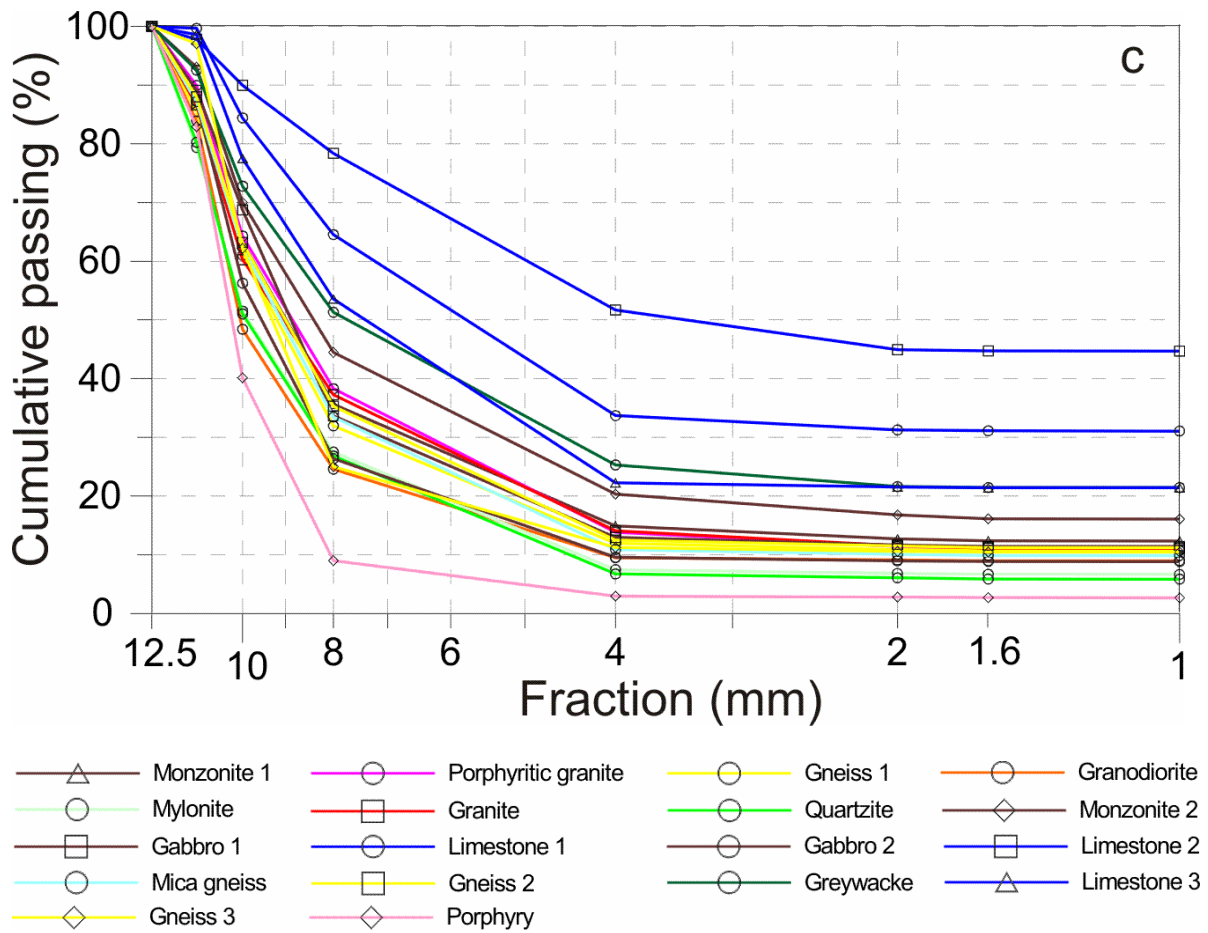
2.2 Micro-Deval metoden

I håndbok 018 fra 2005 [1b] ble kravene som tidligere var gjeldende [1c] mht. abrasive egenskaper for bære- og forsterkningslag fjernet. Isteden ble det angitt at spesielle tilslag med mer enn 12% kalk og glimmer burde vurderes spesielt mht. slitasjeegenskapene. Det er senere blitt dokumentert [11] at kravet til kalk- og glimmerinnhold ikke er tilstrekkelig i forhold til de tidligere kravene til abrasive egenskaper (figur 6), slik at man kunne risikere å benytte materiale med for dårlige slitasjeegenskaper i vegfundamentet. Nye krav til slitasjeegenskapene ble gjeninnført for tilslagsmaterialer til vegfundamentet fra 2011 og med micro-Deval som testmetode. Metoden gir mer eller mindre uttrykk for de samme egenskapene som kulemllemetoden og korrelerer godt med denne (figur 14).

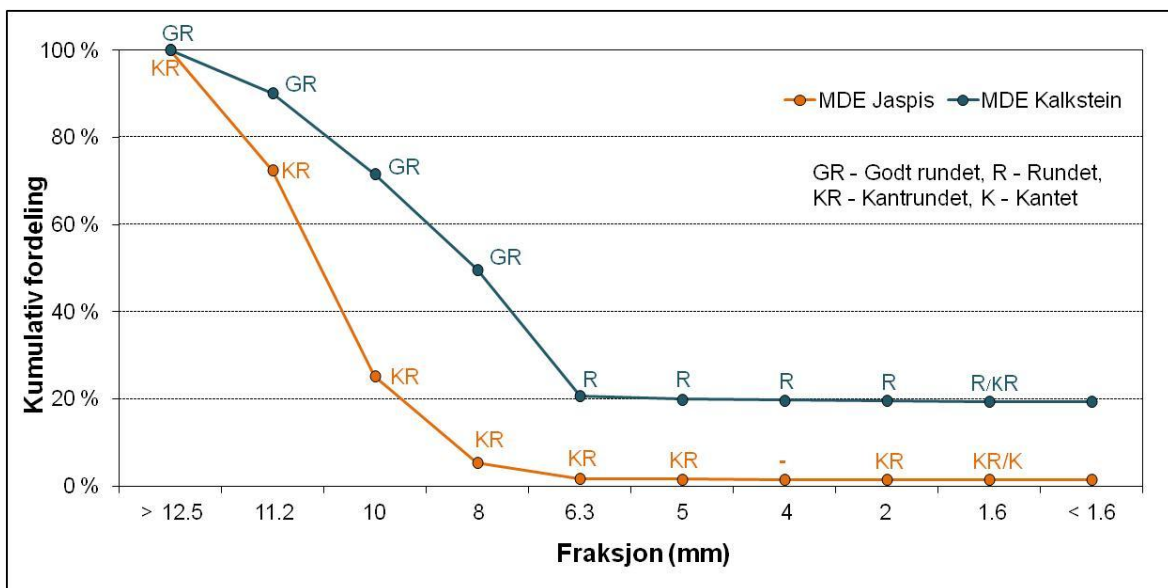


Figur 14. Korrelasjon mellom micro-Deval koeffisient og mølleverdi.

Analyse av metodens nedbrytningsprosesser ved bedømmelse av siktekurver etter tromling viser engraderte kurver [8] som tilsier at metoden medfører slitasje av materialet (figur 15). Tilsvarende som for Los Angeles er det stor spredning i forløpet til siktekurvene. Dette gjenspeiler bergartenes ulike slitasjeegenskaper. Rundingsgradsanalyse (figur 16 og tabell 2) viser at slitesterkt materiale (jaspis) utsettes for slitasje, men at det kun oppnår en kantrundet form for de fleste fraksjonene. Bergarter med dårlig slitasjemotstand (kalkstein) får en rundet til godt rundet form som tilsier stor slitasje.








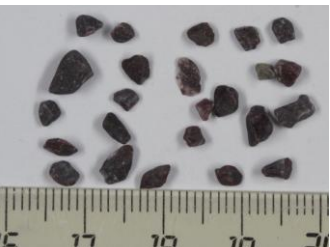


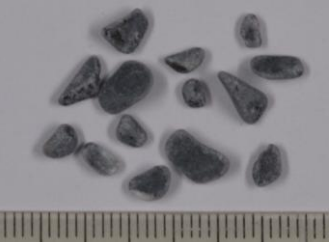



Figur 15. Kumulativt fordelt siktekurve etter micro-Deval testing for 10/14mm fraksjonen (standard testfraksjon).

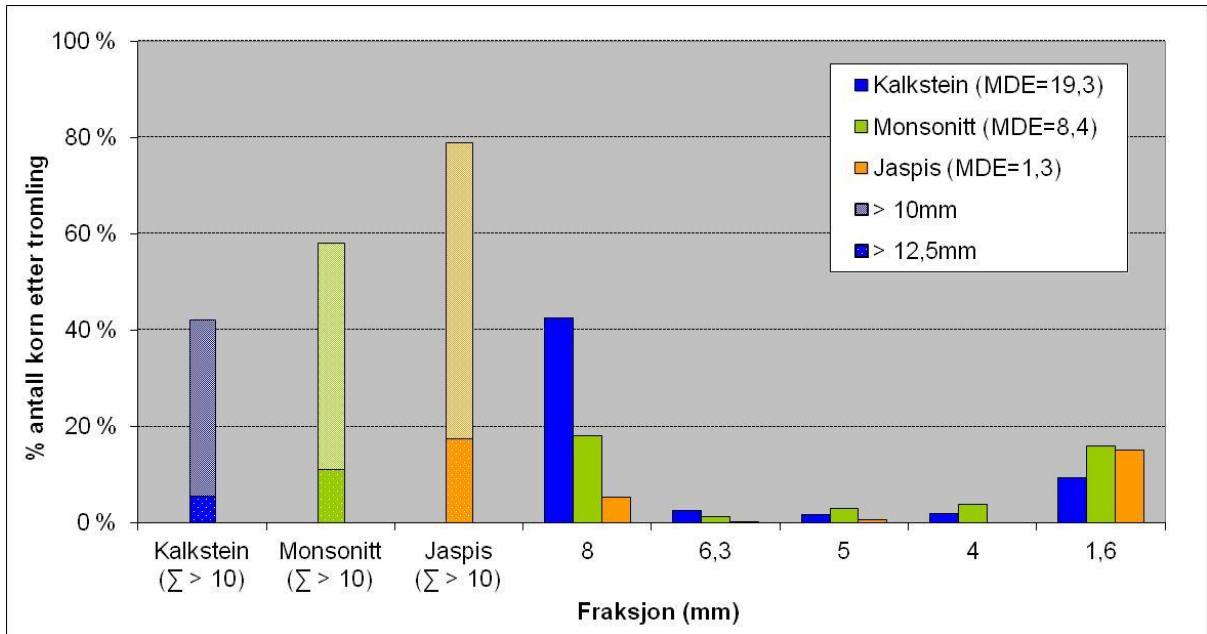


Figur 16. Kumulativt fordelt siktekurve etter micro-Deval testing med angitt rundingsgraden for alle fraksjonene.

Tabell 2. Rundingsgraden til ulike fraksjoner før og etter micro-Deval testing.

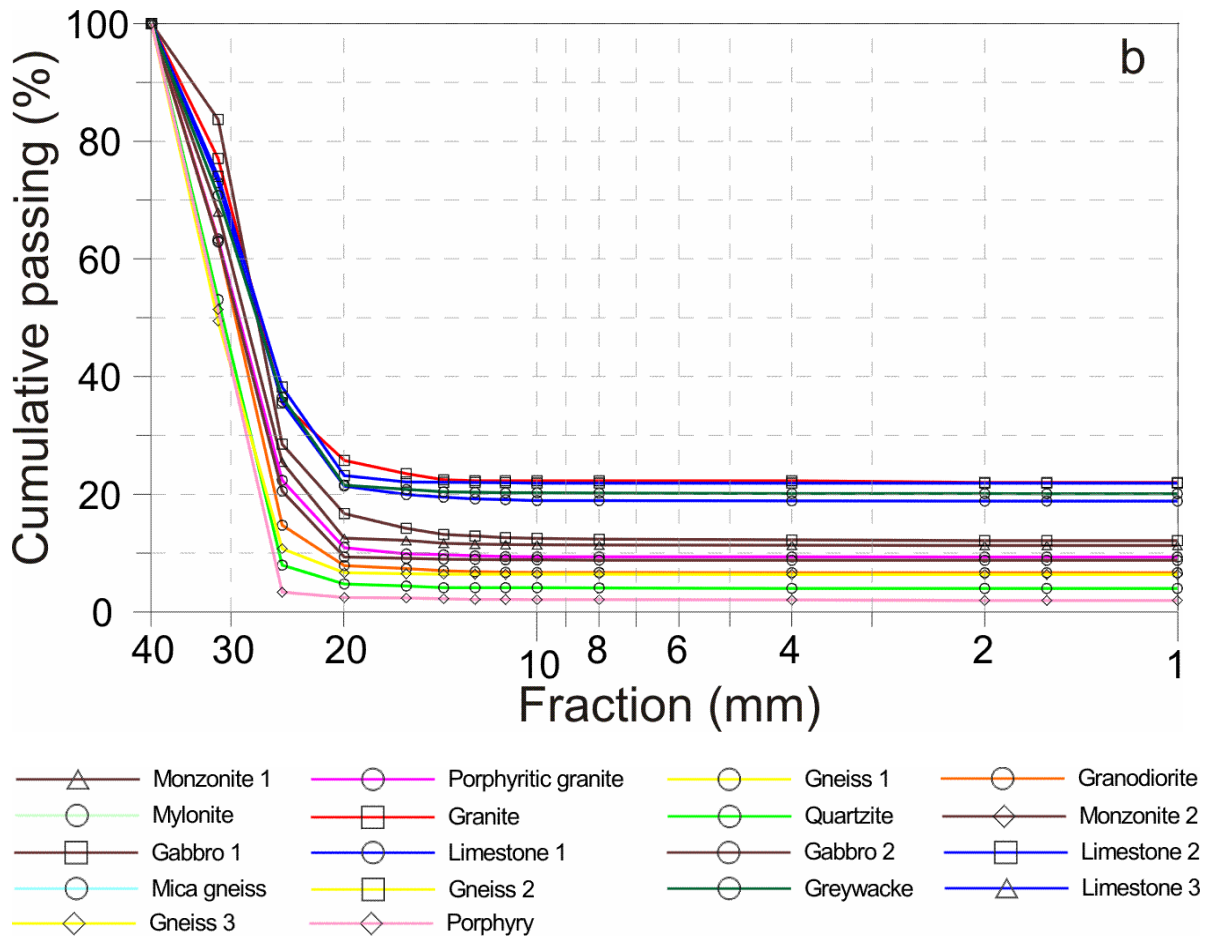
| Bergart | Før testing | 14/12,5mm | 12,5/10mm |
|---|--|---|--|
| <u>Jaspis</u> LA - 13,8 M _{DE} - 1,3 | Kantet  | Kantrundet  | Kantrundet  |
| <u>Kalkstein</u> LA - 24,0 M _{DE} - 19,3 | Kantrundet  | Godt rundet  | Godt rundet  |
| Bergart | 10/8mm | 4/2mm | 2/1.6mm |
| <u>Jaspis</u> LA - 13,8 M _{DE} - 1,3 | Kantrundet  | Kantrundet  | Kantrundet/Kantet  |
| <u>Kalkstein</u> LA - 24,0 M _{DE} - 19,3 | Godt rundet  | Rundet  | Rundet/Kantrundet  |

Ved å registrere antall korn før og etter tromling med micro-Deval framkommer at for bergarter med ulike slitasjeegenskaper så vil de fleste enkeltkorn kun få en moderat kornstørrelsesendring etter tromling (figur 17). Før testing vil om lag 25% av kornene være innenfor delfraksjonen 14/12,5mm, mens de resterende 75% vil være innenfor 12,5/10mm. Etter testing vil flere enn 75% av steinkornene fortsatt være større enn 8mm. Få korn havnet i størrelsesområdet 8-4mm (< 8%), men noen flere havner på 1.6mm siktet som benyttes for å bestemme micro-Deval koeffisienten. Dette indikerer at metoden ikke medfører knusing, men at kornstørrelsesendringen er et resultat av slitasje av materialet. Nedbrytningsprosessen tilsier at ytterkantene av materialet slites ned til finstoff, mens de enkelte bergartskornene i materialsammensetningen kun får en mindre reduksjon i størrelsen etter tromling.



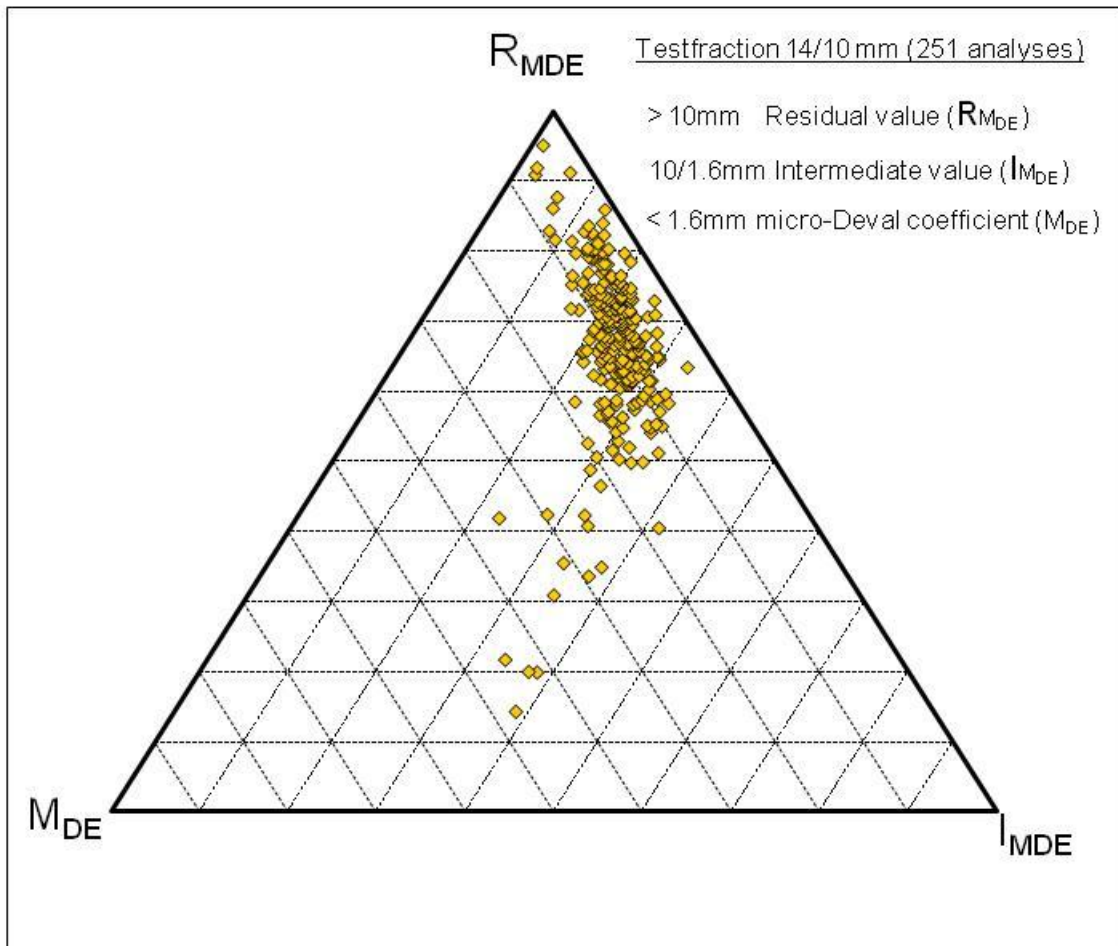
Figur 17. Fordeling av antall korn i ulike fraksjoner etter micro-Deval testing.

Micro-Deval utført på grovpukk (figur 18) viser ensgraderte siktekurver etter tromling, tilsvarende som for Los Angeles-testen (figur 10) som tilsier at det produserte finstoffet som er med på å bestemme testverdien, er dannet ved slitasje.



Figur 18. Kumulativt fordelt siktekurve etter micro-Deval testing for 31.5/50mm fraksjonen (standard testfraksjon for jernbanepukk).

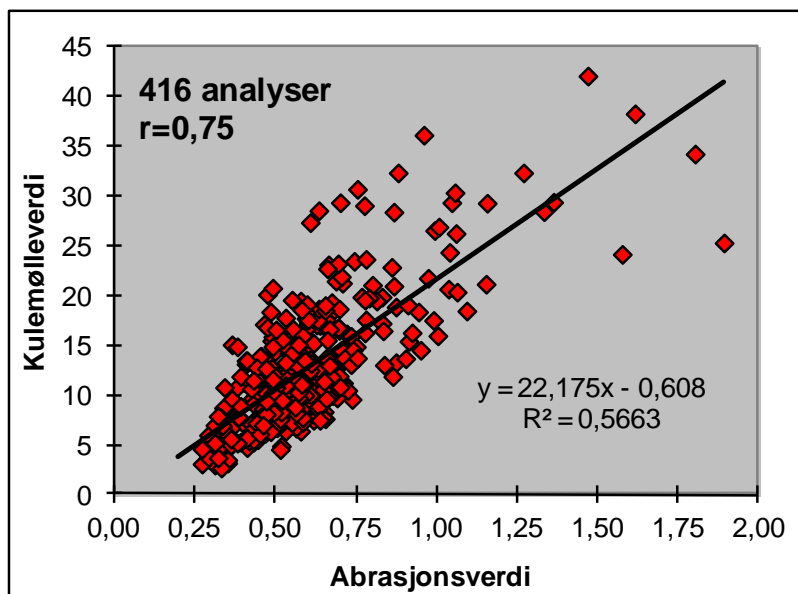
Plotting i trekantdiagram etter tilsvarende opplegg som beskrevet for Los Angeles, viser at for micro-Deval (figur 19) vil hovedmengden av de analyserte prøvene ha en steinstørrelse der mer enn 50 % fortsatt er innenfor utgangsmaterialets minste størrelse ($> 10\text{mm}$) etter tromling. I forhold til Los Angeles er det en liten andel, maks 40 %, som havner i mellomfraksjonen ($10/1.6\text{mm}$). Prøver som utsettes for mest slitasje med en høy finstoffproduksjon dvs. micro-Deval koeffisient $> 20\%$, består av sedimentære bergarter med spesielt dårlige slitasjeegenskaper som kalkstein, gråvakke og skifer.



Figur 19. Trekantplott av micro-Deval resultater utført etter standard testing.

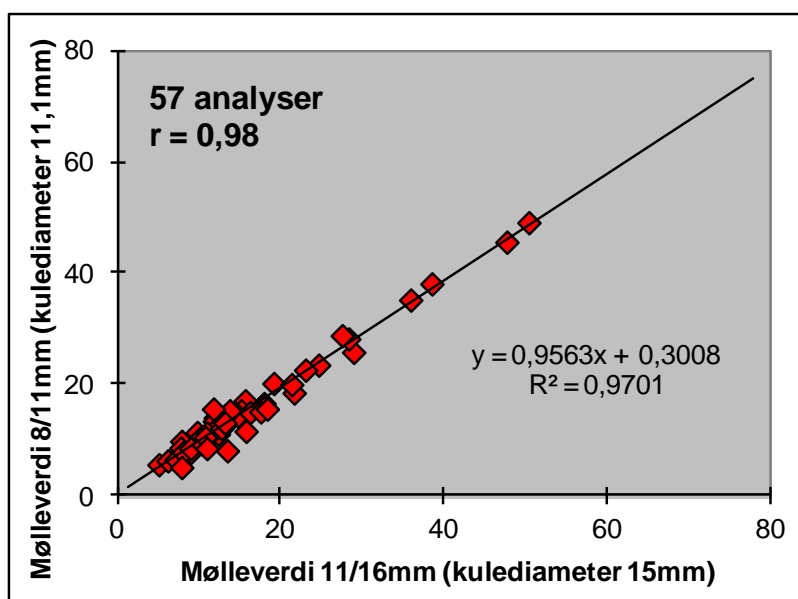
2.3 Kulemøllemetoden

Metoden er blitt benyttet i Norge fra ca. 1993 og fra 2005 [1b] erstattet den abrasjonstesten. Ut fra figur 20 [4] framkommer at møllemetoden og abrasjonsmetoden gir avvikende resultater og er dermed ikke korrelerbar. Spredningen øker med økende tallverdi for metodene.

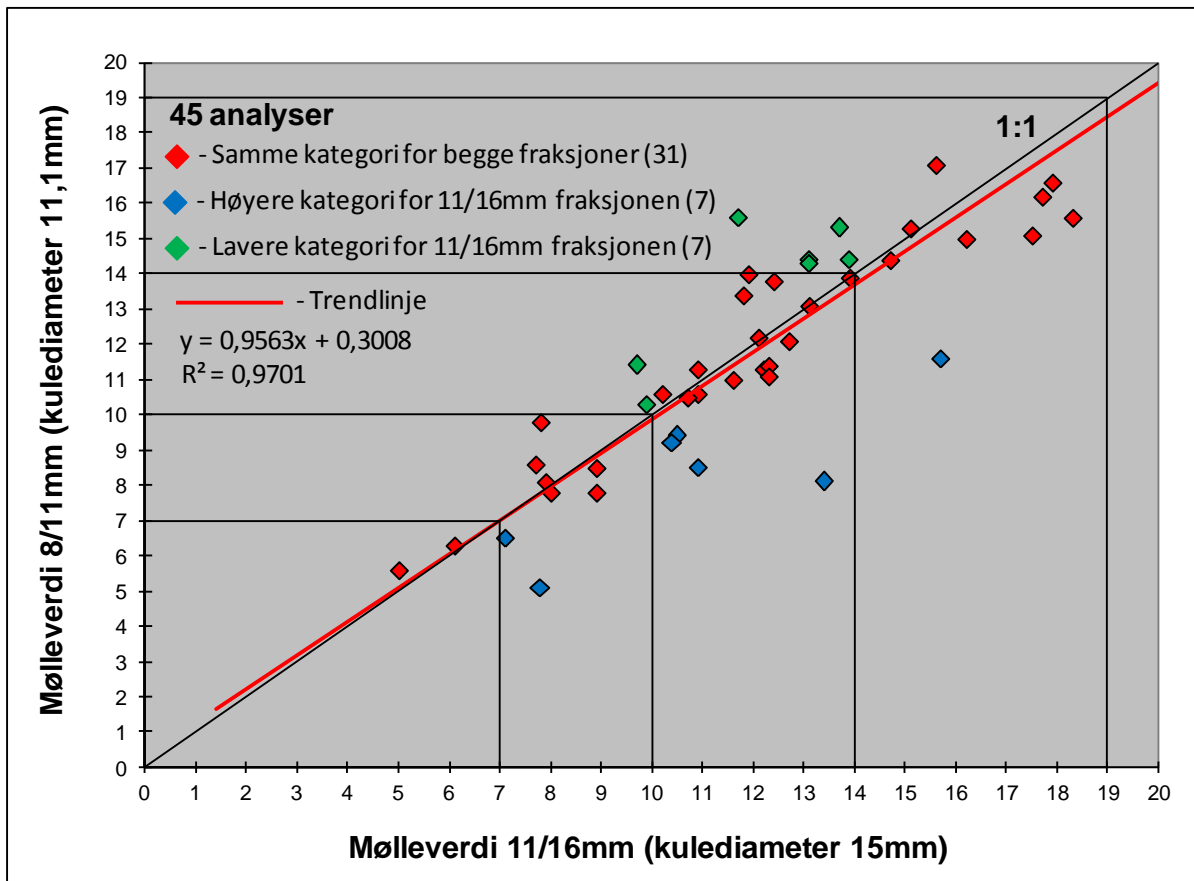


Figur 20. Korrelasjon mellom mølleverdi og abrasjonsverdi.

Metoden utføres på 11/16mm fraksjonen for standard testing. Alternativ testfraksjon er 8/11mm som viser meget god korrelasjon med standard testfraksjon (figur 21). En forstørret figur for mølleverdier < 20 som er aktuelle i forhold til de kravene som benyttes (figur 22), viser at trendlinjen for analyseresultatene sammenfaller godt med linjen 1:1. De fleste analysene (31 av 45) faller derfor innfor samme kategori nivå (< 7, 7-10, 10-14 eller 14-19mm) for de to fraksjonene.

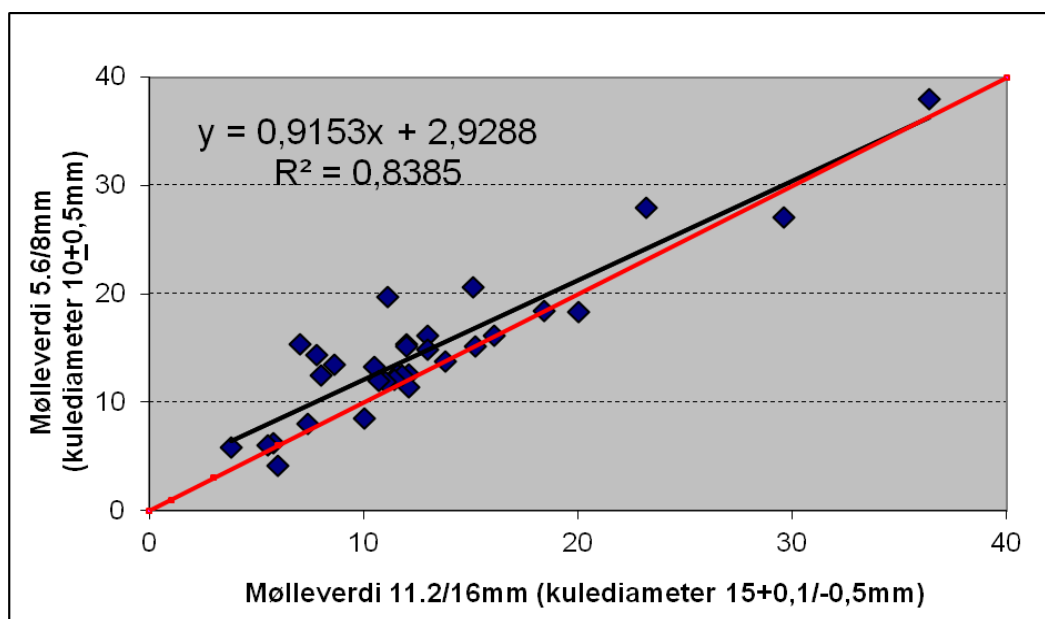


Figur 21. Korrelasjon mellom mølleverdi utført på 11/16 og 8/11mm fraksjon.



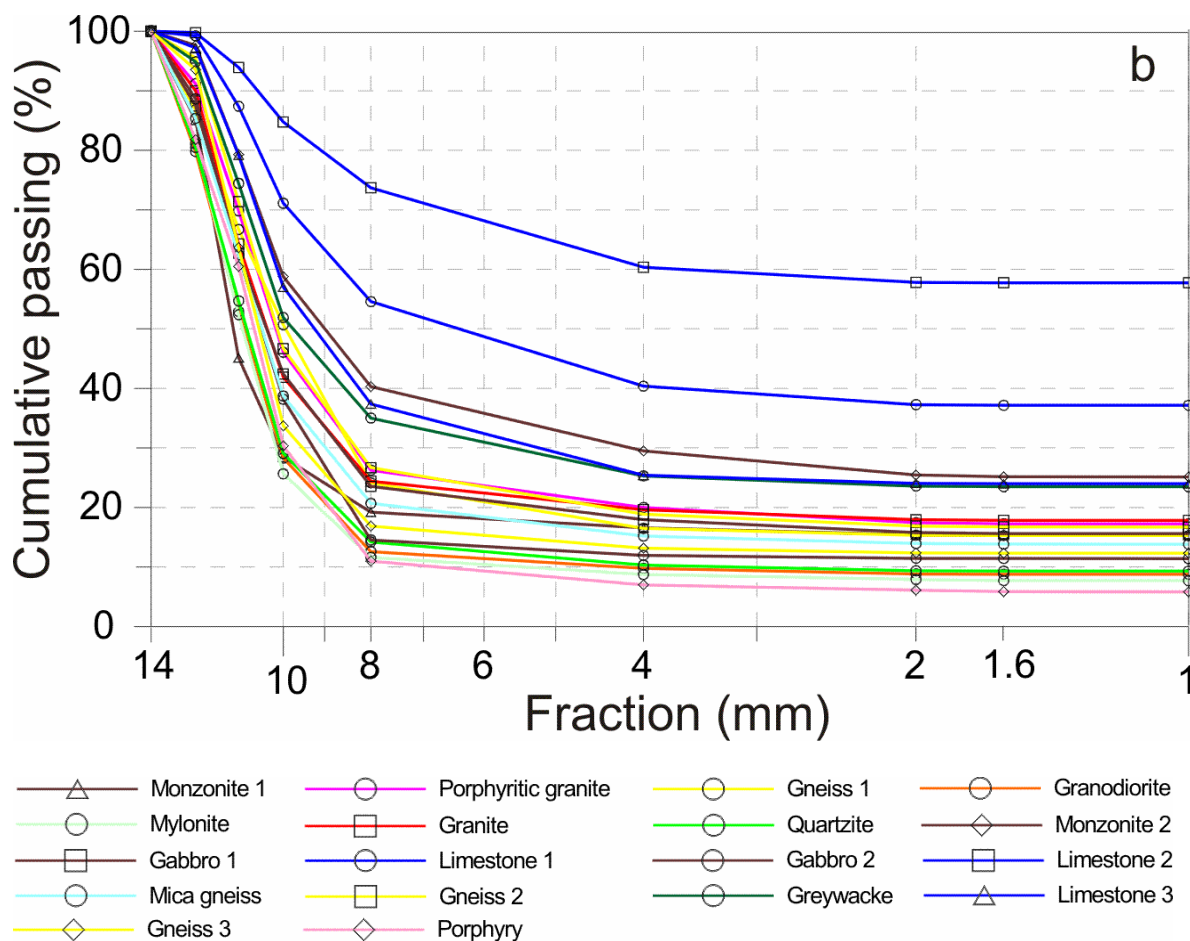
Figur 22. Nærmere utsnitt av figur 21 innenfor område med kravspesifikasjoner.

I Sverige er det gjort forsøk med testing med kulemølle på fraksjonen 5,6/8mm [data fra Lars Stenlid, 2011] med bruk av endra mindre kuler (figur 23). Også her framkommer en rimelig god korrelasjon med standard testfraksjon.



Figur 23. Korrelasjon mellom mølleverdi utført på 11.2/16 og 5.6/8mm fraksjon [Lars Stenlid, 2011].

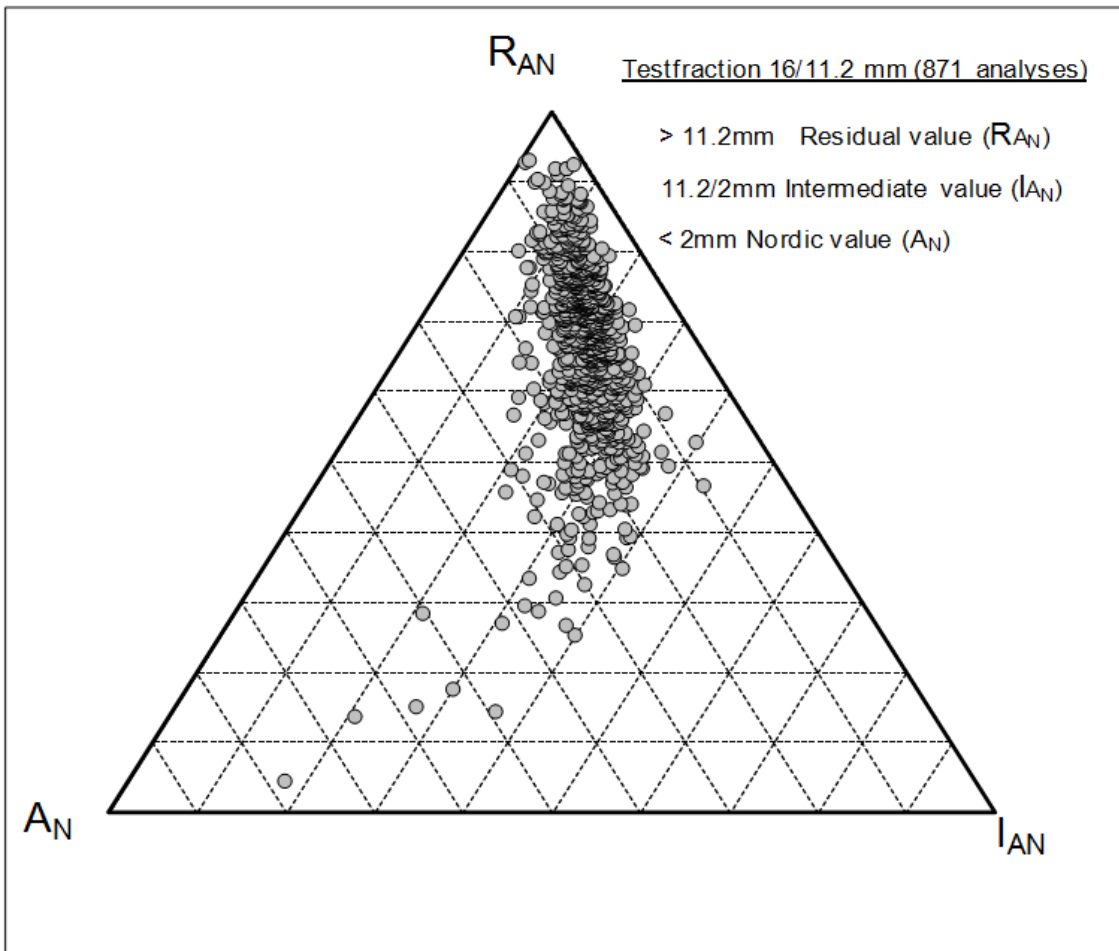
Metodens nedbrytningsprosess kan bedømmes ved å analysere siktekurver etter tromling [8]. Kurvene (figur 24) viser en engraderte fordeling som tilsier at metoden medfører slitasje av materialet tilsvarende som for micro-Deval.



Figur 24. Kumulativt fordelt siktekurve etter kulemølle testing for 11/16mm fraksjonen (standard testfraksjon).

Plotting i trekantdiagram viser at for kulemølle (figur 25) har de fleste prøvene mer enn 40 % av materialet fortsatt innenfor testfraksjonens størrelse (> 11.2mm) etter tromling. Som for micro-Deval er det en liten andel, ~ 40 %, som havner i mellomfraksjonen (11.2/1.6mm). Prøver som utsettes for mest slitasje som medfører en høy finstoffproduksjon dvs. mølleverdi > 30% består av bergarter med spesielt dårlige slitasjeegenskaper som kalkstein, marmor, gråvacke og skifer.

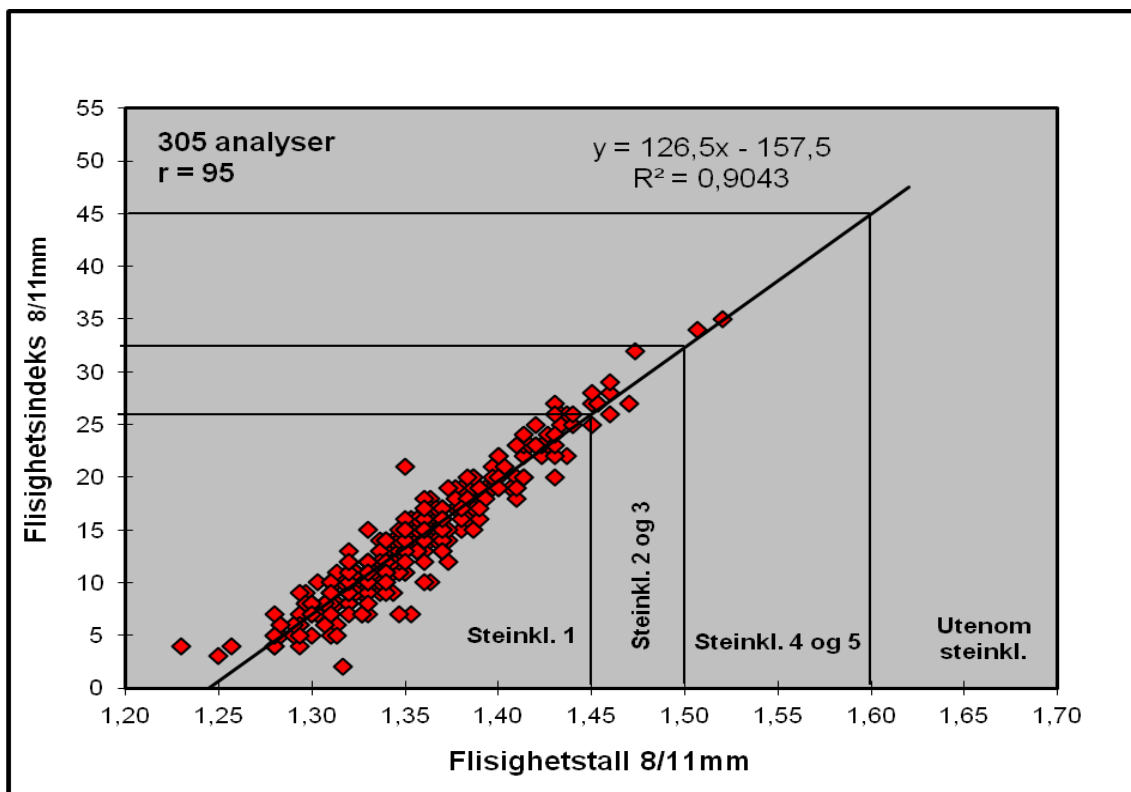
Som for micro-Deval antas nedbrytningsprosessen å være et resultat av at ytterkantene av materialet slites ned til finstoff, mens de fleste av bergartskornene i trommelen kun får en mindre reduksjon i størrelsen.



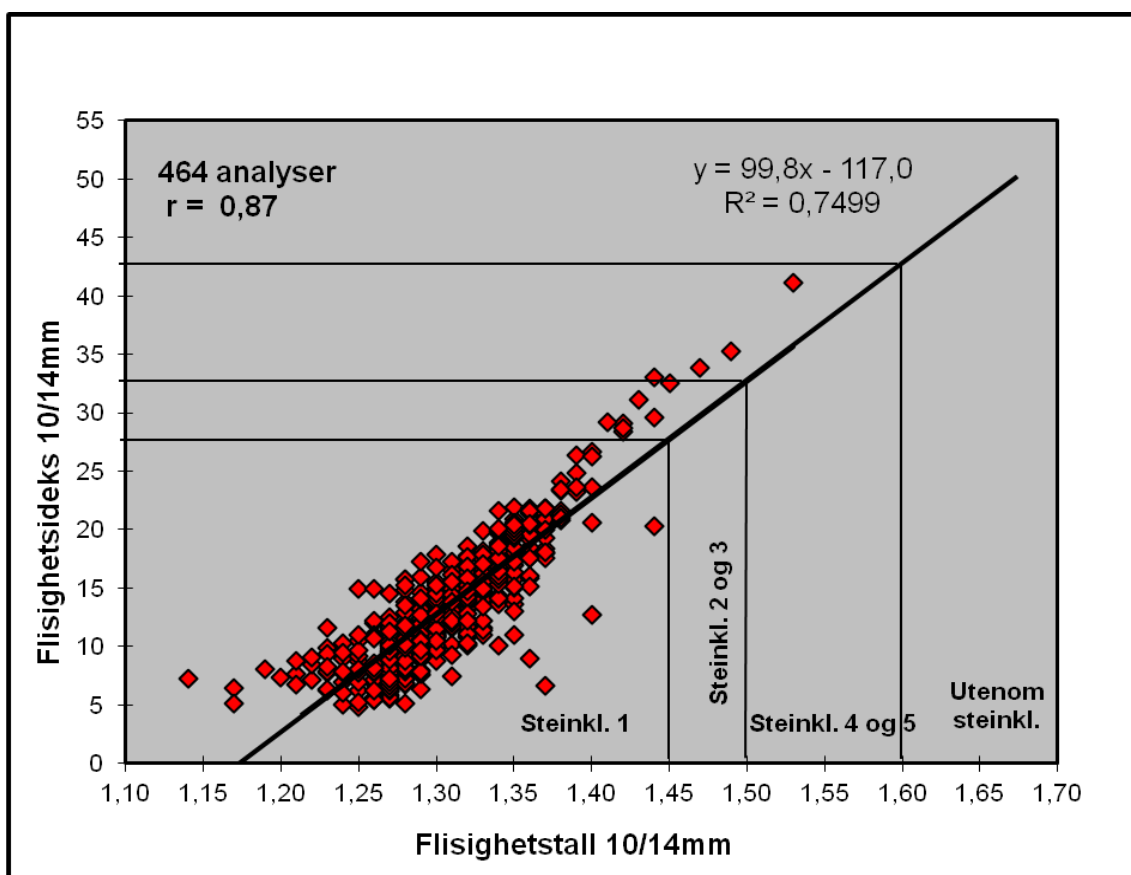
Figur 25. Trekantplott av møllesultater utført etter standard testing.

2.4 Kornform (flisighet)

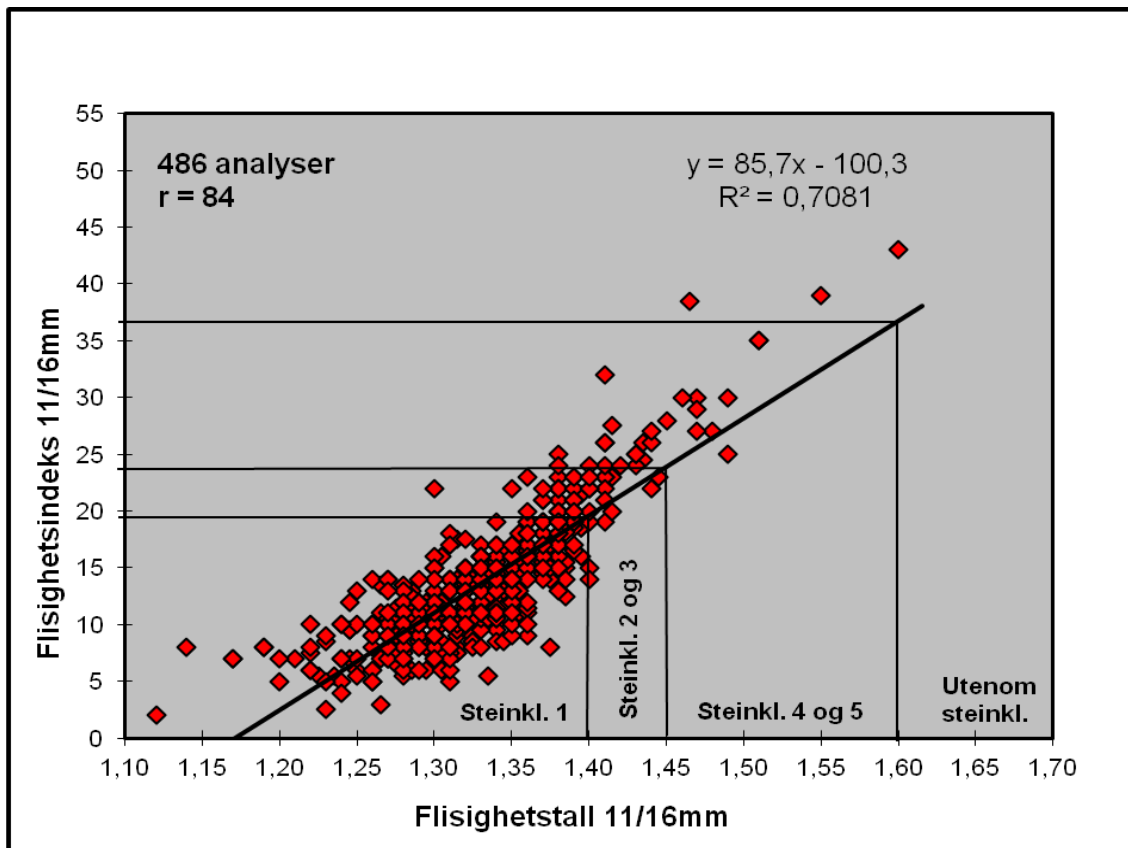
Tidligere ble kornform bl.a. registret med et flisighetstall. Det er meget godt samsvar mellom ny (flisighetsindeks) og gammel metode for registrering av flisighet (figur 26). Korrelasjonen blir dårligere når differansen mellom største og minste kornstørrelse innen fraksjonen øker (figur 27 og 28). Det skal bemerkes at resultatene i figurene 26-28 er basert på materiale som for det meste er bearbeidet i laboratoriet. Materiale prosessert ved produksjonsknusing kan gi avvikende resultater i forhold til det som er bearbeidet i laboratoriet.



Figur 26. Korrelasjon mellom flisighetstall og flisighetsindeks 8/11mm fraksjonen.

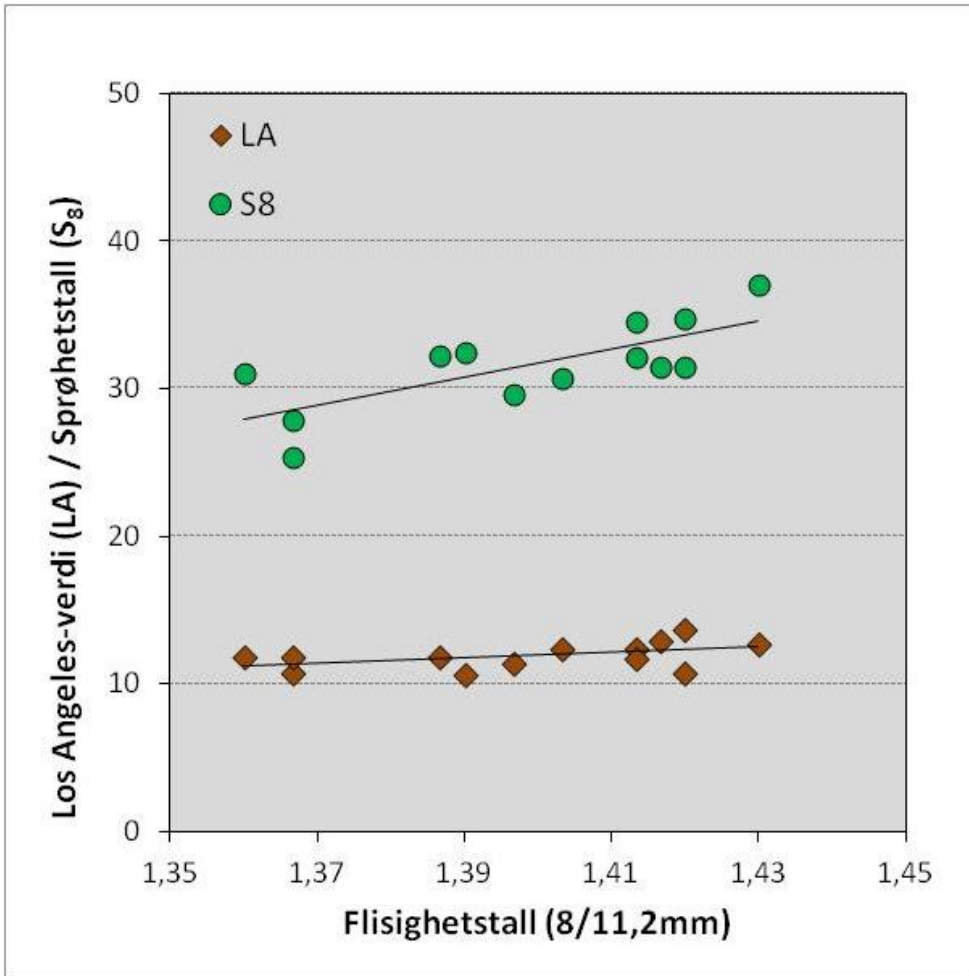


Figur 27. Korrelasjon mellom flisighetstall og flisighetsindeks 10/14mm fraksjonen.

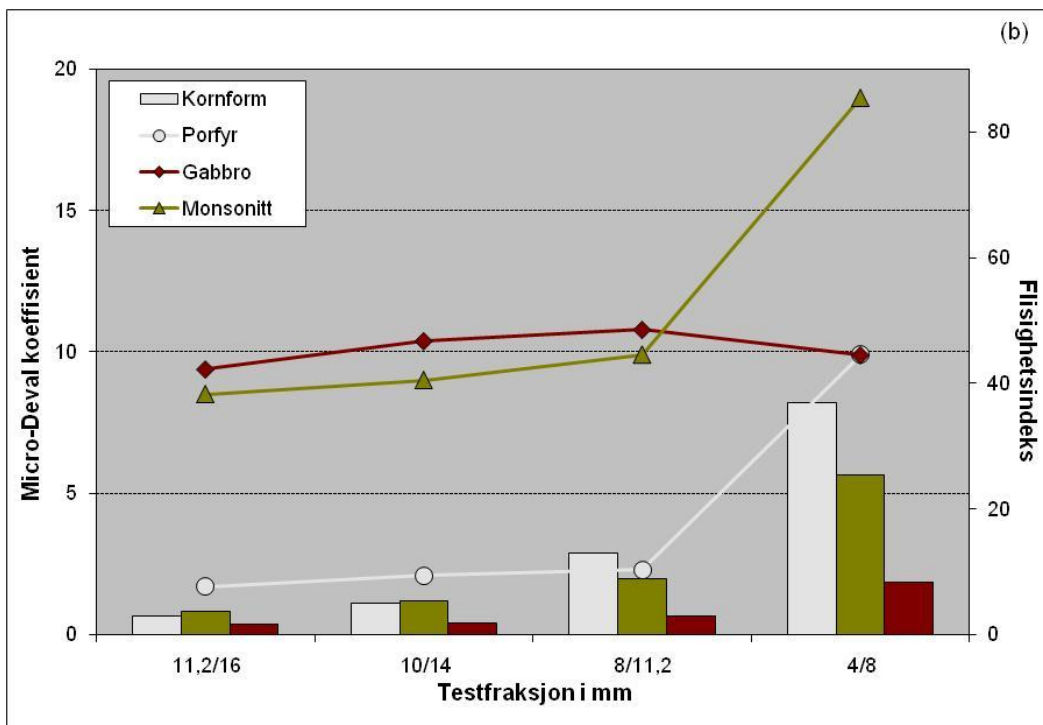


Figur 28. Korrelasjon mellom flisighetstall og flisighetsindeks 11/16mm fraksjonen.

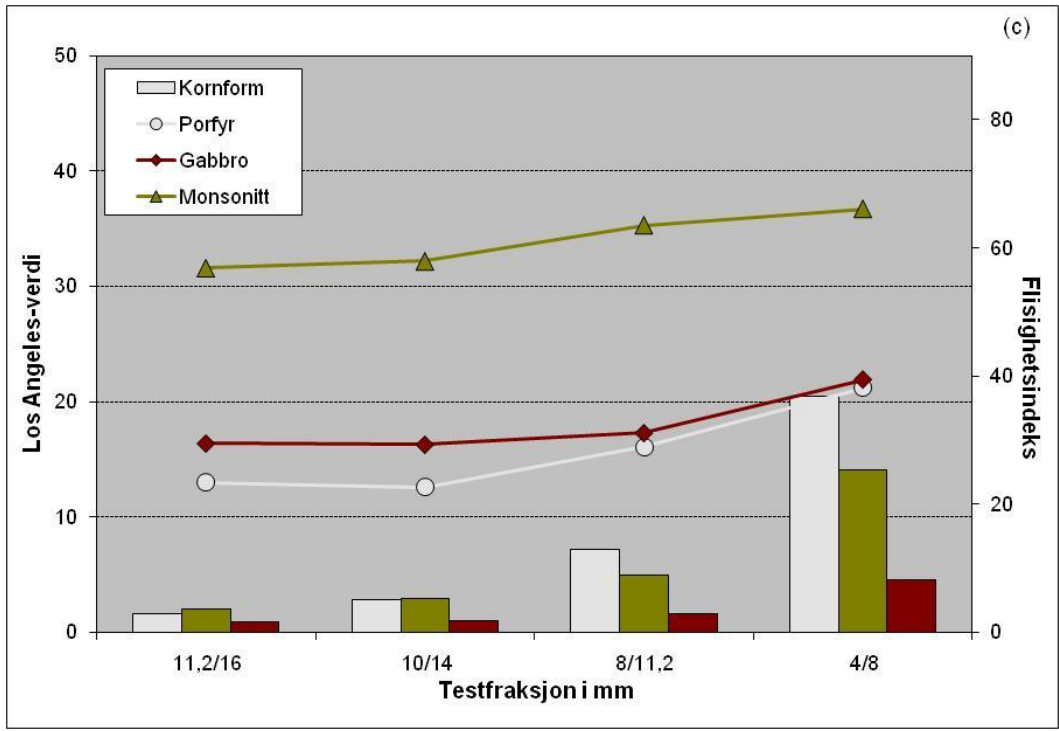
Flisigheten kan ha stor innvirkning på de materialtekniske egenskapene. Det er tidligere dokumentert [12] at enkelte bergarter kan gi stor variasjon for sprøhetstallet med varierende flisighet, mens andre bergarter er mer eller mindre upåvirket. For enkelte bergarter ser det ut som om Los Angeles-metoden er mindre følsom for flisigheten i forhold til sprøhetstallet (figur 29). For testfraksjoner med liten kornstørrelse (figur 30 og 31) framkommer at micro-Deval er svært følsom for flisigheten i forhold til Los Angeles-testen [13].



Figur 29. Flisighetstallets innvirkning på Los Angeles-verdien og sprøhetstallet for sandstein.



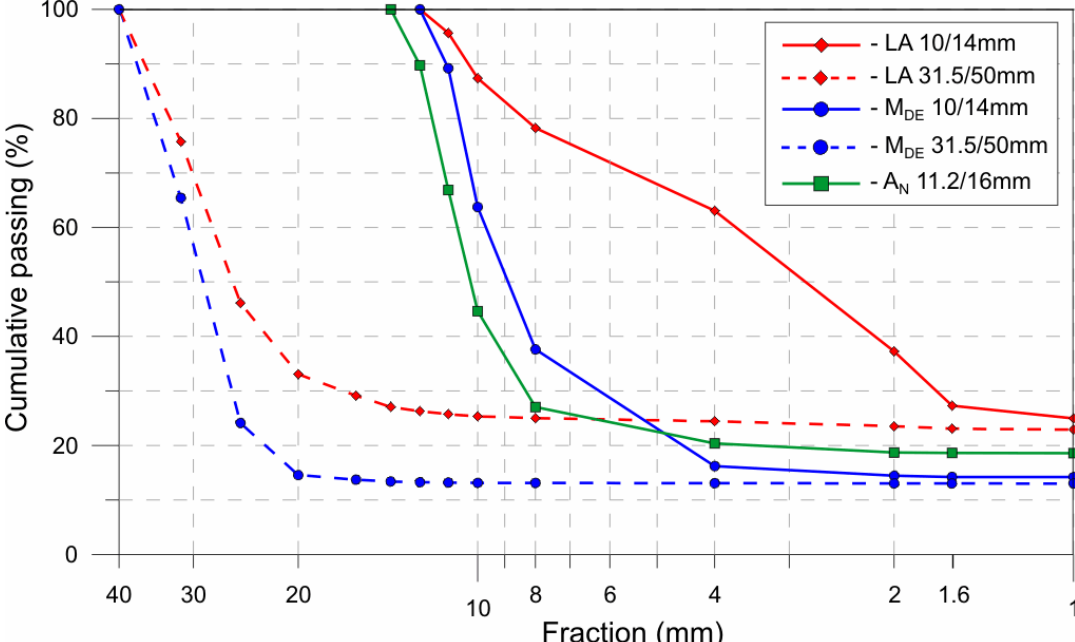
Figur 30. Flisighetsindeksens innvirkning på Los Angeles-verdien.



Figur 31. Flisighetsindeksens innvirkning på micro-Deval koeffisienten.

2.5 Samlet vurdering av testmetodene

En sammenlikning av siktekurvene for de tre materialtekniske testmetodene (figur 32) viser at kun Los Angeles-testen for standardfraksjonen har en velgradert kurve som tilsier knusing. De øvrige testmetodene, samt testing på grove fraksjoner, gir ensgraderte kurver som angir slitasje.



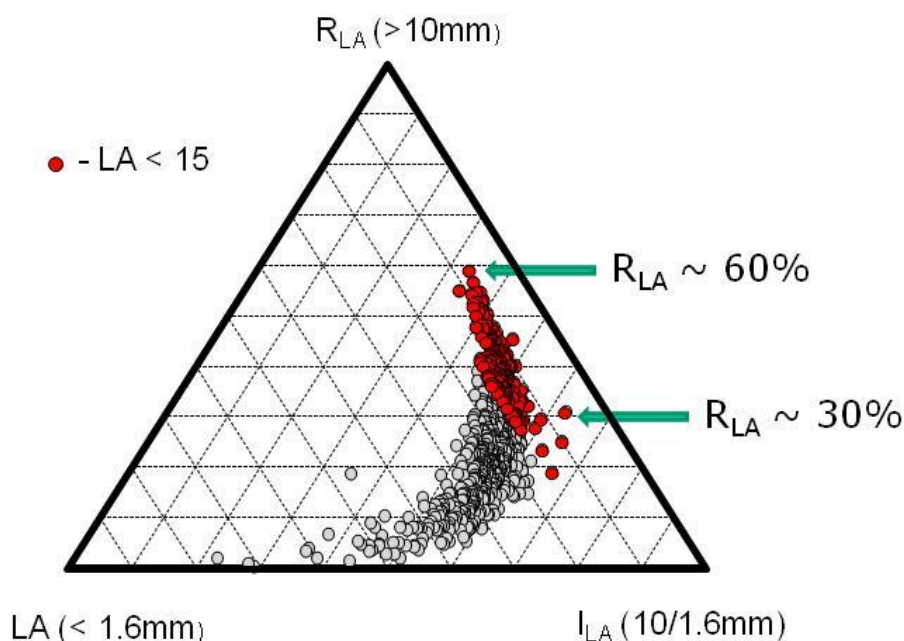
Figur 32. Gjennomsnittet av siktekurver for Los Angeles (figur 8, 10), micro-Deval (figur 15, 18) og kulemølle (figur 24).

Los Angeles-metoden vil i tillegg til knusing utsette materialet med dårlig slitasjemotstand for abrasiv nedbrytning tilkjenne gitt ved at de groveste fraksjonene får en rundet til kantrundet form under testingen. Testmetoden er derfor ikke uniform, men vil være avhengig av tilslagsmaterialets iboende knuse-/slitasjeegenskaper. De fineste fraksjonene ($< \sim 2\text{mm}$, se figur 9) blir kantet uavhengig av slitasjeegenskapene. Produksjon av finstoffandelen $< 1.6\text{mm}$ under testing, som er med på å definere Los Angeles-verdien, vil derfor være et resultat av en kombinert knuse og en viss grad av abrasiv nedbrytning, der den sistnevnte faktoren vil variere avhengig av slitasjeegenskapene til materialet.

Kalkstein og andre sedimentære bergarter gir erfaringsvis ”for gode” Los Angeles-verdier. Den tidligere benyttede fallprøven avslørte ofte denne type bergarter med høy pakningsgrad. *Los Angeles-testing alene er ikke godt nok for å kunne bedømme egenskapene for et materiale, man må alltid i tillegg utføre en slitasjetest.*

For grovere sorteringer (jernbaneballast) gir Los Angeles-metoden uttrykk for slitasje isteden for knusing. Årsaken kan være at prøvevekten er doblet. Dette gjør at den totale massen i trommelen hindrer knusing og at kun møllemaling (slitasje) opptrer.

Plotting av Los Angeles resultat i trekantdiagram gir en visuell forståelse av nedbrytningsprosessen. Det bør vurderes om ikke mengden grov materiale ($> 10\text{mm}$) som blir igjen etter testing er av like stor interesse som produksjon av andel finstoff ($< 1.6\text{mm}$). Strengeste krav til Los Angeles-verdi er 15. Materiale som innfrir dette kravet kan ha inntil 30% forskjell i forhold til gjenværende mengde i grovfraksjonen (figur 33). *Et tilleggskrav for Los Angeles-metoden der det er ønskelig med mest mulig materiale i grovfraksjonen bør vurderes innført.* Det er tross alt denne andel som spesielt i vegfundamentet, er bærende for konstruksjonen. Produsert finstoffandel (”LA-verdi”) kan i tillegg til steinstyrke også være av interesse for å bedømme om tilslaget kan resultere i dannelse av telefarlig materiale. Dette gjelder i første rekke materiale med høy LA-verdi (analysering av materiale i vegskjæringen ved veganlegg der det er ønskelig å benytte overskuddsmasser til vegfundament).



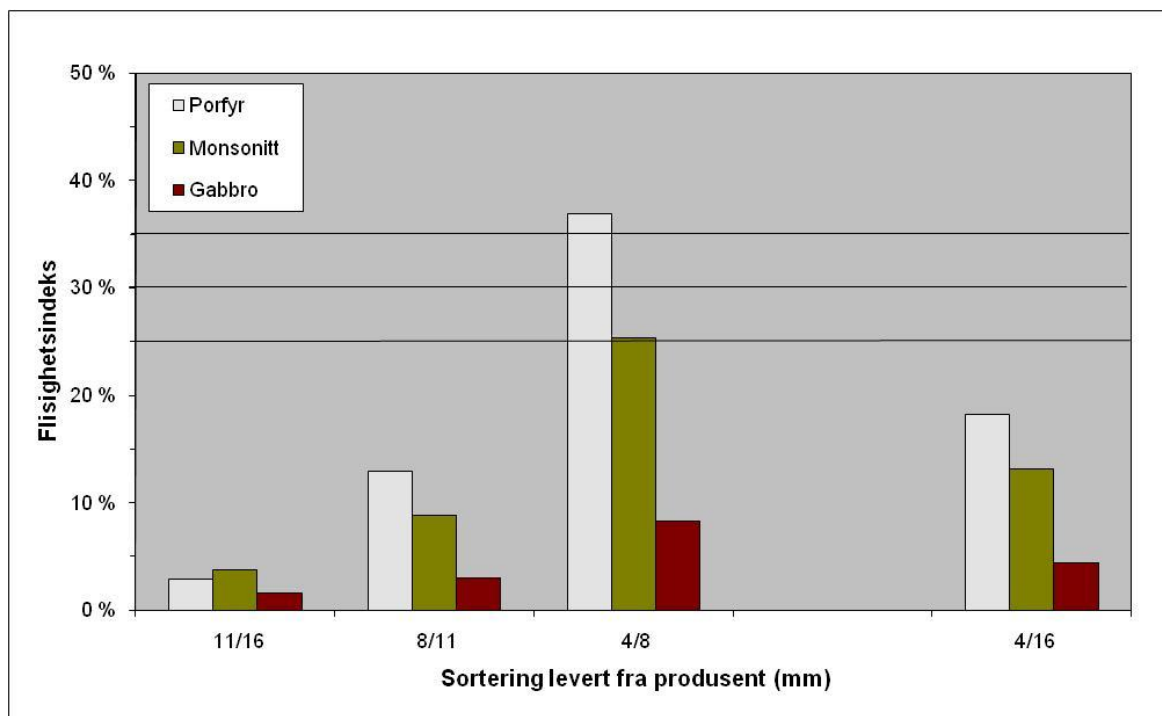
Figur 33. Trekantplott av Los Angeles resultater med spredning av prøver som innfrir de strengeste kravene.

En klar fordel med både Los Angeles og micro-Deval testen er at det kan utføres testing på alternative fraksjoner ned til 4mm. Det er per i dag ingen testmetode som kan anslå verken kornform eller materialeegenskaper for finere fraksjoner. Mørtelfasen (< 4mm) kan få større betydning i et asfaltdekke ved ønske om reduksjon av maks. steinstørrelse. I og med at denne fraksjonsstørrelsen nærmer seg kornstørrelsen for mineralfaser, i hvert fall for grovkrystalline bergarter, bør svake mineraler (glimmer, kloritt) både i bergart og knuste finfraksjoner registreres. *Det bør stilles krav til maks. andel svake mineraler i bergarter eventuelt også i mørtelfasen (< 4mm) for masser som benyttes i vegdekke. Et alternativ er å sikte fra finstoffet for fraksjoner med et høyt innhold av bl.a. glimmer.*

I forhold til micro-Deval for standard testfraksjon produserer kule mølla noe mer finstoff etter testing (figur 32). Dette tilsier at kule møllemetoden er noe ”tøffere” som slitasjetest. I og med at kule mølle testen relateres til piggdekksslitasje vil dette være en fordel. For øvrig gir de to slitasjetestene mer eller mindre uttrykk for de samme materialtekniske egenskaper.

Såframt flisigheten er tilnærmet lik for alle fraksjonsstørrelser vil mekaniske testmetoder utført på ulike sortering gi noenlunde samme resultat. Hvor stor innvirkning flisigheten har for de tre trommeltestene er uvisst, men sannsynligvis vil en eventuell innvirkning variere vel så mye avhengig av bergartstype ut fra tidligere erfaring med fallprøven [12].

Dagens krav til flisighetsindeks er ikke tilfredsstillende, spesielt hvis man skal sikre seg god kvalitet på de materialtekniske egenskapene for alle fraksjonsstørrelser, som inngår for eksempel i en asfaltresept. Flisighetsindeksen for en vid sortering, eksempelvis en 4/16mm sortering, kan bli godkjent etter dagens prosedyre der den beregnes som et gjennomsnitt av flere delfraksjoner (figur 34) til tross for at enkelte delfraksjoner har dårlig kornform (4/8mm i figuren). *Det må i tillegg stilles krav til hver enkelt delfraksjon som benyttes ved bestemmelse av flisighetsindeks for en sortering.* Resultatet kan ellers bli som vist i figurene 30 og 31.

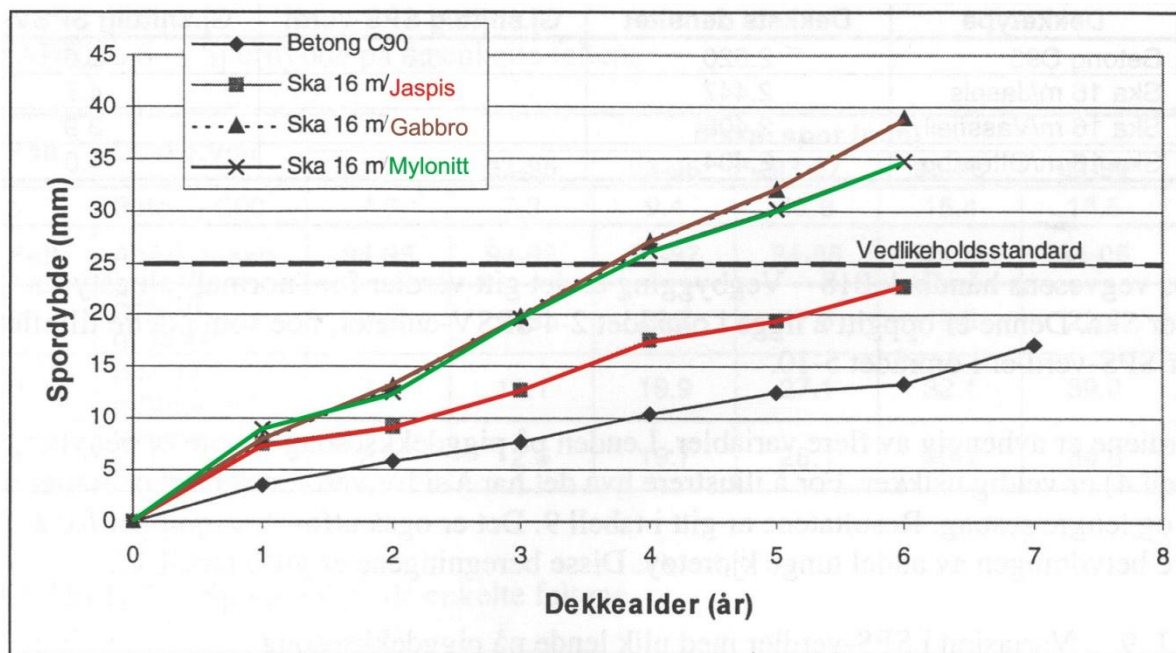


Figur 34. Flisighetsindeks for ulike sorteringer. Kategorigrenser som benyttes per i dag er angitt med heltrekk linje.

2.6 Andre egenskaper og analysemetoder

Enkelte bergarter kan betraktes som anisotrope for eksempel ved en markert retningsorientering (foliasjon). Dette kan påvirke de materialtekniske egenskapene betydelig i negativ retning. Det er uvisst om de tre trommeltestene tilstrekkelig klarer å fange opp denne svakheten vist ved følgende eksempel:

Resultatene fra forsøksfeltet på E6-Klett sør for Trondheim [14] viser ingen merkbar forskjell i spordybden mellom bergartene gabbro og mylonitt (figur 35) til tross for at mylonitten spesielt mht. slitasjeegenskapene, er langt bedre kvalitetsmessig (tabell 3).



Figur 35. Sporslitasje som funksjon av dekkealder [14].

Tabell 3.

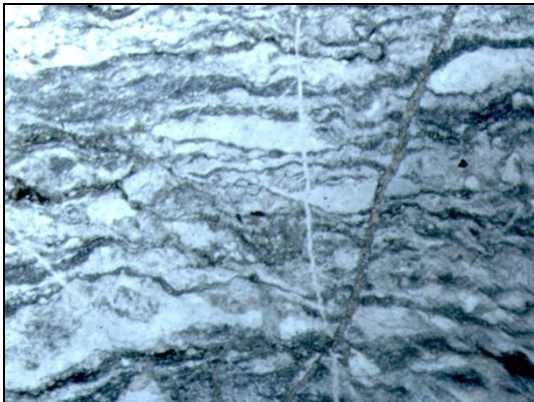
| Bergart | S_8 | LA | Abr | Sa | A_N |
|----------|-------|----|------|-----|-------|
| Jaspis | 40,6 | 14 | 0,26 | 1,7 | 3,3 |
| Gabbro | 34,8 | 15 | 0,42 | 2,4 | 13,7 |
| Mylonitt | 33,1 | 11 | 0,33 | 1,9 | 5,9 |

S_8 - Sprøhetstall, LA - Los Angeles-verdi, Abr - abrasjonsverdi, Sa - slitasjemotstand og A_N - mølleverdi (Data fra Pukkdatatabasen).

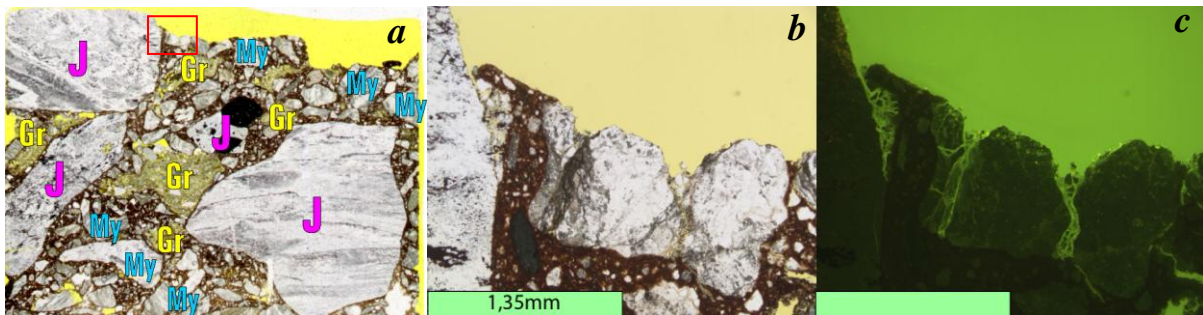
Mylonitten har en markert retningsorientering (figur 36) som kan være årsaken til at slitasjen i vegdekket er på samme nivå som for gabbroen. Nærmere studie av borkjerner fra et vegdekke (E6-Omkjøringsveien [15]) der både jaspis og mylonitt inngår som tilslag viser at mylonitten "sprekker opp" (figur 37). Store steinkorn med slitesterk jaspis blir stående opp, mens finere sorteringer krakelerer og slites bort. Dette kan igjen være årsak til og resultere i steinslipp. *Punktlasttest kan være en aktuell testmetode for avsløre anisotrope bergarter ved å måle normalt på og planparallelt med retningsorienteringen.*

Analyse av impregnerte borkjerner med fluoriserende materiale er et nyttig verktøy for å analysere nedbryningsprosesser i et vegdekke. I tillegg vil tynnslipanalyse av

tilslagsmateriale gi informasjon om markert retningsorientering, mikroriss m.m., som kan ha betydning for de materialtekniske egenskapene.



Figur 36. Utsnitt fra tynnslip av mylonitt som viser markert horisontal retningsorientering i bergarten.



Figur 37. a) Borkjerne med jaspis (J), mylonitt (My) og finstoff (Gr) og. Utsnitt for nærmere detaljer er markert med rød ramme. b) Detaljer av mylonitt korn omsluttet med bitumen (brun farge) i plan polariserer lys. c) Samme detaljutsnitt i fluorisert lys med tydelig oppsprekking langs svakhetsplan [15].

3. FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

Gjennomføre testforsøk med Los Angeles-metoden for grovpukk (31,5/50mm). Dette er en fraksjonsstørrelse som er mer tilpasset for masser til bære-/forstekningslag. I og med at metoden gir ensgraderte siktekurver etter tromling er formålet å framstille en prosedyre som gjensker knusing og ikke som i dag slitasje. Forsøk med ulike prøvemengder, tromletid og antall kuler kan være aktuelle parametre å justere.

Sjekke om flisig kornform for de fineste fraksjonene har samme effekt som glimmer mht. økt behov for bitumen.

Lage retningslinjer for krav til flisighetsindeks for delfraksjoner $> 4\text{mm}$ og oppover.

Undersøke behovet for å stille krav til glimmerinnhold i bergart og mørtelfraksjonen ($< 4\text{mm}$).

4. REFERANSER

- [1a-c] Statens vegvesen Håndbok 018-Vegbygging. Vegdirektoratet, 01.01.2011.
Statens vegvesen Håndbok 018-Vegbygging. Vegdirektoratet, 01.01.2005.
Statens vegvesen Håndbok 018-Vegbygging. Vegdirektoratet, 01.01.1999.
- [2] American Society for Testing and Materials (1989) Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM Designation C131-89.
- [3] American Society for Testing and Materials (1989) Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM Designation C535-89.
- [4] Erichsen, E. 2001: Revisjon av Statens vegvesens håndbok 018-Vegbygging. Bidrag fra NGUs Pukkdatabase med statistikk over bergarters mekaniske og fysiske egenskaper. NGU Rapport 2001.072.
- [5] Rogers, C. (1998) Canadian experience with the micro-Deval test for aggregates. *In* Latham, J.-P.(ed.) *Advances in Aggregates and Armourstone Evaluation*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, **13**, pp. 139-147.
- [6] British Standards Institution, BS 812: 112 (1990) Testing aggregates. Methods for determination of aggregate impact value (AIV).
- [7] Stenlid, L. (1996) Klassifisering av bergarter med Los Angeles-trumma. Sluttrapport SBUF prosjekt 2135, p. 84. Skanska Mellansverige AB, Vägglaboratoriet Bålsta.
- [8] 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*, Volume 44, Number 3, pp.333-337.
- [9] Olsen, L. (1983) Rundingsgradsanalyse på grus- og steinpartikler – et nyttig hjelpemiddel ved undersøkelse av løsmassenes genese. Norges geologiske undersøkelse. Skrifter 39, nr 379. Universitetsforlaget, 20 sider.
- [10] Ramsay, D.M., Dhir, R.K. and Spence, J.M. (1977) The practical and theoretical merits of the Aggregate Impact Value in the study of crushed rock aggregate. *In* Attewell, P.B. (ed.) *Proceedings of the Conference on Rock Engineering, Univ. Newcastle-upon-Tyne, England*, pp. 1-10.
- [11] Erichsen, E. 2006: Krav til materialtekniske egenskaper for bære- og forsterkningslag. NGU Rapport 2006.020.
- [12] Selmer-Olsen, R. (1949) Prøving av steinmaterialer til vegdekker. *Medd. Vegdirektøren*, 12, side 187-194.
- [13] Erichsen, E., m.f. 2010: Miljøvennlige vegdekker - Materialtekniske egenskaper for ulike testfraksjoner. NGU Rapport 2010.065.

- [14] Trøan, A.K. (2000) Piggdekkslitasje – Forsøksfelt på EV 6 ved Klett. Sintef Rapport STF22 A00462.
- [15] Broekmans, M.A.T.A. (2005) Failure of greenstone, jasper and cataclasite aggregate in bituminous concrete due to studded tyres: similarities and differences. In: Hughes, JJ, Leslie, AB, and Walsh, JA (editors): Proceedings of the 10th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, June 21-25, 2005, Paisley, Scotland, cd-rom: pp17.



Statens vegvesen
Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Postboks 8142 Dep 0033 OSLO
Tlf: (+47 915) 02030
publvd@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen