

NGU Rapport 2010.065

Miljøvennlige vegdekker – Materialtekniske
egenskaper for ulike testfraksjoner.

Rapport nr.: 2010.065		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Miljøvennlige vegdekker – Materialtekniske egenskaper for ulike testfraksjoner.			
Forfatter: Eyolf Erichsen, Arnhild Ulvik, Henry Vongraven, Roald Tangstad og Bjørnar Fossan		Oppdragsgiver: NGU og Vegdirektoratet	
Fylke:		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 23 Kartbilag:	Pris: 85,-
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 7. desember 2010	Prosjektnr.: 3317.00	Ansvarlig: <i>Tor. Richard Neeb</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>Formålet med prosjektet er å undersøke materialtekniske egenskaper på ulike testfraksjoner. Testmetoder som er benyttet er kule mølle, micro-Deval og Los Angeles. Analysene utføres vanligvis på bestemte referansefraksjoner, men i henhold til standarden for testmetodene kan det benyttes ulike alternative fraksjoner.</p> <p>Tre steinmaterialer med ulike materialtekniske egenskaper mht. slag-/knusemotstand og slitasje er benyttet. De tre materialene havner innenfor forskjellige kategorigrupper når det analyseres på ulike testfraksjoner. Dette fordi det produseres mer finstoff for de mekaniske testmetodene når de utføres på finere fraksjoner. Økningen av produsert finstoff kan relateres til endring i kornformen. Forsøket er utført på materiale med ulik kornform, så en kan ikke fastslå at de mekaniske egenskapene <u>ikke</u> vil variere for ulike sorteringer. Flisigheten til materialet har større innvirkning for slitasjetesten micro-Deval enn for knusetesten Los Angeles. For den sistnevnte testen kan innvirkningen av størrelsen til stålkulene som benyttes, sett i forhold til kornstørrelsen på prøvematerialet, da spesielt for de fineste testfraksjonene, ha betydning for økt knusningsgrad. For kule mølletesten er det minimal forskjell mellom referansefraksjonen (11.2/16mm) og den alternative testfraksjonen (8/11.2mm).</p> <p>Det er også utført et metodestudium med mekanisk testing på sammensatte materialer med en kornfordeling tilsvarende som for en Ab11-resept. Resultatene er vanskelige å tolke bl.a. på grunn av innvirkning av ulik kornform for materialet som er benyttet. Også for dette studiet framkommer kornformens betydning spesielt for slitasjetestene.</p> <p>En bør vurdere å innføre krav til alle delfraksjoner som inngår i tilslagssammensetningen for en asfaltresept. I og med at kornformen har innvirkning på de materialtekniske egenskapene samt at kornformen kan variere mye innenfor sammensetningen, vil dette kunne påvirke total kvaliteten for materialet i en asfaltblanding. I tillegg kan et høyt innhold med flisig materiale i finsorteringene være årsak til dårlig bearbeiding av asfaltmassene.</p>			
Emneord: Kornfordeling	Kule mølle	Los Angeles	
Micro-Deval	Flisighetsindeks		

INNHold

1.	INNLEDNING.....	4
2.	VALG OG PREPARERING AV PRØVEMATERIALE	5
3.	UTFØRELSE AV MEKANISKE TROMMELTESTER	6
4.	RESULTATER/VURDERINGER	7
4.1	Kornform.....	7
4.2	Mekanisk testing av ulike fraksjoner	8
4.3	Teoretisk kvalitet for asfaltresepter	13
4.4	Metodestudium	15
5.	KONKLUSJON	20
6.	REFERANSER.....	21

- Vedlegg 1. Testmetoder utført på referansefraksjoner**
" **2. Testmetoder utført på alternative testfraksjoner**
" **3. Analyseresultater**

1. INNLEDNING

Prosjektet ”Miljøvennlige vegdekker” i regi av Vegdirektoratet har hatt som mål å redusere problemet med støy og støvproduksjon, relatert til biltrafikk. Ett av resultatene fra dette prosjektet har vist at reduksjon av største steinstørrelse i asfaltdekker er en viktig faktor for støyreduksjon. En bieffekt er økt slitasje av dekket, som igjen kan resultere i økt støvproblem. Prosjektet har også vist at reduksjon i største steinstørrelse medfører at mørtelfasen (andel materiale < 4mm) får økt betydning for slitasjen.

En videreføring av prosjektet, der fokus har vært å få fastlagt steinkvaliteten på flere fraksjoner enn det som blir utført ved standard testing i laboratoriet, er blitt gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom Vegdirektoratet, og NGU.

NGUs bidrag har vært ut fra informasjon i Pukkdatabasen å velge ut tre steinmaterialer med ulike materialtekniske egenskaper mht. slag-/knusemotstand og slitasje. Videre har NGU for de tre materialene utført mekaniske tester (Los Angeles, kulemølle og micro-Deval) på ulike alternative fraksjoner iht. det som er mulig ut fra Norsk/Europeisk standard. I tillegg er det utført et metodestudium med mekanisk testing på sammensatte materialer med en kornfordeling tilsvarende som for en Ab11-resept. Vegdirektoratets sentrallaboratorium har utført Prall testing på tilsvarende prøver.

Prosjektet er gjennomført i regi av samarbeidsavtale NGU har med Statens vegvesen ved Vegdirektoratet.

2. VALG OG PREPARERING AV PRØVEMATERIALE

Ut fra analyser i Pukkdatabasen (tabell 1) ble tre steinmaterialer med spredning i de materialtekniske egenskaper mht. slag-/knusemotstand og slitasje valgt ut. I tillegg ble det vektlagt å benytte materiale bestående av mest mulig homogene bergarter. Rangeringen mellom bergartene er porfyr med de beste resultatene for samtlige materialtekniske egenskaper, deretter følger gabbro, mens monsonitt har de dårligste egenskapene.

Tabell 1. Gjennomsnitt av tidligere analyseresultat på de valgte materialene.

Prøve	Bergart	$\rho_{8/11.2}$	A_N	M_{DE}	LA
M-1	Porfyr	2.60 (6)	3.8 (6)	2.6 (1)	12.2 (5)
M-2	Gabbro	2.99 (3)	9.8 (3)	8.1 (2)	15.6 (3)
M-3	Monsonitt	2.72 (4)	15.8 (4)	12.2 (1)	30.8 (4)

$\rho_{8/11.2}$ - tørr korndensitet for fraksjon 8/11.2mm, A_N - mølleverdi, M_{DE} - micro-Deval koeffisient, LA - Los Angeles-verdi. Antall analyser som ligger til grunn for verdiene er gitt i parentes.

Fra de utvalgte tilslagsleverandørene ble det tilsendt til sammen over 2000kg med steinmateriale fra sorteringene 11/16, 8/11, 4/8 og 0/4mm. Alt materiale ble siktet i delfraksjoner og ca. 1kg ble splittet ut for kornformsanalyse (tabell 2).

Tabell 2. Fordeling av materiale i ulike delfraksjoner og valg av stavsikt for kornformsanalyse.

Sortering	Delfraksjon	Stavsikt	Sortering	Delfraksjon	Stavsikt
11/16	16/22.4	-	4/8	10/11.2	-
	14/16	8		8/10	5
	12.5/14	7		6.3/8	4
	11.2/12.5	6.3		5/6.3	3.15
	10/11.2	5.6		4/5	2.5
	< 10	-		< 4	-
8/11	12.5/14	-	0/4	6.3/8	-
	11.2/12.5	6.3		5/6.3	3.15
	10/11.2	5.6		4/5	2.5
	8/10	5		2/4	-
	6.3/8	4		1/2	-
	< 6.3	-		0.500/1	-
				0.250/0.500	-
				0.125/0.250	-
				0.063/0.250	-
				< 0.063	-

Kornformen til enkelte av delfraksjonene med over-/understein ble også registrert (angitt med kursiv skrift i tabell 2). For å få tilstrekkelig med materialet til alle testene var det nødvendig å blande materialet innenfor delfraksjonene 11.2/12.5 og 4/5mm fra flere sorteringer, henholdsvis 11/16 - 11/8 og 4/8 - 0/4mm. For de ulike mekaniske testene ble nødvendig prøvemengde splittet ut (tabell 3).

Tabell 3. Utførte mekaniske metoder på ulike testfraksjoner.

Testfraksjon (mm)	A _N	M _{DE}	LA	Prall
11.2/16.0	(x)	x	x	
10.0/14.0		(x)	(x)	
8.0/11.2	x	x	x	
4.0/8.0		x	x	
0/16.0	x	x	x	x

A_N - møllemetoden, M_{DE} - micro-Deval test, LA - Los Angeles test. Referansefraksjoner er gitt i parentes.

3. UTFØRELSE AV MEKANISKE TROMMELTESTER

Kule mølle-, micro-Deval- og Los Angelesmetoden utføres alle som trommeltester der nedbryting av prøvematerialer skjer ved rotasjon mellom tilslag og stålkuler. Både gjennomføring og utstyr avviker noe for de tre metodene (vedlegg 1). De er empiriske og er ment å gi uttrykk for motstand mot henholdsvis knusing (Los Angeles) og slitasje (kule mølle og micro-Deval).

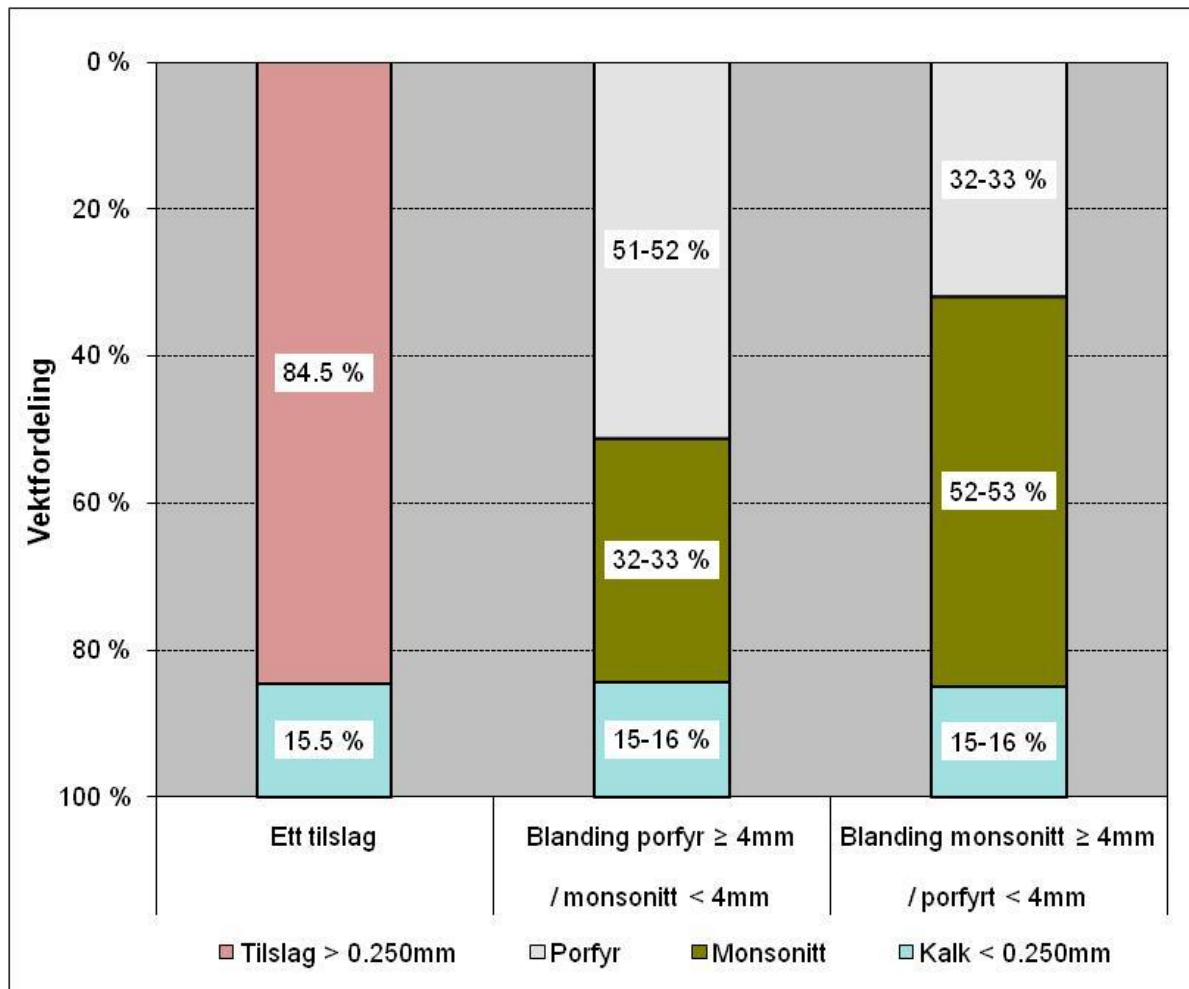
For de tre metodene kan analysen utføres på alternative fraksjoner, men da med en del avvik fra standard prosedyre bl.a. mht. kulestørrelse, -vekt og -antall (vedlegg 2). Det er bemerket i prosedyrene for metodene (NS-EN 1097-1, NS-EN 1097-2 og NS-EN 1097-9) at en ikke skal forvente å oppnå samme resultat som for referansefraksjonen. Valg av testfraksjoner i dette prosjektet framgår av tabell 3. For å ha best mulig kontroll over kornfordelingen for de tre steinmaterialene ble det benyttet flere mellomstikt enn det som er nevnt i standardene (tabell 4).

Tabell 4. Mellomsikt og % andel på sikt ved preparering av prøvemateriale.

Fraksjon (mm)	Mellomsikt (mm)	A _N (%)	M _{DE} (%)	LA (%)
11.2/16	14	35 ± 1	35 ± 5	35 ± 5
	12.5	30 ± 1	30 ± 5	30 ± 5
10/14	12.5	-	35 ± 5	35 ± 5
	11.2	-	30 ± 5	30 ± 5
8/11.2	10	35 ± 1	35 ± 5	35 ± 5
4/8	6.3	-	35 ± 5	35 ± 5
	5	-	30 ± 5	30 ± 5

A_N - møllemetoden, M_{DE} - micro-Deval test, LA - Los Angeles test.

Det ble i tillegg utført et metodestudium med mekanisk testing for de tre metodene på sammensatte materialer (Figur 1) med en kornfordeling tilsvarende som for en Ab11-resept (fraksjon 0/16mm). For tilsvarende resept ble det utført Pralltesting ved Vegdirektoratets sentrallaboratorium.



Figur 1. Fordeling av materiale for de ulike blandinger.

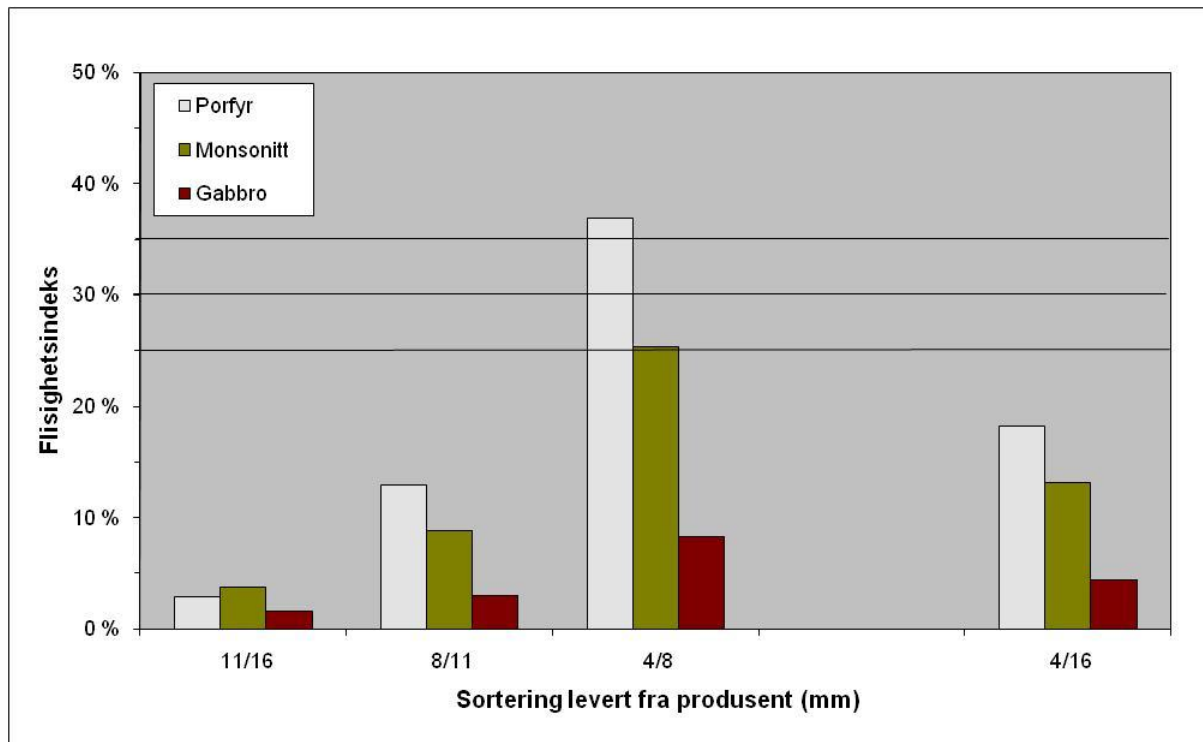
Pga. for lite materiale av fraksjonene < 0.250mm ble det benyttet kalk som ”fremmedfiller”. For kulemlølle ble alle testene utført i henhold til standarden med konstant volum, kalibrert i forhold til steinmaterialets densitet. Micro-Deval og Los Angeles ble utført med konstant prøvevekt. De to mix-prøvene ble utført for å bedømme innvirkningen av ”sterkt/svakt steinmateriale” i fraksjonene over/under 4mm.

4. RESULTATER/VURDERINGER

4.1 Kornform

Resultatet av kornformsanalysen er gitt i figur 2. Med unntak for 11/16mm sorteringen er rangeringen mht. kornform lik mellom steinmateriale, med porfyren som mest flisig og

gabbroen som mest kubisk. Materialet med gabbro skiller seg ut som et meget kubisk materiale (flisighetsindeks $< 10\%$) for samtlige sorteringer. Porfyren og monsonitten viser spesielt for 4/8mm sorteringen, høy flisighetsindeks. Kravene for flisighetsindeks forholder seg til hele graderingen, dvs. i dette tilfelle 4/16mm, og ikke til delfraksjonene. Sorteringen 4/16mm kommer godt innenfor de strengeste kravene for materiale til vegdekker (flisighetsindeks ≤ 25) til tross for den dårlige kornformen til porfyren for den fineste sorteringen.



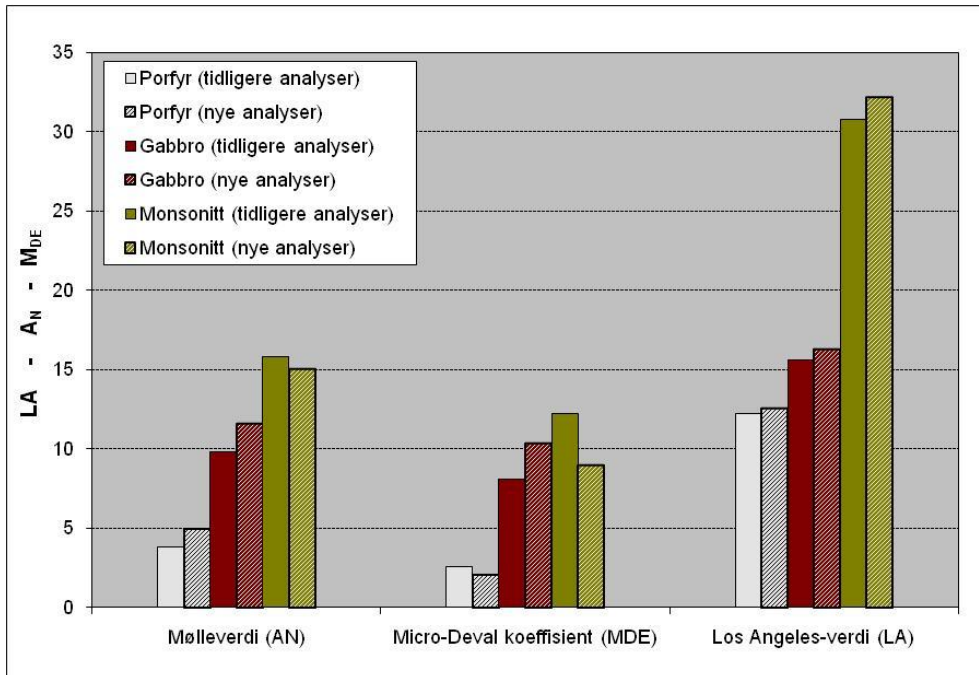
Figur 2. Kornform for ulike sorteringer. Kategorigrænser er angitt med heltrekt linje.

4.2 Mekanisk testing av ulike fraksjoner

De nye analysene for referansefraksjonen (figur 3) viser, med unntak for micro-Deval, samsvar i rangering mellom bergartene i forhold til tidligere utførte analyser (tabell 1). For micro-Deval viser gabbroen noe dårligere resultat enn monsonitten for de nye analysene, i motsetning til tidligere analyser. I tillegg er dette avvikende i forhold til rangeringen mellom mølleverdiene for de tre bergartene. Vanligvis viser nemlig kulemølletesten god korrelasjon med micro-Deval. Samme avvik for micro-Deval framkommer også for de to alternative testfraksjonene 11.2/16 og 8/11.2mm (figur 8b).

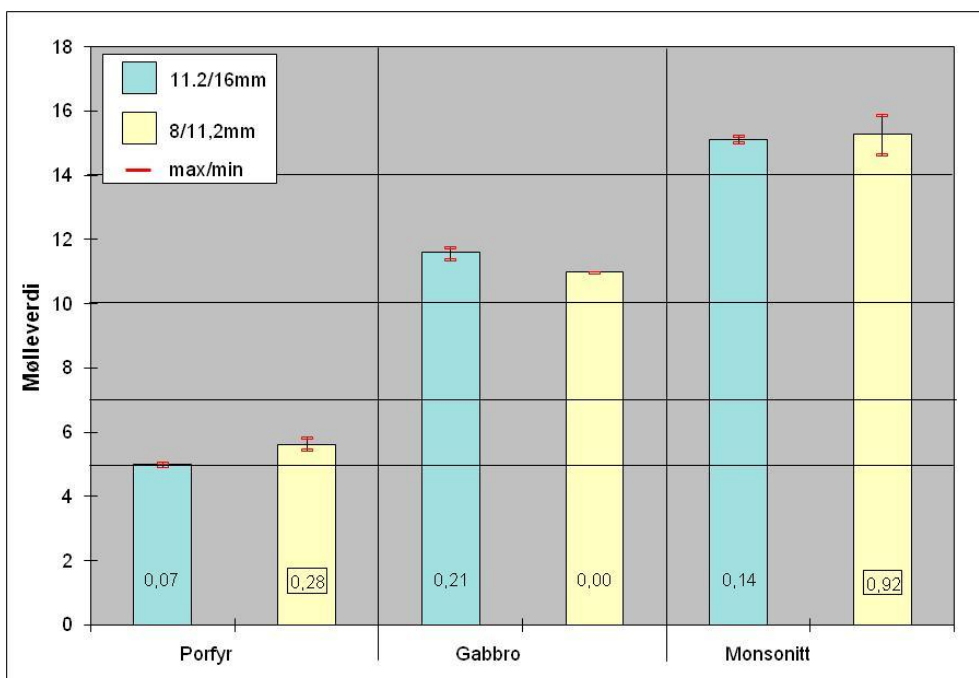
Kulemølle

I henhold til standarden utføres kulemølletesten med 2 paralleller. Hvis differansen mellom parallellene er større enn 7% av gjennomsnittet mellom dem, skal ytterligere 2 nye prøver testes. For to av prøvene er avviket for stort, men to nye prøver ble ikke testet pga. for lite restmateriale.



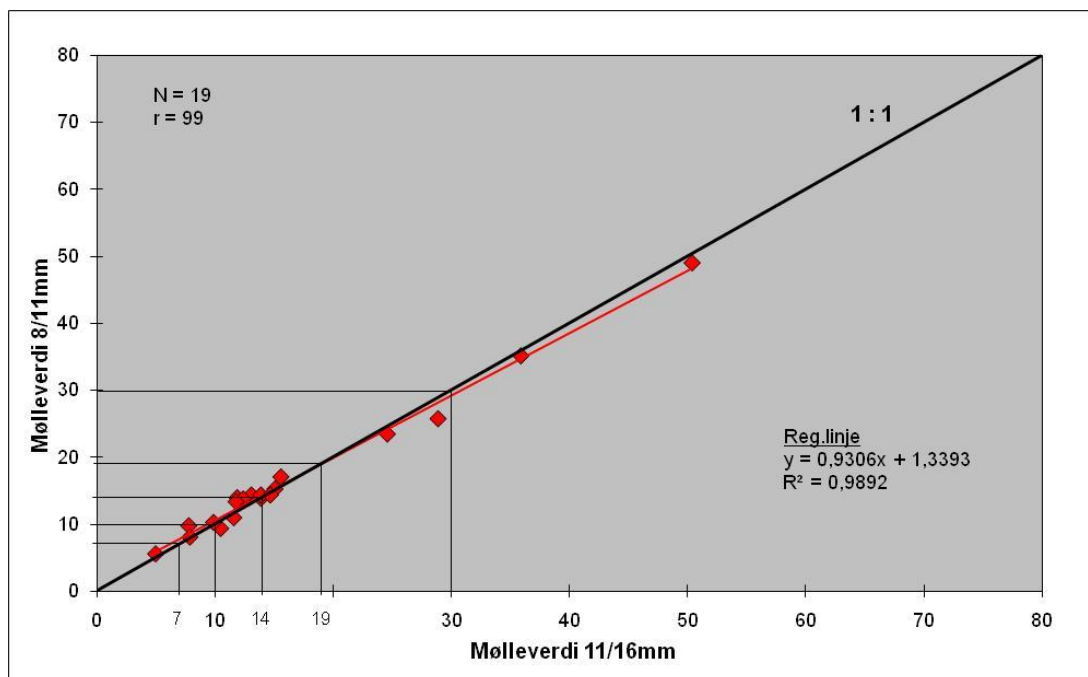
Figur 3. Resultat av tidligere og nye analyser for referansefraksjonene.

Resultatet etter testing på referanse og alternativ fraksjon er vist på figur 4. I henhold til forslag til ny standard mht. kategoriinndeling (prEN 13043) havner prøver av samme materiale utført på de to testfraksjonene innenfor samme kategorigruppe (porfyr A_N 5-7, gabbro A_N 10-14 og monsonitt A_N 14-19).



Figur 4. Møllerresultater for ulike testfraksjoner. Max/min angir resultatet for de 2 parallellene. Standardavviket mellom parallellene er oppgitt med tallverdi. Avviket er for stort for to av prøvene markert med ramme rundt standardavviket. Kategorigransene er markert med horisontale linjer i figuren.

NGU har nylig begynt å utføre kulemølletest på både referanse og alternativ fraksjon (figur 5). For de foreløpige resultatene er det god korrelasjon mellom de to fraksjonene.

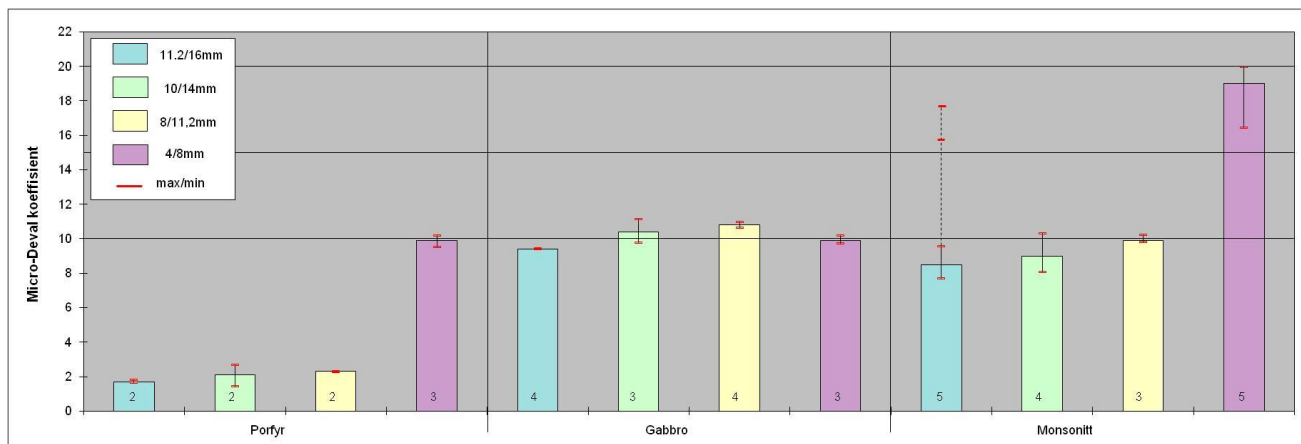


Figur 5. Kulemølleresultater utført på ulike testfraksjoner. Kategorigrensene er markert med heltrekte linjer i figuren. Data fra NGUs Pukkdatabase.

Micro-Deval

Micro-Deval utføres også med testing av 2 paralleller, men det stilles ikke krav til kjøring av flere prøver ved eventuelt stort avvik mellom parallellene. Resultatene etter testing på referanse og alternativ fraksjoner er vist på figur 6. På grunn av en del ”merkelige resultater” ble det for noen av prøvene utført flere paralleller. For monsonitt testet på 11.2/16mm fraksjonen ble de to første resultatene forkastet. Tre nye prøver gav mer ”normale” verdier. Det er uklart hva som er årsaken til dette store avviket.

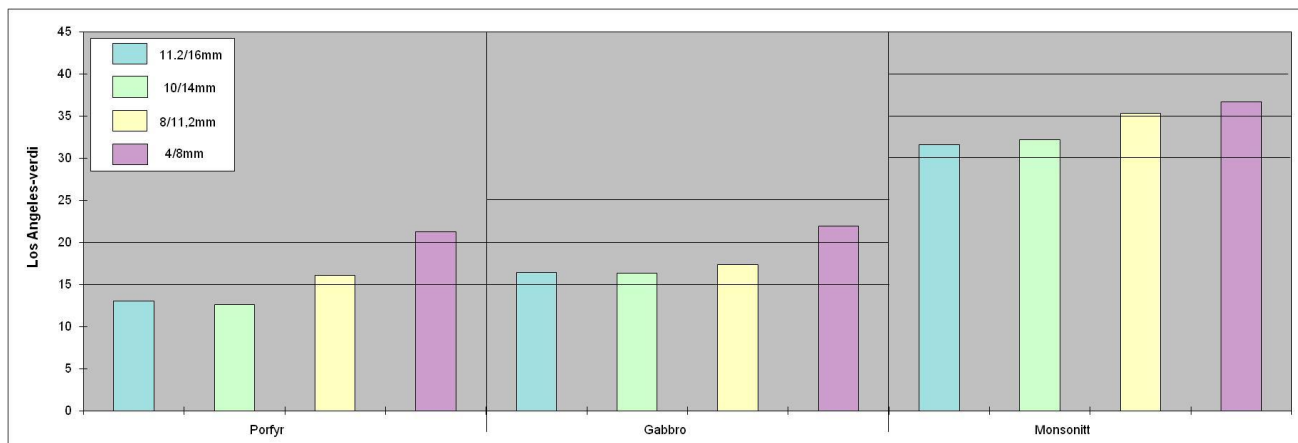
For de ulike fraksjonene viser gabbro liten variasjon, mens både porfyr og monsonitt viser markert avvik for fraksjonen 4/8mm.



Figur 6. Micro-Deval resultater for ulike testfraksjoner. Antall kjørte paralleller er oppgitt med tallverdi. Kategorigrensene er markert med horisontale linjer i figuren.

Los Angeles

Testen utføres kun med en parallell per prøve. Resultatene (figur 7) viser en jevn økning i Los Angeles-verdien med avtagende kornstørrelse for testfraksjonen, for alle tre bergartstypene. Finkornete testfraksjoner faller inn under dårligere kategorigrupper i forhold til referansefraksjonen.



Figur 7. Los Angeles resultater for ulike testfraksjoner. Kategorigrensene er markert med horisontale linjer i figuren.

Endring i mekaniske egenskaper for ulike testfraksjoner

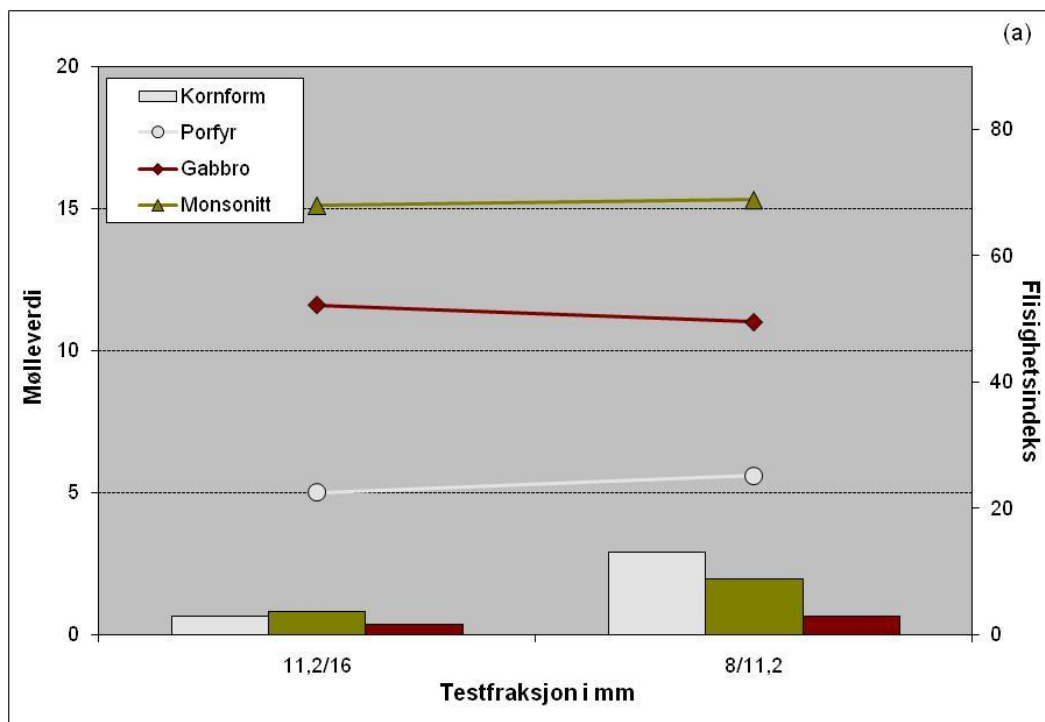
To forhold kan være med på å forklare hvorfor mengden med produsert finstoff gjennomgående øker ved testing på fraksjoner med finere kornstørrelse; endring i kornformen og/eller endring i belastning fra kulemassen.

For kulemølle (figur 8a) er det minimal forskjell i resultatene for de to testfraksjonene. For denne testen reduseres kulestørrelsen med kornstørrelsen til testfraksjonen. I tillegg er kornformen for de to testfraksjonene noenlunde like (vedlegg 3). En kan dermed forvente at kulemøllemetoden vil gi tilnærmet samme resultat for den alternative testfraksjonen som for referansefraksjonen, såfremt kornformen ikke endres betydelig.

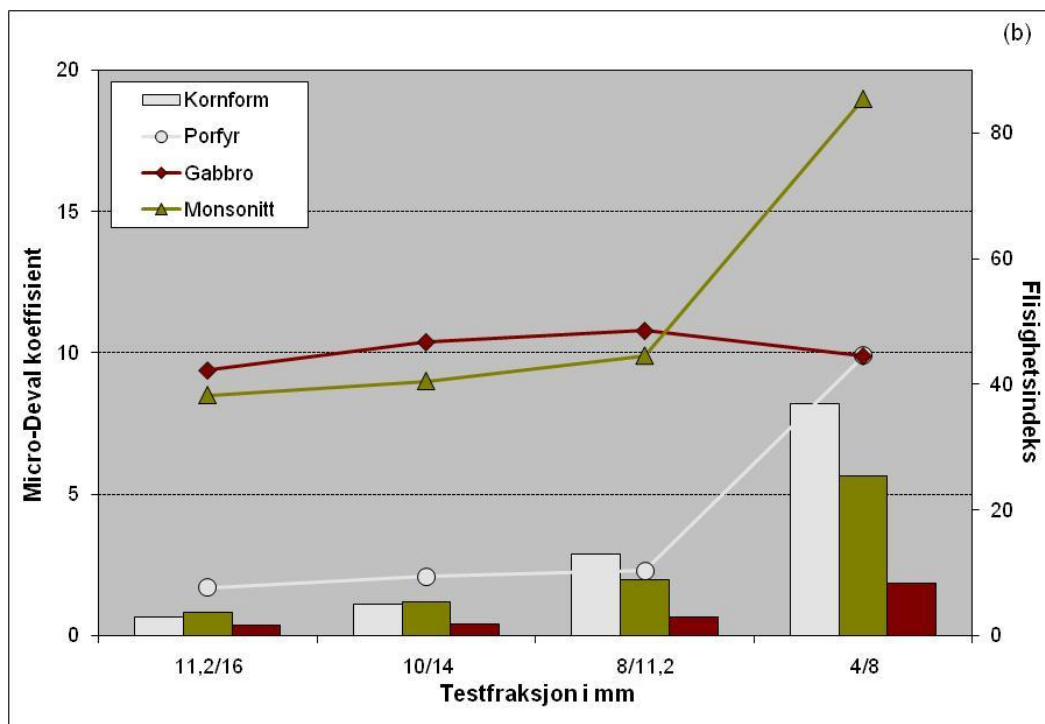
For micro-Deval (figur 8b) er det en jevn økning i mengden produsert finstoff for testfraksjonene mellom 11.2/16 til 8/11.2mm. Selv om kulevekten reduseres med avtagende kornstørrelse for testfraksjonen så vil kulestørrelsen nærme seg middelkornstørrelsen til testfraksjonene med minst kornstørrelse. Dette kan influere og være årsak til den økte produksjonen av finstoff. Innvirkningen som følge av endring i kornformen framkommer tydeligst for fraksjonen 4/8mm. Både for porfyr og monsonitt opptrer en markant økning i micro-Deval koeffisienten som følge av høyere andel med flisig materiale. For gabbro derimot er ikke endringen i kornform tilsvarende stor slik at finstoffproduksjonen er omtrent på samme nivå for alle testfraksjonene. En kan dermed anta at endring i kornform er avgjørende for denne metoden i forhold til finstoffproduksjonen for ulike testfraksjoner.

For Los Angeles testen øker andel produsert finstoff jevnt med avtagende kornstørrelse for testfraksjonen (figur 8c). Det er minimal forskjell mellom den grovste testfraksjonen og referansefraksjonen, også mht. kornformen. Endringen framkommer spesielt for fraksjonene 8/11.2 og 4/8mm. Økt andel med flisig materiale kan være noe av årsaken, men for disse fraksjonene så må en anta at kulestørrelsen, til tross for at det er færre, vil ha en betydning når den relative forskjellen til kornstørrelsen til testfraksjonen blir såpass stor. Tilsvarende sprang

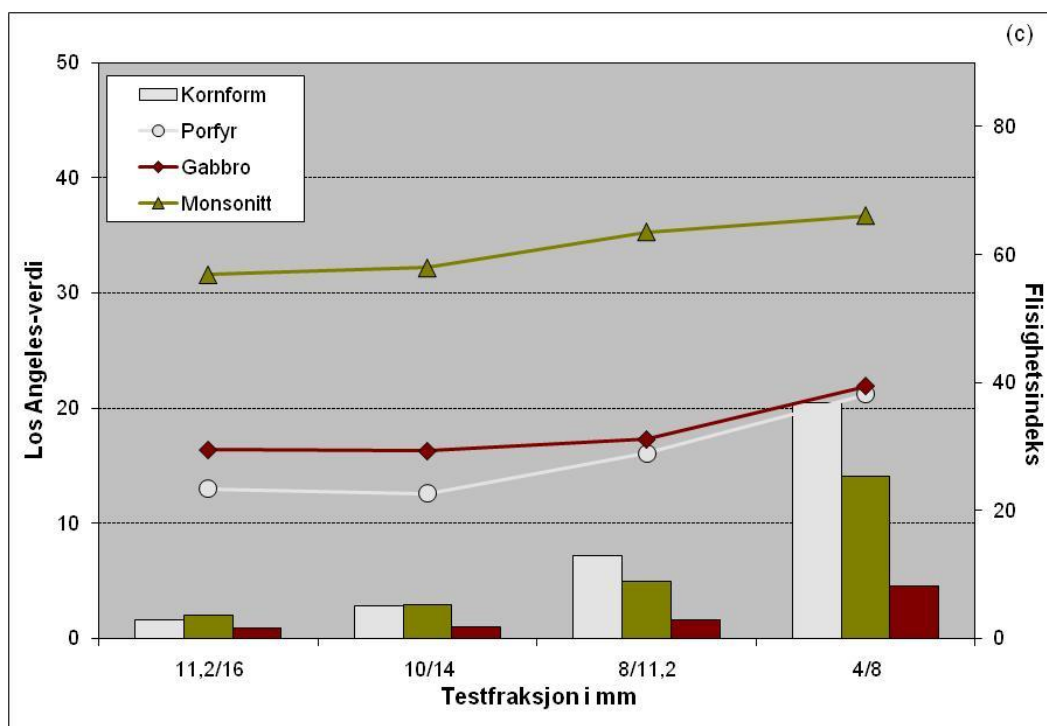
som for micro-Deval opptrer ikke for testfraksjonen 4/8mm. Dette kan tilsi at kornformen har mindre betydning for Los Angeles i forhold til micro-Deval testen, og at kulestørrelsen har vel så stor betydning for testfraksjoner med liten kornstørrelse.



Figur 8a. Kornformens innvirkning på mølleverdien.



Figur 8b. Kornformens innvirkning på micro-Deval koeffisienten.



Figur 8c. Kornformens innvirkning på mølleverdien Los Angeles-verdien.

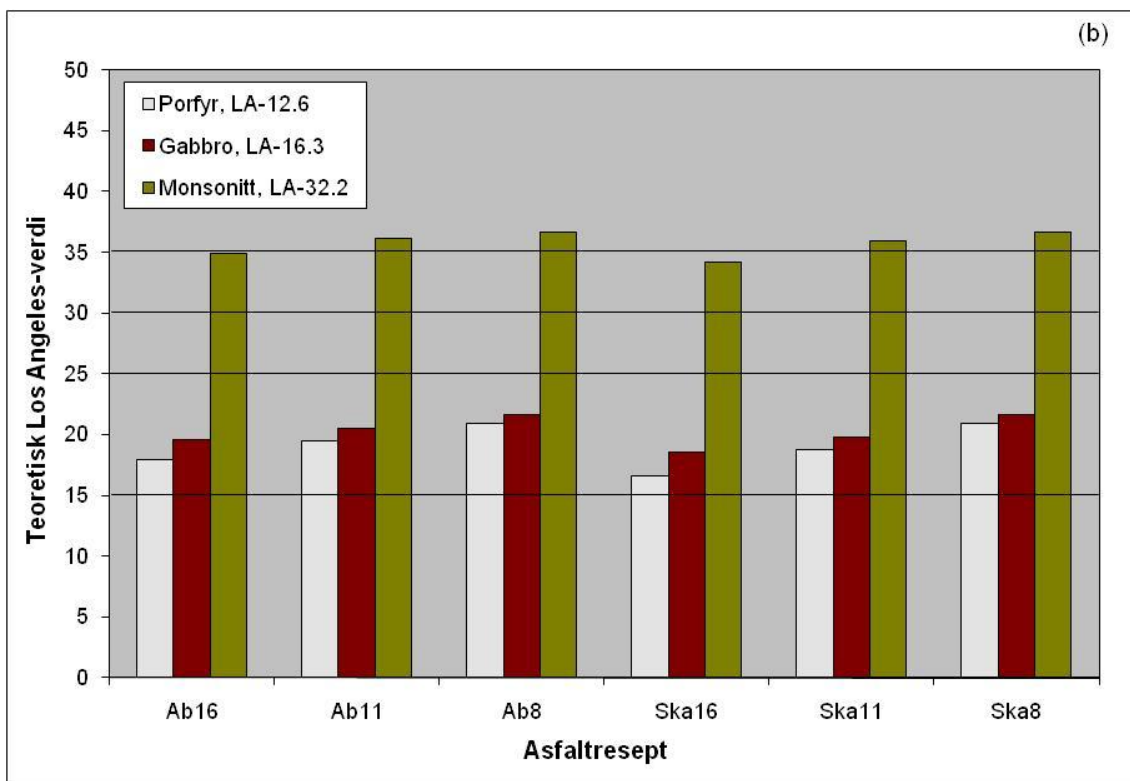
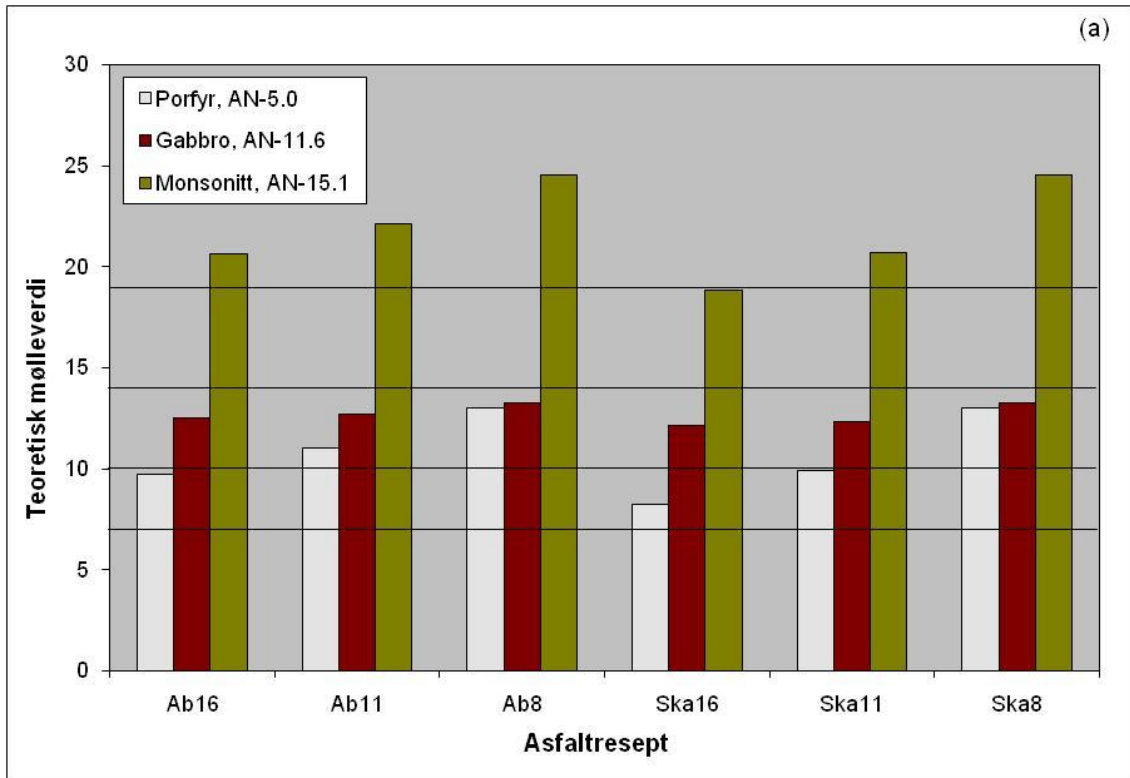
4.3 Teoretisk kvalitet for asfaltresepter

Ved å benytte resultatene for de mekaniske egenskapene for de ulike testfraksjoner (vedlegg 3) og kombinere egenskapene i et veid forhold til den fraksjonsvise materialsammensetningen for ulike asfaltresepter (tabell 5), er det mulig å beregne teoretisk kvalitet for reseptene (figur 9a-b). For kulemølle er den teoretiske mølleverdien (A_N) for 4/8mm fraksjonen beregnet ut fra kjent korrelasjon mellom micro-Deval koefisienten (M_{DE}) og mølleverdien for referansefraksjonene. Regresjonslinje for 206 analyser med en korrelasjonskoeffisient på 0.95 er $A_N = 1.28 * M_{DE} + 0.5475$.

Tabell 5. Prosentvis materialsammensetning for ulike asfaltresepter.

Fraksjon (mm)	Ab16	Ab11	Ab8	Ska16	Ska11	Ska8
> 16	5.0			5.0		
11/16	27.0	5.0		39.0	5.0	
8/11	12.5	25.0	5.0	19.0	39.5	5.0
4/8	13.5	22.0	31.0	9.5	18.0	49.5
< 4	42.0	48.0	64.0	27.5	37.5	45.5
Sum	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Ab - asfaltbetong, Ska - skjelettasfalt.



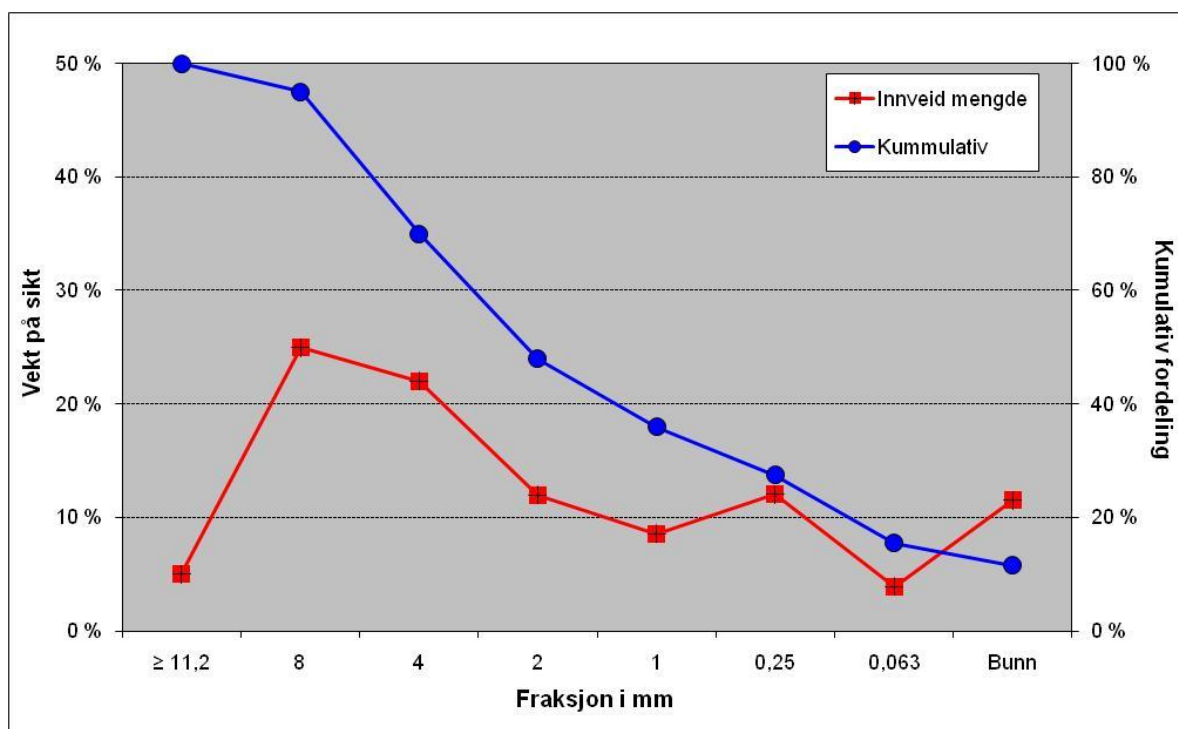
Figur 9. Kvalitet for ulike asfaltresepter mht. teoretisk mølleverdi (a) og teoretisk Los Angeles-verdi (b). Kategorigrensene er markert med horisontale linjer i figurene. Kvaliteten for materiale >16mm er tilordnet egenskapene for 11.2/16mm fraksjonen og tilsvarende er kvaliteten for andelen <4mm vektet i forhold til mekaniske egenskapene for 4/8mm fraksjonen.

Resultatene i figur 9 kan være av interesse å sammenholde med resultatene fra Pralltestingen. Pga. kornformen vil gabbroen for resepter med liten kornstørrelse, bli kvalitetsmessig jevnbyrdig med porfyren. Spesielt gjelder dette for de knusetekniske egenskapene (figur 9b). Porfyren har ut fra de gode slitasjemessige egenskapene et fortrinn for de to groveste reseptene (figur 9a). For disse reseptene vil i tillegg skjelettasfalten komme noe bedre ut mht. slitasje i forhold til asfaltbetongen pga. høyere mengde med materiale > 8mm. Kombinasjonen dårlig kornform og svake mekaniske egenskaper gjør at monsonitt skiller seg ut med dårlig kvalitet sett i forhold til kategorigrensene.

4.4 Metodestudium

Figur 10 viser fordelingen av prøvemateriale før testing. Ved trommeltesting vil det skje en dynamisk forskyvning av kornstørrelsesfordelingen mot finere fraksjoner. Etter tromling for de tre testmetodene vil differensen til innveid mengde angi hvor stor slitasje eller knusing som opptrer for hver enkelt fraksjon. Pga. den dynamiske forskyvningen vil innveid mengde for alle fraksjoner < 11.2mm bli tilført ytterligere masser fra grovere fraksjoner pga. nedbrytningen under selve testperioden. Det vil derfor være knyttet en del usikkerhet til tolkingen av resultatene.

Tidligere undersøkelser har vist at nedbrytningen er ulik for slitasjetester i forhold til knusetester (Sævik 2007). Ved knusing oppnås en jevnere fordeling av materialet etter tromling og materialet får en kantet kornform. For slitasjetestene blir fordelingen ujevn ved at det meste av materialet kun får en liten reduksjon av kornstørrelse og at enkeltkorn får en mer eller mindre avrundet form. Kanter av prøvematerialet blir slitt av og finmales.



Figur 10. Kornfordeling av utgangsmaterialet.

Figur 11a-c viser resultatet av fordelingen for testmetodene etter tromling sammenholdt med kornformen til utgangsmaterialet. For materiale ≥ 4 mm er det utført en egen kornformsanalyse for hver av de tre testmetodene (vedlegg 3). Resultatene vurderes fraksjonsvis for de ulike utførte testene:

Kulemølle

- ≥ 11.2 mm - Porfyr gir minst slitasje som samsvarer med at denne bergarten har lavest mølleverdi
- 8mm - Porfyr og gabbro gir omtrent lik slitasje, mens monsonitt som har høyest mølleverdi viser tilsvarende størst slitasje. Kubisiteten til gabbro kan være årsak til tilsvarende slitasje som for porfyr som har mye bedre mølleverdi.
- 4mm - Gabbro gir minst slitasje og har markert bedre kornform i forhold til porfyr og monsonitt.
- 2mm - Samme innbyrdes rangering som for 8mm.
- < 2 mm - Minimal forskjell.

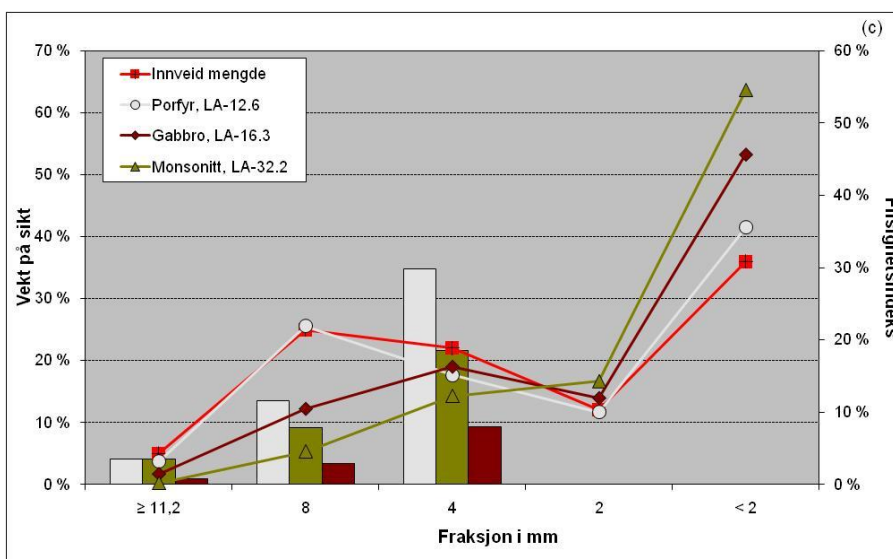
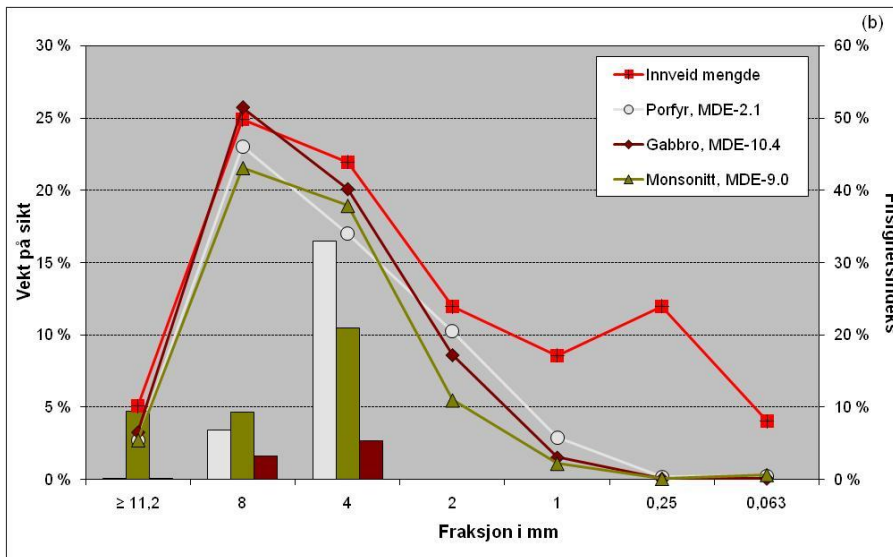
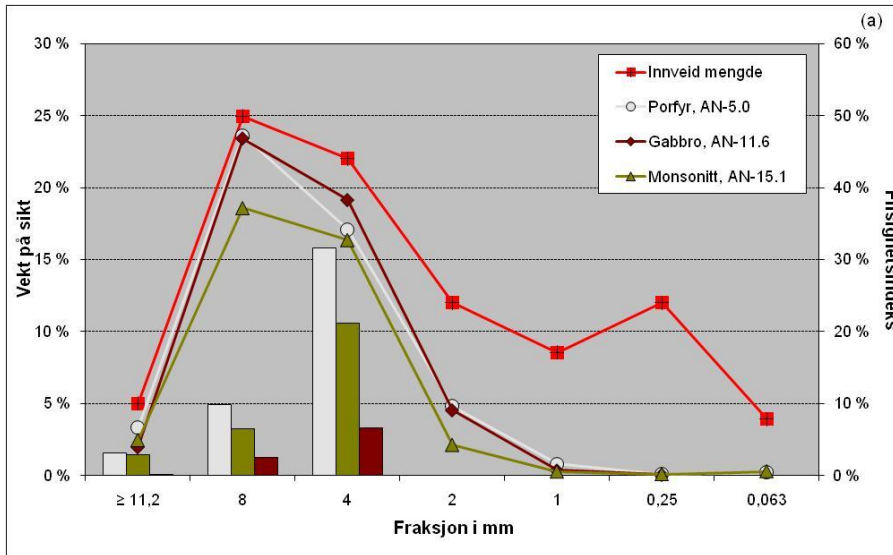
Micro-Deval

- ≥ 11.2 mm – Marginal forskjell mellom bergartene.
- 8mm - Gabbro har mer materiale enn innveid og må ha fått tilført en del som har blitt slitt ned fra grovere fraksjon.
- 4mm - Porfyr gir størst slitasje til tross for at materialet har lavest micro-Deval koeffisient. Motsatt for gabbroen. Årsaken kan relateres til kornformen.
- 2mm - Porfyren gir minst slitasje. Materialets slitasjeegenskaper gjør muligens større utslaget enn effekten av kornformen for finere fraksjoner. Monsonitt gir større slitasje til tross for noe bedre micro-Deval koeffisient i forhold til gabbroen.
- < 2 mm - Minimal forskjell.

Los Angeles

- ≥ 11.2 mm - Marginal forskjell mellom prøvene, men rangeringen samsvarer med forskjellen i LA-verdi for bergartene.
- 8mm - Mengde knust materiale samsvarer med rangeringen iht. LA-verdien mellom bergartene. Ingen antydning om at kornformen har innvirkning.
- 4mm - Gabbroen på høyde med porfyren mht. knust mengde som kan skyldes bedre kornform.
- 2mm - Marginal forskjell, men rangeringen er invers i forhold til LA-verdien mellom bergartene.
- < 2 mm - Andel mengde som samsvarer med rangeringen mellom bergartene iht. LA-verdien.

Som for testkjøring av ulike fraksjoner (kap. 4.2) viser metodestudiet at kornformen også kan ha stor betydning for hvordan et sammensatt materiale utsettes for nedbrytning ved trommeltesting.



Figur 11. Kornfordeling etter trommeltesting med kulemølle (a), micro-Deval (b) og Los Angeles (c) sammenholdt med kornformen før testing.

Mix prøver

Prøvene er sammensatt (figur 12a-c) med en blanding av det mest slitesterke og slagsterke materialet (porfyr) og tilsvarende det svakeste (monsonitt). Resultatene vurderes fraksjonsvis for de ulike utførte testene:

Kulemølle

- $\geq 11.2\text{mm}$ - Mix prøve med monsonitt $\geq 4\text{mm}$ gir mest slitasje. Mix prøve med porfyr $\geq 4\text{mm}$ som for 100% porfyr.
- 8mm - Begge mix prøvene ligger midt mellom 100% porfyr og monsonitt.
- 4mm - Mest slitasje for mix prøve med porfyr $\geq 4\text{mm}$. Andelen med monsonitt $< 4\text{mm}$ kan være årsaken, men mest sannsynlig skyldes det porfyrens dårlige kornform.
- $< 4\text{mm}$ - Minimal forskjell.

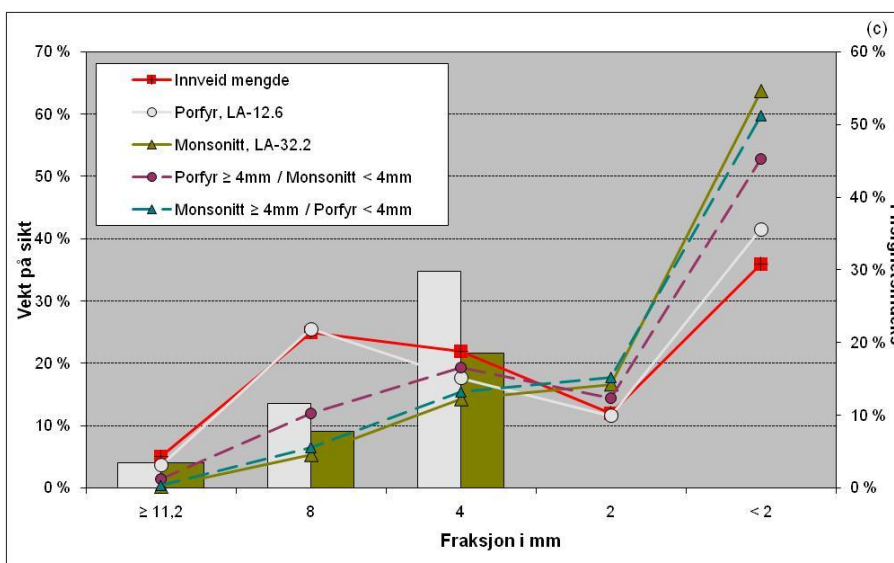
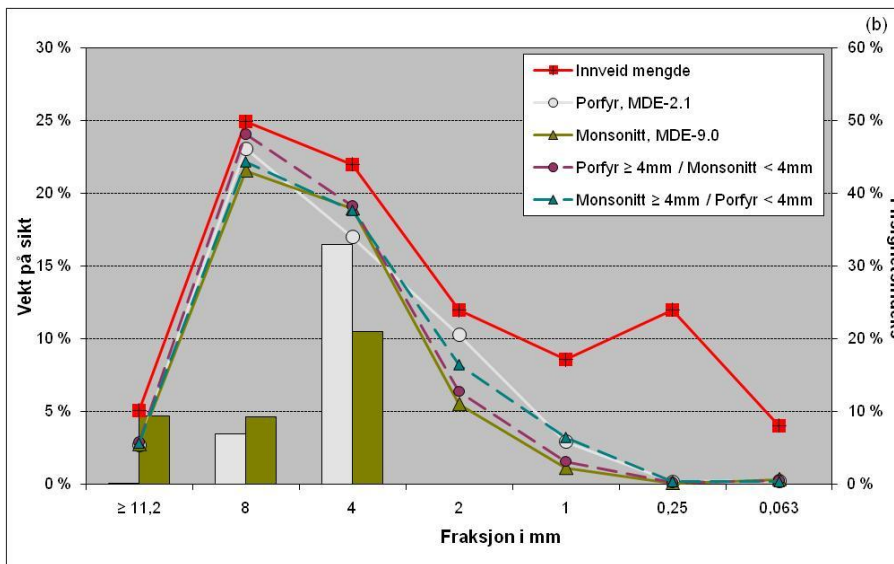
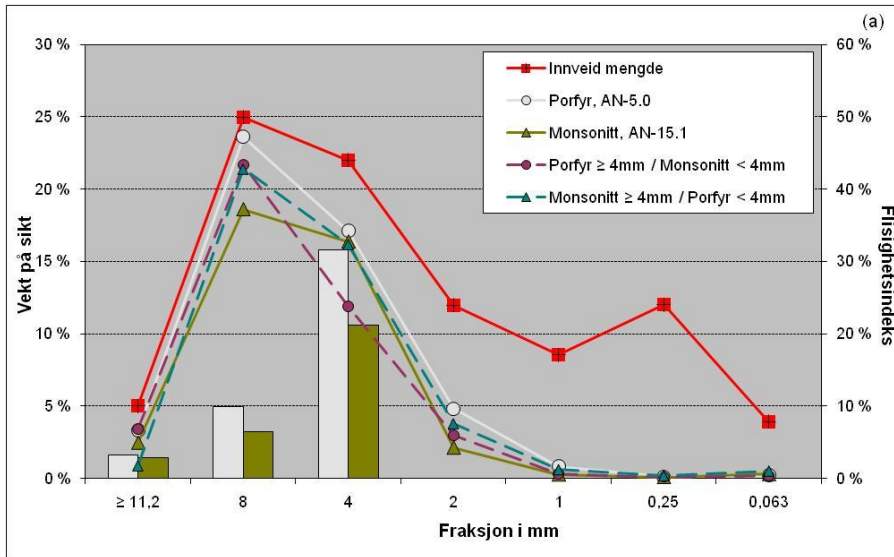
Micro-Deval

- $\geq 11.2\text{mm}$ - Samme slitasje for alle prøvene.
- 8mm - Minst slitasje for mix prøve med porfyr $\geq 4\text{mm}$.
- 4mm - Mest slitasje for prøven med 100% porfyr. Sannsynligvis på grunn av kornformen. Begge mix prøvene sammenfaller med prøven med 100% monsonitt. Årsaken til at mix prøven med monsonitt $\geq 4\text{mm}$ gir mindre slitasje enn prøven med 100% porfyr kan forklares med bedre kornform for monsonitten.
- 2mm - Rangering ift. økende slitasje; prøven med lavest micro-Deval koeffisient (100% porfyr), mix prøven med best kornform for det groveste tilslaget (monsonitt $\geq 4\text{mm}$), mix prøven med dårligst kornform for det groveste tilslaget (porfyr $\geq 4\text{mm}$) og prøven med høyest micro-Deval koeffisient (100% monsonitt).
- $< 2\text{mm}$ - Minimal forskjell.

Los Angeles

- $\geq 11.2\text{mm}$ - Minimal forskjell.
- 8mm - Rangeringen ift. økende knusingsgrad: Prøven med beste motstand mot knusing (100% porfyr), mix prøven med grovt tilslag med best knusingsmotstand (porfyr $\geq 4\text{mm}$), mix prøven med fint tilslag med best motstand mot knusing (porfyr $< 4\text{mm}$) og prøven med dårligst motstand knusing (100% monsonitt).
- 4mm - Her har prøven med grovt tilslag med best slagmotstand (med porfyr $\geq 4\text{mm}$) noe mindre tap enn prøven med 100% porfyr. Årsaken kan være andelen med monsonitt i mix prøven som har bedre kornform.
- 2mm - Stort sett mer materiale enn innveid som tyder på tilførsel av knust materiale fra grovere fraksjoner.
- $< 2\text{mm}$ - Andelen utgjør det som går tapt ved tromling. Rangering som samsvarer bra med materialets Los Angeles-verdi, tilsvarende som for 8mm.

For en del av fraksjonene er det minimal forskjell mellom mix prøvene og prøvene med 100% av ensartet bergart. For enkelte av fraksjonene, spesielt for slitasjetestene, er det antydninger til at kornformen til grovandelen i tilslagssammensetningen (materiale $\geq 4\text{mm}$) har avgjørende betydning framfor slitasjeegenskapene. Dette til tross for stor forskjell i slitasjeegenskapene for de to materialene. Ved Los Angeles testing har motstand mot knusing avgjørende betydning framfor kornformen.



Figur 12. Kornfordeling etter trommeltesting av mix prøver med kulemølle (a), micro-Deval (b) og Los Angeles (c) sammenholdt med kornformen før testing.

5. KONKLUSJON

For de tre undersøkte bergartene vil materiale havne innenfor forskjellige kategorigrupper når det analyseres på ulike testfraksjoner. Dette fordi det produseres mer finstoff for de mekaniske testmetodene når de utføres på finere fraksjoner. Økningen av produsert finstoff kan relateres til endring i kornformen. Ut fra resultatene kan det ikke fastslås at den mekaniske styrkes endres med kornstørrelsen. Endring i kornform kan ha vel så stor betydning. Flisigheten til materialet har større innvirkning for slitasjetesten micro-Deval enn for knusetesten Los Angeles. For den sistnevnte testen kan innvirkningen av størrelsen til stålkulene som benyttes, sett i forhold til kornstørrelsen på prøvematerialet, da spesielt for de fineste testfraksjonene, ha betydning for økt knusningsgrad. For kulemølletesten er det minimal forskjell mellom referansefraksjonen (11.2/16mm) og den alternative testfraksjonen (8/11.2mm).

Resultatene av metodestudier med mekanisk testing av sammensatt materiale i henhold til en Ab11-resept er vanskelige å tolke bl.a. på av grunn innvirkning av ulik kornform for materialet som er benyttet. Også for dette studiet framkommer kornformens betydning spesielt for slitasjetestene.

En bør vurdere å innføre krav til alle delfraksjoner som inngår i tilslagssammensetningen for en asfaltresept. I og med at kornformen har innvirkning på de materialtekniske egenskapene samt at kornformen kan variere mye innenfor sammensetningen, vil dette kunne påvirke total kvaliteten for materialet i en asfaltblanding. I tillegg kan et høyt innhold med flisig materiale i finsorteringene være årsak til dårlig bearbeiding av asfaltmassene.

6. REFERANSER

NS-EN 1097-1: Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval). 1996.

NS-EN 1097-2: Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 2: Metode for bestemmelse av motstand mot knusing. 1999.

NS-EN 1097-9: Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 9: Bestemmelse av motstand mot piggdekkslitasje. Nordisk metode. 1998.

prEN 13043: Tilsalg for bituminøse masser og overflatebehandlinger for veger, flyplasser og andre trafikkareal. 2009-05.

Sævik. K. (2007) Krav til bære- og forsterkningslag – gjeninnføring av krav til abrasive egenskaper i vegfundamentet. NTNU. Unpubl. Master thesis.

Vedlegg 1. Testmetoder utført på referansefraksjoner

Testprosedyre	Kule mølle ¹⁾	micro-Deval ²⁾	Los Angeles ³⁾
Referansefraksjon (mm)	11.2/16mm	10/14mm	10/14mm
Mellomsikt (mm)	14mm	12.5 - 11.2mm	12.5 - 11.2mm
Prøvemengde	1000g (korr. ift. densitet)	500 ± 2g	5000 ± 5g
Fordeling vekt	65 ± 1% < 14mm 35 ± 1% > 14mm	Enten 60-70% < 12.5mm eller 30-40% < 11.2mm	Enten 60-70% < 12.5mm Eller 30-40% < 11.2mm
Kulevekt (samlet)	7000 ± 10g	5000 ± 5g	4690 - 4860g
Hver kule	-	-	400 - 445g
Kulestørrelse (diameter)	15.0 +0.1/-0.5mm	10 ± 0.5 mm	45 - 49mm
Kuleantall	-	-	11
Vannmengde	2.0 ± 0.01 l	2.5 ± 0.05 l	-
Rotasjonshastighet	90 ± 3 omdr./min	100 ± 5 omdr./min	31 - 33 omdr./min
Rotasjonstid	5400 ± 10 omdr. (60 min)	12000 ± 10 omdr. (120 min)	500 omdr. (ca. 15 min)
Antall paralleller	2 (4 ved stort avvik)	2	1
Fraksjon for bestemmelse av testverdi (A _N , M _{DE} , LA)	2mm	1.6mm	1.6mm

A_N - mølleverdi. M_{DE} - micro-Deval koeffisient. LA - Los Angeles verdi.

Vedlegg 2. Testmetoder utført på alternative testfraksjoner

Metode	Testfraksjon (mm)	Mellomsikt (mm)	% gjennom mellomsikt	Kulestørrelse (diameter mm)	Kulevekt (g)	Antall kuler
Kule mølle ¹⁾	8/11.2	10	65 ± 1	11.1 + 0.1/-0.5	7000 ± 10	-
micro-Deval ²⁾	11.2/16	14	60 - 70	10 ± 0.5	5400 ± 5	-
	8/11.2	10	60 - 70		4400 ± 5	-
	6.3/10	8	30 - 40		4000 ± 5	-
	4/8	6.3	60 - 70		2800 ± 5	-
	4/6.3	5	30 - 40		2000 ± 5	-
Los Angeles ³⁾	11.2/16	14	60 - 70	45 - 49	5120 - 5300	12
	8/11.2	10	60 - 70		4250 - 4420	10
	6.3/10	8	30 - 40		3840 - 3980	9
	4/8	6.3	60 - 70		3410 - 3540	8
	4/6.3	5	30 - 40		2930 - 3100	7

1) NS-EN 1097-9: Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 9: Bestemmelse av motstand mot piggedekkslitasje. Nordisk metode. 1998.

2) NS-EN 1097-1: Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 1: Bestemmelse av motstand mot slitasje (micro-Deval). 1996.

3) NS-EN 1097-2: Prøvmingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag - Del 2: Metode for bestemmelse av motstand mot knusing. 1999.

Vedlegg 3. Analyseresultater

Mekaniske resultater

Bergart	ρ_{snitt} 4/16	Mølleverdi		Micro-Deval koeffisient				Los Angeles-verdi			
		(11.2/16)	8/11.2	11.2/16	(10/14)	8/11.2	4/8	11.2/16	(10/14)	8/11.2	4/8
Porfyr	2.62	5.0	5.6	1.7	2.1	2.3	9.9	13.0	12.6	16.1	21.2
Gabbro	3.04	11.6	11.0	9.4	10.4	10.8	9.9	16.4	16.3	17.3	21.9
Monsonitt	2.72	15.1	15.3	8.5	9.0	9.9	19.0	31.6	32.2	35.3	36.7

$\rho_{\text{snitt}4/16}$ - gjennomsnittlig tørr korndensitet for sorteringene 11/16, 8/11 og 4/8mm. Referansefraksjoner er gitt i parentes.

Kornformsresultater

Bergart	Flisighetsindeks				
	11.2/16	10/14	8/11.2	4/8	4/16
Porfyr	2.9	5.1	13.0	36.9	18.2
Gabbro	1.6	1.8	3.0	8.3	4.4
Monsonitt	3.7	5.3	8.9	25.4	13.1

Kornformsresultater (flisighetsindeks) for metodestudiet

Bergart	Kulemølle			Micro-Deval			Los Angeles		
	11.2/16	8/11.2	4/8	11.2/16	8/11.2	4/8	11.2/16	8/11.2	4/8
Porfyr	3.2	9.9	31.6	0	6.9	33.0	3.5	11.6	29.8
Gabbro	0	2.5	6.6	0	3.2	5.3	0.7	2.9	8.0
Monsonitt	2.9	6.5	21.2	9.4	9.3	21.0	3.5	7.8	18.5