

NGU Rapport 2009.048

Kalibrering for densitet – innvirkning for  
mekaniske testmetoder.

Rapport nr.: 2009.048		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Kalibrering for densitet – innvirkning for mekaniske testmetoder.			
Forfatter: Eyolf Erichsen og Arnhild Ulvik		Oppdragsgiver: NGU og Vegdirektoratet	
Fylke:		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 13 Kartbilag:	Pris: 70,-
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 28. september 2009	Prosjektnr.: 2633.17	Ansvarlig: <i>Prof. Richard Neeb</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>Ved kulemøllemetoden benyttes en prøvemengde som er kalibrert i forhold til densiteten. Testen utføres dermed med et prøvevolum som er konstant. Både micro-Deval og Los Angeles utføres på prøvemateriale med konstant vekt. De tre metodene utføres som trommeltester bestående av lukkede sylindere med ulik utforming. Bergarter med høy densitet vil fylle et mindre volum i sylindere ved Los Angeles og micro-Deval testing i forhold til bergarter med lav densitet.</p> <p>Seks ulike bergartsmaterialer med densitet i området 2.61-3.15 g/cm<sup>3</sup> er undersøkt ved testing på de tre mekaniske metodene utført med prøvemateriale med henholdsvis konstant vekt og konstant volum ved at det er blitt kalibrert for materialets densitet.</p> <p>For både micro-Deval og Los Angelesmetoden er det ubetydelig forskjell om testen utføres med konstant vekt eller om det er kalibrert for testmaterialets densitet (konstant volum). Resultatene fra undersøkelsen støtter standardene for disse to testmetodene ved at testmateriale utføres med konstant prøvemengde.</p> <p>For kulemølle viser bergartsprøver med høye (dårlige) mølleverdier merkbar forskjell avhengig av om testen er utført med henholdsvis konstant vekt og volum. For denne metoden har det derfor innvirkning om kalibrering utføres eller ikke, noe som er blitt vektlagt ved utforming av gjeldende standard. Test utført med konstant vekt gir høyere mølleverdi enn ved konstant prøvevolum, uavhengig av nivået på materialets densitet. Det kan derfor ut fra denne studien ikke konkluderes med hva slags innflytelse densiteten har å si ved kalibrering for kulemøllemetoden.</p>			
Emneord: Densitet	Kulemølle	Los Angeles	
Micro-Deval	Konstant vekt	Konstant volum	

## INNHold

1.	INNLEDNING .....	4
2.	MEKANISKE TROMMELTESTER.....	5
3.	PRØVEMATERIALE.....	6
4.	VARIASJON I DENSITET FOR NORSKE PUKKBERGARTER.....	6
5.	RESULTATER/VURDERINGER.....	7
6.	KONKLUSJON .....	10
7.	REFERANSE .....	11

<b>Vedlegg 1.</b>	<b>Testmetoder</b>
" 2.	<b>Analyseresultater</b>

## 1. INNLEDNING

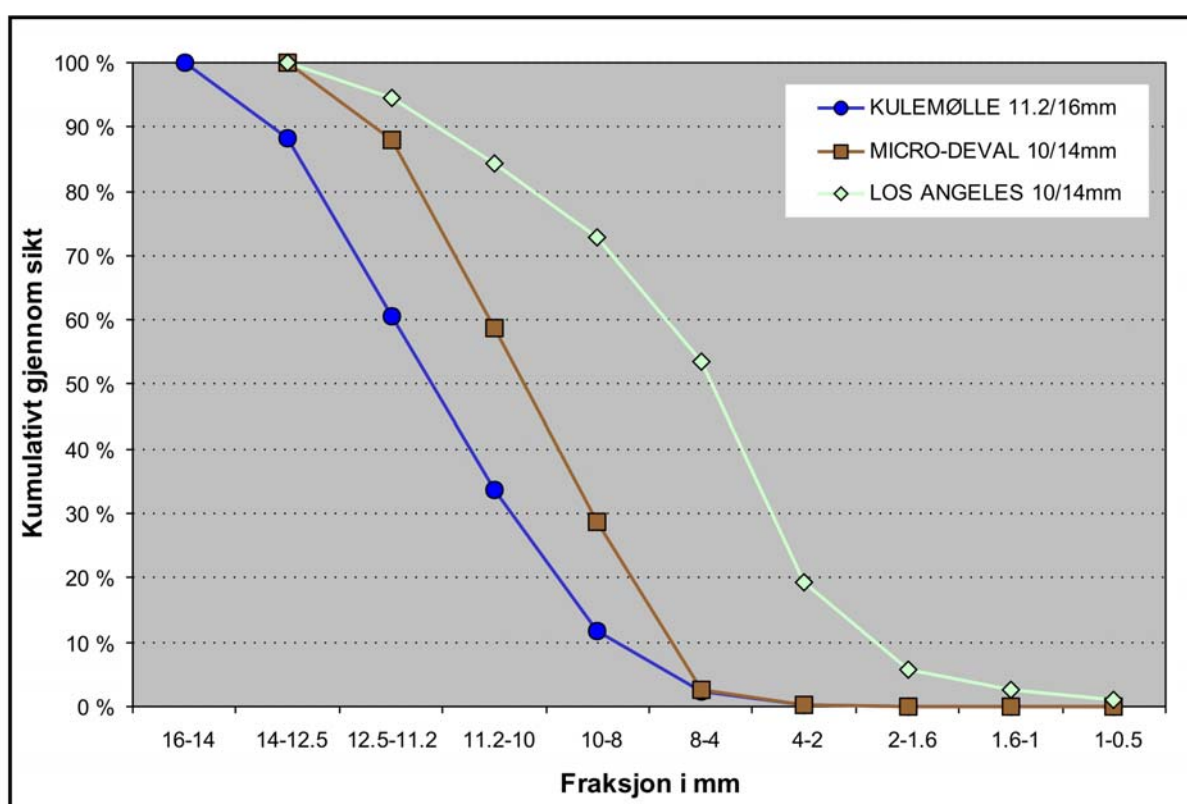
Ved kulemetoden, som er en nordisk testmetode for bedømmelse av piggdekkslitasje, benyttes en prøvemengde som er kalibrert i forhold til densiteten. Testen utføres dermed med et prøvevolum som er konstant. Både Los Angeles (NS-EN 1097-2) og micro-Deval (NS-EN 1097-1) utføres, som kulemetoden (NS-EN 1097-9), som trommeltester bestående av lukkede sylindere med ulik utforming. Ved de to sistnevnte testmetodene benyttes prøvemateriale med konstant vekt. Bergarter med høy densitet vil dermed fylle et mindre volum i sylindren ved Los Angeles og micro-Deval testing i forhold til bergarter med lav densitet. Belastningen av prøvematerialet kan dermed variere, som igjen kan medføre at ”lette bergarter” får et forbedret resultat i forhold til ”tunge”.

Hensikten med undersøkelsen er å måle effekten for de tre trommeltestene med testing av materiale med henholdsvis konstant vekt og konstant volum for bergarter med ulik densitet. Laboratoriearbeidet er utført av Mari Lie Arntsen (NTNU-student) og Henry Vongraven (NGU)

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

## 2. MEKANISKE TROMMELTESTER

Kulemølle-, micro-Deval- og Los Angeles metoden 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 (kulemølle og micro-Deval). Siktekurven av materialet etter tromling gir en forståelse av nedbrytningsprosessen som tilslagsmaterialet utsettes for ved testing (figur 1). Los Angelesmetoden har et mer velgradert forløp i forhold til de mer ensgraderte siktekurvene for slitasjetestene. En velgradert siktekurve tyder på mer knusing/fragmentering av enkeltkorn, mens en ensgradert masse utsettes for kantavskalling som males ned til finstoff ved abrasiv slitasje (Sævik 2007).



Figur 1. Siktekurver etter tromling. Kurvene representerer et gjennomsnitt for 18 bergartsprøver med stor variasjon i de materialtekniske egenskapene.

Ved testing etter standard prosedyre blir prøvevekten for kulemøllemetoden kalibrert i forhold til densiteten etter formelen;

$$m_i = (1000 \cdot \rho_s) / 2.66 \pm 5 \text{ g}$$

der:  $m_i$  - kalibrert prøvevekt  
 $\rho_s$  - tørr korndensitet (iht. prEN 1097-6)

Testen utføres dermed med et prøvolum som er konstant. Dette i motsetning til både micro-Deval og Los Angelesmetoden som utføres med konstant prøvevekt, henholdsvis 500g og 5000g.

### 3. PRØVEMATERIALE

Ut fra tidligere analyser av densitet ble 6 forekomster valgt ut for gjennomføring av forsøket (tabell 1). Densiteten ble registrert for de to aktuelle fraksjonene som testmetodene utføres på (11.2/16mm - kulemølle, 10/14mm - Los Angeles og micro-Deval).

**Tabell 1. Densitet for utvalgte bergarter.**

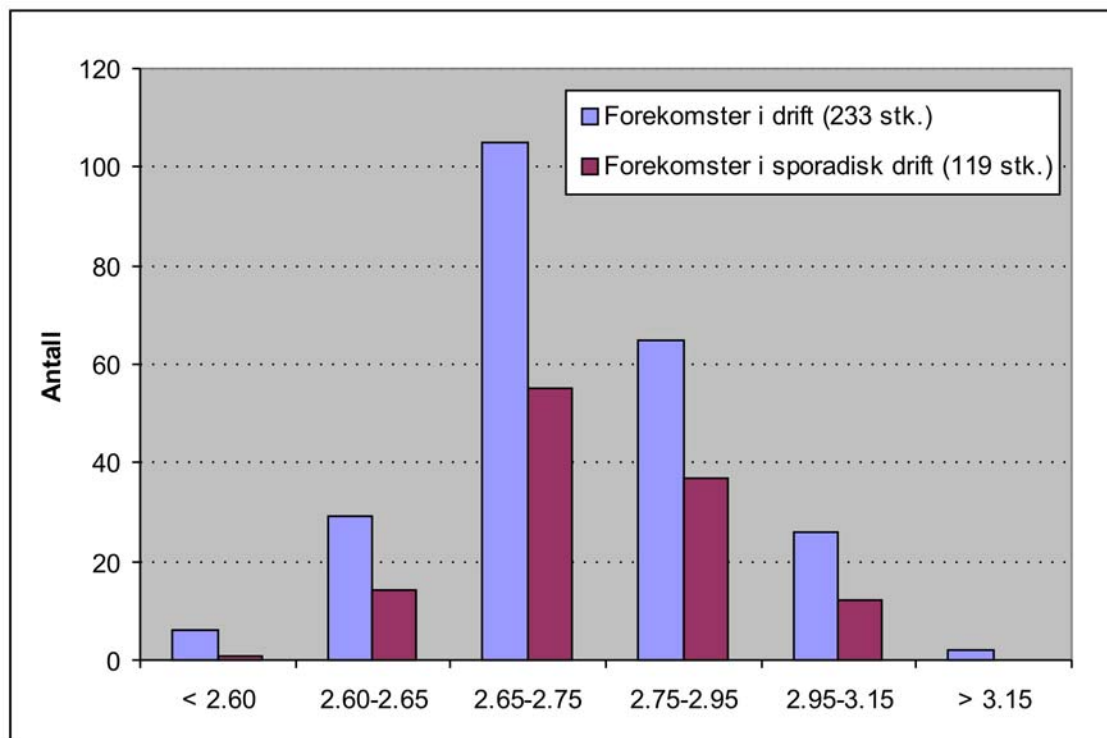
Bergart	$\rho_{11.2/16}$	$\rho_{10/14}$
Granitt-1	2.61	2.61
Porfyr	2.61	2.62
Granitt-2	2.65	2.67
Basalt	2.85	2.88
Gabbro	3.05	3.04
Noritt	3.14	3.15

$\rho_{11.2/16}$  - tørr korndensitet for fraksjon 11.2/16mm,

$\rho_{10/14}$  - tørr korndensitet for fraksjon 10/14mm.

### 4. VARIASJON I DENSITET FOR NORSKE PUKKBERGARTER

Fordelingen av densitet for norske pukkkforekomster med uttaksaktivitet er vist i figur 2. Laveste registrerte densitet er 2.50 g/cm<sup>3</sup> for en granitt og høyeste 3.65 g/cm<sup>3</sup> for en eklogitt. Gjennomsnittet for forekomster i Norge er 2.76 g/cm<sup>3</sup>.



Figur 2. Fordeling av densitet (8/11.2mm) i g/cm<sup>3</sup> for norske pukkkforekomster.

## 5. RESULTATER/VURDERINGER

I forsøket ved beregning av konstant prøvevolum er det blitt benyttet, tilsvarende som for standarden for kulemøllemetoden, en densitet på  $2.66 \text{ g/cm}^3$  ved kalibrering (tabell 2).

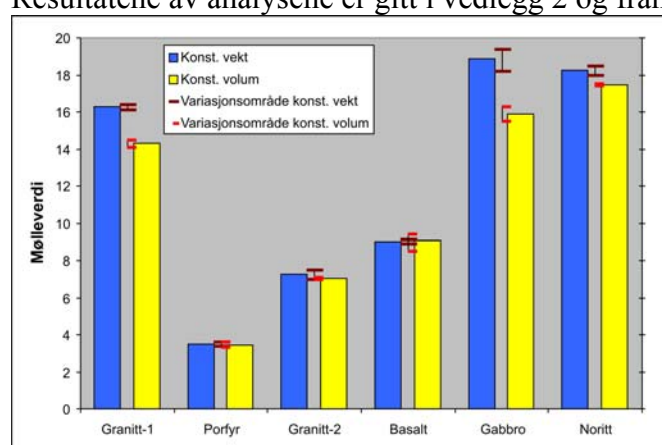
**Tabell 2. Kalibreringsvekter for konstant volum.**

Testmetode	Konstant vekt (g)	Konstant volum (g)
Kulemølle	$1000 \pm 5$	$m_i = (1000 * \rho_{11.2/16}) / 2.66 \pm 5$
Micro-Deval	$500 \pm 2$	$m_i = (500 * \rho_{10/14}) / 2.66 \pm 2$
Los Angeles	$5000 \pm 5$	$m_i = (5000 * \rho_{10/14}) / 2.66 \pm 5$

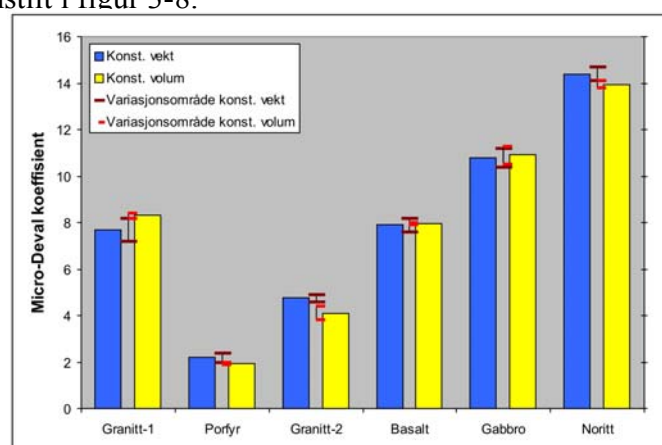
$m_i$  - kalibrert prøvevekt,  $\rho_{11.2/16}$  - tørr korndensitet for fraksjon 11.2/16mm,

$\rho_{10/14}$  - tørr korndensitet for fraksjon 10/14mm.

Resultatene av analysene er gitt i vedlegg 2 og framstilt i figur 3-8.

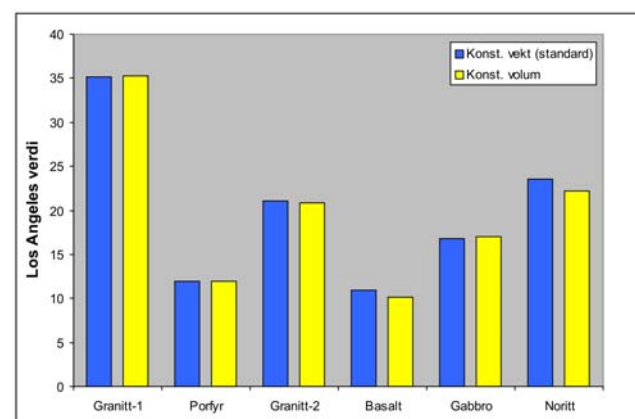


Figur 3.



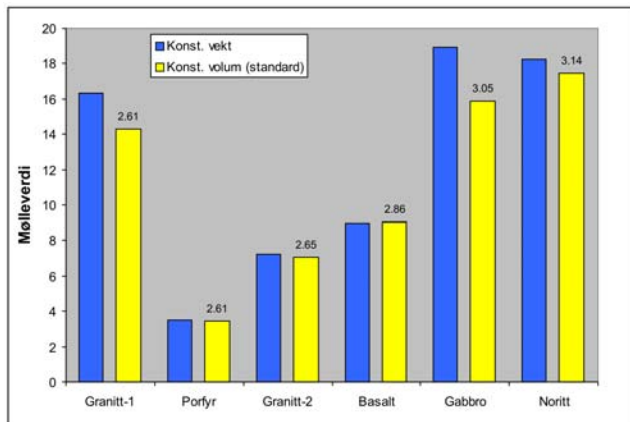
Figur 4.

For kulemølle og micro-Deval er det i henhold til til standarden utført to eller flere paralleller for hver prøve (vedlegg 2). Variasjonsområdet mellom parallellene (figur 3 og 4) for kulemøllemetoden viser overlapp mellom testing utført med konstant vekt og volum for bergartsprøver med lave mølleverdier (porfyr, granitt-2 og basalt), mens det er en distingt forskjell mellom de to testforsøkene for prøvene med høye mølleverdier (granitt-1, gabbro og noritt). For micro-Deval metoden er det en svak forskjell i variasjonsområdet mellom parallellene for prøven med granitt-2, ellers er det overlapp mellom test utført med henholdsvis konstant vekt og volum. For Los Angeles utføres bare en parallell, men avviket mellom testforsøkene er minimal (figur 5).

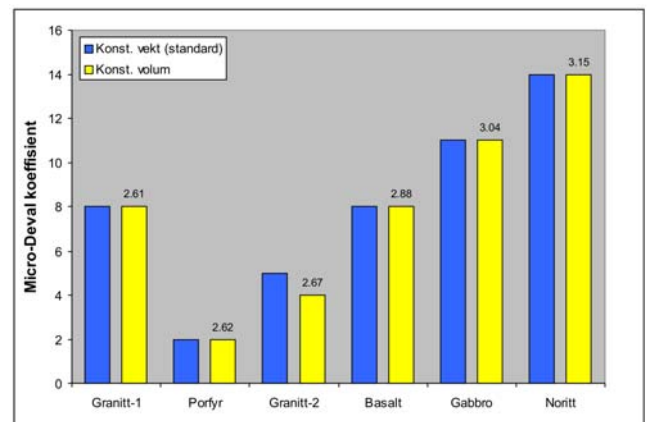


Figur 5.

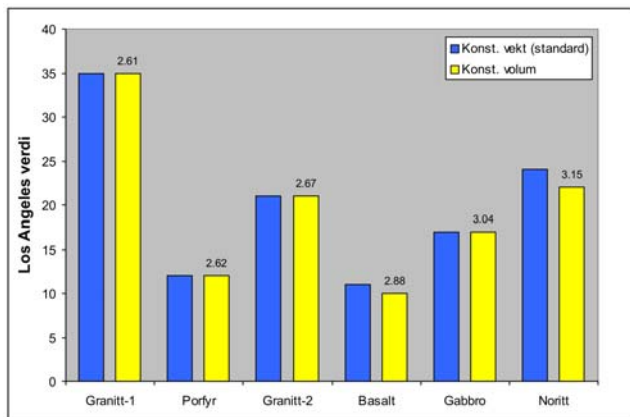
I henhold til standarden skal både micro-Deval-koeffisienten og Los Angelesverdien rapporteres til nærmeste hele tall, mens mølleverdien skal oppgis med en desimal. I figur 6-8 er resultatene vist i henhold til standarden med angitt densitet for bergartsprøvene som er blitt benyttet i forsøket.



Figur 6.



Figur 7.



Figur 8.

Forskjellen i mølleverdi for de tre materialene med dårligst slitasje (figur 6) opptrer ikke entydig i forhold til densiteten ved kalibrering. For de to tyngste bergartene (gabbro og noritt) viser resultatene at materiale med konstant vekt gir høyere mølleverdi enn med konstant volum. Dette rimer bra med forventningene. En "tung" bergart kontra en "lett" vil ved konstant vekt ha færre antall korn i prøvetrommelen enn ved konstant volum. Rent logisk vil dette tilsi større slitasje, noe som også resultatet viser. For den "lette" prøven (granitt-1) gjelder ikke denne logikken. Man skulle forvente at slitasjen ble størst for prøven med konstant volum, der færre korn er til stede. I stedet er det prøven med konstant vekt som gir størst slitasje. Andre årsaker enn densitet kan ha innvirkert på resultatene. Uten å ha noen fullgod forklaring på årsaken kan man ihvertfall konstatere at testing utført med kulemøllemetoden vil ha avvikende resultat for materiale med høy slitasje avhengig av om testen utføres med konstant prøvemengde eller med en prøvemengde som er kalibrert i forhold til densiteten.

Micro-Devalresultatene viser ingen eller liten forskjell mellom bergartsprøvene som er testet med konstant vekt og volum (figur 7).



For prøveserien med Los Angeles er den største forskjellen på kun to tallenheter gjeldende for den tyngste prøven bestående av noritt (figur 8). Dette til tross for en økt prøvemengde på hele 0.9kg ved testing ved konstant volum i forhold til konstant vekt.

For både micro-Deval og Los Angeles kan en konstatere at kalibrering for å oppnå konstant volum har minimal betydning i forhold til standard prosedyre med testing med konstant vekt.

## 6. KONKLUSJON

For det undersøkte bergartsmateriale (densitet 2.61 - 3.15 g/cm<sup>3</sup>) viser resultatene at det ikke er nødvendig å kalibrere for densitet for micro-Deval og Los Angeles testen. Om tilsvarende resultat vil være gyldig for lett tilslag (densitet < 2.00) er uvisst. Svenske undersøkelser tilsier at kalibrering for denne type "ikke naturlige tilslag" vil være nødvendig.

For kulemllemetoden viser steinmateriale med høy mølleverdi (> 14) - uavhengig av materialets densitet - avvik ved at testen utført med konstant prøvemengde gir høyere mølleverdi i forhold til test utført med konstant prøvevolum. For denne metoden har det derfor innvirkning om kalibrering utføres eller ikke, noe som er blitt vektlagt ved utforming av gjeldende standard. Ut fra denne studien kan det ikke konkluderes med hva slags innflytelse densiteten har å si ved kalibrering for kulemllemetoden.

## 7. 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.

prEN 1097-6: Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 6: Bestemmelse av korndensitet og vannabsorpsjon, 1997.

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

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

## Vedlegg 1. Testmetoder

Testprosedyre	Møllemetoden <sup>1)</sup>	micro-Deval <sup>2)</sup>	Los Angeles <sup>3)</sup>
Standard testfraksjon	11,2/16 mm	10/14 mm	10/14 mm
Mellomsikt	14 mm	12.5 – 11.2 mm	12.5 – 11.2 mm
Prøvemengde	1000 g (korr. ift. densitet)	500 ± 2 g	5000 ± 5 g
Fordeling vekt	65 ± 1% < 14 mm 35 ± 1% > 14 mm	Enten 60-70% < 12.5 mm eller 30-40% < 11.2 mm	Enten 60-70% < 12.5 mm Eller 30-40% < 11.2 mm
Kulevekt	7000 ± 10 g	5000 ± 5 g	4690-4860 g
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 <sub>N</sub> , M <sub>DE</sub> , LA)	2 mm	1.6 mm	1.6 mm

*A<sub>N</sub> - mølleverdi, M<sub>DE</sub> – micro-Deval koeffisient, LA – Los Angeles verdi.*

Apparatur	Møllemetoden <sup>1)</sup>	micro-Deval <sup>2)</sup>	Los Angeles <sup>3)</sup>
Trommeldiameter, innside	206.5 ± 2 mm	200 ± 1 mm	711 ± 5 mm
Trommellengde, innside	335 ± 1 mm	154 ± 1 mm	508 ± 5 mm
Tykkelse på gods	Minimum 6 mm	Minimum 3 mm	12 +1/-0,5 mm
Ribber i trommelen	3 stk. Krav til bytte ift vekt	Ingen	1 hylle/løfter
Kuler, diameter	15 + 0.1/ - 0.5 mm	10 ± 0.5 mm	45-49mm/400-445g

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

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

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

## Vedlegg 2. Analyseresultater

Bergart	Kulemølle konstant vekt						Kulemølle konstant volum					
	Parall. 1	Parall. 2	Parall. 3	Parall. 4	Snitt	Flis. indeks	Parall. 1	Parall. 2	Parall. 3	Parall. 4	Snitt	Flis. indeks
Granitt-1	16.1	16.4	-	-	16.3	11.1	14.1	14.5	-	-	14.3	11.5
Porfyr	3.6	3.4	-	-	3.5	7.0	3.6	3.3	-	-	3.5	8.2
Granitt-2	7.5	7.0	-	-	7.3	0.3	7.1	7.0	-	-	7.1	0.3
Basalt	8.9	9.1	-	-	9.0	22.1	9.2	8.5	9.4	9.1	9.1	19.7
Gabbro	18.2	-	19.4	19.1	18.9	16.6	15.5	16.3	-	-	15.9	16.0
Noritt	18.5	18.0	-	-	18.3	17.4	17.5	17.4	-	-	17.5	20.8
Bergart	Innveid mengde - mi						Innveid mengde - mi					
	Parall. 1	Parall. 2	Parall. 3	Parall. 4	Snitt	Std.avvik	Parall. 1	Parall. 2	Parall. 3	Parall. 4	Snitt	Std.avvik
Granitt-1	1000,0	1000,8	-	-	1000,4	0,57	981,2	982,4	-	-	981,8	0,85
Porfyr	1000,6	1000,8	-	-	1000,7	0,14	980,8	981,2	-	-	981,0	0,28
Granitt-2	1000,5	1000,7	-	-	1000,6	0,14	996,6	996,7	-	-	996,7	0,07
Basalt	1000,4	1000,0	-	-	1000,2	0,28	1075,2	1075,3	1076,3	1075,3	1075,5	0,52
Gabbro	1000,5	-	1000,3	1000,2	1000,3	0,15	1146,5	1146,6	-	-	1146,6	0,07
Noritt	1000,3	1000,6	-	-	1000,5	0,21	1181,1	1180,8	-	-	1181,0	0,21

Bergart	Mikro-Deval konstant vekt				Mikro-Deval konstant volum				LA konstant vekt		LA konstant volum	
	Parall. 1	Parall. 2	Snitt	Flis. indeks	Parall. 1	Parall. 2	Snitt	Flis. indeks	LA	Flis. indeks	LA	Flis. indeks
Granitt-1	8.2	7.2	7.7	8.4	8.4	8.2	8.3	8.5	35.1	9.0	35.3	9.2
Porfyr	2.4	2.0	2.2	13.9	2.0	1.9	2.0	14.6	12.0	14.4	12.0	13.7
Granitt-2	4.9	4.6	4.8	1.2	3.8	4.4	4.1	0.0	21.1	1.0	20.8	1.5
Basalt	8.2	7.6	7.9	17.1	8.0	7.9	8.0	20.5	10.9	20.8	10.1	18.7
Gabbro	10.4	11.2	10.8	19.7	11.3	10.5	10.9	23.5	16.8	21.0	17.0	21.1
Noritt	14.7	14.1	14.4	15.6	13.8	14.1	14.0	14.3	23.5	19.5	22.2	18.9
Bergart	Innveid mengde - mi				Innveid mengde - mi				Innveid mengde - mi		Innveid mengde - mi	
	Parall. 1	Parall. 2	Snitt	Std.avvik	Parall. 1	Parall. 2	Snitt	Std.avvik	LA	Flis. indeks	LA	Flis. indeks
Granitt-1	500,3	500,8	500,6	0,35	490,6	490,9	490,8	0,21	5001,3	9,0	4906,6	9,2
Porfyr	500,2	500,1	500,2	0,07	492,5	492,5	492,5	0,00	5000,0	14,4	4924,8	13,7
Granitt-2	500,3	500,1	500,2	0,14	501,7	501,9	501,8	0,14	5001,3	1,0	5019,8	1,5
Basalt	500,5	499,9	500,2	0,42	541,6	541,1	541,4	0,35	5000,5	20,8	5412,9	18,7
Gabbro	500,0	500,8	500,4	0,57	571,9	571,6	571,8	0,21	4999,9	21,0	5715,3	21,1
Noritt	500,3	500,4	500,4	0,07	592,5	592,8	592,7	0,21	5000,8	19,5	5922,1	18,9