

Rapport nr.: 2005.081		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Delprosjekt 1 og 2 – Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker (SIV).			
Forfatter: Arnhild Ulvik og Eyolf Erichsen		Oppdragsgiver: NGU, Steinmaterialkomitéen	
Fylke:		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 19 Kartbilag:	Pris: 160,-
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 20.01.2006	Prosjektnr.: 2446.00	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>Under prosjektet "Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker" (SIV) i regi av Steinmaterialkomitéen har NGU hatt ansvaret for gjennomføring av delprosjektene P1 og P2.</p> <p>Delprosjekt P1 har gått ut på å sammenstille data fra NGUs Pukkdatabase, mens delprosjekt P2 har vært et rent laboratoriestudium av kulemøllemetoden.</p> <p>Kirsti Stensland utførte disse delprosjektene som bunnut i en hovedoppgave ved NTNU i 2003. I tillegg er nye oppdaterte data fra NGUs Pukkdatabase blitt bearbejdet statistisk for å kunne bedømme de nye kravene, i første rekke til mølleverdien, i forhold til de gamle kravene til slitasjemotstanden (Sa-verdien).</p> <p>I delprosjekt 1 er mølleverdien sammenstilt med både geologiske og mekaniske parametere. Det er trender å spore, men ikke entydighet. Innføring av de nye kravene til mølleverdien for vegdekker vil i henhold til NGUs analyser medføre til en slakking i kravene sett i forhold til de tidligere kravene til Sa-verdien.</p> <p>I delprosjekt 2 er det undersøkt om fortromling vil kunne ha noen effekt på mølleverdien. I alt er det benyttet 12 ulike bergartsmaterialer. Det er også gjort en studie av rundingsgraden ved billedanalyse på de samme bergartene.</p> <p>Utførelse av kulemøllemetoden er standardisert gjennom et europeisk normaliseringsprogram (CEN). Resultatene viser at fortromling av steinmateriale før gjennomføring av standard testprosedyre ikke gir noen vinnende effekt på mølleverdien. Materialet oppnår rounding etter kort tid i trommelen – og som nærmest er uforandret til ordinær tromletid på 60 minutter er utført. Det anbefales derfor ikke å innføre fortromling ved revisjon av testprosedyren.</p> <p>Resultatene har blitt presentert under "Stein i vei 2004" og gjengis i denne rapporten.</p>			
Emneord:	Kvalitet	Los Angeles	
	Pukkdatabasen	Kulemølle	

INNHold

1.	INNLEDNING	4
2.	SAMMENSTILLING AV EKSISTERENDE DATA	5
2.1	Bakgrunn	5
2.1.1	Mekaniske parametere.....	6
2.1.2	Geologiske parametere.....	10
3.	LABORATORIESTUDIUM AV KULEMØLLEMETODEN.....	12
3.1	Bakgrunn	12
3.2	Hovedoppgave ved NTNU.....	12
3.3	Resultater.....	13
3.3.1	Fortromling.....	13
3.3.2	Rundingsgrad	14
3.3.3	Rundingsgradsindeks	15
3.4	Observasjoner.....	17
4.	KONKLUSJON	18
5.	REFERANSER	19

1. INNLEDNING

Kulemålla ble innført til Norge i 1991. Inntil juli 2004 forelå det ingen krav til metoden, kun veiledende verdier.

Metoden benyttes til å vurdere et steinmateriales egnethet som tilslag i asfaltdekker. Det er materialets evne til å motstå piggdekkslitasje som testes. Metoden utføres i de nordiske landene og ble godkjent som europeisk standardmetode i regi av CEN i 2004.

Det er avdekket en del svakheter ved metoden, og det er blitt stilt spørsmål om materialet bør forbehandles (fortromles) før det testes etter standard testprosedyre.

Det foreligger svært liten dokumentasjon på sammenheng mellom reell dekkslitasje og laboratoriemålt styrke i Norge.

SIV-prosjektet tar fatt i noen av disse problemstillingene.

2. SAMMENSTILLING AV EKSISTERENDE DATA

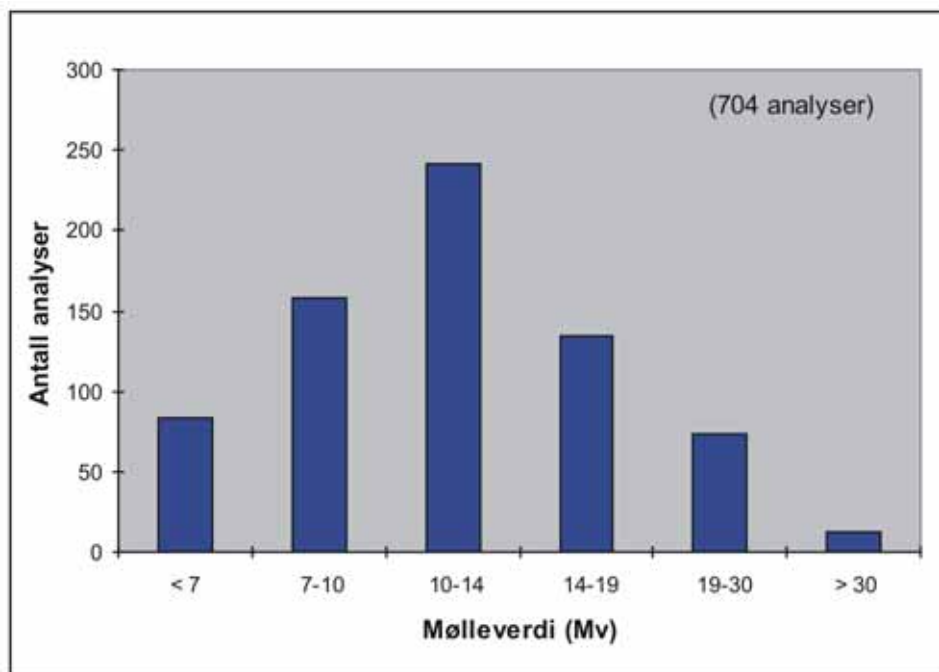
2.1 Bakgrunn

NGU har en pukkdatabse med ca. 1000 registrerte forekomster. Mange av disse har en eller annen form for analyse knyttet til seg. Både "gode" og "dårlige" bergarter er representert i pukkdatabasen.

De fleste innsamlede prøvene er blitt knust ned i eget laboratorium før testing og behandlet likt med to knusestrinn. Lik forbehandling gir et godt grunnlag for sammenstilling av analyseresultater.

For at man skal kunne bruke bergarter som byggeråstoff må de være mekanisk sterke og motstandsdyktige mot slitasje og polering. Laboratorimetodene Los Angeles, fallprøven (sprøhet og flisighet), kulemølle, abrasjon og PSV tester disse egenskapene. Geologiske faktorer som kan virke inn på bergartens egenskaper er mineralinnhold, kornstørrelse, tekstur (hvordan mineralene er arrangert som et mønster i en bergart) og bindingen mellom de ulike mineralene.

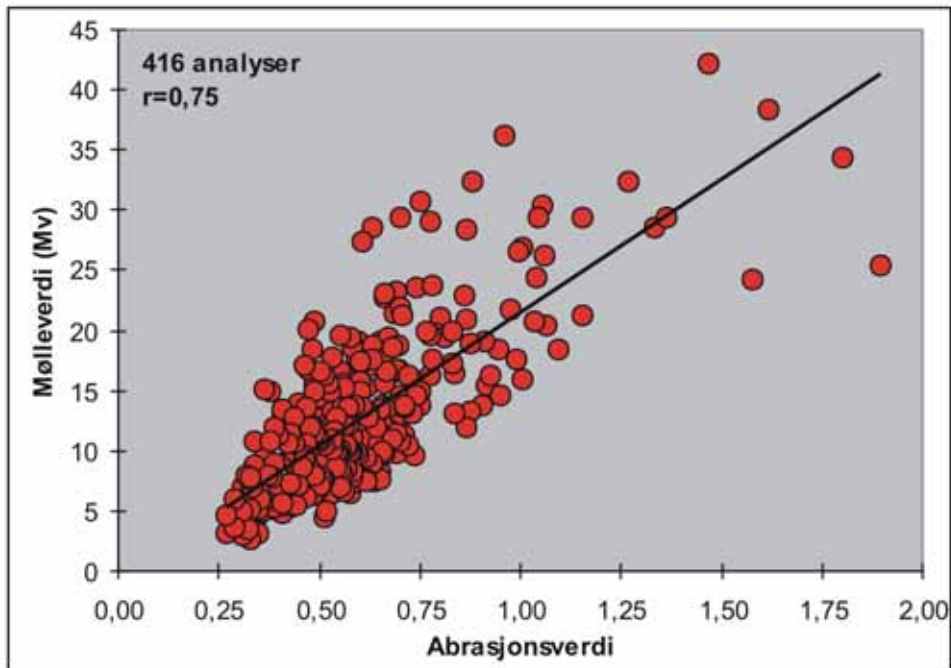
Dette prosjektet har fokus på laboratorimetoden kulemølle. Figur 1 viser fordelingen av ca. 700 analyseresultater fra Pukkdatabasen. Det er delt inn etter standardisert klassifisering. Hovedtyngden av analysene ligger i intervallet mølleverdi 10-14, men det er også mange i intervallet 7-10.



Figur 1. Fordeling av mølleverdier analysert ved NGU.

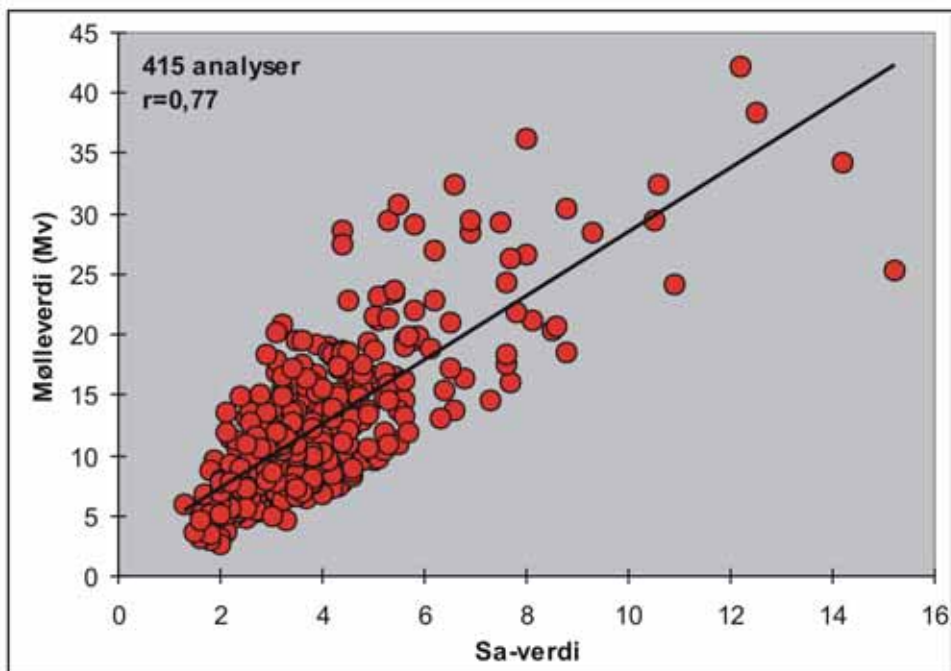
Mølleverdien (Mv) har blitt sammenstilt mot både mekaniske og geologiske parametere. Resultater fra et utvalg av disse sammenstillingene følger på de neste sidene.

2.1.1 Mekaniske parametere



Figur 2. Mølleverdi og abrasjonsverdi.

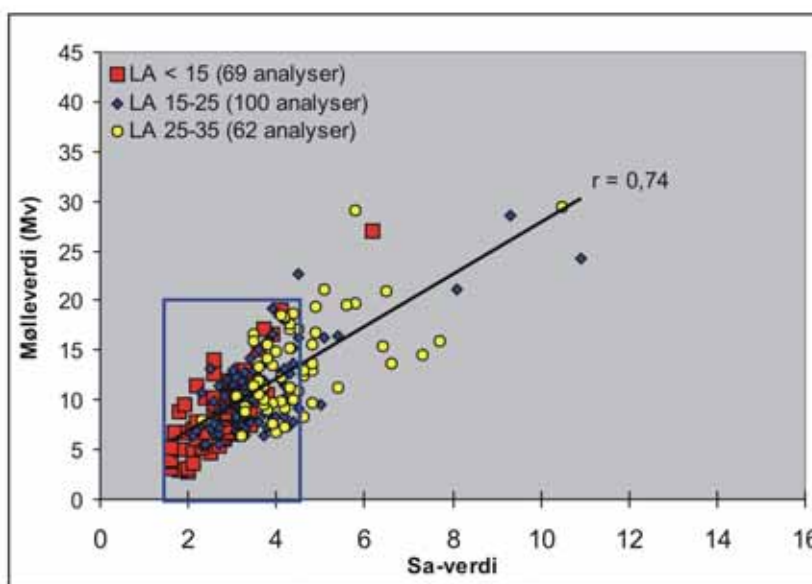
Det har vært et mål at kulemølla skulle erstatte abrasjonsmetoden fullt ut og i så måte gi uttrykk for abrasive egenskaper. Det er ikke helt samsvar mellom de to metodene (figur 2). Av figuren framgår en spredningen mellom de to metodene øker med økende tallverdi. Dette tilsier at de to metodene ikke fullt ut gir uttrykk for den/de samme materialtekniske egenskap/ene. Det antas at abrasjonstesten er en mer rendyrket abrasiv test.



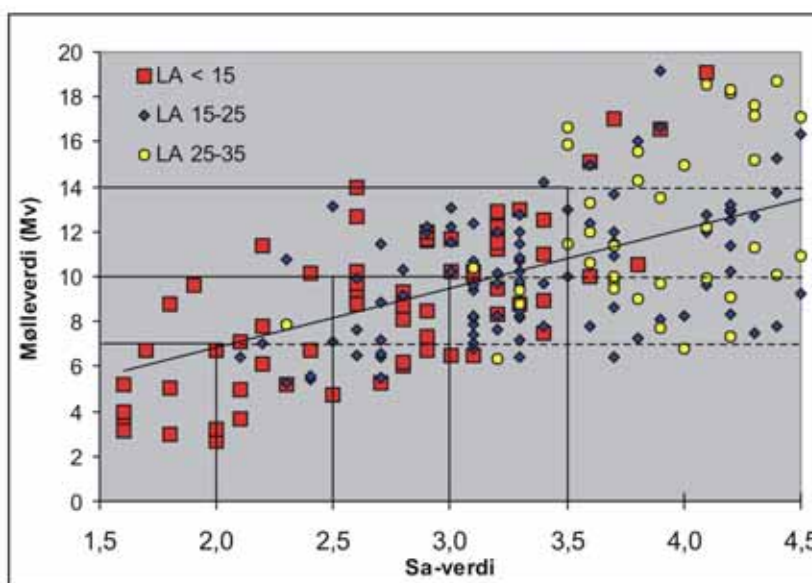
Figur 3. Mølleverdi og slitastjmotstand (Sa-verdi).

Forholdet mellom mølleverdien og slitasjemotstanden (Sa-verdien) viser (figur 3) omtrent samme fordeling som mellom mølleverdien og abrasjonsverdien (figur 2). Dette viser bare at abrasjonsverdien har størst innflytelse på slitasjemotstanden (Sa-verdien = abrasjonsverdien * $\sqrt{\text{sprøhetstallet}}$). Da kulemølla ble innført til Norge (1990-1991) var korrelasjonen mellom Sa-verdien og mølleverdien svært god. Få analyser lå imidlertid til grunn.

I forhold til bedømmelse av et materials egnethet for bruk til vegdekke stilles det materialtekniske krav, ikke bare til mølleverdien, men også til Los Angeles-verdien (LA-verdi). I figur 4 sammenliknet med figur 3 kan man se effekten ved å fjerne analyser med gradvis økende LA-verdi. En betydelig del av prøver med både høy mølleverdi (> 14) og Sa-verdi (> 4) blir dermed fjernet. Analyseresultater innenfor den blå rammen i figur 4 er vist i figur 5. Det er innenfor deler av dette spekteret de strengeste kravene til vegdekke stilles og i så måte er mest kritisk ved overgang til en ny metode med nye krav.



Figur 4. Mølleverdier og slitasjemotstand (Sa-verdi) for prøver med ulike Los Angeles-verdi.




Figur 5. Detaljutsnitt fra figur 4 innenfor blå ramme.

I tabell 1 er analyseresultatene i figur 4 og 5 fordelt etter antall i forhold til kravene til henholdsvis nye og gamle testmetoder.

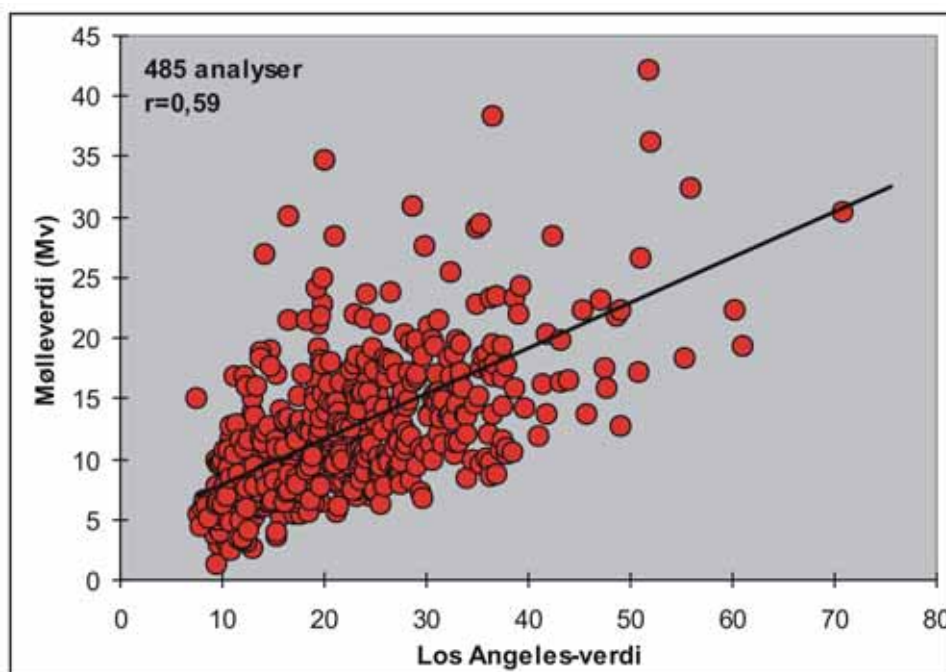
Tabell 1.

ÅDT	Mølle- verdi	LA- verdi	Sa-verdi - Antall analyser					Sum
			≤ 2,0	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-3,5	> 3,5	
> 15000	≤ 7	≤ 15	10	6	5	1	-	22
5000-15000	≤ 10	≤ 25	2	8	17	26	14	67
3000-5000	≤ 10	≤ 35	-	1	-	3	12	16
1500-3000	≤ 14	≤ 35	-	4	16	22	31	73

 - Analyser som dekker kravene for både nye og gamle testmetoder. Angående gamle krav, så er ikke krav til stein-klasse og abrasjonsverdi vektlagt. Sprøhetstallet som inngår i steinklasse og abrasjonsverdien inngår i Sa-verdien.

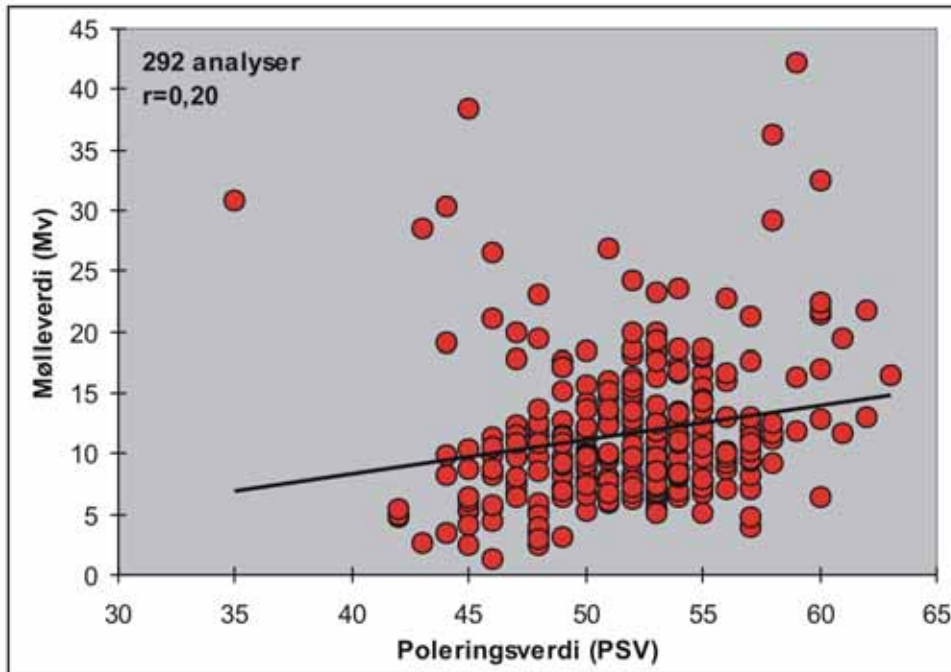
Hvis man tar utgangspunkt i de strengeste kravene for vegdekker (ÅDT > 15000) gitt ved LA-verdi ≤ 15 og Mv ≤ 7 så vil 45% av prøvene også innfri de gamle kravene til slitasjemotstanden gitt ved Sa-verdien ≤ 2,0. Dvs. 55% av prøvene som tilfredsstiller de nye kravene ville ikke ha bli godkjent med de gamle kravspesifikasjonene. For de nest strengeste kravene (ÅDT 5000-15000) så ville hele 85% av prøvene som tilfredsstiller de nye kravene (LA-verdi ≤ 25 og Mv ≤ 10) ikke blitt ansett som egnet ved bedømmelse av Sa-verdien. Tilsvarende prosentats for ÅDT 3000-5000 er 94%, men her er prøveantallet lavt, og 42% for ÅDT 1500-3000. Dette viser at de nye kravene, i første rekke til mølleverdien for vegdekker, har medføre til en slakking i kravene sett i forhold til de tidligere kravene til Sa-verdien.

Forutsatt at alle prøvene skal tilfredsstille de tidligere kravene til slitasjemotstanden vil, i henhold til figur 5, en mølleverdi på 2-3 tilsvare en Sa-verdi på 2.0, og en mølleverdien på 5 tilsa en Sa-verdi på 2.5, en mølleverdi på 6 samsvare med en Sa-verdi på 3.0 og en mølleverdi på 6-7 svare til en Sa-verdi på 3.5.



Figur 6. Mølleverdi og Los Angeles-verdi.

Figur 6 viser en viss korrelasjon mellom mølle- og Los Angeles-verdi. Dette kan indikere at de to testmetodene gir uttrykk for en del av de samme materialtekniske egenskapene. Det antas at både mølle- og Los Angeles testen i mer eller mindre grad har en varierende påvirkning av både slag og slitasje.



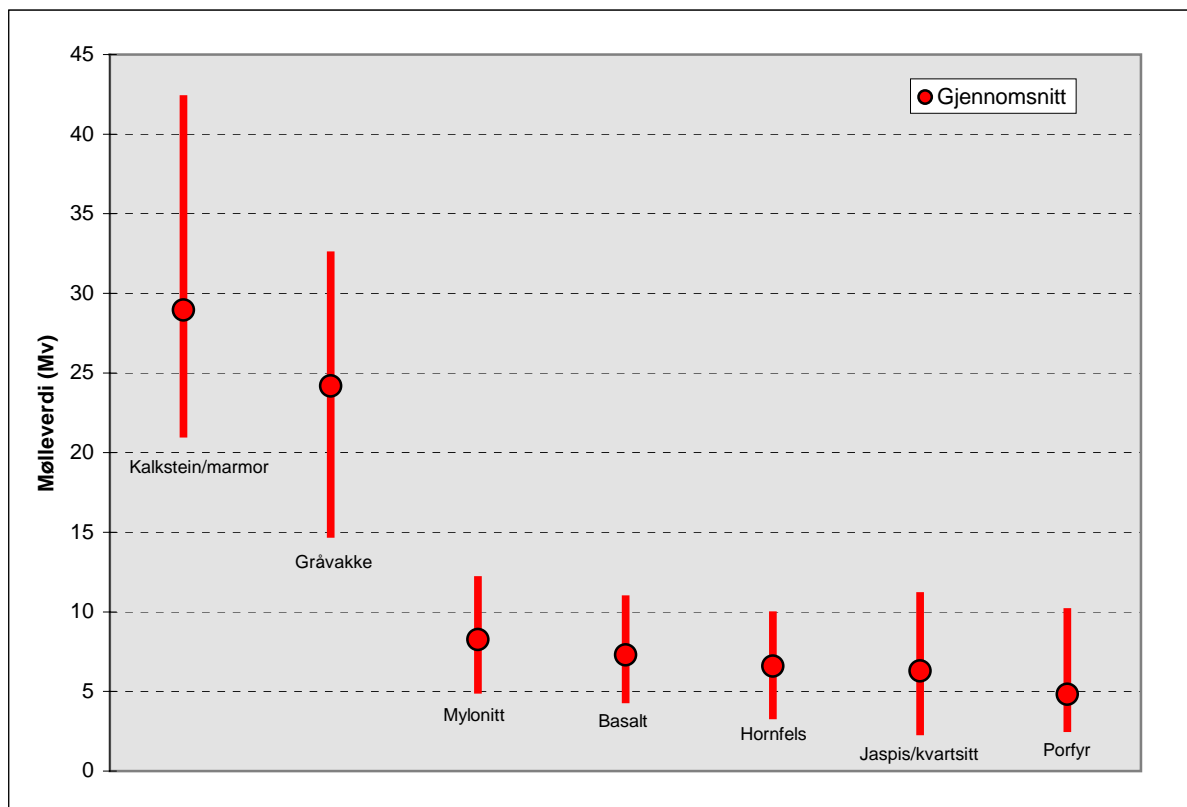
Figur 7. Mølleverdi og poleringsverdi.

Figur 7 viser at kulemølle og PSV korrelerer svært dårlig. De to testmetodene antas dermed å reflektere ulike materialtekniske egenskaper.

2.1.2 Geologiske parametere

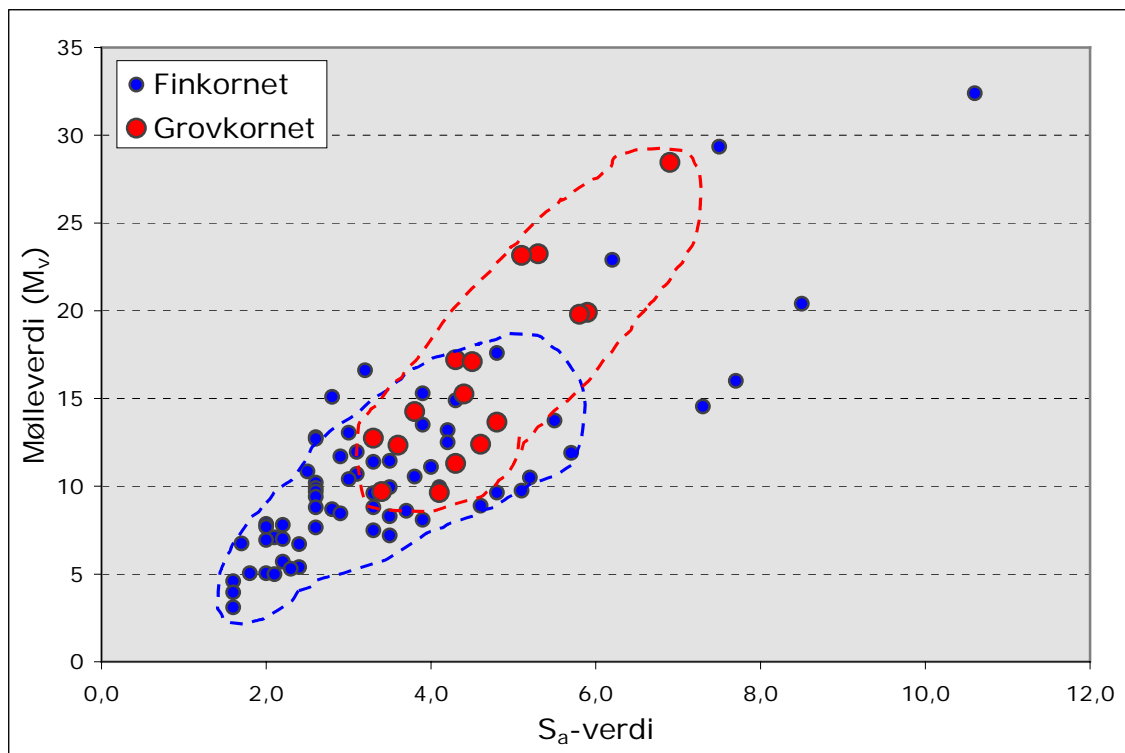
Basert på erfaring kan man til en viss grad forutsi kvaliteten gitt ved mølleverdi ut fra bergartsnavn. Figur 8 viser at bergartene gråvakke og kalkstein/marmor gir høye mølleverdier, mens bergarter som generelt gir lave mølleverdier er mylonitt, basalt, hornfels, jaspis/kvartsitt og porfyr.

Det finnes imidlertid flere bergarter som har et stort spenn på analyseverdier. Dette gjelder blant annet gabbro, gneis og granitt.

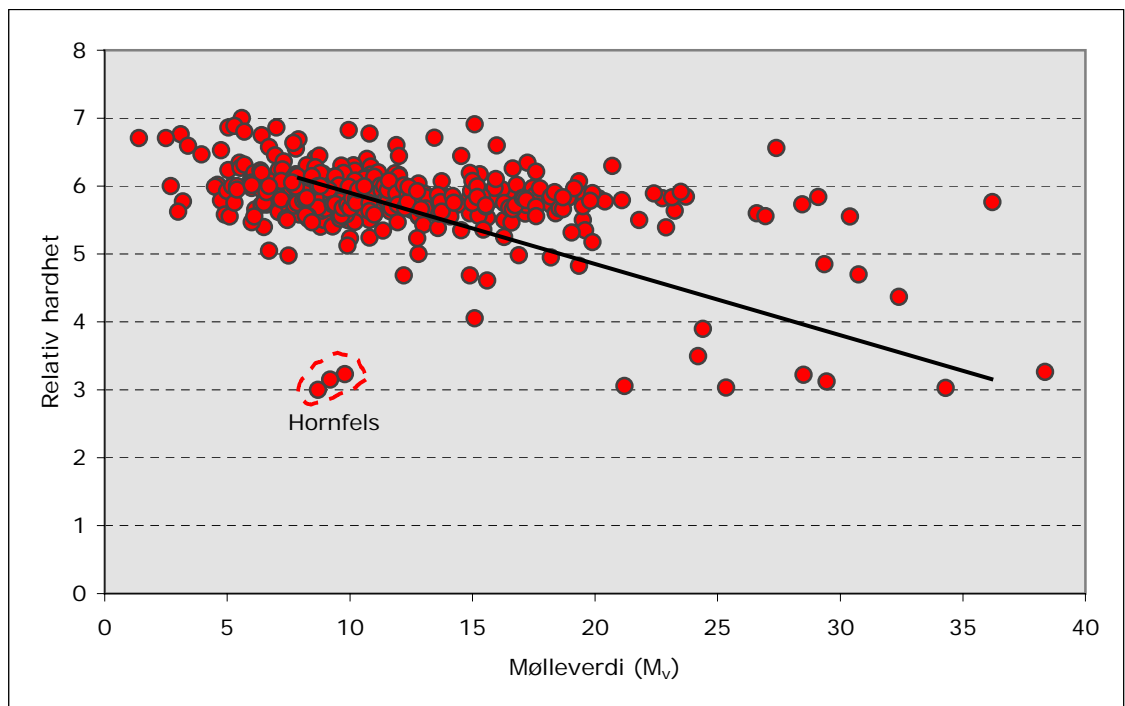


Figur 8. Mølleverdi sortert etter utvalgte bergartsnavn.

Figur 9 viser at finkornede bergarter generelt gir bedre (lavere) mølleverdi enn grovkornede. Kalksteiner avviker fra dette.



Figur 9. Mølleverdi og kornstørrelse mot S_a -verdi.



Figur 10. Mølleverdi og relativ hardhet.

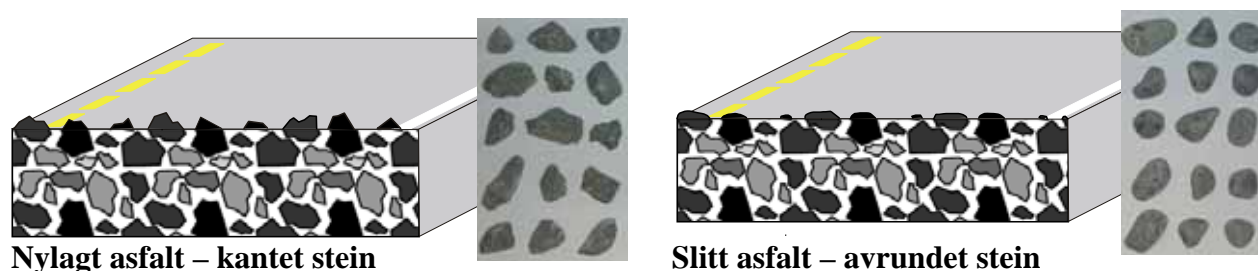
Ved å benytte Mohs hardhetsskala for mineraler, samt tynnslipanalyse fra mikroskopering, kan man få en indikasjon på hvor hard en bergart er ut fra mineralsammensetningen. Kvarts har hardhet 7, feltspat 6, karbonat 3-4, glimmer 3, talk 2 og gips 1.

Som forventet gir bergarter med lav relativ hardhet dårligere mølleverdi enn bergarter med høy relativ hardhet, figur 10. Hornfelsgruppen skiller seg ut fra dette bildet. Dette er en "stek" bergart som har blitt omdannet i kontaktsoner i tilknytning til vulkansk aktivitet.

3. LABORORIESTUDIUM AV KULEMØLLEMETODEN

3.1 Bakgrunn

Vegdekket har størst slitasje første leveår. Deretter begynner steimaterialet å ”gjøre jobben” sin. Per Dugstad lanserte i sin tid idéen om at fortromling av steinmaterialer før ordinær test i kulemølla vil fjerne effekten av ”førstegangsslitasjen” – og rettferdiggjøre alle materialtyper slik testmetoden blir mer i samsvar med det som virkelig skjer på veien. Figur 11 viser prinsippskisse over nylagt asfalt med kantet steinmateriale og asfalt som har avrundete kanter.



Figur 11. Prinsippskisse for nylagt og slitt asfalt.

Vil fortromling av steinmaterialer gi denne effekten?

Under tromlingen i kulemølla utsettes materialet for en slitasje, enten gjennom finmaling av stålkulene eller maling/knusing steinkorn mot steinkorn. ”Sterke” bergarter slites minst, og ”svake” mest. ”Sterke” bergarter har lik hardhet som (eller bedre enn) stål, og utsettes derfor ikke for samme slitasje som myke bergarter

3.2 Hovedoppgave ved NTNU

Effekten av fortromling av steinmaterialer ble utført som en hovedoppgave ved NTNU i 2003 ved Kirsti Stensland. Hun utførte laboratoriearbeidet med kulemølla på 12 ulike bergarter ved NGU.

Alle steinmaterialer som ble benyttet i oppgaven ble knust ned i NGUs laboratorium for å få lik forbehandling.

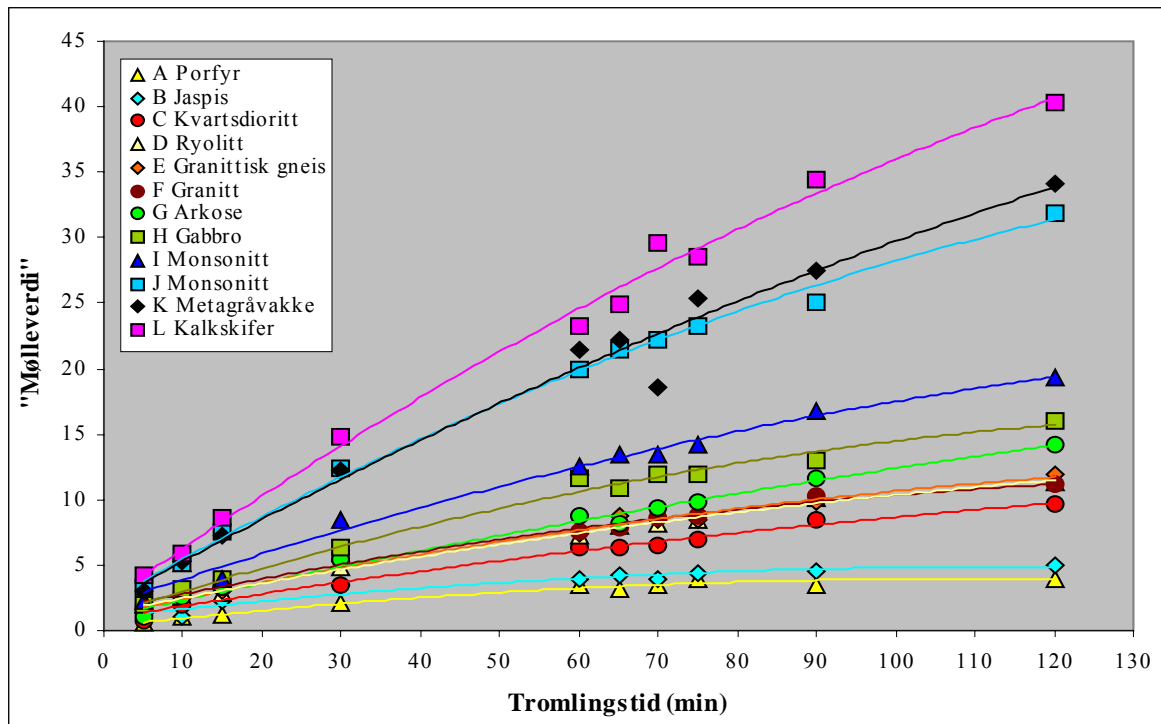
De ulike materialene ble fortromlet i ulike intervall, for så å bli tromlet i ytterligere 60 minutter (ordinær kulemølletest). Intervallene med fortromling som ble benyttet var 5, 10, 15, 30 og 60 minutter.

I tillegg er rundingsgraden av materialet blitt studert ved hjelp av manuell billedanalyse. Totalt er 40 bergartskorn fra hver tromleperiode fotografert og vurdert subjektivt. En selvkomponert *rundingsgradsindeks* ble innført.

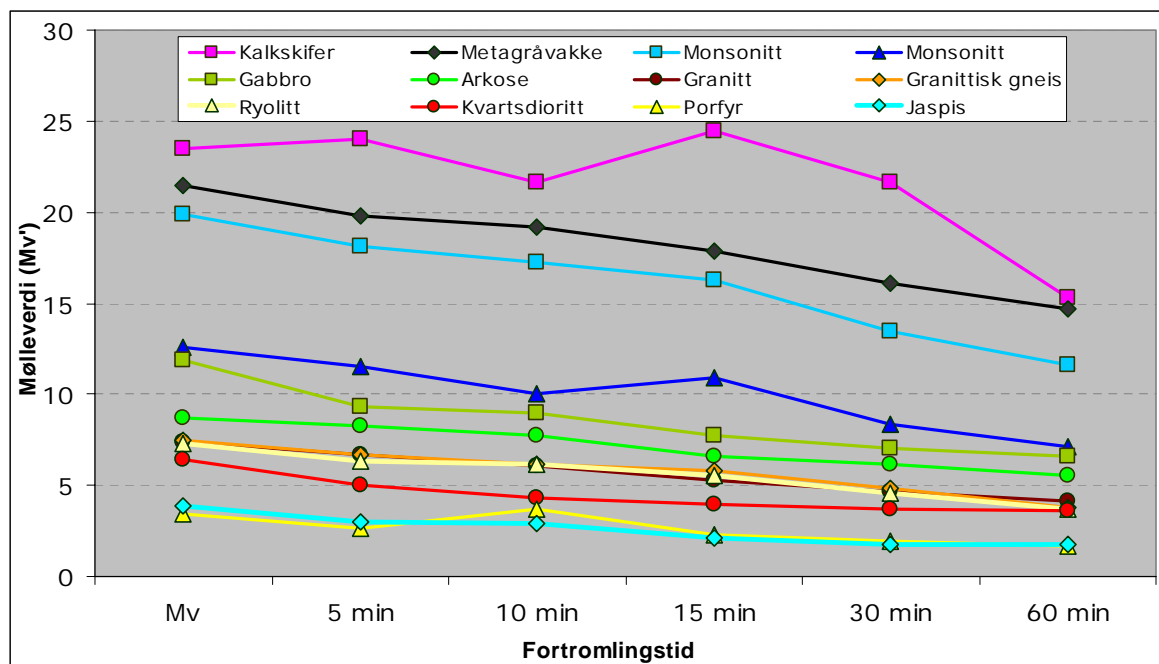
3.3 Resultater

3.3.1 Fortromling

Figur 12 viser resultatene for de 12 ulike materialene som er blitt tromlet i ulike tidsintervaller. Finstoffproduksjonen øker med økt tromletid for alle materialene. For de sterkeste bergartene flater kurven ut etter kort tid.



Figur 12. Effekten av fortromling.

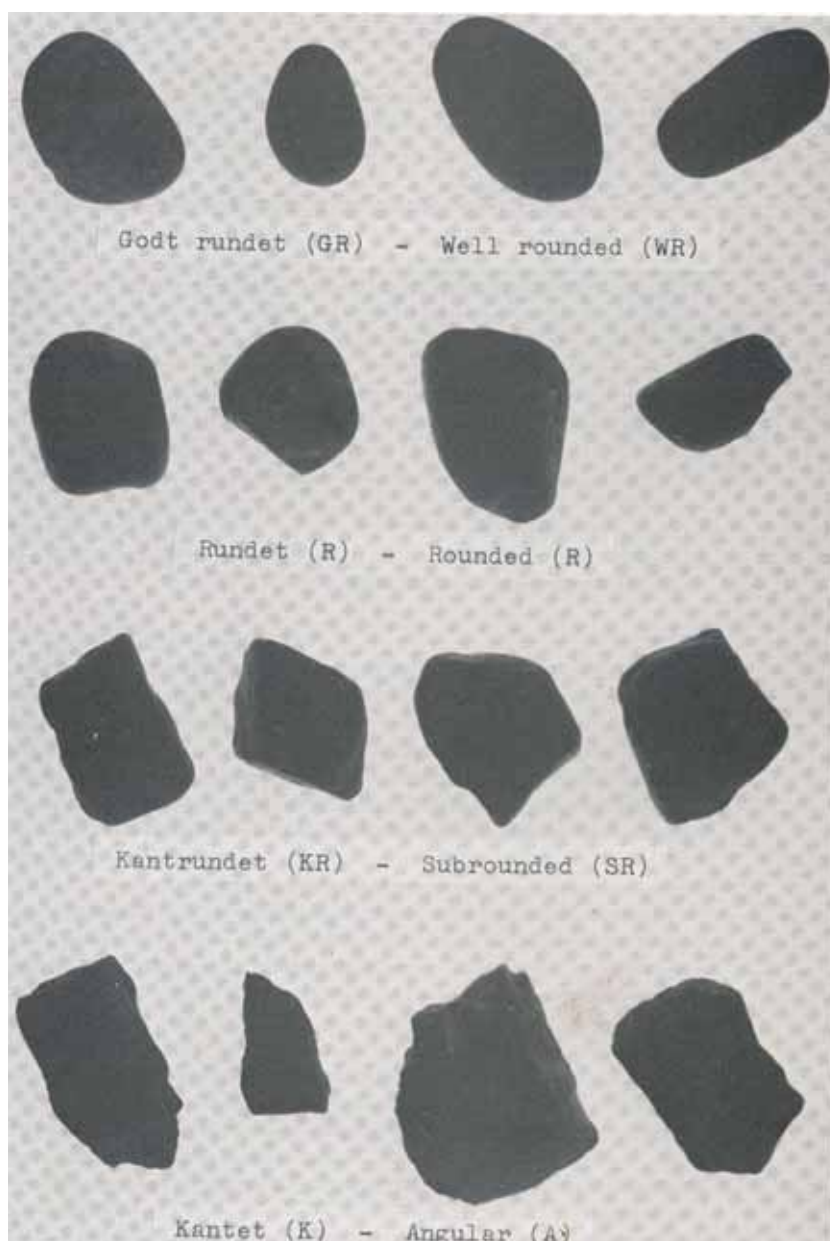


Figur 13. Forbedring i reell mølleverdi etter fortromling i 5-60 min.

Figur 13 viser virkelig forbedring i mølleverdi etter fortromling i ulike tidsintervaller. De svakeste materialene forbedres mest i tallverdi. Steinmaterialer med lave mølleverdier (< 10) viser tallmessig lav forbedring ved økt fortromling. Bergarter med moderat mølleverdi (10-15) gir noe høyere tallmessig endring, mens de svakeste materialene har størst tallmessig forbedring. De sterkeste materialene har derfor minst forbedringspotensial ved en prosedyre som innbefatter fortromling i forhold til de svakeste steinmaterialene.

3.3.2 Rundingsgrad

Bergartskorn i naturlig tilstand kan ha varierende grad av runding avhengig av den vannbehandling eller annen slitasje de(t) har vært utsatt for. Figur 14 viser begrepene for rundingsgrad som benyttes; godt rundet, rundet, kantrundet og kantet.



Figur 14. Referanseprøve for klassifisering av rundingsgrad (Lars Olsen, 1983).

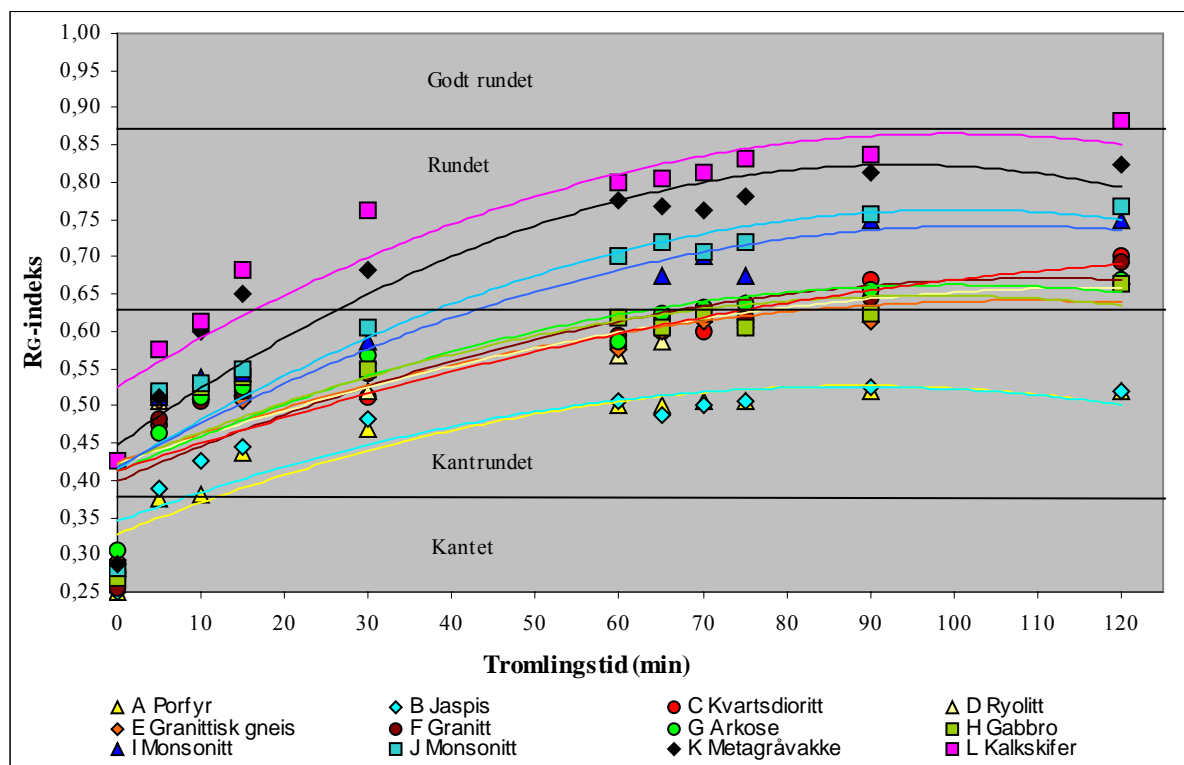
Hver prøve som er testet i kulemølla er blitt fotografert. 40 korn har blitt klassifisert etter rundingsgraden, både før testing og etter hver tromleperiode. På denne måten har man lyktes i å se endringen på materialets form etter hvert som tromletiden har økt.

3.3.3 Rundingsgradsindeks

Det er blitt definert en ”rundingsgradsindeks”, - Rg-indeks i SIV- prosjektet. Godt rundete korn får en gangefaktor på 1.0, og intervallet for denne klassen går fra 0.875-1.0. Rundete korn er gitt en gangefaktor på 0.75 med et intervall på 0.625-0.875. Kanrundete korn har gangefaktor 0.5 og et intervall fra 0.375-0.625. Gruppen med kantete korn er gitt gangefaktoren 0.25 og utgjør intervallet 0.25-0.375.

Hvert korn er blitt vurdert visuelt til en av klassene og blitt multiplisert med tilhørende faktor. Summen av de fire klassene definerer en rundingsgradsindeks som skal gi uttrykk for hele prøvens rundingsgrad.

Når et vegdekke er nylagt er tilslagsmaterialet kantet og har en rundingsgradsindeks rundt 0.25. Ved trafikkbelastning slites kantene, og man oppnår en rundet overflate. Man antar at materialet ender opp et sted mellom kanrundet og rundet.



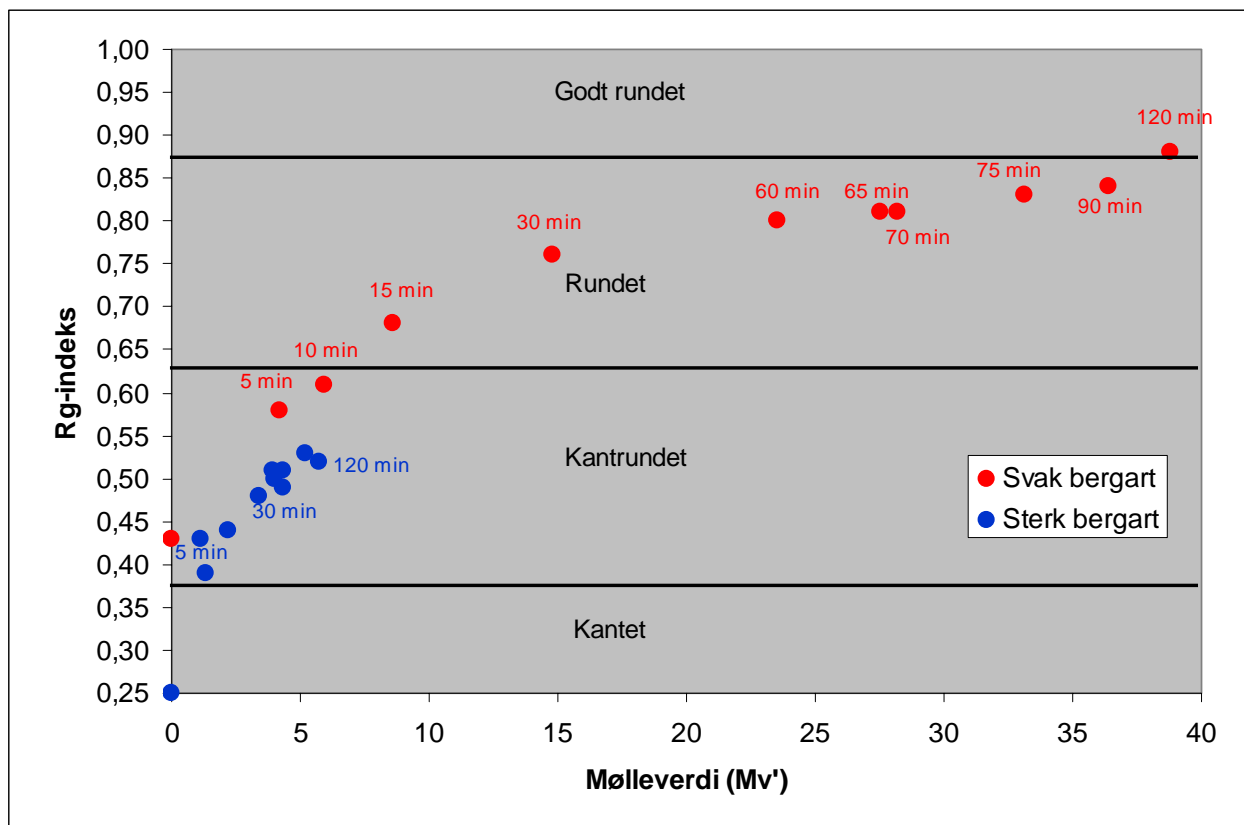
Figur 15. Rundingsgrad med økende tromletid.

Et bergartsmateriale som er knust ned er gjerne 100 prosent kantet. De undersøkte materialene var kantet (Rg-indeks < 0.3) etter knusing i laboratoriet med unntak av materialet med svakest mølleverdi (kalkskifer) som var kanrundet, figur 15. Etter en kort periode i mølletrommelen endrer samtlige materialer karakter, de får en rundere form. Dette inntreffer allerede etter 5-10 minutter. Etter 30 minutter synes det som om optimal kornform er oppnådd – kurvene flater ut. Innenfor ordinær tromlingstid på 60 minutter vil altså testmetoden oppnå den ønskede

effekt med hensyn til rundingsgrad uavhengig av materialets slitasegenskaper uttrykt ved mølleverdi

I figur 16 er det foretatt en sammenligning av mølleverdien mot Rg-indeksen for en "sterk" og en "svak" bergart. Den "svake" bergarten er kantrundet etter nedknusing og blir rundet etter 10 minutter. Etter 30-60 minutter avtar økningen i Rg og kurven "flater" ut. Ved ytterligere tromlingstid øker Mv uten vesentlig endring i rundingsgraden (Rg-indeksen). Etter to timer i trommelen har materialet oppnådd god rounding og høy mølleverdi.

Den "sterke" bergarten er kantet etter nedknusing og oppnår kun å bli kantrundet etter to timers tromling. Mølleverdien holdes også lav. Det skyldes mineralkornenes hardhet. De er kanskje like harde eller hardere enn stålkulene som benyttes i testen.

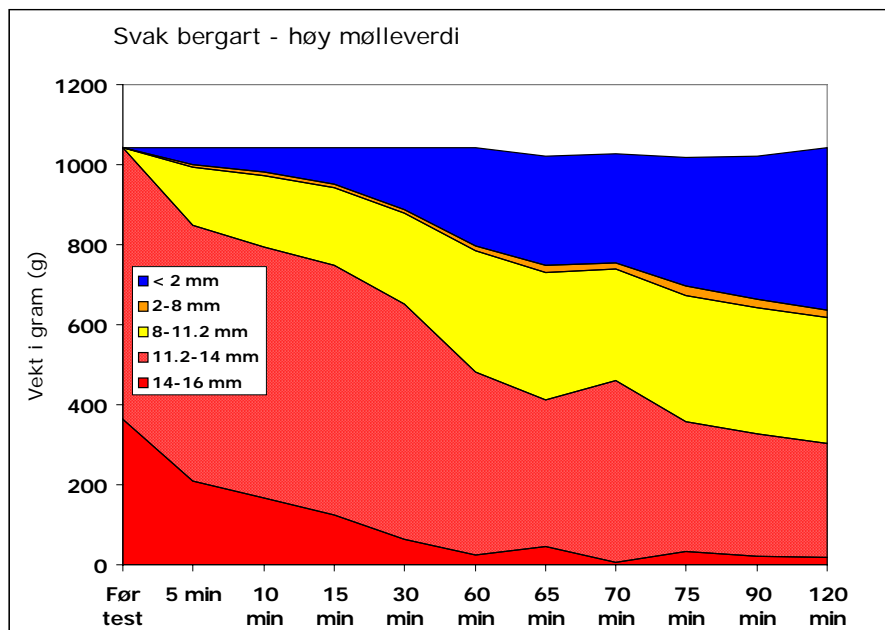


Figur 16. Mølleverdi og Rg-indeks for en "sterk" og "svak" bergart.

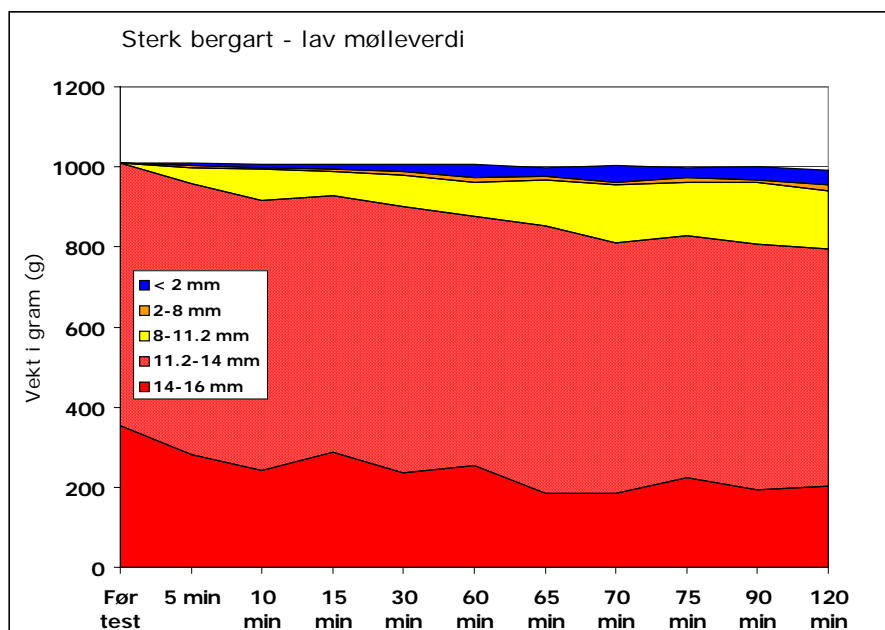
3.4 Observasjoner

Figur 17 viser en "svak" og figur 18 en "sterk" bergart som har blitt utsatt for tromling i kulemølle. Ved økende tromletid øker finstoffproduksjonen.

Rødt felt viser testfraksjon 11.2-14 mm og 14-16 mm. Gul farge markerer "avtakerfraksjon", mens blå farge er mengden finstoff som blir produsert (< 2 mm). Det er en *finmaling som skjer framfor nedknusing*. Det er svært lite materiale i fraksjonen 2-8 mm (oransje farge). For en sterk bergart beholdes mer av utgangsfraksjonene. De største forandringene på materialsammensetningen skjer på et tidlig stadium (etter 5-10 min).



Figur 17. Nedmaling av bergartsmateriale for en "svak" bergart gjennom tromling.



Figur 18. Nedmaling av bergartsmateriale for en "sterk" bergart gjennom tromling.

4. KONKLUSJON

Sammenstilling av analysedata fra NGUs Pukkdatabase viser at det er en samvariasjon mellom mølleverdi og henholdsvis abrasjons- og Sa-verdien. Korrelasjonskoeffisientene er nokså gode og ligger på 0.75 for abrasjon og 0.77 for Sa-verdi. Det er også en viss samvariasjon mellom Los Angeles-verdi og mølleverdi med en korrelasjonskoeffisient på 0.59. Los Angeles testen (ASTM 131) er angitt som en test, som i tillegg til slagpåvirkning, også har en viss abrasiv påvirkning på materialet som testes i trommelen. Statistikken fra NGUs Pukkdatabase støtter opp om dette. Dog viser statistikken en økende spredning i analysene med økende tallverdi for henholdsvis abrasjons-, Sa-, mølle- og Los Angeles-verdien. Dette viser at de empiriske testmetodene ikke gir entydige korrelasjoner.

Innføring av de nye kravene til mølleverdien for vegdekker vil i henhold til NGUs analyser medføre til en slakking i kravene sett i forhold til de tidligere kravene til Sa-verdien. Man kan selvfølgelig også stille spørsmål om Sa-verdiens troverdighet i forhold til den reelle slitasjen på vegdekkene. Situasjonene på vegene våre kan ha endret seg betraktelig (lettpigg, aksellast og trafikk tetthet) etter den gangen man dokumenterte en relasjon mellom Sa-verdien og relativ slitasje på veg (Ryan 1978 og Slyngstad 1982). Muligens ville de tidligere kravene være for strenge i forhold til dagens trafikkbilde. Tallmaterialet tyder på at abrasjonstesten, som bl.a. har størst innflytelse på Sa-verdien (abrasjonsverdien * $\sqrt{\text{sprøhetstallet}}$), er en "tøffere" og muligens en mer rendyrket abrasiv test i forhold til mølletesten. Både mølle- og Los Angeles testen antas å ha en varierende påvirkning av både slag og slitasje. Dette støtter opp om behovet for gjennomføring av de utførte feltforsøk som inngår i SIV-prosjektet. Det er et klart behov for å få erfaring med møllemetoden i forhold til reell slitasje og ikke mist med hensyn til fastsettelse eventuelt revisjon av kravene til mølleverdien ved ulik trafikkbelastning.

Korrelasjonen mellom mølleverdi og PSV er svært dårlig. Det indikerer at disse to parametrene gir uttrykk for ulike materialeegenskaper.

Resultatene fra laboratoriestudiet viser at fortromling ikke vil gi noen fordeler. Ut fra antatt rundingsgrad for materialet ute på vegen (Rg-indeks 0.50-0.75) rundes steinkornene tilsvarende i kulemålla i god tid innen 60 minutter. Den formendringen på materialet skjer faktisk i løpet av de første 10 minuttene. Det vil derfor ikke være nødvendig å fortromle materialet for å fjerne kanteffekter da disse fjernes tidlig i tromleprosessen.

5. REFERANSER

EN 1097-9 (1998): Tests for mechanical and physical properties of aggregates – Part 9: Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres – Nordic test. Comité Européen de Normalisation (CEN).

Olsen, L. 1983: Rundingsanalyser på grus- og steinpartikler – et nyttig hjelpemiddel ved undersøkelser av løsmasse genese. Skrifter 39. Nr. 379. Norges geologiske undersøkelse.

Ryan, S. 1978: Asfaltdekkers slitasje. Hovedoppgave ved institutt for Veg- og Jernbanebygging. NTH, Trondheim.

Slyngstad, T. 1982: Forsøksdekker Store Ringveg 1978. Slitasjedata for perioden 1978-80. SINTEF rapport nr. STF61 A82017.

Statens vegvesen, 2005: Håndbok 014 Laboratorieundersøkelser.

Statens vegvesen, 2005: Håndbok 018 Vegbygging.

Stensland, K. 2003: Laboratoriestudium av kulemøllemetoden. Hovedoppgave, Institutt for geologi og bergteknikk. NTNU.