

NGU Rapport 2014.040

Bruk av kule mølle og micro-Deval for
tilslagsmateriale til vegformål. En vurdering av
kravspesifikasjonen.

Rapport nr.: 2014.040		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Bruk av kulemølle og micro-Deval for tilslagsmateriale til vegformål. En vurdering av kravspesifikasjonen.				
Forfatter: Eyolf Erichsen		Oppdragsgiver: Statens vegvesen, NGU		
Fylke:		Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 22	Pris: 95,-	
Feltarbeid utført:		Rapportdato: 1.10.2014	Prosjektnr.: 3317.00	Ansvarlig: <i>Robert Dahl</i>
Sammendrag: <p>Norges geologiske undersøkelse (NGU) har ved etablering og ajourhold av Grus-, pukk- og steintipp-databasen utført en rekke materialtekniske analyser, både etter gamle og nå nye felles europeiske metoder, som danner grunnlag for å kunne vurdere kravspesifikasjonen ved overgang til de nye testmetoder.</p> <p>Siden 2010 har NGU utført kulemølletesting både på standardfraksjonen 11/16mm og alternativ testfraksjon 8/11mm. Kravene til metoden er definert ved ulike kategoriintervall for mølleverdien; $\leq 7 - \leq 10 - \leq 14 - \leq 19 - \leq 30$. Resultatene av de til nå 137 analysene tilsier at 75% av analysene faller inn under samme kategoriintervall for de to testfraksjonene. De resterende 25% har et avvik på kun ett kategori intervall.</p> <p>Grunnlaget for å bedømme kravene til micro-Deval for tilslagsmateriale for bruk i forsterkningslag er basert på de gamle kravene til abrasjonsverdien for denne type masser. Resultatene tilsier at kravene til micro-Deval koeffisienten anbefales justert til ≤ 20 eventuelt ≤ 25 for de laveste trafikkbelastede vegene.</p>				
Emneord: Kulemølle		micro-Deval		Vegformål
Testfraksjon		Forsterkningslag		Krav
Fagrapport				

INNHold

1. FORORD	4
2. KULEMØLLE 11/16mm KONTRA 8/11mm.....	5
2.1 Bakgrunn - Delprosjekt 1	5
2.2 Prøvematerialet	5
2.3 Resultater	9
2.4 Konklusjon - Kulemølle 11/16mm kontra 8/11mm	12
3. MICRO-DEVAL KRAV TIL FORSTERKNINGSLAG	13
3.1 Bakgrunn - Delprosjekt 2	13
3.2 Prøvematerialet	14
3.3 Resultater	17
3.4 Konklusjon - Anbefaling vedrørende krav til micro-Deval for forsterkningslag	21
4. REFERANSE.....	22

1. FORORD

Rapporten er todelt og omhandler ulike vurderinger av kravspesifikasjoner for bruk av tilslagsmateriale til vegformål. Første delprosjekt er knyttet til hvordan en skal forholde seg til definerte kategoriintervall for kulemøllemetoden ved testing på den alternative fraksjonen 8/11mm. Andre delprosjekt omhandler krav til micro-Deval for forsterkningslag.

Prosjektet er gjennomført i regi av samarbeidsavtalen mellom NGU og Statens vegvesen ved Vegdirektoratet.

2. KULEMØLLE 11/16mm KONTRA 8/11mm

2.1 Bakgrunn - Delprosjekt 1

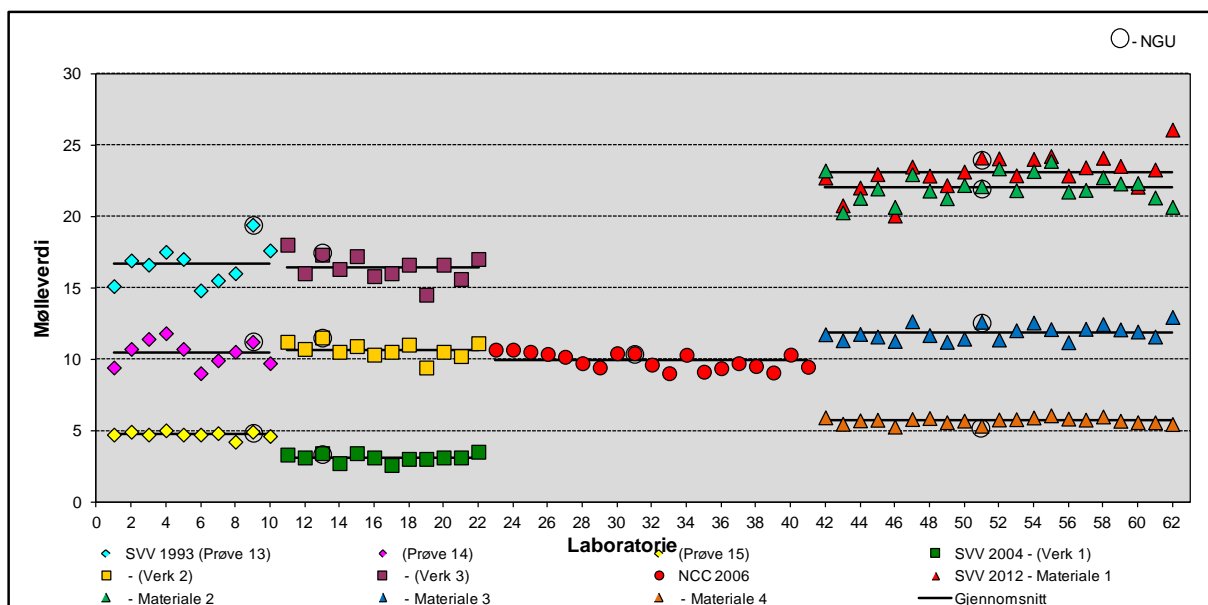
I etatsprosjektet "Miljøvennlige vegdekker" gjennomført i regi av Statens vegvesen (2004-08) var støy generert fra vegtrafikken ett av temaene. En av konklusjonene var at reduksjon av maksimal steinstørrelse i asfaltdekke har gunstig effekt for støynivået. En negativ effekt ved å redusere steinstørrelse er økt slitasje av vegdekket pga. bruk av piggdekk.

Kulemøllemetoden er gjeldende standard testmetode for å bedømme tilslagsmaterialets slitasjeegenskaper i vegdekket [1]. Metoden utføres på referansefraksjonen 11/16mm, men det er mulig å utføre testen på en alternativ fraksjon 8/11mm. Det er definert grenseverdier (kategorier) til kulemølle verdien avhengig av trafikkmengden på veiene materialet skal brukes i. Erfaringstallene som grenseverdiene bygger på, er hentet fra tester på referansefraksjonen. Statens vegvesen vil imidlertid at kulemøllemetoden skal utføres på 8/11mm fraksjonen, som samsvarer bedre med maksimal steinstørrelse en ønsker å benytte i vegdekket, framfor 11/16mm fraksjonen.

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har i en 4-årsperiode utført kulemølleanalyser på begge de aktuelle testfraksjonene på samme prøvemateriale. Resultatene inngår i NGU's Grus-, pukk- og steintippdatabase (GPS-databasen) og er benyttet i prosjektet som har som formål å avgjøre hvordan 8/11mm fraksjonen slår ut i forhold til de definerte kategoriene.

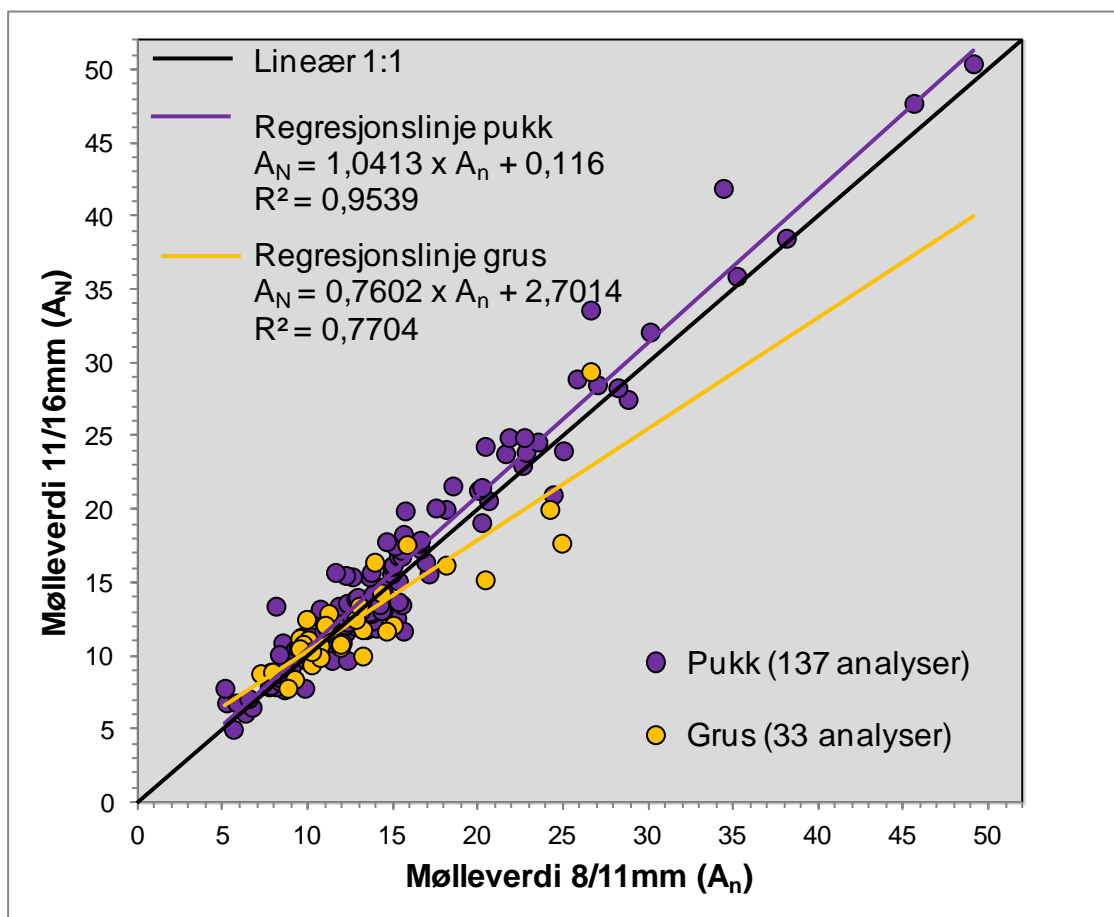
2.2 Prøvematerialet

Det er knyttet en viss usikkerhet til de materialtekniske testmetodene. Spesielt kan avviket mellom ulike laboratorier, blant annet pga. utstyr og utførende personell, ha medvirkende betydning. I figur 1 er analyser for fire ringanalyse for kulemøllemetoden utført i Norge sammenstilt, der resultatene utført ved NGU er markert spesielt. Avvik mellom laboratoriene har minket betraktelig siden den første ringanalysen ble utført i 1993. Resultatene fra NGU viser gjennomgående noe høyere verdier enn gjennomsnittet.



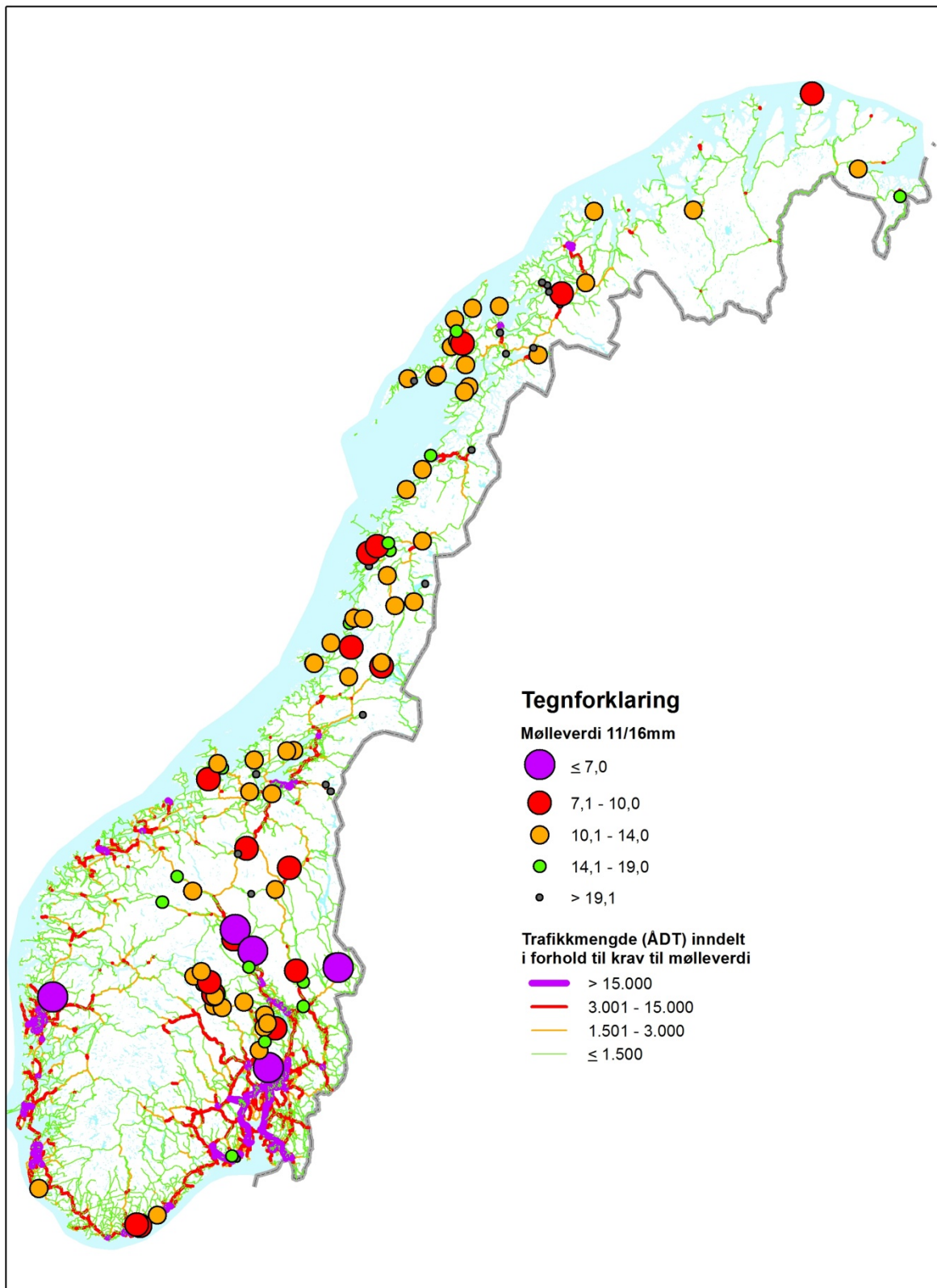
Figur 1. Ringanalyser for kulemøllemetoden. Utført i regi av Statens vegvesen (SVV) i 1993, 2004 og 2012 og NCC i 2006.

Ved NGU er det utført testing på 8/11 (markert som A_n) og 11/16mm fraksjonen (markert som A_N) på til sammen 137 pukkprøver og 33 grusprøver (Figur 2). Resultatene for grusprøvene avviker fra lineærlinjen 1:1. Materialets naturlige inhomogenitet kan være noe av forklaringen. Pukkprøvene viser god korrelasjon mellom de to fraksjonene med en regresjonslinje som avviker minimalt i forhold til lineærlinjen. I prosjektet er derfor kun pukkprøvene blitt benyttet.

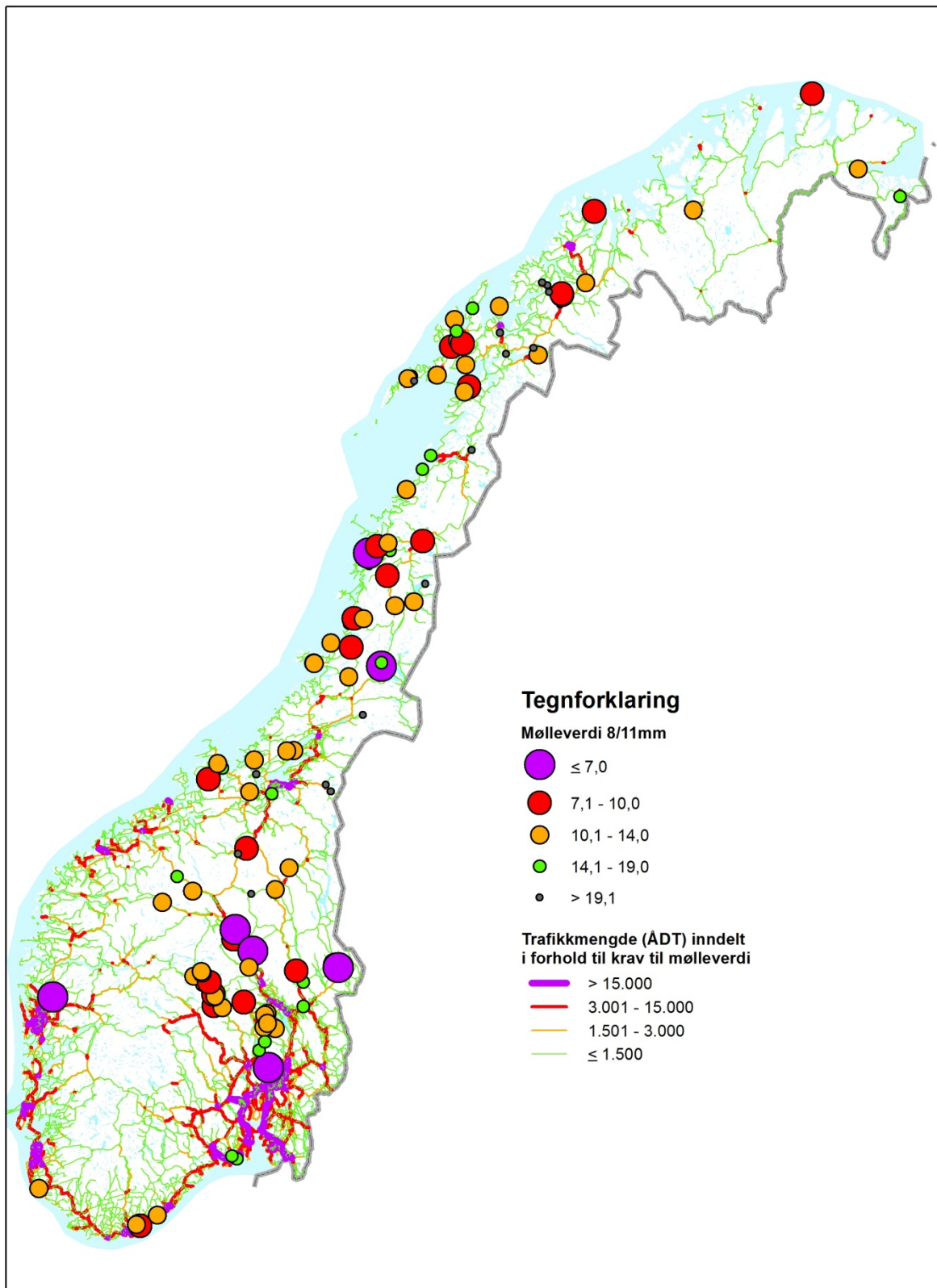


Figur 2. Mølleverdi resultater for grus- og pukkprøver utført ved NGU.

I figur 3 og 4 er resultatene etter mølletesting utført på henholdsvis 11/16mm og 8/11mm fraksjonen vist sammen med vegnettets trafikkmengde. Analysene er hovedsakelig knyttet til de siste års fylkesvise ajourhold av GPS-databasen.



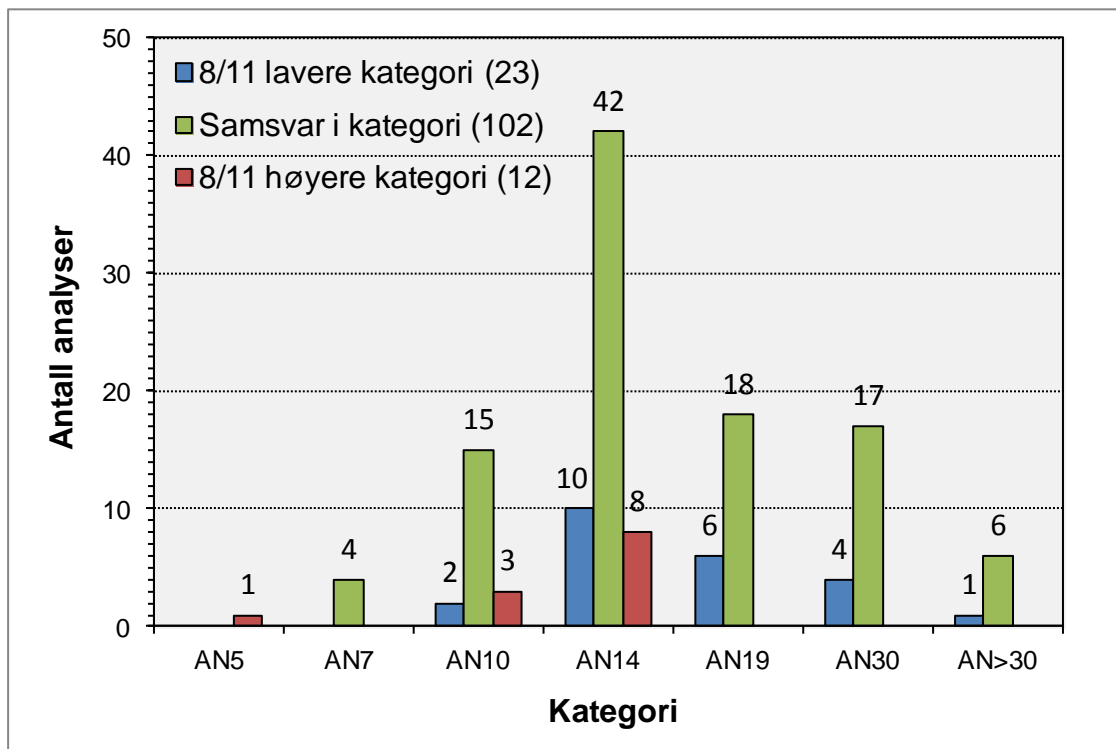
Figur 3. Kulemølle resultater for pukkprøver utført på 11/16mm fraksjonen. Oversikt over vegnettets trafikkmengde er hentet fra Nasjonal vegdatabank. Fargeskalaen for mølleverdiene samsvarer med fargeskalaen for kravene til veidekker med ulik trafikkmengde.



Figur 4. Kulemølle resultater for pukkprøver utført på 8/11mm fraksjonen. Oversikt over vegnettets trafikkmengde er hentet fra Nasjonal vegdatabank. Fargeskalaen for mølleverdiene samsvarer med fargeskalaen for kravene til veidekker med ulik trafikkmengde.

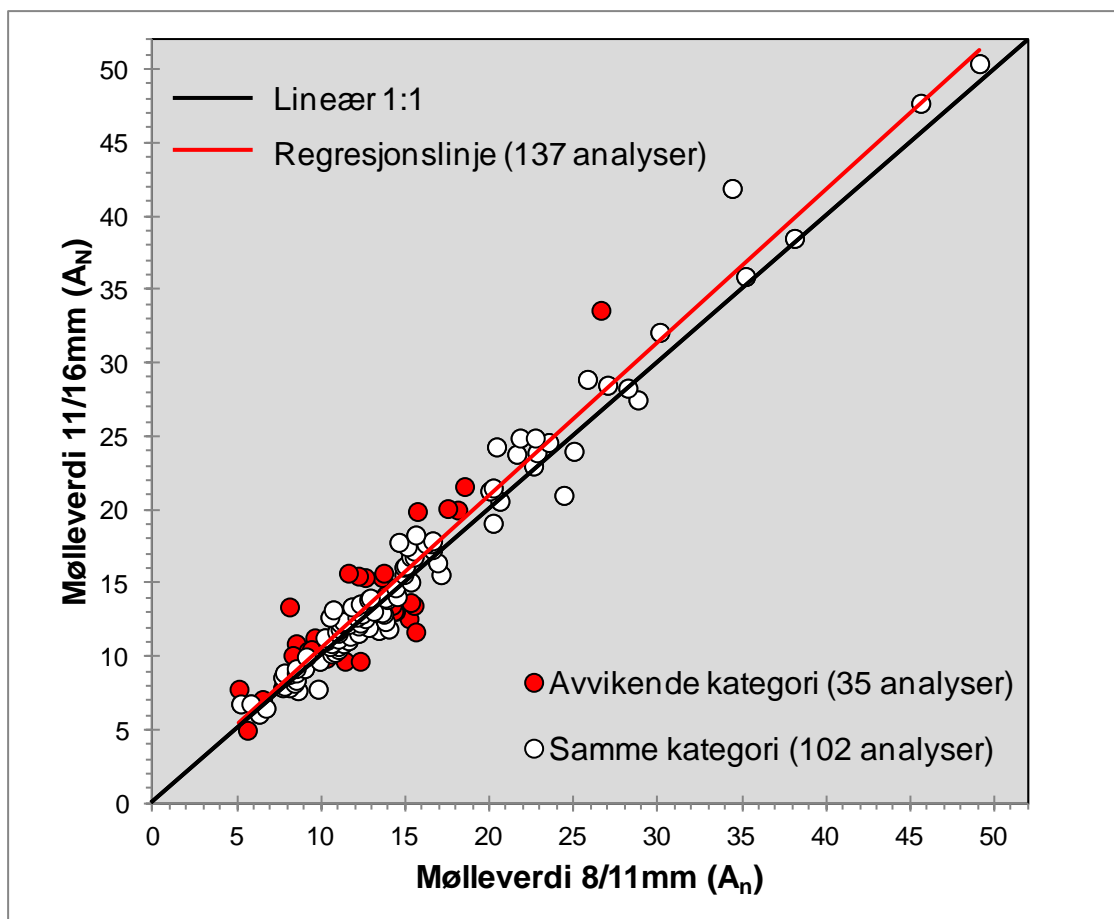
2.3 Resultater

Kravene til mølleverdien for tilslagsmateriale som benyttes til vegdekket inndeles med kategoriintervall; ≤ 5 - ≤ 7 - ≤ 10 - ≤ 14 - ≤ 19 - ≤ 30 [2]. Gjeldende minste krav som benyttes i Norge per i dag er $A_N \leq 19$. Som nevnt er erfaringen med krav til kategoriintervallene opparbeidet for referansefraksjonen 11/16mm. For de 137 pukkprøvene faller 102 av prøvene (74,5%) inn under samme kategori for de to testfraksjonene (Figur 5). Av de resterende 35 prøvene er det 23 (16,8%) som har lavere kategori for 8/11mm fraksjonen enn 11/16mm fraksjonen. De 12 gjenværende prøvene (8,8%) har en høyere kategori for 8/11mm fraksjonen. Alle prøvene med avvik viser kun et avvik på ett intervall, dvs. nærmeste kategori over eller under.



Figur 5. Fordeling av antall analyser som viser samsvar eller avvik i forhold til kategoriinndeling for testfraksjonen 11/16 og 8/11mm.

Spredningen langs regresjonslinjen i forhold til om prøvene har sammenfallende eller avvikende kategori er vist i figur 6. Regresjonsanalyse er benyttet for å fastlegge variasjonsområde ved møllesting utført på 8/11mm fraksjonen. Prøver med liten relevans pga. høy mølleverdi > 30 (7 stk.), er ikke tatt med i regresjonsanalysen.

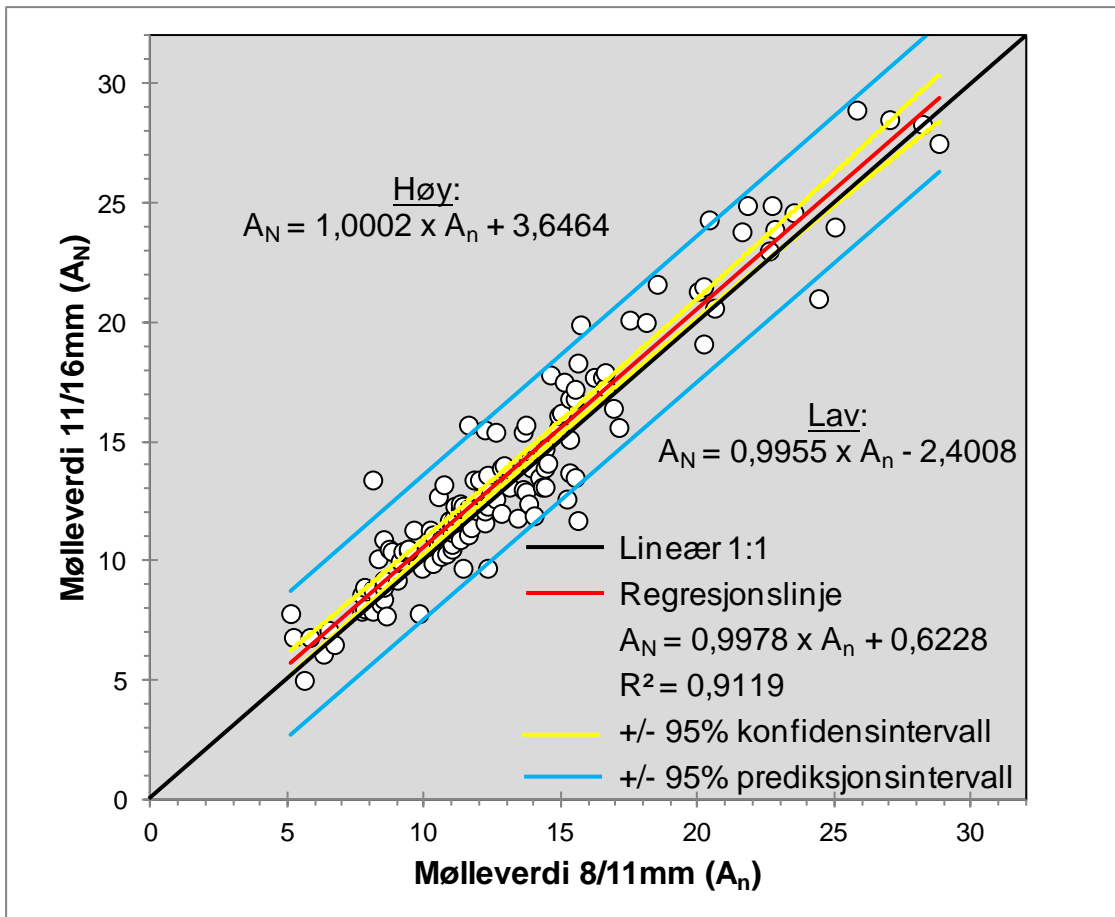


Figur 6. Møllerresultater for samtlige analyserte pukkprøver.

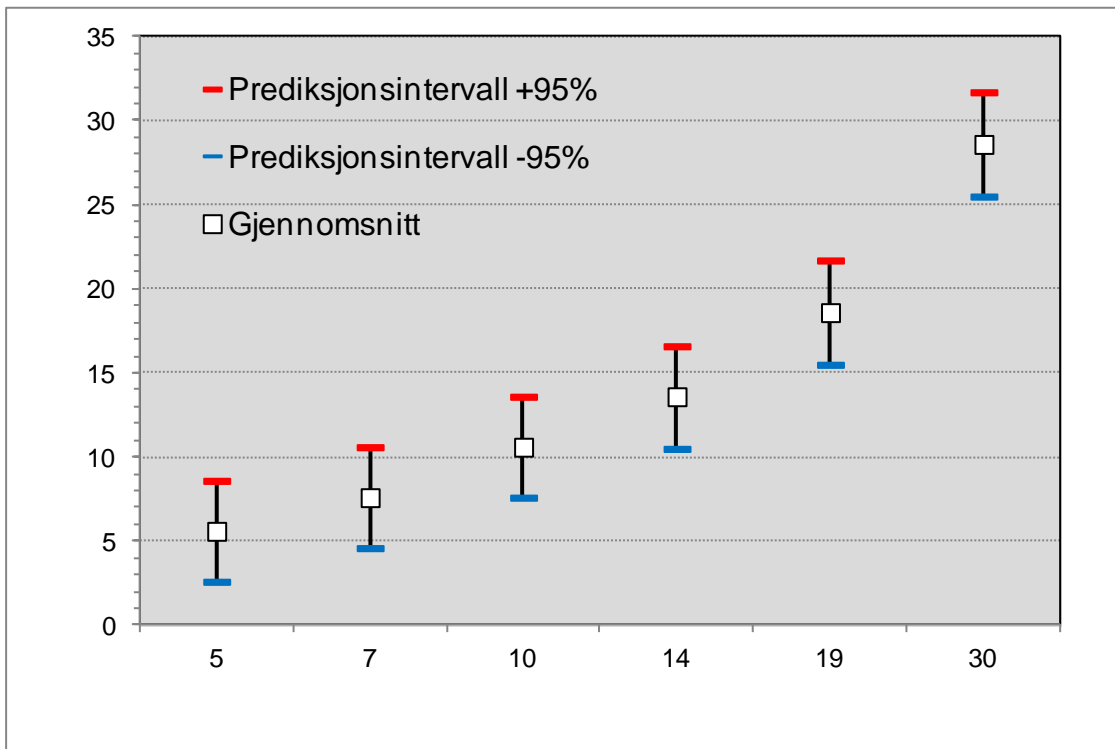
Regresjonsanalyse for de 130 prøvene er vist i figur 7 der A_N er simulert som den uavhengige variable. Pga. det høye analyseantallet er det liten variasjon uttrykt ved konfidensintervallet. Konfidensintervallet gir et anslag for hva en *gjennomsnittlig* kan forvente av resultat for den uavhengige variable (A_N) når det er utført test på 8/11mm fraksjonen. Prediksjonsintervallet angir sannsynlig *spredning* eller *variasjonsområdet* for 11/16mm fraksjonen hvis testen utføres på 8/11mm fraksjonen (figur 8). Detaljer for variasjonsområdet er gitt i tabell 1 for de ulike kategoriene. Variasjonsområdet for kategoriintervallene er 6. I og med at sprangene mellom kategoriintervallene er såpass lave, vil det være betydelig overlapp mellom kategoriene spesielt for de med lavest tallverdi.

Tabell 1. Regresjonslinje og variasjonsområde for mølleverdi der 11/16mm fraksjonen er den uavhengige variable gitt ved +/-95% prediksjonsintervall.

	Kategori - Test utført på 8/11mm						Formel (A_N - 11/16mm, A_n - 8/11mm)
	30	19	14	10	7	5	
Regresjonslinje (gjennomsnitt)	28,6	18,6	13,6	10,6	7,6	5,6	$A_N = 0,9978 * A_n + 0,6228$
Avrundet verdi 11/16mm	29	19	14	11	8	6	
Prediksjonsintervall +95%	31,7	21,7	16,6	13,6	10,6	8,6	$A_N = 1,0002 * A_n + 3,6464$
-95%	25,5	15,5	10,5	7,6	4,6	2,6	$A_N = 0,9955 * A_n - 2,4008$
Variasjonsområde (avrundet)	6	6	6	6	6	6	



Figur 7. Konfidens- og prediksjonsintervall basert på regresjonsanalyse der A_N er den uavhengige variable.



Figur 8. Variasjonsområde gitt ved prediksjonsintervall ved ulike konfidensintervall. A_N er den uavhengige variable.

2.4 Konklusjon - Kulemølle 11/16mm kontra 8/11mm

NGUs analyser av mølleverdier av pukkprøver utført på referanse fraksjonen 11/16mm og den alternative 8/11mm fraksjonen viser god korrelasjon. Av 137 prøver faller 75% innenfor samme kategori uavhengig av testfraksjon. De resterende 25% av prøvene viser et avvik på ett kategoriintervall. *Bruk av 8/11mm fraksjonen som alternativ for referansefraksjonen får dermed begrensede konsekvenser for klassifisering til gjeldende kategorier.* Utfordringen vil alltid være, uavhengig av hvilken fraksjon det testes på, prøver med et resultat som ligger umiddelbart i nærheten av kategoriintervallene. Det må igjen bemerkes at resultatene kun er basert på analysedata fra ett laboratorium.

3. MICRO-DEVAL KRAV TIL FORSTERKNINGSLAG

3.1 Bakgrunn - Delprosjekt 2

Fra 2011 [3] ble det gjeninnført krav til slitasjeegenskaper for tilslagsmateriale for bruk i vegfundamentet (bære- og forsterkningslag). De nye kravene, gjeldende for micro-Deval metoden, ble relatert til tidligere krav der en benyttet abrasjonsmetoden. Forholdet mellom de to slitasjetestene abrasjons- og kulemøllemetoden gav grunnlag for å fastsette nye krav for vegfundamentet gitt ved micro-Deval metoden [4]. NGU har i ettertid, som en del av det landsomfattende ajourholdet av GPS-databasen, utført en rekke nye analyser for de standardiserte testmetodene (kulemølle, micro-Deval og Los Angeles). Med dette grunnlaget har NGU på nytt gått igjennom kravene for slitasjeegenskapene gitt ved micro-Deval for forsterkningslaget i vegfundamentet.

Tidligere krav for slitasjeegenskapene til tilslagsmateriale for bruk i forsterkningslag var maksimum 0,75 for abrasjonsverdien [5]. Ved senere revisjoner av håndbok 018-Vegbygging har kravene vært knyttet til både Los Angeles verdi og micro-Deval koeffisient, der den sistnevnte angir slitasjeegenskapene (tabell 2). Fram til siste versjon har det vært en skjerpning av slitasjekravene. I Sverige stilles det kun krav til slitasjeegenskapene, og over tid (i motsetning til i Norge) har kravene til micro-Deval blitt slakkere (tabell 3).

Tabell 2. Krav til forsterkningslag, håndbok 018-Vegbygging.

Versjon		ÅDT					
		< 300	300-1500	1500-3000	3000-5000	5000-15000	>15000
2005	Forsterkningslag						
	<i>Øvre</i> LA	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
	<i>Nedre</i> LA	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40
		Trafikkgruppe (~ ÅDT)					
		A (< 750)	B (750-1500)	C (1500-3000)	D (3000-5000)	E (5000-15000)	F (>15000)
2011	Forsterkningslag						
	<i>Øvre</i> LA	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
	M_{DE}	≤ 20	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15
	<i>Nedre</i> LA	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40	≤ 40
	M_{DE}	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
2014	Forsterkningslag						
	LA	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
	M_{DE}	≤ 20	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15

LA - Los Angeles verdi, M_{DE} - micro-Deval koeffisient, ÅDT - gjennomsnittlig årstdøgntrafikk.

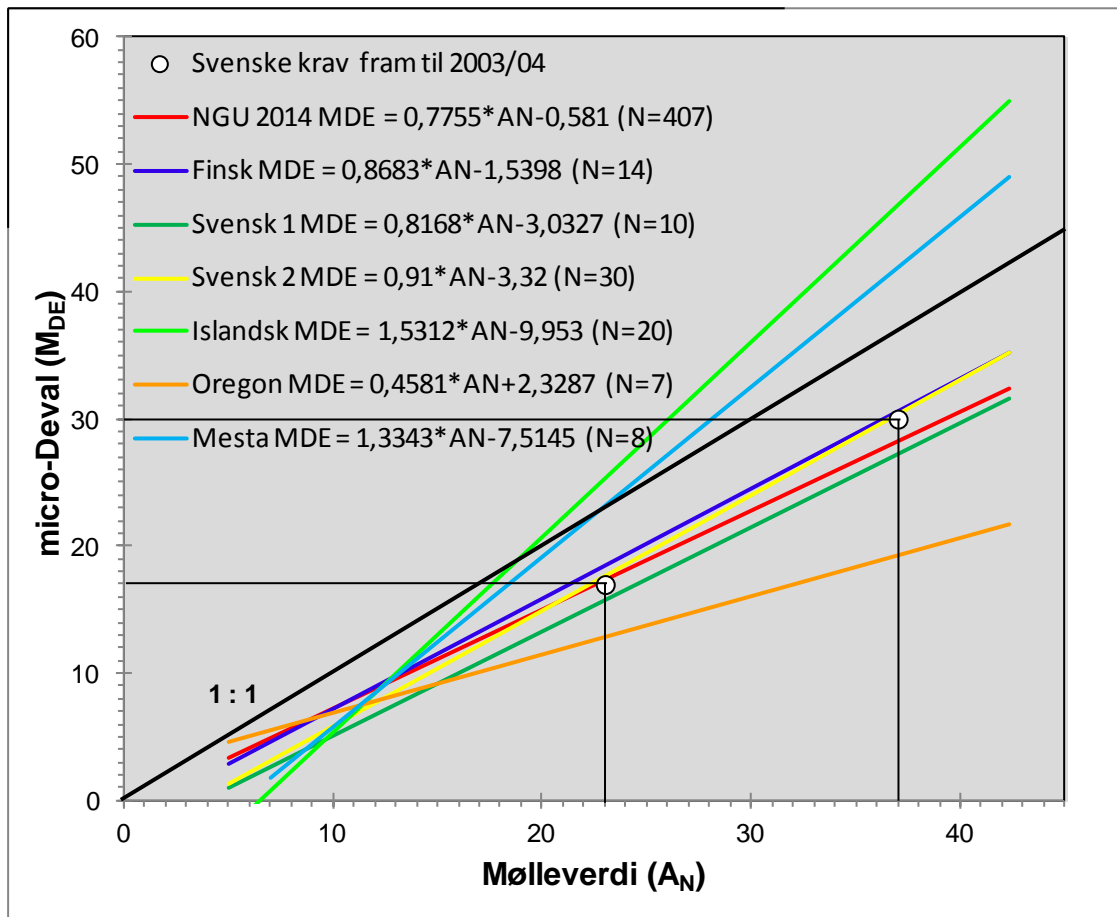
Tabell 3. Svenske krav.

	2000 [6]	2005 [7]	2009 [8]	2014[9]
Forstekningslag til vegger med fast dekke				
<i>Trafikkerte</i>				
M_{DE}	≤ 17	≤ 20	≤ 20	≤ 25
A_N	≤ 23	-	-	-
<i>Ikke trafikkerte</i>				
M_{DE}	≤ 30	≤ 25	≤ 25	≤ 30
A_N	≤ 37	-	-	-
Forstekningslag til grusveger				
M_{DE}	≤ 30	≤ 35	≤ 30	≤ 30
A_N	≤ 37	-	-	-

M_{DE} - micro-Deval koeffisient, A_N - Mølleverdi.

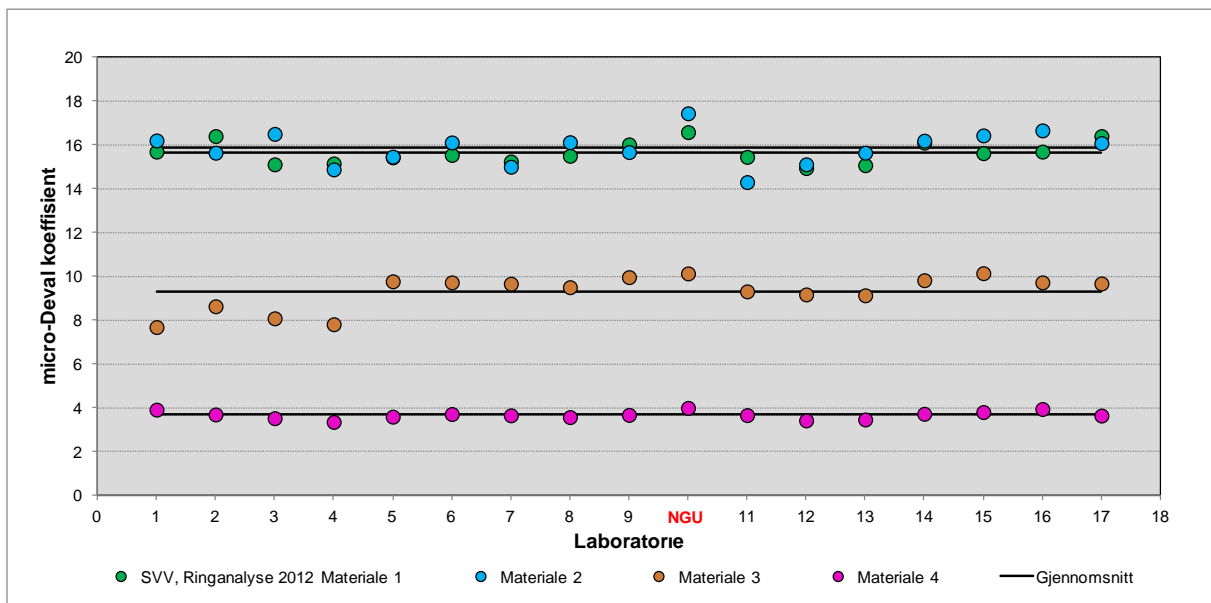
3.2 Prøvematerialet

Flere undersøkelser har gitt bra samvariasjon mellom kule- og micro-Deval metoden [4], men med betydelig avvik mellom undersøkelsene vist ved stor spredning mellom de ulike regresjonslinjene (figur 9). Om dette er reelle avvik eller kun avvik mellom laboratorier er uvisst. Det må bemerkes at en del av undersøkelsene baserer seg på et fåtall tester. Sammenholdt med finske og svenske undersøkelser viser NGUs data nesten likeverdige regresjonslinjer.



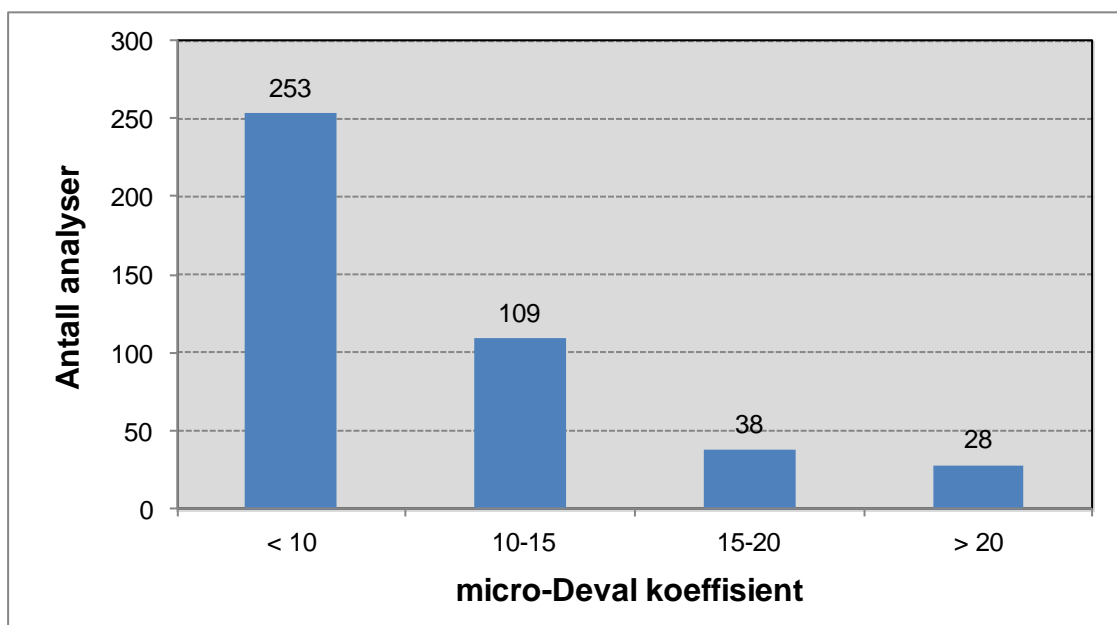
Figur 9. sammenstilling av regresjonslinjer mellom mølle- og micro-Deval metoden for ulike undersøkelser [4]. N angir antall analyser som ligger til grunn for regresjonslinjen.

Ringanalyse utført av Statens vegvesen i 2012 [10] viser at prøver analysert ved NGU gjennomgående har noe høyere verdier enn gjennomsnittet (figur 10).

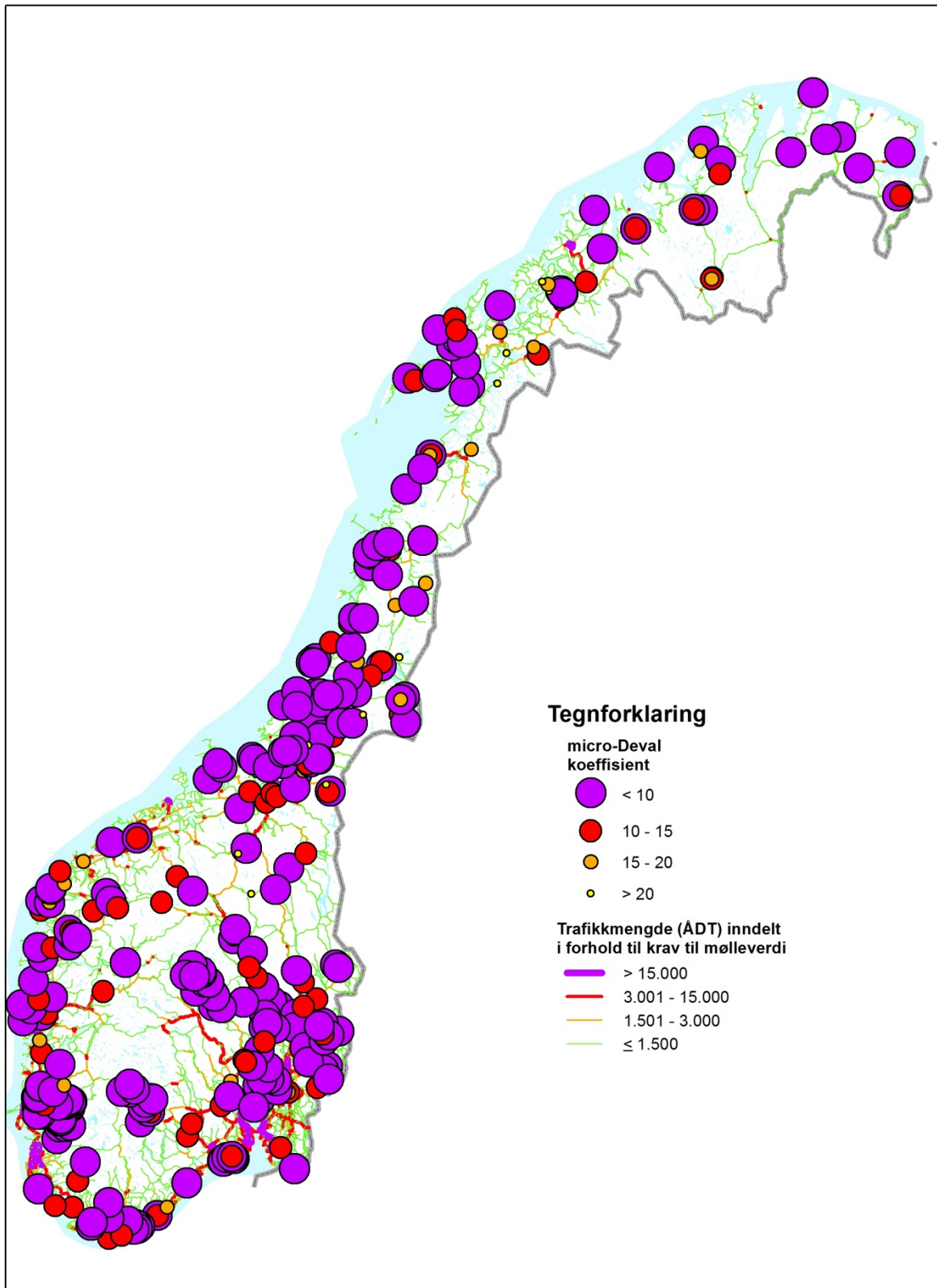


Figur 10. Ringanalyser for micro-Deval metoden. Utført i regi av Statens vegvesen i 2012.

Ved NGU er det utført 428 micro-Deval analyser (figur 11) hvor 85% av analyseverdiene er ≤ 15 som er "strengeste" kategori som kan benyttes for forstekningsmateriale [11]. Fordeling av analyseresultatene på landsbasis er vist i figur 12.



Figur 11. Fordeling av micro-Deval analyser utført ved NGU.

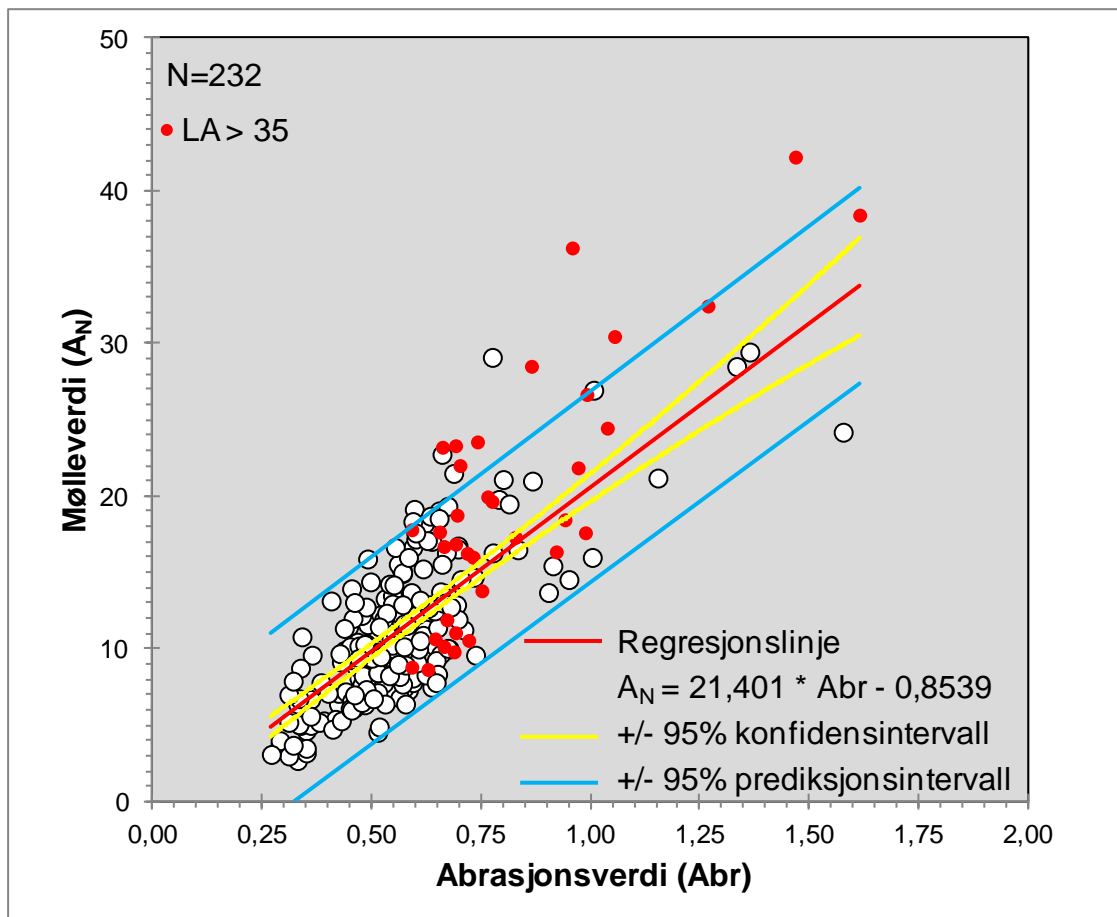


Figur 12. Micro-Deval analyser. Oversikt over vegnettets trafikkmengde er hentet fra Nasjonal vegdatabank.

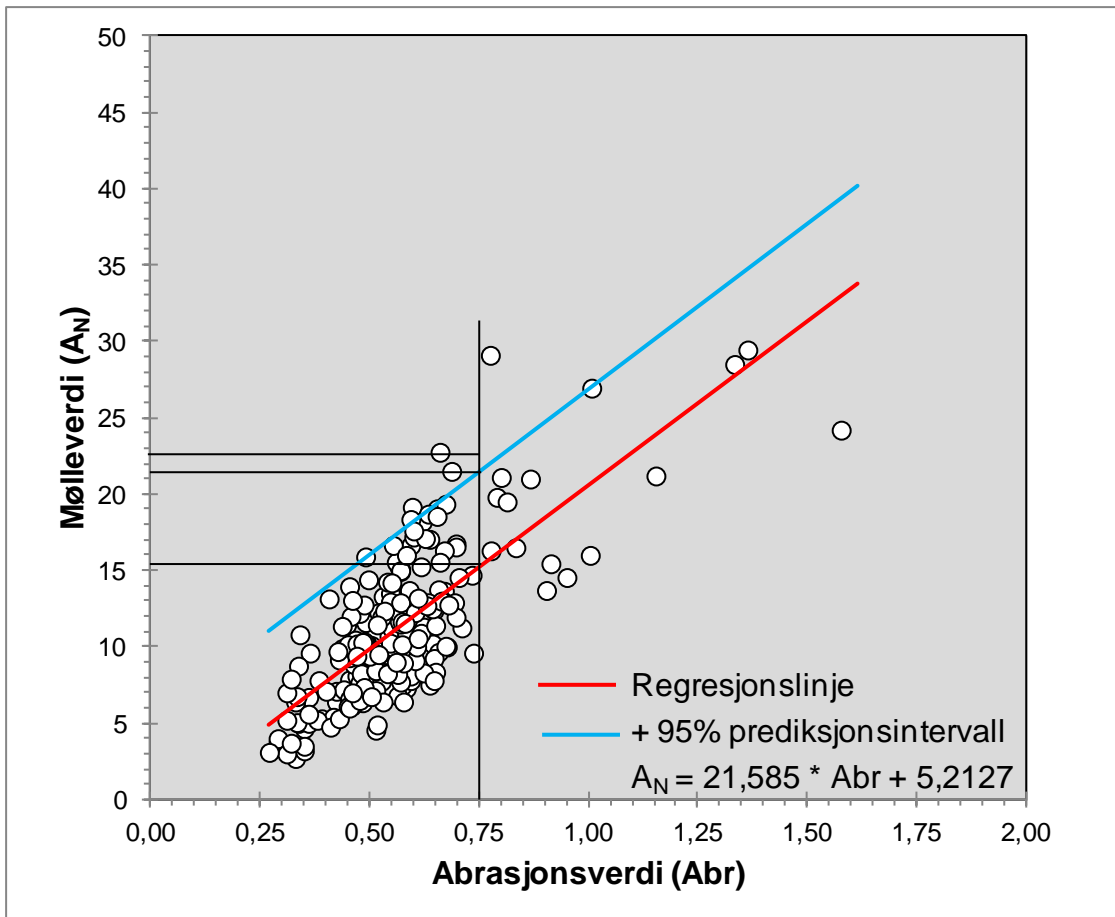
3.3 Resultater

Ved å sammenholde NGUs analysedata i Pukkdatabasen kan en prognosere hvilke krav som bør gjelde for micro-Deval for tilslag til forsterkningslag. *Forutsetningen for prognosen er at erfaringen som ble opparbeidet med det tidligere abrasjonskravet ansees for å være egnet for å bedømme slitasegenskapene for tilslag til forsterkningslag.* NGU har ikke prøver der det er utført både abrasjon- og micro-Deval analyser på samme materiale, men ved å bruke mølleverdiene (11/16mm) som et mellomtrinn er det mulig å komme fram til et resultat.

I og med at det er et kombinert krav for forsterkningslag til både Los Angeles og micro-Deval er også Los Angeles verdien blitt lagt til grunn. For 232 prøver er det utført testing på abrasjon, kulemølle og Los Angeles. I og med at kravet til Los Angeles er ≤ 35 er prøver med høyere verdi utelatt i regresjonsanalysen (figur 13). Av disse 197 prøvene har kun 16 stk. en abrasjonsverdi $> 0,75$ (figur 14). Høyeste mølleverdi for analyser med abrasjonsverdi $\leq 0,75$ er 22,8. Ut fra formelen til høyt prediksjonsintervall (+95%) er mølleverdien 21,4 når abrasjonsverdien er lik 0,75 og tilsvarende 15,2 for regresjonslinjen. disse tre mølleverdiene ansees som *kritiske* mht. kravspesifikasjon.

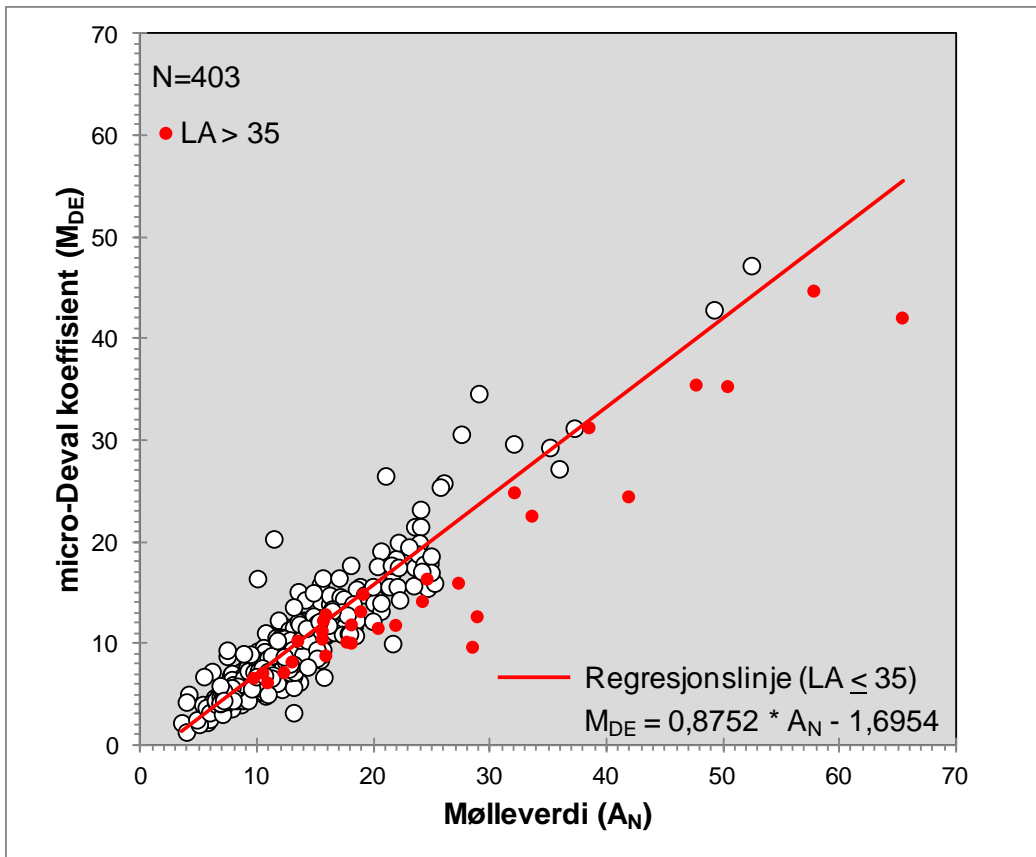


Figur 13. Regresjonsanalyse mellom abrasjonsverdi (avhengige variable) og mølleverdi (uavhengige variable). Analyser med Los Angeles verdi (LA) > 35 er markert spesielt og inngår ikke i regresjonsanalysen.

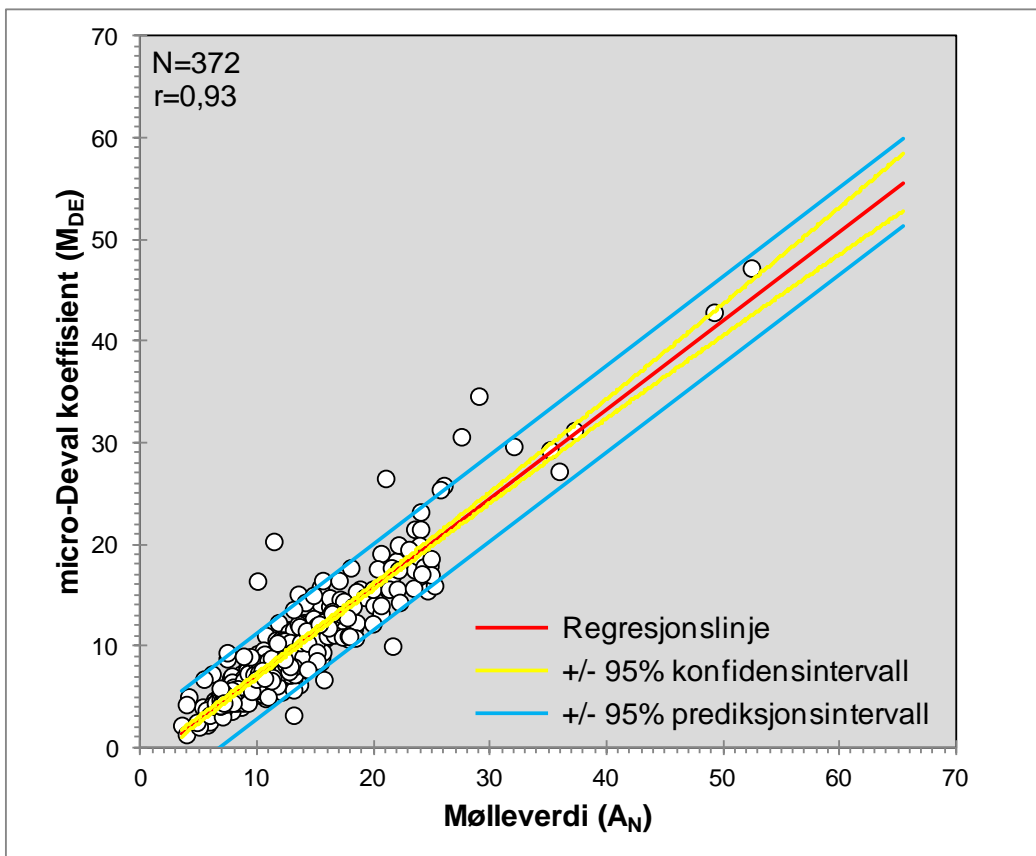


Figur 14. Regresjonsanalyse mellom abrasjonsverdi (avhengige variable) og mølleverdi (uavhengige variable) der prøver med $LA \leq 35$ er utelatt.

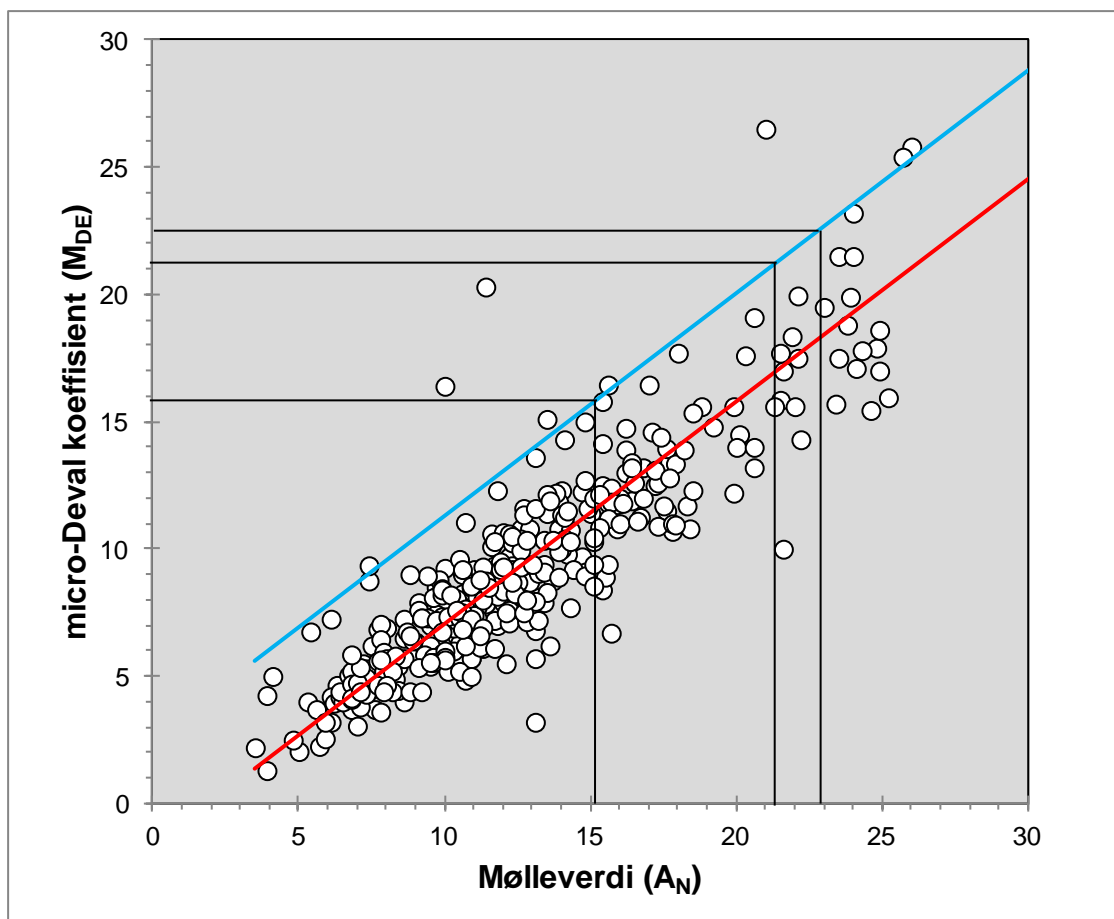
403 prøver er analysert for micro-Deval, kulemølle og Los Angeles (Figur 15). Regresjonsanalysen for prøver med Los Angeles verdi ≤ 35 viser god korrelasjon (figur 16). Linjen for høyt prediksjonsintervall (+95%) er benyttet for å beregne micro-Deval koeffisienten ut fra de *kritiske* mølleverdiene som kan relateres til tidligere krav for abrasjonsverdien på 0,75 for forsterkningslag (figur 17 og tabell 4).



Figur 15. Plott over mølleverdi og micro-Deval koeffisient for prøver som også er analysert mht. Los Angeles. Regresjonslinje for prøver med Los Angeles verdi ≤ 35.



Figur 16. Regresjonsanalyse mellom mølleverdi (avhengig variable) og micro-Deval koeffisient (uavhengig variable) der prøver med LA ≤ 35 er utelatt.



Figur 17. Utsnitt av figur 16 med formel for høyt (+95%) prediksjonsintervall.

Tabell 4. Relasjon mellom mølleverdi og micro-Deval koeffisient som kan relateres til en abrasjonsverdi $\leq 0,75$ for prøver med Los Angeles verdi ≤ 35 .

	Mølleverdi (A_N) (valgt ut fra korrelasjon med abrasjonsverdien)	Micro-Deval koeffisient (M_{DE})
"Høyeste verdi"	22,8	22,5
+95% prediksjon	21,4	21,3
Regresjonslinje	15,2	15,8

I og med at det tidligere også var et krav for nedre forstekningslag med en maksimum Los Angeles verdi på 40 (tabell 2) er det gjort tilsvarende undersøkelse for dette tilfellet. Resultatene er gitt i tabell 5 og viser små avvik for micro-Deval koeffisienten i forhold til når Los Angeles ≤ 35 .

Tabell 5. Relasjon mellom mølleverdi og micro-Deval koeffisient som kan relateres til en abrasjonsverdi $\leq 0,75$ for prøver med Los Angeles verdi ≤ 40 .

	Mølleverdi (A_N) (valgt ut fra korrelasjon med abrasjonsverdien)	Micro-Deval koeffisient (M_{DE})
"Høyeste verdi"	23,5	22,9
+95% prediksjon	22,1	21,7
Regresjonslinje	15,6	16,2

3.4 Konklusjon - Anbefaling vedrørende krav til micro-Deval for forsterkningslag

Anbefalingen tar utgangspunkt i at de tidligere kravene til abrasjonsverdien for forsterkningslag. Det er videre ikke blitt vurdert om, eventuelt hvordan eventuelle krav skal differensieres mht. årsdøgnetrafikk eller for ulike typer forsterkningslagsmasser.

Innstramming av kravene til forsterkningslag til 15 for micro-Deval ved siste revisjon av håndbok N200-Vegbygging virker streng, både sammenlignet med svenske krav, men også ut fra resultatene for regresjonsanalysen (tabell 4 og 5). Et krav til micro-Deval verdi på ≤ 15 anbefales for bærelag. Et krav til micro-Deval koeffisienten på ≤ 20 eventuelt ≤ 25 for lavere trafikkerte veier anbefales for forsterkningslag.

Per i dag utføres micro-Deval for bære- og forsterkningslag i henhold til produktstandarden for ubundne masser der testfraksjonen er 10/14mm. Det anbefales gjennomført et testprogram for å få erfaring med micro-Deval metoden for grovere sortering (31.5/50 mm), som benyttes for jernbaneballast [12]. Denne sorteringen stemmer bedre overens med materialfraksjoner som benyttes for både bære- og forsterkningslag.

4. REFERANSE

- [1] NS-EN 1097-9: Prøvingsmetoder for mekaniske og fysiske egenskaper for tilslag – Del 9: Bestemmelse av motstand mot piggdekkslitasje. Nordisk metode, 1998/A1 2005.
- [2] prEN 13043: Tilslag for bituminøse masser og overflatebehandlinger for veger, flyplasser og andre trafikkarealer, 06.2010.
- [3] Statens vegvesen håndbok 018-Vegbygging, januar 2011.
- [4] Erichsen, E. 2006 Krav til materialtekniske egenskaper for bære- og forsterkningslag. NGU Rapport 2006.020.
- [5] Statens vegvesen håndbok 018-Vegbygging, januar 1999.
- [6] Vägverket: Vägverkets krav till anläggnings ATB VÄG. VV Publikation 2000:111, 2000.
- [7] Vägverket: Vägverkets krav till anläggnings AMA 98. Publikation 2005:150a, 2005.
- [8] Vägverket: VVTBT Obundna lager 09. Publikation 2009:117, 2009.
- [9] Trafikverket: Krav - Obundna lager för vägkonstruktioner. TDOK 2013:0530. Version 1.0, 2014.
- [10] Ulvik, A. 2013 Ringanalyse 2012 for kulemølle, micro-Deval, Los Angeles og flisighetsindeks. Statens vegvesen rapport nr. 281.
- [11] NS-EN 13242: Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging, 2009.
- [12] NS-EN 13450: Tilslag for jernbaneballast, 2003.