Jämförande provning LA järnvägsmakadam och sandekvivalent

Svenska ringanalyser 2023 och 2024

Håkan Arvidsson

VTI PM 2025:16
Utgivningsår 2025
vti.se/publikationer

VTI PM 2025:16

Jämförande provning LA järnvägsmakadam och sandekvivalent

Svenska ringanalyser 2023 och 2024

Håkan Arvidsson

vti

Om inget annat anges är publikationen licensierad enligt CC BY-SA 4.0, omslaget omfattas inte av licensen./Unless otherwise stated, the publication is licensed under CC BY-SA 4.0, the cover is not included in the license.

Översatt titel: Comparative Testing Los Angeles Abrasion on Railway Ballast and Sand Equivalent. Swedish Round Robin Tests 2023 and 2024
Författare: Håkan Arvidsson, VTI (orcid.org/0000-0002-6989-6488)
Diarienummer: 2021/0547-9.2
Publikation: VTI PM 2025:16
Utgiven av VTI 2025

Kort sammanfattning

Dessa jämförande provningar (”ringanalyser”) av Los Angeles på järnvägsmakadam (LA_{RB}, SS-EN 1097-2, annex A) och sandekvivalent (SE/SE(10), SS-EN 933-8) har initierats av Metodgruppen med syfte att

- studera spridningar mellan laboratorier
- ta fram precisionsdata från dessa ringanalyser
- titta på inverkan från variationer till exempel i utrustning och utförande.

Ringanalys för Los Angeles på järnvägsmakadam genomfördes 2023 och ringanalysen för sandekvivalent 2024.

Generellt är det få deltagare/laboratorier som avviker från övriga för de metoder och material som redovisas i denna rapport. Det är heller inga större variationer i resultat för de parametrar som efterfrågats (i frågeformulär, Bilaga 1).

Los Angeles på järnvägsmakadam

De 40 deltagarna fick tre material att analysera med LA_{RB} 10 till 44.

Det är endast enstaka deltagare som redovisar avvikande resultat (outliers) för varje material, det är också olika outliers för varje material. Variationskoefficienten (standardavvikelsen relativt medelvärdet) är ca 8 % för samtliga material.

Precision i form av repeterbarheten, R, är $R=0{,}22\ LA_{RB}$.

Sandekvivalent

Sandekvivalent bestämdes med versioner av standarden; enligt SE, version 1999 och SE(10) från version 2012+A1:2015.

De 16 deltagarna fick två material att analysera, en morän och ett stenmjöl. Provmaterialen levererades både förpreparerade och så att deltagarna fick preparera själva. Dessutom fanns möjlighet att analysera materialen med förenklad uppslamning, Larsan-metoden.

En sammanvägd variationskoefficient är cirka 14 %. För moränförsöken är den cirka 19 % och för stenmjölet är den cirka 9 %.

I princip är det ingen som avviker med mer än 2 standardavvikelser, och enstaka som klassas som outlier per material och variant.

Det är svårt att ta fram samlade precisionsdata för de två materialen och de två versionerna. Repeterbarheten är cirka 5 och reproducerbarheten är cirka 20.

Vid uppslamning med Larsan-metoden erhölls ca 10 % lägre medelvärden och 7 % mindre spridningar. *Skillnaden kan förklaras med mer effektiv uppslamning och mindre personberoende hantering.*

Nyckelord

Motstånd mot fragmentering, Los Angeles, järnvägsmakadam, sandekvivalent. finmaterial, ringanalys, jämförande provning, ballast, obundet material

Abstract

These comparative tests ("round robin tests") of Los Angeles abrasion on railway ballast (LA_{RB}, SS-EN 1097-2, Annex A) and sand equivalent (SE/SE(10), SS-EN 933-8) have been initiated by the Method Group. The purpose was to

- study variations between laboratories
- produce precision data from these round robin tests
- examine the impact of variations, for example in equipment and execution.

The round robin test for Los Angeles abrasion on railway ballast was conducted in 2023, and the test for sand equivalent in 2024.

In general, few participants/laboratories deviate from the others for the methods and materials presented in this report. There are also no major variations in the results for the parameters requested (in the questionnaire, Appendix 1).

Los Angeles Abrasion on Railway Ballast

The 40 participants received three materials to analyze, with LA_{RB} values 10 to 44.

Only a few participants reported deviating results (outliers) for each material, and the outliers differ between materials.

The coefficient of variation (standard deviation relative to the mean) is approximately 8% for all materials.

Precision in terms of repeatability, R, is $R = 0{,}22\ LA_{RB}$.

Sand Equivalent

Sand equivalent was determined using versions of the standard: SE, version 1999, and SE(10) from version 2012+A1:2015.

The 16 participants received two materials to analyze: a moraine and a crushed rock with the grading 0/2 mm.

The test materials were delivered both pre-prepared and for self-preparation by the participants. Additionally, there was an option to analyze the materials using simplified suspension, the Larsan method.

A combined coefficient of variation is approximately 14%. For the moraine tests, it is about 19%, and for the stone dust, about 9%.

Basically, no one deviates by more than 2 standard deviations, and only a few are classified as outliers per material and variant.

It is difficult to produce consolidated precision data for the two materials and the two versions. Repeatability is approximately 5, and reproducibility is approximately 20.

With suspension using the Larsan method, about 10% lower mean values and 7 % lower standard deviation were obtained.

This can be explained by more efficient suspension and less operator-dependent handling.

Keywords

Resistance to fragmentation, Los Angeles, railway ballast, sand equivalent, fine material, round robin test, comparative testing, aggregate, unbound material

Förord

Detta är jämförelseprovningar mellan laboratorier som utför Los Angeles på järnvägsmakadam och/eller sandekvivalent.

Dessa så kallade ringanalyser har planerats av representanter från entreprenörsföretagen och VTI i Metodgruppens Ballastutskott.

Ett par av entreprenörsföretagen har utfört provtagning och tillhandahållit provmaterialen. Proverna har skickats till VTI som distribuerat dessa till anmälda deltagare/laboratorier.

Deltagarna har finansierat kostnader för viss planering, utskick och grundläggande statistiska analyser i en enklare för-rapporter, Arvidsson 2023 och Arvidsson 2024. Trafikverket har finansierat framtagandet av denna mer grundläggande, djuplodande rapport.

Samtliga foton är tagna av undertecknad.

Linköping, oktober 2025

Håkan Arvidsson
Projektledare

Granskare/Examiner

Leif Viman VTI.

De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning./The conclusions and recommendations in the report are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of VTI as a government agency.

Publikationen godkänd för publicering/Publication approved for publication

Björn Kalman, VTI.

Innehållsförteckning

Kort sammanfattning **5**

Los Angeles på järnvägsmakadam 5
Sandekvivalent 5

Abstract **6**

Los Angeles Abrasion on Railway Ballast 6
Sand Equivalent 6

Förord **7**

1. Inledning **10**

1.1. Motstånd mot fragmentering på järnvägsmakadam 10
1.1.1. Beskrivning av metod, LA_{RB} 10
1.1.2. Material 11
1.1.3. Deltagare 11
1.1.4. Svarsblankett 12
1.2. Finmaterialkvalitet, sandekvivalent 12
1.2.1. Beskrivning av metod 13
1.2.2. Material och provning 14
1.2.3. Deltagare 15
1.2.4. Svarsblankett 15

2. Los Angeles på järnvägsmakadam **16**

2.1. Grundläggande resultat 16
2.2. Utvärdering 18
2.2.1. Relativ spridning 18
2.2.2. Outliers 18
2.2.3. Precisionsdata 18
2.3. Effekter av variationer 19
2.3.1. Utrustning 19
2.3.2. Kornstorleksfördelning 22
2.4. Kommentarer 23

3. Sandekvivalent **24**

3.1. Grundläggande resultat 24
3.1.1. Morän 24
3.1.2. Stenmjöl 25
3.2. Utvärdering 26
3.2.1. Relativ spridning 26
3.2.2. Outliers 26
3.2.3. Precisionsdata 27
3.3. Effekter av variationer 29
3.3.1. Alternativ uppslamning (enligt Larsan) 29
3.3.2. Samband mellan SE(10) och SE 31
3.3.3. Andra påverkansfaktorer 32
3.4. Kommentarer 34

4. Diskussion och slutsatser **35**

4.1. Los Angeles på järnvägsmakadam 35
4.2. Sandekvivalent 35

4.3. Deltagarnas bedömning av det egna resultatet 35
Referenser 36
Bilaga 1. Svarsblanketter 37
Allmänna frågor 37
Resultatblankett 38
Bilaga 2. Alternativ uppslamningsmetod för sandekvivalent 40
Bilaga 3. Resultatdiagram 42
Bilaga 4. Statistiska metoder, outliers 47

1. Inledning

I denna rapport redovisas jämförande provningar för motstånd mot fragmentering (Los Angeles) på järnvägsmakadam utförd under 2023 och sandekvivalent utförd under 2024.

Dessa jämförande provningar (”ringanalyser”) har initierats av Metodgruppen, en branschsammansatt grupp som ska ha ett övergripande ansvar för provnings- och mätmetoder för såväl obundna som bitumenbundna material och lager samt vägytan. Metodgruppen består av Trafikverket, branschorganisationer och VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut).

Syftet, för respektive metod, var att:

- studera spridningar mellan laboratorier
- ta fram precisionsdata från denna ringanalys
- titta på inverkan från variationer till exempel i utrustning och utförande.

Arbetsgrupper bestående av representanter från Skanska, Peab, NCC, Svevia, Veidekke och VTI har ansvarat för planering och upplägg. VTI har ansvarat för resultatsammanställning, statistik och rapportering. Till grund för utformning av ringanalysen ligger Metodgruppens ”Manual för ringanalyser”.

Deltagarna/laboratorierna har olika anonymiserade nummer för de olika metoderna (i de fall de deltagit i båda).

1.1. Motstånd mot fragmentering på järnvägsmakadam

Motstånd mot fragmentering på järnvägsmakadam har gjorts med Los Angeles, LA_{RB}, enligt SS-EN 1097-2: 2020 Annex A.

Motstånd mot fragmentering indikerar hårdhet eller motstånd mot nedkrossning. Med Los Angelesmetoden på järnvägsmakadam ingår en (stor) del av nötning då kulor och makadamkorn är snarlika i storlek. (Jämför med metoder för micro-Deval och kulkvarn, SS-EN 1097-1 respektive SS-EN 1097-9.)

Planering och materialförberedelser gjordes hösten 2022. Under vintern/våren 2023 gjordes utskick till deltagande laboratorier samt tester på respektive laboratorium. En enkel sammanställning (för-rapport) av resultat skickades till laboratorierna våren 2023.

1.1.1. Beskrivning av metod, LA_{RB}

I SS-EN 1097-2:2020, annex A, beskrivs hur man bestämmer motstånd mot fragmentering med Los Angelesmetoden. Tio kg ballastmaterial i fraktion 31,5-50 mm roteras med 12 stålkulor, med diameter ca 47 mm, i 1000 varv i en ”LA-trumma”. Andelen mindre än 1,6 mm efter test ger LA_{RB}-värdet.

Trumman (LA-trumman) har en diameter på ca 51 cm och en längd på ca 71 cm. Trumman har även en lyftbalk med bredden 90 mm och tjockleken 25 mm (1 tum) monterad på insidan. Trumman ska rotera med 32 varv/minut. Kulorna ska väga 400–445 g styck och totalt väga ca 5,2 kg (för 12 st.). Se Figur 1.

Provet, i fraktion 31,5–50 mm ska blandas 50/50 av fraktion 31,5–40 mm och 40–50 mm med en total vikt på 10 000 ±100 g.

Andelen mindre än 1,6 mm efter test ger LA_{RB}-värdet.

Figur 1. Bild på VTIs LA-trumma (från 1960-talet?) med kulor i förgrunden.

1.1.2. Material

Ringanalysen har utförts på tre material:

- Prov D
- Prov F
- Prov Ö

Proverna levererades som sortering 32/50 mm utom Prov Ö som levererades som 32/40 och 40/50 mm. Deltagarna har fått erforderliga mängder för respektive sortering. De har också fått genomföra eventuell provberedning som tvättning, rensiktning och neddelning.

1.1.3. Deltagare

Det har anmält sig 40 laboratorier. De listas Tabell 1.

Tabell 1. Anmälda laboratorier för LA järnvägsmakadam, omvänt sorterat i bokstavsordning på organisation.

Organisation	Ort	Organisation	Ort
VTI[1]	Linköping[1]	Peab Asfalt AB	Hisings Backa
Veidekke Asfalt AB	Höör	Peab Asfalt AB	Önnestad
TeMaKon AB[1]	Sjömarken[1]	Peab Asfalt AB[1]	Västerås[1]
Svevia AB[1]	Brunflo[1]	Peab Asfalt AB[1]	Boden[1]
Svevia AB[1]	Umeå[1]	Peab Asfalt AB[1]	Sundsvall[1]
Svevia AB	Örebro	NCC Industry AB[1]	Södra Sandby[1]
Svevia AB	Arlöv	NCC Industry AB	Hisings Kärra
Svevia AB[1]	Kungälv[1]	NCC Industry AB	Borås
Svevia AB	Jönköping	NCC Industry AB[1]	Karlstad[1]
Svevia	Arlanda	NCC Industry AB	Västerås
Skanska Sverige AB	Upplands Väsby	NCC Industry AB	Linköping
Skanska Sverige AB	Luleå	NCC Industry AB	Upplands Väsby
Skanska Sverige AB[1]	Växjö[1]	NCC Industry AB[1]	Umeå[1]
Skanska Sverige AB	Önnestad	NCC Industry AB[1]	Sundsvall[1]
Skanska Sverige AB	Gunnilse	NCC Industry AB	Gävle
Skanska Sverige AB	Skene	NCC Industry AB	Gustafs
Skanska Sverige AB	Borlänge	Mitta AB	Luleå
Skanska Sverige AB	Sperlingsholm	Mitta AB	Stockholm
Skanska Sverige AB	Kramfors	Asfalt & Stenkontroll AB	Hok
RISE	Borås	AB Sydsten[1]	Hardeberga[1]

1.1.4. Svarsblankett

Till laboratorierna/deltagarna skickades det ut en speciell svarsblankett, fiktivt exempel visas i Bilaga 1. Svarsblanketten var framtagen i Excel och uppdelad på en flik för allmänna frågor och tre flikar, en flik för varje material, för att ange rådata som beräknar resultat. Som option kunde ”hela kornkurvan” efter test beräknas om man matade in ackumulerade vikter från sikt 31,5 mm och nedåt, nedåt till t.o.m. 0,063 mm.

Bland de allmänna frågorna efterfrågades bland annat kulornas och trummans egenskaper (dimensioner och vikter). Frågor om erfarenhet för laboratoriet för respektive metod samt kommentarer om eventuella avsteg och allmänna fritextskommentarer. Eventuellt kvalitetssystem (till exempel ackreditering) har man också kunnat ange.

1.2. Finmaterialkvalitet, sandekvivalent

Bestämning av finmaterialkvalitet har gjorts med metoden för sandekvivalent, SS-EN 933-8. Provningen har utförts både på den aktuella versionen: 2012+A1:2015 med proportionerad analysfraktion: 0–2 mm med justerad finmaterialhalt, med beteckning SE(10), dels med den äldre

[1] Deltog även i ringanalys för sandekvivalent 2024.

versionen från 1999 där analysfraktionen är 0-2 mm utan justering av finmaterialhalten, med beteckning SE.

Det har även testats en alternativ uppslamningsmetod (Larsan-metoden, se även Bilaga 2).

1.2.1. Beskrivning av metod

SS-EN 933-8:2012+A1:2015 Sandekvivalent. Analysfraktion 0-2 mm får innehålla maximalt 10 % finmaterial (material <0,063 mm). Resultatet betecknas **SE(10)**.

SS-EN 933-8:1999 Sandekvivalent. Analysfraktion 0–2 mm. Resultatet betecknas **SE**.

Versionen från 1999 är upphävd men Trafikverket har fortfarande alternativkrav för den versionen (TDOK 2015:0530).

Bortsett kravet på max 10 % finmaterial för SE(10) som innebär att man kan få/får proportionera materialet är de i princip lika. För båda varianterna ska ett analysprov väga 120 g.

Provet hälls i en cylinder (diameter 32 mm och höjd 430 mm) med en flockuleringsvätska. Flockuleringsvätskan innehåller ämnen som underlättar dispergering (upplösning) av bundet finmaterial och flockulering (hopklumpning) av upprört finmaterial.

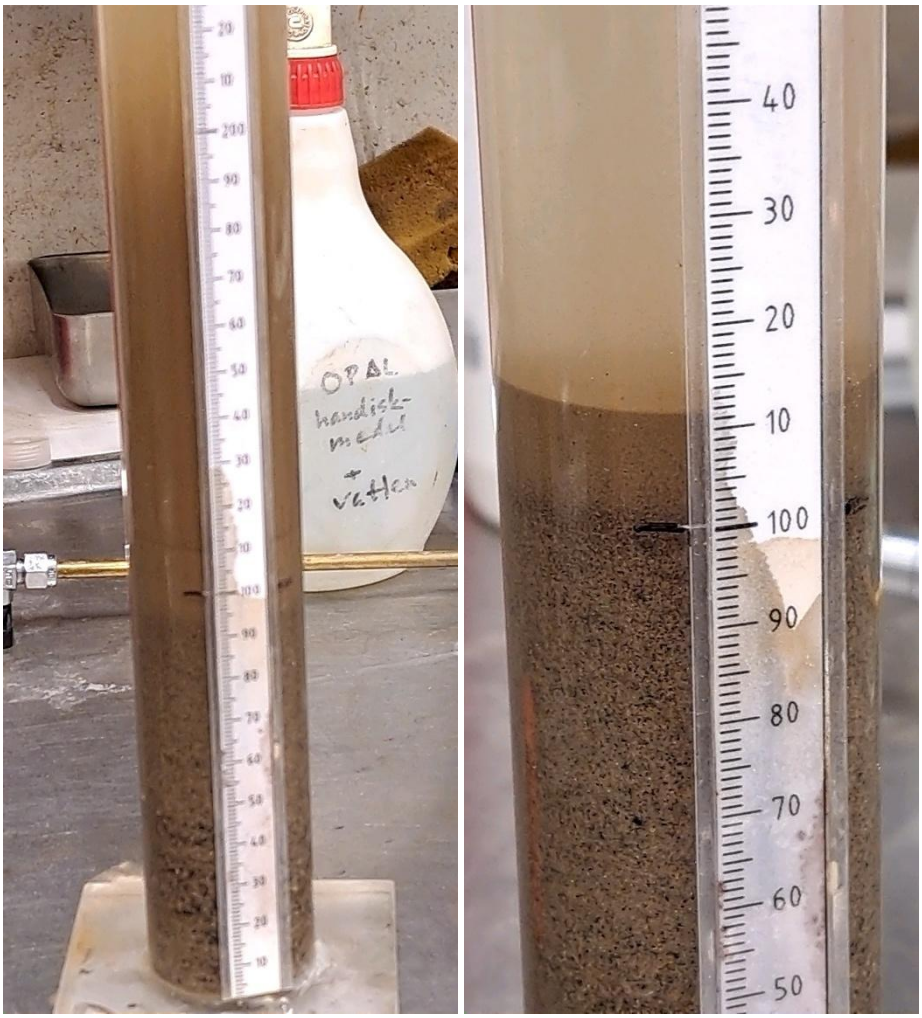
Prov och vätskan blandas/omskakas enligt en specificerad procedur bland annat med en skakmaskin. Därefter ska finmaterialet tvättas loss/slammas upp med ett tvättrör (diameter ca 5 mm och som når ner till botten av cylindern) och mer flockuleringsvätska.

Därefter ska provet (sandfraktionen) sedimentera och (finmaterialet) flockulera under 20 minuter. Därefter bestäms höjden/nivån (från botten av cylindern) på den flockulerade gränsen, h_1, och höjden på det sedimenterade materialet med en stamp (1 kg), h_2.

SE eller **SE(10)** är lika med $\mathbf{100 \times h_1/h_2}$

Dubbelprov ska utföras som får skilja max 4 enheter. **Medelvärdet beräknas.**

Dessutom kunde man även analysera proverna med en alternativ uppslamnings-/tvättmetod, Larsan-metoden (efter Lars-Åke Holmgren, NCC). Där använder man skakutrustningen en gång till i stället för tvättröret för uppslamning. Detta beskrivs mer noggrant i Bilaga 2.



Figur 2. Till vänster cylinder för sandekvivalent direkt efter uppslamning. Till höger cylindern efter 20 minuter sedimentering, ca 100 mm och flockulering, 112 mm.

1.2.2. Material och provning

Ringanalysen har utförts på två material med två varianter:

- en morän
- ett stenmjöl (av bergkross).

Proverna levererades färdiga, preparerade/proportionerade, både för SE och SE(10) samt som originalsorteringar som 0/2 eller 0/4 mm.

Tanken var att kunna jämföra spridningar med centralt preparerade prover och med laboratoriernas egna förberedelser.

Dessutom fanns det prover/provmaterial för den alternativa uppslamningsmetoden (enligt Larsan).

Då det innebar ett relativt omfattande provningsbatteri om alla varianter skulle genomföras användes följande prioritering per material:

1. **Proportionerat, invägt dubbelprov SE(10)**
2. **Proportionerat, invägt dubbelprov SE**
3. labbet gör provberedning för SE(10) (dubbelprov)
4. Proportionerat, invägt dubbelprov SE(10) med alternativ uppslamningsmetod.

5. labbet gör provberedning för SE(10) (dubbelprov) med alternativ uppslamningsmetod.
6. Proportionerat, invägt dubbelprov SE, med alternativ uppslamningsmetod.

1.2.3. Deltagare

Det hade anmält sig 17 laboratorier med 16 svar. Anmälda laboratorier redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Anmälda laboratorier för sandekvivalent, omvänt sorterat i bokstavsordning på organisation.

Organisation	**Ort**
VTI	Linköping
TeMaKon AB	Sjömarken
Svevia AB	Umeå
Svevia AB	Kungälv
Svevia AB	Brunflo
Statens Vegvesen	Trondheim
Skanska Sverige AB	Växjö
Peab Asfalt AB	Västerås
Peab Asfalt AB	Boden
Peab Asfalt AB	Sundsvall
Peab Asfalt AB	Blentarp
NCC Industry AB	Umeå
NCC Industry AB	Södra Sandby
NCC Industry AB	Hisings Kärra
NCC Industry AB	Karlstad
NCC Industry AB	Sundsvall
AB Sydsten	Hardeberga

Med undantag av Statens Vegvesen (Norge) och Peab Asfalt, Blentarp, deltog samtliga i ringanalysen för Los Angeles på järnvägsmakadam 2023.

1.2.4. Svarsblankett

Till laboratorierna/deltagarna skickades det ut en speciell svarsblankett, fiktivt exempel visas i Bilaga 1. I svarsblanketten, framtagen i Excel, kunde deltagarna besvara vissa allmänna frågor och ange resultat för respektive variant.

Bland de allmänna frågorna efterfrågades bland annat konserveringsmedlet för flockuleringsvätskan (formaldehyd eller natriumhypoklorit[2]), eventuella avsteg, kvalitetssystem och erfarenhet.

[2] Natriumhypoklorit säljs ofta under produktnamnet Klorin

2. Los Angeles på järnvägsmakadam

I detta kapitel presenteras grundläggande resultat, utvärdering med djupare statistisk analys samt undersökning av hur eventuella variationer i utrustning och utförande påverkar resultatet.

2.1. Grundläggande resultat

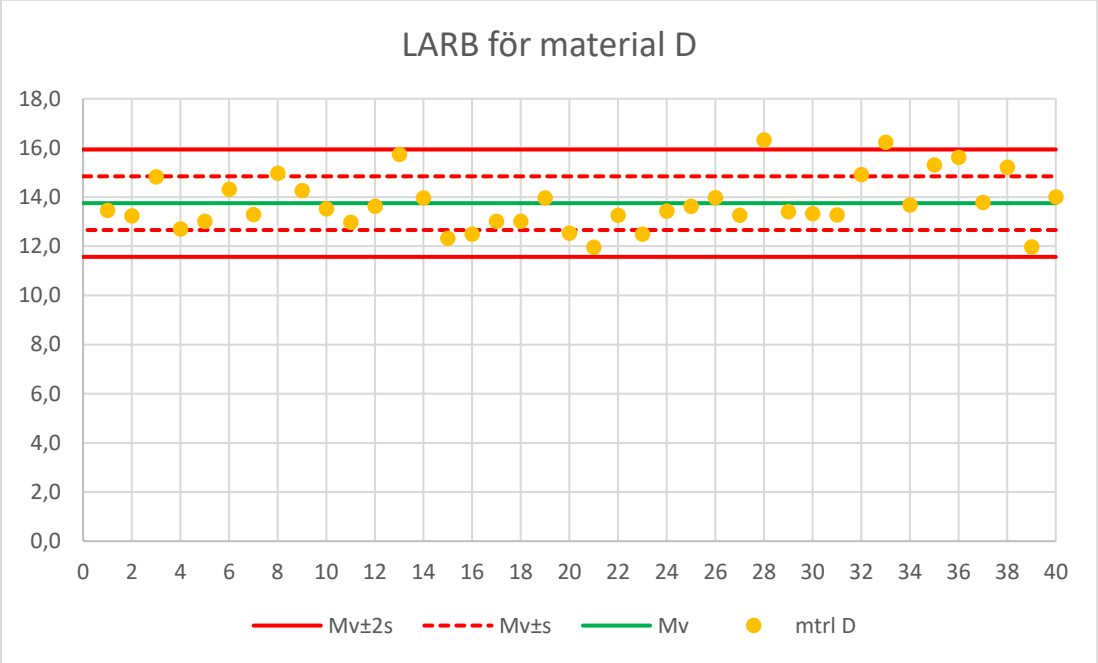
Här presenteras resultat för statistik för ringanalysen och resultat för respektive laboratorium för Los Angeles på järnvägsmakadam, LA_{RB}, enligt SS-EN 1097-2:2020, annex A.

Statistik för deltagarnas sammanvägda resultat för de tre materialen (”D”, ”F” och ”Ö”), beräkningar inklusive eventuella outliers, redovisas i Tabell 3. Laboratoriernas enskilda resultat med viss statistik redovisas i Figur 3 till Figur 5.

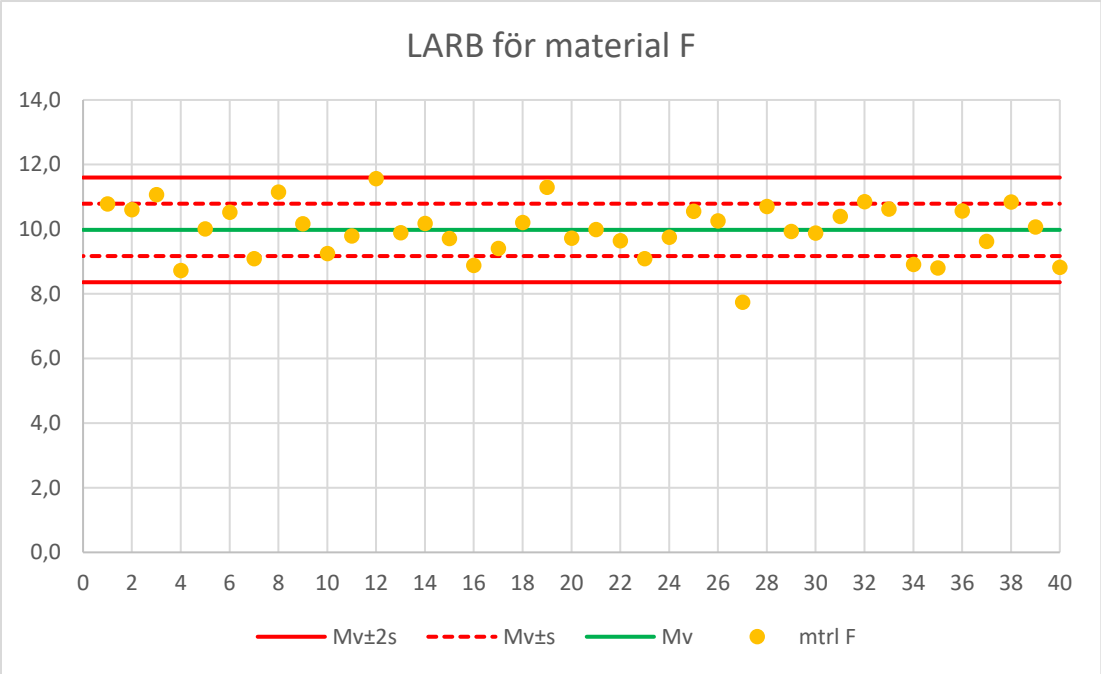
Tabell 3. Statistiska data för LA_{RB}.

	Material D	Material F	Material Ö
Max	16,3	11,6	52,7
Medel + 2s	15,9	11,6	51,0
Medel + s	14,8	10,8	47,6
Medel	**13,8**	**10,0**	**44,2**
Medel - s	12,7	9,2	40,7
Medel - 2s	11,6	8,4	37,3
Min	12,0	7,7	38,1
stdav	1,1	0,8	3,4
stdav/medel	7,9 %	8,1 %	7,7 %
Antal	40	40	40

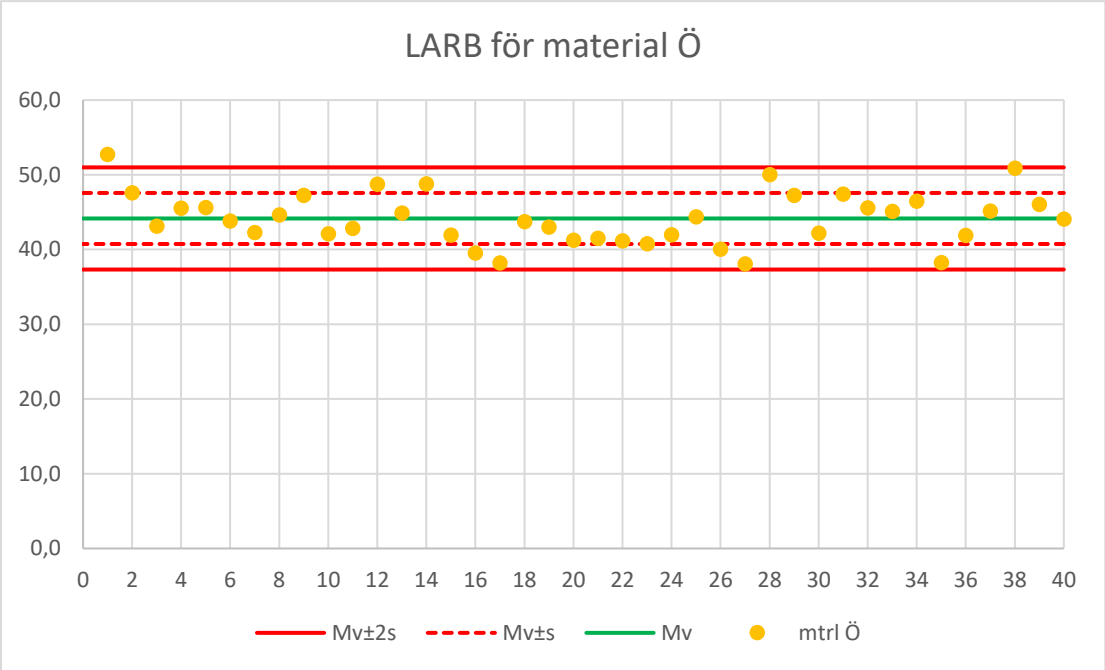
Medel = medelvärde; s eller stdav = standardavvikelse (funktion STDAV.P i Excel).



Figur 3. Material D, individuella resultat med medelvärde och standardavvikelse.



Figur 4. Material F, individuella resultat med medelvärde och standardavvikelse.



Figur 5. Material Ö, individuella resultat med medelvärde och standardavvikelse.

2.2. Utvärdering

Här redovisas djupare utvärdering och viss diskussion i anslutning till resultaten.

2.2.1. Relativ spridning

Den allmänna spridningen, det vill säga standardavvikelsen i förhållande till medelvärdet (variationskoeffiecient), är ca 8 % (7,9 %) för de tre materialen med LA_{RB}-värden i spannet 10–45, Tabell 3.

2.2.2. Outliers

En **outlier** (eller avvikande observation) är en datapunkt som skiljer sig markant från övriga datapunkter i ett dataset. Den kan vara mycket högre eller lägre än de andra värdena och kan påverka analysen och resultaten. Outliers kan uppstå på grund av mätfel, ovanliga förhållanden eller naturliga variationer. Beskrivning av de olika varianterna för att bedöma ”outliers” finns i Bilaga 4.

De laboratorier som avviker med mer än två standardavvikelser från medelvärdet redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Laboratorier som avviker med mer än 2 standardavvikelser.

	Material D	**Material F**	**Material Ö**
Medel ± 2 s	13,8 ± 2,4	10,0 ± 1,6	44,2 ± 6,8
Avvikande lab. nr.	28 och 33	(ev 12) och 27	1

Avviker man med två eller mer standardavvikelser från medelvärdet kanske man ändå inte är en outlier i statistisk mening.

Med hjälp av Excelverktyg på VTI (Viman) har data analyserats för att fånga upp avvikande resultat, s.k. outliers och tveksamma som avvikande som s.k. stragglers. Verktyget kollar outliers enligt Mandels, Cochrans och Grubbs test, se även Bilaga 4. Vilka deltagare som fångas upp som outliers redovisas i Tabell 5, stragglers anges inom parentes (). Då deltagarna endast utfört enkelprov kan analys av spridning inom laboratoriet inte göras, till exempel Mandels k.

Tabell 5. Outliers för respektive analys och statistikmetod. (Stragglers inom parentes,)

Metod	**Material D**	**Material F**	**Material Ö**
Mandels, h, mellan lab	(28 och 33)	(12) **27**	**1** (38)
Mandels, k, inom lab	-	-	-
Cochrans, mellan lab,			
Grubbs, extrema variationer			

Medelvärden och standardavvikelser påverkas minimalt med eller utan outliers. Därför tas inga värden bort från medelvärdesberäkningar och spridningsmått (standardavvikelse).

2.2.3. Precisionsdata

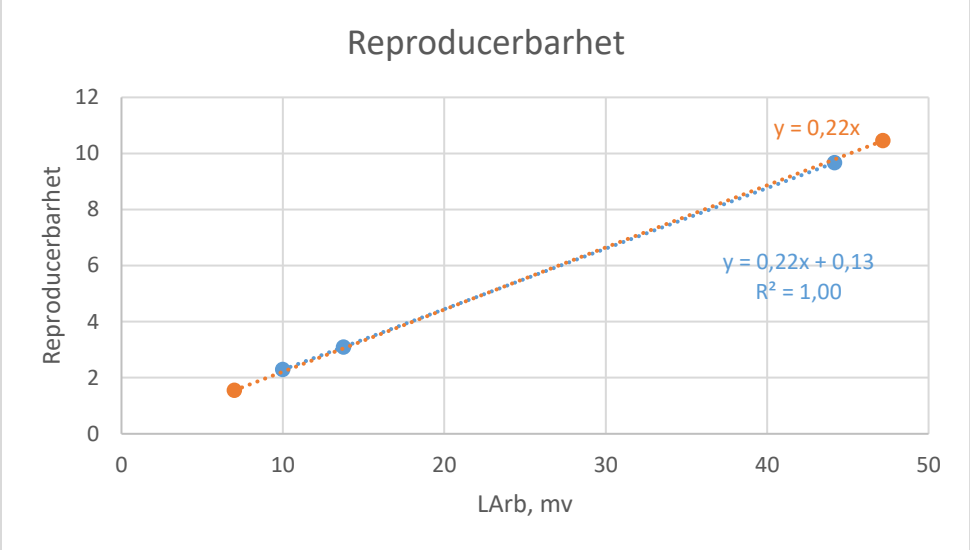
Precisionsdata i form av repeterbarheten går ej att beräkna då provningarna hos deltagarna har utförts som enkelprov. Reproducerbarheten, R, beräknas här som $2\sqrt{2}$ x standardavvikelsen (2,83*s).

Precisionsdata i form reproducerbarhet för LA_{RB} från denna jämförande provning redovisas i Tabell 6. Standardavvikelsen och därmed även Reproducerbarheten, R, har ett (klart) linjärt förhållande till medelvärdet (Figur 6), vilket ger:
$R = 0{,}22\ LA_{RB}$.

Standarden (SS-EN 1097-2:2020) saknar precisionsdata för Los Angeles på järnvägsmakadam (men för LA på fraktion 10-14 mm är R=0,17 LA).

Tabell 6. Precisionsdata för Los Angeles på järnvägsmakadam

	Material D	**Material F**	**Material Ö**
Medelvärde	13,8	10,0	44,2
Standardavvikelse	1,1	0,8	3,4
Repeterbarhet, r	-	-	-
Reproducerbarhet, R	**3,1**	**2,3**	**9,7**
Antal	40	40	40



Figur 6. Reproducerbarhet för LA_{RB}. Blå variabel är data från varje enskilt material. Orange linje är ett generaliserat samband ($R=0{,}22\ LA_{RB}$).

2.3. Effekter av variationer

Utvärdering av variation av utrustning och handhavande.

2.3.1. Utrustning

Utrustningarna varierar i huvudsak inom standardens toleranser vad gäller dimensioner och vikt. För utrustningarna är det 9 olika angivna fabrikaten där nästan hälften angivit Matest.

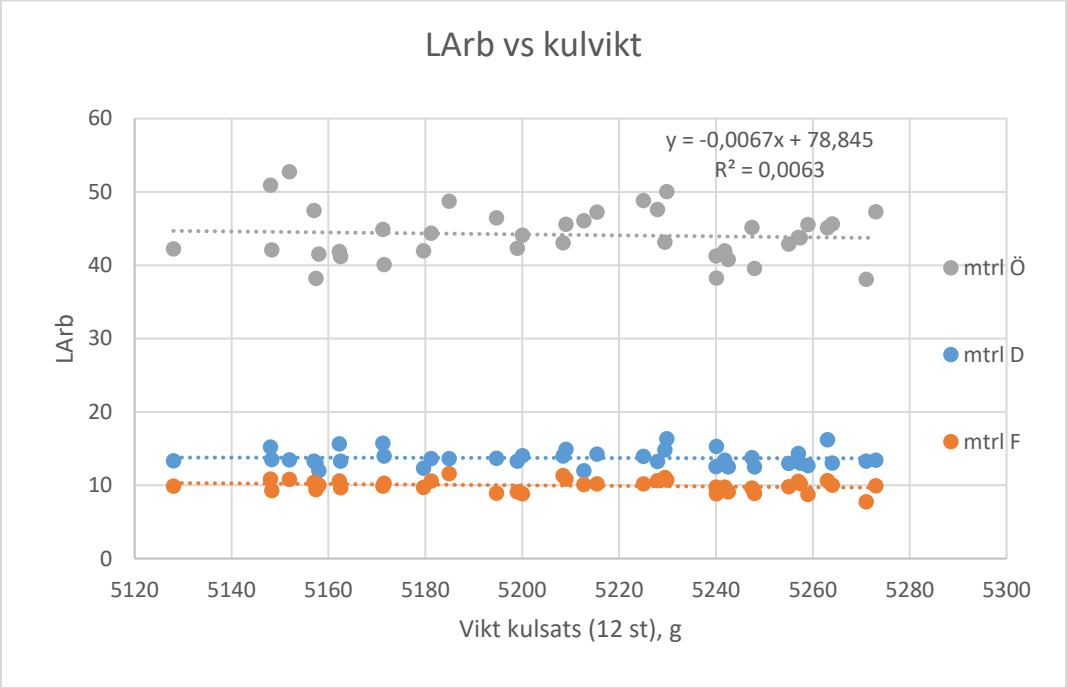
Kulvariationer

Som vikt av kulsatsen (12 kulor) är samtliga angivna i spannet 5128-5273 g (kravet är 5120-5300 g; dvs. OK) förutom en felskrivning för 11 kulor. Kulvikt inom toleransen påverkar inte resultatet (för LA_{RB}), se Figur 7.

Diameter, angivna i spannet 47-47,6, påverkar inte resultatet. Kuldensitet, angivet i spannet 7,71-8,04 Mg/m³, visar inte heller på någon påverkan.

Av de 24 som angivit kulhårdhet anger samtliga hårdhet HRC 60-67 (HRC 60-67, HRC 60-66 eller HRC 64).

Som kulfabrikat anges Matest, 12 st, Nycander, 7 st, SKF, 4 st, CMH Ltd. 2 st och en (1) anger Aisi. Fjorton deltagare är osäkra eller har inte svarat.



Figur 7. Påverkan av kulsatsens vikt på LA_{RB}. Exempel på ekvation och R^2 för material Ö.

Trummans variationer

För trumman är samtliga dimensioner och varvtal inom toleranser. Inget av dessa förefaller att påverka resultatet för LA_{RB}.

Angivna fabrikat är Matest 19 st., Infratest, 6 st., Controls, 4 st, och Fröwag 2 st. samt 5 andra fabrikat. Fyra har inte svarat eller med ”?”.

Som underlag för trumman har 35 st. angivit betong/betonggolv och övriga stål (balkar/ram) samt enstaka trä och Leca. De som inte har angivit betong är för få för att studera statistiskt.

Angivna hastigheter för trummans rotation varierar inom standardens toleranser; 31–33 varv/minut. Tiden det tar för 1000 varv är naturligtvis sammankopplad med rotationshastigheten, angivna tider varierar i spannet 30:00–32:53 (mm:ss) med medelvärdet 31:22. Tid/hastighet påverkar inte resultaten.

Hantering av materialet efter trumman

Metoden säger för LA_{RB}:

- dela materialet vid lämplig sikt (t.ex. 8 eller 16 mm)
- Tvätta den grova fraktionen (>8 eller >16) och torka
- Sikta den fina delen så mycket det går på 1,6 mm, tvätta och torka
- När delarna svalnat slå ihop dem, som material >1,6.

För LA (utan $_{RB}$): sikta på 1,6 med skyddssikt(ar) enligt 933-1; tvätta, torka och väg. Praxis i Sverige är inte sällan att man (ibland) handsiktar bort det mesta av finmaterialet (”försiktning”), tvättar, torkar och siktar enligt 933-1 med skakapparat (”eftersiktning”).

I vilken omfattning deltagarna försiktar, tvättar och eftersiktar anges i Tabell 7.

Tabell 7. Efterbehandling av provmaterial

	Försiktning	Tvättning	Eftersiktning
ja	-	34	-
nej	4	6	10
maskinell	23	-	27
manuell	13	-	3

Tre deltagare tvättar inte och siktar ”bara” en gång, dvs. utför endast ett eftermoment. Tre deltagare är egentligen för få (3 st) för att räkna statistik. I Tabell 8 redovisas hur antalet eftermoment eventuellt påverkar medelvärde och standardavvikelse. Vid analys av hur kombinationer av eftermoment (*manuell/maskinell för-/eftersikting och med/utan tvätt*) har inverkan är det svårt att påvisa någon tydlig effekt.

Tabell 8. Påverkan på resultatet beroende på antalet eftermoment som utförts.

	Alla	Försikt, tvätt och eftersikt (3 moment)	2 eftermoment	1 eftermoment
Medel LA_{RB}, 3 mtrl	22,5	22,4	22,8	23,5
Standardavv., 3 mtrl	1,8	1,8	1,8	0,9
Antal	40	23	14	3

Erfarenhet och kvalitetssystem

Det är snarlika resultat oavsett erfarenhet. ”Första gången” (2 st) är egentligen för få för att räkna statistik. Resultatet för medelvärdet liksom spridning (standardavvikelse) minskar generellt med ökad erfarenhet. Se Tabell 9. Att spridningarna minskar med ökad erfarenhet/vana är vad man önskar/förväntar sig.

Tabell 9. Erfarenhetens påverkan på resultatet.

	Alla	Första gången	<1 per år	1–10 per år	10–30 per år	>30 per år
Medel LA_{RB}, 3 mtrl	22,5	22,9	22,9	22,8	22,6	22,1
Standardavv.,3 mtrl	1,8	0,3	1,7	1,8	2,2	1,3
Antal	40	2	6	15	7	10

Kvalitet

De som har LA_{RB} som ackrediterad metod, 35 av 40 deltagande laboratorier får snarlika resultat som allas medel för medel och standardavvikelse. De övriga (få) får i snitt lite högre resultat men lite mindre spridning. Se Tabell 10.

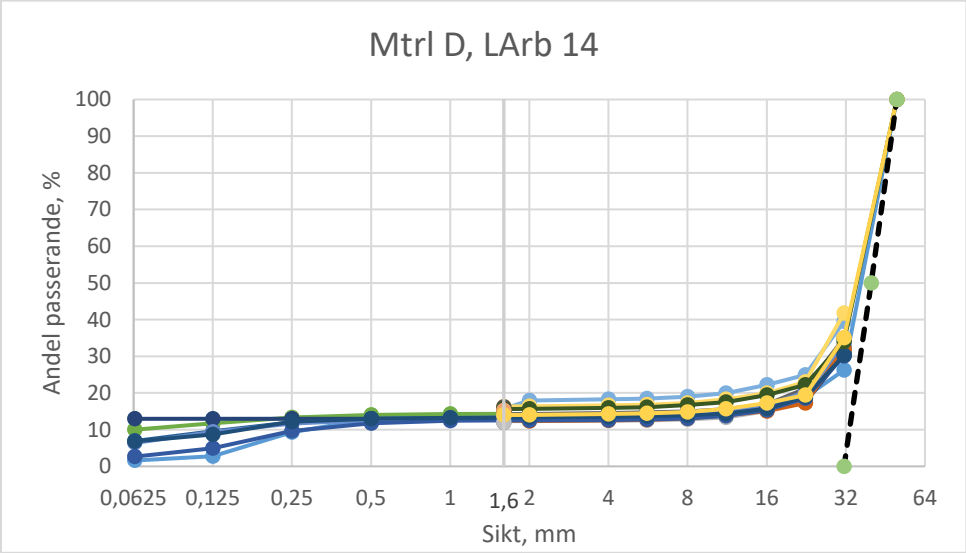
Tabell 10. Påverkan av kvalitetssystem, ackreditering.

	Alla	Ackr LA_{RB}	Ej ackr
Medel LA_{RB}, 3 mtrl	22,5	22,5	23,3
Standardavv., 3 mtrl	1,8	1,8	1,5
Antal	40	35	5

2.3.2. Kornstorleksfördelning

På svarsblanketten fanns möjlighet att ange vikter för samtliga siktar i en typ ”normal” siktserie med siktar från 31,5 mm ned till 0,063 mm, inklusive 1,6 mm. Kornstorleksfördelning efter LA-trumman redovisa för material D i Figur 8, för material F och Ö i Figur 17 och Figur 18 i Bilaga 3. Kornstorleksfördelningen har inte använts för att utvärdera resultat för LA_{RB} eller statistik.

Generellt så planar samtliga materials kornkurvor ut från sikt 16 mm eller 8 mm och nedåt, vilket innebär att det finns väldigt lite material i det spannet som är ett tecken på att det är mer nötning än krossning/fragmentering när man testar Los Angeles på järnvägsmakadam.



Figur 8. Material D. Kornstorleksfördelning angivna av deltagarna. Svart streckad linje anger analysfraktion (31,5–50 mm) före test.

2.4. Kommentarer

Laboratorierna/deltagarna har kunnat ange fritextskommentarer. Här sammanfattas några av dem

- överlast på siktar finare än 1,6 mm, *som inte påverkar* $LA_{RB.}$
- materialens färg (*mtrl D: rött; mtrl F: fina stenar och grått samt mtrl Ö: gulrosa*).
- materialkvalitet (*mtrl Ö; dammar och är spröd/kraftig fragmentering*)
- förtydligande om efterbehandling
- enstaka missöden (*som inte har påverkat resultaten*).

3. Sandekvivalent

I detta kapitel presenteras grundläggande resultat, utvärdering med djupare statistisk analys samt undersökning av hur eventuella variationer i utrustning och utförande påverkar resultatet.

3.1. Grundläggande resultat

Här presenteras statistik för ringanalysen och resultat för respektive laboratorium för sandekvivalent enligt SS-EN 933-8, både för version 1999, med beteckning SE och version 2012/A1:2015 med beteckning SE(10).

De förberedda proverna levererades i påsar och benämns i resultatredovisningen (ibland) som ”påse”. Originalsorteringarna levererades i provkartong och benämns i resultatredovisningen (ibland) som ”kartong”.

Här redovisas resultaten för uppslamning enligt provningsstandarden (SS-EN 933-8).

Materialen Morän och Stenmjöl presenteras i varsitt kapitel (3.1.1 och 3.1.2)

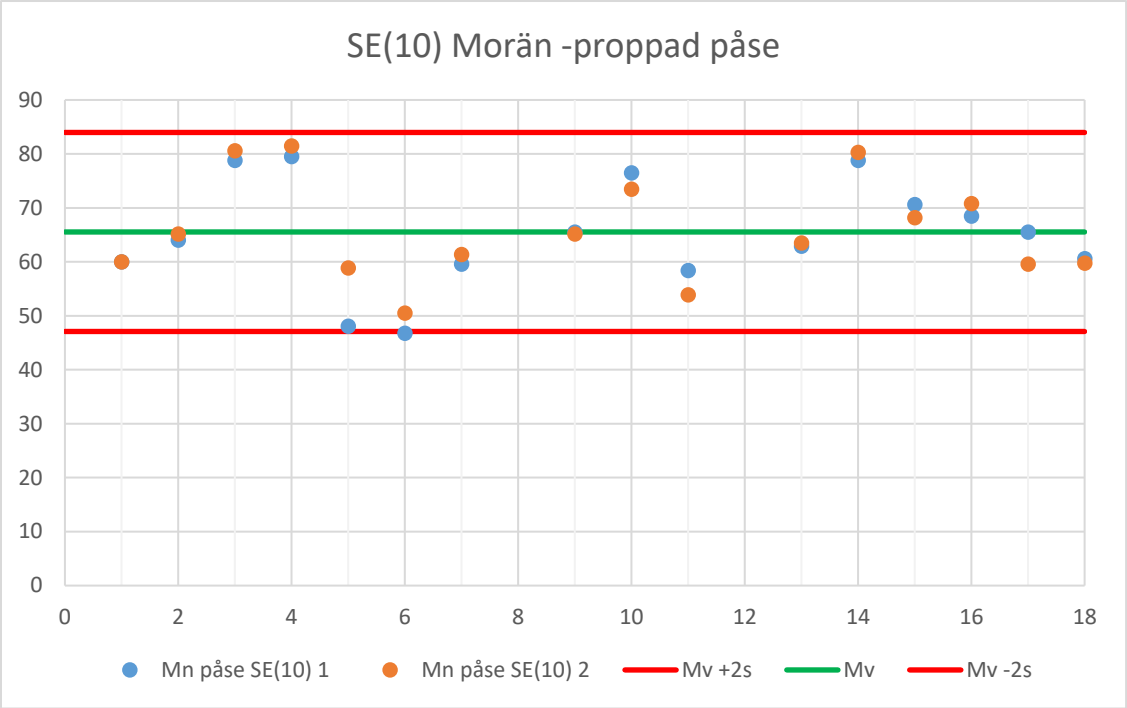
3.1.1. Morän

Statistik för deltagarnas sammanvägda resultat för moränmaterialet med analys enligt båda versionerna samt för både förberedda och laboratorieberedda prover, inklusive eventuella outliers, redovisas i Tabell 11. Där redovisas också laboratoriernas finmaterialhalt (innan proportionering). Laboratoriernas medelvärden och individuella resultat redovisas för ”SE(10) i påse” i Figur 9. Övriga parametrar finns redovisade i Bilaga 3, i Figur 19 till Figur 22.

Tabell 11. Statistiska data för sandekvivalent på morän.

	SE, påse	SE(10), påse	SE, kartong	SE(10), kartong	Finmaterialhalt, kartong
Max	43,60	80,50	33,40	76,00	36,70
Medel + 2s	45,11	83,97	34,16	81,14	38,40
Medel	**32,21**	**65,53**	**24,94**	**56,63**	**31,15**
Medel - 2s	19,31	47,09	15,72	32,11	23,90
Min	21,75	48,65	20,20	36,20	24,20
stdav	6,45	9,22	4,61	12,26	3,63
stdav/medel	20,0 %	14,1 %	18,5 %	21,6 %	11,6 %
Antal	15	16	6	16	15

Medel = medelvärde; s eller stdav = standardavvikelse (funktion STDAV.P i Excel).



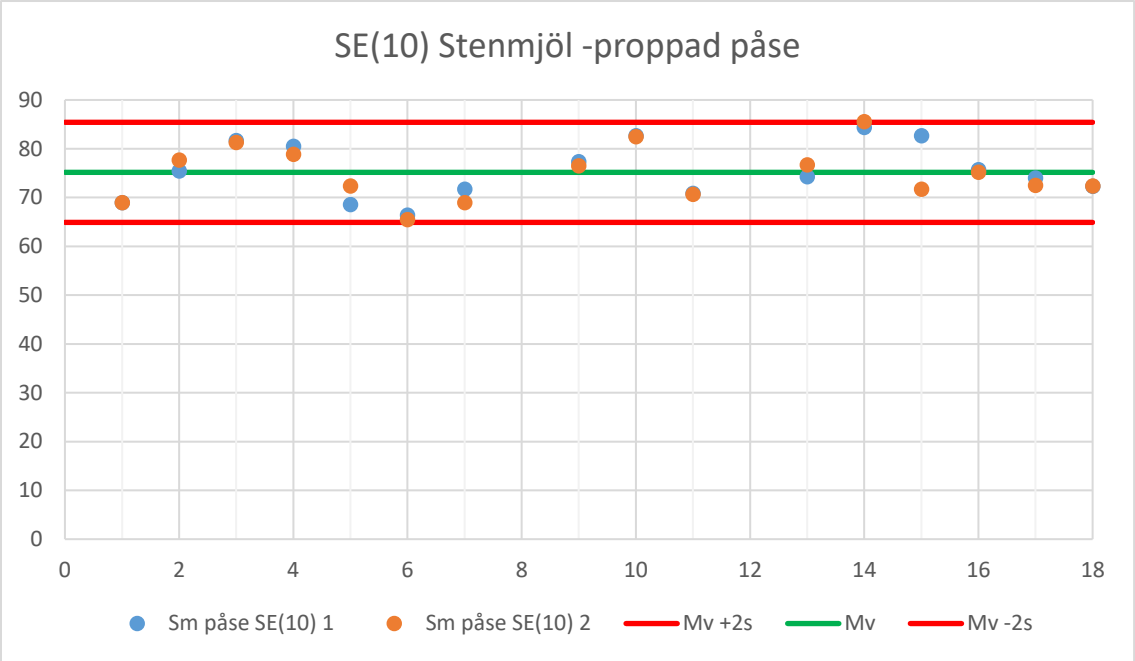
Figur 9. Förberett prov morän. Individuella resultat för SE(10) med medelvärde och standardavvikelse.

3.1.2. Stenmjöl

Statistik för deltagarnas sammanvägda resultat för stenmjölet med analys enligt båda versionerna samt för både förberedda och laboratorieberedda prover, inklusive eventuella outliers, redovisas i Tabell 11. Där redovisas också laboratoriernas finmaterialhalt (innan proportionering). Laboratoriernas medelvärden och individuella resultat redovisas för SE(10) i påse i Figur 10. Övriga parametrar finns redovisade i Bilaga 3, i Figur 23 till Figur *26*.

Tabell 12. Statistiska data för sandekvivalent på stenmjöl.

	SE, påse	SE(10), påse	SE, kartong	SE(10), kartong	Finmaterialhalt, kartong
Max	77,75	85,00	74,45	80,60	20,20
Medel + 2s	77,35	85,42	76,78	82,85	19,70
Medel	**66,06**	**75,17**	**62,61**	**71,91**	**17,38**
Medel - 2s	54,77	64,91	48,45	60,97	15,06
Min	55,80	65,95	54,80	63,65	15,18
stdav	5,65	5,13	7,08	5,47	1,16
stdav/medel	8,5 %	6,8 %	11,3 %	7,6 %	6,7 %
Antal	16	16	7	16	15



Figur 10. Förberett prov stenmjöl. Individuella resultat för SE(10) med medelvärde och standardavvikelse.

3.2. Utvärdering

Här redovisas djupare utvärdering och viss diskussion i anslutning till resultaten.

3.2.1. Relativ spridning

Den allmänna spridningen, som standardavvikelse eller skillnad mellan maximum- och minimivärden, i denna ringanalys är relativt stor. Den relativa spridningen, det vill säga standardavvikelsen i förhållande till medelvärdet (variationskoefficienten), är sammanvägt för de båda materialen ca 14 % (ca 19 % för moränen och ca 9 % för stenmjölet), Tabell 11 och Tabell 12.

3.2.2. Outliers

En **outlier** (eller avvikande observation) är en datapunkt som skiljer sig markant från övriga datapunkter i ett dataset. Den kan vara mycket högre eller lägre än de andra värdena och kan påverka analysen och resultaten. Outliers kan uppstå på grund av mätfel, ovanliga förhållanden eller naturliga variationer. Beskrivning av de olika varianterna för att bedöma ”outliers” finns i Bilaga 4.

I denna ringanalys är det endast ett laboratorium som avviker, om än knappt, med mer än två standardavvikelser från medelvärdet i en av standardvarianterna; laboratorium nr 4 för SE på material i preparerade påsar på stenmjölet. *Statistiskt brukar en av 20 avvika med mer än 2 standardavvikelser. Att det är så få denna gång beror (nog) tyvärr på de stora spridningar som ger stora marginaler.*

Avviker man med två eller mer standardavvikelser från medelvärdet kanske man ändå inte är en outlier i statistisk mening.

Med hjälp av Excelverktyg på VTI (Viman) har data analyserats för att fånga upp avvikande resultat, så kallade outliers och tveksamma men avvikande som outlier, så kallade stragglers. Där framgår outliers enligt Mandels, Cochrans och Grubbs test, se även Bilaga 4. Vilka deltagare som fångas upp som outliers redovisas i Tabell 5, stragglers anges inom parentes (). Deltagarna

dubbelprov (vilket är en förenkling) har använts för att studera spridning inom laboratoriet, t.ex. Mandels k.

Tabell 13. Outliers för Morän för respektive analys och statistikmetod. (Stragglers inom parentes.)

Metod	SE, påse	SE(10), påse	SE, kartong	SE(10), kartong
Mandels, h, mellan lab.	-	-	(4)	-
Mandels, k, inom lab.	-	5	4	(10)
Cochrans, mellan lab.	-	5	4	-
Grubbs, extrema variationer	-	-	-	-

Tabell 14. Outliers för Stenmjöl för respektive analys och statistikmetod. (Stragglers inom parentes)

Metod	SE, påse	SE(10), påse	SE, kartong	SE(10), kartong
Mandels, h, mellan lab.	(3)	-	-	-
Mandels, k, inom lab.	13 (7 och 12)	14	16	(2)
Cochrans, mellan lab.	(13)	14	(16)	-
Grubbs, extrema variationer	-	-	-	-

Medelvärden och standardavvikelser påverkas till viss del med eller utan outliers. Påverkan är dock inte tillräcklig för att bort värden från medelvärdesberäkningar och spridningsmått (standardavvikelse) i avsnitt 3.1.

3.2.3. Precisionsdata

Precisionsdata i form av repeterbarheten, r och reproducerbarheten, R, beräknas här. För beräkning av precisionsdata har VTIs Excelverktyg (Viman), som bygger på SS-ISO 5725-2, använts. Resultat från deltagarnas dubbelprov har använts för att beräkna repeterbarheten.

I standarden för sandekvivalent, SS-EN 933-8:2012+A1:2015, saknas precisionsdata (att jämföra med).

Det blir viss skillnad, förbättring, på precisionsdata om outliers stryks. Precisionsdata för morän redovisas i Tabell 15 och för stenmjöl i Tabell 16.

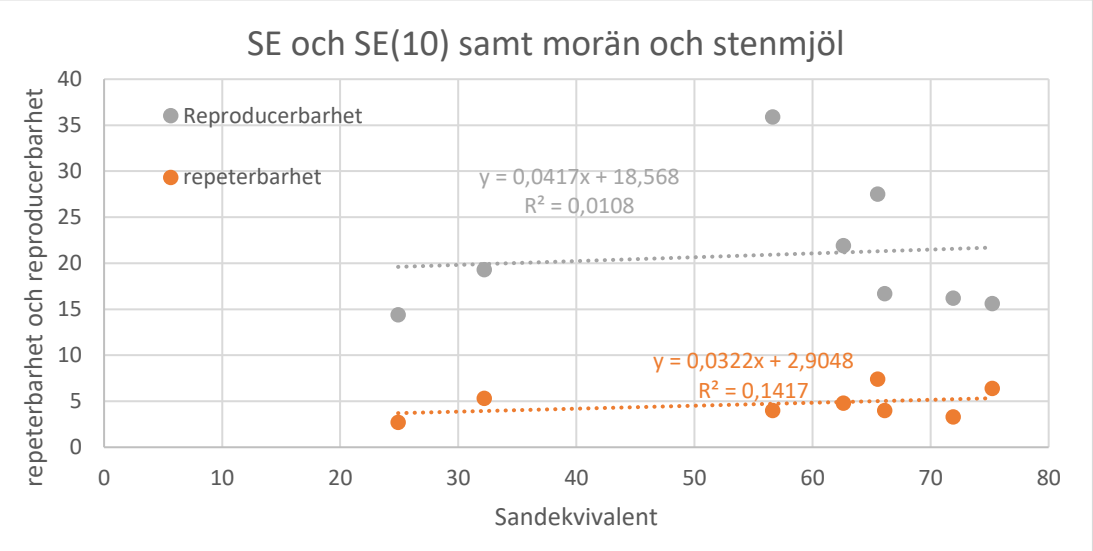
Tabell 15. Precisionsdata för morän

	SE, påse	SE(10), påse	SE, kartong	SE(10), kartong
Medelvärde	32,2	66,3	25,7	56,6
Standardavvikelse	6,8	9,4	5,3	12,7
Repeterbarhet, r	**5,3**	**5,3**	**2,9**	**4,0**
Reproducerbarhet, R	**19,3**	**26,5**	**15,0**	**35,9**
Antal	15	15	5	16
Borttagen outlier		5	4	

Tabell 16. Precisionsdata för stenmjöl

	SE, påse	SE(10), påse	SE, kartong	SE(10), kartong
Medelvärde	65,6	75,0	61,7	71,9
Standardavvikelse	5,7	5,5	8,0	5,7
Repeterbarhet, r	**3,4**	**3,3**	**3,3**	**3,3**
Reproducerbarhet, R	**16,2**	**15,6**	**22,7**	**16,2**
Antal	16	15	6	16
Borttagen outlier	13	14	16	

Sammantagen precision är svår att framställa. Man kan grovt säga att repeterbarheten är cirka 5 och reproducerbarheten är cirka 20, vilket kan illustreras med ”trendlinjen” i Figur 11. För moränproverna är det mer svårtytt, vilket bland annat kan bero på otydlig front för flockuleringsgränsen (h_1). För stenmjölet hamnar man generellt på repeterbarhet, r=3,3 och reproducerbarhet, R=17,7 (för både SE och SE(10) samt för för- och laboratorieprepararet prov).



Figur 11. Repeterbarhet, r, och reproducerbarhet, R, för SE och SE(10) samt båda materialen.

Ringanalys på sandekvivalent har tidigare genomförts 2012, Arvidsson & Viman. Då analyserades tre material i sortering 0/2 mm (eller 0/4 mm) med ursprung från krossat berg

(”stenmjöl”). Den gången utförde deltagarna provprepareringen själva, vilket motsvarar ”kartongproverna” i denna ringanalys. Repeterbarhet och reproducerbarhet är i stort sett jämförbara mellan 2012 och 2024, se Tabell 17.

Tabell 17. Jämförelse för precisionsdata mellan 2012 och 2024 för SE och SE(10).

Variant och år	Medelvärde	Repeterbarhet, r	Reproducerbarhet, R
SE, 2012	51	5,5	26,7
SE, 2024	62	3,3	22,7
SE(10), 2012	66	3,7	16,9
SE(10), 2024	72	3,3	16,2

3.3. Effekter av variationer

Hur variationer av valmöjligheter, versioner och alternativt utförande påverkar respektive resultat redovisas i detta stycke.

3.3.1. Alternativ uppslamning (enligt Larsan)

Vid jämförelse med uppslamning enligt den förenklade Larsan-metoden och uppslamning enligt standarden med tvättrör får man generellt något lägre värden och något mindre spridningar, se Tabell 18.

Att spridningarna blir lägre kan ju bero på att operatörsberoendet minskar och att resultaten (SE/SE(10)) minskar beror på effektivare tvättning/uppslamning. Ju mer finmaterial man frigör, slammar upp desto högre slamnivå, h_l, och därmed lägre sandekvivalentvärde.

Tabell 18. Jämförelse mellan uppslamning enlig standard och uppslamning enligt ”Larsan”.

	SE, standard	SE, Larsan	SE(10) standard	SE(10), Larsan
Morän, påse	Medelv **32** Stdavv 6,5 Antal 15	Medelv **30** Stdavv 6,4 Antal 15	Medelv **66** Stdavv 9,2 Antal 16	Medelv **62** Stdavv 8,8 Antal15
Morän, kartong	Medelv **25** Stdavv 4,6 Antal 6	Medelv **27** Stdavv 3,6 Antal 6	Medelv **57** Stdavv 12,3 Antal 16	Medelv **53** Stdavv 11,1 Antal 14
Stenmjöl, påse	Medelv **66** Stdavv 5,7 Antal 16	Medelv **66** Stdavv 5,3 Antal 15	Medelv **75** Stdavv 5,1 Antal 16	Medelv **71** Stdavv 4,6 Antal 15
Stenmjöl, kartong	Medelv **63** Stdavv 7,1 Antal 7	Medelv **65** Stdavv 6,0 Antal 7	Medelv **72** Stdavv 5,5 Antal 16	Medelv **67** Stdavv 5,7 Antal 15

Resultaten för sandekvivalent, blir ca 10 % lägre med alternativ uppslamning.

Vid regressionsanalys av medelvärdena (Medelv) från Tabell 18 får man att:

$Sandekv_{Larsan} = 0{,}93\ Sandekv_{standard} + 2{,}6$, med $R^2=0{,}98$

där

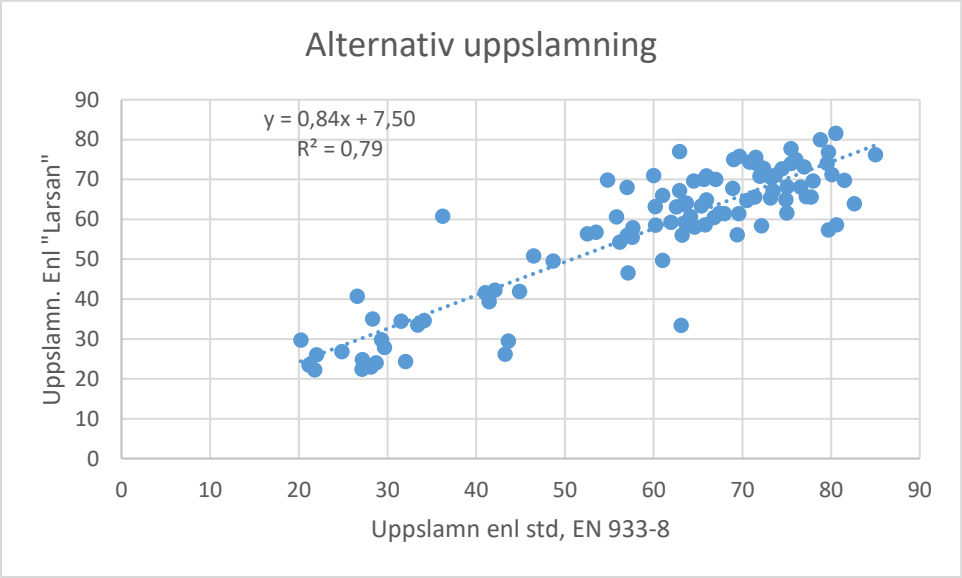
$Sandekv_{Larsan}$ är sandekvivalent med förenklad uppslamning, och

$Sandekv_{standard}$ är sandekvivalent med uppslamning enligt standard.

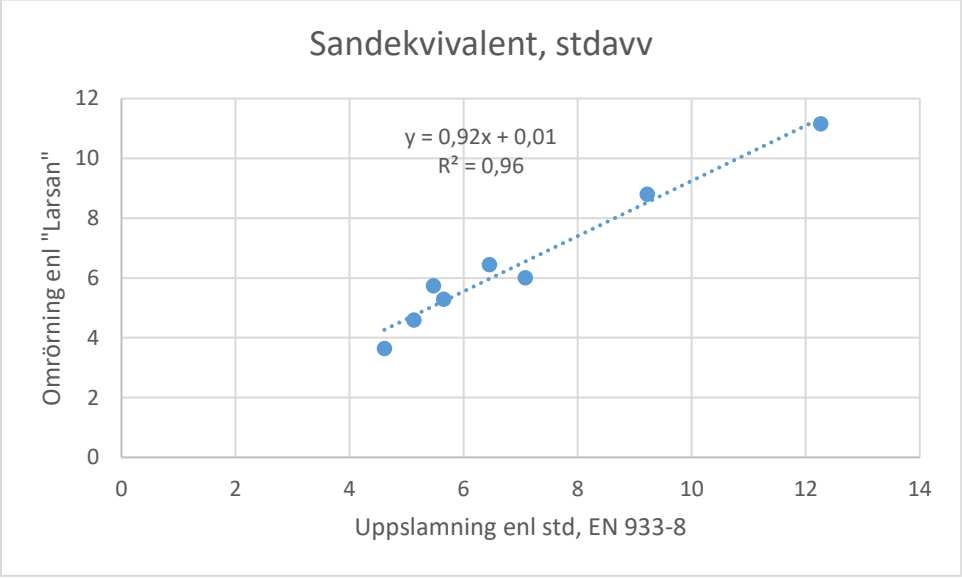
Ser man på sambandet för enskilda resultat får man ett något sämre samband (Figur 12):

$Sandekv_{Larsan} = 0{,}84\ Sandekv_{standard} + 7{,}5$, med $R^2=0{,}79$.

Spridningarna, i form av standardavvikelsen (Stdavv) från Tabell 18 blir 7 % lägre (Figur 13).



Figur 12. Jämförelse mellan uppslamning enligt Larsan och standarden, alla enskilda värden.



Figur 13. Jämförelse mellan standardavvikelse för uppslamning enligt Larsan och enligt standarden.

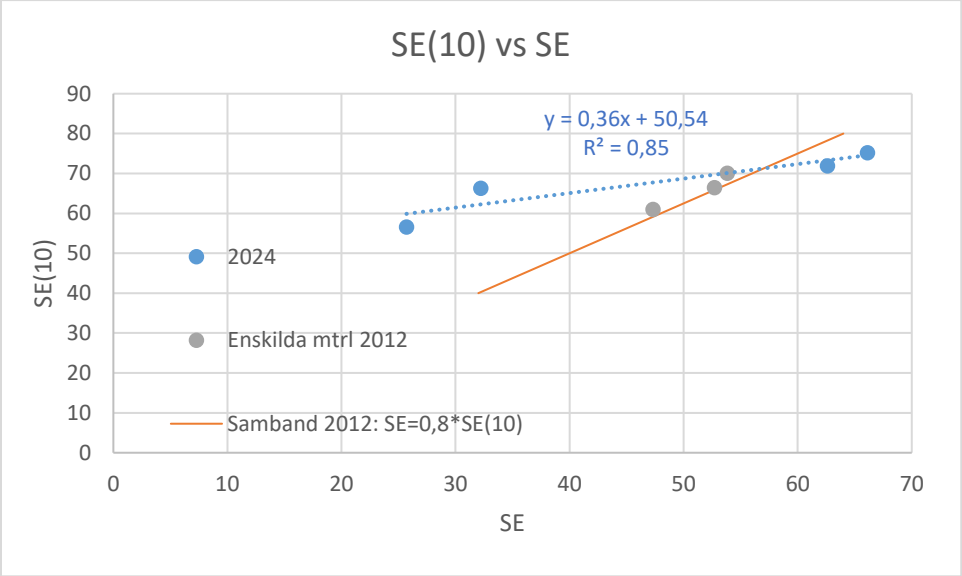
3.3.2. Samband mellan SE(10) och SE

I detta avsnitt redovisas samband mellan version 2012+A1:2015, SE(10) och version 1999, SE. Redovisningen sker dels med regression, dels enligt en fransk beräkningsmodell.

Regression

Jämför man de båda varianterna (versionerna) av sandekvivalent med varandra med regressionsanalys (i Excel) får man ett visst (tydligt) samband R^2 =0,85, Figur 14.

Lägger man till data från ringanalysen 2012 får man R^2 =0,71 (och en snarlik ekvationen SE(10) = 0,36 SE+49).



Figur 14. Samband mellan SE(10) och SE. Trendlinje (blå prickad) och ekvation är från ringanalys 2024.

Fransk beräkningsmodell

Tar man hänsyn till finmaterialhalten enligt en fransk beräkningsmodell, Broms, får man en bra överensstämmelse mellan SE(10) och SE.

Detta skulle kunna vara användbart om man har eller utför sandekvivalent enligt den ena version och man har eller beräknar finmaterialhalt (utifrån kornkurva på hela materialet) och vill beräkna den andra SE-versionen.

SE(10)-värdet enligt den franska *SE*-modellen, $SE(10)_{FM}$, kan beräknas enligt följande formel:

$$SE(10)_{FM} = 90/[1 + 10(100 - f)/(SE \times f) - 10/f]$$

där

$SE(10)_{FM}$ = *SE*-värdet för analysprovet 0–2 mm med korrigerad finmaterialhalt = 10 %;

SE = *SE*-värdet för ursprungligt analysprov 0–2 mm med aktuell finmaterialhalt *f*;

f = det ursprungliga analysprovets aktuella finmaterialhalt i procent (%).

I Tabell 19 redovisas beräknade $SE(10)_{FM}$-värden, baserade på medelvärdena för *SE*- och *f*-parametrarna från denna ringanalys. Värdena på nedersta raden i tabellen kan jämföras med de provningsbestämda *SE*(10)-värdena på raden ovanför.

För materialen i denna ringanalys är det en liten skillnad för stenmjöl medan det för moränen är det i princip ingen skillnad.

Tabell 19. Jämförelse av uppmätta SE(10)-värden och beräknade värden med utgångspunkt i SE-värden och finmaterialhalt.

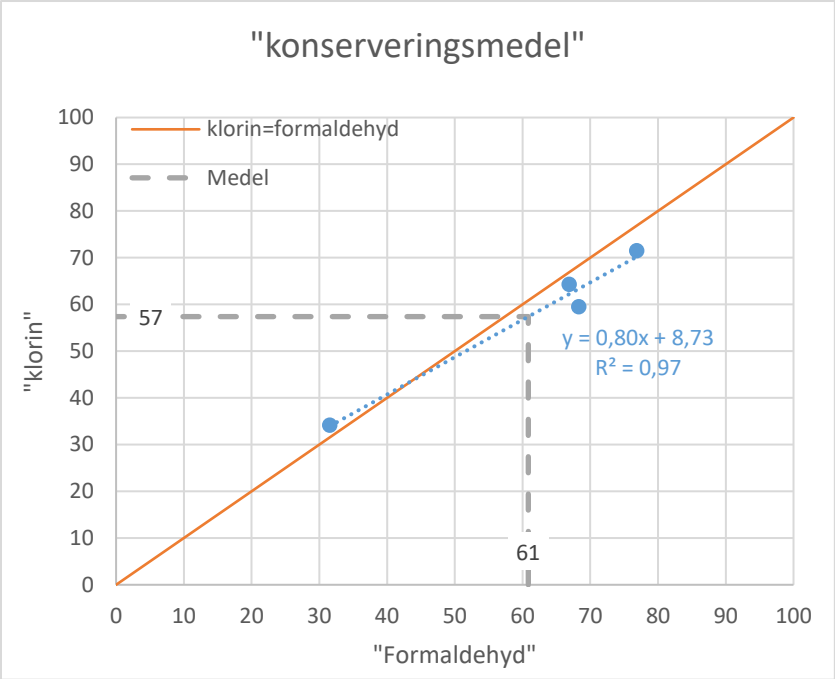
Parameter	**Morän, uppslamning enligt standard**	**Morän, förenklad uppslamning (Larsan)**	**Stenmjöl, uppslamning enligt standard**	**Stenmjöl, förenklad uppslamning (Larsan)**
Antal labb	13	14	14	14
SE	32,1	29,8	66,1	66,0
f - %	31,7	31,7	17,4	17,4
SE(10)	66,6	63,3	75,8	71,0
$SE(10)_{FM}$	66,4	63,9	78,7	78,6

3.3.3. Andra påverkansfaktorer

Här anges några andra egenskaper som laboratorierna angivit och huruvida de påverkar resultat och spridningar.

Formaldehyd/klorin

Man kan använda formaldehyd eller natriumhypoklorit (Klorin) som konserveringsmedel i flockuleringsvätskan. Generellt ger klorin lägre sandekvivalentvärden, upp till nio enheter för proportionerade moränprover för SE(10), men för morän och SE ger den tre enheter högre. Sammanvägt medelvärde för formaldehyd ger 61 och för klorin 57. Se även Figur 15.



Figur 15. Jämförelse mellan formaldehyd och natruimhypoklorit (klorin).

Erfarenhet

Deltagarna har kunnat ange erfarenhet i vissa spann; de kan beskrivas som ”1:a gången”, en gång var tredje år, en gång var femte år, 1–10 analyser per år, 11–30/år och >30/år. Hur deltagarna fördelar sig med vanan/erfarenheten redovisas i Tabell 20. De som klassats som outliers (i Tabell 13och Tabell 14) finns inte bland de som har ingen eller liten erfarenhet (ett test var tredje år eller mer sällan).

Tabell 20. Hur ofta deltagarna utför sandekvivalent.

Frekvens	SE	SE(10)
1:a gången	3	1
1/5 år	3	0
1/3år	3	4
1-10/år	4	5
11-30/år	3	5
>30/år	0	1

Kvalitetssystem

De flesta laboratorierna har angivit något kvalitetssystem (15 st. av 16) och tio deltagare har angivit ackreditering. De som anger ”annat” kvalitetssystem får något högre medelvärden för till exempel proportionerade SE(10)-prover än de som angivit ”ackreditering” men de har även något mindre spridningar, Tabell 21.

Tabell 21. Inverkan av kvalitetssystem.

Material	Morän	Morän	Stenmjöl	Stenmjöl
Kvalitetssystem	Ackreditering	Annat	Ackreditering	Annat
Medelvärde, SE(10)	64	67	74	77
Standardavvikelse	10,4	6,7	5,4	4,7
Antal	10	5	10	5

3.4. Kommentarer

Laboratorierna/deltagarna har kunnat ange fritextskommentarer.

Kommentarerna framgår nedan:

- Svårt att se ”flockuleringsgränsen” för morän främst för version SE har flera angivit.
- För stora skillnader mellan delprov från ett par deltagare. (*Vid alternativ uppslamning. För få påsar för omprov*.)
- Enkelprov för lågprioriterad variant pga. slut på brukslösning.
- Provet var fortfarande grumligt efter 20 min och värdet ändrade sig efter att det fick stå en stund till.
- Lite svårt att få ut allt material ur påsen. Olika prioritetsordning på bifogat infoblad (Info-flik) och Resultatflik
- Ingen tidigare erfarenhet av morän material
- Neddelning skedde med liten neddelningsapparat. Väldigt torrt material så risk för att mycket finmaterial dammat bort i neddelning och siktning. Mycket finmaterial fastnade i kartongen, kanske en annan typ av förpackning vid nästa tillfälle(?). Alla tester utfördes av samma person
- Går inte att urskilja SE mot SE10 i labprogrammet, men i princip så efterfrågas bara SE, i vissa få fall
- Ackrediterat lab men ej ackrediterad för sandekvivalent.
- Laboratoriet anskaffet sandekvivalentutstyr for få år siden for bruk i en masteroppgave. Ved gjennomføring av ringanalysen ble den tidligere masterstudenten benyttet til opplæring av ny laborant. I Norge stilles det ikke krav til SE-metoden, så metoden utføres ikke fast ved laboratoriet.
- Morän mer svårmätt jämfört med bergkross. Inte lika tydlig sedimentation.

4. Diskussion och slutsatser

Generellt är det få deltagare/laboratorier som avviker från övriga för de metoder och material som redovisas i denna rapport. Det är heller inga större variationer i resultat för de parametrar som efterfrågats (i frågeformulär, Bilaga 1).

4.1. Los Angeles på järnvägsmakadam

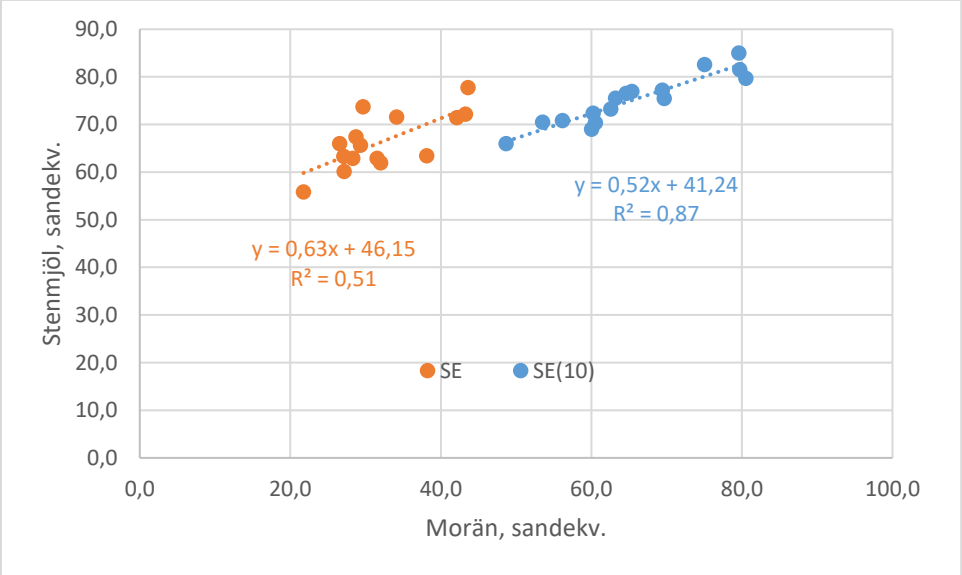
Det är endast enstaka deltagare som redovisar avvikande resultat (outliers) för varje material, det är också olika outliers för varje material. Variationskoefficienten (standardavvikelsen relativt medelvärdet) är ca 8 % för samtliga material.

4.2. Sandekvivalent

En sammanvägd variationskoefficient är cirka 14 %. för moränförsöken cirka 19 % och för stenmjölet cirka 9 %.

I princip är det ingen som avviker med mer än 2 standardavvikelser. Enstaka klassas som outlier per material och variant.

Det finns en viss konsekvens i deltagarnas resultat. Om de får högre värden på moränproverna får de det också för stenmjölet, och det är tydligast för SE(10), Figur 16.



Figur 16. Jämförelse mellan materialen i proportionerade påsar för respektive metodversion.

4.3. Deltagarnas bedömning av det egna resultatet

Varje deltagare bör se över sina resultat jämfört medelvärde och standardavvikelse. Jämför med inskickade värden eller försök läsa ut era resultat ur diagrammen.

Vid (större) avvikelser bör laboratoriet se över handhavande, utrustning och rådata. Om material finns kvar kan man göra om sina analyser. Felaktigheter eller nya (bättre) resultat kan gärna meddelas arrangören tillsammans med orsaken.

Bedömning av resultat ska dokumenteras (för deltagarnas eget kvalitetsarbete och bl.a. för ackreditering).

Tyvärr saknas restmaterial för LA_{RB} hos VTI för eventuella omprov. För sandekvivalent finns några prover kvar.

Referenser

Arvidsson, H och Viman, L 2012 Jämförande provning utförd under 2012 på ballastmaterial enligt gällande europastandarder – kornstorleksfördelning, flisighetsindex samt sandekvivalentvärde, VTI Utlåtande 784,

Arvidsson, H 2023 För-rapport ringanalys järnvägs-LA, LA_{RB}, För-rapport LA-järnväg (metodgruppen.se)

Arvidsson, H 2024 För-rapport Ringanalys sandekvivalent För-rapport sandekvivalent (metodgruppen.se)

Broms, H, 2024 Fransk beräkningsmodell, personlig kommunikation

Manual för ringanalyser, Metodgruppen, 2017, metodgruppen.se/Manual-for-ringanalyser-rev.-2017-03-22.pdf

Metodgruppens hemsida https://www.metodgruppen.se/

Minnesanteckningar från möten med Metodgruppens utskott för Ballast och obundna material, metodgruppen.se/ballastutskottet-motesprotokoll/

Peter-T. Wilrich, 2011 Critical values of Mandel's h and k, the Grubbs and the Cochran test statistic Springer-Verlag 2011, s10182-011-0185-y.pdf

SS-EN 933-8:2012+A1:2015 Ballast - Geometriska egenskaper - Del 8: Bestämning av finmaterial - Sandekvivalentprovning

S-EN 1097-2:2020 Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 2: Metoder för bestämning av motstånd mot fragmentering

SS-ISO 5725-2 (2003) Noggrannhet (riktighet och precision) för mätmetoder och mätresultat - Del 2: Grundläggande metod för bestämning av en standardiserad mätmetods repeterbarhet och reproducerbarhet

Viman, Leif, Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI), 2017 Excelverktyg och personlig kommunikation.

Bilaga 1. Svarsblanketter

Exempel på svarsblanketter med fiktiva exempel.

Los Angeles på järnvägsmakadam

Allmänna frågor

SS-EN 1097-2, Annex A. Bestämning av Los Angeles på järnvägsballast.

Organisation	Entreprenad AB	
Ort	Lindköping	
Ansvarig	Bosse N	
Kulor		
Total kulvikt	5210	g, 12 kulor
Medeldiameter	47	mm
Fabrikat	SKF	
Specifikation	enl standard	
hårdhet	HRC 64	
Kul-densitet	7,78	(slumpmässigt på minst 3 kulor, enl trådkorg 1097-6)
Trumma		
Fabrikat	San Franciscoverken	
Innerlängd	508	mm
Innerdiameter	711	mm
Lyftbalk, tjocklek	26	mm
Lyftbalk, bredd	91	mm
Underlag/golv	Betong	
Antal varv	1000	(1000 får man anta?)
Rotationshastighet	32,9	varv per minut
Tid för 1000 varv	30:24	(ange gärna i formatet mm:ss)
Provhantering efter LA-trumma		
försiktning	maskinell	
tvättning	ja	
eftersiktning	maskinell	
Erfarenhet		
Antal test per år	10-30 per år	för labbet
Kvalitetsystem	Ackreditering	
ingår LA_{RB} i ackreditering	ja	

Resultatblankett

SS-EN 1097-2, Annex A. Bestämning av Los Angeles på järnvägsballast.

Organisation	Entreprenad AB
Ort	Lindköping
Ansvarig	Bosse N

Material X

Ange minst 2 av vikterna för delfraktionerna och analysfraktion.

	2 vikter angivna				Tolerans
Invägt fraktion 31,5-40 mm	4990	g	4990	g	4950-5050 g
Invägt fraktion 40-50 mm		g	5035	g	4950-5050 g
Total invägd mängd 31,5-50 mm	10025	g	10025	g	9900-10100 g
			viktsummering OK!		

	Ackumulerat	Vikt, g	Pass-%	
Frivilligt	> 31,5	3356	66,5	
Frivilligt	> 22,4	3865	61,4	
Frivilligt	*>16*	*4010*	*60,0*	
Frivilligt	*>11,2*	*4489*	*55,2*	
Frivilligt	*> 8*	*4600*	*54,1*	
Frivilligt	*>5,6*	*5000*	*50,1*	
Frivilligt	*>4*	*5560*	*44,5*	
Frivilligt	*>2*	*5896*	*41,2*	
Obligatoriskt	**>1,6 mm**	**6123**	**38,9**	**LA_{RB}**
Frivilligt	*>1*	*6523*	*34,9*	
Frivilligt	*>0,5*	*6700*	*33,2*	
Frivilligt	*>0,25*	*7000*	*30,2*	
Frivilligt	*>0,125*	*7300*	*27,2*	
Frivilligt	*>0,063*	*7500*	*25,2*	

Resultat från eget system, LA_{RB}	39
Kommentar	Det var knöligt att sikta ned 0,063.
Utfört av	HA
Datum	2023-02-16
Antal test per år	>30 per år

Sandekvivalent

Ringanalys Sandekvivalent

SS-EN 933-8

Enligt version 1998: **SE**

Enligt version 2012+A1:2015: **SE(10)**

Organisation: Testlab AB
Ort: Mellanköping
Ansvarig: Anno Nyijm

Flockuleringslösningen innehåller formaldehyd som konserveringsmedel
Eventuellt avvikande utrustning: Lång stång
Andra avsteg: Nej
Allmänna kommentarer: -

Ringanalys			Delprov 1	Delprov 2	Medelvärde	Kommentar
Morän - påse	Prio 2	SE:	33,2	33,7	33,45	
	Prio 1	SE(10):	48,1	49,2	48,65	
Morän - kartong		SE:	31,4	35,2	33,3	
	Prio 3	SE(10):	46,1	49,9	48	
	Finkornhalt (<0,063)		23,2		23,2	För material <2 mm!
Bergkross - påse	Prio 2	SE:	65	66	65,5	
	Prio 1	SE(10):	78	80	79	
Bergkross - kartong		SE:	63	68	65,5	
	Prio 3	SE(10):	77	81	79	
	Finkornhalt (<0,063)		14,2	14,2	14,2	För material <2 mm!

Alternativ uppslamning (enligt Larsan-metoden)			Delprov 1	Delprov 2	Medelvärde	Kommentar
Morän - påse	Prio 6	SE:	33,2	33,3	33,25	
	Prio 4	SE(10):	48,4	48,6	48,5	
Morän - kartong		SE:			-	
	Prio 5	SE(10):	47,1	48,1	47,6	
	Finkornhalt (<0,063)		23,2		23,2	
Bergkross - påse	Prio 6	SE:	66	66	66	
	Prio 4	SE(10):	78	79	78,5	
Bergkross - kartong		SE:			-	
	Prio 5	SE(10):	79	78	78,5	
	Finkornhalt (<0,063)		14,2		14,2	

Kvalitet/erfarenhet

Hur ofta utförs SE (1998): 1/3år
Hur ofta utförs SE(10) (2012/2015): 1-10/år

Kvalitet: Ackreditering

Andra kommentarer: Bla bla bla

Bilaga 2. Alternativ uppslamningsmetod för sandekvivalent

Beskrivning av alternativ uppslamningsmetod för sandekvivalent, framtagen av Lars-Åke Holmgren. NCC. Metoden kallas även Larsan-metoden.

Bakgrund

Vid tidigare utförda jämförelseprovningar av Sandekvivalent har resultaten spridit en del. Det har visats sig att själva utförandet av uppslamningen i tvättröret varit operatörsberoende.

Mål

Målet är att hitta ett alternativt sätt att utföra uppslamningsmomentet som inte är operatörsberoende.

Utförande

Förslag på alternativt utförande av uppslamningen beskrivs i denna ppt.

1 Lars-Åke Holmgren / 2021-04-11

NCC

Alternativ arbetsgång (uppslamning)

Det enda som skiljer sig från SS-EN 933-8 är själva uppslamningsmomentet.

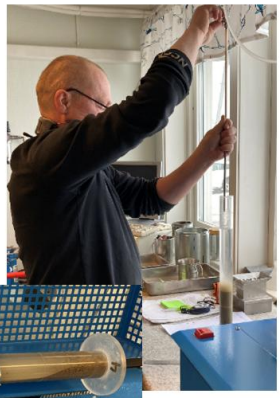
- Fyll på tvättlösning till den lägsta markeringen i de graderade cylindrarna.
- Häll i ett analysprov och låt sedan stå i 10±1 minut.

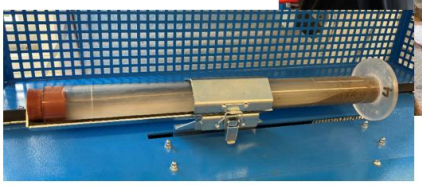
2

NCC

Alternativ arbetsgång (uppslamning)

- Sätt på gummiproppen och skaka i 30±1 s i skakapparaten (90±3 cykler).
- Ta bort gummiproppen från cylindern och ställ tillbaka cylindern i vertikalt läge på arbetsbänken.
- Fyll på med tvättlösning till den övre markeringen på cylindern utan att slamma upp materialet.
- Sätt på gummiproppen och skaka i ytterligare 30±1 s i skakapparaten (90±3 cykler).



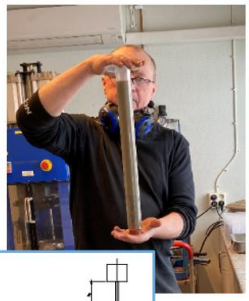


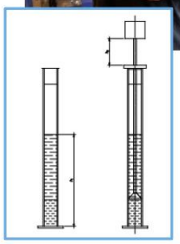
3

NCC

Alternativ arbetsgång (uppslamning)

- Håll cylindern upp och nedvänd i 5 s.
- Ställ tillbaka cylindern i vertikalt läge på arbetsbänken. Ta bort gummiproppen,
- Starta tidtagningen (20,00 ± 0,25) minut
- Skölj försiktigt ned eventuellt material som fastnat på gummiproppen eller längst upp på cylindern.
- Efter 20 minuter, analysera H1 respektive H2 enligt metod.





4

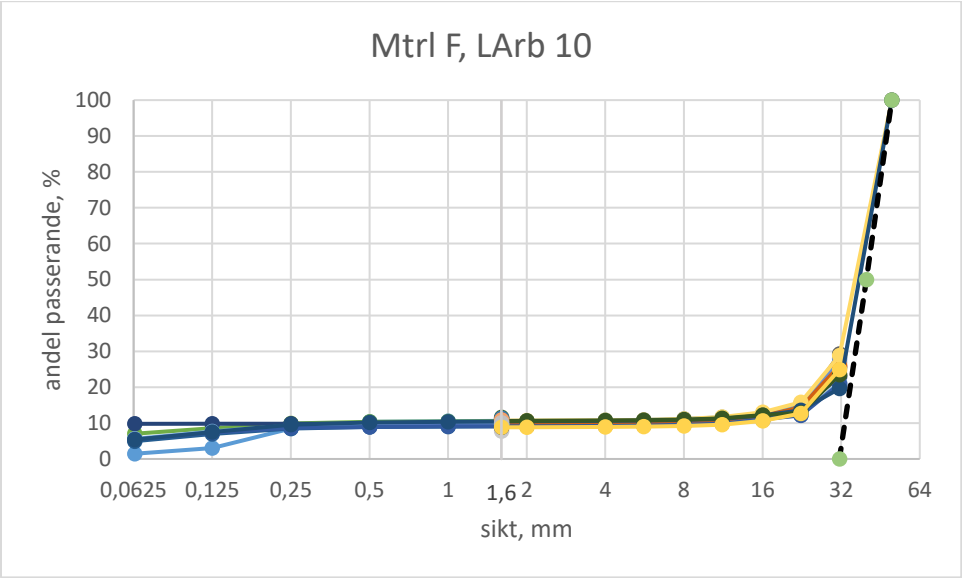
NCC

Bilaga 3. Resultatdiagram

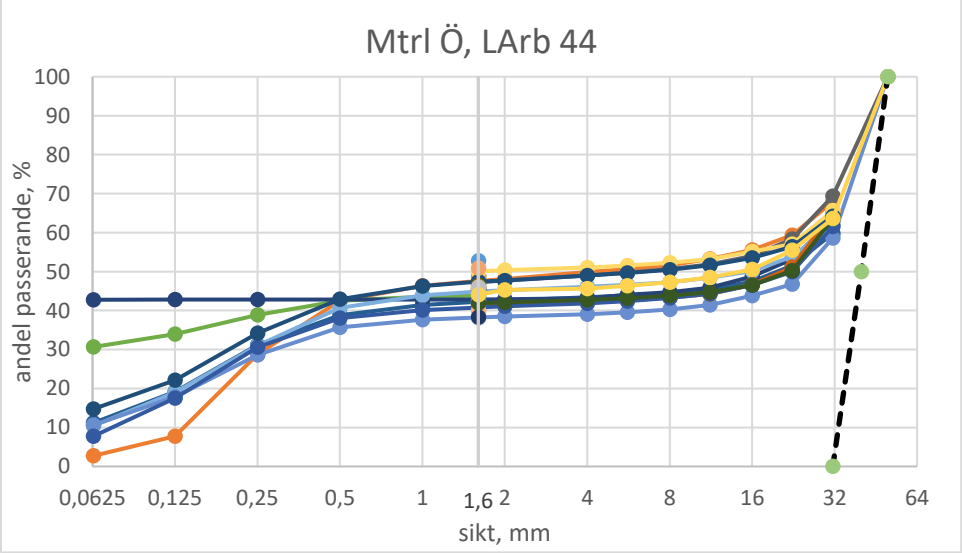
Här finns en del resultatdiagram som komplement till huvuddelen av rapporten.

Los Angeles på järnvägsmakadam

Kornstorleksfördelning efter test för material F (Figur 17) och material Ö (Figur 18).
(Kornstorleksfördelning för material D redovisas i Figur 8.)



Figur 17. Material F. Kornstorleksfördelning angivna av deltagarna. Svart streckad linje anger analysfraktion (31,5–50 mm) före test.

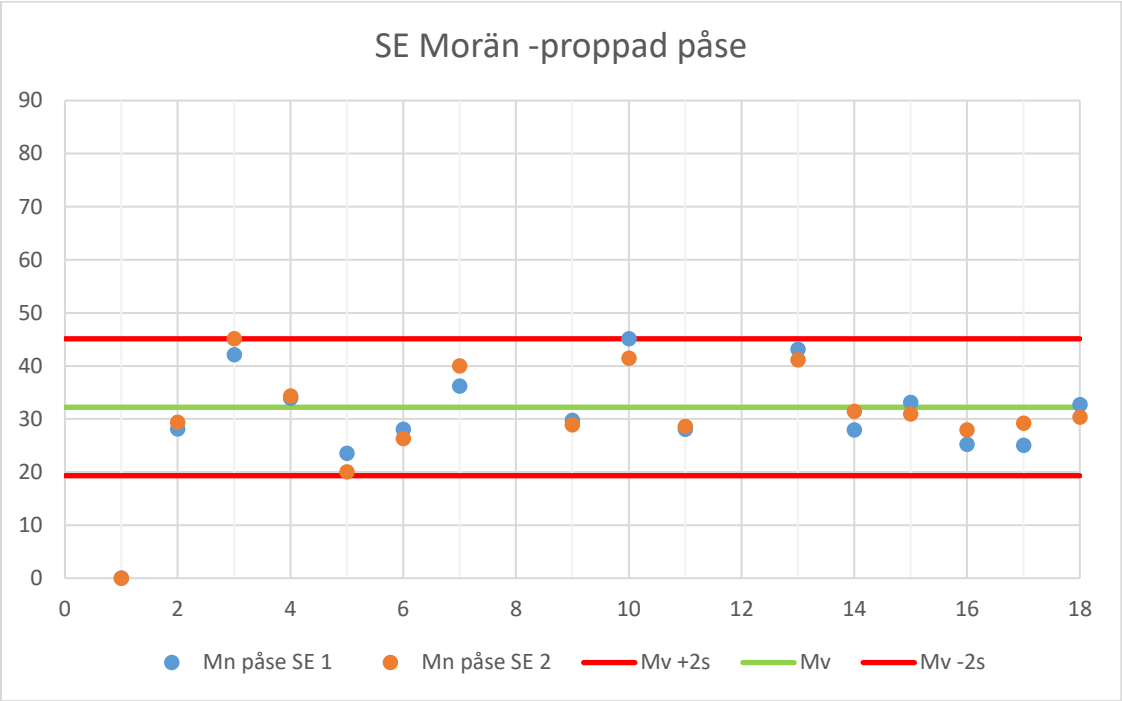


Figur 18. Material Ö. Kornstorleksfördelning angivna av deltagarna. Svart streckad linje anger analysfraktion (31,5–50 mm) före test.

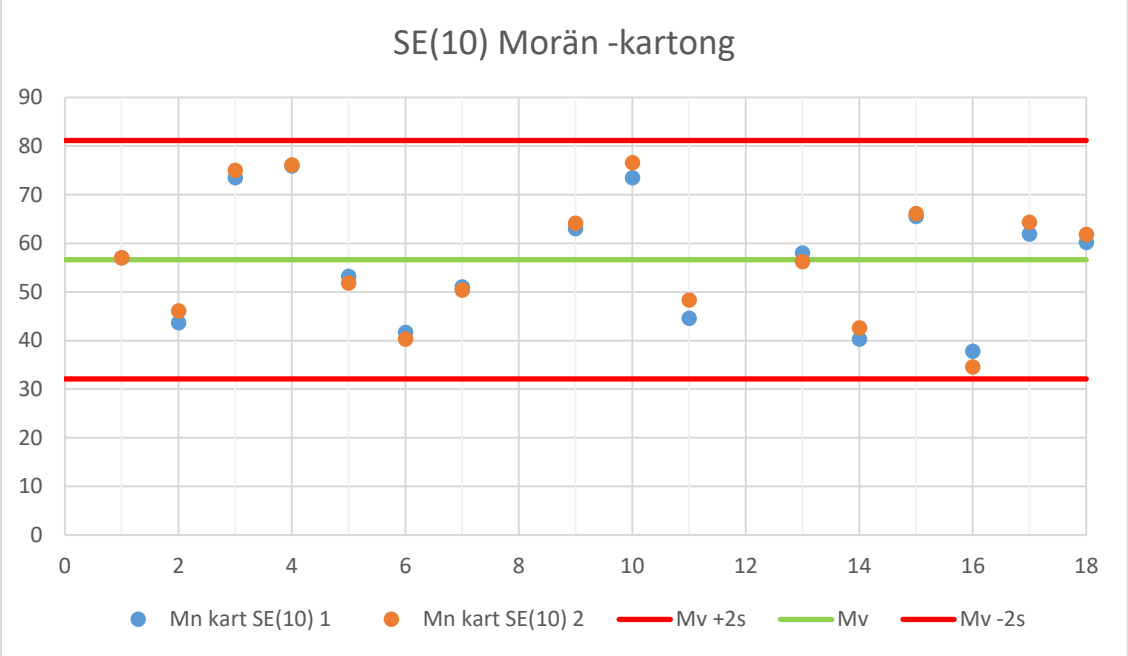
Sandekvivalent

Här redovisas enskilda resultat i förhållanden till medelvärden och två standardavvikelser, Figur 19 till Figur *26*.

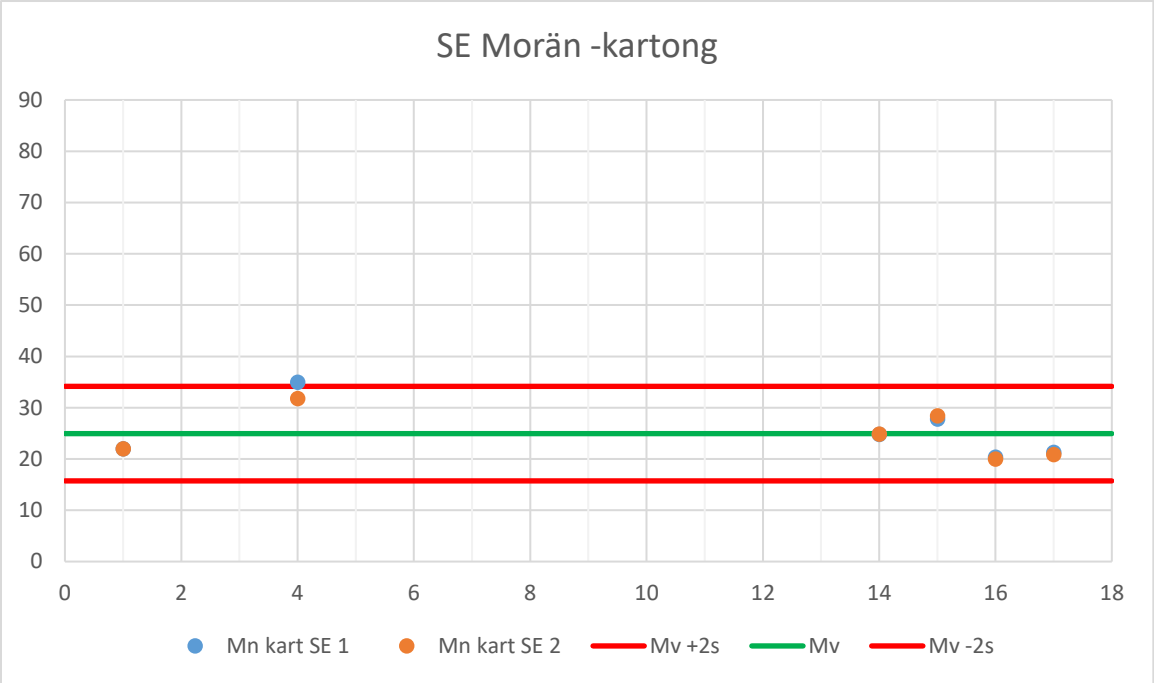
(Redovisning för SE(10) för proppad påse redovisas i Figur 9 för morän och i Figur 10 för stenmjöl.)



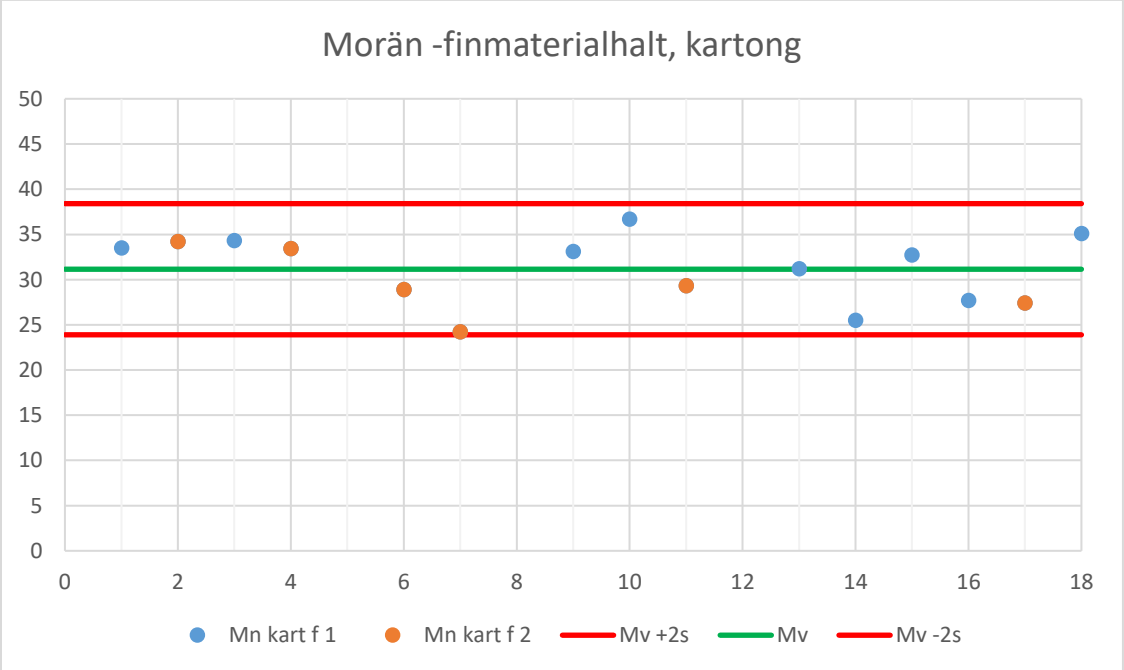
Figur 19. Förberett prov morän. Individuella resultat för SE med medelvärde och standardavvikelse.



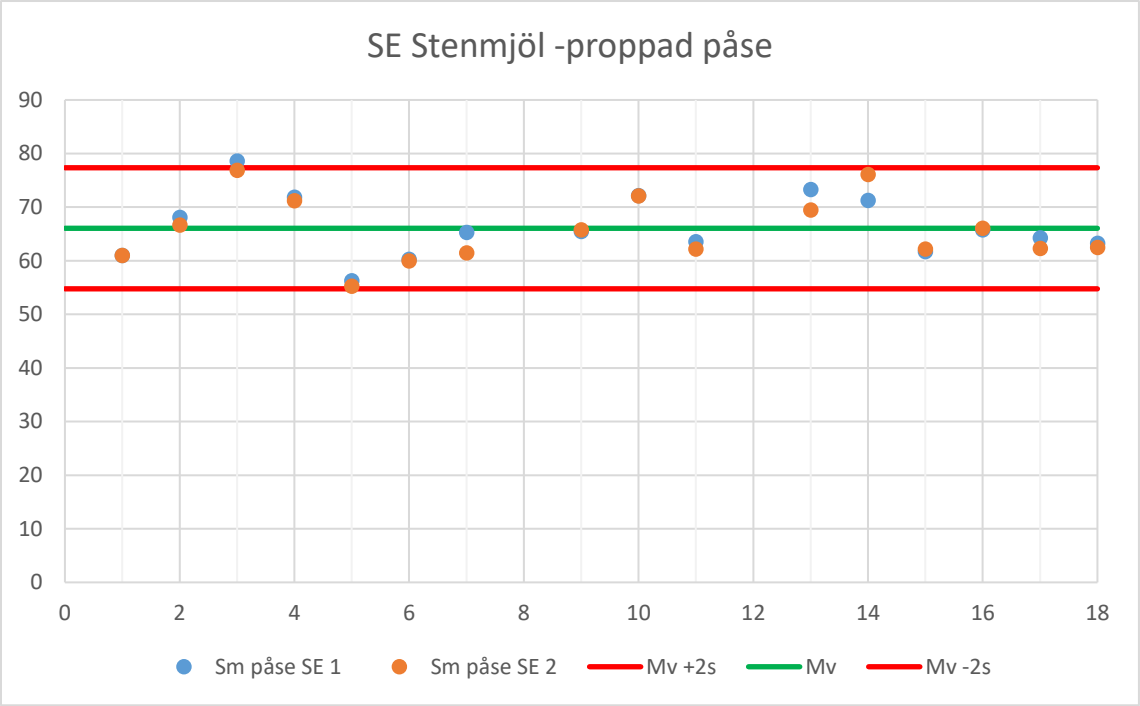
Figur 20. Laboratorieberett prov morän. Individuella resultat för SE(10) med medelvärde och standardavvikelse.



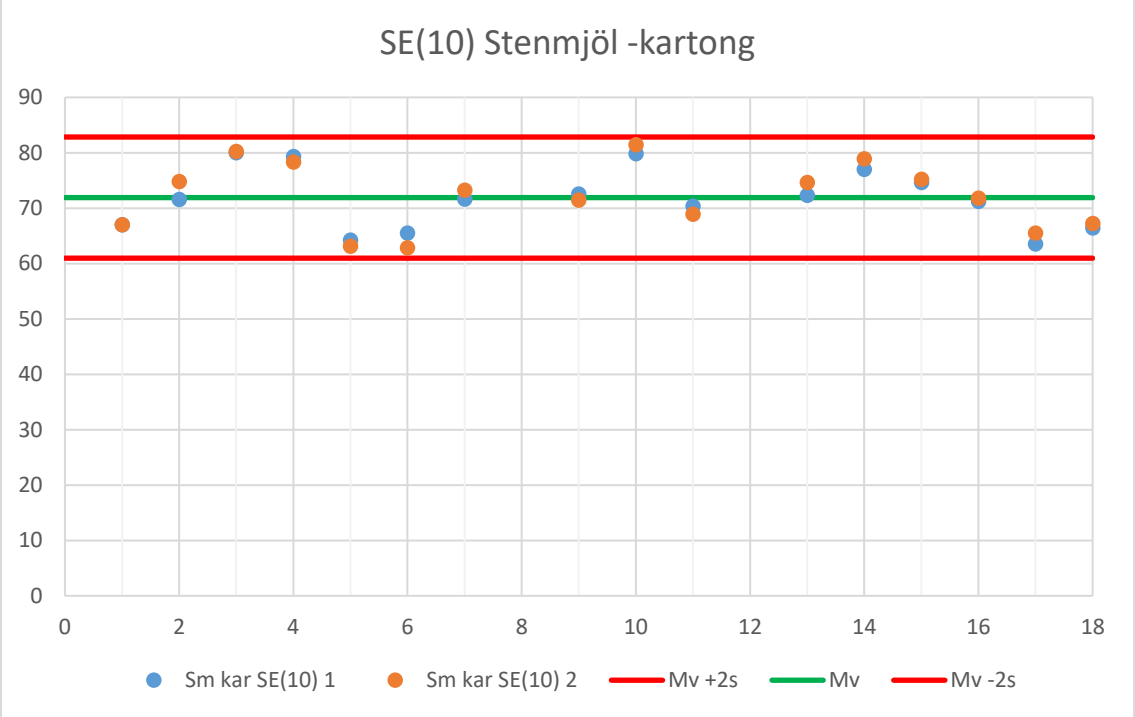
Figur 21. Laboratorieberett prov morän. Individuella resultat för SE med medelvärde och standardavvikelse.



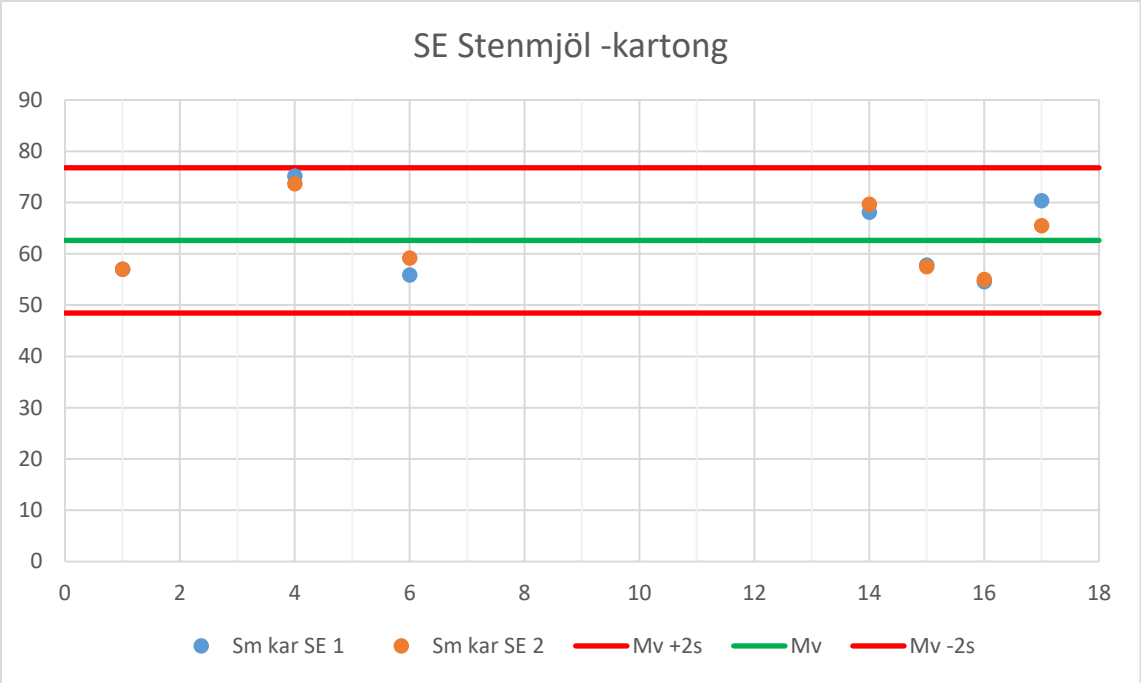
Figur 22. Enskilda resultat grafiskt för finmaterialhalt för morän från kartong. Deltagarnummer på X-axeln.



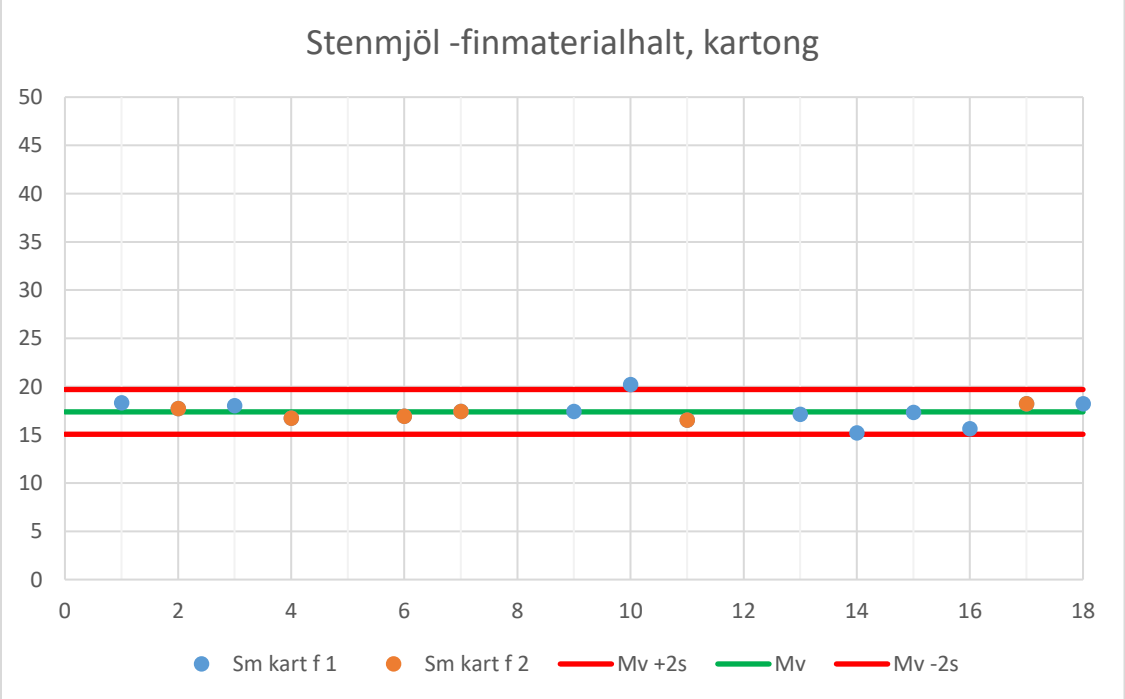
Figur 23. Förberett prov stenmjöl. Individuella resultat för SE med medelvärde och standardavvikelse.



Figur 24. Laboratorieberett prov stenmjöl. Individuella resultat för SE(10) med medelvärde och standardavvikelse.



Figur 25. Laboratorieberett prov stenmjöl. Individuella resultat för SE med medelvärde och standardavvikelse.



Figur 26. Enskilda resultat grafiskt för finmaterialhalt för stenmjöl från kartong. Deltagarnummer på X-axeln.

Bilaga 4. Statistiska metoder, outliers

Förklaring av statistiska metoder för att urskilja avvikande resultat, outliers. (SS-ISO 5725-2, Wilrich 2011).

En **outlier** (eller avvikande observation) är en datapunkt som skiljer sig markant från övriga datapunkter i en dataset. Den kan vara mycket högre eller lägre än de andra värdena och kan påverka analysen och resultaten. Outliers kan uppstå på grund av mätfel, ovanliga förhållanden eller naturliga variationer.

Mandel's h: Används för att identifiera avvikelser mellan laboratoriemedelvärden. Det beräknas som skillnaden mellan varje laboratoriemedelvärde och det övergripande medelvärdet, dividerat med standardavvikelsen för laboratoriemedelvärdena.

Mandel's k: Används för att identifiera avvikelser inom laboratorier. Det beräknas som standardavvikelsen inom ett laboratorium dividerat med kvadratroten av medelvärdet för inom-laboratorievariansen.

Grubbs test: Används för att identifiera enstaka avvikande observationer i en dataset. Det finns två varianter: Single Grubbs test för att identifiera en extrem observation och Double Grubbs test för att identifiera två extrema observationer.

Cochran test: Används för att identifiera avvikelser i variansen mellan olika laboratorier. Det beräknas som den största inom-laboratorievariansen dividerad med summan av alla inom-laboratorievariansen.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett internationellt framstående forskningsinstitut med uppdrag från regeringen att bedriva forskning och utveckling inom transportområdet, omfattande infrastruktur, trafik, transporter och trafikanter. Vi arbetar för att kunskapen om transportsektorn kontinuerligt ska förbättras och är på så sätt med och bidrar till att uppnå Sveriges transportpolitiska mål.

Verksamheten omfattar samtliga trafikslag och områdena väg- och banteknik, drift och underhåll, fordonsteknik, trafiksäkerhet, trafikanalys, människan i transportsystemet, miljö, planerings- och beslutsprocesser, transportekonomi samt transportsystem. Kunskapen som VTI tar fram ger beslutsunderlag till aktörer inom transportsektorn och tillämpas i många fall i såväl nationell som internationell transportpolitik.

VTI bedriver forskning på uppdrag i en tvärvetenskaplig organisation. Vi arbetar också med utredning och rådgivning, samt utför olika typer av tjänster inom mätning och provning. På institutet finns tekniskt avancerad forskningsutrustning av olika slag och körsimulatorer i världsklass. Dessutom finns ett laboratorium för vägmaterial, ett mättekniskt laboratorium och ett krocksäkerhetslaboratorium.

Transportbiblioteket vid VTI är en nationell resurs för informationsförsörjning och informationsspridning för alla trafikslag inom transportforskningsområdet.

I Sverige samverkar VTI med ledande universitet och högskolor som bedriver närliggande forskning och utbildning. Vi medverkar även kontinuerligt i internationella forskningsprojekt, framförallt i Europa, och deltar aktivt i internationella nätverk.

VTI är en uppdragsmyndighet som lyder under regeringen och hör till Landsbygds- och infrastrukturdepartementet. Vårt kvalitetsledningssystem är certifierat enligt ISO 9001 och vårt miljöledningssystem enligt ISO 14001. Vissa provningsmetoder vid våra laboratorier är dessutom ackrediterade.

Vi är omkring 250 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg och Lund.

vti

Statens väg- och transportforskningsinstitut • www.vti.se • vti@vti.se • +46 (0)13–20 40 00