

# Jämförande provning korndensitet och vattenabsorption

Jämförelse mellan laboratorier

Håkan Arvidsson  
Olle Eriksson

The logo for VTI (Vägar och Transporter i Sverige) consists of the lowercase letters 'vti' in a bold, sans-serif font. A vertical red line is positioned to the left of the logo.

VTI PM 2023:11  
Utgivningsår 2023  
[vti.se/publikationer](https://vti.se/publikationer)



VTI PM 2023:11

# **Jämförande provning korndensitet och vattenabsorption**

## **Jämförelse mellan laboratorier**

Håkan Arvidsson

Olle Eriksson

Översatt titel: Interlaboratory comparisons for Particle density and Water absorption in Sweden  
Författare: Håkan Arvidsson, VTI (<https://orcid.org/0000-0002-6989-6488>)  
Olle Eriksson, VTI (<http://orcid.org/0000-0002-5306-2753>)  
Diarienummer: 2020/0161-9.2  
Publikation: VTI PM 2023:11  
Utgiven av VTI, 2023

---

## Kort sammanfattning

---

Under 2020 genomfördes provningsjämförelser mellan väglaboratorier i Sverige för korndensitet och vattenabsorption enligt SS-EN 1097-6:2013. Jämförelsen gjordes med fyra material, två i sortering 11/16 mm och två i sortering 0/4 mm. Varje deltagare utförde dubbelprov av varje material. I provningsjämförelsen deltog 49 laboratorier.

Generellt är det små spridningar för korndensitet. Variationskoefficienten är mindre än 1 %.

För vattenabsorption är spridningarna dock relativt stora. Det beror på att resultaten består av låga värden och den ”naturliga” variationen är nästan lika stor som resultaten, cirka 0,3 %.

Vattenabsorptionen har knappt 30 % i variationskoefficient för de grövre materialen i sortering 11/16 mm och cirka 60–70 % för de finare i sortering 0/4 mm.

Tydlig avvikande deltagare för korndensitet är laboratorium nummer 20 som har väldigt låga resultat för de finare materialen, där även laboratorium nummer 6 ligger lågt.

För vattenabsorption är det främst laboratorium nummer 33, 12 och 50 som tydligast utmärker sig negativt.

Generellt är repeterbarhet och reproducerbarhet (Tabell 1), i denna ringanalys bättre eller i paritet med SS-EN 1097-6:2013.

*Tabell 1. Precisionsdata för korndensitet och vattenabsorption.*

<b>Sortering</b>	<b>11/16 mm</b>	<b>0/4 mm</b>
Kapitel i SS-EN 1097-6, analysfraktion	Kapitel 8 4-31,5 mm	Kapitel 9 0,06-4 mm
Repeterbarhet, korndensitet, Mg/m <sup>3</sup>	0,013	0,020
Reproducerbarhet, korndensitet, Mg/m <sup>3</sup>	0,025	0,052
Repeterbarhet, vattenabsorption, %-enheter	0,12	0,15
Reproducerbarhet, vattenabsorption, %-enheter	0,33	0,43

### Nyckelord

Korndensitet, vattenabsorption, ballast, jämförande provning, ringanalys.

---

## Abstract

---

Test comparisons have been carried out between road material laboratories in Sweden for particle density and water absorption according to SS-EN 1097-6:2013 in 2020. The comparison was made with four materials, two with the grading 11/16 mm and two with the grading 0/4 mm. Each participant performed double tests of each material. There were 49 laboratories participating.

Generally, are there small variations for particle density between the participants. The coefficient of variation<sup>1</sup> is less than 1%.

For the water absorption, the variations between the participating laboratories are relatively large. However, this can partly be explained with that the results consists of low values and the "natural" variation is almost as great as the results, about 0.3%. Water absorption has just under 30% in variation coefficient<sup>1</sup> for the coarser materials in grading 11/16 mm and about 60–70% for the finer ones in grading 0/4 mm.

Clearly anomalous participants for particle density for the finer materials is laboratory number 20 with very low results, where even laboratory No. 6 is located low.

For water absorption, is it mainly laboratories 33, 12 and 50 that most clearly stand out in a negative way.

In general, are the repeatability and the reproducibility, in this comparing analysis better or equal with SS-EN 1097-6:2013.

*Table 1. Precision data for particle density and water absorption.*

Grading	11/16 mm	0/4 mm
Chapter in SS-EN 1097-6, analyze fraction	Chapter 8 4-31,5 mm	Chapter 9 0,06-4 mm
Repeatability, particle density, Mg/m <sup>3</sup>	0,013	0,020
Reproducibility, particle density, Mg/m <sup>3</sup>	0,025	0,052
Repeatability water absorption, %-units	0,12	0,15
Reproducibility, water absorption, %-units	0,33	0,43

### Keywords

Particle density, water absorption, aggregate, interlaboratory comparison.

---

<sup>1</sup> The coefficient of variation is the ratio of the standard deviation to the mean value.

---

## Förord

---

Detta är en rapport där djupare analys av ringanalys av korndensitet och vattenabsorption har gjorts. Provingen genomfördes under 2020 av de deltagande deltagarna. Under 2020 genomförde VTI en grundläggande analys som deltagarna fick ta del av i en för-rapport där de har kunnat analysera hur de ligger till jämfört med omvärlden i Sverige. Mer djuplodande analyser av data har genomförts efter det och dessa analyser redovisas i detta PM.

Linköping, mars 2023

*Håkan Arvidsson*  
*Projektledare*

### **Granskare/Examiner**

Andreas Waldemarson, 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.

---

## Innehållsförteckning

---

<b>Kort sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Förord</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>10</b>
1.1. Metod .....	10
1.2. Material .....	11
1.3. Deltagare .....	11
1.4. Svarsblankett.....	13
<b>2. Grundläggande resultat</b> .....	<b>14</b>
2.1. Material S, sortering 11/16 mm. ....	14
2.2. Material F, sortering 11/16 mm. ....	17
2.3. Material V, sortering 0/4 mm ("maskinsand").....	20
2.4. Material J, sortering 0/4 mm (naturesand).....	23
<b>3. Utvärdering</b> .....	<b>26</b>
3.1. Standardavvikelse och variationskoefficient.....	26
3.2. Outliers.....	26
3.3. Precisionsdata.....	27
3.4. Samband densitet och WA .....	30
3.5. Avancerad statistisk analys .....	31
3.5.1. Sammanställda resultat .....	31
3.5.2. Diskussion.....	32
<b>4. Effekt av variationer</b> .....	<b>33</b>
4.1. Pyknometer .....	33
4.2. Vattentemperatur.....	36
4.3. Tid för vattenmätning .....	36
4.4. Evakuering av luft.....	36
4.5. Bedömning av fuktig men yttorr.....	37
4.6. Erfarenhet och Kvalitetssystem.....	39
4.7. Torr provvikt $M_4$ .....	39
4.8. Kommentarer .....	39
<b>5. Diskussion och slutsatser</b> .....	<b>41</b>
5.1. Bedömning av egna resultat .....	41
<b>Referenser</b> .....	<b>42</b>
<b>Bilaga 1 Avancerad statistiska analys</b> .....	<b>43</b>
Förklaringar för denna bilaga .....	43
Underlag .....	43
Labb 43	
Material.....	43
Data 43	
Statistisk metod.....	48
Metod för analys av nivå.....	48
Metod för analys av variation.....	48
Resultat .....	49



Densitet .....	49
Vattenabsorption .....	53
Sammanställda resultat.....	54
Diskussion.....	54
Mer information om (den statistiska) metoden.....	55
Sammanvägda varianser.....	55
Avrundning vid beräkning av varianser .....	55
<b>Bilaga 2 Svarsblankett .....</b>	<b>56</b>
<b>Bilaga 3 Precisionsdata och outliers .....</b>	<b>57</b>
<b>Bilaga 4 Frisvarskommentarer .....</b>	<b>59</b>

---

## 1. Inledning

---

Denna jämförande provning ("ringanalys") av korndensitet och vattenabsorption har initierats av Metodgruppen som består av Trafikverket, branschorganisationer och VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut).

Syftet var att:

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

En arbetsgrupp bestående av representanter från Skanska, Peab, NCC, Svevia 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".

Planering och materialförberedelser gjordes hösten/vintern 2019/20. Under våren 2020 gjordes utskick till deltagande laboratorier samt tester på respektive laboratorium. En enkel sammanställning av resultat skickades till laboratorierna våren 2021.

### 1.1. Metod

Under 2020 genomfördes jämförande provning för SS-EN 1097-6:2013, Vattenabsorption och korndensitet

Korndensiteten beräknas ur förhållandet mellan massa och volym. Massan bestäms genom att väga provet i vattenmättat och yttorr tillstånd och igen i ugnstorkat tillstånd. Volymen bestäms från massan av det undanträngda vattnet (Arkimedes princip), antingen genom massminskning i trådkorgsmetoden eller genom vägning i pyknometermetoden.

*På grund av påverkan på absorptionen bör ingen artificiell uppvärmning av testdelen appliceras före testning. Om sådant material används bör detta dock anges i testrapporten.*

Provningsstandarden (SS-EN 1097-6) innehåller tre kapitel i huvuddelen för (något) olika procedurer beroende på analysfraktion.

För kapitel 7 (i standarden) gäller trådkorgsmetoden och för fraktion 31,5-63 mm.

För kapitel 8 gäller analysfraktion(er) i spannet 4-31,5 mm och användande av pyknometer och okulär bedömning av yttorr men fortfarande fuktigt prov efter torkning av duk och "luftning".

För kapitel 9 gäller analysfraktion(er) i spannet 0,063-4 mm och användande av pyknometer och eventuellt "konen" för bedömning av yttorr men fortfarande fuktigt prov efter lufttorkning eventuellt med hjälp av varmluft.

I bilagor finns även metoder för för-torkade material och lättviktsmaterial etcetera samt bedömningsguide för fuktiga men yttorra sandmaterial och densitetstabell för vatten.

För kapitel 8 och 9, pyknometervarianterna, gäller: Volymen av pyknometern kan antingen vara känd eller så bestäms vikten för pyknometern fylld med vatten ("pyk inkl vatten"). Proverna ska vattenlagras i 24 timmar, därefter vägs proverna i vattenfyllda pyknometrar ("prov i pyk inkl vatten"). Därefter ska proverna yttorkas, eventuellt absorberat vatten i porer ska vara kvar, vägning igen ("fuktig & yttorr"). Till sist vägs proverna efter ugnstorkning.

För kapitel 7 är principen densamma men vägningar under/i vatten görs i trådkorg.

Ur de vägningar som görs kan tre densiteter och vattenabsorption beräknas (vattendensitet med enhet Mg/m<sup>3</sup> och övriga beteckningar/benämningar är massa med enhet g..

**Skenbar korndensitet** betecknas  $\rho_a$  *apparent particle density*

Kvoten mellan ugnstorkad massa dividerat med volymen kornen upptar i vatten inklusive inre porer (hålrum) men exklusive de yttre porerna där vatten kan tränga in.

Skenbar korndensitet =  
= "vattendensitet" x "ugnstorr" / ("ugnstorr" - ("prov i pyk inkl vatten" - "pyk inkl vatten"))

**Ugnstorr korndensitet**  $\rho_{rd}$  *oven dried particle density*

Kvoten mellan ugnstorr massa dividerat med kornvolymen i vatten inklusive inre och yttre porer

Ugnstorr korndensitet =  
= "vattendensitet" x "ugnstorr" / ("fuktig & yttorr" - ("prov i pyk inkl vatten" - "pyk inkl vatten"))

**Fuktig och yttorr korndensitet**  $\rho_{ssd}$  *saturated and surface-dried particle density*

Kvoten mellan ugnstorkad massa plus massan av vatten i tillgängliga porer dividerat med kornvolymen inklusive inre och yttre porer.

Fuktig och yttorr korndensitet =  
= "vattendensitet" x "fuktig & yttorr" / ("fuktig & yttorr" - ("prov i pyk inkl vatten" - "pyk inkl vatten"))

**Vattenabsorption (24 h)**  $WA_{24}$  *water absorption*

Andelen massa av absorberat vatten (i yttre porer) i förhållande ugnstorkat prov, uttryckt i procent. Den absorberade vattenmängden är den som absorberats i 24 timmar (plus eventuell vattenmängd från icke ursprungligt torrt prov).

Vattenabsorption =  $100 \times (\text{"fuktig \& yttorr"} - \text{"ugnstorr"}) / \text{"ugnstorr"}$

Normalt i standarden räcker det med enkelprov vid bestämning av korndensitet och vattenabsorption.

För att utöka det statistiska underlaget och för att kunna beräkna precisionsdata, då främst repeterbarhet, ombads deltagarna att utföra dubbelprov i denna ringanalys.

## 1.2. Material

I denna jämförande provning testades fyra stycken olika material.

- Material F: i sortering "11/16 mm" av krossat berg. Detta material skulle testas enligt standardens kapitel 8.
- Material J: i sortering "0/2 mm" en natursand. Detta material skulle testas enligt standardens kapitel 9.
- Material S: i sortering "11/16 mm" av krossat berg. Detta material skulle testas enligt standardens kapitel 8.
- Material V: i sortering "0/4 mm", en s.k. "maskinsand" av krossat berg. Detta material skulle testas enligt standardens kapitel 9.

Proverna var packade i provkartonger innehållande ca 10 kg material. Eventuell provberedning ingick i respektive deltagares provning.

## 1.3. Deltagare

Det var 51 st. anmälda laboratorier, varav 49 har svarat. Anmälda laboratorier redovisas i Tabell 2.

Tabell 2. Deltagande laboratorier, sorterade på ort med omvänd bokstavsordning.

Företag/Organisation	Ort	Företag/Organisation	Ort
SVEVIA AB	Örebro	NCC Industry AB	Karlstad
Skanska Sverige AB	Önnestad	Svevia AB	Jönköping
Vattenfall AB	Älvkarleby	Sydbeläggningar AB	Höör
Skanska Sverige AB	Växjö	Skanska Sverige AB	Hällevadsholm
Peab Asfalt AB	Västerås	Peab Asfalt AB	Hägersten
NCC Industry AB	Västerås	Asfalt & Stenkontroll AB	Hok
Skanska Sverige AB	Västerhaninge	NCC Industry AB	Hisnings Kärra
Skanska Sverige AB	Upplands Väsby	Peab Asfalt AB	Hisings Bcka
NCC Industry AB	Upplands Väsby	Peab Asfalt AB	Helsingborg
SVEVIA AB	Umeå	AB Sydsten	Hardeberga
NCC Industry AB	Umeå	Skanska Sverige AB	Halmstad
NCC Industry AB	Södra Sandby	Skanska Sverige AB	Hallsberg
Peab Asfalt AB	Sundsvall	C-lab	Göteborg
NCC Industry AB	Sundsvall	NCC Industry AB	Gävle
Cementa AB- Research	Slite	NCC Industry AB	Gustafs
TeMaKon AB	Sjömarken	Skanska Sverige AB	Gunnilse
Skanska Sverige AB	Rockneby	Asfaltbolaget Sverige AB	Furuby
NCC Industry AB	Nättraby	Skanska Sverige AB	Forserum
Skanska Sverige AB	Norrköping	Svevia AB	Brunflo
Skanska Sverige AB	Malmö	RISE	Borås
Mitta AB	Luleå	Skanska Sverige AB	Borlänge
Skanska Sverige AB	Luleå	Peab Asfalt AB	Boden
VTI	Linköping	NCC Industry AB	Biskopstorp
NCC Industry AB	Linköping	Svevia AB	Arlöv
Svevia AB	Kungälv	Svevia AB	Arlanda
Skanska Sverige AB	Kramfors		

## 1.4. Svartsblankett

Deltagarna fick en speciell svartsblankett i Excelformat att lämna in sina svar i. I blanketten fanns vissa celler med valmöjligheter (t.ex. provberedning, pyknometertyp och kvalitetssäkring), andra celler med fri men relevant inmatning (som vattentemperatur, provvikt eller kommentarer) samt celler med formler (t.ex. för att beräkna medelvärden utifrån enskilda resultat), se Bilaga 2 (som är ett ifyllt fiktivt exempel).

---

## 2. Grundläggande resultat

---

Här presenteras grundläggande resultat för respektive material.

### 2.1. Material S, sortering 11/16 mm.

Analyserad enligt kapitel 8 i SS-EN 1097-6.

Vilket innebär användande av pyknometer och okulär bedömning av yttorr men fortfarande fuktig efter torkning av duk och ”luftning”.

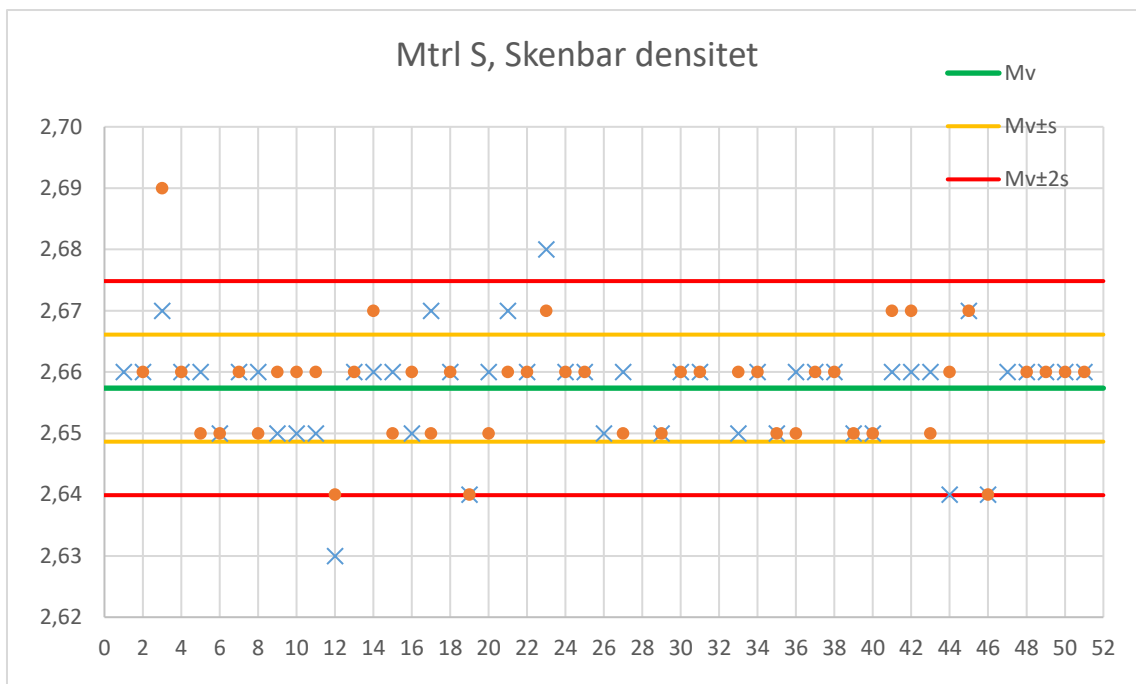
Resultat redovisas i Tabell 3 samt i Figur 1 (skenbar densitet), Figur 2 (ugnstorr densitet), Figur 3 (yttorr/fuktig densitet) och Figur 4 (vattenabsorption). Y-axeln i figurerna/diagrammen är autojusterad så observera att de kan skilja sig åt.

*Tabell 3. Material S, statistiska resultat. Densitet i Mg/m<sup>3</sup>.*

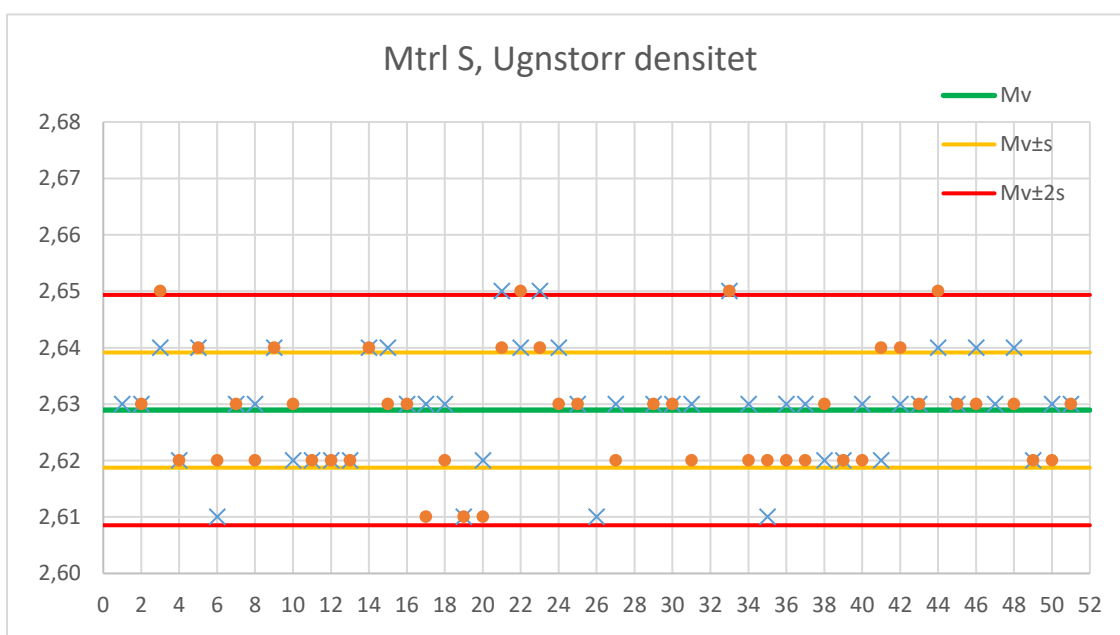
*Röda värden är lika med eller utanför medelvärde  $\pm 2$  standardavvikelser.*

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

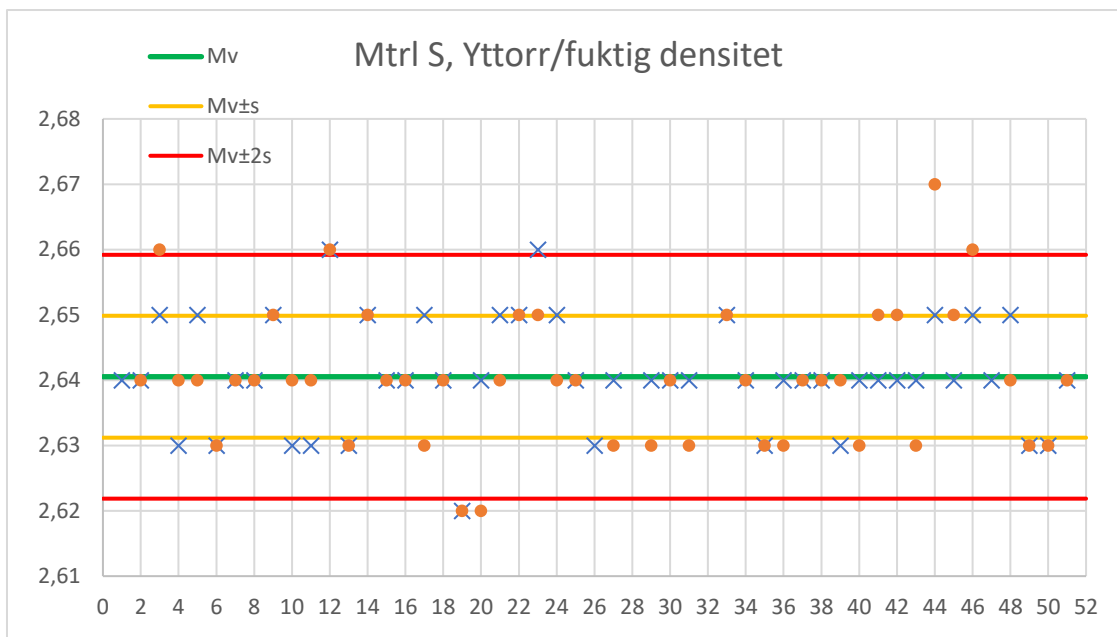
Densitet	Skenbar	Ugnstorr	Yttorr/fuktig		WA <sub>24</sub>
Max	2,69	2,65	2,67		0,6 %
Medel +2s	2,675	2,649	2,659		0,65 %
Medel + s	2,666	2,639	2,650		0,53 %
<b>Medel</b>	<b>2,657</b>	<b>2,629</b>	<b>2,641</b>		<b>0,42 %</b>
Medel - s	2,649	2,619	2,631		0,30 %
Medel -2s	2,640	2,609	2,622		0,19 %
Min	2,63	2,61	2,62		0,1 %
stdav	0,009	0,010	0,009		0,11 %
stdav/medel	0,3 %	0,4 %	0,4 %		27,2 %
Antal	95	95	95		95



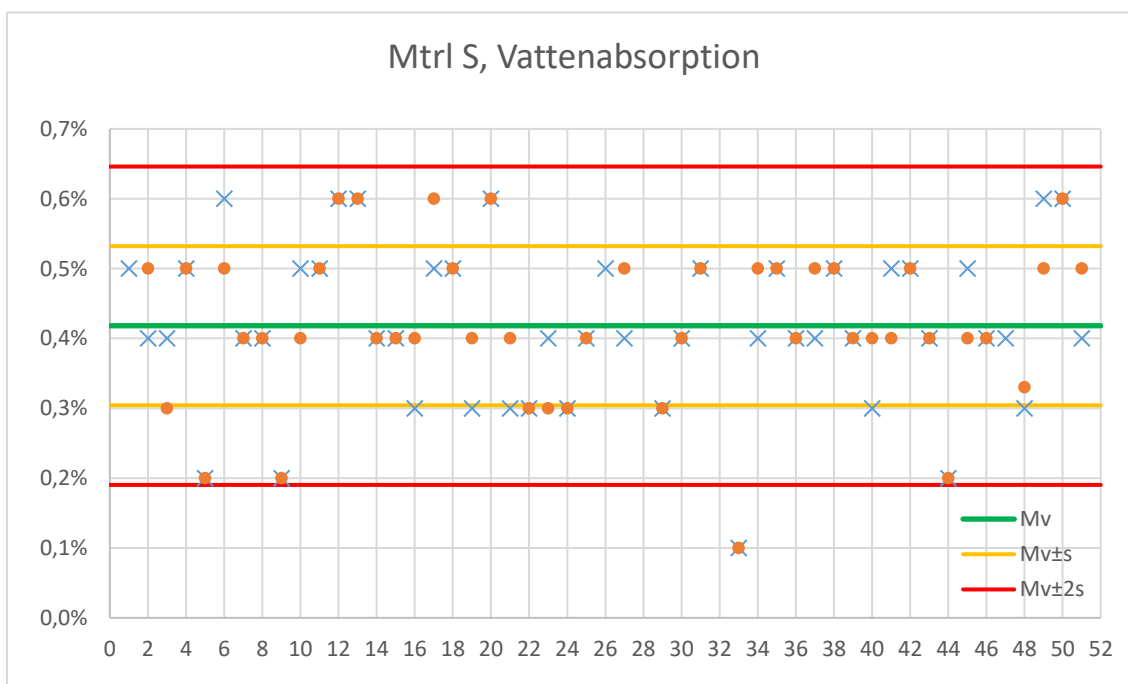
Figur 1. Material S, redovisning av skenbar densitet [Mg/m<sup>3</sup>]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 2. Material S, redovisning av skenbar densitet [Mg/m<sup>3</sup>]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 3. Material S, redovisning av skenbar densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 4 Material S, redovisning av vattenabsorption. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



## 2.2. Material F, sortering 11/16 mm.

Analyserad enligt kapitel 8 i SS-EN 1097-6.

Vilket innebär användande av pyknometer och okulär bedömning av yttorr men fortfarande fuktig efter torkning av duk och ”luftning”.

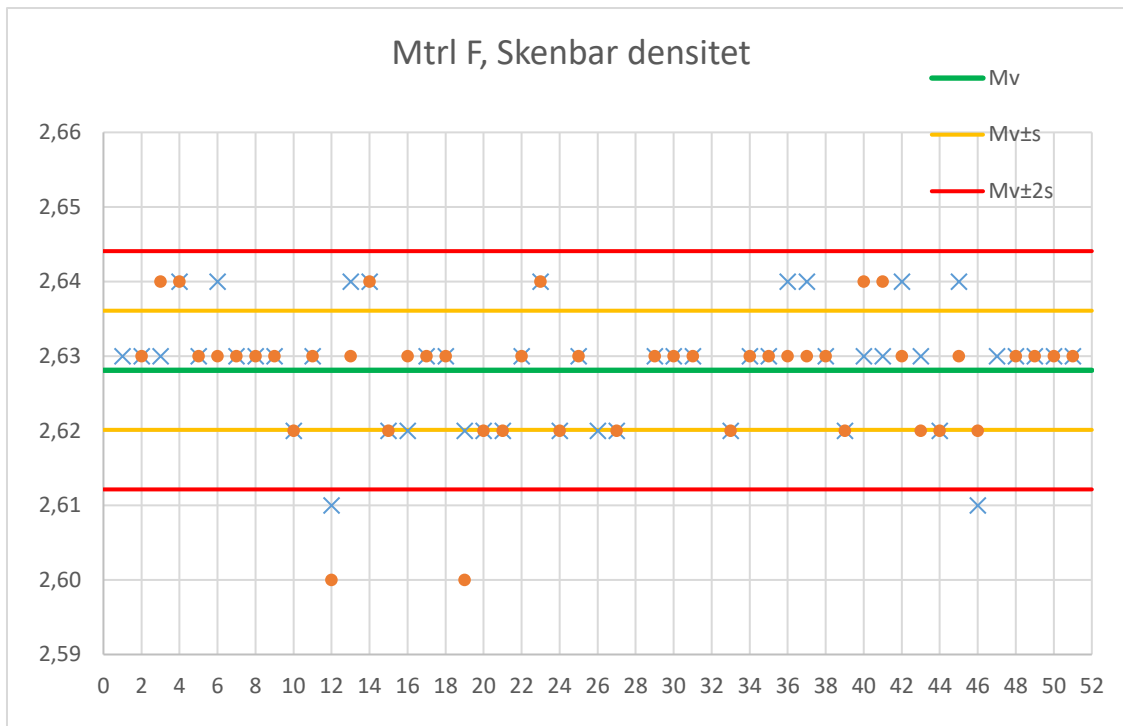
Resultat redovisas i Tabell 4 samt i Figur 1 (skenbar densitet), Figur 6 (ugnstorr densitet), Figur 7 (yttorr/fuktig densitet) och Figur 8 (vattenabsorption). Y-axeln i figurerna/diagrammen är autojusterad så observera att de kan skilja sig åt.

Tabell 4. Material F, statistiska resultat. Densitet i Mg/m<sup>3</sup>.

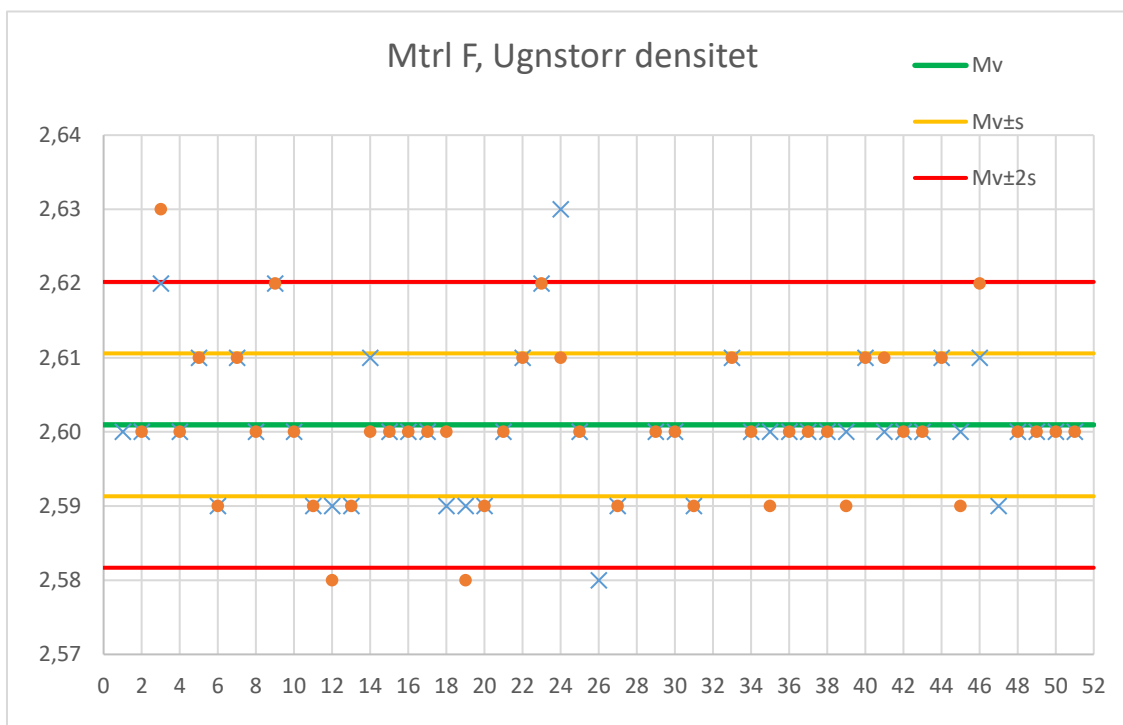
*Röda värden är lika med eller utanför medelvärde ± 2 standardavvikelser.*

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

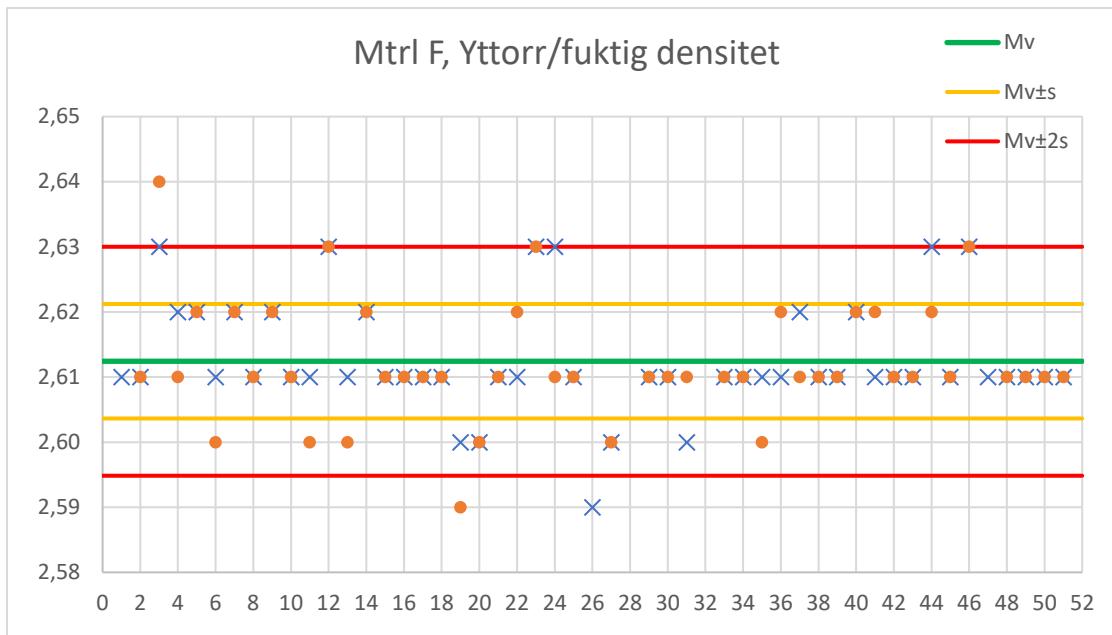
Densitet	Skenbar	Ugnstorr	Yttorr/fuktig		WA <sub>24</sub>
Max	2,64	2,63	2,64		0,7 %
Medel +2s	2,644	2,620	2,630		0,68 %
Medel + s	2,636	2,611	2,621		0,55 %
<b>Medel</b>	<b>2,628</b>	<b>2,601</b>	<b>2,612</b>		<b>0,42 %</b>
Medel - s	2,620	2,591	2,604		0,30 %
Medel -2s	2,612	2,582	2,595		0,17 %
Min	2,60	2,58	2,59		0,1 %
stdav	0,008	0,010	0,009		0,13 %
stdav/medel	0,3 %	0,4 %	0,3 %		29,8 %
Antal	95	95	95		95



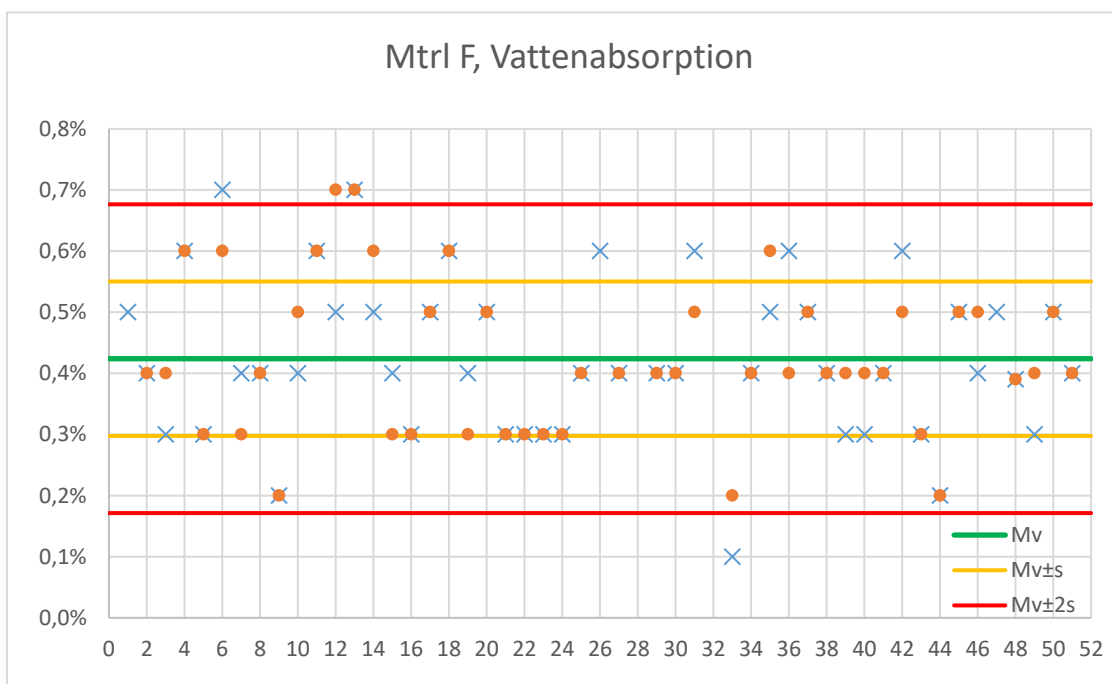
Figur 5. Material F, redovisning av skenbar densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 6. Material F, redovisning av ugnstorr densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 7. Material F, redovisning av fuktig och yttorr densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 8. Material F, redovisning av vattenabsorption. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.

## 2.3. Material V, sortering 0/4 mm ("maskinsand").

Analyserad enligt kapitel 9 i SS-EN 1097-6.

Vilket innebär användande av pyknometer och eventuellt "konen" för bedömning av yttorr men fortfarande fuktig efter lufttorkning eventuellt med hjälp av varmluft.

Resultat redovisas i Tabell 5 samt i Figur 9 (skenbar densitet), Figur 2 (ugnstorr densitet), Figur 11 (yttorr/fuktig densitet) och Figur 12 (vattenabsorption). Y-axeln i figurerna/diagrammen är autojusterad så observera att de kan skilja sig åt.

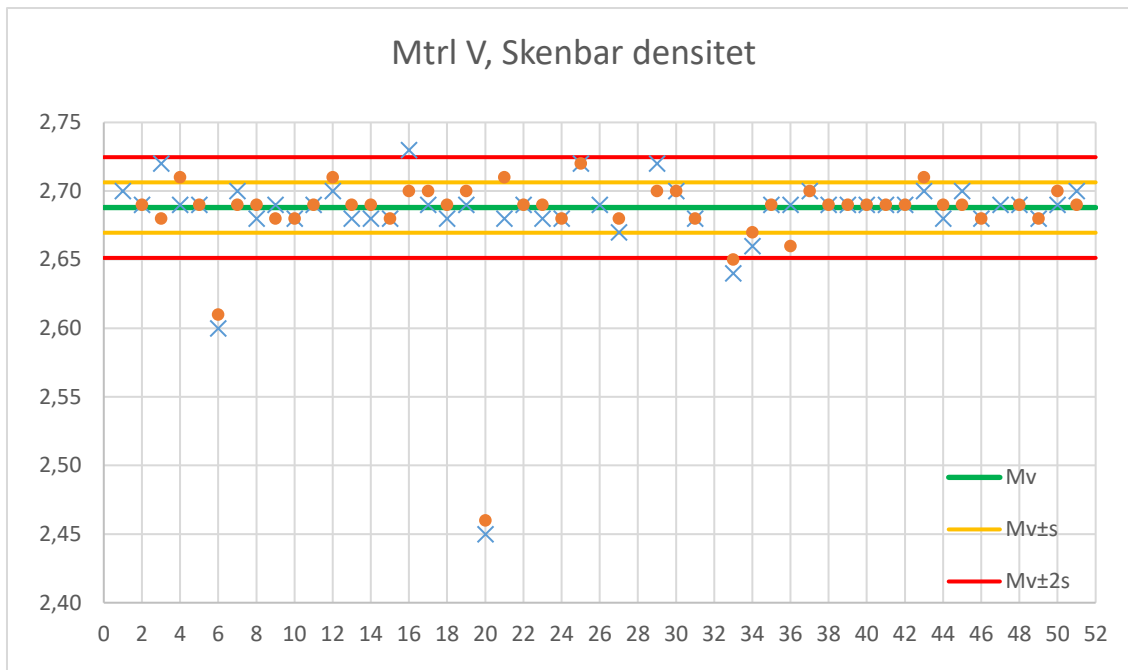
Deltagare nr 20 är inte medräknad i statistiken för densitet förutom för minimumvärdet (och maximum).

*Tabell 5. Material V, statistiska resultat. Densitet i Mg/m<sup>3</sup>.*

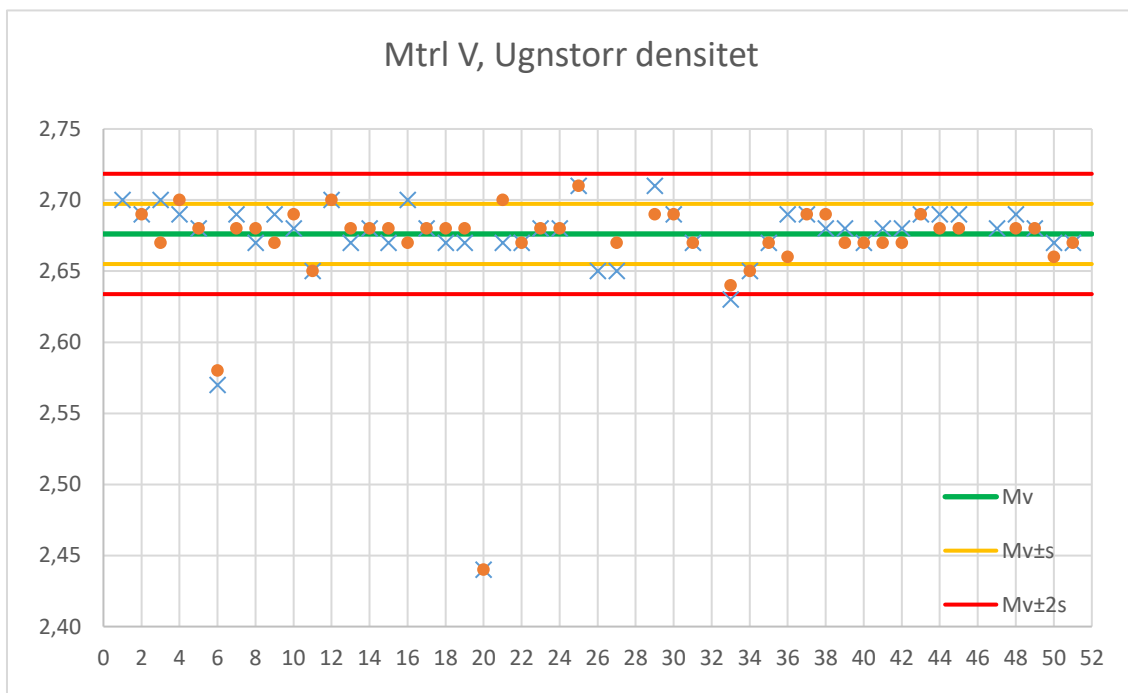
*Röda värden är lika med eller utanför medelvärde  $\pm 2$  standardavvikelser.*

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

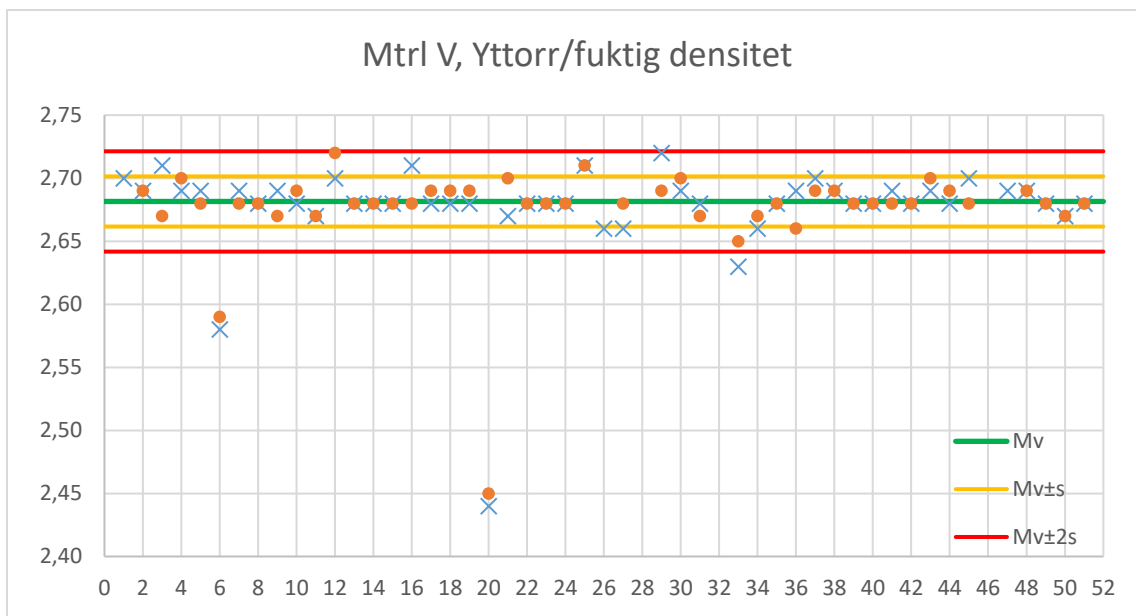
Densitet	Skenbar	Ugnstorr	Yttorr/fuktig		WA <sub>24</sub>
Max	2,73	2,71	2,72		0,6 %
Medel +2s	2,725	2,718	2,721		0,46 %
Medel + s	2,706	2,697	2,701		0,32 %
<b>Medel</b>	<b>2,688</b>	<b>2,676</b>	<b>2,682</b>		<b>0,19 %</b>
Medel - s	2,670	2,655	2,662		0,05 %
Medel -2s	2,651	2,634	2,642		-0,09 %
Min	2,45	2,44	2,44		0,0 %
stdav	0,018	0,021	0,020		0,14 %
stdav/medel	0,7 %	0,8 %	0,7 %		73,0 %
Antal	93	91	91		93



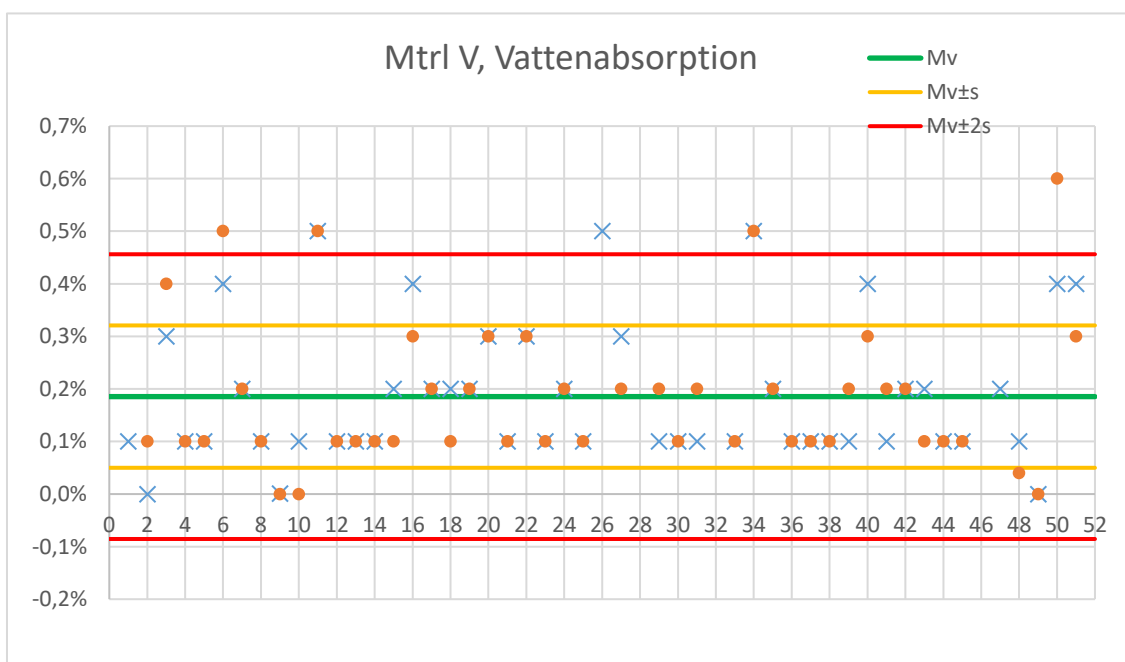
Figur 9. Material V, redovisning av skenbar densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 10. Material V, redovisning av ugnstorr densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 11. Material V, redovisning av fuktig och yttorr densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 12 Material V, redovisning av vattenabsorption. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.

## 2.4. Material J, sortering 0/4 mm (naturesand).

Analyserad enligt kapitel 9 i SS-EN 1097-6.

Vilket innebär användande av pyknometer och eventuellt ”konen” för bedömning av yttorr men fortfarande fuktig efter lufttorkning eventuellt med hjälp av varmluft.

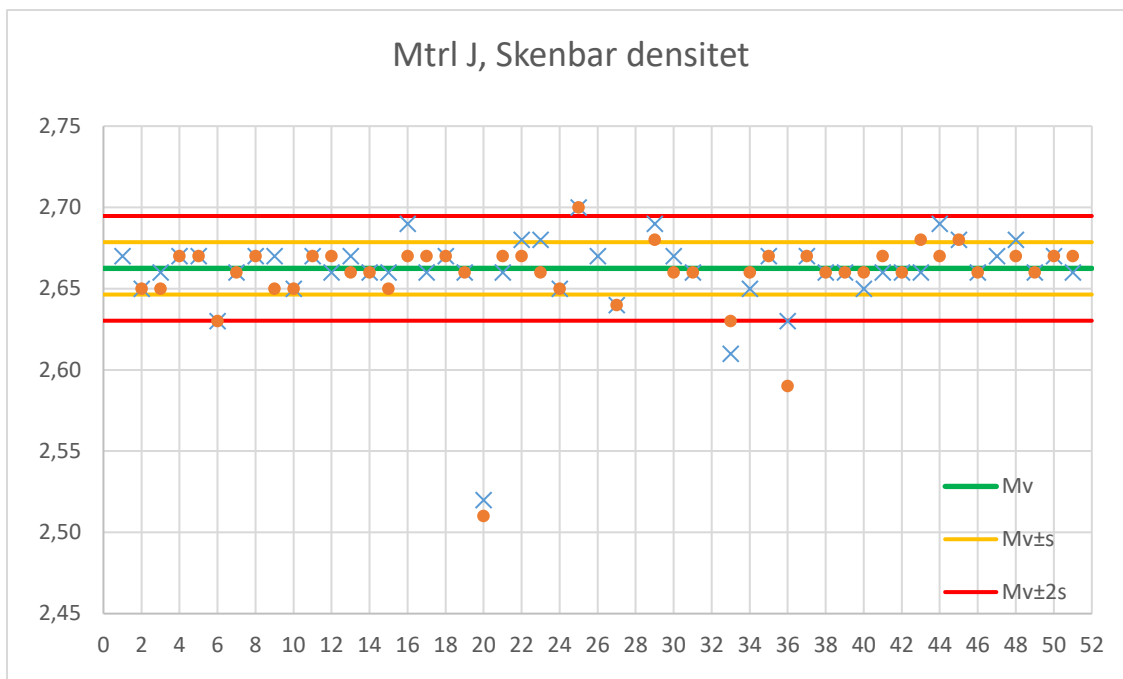
Resultat redovisas, exklusive lab. nr 20 för densitetstatistik, lab. 20 är dock medräknad i minimum (och maximum), i Tabell 6 samt i Figur 13 (skenbar densitet), Figur 14 (ugnstorr densitet), Figur 15 (yttorr/fuktig densitet) och Figur 16(vattenabsorption). Y-axeln i figurerna/diagrammen är autojusterad så observera att de kan skilja sig åt.

Tabell 6. Material J, statistiska resultat. Densitet i Mg/m<sup>3</sup>.

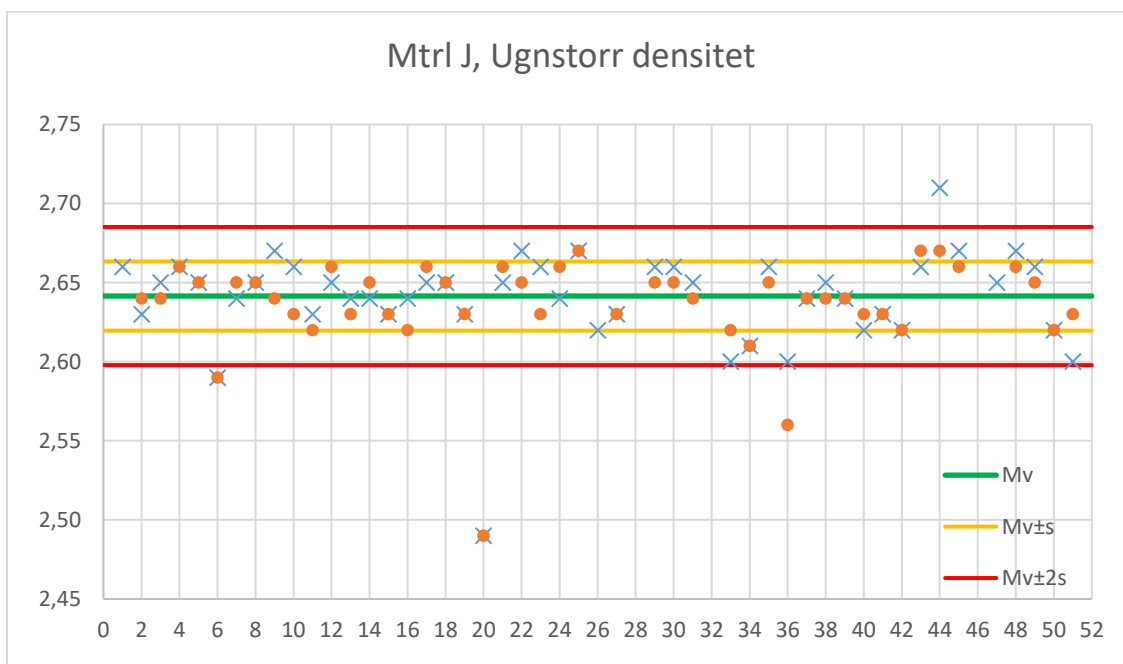
*Röda värden är lika med eller utanför medelvärde  $\pm 2$  standardavvikelser.*

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

Densitet	Skenbar	Ugnstorr	Yttorr/fuktig		WA <sub>24</sub>
Max	2,70	2,71	2,68		0,8 %
Medel +2s	2,695	2,685	2,684		0,71 %
Medel + s	2,679	2,663	2,667		0,53 %
<b>Medel</b>	<b>2,662</b>	<b>2,642</b>	<b>2,650</b>		<b>0,34 %</b>
Medel - s	2,646	2,620	2,632		0,15 %
Medel -2s	2,630	2,598	2,615		-0,04 %
Min	2,51	2,49	2,50		0,0 %
stdav	0,016	0,022	0,017		0,19 %
stdav/medel	0,6 %	0,8 %	0,6 %		55,6 %
Antal	93	91	91		93

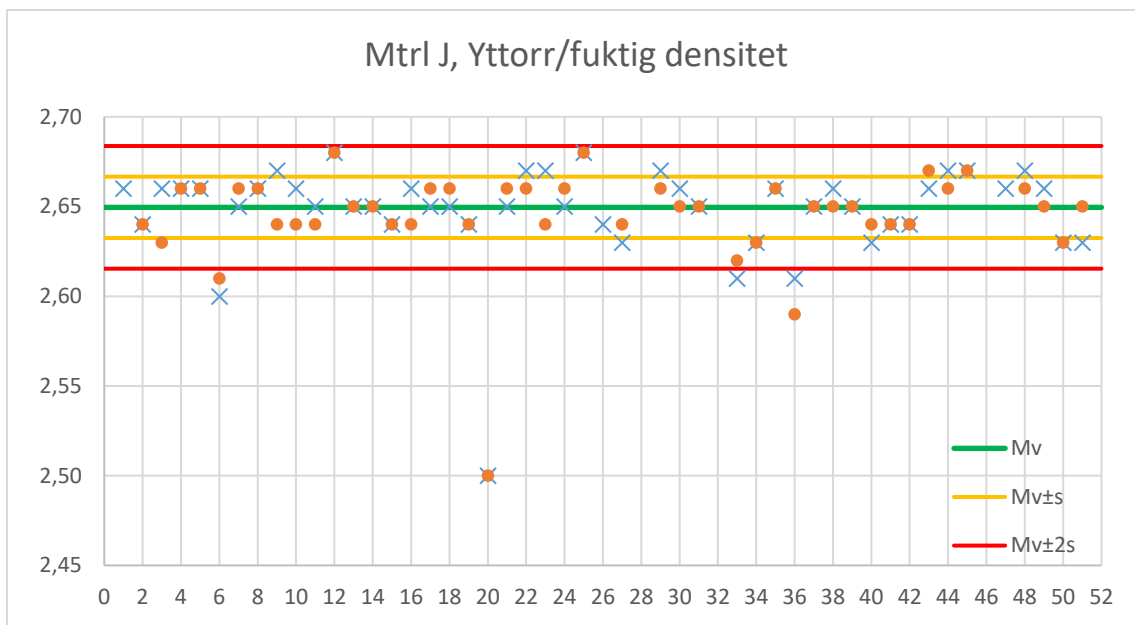


Figur 13. Material J, redovisning av skenbar densitet [ $\text{Mg}/\text{m}^3$ ]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.

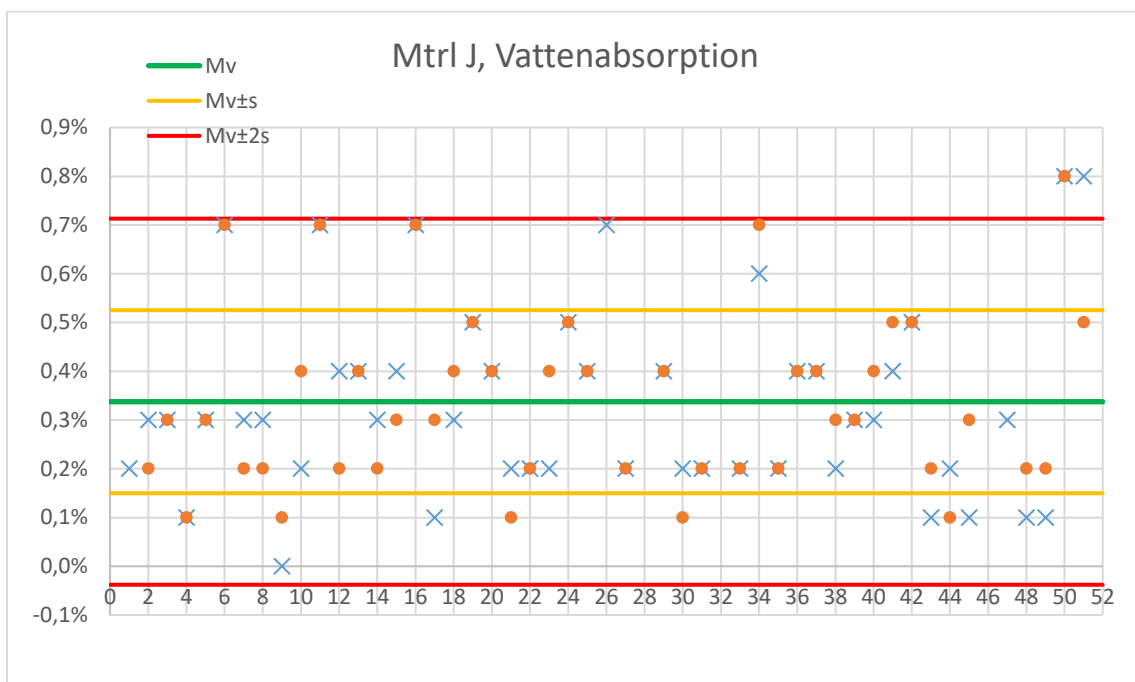


Figur 14. Material J, redovisning av ugnstorr densitet [ $\text{Mg}/\text{m}^3$ ]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.





Figur 15. Material J, redovisning av yttorr men fuktig densitet [Mg/m³]. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.



Figur 16. Material J, redovisning av vattenabsorption. Laboratorienummer på x-axeln. Blått kryss för delprov A och orange prick för delprov B.

### 3. Utvärdering

I detta kapitel utvärderas olika sätt att titta på spridningar, extremresultat (outliers) och precisionsdata.

Skillnaderna mellan maximi- och minimivärden är cirka 0,04 Mg/m<sup>3</sup> i densitet för de grövre sorteringarna (material F och S). Motsvarande skillnad för de finare sorteringarna (material V och J) är cirka 0,10 Mg/m<sup>3</sup>.

För vattenabsorptionen är differenserna mellan maximi- och minimivärdena ca 0,5 %-enheter med ett medel-medelvärde på 0,3 %.

#### 3.1. Standardavvikelse och variationskoefficient

*Om man som laboratorium avviker med mer än två standardavvikelser eller inte får man analysera själv utifrån sina egna resultat och diagrammen i kapitel 2, se även 5.1*

Standardavvikelse och variationskoefficient redovisas i Tabell 7 för fuktig men yttorr densitet som ett exempel. Den är snarlik för de andra varianterna av densitet. För de grövre sorteringarna (11/16 mm, material S och F) är spridningarna mycket små. De, dubblas för de fina sorteringarna (0/4 mm och 0/2 mm, material V och J) men har ändå variationskoefficienten (standardavvikelse dividerat med medelvärdet) under 1%. För de fina materialen är det värsta extremvärdet (outliern) bortplockad.

*Tabell 7. Fuktig men yttorr korndensitet [Mg/m<sup>3</sup>], enskilda resultat.*

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2
Antal	95	95	91	91
Medelvärde	2,641	2,612	2,682	2,650
Standardavvikelse	0,009	0,009	0,020	0,017
Variationskoefficient	0,4%	0,3%	0,7%	0,6%

I Tabell 8 redovisas statistiska data för vattenabsorption. Resultaten (till exempel medelvärden) för vattenabsorption är generellt låga, både i denna ringanalys och för svenska bergmaterial i allmänhet vilket gör att små (normala) spridningar blir relativt stora. En sak som kan påverka resultaten är att det kan vara svårt att subjektivt avgöra när ett material yttorr och fortfarande fuktigt (i porer och sprickor).

*Tabell 8. Vattenabsorption [%], enskilda resultat.*

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2
Antal	95	95	93	93
Medelvärde	0,42	0,42	0,19	0,34
Standardavvikelse	0,11	0,13	0,14	0,19
Variationskoefficient	27%	30%	73%	56%

#### 3.2. Outliers

Avviker man med två eller mer standardavvikelser från medelvärdet kanske man ändå inte är en outlier i statistisk mening. Se även kapitel 3.5, Bilaga 1 och 5.1.

Med hjälp av Excelverktyg på VTI (Viman) har data analyserats för att fånga upp avvikande resultat, s.k. outliers. Den kollar outliers enligt Mandels, Cochrans och Grubbs test. Vilka deltagare som fångas upp som outliers redovisas i Tabell 9.

### 3.3. Precisionsdata

Precisionsdata i form av repeterbarheten,  $r$  och reproducerbarheten,  $R$ , och eventuella outliers (avvikare) redovisas fullständigt i Bilaga 3 och Tabell 24. För beräkning av precisionsdata har VTIs Excelverktyg (Viman) använts.

Precisionsdata skiljer sig inte så mycket åt mellan densitetsvarianterna så i Tabell 9 och Tabell 10 redovisas ”fuktig men yttor korndensitet, som generellt hamnar i mitten av de tre olika densiteterna. Precisionsdata i form av repeterbarheten,  $r$  och reproducerbarheten,  $R$ , redovisas i Tabell 9 inklusive outliers (statistiskt avvikande resultat) och i Tabell 10 där de avvikande deltagarna är borträknade. För de finare sorteringarna är skillnaden relativt stor i jämförelse med eller utan outliers.

Tabell 9. repeterbarhet och Reproducerbarhet, inklusive outliers för fuktig och yttorr korndensitet [ $Mg/m^3$ ].

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2	Medel
Medelvärde (standardavvikelse)	2,64 (0,01)	2,61 (0,01)	2,68 (0,04)	2,65 (0,03)	2,65 (0,02)
repeterbarhet, $r$	0,017	0,012	0,028	0,023	0,020
Reproducerbarhet, $R$	0,027	0,025	0,113	0,079	0,061
Antal delresultat	95	95	93	93	94
Outliers, lab.nr	-	3/24/26	3/20	3/9/20/23	-

Tabell 10. repeterbarhet och Reproducerbarhet, med outliers borträknade, för fuktig och yttorr korndensitet.

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2	Medel
Medelvärde (standardavvikelse)	2,64 (0,01)	2,61 (0,01)	2,68 (0,02)	2,65 (0,02)	2,65 (0,02)
repeterbarhet, $r$	<b>0,017</b>	<b>0,010</b>	<b>0,026</b>	<b>0,018</b>	<b>0,018</b>
Reproducerbarhet, $R$	<b>0,027</b>	<b>0,022</b>	<b>0,057</b>	<b>0,049</b>	<b>0,039</b>
Antal delresultat	95	90	89	85	90

Tittar man på precisionsdata för sortering/fraktion eller de olika kapitlen i standarden 8 och 9 var för sig får man för:

- Kapitel 8, för fraktioner 4-31,5 mm att:
  - Analyserade material är S och F, sortering 11/16 mm
  - $r = 0,013$  i snitt för de olika korndensiteterna
  - $R = 0,025$  i snitt för de olika korndensiteterna

- Kapitel 9, för fraktioner 0,063-4 mm att:
  - Analyserade material är V i sortering 0/4 mm och J i sortering 0/2 mm
  - $r = 0,020$  i snitt för de olika korndensiteterna
  - $R = 0,052$  i snitt för de olika korndensiteterna

Tabell 11. Precisionsdata för provning enligt standardens kapitel 8 i denna ringa analys jämfört med precisionsdata i standarden (SS-EN 1097-6:2013), för fuktig och yttorr korndensitet.

Provning enligt SS-EN 1097-6, kap. 8	Denna ringanalys	Standarden EN 1097-6 table I.3	Standarden EN 1097-6 table I.6
Material	11/16 mm	-	10/14 mm
Medelvärde	2,63 Mg/m <sup>3</sup>	-	2,67 Mg/m <sup>3</sup>
Antal	93	-	19
repeterbarhet, r	<b>0,013</b>	0,031	0,008
Reproducerbarhet, R	<b>0,025</b>	0,049	0,012

Tabell 12. Precisionsdata för provning enligt standardens kapitel 9 i denna ringa analys jämfört med precisionsdata i standarden (SS-EN 1097-6:2013), för fuktig och yttorr korndensitet.

Provning enligt SS-EN 1097-6, kap. 9	Denna ringanalys	Standarden EN 1097-6 table I.3
Material	0/4 mm (och 0/2 mm)	-
Medelvärde	2,67 Mg/m <sup>3</sup>	-
Antal	87	-
Repeterbarhet, r	<b>0,020</b>	0,035
Reproducerbarhet, R	<b>0,052</b>	0,070

I jämförelse med table I.3 i standarden (SS-EN 1097-6:2013) så har denna ringanalys bättre precisionsdata, ungefär hälften så stora värden repeterbarhet och reproducerbarhet. I jämförelse med table I.6 så är denna ringanalys däremot sämre med ungefär dubbelt så stora precisionsvärden. Se Tabell 11 och Tabell 12.

Precisionsdata i denna ringanalys för vattenabsorption inklusive outliers och vilka som är outliers redovisas i Tabell 13. Räknas dessa outliers bort förbättras precisionsdata något men inte med stora siffror, jämför med Tabell 14.

Tabell 13. repeterbarhet och Reproducerbarhet, inklusive outliers för vattenabsorption [%-enheter].

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2	Medel
Medelvärde (standardavvikelse)	0,42 (0,12)	0,42 (0,13)	0,19 (0,14)	0,34 (0,19)	0,34 (0,14)
repeterbarhet, r	0,12	0,14	0,13	0,20	0,15
Reproducerbarhet, R	0,33	0,36	0,39	0,54	0,41

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2	Medel
Antal delresultat	95	95	93	93	94
Outliers, lab.nr	33	12/36	50	50/51	-

Tabell 14. repeterbarhet och Reproducerbarhet, med outliers borträknade, för vattenabsorption

Material	S, 11/16	F, 11/16	V, 0/4	J, 0/2	Medel
Medelvärde (standardavvikelse)	0,43 (0,11)	0,42 (0,13)	0,18 (0,13)	0,32 (0,17)	0,34 (0,14)
<b>repeterbarhet, r</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,19</b>	<b>0,14</b>
<b>Reproducerbarhet, R</b>	<b>0,30</b>	<b>0,35</b>	<b>0,37</b>	<b>0,49</b>	<b>0,38</b>
Antal delresultat	93	91	91	89	91

Tittar man på precisionsdata för sortering/fraktion eller de olika kapitlen i standarden 8 och 9 var för sig får man för:

- Kapitel 8, fraktioner 4-31,5 mm att:
  - Analyserade material är S och F, sortering 11/16 mm
  - $r = 0,12$  för vattenabsorption
  - $R = 0,33$  för vattenabsorption
- Kapitel 9, fraktioner 0,063-4 mm att:
  - Analyserade material är V i sortering 0/4 mm och J i sortering 0/2 mm
  - $r = 0,15$  för vattenabsorption
  - $R = 0,43$  för vattenabsorption

I jämförelse med standarden är precisionen i denna ringanalys i paritet med standarden (för fraktion 4-31,5mm table I.6) eller klart bättre (jämfört med table I.4 för båda analysfraktionerna. Se Tabell 15 och Tabell 16.

Tabell 15. Precisionsdata för provning enligt standardens kapitel 8 i denna ringa analys jämfört med precisionsdata i standarden (SS-EN 1097-6:2013).

Provning enligt SS-EN 1097-6, kap. 8	Denna ringanalys	Standarden EN 1097-6 table I.4	Standarden EN 1097-6 table I.6
Material	11/16 mm	-	10/14 mm
Medelvärde	0,43 %	-	0,5 %
Antal	88	-	19
<b>repeterbarhet, r</b>	<b>0,12 %</b>	0,3 %	0,13 %
<b>Reproducerbarhet, R</b>	<b>0,33 %</b>	0,4 %	0,31 %

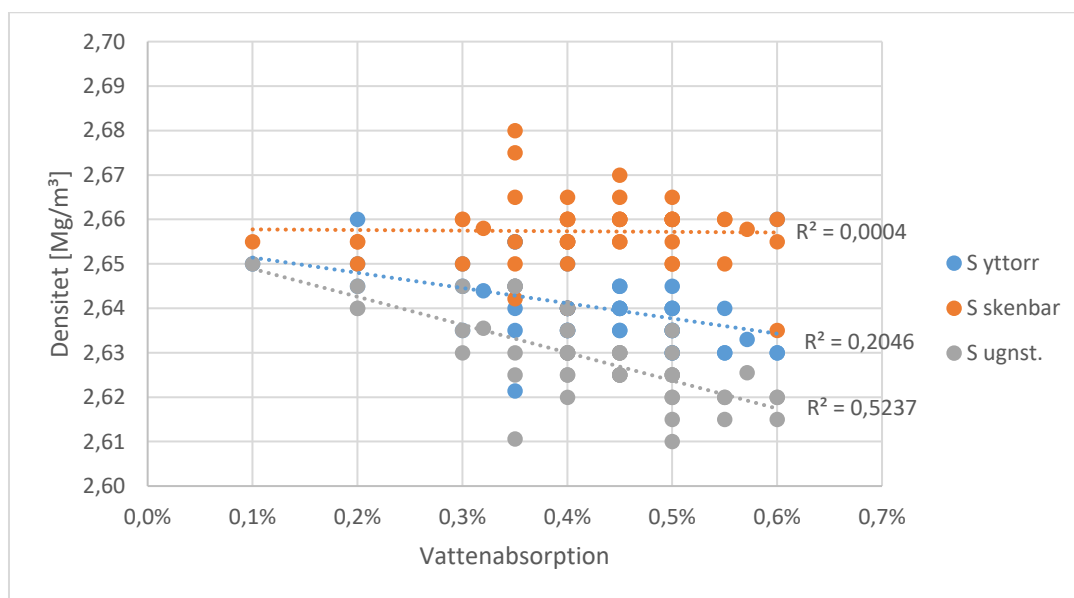
Tabell 16. Precisionsdata för provning enligt standardens kapitel 9 i denna ringa analys jämfört med precisionsdata i standarden (SS-EN 1097-6:2013).

Provning enligt SS-EN 1097-6, kap. 9	Denna ringanalys	Standarden EN 1097-6 table I.4
Material	0/4 mm (och 0/2 mm)	-
Medelvärde	0,25 %	-
Antal	90	-
repetierbarhet, r	<b>0,15 %</b>	0,5%
Reproducerbarhet, R	<b>0,43 %</b>	1,2%

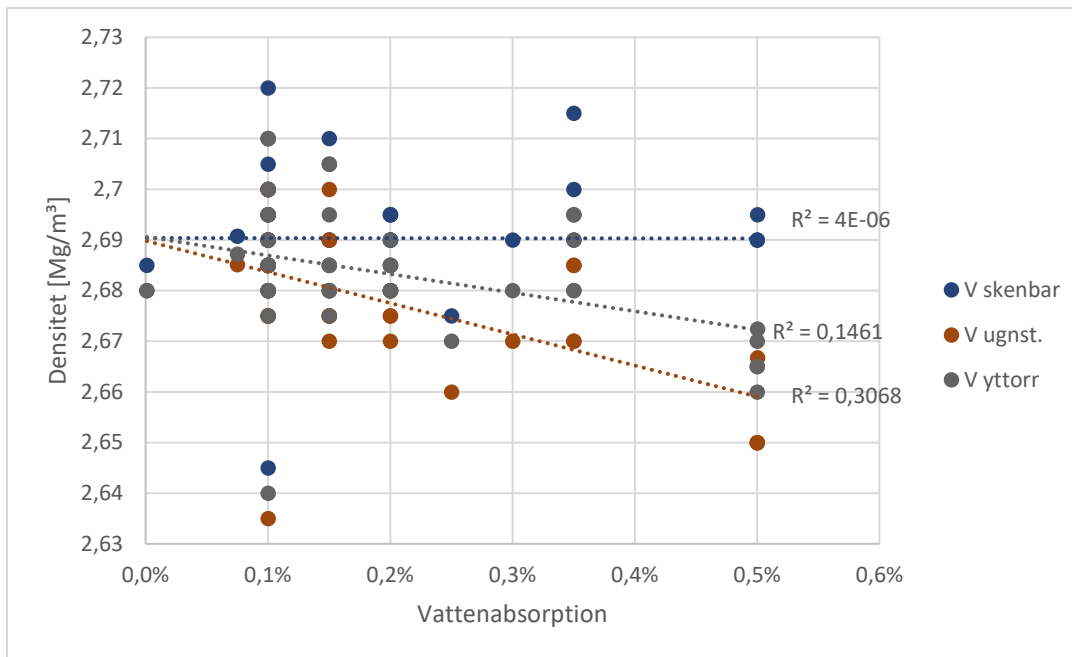
### 3.4. Samband densitet och WA

Främst ugnstorr densitet men även fuktig och yttorr densitet är beroende av vattenabsorptionen (vattenkvoten vid yttorr status). Vilket också kan anas i följande diagram; hög vattenabsorption ger lägre densitet. Dock är korrelationen i form av  $R^2$  inte särskilt höga.

Skenbar densitet påverkas inte av vattenabsorptionen,



Figur 17. Korrelation mellan olika densiteter och vattenabsorption för material S.



Figur 18. Korrelation mellan olika densiteter och vattenabsorption för material V.

### 3.5. Avancerad statistisk analys

I en mer avancerad statistisk analys som i detalj redovisas i Bilaga 1 studeras om deltagande laboratorier avviker vad gäller nivå jämfört med andra eller med variation mellan egna delprover.

För nivån kontrolleras om deltagarna är inom (förväntade) normalvariationen av alla utskickade prover.

För variation kontrolleras hur det sprider mellan egna delprov som genererat medelvärden och om den är avvikande.

Under resultatanalysen bör man (försöka) ta vara på möjligheten att se på hela mönster av avvikelser. En osäkerhet är ifall provet eller laboratoriet avviker. Olika osäkerhetskällor ger olika mönster i resultaten.

#### 3.5.1. Sammanställda resultat

Det finns lite ströavvikelser. Här beskrivs det som sticker ut lite mer tydligt. För övriga redovisningar får man gå tillbaka till Tabell 20 t.o.m. Tabell 23 för att se vilka som är med.

#### Densitet

##### Nivå

Laboratorium **20** avviker med låga värden i fraktion 2 (0,063-4 mm). Laboratorium **6** har misstänkt låga värden i material V. Laboratorium **12** uppträder lite speciellt inom fraktion 1 (4-31,5 mm), vilket beskrivs närmare i diskussionsavsnittet. Laboratorium **36** ska diskuteras igen angående resultat om variation.

##### Variation

Den tydligaste avvikelserna gäller laboratorium **36** inom fraktion 2 (0,063-4 mm). Det är tyvärr inte problemfritt att avgöra om det här ska betraktas som en avvikelse, men laboratoriet hade också lite gränsfall till avvikelse i nivå enligt ovan.

## Vattenabsorption

### Nivå

Det som sticker ut mest är att laboratorium **33** avviker med låga värden i fraktion 1 (4-31,5 mm) men ändå någorlunda i utkanten av punktsvärmen. Laboratorierna **6, 11, 26, 50** ligger lite högt i fraktion 2 (0,063-4 mm) men de är svåra att yttra sig bestämt om p.g.a. att fördelningen inte ser symmetrisk ut.

### Variation

Laboratorium **12** förekommer i flest celler (i tabellerna i Bilaga 1 ) och till skillnad från de många andra misstänkta avvikelser så gäller det material i två olika fraktioner. Laboratorium **12** uppträder också på ett unikt sätt i densitetnivå, vilket nämns i diskussionen

### 3.5.2. Diskussion

Data är mångdimensionell och svår att överblicka. Misstänkta laboratorier avviker vanligen på ett material men inte på ett annat, eller på en fraktion men inte på den andra. Redovisningen ovan och i Bilaga 1 försöker att ge en bild av resultat som inte signalerar för enskilda ströavvikelser. Det bör vara en lite mer sammanhängande bild av avvikelser för att man ska våga konstatera att ett laboratorium avviker. En metod för sammanslagna medelvärden är ganska rakt på sak. En metod för sammanslagna varianser är svårare och måste hanteras olika beroende på i vilken dimension sammanslagningen sker.

Man ser att avrundningen av resultaten är av samma storleksordning som variation mellan och inom laboratorier. Man förstår vidare att det genererar osäkerhet när man använder den här statistiska metoden.

Det är ganska tydligt att det inte är någon stor skillnad mellan densitetsmetoder. Här genomförs egentligen inte någon genomarbetad analys av variation mellan densitetsmetoder. Man kan tänka sig att ett laboratorium avviker i densitet genom att redovisa ovanligt högt värde med en densitetsmetod och ovanligt lågt med en annan. Det tydligaste exemplet här är att laboratorium **12** i fraktion 1 (4-31,5 mm) rapporterar förhållandevis låga densiteter vid skenbart torr medan det rapporterar förhållandevis höga värden vid yttorr.

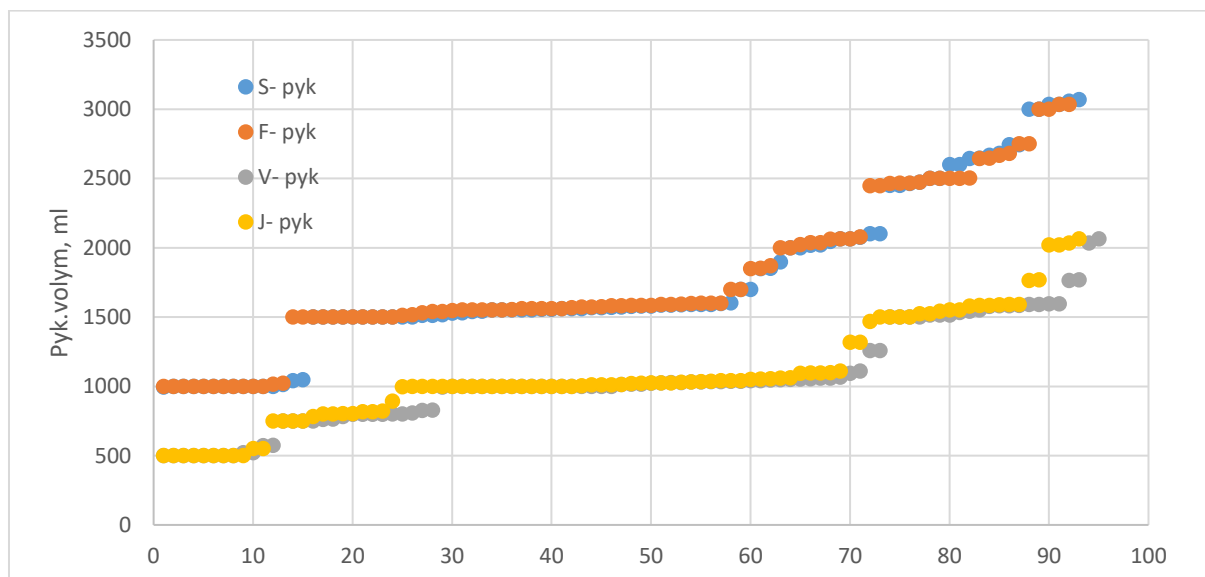


## 4. Effekt av variationer

I detta kapitel studeras om och hur olika faktorer som kan varieras påverkar densitet och/eller vattenabsorption.

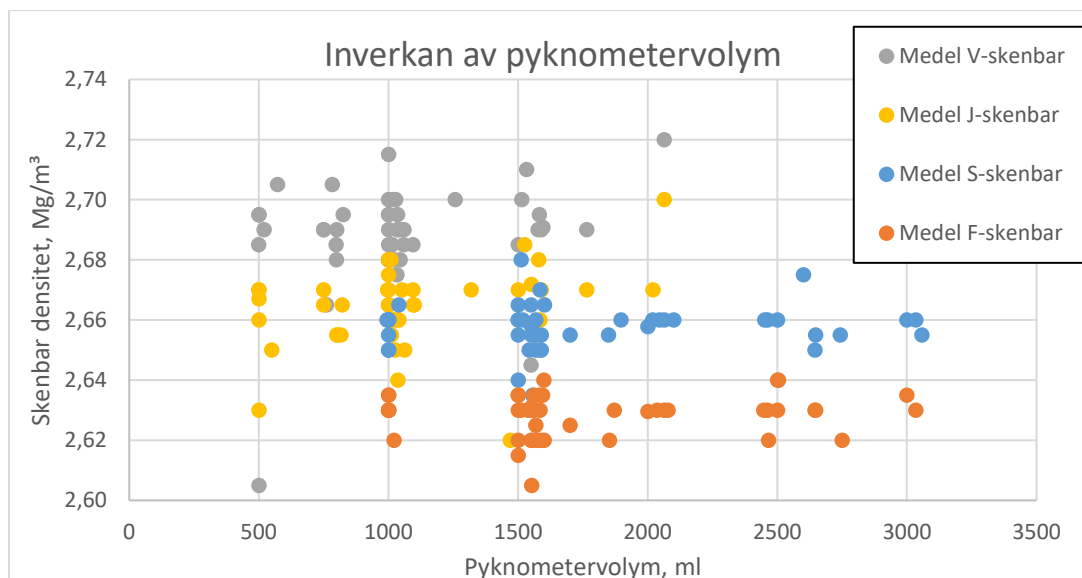
### 4.1. Pyknometer

De storlekar som är vanligast, i denna ringanalys, är pyknometrar på ca 1000 ml och 1500 ml. I Figur 19 visas redovisade storlekar sorterade i storleksordning per material.



Figur 19. Pyknometerstorlek sorterade i storleksordning för varje material.

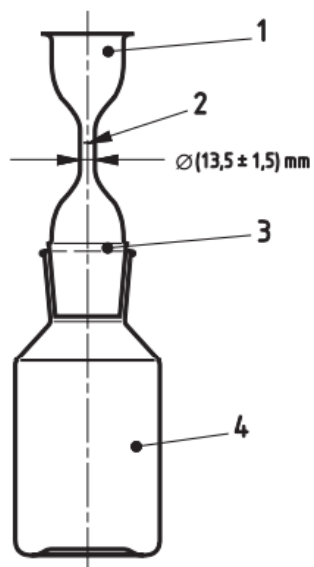
Någon inverkan på korndensiteten verkar inte storleken på pyknometern ha. I Figur 20 redovisas skenbar korndensitet i förhållande till angiven pyknometerstorlek för respektive provmaterial.



Figur 20. Påverkan av pyknometervolym på skenbar korndensitet redovisad materialvis.

Typen av pyknometer verkar inte heller påverka resultaten nämnvärt. Deltagarna i denna ringanalys har angett att de använt pyknometer enligt Figure 1 i SS-EN 1097-6:2013 som består av en glasflaska med en speciell tratt, rak glaspyknometer med platt lock, rak metallpyknometer med platt lock eller rundkolv. Se exempel i Figur 21. De vanligaste är de raka pyknometrarna (i glas eller metall) med

platt lock. Av de som angivit pyknometertyp, ca 45 st., är det två-tre stycken som angivit att de använder en pyknometer som föreslås i standarden och det är ett laboratorium som för de fina materialen angivit rundkolv.



Figur 21. Till vänster standardens förslag. Till höger raka glaspyknometrar med platt lock (här med asfalt). Foto Håkan Arvidsson, VTI.

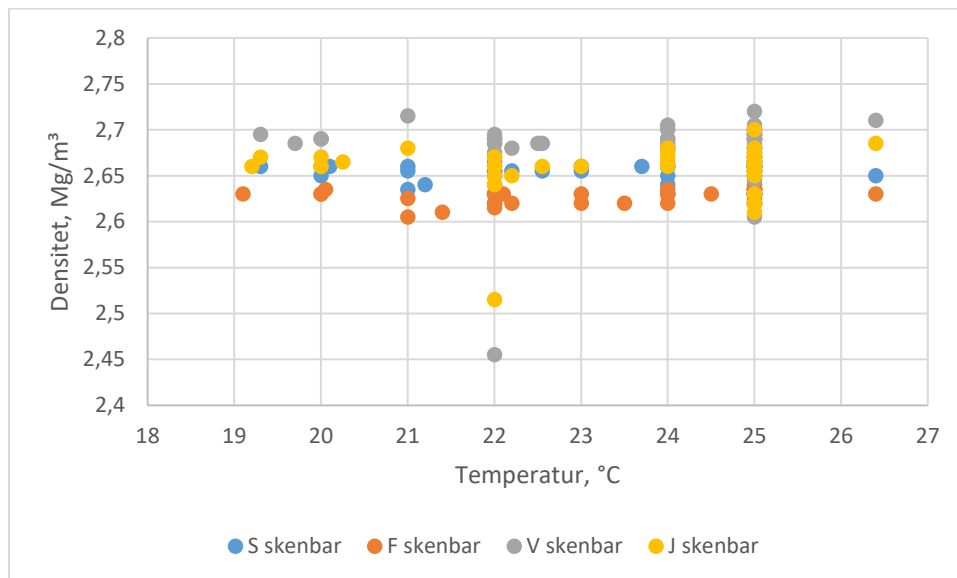
I Tabell 17 kan man utläsa hur mycket pyknometertypen påverkar medelvärdet av den skenbara korndensiteten med standardavvikelse och antal. Det värde som avviker är ”enligt figur 1 i SS-EN 1097-6” för material V men där är ett av två värden nästan extremt lågt.

Tabell 17. Betydelse av pyknometertyp redovisas som medelvärdet av skenbar korndensitet med enheten Mg/m<sup>3</sup>.

Material och densitet	Pyknometertyp	Medelvärde	Standardavvikelse	Antal
S, skenbar densitet.	Enligt figur 1 i SS-EN 1097-6	<b>2,657</b>	0,006	3
S, skenbar densitet.	Glas med platt lock	<b>2,658</b>	0,008	29
S, skenbar densitet.	Metall med platt lock	<b>2,658</b>	0,007	14
F, skenbar densitet.	Enligt figur 1 i SS-EN 1097-6	<b>2,632</b>	0,003	3
F, skenbar densitet.	Glas med platt lock	<b>2,627</b>	0,007	26
F, skenbar densitet.	Metall med platt lock	<b>2,630</b>	0,007	16
V, skenbar densitet.	Enligt figur 1 i SS-EN 1097-6	<b>2,653</b>	0,067	2
V, skenbar densitet.	Glas med platt lock	<b>2,690</b>	0,011	36
V, skenbar densitet.	Metall med platt lock	<b>2,688</b>	0,017	9
V, skenbar densitet.	Rundkolv	<b>2,685</b>	-	1
J, skenbar densitet.	Enligt figur 1 i SS-EN 1097-6	<b>2,650</b>	0,028	2
J, skenbar densitet.	Glas med platt lock	<b>2,663</b>	0,014	35
J, skenbar densitet.	Metall med platt lock	<b>2,662</b>	0,017	9
J, skenbar densitet.	Rundkolv	<b>2,670</b>	-	1

## 4.2. Vattentemperatur

Då man tar hänsyn till vattendensiteten vid respektive vattentemperatur så kan ingen påverkan av temperaturen skönjas på densitetsvärdena, Figur 22. De flesta ligger inom standardens toleranser,  $22 \pm 3$  °C. Många har temperaturer i sina vattenbad inställda för asfaltdensiteter; 25 °C. Någon eller några överskred  $22 \pm 3$  (>25) °C pga. hög sommartemperatur.



Figur 22. Påverkan av vattentemperatur.

## 4.3. Tid för vattenmätning

I princip samtliga deltagare följer stipulerad tid för vattenmätning,  $24 \pm 0,5$  timmar, och det går inte se att dessa små tidsvariationer påverkar densitet och vattenabsorption.

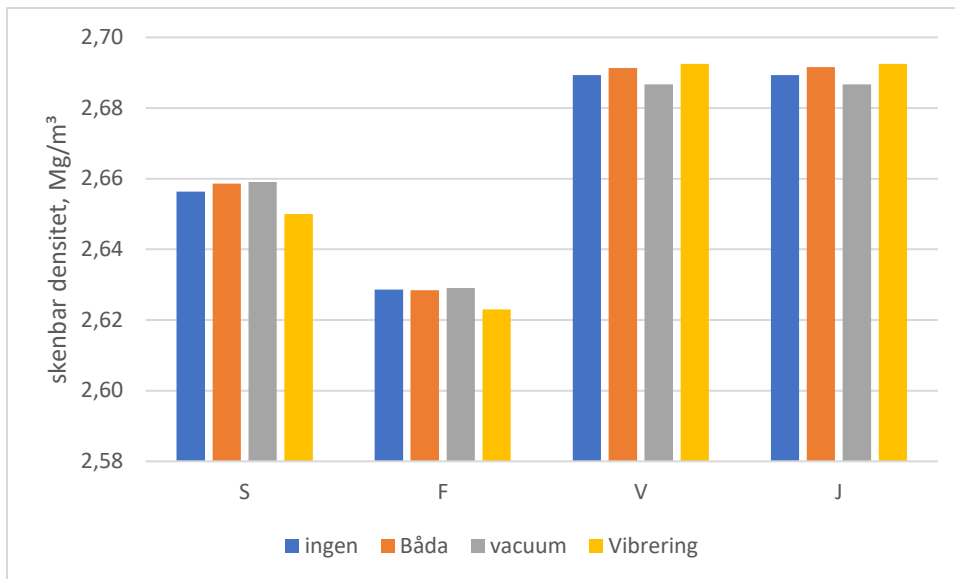
## 4.4. Evakuering av luft

Hur evakuering av luft i provet sker varierar, man kan ta hjälp av vacuum och vibrering, båda eller ingen. Hur laboratorerna angett hur de använder evakuering redovisas Tabell 18.

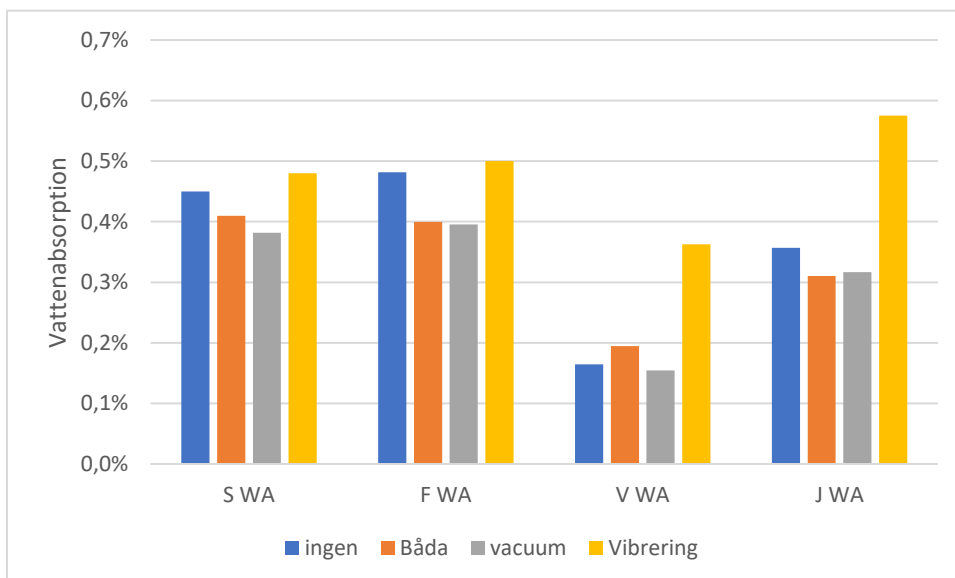
Tabell 18. Antal av respektive evakueringsmetod per material.

	S	F	V	J
<b>ingen</b>	11	11	7	7
<b>Båda</b>	22	22	26	25
<b>vacuum</b>	11	11	12	12
<b>Vibrering</b>	5	5	4	4
<b>Tot</b>	49	49	49	48

Hur evakueringsmetod har effekt på korndensitet och vattenabsorption redovisas i Figur 23 och Figur 24. För korndensitet går det inte dra någon generell slutsats. För vattenabsorption förefaller användande av vacuum (kategori vacuum och Båda) generellt ge lägre värden. För de finare materialen, V och J, ger endast "vibrering" markant högre vattenabsorption, till och med en fördubbling av vattenabsorptionen. De som angett endast "Vibrering" är dock en liten grupp, 4-5 beroende på fraktion. Även om det i den gruppen är höga/högre värden för vattenabsorption så håller de sig dock inom 2 standardavvikelser från medelvärdet.



Figur 23. Effekt av angiven luftevakueringsmetod för (skenbar) korndensitet.



Figur 24. Effekt av angiven luftevakueringsmetod för vattenabsorption.

#### 4.5. Bedömning av fuktig men yttorr

Hur man bedömer att materialet är ”fuktigt men yttorr” kan variera vilket också visar sig i att vattenabsorptionen har relativt stora spridningar. Vattenabsorptionen är ju vattenkvoten av yttorr prov efter vattenmätning (i 24 timmar). För de grövre materialen är det vanligast med yttorkning med handduk eller liknande. Medan för de finare materialen är det vanligast med varmluft/hårtork. För att kontrollera om material inom fraktion 0,063-4 mm är yttorr finns konkret kontrollen enligt standardens annex F i version 2013 av SS-EN 1097-6. I vilken omfattning den använts är oklart då det inte efterfrågats i frågeunderlaget. Men det är ändå många som använt konen vilket framgått av kommentarer i Bilaga 4, av sammanfattade kommentarer i 4.8 och av inskickade foton av konutfall. Exempel på inskickade foton av yttorra prover visas i Figur 25 till Figur 28.

Att bestämma yttorr men fuktig status anses som knepigt på fina material då konutfallet påverkas av ”inre friktionen” som då ska vara högre för krossat berg än för ”naturesand” som metodiken (i annex F) ska vara framtagen för.





Figur 25. Yttorrät men fuktigt material F. Foton: Amanda Nejman, Skanska och Helen Sälling, Peabasfalt.



Figur 26. Yttorrät men fuktigt material S. Foton: Amanda Nejman, Skanska och Helen Sälling, Peabasfalt.





Figur 27. "Konade" prover av material V. Foton: Martin Sundin, Svevia och Hampus Johansson, NCC.



Figur 28. "Konade" prover av material J. Foton: Hampus Johansson, NCC och Martin Sundin, Svevia.

#### 4.6. Erfarenhet och Kvalitetssystem

I princip samtliga (alla utom en deltagare) har angett att de har ett kvalitetssystem varav alla utom två angav ackreditering som kvalitetssystem.

Vad gäller erfarenhet kunde man ange: 1:a gången, 1 gång/3 år, 1-10/år, 11-30/år och >30/år. Det var cirka 20-25 stycken deltagare som angav 1-10/år eller 11-30/år och endast enstaka svar för övrig erfarenhet. För korndensitet är det snarlika medelvärden oavsett om man genomför metoden 1-10 gånger eller 11-30 gånger per år. För vattenabsorption är medelvärdet för den mer erfarna gruppen, 11-30 gånger per år, ca 0,05%-enheter högre för de grövre materialen och ca 0,10%-enheter högre värden för de fina materialen. *Vilket innebär att som "oerfaren" är risken större att man låter materialen bli torrare än yttorra (eller att man som erfaren har sämre tålamod och bestämmer att yttorr status infunnit sig för tidigt).*

#### 4.7. Torr provvikt $M_4$

Angivna torrvikter påverkar inte hur mycket laboratorerna sprider från medelvärdet.

#### 4.8. Kommentarer

Laboratorierna/deltagarna har kunnat ange fritextskommentarer. Här sammanfattas några av de viktigaste(?). Kommentarererna i sin helhet redovisas i Bilaga 4.

En deltagare har angett att de använt korgmetoden för 4-31,5 mm (material F och S). -De hamnar generellt lågt för dessa korndensiteter.

Vissa laboratorier har inte haft tillgång till tillräckligt stora pyknometrar, de har delat upp provet i flera delprov

Någon har gjort en hänvisning till C.4 i standarden som berör lättviktsmaterial. där provet ska torkas i högst 15 sekunder med handduk. *"Men eftersom provet ej blev ytorrt så torkades det längre tid."*  
-En felaktig metodreferens för "normalt" bergmaterial men det kanske blev i praktiken rätt?

Någon har valt minska provmängd för mtrl S och F, till ca 1 kg per delprov (krav i tabell 2 i standarden minst 2 kg) *"Skäl till avsteg provmängd: lättare att ha kontroll på stenarnas ytfuktighet med vald provmängd."*

Det finns flera synpunkter om svårighet eller t.o.m olämplighet om att göra vattenabsorption på stensmjöl eftersom metoden inte anses lämplig för krossat material.

- *"De fina materialen torkades först i värmeskåp och sen i rumstemperatur."*
- *"Material V var lurigt. Följer man metoden blir troligen resultatet på WA för lågt eftersom den karakteristiska formen på "högen" efter konen påverkas av hög andel krossat finmaterial. Gissar jag."*
- *"Lång tid för att få fuktigt och yttorrt på de fina materialen. Torkning på olika sätt, hårtork, värmeplatta."*



---

## 5. Diskussion och slutsatser

---

Generellt små spridningar, för densitetsalternativen är variationskoefficienten mindre än 1 %. För 11/16 mm ca 0,3-0,4% och ca 0,6-0,8% för 0/4-materialen.

För vattenabsorption är spridningarna dock relativt stora. Det beror dock på att resultaten är låga värden och den "naturliga" variationen är nästan lika stor som resultaten, cirka 0,3% (det vill säga tre tusendelar). Vattenabsorptionen har knappt 30% i variationskoefficient för de grövre materialen i sortering 11/16 mm och cirka 60-70% för de finare i sortering 0/4 mm.

Ehuru konmetoden är lämplig för att bedöma om finkorniga material är fuktiga och yttorra eller bara det minst dåliga alternativet kan diskuteras. *Alternativ metod för att beräkna vattenabsorption på den fina fraktionen med hjälp av ugnstorkad densitet på (något) grövre fraktion diskuteras i Metodgruppens Ballastutskott under 2023.*

För densitetsnivå sticker laboratorium nummer 20 ut i samtliga typer av utvärderingsanalyser (statistiska och visuella, se till exempel Figur 9 och Figur 14). Det är främst för de finare materialen där även laboratorium nr 6 ligger lågt.

För vattenabsorption är det främst laboratorium 33, 12 och 50 som tydligast utmärker sig.

Generellt är precisionen, repeterbarhet och Reproducerbarhet, i denna ringanalys bättre eller i paritet med SS-EN 1097-6:2013, bortsett från den "table I.6" i standarden som gäller bestämning av korndensitet i pyknometer för fraktion 4-31,5 mm från "Data from cross testing experiments".

### 5.1. Bedömning av egna resultat

Varje deltagare bör (ska) se över sina resultat jämfört medelvärde och standardavvikelse (enligt Manual för ringanalyser). 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 sitt egna kvalitetsarbete och bl.a. för ackreditering).

*Tyvär saknas restmaterial hos VTI för eventuella omprov.*

---

## Referenser

---

SS-EN 1097-6:2013 Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption

*(SS-EN 1097-6:2022 Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption -ny version publicerad efter ringanalysens genomförande.)*

Manual för ringanalyser, Metodgruppen, 2017.

<http://www.metodgruppen.nu/web/page.aspx?refid=102>

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

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

Minnesanteckningar från möten med Metodgruppens utskott för Ballast och obundna material:

<http://www.metodgruppen.nu/web/page.aspx?refid=45>

För-rapport Korndens & Vattenabs SS-EN 1097-6, MG/VTI,

<http://www.metodgruppen.nu/getfile.ashx?cid=574820&cc=3&refid=33>

---

## Bilaga 1 Avancerad statistiska analys

---

### Förklaringar för denna bilaga

Labb	förkortning för laboratorie, laboratorier och/eller laboratorium.
Metod	Den statistiska metoden som använts främst i denna bilaga till skillnad från t.ex. laboratoriemetoder.

### Underlag

#### Labbmetoder

Densitet har bestämts på 3 olika sätt: skenbart torr, ugnstorr och yttorr. Vattenabsorption har bestämts på 1 sätt. Varje mätvärde var tänkt att fastställas i dubbelprov.

### Labb

51 labb fick erbjudande om att vara med. 2 avstod helt. Bland de 49 som svarat förekommer partiellt bortfall.

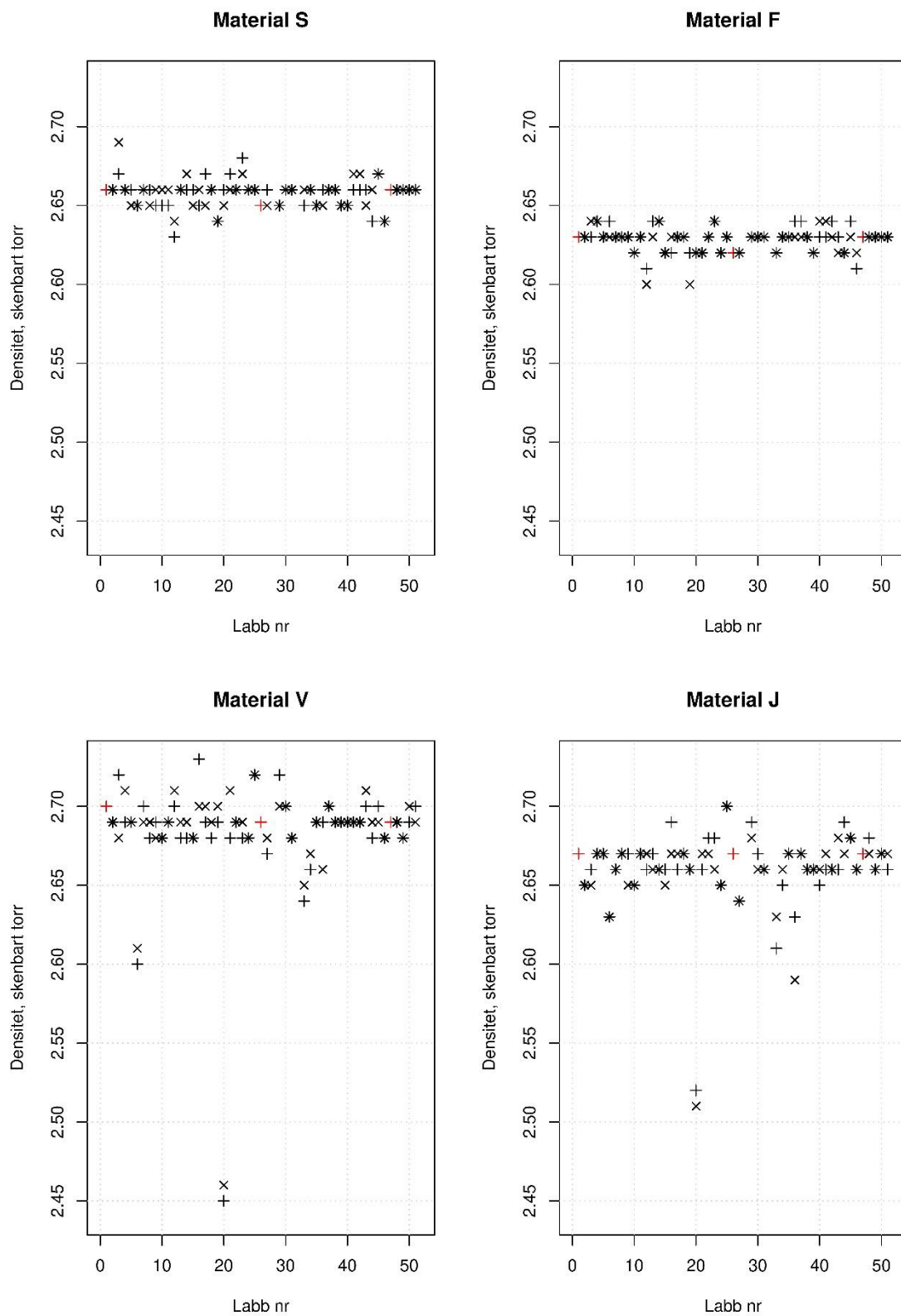
### Material

Data består av 4 material. Materialen kan delas upp i 2 fraktioner med 2 material i vardera fraktion.

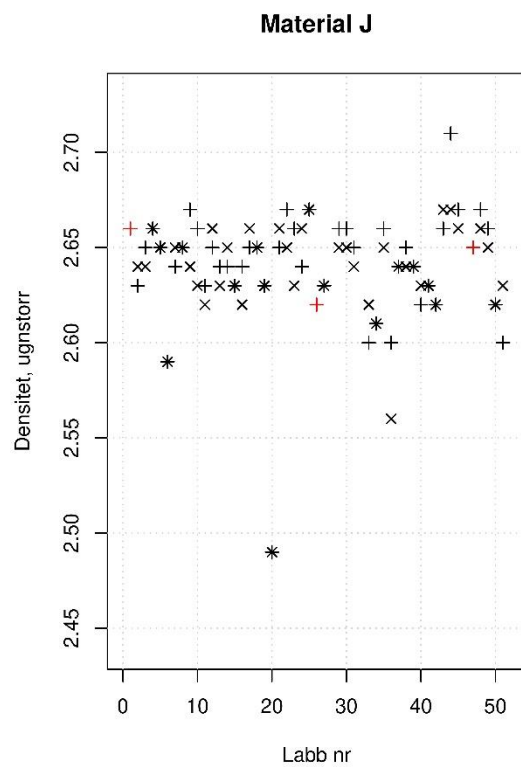
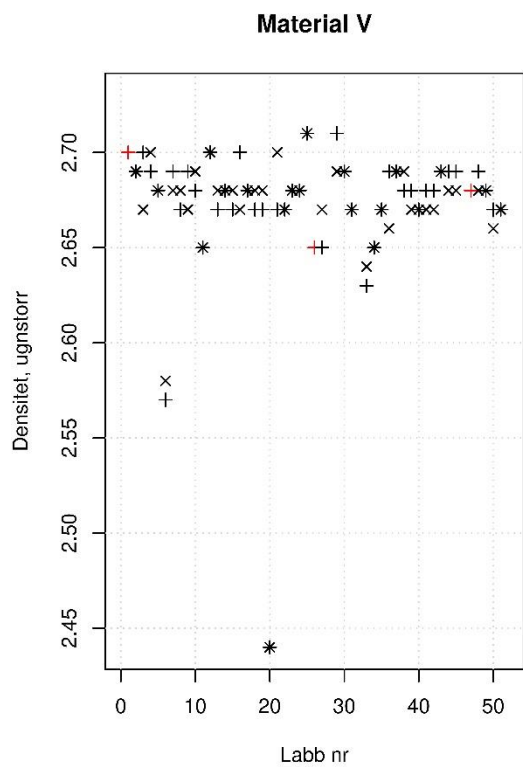
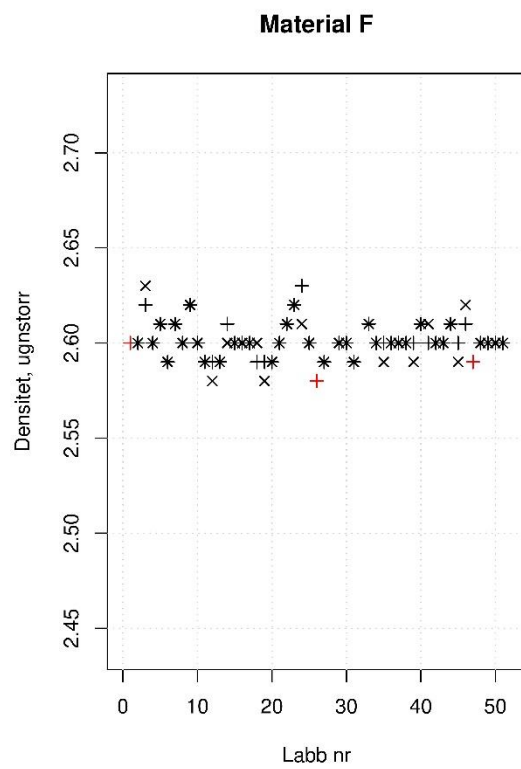
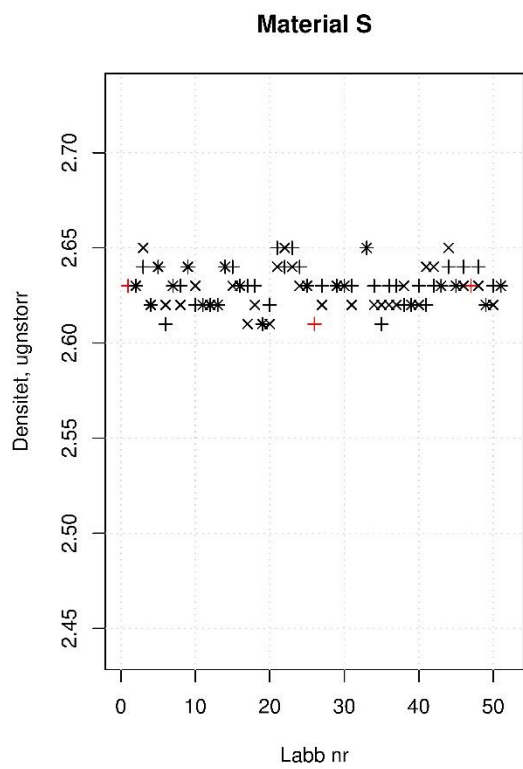
### Data

När ett materialprov skickats till ett labb antas att det delas upp i två delar (A- och B-prov) som sen används i alla bestämningar. Man delar alltså inte upp i olika delar för varje labbmetod och man blandar inte heller proven och gör en ny uppdelning mellan labbproven.

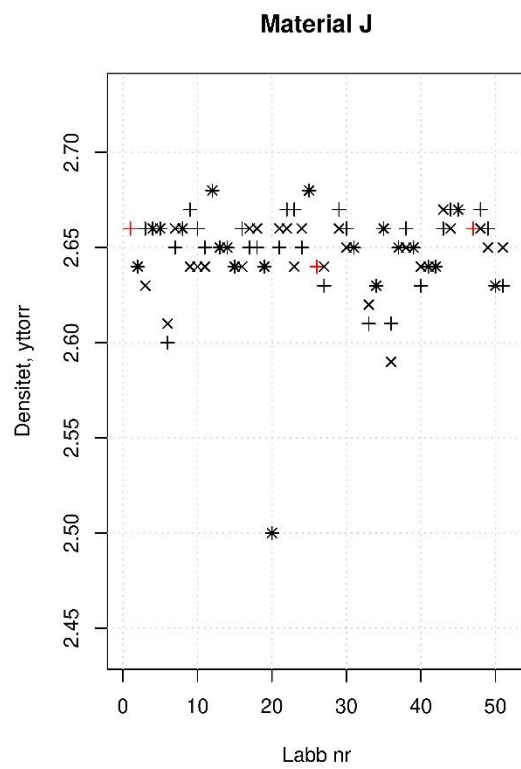
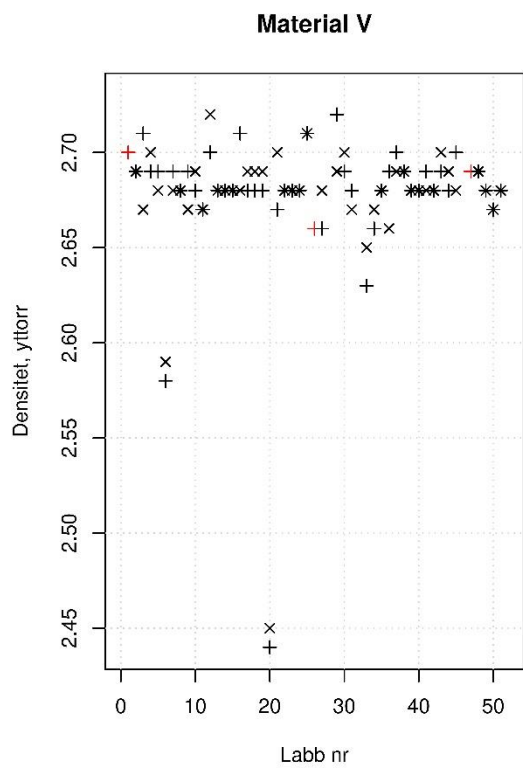
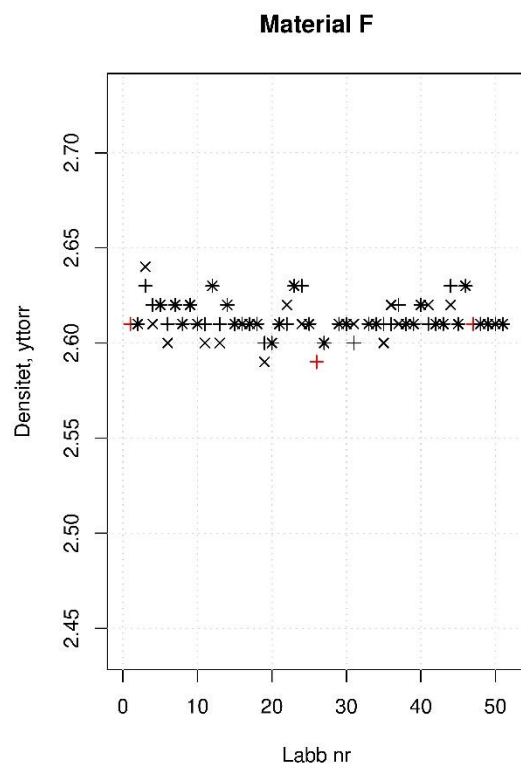
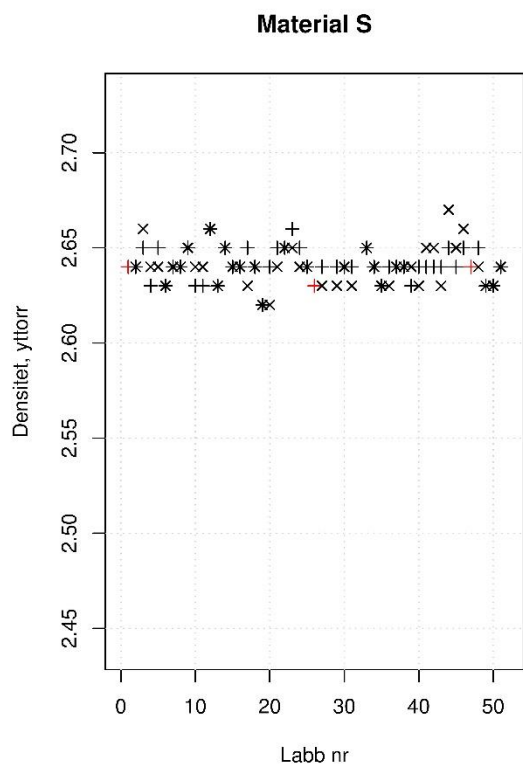
Vid komplett mätning finns det  $4 \cdot (3+1) \cdot 2 = 32$  mätvärden för ett labb. Alla data visas i Figur 29 t.o.m. Figur 32. På horisontella axeln visas labbnumret. De två värdena i ett dubbelprov visas med svart plus (A-prov) respektive kryss (B-prov) och bildar tillsammans en stjärna om värdena sammanfaller. De planerade dubbelprov som bara rapporterats med 1 värde betraktas som ett A-prov och markeras med rött plus i figurerna. Alla 4 delfigurer på alla 3 huvudfigurer som avser densitet (Figur 29 t.o.m. Figur 31) har samma skalor. Alla 4 delfigurer som avser vattenabsorption (Figur 32) har samma skalor. Delfigurerens rubriker visar vilket material det är och är ordnade så att övre och nedre halvan också är indelning av materialen i fraktion 1 resp. fraktion 2.



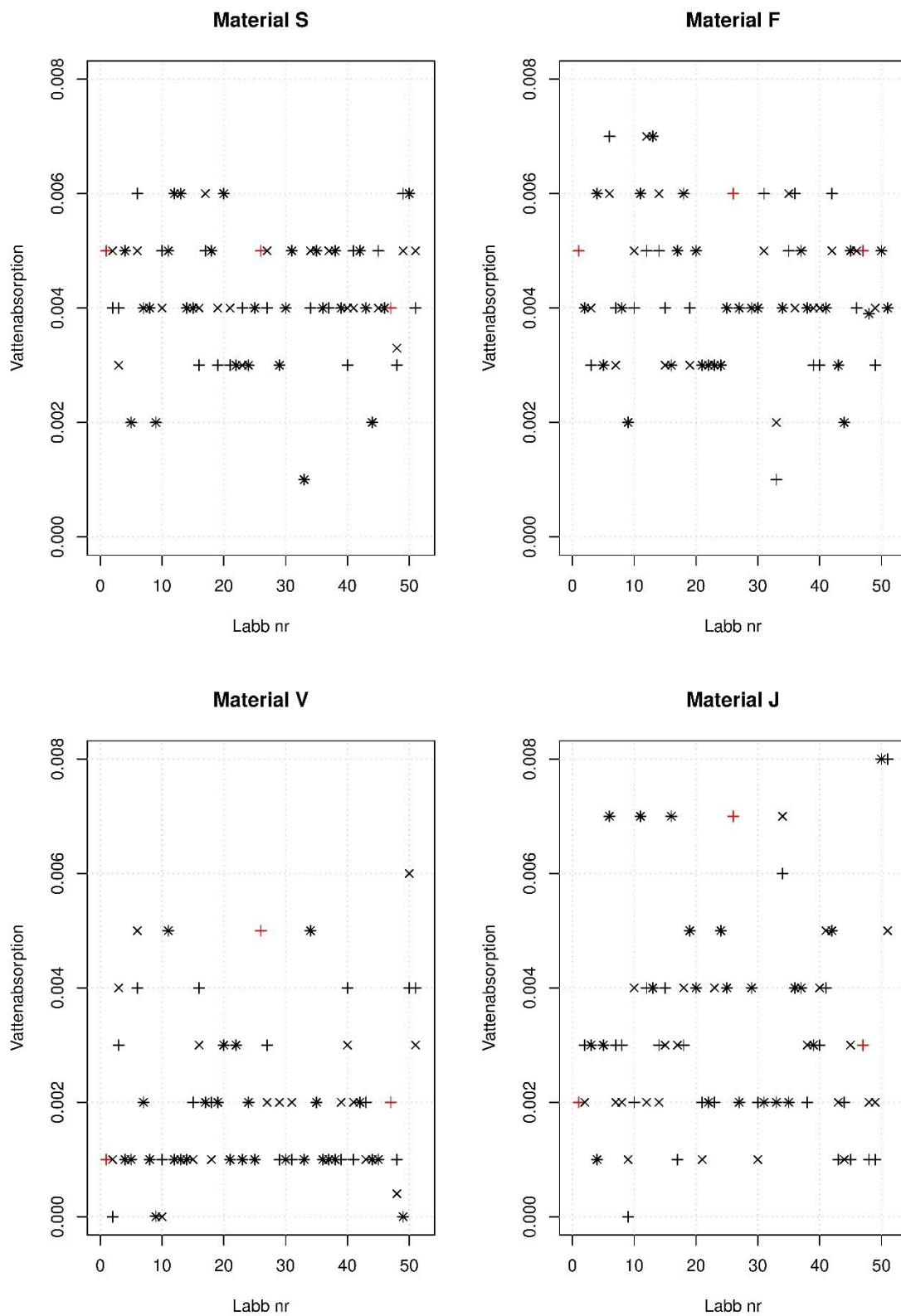
Figur 29. Densitet skenbart torr för alla material och labb.



Figur 30. Densitet ugnstorr för alla material och labb.



Figur 31. Densitet yttorr för alla material och labb.



Figur 32. Vattenabsorption för alla material och labb.

## Statistisk metod

Man bör kolla om ett labb mäter i genomsnitt ungefär som alla andra och om upprepade värden inom samma labb är ungefär lika. Det beskrivs nedan som att analysen omfattar de två olika egenskaperna nivå och variation uttryckta som medelvärde resp. standardavvikelse. För variation är det huvudsakliga beräkningarna uttryckta som varians men man gör om till standardavvikelse i det sista steget. Kvoter mellan varianser går entydigt att omvandla till kvoter mellan standardavvikelser.

### Metod för analys av nivå

Metoden för analys av nivå går ut på att kontrollera om medelvärdet hos något labb avviker från hela mängden av labb mer än vad som kan förväntas om variationen mellan labb är normalfördelad och stickprovet består av oberoende observationer. Ett medelvärde bildas genom att beräkna medelvärde över de två värdena i varje dubbelprov, alternativt att använda det enda värde som finns om mätning utfördes men inte som ett komplett dubbelprov. Analysmetoden behöver bara medelvärden som underlag. Den förutsätter att antalet är detsamma för varje medelvärde men gör ingen skillnad mellan om alla mätningar är enkelprov, om alla är dubbelprov o.s.v. Det blir en liten approximation här därför att antalet observationer varierar något mellan olika medelvärden.

Vid analys av sammanslagna medelvärden bildas ett medelvärde av medelvärden. Som exempel kan man tänka sig en analys som omfattar alla 3 densitetsmetoder sammanslaget för ett visst material. Man behöver då ett medelvärde för respektive labb och densitetmetod som beräknas enligt ovan och sen medelvärdesbildar man över medelvärdena för de 3 densitetsmetoderna. I det senare steget krävs att alla 3 medelvärden finns, men här betraktas varje medelvärde som likvärdigt även om något av dem saknar det ena värdet i sitt planerade dubbelprov. En jämförelse mellan medelvärden av medelvärden beräknas därefter på samma sätt som en jämförelse mellan enkla medelvärden. Approximationen som nämndes ovan gör att även en analys av sammanslagna medelvärden blir något approximativ.

### Metod för analys av variation

Metoden för analys av variation går ut på att kontrollera om variationen mellan de två värdena i ett dubbelprov hos något labb avviker från hela mängden av labb mer än vad som kan förväntas om variationen inom dubbelprov är normalfördelad och stickprovet består av oberoende observationer. För variation söker man egentligen labb med större variation inom dubbelprov än andra så ”avviker” ska tolkas som att det enkelsidigt gäller avvikande stor variation inom dubbelprov. Här kan inte ett dubbelprov där ena värdet saknas ingå eftersom stickprovsvariansen/stickprovstandardavvikelsen hos det enda återstående mätvärdet är odefinierad.

Testet av variation beräknar kvoter mellan standardavvikelser för att se om något labb avviker. Gränsen för sådana kvoter påverkas av antalet labb och även, till skillnad från analys av medelvärden, hur många observationer som ingår i respektive provberäkning.

Mått på sammanslagen variation är uttryckt med fördel som varians även om man även här omvandlar till standardavvikelse i det sista steget. Analys av sammanslagna varianser liknar vad som sagts ovan om sammanslagna medelvärden. Man beräknar variansen inom respektive dubbelprov och sen medelvärdesbildar man om resultatet till exempel ska sammanfatta alla densitetsmetoder. Om en term är odefinierad så är även medelvariansen odefinierad. En jämförelse mellan medelvarianser beräknas därefter genom att göra om till standardavvikelser och sen gå vidare på samma sätt som en jämförelse mellan enskilda standardavvikelser men det är kanske inte självklart hur man då ska betrakta antalet observationer. Det går att visa att medelvariansen över två dubbelprov uppträder som variansen i ett trippelprov förutsatt att det är oberoende mellan de två dubbelproven och att det är samma underliggande sanna varians som skattas i båda fallen. På liknande sätt följer att medelvariansen hos 3 dubbelprover uppträder som variansen i ett kvadrupelprov o.s.v. om förutsättningarna i övrigt är samma som ovan. Detta diskuteras i bilaga 1.



Eftersom de olika materialprov som skickas till ett labb delas upp slumpmässigt och oberoende till 2 delprov på labbet så kan utvärdering av varians sammanslaget för alla material hanteras genom beräkning av medelvariens. För utvärdering av varians sammanslaget över densitetsmetoder är det inte lika enkelt eftersom uppdelningen av material inom labb återkommer för alla densitetsmetoder. Som approximation används här att när variansen i dubbelprov medelvärdesbildas över de 3 densitetsmetoderna så används den gräns som gäller om man har 2 observationer.

## Resultat

Analysen av resultat från densitet och vattenabsorption redovisas var för sig. Man måste sätta ihop någon rimlig redovisning som tar hänsyn till att det är flera material och (för densitet) flera metoder. Det finns minst 2 skäl till varför man ska använda mer än bara strikt en beräkning för varje nivå av sammanslagning:

- Data är ganska hårt avrundade. Det är inte självklart hur det påverkar gränsen för när ett labb ska anses vara avvikande.
- Eftersom det finns flera material och (för densitet) flera metoder så kan man förvänta sig att det dyker upp enskilda avvikelser för något labb vid något material och någon metod. De kritiska gränserna är inte justerade för att till exempel ha med flera material i samma studie. Här bör man ta vara på möjligheten att se på hela mönster av avvikelser.

Det finns därför ett behov av att se på hela mönster av misstänkta avvikande labb. Det varierar hur man ska göra det beroende på om det är nivå eller variation som studeras och det diskuteras därför separerat för nivå och variation nedan.

## Densitet

Redovisningen omfattar att redovisa de 3 densitetsmetoderna sammanslaget samt var för sig. Materialen redovisas sammanslaget, sammanslaget till fraktioner samt var för sig. Resultaten visas även densitetsmetod i kombination med fraktioner/material.

### Analys av nivåer (medelvärden)

Analysen är en sammanställning av beräkningar i 6 steg i kombination med att gå tillbaka till redovisningen av data i Figur 29 t.o.m. Figur 31.

Om ett labb avviker från helheten när det gäller nivån hos densitet så kan man inte veta om det beror på skillnad mellan materialproven som labben fått. Det kommer helt enkelt att vara en osäkerhet. Om sådana skillnader förekommer (låt oss säga till exempel att ett labb får en oproportionerligt stor andel av fint material) så förväntas de inte jämnas ut av att man har flera densitetsmetoder. Sannolikheten att ett labb ska få avvikande materialprov på ett samstämmigt sätt för 4 material är däremot förstås mycket liten. Olika möjliga osäkerhetskällor ger alltså olika mönster i de olika resultaten.

Betrakta Tabell 20. Tabellen har 6 större block markerade med kraftigare kantlinjer som visar olika grader av hur data sammanfattats till medelvärden. Uppdelningen blockvis beskrivs i Tabell 19.

Tabell 19, Beskrivning av hur resultat sammanfattats före beräkning

Redovisning sammanslaget över densitetsmetoder och material	Redovisning separat per densitetsmetod sammanslaget över material
Redovisning separat per fraktion sammanslaget över densitetsmetod och material inom fraktion	Redovisning separat per densitetsmetod och fraktion sammanslaget över material inom fraktion
Redovisning separat per material sammanslaget över densitetsmetod	Redovisning separat per densitetsmetod och material

I första (övre vänstra) blocket har data sammanfattats så mycket det går så uppgifterna gäller ett medelvärde per labb över alla material och alla metoder. I varje tabellcell finns nummer på de labb som rapporterar misstänkt avvikande medelvärde. Nummer inom parentes visar vilka labb som inte ingår i beräkningen. Går man till nästa block åt höger så får man det redovisat per metod. Går man istället nedåt så får man det redovisat först per fraktion och sen per material. Går man både åt höger och nedåt får man indelningen finare i både metod- och materialdimensionen.

Tabell 20. Labb som avviker i nivå vid bestämning av densitet med olika grader av sammanfattade data..

	Fraktion 1		Fraktion 2		Fraktion 1		Fraktion 2	
	S	F	V	J	S	F	V	J
Sk					20 (28, 32)			
Ug	6, 20 (28, 32, 46)				6, 20 (28, 32, 46)			
Yt					6, 20 (28, 32, 46)			
Sk					3, 12, 19, 23, 46 (28, 32)	20 (28, 32)		
Ug	3, 19, 23, 26 (28, 32)	6, 20 (28, 32, 46)		3, 19, 23, 26 (28, 32)		6, 20 (28, 32, 46)		
Yt					3, 12, 19, 23, 26, 44, 46 (28, 32)	6, 20 (28, 32, 46)		
Sk					3, 12, 19, 23, 46 (28, 32)	12, 19 (28, 32)	6, 20 (28, 32)	20, 36 (28, 32)
Ug	3, 19, 23 (28, 32)	3, 19, 23, 26 (28, 32)	6, 20 (28, 32, 46)	20, 36 (28, 32, 46)	19, 26, 33 (28, 32)	3, 9, 23, 24, 26 (28, 32)	6, 20 (28, 32, 46)	20, 36 (28, 32, 46)
Yt					12, 19, 44 (28, 32)	3, 12, 19, 23, 26, 46 (28, 32)	6, 20 (28, 32, 46)	20 (28, 32, 46)

Det beskrevs ovan att om ett labb rapporterar avvikande värden för många densitetsmetoder på samma material så kan det varit något avvikande med det materialet. Det kan vara en förklaring om ett labb återkommer på många rader i samma kolumn i tabellen. Det är mindre sannolikt att ett labb ska tilldelas avvikande material flera gånger. Därför är det ett tydligare tecken om ett labb återkommer på flera kolumner i samma rad i tabellen. Mönstret är totalt lite gyttigt och svårt att sammanfatta kort och exakt.

Ett exempel på hur man läser av tabellen följer här: Man ser i översta vänstra blocket i Tabell 20 att labb 6 och 20 avviker från helheten. I blocket till höger delas resultaten upp på metoder och man ser då att labb 6 avviker på 2 densitetsmetoder medan labb 20 avviker på alla 3 metoder. Betraktar man även resultaten per fraktion och/eller material kommer det fram ett mönster där labb 20 inte avviker generellt utan bara på fraktion 2 och att labb 6 bara avviker för material V. Det gör att labb 20 så här långt betraktas som att det avviker med tydligt än labb 6. Man ser också att några labb, speciellt labb 19, avviker på fraktion 1 men inte så starkt att det gav genomslag redan i det översta vänstra blocket. För fraktion 2 visar data dock mycket tydligare resultat än fraktion 1.

Tabellen avslöjar inte mycket om storleken på eventuella avvikelser. Därför ska man även gå tillbaka och jämföra med data i Figur 29 t.o.m. Figur 31. Man ser för materialen i grupp 1 att vissa av de labb som pekats ut ovan visserligen har värden som ligger avvikande men också hur stor betydelse avrundningen har. Om man betraktar någon av figurerna (det gäller även Figur 32 för vattenabsorption) från sidan så ser man att data ligger i några få tydliga band. Variationen mellan labb är av samma storleksordning om avstånden mellan band, som också är ungefär storleksordningen på avrundningen. Det blir lite slumpartat om avrundningen drar värdena uppåt eller nedåt på ett sätt med, i sammanhanget, stor betydelse. Det påverkar jämförelsen mellan labb men det finns inget i analysmetoden som korrigerar för den påverkan. Betydelsen är troligen större vid analys av variation. Frågan om avrundningens betydelse tas därför upp igen där.

### Analys av variation

Man får återigen sätta ihop något rimligt för att ta hänsyn till att det är flera material och flera densitetsmetoder. Det kräver lite redovisning av egenskaperna hos sammanvägda variansskattningar, se Mer information, nedan. Man måste också ha i åtanke att resultaten är beroende på ett annat sätt här. Om t.ex. ett labb får ett avvikande materialprov (låt oss återigen säga en oproportionerligt stor andels av fint material) så behöver det ändå inte medföra att variationen inom dubbelprov blir avvikande. Råkar man däremot dela provet konstigt till A- och B-prov så blir variationen inom dubbelprov stor för alla densitetsmetoder men det påverkar inte genomsnittsnivån. Därmed följer att om samma labb avviker på flera rader i samma kolumn så är det ett mindre tydligt tecken på en avvikelse i det labbet, men om samma labb förekommer i flera kolumner på samma rad så är det ett tydligare tecken. Det leder till samma diskussion om mönster ifall samma labb förekommer i flera rader/kolumner som för medelvärden. För medelvärden utgick förklaringen från tilldelningen men för variation utgår den från uppdelningen på A- och B-prov.

En redovisning av labb där variationen mellan värden i dubbelprov avviker följer i Tabell 21. Indelningen i block är likadan som i Tabell 20. Tabellcellerna visar även här labbnummer på de labb som avviker och, inom parentes, vilka labb som inte deltar i jämförelsen.

Tabell 21. Labb som avviker i variation vid bestämning av densitet med olika grader av sammanfattade data.

	Fraktion 1		Fraktion 2		Fraktion 1		Fraktion 2	
	S	F	V	J	S	F	V	J
Sk					3, 16, 21, 36, 44 (1, 26, 28, 32, 47)			
Ug	3, 9, 16, 21, 36, 44 (1, 26, 28, 32, 46, 47)				3, 9, 16, 36, 44 (1, 26, 28, 32, 46, 47)			
Yt					3, 9, 16, 21, 29, 36 (1, 26, 28, 32, 46, 47)			
Sk					3, 17, 19, 44 (1, 26, 28, 32, 47)		3, 16, 21, 36 (1, 26, 28, 32, 47)	
Ug	17, 24, 44 (1, 26, 28, 32, 47)		3, 9, 16, 21, 36 (1, 26, 28, 32, 46, 47)		17, 24, 41 (1, 26, 28, 32, 47)		9, 16, 36, 44 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	
Yt					17, 20, 24, 44 (1, 26, 28, 32, 47)		3, 9, 16, 21, 29, 36 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	
Sk					3, 17, 44 (1, 26, 28, 32, 47)	19 (1, 26, 28, 32, 47)	3, 16, 21, 36 (1, 26, 28, 32, 47)	36 (1, 26, 28, 32, 47)
Ug	17, 44 (1, 26, 28, 32, 47)	19, 24 (1, 26, 28, 32, 47)	3, 16, 21, 36 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	9, 23, 36, 44 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	17, 41 (1, 26, 28, 32, 47)	24 (1, 26, 28, 32, 47)	3, 16, 21, 36 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	9, 10, 23, 36, 44, 51 (1, 26, 28, 32, 46, 47)
Yt					17, 20, 44 (1, 26, 28, 32, 47)	24 (1, 26, 28, 32, 47)	3, 16, 21, 29, 36 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	3, 9, 23 (1, 26, 28, 32, 46, 47)

Resultaten angående vilka labb som avviker är vanskelig eftersom den påverkas av hur data har avrundats, se bilaga 2. Liksom för medelvärden får man gå tillbaka till Figur 29 t.o.m. Figur 31 för att få se storleken på avvikelserna.

## Vattenabsorption

Eftersom det inte finns flera vattenabsorptionsmetoder blir redovisningen kortare än de blev för densitet. Redovisningen omfattar att redovisa materialen sammanslaget, sammanslaget till fraktioner samt var för sig. Avrundningen av data påverkar även resultaten för vattenabsorption.

### Analys av nivå

Liksom i Tabell 20 analyseras data sammanslaget över alla material i översta blocket, sen följer ett block med indelning i fraktioner och en med indelning i material. Det blir alltså 3 steg (jämfört med 6 steg för densitet). Ingen annan indelning förekommer (enskilt eller i kombination med fraktion/material). Värdena visar labbnummer för sådana som avviker och, inom parentes, labbnummer för labb som inte deltar.

Tabell 22. Labb som avviker i nivå vid bestämning av vattenabsorption med olika grader av sammanfattade data.

Fraktion 1		Fraktion 2	
S	F	V	J
	6, 9, 11, 26, 50 (28, 32, 46)		
9, 13, 33, 44 (28, 32)		6, 11, 26, 34, 50 (28, 32, 46)	
5, 9, 33, 44 (28, 32)	13, 33 (28, 32)	6, 11, 26, 34, 50 (28, 32, 46)	6, 11, 16, 26, 50 (28, 32, 46)

Tabellen ger ingen tydlig uppfattning om hur stora avvikelserna är. Därför bör man även undersöka data direkt i Figur 32. Det här är också en vansklig utvärdering, men på ett sätt som syns tidigare. Bilderna visar att fördelningen i fraktion 2 inte verkar vara riktigt symmetrisk så som den borde vara om man samplat ur en normalfördelning och som är en förutsättning för metoden. Det är alltså svårt att säga om något labb avviker eller om variabeln har ett beteende som inte passar för metoden.

### Analys av variation

Tabell 23 nedan avser att visa vilka labb som avviker genom att variationen är stor mellan värden på vattenabsorption i ett dubbelprov och följer samma struktur som Tabell 22.

Tabell 23. Labb som avviker i variation vid bestämning av vattenabsorption med olika grader av sammanfattade data.

Fraktion 1		Fraktion 2	
S	F	V	J
10, 12, 51 (1, 26, 28, 32, 46, 47)			
12, 36 (1, 26, 28, 32, 47)		10, 51 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	
- (1, 26, 28, 32, 47)	12, 36 (1, 26, 28, 32, 47)	50 (1, 26, 28, 32, 46, 47)	10, 12, 17, 23, 45, 51 (1, 26, 28, 32, 46, 47)

Motsvarande data finns i Figur 32

### Sammanställda resultat

Det finns lite ströavvikelser. Här beskrivs det som sticker ut lite mer tydligt. Labb 28 och 32 är inte med i någon beräkning. För övriga redovisningar får man gå tillbaka till Tabell 20 t.o.m. Tabell 23 för att se vilka som är med.

### Densitet

#### Nivå

Labb 20 avviker med låga värden i fraktion 2. Labb 6 har misstänkt låga värden i material V. Labb 12 uppträder lite speciellt inom fraktion 1, vilket beskrivs närmare i diskussionsavsnittet. Labb 36 ska diskuteras igen angående resultat om variation.

#### Variation

Den tydligaste avvikelserna gäller labb 36 inom fraktion 2. Det är tyvärr inte problemfritt att avgöra om det här ska betraktas som en avvikelse, men labbet hade också lite gränsfall till avvikelse i nivå enligt ovan.

### Vattenabsorption

#### Nivå

Det som sticker ut mest är att labb 33 avviker med låga värden i fraktion 1 men ändå någorlunda i utkanten av punktsvärmen. Labb 6, 11, 26, 50 ligger lite högt i fraktion 2 men de är svåra att yttra sig bestämt om p.g.a. att fördelningen inte ser symmetrisk ut.

#### Variation

Labb 12 förekommer i flest celler och till skillnad från de många andra misstänkta avvikelser så gäller det material i två olika fraktioner. Labb 12 uppträder också på ett unikt sätt i densitetnivå, vilket nämns i diskussionen

### Diskussion

Metoderna är inte väl förberedda för den här försökplanen. Informationen här är mångdimensionell och svår att överblicka. Misstänkta labb avviker vanligen på ett material men inte på ett annat, eller på

en fraktion men inte på den andra. Redovisningen ovan försöker att ge en bild av resultat som inte signalerar för enskilda ströavvikelser. Det bör vara en lite mer sammanhängande bild av avvikelser för att man ska våga konstatera att ett labb avviker. En metod för sammanslagna medelvärden är ganska rakt på sak. En metod för sammanslagna varianser är svårare och måste hanteras olika beroende på i vilken dimension sammanslagningen sker.

Avrundningen av data är inte förberedd i metoden. Man ser att avrundningen är av samma storleksordning som variation mellan och inom labb. Man förstår vidare att det genererar osäkerhet när man använder metoden.

Materialet delas upp i dubbelprov på labb. Det sätt som antas för hur material delas upp ger att man skulle kunna jämföra om en skillnad mellan A- och B-prov återkommer från en densitetsbestämningsmetod till en annan. Någon sådan jämförelse har inte utförts.

Det är ganska tydligt att det inte är någon stor skillnad mellan densitetsmetoder. Här genomförs egentligen inte någon genomarbetad analys av variation mellan densitetsmetoder. Man kan tänka sig att ett labb avviker i densitet genom att redovisa ovanligt högt värde med en densitetsmetod och ovanligt lågt med en annan. Det tydligaste exemplet här är att labb 12 i fraktion 1 rapporterar förhållandevis låga densiteter vid skenbart torr medan det rapporterar förhållandevis höga värden vid yttorr.

## Mer information om (den statistiska) metoden

### Sammanvägda varianser

Det är känt att om man drar ett stickprov om  $n$  oberoende observationer ur en normalfördelning så blir stickprovsvariansen relaterad till en  $\chi^2$ -fördelning genom  $\frac{(\sum u \cdot S)^2}{\sigma^2} = \chi^2_\nu$  där  $\nu$  är frihetsgraden som här sammanfaller med  $n-1$  och  $\sigma^2$  är variansen i den normalfördelning man samplar ur. Man vet att summan av oberoende  $\chi^2$ -fördelade variabler också blir  $\chi^2$ -fördelad där frihetsgraden sammanfaller med summan av frihetsgrader hos de olika termerna. Betrakta först speciellt variansen i ett stickprov om 3 observationer. Formeln ovan ger då (efter att ha strukturerat om något) att variansen  $S^2$  är  $\chi^2$ -fördelad sånär som på några positiva konstanter. Betrakta nu även fallet att man har oberoende stickprov om  $n=2$  observationer ur 2 normalfördelningar med samma varians. Då är medelvariansen  $\frac{1}{2}(S_1^2 + S_2^2)$  också  $\chi^2$ -fördelad sånär som på några positiva konstanter. Konstanterna kommer att ta ut varandra i täljare och nämnare när man beräknar kvoter. Därmed blir gränsen för en kvot mellan standardavvikelser vid 2+2 observationer samma som gränsen vid 3 observationer under de förutsättningar som nämnts ovan. Därför ska man jämföra mot den kritiska gränsen för 3 observationer om man har 4 observationer som är grupperade 2+2. En generalisering till 2+2+2 eller 2+2+2+2 observationer ger inga nya svårigheter.

### Avrundning vid beräkning av varianser

Om man t.ex. kollar på varianserna i dubbelproven för densitet, skenbar, material S, så förekommer egentligen bara 3 värden, 0 i mer än hälften av fallen. Mer exakt så är skillnaden 0 i 25 fall, 0,01 i 18 fall och 0,02 i 3 fall. Gränsen är härledd utifrån att den ska vara kontinuerlig men här är den diskret med 3 observerade värden och med mycket låg sannolikhet för att det ska kunna bli väsentligt fler värden. Härledningen av gränsen är inte förberedd för att avrundningen av data ska påverka fördelningen av variansen så mycket. Det finns en risk att man hamnar i situation där man bara har två klasser, att varians 0 är under gränsen och att varians större än 0 är över gränsen. Då kan avrundning i de enskilda värdena ensamt bli avgörande.

# Bilaga 2 Svarsblankett

Exempel på fiktivt ifyllt svarsblankett.

**Svarsblankett för ringanalys, enligt SS-EN 1097-6, kondensitet och vattenabsorption**

Organisation | Xerxes Infra AB  
 Ort | LeXstad  
 Ansvarig | Hanna Antonsson

Material	S			F			V			J		
	S-A	S-B	S-IMV.	F-A	F-B	F-IMV.	V-A	V-B	V-IMV.	J-A	J-B	J-IMV.
<b>Förutsättningar</b>												
Delprov	sikt + tvätt	sikt + tvätt	--	bara siktning	sikt + tvätt	--	sikt + tvätt	sikt + tvätt	--	ingen	ingen	--
Proverberedning	Nyvättad	Nyvättad	--	Naturfuktig/torkad	Naturfuktig	--	Nyvättad	Nyvättad	--	torkad	torkad	--
Använt prov torr/fuktig	handduk	handduk	--	varmluft/hårt varmluft/hårt	varmluft/hårt	--	varmluft/hårt	varmluft/hårt	--	handduk+varm	handduk+varm	--
Hur åstadkoms ytterr?	11-16	11-16	--	11-16	11-16	--	0,063-4	0,063-4	--	0-2	0-2	--
analysfraktion	1503	1503	1503	1501	1501	1501	500	500	500	469	469	469
Pyk.storlek, mil	glas, platt lock	glas, platt lock	--	metall, platt lock	enl fig 1, 10	--	glas, platt lock	glas, platt lock	--	enl fig 1, 1097-6	enl fig 1, 10	--
Pyknometertyp	ja	ja	--	nej	nej	--	ja	ja	--	ja	ja	--
Vacuum	ja	ja	--	ja	nej	--	ja	ja	--	nej	nej	--
Vibrering	24,1	24,1	24,1	24,3	24,3	24,3	24	24	24	24	24	24
vattenmättnadstid, h	21	21	21	20,6	20,6	20,6	20	20	20	20	20	20
vattentemp	0,99783	0,99783	0,99783	1	1	1	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
vattendensitet	1123,9	1139,6	1131,8	1654,0	1356,3	1505,2	783,2	765,0	774,1	714,0	715,0	714,5
torr Provvikt (M <sub>d</sub> )	<b>S-A</b>	<b>S-B</b>	<b>S-IMV.</b>	<b>F-A</b>	<b>F-B</b>	<b>F-IMV.</b>	<b>V-A</b>	<b>V-B</b>	<b>V-IMV.</b>	<b>J-A</b>	<b>J-B</b>	<b>J-IMV.</b>
apparent/skenbar densitet	2,71	2,72	2,715	2,63	2,62	2,625	2,65	2,66	2,655	2,67	2,68	2,675
oven-dried/ugnstor densitet	2,67	2,69	2,680	2,62	2,64	2,630	2,66	2,67	2,665	2,68	2,69	2,685
saturated and surface-dried/fuktig och yttorr	2,69	2,73	2,710	2,65	2,67	2,660	2,67	2,68	2,675	2,69	2,70	2,695
vattenabsorption	0,3%	0,6%	0,45%	0,4%	0,2%	0,30%	0,1%	0,2%	0,15%	0,3%	0,4%	0,35%
Laborant (samma/olika)	HA	HA	--	HA	HA	--	HA	HA	--	HA	HA	--
Datum	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18	20-05-18
Erfarenhet	1-10/år	1-10/år	--	11-30/år	11-30/år	--	>30/år	>30/år	--	1.a gången	1.a gången	--
Kvalitetssäkring	Ackrediterad	om annan:										
Metodversion	201X											
Metodavsteg	För kapitel 8 så.... För kapitel 9 så....											
Allmäna kommentarer	Ett av materialen var... Jag tycker att i bilaga Q så ska man kunna...											



## Bilaga 3 Precisionsdata och outliers

Precisionsdata, repeterbarhet och reproducerbarhet, beräknad utan att exkludera outliers (avvikare) samt med exkludering av outliers ett respektive två varv. Efter två rundor fanns några outliers kvar men en tredje analys har inte gjorts. Påverkan från outliers minskar för varje varv.

Tabell 24. Påverkan på precisionsdata (repeterbarhet, *r* och reproducerbarhet, *R*) av outliers.

Material	Egenskap	inkl outliers			exkl outliers 1			exkl outliers 2		
		r	R	Outliers	r	R	Outliers	r	R	Outliers
S	fuktig och yttorr densitet	0,017	0,027	-	0,017	0,027	-	0,017	0,027	-
S	ugnstorr densitet	0,017	0,029	-	0,017	0,029	-	0,017	0,029	-
S	skenbar densitet	0,016	0,025	3/12/17/44	0,013	0,020	19/23/46	0,013	0,016	-
S	Vattenabsorption	0,12	0,33	33	0,12	0,30	-	0,12	0,30	-
F	fuktig och yttorr densitet	0,012	0,025	3/24/26	0,010	0,022	12/23/46	0,011	0,018	19/44
F	ugnstorr densitet	0,011	0,028	3/24	0,009	0,024	-	0,009	0,024	-
F	skenbar densitet	0,012	0,023	12/19	0,010	0,019	-	0,010	0,019	-
F	Vattenabsorption	0,14	0,36	12/36	0,12	0,35	-	0,12	0,35	-
V	fuktig och yttorr densitet	0,028	0,113	3/20	0,026	0,057	-	0,026	0,057	-
V	ugnstorr densitet	0,024	0,115	3/16/20/21/36	0,017	0,062	6	0,017	0,042	33
V	skenbar densitet	0,022	0,109	3/16/20/21/36	0,016	0,051	4/29	0,014	0,050	6
V	Vattenabsorption	0,13	0,39	50	0,12	0,37	11/26/34	0,12	0,30	6
J	fuktig och yttorr densitet	0,023	0,079	3/9/20/23	0,018	0,049	6/36	0,017	0,040	33
J	ugnstorr densitet	0,030	0,088	20/36/44	0,026	0,053	17/41	0,014	0,028	-
J	skenbar densitet	0,022	0,076	20/36	0,019	0,040	3/12/17/44	0,012	0,021	
J	Vattenabsorption	0,20	0,54	50/51	0,19	0,49	-	0,19	0,49	19/23/46
Medel 11/16	fuktig och yttorr densitet	0,015	0,026		0,014	0,025		0,014	0,023	
Medel 11/16	ugnstorr densitet	0,014	0,029		0,013	0,027		0,013	0,027	
Medel 11/16	skenbar densitet	0,014	0,024		0,012	0,020		0,012	0,018	
Medel 11/16	Vattenabsorption	0,13	0,35		0,12	0,33		0,12	0,33	

Material	Egenskap	inkl outliers			exkl outliers 1			exkl outliers 2		
		r	R	Outliers	r	R	Outliers	r	R	Outliers
Medel 0/4	fuktig och yttorr densitet	0,026	0,096		0,022	0,053		0,022	0,049	
Medel 0/4	ugnstorr densitet	0,027	0,102		0,022	0,058		0,016	0,035	
Medel 0/4	skenbar densitet	0,022	0,093		0,018	0,046		0,013	0,036	
Medel 0/4	Vattenabsorption	0,17	0,47		0,15	0,43		0,16	0,40	
<i>Medel alla</i>	<i>fuktig och yttorr densitet</i>	<i>0,020</i>	<i>0,061</i>		<i>0,018</i>	<i>0,039</i>		<i>0,018</i>	<i>0,036</i>	
<i>Medel alla</i>	<i>ugnstorr densitet</i>	<i>0,021</i>	<i>0,065</i>		<i>0,017</i>	<i>0,042</i>		<i>0,014</i>	<i>0,031</i>	
<i>Medel alla</i>	<i>skenbar densitet</i>	<i>0,018</i>	<i>0,058</i>		<i>0,015</i>	<i>0,033</i>		<i>0,012</i>	<i>0,027</i>	
<i>Medel alla</i>	<i>Vattenabsorption</i>	<i>0,15</i>	<i>0,41</i>		<i>0,14</i>	<i>0,38</i>		<i>0,14</i>	<i>0,36</i>	

---

## Bilaga 4 Frisvarskommentarer

---

Sammanfattning av kommentarer finns i 4.8. Här anges de i sin helhet.

- 9.3 När man påför en mild varm luftström så att ytfukten avgår så finns det risk att de finaste kornen blåser iväg, gäller att ha koll på det.
- För material "S" och "F" (11-16) använde jag mig av "hela" materialet i påsarna så det blev drygt 2kg. Efter A-provet så fyllde jag pyknometern igen som blev B-provet.
- Jag har använt mig av punkt 6.3.1 då jag bara har 1000ml pyknometrar.
- Avsteg: Vi använder oss av korgmetoden för material 4-31,5 mm
- Laboratoriet saknar pyknometrar med volym större än 1000ml och har därför delat upp analysprovet i tre körningar (11/16) för att följa metoden. (Sortering 0/4 är körd i två pyknometrar per delprov)
- Provkartong V var deformerad/skadad vid inkomst till labbet, en del material spilldes. Kapitel 8 Enligt C.4 skall provet torkas i högst 15 sekunder med handuk. Men eftersom provet ej blev ytort så torkade jag längre tid.
- Sorteringarna 11/16 mm analyserades enligt metod 8 i SS-EN 1097-6:2013. Enligt metoden ska analysfraktionen vara 4-31,5 mm. I samband med provberedning (tvättning+siktning) så konstaterades att analysfraktionerna blev 4-22,4 mm.
- Se Bifogade bilder
- Provmängd mtrl S och F, ca 1 kg per delprov (krav i tabell 2 min. 2 kg) Skäl till avsteg provmängd: lättare att ha kontroll på stenarnas ytfuktighet med vald provmängd.
- Datum avser startdatum. Vi brukar inte göra vattenabsorption på stenmjöl eftersom metoden inte är lämplig för krossat material. De fina materialen torkades först i värmeskåp och sen i rumstemperatur.
- För avlägsnande av luftbubblor skakas proverna vid flera tillfällen under vattenlagringen.
- Densiteten och vattenabsorptionen utförs på två olika prov. Ett i pyknometern för densitet och ett direkt på plåt för vattenabsorption. Pyknometern kalibreras vid varje prov vid aktuell temperatur. Med vibrering menas handskakning vid 4-31,5mm och skakning samt omrörning för 0,0063-4mm.
- Material V var lurigt. Följer man metoden blir troligen resultatet på WA för lågt eftersom den karakteristiska formen på "högen" efter konen påverkas av hög andel krossat finmaterial. Gissar jag.
- Att göra VA på 0-material enligt denna metod är inte optimalt, inga konkreta/tydliga indikationer på när materialet är redo att analyseras efter torkning.
- Temperaturen något för hög, detta beroende på värmebölja i samband med genomförandet.
- På prov S och F har 1liters pykar använts så varje delprov av S-A S-B, F-A F-B har delats upp i två delar men adderats ihop i rapporten.
- Pyknometern lagras i luft vid konstant temperatur ( $22 \pm 3$ ) °C i ( $24 \pm 0,5$ ) h. För fraktionerna 0-4 har appendix F användts för att bedöma om det yttorra tillståndet uppnåtts
- Enkelprov pga materialbrist.

- Istället för hårtork/varmluft används värmeplatta. Avser de fall då avsnitt 9 tillämpas (fraktion 0,063-4). Detta avsteg kommer av att vi ansåg att hårtork ökade risken för förlust av material (att mtrl blåste iväg).  
Pyknometrarnas volym är förkalibrerad vid 25 grader Celcius.  
För mtrl S har samma analysprov använts till både delprov A och B. INGEN mellaniggande torkskåpstorkning har skett. Detsamma gäller för material F.
- Lång tid för att få fuktigt och yttorr på de fina materialen.

---

## OM VTI

---

**V**TI, 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.

Biblioteket vid VTI är en nationell resurs för informationsförsörjning och informations-spridning 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 infrastrukturdepartementets verksamhets-/ansvarsområde. Vårt kvalitetsledningssystem är certifierat enligt ISO 9001 och vårt miljöledningssystem enligt ISO 14001. Vissa provningsmetoder vid våra laboratorier är dessutom ackrediterade.

Vi är omkring 240 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg och Lund.

**vti**