

# SKANSKA

## Metodik att mäta kornform på finballast



**SBUF 12270**

**Skanska Sverige AB Teknik – Väg och Asfalt**

**Lars Stenlid**

**2011**

**SBUF** 



# Förord

Projektet initierades för att utveckla en metodik att bestämma kornformen på finballast i storleken 1-4 mm. Den har utvecklats med en nedskalning av siktar och metodik från flisighetsindex för grovballast till ministorlek och anpassats till finballast. Metodiken har visat sig fungera.

Föreliggande projekt har haft följande styrgrupp  
Torbjörn Jacobson, Trafikverket  
Hans-Erik Gram, Cementa AB  
Lars Stenlid, Skanska Sverige AB

I arbetsgruppen har Lars Stenlid Skanska Sverige AB, Kristina Widenberg NCC Roads AB, Thomas Åström, NCC Roads AB och Hans-Erik Gram, Cementa AB ingått.

Arbetet har möjliggjorts genom ekonomiskt anslag nr 12770 från SBUF. Delfinansiering har erhållits från Cementa, Trafikverket och från Skanska Sverige AB. Provmaterial har tillhandahållits av NCC Roads AB och av Skanska Asphalt och Betong AB.

Förutom arbetsgruppen som kommenterat texten fortlöpande riktas även ett tack till Per Murén NCC Roads AB, för konstruktiva kommentarer på del av manuskriptet. Slutligen riktas ett stort tack till Håkan Vilén, Mälarslaser AB för givande diskussioner om utformning av spaltsiktarna som möjliggjorde detta projekt.

Samtliga tackas härmed !

Upplands Väsby

2011-11-20

*Lars Stenlid*

Lars Stenlid

# Innehållsförteckning

	<b>sid</b>
Förord	i
Innehållsförteckning	ii
Sammanfattning	iii
	iv
1 Inledning	1
2 Bakgrund	1
3 Metod	3
3.1 Spaltlådornas utformning	3
3.2 Siktningsteknik	4
3.3 Mål	7
3.4 Genomförandet	7
3.5 Studie av antal partiklar i olika delfraktioner	8
4 Resultat	9
4.1 Siktning av en utförare med olika provvikter	9
4.2 Siktning av tre utförare på samma material	11
4.3 Upprepad siktning av en utförare på samma material	13
4.3 Vikt av partiklarna	13
4.4 Beräkning av det teoretiska partikelantalet vid olika korndensiteter	14
5 Diskussion	15
5.1 Antalet partiklar som effektiv siktarea	15
5.2 Provmängd	16
5.3 Mätning av bäddtjocklek	16
5.4 Antalet partiklar i rekommenderad provvikt	17
5.5 Felkällor och förbättringsmöjligheter	18
5.6 Precision	18
5.7 Implementering	19
6 Slutsatser	20
Referenser	21
Ritning över 2 mm spaltsikt	

# Sammanfattning

Projektet har utvärderat en metodik att mäta kornform på finballast. Metoden använder spaltsiktar och beräknar ett flisighetsindex. Analys har skett på fyra olika bergmaterial och två åsgrusmaterial. Metoden fungerar att mäta kornformen på finballastpartiklar ned till 1 mm i storlek. Projektet ger rekommendationer på analysprovsvikter.



# Metodik att mäta kornform på finballast.

## 1. Inledning

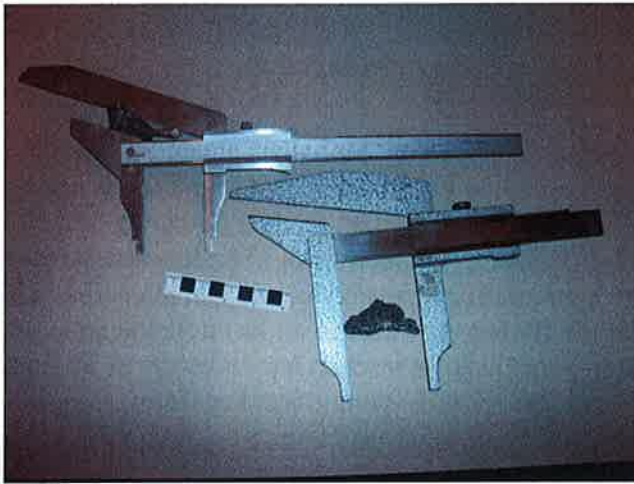
Med finballast avses krossat eller okrossat stenmaterial < 4 mm. Finballast används såväl till asfalt och till betong idag utan att rutinmässigt bestämma kornformen. Det saknas en vedertagen metodik för detta. För betongballast har det de senaste åren skett en gradvis övergång från att använda naturgrus mot mer bergkross. Då vill man ha en rund kornform i bergkrossen. Krossat berg ger en icke rund kornform i finballasten. Genom olika krossförfarande kan man erhålla ökad rundhet i finballasten. Det finns således ett behov för betongindustrin att ha en metod att kunna beskriva och bestämma finballastens kornform. Även asfaltbranschen har ett behov av att kunna bestämma kornformen i stenmjölet då stabiliteten påverkas av stenmjölets kornform.

## 2. Bakgrund

Kornformsbestämning på ballastmaterial har i Sverige bestämts med flisighetstal och LT-Index. Dessa metoder fanns beskrivna med FAS metoder. I och med att Europametoder kom ersattes FAS metoderna (flisighetstal och LT-Index) med flisighetsindex och LT index som EN-metoder. De gamla FAS metoderna användes till 2003 med krav i ATB VÄG 2003. De nya EN-metoderna började slå igenom i Sverige kring 2004 i ATB VÄG 2004. De gav inte heller en möjlighet att bestämma kornformen på material < 4 mm. För bestämning av kornform på grovballastmaterial har man använts sig av olika metoder genom åren.

I Sverige dominerade bredd-tjockleks bestämningar och flisighetstalet användes ända till flisighetsindex ersatte den. Båda dessa metoder anger ett förhållande mellan en bredd och en tjocklek. Hur de metoderna korrelerar mot varandra finns beskrivet av Viman o Broms (2005). Förutom bredd-tjockleks bestämningar har även längd-tjockleksförhållanden använts. Då används skjutmått med förhållanden 1/3, resp. 1/5 på skänklarna (se bild 1). I Sverige användes FAS metoden där oftast bara LT-Index (3) användes. EN-metoden för LT-index ersatte FAS metoden. Utrustningen är densamma men beräkningen för bestämningen är olika. LT- Index (3) används främst för makadamballast för järnväg (spårballast).

Internationellt har flisighetsindexet använts för grovballast ned till 6,3 mm eller 4 mm. Försök har gjorts att bestämma med flisighetsindex under 4 mm i fraktion 2,36–4,75 mm på spaltsikt 2,1 mm (Arizona Method). Den metodiken bestämmer en medelbredd och medeltjocklek. Man använder siktserie och spaltsiktar där den finaste fraktionen 2,36–4,75 mm indirekt ingår. I Canada har Rogers och Gorman (2008) utvecklat en metodik att bestämma en annan definierad flisigheten på finmaterialet 4,75–1,18 mm med analys på analysfraktionerna 2,36–4,75 mm och 1,18–2,36 mm genom att använda två spaltsiktar 1,8 och 1,18 mm. I Sverige gjorde Hagerman och Granlund tidigt (1977) undersökningar med kornform på finmaterial och Hagerman (1982) har redovisat historiken och redogjort för de inledande bildanalyserna på finmaterial som gjordes i Sverige. I de fall forskare velat bestämma kornformen på finare material har mer avancerade metoder såsom bildanalys används. Här har bl.a. bildbehandling på mätning på fritt fallande partiklar i luft använts ex. Lindberg (2001). Analys med bildanalys på grovballast på transportband utvecklades vid KTH på 1990-talet (Wang 1994 och Wang m.fl. 1994).



*Bild 1-4. Skjutmått för bestämning av LT- Index (3) resp. (5) samt 2 olika fabrikat av spaltsiktar för flisighetsindex för grovballast samt "Dansk Box".*

Kornformsbestämningar på tunnslip på finballast för betongändamål utfördes i delprojekt i Minbas 1 (Lagerberg, 2005) och senare (Lagerberg, m.fl. 2008). De gjordes på stensmjöl med bildanalys och bestämning av bl.a. F-aspekt genom mätning av två axlar på partiklar genom vidareutveckling av metodik som arbetades fram vid KTH med början på 1990-talet Persson (1996). Direkta mätningar på enskilda partiklar kan också göras. Dansk standard anger en metod att mäta tre axlar på en tänkt omskriven låda hos enskilda partiklar. Dessa mätningar görs för grovballast i en låda med manuell avläsning av abc- axlar på den tänkta för partikeln omskrivna lådan (se bild 4). I Sverige har den kornformsmetoden använts för exportsten till Danmark. Alla dessa metodiker är rätt tidsödande eller kräver sofistikerade utrustningar och kan inte användas rutinmässigt vid daglig produktionskontroll. Tanken väcktes då att analysera flisighetsindexet på finballast på samma sätt som för grovballast fast med finare siktavstånd och finare spaltsiktavstånd.



## 3 Metod

Flisighetsindex med EN 933-3 är den nu gällande referensmetoden med Europametoden för kornform  $> 4$  mm. Flisighetsindex EN 933-3 för grovballast analyseras med korta fraktioner och en spaltsikt för varje delfraktion. Det vore naturligt att analysera finballast med samma metodik. Därför startades detta projekt för att undersöka om metoden även skulle kunna modifieras för partiklar  $< 4$  mm. Det visade sig vara svårt att hitta saluförda spaltsiktar som skulle kunna passa in för de önskade analysfraktionerna (se tabell 2). De som finns på marknaden är spaltsiktar bl.a. från tillverkaren Endecott och Impact som saluför ett antal spaltsiktar i finare sorteringar. Deras spaltsiktar har spaltbredder som inte passar in i detta upplägg. De spaltbredder på spaltsiktarna som önskas är en ”nedskalning” av de från de som används vid flisighetsindex för grovballast större än 4 mm (se tabell 2). Därför fick företaget Mälarlaser AB en firma som använder laserskärning och vattenskarvning för plåtslageriarbeten och framställning av plåtkonstruktioner, reklamskyltar etc. i uppdrag att med laser tillverka ett antal ”spaltlådor” anpassade att användas till handsiktning. En serie prototyper med spaltsiktar från 2 mm till 0,63 mm i spaltbredd framtogs 2008 och efter att ha utprovats och kontrollerat att de fungerade söktes projektstöd hos SBUF 2009. En konstruktionsritning för spaltsikt 2 mm bifogas sist i rapporten.

### 3.1 Spaltlådornas utformning

Valet av storlek på dessa handsiktar anpassade till en ”normalhand” och tillverkades med en storlek i längd och bredd av 100 x 100 mm. De tillverkades i rostfritt stål med ett antal spår i ”lådan” och ett lock tillverkades för förslutning vid siktprocessen. Godstjockleken valdes till 1,5 och till 1mm beroende på spaltbredden. Spårens antal gjordes så tätt som möjligt men med bibehållen stabilitet i sikten. Det innebär att antal spår i siktarna kunde öka med avtagande spaltbredd. I den första tillverkningen valdes 28 antal spår i spaltsiktarna 2; 1,6 och 1,25 mm och 46 antal spår i spaltsiktarna 1, 0,8 och 0,63 mm (se bild1). Kanterna på lådan tillverkades med en höjd av 1,5 cm. För att kunna skaka med högre amplitud och frekvens tillverkades lock som användes för att tillsluta lådan under siktningen. Tanken var att inget material skulle kunna passera genom översidan under en manuell siktning. Efter förstudien tillverkades nya spaltsiktar där spalterna förtätades hos siktarna 1; 0,8 och 0,63 mm från 46 till 58 antal spår per sikt. Den effektiva siktarean ökades därmed med 28 %. Härigenom kan man öka provmängd och sikta effektivare.

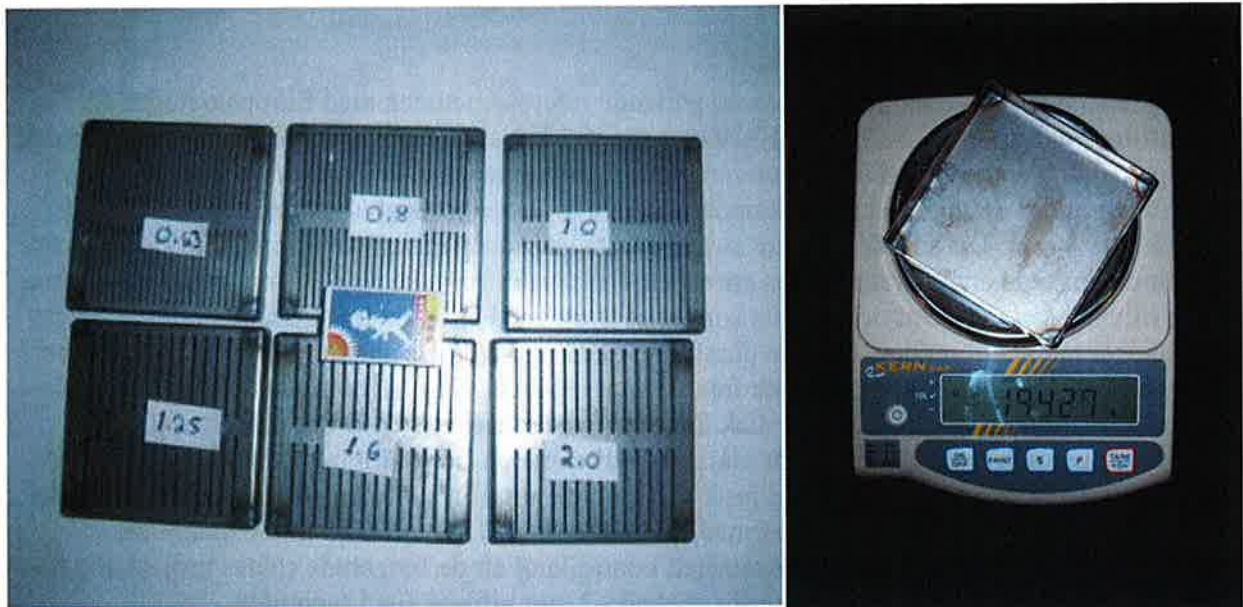


Bild.5-6. Siktarna med 28 respektive 46 st. spår som prototyper tillverkades till förstudien samt vågen som användes med ett "siktlock" på vågsålen.

Spaltbredd (mm)	Innermått l x b x h (mm)	Godstjocklek (mm)	Antal spår	Spårlängd (mm)	Anm.
Siktlock		1,5			
2	100x100x1,5	1,5	28	40	
1,6	100x100x1,5	1,5	28	40	
1,25	100x100x1,5	1,5	28	40	
1	100x100x1,5	1	46	40	förstudie
1	100x100x1,5	1	58	40	
0,8	100x100x1,5	1	46	40	förstudie
0,8	100x100x1,5	1	58	40	
0,63	100x100x1,5	1	46	40	förstudie
0,63	100x100x1,5	1	58	40	

Tabell 1. Spaltsiktarnas dimensioner

### 3.2 Siktningmetodik

Metodik för flisighetsindex.

Varje analyserad fraktion rensiktas med två siktar. De siktarna har en kvot  $D/d$  mellan maskvidderna på övre sikt  $D$ , och undre sikt  $d$ , av 1,25–1,28. Den rensiktade korta fraktionen siktas eller handskakas sedan på spaltsikt med en spaltbredd av halva övre fraktionsgränsen för undersökt fraktion. Siktningen fortgår till dess att inget material passerar spaltsikten. Materialet

som passerar spaltsikten vägs upp och flisighetsindex beräknas. Flisighetsindex anger det procentuella värdet för den passerande mängden av analysprovet vid denna spaltsikt. Normalt uttrycks och bestäms flisighetsindex med EN 933-3 som summan av alla delfraktioners flisighetsindex hos ett prov. Metoden medger dock att bestämma och ange ett separat flisighetsindex för en eller flera delfraktioner.

Metod	Fraktion $d_i/D_i$ , (mm)	Spaltbredd hos spaltsikt (mm)	Förhållandet $D_i/d_i$
Flisighetsindex EN 933-3	31,5/40	20	1,27
	25/31,5	16	1,26
	20/25	12,5	1,25
	16/20	10	1,25
	12,5/16	8	1,28
	10/12,5	6,3	1,25
	8/10	5	1,25
	6,3/8	4	1,27
	5/6,3	3,15	1,26
	4/5	2,5	1,25
SBUF 12270	3,15/4	2	1,27
	2,5/3,15	1,6	1,26
	2/2,5	1,25	1,25
	1,6/2	1	1,25
	1,25/1,6	0,8	1,28
	1/1,25	0,63	1,25

Tabell 2. Använda analysfraktioner och spaltbredd hos spaltsiktar för flisighetsindex med EN 933-3 samt i SBUF projekt 12770.

I EN metoden 933-3 definieras flisighetsindex ( $FI$ ) som.

$$FI = 100(M_2/M_1) \text{ där}$$

$M_1$  är summan av vikterna hos kornen i var och en av fraktionerna  $d_i/D_i$  i gram;

$M_2$  är summan av vikterna hos kornen i var och en av fraktionerna som passerat motsvarande spaltsiktar med spaltbredden  $D_i/2$  i gram.

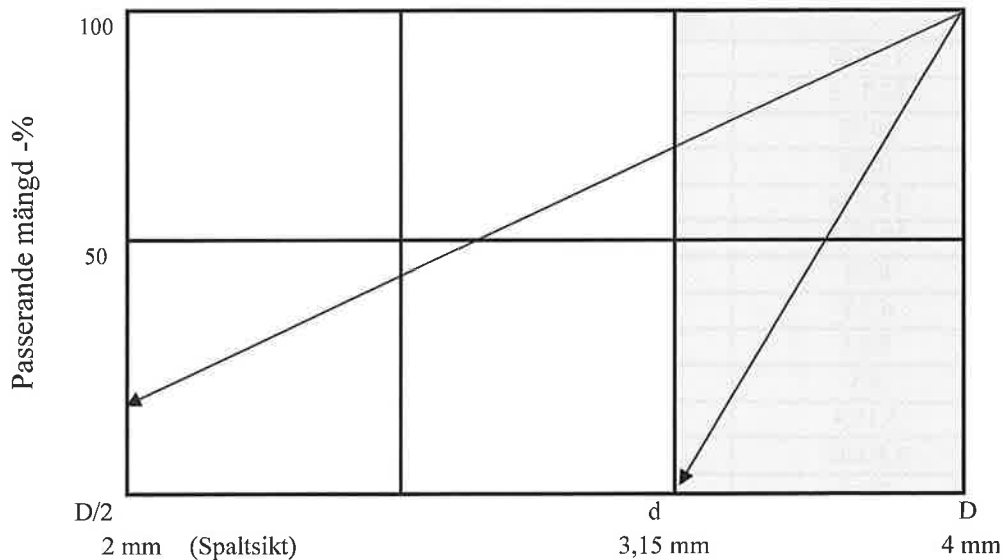
Flisigheten för varje fraktion  $FI_i$  skall om så krävs beräknas ur följande ekvation.

$$FI_i = 100(m_i/R_i) \text{ där}$$

$R_i$  är vikten av varje fraktion  $d_i/D_i$  i gram;

$m_i$  är vikten hos materialet i varje fraktion  $d_i/D_i$  som passerat motsvarande spaltsikt med spaltbredden  $D_i/2$  i gram.

Redan vid de inledande försöken insågs att provmängderna är så pass små att den våg som skall användas måste ha en noggrannhet av 0,01 gram. Med 1 decimal skulle osäkerheten i flisighetsindexbestämningen bli för stor, då de vikter som används är på några få gram vid bestämningarna av vikten efter siktning på spaltsikt. Kravet på vågens prestanda stämmer ganska bra överens med kravet i metoden EN 933-3 där vågens noggrannhet skall vara  $\pm 0,1\%$  av analysprovets vikt.



*Diagram 1. Principskiss över flisighetsindex för fin fraktion exemplifierat med analysfraktion 3,15-4 mm och spaltsikt med spaltbredd 2 mm.*

I diagrammet ovan visas principen för siktning av finballast. Analysprovet rensiktas på siktar med fyrkantsöppning, en undre fraktionssikt ( $d$ ) och en övre fraktionssikt ( $D$ ). I detta fall exemplifierat med 3,15 och 4 mm siktar. Analysprovet erhåller då partiklar inom det grå fältet. Det rensiktade analysprovet handsiktas sedan över en spaltsikt med en spaltbredd av halva  $D$ . I detta fall 2 mm. Flisighetsindex för 3,15-4 mm är den procentmängd som passerar spaltsikt 2 mm. För övriga analyserade fraktioner gäller samma princip. Analysproverna rensiktas fram med två siktar med fyrkantsöppning (enligt tabell 2) och siktas sedan på tillhörande spaltsikt.



Bild 7 och 8. Material D 3,15–4 mm som stannar på spaltsikt 2 mm till vänster och som passerar sikt 2 mm till höger.

### 3.3 Mål

Arbetsgruppen satte upp några mål i inledningen av projektarbetet.

- Undersöka skaktiden som behövs vid olika analysprovvikter.
- Se om förhållandena skiljer sig mellan olika krossade stensmjöl och mot runt åsmaterial.
- Bestämma lämpliga analysprovvikter som erfordras för varje delfraktion.
- Ge rekommendationer på analysprovvikter utifrån de ovannämnda punkterna.

Samt besvara frågan om.

- Är metodiken en användbar metod att bestämma kornformen med på finballast

### 3.4 Genomförandet

För genomförandet valdes 6 olika material som arbetsmaterial. De tvättades, torkades och rensiktades innan de analyserades. Korndensiteten bestämdes med EN 1097-6 med den skenbara korndensiteten för material i fraktion 3,15–4 mm. I det följande kommer provmaterialen att betecknas med bokstäverna A-F. De är enligt nedan.

- 1 åsmaterial; A (mindre rundat) med korndensitet 2,69 Mg/m<sup>3</sup>
- 1 åsmaterial; B (välrundat) med korndensitet 2,69 Mg/m<sup>3</sup>
- 1 glimmerrikt bergkrossmaterial C (diorit) med korndensitet 2,77 Mg/m<sup>3</sup>
- 1 bergmaterial (tonalit) D krossat i tre steg med korndensitet 2,81 Mg/m<sup>3</sup>
- 1 konkrossat bergmaterial (granodiorit) E med korndensitet 2,67 Mg/m<sup>3</sup>
- 1 kubiserat bergmaterial (granodiorit) F med korndensitet 2,68 Mg/m<sup>3</sup>

Anm. Material E och F är från samma täkt

Först undersöktes med en utförare erforderlig sikt tid för rensiktning med olika provvikter för olika analysfraktioner. Utifrån resultatet valdes lämpliga analysprovvikter som arbetsgruppen arbetade med i fortsättningen för de olika materialen. Med 3 olika utförare benämnda i det följande med 1,2 respektive 3 handsiktades materialen för att undersöka reproducerbarheten, om liknande resultat kunde återupprepas med olika utförare. Efter detta sammanställdes erfarenheterna och resultatet tillsammans med partikelvägningar och partikelberäkningar ledde fram till rekommendationer av lämpliga analysprov mängder för de olika fraktionerna.



*Bild 9. Manuell siktning med spaltsikt.*

### **3.5 Studie av antal partiklar i olika delfraktioner**

Samtliga 6 material analyserades med avseende på antal partiklar. Metodiken som användes var att ta ut 100 st. partiklar i varje fraktion och väga dessa 100 partiklar. En våg med 0,01 grams noggrannhet användes. Utifrån detta beräknades sedan medelvikten per partikel. Utifrån medelvikten från de sex materialen beräknades sen hur många partiklar en viss provmängd kan förväntas innehålla. Sammanlagt räknades och vägdes material från 36 st. delfraktioner.

Som jämförelse beräknades utifrån fraktionens geometriska medelvärde hur mycket 100 sfäriska partiklar med ekvivalent partikeldiameter väger för de olika fraktionerna. Även hur många sådana sfärer de rekommenderade analysprovvikterna innehåller beräknades.

Dessutom gjorde beräkningar av hur många partiklar som täcker spalterna i respektive spaltsikt samt studie av bäddtjockleken hos spaltsiktarna.

Utifrån resultaten av allt detta och erfarenheterna från siktningarna ledde det fram till rekommenderade analysprov vikter för metoden.

## 4. Resultat

### 4.1. Siktning av en utförare med olika provvikter

Första försöket gjordes med att bestämma erforderlig skaktid med olika provvikter med handsiktning.

En utförare siktade material B och material D. Analysprov i fraktion 3,15–4 mm och 1,6–2 mm handsiktades med olika provvikter till materialet bedömdes som klarsiktat.

Följande resultat erhöles.

Material B 3,15–4 mm.

Provmängd gram	Skaktid sekunder	Passerande mängd gram	Flisighetsindex
79,62	82	1,34	2,2
59,98	52	0,85	2,1
40,29	36	1,11	1,4
30,10	39	0,51	1,7
20,09	35	0,23	1,1

*Tabell 3. En utförares erforderliga sikttid för fullgod siktning i fraktion 3,15–4 mm på åsmaterial B med olika provmängder.*

Material D 3,15–4 mm.

Provmängd gram	Skaktid sekunder	Passerande mängd gram	Flisighetsindex
80,57	133	5,65	7,0
59,91	90	3,83	6,4
40,11	58	2,64	6,6
30,20	62	2,06 (omsiktat)	6,8
30,12	99	3,30 *	11,0 *
20,42	53	1,16	6,8

\*) Anm. Material passerade under locket. Provet gjordes om utan lock.

*Tabell 4. En utförares erforderliga sikttid för fullgod siktning i fraktion 3,15–4 mm på bergkrossmaterial D med olika provmängder.*

Åsmaterial material B 1,6–2 mm

Provmängd gram	Skaktid sekunder	Passerande mängd gram	Flisighetsindex
60,74	66	0,15	0,2
40,01	42	0,06	0,1
30,18	27	0,02	0,1
20,23	23	0,01	0,0

Tabell 5. Åsmaterial material B 2–2,5 mm siktat på 1 mm spaltsikt (fel spaltsikt).

Beklagligt nog visade det sig sen att det var färväxlat material och ett för grovt material hade siktades.

Därför gjordes försöket om vid ett senare tillfälle.

Provmängd gram	Skaktid sekunder	Passerande mängd gram	Flisighetsindex
60,89	142	2,03	3,3
40,00	119	1,45	3,6
30,04	54	0,89	2,9
20,12	50	0,59	2,9

Tabell 6. En utförarens erforderliga sikt tid för fullgod siktning i fraktion 1,6–2,0 mm på åsmaterial material B med olika provmängder.

Material D 1,6–2 mm

Provmängd gram	Skaktid sekunder	Passerande mängd gram	Flisighetsindex	Anm.
60,23	240	6,66	11,1	Avbrutet ej slutfört
39,81	207	5,23	13,1	
30,51	100	3,81	12,5	
21,51	102	2,74	12,7	
10,71	80	1,47	13,7	

Tabell 7. En utförarens erforderliga sikt tid för fullgod siktning i fraktion 1,6–2 mm på bergkrossmaterial D med olika provmängder.

Vi kunde konstatera att rundat material är betydligt lättare att handsikta och med ett sådant material går det snabbare att erhålla fullgod siktning. Bergkrossmaterial tar längre tid att sikta. Vi konstaterade att de största mängderna 80 gram 3,15–4 mm respektive 60 gram 1,6–2 mm som provsiktades är för stora för siktens storlek. Det var både tidsödande och svårt att rensikta de mängderna. För fraktion 1,6–2 mm avbröts provningen vid vikten 60 gram som var för stor för att kunna rensiktas med en siktning.



## 4.2 Siktning av tre utförare på samma material

På två av de sex materialen undersöktes reproducerbarheten med alla sex delfraktioner av tre olika utförare. I det följande benämnda 1, 2 och 3. Exakt samma provmaterial användes. Siktningen fortgick till dess utföraren bedömde att inget mer passerade spaltsikten. Siktningarna skedde utan lock. För två material valdes den grövsta (3,15–4 mm) den finaste (1–1,25 mm) och en fraktion mitt emellan (1,6–2 mm). Stapeldiagram över siktningarna finns i diagram 2-7.

Utförare	3,15–4 mm		2,5–3,15 mm		2–2,5 mm		1,6–2 mm		1,25–1,6 mm		1–1,25 mm	
	gram	FI	gram	FI	gram	FI	gram	FI	gram	FI	gram	FI
1	1,44	3,5	1,60	4,6	1,32	4,4	2,15	8,6	0,96	6,3	0,44	4,4
2	1,30	3,2	1,58	4,6	1,45	4,8	1,97	7,8	1,30	8,6	0,4	4,0
3	1,13	2,8	1,52	4,4	1,32	4,4	1,64	6,5	0,9	5,9	0,5	4,9
Invägt	41,04		34,68		30,16		25,11		15,14		10,11	

Tabell 8. Rensiktning av material A åsgrus i sex fraktioner utfört av tre utförare.

Utförare	3,15–4 mm		2,5–3,15 mm		2–2,5 mm		1,6–2 mm		1,25–1,6 mm		1–1,25 mm	
	gram	FI	gram	FI	gram	FI	gram	FI	gram	FI	gram	FI
1	2,63	6,6	2,20	6,2	1,43	4,7	2,38	9,4	1,35	9,2	0,75	7,5
2	2,52	6,3	2,20	6,2	1,22	4,0	2,26	9,0	1,58	10,7	0,69	6,9
3	2,28	5,7	1,98	5,5	1,48	4,8	2,10	8,3	1,35	9,2	0,86	8,6
Invägt	40,05		35,69		30,73		25,23		14,71		10,05	

Tabell 9. Rensiktning av material F kubiserat bergkrossmaterial i sex fraktioner utfört av tre utförare.

Utförare	3,15–4 mm			1,6–2 mm			1–1,25 mm	
	gram	FI		gram	FI		gram	FI
1	7,41	18,3		5,05	20,0		1,81	17,4
2	6,86	17,0		4,88	19,4		1,78	17,1
3	6,67	16,5		4,17	16,5		1,95	18,7
Invägt	40,42			25,20			10,41	

Tabell 10. Rensiktning av material E okubiserat bergkrossmaterial i tre fraktioner utfört av tre utförare.

Utförare	3,15–4 mm			1,6–2 mm			1–1,25 mm	
	gram	FI		gram	FI		gram	FI
1	7,22	16,7		2,87	9,4		0,85	8,7
2	7,09	16,4		2,48	9,6		0,82	8,4
3	6,69	15,5		2,52	9,7		0,91	9,3
Invägt	43,14			25,92			9,77	

Tabell 11. Rensiktning av material C glimmerrikt bergkrossmaterial i tre fraktioner utfört av tre utförare.

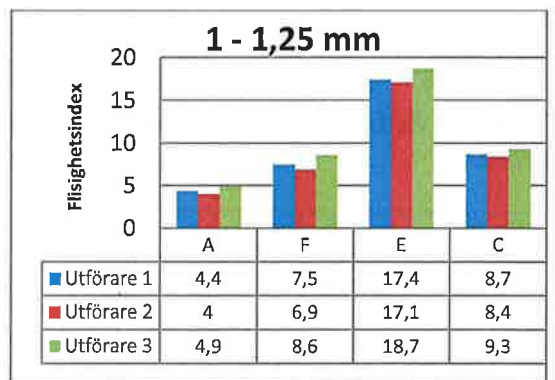
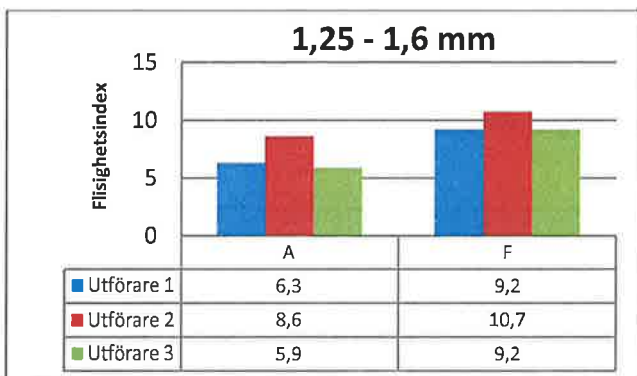
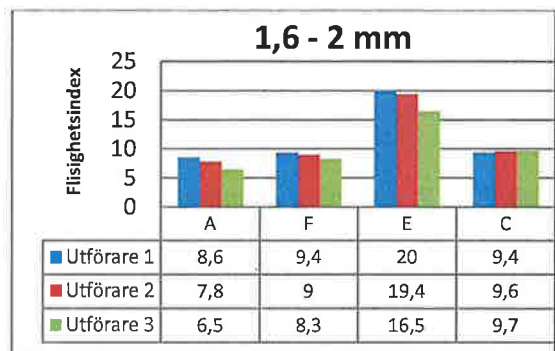
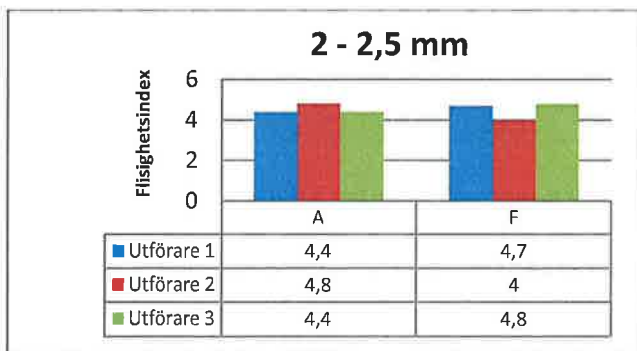
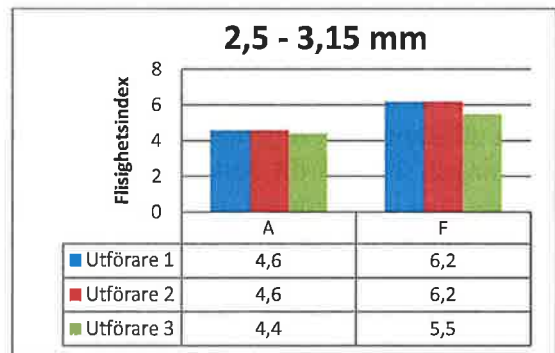
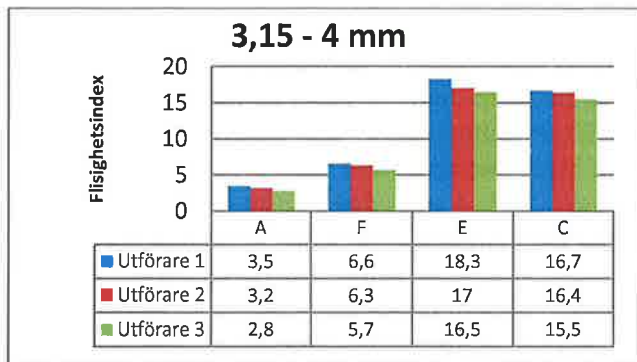


Diagram 2-7. Tre olika utförares siktresultat på sex olika fraktioner med 4 olika stenmaterial.

### 4.3 Upprepad siktning av en utförare på samma material

Repetierbarheten undersöktes med material B genom upprepade siktning av ett samma prov av en utförare med två provmängder. Varje analysprov siktades 3 gånger. Skaktid till fullständig siktning.

Provmängd gram	Skaktid sekunder	Passerande mängd gram	Flisighetsindex
60,03	140	1,94	3,2
60,03	90	1,92	3,2
60,03	135	2,07	3,3
20,10	115	0,64	3,2
20,10	110	0,62	3,1
20,10	115	0,65	3,2

Tabell 12. Åsmaterial mtrl. B 1,6–2 mm med en utförare och upprepade siktning

### 4.4 Vikt av partiklarna

100 partiklar i var fraktion valdes ut slumpmässigt ur de olika materialen och vägdes. Följande resultat erhöles.

Fraktion mm	Material A	Material B	Material C	Material D	Material E	Material F	Medelvärde
3,15–4	8,56	8,45	9,36	9,41	8,19	8,69	8,78
2,5–3,15	4,53	4,54	4,66	5,15	5,17	4,85	4,82
2–2,5	2,33	2,42	2,38	2,57	2,31	2,16	2,36
1,6–2	0,99	1	1,13	1,12	1,01	1,16	1,07
1,25–1,6	0,56	0,51	0,53	0,66	0,58	0,51	0,56
1–1,25	0,25	0,31	0,27	0,29	0,25	0,27	0,27

Tabell 13. Vikt i gram av 100 partiklar av de 6 olika materialen i undersökningen.

Den angivna medelvikten i tabell 13 utgör det aritmetiska medelvärdet av de sex materialens vikter för varje fraktion.

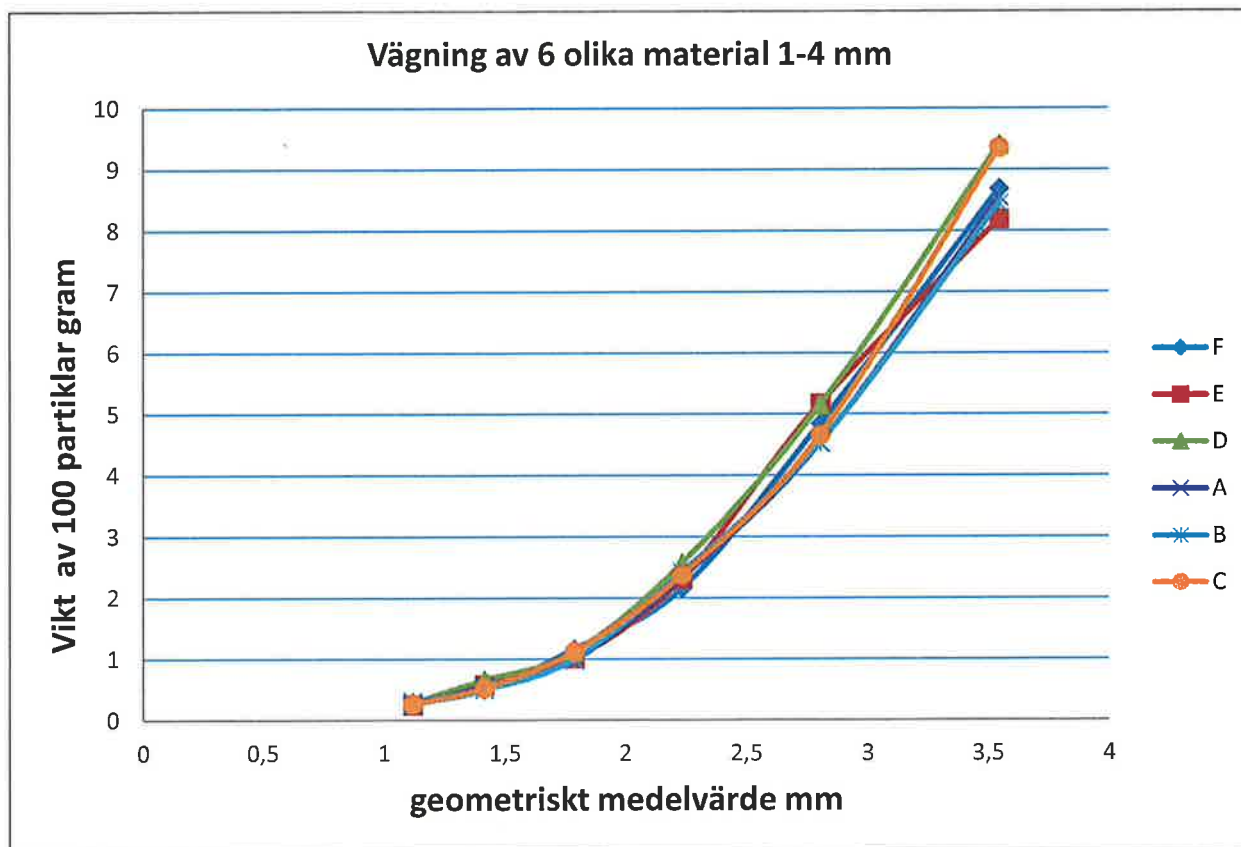


Diagram 8. Vikten av 100 partiklar av de undersökta materialen avsatt mot fraktionens geometriska medelvärde.

#### 4.4 Beräkning av det teoretiska partikelantalet vid olika korndensiteter

För varje undersökt fraktion har den sfär som har samma diameter som fraktionens geometriska medelvärde beräknats. För 100 st. partiklar av denna sfär har sedan vikten beräknats på vid 4 olika korndensiteter. Resultatet framgår av tabell 14.

Fraktion mm	Sfärens diameter (mm)	Korndensitet 2,60 Mg/m <sup>3</sup>	Korndensitet 2,66 Mg/m <sup>3</sup>	Korndensitet 2,72 Mg/m <sup>3</sup>	Korndensitet 3,00 Mg/m <sup>3</sup>
3,15–4	3,55	6,09	6,23	6,37	7,03
2,5–3,15	2,81	3,01	3,08	3,15	3,47
2–2,5	2,24	1,52	1,56	1,59	1,76
1,6–2	1,79	0,78	0,80	0,82	0,90
1,25–1,6	1,41	0,39	0,39	0,40	0,44
1–1,25	1,12	0,190	0,195	0,199	0,22

Tabell 14. Vikt av 100 partiklar av sfärisk form med olika diametrar och vid olika korndensiteter.

## 5. Diskussion

### 5.1 Antalet partiklar som effektiv siktarea

Varje siktlåda som tillverkades har en area av  $100 \times 100 \text{ mm} = 1000 \text{ mm}^2$ . Den tillgängliga effektiva arean är längden av spåren  $\times$  spaltbredden.

Varje sikt har en spårlängd av 40 mm, men med varierande antal spår. Spåren är placerade i två delområden på siktarna.

Spaltbredd (mm) spaltsikt	Antal spår	Spårlängd totalt (mm)	Tillgänglig spaltöppning %
2	28	1120	22,4
1,6	28	1120	17,9
1,25	28	1120	14,0
1	58	2320	23,2
0,8	58	2320	18,6
0,63	58	2320	14,62

Tabell 15. Visande hur stor del som utgörs av öppen spalt är i de olika siktlådorna.

Om man utgår från de tillgängliga öppningarna på varje siktlåda kan man teoretiskt beräkna hur många partiklar som rent hypotetiskt kan lägga sig på spåren om man täcker ytan. Det antalet redovisas nedan i tabell 16 som tänkta antal sfärer som täcker spaltöppning om de läggs på rad på spalterna i respektive spaltsikt. Beräkningen är gjord utifrån det geometriska medelvärdet för varje fraktion och med antagande att alla sfärer har en diameter i mm lika med det geometriska medelvärdet.

Fraktion (mm)	Spaltbredd i spaltsikt (mm)	Geometriskt medelvärde (mm)	Ekvivalenta partikeldiametern (mm)	Total spaltlängd (mm)	Antal partiklar på spaltöppning
3,15–4	2	3,55	3,55	1220	344
2,5–3,15	1,6	2,81	2,81	1220	435
2–2,5	1,25	2,24	2,24	1220	546
1,6–2	1	1,789	1,789	2320	1297
1,25–1,6	0,8	1,414	1,414	2320	1640
1–1,25	0,63	1,118	1,118	2320	2075

Tabell 16. Antalet beräknade ekvivalentsfärer som täcker spaltöppningarna per sikt. Beräknat utifrån det geometriska medelvärdet för varje fraktion.

## 5.2 Provmängd

Genom provningen av flisigheten kunde vi konstatera att rundat åsmaterial är betydligt lättare och går snabbare att erhålla klar siktning med. Bergkross tar längre tid och vid stora provmängder som överbelastar sikten klarar man inte av att rensikta på 4 minuter. Av den anledningen skulle det kunna vara motiverat att tillåta mindre provmängd i analysproverna för bergkross. Vi konstaterade att de största mängderna vi provade 80 gram 3,15–4 mm resp. 60 gram 1,6–2 mm är mängder som är för stora för siktens storlek. De täckte mer än 1,5 lagerbädden på siktarna. Följande provmängder kom vi fram till utifrån siktningens erfarenheter att skulle kunna vara lämpliga för de olika fraktionerna.

Analysfraktion (mm)	Analysprovsvikt	Krossmaterial	Åsmaterial
3,15–4	40 gram	30 gram	40 gram
2,5–3,15	35 gram	25 gram	35 gram
2–2,5	30 gram	20 gram	30 gram
1,6–2	25 gram	20 gram	25 gram
1,25–1,6	15 gram	10 gram	15 gram
1–1,25	10 gram	10 gram	10 gram

Tabell 17. Provmängder utifrån erfarenheter i ringanalysen.

Vikterna är framtagna utifrån vad som vi bedömde är praktiskt att genomföra. Om mer vikt skall undersökas var det därför troligt att manuell rensiktning är för svårt och tidsödande att utföra. I de fallen kan man utföra flera prov genom att dela upp analysprover i flera delanalysprov. De vikterna i tabell 17 är nog att betrakta som maxvikter. En praktisk vikt skulle vara ca 75 % av vikten av ett skikts tjocklek partiklar. Minimivikter måste dock innehålla tillräckligt många partiklar.

## 5.3 Mätning av bäddtjocklek

Mätning av vikt av en bäddtjocklek på sikten med de olika materialen utfördes för alla delfraktioner. Härigenom fås en uppfattning på lämplig maximal provsvikt. Om provet bygger mer än ett lager försvåras siktningen.

Fraktion mm	Vikt ett lager A	Vikt ett lager B	Vikt ett lager C	Vikt ett lager D	Vikt ett lager E	Vikt ett lager F	Medelvikt
3,15–4	44,01	42,38	40,93*	42,34	39,22	41,79	41,8
2,5–3,15	40,58	37,09	36,74	36,39	35,53	36,37	37,1
2–2,5	30,77	28,03	26,21	27,53	24,15	26,76	27,2
1,6–2	24,31	24,71	22,11	21,70	19,11	20,62	22,1
1,25–1,6	17,64	18,35	16,22	16,33	15,65	18,39	17,1
1–1,25	12,5	13,8	12,88	14,24	12,11	14,17	13,3

Tabell 18. Vikt(gram) av ett lagers täckning av de olika fraktionerna av undersökningsmaterialet.

\*Kontroll av antalet partiklar gav 508 st. partiklar

Den beräknade medelvikten för ett lager är utifrån våra sikterfarenheter ger ett ganska bra värde för maxvikt. Utifrån sikterfarenheterna, vikt av 75 % täckning av partikellagret samt antalet partiklar i analysfraktion ges därför tabell 19 i det följande rekommendation på analysprovsvikt.

## 5.4 Antalet partiklar i rekommenderad provvikt

De sex materialens ingående antal partiklar vikt i de olika fraktionerna bestämdes. Utifrån det aritmetiskt medelvikt beräknades för varje delfraktion ett medelvikt per partikel. Denna medelvikt har använts för att beräkna antalet partiklar i de rekommenderade analysprovvikterna i tabell 19. Utifrån denna medelvikt kunde sen även ett teoretiskt antal partiklar med sfärisk form och med en korndensitet av  $2,66 \text{ Mg/m}^3$  med de rekommenderade provvikterna i tabell 19 beräknas. Med de rekommenderade provvikterna i tabell 19 fås följande antal partiklar i ett tänkt standardmaterial.

Analysfraktion (mm)	Rekommenderad analysprovsmängd	Antalet partiklar st.	Antal sfärer st.
3,15–4	32–40 gram	365–456	514–642
2,5–3,15	28–35 gram	581–727	910–1137
2–2,5	20–30 gram	847–1270	1284–1927
1,6–2	17–25 gram	1591–2340	2132–3136
1,25–1,6	13–15 gram	2328–2686	3300–3808
1–1,25	8–10 gram*	2927–3659	4110–5138

Tabell 19. Beräkning av antalet partiklar i de olika fraktionerna

\* Tas lägre vikt än 10 gram på analysprovet blir noggrannheten på vågen för liten

De i tabell 19 rekommenderade provvikterna ger över 1000 partiklar för alla provade fraktioner < 2,5 mm stenmax. För de grövsta provas 400 – 500 partiklar i fraktion 3,15–4 mm och 700 – 800 i fraktion 2,5–3,15 mm. En jämförelse ges nedan i tabell 20 på analysprovvikter för grovballsten analyserat med flisighetsindex 933-3. Antagandet att sfärer provas med en korndensitet av  $2,66 \text{ Mg/m}^3$  och med en diameter som är lika med geometriska medelvärdet för fraktionen ger följande antal partiklar i de fraktionerna.

Sortering (mm)	analysprovsmängd	Antal partiklar som sfärer
16-31,5	10000 gram	620
16-22,4	5100 gram	539
11,2-16	2600 gram	778
8-11,2	1300 gram	1101
4-8	600gram	2379

Tabell 20 Antalet partiklar i grovballast beräknat som sfärer med diameter som det geometriska medelvärdet och med en korndensitet av  $2,66 \text{ Mg/m}^3$ .

Utifrån flisighetsindex för grovballast kan det konstateras att de analysmängder rekommendationen i tabell 19 för finballast ger så är de i varje fall inte färre partiklar som analyseras i finballasten.

## 5.5 Felkällor och förbättringsmöjligheter

Extremt platta partiklar kan ha svårt att passera en spalt. För att det skall ske måste de vrida sig uppåt och för det krävs ganska kraftig vibrering. Problemet är troligen störst i de fall glimmerpartiklar finns fritt. Dessa har svårt att passera spalten. Siktprocessen bör därför alltid avslutas med att okulärt se om det finns platta korn i sikten och i förekommande fall testa de partiklarna manuellt mot siktens spalt. Det är dock sällsynt att fri glimmer förekommer i större mängd som fria glimmerblad med storlek  $> 1\text{ mm}$ .

Risk finns att använda lock då vi lyckades få partiklar att slinka ut emellan. Därför siktades alla proverna utan lock i ringanalysen. Det går att utveckla lockets låsning och även att tillverka sikten med en högre kant på sikten.

Spaltsikten för den finaste fraktionen 1–1,25 mm med spaltbredd 0,63 mm kan tillverkas med något större area för att kunna få mindre täckning av 10 grams analysprov.

## 5.6 Precision

Genom reproducerbarhetstesten kan konstateras att spridningen för metoden är för alla prover utom ett inom  $\pm 2$  enheter. Spridningen ökar med ökande flisighetsindex. Den är i storleksordningen  $\pm 1$  enhet vid flisighetsindex  $< 10$  och  $\pm 2$  enheter vid flisighetsindex  $> 10$ . Endast ett av proverna fick en spridning  $> 1,5$  enheter från flisighetsindexet.

Reproducerbarheten verkar vara bättre än reproducerbarheten fast det är för få tester gjorda för att kunna säkerställa det förhållandet.

I diagram 9 visas den maximala avvikelser från medelvärdet på enskilda analys på de prover tre utövare utförde och finns redovisade i tabell 9-12.

På grund av att endast tre utövare gjorde reproducerbarhetstesten kan dock inget säkert uttalas om spridningen i metoden.



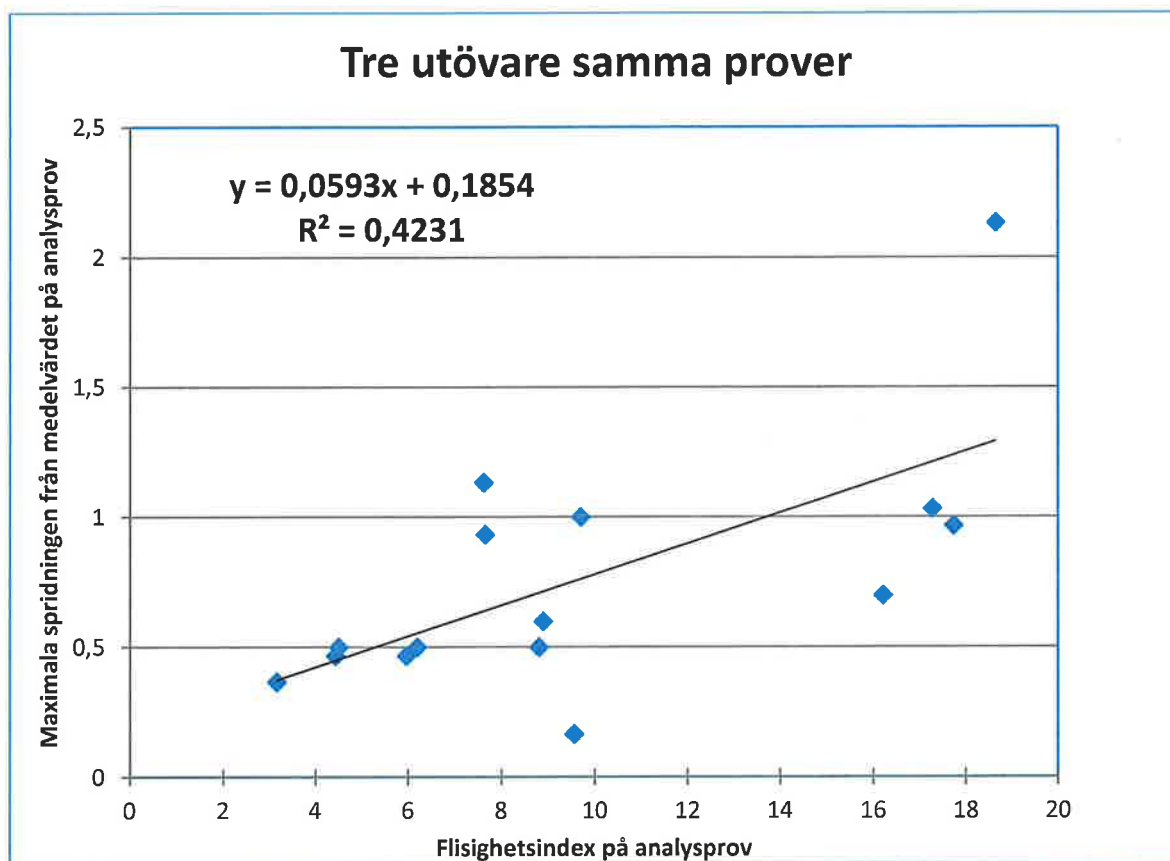


Diagram.9 Den maximala spridningen från flisighetsindex för de prover de tre utövarna analyserade.

Flisighetsindexet kan beräknas som sammanansatt för alla delfraktioner eller som för delfraktion. Projektet ger ingen vägledning utan syfte vad som bör väljas. Troligen kan erfarenhet styra in mot att använda endast några fraktioner vid produktionsstyrning.

## 5.7 Implementering

Implementering av metoden har sen projektet startades gjorts hos Skanska Asfalt & Betong AB i Vällsta vid framställning av helkross till betong där alla delfraktioner analyseras. I Östsvrige har Abetong och Cementa AB implementerat metoden i ett examensarbete i Växjö universitet (Johansson och Hedberg 2009) med analys av tre delfraktioner. Rekommendationer för stenhöl till betong i Nollalternativet skrivet efter Minbas 2 (Lagerblad och Gram 2010) anger rekommendation att analysera finfraktionen med modifierad SS-EN 933-3 för partiklar > 1mm.

## 6. Slutsatser

Metodiken fungerar och den ger ett bra mått på kornformen. Den har ett visst inslag av spridning mellan utförare. Man bör ange flisighetsindex utan decimal.

Rekommendation på provvikt på analysprov på spaltsikt ges här.

Flisighetsindex 1-4mm	
Analysfraktion (mm)	Rekommenderad analysprovvikt *
3,15-4	32-40 gram
2,5-3,15	28-35 gram
2-2,5	20-30 gram
1,6-2	17-25 gram
1,25-1,6	13-15 gram
1-1,25	10 gram

\*undre vikt motsvarande 3/4 täckning av en sikt.

*Tabell 20. Rekommenderade provvikter för finballast*

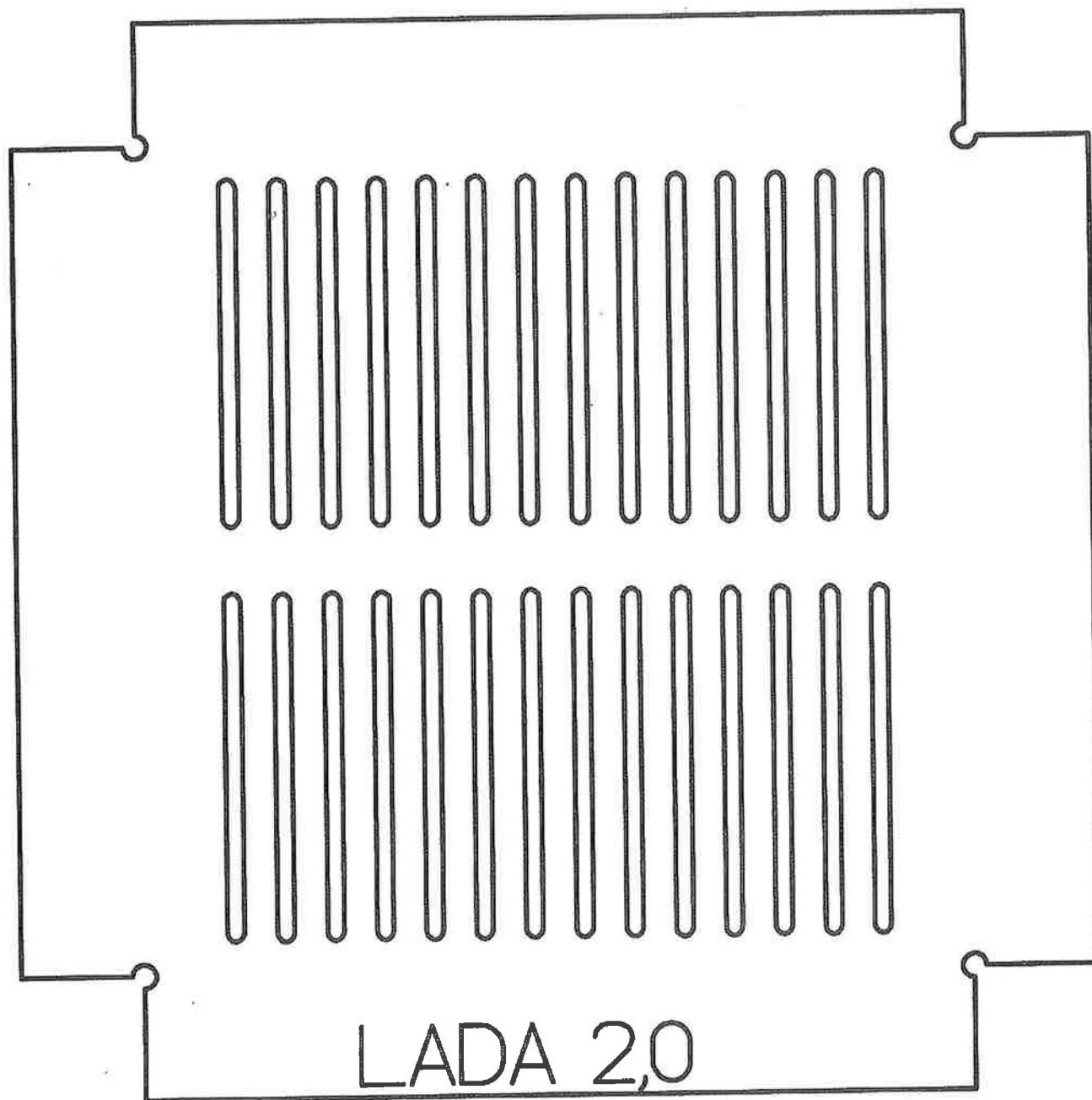
Anm. Vid andra storlekar på spaltsikt gäller andra analysprovvikter.


Metoden kan ge ett sammansatt flisighetsindex eller för enskild fraktion. Projektet ger ingen rekommendation vilket som bör väljas.

## Referenser

- Hagerman T, 1982: Kornform hos sandsediment och ballastmaterial s 183-205 i Föredrag vid Ballastdagar i Luleå den 13-15 september 1982, Tekniska högskolan i Luleå
- Hagerman, T, Granlund, N, 1977: Anpassning av bildanalysator för teknisk bedömning av jordarter som krossmaterial STU-rapport 76-5572
- Johansson, H, Hedberg, N, 2009: Stenmjöl eller naturgrus i betong- en jämförande studie 63 sidor Växjö Universitet
- Lagerberg, B, 2005: Krossat berg som ballast till betong. Rapport 2:19 Minbas Stockholm
- Lagerberg, B, Gram, H-E, 2010: Nollalternativet Rekommendationer för stenmjöl till betong
- Lagerblad, B, Westerholm, M, Fjällberg, L& Gram, H-E, 2008: Bergkrossmaterial som ballast i betong CBI Rapport 1:2008,
- Lindberg, K, 2001: Bättre kornform för bergkross Bildanalytstudier av kubiserat stenmaterial < 8mm SBUF-Rapport nr 8109
- Persson, A-L,1996: Image analysis of fine aggregate, KTH
- Rogers, C, Gorman, B. 2008: A flakiness test for fine aggregate
- Viman, L, Broms, H, 2005: Kornform och mekaniska egenskaper hos grov ballast enligt nya Europastandarder. VTI Notat 37-2005
- Wang, W X, 1995: Automatic Selection of Aggregate Images from a Moving Conveyor Belt 10 sidor.Submitted to Fourth International symposium on Mine Planning & Equipment Selection, Calgary, Alberta, Canada, Oct 31-Nov.3 1995
- Wang, W X, Stephansson, O & Bergholm, F,1995: Stable image Acquisition of theAggregates on a fast moving conveyor belt 16 sidor The third International Symposium on Mine Mechanisation and Automation, Colorado School of Mines on June 12 – 14, 1995.
- Dansk Standard. 405.6 Provningsmetoder för sand-,grus- og stenmaterialer  
ABT VÄG 2003  
ABT VÄG 2004
- Dansk Standard. 405.6 Provningsmetoder för sand-,grus- og stenmaterialer  
FAS Metod 209 Bestämning av flisighetstal  
FAS Metod 244 Bestämning av LT-Index
- Flakiness Index of Coarse Aggregate (An Arizona Method), Ariz 233c September 5, 1996, 8 sidor  
SS-EN 933-3 Ballast – Geometriska egenskaper – Del 3: Bestämning av kornform – Flisighetsindex  
SS-EN 933-4 Ballast – Geometriska egenskaper – Del 4: Bestämning av kornform – LT –index  
SS-EN 1097-6 Ballast – Geometriska egenskaper – Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption





Storlek X : 130.00	Storlek Y : 130.00	Programnummer	19077
Skapad 2008-06-09	Ändrad 2008-11-04	Ritningsnummer	SKANSKA LADA 2
<b>Mälarlaser</b> 		Övrig information	SKANSKA

