

MICRO-DEVAL PÅ BORRKAX

En modifierad metod för micro-Deval



Christopher Artursson

FÖRORD

Jag vill börja med ett stort tack till alla som varit inblandade som har bidragit med kunskap och engagemang till projektet. Ett speciellt tack till projektets huvudfinansiär SBUF som bidrar till utvecklingen av svensk byggindustri. Ett stort tack till representanter från NCC, Swerock och SGU som har bidragit till värdefull input via referensgruppen. Jag vill även gärna tacka alla fantastiska medarbetare runt om på de tärter som har ingått i projektet.

Projektledning: Christopher Artursson, Geolog och Laboratorieföreståndare, Skanska Teknik, VTC Sydväst.

Projektgrupp:

- Jan Englund Skanska Teknik, Specialist, VTC support och utveckling.
- Lars Stenlid, Skanska Teknik, Specialist, VTC support och utveckling.

Referensgrupp:

- Jerker Carlström, Swerock
- Mats Fehrm, NCC
- Thomas Eliasson, SGU

Huvudförfattare till rapporten: Christopher Artursson

2022-12-22

SAMMANFATTNING

Hos entreprenörer inom bergmaterialsindustrin finns en önskan att få kunskap om vilka egenskaper en slutprodukt kan erhålla innan losshållning för att kunna planera losshållning och produktion. Det finns således ett behov att få tillgång till mer information om bergets egenskaper i ett tidigt skede.

Bestämning av nötningsmotstånd genom micro-Deval (SS-EN 1097-1) är en välbeprövad metod för kvalitetskontroll där provtagning vanligtvis sker efter tillverkning av krossprodukter från bergmaterial. Det innebär att svar på vilken kvalitet bergmaterialet har erhålls först när materialet är färdigproducerat. Ett sätt att ta reda på kvaliteten hos bergmaterialet i ett tidigare skede är att analysera borrhärdor i samband med prospektering och/eller projektering. Nackdelen är att kunskap om bergets egenskaper begränsas av den borrhärd som har borrats upp. Borrhärden laborierkrossas och kvalitetkontrolleras genom exempelvis micro-Deval, Los Angeles och kulkvarn. Detta är dock kostsamt och tidskrävande. En enklare och mindre tidskrävande metod kan vara att analysera borrhärdet som erhålls i samband med borrhärdning inför sprängning. Projektet går därför ut på att undersöka ifall det är möjligt att förutsäga kvalitet på ett bergmaterial genom att analysera micro-Deval på borrhärdet.

Totalt har 6 bergtäkter valts ut till projektet, baserat på deras historiska micro-Deval värden. Dessa har namngivits enligt följande: gnejsig-granit, migmatitisk gnejs, ryolit, västsvensk granit, kvartssandsten och diabas.

I varje täkt har 10 stycken borrhärdprover provtagits inför losshållning. Dessa borrhärdpunkter har valts ut med syfte att få en så stor spridning som representerar det losshållna materialet som möjligt. Från borrhärdet siktades fraktion 2,8–4 mm fram (med mellansikt 3,15 mm). Från det losshållna berget har sprängstenen provtagits. Sprängstenen har sedan genomgått laborierkrossning till 0–16 mm fraktion. Därefter har 10–14 mm för micro-Deval siktats fram. Från det losshållna berget har 8–11,2 mm och 11,2–16 mm tagits ut när det väl hade genomgått konventionell krossning. Från 8–11,2 mm siktades 10–11,2 mm fram. Från fraktion 11,2–16 mm siktades det fram 11,2–14 mm.

På det laborierkrossade och produktionskrossade materialet analyserades micro-Deval på 10–14 mm material enligt SS-EN 1097-1 och Flisighetsindex enligt SS-EN 933-3. Från det framsiktade materialet på borrhärdet har en modifierad micro-Deval metod tagits fram för att komma så nära analysvärdet på det laborierkrossade och produktionskrossade materialet som möjligt. På borrhärdet har också flisighetsindex på 2,8–4 mm genomförts med referens till SBUF projekt 12270 (Stenlid, L, 2011). Resultaten har sedan jämförts och presenterats i en regression och korrelationsanalys. Resultaten visar att det finns en tydlig korrelation mellan framsiktad micro-Deval 10–14 mm hos produktion- och laborierkrossat material. Det finns även en stark korrelation mellan borrhärdet och produktionskross samt laborierkrossade. Det finns en korrelation mellan flisighetsindex och micro-Deval värde men inte lika stark som den mellan den mellan laborierkrossade och produktionskrossat material. Slutsatsen är att det finns goda möjligheter att använda borrhärdet till att förutsäga ett bergs nötningsbeständighet.

INNEHÅLL

1. BAKGRUND	4
2. SYFTE	4
3. MÅL	4
4. BEGRÄNSNINGAR	4
5. METOD	4
6. GENOMFÖRANDE	5
6.1 METODUTVECKLING AV MICRO-DEVAL	5
6.2 MATERIAL	6
6.3 LABORATORIEMETODER	7
6.4 PROVTAGNING	8
7. RESULTAT	8
7.1 GNEJSIG-GRANIT, HALLAND	9
7.2 MIGMATITISK GNEJS, VÄSTERGÖTLAND	11
7.3 RYOLIT, SMÅLAND	12
7.4 VÄSTSVENSK GRANIT, VÄSTERGÖTLAND	14
7.5 KVARTSSANDSTEN, SKÅNE	16
7.6 DIABAS, SMÅLAND	17
8. DISKUSSION	19
8.1 KORRELATION OCH REGRESSIONANALYS	19
8.3 FLISIGHETSINDEX	22
10. SLUTSATS	24
11. FORTSATTA STUDIER	24
12. REFERENSER	24
BILAGOR	25
BILAGA 1 – FLISIGHETSINDEX PÅ ENSKILDA BORRKAX PROVER I DIAGRAMFORM	25
BILAGA 2 – FLISIGHETSINDEX I DIAGRAMFORM	28

1. BAKGRUND

Hos entreprenörer inom bergmaterialsindustrin finns en önskan att få kunskap om vilka egenskaper en slutprodukt kan erhålla innan losshållning för att kunna planera losshållning och produktion. Det finns således ett behov att få tillgång till mer information om bergets egenskaper inom ett tidigare tidsintervall så att rätt produkt kan produceras beroende på bergets kvalitet.

Bestämning av nötningsmotstånd genom micro-Deval (SS-EN 1097-1) är en välbeprövad metod för kvalitetskontroll där provtagning vanligtvis sker efter krossning av bergmaterial. Det innebär att svar på vilken kvalitet bergmaterialet har erhålls först när materialet är färdigproducerat. Ett sätt att ta reda på kvaliteten hos bergmaterialet i ett tidigare skede är att ta upp borrhärdar i samband med prospektering och/eller projektering. Nackdelen är att kunskap om bergets egenskaper begränsas av den borrhärda som har borrats upp. Borrhärda laboratoriekrossas och kvalitetkontrolleras genom exempelvis micro-Deval. Detta är dock kostsamt och tidskrävande. En enklare och mindre tidskrävande metod efterfrågas därför.

2. SYFTE

Projektet syftar till att undersöka ifall det är möjligt att bestämma nötningskvalitet på borrhärdar för att få en indikation på vilken kvalitet en färdigproducerad produkt kan få. Det kommer att möjliggöra en bestämning av vilken kvalitet som kan produceras på aktuell bergmassa eller hur produktionen ska styras till att producera önskvärd produkt. Borrhärdaxet kommer från borrhärdning inför losshållning av berget. Nötningsbeständigheten undersöks därmed på en annan fraktion än vad micro-Deval-metoden är framtagen för. Projektet syftar därför även till att modifiera micro-Deval metoden för analys på borrhärdax för att erhålla ett så liknande resultat som möjligt som det som erhålls på ordinarie provfraktion.

3. MÅL

Målet med projektet är att den framtagna metodiken ska kunna användas i olika typer projekt. Exempel på detta kan vara befintlig bergtäkt, prospektering och projektering av en ny bergtäkt, entreprenadberg samt anläggningsprojekt för att på ett snabbt sätt få en uppfattning om bergets nötningsegenskaper.

4. BEGRÄNSNINGAR

I studien har totalt 6 stycken täkter valts ut med diversifierade historiska micro-Deval värden (SS-EN 1097-1). Eftersom studien begränsas till sex stycken täkter så är det också dessa metoden utgår ifrån. Mer data från fler täkter minskar osäkerheten i metoden. Ingen litteraturstudie har utförts i projektet.

5. METOD

Projektet baserar sig på provtagning i form av borrhärdax, sprängsten och produktionskrossat material från 6 stycken olika täkter. Därefter har laboratorietester genom micro-Deval, flisighetsindex (SS-EN 933-3) samt SBUF 12270 (Stenlid, L, 2011) genomförts på det

provtagna materialet. Efteråt har en regression och korrelationsanalys genomförts baserat på resultaten. Projektet inleddes med en metodutveckling för att ta fram en modifierad metod av micro-Deval anpassad för borrhax.

6. GENOMFÖRANDE

6.1 Metodutveckling av micro-Deval

I förstudien till projektet diskuterades det vilka delar av micro-Deval provningsmetoden som behövde justeras för att få ett resultat på borrhaxet så nära referensmetoden som möjligt.

Det som fanns att tillgå innan losshållningen och provtagning av den första bergtäkten var bergmaterial från halländsk gnejsig-granit som bestod av produktionskrossat 2–5 mm material som provtogs ur befintligt upplag. Denna fraktion efterliknar borrhaxets. Från fraktionen 2–5 mm siktades det fram material på 2,8–4 mm, med en mellansikt på 3,15 mm. Likt ursprungsmetoden för micro-Deval användes en provmängd på 500 gram. Baserat på en rak logaritmisk fördelning, kommer 67 % av provmaterialet från 3,15–4 mm sikten och 33% av materialet från 2,8–3,15 mm sikten (tabell 1). Modellen i tabell 2 användes för att finna rätt kulvikt, provmängd och antalet varv.

Tabell 1. Material fördelning mellan olika fraktioner som bestämdes för att använda i projektet. Material fördelningen är baserad på en rak logaritmisk fördelning. Den totala analys provvikten som användes under projektets gång var 500 gram, likt SS-EN 1097-1.

Siktar (mm)	Materialfördelning
4	Taksikt
3,15	67%
2,8	33%
Botten	

Tabell 2. Diagram av modell som användes för att bestämma rätt nötningsgrad på 2–5 material. Varv-antal och kulvikt justerades för att få rätt nötningsgrad. Tidsåtgången är ungefärlig.

Provvikt	Kulvikt	
	500 gram	500 gram
500 gram	3000 varv (30 min)	6000 varv (60 min)
500 gram	1000 gram	1000 gram
	3000 varv (30 min)	6000 varv (60 min)

Förutom provets fördelning har tiden eller varvtalet en påverkan på hur mycket ett analysprov nöts. Enligt micro-Deval (SS-EN 1097-1) ska varvtalet för maskinen vara inställd på 100 +/- 5 varv per minut. Det innebär att 60 minuter eller 1 timme motsvarar 6000 varv-antal och en halvtimme hälften av varv-antalen (3000 varv-antal). Enligt metoden är det vanligtvis 12 000 varv som används för metoden på 8–11,2, 10–14 och 11,2–16 mm material. Efter anpassning av

varvtalet valdes 3006 varv, 500 gram kulvikt och 2,5 liter vatten för projektet då detta gav ett likvärdigt micro-Deval värde för borrhax och material 10–14 mm.

I tabell 3 visas resultaten från den modifierade metoden på 2–5 mm material. Medelvärdet från 10 prover hamnade på 7,96 och standardavvikelsen för dessa på 0,80. Resultatet för 11,2–16 mm från samma ursprungstäkt var 8,00.

Tabell 3. Tabellen visar varje enskilt resultat för 2,8–4 mm fraktion. Medelvärdet för de 10 proverna är 7,96 % och Standardavvikelsen är 0,80 %. Materialet är från en bergtäkt med gnejsig-granit i Halland.

(A) Micro-Deval 2,8–4 bergskross (från sortering 2-5 mm)										
Prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	7,79	7,91	7,19	7,12	9,70	9,02	7,26	7,75	8,01	7,82

För att verifiera att metoden för 2,8–4 mm material fungerar så utfördes analyser på ytterligare 3 bergtäkter där förprovad 11,2–16 och 2–5 mm material användes. Detta redovisas i tabell 4.

Tabell 4. I det första stadiet innan den första lossställningen så fanns 11,2–16 mm material att tillgå från 4 stycken olika täkter. Från fraktionen siktades 11,2-14 och 14-16 mm fram för micro-Deval. Från 2-5 siktades 2,8-3,15 och 3,15-4 mm fram för justerad micro-Deval. Den sistnämnda täkten är densamma som där 10 delprov utfördes (tabell 3). I en micro-Deval (SS-EN 1097-1) avrundas siffran till heltal.

	11,2-16 (mm)	2,8-4 (mm)
Granodiorit – granit, Småland	4,79	4,10
Granitisk-gnejs, Halland	7,44	6,86
Tonalit-granodiorit, Västergötland	15,15	13,49
Gnejsig-granit, Halland	8,40	7,70

Det samlade resultatet från förstudien visar på en systematisk skillnad där 11,2-16 mm är alltid lite högre än 2,8-4 mm. Framsiktat material 2,8-4 mm från produktionskrossning är så nära det går för att efterlikna borrhax av samma fraktion. Vid det här stadiet ansågs den förändring som hade utförts i kulvikt och varv-antal för micro-Deval vara tillräcklig. Vid behov om borrhaxet skulle uppvisa liknande trend, så planerades en regression och korrelations analys att utföras i syfte att efterlikna produktionskrossad produkt.

6.2 Material

I studien har bergmaterial från 6 stycken väst och sydsvenska bergtäkter analyserats. Det inkluderar borrhax, produktionskrossat material och sprängsten som sedan krossats ner i laboriemiljö. Täkterna valdes ut för att eftersträva en stor spridning på geologiskt ursprung samt förväntad kvalitet. De kommer följande att refereras till utifrån namn på bergarten.

- Gnejsig-granit, Halland
- Migmatitisk gnejs, Västergötland
- Ryolit (porfyr), Småland
- Västsvensk granit, Västergötland
- Kvantssandsten, Skåne

6.3 Laboratoriemetoder

Den laboratiemetoder som har genomförts under projektet är följande:

- Laboratriekross (Grov och finkross)
- Micro-Deval (SS-EN 1097-1)
- Bestämning av kornform-Flisighetsindex (SS-EN 933-3)
- Metodik att mäta kornform på finballast SBUF –Rapport 12270 (Stenlid, L, 2011)
- Enligt den i projektet framtagna modifierade micro-Deval metoden på 2,8–4 mm.

Micro-Deval (SS-EN 1097-1) utfördes på 10–14 mm framsiktat material på laboratriekrossat och produktionskrossat material. Det innebär att ett enkelprov innehåller 175 gram 10–11,2 mm och 325 gram av 11,2–14 mm material. Provet läggs tillsammans i en trumma med kulor med en kulvikt på 5000 gram och 2,5 liter vatten. Provet testas i maskinen med 12000 varvantal. Enligt metoden skall micro-Deval anges med heltal. I studien kommer data för micro-Deval anges med 2 decimaler i syfte för att det ska vara lättare att kunna se trender. För varje täkt har också flisighetsindex (SS-EN 933-3) bestämts för varje täkt på produktions- och laboratriekrossat material. För varje täkt har 4 stycken micro-Deval prover genomförts. De består av 2 stycken analysprover av laboratriekrossat material och 2 stycken av produktionskrossat material. Dessa representeras i form av ett medelvärde både i micro-Deval värde och flisighetsindex. Det laboratriekrossade materialet består ursprungligen av sprängsten i en näves storlek. Materialet krossades ner av en grovkross (Svedala TRF 2513 R) och en finkross (Retsch modell BB200 Mangan) (figur 1). Materialet passerade grovkrossen 1 omgång och finkrossen 2 omgångar för att produkten ska efterlikna ett 3 stegskrossat material.

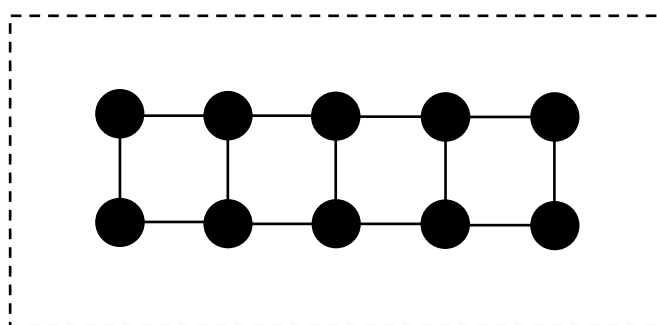


Figur 1. Från vänster till höger: Svedala TRF 2513 R (grovkross), Retsch modell BB200 Mangan (finkross)

Borrkaxen består av framsiktad 2,8–4 mm material (se kapitel 6.1). Borrkaxen består av 10 prover per täkt. På 5 av dessa prover har flisighetsindex genomförts enligt SBUF rapport 12270 (Stenlid, L, 2011) i syfte för att få en idé av kaxets kornform. Resultaten redovisas i ett excel diagram med beskrivning. micro-Deval data från borrkax där flera borrpunkter jämförs med varandra inklusive dess medelvärde och standardavvikelse.

6.4 Provtagning

Provtagning genomfördes i de 6 utvalda täkterna. Sprängsten togs ut på ett så representativt sätt genom att ta ut 90–120 mm stora stenar utspridd från salvan efter losshållning. Det krossades sedan ner till 0–16 mm material i laboriemiljö. Det produktionskrossade materialet togs ut från upplag efter att det hade krossats ner. Det produktionskrossade materialet består av 8–11,2 och 11,2–16 mm material. Där 10–11,2 mm har siktats fram från 8–11,2 material och 11,2–14 mm material har siktats fram från 11,2–16 mm. Provtagning av borrkax togs ut med mål enligt modell i Figur 2. Ofta var verkligheten mer komplicerad och anpassning krävdes från täkt till täkt. Det var ofta fler borrhål än de 10 borrkax proverna som valdes ut. Därför var också utgångspunkten att hela salvan skulle vara representerad. En större losshållning innebär också en större distans mellan varje borrkax prov.



Figur 2. En modell av hur provtagning av borrkax utfördes från fågelperspektiv. Det streckade området representerar det område som är tänkt att losshållas. Prickarna representerar borrhål och provtaget borrkax. Linjerna mellan prickarna representerar så jämnt avstånd möjligt för provtagning.

7. RESULTAT

Nedan presenteras micro-Deval, Flisighetsindex (SS-EN 933–3) och flisighetsindex enligt SBUF rapport 12270 (Stenlid, L, 2011) för varje täkt. Först presenteras ett diagram med 10 stycken micro-Deval värden. Ett för varje borrkaxprov. Därefter en tabell med borrkax provernas värden, samt 5 stycken flisighetsindex värden enligt SBUF 12270. I slutet presenteras ett stapeldiagram med medelvärdet från de 10 borrkaxproven. Dessa jämförs mot resultat värden från produktionskross och laborierkrossat material.

7.1 Gnejsig-granit, Halland

I Diagram 1 presenteras micro-Deval värden baserat på resultat från borrhax (2,8–4 mm).

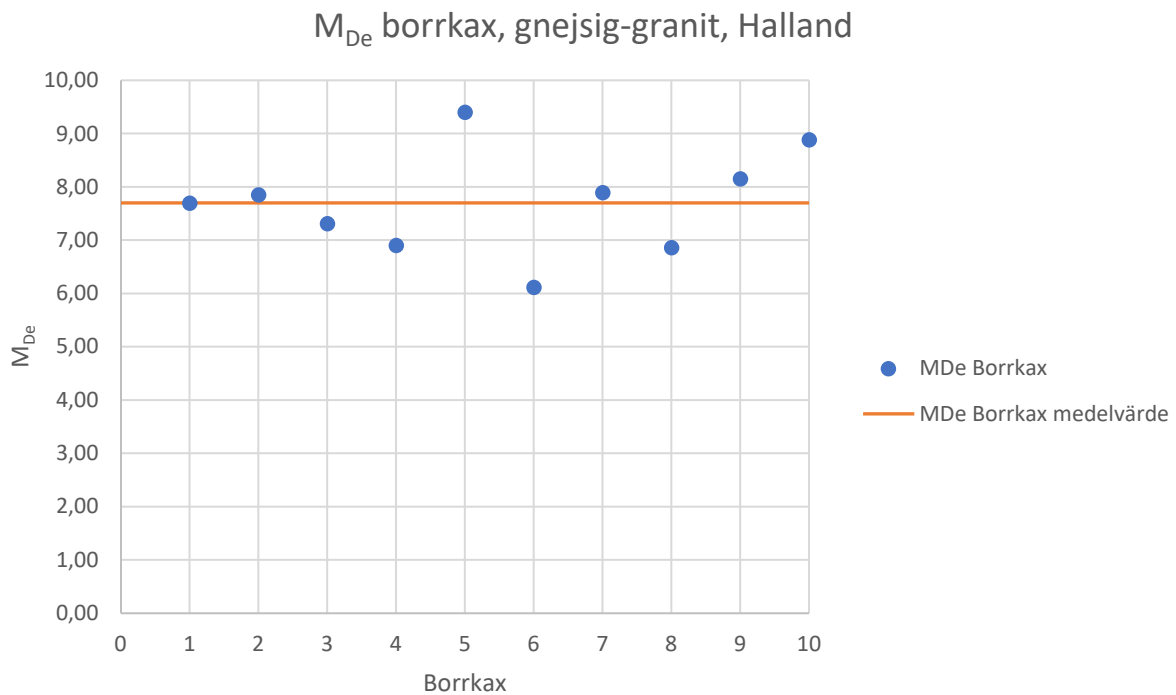


Diagram 1 Tabellen visar resultat och spridning av micro-Deval (2,8–4 mm) på 10 prover av borrhax. Punkterna representerar varje enskilt resultat. Linjen representerar medelvärdet av de 10 proverna (7,7). Standardavvikelsen för de 10 proverna är 0,98.

Y axeln representerar micro-Deval värdet i procent samtidigt som x-axeln visar antalet borrhaxpunkter. Resultaten varierar mellan 9,40 och 6,11 micro-Deval. Varje enskilt borrhaxprov resultat är följande från punkt 1 till 10 kan ses i tabell 5. Genomsnittet av de 10 värden borrhax landar på 7,70. Standardavvikelsen dvs det genomsnitt där ett enskilt värde avviker från medelvärdet är för proverna 0,98. I diagram 2 jämförs resultaten och medelvärden från borrhax proverna, laboratoriekrossad provning och medelvärdet från produktionskross. Medelvärden från dessa är följande 7,7, 9,8 och 9,6.

Tabell 5. Tabellen visar varje enskilt resultat av micro-Deval provning på borrhax för gnejsig-granit, Halland. Den första raden (A) innehåller micro-Deval resultat från varje borrhax prov. Den andra raden (B) innehåller flisighetsindex resultat från 5 stycken borrhaxprov.

	(A) Micro-Deval borrhax (2,8-4 mm)									
	(B) Flisighet i % (2,8–4 mm) (enligt SBUF 12270)									
Prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	7,69	7,85	7,31	6,90	9,40	6,11	7,89	6,86	8,15	8,88
B	-	-	14	-	9	16	24	-	-	9

Medelvärden, gnejsig-granit, Halland

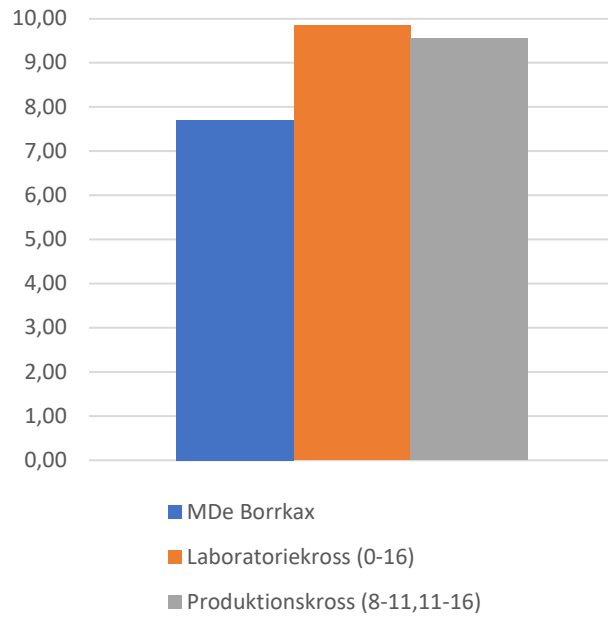


Diagram 2. Tabellen visar medelvärden för micro-Deval på borrkax, laboratoriekross (0-16) och produktionskross (8-11,2 och 11,2-16). Medelvärdet på för respektive är följande 7,70, 9,84 och 9,56. Medelvärdet på flisigheten är följande 14,4 %, 13,5 % och 14,5 %. Enskilda flisighetsvärden på borrkax finns i bilaga 1. Stapeldiagram för medelvärden över flisighet finns i bilaga 2.

7.2 Migmatitisk gnejs, Västergötland

Diagram 3 visar värden presenterade micro-Deval värden baserat på resultat från borrhax (2,8–4 mm).

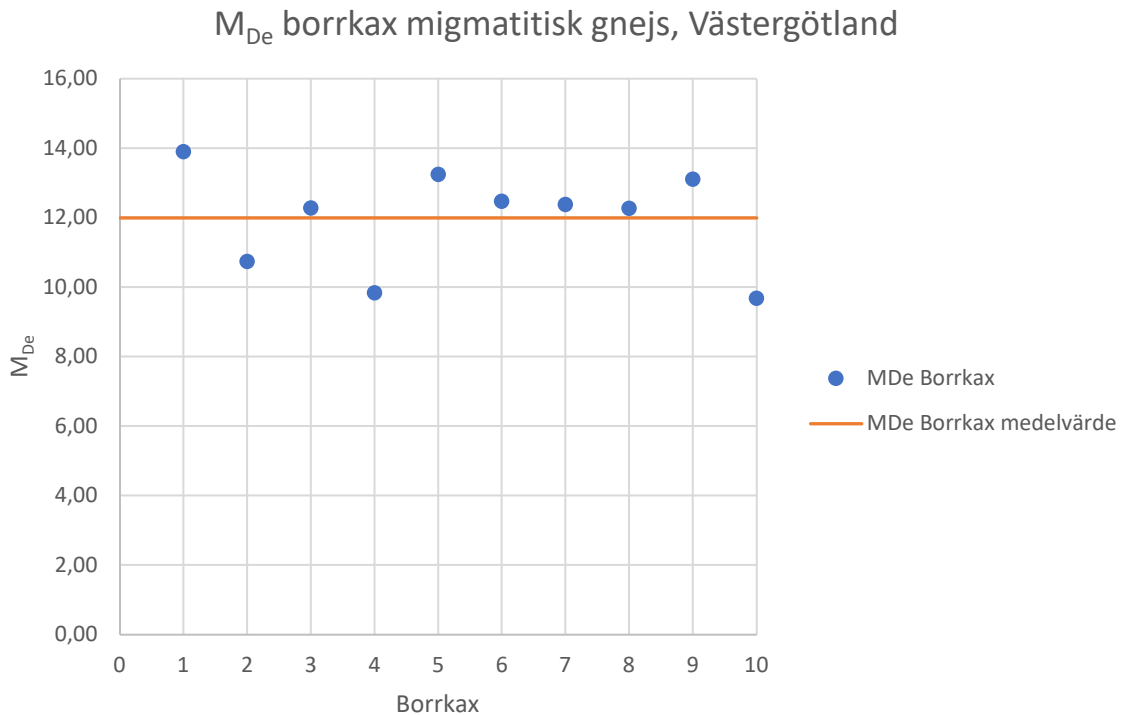


Diagram 3. Tabellen visar resultat och spridning av micro-Deval (2,8–4 mm) på 10 prover av borrhax. Punkterna representerar varje enskilt resultat. Linjen representerar medelvärdet av de 10 proverna (11,99). Standardavvikelsen för de 10 proverna är 1,44.

Varje enskilt borrhax prov finns här representerat för totalt 10 provpunkter. Y axeln representerar micro-Deval samtidigt som x-axeln visar antalet borrhax punkter. Det högsta micro-Deval värdet är 13,9 och det minsta värdet är 9,68. Varje enskilt borrhax provs resultat är följande från punkt 1 till 10 kan ses i tabell 6. Standardavvikelsen för alla sammanlagda prov är 1,44. I diagram 4 jämförs resultaten och medelvärden från borrhax proverna, laboratoriekrossad provning och medelvärdet från produktionskross. Medelvärden från dessa är följande 11,99, 14,38 och 15,15.

Tabell 6. Tabellen visar varje enskilt resultat av micro-Deval provning på borrhax för migmatitisk gnejs, Västergötland. Den första raden (A) innehåller micro-Deval resultat från varje borrhax prov. Den andra raden (B) innehåller flisighetsindex resultat från 5 stycken borrhax prov.

	(A) Micro-Deval borrhax (2,8-4 mm)									
	(B) Flisighet i % (2,8-4 mm) (enligt SBUF 12270)									
Prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	13,9	10,74	12,28	9,84	13,25	12,48	12,38	12,27	13,11	9,68
B	30	26	15	-	-	-	13	-	-	20

Medelvärden migmatitisk gnejs, Västergötland

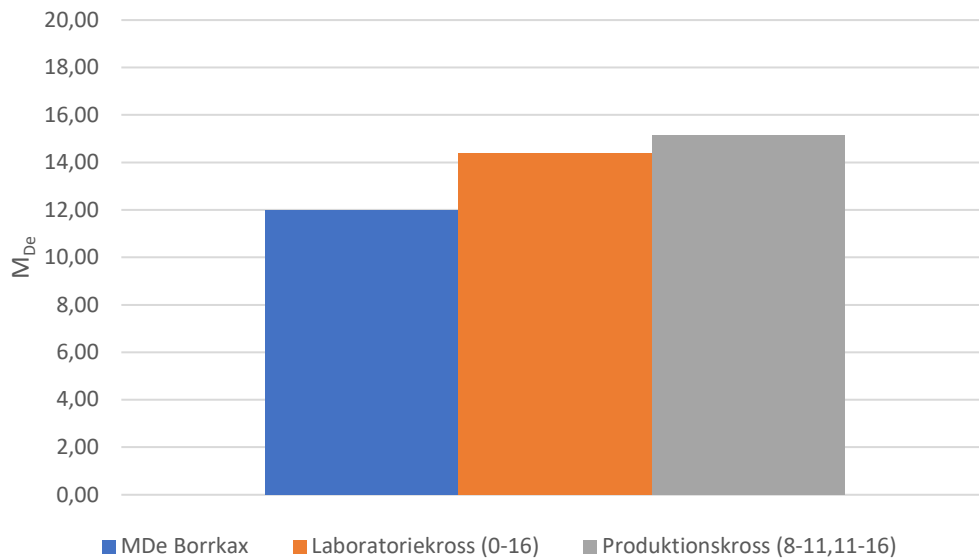


Diagram 4. Tabellen visar medelvärden för micro-Deval på borrkax, laboratoriekross (0-16) och produktionskross (8-11,2 och 11,2-16). Medelvärdet på för respektive är följande 11,99, 14,38 och 15,15. Medelvärdet för flisighet är följande 20,8 %, 16 % och 33,5 %. Enskilda flisighetsvärden på borrkax finns i bilaga 1. Stapeldiagram för medelvärden över flisighet finns i bilaga 2.

7.3 Ryolit, Småland

Resultaten för micro-Deval på borrkax 10 punkter (2,8-4 mm) belyses i diagram 5.

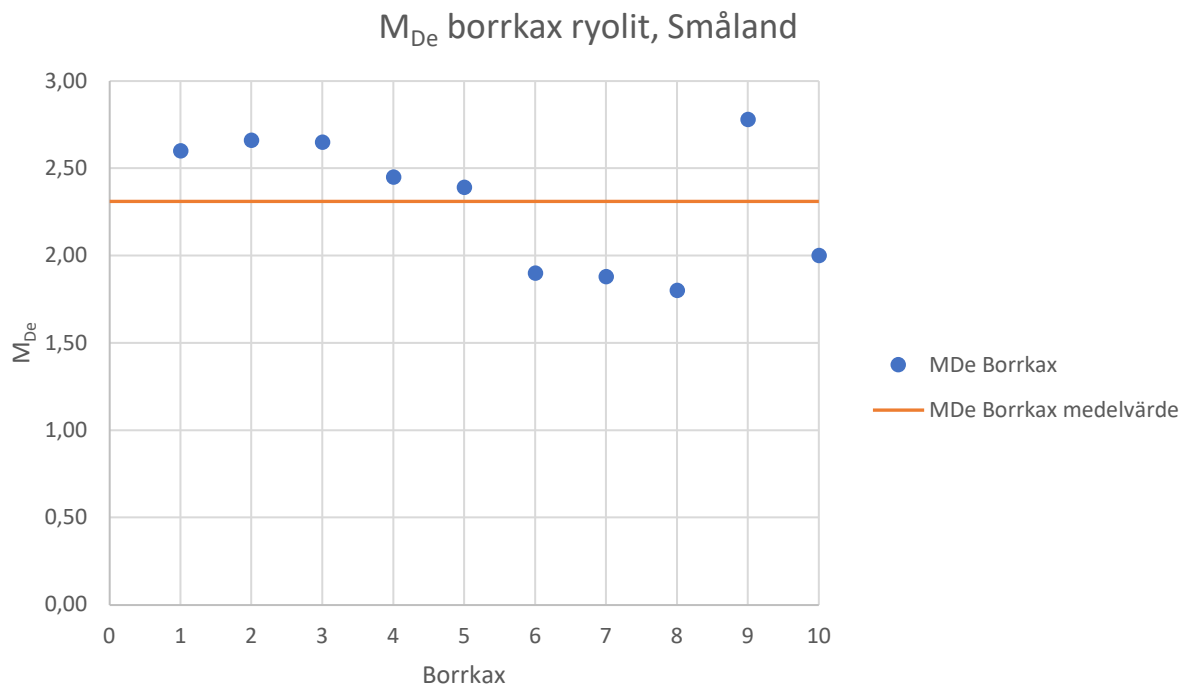


Diagram 5. Tabellen visar resultat och spridning av micro-Deval (2,8-4 mm) på 10 prover av borrkax. Punkterna representerar varje enskilt resultat. Linjen representerar medelvärdet för de 10 proverna (2,31). Standardavvikelsen för de 10 proverna är 0,38.

Y-axeln visar micro-Deval medan X-axeln representerar antalet borrhöjningar. Det högsta micro-Deval värdet är 2,78 och det minsta 1,8. Standardavvikelsen för sammanlagda prov är 0,38. Värderna för borrhöjningar micro-Deval och flisighet kan ses i tabell 7. I diagram 6 jämförs resultaten och medelvärden från borrhöjningar proverna, laboratoriekrossad provning och medelvärdet från produktionskross. Medelvärden från dessa är följande 22,8, 2,39 och 2,70.

Tabell 7. Tabellen visar varje enskilt resultat av micro-Deval provning på borrhöjningar för ryolit, Småland. Den första raden (A) innehåller micro-Deval resultat från varje borrhöjning prov. Den andra raden (B) innehåller flisighetsindex resultat från 5 stycken borrhöjningsprov.

	(A) micro-Deval borrhöjning prov i (2,8-4 mm)									
	(B) Flisighet i % (2,8-4 mm) (enligt SBUF 12270)									
Prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	2,60	2,66	2,65	2,45	2,39	1,90	1,88	1,80	2,78	2,0
B	24	-	21	-	25	-	22	-	22	-

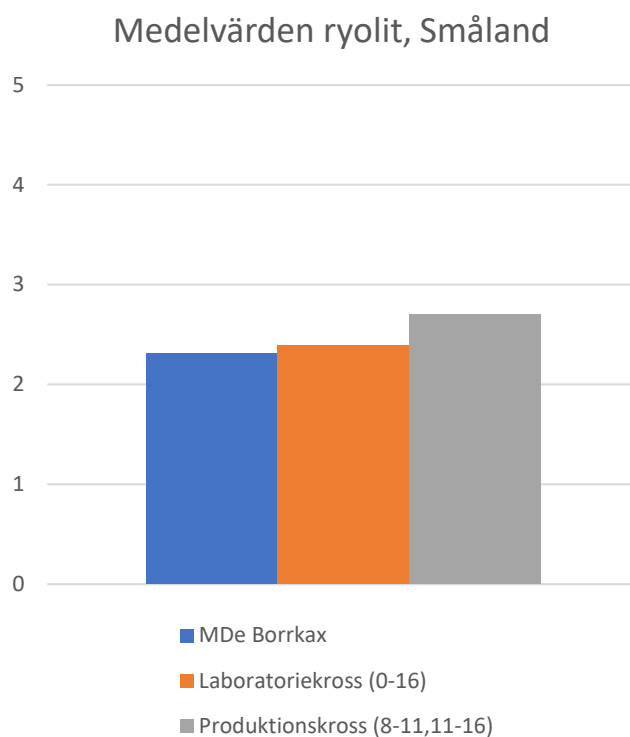


Diagram 6. Tabellen visar medelvärden för micro-Deval på borrhöjningar, laboratoriekross (0-16) och produktionskross (8-11,2 och 11,2-16). Medelvärdet på för respektive är följande 2,31, 2,39 och 2,70. Medelvärdet för flisighet är följande 22,8 %, 9% och 9,5%. Enskilda flisighetsvärden på borrhöjningar finns i bilaga 1. Stapeldiagram för medelvärden över flisighet finns i bilaga 2.

7.4 Västsvensk granit, Västergötland

Diagram 7 visar värden presenterade micro-Deval värden baserat på resultat från borrhax (2,8–4 mm).

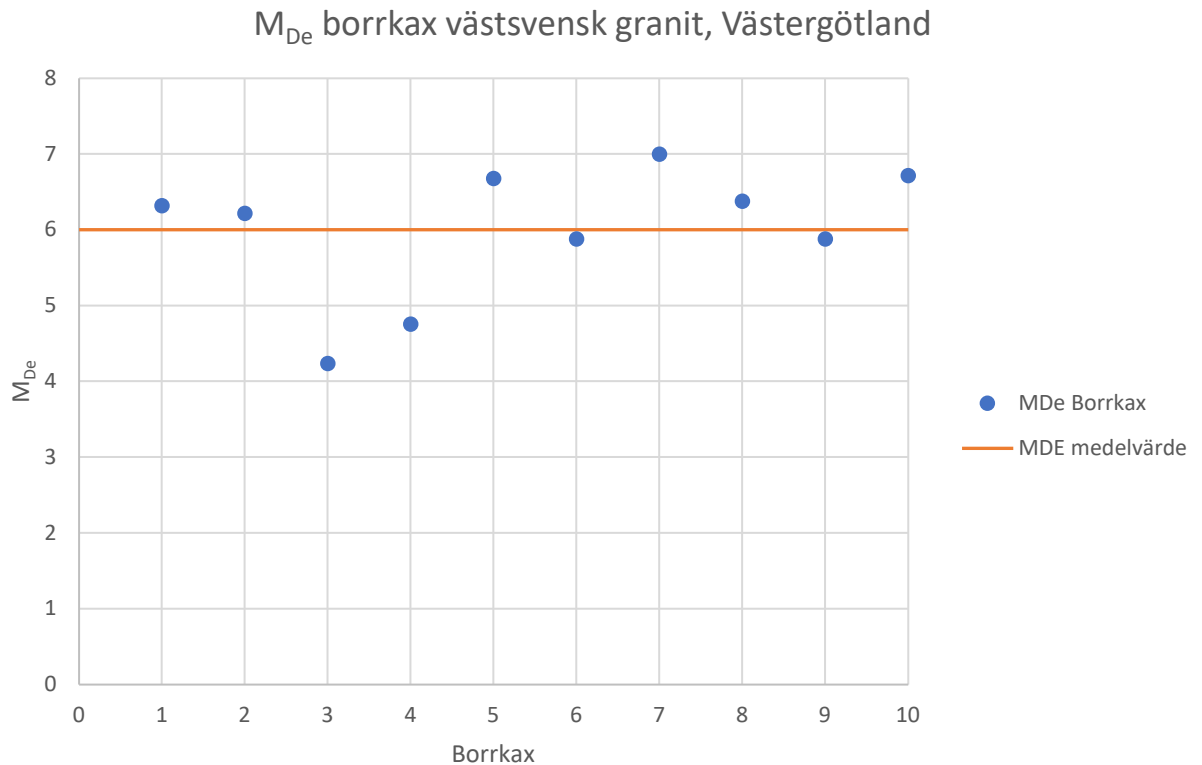


Diagram 7. Tabellen visar resultat och spridning av micro-Deval (2,8–4 mm) på 10 prover av borrhax. Punkterna representerar varje enskilt resultat. Linjen representerar medelvärdet för de 10 proverna (6,01%). Standardavvikelsen för de 10 proverna är 0,88.

Varje enskilt borrhax prov finns här representerat för totalt 10 provpunkter. Y-axeln representerar micro-Deval samtidigt som X-axeln visar antalet borrhaxpunkter. Det högsta micro-Deval värdet är 7,00 och det minsta värdet är 4,24. Standardavvikelsen för alla sammanlagda prov är 2,82. I tabell 8 finns varje enskilt borrhax prov och flisighets prov. I diagram 8 jämförs resultaten och medelvärden från borrhax proverna, laboratoriekross och medelvärdet från produktionskross. Medelvärden från dessa är följande 6,01, 8,66 och 10,08.

Tabell 8. Tabellen visar varje enskilt resultat av micro-Deval provning på borrhax för västsvensk granit, Västergötland. Den första raden (A) innehåller micro-Deval resultat från varje borrhax prov. Den andra raden (B) innehåller flisighetsindex resultat från 5 stycken borrhaxprov.

	(A) Micro-Deval borrhax prov i % (2,8-4 mm)									
	(B) Flisighet i % (2,8-4 mm) (enligt SBUF 12270)									
Borrprov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	6,32	6,22	4,24	4,76	6,68	5,88	7,00	6,38	5,88	6,72
B	-	-	22	-	-	23	15	20	-	28

Medelvärden västsvensk granit, Västergötland

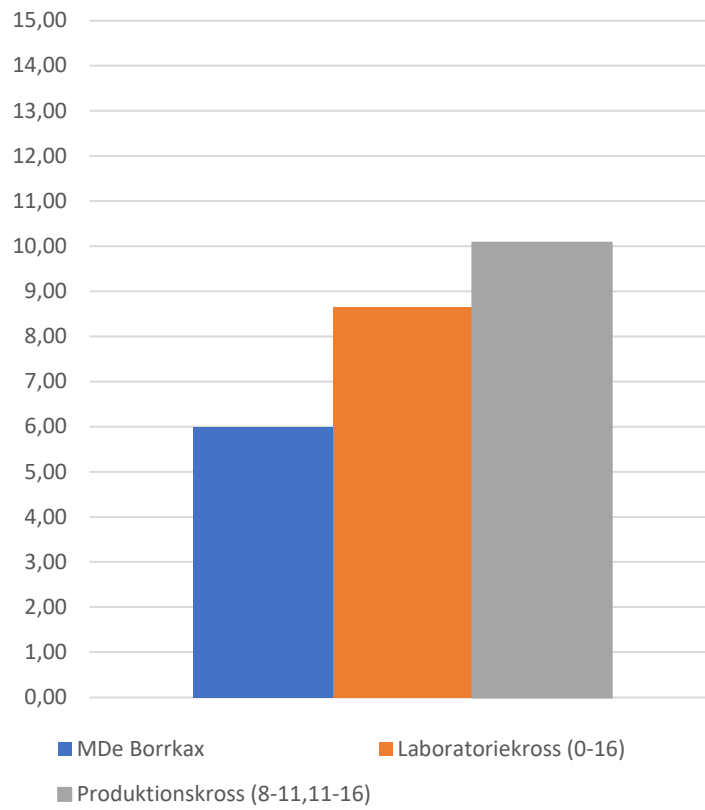


Diagram 8. Tabellen visar medelvärden för micro-Deval på borrkax, laboratoriekrossade (0–16) och produktionskross (8–11,2 och 11,2–16). Medelvärdet för respektive är följande 6,01, 8,66 och 10,08. Medelvärdet för flisighet är följande 21,6%, 23 % och 21,5 %. Enskilda flisighetsvärden på borrkax finns i bilaga 1. Stapeldiagram för medelvärden över flisighet finns i bilaga 2.

7.5 Kvartssandsten, Skåne

Diagram 9 visar värden presenterade micro-Deval värden baserat på resultat från borrhax (2,8–4 mm).

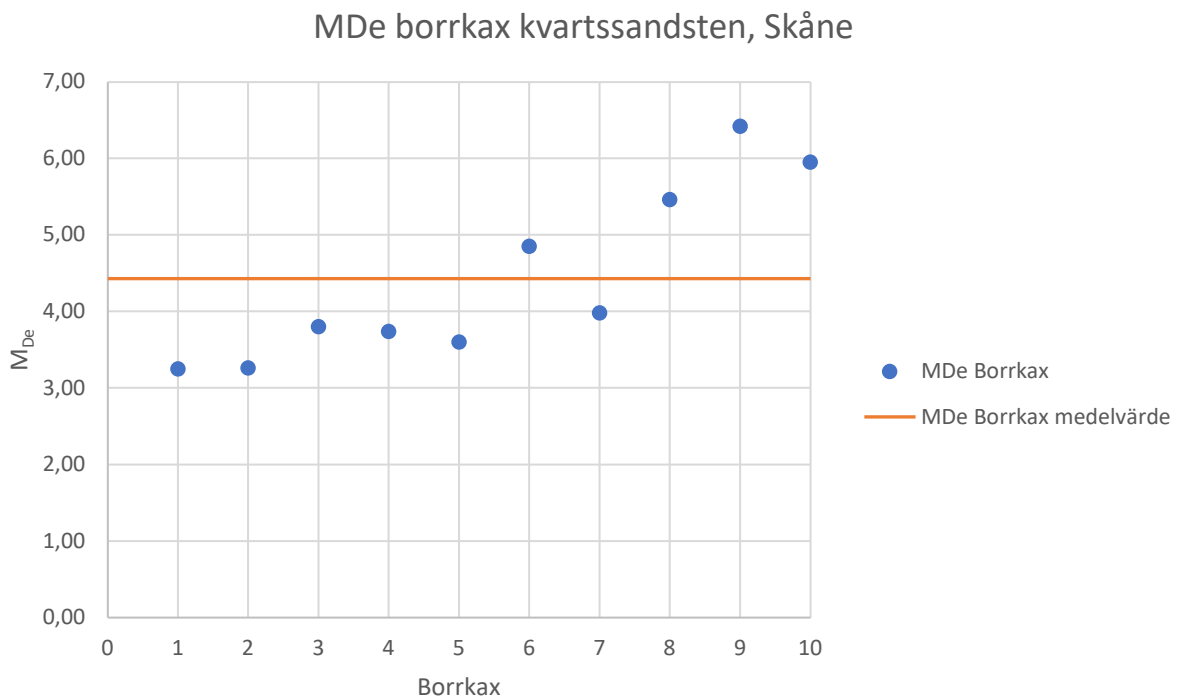


Diagram 9. Tabellen visar resultat och spridning av micro-Deval (2,8–4 mm) på 10 prover av borrhax. Punkterna representerar varje enskilt resultat. Linjen representerar medelvärdet för de 10 proverna (4,43%). Standardavvikelsen för de 10 proverna är 1,16.

Varje enskilt borrhax prov finns här representerat för totalt 10 provpunkter. Y-axeln representerar micro-Deval medan X-axeln visar antalet borrhaxpunkter. Det högsta micro-Deval värdet är 6,42 och det minsta värdet är 3,25. Värden för borrhax micro-Deval och flisighet kan ses i tabell 9. Standardavvikelsen för alla sammanlagda prov är 1,16. I diagram 10 jämförs resultaten och medelvärden från borrhax proverna, laboratoriekross och medelvärdet från produktionskross. Medelvärden från dessa är följande 4,43, 9,05 och 9,61.

Tabell 9. Tabellen visar varje enskilt resultat av micro-Deval provning på borrhax prov för kvartssandsten. Den första raden (A) innehåller micro-Deval resultat från varje borrhax prov. Den andra raden (B) innehåller flisighetsindex resultat från 5 stycken borrhaxprov.

	(A) Mikrodeval borrhax prov i % (2,8-4 mm)									
	(B) Flisighet i % (2,8-4 mm) (enligt SBUF 12270)									
Prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3,25	3,26	3,8	3,74	3,6	4,85	3,98	5,46	6,42	5,95
B	4	6	6	-	5	-	3	-	-	-

Medelvärden kvartssandsten

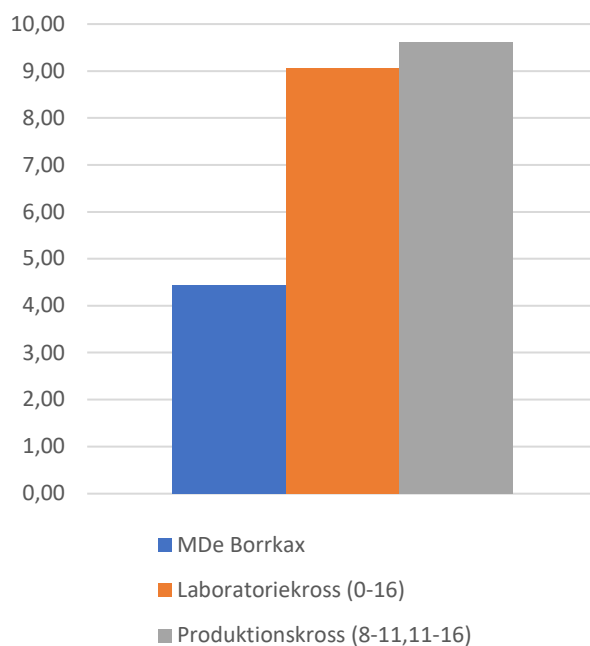


Diagram 10. Tabellen visar medelvärden för micro-Deval på borrkax, laboratoriekrossade (0-16) och produktionskross (8-11,2 och 11,2-16). Medelvärdet för respektive är följande 4,43, 9,05 och 9,61. Medelvärden för flisighet är följande 4,8 %, 17,5 % och 6,00 %. Enskilda flisighetsvärden på borrkax finns i bilaga 1. Stapeldiagram för medelvärden över flisighet finns i bilaga 2.

7.6 Diabas, Småland

Diagram 11 visar presenterade micro-Deval värden baserat på resultat från borrkax (2,8-4 mm).

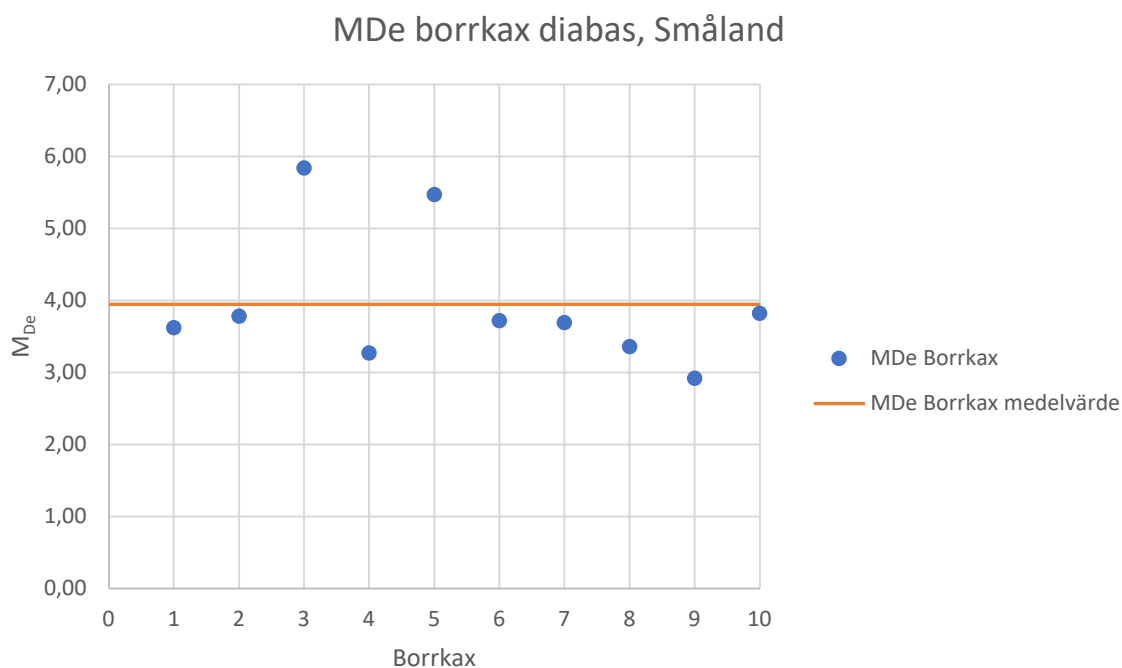


Diagram 11. Tabellen visar resultat och spridning av micro-Deval (2,8-4 mm) på 10 prover av borrkax. Punkterna representerar varje enskilt resultat. Linjen representerar medelvärdet för de 10 proverna (3,95%). Standardavvikelsen för de 10 proverna är 0,94.

Varje enskilt borrkax prov finns här representerat för totalt 10 provpunkter. Y axeln representerar micro-Deval samtidigt som x-axeln visar antalet borrkaxpunkter. Det högsta micro-Deval värdet är 5,84 och det minsta värdet är 2,92. Standardavvikelsen för alla sammanlagda prov är 0,94. Enskilda värden för borrkax micro-Deval och flisighet kan ses i tabell 10. I diagram 12 jämförs resultaten och medelvärden från borrkax proverna, laboratoriekross och medelvärdet från produktionskross. Medelvärden från dessa är följande 3,95, 5,99 och 5,68.

Tabell 10. Tabellen visar varje enskilt resultat av micro-Deval provning på borrkax för diabas, Småland. Den första raden (A) innehåller micro-Deval resultat från varje borrkax prov. Den andra raden (B) innehåller flisighetsindex från 5 stycken borrkaxprov.

	(A) Mikrodeval borrkax prov i % (2,8-4 mm)									
	(B) Flisighet i % (2,8-4 mm) (enligt SBUF 12270)									
Prov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3,62	3,78	5,84	3,27	5,47	3,72	3,69	3,36	2,92	3,82
B	-	31	-	7	-	-	15	-	23	24

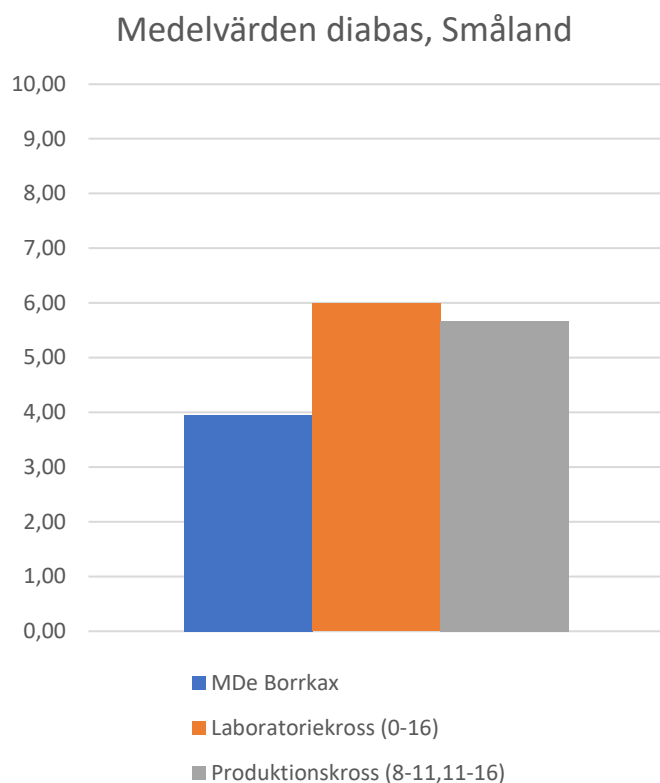


Diagram 12. Tabellen visar medelvärden för micro-Deval på borrkax, laboratoriekrossade (0-16) och produktionskross (8-11,2 och 11,2-16). Medelvärdet för respektive är följande 3,95, 5,99 och 5,68. Medelvärden för flisighet är följande 20%, 13 % och 9%. Enskilda flisighetsvärden på borrkax finns i bilaga 1. Stapeldiagram för medelvärden över flisighet finns i bilaga 2.

8. DISKUSSION

8.1 Korrelation och regressionanalys

Resultaten visar att det finns en systematisk skillnad mellan micro-Deval borrkax och produktionskrossat samt laboratoriekrossat material. Detta indikerades också i förstudien i samband med metodutvecklingen. För att reda ut denna skillnad och se samband mellan de olika metoderna så har en regressions- och korrelationsanalys genomförts på provresultaten. Det blir då enklare att urskilja trender, likheter samt skillnader mellan dem. Nedan har 6 stycken korrelationsanalyser utförts. De 3 första (Diagram 13–15) består av micro-Deval data från täkterna. De 3 sista analyserna (Diagram 16–18) består av flisighetsdata från täkterna.

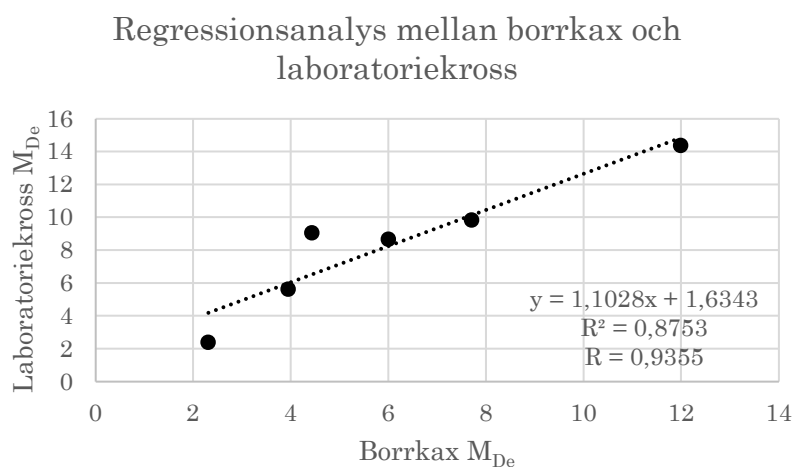


Diagram 13. Diagrammet visar en regressionsanalys där medelvärdet för laboratoriekrossad och produktionskrossad micro-Deval har satts i relation till varandra för varje täkt. Punkterna representerar från vänster till höger: ryolit, diabas, västsvensk granit, kvartssandsten, gnejsig-granit och migmatitisk gnejs.

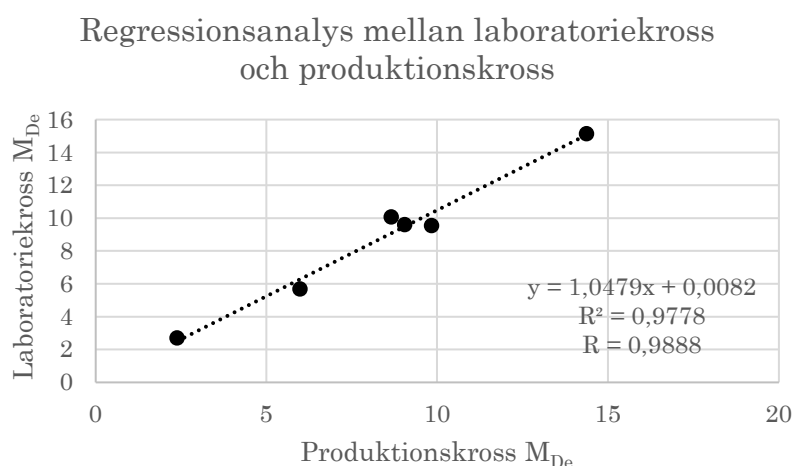


Diagram 14. Diagrammet visar en regressionsanalys där medelvärdet för borrkax och laboratoriekrossat micro-Deval har satts i relation till varandra för varje täkt. Punkterna representerar från vänster till höger: ryolit, diabas, kvartssandsten, västsvensk granit, gnejsig-granit och migmatitisk gnejs.

Regressionsanalys mellan borrhkax och produktionskross

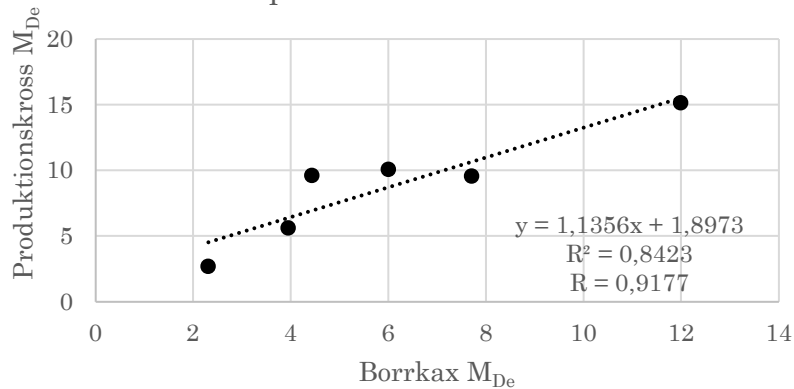


Diagram 15. Diagrammet visar en regressionsanalys där medelvärdet för borrhkax och produktionskross micro-Deval har satts i relation till varandra för varje täkt. Punkterna representerar från vänster till höger: ryolit, diabas, västsvensk granit, kvartssandsten, gnejsig-granit och migmatitisk gnejs.

Regressionsanalys flisighet mellan borrhkax och laboratoriekrossat material

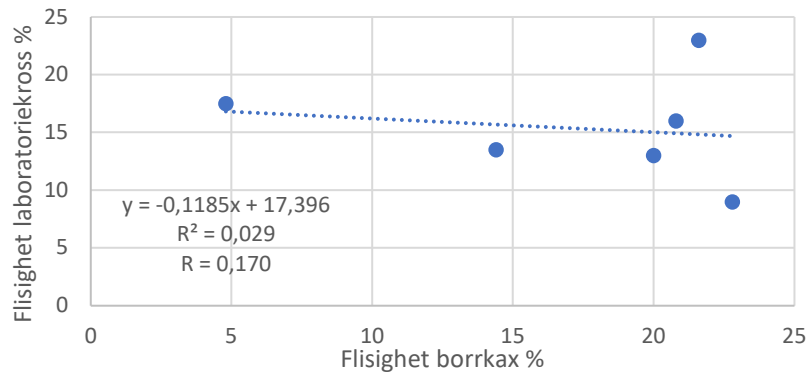


Diagram 16. Diagrammet visar en regressionsanalys där medelvärdet för borrhkax och produktionskross för flisighet har satts i relation till varandra för varje täkt. Punkterna representerar från vänster till höger: kvartssandsten, gnejsig-granit, diabas, migmatitisk gnejs, västsvensk granit och ryolit.

Regressionsanalys mellan borrhkax och produktionskross flisighet

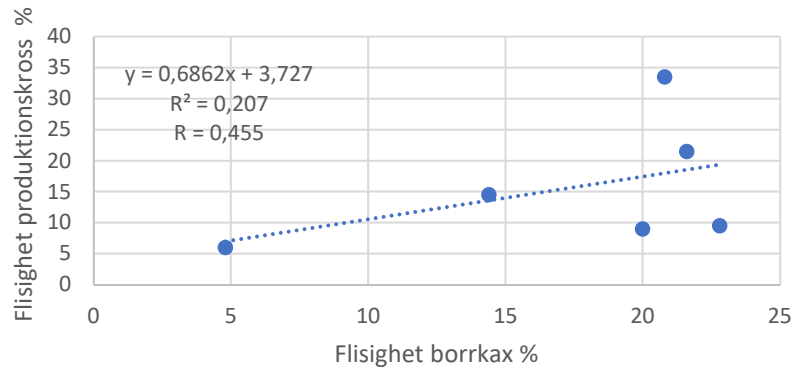


Diagram 17. Diagrammet visar en regressionsanalys där medelvärdet för borrhkax och produktionskross för flisighet har satts i relation till varandra för varje täkt. Punkterna representerar från vänster till höger: kvartssandsten, gnejsig-granit, diabas, migmatitisk gnejs, västsvensk granit och ryolit.

Regressionsanalys mellan laboratoriekross och produktionskross

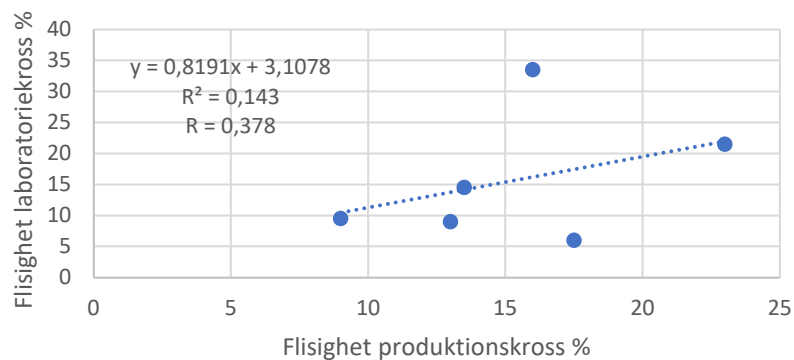


Diagram 18. Diagrammet visar en regressionsanalys där medelvärdet för borrhkax och produktionskross för flisighet har satts i relation till varandra för varje täkt. Punkterna representerar från vänster till höger: ryolit, diabas, gnejsig-granit, migmatitisk gnejs, ryolit och västsvensk granit.

Inledningsvis var det förväntade resultat från regression och korrelationsanalysen att laboratorie och produktionskrossen skulle uppvisa en stark korrelation. Detta eftersom provningen kommer från samma losshållning. Både produktionskrossen och laboratoriekrossen är också på samma analysfraktion 10–14 mm. Laboratoriekrossen bestod av sten mellan 90 och 120 mm uppsamlad efter losshållning. Dessa stenar har sedan krossats ner till en 0–16 fraktion där sedan analysfraktionen 10–14 mm har siktats ur. Från produktionsprovet har i stället 10–11,2 mm provmaterial siktades fram från 8–11,2 makadam och 14 mm material från 11,2–16 mm makadam.

Korrelationen var stark trots skillnad i provpreparering mellan laboratoriekrossen och produktionskrossen 0,988 (Diagram 14). Den största osäkerheten i förväntat analysresultat var dock hur väl borrhaxet skulle korrelera jämfört mot både laboratoriekrossen och produktionskrossen. Resultatet visar på stark korrelation mellan laboratoriekrossat material och borrhax (0,935) (Diagram 13). Samt också produktionskrossat material och borrhax (0,9177) (diagram 15). Från resultatet med stark korrelation går det att dra slutsats att det går att förutsäga ett produktionskrossat micro-Deval värde med hjälp av borrhax.

Samtidigt som det är en stark korrelation mellan provresultaten går det också att notera en systematisk skillnad mellan produktions och borrhax proven, vilket även kunde antydast i samband med metodutvecklingen av micro-Deval för borrhax. Det behövs därför justering. Denna formel eller utjämningsfaktor finns i diagram 15, vilket är ett resultat av regressionsanalysen.

Tabell 9. En tabell med micro-Deval värden för respektive täkt. Här finns också formeln för justering enligt Diagram 15 som jämnar ut skillnaden mellan borrhax och produktionskross.

Täkt med respektive bergart	Borrhax medelvärden (x)	$y = 1,1356x + 1,8973$	Produktionkross medelvärden	Differans mellan justering och produktionskross medelvärde	Differans mellan justering och produktionskross avrundat i heltal
Halländsk gnejsig-granit	7,70	10,64	9,56	1,08	1
Migmatitisk-gnejs	11,99	15,51	15,15	0,36	0
Ryolit	2,31	4,52	2,70	1,82	2
Västsvensk granit	6,00	8,71	10,08	-1,37	-1
Diabas, småland	3,95	6,38	5,68	0,70	1
Kvartssandsten, Skåne	4,43	6,93	9,61	-2,68	-3

I tabell 9 har medelvärden baserat på resultat från micro-Deval samlats från produktionskrossat material och borrhax samlats. Baserat på regressionsanalysen i Diagram 15 där borrhax och produktionskrossat material har ställts mot varandra. Enligt regressionsanalysen finns det ett förhållande mellan resultatet på borrhax och produktionskrossat material enligt ekvationen: $y = 1,1356x + 1,8973$. Där X är medelvärdet för borrhax och Y är medelvärdet för produktionskrossat 10–14 mm material. Med syfte att jämna ut skillnaden mellan borrhax medelvärde och produktionskrossat material har i tabellen sammanställts resultat efter det att medelvärden för borrhax har satts in i ekvationen.

8.3 Flisighetsindex

Flisighet (EN 933-3) överlag varierar i amplitud. Produktionskrossat material och laboratoriekrossat material följs åt med undantag hoss tåkten med migmatitisk gnejs och kvartssandsten. Där laboratoriekrossat material har en flisighet på 16 % och produktionskrossad flisighet på 33,5 % och för den sistnämnda 17,5 % och 6,0 % respektive. Men effekten på micro-Deval värdet med jämförelse med dess flisighet ser ut att vara begränsat. Framförallt i jämförelse med resultat från de andra täkterna där variationen är mindre.

Regressionsanalysen mellan produktionskrossad och laboratoriekrossad flisighet visar på en någorlunda men samtidigt ingen stark korrelation (Diagram 18). Där det är migmatitisk gnejs och kvartssandsten täkten som drar ner korrelationen mest. Resultatet tolkas att flisighet är av en sekundär betydelse till resultat hos micro-Deval värde.

Baserat på resultat från studien så har flisighet ingen avgörande skillnad till hur provet presterar i micro-Deval (SS-EN 1097-1). Det gäller både SBUF 12270 och EN 933-3.

10. SLUTSATS

Målet med studien var att ta fram en tillräckligt bra metod för att kunna avgöra nötningsbeständighet i berget utan att behöva ta upp borrhärdar och laboratoriekrossa ner materialet. Det viktigaste resultatet från studien är att den visar på att borrhärdar går att använda för att förutsäga ett bergs produktionskrossade micro-Deval värde. Resultaten från flisighetsindex i studien föreslår att det finns en måttlig korrelation mellan hur ett material presterar i micro-Deval och hur provet presterar i analysmetoden för micro-Deval. Det gäller för produktionskrossat och laboratoriekrossat 10–14 mm material. För borrhärdar enligt SBUF- rapport 12270 (Stenlid, L, 2011) visar samtliga resultaten på att flisighetsindex har en svag till ingen korrelation mellan hur ett provet presterar i analys metoden för micro-Deval.

Vidare anses metoden tillräckligt bra för att avgöra ett bergsvariationer i bergspartier utan att laboratoriekrossning av borrhärdar behövs. Det kan vara i projekt såsom prospektering och/eller projektering av en ny bergtäkt, kommande lossställning i befintlig bergtäkt. Samt i projektering av entreprenadberg i samband med anläggnings och infrastrukturprojekt. Studien bör också fungera som en plattform och inspiration för vidare studier inom området.

11. FORTSATTAS STUDIER

I fortsatta studier finns det goda möjligheter att justera metoden ytterligare med den här studien som grund. I framtiden rekommenderas det att bygga på med fler täkter och med fler bergarter. Metoden är tillräckligt bra för att bedöma nötningsbeständighet i en bergssektion, men det behövs ytterligare en metod för att avgöra slaghållfasthet i en bergssektion i prospekterings och/eller projekteringsstadiet.

12. REFERENSER

Stenlid, L, 2011: Metodik att mäta kornform på finballast (SBUF –Rapport 12270).

Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: Bestämning av nötningsmotstånd (micro-Deval) (SS-EN 1097–1.).

Ballast – Geometriska egenskaper – Del 3: Bestämning av kornform – Flisighetsindex (SS-EN 933–3).

BILAGOR

Bilaga 1 – Flisighetsindex på enskilda borrkax prover i diagramform

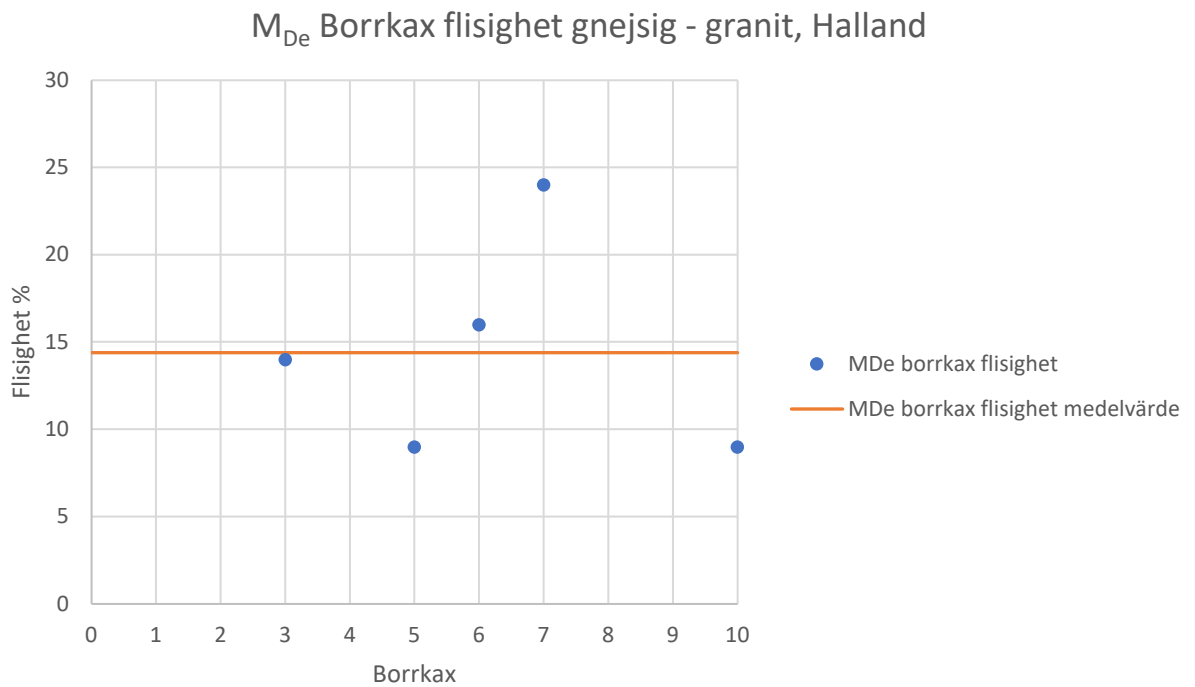


Diagram 2. Flisighet på 5 borrkax prover på en halländsk gnejsig-granit. De följande värdena från vänster till höger är följande: 14, 9, 16, 24, 10 (%). Medelvärdet är 14,4 %.

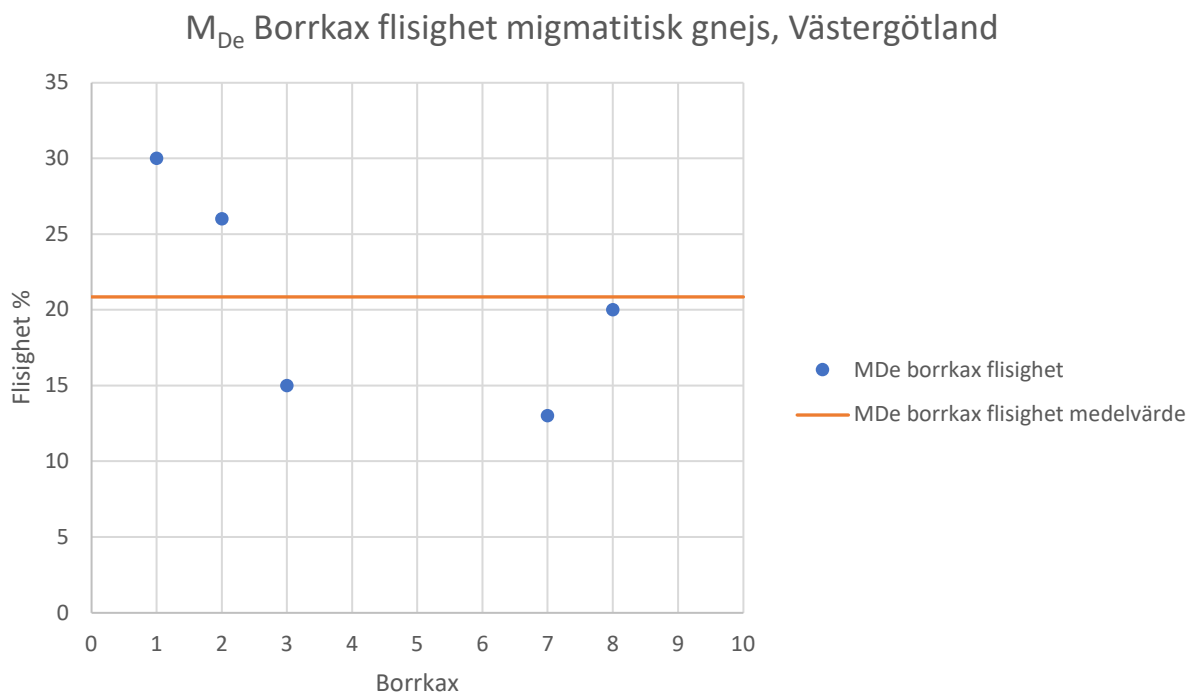


Diagram 3. Flisighetsindex på 5 borrkax prover på en migmatitisk gnejs, Västergötland. De följande värdena från vänster till höger är följande: 30, 26, 15, 13, 20 (%). Medelvärdet är 20,87 %.

M_{De} borrhax flisighet ryolit, Småland

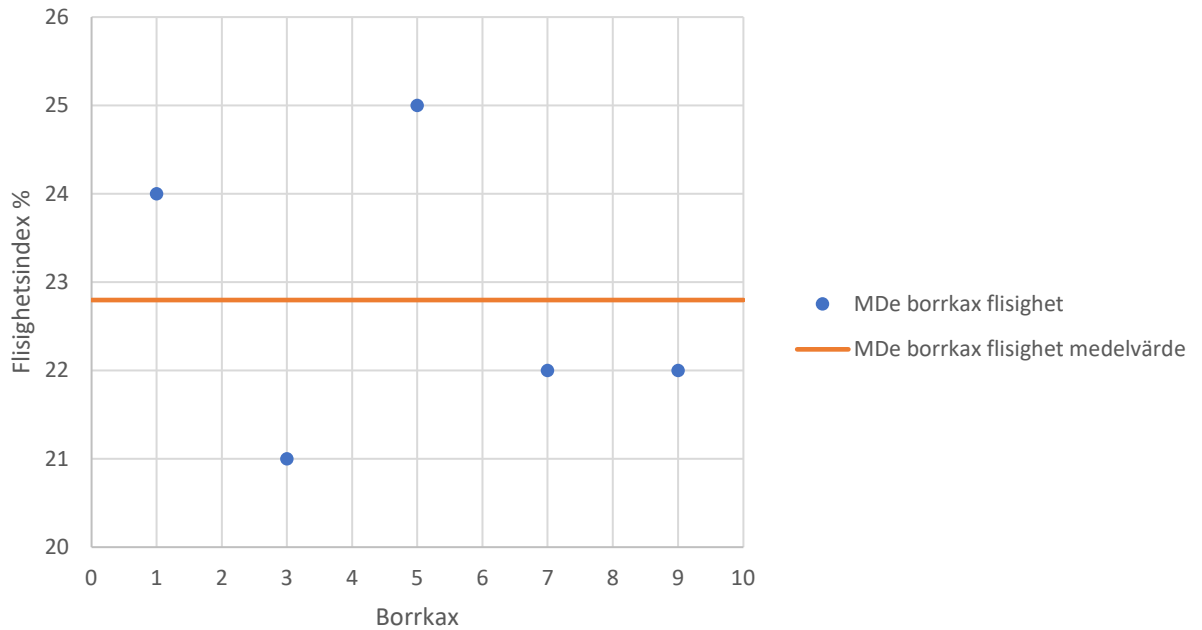


Diagram 4. Flisighetsindex på 5 borrhax prover på en småländsk ryolit. De följande värdena från vänster till höger är följande: 24, 21, 25, 22, 22 (%). Medelvärdet är 22,8 %.

M_{De} borrhax flisighet västsvensk granit, Västergötland

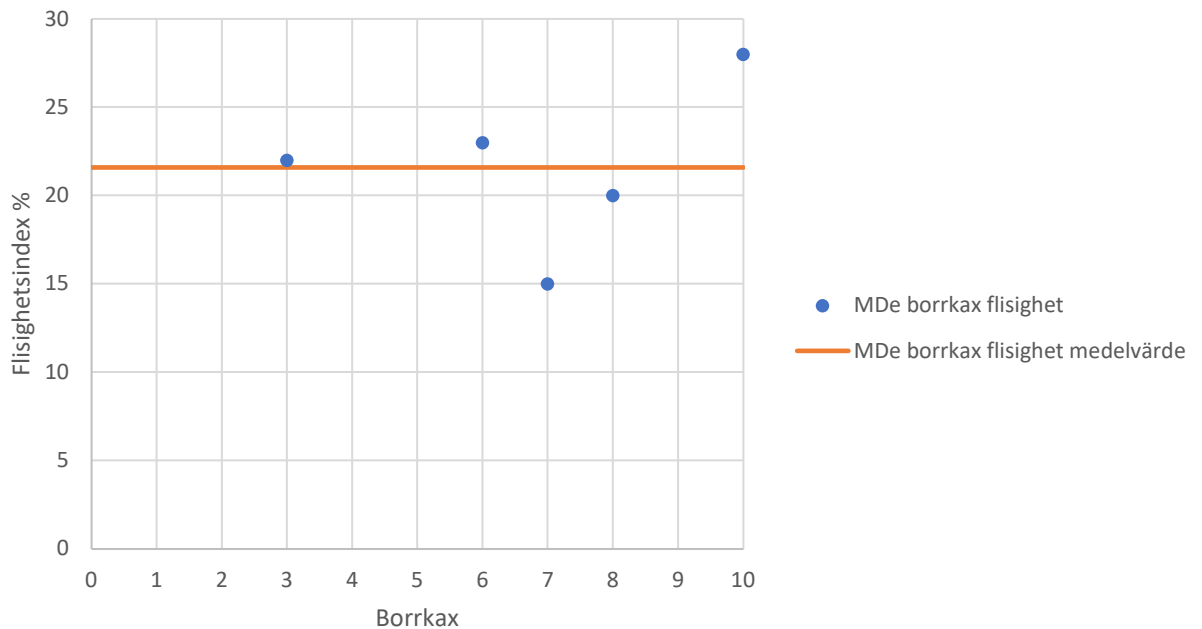


Diagram 5. Flisighetsindex på 5 borrhax prover på en västsvensk granit. De följande värdena från vänster till höger är följande: 22, 23, 15, 20, 28 (%). Medelvärdet är 21,6 %.

M_{De} borrkax flisighet kvartssandsten, Skåne

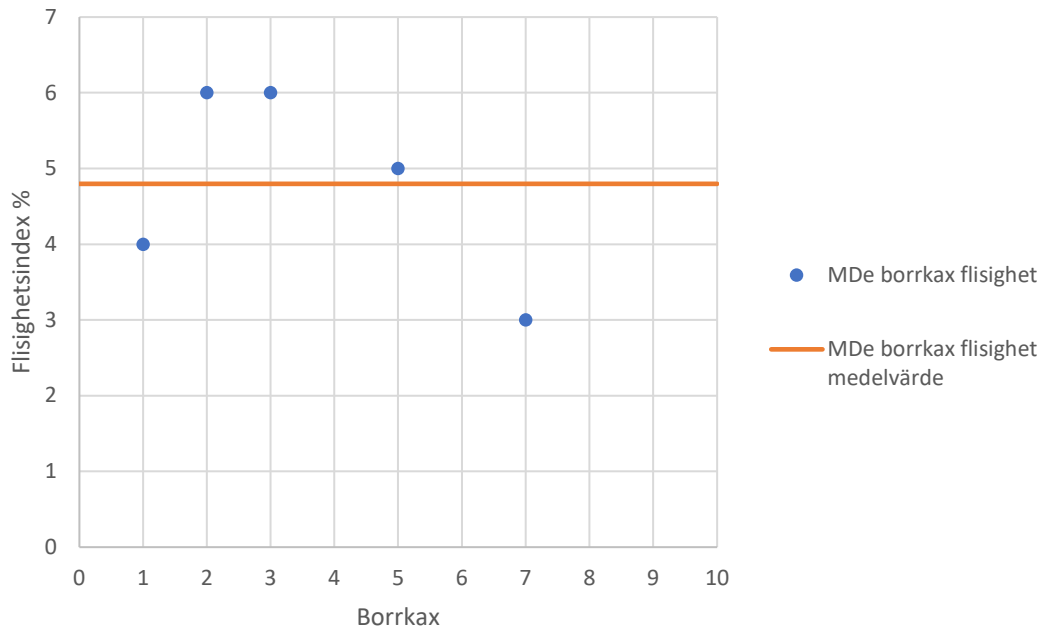


Diagram 6. Flisighetsindex på 5 borrkax prover på en kvartssandsten. De följande värdena från vänster till höger är följande: 4, 6, 6, 5, 3 (%). Medelvärdet är 4,8 %.

M_{De} borrkax flisighet diabas, Småland

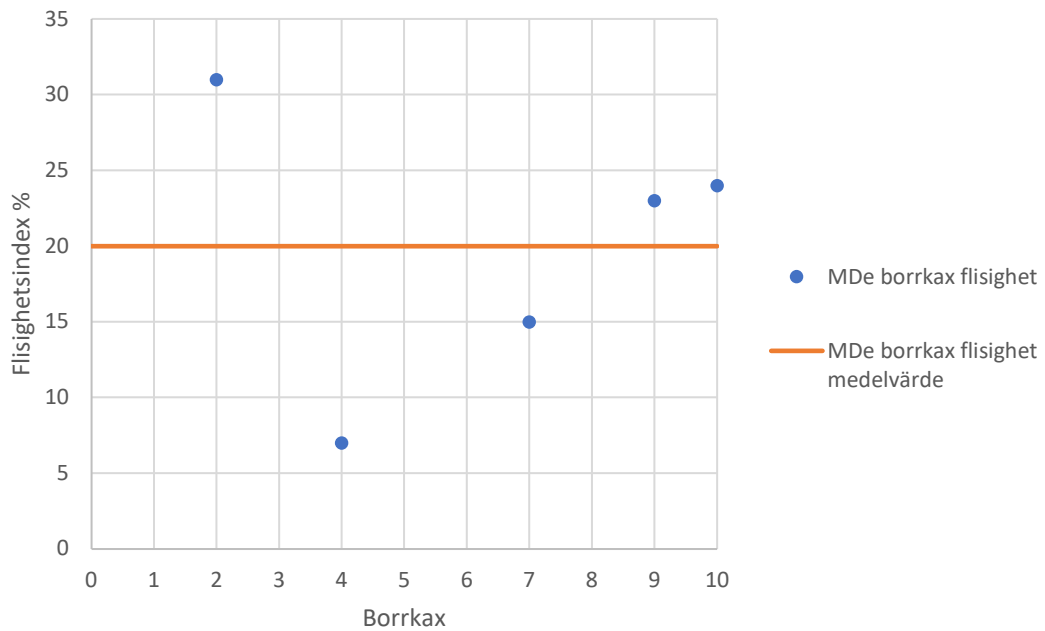


Diagram 7. Flisighetsindex på 5 borrax prover på en småländsk diabas. De följande värdena från vänster till höger är följande: 31, 7, 15, 23, 24 (%). Medelvärdet är 24 %.

Bilaga 2 – Flisighetsindex i diagramform

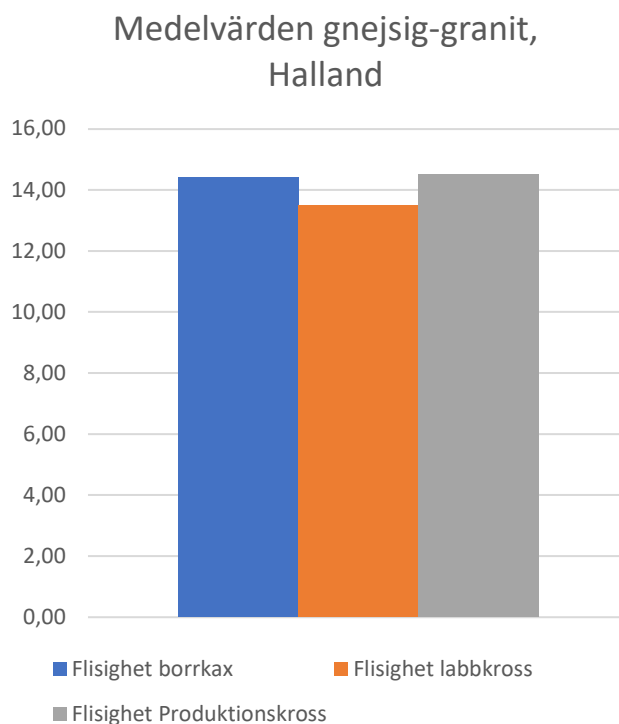


Diagram 8. Flisighetsindex enligt SBUF Rapport 12270 och SS-EN 933-3. Borrkaxets flisighet är 14,4 %, det laboratoriekrossade materialet 13,5 % och det produktionskrossade materialet 14,5 %.

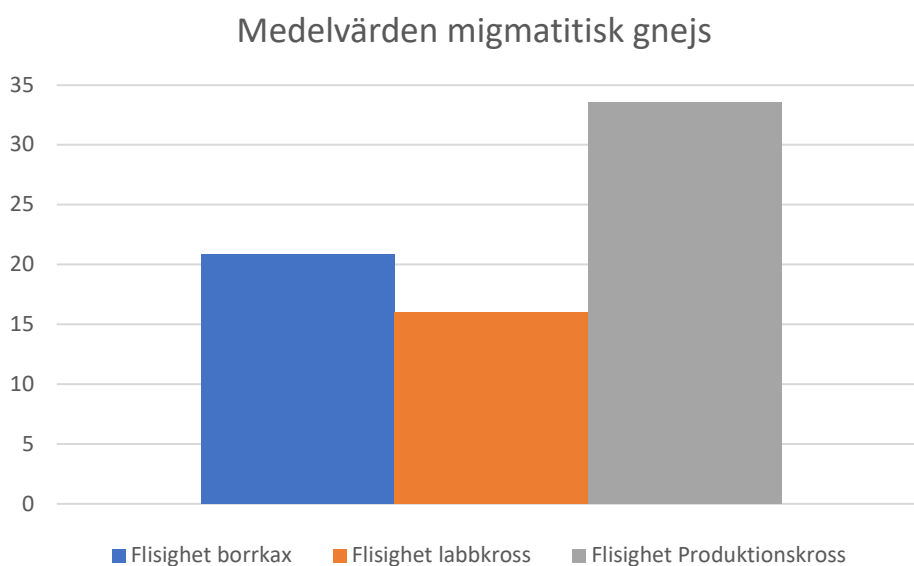


Diagram 9. Flisighetsindex enligt SBUF Rapport 12270 och SS-EN 933-3. Borrkaxets flisighet är 20,8 %, det laboratoriekrossade materialet 16 % och det produktionskrossade materialet 33,5 %.

Medelvärden ryolit, Småland

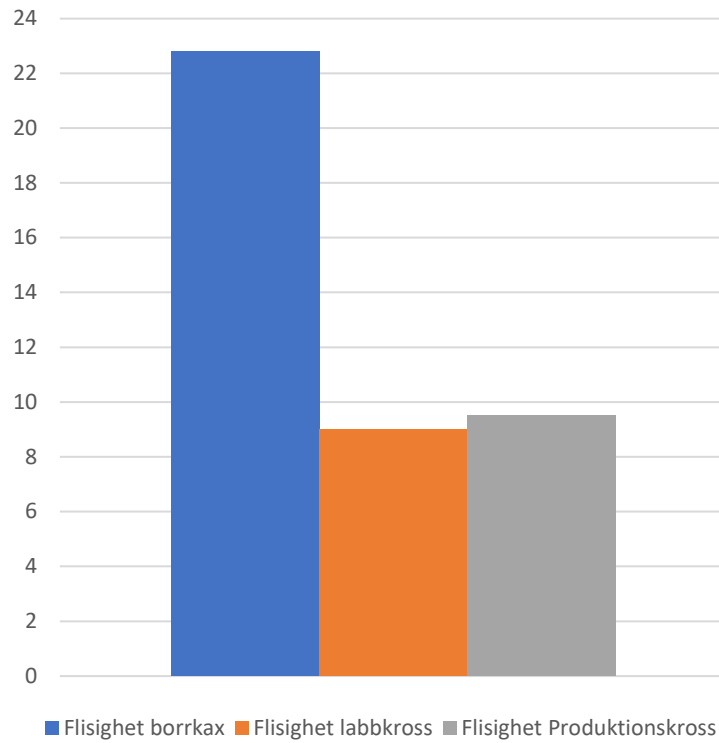


Diagram 9. Flisighetsindex enligt SBUF Rapport 12270 och SS-EN 933-3. Borrkaxets flisighet är 22,8 %, det laboratoriekrossade materialet 9 % och det produktionskrossade materialet 9,5 %.

Medelvärden västsvensk granit, Västergötland

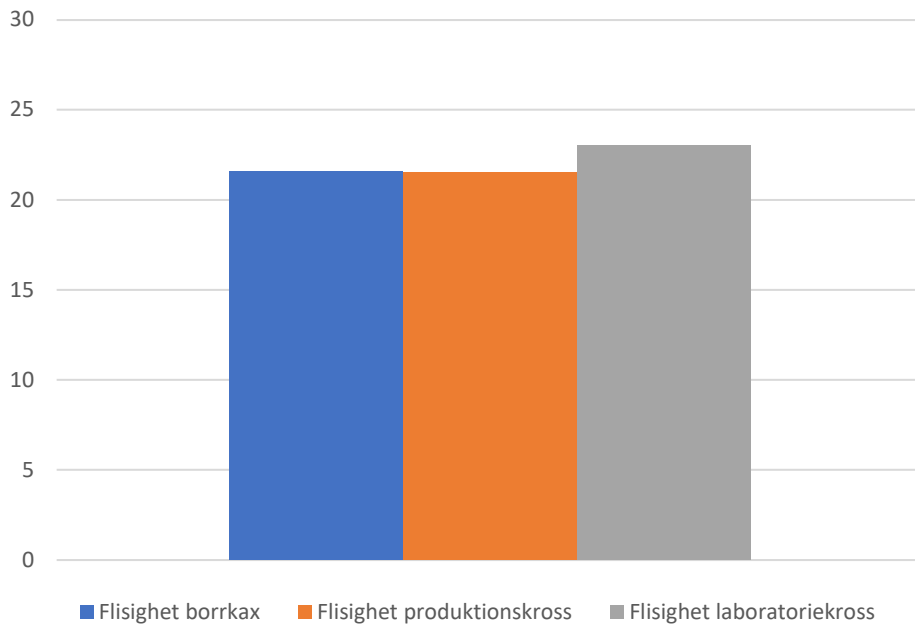


Diagram 10. Flisighetsindex enligt SBUF Rapport 12270 och SS-EN 933-3. Borrkaxets flisighet är 21,6 %, det produktionskrossade materialet 21,5 % och det laboratoriekrossade materialet 23 %.

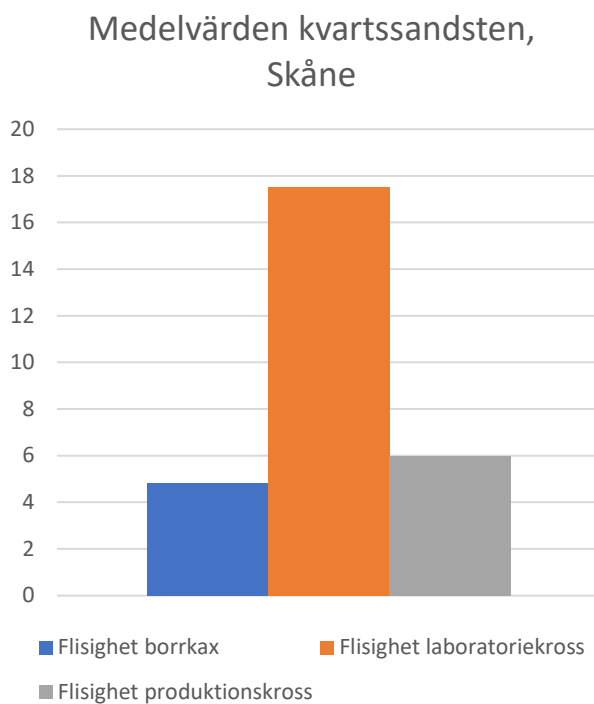


Diagram 11. Flisighetsindex enligt SBUF Rapport 12270 och SS-EN 933-3. Borrkaxets flisighet är 4,8 %, det laboratoriekrossade materialet 17,5 % och det produktionskrossade materialet 6,0 %.

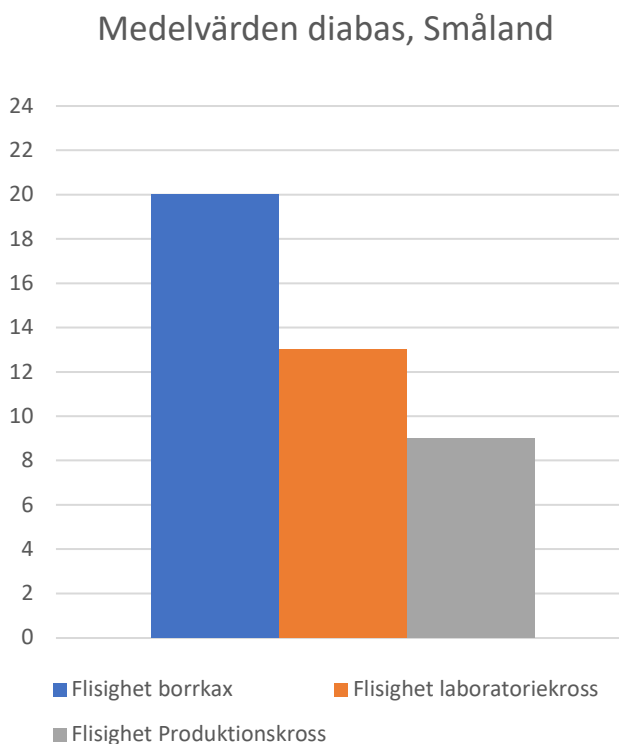


Diagram 12. Flisighetsindex enligt SBUF Rapport 12270 och SS-EN 933-3. Borrkaxets flisighet är 20 %, det laboratoriekrossade materialet 13 % och det produktionskrossade materialet 9,0 %.