

# UTHÅLLIG PRODUKTION AV FINKORNIGA PRODUKTER FRÅN BERGMATERIAL



CHALMERS  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# INTRODUKTION

Historiskt sett har naturgrus varit ett av Sveriges allra viktigaste råmaterial för samhällsbyggnation. Hela landets infrastruktur; byggnader, broar och vägar, är till stor del byggda med naturgrus eller av material baserade på naturgrus. I Sveriges miljömål finns ett specifikt formulerat mål som ska säkerställa att det finns grundvatten av god kvalitet för framtida generationer. Inom detta miljömål finns ett delmål som säger att naturgrus endast skall användas när inget annat alternativt ersättningsmaterial finns.

Idag används naturgruset främst till användningsområden där naturgruset är svårare att ersätta till exempel betong, bruk och puts, reningsfilter, golfsand, sand till paddockar och lekplatser. Att skapa ersättningsmaterial för dessa områden är en stor teknisk utmaning på grund av att de små kornens funktion i de olika produkterna är mer komplex samt att det finns kunskapsluckor om kravställningen på sandmaterialet samt att erforderlig produktionsteknik inte är speciellt känd eller utredd.

Det enda ersättningsmaterial som finns i så stor mängd att det kan betraktas som ett långsiktigt hållbart alternativ är krossat bergmaterial. Om uttaget av naturgrus ska kunna minska ännu mer i Sverige behöver vidareförädlad bergmaterial användas inom ännu fler användningsområden. Syftet med detta projekt är att undersöka potentialen att ersätta naturgruset med krossballast inom ännu fler användningsområden. Detta görs genom att utveckla kunskapen om användning av bergmaterialprodukter som ersättningsmaterial samt om produktionsprocessen för att producera krossballast på ett så bra sätt som möjligt.

Den stora utmaningen med att utveckla ett väl fungerande ersättningsmaterial till naturgrus är relaterad till den geometriska formen av partiklar samt ytans beskaffenhet. Naturgrus har generellt väldigt runda korn som har formats under istiden, medan krossat bergmaterial har mycket kantigare

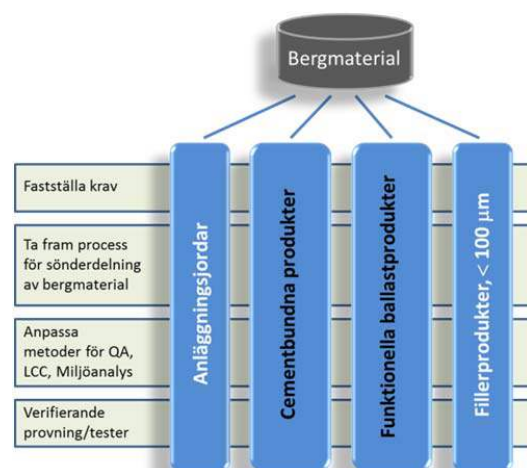
korn med råare ytor. Projektet har hypotesen att VSI- (Vertical Shaft Impact) krossning i kombination med vindsiktning är vägen framåt för att lyckas skapa bra ersättningsmaterial till naturgrus. I projektet har en krossanläggning konstruerats med dessa två tekniker som huvudkomponenter, se Figur 1.



Figur 1: Projektets krossanläggning.

Eftersom naturgrus används inom så många olika tillämpningsområden och produkter delades projektet upp i fyra olika inriktningar även kallade *spår*. De fyra spåren är, se Figur 2:

- Anläggningsjordar
- Cementbundna produkter
- Funktionella ballastprodukter
- Fillerprodukter



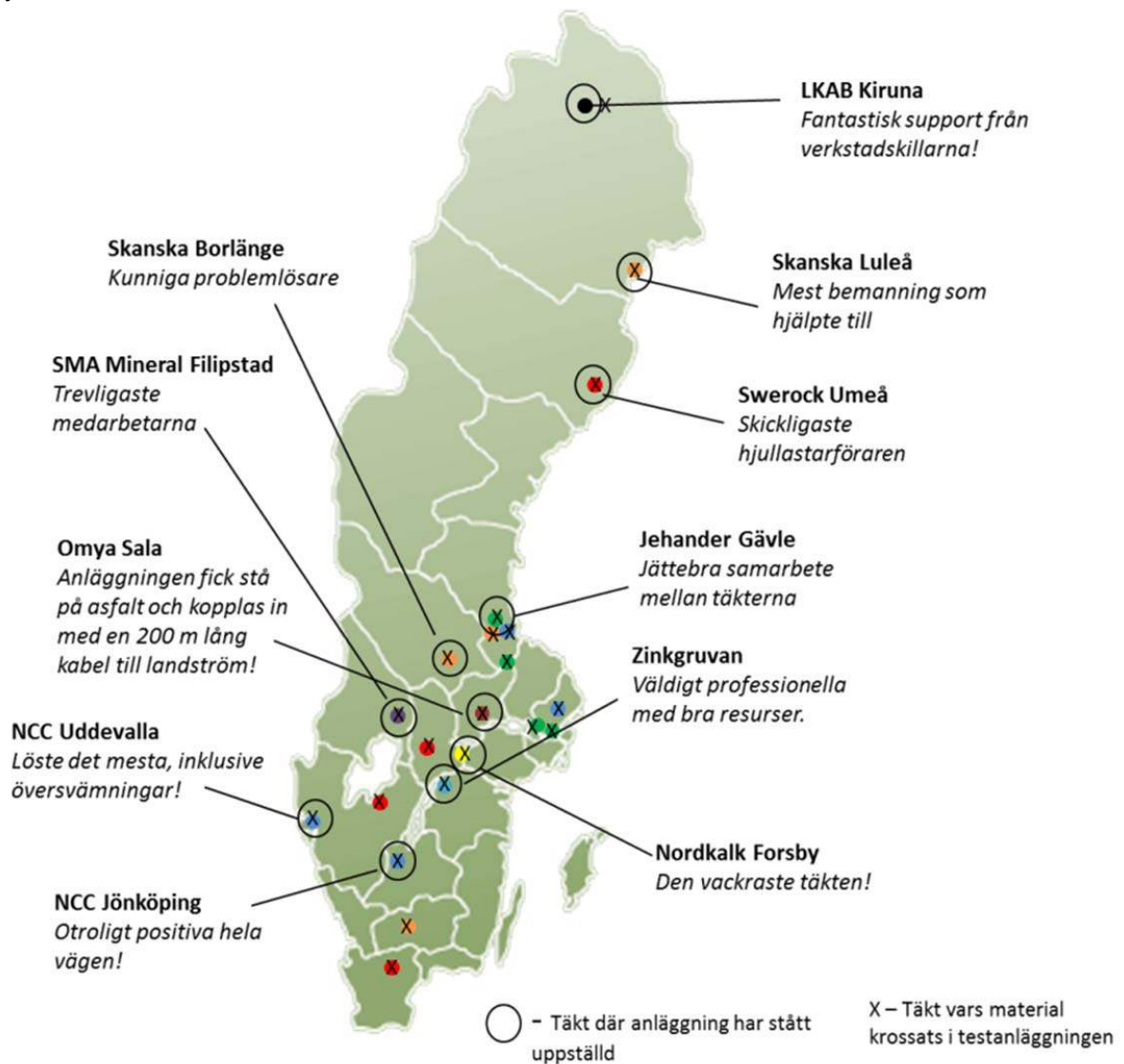
Figur 2. De fyra spåren.

# ANLÄGGNINGENS TURNÉ

Under projektet har en mobil krossanläggning projekterats, byggts och finansierats av Chalmers tekniska högskola. Anläggningens huvudkomponenter är en VSI kross och en vindsikt. Denna anläggning har turnerat genom Sverige med syftet att göra det möjligt att analysera många olika bergmaterial som tagits fram med samma produktionsprocess och samma maskiner.

Anläggningens 49 veckors långa turné påbörjades i november 2013. Totalt har

anläggningen stått uppställd på 12 olika platser och transporterats 440 mil. 21 olika bergtäkter har deltagit i turnén och totalt har 27 stycken olika bergmaterial krossats i anläggningen. Detta är unikt, aldrig förr har så många material testats med samma produktionsanläggning. I Figur 3 finns en karta över vilka täkter som deltagit i turnén och kommentarer från Chalmers personal om täkterna där anläggningen har stått uppställd.

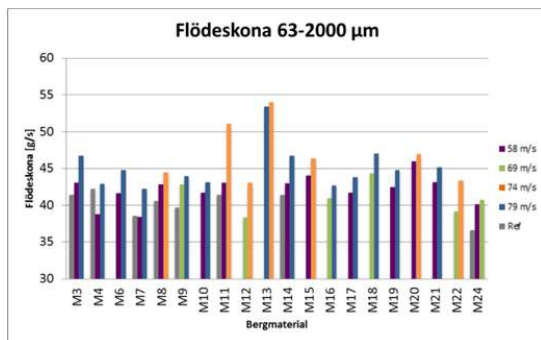


Figur 3. Karta över täkter som deltagit.

# PRODUKTIONSSYSTEM

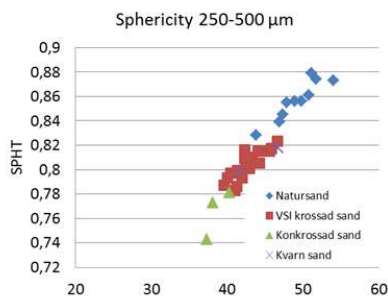
För att bedöma de mest optimala inställningarna till anläggningens komponenter utformades ett antal standardtester som utfördes på alla medverkande täkter under turnén.

VSI krossen kördes med olika rotorhastigheter för att bedöma vilken inverkan rotorhastighet har på kornform. I Figur 4 syns resultat från mätningar med en flödeskona på sorteringen 63-2000  $\mu\text{m}$ . Ett högre värde indikerar en bättre kornform och en mer fördelaktig partikelstorleksfördelning. Resultaten visar att för majoriteten av materialen ger en högre rotorhastighet, 74 eller 79 m/s, en bättre kornform. Resultaten visar att en ökad rotorhastighet också ger en ökad fillerhalt vilket inte är önskvärd. En bättre kornform kommer få ställas mot en högre fillerhalt vid val av VSI-krossens rotorhastighet.



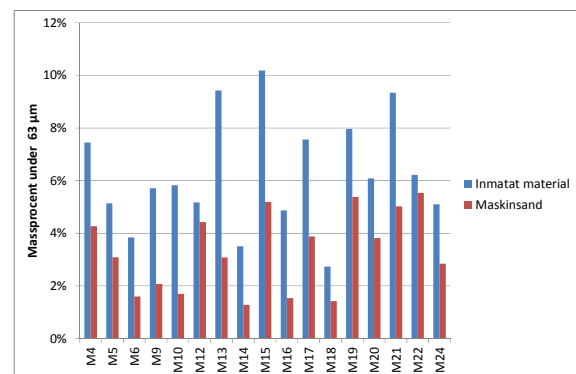
Figur 4 Flödeshastighet beroende av VSI hastighet

Det andra syftet med VSI-studien var att undersöka hur nära kornformen hos en natursand det är möjligt att komma med hjälp av en VSI. Detta testades både under en förstudie och under anläggningens turné. I Figur 5 syns hur de bästa VSI-krossade materialen närmar sig formen hos naturgruset. Liknande resultat finns för alla fraktioner.



Figur 5. Jämförelse mellan naturgrus och maskinsand

Projektets vindsikt har optimeras mot de inställningar som ger mest avskiljning av filler. Vindsikten har avskilt filler från samtliga bergmaterial som testats under turnén, detta visas i Figur 6. Skärningspunkten ligger vid 63  $\mu\text{m}$ , vilket är tillräckligt bra för de flesta material. Vissa bergmaterial kan kräva en vindsikt med högre skärningspunkt.



Figur 6 Fillernivå före och efter vindsikt

Täkter som vill ställa om till att producera ersättningsmaterial till naturgrus kommer få ta ställning till en eventuell investering i VSI och vindsikt. I de allra flesta fall kommer VSIn behövas. Krossens maskininställningar kommer att bero hur bra kornform som behövs för användningsområdet. Behovet av vindsikt varierar, men höjer kvalitén hos maskinsanden genom en mer stabil produktion. Projektets kartläggning av de många bergmaterialen kan användas som vägledning vid utveckling av produktionsprocessen i täkter med likvärdiga material.

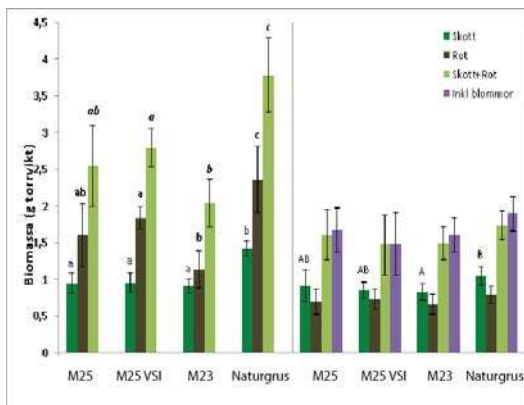


Figur 7. Materialflöde in i VSI-krossen

# ANLÄGGNING SJORDAR

I nuvarande version av anläggnings-AMA står det skrivet att krossballast inte får användas i anläggningsjordar. Detta beror främst på grund för dåliga kunskaper kring hur krossballast fungerar i anläggningsjordar. Denna del av projektet syftar till att öka denna kunskap.

Fyra olika odlingsstudier har genomförts under projektet. I den första studien genomfördes odlingar i tre olika krossballast material. I studien odlades två olika blommor, riddarsporre och salvia. Den tåliga salvian växte lika bra i bergkrossjordarna som i referensen, medan riddarsporren växte något sämre.



Figur 8. Resultat från odlingar i krukor.

I studien konstaterades att det inte verkar göra någon skillnad om samma material är konkrossat eller VSI -krossat.

En hypotes som testades under projektet var om vassheten hos kornen minskar genom vittring i jorden. Inga tydliga bevis för att detta är fallet kunde visas. Ibland anges kornens vasshet som anledning till att krossballast inte tillåts i AMA anläggning, ingen av odlingarna har visat att vassheten verkar vara betydande för hur växterna överlever.

Femton olika kornstorlekskurvor testades för två olika bergmaterial för att försöka bedöma vilka parametrar hos kornkurvan som påverkar växternas rotutveckling och överlevnad. Studien visade att en hög andel av fraktion 0,5-2 mm är fördelaktigt och

att andelen material under 63  $\mu$ m ska vara under 10 %.

Totalt har 10 olika bergmaterial odlats i krukförsök. Odlingarna har visat att det går att odla växter i krossballast, men det finns skillnader mellan olika växtarter i hur de klarar att växa i en jord med krossballast. Odlingarna har visat att en jord med krossballast är torrare än en anläggningsjord med naturgrus med samma kornstorleksfördelning. Den kan alltså hålla mindre vatten och måste hanteras därefter.



Figur 9. Exempel på krukförsök.

Ett odlingsförsök utomhus utfördes i Malmö där ett antal olika arter odlades i en krossballast och en referensjord med naturgrus. Vissa arter klarar sig bättre i krossjorden än i anläggningsjorden och några sämre.



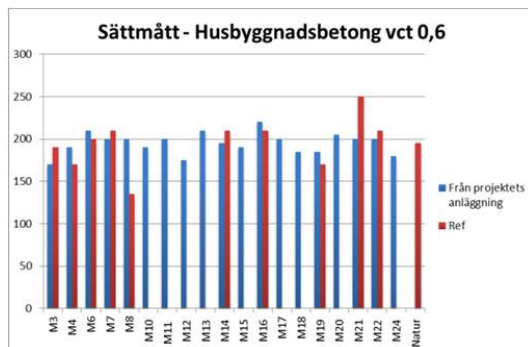
Figur 10. Resultat utomhus odling.

AMA standarden är inte utformad med växternas bästa för ögonen. Detta betyder att man kan både få väldigt bra och väldigt dåliga jordar som båda håller AMA-standard. Framtida standarder bör tillåta både naturgrus och krossballast med krav som formuleras utifrån på växternas förhållanden.

# CEMENTBUNDNA PRODUKTER

Över 50% av det naturgrus som används idag går till betongutveckling. Att lyckas ersätta naturgruset i betong är kritiskt för att kunna minska naturgrus användningen i Sverige. Projektet syftar till att undersöka om det är möjligt att ersätta 0-4 sorteringen i betongen med maskinellt framställd ballast.

Under projektet har 19 olika bergmaterial från projektets krossanläggning testats som ballast i både anläggningsbetong och husbyggnadsbetong. Elva stycken av täkterna hade också ett referensmaterial från ordinarie produktion testats. Sättningsmåtten hos betongblandningarna varierade, men av de 30 olika materialen var det endast ett referensmaterial som inte gick att blanda betong med.



Figur 11 Sättningsmätt för testade betonger

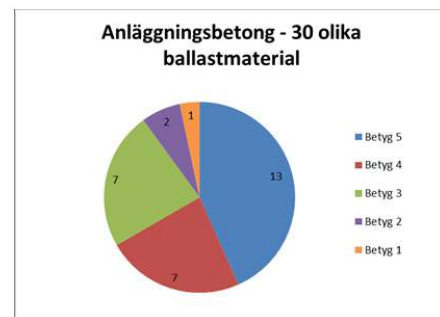
För att värdera de olika betongblandningarna utvecklades ett bedömningssystem som användes under försöken. Betongblandningarna graderades efter en skala från 1 till 5 som stod för:

- 1 = Inte användbar
- 2 = Dålig, faller isär, fattas något
- 3 = Kan fungera, lite separation, behöver kanske kompletteras eller omproportioneras
- 4 = Bra
- 5 = Mycket bra

En gradering av 3 och uppåt anses vara en godkänd betong.

Av 30 olika anläggningsbetongblandningar med krossballast betraktades endast tre som icke

godkända, bara ett kom från projektets anläggning. Detta bergmaterial innehåller mycket glimmer, täkten har gjort ytterligare betongtester med materialet och lyckats hitta ett sprutbetongrecept som fungerar. Av försöken med husbyggnadsbetong var det endast fyra som inte godkändes. Det var samma bergmaterial som för anläggningsbetong samt ytterligare en referens. Betonger som producerats med projektets VSI och vindsiktning har gett betong med högre kvalitet än referenserna, men flera referenser har också gett godkänd betong.



Figur 12. Resultat anläggningsbetong.



Figur 13. Resultat husbyggnadsbetong.

Dessa resultat visar att det går att ersätta naturgrus i betong med nästan alla bergmaterial. Med rätt produktionsprocess går det att framställa maskinsand till betong. Resultaten visar också att för vissa täkter krävs inte ens någon investering i VSI, referensmaterialen ger också godkända betonger. Dock förbättras kvaliteten på betongen genom att använda VSI och vindsikt.

# FUNKTIONELLA MATERIAL

Med funktionella produkter av finkorniga bergmaterial menas produkter där materialet (sand) i sig har en funktion, till exempel gjuterisand, hopp sand, bunkersand, filtersand, osv. I projektet har det utförts försök på gung sand, filtersand, golfsand och ridbaneunderlag.

## Gung sand

Material till gung sand testas enligt en EU standard där ett Head Injury Criteria (HIC) inte får överskrida 1000. Det testas genom att en provkropp släpps ned i sanden och dess retardation mäts.



Figur 14. Falltest

21 bergmaterial har testats, 12 av dessa klarade HIC-provet. Efter testet sattes materialen ut för att bedöma hur de påverkas av utomhusförhållanden. De material som klarade både HIC-provet och väderprovet var sex till antalet. Dessa material har goda försutsättningar att bli fullt godkända gung sand produkter om det kan säkerställas att andelen grova korn och fillerandelen hålls nere.

## Filtersand

Filtersand testades som både snabbfiltersand och infiltration för markbäddar. Resultaten visar att det är möjligt att uppnå samma porositet som naturgrus med krossmaterial. En tidigare studie från JTI indikerade att reningen av organiskt material och

bakterier i princip fungerar lika bra i bergkross som i naturgrus.

## Golfsand

Partikelkurvorna som togs fram med projektets anläggning klarade inte kraven. Frågan kvarstår om maskinsand skulle kunna uppnå kraven om de går igenom samma typ av siktutrustning som används till naturgrus innan det säljs som golfsand. Det finns egentligen inget som tyder på att det inte skulle gå. Det finns flera golfbanor i Sverige som redan idag använder sig av krossmaterial.

## Ridbaneunderlag

Materialen har utvärderats med hjälp av en mekanisk hov som bedömer firmness och cushioning hos underlaget. Majoriteten av materialen har bedömts som möjliga som ridunderlag.



Figur 15 Testutrustning för ridbaneunderlag.

## Sammanfattning

De produkter som innefattas i de funktionella materialen har mycket vida användningsområden. Gemensamt är ändå att de oftast traditionellt har bestått av en ganska smal sortering med naturgrus (få fraktioner). Detta går naturligtvis att skapa även med krossade produkter. I det här projektet har det av praktiska skäl inte kunnat göras lika smala produkter utan materialen har istället testats som de kommit från turnén. Resultatet är hoppfullt, aldrig negativt, men heller inte helt klart för produktion än.

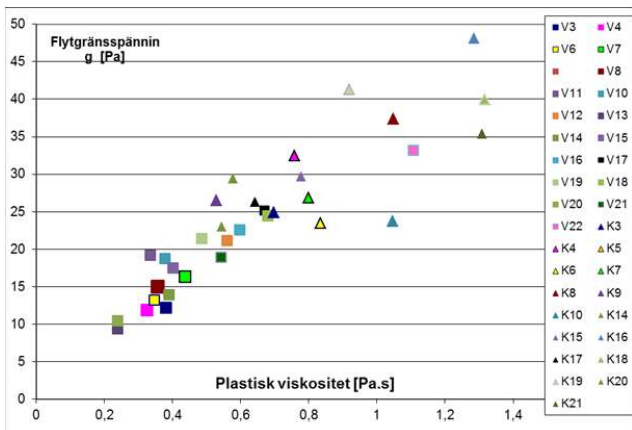
# FILLERPRODUKTER

Filler är en restprodukt som skapas vid ballastproduktion. Alla partiklar under 125  $\mu\text{m}$  benämns som filler. Många täkter har idag sorteringen 0-2 mm som restmaterial eller fyllnadsmaterial. Med de tillägg av processen som projektet föreslår finns det möjlighet att istället sälja 0-2 materialet som en högvärdig produkt. Till denna process blir endast fillersorteringen restprodukt. Detta minskar täktens restprodukter markant, men det önskvärda är att också kunna använda fillersorteringen. Den mest lämpade applikationen för filler är i betong, men beroende på fillerpartiklarnas egenskaper kan det vara olika lämpligt för en betong.

Ett bra filler skall helst innehålla runda partiklar eller åtminstone så kubiska som möjligt. Med bra filler kan man spara cement medan man med dålig måste bearbeta fillern eller ta bort den och ersätta med bättre filler.

Denna del av projektet syftar till att utvärdera VSI krossens och vindsiktens effekter på fillersorteringen.

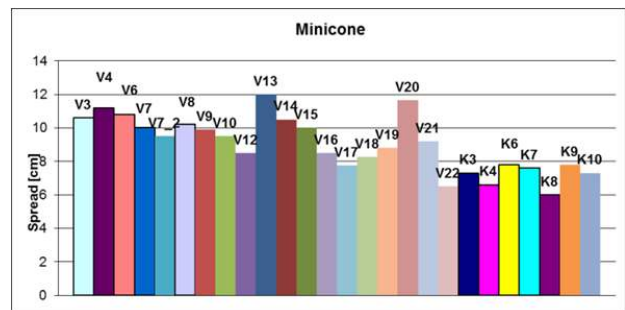
I figuren nedan syns resultat på flytgränsspänning och plastisk viskositet på filler från täckernas normala produktion och på filler från projektets anläggnings 0-2 produkt. Ett V står för att materialet gått genom projektets anläggning och ett K att det kommer från täktens ordinarie produktion. Låga värden indikerar bättre reologi hos fillret. Man kan se att VSI:n och



Figur 16. Flytspänning för de testade materialen.

vindsikten markant förbättrar fillrets egenskaper. De fillermaterial som är sämst när man jämför ordinarie produktion är samma fillermaterial som är sämst bland de VSI krossade och vindsikten. Tekniken förbättrar alltså materialens egenskaper, men inte så att alla bergmaterial får lika bra egenskaper.

Prov genomförda med minikon och samma bruk visar också hur VSI:n och vindsikten förbättrar fillrets egenskaper.



Figur 17. Förbättring av filler.

Analys har också gjorts för att se hur vindsikten tar bort lermineral genom att analysera BET-yta. Leror har en negativ inverkan på betongen. BET-ytan minskar men inte radikalt. Det kan bero på fukt i provet som vindsiktas. Vindsikten verkar kunna ta bort en del av lermineralen, men inte alla.

En parameter som tydligt försämrar reologin hos fillret är högt glimmerinnehåll vilket ger dålig pastareologi, men detta kan förbättras av vindsiktning. Projektets vindsikt skär vid 63  $\mu\text{m}$ . Det finns andra produkter som skär vid en högre skärningspunkt. Täkter med bergmaterial med hög glimmerhalt bör troligen satsa på den typen av vindsikt för att få bort en större andel filler.

För bergmaterial med mer normala glimmerhalten visar att projektets typ av vindsikt i kombination med en VSI kross förbättrar fillrets egenskaper för användning i betong.



# DISKUSSION

Projektets övergripande mål har varit att kartlägga möjligheterna att ersätta naturgrus inom olika användningsområden och undersöka vilken produktionsprocess som krävs för att kunna möjliggöra denna ersättning. Projektet har varit helt unikt om man ser till hur många bergmaterial som har behandlats för ett stort antal olika användningsområden. Aldrig förr har så många bergmaterial testats med samma produktionsanläggning.

Projektet har visat att det med hjälp av VSI tekniken är möjligt att närma sig kornformen hos naturgrus. För de allra flesta bergmaterial är VSI en nödvändig komponent för att kunna producera ersättningsmaterial till naturgrus. Behovet av vindsikt varierar.

Ökningen i klimatpåverkan som sker om en ballasttåkt lägger till en VSI i processen kan jämföras med den minskning som sker när naturgrustakten kan ersättas. Den totala klimatpåverkan från en ballasttåkt anses liten om man till exempel jämför med livscykeln hos en betong. Ökningen i klimatpåverkan som ett tillägg av en VSI och en vindsikt orsakar kan därför anses vara acceptabel då man istället skyddar framtida dricksvattentillgångar och sparar en ändlig resurs genom att ersätta naturgruset.

Projektet har lyckats visa att det går att ersätta naturgruset i betong. Undantag kan vara några få bergtakter med mycket hög andel glimmer. Av naturgruset som används idag går över hälften till detta användningsområde. I många takter kräver det en investering i VSI och vindsikt och i betongfabrikerna innebär det en ombyggnation, men det går inte längre att säga att det finns någon teknisk anledning till att inte använda krossballast i betong.

För övriga användningsområden har projektet visat att det finns stor potential att kunna utveckla

säljbara maskinsandsprodukter också av dessa material. Det krävs bättre siktningsmöjligheter i takterna, men allt tyder på att det är möjligt med rätt teknik.

Projektet har tagit stora steg för att göra det möjligt att nå Sveriges miljömål att skydda grundvatten av god kvalitet. Naturgrusets största användningsområde betong går att ersätta genom rätt teknikinvesteringar. Sådana investeringar kan ta tid, men så fort de sätter fart bör takten i naturgrusminskningen i Sverige kunna öka markant. I områden där grundvattentillgångar är i konflikt med naturgrusresurser varandra bör endast några få naturgrustakter med väldigt speciella användningsområden vara kvar. En stor del av de 25 % av naturgrusanvändningen som används inom anläggningsjordar och funktionella material bör också gå att ersätta. Steget är dock något längre till att göra detta till säljbara produkter. De sista 25% av naturgrusanvändningen går till väg- och fyllnadsmaterial, det var konstaterat redan innan projektets start att det är områden där det går lika bra att använda krossballast. Projektet har visat att majoriteteten av det naturgrus som används idag kan ersättas inom en överskådlig framtid.

## Projektets partners

