

Rapport
P-16-13
Augusti 2016



Lämplighet för krossberg från Forsmark och SFR att användas som betongballast

Björn Lagerblad
Marija Golubeva
Jaume Cirera Rui

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING AB

SWEDISH NUCLEAR FUEL
AND WASTE MANAGEMENT CO

Box 250, SE-101 24 Stockholm
Phone +46 8 459 84 00
skb.se

SVENSK KÄRNBRÄNSLEHANTERING

ISSN 1651-4416

SKB P-16-13

ID 1473623

Augusti 2016

Lämplighet för krossberg från Forsmark och SFR att användas som betongballast

Björn Lagerblad, Marija Golubeva, Jaime Cirera Rui
CBI Betonginstitutet

Nyckelord: Berg, Krossning, Betongballast, Reologi.

Denna rapport har gjorts på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna. SKB kan dra andra slutsatser, baserade på flera litteraturkällor och/eller expertsynpunkter.

Data i SKB:s databas kan ändras av olika skäl. Mindre ändringar i SKB:s databas kommer nödvändigtvis inte att resultera i en reviderad rapport. Revideringar av data kan också presenteras som supplement, tillgängliga på www.skb.se

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se.

© 2016 Svensk Kärnbränslehantering AB

Sammanfattning

Denna rapport syftar till att bedöma om det berg som tas fram i samband med byggandet av slutförvaret för använt kärnbränsle i Forsmark går att använda som betongballast. Detta gäller även anläggandet av SFR 3 (utbyggnaden av slutförvaret för låg- och medelaktivt avfall) i Forsmarksområdet (för att särskilja området benämns det som SFR i rapporten). Bergarterna har krossats och siktats på CBI Betonginstitutet. Hur lämplig en ballast är att användas i betong beror på en kombination av kornsortering och kornform.

Som främsta instrument har de reologiska egenskaperna hos referensblandningar använts. Proven har dock även analyserats med avseende på petrografi och mineralogi. Kornform och råhet har även analyserats med ställföreträdande metoder som lös packning och flödestal.

I Forsmarksområdet har tre hållar i ytan provtagits och analyserats. Dessutom har sju borrhärlor tagits och analyserats. Huvuddelen av berget är granitiskt. Resultaten visar att graniterna är medelbra som betongballast. En del berg är mera granodioritiskt till sin sammansättning. Denna bergartstyp har i Forsmarksområdet högre halt av biotit. Granodiorit har generellt högre biotithalt än vilket ger finmaterialet sämre egenskaper som betongballast. Basiska bergarter har inte påträffats i Forsmarksområdet.

I SFR området är berget mera växlande. Berget är mera tektoniserat och pegmatiserat. Man kan även finna finkorniga leptiter (Svekofenniska metavulkaniter). Det finns även basiska inslag. Sju prover har tagits av berg som sprängts ut i samband med anläggandet av SFR 1. Dessutom har material från två borrhärlor analyserats. Graniterna, leptiterna och pegmatiterna ger liknande finballast, som fungerar bra till medelbra som betongballast. Den basiska bergarten ger kross som är besvärlig som betongballast, då den innehåller rikligt med klorit i finfraktionen. Detta beror antagligen på hydrotermala omvandlingar i samband med tektonisering. Man kan anta att hela området har drabbats av omvandlingar vilket medför att basiska bergarter bör undvikas då dessa som omvandlade kan innehålla stora mängder biotit och klorit som försämrar reologin.

Abstract

In the excavation of the repository for highly radioactive nuclear waste in Forsmark and for the repository for medium grade radioactive nuclear waste in Forsmark (SFR-3) large amounts of rocks will be excavated. This rock could be crushed and processed to be used as aggregate for the concrete that will be used during construction. This report deals with the suitability of the bedrocks on site to be used as concrete aggregate.

Concrete prefers round and cubic aggregates with a certain optimal grain distribution. What the grains look like and the distribution of the sizes depends on the rock type and crushing technique.

In this study rocks from the surface, already excavated rocks (SFR) and from drill cores are crushed and tested in mortar (0–2 mm) with a specific grading. The rocks were first crushed in a jaw crusher and later on in a cone crusher at the CBI laboratory. Larger particles can be treated and are not as critical as the small ones. For the investigation, a reference mortar mix is used. CBI has done a large number of tests with crushed rock aggregate with this reference mix and thus has a good reference for suitability. The test is performed in a rheometer that measures the yield stress and the plastic viscosity. The rocks have been petrographically and chemically characterised. The grain shape has also been analysed by substitute methods such as loose packing and flow values that indicates grain shape.

In the area for the repository for highly radioactive waste, three flat rock samples and 7 samples from drill cores were taken and analysed. They are granitoid rocks. The results show that they behave like ordinary granites, not the best but suitable for concrete aggregate. The main rock type is granitic with different grain sizes. One of the flat rocks is granodioritic with larger contents of mafic minerals. The mortar rheology gives values typical of crushed granitic rocks. The amount of basic rocks seems to be low. Some of the granodiorite may contain substantial amounts of biotite which is negative, and should be avoided.

In the SFR area the rocks are more variable. Seven samples have been taken from a dumping site containing earlier excavated rock from SFR 1. Two drill cores from the planned SFR-3 area are also sampled. The rocks seem to be partially tectonized and pegmatites are common. Fine-grained meta-volcanics (leptites) can also be found. Basic dark rocks can be recognised. The granites, the meta-volcanics and the pegmatites give similar sand and can be used in concrete. The basic rock causes problems due to high contents of chlorites and clay minerals. One can assume that the whole area of SFR is subjected to tectonisation and hydrothermal alterations that are negative for the fine material. Basic rocks should be avoided.

Innehåll

1	Orientering	7
1.1	Krossberg som betongballast	7
1.2	Krossnings- och bearbetningsteknik	9
2	Undersökningsmetodik	11
2.1	Reologi-arbetbarhet	11
2.2	Recept	13
	2.2.1 Bruk (0–2 mm)	13
	2.2.2 Mikrobruk (0–0,125 mm)	13
2.3	Flödestal och hålrumsvolym	13
2.4	Petrografisk analys	14
3	Bedömningskriterier	15
4	Resultat	17
4.1	Provtagning och petrografi	17
	4.1.1 Forsmark	17
	4.1.2 SFR	19
4.2	Reologi	20
	4.2.1 Forsmark	20
	4.2.2 SFR	20
4.3	Materialgenskap	24
5	Diskussion	27
5.1	Forsmark	27
5.2	SFR	28
6	Rekommendationer	29
7	Jämförbara täkter i närheten av Forsmark	31
	Referenser	33
Bilaga 1	SEM bilder av prover	35

1 Orientering

Betong består till mellan 60 och 80 volymprocent av ballast. Ballast kan bestå av många olika material men i allmänhet är det bergarter och/eller mineral. I Sverige används oftast krossat berg som sten medan sanden, partiklar mindre än 8 mm, kommer från naturgrus. Av miljöskäl bör användningen av naturgrus minskas.

Det är stor variation mellan material från olika bergtäkter. Detta märks främst genom olika arbetbarhet och vattenbehov. En bra ballast skall ge en god arbetbarhet med lite bindemedel/vatten.

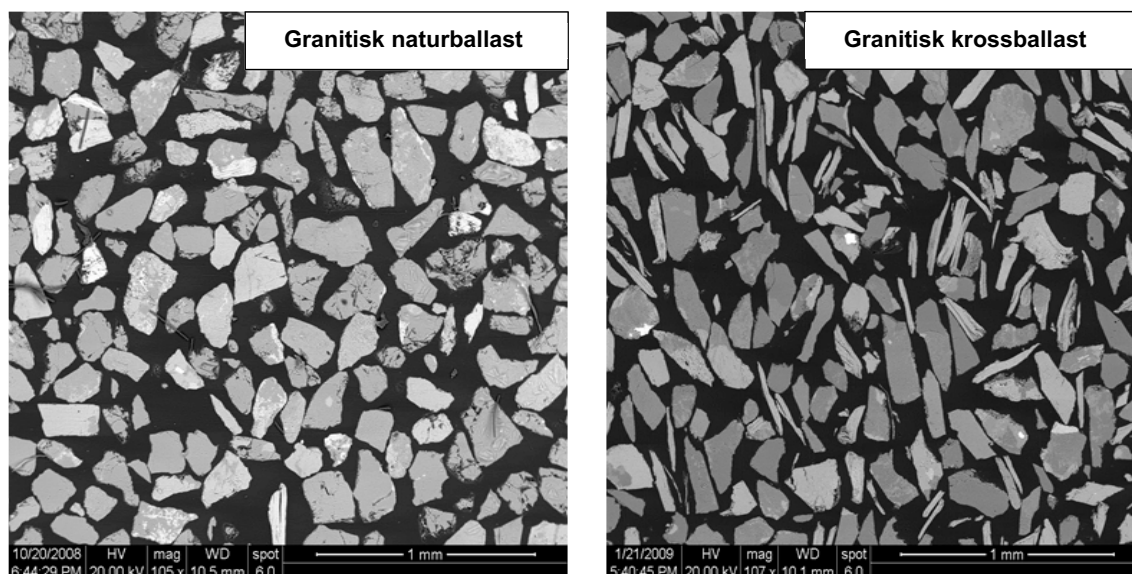
Vid anläggandet av slutförvaret för använt kärnbränsle i Forsmark och vid anläggandet av SFR-3 kommer det genereras stora mängder berg. I fortsättningen kommer det berg som kommer från området för slutförvaret för använt kärnbränsle att benämnas "Forsmark" medan det från området för SFR kommer att benämnas "SFR".

Den fråga denna rapport skall besvara är om detta berg är lämpligt att användas som ballast vid betongtillverkning och hur lämpliga de olika typerna av bergarter är.

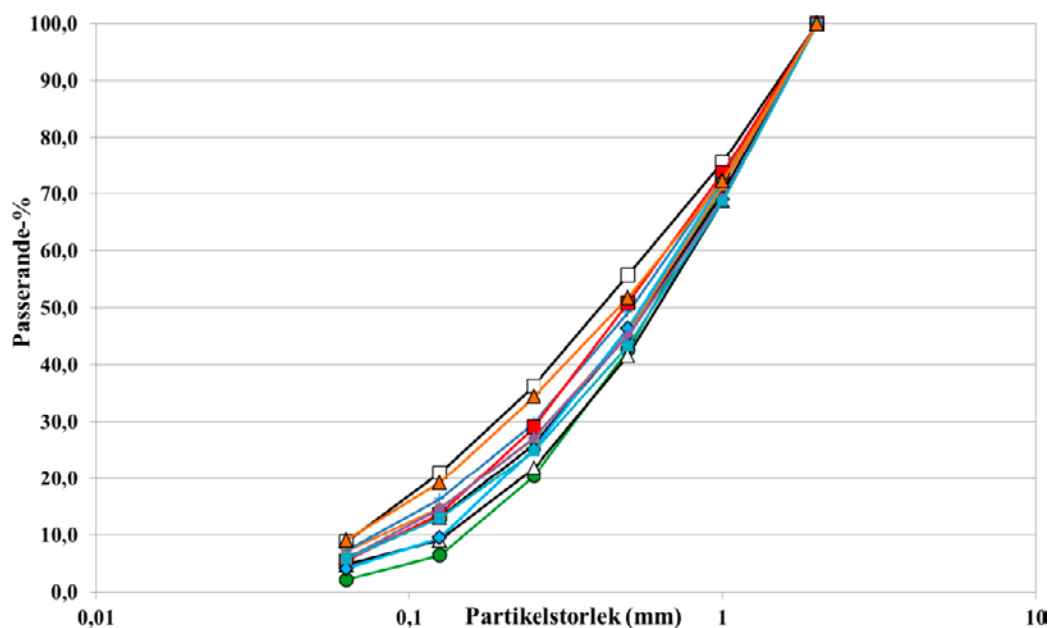
1.1 Krossberg som betongballast

Naturballast har anlagts i rinnande vatten. Internationellt är det oftast flodgrus medan det i Sverige är glaciofluvialt isälvsgrus (rullstensåsar). I vattnet har de svagaste partiklarna vittrat och brutits ner. De mera stabila partiklarna har rundats.

Krossat berg är mera flakigt/stängligt och har en råare yta (se figur 1-1). Detta medför att betongen får en sämre arbetbarhet dvs har svårare att flyta ut och fylla en form. För att bättre flyta ut behöver betongen mera vatten vilket i sin tur ger en svagare betong. För att kompensera för den svagare styrkan så måste man tillföra mera cement. Mera cement och vatten i sin tur är negativt för beständigheten då det ökar värmeutveckling, krympning och sprickbildning.



Figur 1-1. SEM foto av naturballast (tv) och krossat granitiskt berg (th) i fraktionen 0,125–0,25 mm. De flakiga partiklarna i krossballasten består huvudsakligen av biotit.



Figur 1-2. Diagram från bergtäkter som visar hur siktcurvor för bergkross normalt ser ut. Den nedersta kurvan liknar den hos naturgrus och har använts som referens vid testerna.

Problemet med krossat berg som ballast i betong hänger främst samman med finmaterialet. Stenfraktionen kan kubiseras och har sedan länge använts som betongballast. Enligt tidigare undersökningar (Lagerblad et al. 2008) är det främst partiklar mindre än 2 mm som kan ge problem. Det orsakas dels av att krossballasten innehåller betydligt mera filler (partiklar <math>< 63 \mu\text{m}</math>) vilket tenderar att öka vattenbehovet och ge en seg betong, dels att partiklarna har en mera ogynnsam kornform (stängliga/flakiga) vilket ger en sämre rörlighet.

Det måste betonas att ballast till betong har andra krav än exempelvis ballast för bärlager. Styrkan hos ballasten är, i motsats till bärlager, av mindre betydelse då den hårdnade cementpastan är den svaga länken i betong. Krossat berg som är olämpligt som bärlager kan vara lämplig betongballast och tvärtom.

Ballastens kornform bestäms till största delen av bergarten eller mera bestämt av den lokala bergartens textur och mineralogi. Ett skiffrikt berg ger oftast flakiga grövre partiklar. I de mindre fraktionerna är partiklarna ofta enskilda fria mineral. I vilken fraktion de fria mineralen återfinns beror på hur grovkornig bergarten är. I en medelkornig granit är mängden fria mineral oftast större än mängden bergartsfragment när partiklarna är mindre än 0,25 mm (hålsikt).

Olika mineral har olika form beroende på kristallografin. Oftast är exempelvis kalcit och fältspat relativt kubiska medan glimmermineral som biotit, muskovit och klorit är flakiga. Berget i Forsmark är huvudsakligen granitiskt och granitiska bergarter innehåller ofta glimmer som ökar vattenbehovet.

Detta medför att olika typer av bergarter har inneboende egenskaper som bestämmer dess lämplighet som betongballast. I viss mån kan man med krossning och bearbetningsteknik förbättra egenskaperna men i det stora hela är det bergarten som styr lämpligheten.

En annan skillnad är att krossberg inte utsatts för erosion som naturballast. Krossberg kan innehålla glimmer och olika typer av leror som man inte finner i naturballast. Med tiden och i vatten kommer de svagare mineralen att brytas ner. Dessa leror kan anrikas i fillerfraktionen och kan ställa till med problem. Krossat berg kan även i motsats till naturgrus innehålla olika sulfider som kan oxidera och ge inre sulfatangrepp.

1.2 Krossnings- och bearbetningsteknik

Ballasts kornfördelning och kornform beror även på krossteknik. Det finns olika tekniker för att krossa berg. Tre principiellt skilda typer kan urskiljas.

- Käftkross. Käftkrossen trycker och ”tuggar” sönder berget. Då krossningen beror nästan enbart på tryck så får partiklarna ofta en flakig form vilket är negativt. I ballastproduktion används käftkrossar ofta i steget efter sprängning av större block.
- Den vanligaste typen för framställning av ballast är en konkross. I denna har man en roterande kon i en fast mantel som både klämmer och ”vrider” sönder kornen. Detta ger en mera kubisk form än en käftkross. När det gäller stenen till betongballast kubiseras denna ofta. Kubiseringen utnyttjar erosion där man låter stenarna mala mot varandra. Detta medför att kanter och hörn slås av vilket gör partiklarna mera kubiska.
- En nyare typ som håller på att testas i ett pågående forskningsprojekt är en kross benämnd VSI. Det står för ”vertical shaft impactor”. I denna matas partiklar in mot en roterande stav med sidopinnar. Dessa slungar partiklarna mot en mantelyta där partiklarna fragmenteras. Detta ger en kombination av slag och nötning av partiklarna som gör dem mera runda/kubiska. Metoden slår av kanterna på kornen. VSI ger bra resultat speciellt på partiklar som ligger över mineralgränsen dvs består av bergartspartiklar med flera mineral.

Andra åtgärder som kan utnyttjas är tvättning om lerhalten är för hög eller vindsikt om fillerhalten är för hög. Vindsikt kan även användas för att minska glimmerhalten. En vindsikt är en apparat där framför allt finkorniga partiklar får falla ner i ett luftflöde som separerar lätta från tunga partiklar. För grövre korn anpassas kornkurvan genom siktning.

2 Undersökningsmetodik

Utvärderingen har gjorts med inriktning mot färsk betongs egenskaper. Metoderna som är använda i dessa undersökningar kommer från flera forskningsprogram vars syfte var att utvärdera krossballast (Lagerblad et al. 2008). I dessa undersökningar kom man fram till att det främst är kornkurvan och kornformen som bestämmer hur lämplig en krossballast är som betongballast. Den främsta metoden går ut på att med en viskometer (reometer) mäta ett bruks egenskaper. Med standardiserade recept har både vanligt bruk (0–2 mm ballast) och mikrobruk (ballast <0,125 mm) undersökts. Minisättningsmåtten har även undersökts för mikrobruket. Detta kan korreleras mot en betongs arbetbarhet. En viktig egenskap är att man med en ballast skall kunna tillverka betong med en bestämd arbetbarhet med så lite cement som möjligt. I denna undersökning har även två indirekta men enkla metoder, flödestid och lös packning, använts för att karaktärisera ballastens lämplighet.

Materialen siktades inledningsvis så att alla partiklar större än 2 mm sorterades bort. Vid undersökningarna användes sedan detta kvarvarande 0–2 mm material. Samtliga material fraktionerades upp enligt standardiserad siktkurva. Den liknar den hos normalt naturgrus. För mikrobruket siktades 0–0,125 mm fraktionen fram. Materialens kompktdensitet mättes med pyknometer och sedan studerades två av fraktionerna, 0,125/0,25 mm och 0,5/1,0 mm, med avseende på flödestal och hålrumsvolym vid lös packning. Dessa mätningar ger ett indirekt mått på kornformen i nämnda fraktioner och kan användas vid en relativ jämförelse.

Den reologiska utvärderingen utfördes genom att blanda standardbruk (0–2 mm) innehållande de olika ballastmaterialen. Receptet utgår från en referenskurva. Med en referenskurva får man bort effekten av storleksfördelningen vilket ger en bedömning av effekt av kornform. För mikrobruket (se avsnitt 2.2.2) användes det material som passerade 0,125 mm sikten. (Ingen siktning gjordes på 0,063 mm.)

Kornformen är till stor del bergartberoende, speciellt i de finare fraktionerna. Genom att jämföra resultaten med resultat från en databas, baserad på referenskurvan, innehållande ett mer omfattande undersökningsmaterial kan en kvalificerad bedömning av de olika materialens lämplighet som betongballast utföras (Lagerblad et al. 2008).

Då bruksfasen utgör i storleksordningen 50–70 volymprocent av den totala betongvolymen samt att en betydande del av den totala ytan återfinns i fraktionen 0/2 mm ger en utvärdering av denna fraktion i bruk en förhållandevis bra indikation på om det lämpar sig för betongtillverkning (Lagerblad et al. 2008). Mikrobruket ger information om mikrobruket vilket är väsentligt för proportionering och minimering av cementhalt i betongen.

2.1 Reologi-arbetbarhet

Reologin har dels mätts för bruk (0–2 mm) dels för mikrobruk (0–0,125 mm).

Brukens reologiska egenskaper bestämdes med hjälp av en viskometer, ConTec 4-SCC, se figur 2-1. Dessa försök kräver dock en relativt stor mängd material och passar därför för provtagning av bergtäkt eller ytberg som är lätt att provta. Förutom berghällar måste man därför förlita sig på borrhälsor där viskometern ConTec 4-SCC skulle kräva för mycket material. Därför har CBI undersökt möjligheten att använda en mindre, nyligen införskaffad apparat, benämnd MARS III, se figur 2-1. I undersökningarna har prov parallellkörts i båda viskometerarna. Resultaten (figur 4-6) visar att de ger liknande resultat. För pastaförsöken har en mindre viskometer (Physica MCR300) använts.

Viskometern kan, beroende på det mätsystem som väljs (cylindergeometrin), användas för mätningar på suspensioner med partikelstorlekar från de som förekommer i pastafasen (<1 mm) upp till betong med D_{max} 16 mm. Mätsystemet som används vid bestämning av reologin hos bruk består av koncentriska cylindrar där innercylindern består av ribbor, medan den yttre är beklädd med vågformat gummi.



Figur 2-1. Viskometer, ConTec 4-SCC, för reologisk karakterisering av bruk (tv) och Viskometer, MARS III, för reologisk karakterisering av bruk (th).

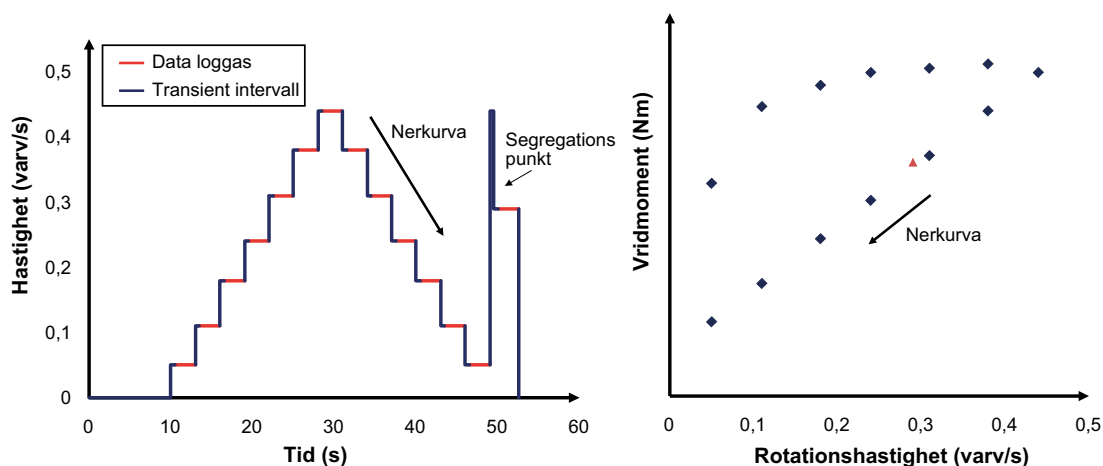
Att de båda cylinderytorna inte är släta beror på att man måste kunna skjuva betongen utan att glidytor uppstår vid cylinderytorna. Vid mätningen skjuvas bruket mellan cylindrarna genom att yttercylindern roteras enligt en förbestämd hastighetsprofil, se figur 2-3. Det genererade vridmomentet som innercylindern utsätts för registreras kontinuerligt av en lastcell som ligger an mot cylindern. Rotationshastigheten och vridmomentet kan räknas om till skjuvhastighet (s-1) respektive skjuvspänning (Pa) genom beaktande av mätsystemets geometri.

Genom att applicera Bingham's vätskemodell, ekvation 2-1, på flytkurvans nerkurva kan brukets flytgränsspänning (Pa) och plastiska viskositet (Pa s) beräknas.

$$\tau = \tau_0 + \gamma_{pl} \cdot \dot{\gamma}$$

Ekvation 2-1

Flytgränsspänningen ger teoretisk ett mått på den spänning som måste överskridas i materialet innan det kan börja flyta medan den plastiska viskositeten beskriver hur trögt bruket flyter när det väl är satt i rörelse. I praktiken relaterar flytgränsspänningen till hur långt ett Bingham-material kan deformeras eller flyta innan det stannar, dvs när det går från rörelse till vila. Den plastiska viskositeten kan betraktas som ett mått på materialets inre friktion. Ett material med högre viskositet flyter långsammare än ett med mindre viskositet, under likvärdiga kraftförhållanden.



Figur 2-3. Rotationshastighet vs. tid (vänster) samt så kallad flytkurva vid reologisk utvärdering av bruk med ConTec 4-SCC (höger).

Viskositeten påverkas av flera faktorer av vilka partiklarnas kornform och packningsförmåga är av stor betydelse. En annan viktig faktor är partiklarnas specifika yta då denna parameter påverkar vattenbehovet. Ju mer vatten som adsorberas på partikelytorna desto mindre mängd vatten blir tillgängligt för suspensionen. Bruk som innehåller krossad ballast har därför oftast en högre viskositet än motsvarande bruk med naturgrus, såväl beroende på kornform som på packning och partikelfinhet.

Vid utvärdering av olika krossballastmaterial, speciellt med samma konstruerade partikelkurva, är den plastiska viskositeten därför en indikator på kornformen hos de olika materialen. Om ett ballastmaterial genererar bruk med hög viskositet kommer det sannolikt även ge en viskös betong. En alltför viskös betong är tung att arbeta med och svårvibrerad. Inverkan av partikelfinhet kan kvantifieras då även reologin för bruk med sammansatt ballast enligt standardsiktkurva mäts.

2.2 Recept

2.2.1 Bruk (0–2 mm)

Cementet som använts genomgående är Cementas Byggcement från Skövde, CEM II/A-LL 42,5R, med den specifika ytan $430 \text{ m}^2/\text{kg}$ (Blaine).

Inga tillsatsmedel har använts, så förutom ballast och cement har endast vatten adderats.

Då provningarna utförs på 0/2 mm fraktionen avskiljdes överkorn genom siktning på en 2 mm hålsikt. Vidare anpassades materialens gradering till en referenskurva inför bruksförsöken. Det recept som använts innehöll per liter bruk 634,6 gram cement, 1 145 gram ballast och 361,7 gram vatten. Då olika typer av berg har olika densitet så justerades mängden så att det motsvarar volymen för en granit med en densitet på $2,65 \text{ kg}/\text{dm}^3$.

2.2.2 Mikrobruk (0–0,125 mm)

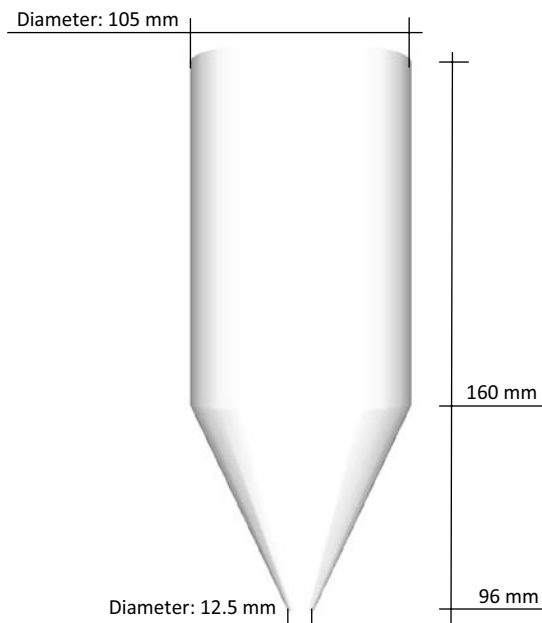
I denna undersökning har även finballasten, ballast som passerar 0,125 mm sikten, analyserats. Denna fraktion benämns ofta som filler även om definitionen på filler enligt norm är partiklar mindre än 0,063 mm. I den färska betongen är cement en partikel. Undersökningarna har utförts i en pastaviskosimeter. Den utprovade blandningen innehåller i basen 1 000 gram cement (byggcement) och 450 gram vatten. Det har även tillsatts 5 gram superplasticerare (Glenium). I undersökningen har sedan, på basis av volym, filler successivt tillsatts. I de utförda försöken har 40 volymprocent (baserat på cement) filler tillsatts.

Reologin hos mikrobruket har även testats med hjälp av utflyt i en minikon. Detta är en metod där pastan placeras i en minikon (i motsats till sättmått hos betong som sker i en stor kon). Därefter lyfts konen och man mäter hur långt mikrobruket flyter ut på en glasskiva. Ett långt utflyt indikerar bra filler.

2.3 Flödestal och hålrumsvolym

Flödestalet är den tid i sekunder det tar för en given mängd sandmaterial att rinna igenom en tratt med definierade mått, se figur 2-4. Konens nedre öppning täpps till och materialet fylls därefter i konen. Med hjälp av ett tidtagarur mäts den tid det tar för sanden att rinna genom trattens öppning från det att den nedre öppningen öppnas till det att ljus syns i öppningen. Liksom för många andra metoder påverkas resultatet av materialets gradering varför jämförelser helst skall utföras med jämförbara siktcurvor eller helst på enskilda storleksfraktioner. Sfäriska släta partiklar rinner lättare och snabbare igenom tratten än flakiga, stängliga eller råa partiklar. Likaså rinner stora partiklar långsammare igenom tratten än små partiklar vid samma diameter på trattens öppning. Ett material med högt flödestal indikerar således en flakigare/stängligare kornform vilket är negativt.

I detta arbete har flödestalet bestämts på de enskilda fraktionerna 0,125/0,25 mm samt 0,5/1,0 mm. Den enskilda fraktionen ger ett bättre värde än hela materialet (Lagerblad et al. 2008). Den uppvägsda mängden material var 500 g och mätningen utfördes 5 gånger per material och fraktion. För de basiska bergarterna som har en högre densitet än övriga har vikten räknats om så att den motsvarar samma volym som för bergarterna med en lägre densitet.



Figur 2-4. Dimensioner för tratt avsedd för mätning av flödestal.

Trattmodellen som användes är tillverkad i USA, men har sitt ursprung i Nya Zeeland. Dess dimensioner framgår av figur 2-4.

Vid bestämningen av flödestalet samlas materialet upp i en liten cylinder under tratten för att även mäta lös packning samt hålrumsvolymen. Sandens fallhöjd är då 110 mm och cylinderns mått mäter 85 mm i höjd och 39 mm i diameter. Hålrumsvolymen bestämdes liksom flödestalet fem gånger per material och fraktion.

2.4 Petrografisk analys

Följande undersökningar och analyser har genomförts på de olika bergarterna:

- Visuell klassificering.
- Det har tillverkats tunnslip av fraktionen 0,125–0,25 mm som bakats in i epoxi och sedan undersökts i polarisationsmikroskop. Mineralogin har beräknats genom punktanalys (point counting).
- Från en del prov har partiklar i fraktionen 0,063–0,125 mm bakats in i epoxi. Det stelade provet har sågats och ytan har högpolerats för analys i svepelektronmikroskop (SEM). Detta medför en tvådimensionell analys. Dels har det utförts en kemisk analys på hela ytan och dels har olika mineral identifierats med energidispersiv teknik (EDAX), och dels har det tagits bilder på den polarade ytan.

3 Bedömningskriterier

I detta arbete grundar sig bedömningen av ballastmaterialens lämplighet som betongballast på resultaten från bruksförsöken (se avsnitt 2.2.1). Då bruksfasen utgör i storleksordningen 50–70 volymprocent av totala betongvolymen samt att en betydande del av den totala ytan återfinns där ger utvärdering av 0/2 mm fraktionen i ett bruk en förhållandevis bra indikation om det lämpar sig för betongtillverkning. De grövre fraktionerna kan man bearbeta genom ”kubisering” (se avsnitt 1.3)

Krossballast innehåller generellt mera filler än naturballast (se figur 1-2). I viss mån kan detta korrigeras med superplasticerare, som är ytaktiva medel som hjälper till med dispergering och lösgör vatten. För att kunna jämföra med annan ballast och värdera ballastkvalitet fordras dock en standardiserad kornkurva.

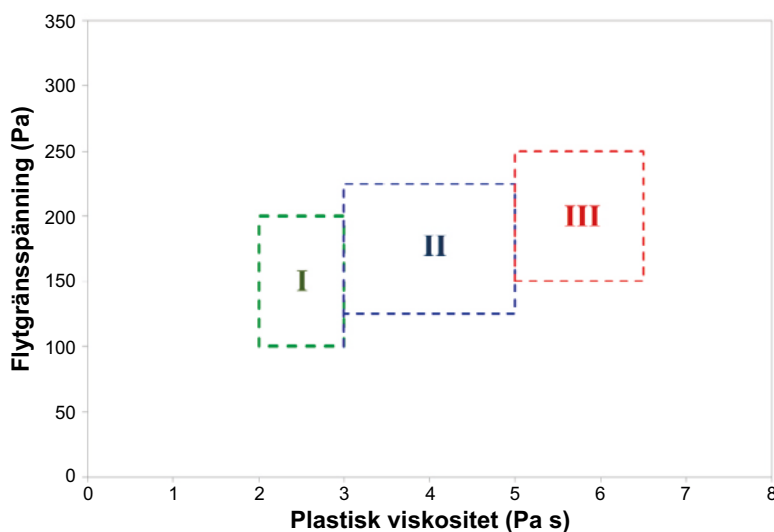
Den petrografiska analysen tillsammans med resultaten från flödestal och hålrumsmätningarna används för att förklara de reologiska egenskaperna för bruk med en specifik ballast och utgör även viktig information vid förslag på lämplig förbättringsåtgärd. Utöver de materialanalyser som utförts kan det ibland vara nödvändigt med kompletterande analyser, t ex finmaterialets specifik yta som påverkar de reologiska egenskaperna (Lagerblad et al. 2008). En bedömning om det kan vara problem med exempelvis leror kan dock även göras i SEM eller i tunnslip.

Vid bedömningen delas ballastmaterialen in tre olika klasser – Klass I, Klass II och Klass III – utifrån resultaten i bruksförsöken. Gränsområdena för de olika klasserna framgår av figur 3-1 och förklaras nedan.

Klass I: Inom detta område återfinns vanligtvis naturgrus och alternativa ballastmaterial med närliggande egenskaper. Alternativa ballastmaterial som faller inom detta område har goda möjligheter att ersätta naturgrus utan att vatten- och cementbehovet ökar signifikant. Naturgrus med lågt vatten- och cementbehov faller inom viskositet = 1–2 Pa s och flytgränsspänning = 100–150 Pa.

Klass II: Inom detta område återfinns medelbra alternativa ballastmaterial från krossat berg. Ballastmaterialen har ett större vatten- och cementbehov och kommer vid användning som betongballast ge betong med högre viskositet och sämre arbetbarhet än dito med naturballast. De utgör dock ett bra användbart alternativ till naturgrus vid betongtillverkning och kan med hjälp av superplasticerare ge liknande egenskaper som naturballast.

Klass III: Ballastmaterial vars reologi faller inom detta område har ett relativt stort vatten- och cementbehov vid användning som betongballast. Ballastmaterial inom denna klass kan resultera i viskös och svårbearbetad betong.



Figur 3-1. Bedömningsklasser vid bedömning av 0/2 mm ballastmaterials lämplighet som betongballast.

Observera att klassindelningen ovan är grov och endast ger en indikation på hur ballastmaterialet lämpar sig som betongballast. Vidare gäller den endast med använd brukssammansättning och utan tillsats av flytmedel. Gränserna är inte heller skarpa utan de går in i varandra. För enskilda ballastmaterial kan även flytgränsspänningar utanför det definierade området förekomma. I dessa fall beror det oftast på avvikande finhet hos finmaterialet, dvs att den specifika ytan är mindre eller större än i vanliga ballastmaterial. Vid höga flytgränsspänningar kan tvättning vara ett alternativ om vattenbehovet blir orimligt högt. Indelningen kan även komma att revideras då ytterligare kunskap och erfarenheter från olika forsknings och utvecklingsprojekt erhålls. Vidare kan lämpligheten även påverkas av vilken betongkvalitet ballastmaterialet skall användas till. För en helt säker bedömning av lämpligheten krävs alltid betongförsök med större ballast.

4 Resultat

4.1 Provtagning och petrografi

De bergarter som finns i det område inom vilket slutförvaret för använt kärnbränsle skall placeras finns beskrivet i SKB (2008, 2013) och Stephens et al. (2007). Slutförvaret kommer att placeras i en tektonisk lins. Området domineras av granitiska bergarter. Det är enligt rapporten en metamorfiserad medelkornig granit (till granodiorit). Det finns enligt den geologiska kartan även inslag av en metamorfiserad tonalit till granodiorit. I randzonen kan man även finna en del basiska bergarter. Speciellt i SFR området kan man finna svekofenniska sura metavulkaniter (leptiter). Generellt är bergarterna i Forsmarksområdet relativt odeformerade utom i närheten till deformationszonerna som kommer att ligga i periferin till depositionsplatsen. I SFR området är bergarterna betydligt mera deformerade och omvandlade. Man kan förmoda att det mesta av det uttagna berget i både Forsmark och SFR området kommer att bestå av medelkornig granit.

Provtagningen omfattar dels tre bergarthällar med granitiska bergarter dels prov från borrhärlar. Man kan även finna mindre mängder pegmatit och en mera finkornig leptitisk bergart. Alla de provtagna bergarterna är granitiska till sin kemiska sammansättning med undantag av FM1 som är mera granodioritisk. Mängden silika och därmed kvartshalten är något lägre. Detta medför även att biotithalten är högre.

4.1.1 Forsmark

I området tänkt för slutförvaret för använt kärnbränsle provtogs först tre hällar i målområdet.

Prov FM 1 vid borrhål HFM 18 Karta i Figure 2-1 i SKB (2008)

Grå medelkornig gnejsig granodioritisk bergart med pegmatitinslag. Ganska stor häll.

Prov FM 2 vid borrhål HFM26 Karta i Figure 2-1 i SKB (2008)

Röd medelkornig gnejsgranit. Massiv mindre häll.

Prov FM 3 vid borrhål DS2 Karta i Figure 2-1 i SKB (2008)

Röd relativt grovkornig gnejsgranit. Ganska stor häll.

För undersökningarna provtogs sju stycken borrhärlar som går igenom den tänkta deponin på 500 m djup.

BK 1. KFM 01 D 655–657 m. Granit-Gnejsgranit. Samma i hela lådan.

BK 2. KFM 01D 630–633 m. Medelgrov gnejsgranit med små mafiska (mörka) korn. Biotitbandning tvärs kärnan.

BK 3. KFM 02A 645–647 m. Medelgrov gnejsig granit.

BK 4. KFM 02A 616–618 m. Tre typer. Finkornig leptitisk. Små tunna pegmatitgångar och en gnejsgranit liknande BK 3.

BK 5. KFM 03A 543–545 m. Medelkornig röd gnejsgranit. Finns tunna stråk av biotit. Hela lådan.

BK 6. KFM 08C 580–583 m. Medelkornig röd gnejsgranit.

BK 7. KFM 08C 588–590 m Medelkornig ljusare variant av gnejsgranit.



Figur 4-1. Foton av borrkärnor från Forsmarksområdet.

Tabell. 4-1. Kemiska analyser från SEM-EDAX. Polerade ytor av fraktionen 0,063–0,125 mm inbakade i epoxi. Analyserna är normaliserade till 100 % oxid. Det är några % osäkerhet i analyserna. nd = ej detekterat.

Prov	FM 1	FM 2	FM 3	BK 1	BK 2	BK 3	BK 4	BK 5	BK 6	BK 7
Na ₂ O	1,4	1,2	1,2	0,9	0,9	0,7	1,2	0,9	1,1	1,0
MgO	1,1	0,8	0,4	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8	0,2	nd
Al ₂ O ₃	16,0	13,7	13,6	13,1	14,0	12,2	14,3	13,0	13,5	13,8
SiO ₂	67,1	76,2	77,8	76,0	75,8	76,0	76,8	77,7	76,4	77,7
K ₂ O	2,3	3,3	3,8	3,8	3,7	4,2	2,5	4,0	4,2	3,5
CaO	3,9	1,5	1,3	1,6	1,6	1,7	2,1	1,4	1,4	1,7
TiO ₂	nd	nd	nd	1,1	0,7	0,4	nd	0,2	nd	0,5
Fe ₂ O ₃	8,2	3,3	2,0	3,1	2,6	2,4	2,7	2,6	3,2	2,4

Tabell 4-2. Punkträkning av mineral i fraktionen 0,125–0,25 mm inbakade i epoxi i tunnslip. 200 punkter är räknade. Materialet från borrkärnorna har även detta analyserats i tunnslip men det har endast gjorts en översiktlig visuell identifiering och uppskattning av mängd. Fsp = fältspat både plagioklas och alkalifältspat. Hbl = hornblände. Bio = Biotit. Saliskt är ljus mineral (kvarts, fältspat). Mafiskt = mörkt mineral (Hbl, Bio). Opakt = ogenomskinligt mineral (oftast magnetit).

Prov	FM 1	FM 2	FM 3
Kvarts	48 %	76,5 %	49 %
Fsp	21,5	10,5	40,5
Hbl	3,5	0,5	
Bio	13,5	5,5	3,0
Granat	1,5		
Opakt	1,5		1,0
Salisk	8,5	4,0	4,5
Mafisk	2,0	3,0	0,5
Små mängder			Hbl Klorit 1,5 %

Tabell 4-3. Visuell identifiering av mineral och uppskattning av mineralmängd.

Prov		
BK 1	Huvudmineral Små mängder	Kvarts, fältspat, 1–2 % biotit Granat, hornblände, magnetit
BK 2	Huvudmineral Små mängder	Kvarts, fältspat, 1–2 % biotit Granat, hornblände, magnetit
BK3	Huvudmineral Små mängder	Kvarts, fältspat, 1–2 % biotit, Klorit (kloritiserad biotit), magnetit
BK4	Huvudmineral Små mängder	Kvarts, fältspat, 2–3 % biotit Hornblände magnetit
BK5	Huvudmineral Små mängder	kvarts, fältspat, 3–4 % biotit Hornblände, magnetit
BK6	Huvudmineral Små mängder	Kvarts, fältspat, 1–2 % biotit Klorit (kloritiserad biotit)
BK7	Huvudmineral Små mängder	Kvarts, fältspat, 1–2 % biotit, Klorit (kloritiserad biotit), magnetit, titanit

4.1.2 SFR

De första 7 proverna (SFR) togs vid upplag för utsprängt berg från SFR 1. De två sista från borrkärnor (BK) från tänkta utrymmet för SFR 3.

Prov SFR 1. Röd granska grov granit.

Prov SFR 2. Pegmatitisk granit.

Prov SFR 3. Medel till grovkornig röd granit.

Prov SFR 4. Finkornig röd granit.

Prov SFR 5. Grå fin till medelkornig granit.

Prov SFR 6. Basisk bergart-Amfibolit.

Prov SFR 7. Grovkornig röd granit.

Prov BK 8. KFR 114 1,18–1,62 och 1,77–2,20 m. Finkornig leptitisk bergart.

Prov BK 9. KFR 112 1,12–1,83. Sprucken finkornig granitisk bergart.

Tabell 4-4. Kemiska analyser från SEM-EDAX. Polerade ytor av 0,063–0,125 mm inbakade i epoxi. Analyserna är normaliserade till 100 % oxid. Det är några % osäkerhet i analyserna men de ger en god indikation på bergartssammansättningen. nd = ej detekterat.

Prov	SFR 1	SFR 2	SFR 3	SFR 4	SFR 5	SFR 6	SFR 7	BK 8	BK 9
Na ₂ O	1,1	1,1	0,7	0,8	1,0	0,6	0,8	1,3	1,1
MgO	0,7	0,5	0,5	0,7	1,0	6,8	0,6	0,4	0,8
Al ₂ O ₃	13,3	14,5	12,3	13,0	12,6	19,9	14,5	13,8	13,7
SiO ₂	77,3	76,3	76,4	76,2	76,2	47,6	75,0	75,2	75,4
K ₂ O	3,2	4,6	4,0	4,2	2,8	1,4	5,6	1,7	2,7
CaO	1,3	1,1	1,1	1,1		9,7	1,0	2,0	1,7
TiO ₂	nd	0,2	0,4	0,5	0,5	0,9	0,4	0,6	0,4
Fe ₂ O ₃	3,2	1,8	2,6	3,4	4,9	13,1	2,2	5,6	4,4

Tabell 4-5. Punkträkning av mineral i fraktionen 0,125–0,25 mm inbakade i epoxi i tunnslip. 200 punkter är räknade. Nomenklatur i tabell 4-2.

Prov	SFR 1	SFR 2	SFR 3	SFR 4	SFR 5	SFR 6	SFR 7	BK 8	BK 9
Kvarts	53 %	58	59	50,5	65	2,5	53,5	54,5	42
Fsp	33,5	36,5	30	35	15,5	33,5	42	19	31,5
Hbl	5,5				2	42,5			1
Bio	1		1,5	5	12	9,5	1	10	1
Opakt		1	2,5	1,5	1,5	1	0,5	3	2
Salisk	4	4	5,5	4,5	3	8,5	2	10,5	15,5
Mafisk	2,5	0,5	1,5	3	2	2,5	1	2	3,5
Små mängder	Musk Kalcit Klorit	Musk Klorit	Musk Klorit	Musk Hbl Granat	Musk Klorit	Klorit Hbl	Musk Hbl	Musk Klorit	Klorit 4%



Figur 4-2. Borrkärnor från berg i SFR 3.

4.2 Reologi

I de olika diagrammen har proven från Forsmark och SFR till största delen slagits samman för att få en helhetsbild. Det har även infogats resultat från andra undersökningar för att åskådliggöra krossprodukternas kvalitet i ett större perspektiv. Andra undersökningar har visat att spindelkrossen vid CBI ger relativt dåliga produkter. Värdena speciellt från bruksproverna ger därför relativt dåliga värden, dvs proverna är något bättre än resultaten visar.

4.2.1 Forsmark

Forsmark 1–3 har provtagits i håll och ganska mycket material har erhållits. De har därför kunnat testas i den stora reometern ConTec 4 (figur 4-3). Borrkärnorna ger mindre material och de har därför testats i den lilla reometern MARS III (figur 4-4). Samma prov som testats i ConTec 4 har även testats i MARS III och de ger liknande värden (figur 4-5). De reologiska värdena visar ballast som ligger inom klass III. Forsmark 3 ligger strax utanför och Forsmark 4 klart utanför i ConTec 4 men inom Klass III i MARS III. Borrkärnorna ligger huvudsakligen inom klass II i MARS III.

Borrkärnorna ger bättre värden än krossmaterialet från hållarna. Detta kan bero på krossteknik där de tre FM togs i håll och först käftkrossades och därefter finkrossades i en spindelkross (variant av konkross) medan borrkärnorna krossades först för hand och därefter i spindelkrossen. Resultaten diskuteras senare.

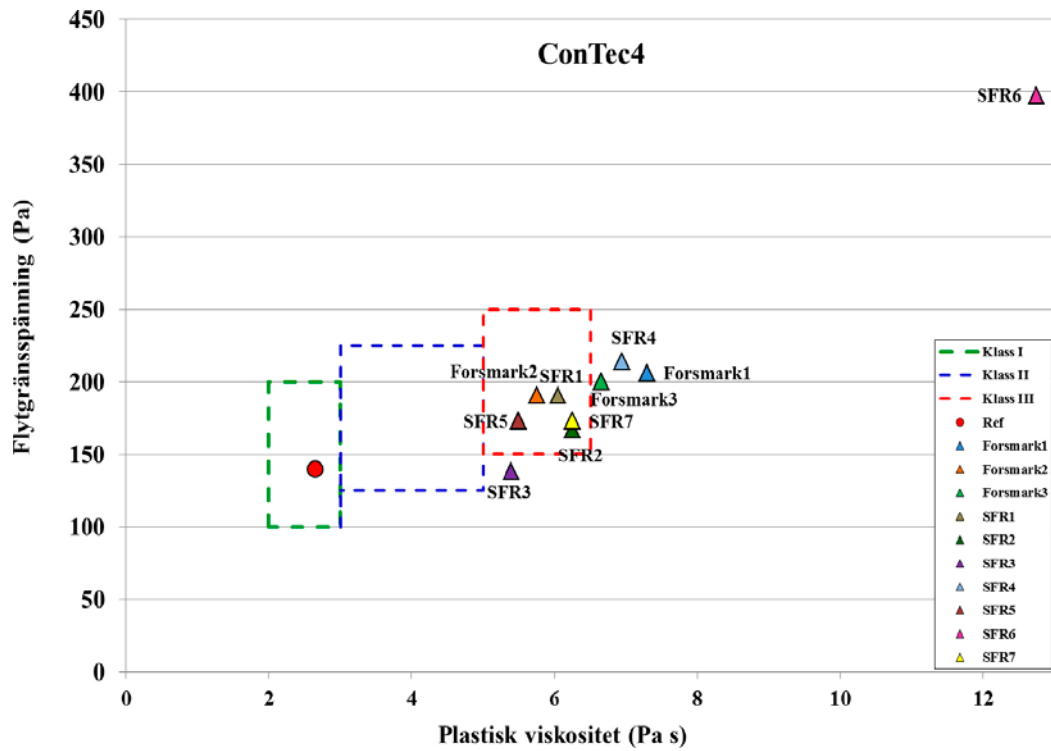
När det gäller finmaterialet och mikrobruket ($<0,125$ mm) så ger proven från Forsmark en flytgränsspänning strax över 10 och en plastisk viskositet mellan 0,5 och 1 (figur 4-8). Vid jämförelse mellan material från en större undersökning (figur 4-9) så tyder detta på att krossprodukterna från Forsmark har ett bra finmaterial. I minikon (figur 4-13) har de tre mikrobruken med material Forsmark relativt bra värde. Både när det gäller mikrobruket och bruket spelar kornstorleksfördelningen stor roll. Har bruket för mycket filler ($<0,063$ mm) så kommer cementet att samverka så det blir för mycket partiklar i samma storleksordning vilket ger sämre resultat. Vidare resonemang finns i diskussionsavsnittet.

4.2.2 SFR

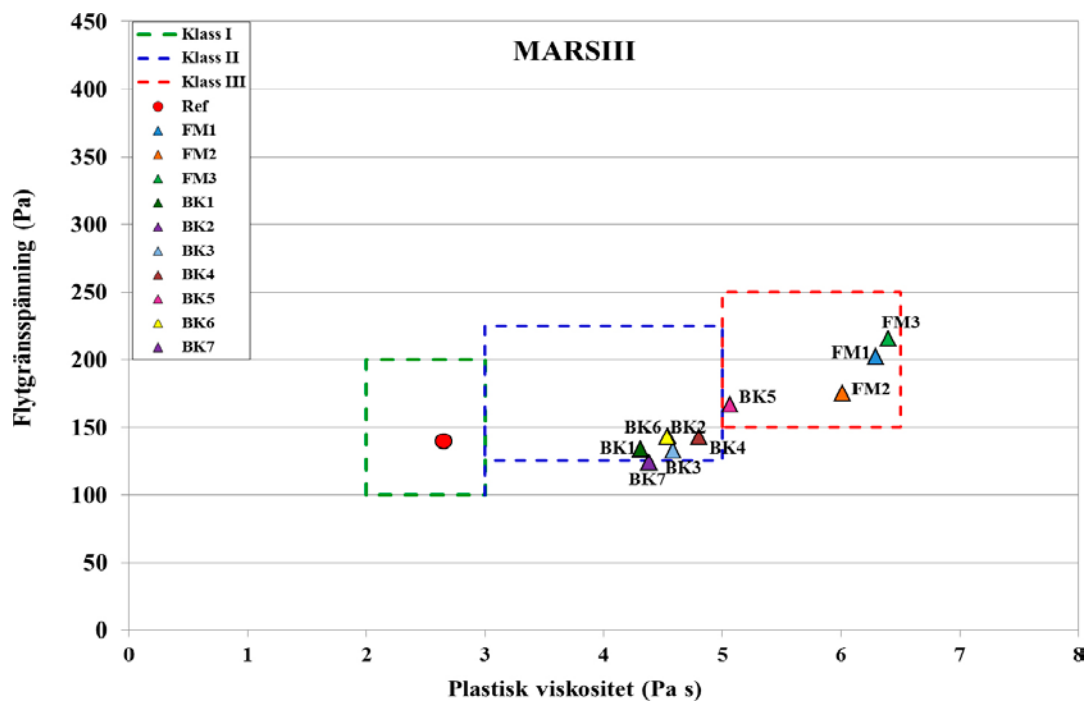
Från SFR (SFR 1–7) togs sju större prov från bergupplag (piren) som kördes i ConTec 4 och Mars II. Av dessa ligger fem inom klass III och en strax utanför. SFR 6 är klart besvärlig. Även i MARS III så ligger SFR 6 klart utanför. Borrkärna SFR 6 som är den enda basiska bergarten är även här klart sämre än de andra.

När det gäller finmaterialet och mikrobruket ($<0,125$ mm) så ger proven från SFR en flytgränsspänning strax över 10 och en plastisk viskositet mellan 0,5 och 1 (figur 4-3 och 4-8). Det enda undantaget är SFR 6 den basiska bergarten som är klart sämre. Försök gjordes även i den lilla reometern (Mars III). I dessa försök ingår även prov en från upplaget. Vid jämförelse mellan material från en större undersökning (figur 4-7) så tyder detta på att krossprodukterna från SFR har ett bra finmaterial.

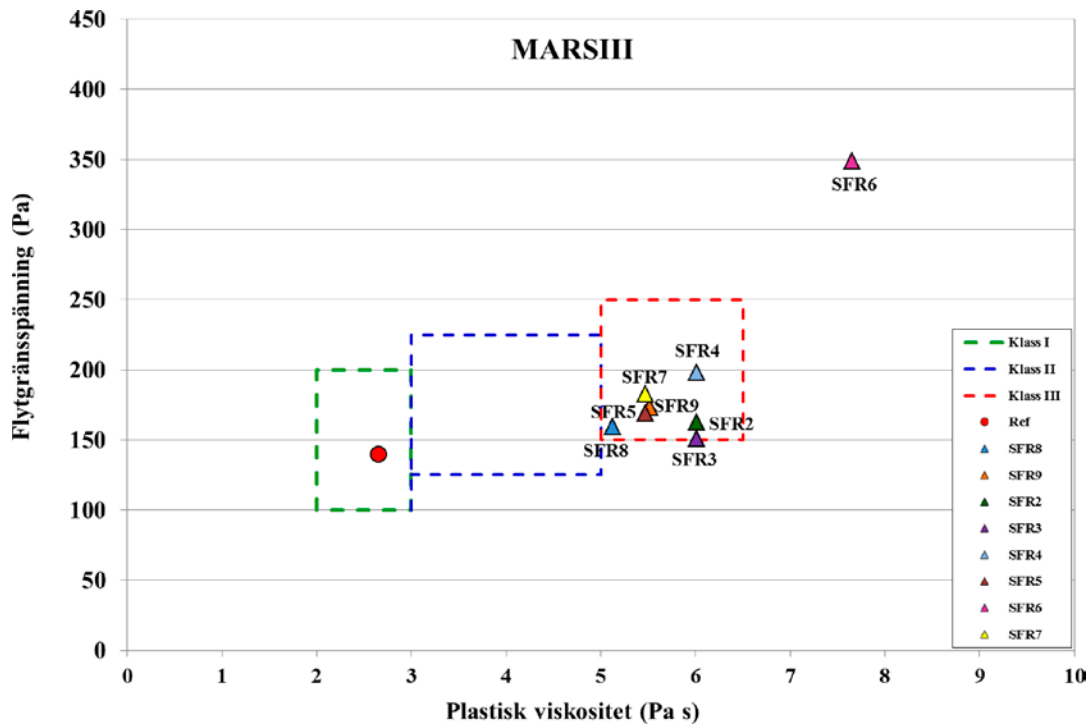
I minikon (figur 4-13) har de sju mikrobruken med material från SFR relativt bra värde. Som tidigare är dock prov SFR 6 med basiskt berg sämre än de andra. När det gäller mikrobruket spelar kornstorleksfördelningen stor roll. Har bruket för mycket filler ($<0,063$ mm) så kommer cementet att samverka så det blir för mycket partiklar i samma storleksordning vilket ger sämre resultat. Vidare resonemang finns i diskussionsavsnittet.



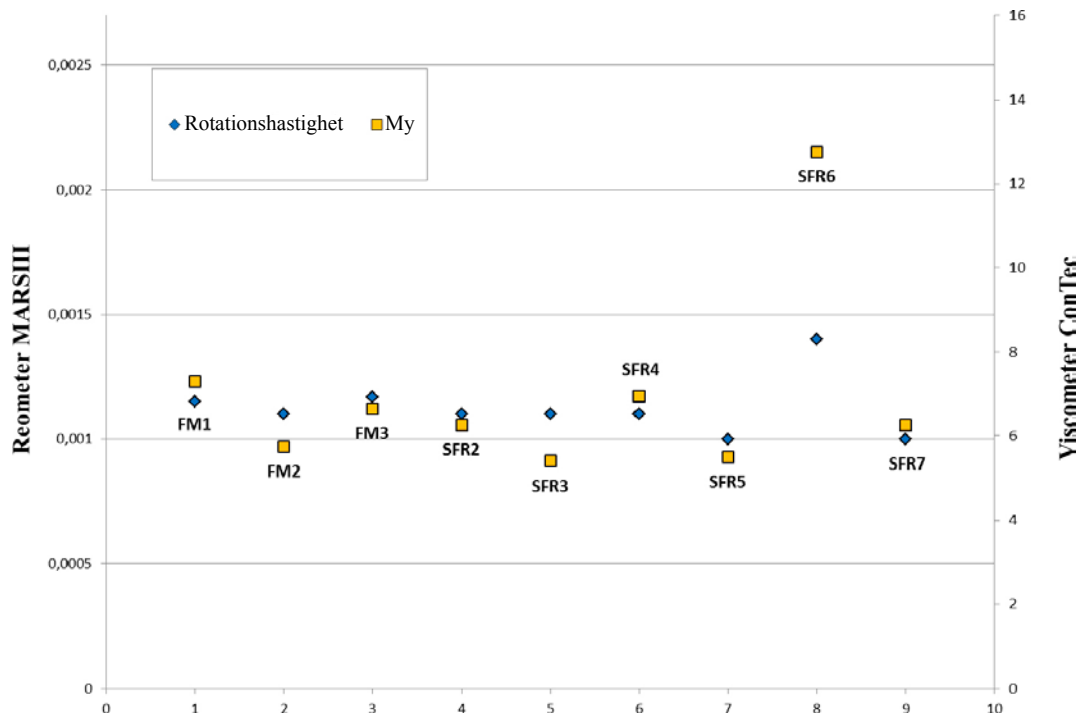
Figur 4-3. Reologiska mätresultat med ConTec 4. Stora reometern. Referensprovet är en typisk mellansvensk glaciofluvial naturballast.



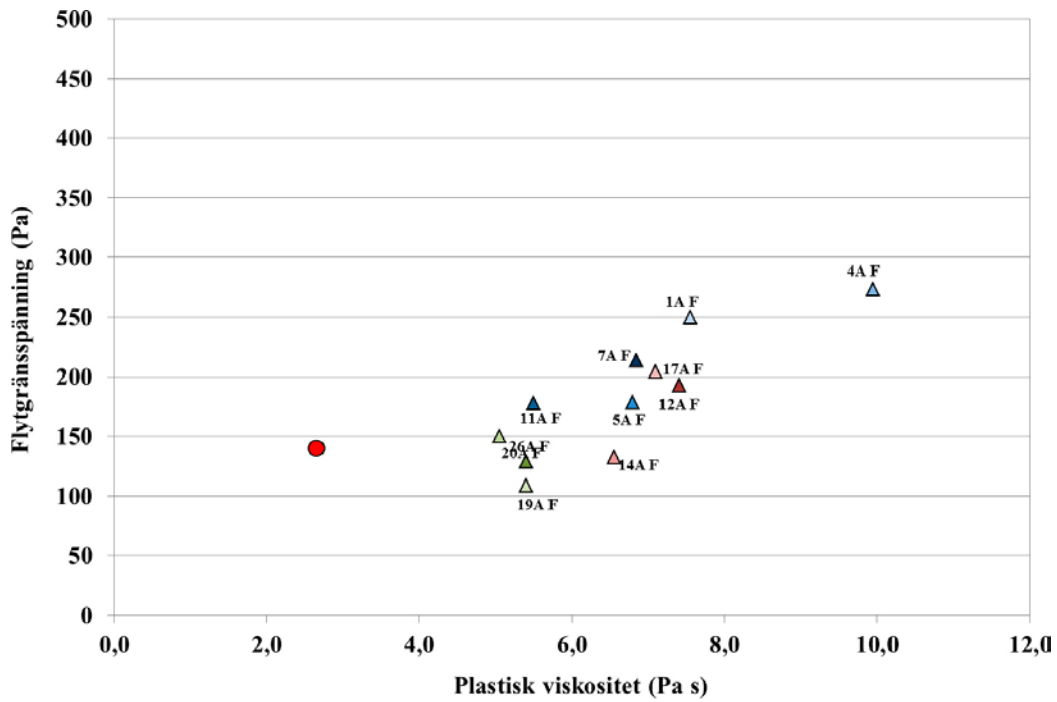
Figur 4-4. Reologiska mätresultat från MARS III. Forsmark. Lilla reometern. Referensprovet är en typisk mellansvensk glaciofluvial naturballast.



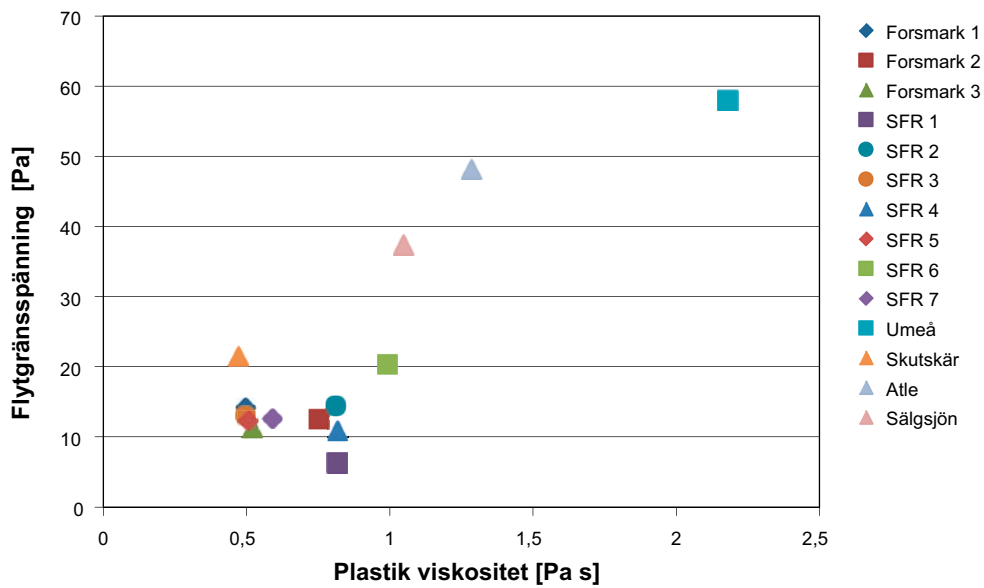
Figur 4-5. Reologiska mätresultat från MARS III med prov från SFR. Lilla reometern. Referensprovet är en typisk mellansvenskt glaciofluvial naturballast.



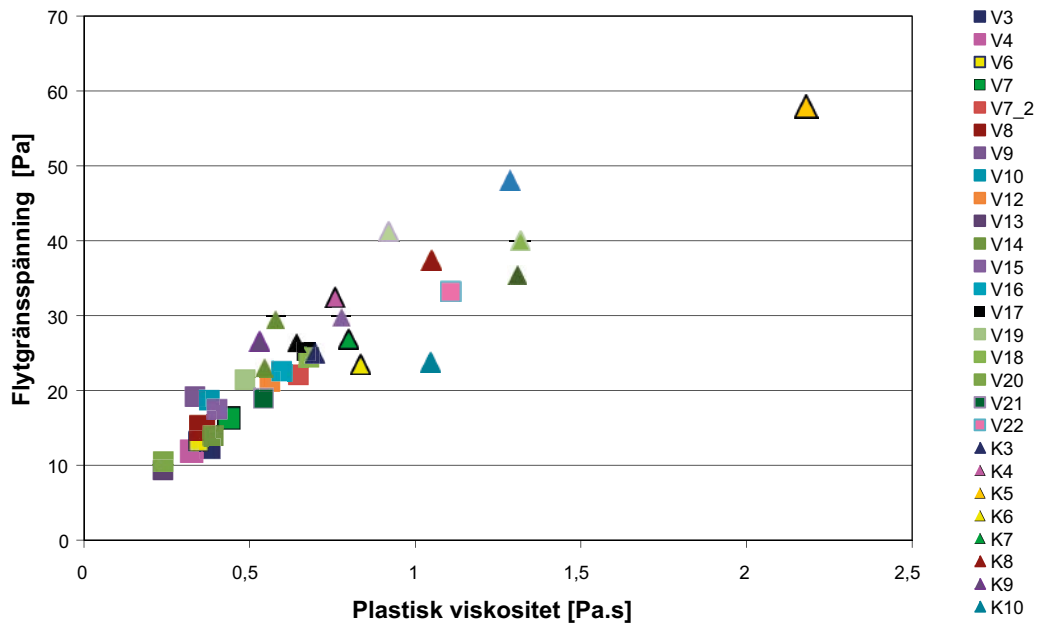
Figur 4-6. Prov med samma bruksblandning i ConTec 4 (stora reometern) och MARS 3 (lilla reometern). Med utgångspunkt från korrelationen har mätvärdena från MARS III fått samma benämning som de från ConTec 4.



Figur 4-7. Prov från Mälardalen. Bruksblandning i ConTec 4. Huvudsakligen graniter. Referensprovet är en typisk mellansvensk glaciofluvial naturballast.



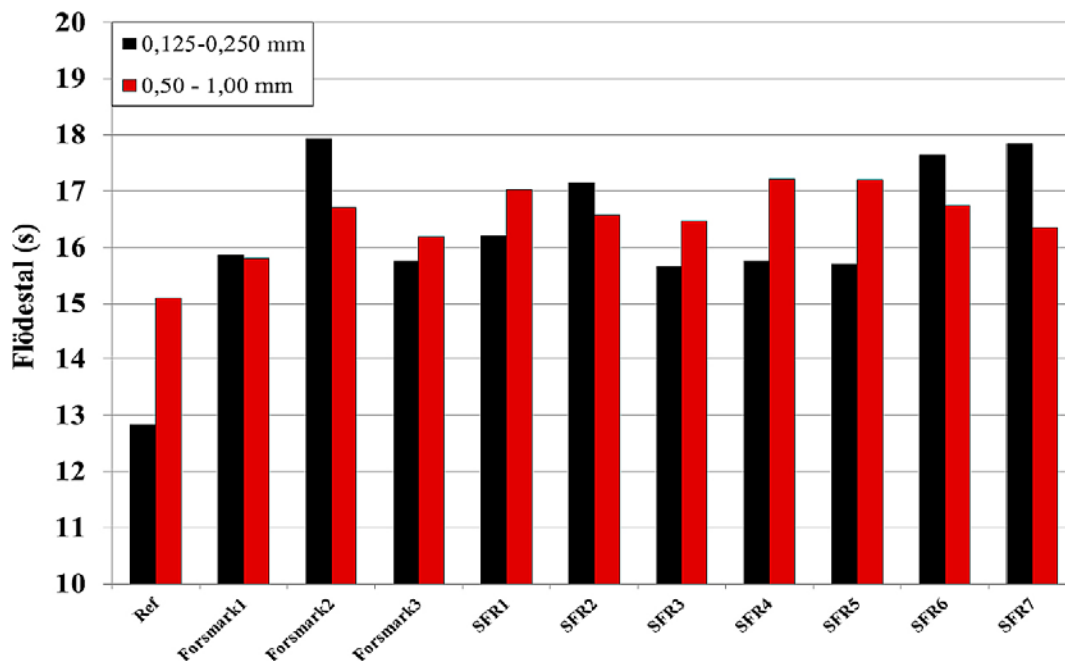
Figur 4-8. Reologiska mätresultat för mikrobruk. Granitiska bergarter. 40 % fyller. Proverna från Umeå, Skutskär, Atle och Sälgsjön kommer från ett forskningsprojekt med krossballast (Vinnova 2015) och är ämnade att ge en referens för sämre ballast.



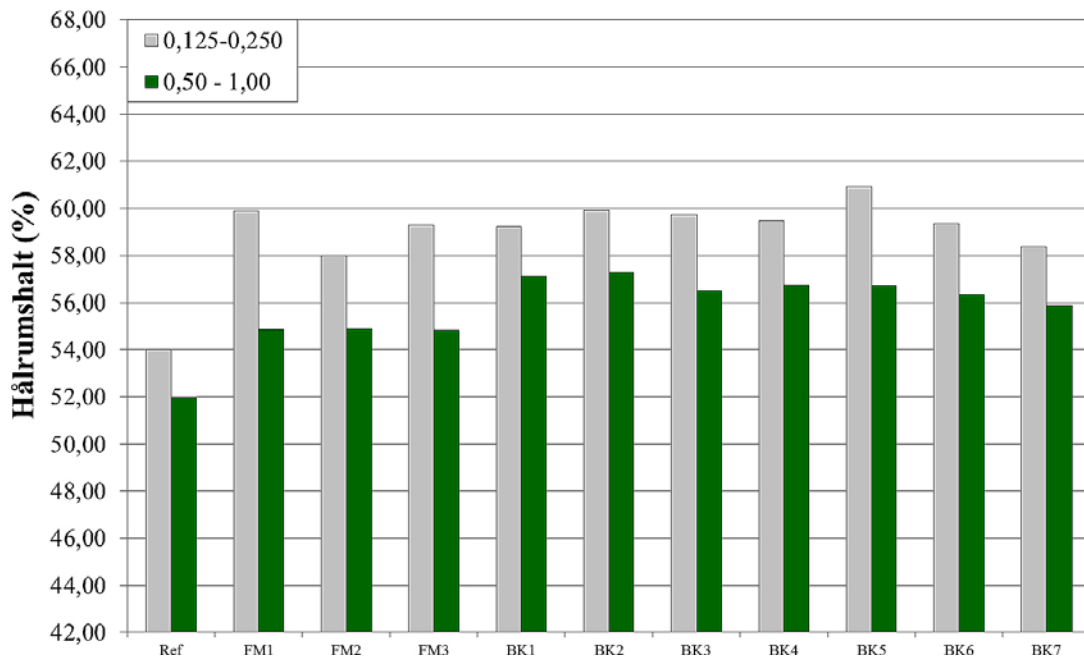
Figur 4-9. Reologiska mätresultat för mikrobruk. Resultat ur Vinnova (2015). De flesta är från granitiska bergarter. K = konkrossade. V = VSI krossade. 40 % filler. Diagrammet är ägnat att visa en typisk spridning.

4.3 Materialegenskap

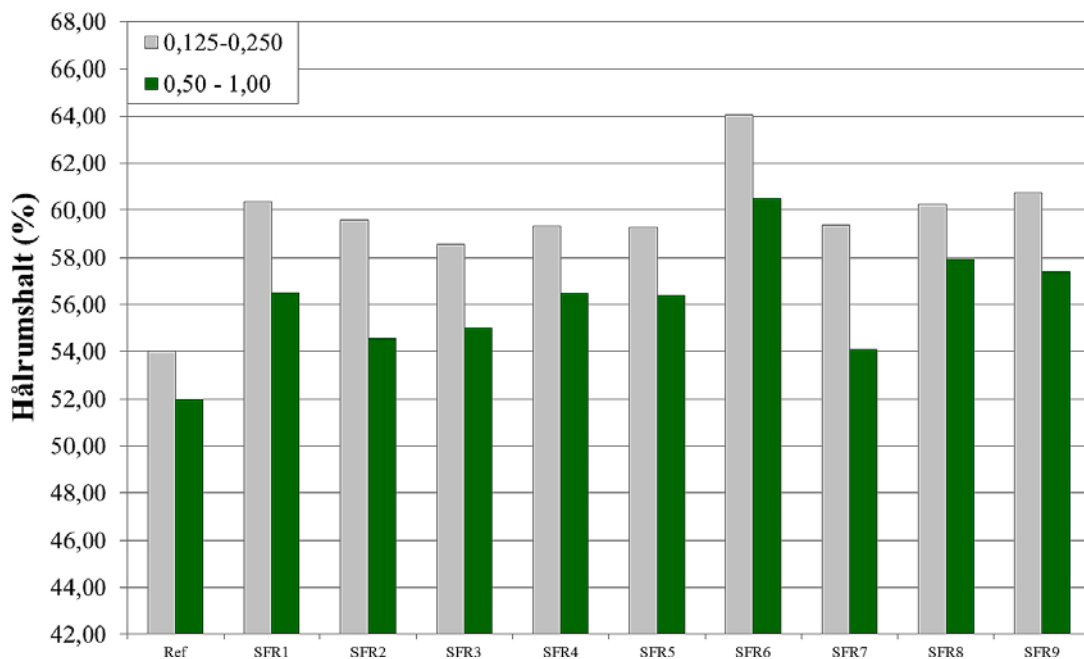
De reologiska undersökningarna involverar bruk som även innehåller cement. När det gäller flödes- tal och packning så undersöks materialet som sådant.



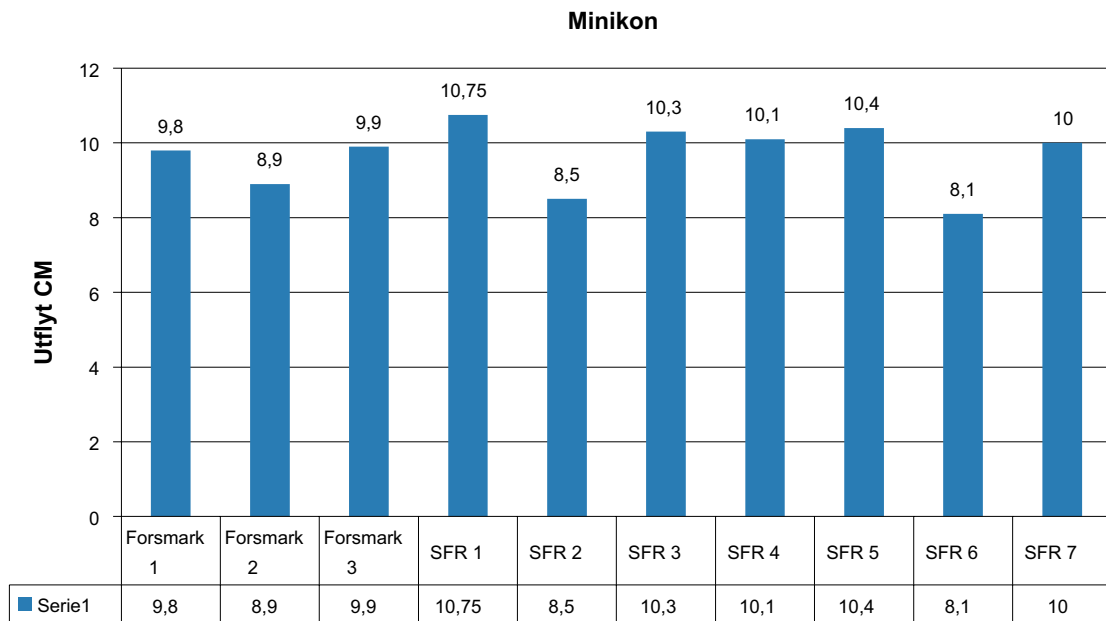
Figur 4-10. Flödestal för prov från Forsmark och SFR. Materialet från borrhämnarna räckte inte till för flödesanalys.



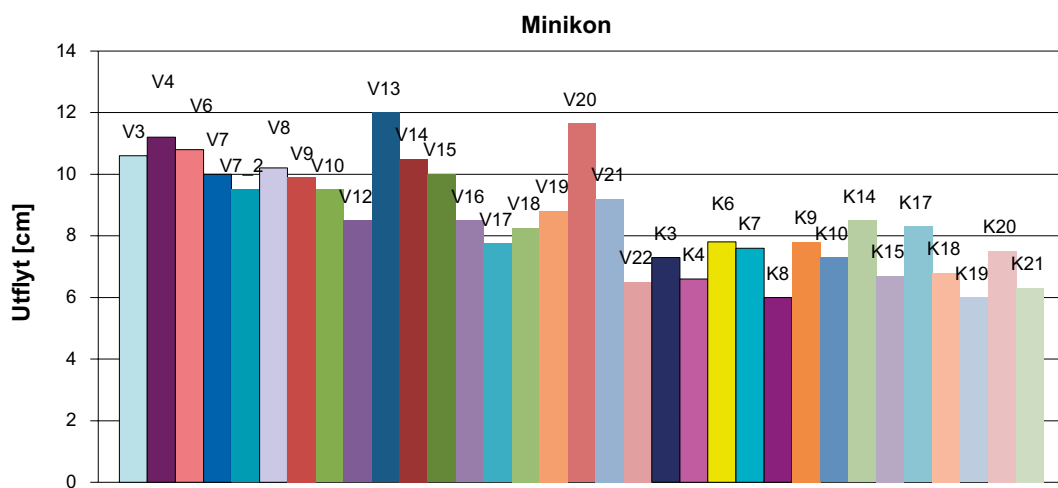
Figur 4-11. Hålrums halt-packning för material från Forsmark. Materialet från borrhämnarna räckte inte till för hålrums mätning. Referensprovet är en typisk mellansvensk glaciofluvial naturballast.



Figur 4-12. Hålrums halt-packning för material från SFR. Materialet från borrhämnarna räckte inte till för hålrums mätning. Referensprovet är en typisk mellansvensk glaciofluvial naturballast.



Figur 4-13. Utflyt med mikrobruk och minikon.



Figur 4-14. Utflyt från mikrobruk. Data från större nationellt forskningsprogram med ballast från hela landet. Huvudsakligen graniter. K = konkrossat. V = VSI-krossat och vindsiktat. Diagrammet är ägnat att visa typisk spridning.

5 Diskussion

Alla proven i denna undersökning är krossade med en spindelkross i laboratoriestorlek på CBI. Forsmark 1–3 är först krossade med en käftkross och sedan med spindelkross. Spindelkrossen är en variant av konkross, samma som man normalt använder i bergtäkter. Försök med olika krossmetoder har visat att den på CBI använda spindelkrossen ger sämre värden än vanlig industriell konkross, vilket medför att de reologiska värdena vid industriell krossning är bättre än de som erhållits här.

VSI-krossning som använts i en del av refererade provningar ger bättre kornform, speciellt i de något grövre fraktionerna. Krosstekniken är viktig för kornformen. De prov som redovisas i figur 4-7, prov från Mälardalen, är även dessa framställda med spindelkrossen.

För att få en uppfattning av hur krossprodukterna från Forsmark är relativt berg från andra täkter redovisas resultat från bergtäkter i figur 4-9 och figur 4-14. Berg som krossats med VSI teknik och är vindsiktade betecknas M eller V (i figurerna) och berg som krossats med traditionell konkross med K. Berg som krossats med VSI teknik och är vindsiktade ger betydligt bättre reologivärden trots att bergarterna är liknande. Detta medför att man i bedömningskriterierna inte bara reflekterar över bergart utan även krossteknik. Med industriell uppkrossning i en riktig konkross eller VSI kross så skulle proven från Forsmark ge bättre reologivärden. När det gäller mikrobruket så verkar spindelkrossen ge liknande värden som de andra proven. Här måste man beakta att i fillerfraktionen är kornen monomineraliska vilket medför att krosstekniken inte blir lika viktig. Reologin för mikrobruket blir också bättre för prov som vindsiktats. Den använda vindsikten tar huvudsakligen bort korn mindre än 40 µm. Detta medför att mängden korn i samma storleksordning som cement (5–40 µm) tas bort. Detta ger en jämnare kornkurva i fillern vilket förbättrar reologin

5.1 Forsmark

Alla de provtagna bergarterna från Forsmarksområdet har fri kvarts och de flesta är graniter. Det enda undantaget är Forsmark 1 som har en lägre kvarts- (tabell 4-2) och silikahalt (tabell 4-1) och kan betecknas som en granodiorit. Den geologiska kartan i SKB (2008) markerar också att huvuddelen av bergarterna är graniter men att det finns ett parti av granodiorit. I reologitesterna är Forsmark 1 något sämre än de övriga. Karakteristiskt för Forsmark 1 är att den innehåller mera fri glimmer (biotit) (tabell 4-2) vilket ger en något sämre reologi. Mikrobruket visar dock bra värden både när det gäller reologin (figur 4-8) och utflytet (figur 4-13). Hålrumshalten (figur 4-11) är svagt förhöjd speciellt för 0,125–0,25 mm där det finns mycket fri biotit. Flödestalet (figur 4-10) är sämre än för de andra proven från Forsmark. Sammanfattningsvis ger bergarten i Forsmark 1 något sämre betongballast men den är inte så dålig att den måste undvikas.

De granitiska bergarterna är relativt liknande. Forsmark 2 och 3 kan jämföras med borrhärdarna i värdena från viskometern MARS III (lilla viskometern). Här ger borrhärdarna betydligt bättre resultat. Flödestalen är som för en normal konkrossad granit. Även hålrumshalten är likande den för konkrossad granit från täkt. Hålrumshalten för borrhärdarna är ungefär samma som för graniten från ythällarna. Värdena från minikonen är likande det från konkrossade graniter från andra delar av Sverige (jämför figur 4-13 och 4-14). Det finns inget i övriga värden som styrker reologiresultatet. Det kan bero på problem vid krossningen. Proven från hällarna käftkrossades först vilket kan ha försämrat resultaten. På bilderna i bilaga 1 kan man inte observera någon skillnad mellan Forsmark 1 och 2 och övriga graniter. Mineralogin är också liknande med några procent biotit, klart under det kritiska värdet.

Sammanfattningsvis är graniterna från Forsmark medelgoda graniter för framställning av betongballast. En del biotiter och hornbländen är kloritiserade men detta verkar inte ge några problem. Man kan även observera en svag seritisering av kalifältspaterna men om det vore liksom för kloriterna besvärande halter så skulle detta observeras i mikrobruket som är bra.

5.2 SFR

Bergarterna i SFR skiljer sig från de i Forsmark. Man kan observera en kraftigare uppkrossning och foliering av berget. Detta märks speciellt i borrhärnorna. Man kan även observera mera grovkornig pegmatit. Finkorniga leptitiska bergarter förekommer. Ibland det uttagna berget från SFR 1 kan man finna basiska bergarter.

De kemiska analyserna (tabell 4-4) och tunnslipsanalysen (tabell 4-5) visar att alla bergarterna utom SFR 6 är graniter. Biotithalten är relativt hög i SFR 5, 6 och 8. Detta märks dock inte i reologitesten (figur 4-5), där alla utom SFR 6 ger liknande medelbra värde. SFR 4 har ett något sämre värde. SFR 4 avviker dock inte när det gäller mikrobruket, flödestal eller hålrumshalt. Borrhärnorna ger liknande värde som stenen från upplaget från det redan utsprängda SFR.

Den basiska bergarten (SFR 6) ger distinkt dåliga resultat i reologitesten. Även mikrobruket ger sämre värden liksom hålrumshalten. Problemet med den basiska bergarten är att partiklarna är relativt flisiga men huvudproblemet är antagligen de relativt höga halterna av biotit tillsammans med klorit. Klorit kan ansamlas i den finaste delen av fillern och ställa till med problem. Hornbländet är kloritiserat. Den basiska bergarten bör undvikas, åtminstone bör inga större mängder av den komma med i det som krossas till betongballast.

Pegmatiterna och de mera finkorniga leptiterna verkar inte ge någon större skillnad mot de vanliga graniterna. Det verkar inte heller som om det spruckna berget i borrhärnorna ger upphov till problem. Det finns dock en tendens till kloritisering av biotiten som kanske lokalt ger problem. Distinkt kloritiserade bergarter bör undvikas.

6 Rekommendationer

Vid uppkrossning så ger huvuddelen av bergarterna från Forsmarksområdet relativt bra ballast för betongtillverkning. De flesta bergarterna är granitiska till sin sammansättning och ger vid uppkrossning en liknande produkt. Det spelar, speciellt för finmaterialet, ingen större roll om det är en pegmatit, en finkornig granit eller grovkornig granit.

Den granodioritiska bergarten i Forsmark innehåller något mera fri flakig biotit än graniterna vilket är negativt för finmaterialet. Biotithalten spelar mindre roll för de grövre partiklarna då biotiten här ligger tillsammans med andra mineral och kompositen blir inte lika flakig som mineralet. Granodioriten behöver inte undvikas men en geolog bör kunna bedöma den framkomna bergarten och om den är mycket rik på biotit bör den undvikas. Granodioriter med den sammansättning som den har kan bli mycket biotitrika. Graniterna har inte den kemiska sammansättningen för att ge lika mycket biotit.

Den basiska bergarten i SFR (prov SFR 6) ger geologiska indikationer på att den ger dålig betongballast. Detta beror på biotitinhållet och kloritomvandling av hornblände. Kloriten ansamlas vid krossning i finfraktionen. Man kan även se viss omvandling av graniterna vilket antyder att området har drabbats av hydrotermala omvandlingar. Detta indikeras också av graniterna som ofta är uppkrossade och folierade speciellt visas detta av den analyserade borrhölan från SFR 2 området. Detta medför att basiska bergarter bör undvikas såvida man inte kan påvisa att de är inte omvandlade och kloritiserade. Forsmarksområdet är mindre påverkat av omvandlingar.

För att ge optimal betongballast bör de grövre partiklarna kubiseras. Detta gäller framför allt SFR 2 som verkar ha drabbats av tektonisering som ger skiffrikt berg som i sin tur ger mera flakiga partiklar. En rekommendation är att som sista steg i krossningsprocessen använda VSI-krossning som ger mera kubiska partiklar framför allt bland partiklar som ligger över mineralgränsen, dvs domineras av bergartsfragment. Detta bör kombineras med vindsikt som minskar fillerhalten och ger en bättre partikelfördelning i mikrobruket. Detta har visat sig framgångsrikt i ett pågående forskningsprojekt.

Att minska fillerhalten och speciellt den finaste delen av fillerfraktionen är speciellt viktigt för specialbetong som låg-pH betong. Optimalt är att ta bort all filler som ligger i samma storleksordning som cementet. Vindsiktningen medför dock att alla partiklar under en viss storlek kommer att tas bort. Detta möjliggör att kunna gå in med speciell ultrafiller för att få optimal partikelpackning och kunna minska cementhalten med bibehållen styrka på betongen. Vindsiktning minskar också mängden glimmer i finfraktionen.

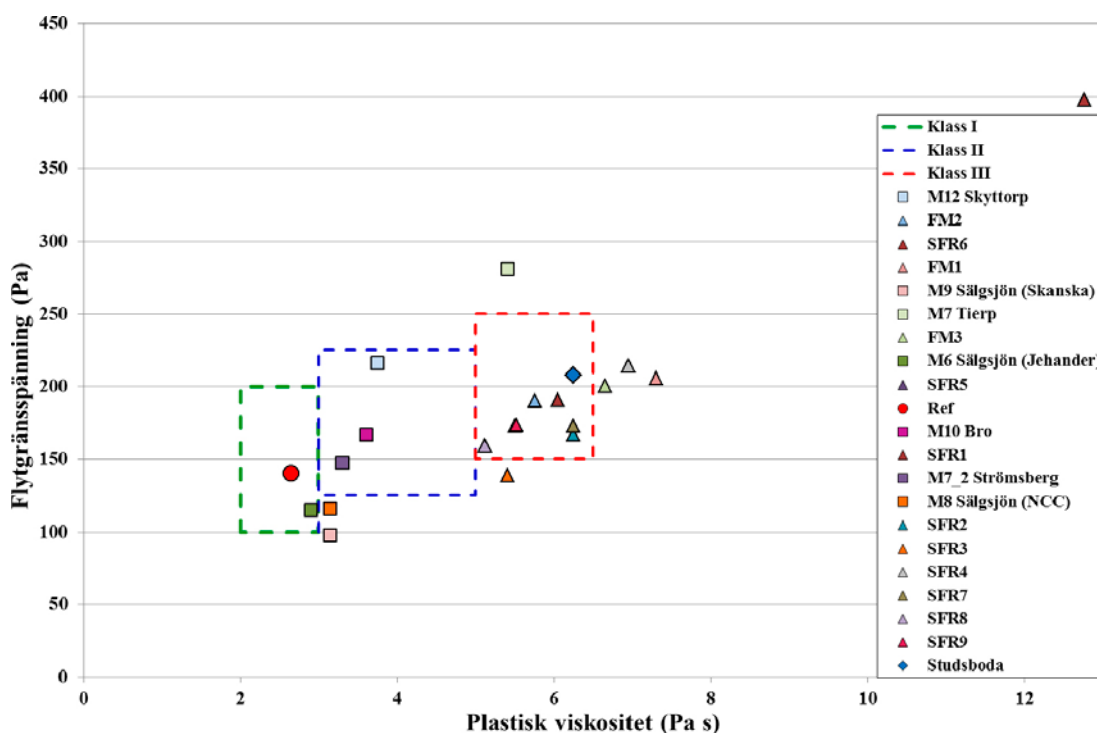
Det bör här kommenteras att de kvalitetskriterier som gäller för betong inte är samma som för bär-lager etc, där styrkan är viktig. För betong är kornkurvan och formen hos ballastpartiklarna viktigast.

7 Jämförbara täkter i närheten av Forsmark

En studie avseende jämförbara täkter ingår i pågående forskning inom CBI, och kommer att beskrivas i rapportering från det forskningsprogrammet. Försök och karakterisering kommer att utföras på prov som inte vindsiktats för att få en jämförelse.

I forskningsprogrammet beskrivet i Vinnova (2015) har ett stort antal täkter undersökts i Sverige och en del av dessa täkter ligger inom 10 mil från Forsmark. I detta forskningsprogram har proven krossats med VSI och de har vindsiktats vilket påverkat speciellt den finaste delen av fillern. Detta har medfört att reologivärdena är bättre än den vanliga konkrossade ballasten. Reologivärdena visas i figur 7-1 där dessa prover och prover från Forsmark och SFR ingår. I figur 4-13 visas försök med minikon där konkrossade jämförs med VSI krossade och vindsiktade prov. Här kan man se en distinkt förbättring med VSI och vindsiktning. Detta beror på att den filler som kolliderar med cement i storleksordning har tagits bort. De bergarter som testats är liknande de i Forsmarksområdet, huvudsakligen graniter. Dessutom har prov tagits från Studsboda som ligger relativt nära Forsmark. Provet från Studsboda ger likande värden som det granitiska berget från Forsmark.

Detta indikerar att det finns ett flertal täkter som ger liknande betongballast som kan användas för ballast vid testerna. De som ligger närmast är förutom Studsboda täkterna Strömsberg och de tre täkterna vid Sälgsjön.



Figur 7-1. Reologivärden för proverna från Forsmark och SFR tillsammans med mätvärden från ett urval av krossprodukter från närheten till Forsmark. De som betecknats med fyrkant kommer från prov som VSI krossats och vindsiktats. Detta medför att de får ett bättre värde än de som endast konkrossats.

Referenser

Publikationer utgivna av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) kan hämtas på www.skb.se/publikationer.

Lagerblad B, Westerholm M, Fjällberg L, Gram H-E, 2008. Bergkrossmaterial som ballast i betong. CBI rapport 2008:1, Cement- och betonginstitutet.

SKB, 2008. Site description of Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-Site Forsmark. SKB TR-08-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2013. Site description of the SFR area at Forsmark at completion of the site investigation phase. SDM-PSU Forsmark. SKB TR-11-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

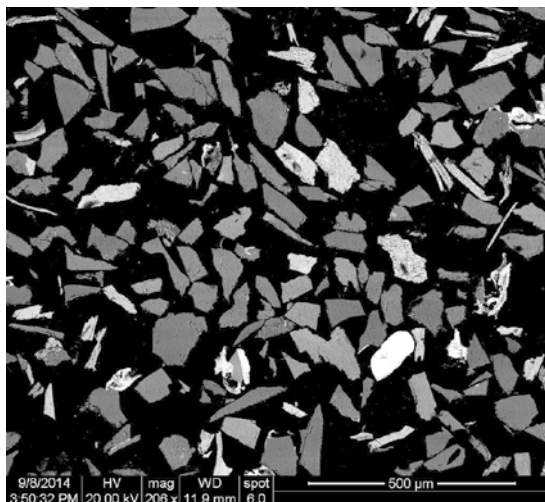
Stephens M B, Fox A, La Pointe P, Simeonov A, Isaksson H, Hermanson J, Öhman J, 2007. Geology Forsmark. Stage descriptive modelling Forsmark stage 2.2. SKB R-07-45, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Vinnova 2015. Uthållig produktion av finkorniga produkter från bergmaterial. DNR 2012-01196, Vinnova.

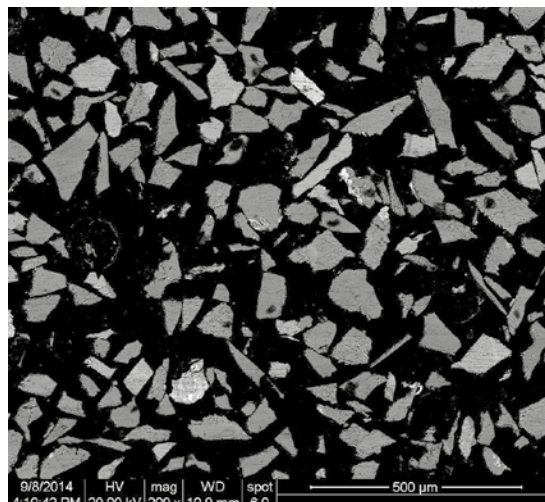
SEM bilder av prover

SEM bilder av polerade ytor av fraktionen 0,63–0,125 mm som bakats in i epoxy.

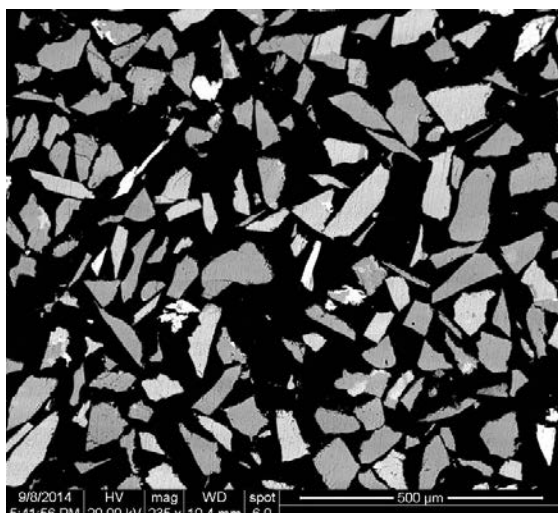
Forsmark



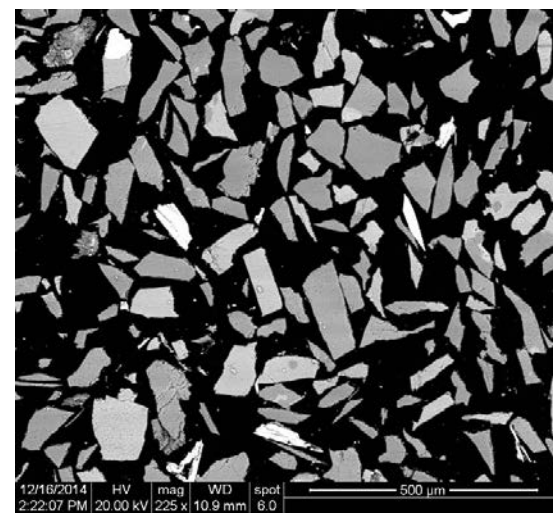
Forsmark 1



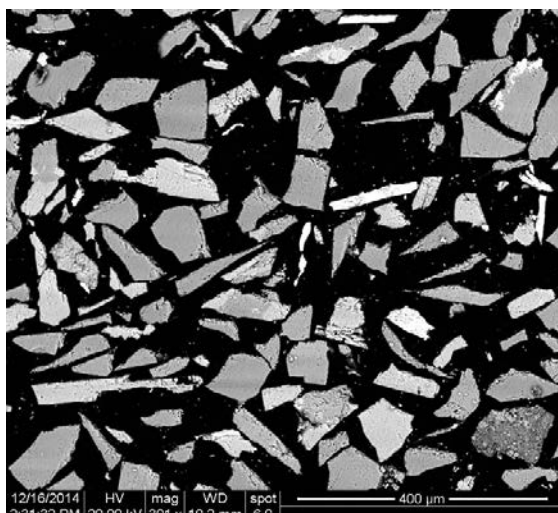
Forsmark 2



Forsmark 3



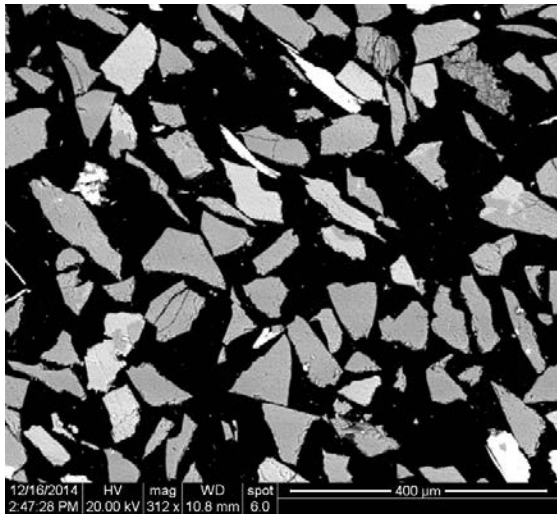
Borrkärna 1



Borrkärna 3



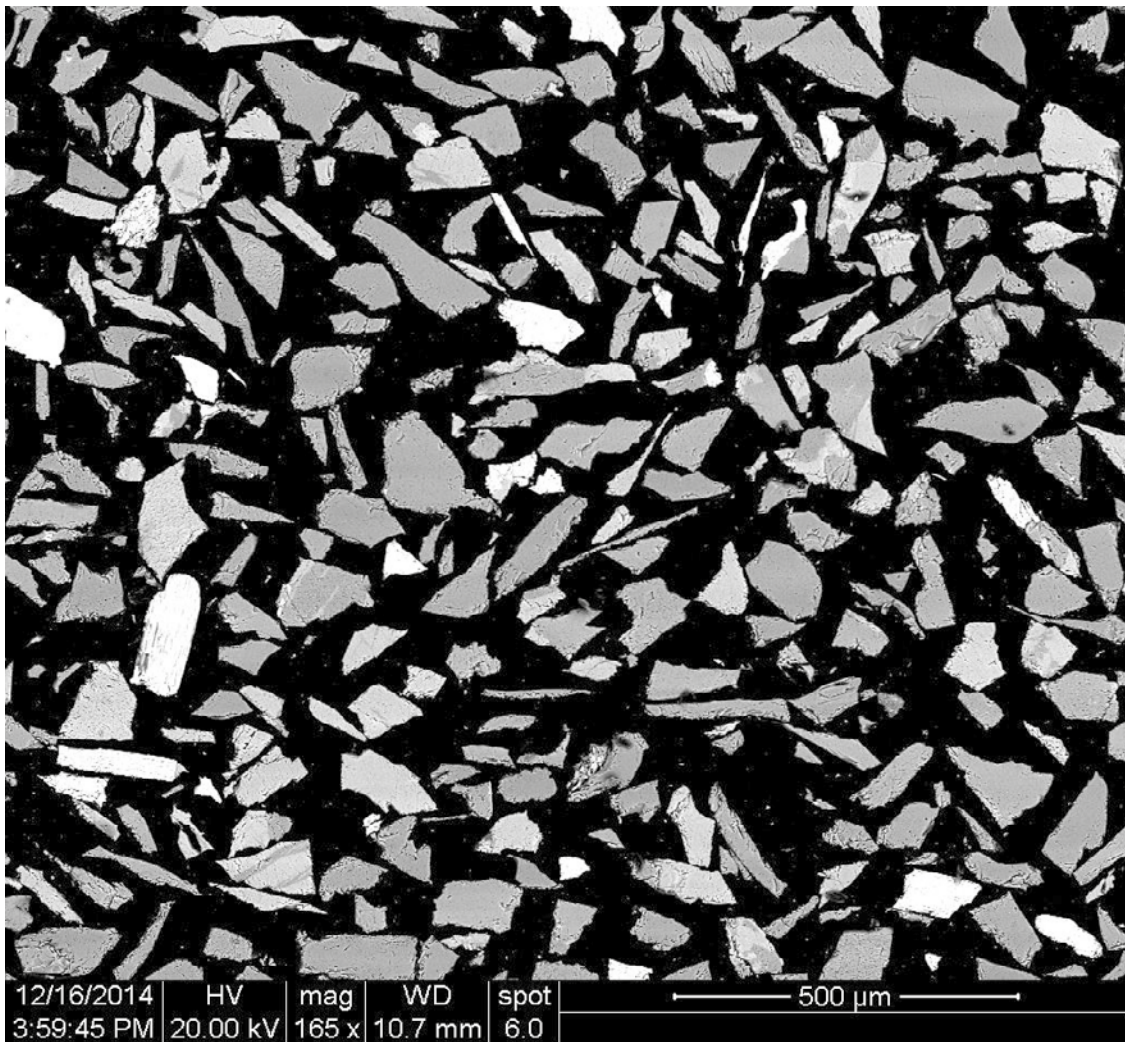
Borrkärna 4



Borrkärna 5

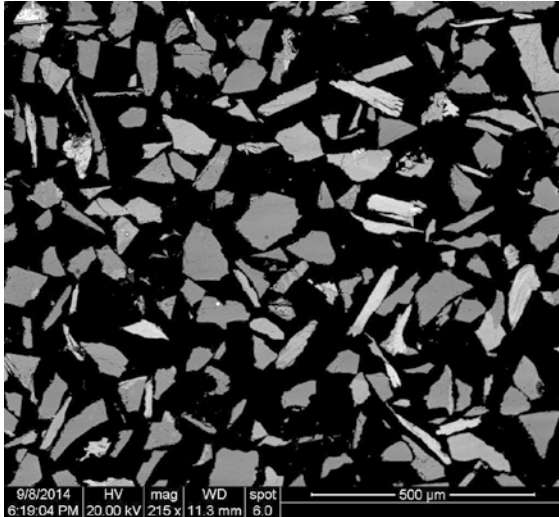


Borrkärna 6

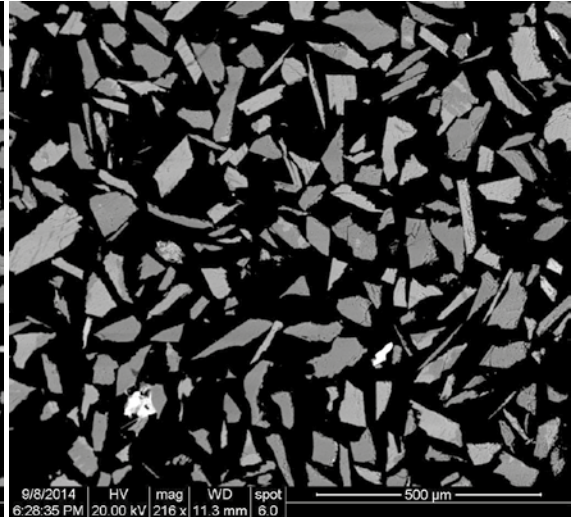


Borrkärna 7

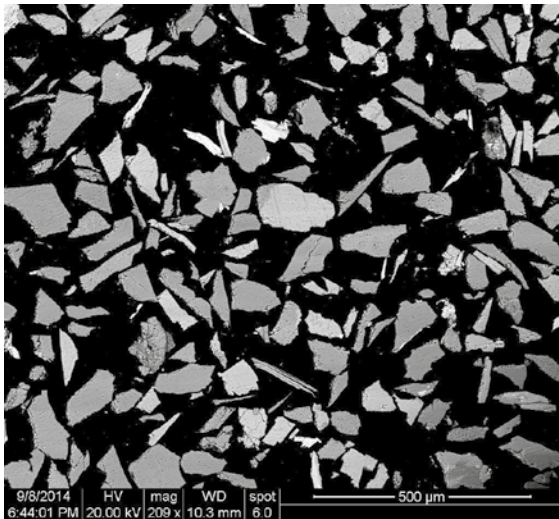
SFR



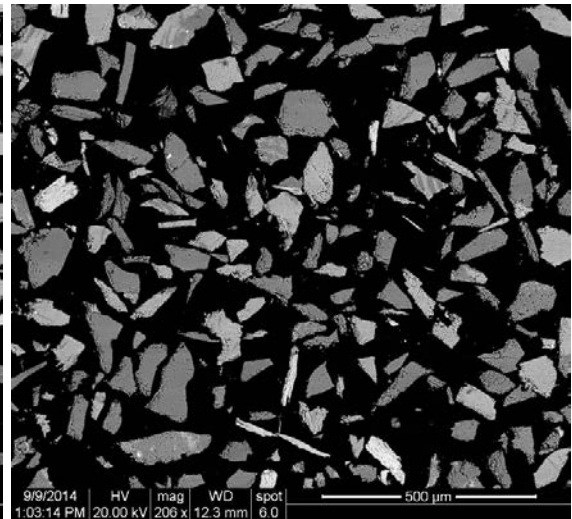
SFR 1



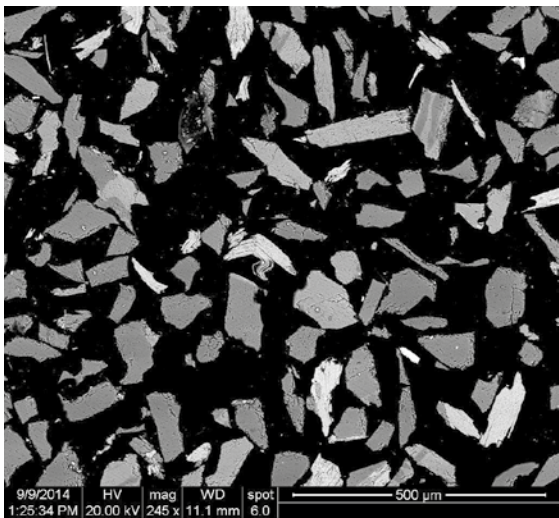
SFR 2



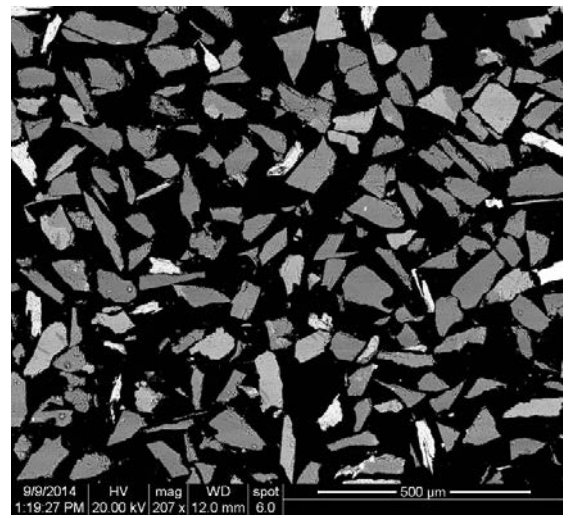
SFR 3



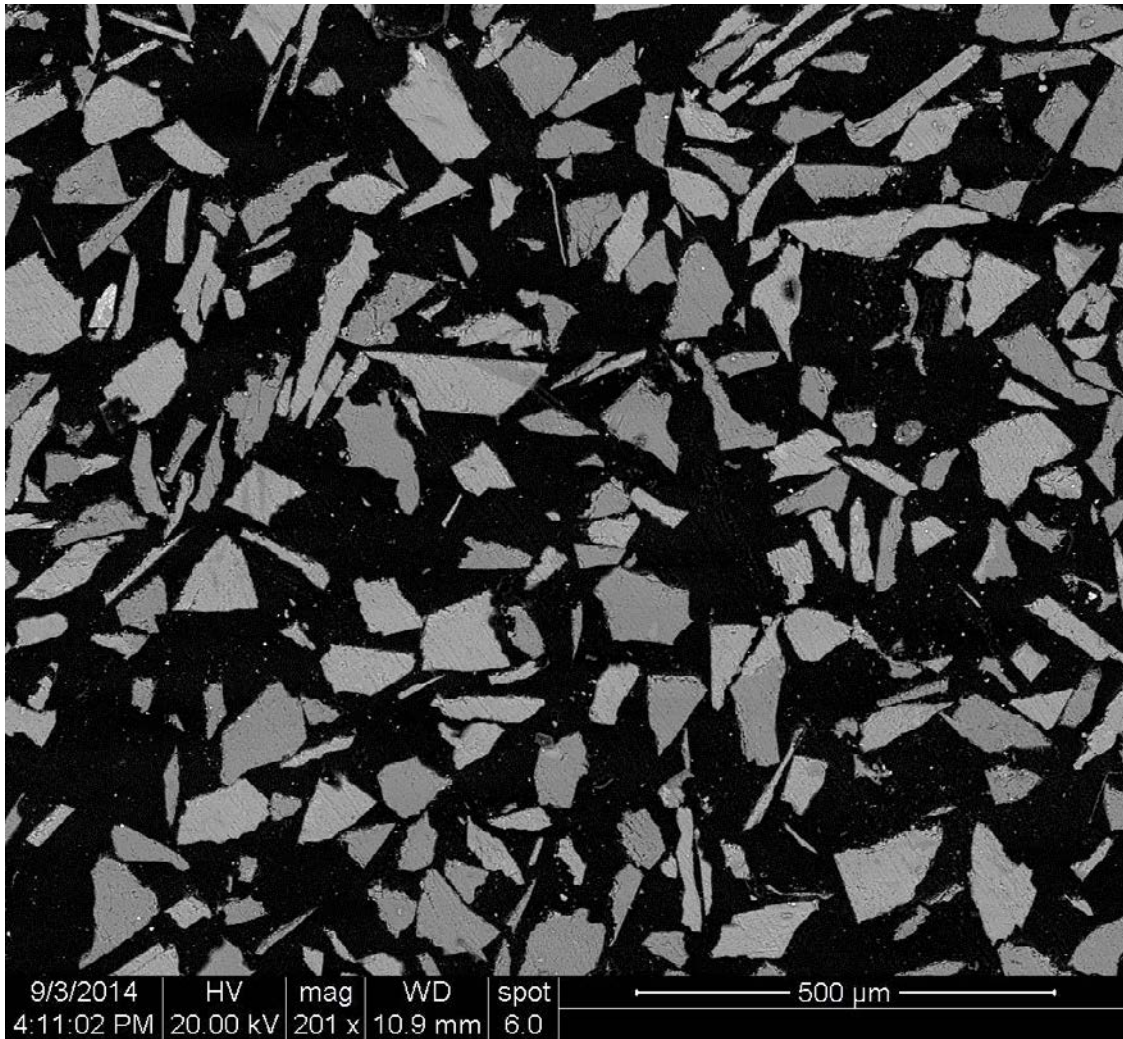
SFR 4



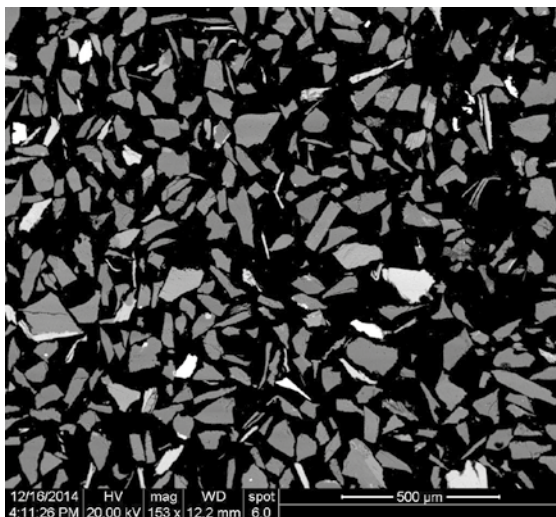
SFR 5



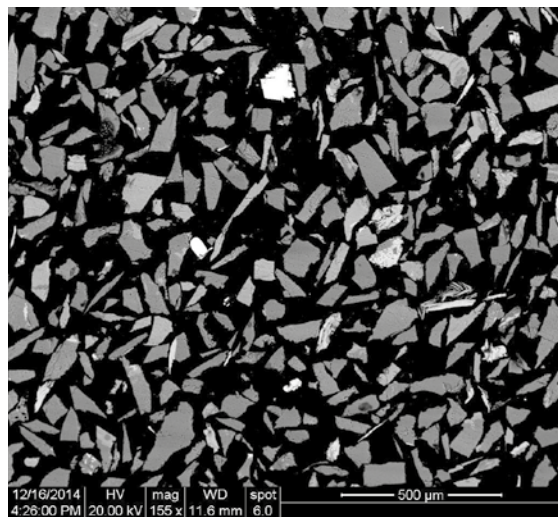
SFR 6



SFR 7



Borrkärna 8



Borrkärna 9

SKB har som uppdrag att ta hand om och slutförvara radioaktivt avfall från de svenska kärnkraftverken på ett säkert sätt.

skb.se