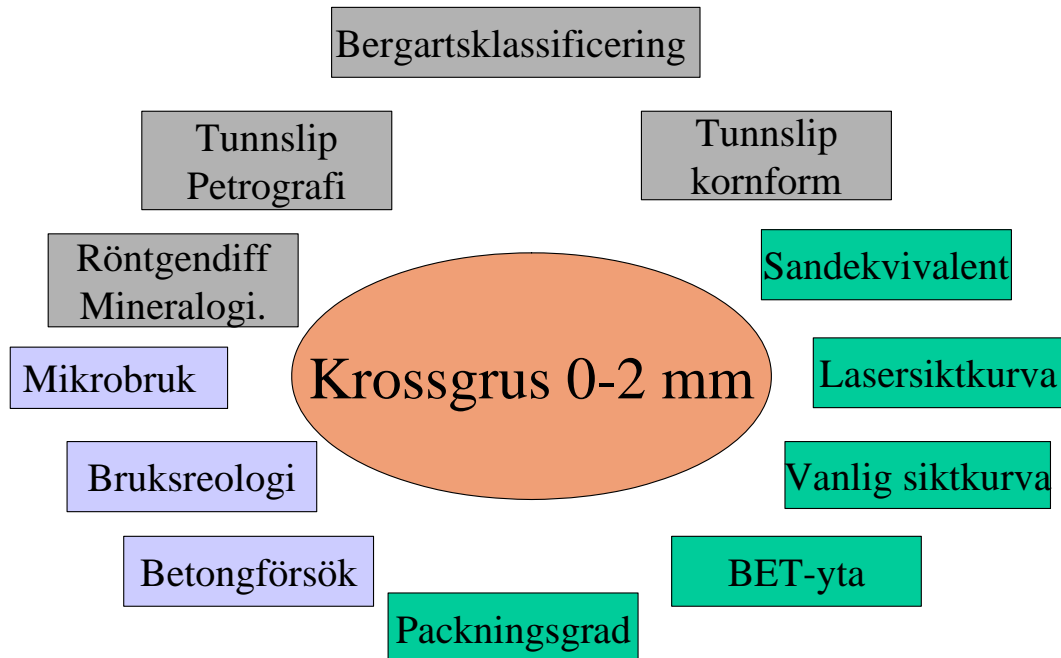


Rapport till SBUF

Krossat berg som ballast till betong



Sammanställd av Björn Lagerblad-Cement och Betong Institutet

Rapporten är baserad på följande basmaterial publicerat inom ramen för MinBas projekt 2.2 Framtida betong, Projekt 1,23 Utnyttjande av alternativ ballast i betong.

- 1 **Förstudie- Utarbetande av forskningsprogram**, MinBas rapport 2:1
Björn Lagerblad
- 2 **Karakteristik och Bruksreologi**, MinBas rapport 2:7
Björn Lagerblad Mikael Westerholm
- 3 **Betongprovningar**, MinBaS rapport 2:13
Mikael Westerholm Hans-Erik Gram
- 4 **Tvättning och tillsatsmaterial**, MinBaS rapport 2:14
Mikael Westerholm
- 5 **Kompl. laboratorie- och fullskaleförsök**, MinBaS rapport 2.16
Hans-Erik Gram
- 6 **Packningsstudie av krossgrus**, MinBaS rapport nr 2.17
Eva Attenius, Hans-Erik Gram
- 7 **Kvalitetssäkringsmetoder**, MinBas rapport 2.18, Leif Fjällberg, Björn Lagerblad
- 8 **Slutrapport Krossad ballast i betong**, MinBaS rapport 2;19, Björn Lagerblad

Förutom SBUF och MinBaS har projektet finansierats av CBI's A-finansiering, Cementa AB, MinFo, Betongindustri AB, NCC Roads AB, Nordkalk AB, SMA Karbonater AB, Omya AB, SSAB-Merox AB, SBMI, Swerock, A-Betong och Strängbetong.

Sammanfattning

Det finns i Sverige en lokal brist på naturgrus. Dessutom vill man av miljöskäl bevara kvarvarande naturgrusförekomster. Detta medför att man måste hitta alternativ ballast till betongtillverkning. Den enda alternativa ballast som finns lokalt tillgänglig och i tillräckligt stor mängd är krossat berg. Den svenska berggrunden och de befintliga bergtäkterna domineras av granitiska bergarter. Man har sedan tidigare använt sten från granitiskt berg och vet hur man skall proportionera med denna. Problemet är att kunna proportionera berg med finballast från granitiska bergarter något som även internationellt är känt som besvärligt.

I detta arbete har valts ut finballast från 17 granitiska täkter och det material som passerat 2 mm sikten studerats då denna fraktion anses vara mest besvärlig. Som referens har två stycken naturgrus och en finballast från en kvartsitisk sandsten valts ut. Finballasten från dessa bergarter har karakteriserats med avseende på kornkurva, kornform, mineralogi etc., och detta har korrelerats med bruks reologiska egenskaper. Resultaten visar att man kan finna de egenskaper som styr de reologiska egenskaperna och på så sätt kan man klassificera de olika finballasterna med avseende på hur de påverkar brukets rörlighet. Dessa resultat har sedan korrelerats mot betongs egenskaper.

Det som kallas granitiskt berg är i själva verket en rad närbesläktade bergarter (granitoider) med det gemensamma att de innehåller en signifikant andel fri kvarts och en varierande mängd glimmer, hornblände, plagioklas, kalifältpat och klorit. När berget krossas kommer de finaste fraktionerna att domineras av enskilda mineralkorn medan de grövre kornen kommer att domineras av bergarter (två eller flera mineral som sitter samman). Mineralkornens form är betydelsefull och var gränsen mellan mineral och bergart går beror på bergartens textur och då framför allt av grovleken. Typiskt för granitoid krossgrus är att de innehåller betydligt mera finmaterial än naturgrus. Även kornkurvan som sådan är något annorlunda.

Brukets reologiska egenskaper styrs framför allt av kornkurvan och kornformen. Kornformen i sin tur styrs till stor del av mineralgränsen och mängden glimmer. Försöken visar att man med hjälp av flytmedel kan modifiera flytgränsspänningen så att den blir samma som hos naturballast men att den plastiska viskositeten (segheten) förblir högre hos granitoiderna. En flakig kornform ger en högre viskositeten. Genom att modifiera kornkurvan exempelvis att tvätta bort finmaterial kan man i förändra flytgränsspänningen men endast i mindre grad ändra den plastiska viskositeten.

De resultat som man får fram från bruksundersökningarna återspeglas i betongen, dvs genom att undersöka brukets egenskaper kan man förutsäga betongens egenskaper. Det är emellertid inte helt enkelt och man måste se på proportionering i sin helhet. En del grus kan man använda på ungefär samma sätt som naturgrus medan andra är klart besvärliga. Det visade sig emellertid att flera av de besvärliga gick bra att använda om man applicerade ett partikelsprång. Generellt kan man säga att med rätt proportionering kan man använda alla typerna av finballast från granitoida bergarter vid betongtillverkning men att en del är besvärligare än andra och man antagligen måste öka mängden cement och att användningen av flytmedel blir väsentligare.

Vad arbetet i första hand givit är verktyg för att karakterisera finballast från krossat berg och från detta utläsa vad man kan förvänta sig för egenskaper i betong och grundprinciperna för proportionering av betong med detta grus. Arbetet visar även vägar för att på olika sätt förbättra egenskaperna och hur man med enkla metoder kan få en kvalitetssäkring.

Summary

In Sweden there is a shortage of natural gravel. Moreover, for environmental reasons the society wants to preserve remaining natural glaciofluvial deposits. Thus there is a need to find alternative aggregate for concrete production. The only alternative that is abundant and locally available is crushed rocks. The Swedish bedrock is dominated by and the available rock quarries are in granitic rocks. Since earlier coarse aggregate often comes from crushed rocks but the fine aggregate has been natural gravel. The problem today is to learn how to use also fine aggregate in concrete production. It is known since earlier that fine aggregate from granitic rock gives problems.

In this work fine aggregate from 17 quarries in granitic bedrock has been selected and the material passing the 2 mm sieve has been analysed as this fraction causes most problems. As reference two glaciofluvial deposits and fine aggregate from quartzite sandstone have been selected. The fine aggregate from these quarries and deposits have been analysed as regard sorting, grain shape, petrology mineralogy etc. The results show that it is possible to identify the characteristics that govern the rheological properties and thus it is possible to classify the individual material as regard the workability of the mortars. This can in turn be correlated with concrete properties.

What as a trivial term is called granites is a group of related rocks that all contain free quartz and but with a variable amount of mica, hornblende, plagioclase alkali feldspar and chlorite. The more appropriate term is granitoid. When the rock is crushed the finer fraction will contain free mineral while the coarse fragment will contain rock fragments (2 or minerals together). Thus in the finer fractions the shape of the individual minerals is important. The limit between where one find free minerals and rock fragments depends on the texture, mainly the coarseness of the rock. Typically granitoid rocks contain substantially more fines than natural gravel. Moreover, the shape of the sorting curve is different.

The rheological properties of the mortars are mainly governed by the sorting curve and the shape of the particles. The shape in turn is related to the mineral limit and the amount of free mica. Tests show that with the aid of superplasticizer it is possible to adjust the yield stress so that it becomes similar to natural gravel but the plastic viscosity will remain higher. A flaky form will give higher plastic viscosity. By modifying the sorting curve, by means of washing etc, it is possible to lower the yield stress but to a less degree the plastic viscosity.

The result from the mortars is reflected in the concrete, i.e., by examining the properties of the mortar one can predict the properties of a concrete. One must, however, regard proportioning in a larger perspective. Some crushed fine aggregates can be used in a similar ways as natural gravel, while others are more difficult to use. Experiments, however, showed that gap grading had a beneficial effect on fine aggregates classified are less good. In general all the fine aggregates could be used in concrete production but some caused more problems than others did. In general with crushed granitoid rocks instead of natural gravel one must presumably increase the amount of cement paste somewhat and the use of superplasticizer will increase.

This work have given a tool to characterise fine aggregate form chorused rocks and from this one can evaluate the expected properties in concrete and the basal principles for proportioning of concrete with this fine aggregate. The work also shows means to improve the properties and simple methods for quality evaluation.

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduktion | 5 |
| 1.1 | Förutsättningarna för bra krossballast i Sverige | 6 |
| 2 | Forskningsprogram | 8 |
| 3 | Undersökta material | 9 |
| 3.1 | Nomenklatur för petrografisk analys | 9 |
| 4 | Karakteristik av finballast från krossade bergarter | 13 |
| 4.2 | Petrografisk analys | 13 |
| 4.2 | Kornform/bildbehandling | 18 |
| 4.2.1 | Finfraktionen/filler | 19 |
| 4.2.2 | Finballast | 21 |
| 4.3. | Siktkurvor | 24 |
| 4.3.1 | Vanlig sikt/hålsikt | 24 |
| 4.3.2. | Lasersikt | 25 |
| 4.3.3 | Specifik yta | 25 |
| 4.4 | Sammanfattning karakteristik | 27 |
| 5 | Gjutbarhet/Reologiska egenskaper för finballast | 27 |
| 5.1 | Mikrobruksreologi- finmaterialets påverkan | 27 |
| 5.1.1 | Inverkan av specifik yta | 30 |
| 5.1.2 | Inverkan av finmaterialets kornform | 30 |
| 5.1.3 | Sammanfattning mikrobruksreologi | 32 |
| 5.2 | Cementbruksreologi-finballasten påverkan | 33 |
| 5.2.1 | Inverkan av olika ballastmaterial | 33 |
| 5.3 | Effekt av tillsatsmedel och tillsatsmaterial på bruk | 34 |
| 5.3.1 | Effekt av tillsatsmedel | 34 |
| 5.3.2 | Inblandning av naturballast | 36 |
| 5.3.3 | Inverkan av kornstorleksfördelningen | 39 |
| 5.3.4 | Optimering av kornkurvan | 40 |
| 5.3.5 | Effekt av tvättning | 42 |
| 5.3.6 | Effekt av tillsatsmaterial | 43 |
| 5.4 | Sammanfattning bruksreologi | 45 |
| 6 | Betongprovningar och fullskaleförsök | 47 |
| 6.1 | Påverkan av olika 0-2 material | 47 |
| 6.1.1 | Material och undersökningsmetodik | 48 |
| 6.1.2 | Påverkan av olika krossprodukter | 49 |
| 6.1.3 | Påverkan av flytmedel | 51 |
| 6.1.4 | Påverkan av pastavolymen | 54 |
| 6.2 | Fabriksförsök | 56 |
| 6.2.1 | Kompletterande försök i Motala | 56 |
| 6.2.2 | Fullskaleförsök på betongfabriker i Tranås och Motala | 57 |
| 6.3 | Sammanfattning betongprovning | 59 |
| 7 | Ställföreträdande tester och kvalitetssäkringsmetoder | 61 |
| 7.1 | Sandekvivalenttesten | 61 |
| 7.2 | Metylenblåtest | 64 |
| 7.3 | Brukstester | 65 |
| 7.3.1 | Utbredningsmått | 66 |
| 7.3.2 | Rinntid | 67 |
| 7.5 | Sammanfattning ställföreträdande tester | 69 |
| 8 | Slutsatser och fortsatt arbete | 70 |
| 8.1 | Fortsatt arbete | 71 |

1 Introduktion

Det finns i Sverige en lokal brist på naturgrus. Dessutom vill man av miljöskäl bevara kvarvarande naturgrusförekomster. Detta medför att man måste hitta alternativ ballast till betongtillverkning.

Ballast är som namnet säger något som fyller ut. Betong består till mellan 70 och 80 volym % av ballast som limmas ihop av cementpasta. Ballasten skall i princip endast fylla ut och kan därför bestå av många typer av material. Det finns specialbetonger med järnmalm och plastkuler som ballast, men vad vi normalt menar med betong är en billig produkt med stenballast som produceras och konsumeras i mycket stora volymer. Idag konsumeras cirka 10 miljoner ton betong per år. Till detta förbrukas ca 1,5 miljoner ton cement. Det mesta konsumeras av hus och anläggningar och det är väsentligt för både branschen och ekonomin att det förblir ett billigt material vilket sätter begränsningar på vilka material som är tillgängliga och som kan användas. Det är endast krossat berg som lokalt och i tillräcklig kvantitet kan ersätta naturballast. Återanvänd betong eller andra restmaterial finns endast i begränsad mängd eller i vissa områden och kan oftast endast användas i lågkvalitativa produkter. Restprodukter som exempelvis luftkyld masugnslagg etc. kan vara intressant i begränsade områden runt källan.

Om man ser på dagens situation så används redan krossat berg som grovballast i betong. Detta beror på att man redan tidigt fick brist på sten i naturballasten och därför tvingades att ställa om. Det ställde till med en del problem i början men efter att recepten justerats blev det allmänt accepterat. Det största problemet är därför idag att lära sig använda att även använda finballast från kross vid betongtillverkning.

Ett av syftena med att övergå från natur till kross är att bevara naturvärden och spara på ändliga resurser. Dessutom tas naturgruset ofta från rullstensåsar som behövs för vattenbalans och vattenrening. Man måste emellertid även sätta in det i ett större perspektiv. Krossning av berg kräver energi vilket innebär en miljöbelastning och det bullrar och dammar vilket innebär en påfrestning på närmiljön.

Man måste också beakta transportavstånd. Transport av ballast utgör mer än 20 % av all tung varutransport. Om man även inkluderar betong finns det siffror som indikerar upp till 50 %. Vid en transport av mer än 5-10 mil kommer transporten av ballast att kosta mer ballasten i sig. Detta medför att man ur miljösynpunkt också måste beakta transportavstånd, transport av både ballast, cement och färdigblandad betong. Förutom krossning och transport så drar cement energi och släpper ut koldioxid vid tillverkning. Därför får övergången från naturballast till kross inte innebära att transportavstånden eller cementförbrukningen ökar, vilket medför att man måste göra en kompromiss mellan täkternas miljöpåverkan, den enskilda ballastens kvalitet och transportavstånd. I detta sammanhang måste man exempelvis beakta den totala påverkan och även ta med sådana aspekter som transport med fartyg till lokala upplag.

För att kunna optimera ur både ekonomisk och miljösynpunkt måste man därför göra avväganden. Exempelvis kan en närbelägen täkt ge ballast av en kvalitet som kräver dyr processteknik medan en mera avlägsen täkt ger en enklare att tillverka och billigare betong men som kräver mindre cement och tillsatsmedel. Därför måste man väga ekonomiska och miljöhänsyn mot varandra. För att kunna göra detta fodras emellertid att man kan värdera krossmaterial mot varandra. Denna rapport har som mål att kunna ge värderingskriterier för hur olika typer av krossballast fungerar i betong, kvalitetskriterier, kvalitetssäkringsmetoder och sätt att kunna förbättra egenskaperna vilket behövs som beslutsunderlag för att på bästa sätt kunna ställa om betongproduktionen mot användande av helkross.

Det är alltså viktigt att man tar hänsyn till de totala effekterna vid utbyte av naturballast. De viktigaste effekterna är;

- Hänsyn till naturvärden och ändliga resurser
- Ballastens inverkan på betongrecept inklusive kostnader, kvalite och indirekt miljöbelastning
- Transportkostnad vid olika alternativ
- Energiebehov, buller, damm, vibrationer och annan belastning vid produktion av bergkross jämfört med annan ballast
- Beakta blandningar.

1.1 Förutsättningarna för bra krossballast i Sverige

Sverige använder redan idag grovballast från krossat berg. Problemet gäller därför att finna metoder för att på ett kostnadseffektivt sätt kunna utnyttja även finballast från krossat berg. Fullkross har sedan länge internationellt används i regioner med brist på bra naturgrus. De bergarter som främst har används är kalksten, kvartsit och diabas. De ger en kubisk form på partiklarna. Nästan alla bergtäkterna i Sverige ligger i granitiskt berg och granitiska bergarter är även internationellt kända för att ge en för betong dålig finballast. Det beror främst på att graniter ger flisiga och flakiga partiklar som förhindrar en bra rörlighet i den färska betongen. Till sakens natur ligger även att Sveriges berggrund domineras av granitiskt berg. I framtiden kan man kanske ta fram berg som även ger en finballast som fungerar bra i betong men för den närmaste tiden måste man finna ut hur man bäst använder finballast från befintliga bergtäkter med granitiska bergarter.

De bergtäkter som finns i Sverige är framtagna för att ta fram bra sten till vägändamål etc. I denna process får man lokalt ett överskott på finballast, men denna ballast är inte optimerad för att användas i betong. Man vet sedan tidigare att man kan producera betong med nästan all finballast. Problemet är att betongen kräver höga halter av vatten vilket ger en för svag produkt. Alternativt höjer man både cement och vattenhalten men då får man problem med krympning och värmeutveckling. Det är heller inte önskvärt att höja mängden cement då detta innebär både en onödig kostnad och miljöpåfrestning.

Med en bättre kunskap om ballastens egenskaper och anpassad proportionering kan man dock få fram bättre betong. En av målsättningarna med detta forsknings program är därför att finna hur man på mest kostandseffektiva sätt kan använda krossballast från främst granitiska bergarter i betong. Man måste också beakta att granit är en bergart som varierar både när det gäller mineralinnehåll och textur. Man kan därför inte generellt klassa granit som en olämplig bergart. Olika krossningsmetoder ger också olika resultat både när det gäller grov- och finballast. Man kan därför förvänta sig att man får olika produkter som kommer att ge olika effekt på betongens egenskaper. Ett av syftena med detta projekt är att finna ut vad som definierar en bra och dålig krossprodukt för betongtillverkning och hur man kan påverka denna för att få en bättre produkt. Detta skall ge ett beslutsunderlag för både enskilda täkter, betongtillverkare och myndigheter för åtgärdsprogram för att få övergången från natur till krossberg så miljövänlig och kostandseffektiv som möjligt. Man kan dock förmoda att övergången kommer att resultera i en dyrare betong vilket i sin tur kommer att ge en dyrare samhällsbyggnad.

Man måste också se det i ett generellt sammanhang. I Sverige är priset på naturballast mycket lågt främst beroende på den rikliga tillgången av högvärdigt glaciofluvialt (från istiden) avsatt naturgrus. Vanligt morängrus är sämre då det dels är vittrat dels har en mera ogynnsam kornsortering. Grus från deltaavlagringar etc., är ofta sorterat och måste blandas med annat grus

Krossat berg som ballast till betong

för att fungera vilket gör det till en dyrare produkt. Det glacifluviala gruset från rullstensåsar är från början sorterat och man kan därför redan i tänken enkelt sätta samman en för betong bra sammansatt finballast. Vid betongtillverkning behöver man oftast bara två fickor en med fin- och en med grovballast. Med sämre grus eller med krossballast behöver man oftast flera fickor eller att ballasten omsorteras vid bergtäkten vilket ökar besväret och medför investeringar. Det finns därför ett motstånd mot att gå över till krossballast. Det kommer framför allt att ge de små betongtillverkarna både praktiska och ekonomiska problem. Antagligen kommer det att resultera i färre större produktionsenheter och som en konsekvens av detta större transportavstånd.

Ett av syftena med detta projekt är att definiera vad som kännetecknar ett ”bra” respektive ”dåligt” bergmaterial för betongtillverkning.

Avsikten är att detta arbete skall ge beslutsunderlag vid val av ballast där man beaktar både miljökonsekvenser och kostnader för tillverkning i ett sammanhang.

2 Forskningsprogram

Målet med forskningen har varit att kunskapsnivån skall höjas så att krossat berg med anpassning skall kunna användas i betong.

1. Betongtillverkare skall ges hjälpmedel att tillverka en kostandseffektiv betong med fullgoda egenskaper i både det färska och hårdnade tillståndet.
2. Ballastleverantörer skall få kunskap om hur lämplig finballast med krossballast tas fram och ges verktyg för att kunna leverera en kvalitetssäkrad produkt
3. Kriterier och tester för en kvalitetssäkrad produkt baserad på krossat berg skall etableras.

Denna kunskap och klassificeringskriterier kommer även att kunna användas för att utnyttja andra alternativa ballaster.

Forskningsprogrammet går ut på att klassificera ballasten på ett sådant sätt att man får fram hur de kommer att bete sig i den färska betongen och hur man kan förändra egenskaperna så att egenskaperna förbättras. Det skall ge verktyg för både täkter och betongproducenter att göra en effektivitet och kostnadsanalys.

Forskningen har i första hand inriktats på att koppla betongens egenskaper i färskt tillstånd med petrografisk klassificering. Då vi vet att problemen med krossballast i första hand gäller finballasten så har undersökningarna inriktats på partiklar som passerar 2 mm sikten. Att så är fallet har visats i undersökningar med verklig betong.

Forskningen har varit indelad ett antal delområden. Krossballasten måste först klassificeras på ett relevant sätt. Det som skiljer naturballast från krossballast är i första hand kornsortering (kornkurva) och kornform. Det gäller i första hand att få fram de variabler som påverkar den färska betongens egenskaper. Detta kan göras genom reologiska mätningar och testning av bruk. Samverkan mellan kornkurva, kornform och reologi är det basala i undersökningarna.

Man kan inte rutinmässigt göra detaljerade petrografiska undersökningar och analys av de enskilda komponenterna. Detta medför att man måste kunna definiera relevanta egenskaper som kan användas vid klassificeringen. Dessa relevanta egenskaper i sin tur ger en bas för kvalitetssäkringsmetoder

För att verifiera vilken effekt de olika egenskaperna har på verklig betong har en serie undersökningar gjorts med betong både i laboratorium och på betongfabrik.

3 Undersökta material

För undersökningsprogrammet togs det ut 0-2 mm material från 16 olika bergtäkter i granitiskt berg. Som referens togs också material från en bergtäkt med kvartsitisk sandsten som fungerar bra i betong och från två naturgrustäkter.

De granitiska täkterna täcker alla delar av Sverige och utgör en därmed den variation man förvänta finna i Sverige. Materialet är taget ur fallande produktion och reflekterar därför inte nödvändigtvis täkten som helhet. Med kunskap om vad som är lämpligt för betongtillverkning kan man antagligen få fram partier som är bättre lämpade.

3.1 Nomenklatur för petrografisk analys

En petrografisk analys av en ballast har ett syfte. Den skall beskriva produkten så att användaren förstår vad det är för material och hur man skall kunna använda och optimera detta material. När det gäller betong skall beskrivningen och analysen även ta med komponenter som kan ge upphov till beständighetsproblem. Den petrografiska analysen utförs i allmänhet av utbildade geologer och använder geologisk terminologi. Den skall dock utföras av en person som har kännedom om slutanvändningen och de krav som denna ställer. Hur en petrografisk analys skall utföras och en terminologi finns beskrivet i SS-EN 932-3.

När det gäller bergtäkter använder man ofta den geologiska termen på den bergart som krossas. Den petrografiska analysen skall dock innefatta ballastens komponenter och dess egenskaper som när det gäller betong styrs av och kornformen och kornytan som i sin tur styrs av bergartstexturen och mineralogin. De större fragmenten kommer att bestå av bergartsfragment medan de mindre kommer att bestå av enskilda mineral. För de grövre partiklarna kommer kornformen att bestämmas av texturen och för de mindre av de enskilda mineralens specifika ytor. En skiffrig bergart ger oftast flisiga och skiffriga bergartsfragment. Varje mineral är strikt kristallografiskt uppbyggd och har en speciell form. Vid krossning av ett mineral kommer de nu mindre kornen ha samma kristallografiska form som det ursprungliga mineralet.

Egenskaperna styrs dock till stor del av bergartstypen men denna måste vara definierad på ett relevant sätt med utgångspunkt från geologisk terminologi. En bergart kan med geologisk terminologi definieras på flera olika sätt. Inom geologin kan man använda en genetisk, texturell eller mineralogisk/kemiskt terminologi. Dessa blandas ofta ihop vilket ger problem. En genetisk huvudindelning är sedimentär, metamorf eller magmatisk. En sedimentär bergart är bildad av sediment som kompakteras och om temperaturen är tillräckligt hög blir denna metamorf. En magmatisk bergart är bildad ur en smälta (magma) som stelnat. Kalkstenar är sedimentära, marmor och skiffrar metamorfa medan graniter är magmatiska.

De bergarter som framför allt används i Sverige för ballasttillverkning är gnejser och graniter från den Svenska urbergskölden. Som kommer att visas senare finns det en stor variation mellan olika gnejser/graniter och det behövs därför en specifik terminologi. Gnejs är en texturell term som indikerar skiffrighet medan granit är en magmatisk-mineralogisk. En gnejsgranit är därför en skiffrig/slirig bergart med en granitisk uppsättning mineral. Högmetamorfa bergarter som ligger nära smältpunkten (migmatiter) har en mineralogi som liknar de magmatiska bergarterna och man därför när det gäller den petrografiska beskrivningen använda en magmatisk terminologi.

Beteckningen granit används generellt för en stor del av det svenska urberget. Granit är emellertid en strikt mineralogisk sammansättning där bergarten skall innehålla mera än 20 volyms % fri kvarts. Det finns emellertid flera varianter på vad som normalt betecknas som en

Krossat berg som ballast till betong

granit (se Figur 3.1). Som generell term bör man därför använda begreppet granitoid och sedan särindela den efter den mineralogiska sammansättningen. Som kommer att visas senare så är mineralogin viktig för hur finballasten fungerar i betong varför det är viktigt att använda en terminologi som reflekterar den mineraliska sammansättningen. Man bör även använda texturella termer som exempelvis skiffrig eller gnejsig etc. då detta ger en information som har betydelse för speciellt stenarnas form.

För att klassificera de svenska bergtäkterna bör man använda en magmatisk-mineralogisk terminologi. Varje magmatisk smälta har en bestämd kemisk sammansättning och när den stelnar får den en bestämd mineraluppställning. En magmatisk bergart får textur beroende på hur den stelnat. Om magman kommer upp till ytan kyls den snabbt ner och får en finkornig och ibland glasig textur. De flesta av porfyryerna, exempelvis dalaporfyren är gamla snabbt stelnade vulkaniska bergarter. Om smältan stelnat i gångar under ytan stelnar de något långsammare men blir fortfarande ganska finkorniga. Diabasgångar är typiska sådana bergarter. Om magman stelnar långsamt på stora djup bildas grovkorniga bergarter. Granitoider är typiska djupbergarter med det gemensamma att de innehåller fri kvarts.

En granitoid består av huvudmineralen kvarts, alkalifältspat, plagioklas. Dessutom innehåller den i olika mängd biotit, muskovit och hornblände och pyroxen. För de finare fraktionerna kommer kornformen att huvudsakligen bestämmas av mineralogin. Den bästa nomenklaturen är därför att använda en strikt mineralogisk-magmatisk nomenklatur. För en bergart kan detta vara relativt enkelt men det är mera komplicerat för en ballast då det i en täkt kan ingå flera bergarter. Även i en täkt som är homogen ingår ofta basiska gångar som ger krossprodukten inslag av basiska mineral såsom hornblände, biotit och pyroxen. Likväl kan man använda mineralogisk-magmatisk terminologi då den ger en beskrivning som jämnar ut variationer och ger en för betongtillverkning mera relevant beskrivning. I SS-EN 932-3 finns en terminologi för petrografisk beskrivning. De magmatiska djupbergarterna indelar man grovt i granit/syenit/granodiorit/diorit och gabbro. Detta är baserat på rekommendationer från IUGS och är illustrerat i Figur 3.1. Indelningen är baserad på mineralogin som i sin tur beror på den kemiska sammansättningen. Huvudindelningen är baserad på mängd kvarts där graniten innehåller mycket (< 20 %) och dioriten/syeniten ingen kvarts. Dioriten (gångbergart diabas) är dominerad av plagioklas och syeniten på alkalifältspat. Som vi skall se senare så bestäms krossprodukternas egenskaper också av mängden muskovit, biotit, klorit och hornblände. Vilka och i vilken mängd dessa bildas beror på halten aluminiumoxid, järn och magnesium och kvoterna mellan dessa. En relevant klassificering som används inom geologin är att använda kvoten $Al/(Na+K+Ca)$. Om denna kvot räknat som oxider är större än 1 benämns bergarten peraluminös och i allmänhet rik på biotit/muskovit (glimmer). Om kvoten är lägre än 1 benämns bergarten metaluminös och är oftast rik på hornblände och biotit. I allmänhet är granitoiderna i Sverige peraluminösa och är rika på glimmer men det finns undantag. Som vi kommer att se senare spelar det ganska stor roll för ballastens egenskaper i betong om den är rik på glimmer eller hornblände. I allmänhet stiger innehållet av glimmer och/eller hornblände med sjunkande mängd kvarts. Granodioriten som är rik på plagioklas är innehåller ofta mera hornblände medan kvartssyeniten peraluminös och innehåller mera glimmer. För den deskriptiva beskrivningen kan det räcka med att ange om det är en glimmer eller hornbländerik granitoid men skall man vara korrekt skall man beskriva den som per- eller metaluminös och ge den granitoida terminologin. Det räcker i allmänhet med att ange om bergarten är rik på glimmer eller hornblände då detta ger relevant information för ballast ämnad för betongtillverkning.

I SS-EN 932-3 finns en nomenklatur för petrografisk beskrivning av magmatiska djupbergarter. Denna är emellertid inte tillräcklig för en mera komplett beskrivning varför subindelningar har införts.

Krossat berg som ballast till betong

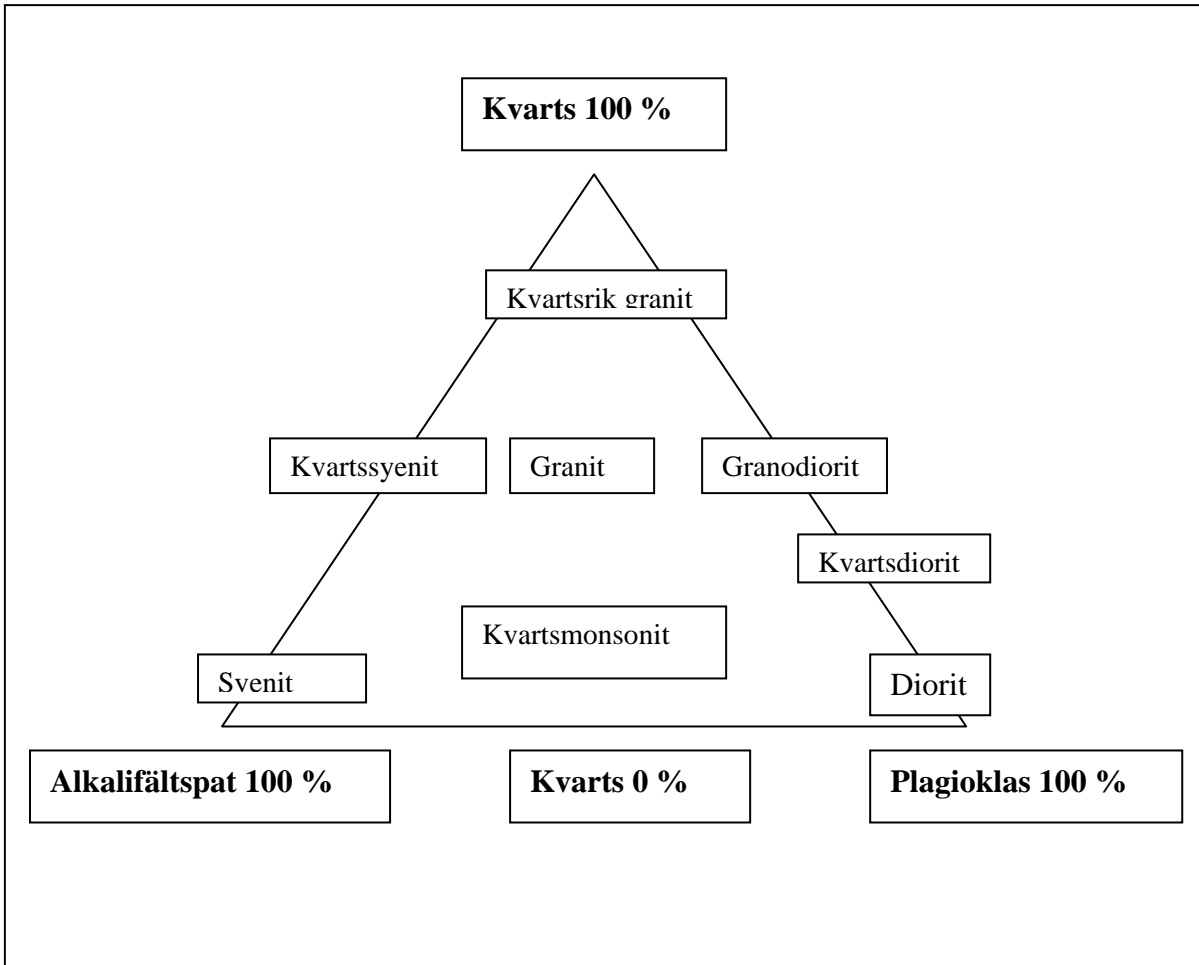
- **Granit** en ljus färgad bergart som innehåller alkalifältspat, albitrik plagioklas och kvarts tillsammans med biotit och ibland muskovit.
- **Kvartssyenit (ibland kallad alkaligranit)**. En ljus färgad bergart rik på alkalifältspat och kvarts. I allmänhet innehåller den både muskovit och biotit.
- **Granodiorit**. En relativt ljus bergart rik på plagioklas och kvarts. I allmänhet är den rik på hornblände men kan innehålla rikligt med biotit.
- **Kvartsmonsonit**. Liknande sammansättning som granit men fattigare på kvarts (< 10%).
- **Syenit** en ljus färgad bergart som är fattig på kvarts men rik på alkalifältspat. Dessutom är den rik på muskovit, biotit. Somliga varianter innehåller nefelin och alkalirikt hornblände.
- **Diorit** är en bergart med en sammansättning mera basisk (fattigare på silika) än granodiorit. Den domineras av plagioklas, fältspat, hornblände, och ibland biotit och pyroxen. (Pyroxen omvandlas med tiden till hornblände). Om bergarten innehåller en liten mängd kvarts (< 20 vol. %) benämns den **kvartsdiorit**.

Som generell klassificering kan man anta att om bergarten innehåller fri kvarts så är det en granitoid. Om den innehåller mer än 20 vol. % så är det en granit som kan subindelas i kvartssyenit, granit och granodiorit där kvartssyeniten är relativt rik på muskovit medan granodioriten är rik på hornblände. Alla innehåller mer eller mindre biotit. Om bergarten innehåller mindre 20 vol. % kvarts är det en kvartsmonsonit eller kvartsdiorit där kvartsdioriten är rikare på plagioklas och hornblände. Om bergarten inte innehåller fri kvarts är det en variant mellan syenit eller diorit. Syenit är ovanlig varför det i allmänhet är en diorit. Gabbro/diabas/grönsten har en dioritisk sammansättning. Denna indelning ger också information om den relativa mängden glimmer amfibol då denna stiger med minskad mängd kvarts.

Man bör också ange hur grov bergarten är. I denna rapport föreslås att man använder begreppet mineralgräns som markerar när i en siktkurva mängden fria mineral blir större än mängden bergartsfragment. Mineralgränsen blir högre för grovkorniga bergarter.

För beständigheten i betong bör man även ange om bergarten innehåller finkristallin kvarts då denna kan ge problem med alkalisilikareaktionen. Detta indikeras genom petrografisk analys och bestäms genom test. Man bör även ange om bergarten innehåller rikligt med pyrit/magnetkis eller leror som är volymsobeständiga. Detta indikeras genom petrografisk analys och bestäms genom test. Volymsobeständiga leror är ovanliga i granitoider men förekommer i omvandlade dioriter. Detta kan testas med hjälp av test (metylenblå test).

Krossat berg som ballast till betong



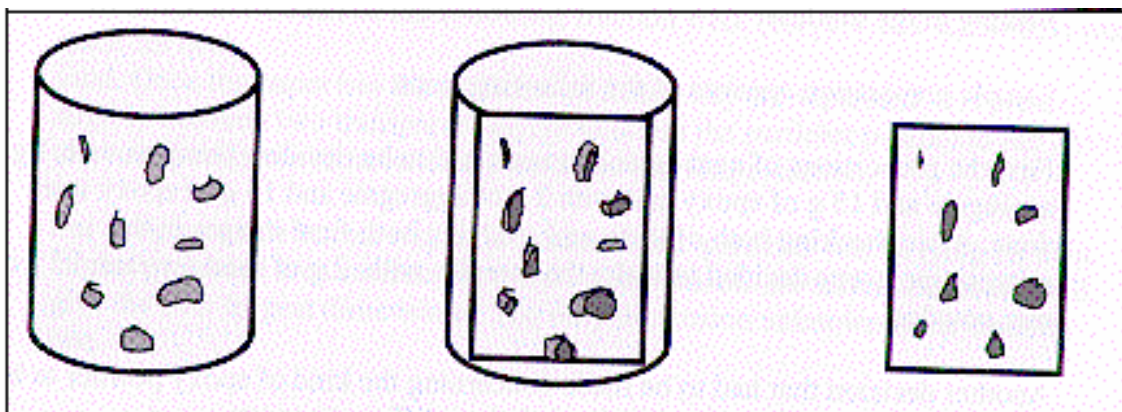
Figur 3.1. Enkel klassificering av magmatiska granitoida bergarter baserat på mineralisk sammansättning.

4 Karaktistik av finballast från krossade bergarter

4.2 Petrografisk analys

Den petrografiska analysen har, förutom fillern, gjorts på tunnslip (snittade ytor) i polarisationsmikroskop genom punkt räkning. Metodiken är exemplifierad i Figur 4.1. Ett tunnslip är ett preparat som slipats så tunt att ljusa kan tränga genom det. Vid analysen flyttas tunnslipet automatiskt ett bestämt avstånd och endast träff i en partikel räknas. Detta ger ett annat resultat än vid vanlig petrografisk analys av ballast, där man räknar antalet korn av olika bergartstyp eller mineral. I princip ger det samma resultat som om man gjorde en punkträkning på ett tunnslip av en specifik bergart, dvs. denna typ av punkträkning ger en analys som baseras på volymandelen av olika mineral i en bergart. Man får en bergart som skulle ha den mineralogiska sammansättningen som en homogen bergart med grusets sammansättning skulle ha.

Vi är dock inte främst ute efter att göra en korrekt petrografisk analys utan en som är anpassad för finballast till betong. Alla mineral har en speciell kornform men om två eller flera mineral sitter samman så får man kompositens form. Därför betecknas varje korn där flera mineral sitter samman som en bergart. Om analyspunkten i ett bergartskorn träffar ett mafiskt mineral (biotit, hornblände etc.) betecknas kornet som en mafisk bergart och om det träffar ett ljust mineral som fältspat eller kvarts som en salisk bergart. En petrografisk analys uppdelad i siktfraktioner finns i MinBaS 2.7. Den petrografiska analysen ger mängden volymsandelen av olika mineral på vilken man kan göra en petrografisk klassificering. Detta är gjort i tabell 4.1. Från denna kan vi se att alla de magmatiska bergarterna innehåller rikligt med fri kvarts, dvs. de är granitoider. En del innehåller rikligt med hornblände och klassas som granodioriter medan andra innehåller mycket lite mafiska mineral men rikligt med alkalifältspat och klassas som kvartssyeniter/alkaligraniter. Detta behöver inte betyda att bergarten i sig är en exempelvis en granodiorit men blandningen har en mineraliskt sammansättning som en granodiorit skulle ge.



Figur 4.1. Tillverkning av snittade preparat. Gruset läggs i behållare och packas lätt. Därefter suggs epoxi in i gruset genom vakuum. Preparatet snittas efter att det stelnat i längdriktningen och tunnslip tillverkas. Detta förfarande ger något mera liggande partiklar.

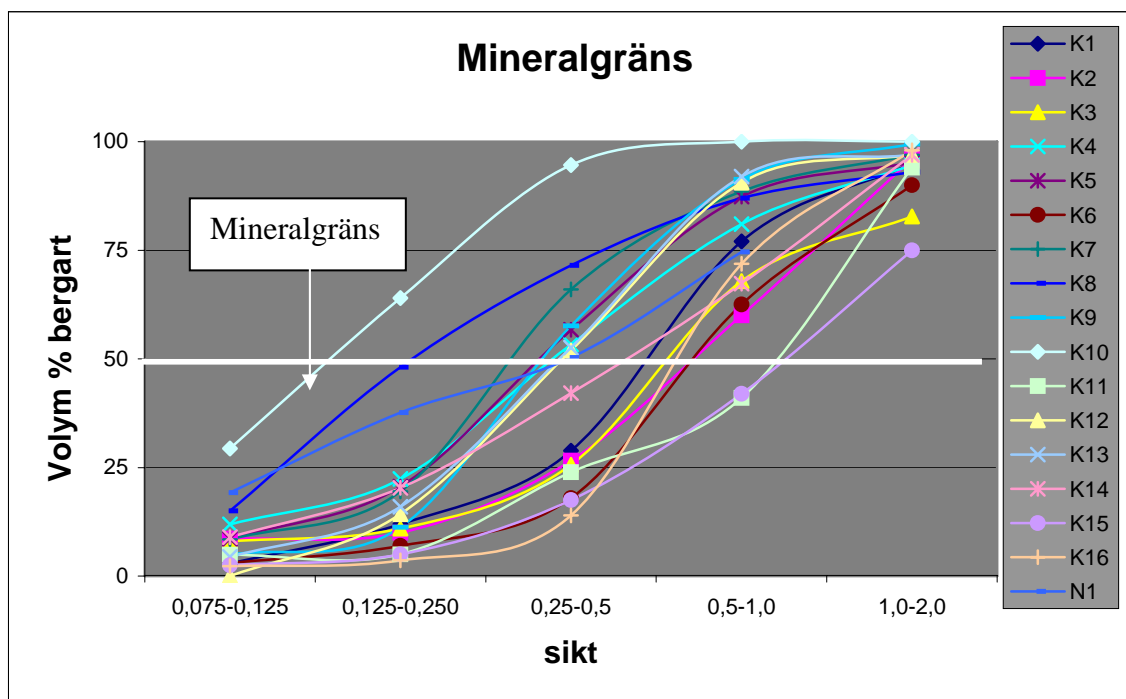
Med utgångspunkt från det sätt som tunnslipsanalysen har gjorts kan man även göra en beräkning av hur grov bergarten är. Vid krossning klyvs bergarten till mindre korn efter svaghetszoner. Korngränsen mellan mineral är svagare än mineralen i sig, vilket medför att rena mineral anrikas i de finare fraktionerna. Är bergarten grov dvs. har större mineralkorn kommer

Krossat berg som ballast till betong

mineralen att få en större andel i grova fraktioner. Hur fördelningen ser ut i de olika proverna visas i figur 4.2. Mineralgränsen är här definierad som den siktfraktion i vilken mer än hälften av partiklarna består av rena mineral.

Tabell 4.1. Petrografisk analys på krossprodukter från magmatiska bergtäkter. Texturklassificering från mineralgräns där Bergarten är finkornig om mineralgränsen ligger under 0,25 mm sikten, medelkornig om under 0,5 mm sikten och grovkornig om över 0,5 mm sikten. +++ mycket rikt på, ++ rikligt förekommande. + Finns något.

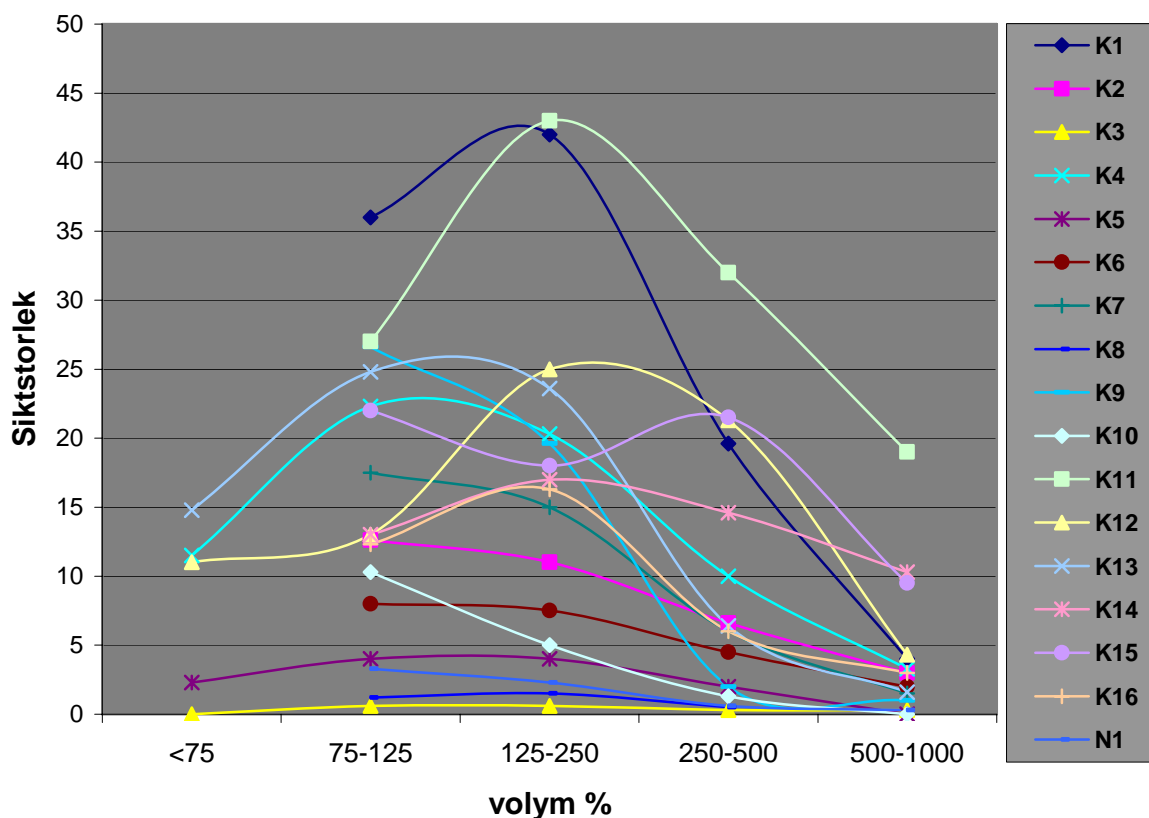
| Beteckning | Kvarts | Fsp | Biotit | Muskovit | Hornb | Namn | Textur |
|------------|--------|-----|--------|----------|-------|--------------|-----------|
| K1 | ++ | + | +++ | | + | Granit | Grov |
| K2 | +++ | ++ | ++ | | + | Granit | Grov |
| K3 | +++ | +++ | | | | Kvartssyenit | Grov |
| K4 | ++ | ++ | ++ | + | | Granit | Medel |
| K5 | +++ | +++ | + | | | Kvartssyenit | Medel |
| K6 | ++ | ++ | + | | ++ | Granodiorit | Grov |
| K7 | ++ | ++ | ++ | | ++ | Granodiorit | Medel |
| K8 | ++ | ++ | + | + | | Kvartssyenit | Fin/medel |
| K9 | +++ | ++ | ++ | | | Granit | Medel |
| K10 | +++ | +++ | ++ | | | Granit | Fin |
| K11 | +++ | ++ | +++ | + | + | Granit | Grov |
| K12 | ++ | ++ | ++ | | ++ | Granodiorit | Grov |
| K13 | +++ | ++ | +++ | | + | Granit | Medel |
| K14 | ++ | ++ | ++ | | ++ | Granodiorit | Grov |
| K15 | +++ | ++ | ++ | | | Granit | Grov |
| K16 | +++ | ++ | ++ | + | | Granit | Grov |
| K17 | +++ | +++ | + | | | Granit | Medel |



Figur 4.2. I detta diagram kan vi se att vissa av bergarterna som K15 och K11 måste ha varit grovkorniga medan K10 och K8 var finkorniga.

En variabel som är viktig för de reologiska egenskaperna är mängden fri glimmer (diskuteras senare). I Figur 4.3 kan vi se mängden fri glimmer i de enskilda siktfraktionerna. Det visar att mängden fri glimmer är störst i en storleksordning runt 0,125 mm.

Krossat berg som ballast till betong

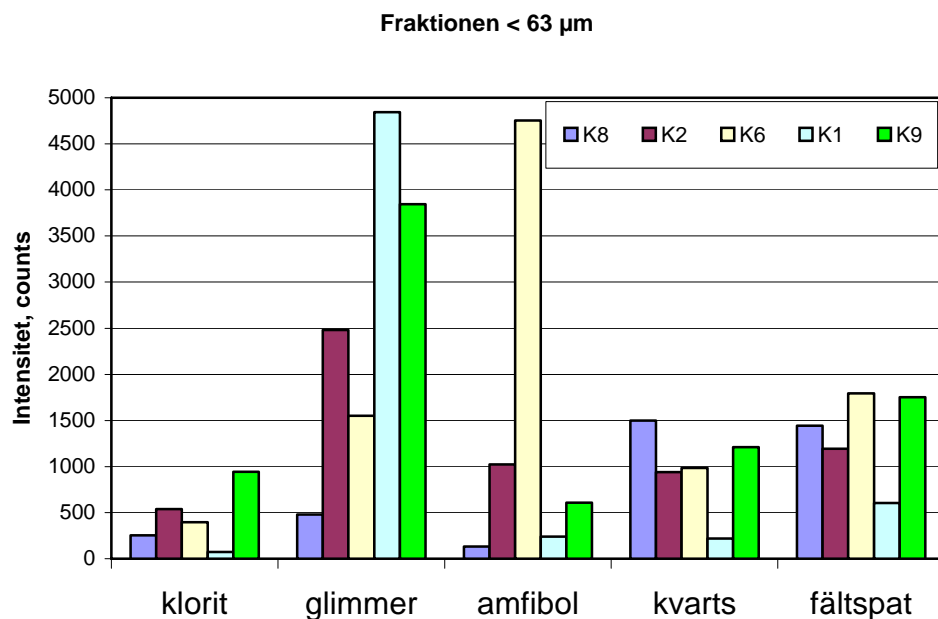


Figur 4.3. Mängden fri glimmer i olika siktfraktioner materialet från de olika täkterna. Fraktionen under 0,075 mm kommer från SEM analys (se text) och endast utförd på finballast från 5 täkter.

Fillern (< 63/75 μm , tidigare 75 nu 63 enligt SS 12620) går inte att analysera i tunnslip då den är för finkornig varför denna fraktion har analyserats på planpolerade (snittade) ytor i svepelektronmikroskop (SEM). Analysen av de enskilda mineralen har gjorts genom en kemisk bestämning med hjälp av energi dispersiv analys (EDS) i SEM. Detta medför en mera exakt bestämning än i tunnslip. Det har endast gjorts en fullständig analys på 5 prover. Räkningen av korn har gjorts genom att alla partiklar har bedömts. Detta ger liknande men inte samma typ av statistik som punkträkningen i tunnslip. Som förväntat är alla partiklar rena mineral.

Fillern har även analyserats med röntgendiffraktion (XRD) på malt pulver. Detta är en metod som främst identifierar kristallina material men man kan även få en kvantitativ uppskattning. XRD är relativt snabb och billig. Genom att vi även gjort mängdanalys i SEM på samma prov får vi en kalibrering av XRD. Stapeldiagram som visas fördelningen i 5 prover finns i Figur 4.4. En jämförande korrelation mellan partikelanalys i SEM och XRD visas i diagram 4.5. Resultaten visar att man med hjälp av XRD får en bra uppskattning av mineralen i fillern vilket i sin tur har bäring på hur reologin påverkas.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 4.4. Stapeldiagram som illustrerar resultat från röntgendiffraktion.

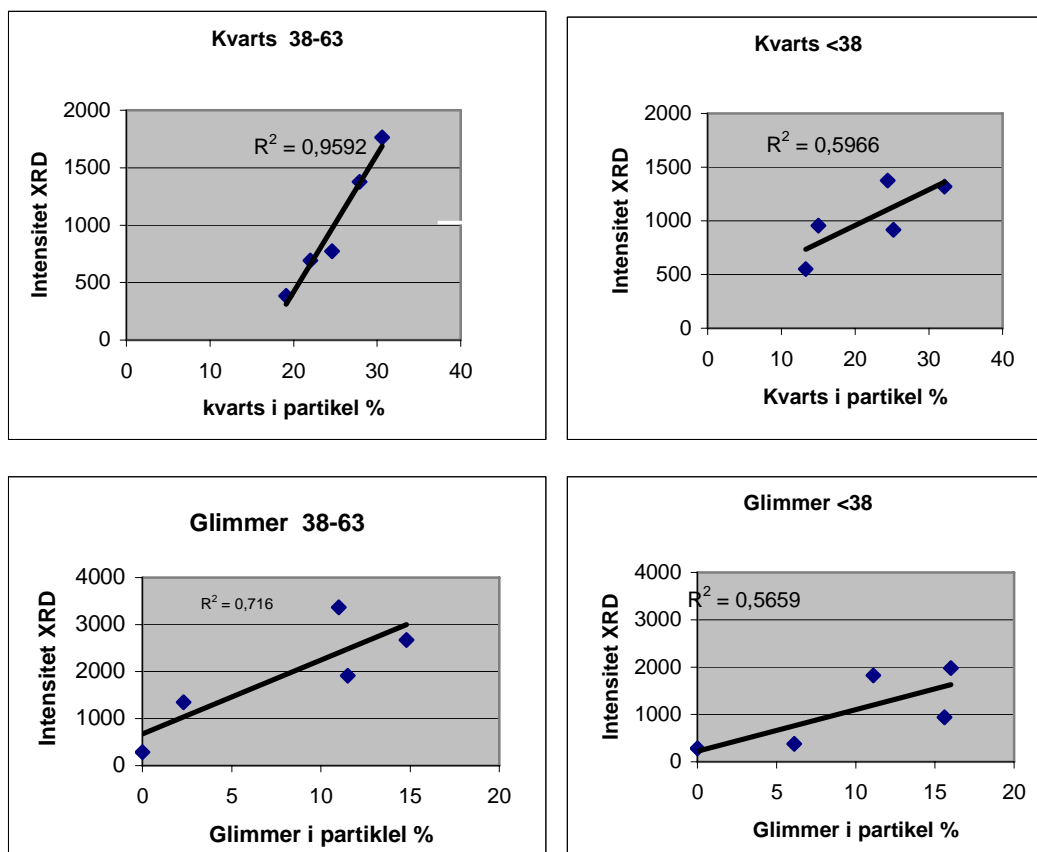


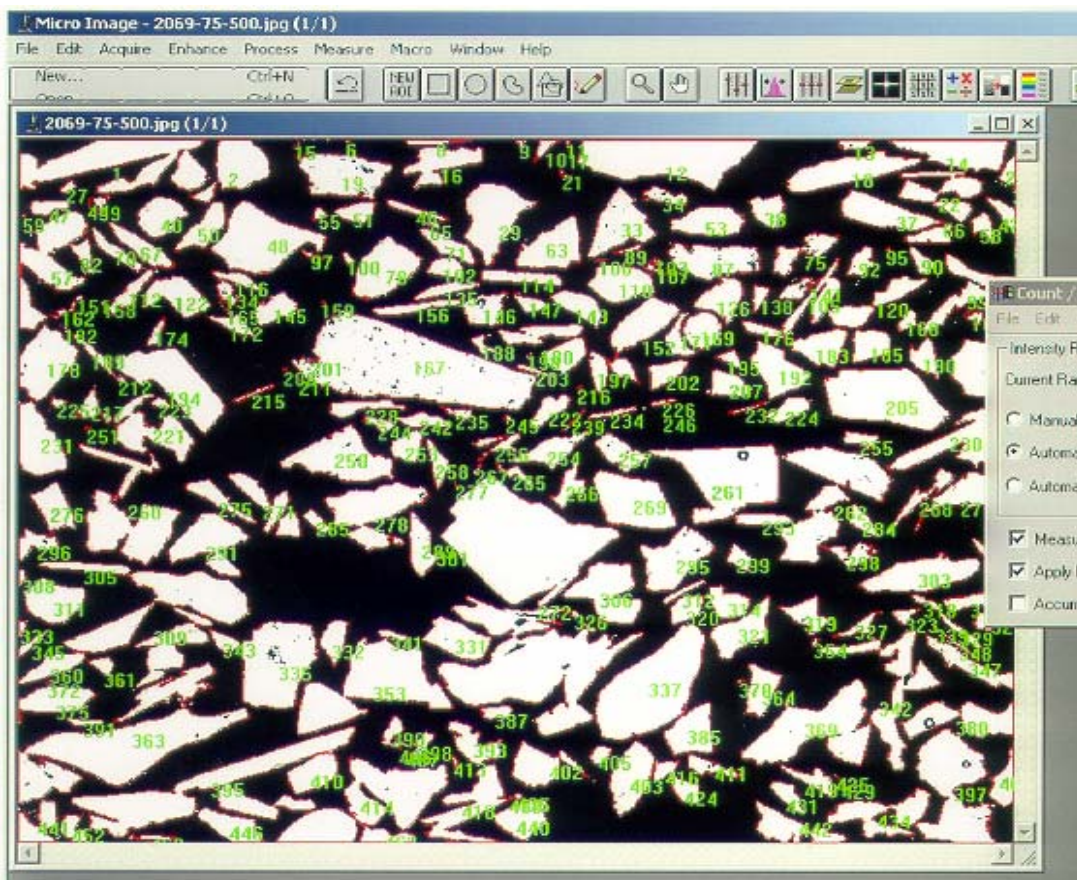
Fig. 4.5. Korrelations diagram mellan halt av kvarts och glimmer i SEM och intensitet i röntgendiffraktionsdiagram.

4.2 Kornform/bildbehandling

Partiklarna i gruset är för små för att kunna identifieras och mätas visuellt. I SS-EN 12620 finns endast krav på flisighetsindex på grov ballast. För att kunna bestämma kornform hos finballast krävs mikroskop

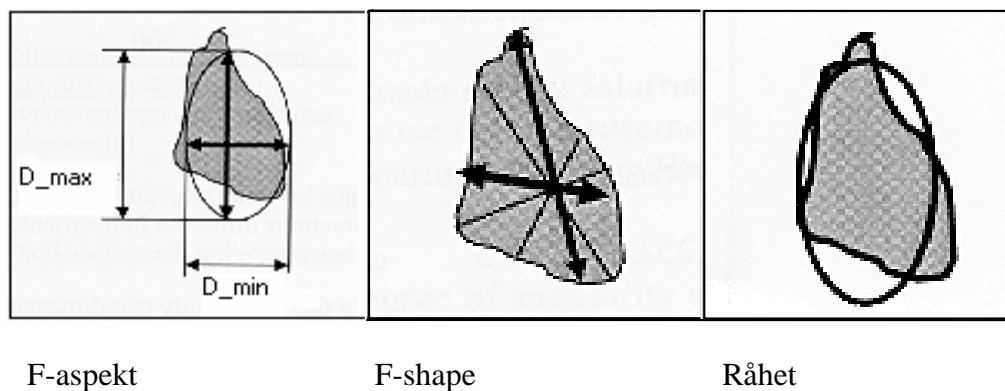
Kornformen har kvantifierats genom bildanalys. Metodiken finns beskriven i MinFo-rapport A2000-3:1. Bildanalysen är dock tvådimensionell. För att få en tredimensionell analys måste man mäta både snittade och liggande korn. Genom att jämföra kan man diskriminera mellan flakighet och stänglighet. Runda, kubiska och flakiga korn får liknande form när de ligger ner medan stängliga blir stängliga. I snittade preparat blir både stängliga och flakiga stängliga.

Alla sikt har analyserats separat. Filler fraktionen ($< 75 \mu\text{m}$ sikt) har undersökts på snittade preparat i svepelektronmikroskop (SEM) medan de större kornen har undersökts med hjälp av tunnslip i polarisationsmikroskop. Det är samma tunnslip som den petrografiska analysen utförts på. Hittills har endast fem bergarter undersökt i SEM då detta är en dyr och besvärlig undersökning (ingen analys av liggande korn utfördes). Detta medför att man kan få kontroll på formen i varje fraktionen vilket möjliggör en jämförelse både inom en produkt och mellan produkter. Figur 4.6 visar en bild från tunnslip av snittat preparat i polarisationsmikroskop analyserad med bildanalys. UV-ljus, speciell preparering och filter krävs för att få fram bra kontrast. Varje partikel får ett unikt nummer. Det fodras dock en del arbete med att få fram bra kontrast och att separera alla partiklar från varandra. Det är därför en metod som kräver kunskap och operatörsskicklighet.



Figur 4.6. Tunnslip från snittat preparat i mikroskop efter bildbehandling.

Varje identifierat korn kan bearbetas individuellt med avseende på kornform. Råhet etc. Den viktigaste variabeln är flakigheten, då denna egenskap försvårar rörligheten i betong. Denna mäts enklast genom att ta fram kortaste/längsta avståndet i varje partikel. I Figur 4.7 definieras parametrarna F-aspekt, F-shape och råhet.



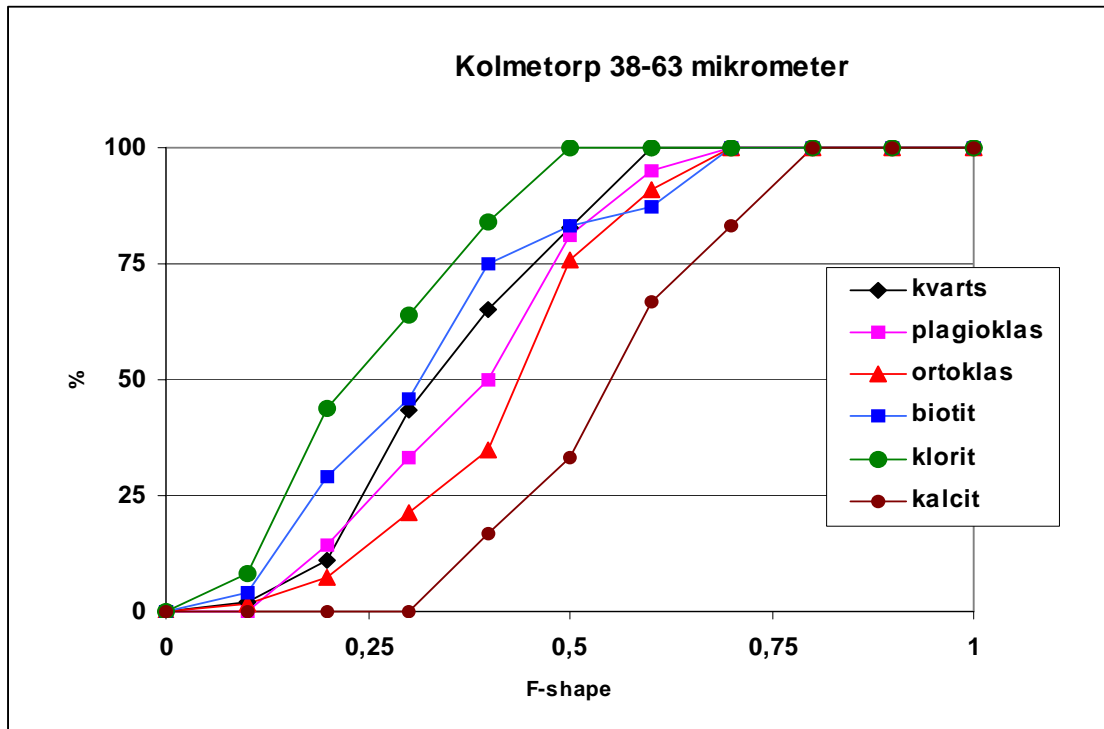
Figur 4.7. Skiss som visar F-aspekt, F-shape och råhet. F-shape är kvoten mellan längsta och kortaste avståndet i en anpassad ellipsoid. F-shape är kvoten mellan den kortaste och längsta diametern som passerar genom tyngdpunkten medan råhet bygger på kvoten mellan kornets verkliga omkrets och en anpassad ellipsoid.

Kornen är emellertid oregelbundna vilket gör det svårare att definiera relevanta avstånd. Den variabel som visat sig ge bäst information och som används i de olika diagrammen är F-aspekt. För fillern har dock F-shape används. Man kan genom bildbehandling även få fram oregelbundenhet/kantighet vilket är redovisat i delrapporten.

4.2.1 Finfraktionen/filler

Finfraktionen definieras som de partiklar som passerar en sikt med en maskvidd på 63 μ m. I SEM kan man med energidispersiv punktanalys få en kemisk analys och därmed kemiskt klassificera vilket mineral som kornet består av. I finfraktionen består av enskilda mineral. Detta medför att man kan klassa alla mineral och göra en bildanalys av varje mineral separat. Resultaten visar som förväntat att partikel formen ges av mineralens kristallografiska form (se Figur 4.8). Kvarts och fältspat (plagioklas och ortoklas) ger den mest kubiska formen medan biotit och klorit är flakiga. Fältspaten verkar något mera kubisk än kvarts vilket beror på att kvarts får en flisig brottyta. Hornblände (betecknad som amfibol) är relativt kubisk, betydligt mera kubisk än glimern (biotit/klorit). Kalcit och epidot har en ganska kubisk form. Epidot är en omvandlig från plagioklas.

K4 38-63 μ m sikt



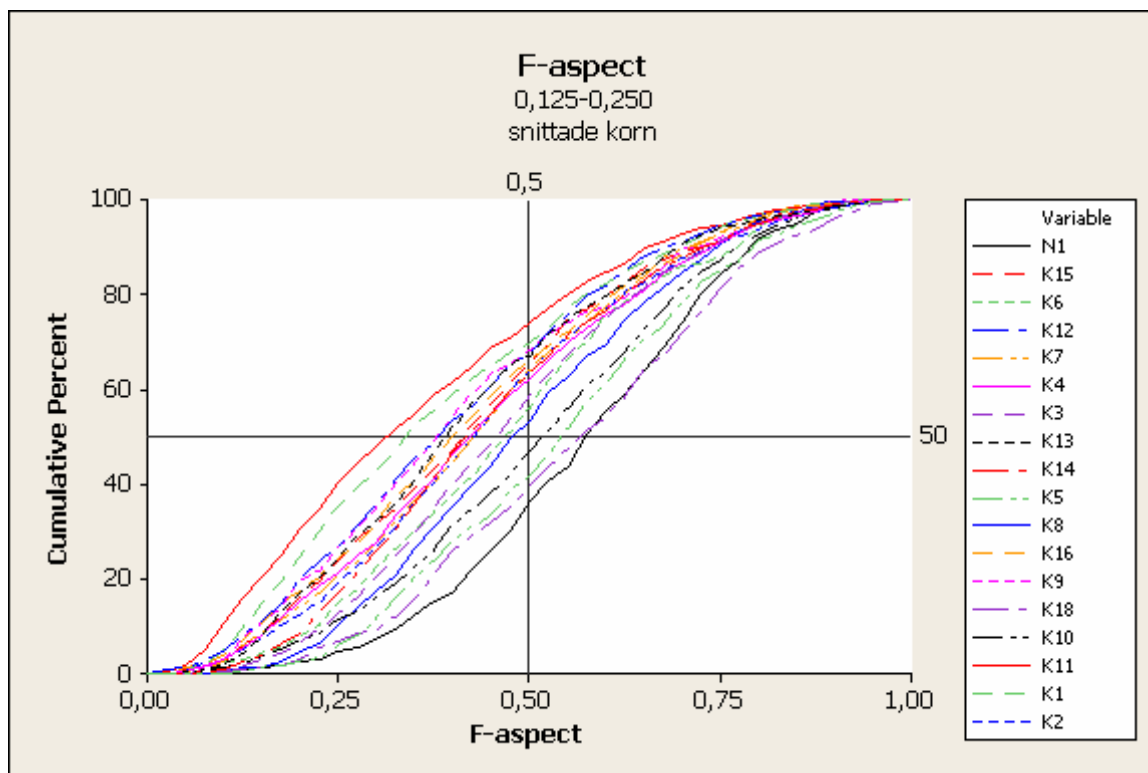
Figur 4.8 Exempel från bildanalys av mineral på snittad polerad yta i SEM. Observera att F-shape och inte som tidigare F-aspekt har mätts. Det ger ett något lägre värde.

4.2.2 Finballast

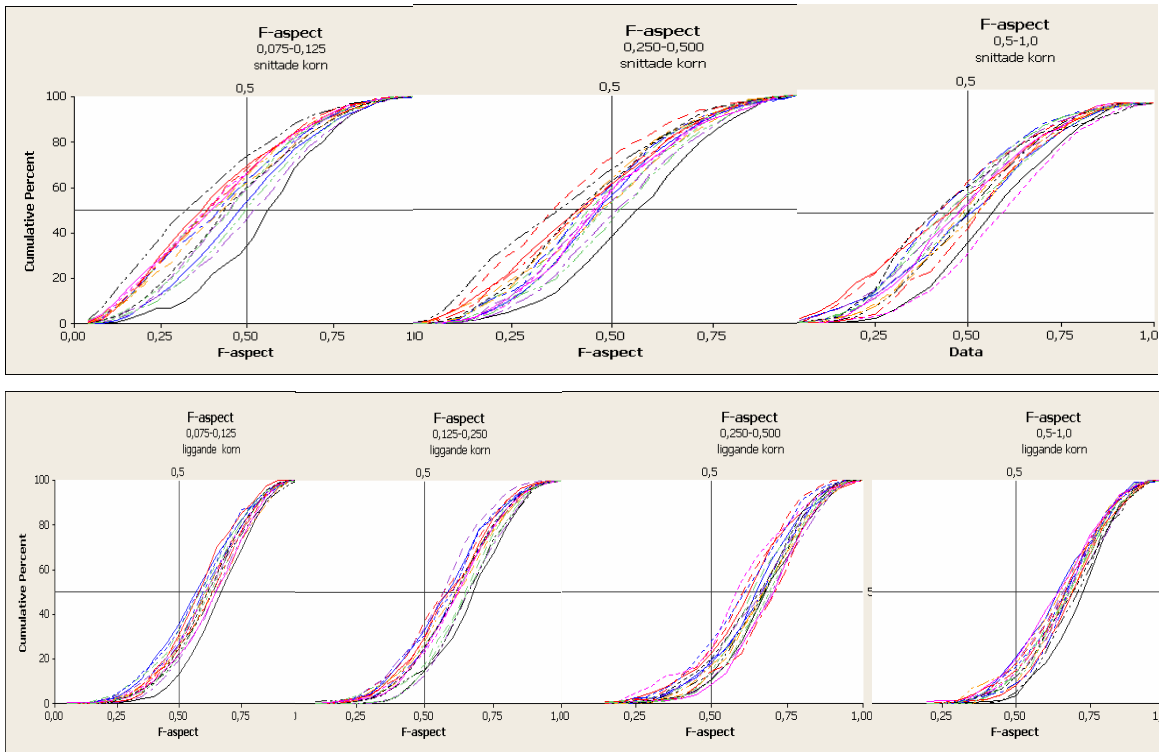
I Figur 4.9 visas grafiskt en sammanställning av mätdata från de olika täkterna. Vid jämförelse mellan snittade och liggande korn finner man att de liggande har en högre F-aspekt och att variationen mellan olika siktfraktioner är ganska liten. Detta tyder på att kornen inte är stängliga, dvs. att de snittade kornen huvudsakligen reflekterar en flakighet. I de finaste siktfraktionerna (75-125 och 125-250 μm) kan man observera en relativt stor spridning i F-aspekt. Generellt ökar kubisiteten med ökad kornstorlek. Det material med mest kubiska/runda partiklar är som förväntat naturgruset N1. Även K10, K6, K8, K5, K3 har relativa höga värden på F-aspekt, dvs. är ganska kubiska. Dessa är krossgrus med låg halt glimmer vilket åskådliggörs i Figur 4.12. De lägsta F-aspekt värdena har K1, K4, K9 och K11 vilka alla innehåller rikligt med glimmer vilket indikerar att det är glimmern som ger flakigheten.

Om man jämför de olika fraktionerna inom samma grus (Figur 4.11) kan man observera att flakigheten avtar med ökande kornstorlek. Detta är markant i gruset från K1, K4, K9, K12, K13 och K16. Dessa är alla bergarter med höga halter biotit men när biotiten är sammanväxt med något annat mineral (bergart) så blir kornet mera kubiskt. Detta medför att med finkorniga bergarter så minskar mängden fri biotit snabbt och kornen blir mera kubiska.

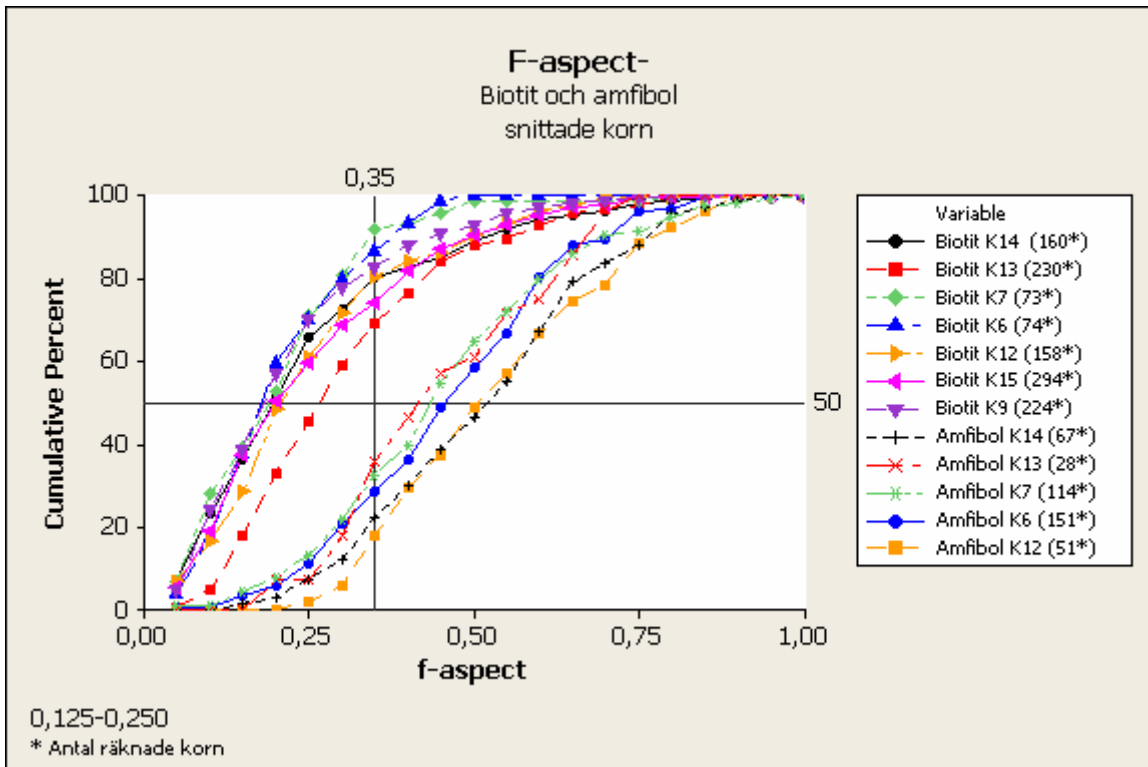
Intressant är K6 som ger relativt höga värden på F-aspekt trots att det innehåller rikligt med hornblände och en del biotit. I Figur 4.10 kan vi se diagram från enbart biotit och hornblände. Detta visar som förväntat att flakigheten kommer från biotiten. Hornblände ger en relativt kubisk form. En intressant observation är att biotiten från K13 är mindre flakig än de andra. Detta visar att man kan få olika tjocklek på biotitflaken. En viss mängd biotit i provet kan ge olika mängd flak. Många tunna flak ger sämre rörlighet än ett tjockt. Det kan vara ett resultat av krossning. Om man krossar exempelvis fältspat så kommer detta att ge mindre med fortfarande kubiska korn. Glimmer kommer att ge flera men tunnare glimmer flak. Om glimmerflaken hålls samman under krossning kommer den negativa effekten på betongens rörlighet att bli mindre.



Krossat berg som ballast till betong

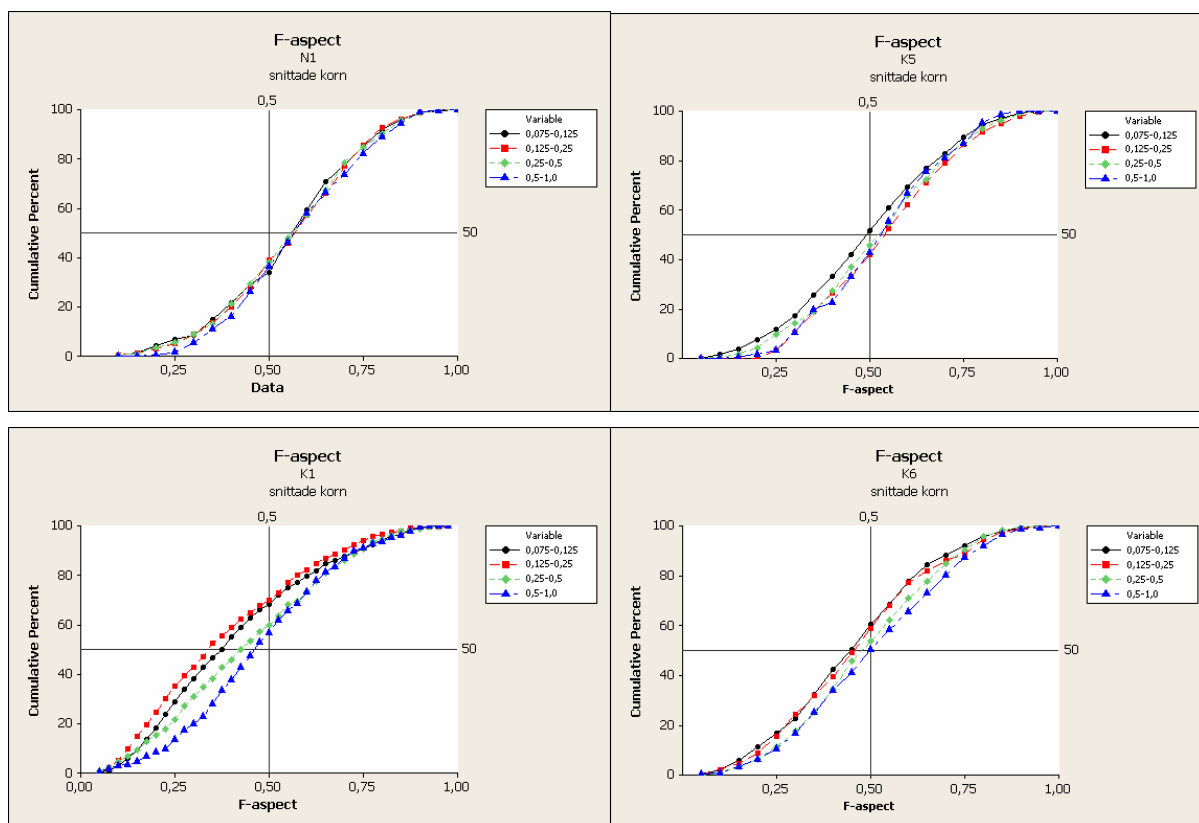


Figur 4.9. Bildanalysdata från alla prov och fraktioner. Snittade och liggande korn. Låga värden på F-aspekt visar avlånga medan höga värden kubiska/runda partiklar. I snittade korn ger låga värden flakiga/stängliga korn medan i liggande partiklar låga värden endast ger stängliga kor. Kumulativa diagram.

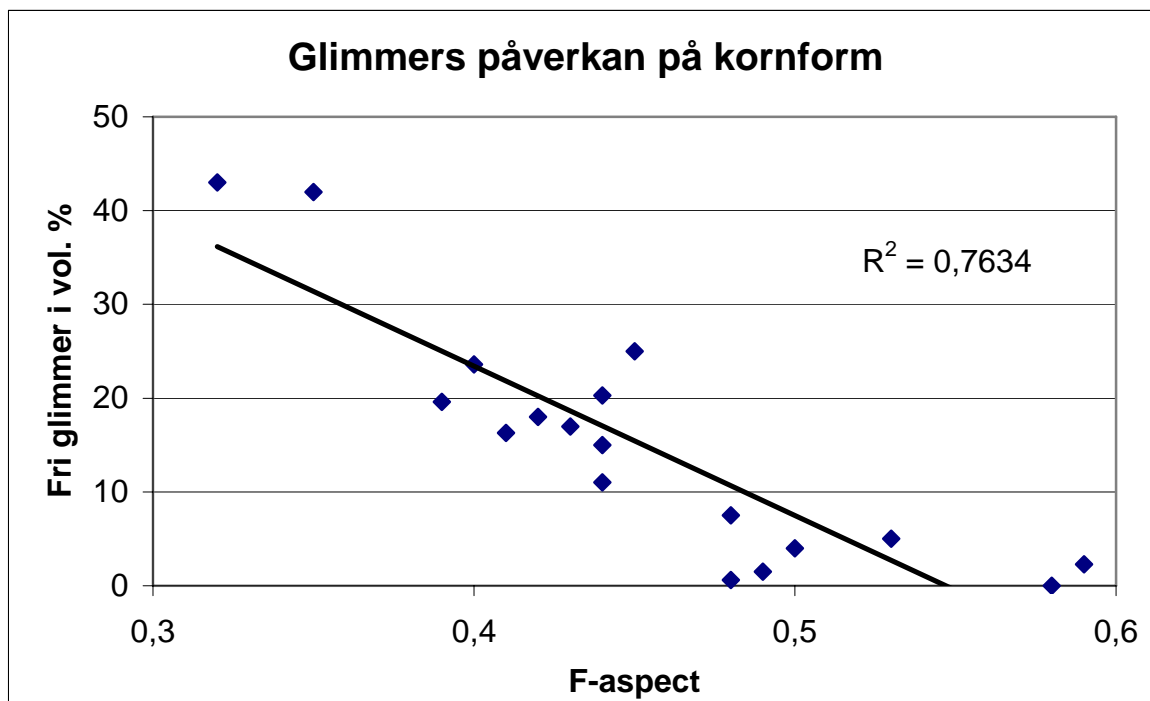


Figur 4.10. Analys data från bildbehandling av glimmer (proven innehåller endast biotit) och hornblände separat. Fraktion 0,125-0,250 mm. Kumulativt diagram

Krossat berg som ballast till betong



Figur 4.11. Selektion av analysdata snittade korn i tunnslip. Kumulativa diagram. De är uppdelade efter täkt och visar förändring med kornstorlek.



Figur 4.12. Diagram som visar korrelationen mellan mängd fri glimmer och F-aspekt. Siktfraktion 125-250 μm .

4.3. Siktkurvor

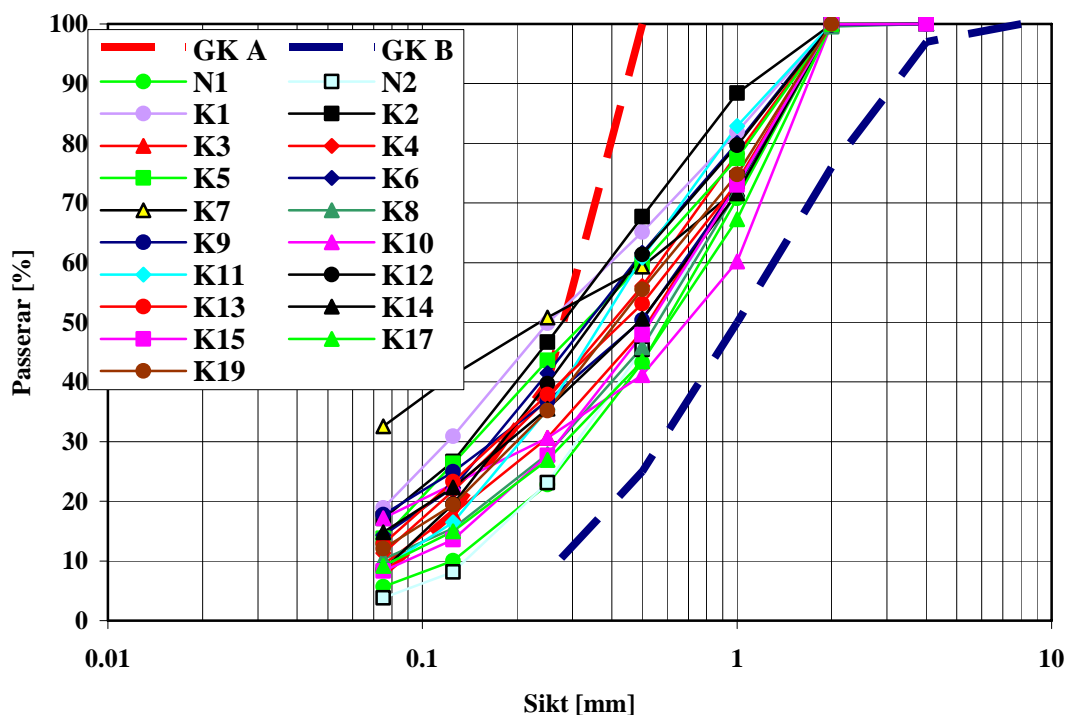
Kornform och kornkurva är de två variabler som är mest väsentliga för en färsk betongs egenskaper. Denna kan dels mätas med vanlig sikt och med lasersikt. Lasersikten har högre upplösning på de finaste partiklarna och ger därmed mera information om fillern.

4.3.1 Vanlig sikt/hålsikt

Kornkurvan för finballast under 2mm framgår av Figur 4.13. Samtliga krossgrus innehåller mera finmaterial (filler < 75 μm) än natursanden (N1 och N2). Den röda gränskurva A markerar övre gränsvärdet för vad man anser att naturballast för bruk bör innehålla vilket ytterligare visar att en hög halt finmaterial är typiskt för krossat berg. Speciellt gruset från K7, K1, K9, K10, och K2 är rikt på filler. Finballasten från K7 är extremt rikt på finmaterial. Man måste dock beakta att K7 kommer från ett blandberg och är antagligen endast typisk för den sändning vi analyserat.

Även i fraktionen under 0,25 mm är krossmaterialet rikare på material än naturgruset men det är inte lika markant. Det verkar typiskt att krossballast innehåller mera fint material än naturballast. Om man ser på formen på kurvorna verkar de flesta krossballaster hålla sig inom en viss ram. Det verkar dock som om det finns en tendens till finkorniga bergarter som K10 ger mera fint medan grovkorniga som K1 och K2 ger grövre partiklar. Detta kan betyda att bergartstexturen är viktig för kurvans form men materialet är för litet för att det skall kunna bekräftas.

Tidigare var det svårt att tillverka betong om ballasten innehöll för mycket finmaterial. Detta kan emellertid kompenseras idag med hjälp av flytmedel. Därför betyder de gamla rekommenderade gränsvärdeskurvorna inte längre så mycket.

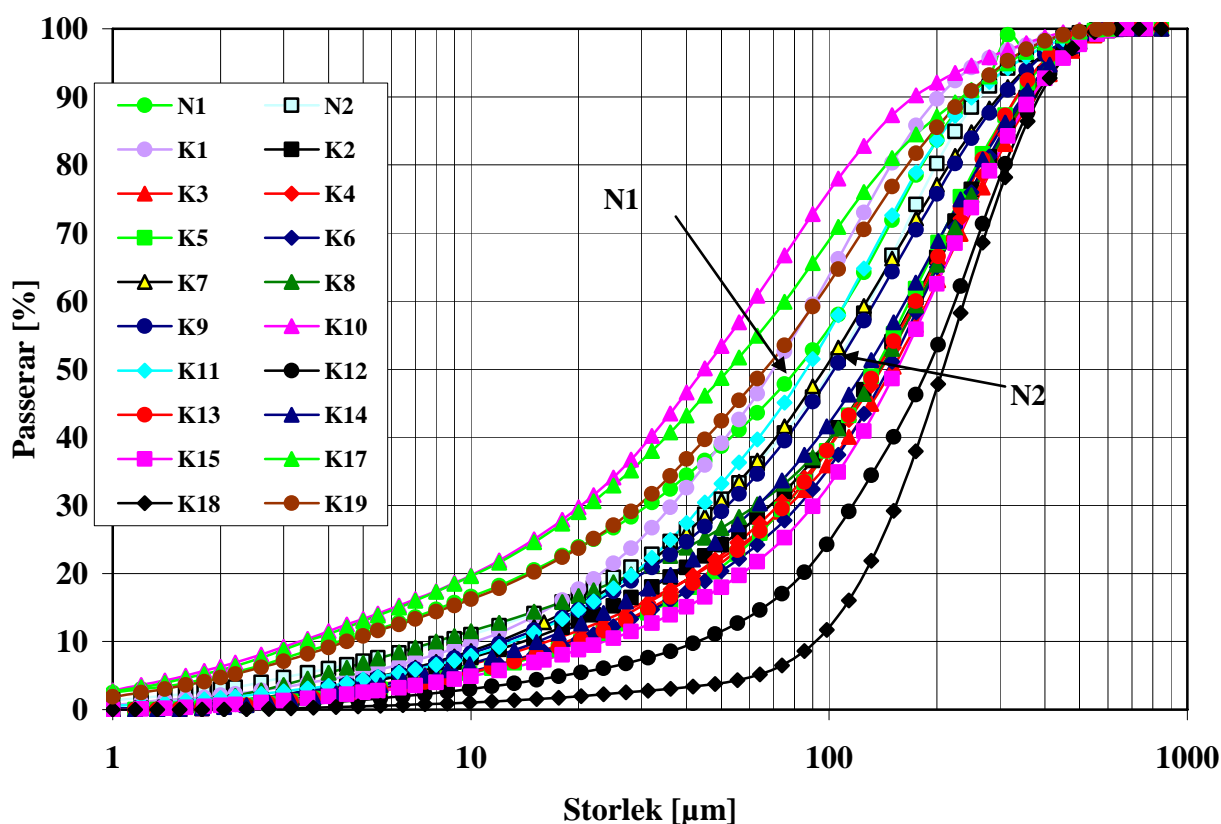


Figur 4.13. Siktkurva/hålsikt (0-2mm) hos de olika grussorterna.

4.3.2. Lasersikt

Kornkurvan för de olika sandsorternas finmaterial (0-0,25 mm sikt) bestämdes med en lasersikt. Resultatet från denna analys framgår av Figur 4.14. Metodiken ger inte samma resultat som vid vanlig siktning med håll. Den längsta diametern mäts, vilket åstadkommer att stängliga och i viss mån flakiga partiklar blir relativt större, dvs. skjuter kurvan åt höger. Mätningarna på liggande korn (Figur 4.9) visar att krossat berg är flakigare än naturgrus.

Resultaten visar att det finns stora skillnader mellan finmaterial från olika kross och mellan kross och naturgrus. Generellt är kurvan för natur och kross liknande, men ser man närmare så innehåller naturgrus (N1 & N2) relativt mera av ultrafiller (< 10 μm) än krossgrus. Undantagen är K17, K10, K8 som har höga halter av ultrafint material. Detta ger en stor inre yta vilket måste beaktas vid betongblandning. Då dessa grus dessutom innehåller höga halter av filler (se vanlig sikt) så krävs det flytmedel för att häva den stora inre ytan. Ser man på antalet partiklar under 63/75 μm så liknar kross och naturgrus varandra.



Figur 4.14. Partikelstorleksfördelning (0-0,25 mm) hos finmaterialet från olika grussorter enligt lasersikt.

4.3.3 Specifik yta

Den specifika ytan (BET- ytan) hos finmaterialet (<0, 25 mm) i sanden har mätts hos Cementa Research AB och redovisas i tabell 4.3. Metoden bygger på att man mäter mängden kvävgas som binder på ytorna och får därigenom fram vilken yta mineralen har. Mera finkornigt ger en större BET-yta. Då BET-ytan mäts som m^2/kg material kommer även ett flakigt, stängligt, porös och en rå flisig partikel ge en större yta.

Krossat berg som ballast till betong

N1, K2, K4 och K8 har en stor BET-yta. Anledningen verkar finna i en kombination av hög halt filler och ultrafint material. De glimmerika krossgrusen har också en relativt hög BET-yta vilket kan bero på stora ytan hos glimmer. Naturballasten innehåller antagligen vittingsleror som har en stor yta. K8 har en extremt stor yta. Anledningen här kan vara att partiklarna i detta grus är kraftigt sericitomvandlade vilket kan ge en mera rå absorberade yta. Senare analyser med berg taget från olika sprängningar visade att de höga BET-ytan antagligen är karakteristisk för berget. När det gäller K2 har en ny omgång analyser utförts med material från den första grovkrossen, och från vidare krossning av +16 material. De gav 1810, 840 och 940 m²/kg. Mineralogi, vanlig siktcurva och lasersiktcurva var nästan samma. Detta indikerar att det har något med processen att göra. Materialet från 1-krossen innehåller antagligen en del material från sprängning och vittrat material vilket kan vara orsaken till den stora BET-ytan. Slutsatsen måste bli att man måste beakta BET-ytan med viss försiktighet när man drar slutsatser.

Tabell 4.3. Siffervärden från siktarna och BET-yta.

| Täkt | Vanlig sikt < 75µm | Vanlig sikt < 250µm | Lasersikt <10 µm | Lasersikt <63µm | BET-yta |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|
| N1 | 5,7 | 22,8 | 16,6 | 43,6 | 2650 |
| N2 | 3,8 | 23,1 | 11,5/7,7 | 36,1/24,1 | /3845 |
| K1 | 18,8 | 49,8 | 9,8/5,0 | 46,6/28,3 | 976/895 |
| K2 | 17,1 | 46,7 | 7,6/8,0 | 28,3/38,1 | 2800/1315 |
| K3 | 9,5 | 30,6 | 6,6 | 26,3 | 840 |
| K4 | 11,4 | 37,9 | 5,3/6,0 | 27,4/28,0 | 2490/2515 |
| K5 | 13,8 | 43,6 | 5,3/7,7 | 26,4/27,9 | 520/706 |
| K6 | 14,3 | 41,5 | 5,5 | 24,2 | 610 |
| K7 | 32,6 | 50,8 | 8,6 | 36,4 | 1150 |
| K8 | 10,3 | 27,9 | 11,5 | 30,1 | 4140 |
| K8-F | 11,9 | 30,4 | 10,3 | 34,1 | 2580 |
| K8-U | 14,1 | 35,3 | 9,1 | 28,0 | 1975 |
| K9 | 17,8 | 37,9 | 8,3 | 34,6 | 890 |
| K10 | 17,2 | 30,6 | 19,7 | 60,8 | Ej anal |
| K11 | 8,9 | 35,4 | 7,9 | 37,9 | Ej anal |
| K12 | 8,5 | 37,9 | 3,0 | 14,7 | 870 |
| K13 | 12,9 | 37 | 5,4 | 26,3 | 920 |
| K14 | 14,8 | 22,3 | 6,7 | 30,3 | 1030 |
| K15 | 8,3 | 27,8 | 4,9 | 21,8 | 780 |
| K17 | 9,5 | 26,9 | 19,6 | 54,9 | Ej anal |
| K18 | 2,3 | 30,6 | 1,0 | 5,2 | 960 |

4.4 Sammanfattning karakteristik

Det finns en mångfald olika metoder som kan användas för att karakterisera krossballast. Krossballast är generellt mera kantig och flakig än naturballast. Hur de enskilda partiklarna ser ut beror på den enskilda bergartens mineralogiska sammansättning och textur. För att kunna beskriva krossballasten fodras en generell nomenklatur med avseende på bergarttyper och mineralfördelning i enskilda fraktioner. Metodik för petrografisk analys för att göra detta är förslagen i rapporten.

Förutom att de enskilda kornen ser olika ut de i naturballast så får krossberg en annan kornstorleksfördelning. Det räcker inte med endast vanlig siktning för att få fram de relevanta parametrarna. Med hjälp av lasersikt och BET-yta får man ytterligare information som är av betydelse för hur ballasten verkar i betong.

För en enskild täkt bör man först göra en allmän geologisk beskrivning som visar på den variation i bergartstyp man kan förvänta. På en uppsättning kross bör man därefter göra en noggrann petrografisk analys för att få fram de enskilda egenskaperna. Detta bör kompletteras med lasersikt och BET-yta. Med utgångspunkt från dessa data kan man få en uppskattning av grusets lämplighet i betong.

5 Gjutbarhet/Reologiska egenskaper för finballast

En färsk betong är en partikelsuspension vars rörlighet/bearbetbarhet eller med ett finare ord reologi beror på partikelsortering och kornform. Hur och varför en partikelsuspension flyter är komplicerad, men man kan enkelt tänka sig att varje partikel rör sig i en finkornigare suspension. Stenarna rör sig i en matris av bruk som i sin tur rör sig i en matris av finbruk. Man uttrycker sig ofta som att en betong med krossballast kräver mera vatten, dvs. att den har ett större vattenbehov. Det större vattenbehovet kommer dels av att en större yta måste vätas, dels av att det krossade ballastkornen kräver en större volym matrisfas för att kunna röra sig fritt. Från tidigare erfarenhet vet man också att med krossballast så behöver man relativt sett mer finmaterial (MinBas rapport 2:1, Förstudie-kunskapsläge), hela kornkurvan skall röra sig mot finare material och att en förhöjd andel filler är positivt. Vid betongförsöken (se kapitel 5.4) visade det sig som förväntat att det är egenskaperna hos det finaste materialet som är mest betydelsefullt.

I detta undersökningsprogram utgår från att man skall optimera nerifrån. Om man kan få ett bra mikrobruk så underlättar detta att få ett bra bruk etc. Med mikrobruk definierar vi alla partiklar som faller genom 0,25 mm sikten tillsammans med cement och vatten. Med bruk antar vi i denna rapport allt material som faller genom 2 mm sikten. Var man sätter gränsen är valfritt men vi har arbetet med allt under 2 mm då detta är enklast att arbeta med i laboratoriemiljö.

5.1 Mikrobruksreologi- finmaterialets påverkan

Finmaterialets egenskaper i mikrobruk har undersökts med en pastaviskometer (HAAKE CV20). Analysen ger en beskrivning av mikrobrukets färska egenskaper uttryckt som flytgränsspänning och plastisk viskositet. Med flytgränsspänning avses den spänning i

Krossat berg som ballast till betong

materialen som måste övervinnas innan det kan börja flyta. Den plastiska viskositeten beskriver hur trögt mikrobruket flyter när den väl är satt i rörelse.

De undersökta mikrobruket bestod av cement, vatten och ballastpartiklar mindre än 0,25 mm. De har proportionerats så att de skall motsvara mikrobruksfasen hos två hypotetiska betonger med 13 % respektive 30 % finmaterial < 0,25 mm i 0-8 mm fraktionen av ballasten. Normalt innehåller 0-8 mm fraktionen hos naturballast ca 13 vikt % finmaterial och eftersom krossprodukter normalt har en förhöjd andel finmaterial undersöktes även mikrobruk med motsvarande 30 % finmaterial.

I resultatdiagrammen nedan är mängderna finmaterial redovisade som volymandelen i de aktuella mikrobruket och inte som en del av en fiktiv ballast. Sammansättning hos de provade mikrobruket framgår av Tabell 5.1.

Resultaten från mätningarna på mikrobruk visar att flytgränsspänningen ökar med andelen finmaterial, se Figur 5.1. Ökningen i flytgränsspänning är ett resultat av att volymkoncentrationen av partiklar ökar med ökande andel ballastmaterial. Vid den lägre andelen finmaterial, 13,3 %, utmärker sig särskilt finmaterialet från K8 som gav en relativt hög flytgränsspänning. Den plastiska viskositeten visar liknande egenskaper. I övrigt är skillnaderna så små att finmaterialet i sig inte torde ge upphov till svårigheter vid betongtillverkning. Kornkurvan för krossballasten är emellertid sådan att 26,6 % finpartiklar är mera relevanta.

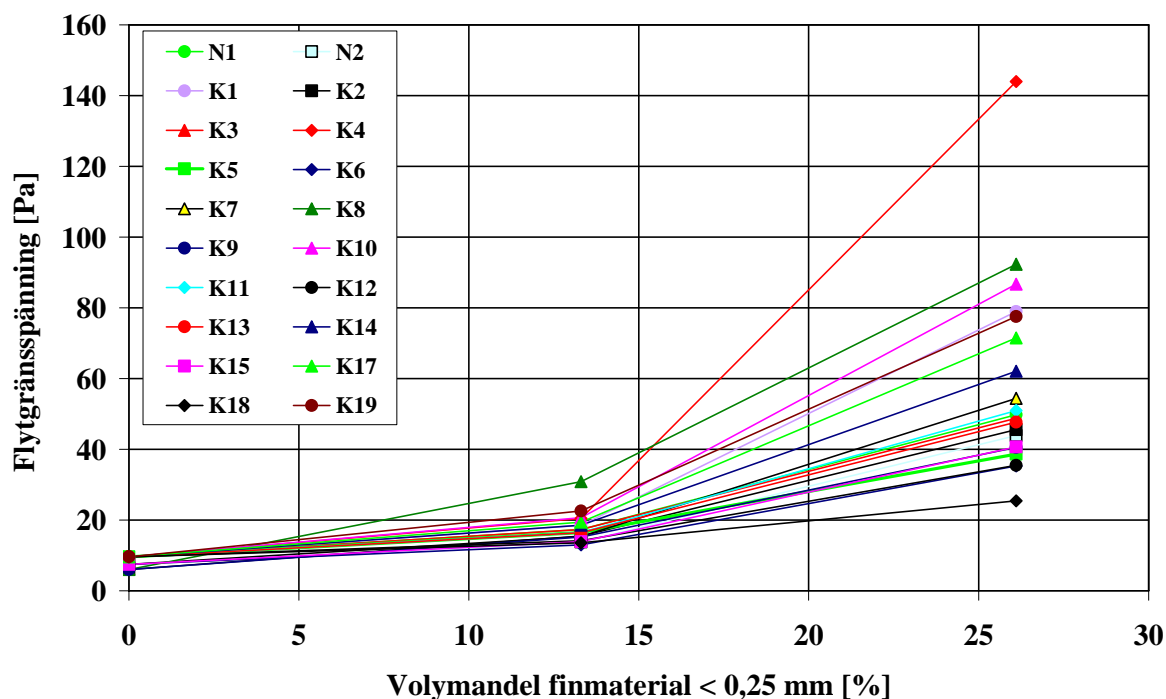
Tabell 5.1. Mikrobrukens sammansättning.

| Delmaterial | Motsvarande 0 % finmaterial < 0,25 mm | Motsvarande 13 % finmaterial < 0,25 mm | Motsvarande 30 % finmaterial < 0,25 mm |
|-------------------------------|--|---|---|
| Byggcement [g/L] | 1120,4 | 971,8 | 828,2 |
| Finmaterial < 250 µm [g/L] | 0 | 351,2 | 690,8 |
| Vatten [g/L] | 638,6 | 554,0 | 472,2 |
| Vct | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Volym konc. partiklar | 0,361 | 0,446 | 0,528 |
| Volymandel ballast | 0 | 0,133 | 0,261 |

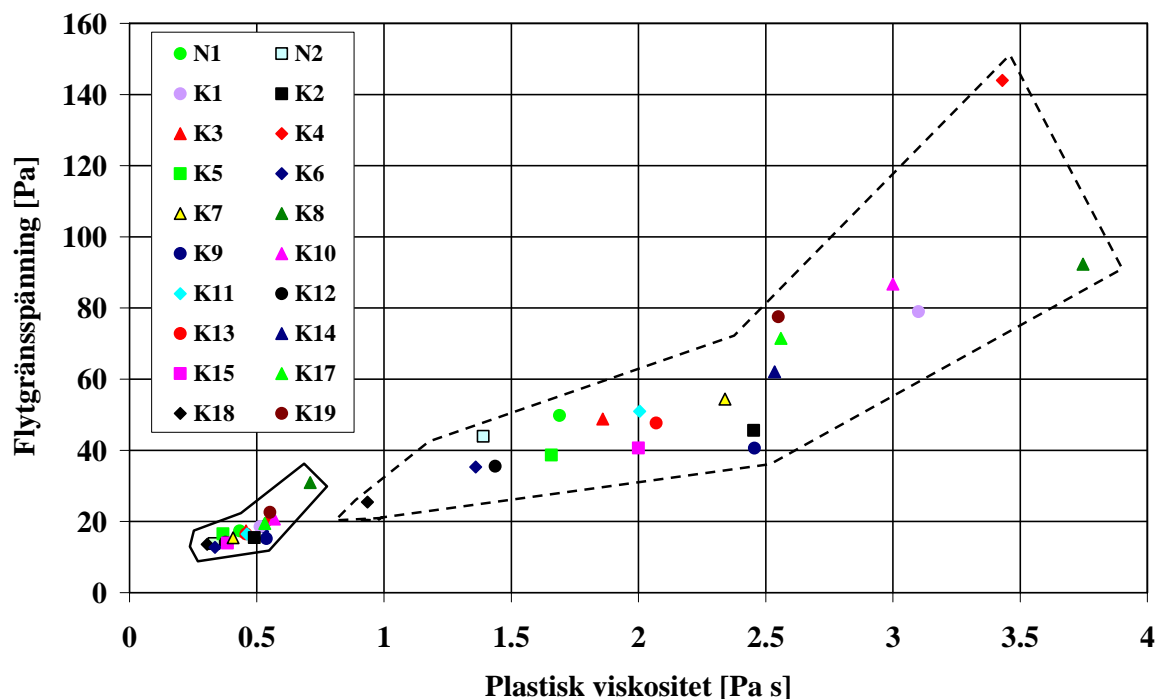
När andelen finmaterial ökar får de enskilda finmaterialens karakteristik en ökad betydelse och därmed accentueras skillnaderna i flytgränsspänning och plastisk viskositet. Det beror på en ökad partikelinterferens med det minskande avstånd mellan partiklarna. Med 26,6 % finpartiklar kan vi se att det blir en stor spridning i värden. I Figur 5.2 kan vi se en sammanställning där flytgränsspänningen plottas mot den plastiska viskositeten. Från dessa diagram och med 26,6 % ballast kan man se att naturballasten ger låga värden på både flytgränsspänning och plastisk viskositet men att det finns krossberg som ger likvärdiga reologier. Lågst värden får man för K18 som är kross från en tvättad kvartsitisk sandsten. Även K5, K6 och K12 har låga värden framför allt när det gäller flytgränsspänningen. Typiskt för dessa är att de innehåller relativt lite fyller speciellt ultrafint fyller. De har också en relativt liten BET-yta (Tabell 4.3). De finmaterial som ger de styvaste och segaste mikrobruket är de från K4 och K8. Gemensamt för dessa

Krossat berg som ballast till betong

material är att de har en mycket stor specifik yta. Vidare har K4, som gav högst flytgränsspänning, även sämre kornform och större andel biotit. Tillsammans ger dessa egenskaper ett mycket "vattenkrävande" mikrobruk. Skillnaderna är så stora att de skulle resultera i betonger med helt skilda vattenbehov och arbetbarhet. De egenskaper som mikrobruken uppvisar beror av finmaterialets kornform, specifika yta och även i viss mån av dess ytkemiska egenskaper. Eftersom dessa variabler varierar hos de olika finmaterialen är det svårt att peka ut vilken variabel som är av störst betydelse.



Figur 5.1. Inverkan av volymandelen finmaterial <math>< 0,25 \text{ mm}</math> på mikrobrukets flytgränsspänning.



Figur 5.2. Mikrobrukens flytgränsspänning avsatt mot den plastiska viskositeten vid 13,3 (inom heldraget område) respektive 26,1 (inom streckat område) vol. - % finmaterial.

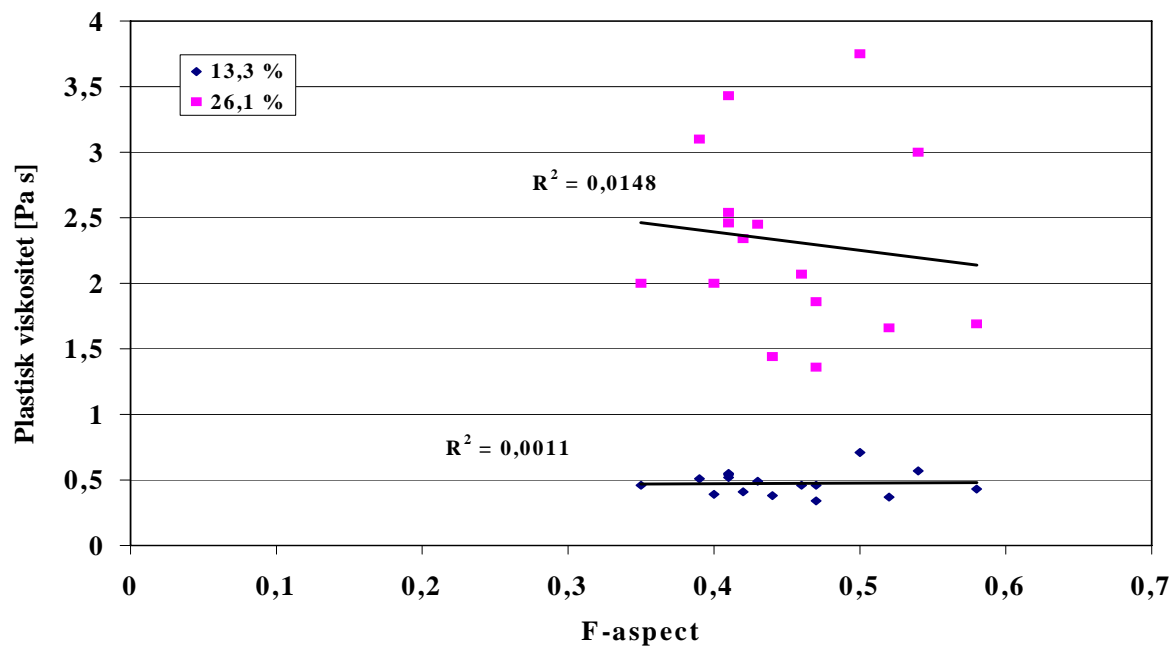
5.1.1 Inverkan av specifik yta

Mikrobrukets vattenbehov påverkas bland annat av den specifika arean hos de ingående delmaterialen. Det finns en tendens till att en högre BET-yta ger både högre flytgränsspänning och plastisk viskositet. Orsakssammanhangen är dock något osäkra. BET-ytan påverkas dels av ytans egenskaper, dels på mängden ultrafint material. Naturgrus har en hög BET-yta men har en bra reologi. Krossballasten från K4 har en hög BET-yta men den innehåller också höga halter glimmer varför det är svårt att veta vilken variabel som är mest negativ. Krossgruset från K8 har en bra kornform från krossad fältspat men den innehåller relativt mycket ultrafint. Med utgångspunkt från kornform och mängd fint/ultrafint borde den ha en bättre reologi. Vad som skiljer K8 från de andra är att fältspaten är kraftigt hydrotermalt omvandlad. Detta yttrar sig som en kraftig sericitomvandling av kalifältspaten. Sericit är mycket finkornig glimmer vilket kan ge ultrafint filler samt en skrovlig yta på fältspatkornen. Vi undersöker för närvarande K8 för att få fram varför den ger dessa reologiska egenskaper.

5.1.2 Inverkan av finmaterialiets kornform

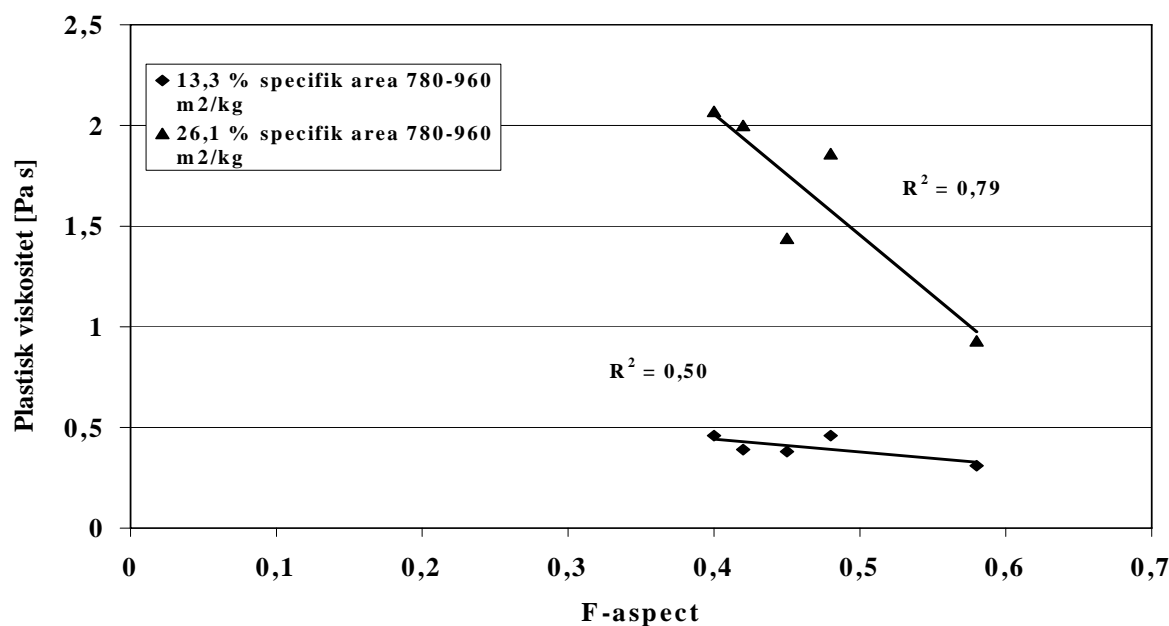
I figur är F-aspekt värdet för finmaterialen avsatt mot plastiska viskositeten hos de olika mikrobruken. Resultaten indikerar att det inte råder något som helst samband mellan F-aspekt värdet och de reologiska parametrarna (Figur 5.4). Det dåliga sambandet beror sannolikt på att det är stora skillnader i specifik area mellan de olika finmaterialen. Detta gör att i vissa fall dominerar den specifika arean helt över den ”goda” kornformen och ger andra värden än vad som väntats utifrån en betraktelse av kornformen.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 5.4. Plastisk viskositet för mikrobruk med 13,3 % respektive 26,1 % finmaterial avsatt F-aspekt värdet.

För att minimera inverkan av den specifika arean har endast F-aspekt värden för finmaterial med specifika arean 780- 960 m²/kg använts i figur 5.5. Vid den jämförelsen erhålls en betydligt bättre korrelation mellan F-aspekt värdena och de reologiska parametrarna för mikrobruken innehållande 26,1 % finmaterial. Vid 13,1 % finmaterial är korrelationen mellan F-aspekt värdena och mikrobrukens reologiska egenskaper dålig. Resultaten i figur 5.4 respektive figur 5.5 visade också på att skillnaderna i egenskaper var relativt små vid 13,1 % finmaterial och att de accentuerades med ökande finmaterialinnehåll. Resultaten indikerar därmed att det krävs åtminstone två variabler för att bedöma finmaterialkvaliteten, dvs. kornform och specifika arean.



Figur 5.5. Plastisk viskositet avsatt mot F-aspekt för finmaterial med specifik area mellan 780 och 960 m²/kg.

5.1.3 Sammanfattning mikrobruksreologi

Resultaten visar att finmaterialens karakteristik kan ha stor inverkan på ett mikrobruks reologiska egenskaper. Det är dock först vid en viss volymandel finmaterial som dess karakteristik börjar slå igenom i mikrobrukets reologiska egenskaper. Vid 13 vol.- % var skillnaderna mellan de undersökta finmaterialen så små att en majoritet av dem med stor sannolikhet skulle kunna ersätta finmaterialet i ett naturgrus. Med ökande andel ökade skillnaderna och vid 26 vol.- % var skillnaderna så stora att de sannolikt skulle ge betonger med mycket varierande vattenbehov och arbetbarhet. Eftersom 0-2 fraktionen av krossballast normalt innehåller finmaterialmängder kring denna nivå kan kvaliteten hos finmaterialet i vissa fall vara avgörande för betongegenskaperna.

Resultaten visar på en generell trend mot högre flytgränsspänningar med ökad specifik area hos finmaterialet. Även ett visst samband mellan viskositeten och den specifika arean kunde observeras. Korrelationen mellan dessa var dock något sämre.

Mikrobrukens reologiska egenskaper påverkas även av finmaterialens kornform. Resultaten visar på bäst korrelation mellan kornformen och mikrobrukets plastiska viskositet, men även för flytgränsspänningen går trenden mot lägre värden med rundare korn.

5.2 Cementbruksreologi-finballasten påverkan

I denna del utvärderades de olika ballastmaterialens inverkan på de reologiska egenskaperna hos bruk med vanlig cementpasta. Bruken karakteriserades med en bruksviskometer (Contec 4) som fungerar enligt samma princip som mikrobruksviskometern och ger således brukens flytgränsspänning och plastiska viskositet. De variabler som studerades var; inverkan av andelen krossad ballast, kornstorleksfördelningen, F-aspekt, fillerersättning och flytmedelstillsats.

I tabell 5.2 nedan anges det grundrecept som använts vid provningarna samt receptet för de bruk där ballastens 0-0,25 mm fraktion ersatts med filler.

Tabell 5.2. De utvärderade brukens sammansättning.

| Delmaterial | Grundrecept | Med 12 vol-% filler |
|-------------------------|-------------|---------------------|
| Byggcement [g/L] | 635,1 | 635,1 |
| Ballast 0-2 mm [g/L] | 1147,7 | - |
| Ballast 0,25-2 mm [g/L] | - | 1010,0 |
| Filler [g/L] | - | 145,6 |
| Vatten [g/L] | 362,0 | 362,0 |
| Flytmedel* [%] | 0-0,15 | - |

*Glenium 51

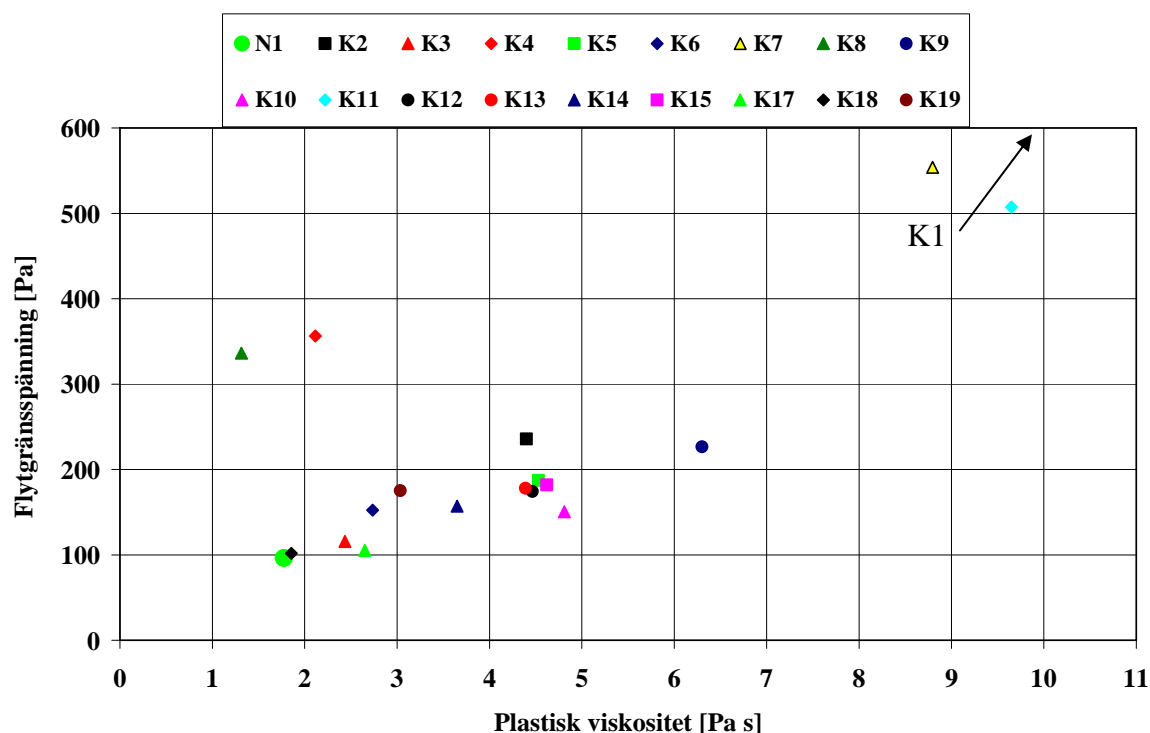
5.2.1 Inverkan av olika ballastmaterial

De olika ballastmaterialen med dess ursprungliga kornstorleksfördelning, se siktkurvorna i figur 4.13, har utvärderats i bruk med grundreceptet ovan. Resultaten i figur 5.6 visar att de olika ballastmaterialen ger bruk med mycket varierande reologi, allt ifrån lättflytande till styva och sega. De ballastmaterial som gav de högsta värdena på brukets flytgränsspänning och plastiska viskositet var K1, K7 och K11. Den huvudsakliga förklaringen till K7 placering i diagrammet är dess höga andel finmaterial (se Figur 4.13). Krossgrus K11 innehåller också en stor andel finmaterial, men det är många andra ballastmaterial som innehåller lika mycket eller mer som ger en mer gynnsam reologi. Det som skiljer K1 och K11 från de övriga är en betydligt sämre kornform (lågt F-aspekt värde) och det är förmodligen detta tillsammans med finmaterialmängden som ger de höga värdena på viskositeten och flytgränsspänningen.

Ballastmaterialet från K18 (kvartsitisk sandsten) gav i princip samma reologi som naturballasten från N1. En väsentlig anledning till den goda reologin är antagligen förutom dess bra kornform att den är tvättad och därmed har mycket lite fin- och speciellt ultrafint material (liten BET-yta).

Ballastmaterialen från K8 och K4 utmärker sig genom att ha höga flytgränsspänningar men låga viskositeter. Dessa material gav även de högsta värdena på flytgränsspänningar i mikrobruket, men här gav de även höga värden på viskositeten. Typiskt för dessa två är den stora BET-ytan.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 5.6. Flytgränsspänningen avsatt mot den plastiska viskositeten hos bruk innehållande olika 0-2 mm ballast. K1 har så höga värden att det faller ur diagrammet.

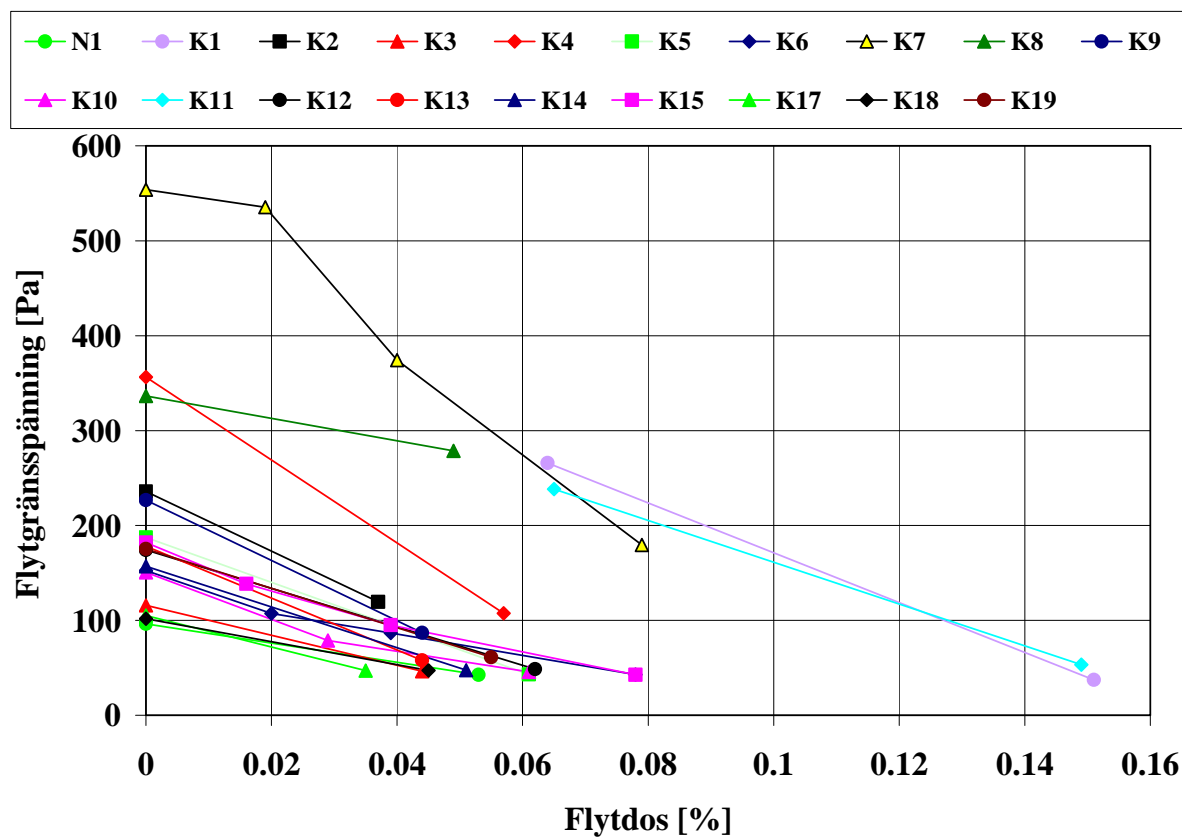
5.3 Effekt av tillsatsmedel och tillsatsmaterial på bruk

Undersökningarna i kapitel 5.2 baserades på rena blandningar. I verkligheten, vilket också kommer att visas, kommer man i betong med krossberg att i de flesta fall behöva flytmedel. Det är också av intresse att veta vad man kan åstadkomma genom att påverka materialet på olika sätt genom att blanda med naturgrus, tvätta etc.

5.3.1 Effekt av tillsatsmedel

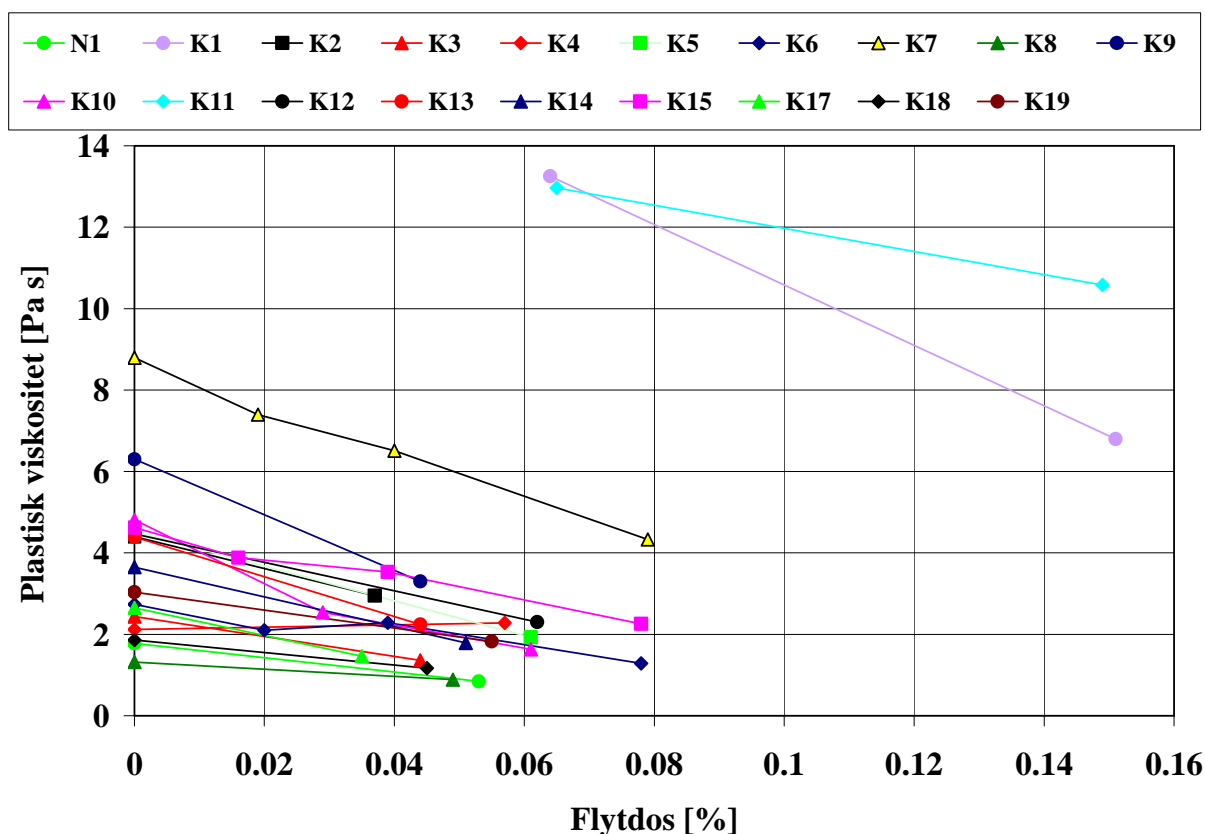
Bruk med ballast från krossat berg har generellt ett större vattenbehov än bruk med natursand. Eftersom flytmedlets funktion är att bryta flockar och därmed frigöra vatten som immobiliserats är det av intresse att undersöka om det frigjorda vattnet kan tillgodose det större vattenbehovet.

Genom att använda flytmedel går det att på ett effektivt sätt reducera flytgränsspänningen till samma nivå som för bruket med naturballast (figur 5.7). Till och med flytgränsspänningen för de bruk som innehöll ballastmaterial från K1 och K11 nådde samma nivå som bruket med ballast från N1. De krävde emellertid relativt stora mängder flytmedel.



Figur 5.7. Inverkan av flytmedelstillsats på cementbruks flytgränsspänning.

I figur 5.8 ses inverkan av flytmedel på brukens plastiska viskositet. Resultaten visar att viskositeten minskar vid flytmedelstillsats. Men relativt bruket med N1 var viskositeten högre för så gott som alla bruk vid jämförbar flytgränsspänning. Detta var tydligast för bruken med ballast från K1 och K11 som uppvisade mycket hög viskositet även vid den högsta flytmedeldosen.

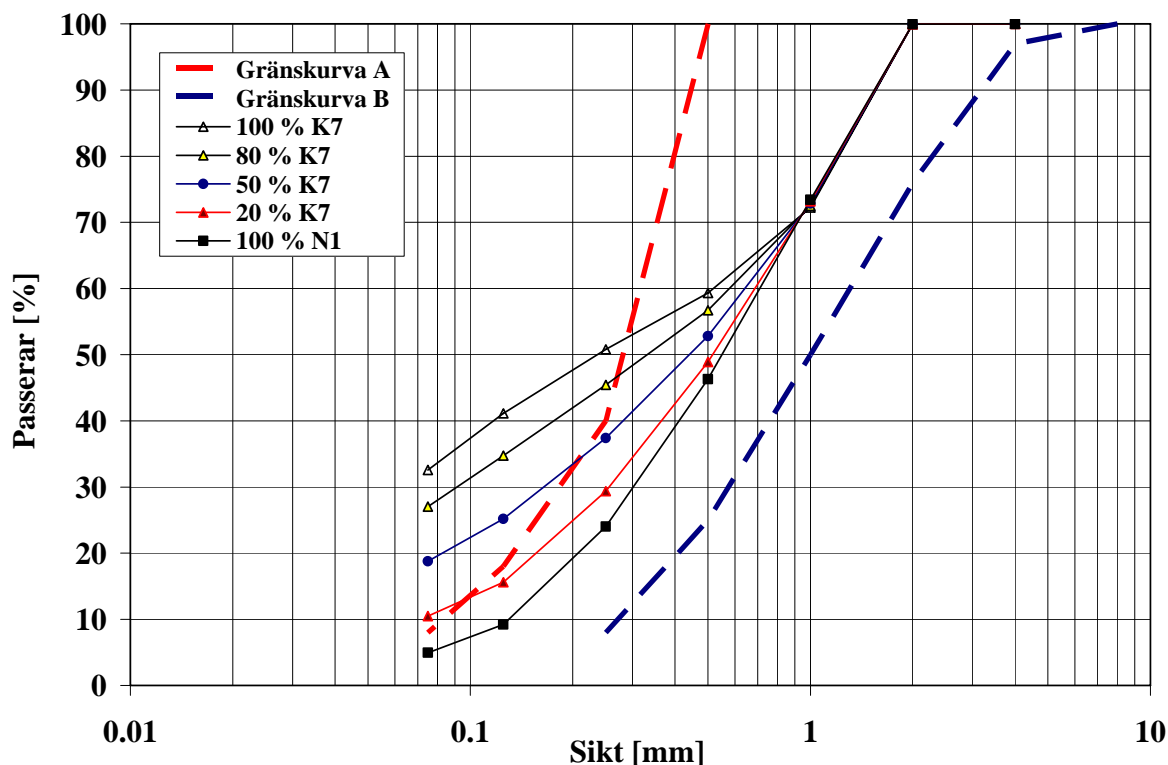


Figur 5.8. Inverkan av flytmedelstillsats på cementbruks plastiska viskositet.

5.3.2 Inblandning av naturballast

I försöken nedan har inverkan av olika proportioner av kross och naturballast undersökts. I försöken har 0-2 mm fraktionen från K9, K15, K6, K7 och K5 använts. Av dessa är K7 extremt rik på filler, K9 och K15 är relativt flakiga medan K6 och K5 generellt är bra krossgrus.

De har sedan blandats med naturballasten från N1 i olika proportioner. Inblandningen innebär dels att det sammanlagda materialets siktkurva förskjuts från den för det rena naturmaterialet i riktning mot den för krossmaterialet, dels att kornformen hos ballasten förändras med ökad andel krossballast. I figur 5.9 visas hur kornstorleksfördelningen ändras vid inblandningen av K7 som är rik på finmaterial.



Figur 5.9. Siktcurvor för olika blandningar av ballast från K7 och N1.

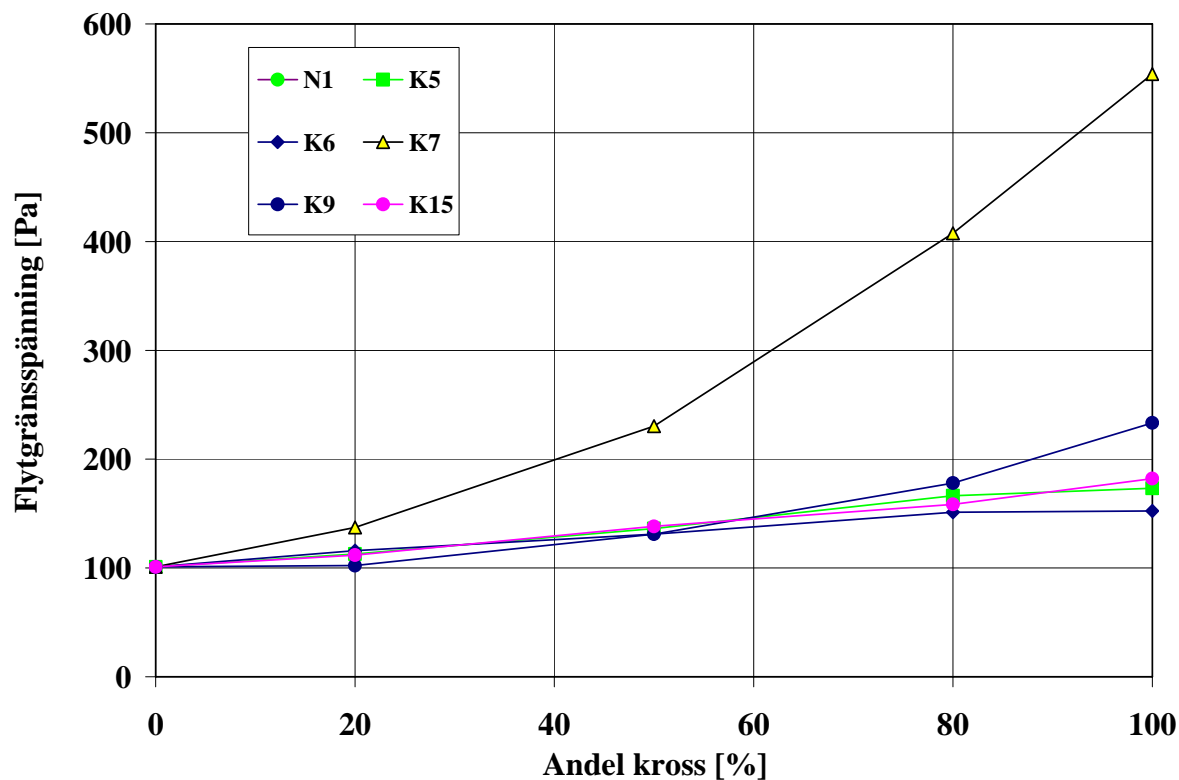
Redan vid 20 % inblandning av K7 ökar brukets flytgränsspänning markant, varefter den fortsätter att stiga med ökande inblandning (figur 5.10). Detta beror antagligen på den mycket stora andelen finmaterial ($< 63\mu\text{m}$) i K7 vilket ger en kraftig förskjutning av siktcurvan redan vid små inblandningar.

För de andra krossmaterialen ökar flytgränsspänningen betydligt långsammare och först efter mer än 50 % andel börjar skillnaderna mellan de olika krossballastmaterialen att framträda. De ”bra” krossprodukterna från K6 och K5 ger som förväntat minst variation.

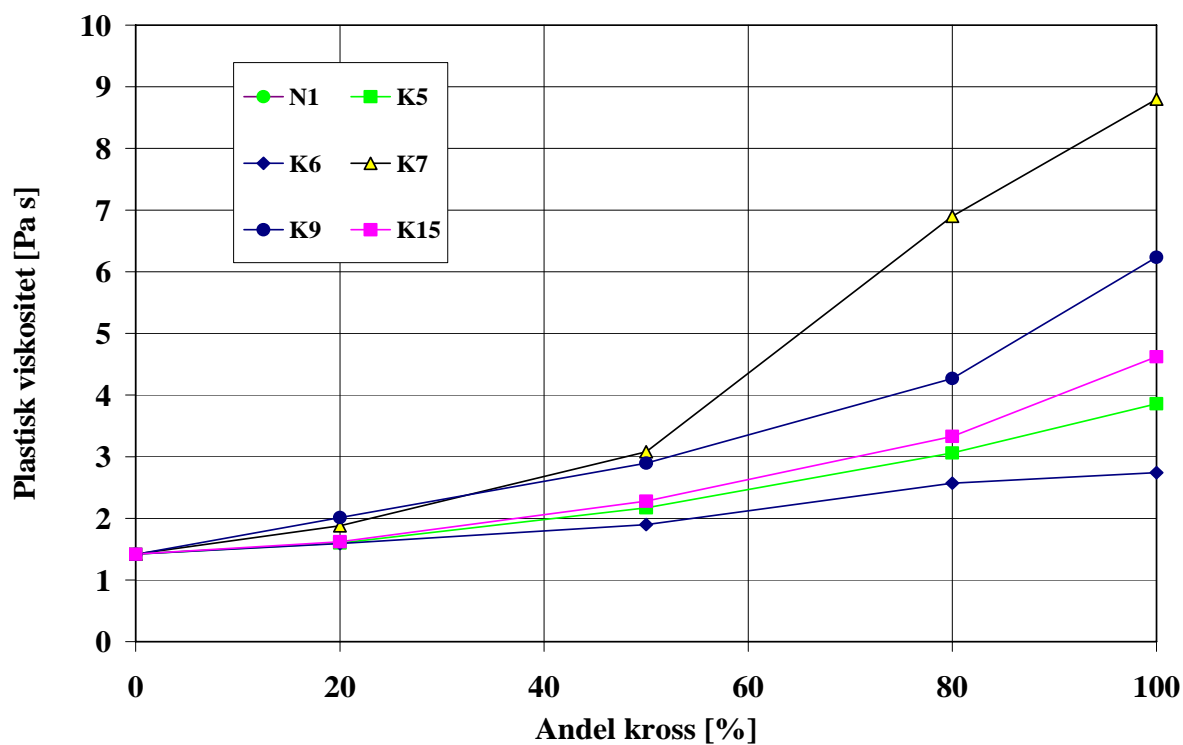
Skillnaderna i plastisk viskositet börjar framträda tidigare än skillnaderna i flytgränsspänning (figur 5.11). Vid 50 % kross har viskositeten ökat med ca 100 % för materialen från K9 och K7. Det faktum att krossballast mera påverkar viskositet än flytgränsspänning är något som är genomgående i undersökningarna

Dessa undersökningar visar att den negativa effekten hos krossballast som förväntat minskar med mängden inblandat naturgrus. Slutsatsen är att med ett dåligt kross kan man förbättra egenskaperna hos bruket, eller betongen, genom inblandning av naturgrus. För sämre krossgrus kan detta vara en åtgärd. Det är dock mera effektivt att tillsätta ett specialgrus som löser det specifika problemet i kornkurvan.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 5.10 Flytgränsspänningen avsatt mot andelen krossad ballast i % av totala ballastmängden.



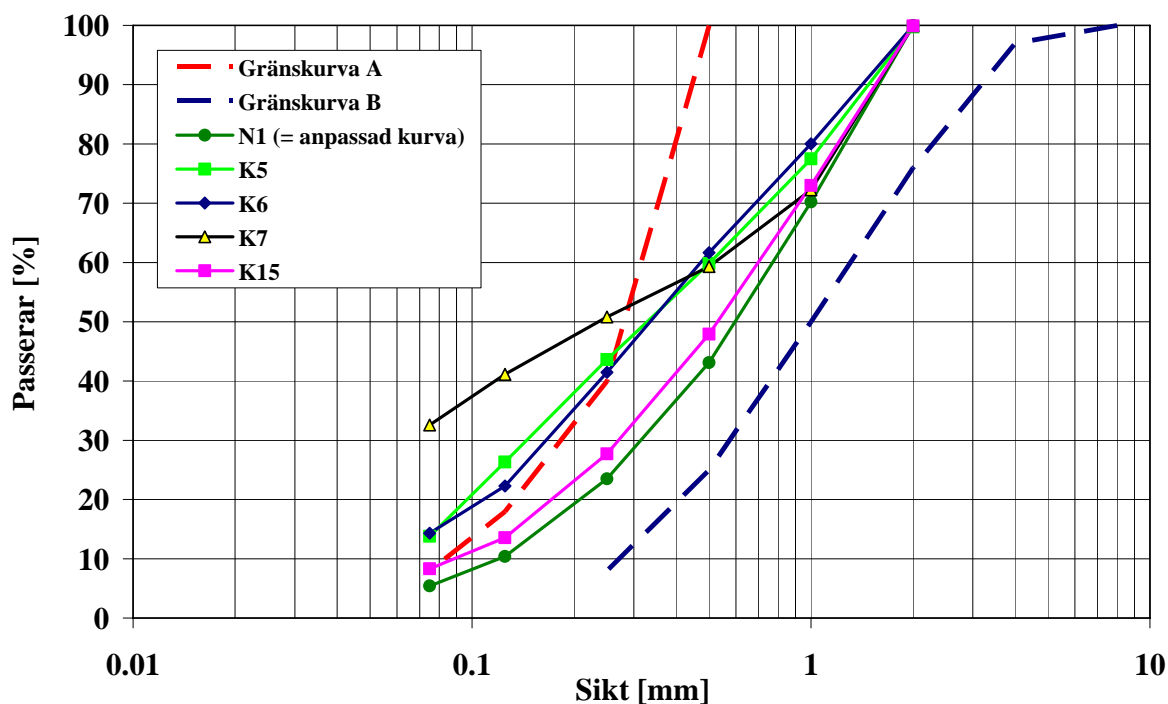
Figur 5.11 Plastisk viskositet avsatt mot andelen krossad ballast i % av totala ballastmängden.

5.3.3 Inverkan av kornstorleksfördelningen

Siktkurvorna för de olika ballastmaterial som har undersökts i denna rapport varierar över ett stort område. För att kunna undersöka eventuella samband mellan F-aspekt och de reologiska parametrarna är en viktig förutsättning att de olika ballastmaterialen har jämförbara siktkurvor. Därför har fem olika ballastmaterial valts ut och studerats vidare genom att anpassa deras siktkurvor så att de blir enhetliga och jämförelsen av de olika materialen underlättas. I ett första steg anpassades ballastmaterialens siktkurvor till den för naturballasten (N1), se figur 5.12.

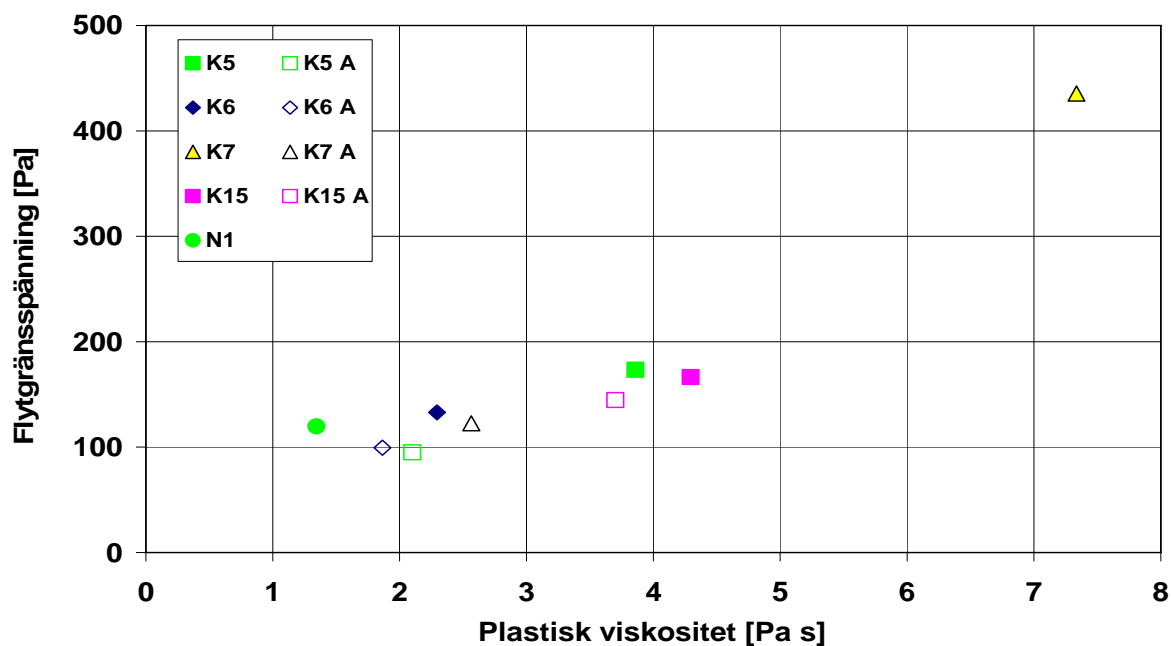
I figur 5.13 redovisas resultaten av en anpassning av krossballastens siktkurva till den för naturballasten från N1. Reologin för samtliga bruk förändras mot lägre flytgränsspänning och plastisk viskositet vid anpassningen av ballastmaterialens siktkurva. Den största förändringen erhöles för ballasten från K7 följt av K5 antagligen beroende på att de har en hög halt filler som minskades genom omsiktning.

Samtliga bruk med krossballast ger dock en högre viskositet än bruket med naturballast. Skillnaderna i viskositet beror sannolikt på de skillnader i kornform som ballastmaterialen uppvisar.



Figur 5.12. Siktkurvor för de ursprungliga ballastmaterialen samt den kurva som de anpassats till.

Krossat berg som ballast till betong



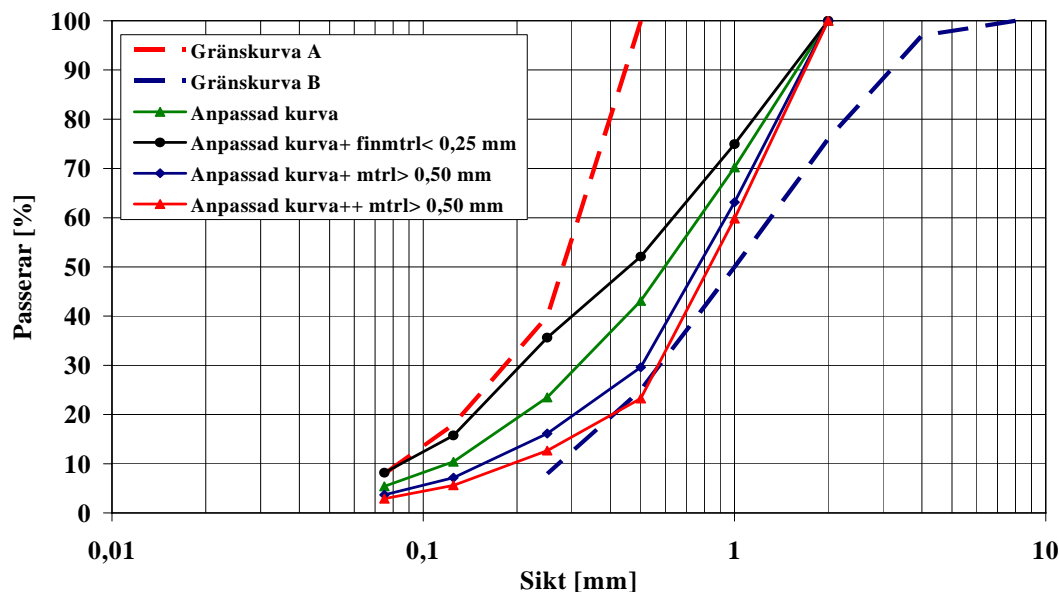
Figur 5.13. Flytgränsspänning avsatt mot plastisk viskositet för bruk innehållande ballast med ursprunglig respektive till N1 anpassad siktkurva.

5.3.4 Optimering av kornkurvan

Med utgångspunkt från den anpassade kurva gjordes sedan förändringar i tre steg (figur 5.14):

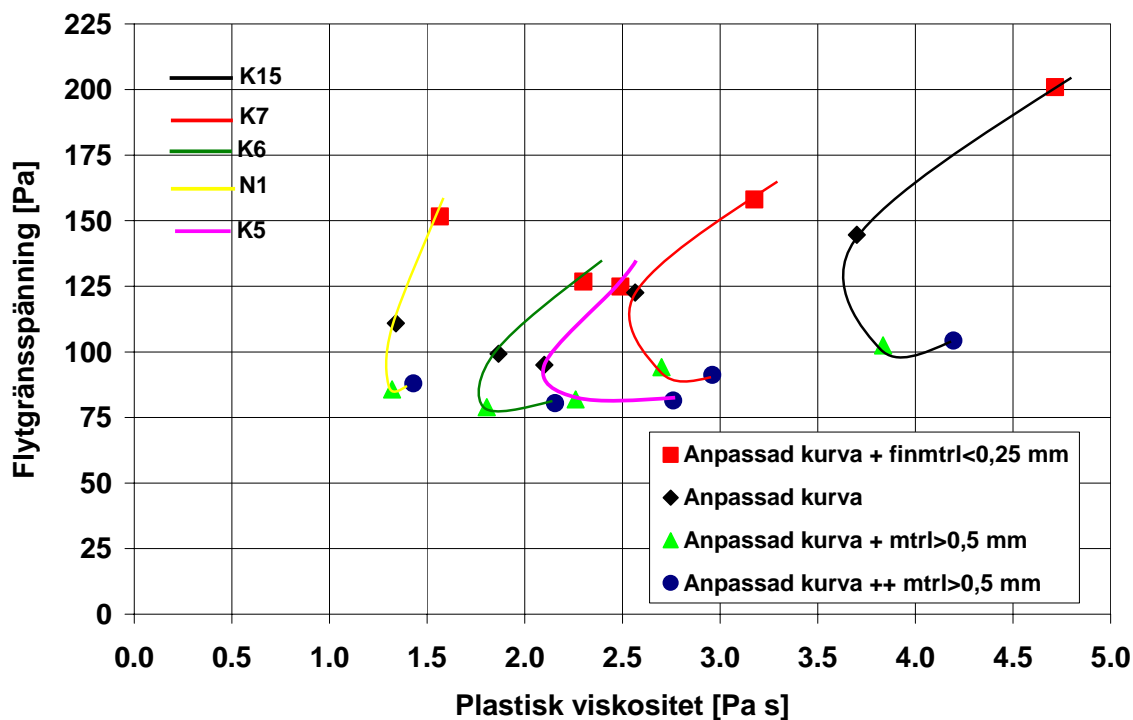
- 1 Andelen material < 0,25 mm ökades.
- 2 Andelen material > 0,5 mm ökades
- 3 Andelen material > 0,5 mm ökades ytterligare

Krossat berg som ballast till betong



Figur 5.14. Anpassade siktkurvor med ökad andel finmaterial (+ finmtrl < 0,25 mm) respektive material > 0,5 mm (+ mtrl > 0,50 mm resp. ++ mtrl > 0,50 mm).

Resultaten från dessa försök sammanfattas i figur 5.15. Resultaten visar att det finns en ”optimal” kornstorleksfördelning för varje ballastmaterial där både flytgränsspänningen och den plastiska viskositeten har ett minimum. Innehåller ballastmaterialet mer finmaterial kommer bruket att bli mer vattenkrävande, vilket registreras som en ökning i flytgränsspänning och viskositet. Minskas finmaterialmängden från denna nivå ökar viskositeten samtidigt som risken för vattenseparation ökar.



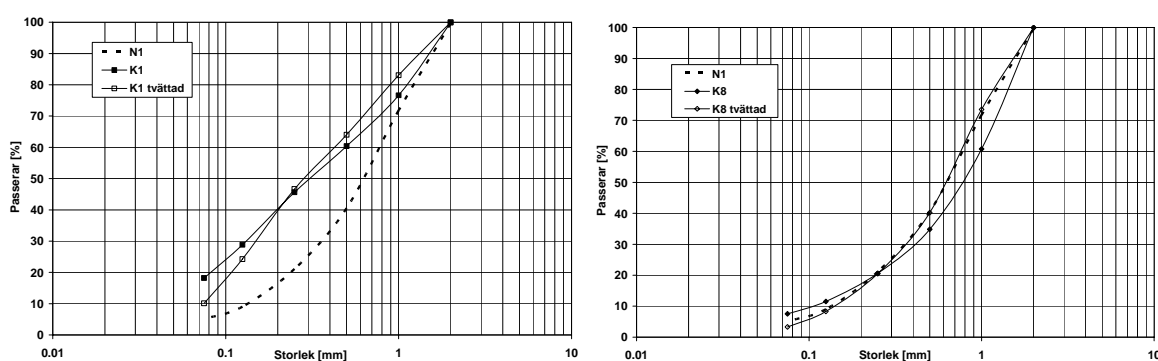
Figur 5.15 Inverkan av ballastens kornstorleksfördelning på bruks reologiska egenskaper.

5.3.5 Effekt av tvättning

Tvättning kan ses som åtgärd för att avlägsna finmaterial från ett ballastmaterial. I undersökningen ingick ballastmaterialen N1, K1, K2, K4 och K8.

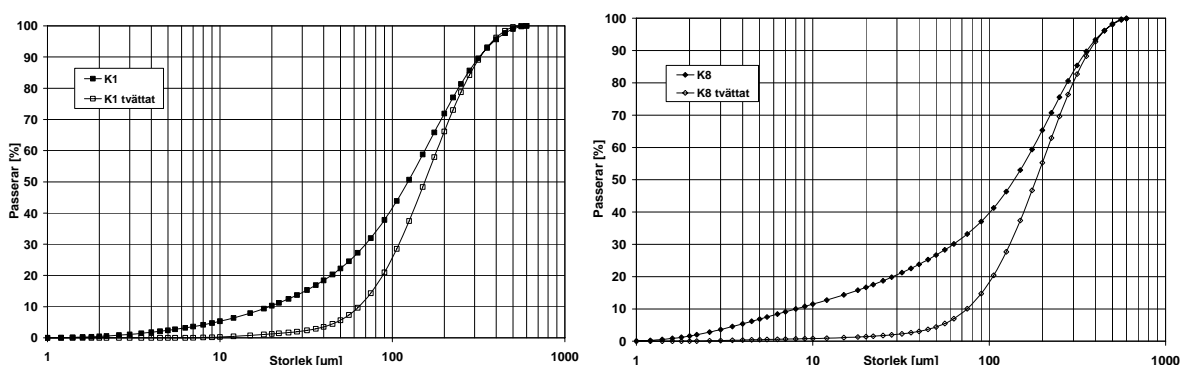
Ballastmaterialen (0-2 fraktionen) tvättades genom uppslamning i vatten varefter vattenfasen innehållande finmaterial separerades bort. Siktcurvor för 0-2 och 0-0,25 fraktionen togs både före och efter tvättning. Den specifika ytan bestämdes även för 0-0,25 fraktionen.

Tvättningen resulterade främst i att ballasten finmaterial, <0,125 mm, avlägsnades, se figur 5.16. Det indikerar att tvättningen inte är lämplig som metod för att avlägsna ett överskott på finmaterial < 0,25 mm (jämför K1 med K8) utan effekten erhålls främst på finare fraktioner.



Figur 5.16. Inverkan av tvättning på 0-2 fraktionens kornsstorleksfördelning.

Detta framgår även av figur 5.17 där allt material under 10 μm avlägsnats från finmaterialet < 0,25 mm vid tvättningen. Tvättningen gör att den specifika ytan hos finmaterialet minskade kraftigt. För finmaterial K1 och K8 minskade den specifika ytan från 976 till 532 m^2/kg respektive 4140 till 1330 m^2/kg .

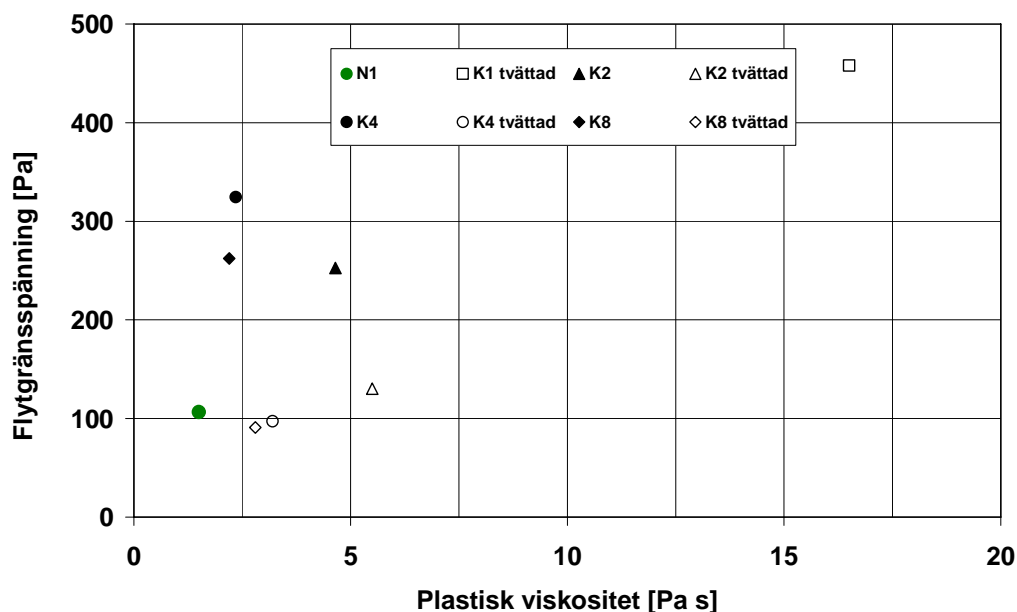


Figur 5.17. Inverkan av tvättning på finmaterialets < 0,25 mm kornsstorleksfördelning.

De tvättade ballastmaterialen utvärderades i bruk. Sammansättningen var densamma som redovisas i tabell 5.2.

Tvättningen resulterade i att flytgränsspänningen hos bruket med 0-2 mm ballast från K2, K4 och K8 sjönk till ungefär samma nivå som för bruket med N1 (naturlagad), se figur 5.19. Viskositeten hos nämnda bruk ökade något efter tvättningen, vilket kan bero på ett litet

underskott av finmaterial. Bruket med tvättad ballast från K1 uppvisade både hög flytgränsspänning och plastisk viskositet. Resultatet beror på att K1 trots tvättningen innehöll en betydande andel (cirka 45 %) material under 0,25 mm, se figur 5.16. Resultaten indikerar därmed att tvättning inte förefaller vara en bra förbättringsåtgärd för ballastmaterial, 0-2 mm fraktionen, med en mycket stor andel finmaterial.



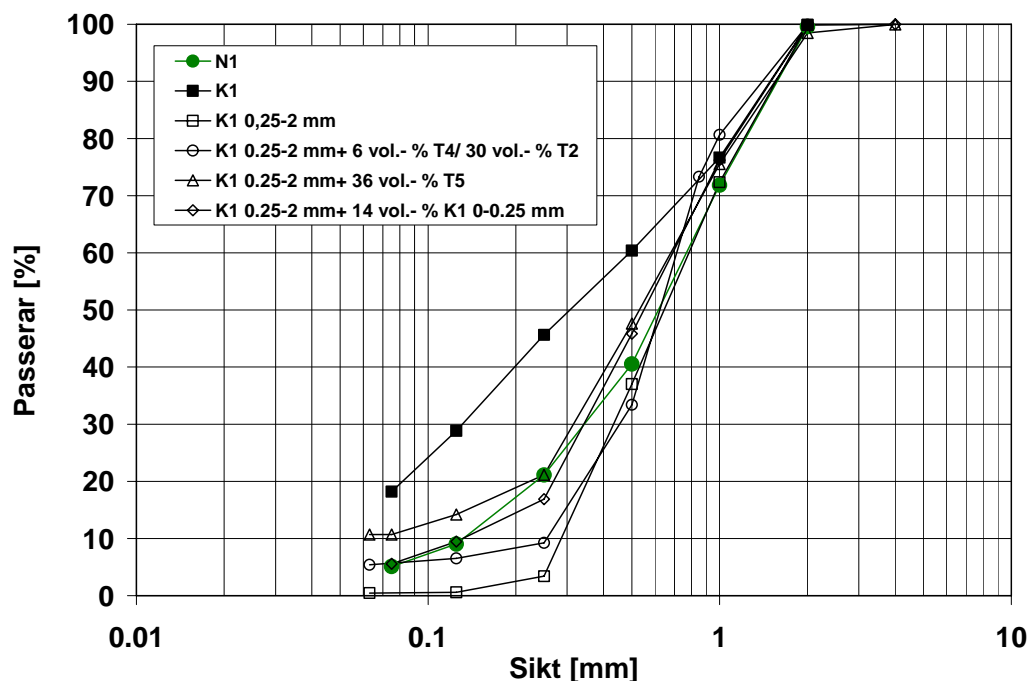
Figur 5.18. Inverkan av tvättad ballast på bruks reologiska egenskaper.

5.3.6 Effekt av tillsatsmaterial

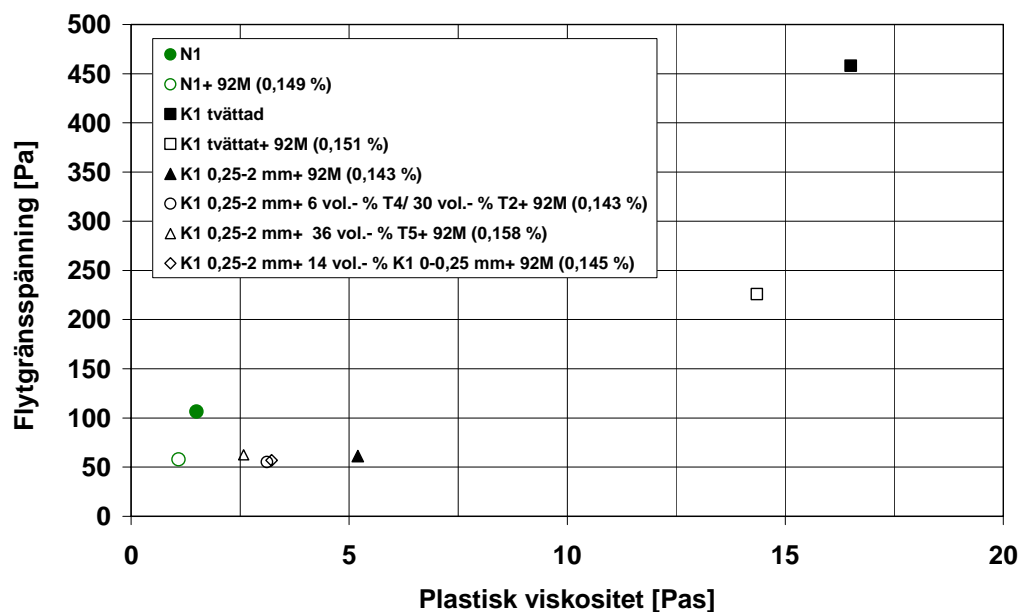
Försöken syftade till att förbättra brukets reologiska egenskaper genom anpassning av ballastkurvan genom tillsats av ett eller flera tillsatsmaterial. När flera tillsatsmaterial kombinerades blandades grovkorniga med finkorniga i syfte att erhålla en någotsånär kontinuerlig kornstorleksfördelning. De ballastmaterial som studerades var K1, K2 och K4.

Ballastmaterialet K1 provades tillsammans med flera olika tillsatsmaterial. Vid dessa provningar användes ett K1 material där finmaterialet < 0,25 mm siktats av. Nedan redovisas de kombinationer av tillsatsmaterial, inklusive K1:s egna finmaterial, som gav bruk med reologiska egenskaper närmast de för bruket med N1 ballast. I figur 5.20 visas sikt kurvorna för de olika kombinationerna. Resultaten från mätningarna på bruk visar på små skillnader mellan de olika kombinationerna av tillsatsmaterial och ballastens egna finmaterial, se figur 5.21. Den högre viskositeten som kunde iaktas för samtliga bruk är sannolikt ett resultat av den ogynnsamma kornformen i 0,25-2 mm fraktionen. Vidare visar resultaten att den huvudsakliga orsaken till det stora vattenbehovet, eg. den höga flytgränsspänningen, hos bruk med 0-2 ballast från K1 kan härledas till överskottet på finmaterial. Därför är även denna metod, bortsiktning av finmaterial plus tillförsel av ett tillsatsmaterial, att föredra framför tvättning som inte förmådde förbättra egenskaperna i önskad omfattning. Med tillsatsmaterial avses i detta fall även K1:s egna finmaterial.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 5.20. Siktcurvor för olika kombinationer av tillsatsmaterial och 0,25-2 mm fraktionen av K1.

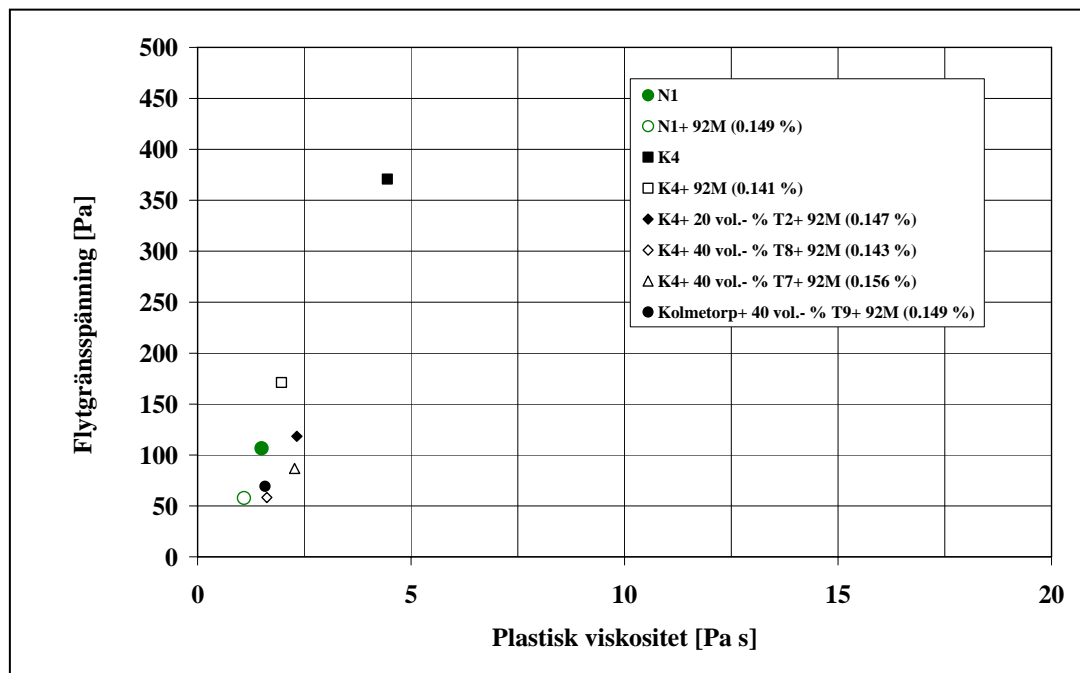


Figur 5.21. Inverkan av olika kombinationer tillsatsmaterial och ballasten K1 på brukets reologiska egenskaper.

I de redovisade försöken ovan användes ballast där fraktionen under 0,25 mm siktats bort och ersatts av ett relativt finkornigt tillsatsmaterial. Ett alternativ till detta är att tillföra ett lite grövre tillsatsmaterial till ett osiktat ballastmaterial och på så sätt styra siktcurvan. I nedanstående avsnitt redovisas resultat från försök där det ursprungliga materialet från K4 använts tillsammans med lite grövre tillsatsmaterial. Tillsatsmaterialen har då ersatt en del av 0-2 mm

fraktionen vilket medför att kornstorleksfördelningskurvan förskjutits neråt. De tillsatsmaterial som användes var T2, T7, T8 mm samt T9. Tillsatsmaterialen utgjorde 20 respektive 40 vol.- % av ballasten i de utvärderade brukerna.

I figur 5.22 visas resultaten för den andel av de olika tillsatsmaterial som resulterade i störst förändring av brukets reologiska egenskaper. Bruken med 40 vol.- % T9 respektive T8 uppvisar goda reologiska egenskaper som ligger ganska nära de för bruket med naturballast (N1). Resultaten visar att tillsats av ett grovkornigt tillsatsmaterial kan ge positiva effekter på ett bruks reologiska egenskaper. Generellt erhöles bättre egenskaper med ökad substitutionsgrad.



Figur 5.22. Reologiska egenskaper hos bruk där delar av K4 ballasten ersatts med olika typer av tillsatsmaterial. Bruken innehåller flytmedel.

5.4 Sammanfattning bruksreologi

Resultaten från denna del visar att det är stora variationer i de olika ballastmaterialens kvalitet och deras inverkan på bruks reologiska egenskaper. En del ballastmaterial från krossat berg ger egenskaper som kan jämföras med egenskaperna hos bruk med natursand, medan andra ger bruk med mycket stort vattenbehov. Resultaten från försöken med anpassade siktkurvor visar att en stor del av vattenbehovet i många fall beror på den stora finmaterialmängden. Vidare visar dessa försök att det för varje finballastmaterial finns en optimal siktkurva (kornstorleksfördelning) där både flytgränsspänningen och den plastiska viskositeten har ett minimum.

Genom att tvätta finballasten sjönk flytgränsspänning för en majoritet av brukerna till samma nivå som referensbruket innehållande naturballast. Den lägre flytgränsspänningen kunde relateras till att praktiskt taget alla finpartiklar med en storlek mindre än 10 μm hade avlägsnats vid tvättningen. Resultaten visar således att när vattenbehovet kan relateras till finmaterialkvaliteten är tvättning en praktisk åtgärd som kan vidtas för att förbättra ballastens egenskaper.

Resultaten visar även att tillsats av ett grovkornigt tillsatsmaterial är en praktisk metod att minska vattenbehovet hos finballast med stort finmaterialinnehåll. Med de utvärderade tillsatsmaterialen (grovkorniga) förbättrades brukens egenskaper med ökad substitutionsgrad.

Krossat berg som ballast till betong

Genom att använda effektiva flytmedel kan negativa effekter av krossballastens karakteristik reduceras. Men vid jämförbar flytgränsspänning uppvisar bruk med krossballast en högre viskositet på grund av dess mer ogynnsamma kornform.

Vid analys av de olika krossgrusen finner man att de varierar kraftigt där en del nästan är som naturgrus medan andra är klart besvärliga. De materialparametrar som i första hand har betydelse är en kombination av specifik yta och kornform, där flakig form och hög BET-yta ger sämre reologi och där sämre arbetbarhet. Om krossberget blandas med naturgrus finner man att försämringen av reologin är kontinuerlig dvs. den ökar med inblandning av kross. För att finna ut kornkurvas betydelse siktades naturballast och 4 krossballaster om. Resultaten visar att det för varje grus finns en optimal kornfördelning men att man att speciellt flytgränsspänningen (segheten) alltid är större hos grus från kross än naturballast.

6 Betongprovningar och fullskaleförsök

Betongförsök har genomförts i tre omgångar. I den första försöksomgången studerades finballast (0-2 mm) från 9 krossprodukter och en naturballast på Cementas laboratorium på Liljeholmen. Betongerna tillverkades genomgående med makadam och 2-16 mm kross från en och samma täkt.

En andra försöksomgång genomfördes senare vid ett laboratorium i Motala. Här återupprepades de tidigare försöken med den skillnaden att man använde ballast i alla storleksfraktioner från två utvalda bergtäkter

Därefter genomfördes två fullskaletester med de två utvalda bergkrossmaterialen på två av Betongindustris betongfabriker.

6.1 Påverkan av olika 0-2 material

Syftet med denna undersökning (försöksomgång 1) var framför allt för att undersöka och verifiera hypotesen att det huvudsakligen är finballasten som är besvärlig när det gäller helkross till betong.

Detta innebär att försöksupplägget till stora delar liknar de provningar som utförts på bruk (kapitel 5). Vidare syftade försöken till att ge input inför val av recept och undersökningar i fullskaleförsöken (försöksomgång 2 Motalaförsöken och 3 Fullskala). Optimering av betongrecepten ingick inte. Försök pågår för närvarande (våren 2006) att utvärdera effekten av partikelgap på olika typer av krossballast.

Betongförsöken utfördes i flera steg, i vilka olika variabler studerades:

- **Försöksserie 1:** De olika ballastmaterialen, 0-2 mm fraktionen, varierades och provades i en referensbetong för att verifiera deras enskilda inverkan på betongens arbetbarhet. Ballastmaterialet 2-16 mm hölls konstant liksom övriga delmaterial.
- **Försöksserie 2:** Betongernas sättmått styrdes mot ett målvärde på 160 mm genom att öka tillsatsen av flytmedel. Bortsett från den större flytmedelstillsatsen hade betongerna identisk sammansättning som betongerna i serie 1. I denna serie togs även kuber för bestämning av betongernas tryckhållfasthet.
- **Försöksserie 3:** Betongernas pastavolym förändrades genom att variera cementmängden med $\pm 50 \text{ kg/m}^3$, vid bibehållet vattencementtal. Vid försöken användes endast sex olika ballastmaterial, 0-2 mm fraktionen, för att begränsa antalet betongsatser. De olika ballastmaterialen valdes utgående från resultaten i serie 1 och 2.
- **Försöksserie 4:** Inverkan av de olika ballastmaterialen, 0-2 mm fraktionen, på de reologiska egenskaperna hos bruk mättes med bruksviskometer. Detta gjordes i syfte att korrelera brukets reologiska egenskaper mot betongs egenskaper.

Förutom dessa provningar gjordes försök med att ersätta delar av materialet med filler samt försök med en mager betong (vct 0,7) med partiell ersättning med filler. Dessa försök redovisas inte här.

6.1.1 Material och undersökningsmetodik

I alla blandningarna användes Svenskt Byggcement (Standard PK Slite). Två typer av flytmedel användes, Cementa Flyt 92M (melaminbaserat) och CEMFlux Prefab (karboxyleterbaserat).

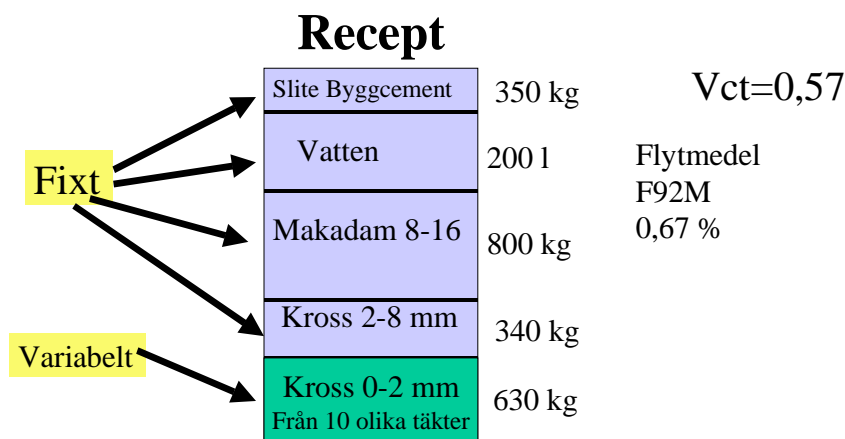
För dessa undersökningar valdes 10 olika ballastmaterial i fraktionen 0-2 samt 2 i fraktionen 2-8 respektive 8-16. De olika använda bergarternas siktcurvor etc finns beskrivna tidigare.

I samtliga steg mättes betongernas sättmått, utbredningsmått, omformningstal, temperatur och densitet i färskt tillstånd. Vidare karakteriserades, i den mån det var möjligt, betongernas reologiska egenskaper med betongviskosimeter (BML). Dessa försök redovisas inte här.

De 0-2 material som användes vid försöken var N1, K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, och K9. Egenskaperna hos dessa material är redovisade tidigare.

Vid betongframställningen användes krossgrus (2-16 mm) från K4 och K6. De var uppdelade i 2-8 och 8-16 mm fraktioner. Det grundrecept som användes framgår av figur 6.1.

Betongerna blandades i en planblandare av typen Eirich med modellbeteckningen SW1 som kan användas för blandning av betongsatser upp till ca 50 liter. Blandningsproceduren var fastslagen på förhand och innebar att alla fasta delmaterial (cement, ballast och ev. filler) först torrblandades under cirka 15 s i syfte att homogenisera materialen. Därefter tillsattes blandningsvattnet och betongen blandades i en (1) minut. Efter första minuten tillsattes flytmedlet och betongen slutblandades i ytterligare två (2) minuter innan första provningen utfördes



Figur 6.1 Huvudrecept använt vid Liljeholmsförsöken

Sättmättet bestämdes vid två tidpunkter, direkt efter blandning och efter 15 minuter, och utfördes enligt Svensk standard (SS-EN 12350-2).

Utbredningsmättet uppmättes direkt efter att sättmättet tagits. Provningsen utfördes enligt Svensk standard (SS-EN 12350-5) med undantaget att bordet lyftes 20 ggr istället för de föreskrivna 15 ggr. Metoden är i första hand avsedd för flytkonsistenser.

Omformningstalet anses ge ett bra mått på en betongs arbetbarhet. Metoden ger indirekt energiåtgången för omformning från konisk form till formen av en cylinder. Vid omformningen tvingas betongen genom en passage vilket gör att betonger med dåliga gjutegenskaper kräver

flera slag. Mätning utfördes cirka 8 minuter efter vattentillsats och i enlighet med Svensk standard (SS 13 71 30).

Utöver karakteriseringen av de färskas egenskaperna togs kuber ut för bestämning av tryckhållfastheten vid 35 dygns mognad (Figur 6.3).

6.1.2 Påverkan av olika krossprodukter

I denna serie utvärderades och jämfördes samtliga tio ballastmaterial i 0-2 mm fraktionen genom att provas i betonger med identisk sammansättning för övrigt (figur 6.1).

Resultaten från provningarna visar att de olika ballastmaterialen ger betong med varierande vattenbehov vilket resulterar i signifikanta skillnader i arbetbarhet (se Figur 6.2). Resultaten från mätningarna av utbredningsmättet visar att en majoritet av betongerna hamnade under konsistensklassen halvflyt (450-530 mm). Detta trots att bordet lyftes fem gånger mer än vad som föreskrivs i standarden. Då metoden huvudsakligen är avsedd för flytkonsistenser finns det inte några gränsvärden för konsistenser under halvflyt. Enligt resultaten från omformningsmätningarna faller åtta av betongerna i konsistensklassen lättflytande (omformningstal 10-30 slag) jämfört med tre vid mätning med sättmått.

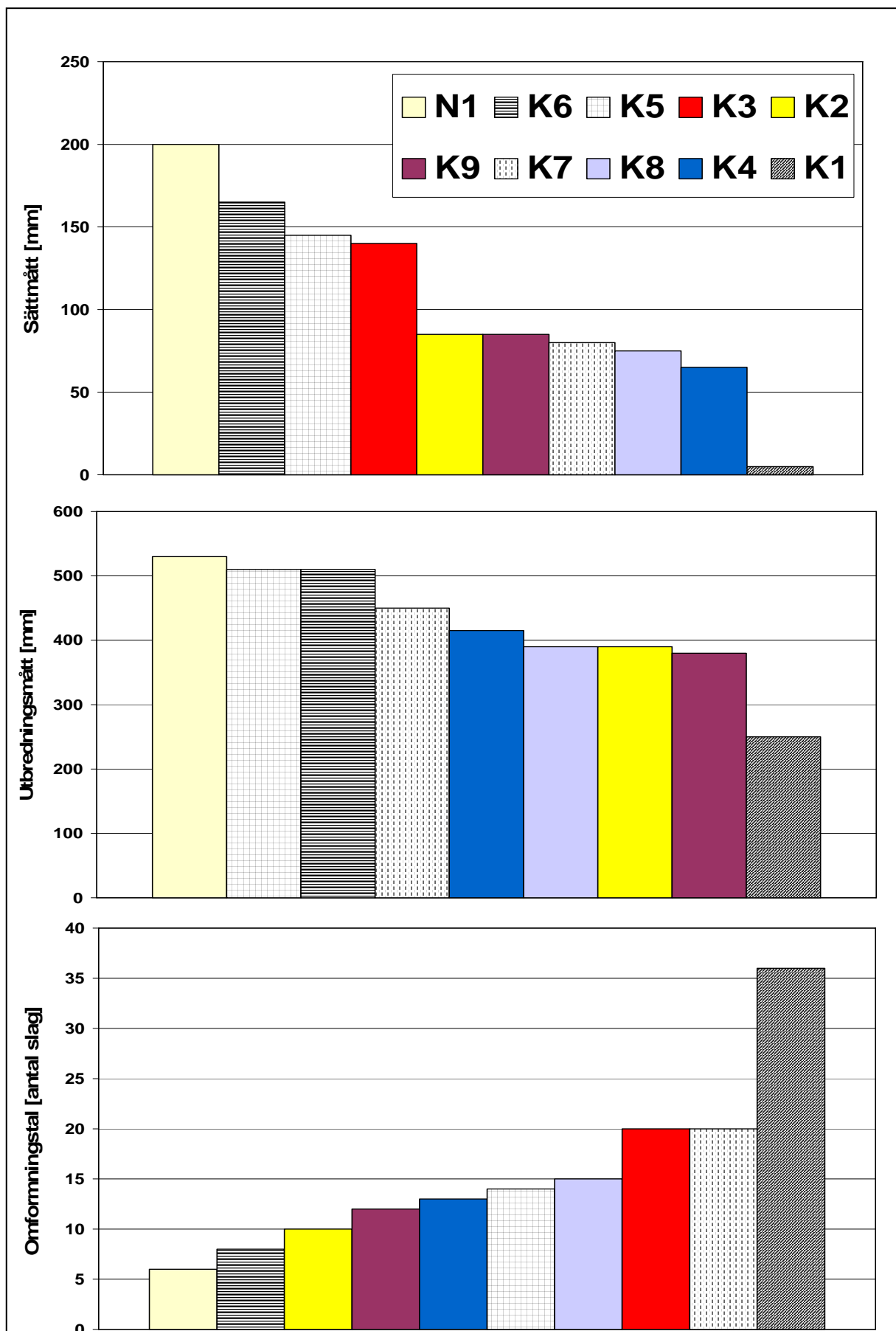
Den varierande arbetbarheten mellan de olika betongerna kan huvudsakligen hänföras till skillnader i korngradering och kornform hos de olika ballastmaterialen. Det är känt att krossballast i 0-2 mm fraktionen normalt har en större andel finmaterial ($< 0,25$ mm) än naturballast. Krossballasten i denna undersökning innehöll i medeltal 28 % finmaterial vilket kan jämföras med 12 % som är ungefärlig passerande mängd hos naturballast. I Figur 4.13 framgår att det bara är krossballasten från K8 och K6 samt naturballasten från N1 som faller mellan gränskurvorna A och B. Övriga krossballastmaterial hamnar ovanför gränskurva A vilket normalt även med naturballast kan ge en betong med stort vattenbehov. Således torde arbetbarheten kunna förbättras för samtliga betonger enbart genom att modifiera krossballastens siktkurva så att de får en bättre fördelning mellan finmaterial och grövre korn. Hur mycket bättre arbetbarheten blir beror dock på ballastens geometriska form. Storleken på förbättringen påverkas även av 8-16 mm ballastens egenskaper.

De tre krossballastmaterialen, K6, K5 och K3, som gav störst sättmått visar sig även ha en mer gynnsam kornform i framförallt de finare fraktionerna än de övriga krossballastmaterialen. Arbetbarheten hos betongerna med 0-2 mm ballasten ovan bör därmed kunna förbättras ytterligare om kornkurvan justeras.

Krossballasten från K8 har en ganska väl sammansatt kornkurva vilket gör att den sämre arbetbarheten sannolikt kan tillskrivas kornformen. Hypotesen stöds av F-aspekt kurvorna där det framgår att kornformen är relativt bra i fraktioner upp till 0,5 mm men att i fraktionen däröver sker ett skifte mot relativt dålig kornform. Eftersom K8 innehåller relativt mycket material som är större än 0,5 mm är det sannolikt att det är kornformen som slår igenom på arbetbarheten. Det kan även noteras att finmaterialet i ballasten från K8 har en relativt stor specifik yta, vilket bidrar till ett ökat vattenbehov.

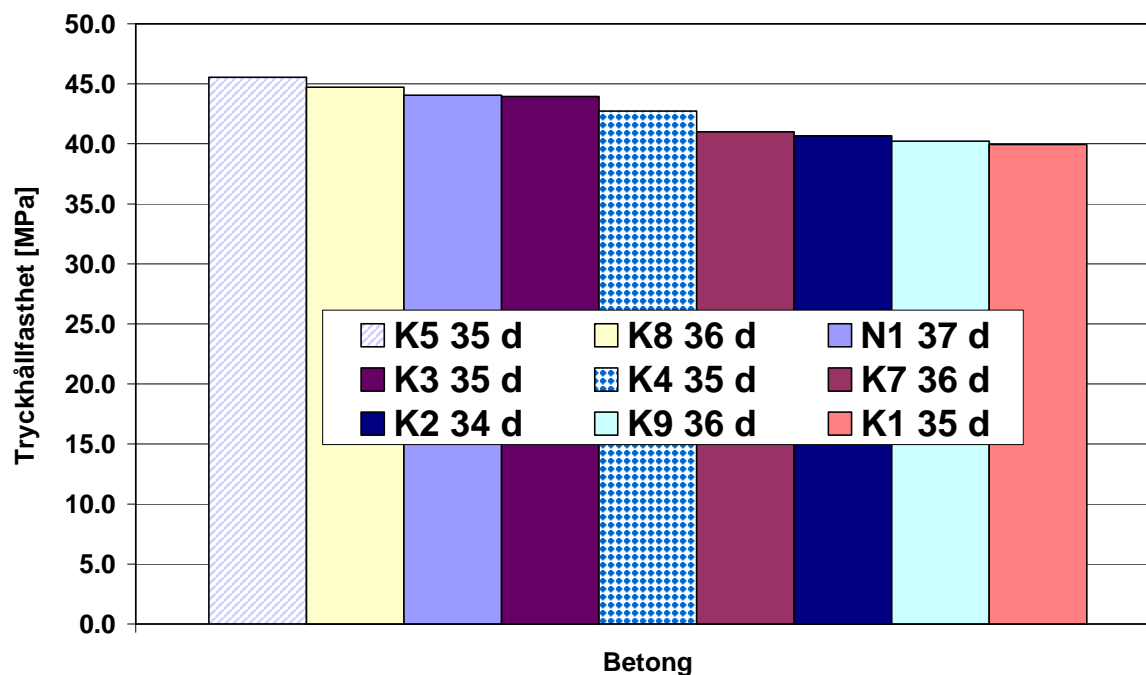
Krossballasten från K1 innehåller mycket finmaterial (36 % $< 0,25$ mm) samtidigt som tidigare undersökningar visat att det innehåller mycket biotit i framförallt de finare fraktionerna. Kornformsanalys på samma material visar även att kornen har en mycket ogynnsam kornform. Detta gör det rimligt att tro att en förändring av kornkurvan förbättrar arbetbarheten men att den ogynnsamma kornformen kommer att begränsa möjligheterna att nå en fullgod arbetbarhet. Även K7 och K4 är rika på biotit i finare fraktioner vilket även indikeras av en sämre kornform i dessa fraktioner.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 6.2. Sättningsmått (överst), utbredningsmått (mitten) och omformningstal (längst ner) från provningarna i steg 1.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 6.3. Tryckhållfasthet hos de olika blandningarna efter 35 dygn

6.1.3 Påverkan av flytmedel

I denna försöksserie styrdes konsistensen mot en målkonsistens genom att justera mängden flytmedel. Målkonsistensen var 160 mm i sättmått vilket motsvarade värdet för betongen med K6 i försöken ovan. Recepten som användes var identiska bortsett från att mängden flytmedel varierade beroende på ballastmaterialens olika behov (tabell 6.1).

Tabell 6.1. Visar betongernas sammansättning.

| Material | Recept |
|--|--------------|
| Cement (Bygg, Slite) [kg/m ³] | 350 |
| 0-2 sand (Varierande) [kg/m ³] | 631,7 |
| 2-8 grus (K6) [kg/m ³] | 340,1 |
| 8-16 sten (K6) [kg/m ³] | 795,1 |
| Vatten [kg/m ³] | 194,6- 197,8 |
| Flytmedel* [kg/m ³] | 2,7-7,49 |
| Vct [-] | 0,57 |
| Pastavolym [l/m ³] | 332,4 |

* Cementa Flyt 92M, TH: 35 %. CemFlux Prefab, TH: 20 %, användes i en betong.

Krossat berg som ballast till betong

Resultaten visar att det går att styra sättmålet och utbredningsmålet till önskad konsistensklass genom att reglera flytdosen. Den erforderliga flytdosen varierade dock med cirka 5 liter per kubikmeter betong för de olika ballastmaterialen. I betongen med krossballast från K1 användes ett mer effektivt flytmedel (CemFlux Prefab) då den erforderliga dosen av flytmedlet 92M skulle bli för stor, vilket i sin tur skulle kunna ha en negativ inverkan på betongens hållfasthetsutveckling. Genom bytet av flytmedel uppnåddes sättmålet 235 mm med ”normaldosering”. En antydning till vattenseparation kunde dock skönjas. Mätningarna av omformningstalet ger dock en annan bild av förbättringen av betongernas arbetbarhet. Resultaten indikerar att det bara är betongerna med ballast från K1 och K3 som förbättras nämnvärt vid ökad flytmedelsdosering. Omformningstalen för de andra betongerna är nästan oförändrade eller t.o.m. högre än de i figur 6.2. I Betonghandboken-Material redovisas samband mellan omformningstal och sättmål för betonger med olika värden på finhetsmodulen. Gemensamt för samtliga finhetsmoduler är att minskningen i omformningstal planar ut vid sättmål större än 100 mm. Mellan sättmålet 75 mm och 150 mm för en betong med finhetsmodul 4,5 minskar omformningstalet med cirka 5 slag. Utifrån detta är de förväntade effekterna på omformningstalen relativt små för de betonger som studerats. Faktum kvarstår dock att omformningstalet för flera av betongerna ökade. Resultaten bör därför tolkas med försiktighet.

6.1.4 Påverkan av pastavolymen

I denna försöksserie varierades cementmängden med ± 50 kg per kubikmeter betong. Detta gjordes med bibehållet vct vilket innebär att vattenhalten i betongen varierar med 57 liter och volymen pasta med 89,5 liter. Den doserade mängden flytmedel var 0,77 % för samtliga betonger. De provade betongernas sammansättning redovisas i tabell 6.2 nedan. För att begränsa antalet blandningar i detta steg valdes sex olika ballastmaterial i 0-2 mm fraktionen ut för provningarna. Ballastmaterialen valdes utifrån resultaten i avsnitt 6.1.2 och utgjordes av fem olika krossballastmaterial (K1, K3, K4, K5, K6) samt naturballasten (N1).

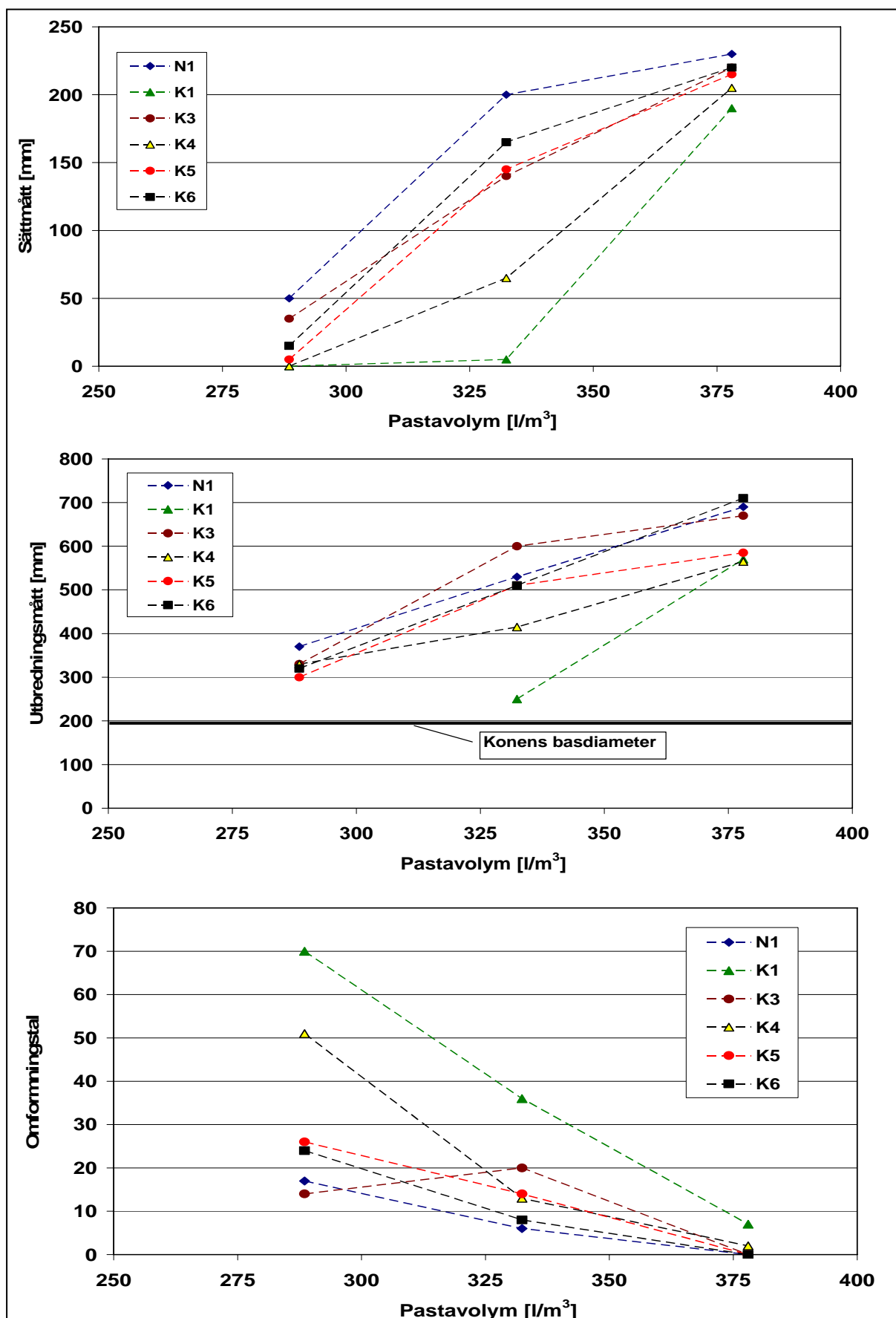
Tabell 6.2. De provade betongernas sammansättning.

| Material | Recept 1 | Recept 2 | Recept 4 |
|---|----------|----------|----------|
| Cement (Bygg, Slite) [kg/m ³] | 300 | 350 | 400 |
| 0-2 grus [kg/m ³] | 674,1 | 631,7 | 589,3 |
| 2-8 grus (K6) [kg/m ³] | 363,0 | 340,1 | 317,3 |
| 8-16 sten (K6) [kg/m ³] | 848,5 | 795,1 | 741,7 |
| Vatten [kg/m ³] | 169,5 | 197,8 | 226,0 |
| Flytmedel* [kg/m ³] | 2,31 | 2,7 | 3,08 |
| Vct [-] | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Pastavolym [l/m ³] | 288,5 | 332,4 | 378 |

* Cementa Flyt 92M, TH: 35 %.

Resultaten från samtliga mätningar i detta steg visar att betongens arbetbarhet kan förbättras avsevärt genom att förändra betongens pastavolym, se Figur 6.5. Detta överensstämmer väl med tidigare erfarenheter och kunskap. Förklaringen till den bättre arbetbarheten ligger i att den totala volymen ballast minskar lika mycket som pastafasen ökar, dvs. med 89,5 liter. Detta korresponderar mot en minskning av mängden 0-2 ballast med cirka 85 kg per kubikmeter betong. När volymen pasta ökar minskar betydelsen av de olika grusorternas partikelegenskaper och det är därför skillnaderna i sättmått, utbredningsmått och omformningstal minskar när vi ökar cementmängden. De största förändringarna ses hos betongerna med krossballast från K1 och K4 där sättmättet går från 5 mm respektive 65 mm till 190 mm samt 205 mm. Även förändringen i utbredningsmått och omformningstal är störst för dessa ballastmaterial. Betongen med naturgrus svarade minst på förändring. Sättmättet var dock stort, 230 mm, och betongens sammanhållning bedömdes som låg t.o.m. med risk för stenseparation.

Krossat berg som ballast till betong



Figur 6.5. Visar inverkan av ökad pastavolym på betongernas sättmått (överst), utbredningsmått (mitten) och omformningstal (längst ner).

6.2 Fabriksförsök

6.2.1 Kompletterande försök i Motala

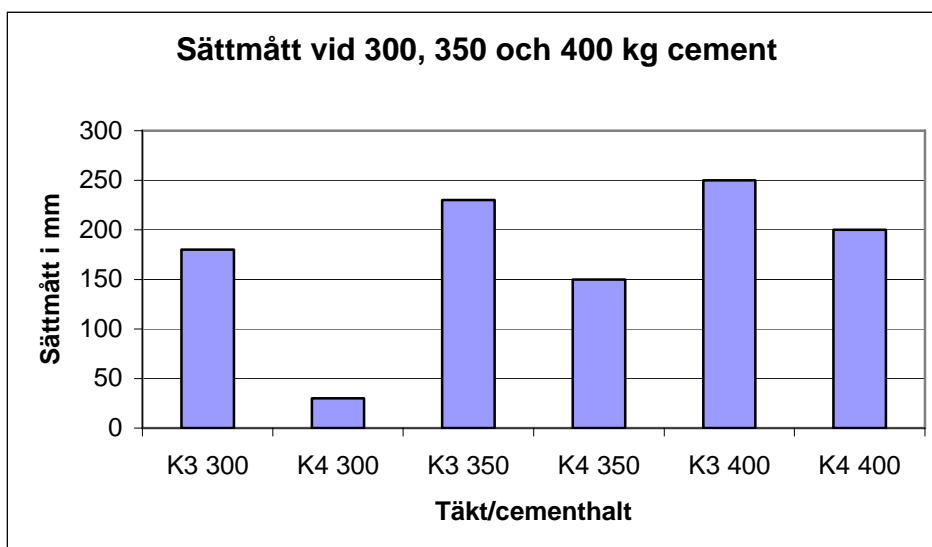
På fabrik i Motala tillverkades betong med ballast från täkterna K3 och K4 ut. K3 valdes ut som representant för ett av de bättre krossmaterialen och K4 som ett av de sämre krossmaterialen.

Det som skiljer laborieförsöken i Motala från dem på Liljeholmen är blandartypen (tombola/frifalls istället för tvångsblandare), att ballasten absorptionsvatten denna gång tagits med, vilket innebär att recepten genomgående har en högre vattenhalt (cirka 12 l) och att jämförbart vct är högre. Recepten har anpassats utifrån andra fraktioner, nämligen 0-4 mm, 4-8 mm och 8-16 mm. Och slutligen har betongerna tillverkats med ballast i de grövre fraktionerna från de utvalda täkterna (K3 och K4), och inte som tidigare med ballast från endast en utvald täkt (K6). Använda betongrecept framgår av Tabell 6.3.

Tabell 6.3. Recept använda i laborieförsöken i Motala.

| Receptbenämning | 300 kg | 350 kg | 400 kg |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Slite Byggcement | 300 | 350 | 400 |
| Vatten | 170(+13,2) | 198(+12,4) | 226(+11,5) |
| Makadam 8-16 mm, K3 eller K4 | 848 | 795 | 742 |
| Kross 4-8 mm, K3 eller K4 | 230 | 214 | 200 |
| Kross 0-4 mm, K3 eller K4 | 809 | 795 | 707 |
| Flyttillsats, F92M, K3 | 2,31 | 2,7 | 3,08 |
| Flyttillsats, F92 M, K4 | 2,4 | 4,2(3,5) | 3,1 |

Som framgår av tabell 6.3 är använd flytdos högre för ballast från täkten K4. Orsaken var att flytdosen höjdes för att erhålla en rimligt arbetbar betong. Den högre dosen behövdes eftersom även de grövre fraktionerna från täkten K4 verkade vara mindre lämpliga ballast. Resultaten från betongförsöken visas i Figur 6.6.



Figur 6.6. Sättnått hos betonger tillverkade med ballast från tåkterna K3 och K4 med låg, medel och hög cementpastavolym.

Av figur 6.6 framgår att betong tillverkad med ballast från tåkterna K3 och K4 gav bättre arbetbarhet än motsvarande betonger i avsnitten ovan, se figurerna 6.2, 6.4 och 6.5. Den största orsaken till att betong tillverkad av ballast från tåkten K3 har en bättre arbetbarhet än motsvarande betong tillverkad på Liljeholmen kan kopplas till den högre vattentillsatsen (11-13 l extra vatten) och till att kornformen hos de grövre ballastfraktionerna troligen är gynnsammare än ballastmaterialet från tåkten K6, som användes i Liljeholmsförsöken.

Ett syfte med Motalaförsöken var att förbereda fullskaleförsöken och att ta fram recept som resulterade i betong som skulle gå att använda vid betonggjutning. Recepten för betonger med ballastmaterial från tåkten K4 justerades därför något med hjälp av ökad flytmedelsdos, och då visade det sig att sättnåttet nådde en acceptabel nivå för 350 betongen. Vid laboratorieförsöken bestämdes även omformningstalet vilket redovisas i huvudrapporten.

6.2.2 Fullskaleförsök på betongfabriker i Tranås och Motala

Ballastmaterial K3

De recept som användes vid fullskaleförsöken redovisas i Tabell 6.5

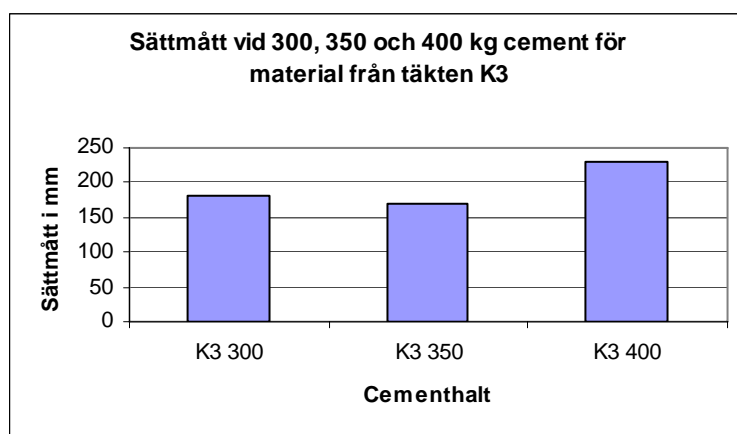
Tabell 6.4. Recept använda vid fullskaleförsöken, ballast från täkt K3.

| Receptbenämning | 300 kg | 350 kg | 400 kg |
|------------------|------------|------------|------------|
| Slite Byggcement | 300 | 350 | 400 |
| Vatten | 170(+13,2) | 188(+12,4) | 215(+11,5) |
| Makadam 8-16 mm | 848 | 795 | 742 |

Krossat berg som ballast till betong

| | | | |
|------------------------|------|------|------|
| Kross 4-8 mm | 230 | 214 | 200 |
| Kross 0-4 mm | 809 | 795 | 707 |
| Flyttillsats, F92M, K3 | 2,31 | 2,7 | 3,08 |
| Vattencementtal | 0,57 | 0,54 | 0,54 |

Betong tillverkad med 300 kg cement fick samma sättmått, 180 mm, som erhöles vid labbförsöken i Motala, se figur 6.7. För att inte få för lös betong sänktes därför vattenhalten i de två andra recepten och vct ändrades då från 0,57 till 0,54.



Figur 6.7. Sättmått hos betonger tillverkade i fullskala. Vattenhalten är 10 liter lägre i betongerna med 350 och 400 kg cement.

Betongerna lastades i en roterbil och kördes ut till en arbetsplats. Betongen gjöts i en platta på mark och bearbetades med stav och vibrobrygga. Betonggjutaren hade inga negativa kommentarer, utan menade att betongen fungerade mycket bra. Betongfabriken har efter genomförandet av dessa fullskaleförsök fortsatt med att leverera betong med helkross till utvalda objekt och i samtliga fall rapporteras om goda erfarenheter av krossballastbetongen, både i färskt och hårdnat tillstånd.

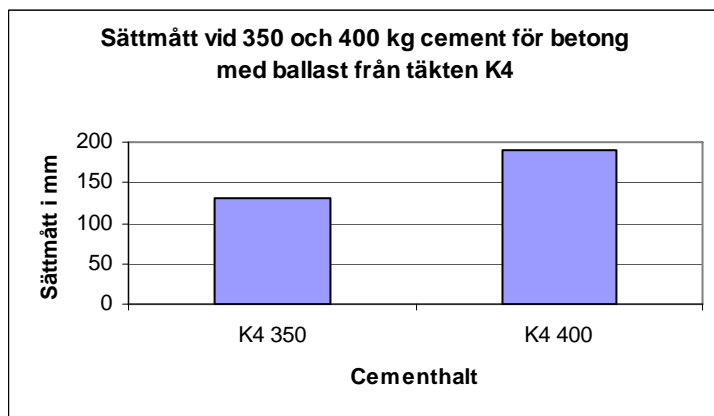
Ballastmaterial K4

De recept som användes vid fullskaleförsöken redovisas i Tabell 6.5.

Tabell 6.5. Recept använda vid fullskaleförsöken, ballast från tåkt K4.

| Receptbenämning | 350 kg | 400 kg |
|------------------|------------|------------|
| Slite Byggcement | 350 | 400 |
| Vatten | 198(+12,4) | 226(+11,5) |
| Makadam 8-16 mm | 795 | 742 |
| Kross 4-8 mm | 214 | 200 |
| Kross 0-4 mm | 795 | 707 |

Jämfört med labbförsöken i Motala har flytmedelsdosen sänkts från 1,2% av cementvikten till 1% av cementvikten. Motsvarande flytmedelsdos i betong med ballast från K3 är 0,8%. Resultat från bestämningen av sättmått framgår av figur 6.8.



Figur 6.8. Sättmått vid 350 och 400 kg cement för material från tälkten K3.

Betongen tillverkad med ballastmaterial från tälkten K4 bedömdes inte vara lika lätt gjutbar som motsvarande betong från tälkt K3. Betongen från fullskaleförsöket fick köras på tipp. Inga nya betongförsök med helkross har genomförts med material från tälkten K4.

6.3 Sammanfattning betongprovning

Resultaten visar att egenskaperna hos 0-2 mm fraktionen hos den använda ballasten är av stor betydelse för betongens arbetbarhet. I denna undersökning varierade konsistensen mellan medelstyv till halvflyt enbart beroende på 0-2 fraktionens egenskaper. Den generellt sämre arbetbarheten hos betongerna med krossballast i 0-2 mm fraktionen beror sannolikt på en mer ogynnsam kornstorleksfördelning samt kornform. Det är dock svårt att bedöma vilken av de två variablerna som haft störst inverkan vid försöken i denna undersökning.

Det större vattenbehovet hos betongerna kan dock delvis tillgodoses genom att öka doseringen av flytmedel och på så sätt utnyttja det vatten som finns bundet i flockar. I denna undersökning nådde samtliga betonger det fastställda målvärdet på sättmättet med normaldosering av flytmedel. Arbetbarheten uttryckt som omformningstal förbättrades dock inte när flytmedelsdosen ökades.

Genom att öka betongens pastavolym kan effekter från oregelbundna partikelformer motverkas. Samtliga provningsmetoder indikerade en förbättring av arbetbarheten vid ökad pastavolym.

Resultaten visar att de förbättringar som kan nås genom att ersätta en viss andel av krossballasten med ett fillermaterial (allt annat lika) är små. Detta beror sannolikt på att när en del av hela 0-2 fraktionen ersätts med ett mer finkornigt material ökar ytan och därmed vattenbehovet. För att få en gynnsam effekt bör fillermaterialet användas på något annat sätt än vid försöken i denna undersökning. Inom projektet har t.ex. filler använts med framgång för att ersätta finmaterial av dålig kvalitet. Det skulle även kunna användas för att öka pastavolymen och på så sätt minska friktionen mellan grövre ballastmaterial.

Krossat berg som ballast till betong

Resultaten från de reologiska mätningarna visar att när betongerna innehöll krossballast i 0-2 mm fraktionen var både flytgränsspänningen och den plastiska viskositeten generellt högre än hos referensbetongen med naturballast. Resultaten är därmed helt samstämmiga med de erfarenheter som erhållits vid mätningarna på bruk. Resultaten indikerar även att det finns ett relativt bra samband mellan bruksfasens flytgränsspänning och betongens. Sambandet mellan viskositeterna är dock mer oklart.

Fabriksförsöken visar att resultaten från betongblandningarna i laboratorium generellt även gäller vid fabrik.

7 Ställföreträdande tester och kvalitetssäkringsmetoder

De tidigare beskrivna metoderna ger främst ett instrument att karaktärisera, värdera och optimera krossballast för användning i betong. Efter en värdering och optimering för av krossballasten behövs även ett instrument för kvalitetssäkring. Detta kan ske både vid täkt och vid betongstation. Vad man väljer beror på den lokala situationen. Vid betongproduktion idag har många betongstationer baserat produktionen på naturballast och använder endast två ballastfickor. Det är besvärligare att proportionera med krossballast och man bör egentligen ha flera fickor för att kunna balansera hela kornkurvan. I utlandet där man använder krossballast har man detta.

Som tidigare visats så är det framför allt finballasten som ställer till med problem när det gäller betongproportionering. Man måste därför ha metoder som ger en sådan beskrivning av finballasten i betong att en betongfabrik kan hålla en kontinuerlig produktion utan att behöva justera receptet. I detta arbete har vi inte i egentlig mening undersökt finballasten som är definierad som det som faller under 4 mm sikten utan 0-2 då denna fraktion ger mest besvär och det är enklare att testa.

I ballaststandarden (SS 12620) anger man att skall kunna beskriva kornkurvan, petrologi och det finns metoder för att beskriva kornformen hos grovballasten. De övriga testerna behandlar komponenter som kan ge problem med beständighet vilket inte behandlas i detta projekt. För finballasten finns förutom beskrivning av kornkurvan endast två metoder; metylenblå- och sandekvivalenttest. Metylenblåtesten används huvudsakligen för att kontrollera att det inte finns svällande leror. Dessa leror förekommer främst i omvandlade basiska bergarter (dioriter etc) och i orena kalkstenar men sällan i granitoida bergarter. Den enda stipulerade test som finns idag för granitoida bergarter är därför sandekvivalenttesten.

7.1 Sandekvivalenttesten

Sandekvivalenttesten är en variant av sedimentationstest. Skillnaden är att man använder en flocklösande tvättlösning. De är en lösning som innehåller kalciumklorid, glycerin och formalin. Ett prov av sanden (0-2 mm) och en mindre mängd av lösningen hålls i en cylinder där provet rörs om för att frigöra lerpartiklar. Sanden rörs sedan om ytterligare genom att slå på ytterligare lösning som tvingar finpartiklarna i lösning över den sedimenterade sanden. Detta ger en slampelare vars tjocklek man kan mäta och jämföra med den hos de sedimenterade grövre partiklarna. Metoden finns beskriven i SS-EN 933-8. Metoden ger i princip mängden finmaterial som hålls i suspension, dvs. leror eller finmaterial, vilka anses kunna ha en negativ verkan vid betongtillverkning. Problemet vid tolkningen av resultaten är om det ges av leror eller fina mineralkorn av annat mera kubiskt mineral. Som det är beräknat indikerar höga sandekvivalentvärden en bra ballast och låga en dålig ballast för betong. Resultaten för SE-testen finns i Tabell 7.1.

Om man jämför värdena ser man att K18 har högt värde. Detta är en tvättad kvartsitisk sandsten medan K19 är en otvättad. Tvättningen tar bort finpartiklarna och ger därmed som förväntat en mindre slampelare. De granitoida krossprodukter som ger högst värde är K15 och K12. De utmärks båda av relativt låg halt av både finmaterial ($< 75\mu\text{m}$ och $< 10\mu\text{m}$) och låg BET-yta. De som ger högst värde på SE-testen är K4 och K8 vilka utmärks av hög halt finmaterial och hög BET-yta. Nya tester på K8 gav något bättre värde men fortfarande inte bra. För att verifiera

Krossat berg som ballast till betong

detta testade vi även på tvättat grus. Som förväntat gav tvättningen (markerat med tv inom parantes i tabell 7.1) ett högre SE-värde. De med låga värden på SE-testen är de prov som ger relativt dåliga reologiska resultat och ger en besvärlig betong. Detta medför att om finmaterialmängden är det som ger besvär med betongen så ger SE-testen ett bra värde. För att utvärdera SE-testen har vi gjort om den med en annan sändning. För K2 fick vi ett liknande värde medan vi för K8 fick ett högre värde vilket tyder på att man får en variation inom bergtäkten. Orsaken till varför vet vi ej. Täkt K8 borde med hänsyn taget till kornform ge bättre resultat. Den ända orsaken till varför K8 har ett dåligt beteende när det gäller reologin är att den verkar vara hydrotermalt omvandlad (sericitomvandlad) och därför har en annan yta vilket indikeras av det höga BET-värdet på det tvättade gruset.

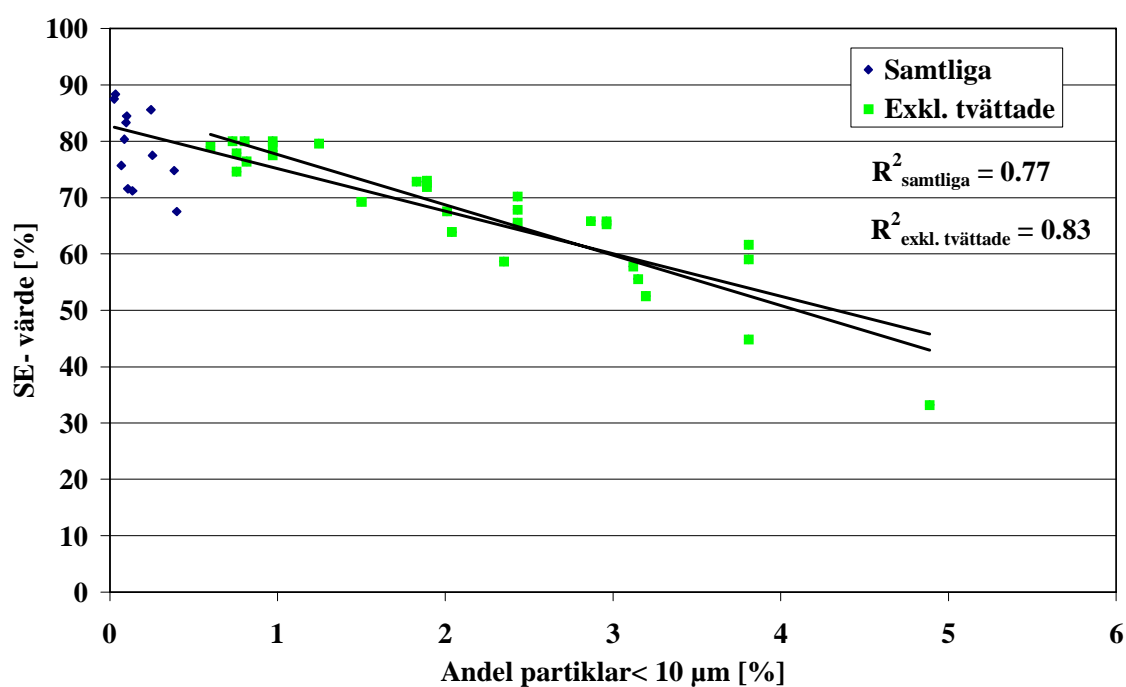
Tabell 7.1. Tabell som visar värden från sandekvivalenttest men även andra värden på variabler som kan påverka SE-testen. Trådsikt värdena är från 0-2 mm. Lasersikt värdena och BET-ytan är från fraktionen 0-0,25 mm. Sandekvivalenten mäter på 0-2 mm. I kolumnen närmast SE-värdena är lasersikt omräknat till % av 0-2 mm. (tv) är data från tvättat prov (MinBas 2:14). För en del produkter visas flera mätvärden. Dessa är från analyser av andra sändningar från samma täkt.

| Täkt | Trådsikt < 75µm | Trådsikt < 250µm | Lasersikt <10 µm | Lasersikt <63µm | BET-yta m ² /kg | Omräkn lasersikt | Sand-ekvival |
|---------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------|--------------|
| N1 | 5,7 | 22,8 | 16,6 | 43,6 | 2650 | 3,7 | 74 |
| N2 | 3,8 | 23,1 | 6,7 | 23,8 | 3845 | 2,6 | 79 |
| K1 | 18,8 | 49,8 | 9,8 | 46,6 | 976 | 4,8 | 68 |
| K1 (tv) | 10,1 | 46,7 | 0,3 | 9,6 | 532 | 0,14 | 74 |
| K2 | 17,1 | 46,7 | 7,7 | 28,3 | 2800 | 3,6 | 68 |
| K2 tv | 6,2 | 34,5 | 0,8 | 10,5 | 1810 | 0,3 | 79 |
| K2-2 | 12,1 | 33,0 | 8,1 | 35,9 | 1315 | 2,7 | 72 |
| K3 | 9,5 | 30,6 | 6,6 | 26,3 | 840 | 2,0 | 77 |
| K4 | 11,4 | 37,9 | 5,3 | 27,4 | 2490 | 2,0 | 64 |
| K4 (tv) | 10,1 | 46,7 | 0,3 | 9,6 | 828 | 0,14 | 84 |
| K5 | 13,8 | 43,6 | 5,3 | 26,4 | 520 | 2,3 | 70 |
| K6 | 14,3 | 41,5 | 5,5 | 24,2 | 610 | 2,3 | 69 |
| K7 | 32,6 | 50,8 | 8,6 | 36,4 | 1150 | 4,4 | 75 |
| K8 | 10,3 | 27,9 | 11,5 | 30,1 | 4140 | 3,0 | 41 |
| K8 (tv) | 3,3 | 20,5 | 0,9 | 7,0 | 1330 | 0,2 | 88 |
| K8-F | 11,9 | 30,4 | 8,1 | 28,0 | 1975 | 2,5 | 59 |
| K8-U | 14,3 | 35,3 | 10,4 | 33,2 | 2588 | 3,7 | 62 |
| K9 | 17,8 | 37,9 | 8,3 | 34,6 | 890 | 3,1 | 68 |
| K10 | 17,2 | 30,6 | 19,7 | 60,8 | Ej anal | 6,0 | 71 |
| K12 | 8,5 | 37,9 | 3,0 | 14,7 | 870 | 1,1 | 80 |

Krossat berg som ballast till betong

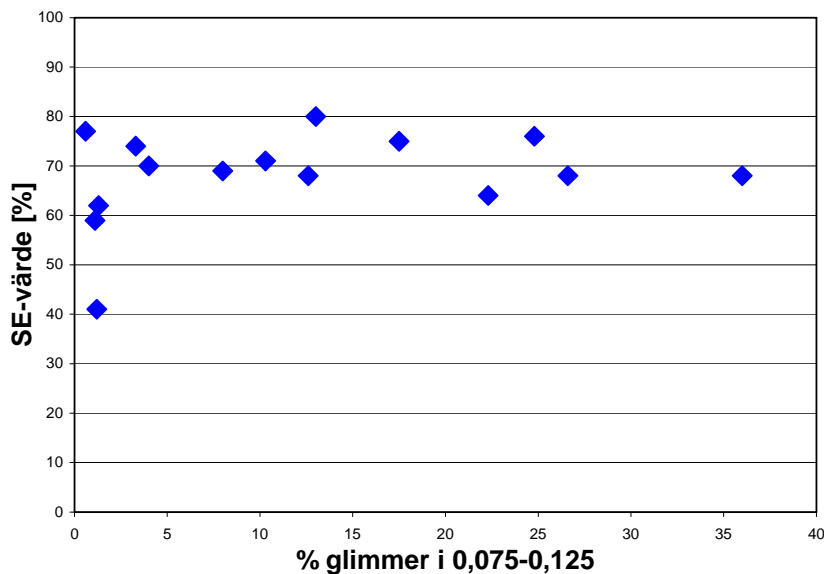
| | | | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-----------|
| K13 | 12,9 | 37,0 | 5,4 | 26,3 | 920 | 2,0 | 76 |
| K14 | 14,8 | 22,3 | 6,7 | 30,3 | 1030 | 1,5 | 74 |
| K15 | 8,3 | 27,8 | 4,9 | 21,8 | 780 | 1,4 | 89 |
| K16 | 13,1 | 36,7 | | | | | 74 |
| K16-2 | 12,7 | 33,6 | | | | | 69 |
| K18 (tv) | 2,3 | 30,6 | 1,0 | 5,2 | 960 | 0,03 | 91 |
| K19 | 9,5 | 26,9 | 19,6 | 54,9 | Ej anal | 5,3 | 74 |

Försök där finballastmaterial med olika egenskaper hos finmaterialet studerats visar att SE-testen ger en god indikation på andelen finmaterial med en partikelstorlek under 10 µm (figur 7.1).



Figur 7.1. Inverkan av andelen finpartiklar med en partikelstorlek mindre än 10 µm på ett finballastmaterials SE-värde.

Av figure 7.2 framgår att det inte råder något samband mellan finballastens biotitinnehåll och SE-värdet.



Figur 7.2. Inverkan av andelen glimmer i fraktionen 0,075-0,125 på finballastens SE-värde.

Resultaten visar således att SE-testen huvudsakligen ger utslag på andelen ultrafina partiklar och att testen inte särskiljer på flakiga och kubiska korn.

7.2 Metylenblåtest

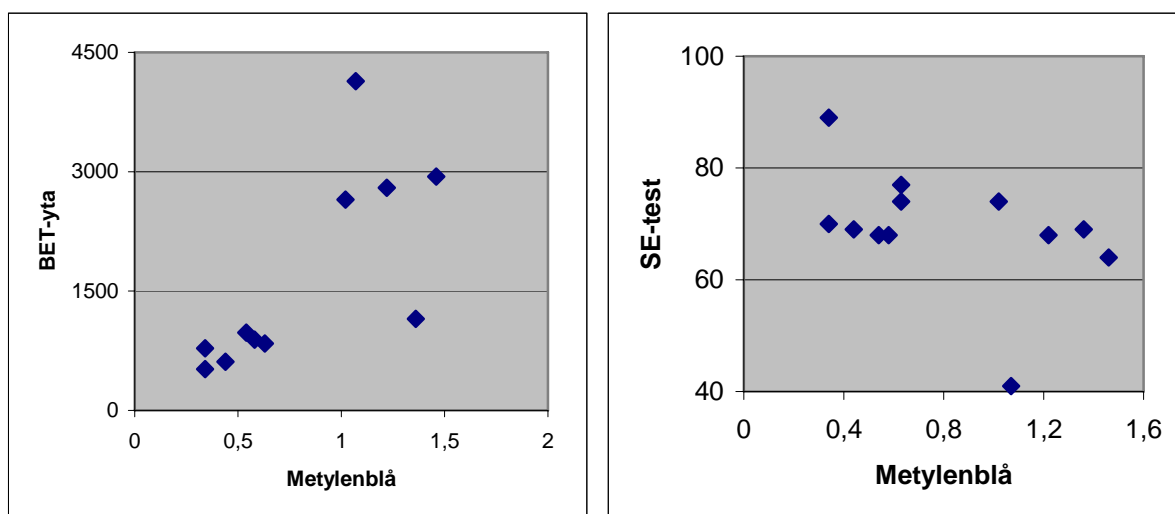
Metylenblå test enligt SS-EN 933-9 utfördes på en utvald mängd grus. Metoden bygger på att man mäter mängden metyleblå som sorberas av en viss mängd grus (0-2mm). Denna test är främst till för att ta fram mängden vattensugande lermineral (svällorer-smektitet) som framför allt förekommer i kalkstenar och omvandlade basiska bergarter. Enligt SS-EN utförs testen Resultaten visar relativt små värden men att man med metoden kan diskriminera olika grus med testen. Då man kan anta att det främst är de mindre partiklarna som absorberar metylenblå gjordes en andra mätomgång på fraktionen 0-0,25 mm för att få mera distinkta värden.

Resultaten visar att metylenblå-värdena korrelerar mot BET-ytan vilken i sin tur påverkar reologin. Båda naturgruset visar relativt höga värden. Detta beror antagligen på att de innehåller vittringsleror som man vet absorberar metylenblått. När det gäller krossballast kan dessa innehålla vittringsleror såsom när det gäller 1-kross från täkt K2. Detta är emellertid inte fallet med K4 eller K8, där K4 är rik på finkornig glimmer och K8 innehåller hydrotermalt omvandlad (seritiserad) granit. Ett undantag från korrelationen är täkt K7 som har ett högt metylenblå-värde som inte motsvaras av en lika hög BET-yta. I detta fall innehåller gruset exceptionellt mycket finmaterial/filler och det innehåller relativt mycket hornblände vilket kan förklara fenomenet.

Resultaten indikerar klart att man med hjälp av metylenblå-testen kan få fram indikationer på ytans beskaffenhet vilket i sin tur påverkar reologin. Krossgrus med högt metylenblå-värde måste man se närmare på.

Tabell 7.2. Metylenblå-värden på 0-2 och 0-0,25 mm. Värdena på BET-yta och sandekvivalent för jämförelse.

| Prov | 0-2 mm | < 0,250 mm | < 0,250 mm | 0-2 mm |
|----------------|--------|------------|------------|----------|
| | MB | MB | BET- yta | SE-värde |
| Vändle | 0,48 | 1,07 | 4140 | 41 |
| Bro | 0,25 | 0,34 | 780 | 89 |
| Enhörna | 0,24 | 0,44 | 610 | 69 |
| Vändle upplag | 0,48 | | 2580 | 62 |
| Sättertorp | 0,48 | | 3845 | 79 |
| Underås | 0,48 | 1,02 | 2650 | 74 |
| Stöningsberget | 0,34 | 0,54 | 976 | 68 |
| Kålleröd | 0,58 | 1,36 | 1150 | 69 |
| Kolmetorp | 0,48 | 1,46 | 2940 | 64 |
| Vambåsa | 0,24 | 0,34 | 520 | 70 |
| Stenungsund | 0,34 | 0,63 | | 74 |
| Kleva | 0,34 | 0,63 | 840 | 77 |
| Arlanda | 0,24 | 0,58 | 890 | 68 |
| Gladö | 0,48 | 1,22 | 2800 | 68 |

**Figur 7.3.** Metyleblå-värden jämförda med BET-yta och SE-test.

7.3 Brukstester

Sandekvivalent testen tar inte hänsyn till kornformen och siktkurvan i övrigt varför en annan test också behövs. Siktkurvan kan man få genom en siktnalys vilket vi utgår från att man gör. För att få en mera exakt test som även tar hänsyn till partikelform anpassad för betong måste man använda en riktig blandning. Beteendet i betong får man bäst fram genom att mäta de reologiska egenskaperna i ett bruk. Man kan dock inte förvänta att tänkten eller betongfabriken har en reometer. En enklare metod behövs.

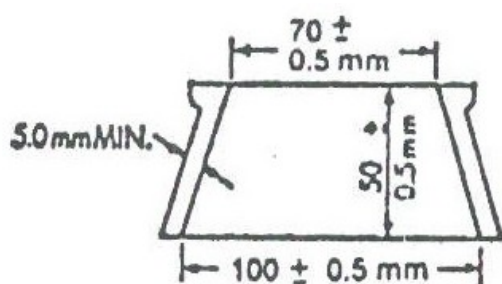
Några enkla metoder att utvärdera hur olika typer av krossballast påverkar de reologiska egenskaperna för betong har utprovats. Fraktionen 0-2 mm av ballasten har siktats fram. Metoderna som använts har varit utbredningsmått på ett slagbord och för lösare konsistenser även rinntiden genom en tratt. Vi har testat ett antal metoder men redovisar endast två här, minislumptest och flödestest med flyttillsatsmedel

En del olika recept provades. Ett recept innehöll endast sand och vatten. Ett annat innehöll även vanligt Byggcement och ett tredje syntetisk pasta bestående av silika- och kvartspulver. Endast bruksblandningen redovisas här. Cementbruket bestod av Byggcement, sand och vatten med vct 0,57 och förhållandet mellan grus och cement 1/1,81. Olika halter av flytmedel och två olika typer av flytmedel användes.

7.3.1 Utbredningsmått

Vid bestämning av utbredningsmättet användes standardiserad utrustning enligt ASTM C230-90, BS 4551:1980, UNI 7044 och DIN 1164. Apparaten består av ett bord (sk. fallbord) med höjden 206 mm på vilket en mässingsskiva av diametern 254 mm är fäst. Till bordet hör en lyftanordning till vilken är kopplad en vev. Genom att använda veven fås bordet höja sig och därefter falla ned med en duns. Detta skall enligt standarden göras 25 gånger inom 15 sekunder. Bruket som testas läggs i en mässingskon (stympad) på bordet. Konens inre diameter nedtill är 100 mm, upptill 70 mm och höjden är 50 mm, Figur 7.1. Då konen fyllts med bruk lyfts den upp och beroende på brukets konsistens fås en större eller mindre utbredning.

Vid dessa försök mättes utbredningsmättet dels direkt efter att konen lyfts upp och dels efter ett varierande antal slag. Vid mycket lösa konsistenser rinner bruket över kanten på bordet, varför ibland en större skiva lades ovanpå slagbordet.

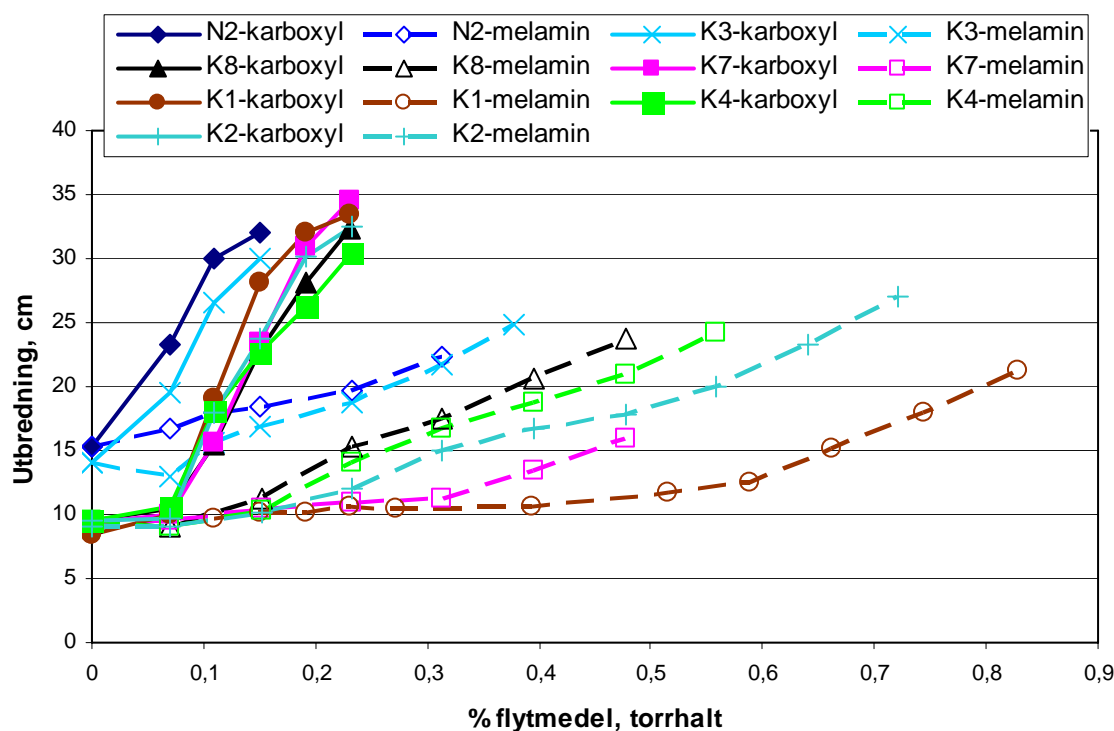


Figur 7.4. Konens dimensioner.

Resultaten (Figur 7.5) visar att det är en stor skillnad på effektiviteten hos de olika flytmedlen. Det karboxyl- är klart (ca 3ggr) mera effektivt än det melaminbaserade. Det visade sig i Liljeholmförsöken (kapitel 6) med betongblandningar att de sämsta krossprodukterna (K1) behövde en flyttillsats av tredje generationen, ett karboxylbaserat.

Naturgruset ger det största utbredningsmättet. Produkten från K3 är dock nästan lika bra medan K1 är sämst. Man finner att ordningen mellan de olika produkterna är ungefär samma som i

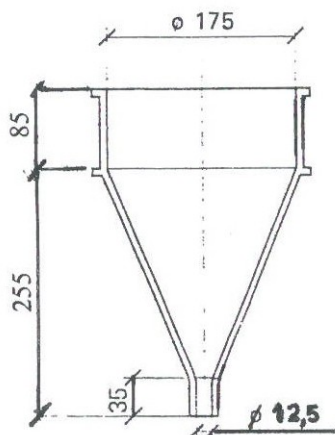
finbruks, bruks och betongförsöken. Utgångsreceptet är formulerat så att utbredningsmättet är ganska litet utan flytmedel. Anledningen till detta är att nästan alla krossprodukter har höga halter av finmaterial och att man därför vid produktion kommer att behöva flytmedel. Vid produktionsanalys måste man först genom receptoptimering bestämma vilken flytdosering som erfordras varefter man gör ett bruk som reflekterar den sammansättning som krossprodukten har. Med utgångspunkt från detta kan man sedan mäta vilken effekt en variation har. Försök pågår med att utvärdera en variation inom täkt.



Figur 7.5 Resultat utbredningsmått. För metod och blandning se text.

7.3.2 Rinntid

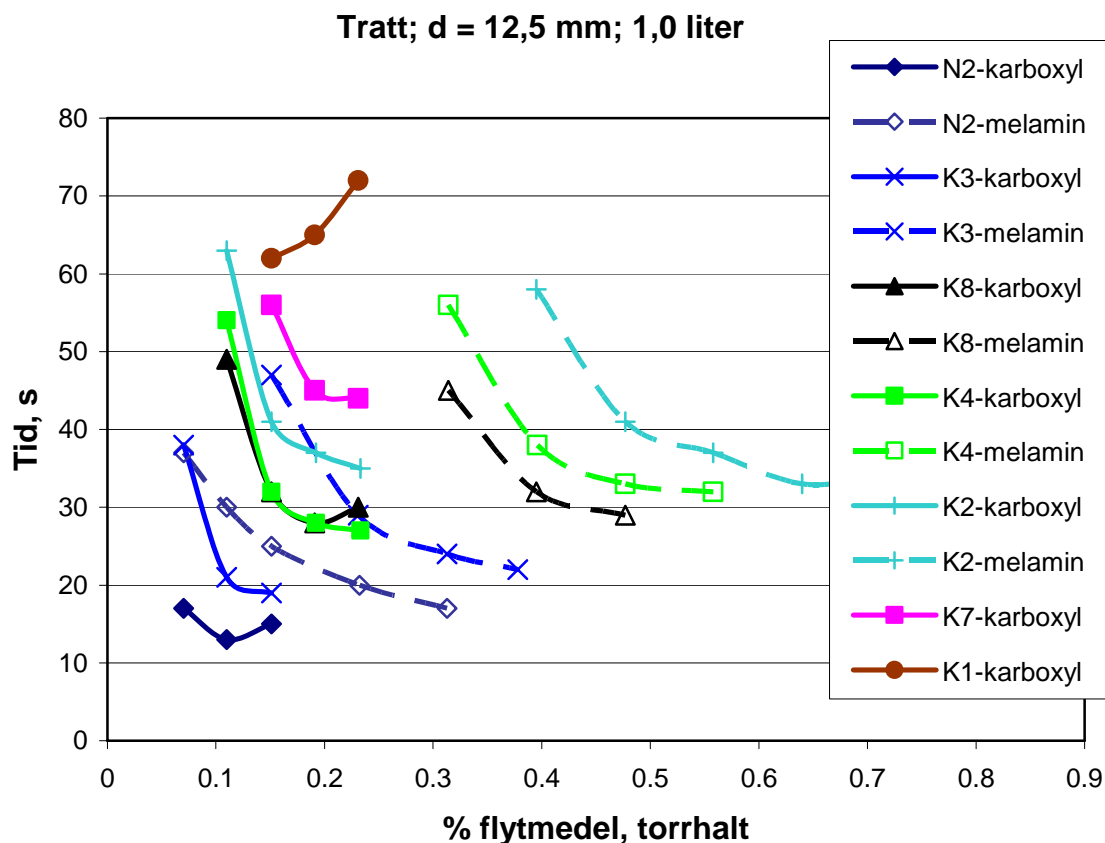
För de lösare konsistenserna användes även en tratt med rördiameter 12,5 mm. Trattens dimensioner framgår från Figur 7.2. Trattens mått för rördiameter, rörlängd och övre diameter stämmer överens med de mått som anges i SS 13 75 30 för provning av flytförmågan för injekteringsbruk, men totala höjden är 35 mm större än i standarden. Tiden för 1 liter bruk att rinna genom tratten registrerades. För att få bruket, med det använda receptet, att rinna genom tratten krävdes flyttillsatsmedel.



Figur 7.6. Trattens dimensioner i mm.

Liksom för utbredningsmättet gjordes försöken med rinntid med två typer av flytmedel. Även här finner man att de som baseras på karboxyl är mera effektivt. Man behöver distinkt mindre mängder för att uppnå samma rinntid och man har svårt att komma ner till samma korta rinntid. Man finner att naturballasten (N2) har bäst värden men krossprodukten K3 är nästan lika bra. Med K1 gick det inte att mäta då bruket separerade. I övrigt är ordningen ungefär samma som i reologitesterna (kapitel 5). Man kan även observera att de krossprodukter som är bra i betongförsöken både på laboratorium och i fullskaletesten (K3) är de som ger kortast rinntid. Detta indikerar som för utbredningsmättet att rinntid är ett sätt att kunna kvalitetstesta finballast.

Genom att höja mängden flytmedel tillräckligt kan man få upp utbredningsmättet medan man för rinntid inte får ner tiden. Antagligen markerar utbredningsmättet mera av flytgränsspänning och rinntiden mera den plastiska viskositeten, då man i de reologiska testerna (kapitel 5) med flytmedel får endast kan få den första men inte den andra.



Figur 7.7 Resultat rinntid. För metod och blandning se text.

7.5 Sammanfattning ställföreträdande tester.

Med hjälp av sandekvivalent- och metylenblåtest kan man få en uppfattning av av hur finmaterialet påverkar bruks och därmed betongs egenskaper. Man kan emellertid inte använda dessa direkt som en indikator utan man måste först göra en mera ingående studie där man kan korrelera värdena till en mera specifik parameter. När väl detta är gjort kan de antagligen användas för kvalitetsuppföljning.

Försöken med utbredningsmått och rinntid visar att dessa ganska väl reflekterar de egenskaper som övriga undersökningar visar. För de flesta betonger med helkross måste man antagligen använda superplasticerare och brukstesterna visar på effekten av dessa. Därmed kan de antagligen fungera som ställföreträdande betongtester och markera variation i materialet. En ökad eller minskad förbrukning av superplasticerare kommer att indikera att någon variabel i sammansättningen har förändrats. Man måste dock antagligen göra brukstester som anpassats för olika betongsorter och kvalitéer.

8 Slutsatser och fortsatt arbete

De olika försöken visar att man kan använda krossade granitoida bergarter vid betongtillverkning. Man kan dock inte betrakta dem som en grupp. Somliga fungerar nästan lika bra i betong som naturgrus medan andra kräver mycket cementpasta eller åtgärder som tvättning etc. Generellt kan man få ner flytgränsspänningen till samma värde som betong med naturgrus men alla betongerna med krossballast får en högre plastisk viskositet, dvs. de blir ”segare”.

Vi antog från början att det var finballasten och då speciellt den ballast som passerar 4-mm sikten som ställer till med störst problem. Detta visade sig att de värden på arbetbarhet och reologi som vi mätte på 0-2 materialet distinkt slog igenom på betongen, dvs. klarar man 0-2 bruket klarar man betongen. Resultaten från betongblandningar i laboratoriet kunde överföras till fabriksblandning.

Det som skiljer krossballast 0-2 från naturballast är framför allt:

- Att finballast från kross har en kantigare form
- Att det i de finare fraktionerna är enskilda mineralkorn som ger kornformen
- Att finballast från kross ofta har en flakigare kornform än naturballast. Detta kan man verifiera genom bildbehandling och att man i de finare fraktionerna kan korrelera detta till mängden fri glimmer.
- Att halten finmaterial (filler) är betydligt högre i kross än naturballast
- Att glimmer inte anrikas i finmaterialet och att det inte innehåller vittringsleror (vilket finns i vissa naturballaster).

Det som skiljer mellan olika krossballast 0-2 mm och som påverkar betong är framför allt:

- Kornkurva och då framför allt mängden filler
- Kornform och då framför allt flakighet huvudsakligen given av mängd fri glimmer
- Variation i flakighet i olika sorteringen
- Variation i specifik yta, BET-yta
- Variation i mineralgräns dvs. när i siktserien fria mineral övergår till bergartsfragment

Stora mängder finmaterial ger en sämre reologi men det kan till stor del hävas med flytmedel. Generellt måste antagligen all betong som tillverkas med helkross innehålla en viss mängd flytmedel. Problem uppstår dock om finmaterialet innehåller stora mängder glimmer som försvårar rörligheten. Överhuvudtaget är det glimmern som ger mest problem. I en del fall finns fri glimmer som ganska stora flak vilket gör betongen mycket besvärlig. Man kan även korrelera

Krossat berg som ballast till betong

den specifika ytan mot reologin där en stor yta ger en mera besvärlig betong. Orsakssammanhangen är ännu inte helt klarlagda.

Man kan få fram en betong med alla typerna av kross men vissa krossprodukter kräver betydligt mera flytmedel och cement än andra för att få en bra rörlighet. Detta kan förutom högre kostnad ställa till med problem med värmeutveckling, krympning etc. Med hjälp av den analysteknik som utvecklats kan man jämföra kross från olika täkter och få en uppfattning om hur krossballasten kommer att fungera i betong. Resultaten från betongblandningar visar att om 0-2 materialet är dåligt så kommer man att få problem med betongen.

Med utgångspunkt från klassificeringen kan man bedöma lämpligheten och göra ekonomiska och miljö optimeringar som man kan ta hänsyn till vid val av täkt. Det kan vara exempelvis vara lönsammare både ur kostnads- och miljösynpunkt att transportera än att ta den mest närbelägna täkten. I framtiden har man ett instrument för att även ta med lämplighet som betongballast när man öppnar en ny täkt.

De analysmetoder som använt i detta projekt är kvalificerade och huvudsakligen och har sin huvudsakliga användning vid utvärdering av en specifik täkt, men de är för dyra och komplicerade att använda för rutinkontroll. Med hjälp av en kombination av sandekvivalent-test, metylenblåt, packning, minisättkon och flytförsök kan man dock få fram bra värden för rutinkontroll. Denna kontroll måste emellertid vara anpassad för den specifika täkten och de problem som denna ballast ger vid betongtillverkning.

Några prover från täkt visade att man inte kan förbättra finmaterialets egenskaper med hjälp av kubisering då detta huvudsakligen påverkar bergarten men inte mineralen. Kubisering ökar också mängden filler som redan är hög. Olika krosstekniker kan eventuellt hjälpa och/eller bortsiktning vid olika krossteg. En metod som hjälper är tvättning som minskar mängden finmaterial. Med vissa dåliga krossgrus är detta antagligen enda möjligheten. Man kan också tillsätta ytterligare filler men detta kräver höga halter av flytmedel och ger en seg betong. I en del fall är det bättre att tillsätta mera något grövre material för att på så sätt ”späda” stora mängder av olämplig filler.

8.1 Fortsatt arbete

Detta projekt har givit vilka undersökt och kvantifierat de variabler hos krossad finballast i som styr rörligheten hos betong. Det måste dock överföras i mera generella proportioneringsprogram. Problemet är att de befintliga proportioneringsprogrammen inte tar hänsyn till kornform vilket är den variabel som ger problem med granitoida bergarter. Det gäller därför att identifiera och kvantifiera den variabel som styr. Generellt vet man att med mera flakiga material måste man öka andelen material i finare fraktion så att den enskilda större partikeln får rörelseutrymme. En idé att göra ett proportioneringsprogram baserad på kvantifierad virtuell packning, dvs. räkna ut hur stor rörelsevolym som olika geometrier kräver för att kunna röra sig. I mycket handlar det om hur en optimal sorteringskurva bör de ut med finballast från kross och med hänsyn taget till det krossade materialets specifika egenskaper. Man måste också

Krossat berg som ballast till betong

lära sig att utnyttja den större seghet som krossballast ger exempelvis genom att göra ett partikelgap i kornkurvan.

För att komma till produktion måste man också veta hur finballast från kross påverkar luftporbildare etc., krympning, hållfasthet, värmeutveckling etc. Man måste också se på om det ger effekt på annat som exempelvis alkalisilikareaktionen och sulfatbeständigheten. Betong är en relativt billig produkt att tillverka men mycket dyrbar som stelnad i konstruktion. Därför måste all aspekter vara kända för att betong från helkross skall bli accepteras av byggare/ägare.