

HIGH QUALITY RECLAIMED CONCRETE AGGREGATES FOR NEW CONCRETE

- Återvunnenbetong som ballast i ny betong



**Patrick Rogers, Katja Fridh, Hans-Erik Gram
och Mikael Westerholm**

2016-03-31

Sammanfattning

SBUF

Användning av krossad betong som ballast i betongtillverkning

Sammanfattning av SBUF-rapporten "High Quality Reclaimed Concrete Aggregates in new concrete"



Författare:

Patrick Rogers, M(Eng) AMIChemE, CBI Betonginstitutet AB

Katja Fridh, PhD, Lunds Universitet

Hans-Erik Gram, PhD, Cementa AB

Mikael Westerholm, Tekn. Lic., Cementa AB

Jan Trägårdh, CBI Betonginstitutet

Bakgrund, syfte och mål

Syftet med undersökningen var att utreda gränserna för hur mycket krossad betongballast i volym % som kan ersätta naturballast i olika kornstorleksfraktioner utan att en signifikant försämring sker i betongens egenskaper. Den krossade betongballasten var av hög kvalitet och från en väldefinierad källa. Av olika orsaker kasseras inom prefabindustrin en viss del av betongelementen som produceras. Denna hårdnade betong läggs ofta på deponi eller krossas för att användas som bärlager i vägar eller planer. Mängden kasserad betong kan vara relativt omfattande, andelar motsvarande 3-6 % av all producerad betong är rimliga värden för Strängbetongs fabriker. Erfarenheter visar att det är i samma storleksordning för andra prefabproducenter.

Oftast är den kasserade betongen ensartad till sin karaktär dvs. den har i princip samma hållfasthet och vct. Önskvärt vore att kunna återföra dessa mängder direkt till ny betongproduktion och samtidigt få en god hållbarhetsaspekt och en bra miljöprofil. Samhället kommer i framtiden att ställa krav på att allt material återanvänds i den egna produktionen.

Ballast av krossad restbetong från använda järnvägsslipers (S) och krossad betongballast från produktion av håldäck (HCS) användes som ersättning för naturballast. Den krossade betongballasten från använda järnvägsslipers tillhandahölls av Abetong AB och den krossade betongballasten från produktion av håldäck av Strängbetong AB. Enligt uppgift har krosstekniken varit en käftkross.

Ett syfte var också att undersöka förmågan att uppta CO₂. En systematisk utvärdering av hur CO₂-upptaget kan snabbas upp under tiden det krossade materialet lagras utfördes. Att öka hastigheten på CO₂-upptaget är mycket gynnsamt och för mätning av detta användes en metodik utvecklad på LTH. Skillnaden i CO₂ upptag undersöktes för de båda betongkvaliteterna uppdelat på tre olika fraktioner: 0/4, 0/8 och 8/16 mm. Det krossade betongmaterialet placerades utomhus under regnskyddade förhållanden i stål nät på pallar som möjliggjorde lufttillträde från alla sidor. Materialet fick stå under ett års tid.

Sammanfattningsvis undersöktes och analyserades de båda återvunna betongkrossmaterialen med avseende på:

- 1) Ballastegenskaper (vattenabsorption, skrymdensitet/packning, kornstorleksfördelning etc.) utfördes av Cementa.
- 2) Ny tillverkning av en självkompakterande betong (SKB) med vct. 0,5. Färska betongens egenskaper (flytsättningsmått, viskositet, flytgränsspänning) och proportionering. Utfördes av CBI.
- 3) Hårdnade betongens egenskaper hos nytillverkad SKB (tryckhållfasthet och uttorkningskrämpning). Utfördes av CBI.
- 4) Beständighetsegenskaper hos nytillverkad SKB med vct. 0,4 (frystest och kloridmigration). Utfördes av CBI.
- 5) Förmågan hos betongkrossmaterialet att uppta CO₂ (karbonatiseringsgrad). Utfördes av LTH, Abetong.

Tre olika storleksfraktioner, 0/4 mm, 4/8 mm och 8/16mm, användes. Den krossade betongballasten utvärderades i en ny självkompakterande betong (SKB) med 350 kg/m³ CEM II A/V 52,5 N och vct 0,5 samt i en frostresistent betong med vct 0,4 och 420 kg/m³ CEM I 42,5 N SR3 MH/LA. SKB med krossad betong jämfördes med en SKB-referensbetong som innehöll naturballast 0-16 mm uppdelat i fraktioner 0/8 mm samt 8/16 mm.

I den nya versionen **EN 206 som är implementerad i SS 137003: 2015** återfinns ett annex E som behandlar "recommendation for the use of coarse recycled aggregate. Här sägs bl.a. följande:

(1) This annex provides recommendations for the use of recycled coarse aggregates.

(2) Table E.1 gives limits for the replacement of natural normal-weight coarse aggregates by recycled coarse aggregates in relation to exposure classes. Table E.1 is valid for recycled coarse aggregates conforming to EN 12620.

Observera att finmaterialet inte alls berörs, utan endast grövre material > 4 mm. Krossat material < 4 mm används oftast inte, och i exempelvis Belgien och Holland används normalt, inom prefabtilverkning, endast material > 4 mm. I vissa fall har hela fraktionen 4-16 mm ersatts med krossad och tvättad krossbetong under benämningen granulat.

Tabell E.1 ger stora möjligheter för återvinning av prefabbetong.

Tabell 1. Guidelines för användning av återvunnenballast

Table E.1 — Maximum percentage of replacement of coarse aggregates (% by mass)

Recycled aggregate type	Exposure classes			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	All other exposure classes ^a
Type A: (R_{c90} , R_{cu95} , R_{b10} , R_{a1} , FL_2 , XR_{g1})	50 %	30 %	30 %	0 %
Type B ^b : (R_{c50} , R_{cu70} , R_{b30} , R_{a5} , FL_2 , XR_{g2})	50 %	20 %	0 %	0 %

^a Type A recycled aggregates from a known source may be used in exposure classes to which the original concrete was designed with a maximum percentage of replacement of 30 %.

^b Type B recycled aggregates should not be used in concrete with compressive strength classes > C30/37.

NOTE For the risk of alkali-silica reaction with recycled aggregates see annex D of EN 12620.

Projektet utfördes i samarbete mellan industriparterna Strängbetong AB, Abetong AB och Cementa AB samt CBI Betonginstitutet AB och Lunds Universitet. **Projektet samfinansierades av SBUF, Konsortiet för forskning på CBI och Cementa. En Arbetsgrupp bestod av deltagare från de olika parterna: Jan Trägårdh och Patrick Rogers (CBI), Hans-Erik Gram och Mikael Westerholm (Cementa AB), Peter Billberg (Strängbetong AB), Jan Lillieblad (Abetong AB) och Katja Fridh (LTH).**

Projektgruppen tackar SBUF som huvudfinansiär.

Resultat

Färska betongens egenskaper

Referensreceptet för den självkompakterande betongen var enligt tabellen nedan:

Tabell 2. Referensrecept SKB vct. 0,5.

Referensrecept, vct 0,5	kg/m ³
Bascement CEM II/A-V 52.5 N	350
Kalkfiller, Limus 25	78
0/4mm (nat.)	826
4/8mm (nat.)	193
8/16mm (nat.)	700
Vatten	175
SP	3,3

I referensreceptet ersattes delar av naturballasten med krossbetong från antingen sliperbetong eller håldäck enligt:

Tabell 3. Försöksmatris

Ersättning av:	vol. % naturballast i referens						
0/4 mm med betongkross 0/4 mm	0	5	11	22	33	66	100
4/8 mm med betongkross 4/8 mm	0			50			100
8/16 mm med betongkross 8/16 mm	0			50			100

1) Ersättning delar av 0/4 mm: Inverkan av inblandning av ballast från krossad restbetong på de färskas betongegenskaperna i ny tillverkad SKB analyserades med reometer över en period av 60 minuter (flytgränsspänning och plastisk viskositet). Naturballasten ersattes på volymsbasis av den krossade restbetongen i fraktionerna 0/4, 0/8 och 8/16 mm. Den färskas betongens egenskaper påverkades mest av ersättning i 0/4 mm fraktionen eftersom denna fraktion har högst specifik yta (BET) och utgör störst andel av totala mängden ballast (48 %). Det gäller både för krossballast från håldäcksbetong och sliperbetong. Den egenskap som påverkades mest var den plastiska viskositeten, som också kan beskrivas som den interna friktionen i en vätska. Generellt påverkades betong med krossballast från håldäck mer än betong med krossballast från slipers. Den mängd flyttillsatsmedel som krävdes för att nå samma flytsättmått som för referensbetongen var mycket högre för betong med ballast från håldäck än för betong med ballast från slipers. Detta gäller för ersättningsnivåer upp till 66 vol.%. Redan vid 5 % ersättning av 0/4 mm naturballast märktes en skillnad för håldäcksbetongen medan en signifikant skillnad märktes först vid 22-33% volymersättning i betongen med ballast från slipers. Det är dock möjligt att använda ersättningsnivåer upp till ca 10 vol. % för håldäcksbetongen, utan att de reologiska egenskaperna förändras dramatiskt.

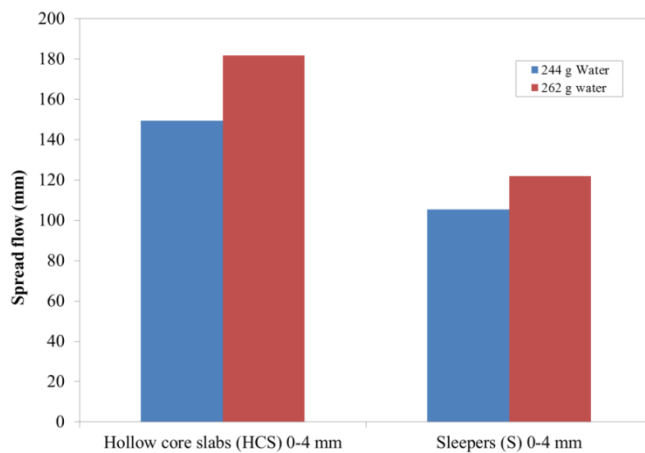
När det gäller ersättningsnivåer upp till 100 % i fraktionen 0/4 mm så är resultaten motsägelsefulla och om dessa nivåer eftersträvas rekommenderas specifika undersökningar för respektive material.

2) Ersättning delar av 4/8 mm: Denna fraktion utgjorde ca 12 vol. % av den totala ballastmängden. Det var möjligt att ersätta 100 vol. % av 4/8 mm fraktionen utan att behöva öka flytdosen mycket jämfört med referensbetongen. Den plastiska viskositeten förändrades mycket litet. Generellt så fordrades högre flytdos för betongen med krossad sliperbetong jämfört med betong med håldäckskross.

3) Ersättning delar av 8/16 mm: Denna fraktion utgjorde 40 % av den totala ballastmängden och hade därmed en större effekt på plastisk viskositet och flytgränsspänning. Detta medförde att flytdosen behövde ökas när mer naturballast byttes ut mot krossad betong. När 100 % byttes ut mot krossad betong så hade 8 % mer flyttillsatsmedel använts jämfört med referensbetongen.

Reologiska egenskaper hos bruk

Brukets recept bestod av 790 g finballast (0/4 mm), 360 g bascement och två olika vattenhalter 244 g och 262 g. Flytsättmättet mättes från en Hägermankon (basen 100 mm). Resultatet redovisas i diagrammet nedan.



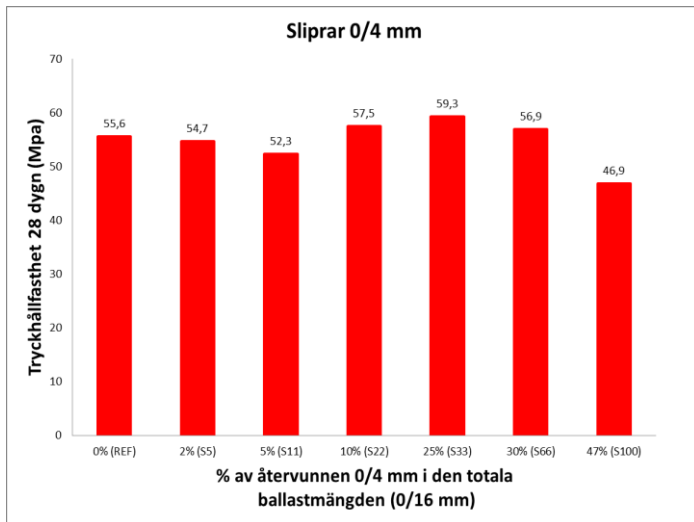
Figur 1. Flytsättmätt med bruk 0/4 mm av krossad betong. Två olika vattenhalter provades

Figuren visar att vattenbehovet var större för bruk med krossmaterial från slipertillverkning. Det kan bero på den högre finhetsmodulen, vattenabsorptionen och specifika ytan hos krossmaterialet från slipers jämfört med håldäck (se Figur 13 Figur 1 och Tabell 5).

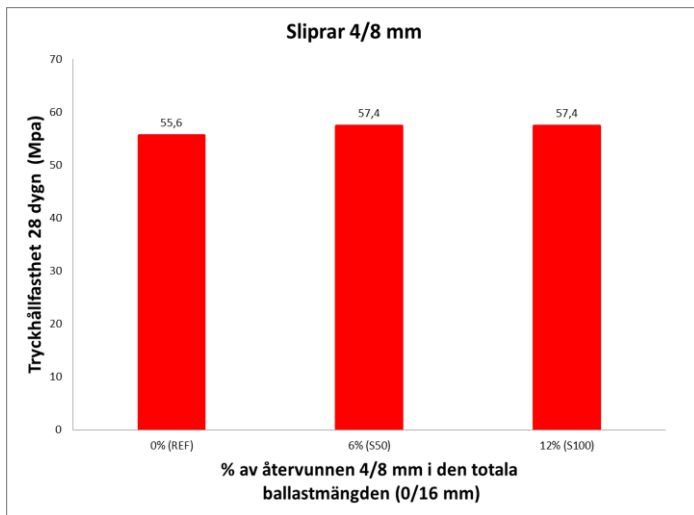
Hårdnade betongens egenskaper

Tryckhållfasthet: Tryckhållfastheten förbättrades eller förblev oförändrad med ökande andel krossad betong som ballast förutom när 0/4 mm storleksfraktionen ersattes. Störst förbättring erhöles när fraktion 8-16 mm ersattes av samma fraktion av de krossade betongerna. Med håldäcksbetongen som krossballast var ökningen 18 % och med sliperbetongen 12 % jämfört med referensbetongen. Referensbetongens tryckhållfasthet efter 28 dygn, f_{ck} , var 55,6 MPa.

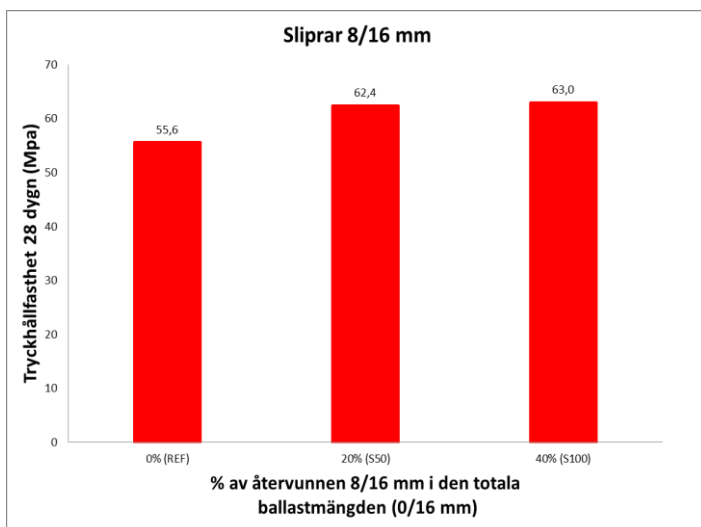
När 0/4 mm fraktionen av naturballasten ersattes till 100 % med krossad betong resulterade detta i en minskning av tryckhållfastheten med 5 % (HCS) respektive 15 % (S), jämfört med referensen. Med ersättning upptill 33 % observerades ingen signifikant skillnad i tryckhållfasthet.



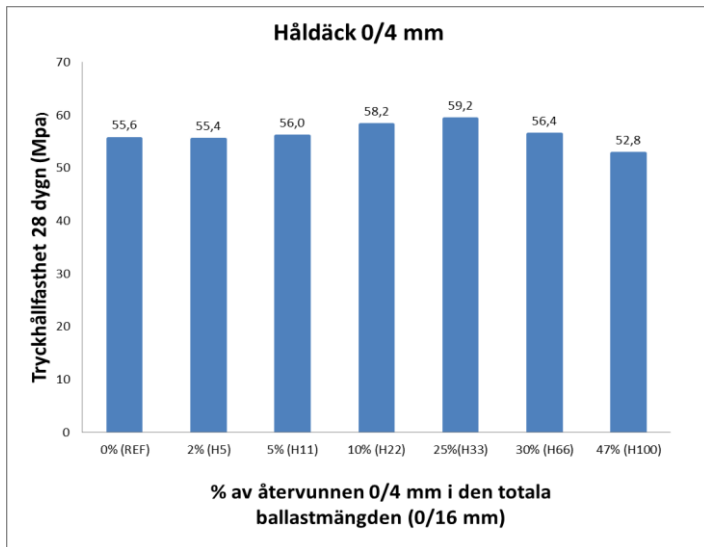
Figur 2. Tryckhållfasthet Sliprar 0/4 mm (28 dygn)



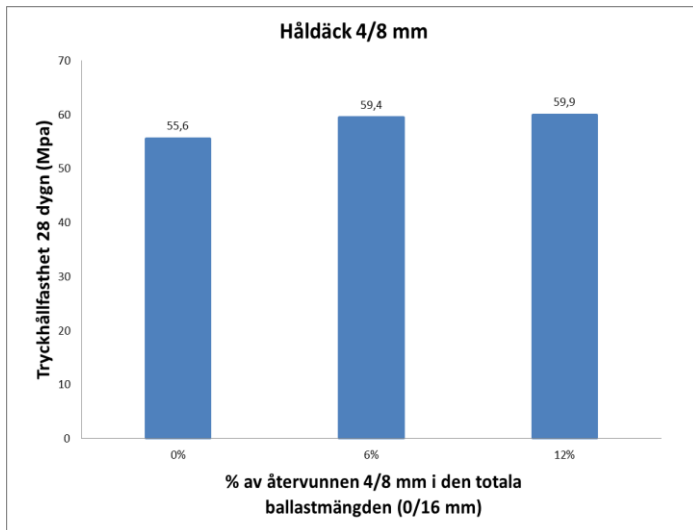
Figur 3. Tryckhållfasthet Sliprar 4/8 mm (28 dygn)



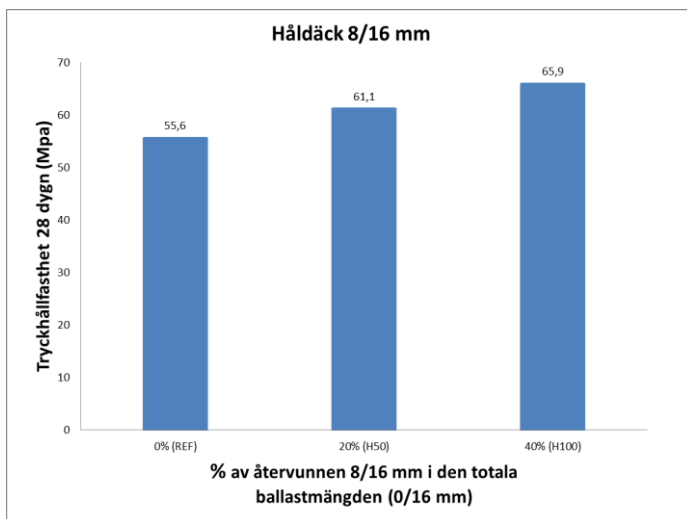
Figur 4. Tryckhållfasthet Sliprar 8/16 mm (28 dygn)



Figur 5. Tryckhållfasthet Håldäck 0/4 mm (28 dygn)

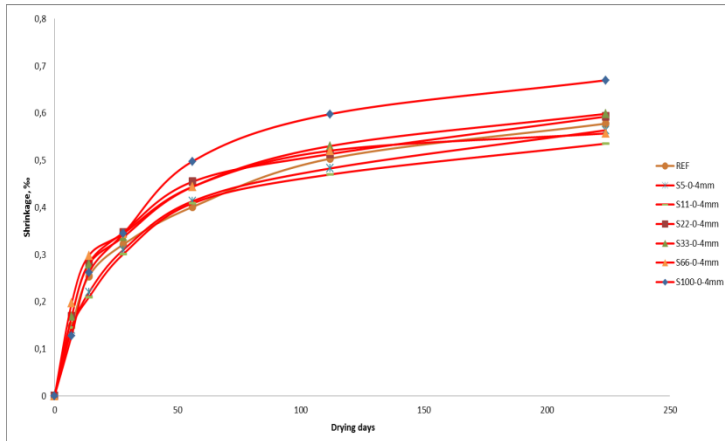


Figur 6. Tryckhållfasthet Håldäck 4/8 mm (28 dygn)

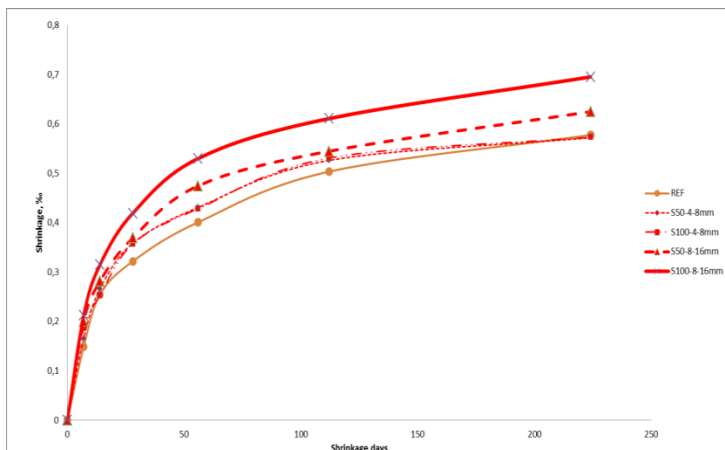


Figur 7. Tryckhållfasthet Håldäck 8/16 mm (28 dygn)

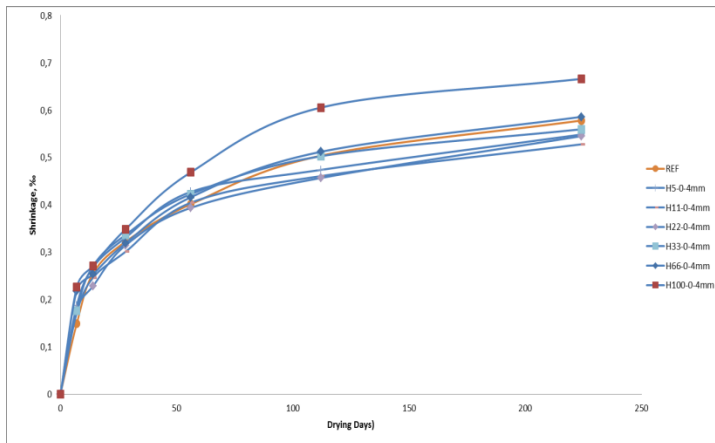
Uttorkningskrympning: Uttorkningskrympning mättes på samtliga blandningar. När 0/4 mm fraktionen ersattes till 100 % med krossad betong, blev krympningen 0,67 ‰ (+ 15%) jämfört med referensbetongen. Detta gäller båda materialen. Vid 100 % ersättning av 8-16 mm fraktionen noterades en krympning på 0,70 ‰ (+ 20 %) och 0,65 ‰ (+ 12 %) för (S) respektive (HCS).



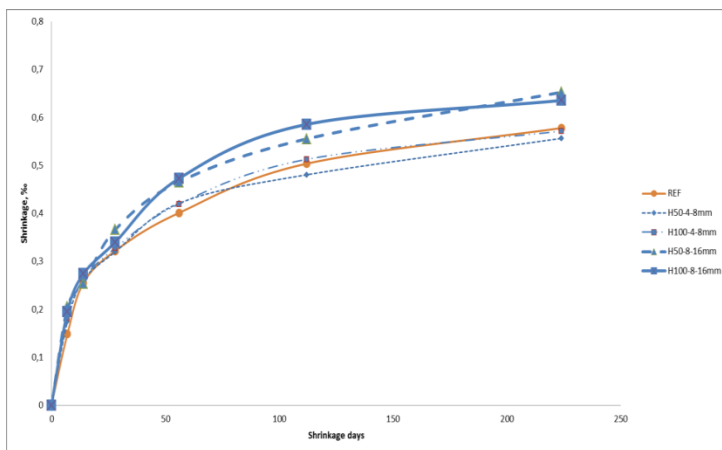
Figur 8. Uttorkningskrympning; Slipers 0/4mm



Figur 9. Uttorkningskrympning; Slipers 4/8 och 8/16mm



Figur 10. Uttorkningskrympning; Håldäck 0/4 mm



Figur 11. Uttorkningskrympning; Håldäck 4/8 och 8/16 mm

Sammanfattningsvis kan konstateras att för Håldäck (HCS) så noterades en signifikant ökning i uttorkningskrympning vid ersättningsnivåer > 50 % för fraktionen 8/16 mm. För fraktionen 0/4 mm blev krympningen signifikant större när ersättningsnivån översteg ca 66 %, dvs. någonstans mellan 66 och 100 %.

För betongerna innehållande krossbetong från slipers (S) blev krympningen signifikant större när mer än 50 % av fraktionen 8/16 mm ersattes (samma som för håldäck). När fraktionen 0/4 mm ersattes ökade krympningen signifikant någonstans mellan 66 och 100 % (samma som för håldäck).

Beständighetsegenskaper

Frostbeständighet: För att undersöka frostbeständigheten provades en SKB med vct 0,40 och 420 kg Anläggningscement/m³. Inverkan av fraktionerna 0/4 mm, 4/8 mm och 8/16 mm studerades genom att systematiskt ersätta olika andelar av respektive fraktion av naturballasten. Lufthalten i samtliga betonger var åtminstone 4,5 % (d_{max} 16 mm). Halten SP behölls konstant vid 4,4 kg/m³. Alla betonger i serien frysprovades enligt gällande standard SS 137244:2005. Samtliga var frostbeständiga och en maximal avskalning av 0,05 kg/m² noterades. De recept som tillverkades för frostbeständighet var:

- 1) 5, 11, 22, 33, 66, 100 vol.% ersättning av 0/4 mm fraktionen med krossad sliper- och håldäcksbetong.

- 2) 50 och 100 vol.% ersättning av 4/8 mm fraktionen med krossad sliper- och håldäcksbetong.
- 3) 50 och 100 vol.% ersättning av 8/16 mm fraktionen med krossad sliper- och håldäcksbetong.

Kloridmigration: Några utvalda betongrecept provades ytterligare för kloridmigration enligt NT BUILD 492 och resultaten var positiva med kloridmigrationskoefficienter mellan $6,6-7,3 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Normalt för en SKB med vct 0,40 är en migrationskoefficient $< 10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Proverna lagrades i $98 \pm 2\%$ RF i 90 dygn. De recept som valdes ut för kloridmigrationsförsök var:

- 1) 33 och 66 vol.% ersättning av 0/4 mm fraktionen med krossad sliper- och håldäcksbetong.
- 2) 50 och 100 vol.% ersättning av 8/16 mm fraktionen med krossad sliper- och håldäcksbetong.

Ballastens egenskaper (partikelkaraktärisering)

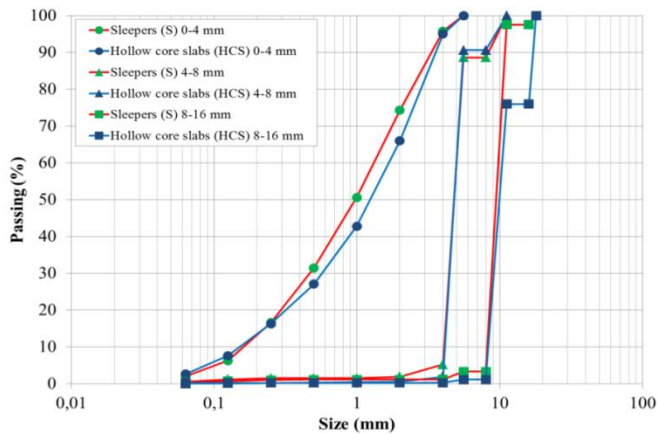
Det krossade materialet från sliper- och håldäcksbetongerna delades upp i följande fraktioner: 0/0,125, 0/4, 4/8, och 8/16 mm. De analyser som utfördes var:

- 1) Partikelstorleksfördelning ($> 0,125 \text{ mm}$) genom siktning enligt SS-EN 933-1.
- 2) Partikelstorleksfördelning av fillerfraktionen ($< 0,125 \text{ mm}$) genom laserdiffraction.
- 3) Specifik yta (BET) på fillerfraktionen $< 0,125 \text{ mm}$.
- 4) Finhetsmodul från siktkurva.
- 5) Partikeldensitet och vattenabsorption enligt SS-EN 1097-6.
- 6) Hålrumsprocent efter lös- och hård packning (efter vibrering).
- 7) Bruksreologi (0-2 mm).
- 8) Reologi på fillermaterialet (0-0,125 mm).

Sliper respektive håldäcksbetongen har ursprungligen en betongsammansättning som ges av tabellen nedan:

Tabell 4. Betongsammansättning för håldäck och slipers

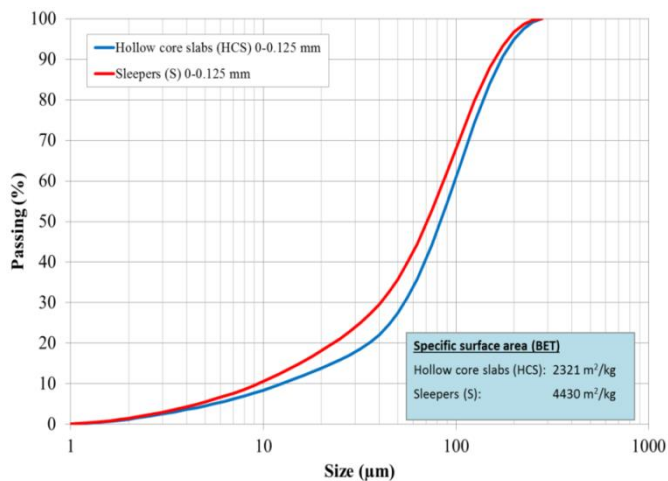
Material: Håldäck (vct 0,38)	kg/m³
SH CEM I 52,5 R	345
Macadam 6-11 mm	950
Betonggrus0-8 mm	1050
Vatten	132
SP	1,1
Material: Sliper (vct 0,43)	kg/m³
SH CEM I 52,5 R	350
aturgrus0-8mm	800
Makadam 4-8mm	270
Makadam 8-16mm	820
Vatten	152
SP	6,3



Figur 12. Partikelstorleksfördelning (> 0,125 mm) genom siktning enligt SS-EN 993-1

Partikelfördelningen av slipermaterialen var något finare i fraktionen 0/4 mm. I 8/16 mm fraktionen innehöll håldäcksbetongen också en större andel grova partiklar (> 11 mm).

Resultaten från analys av partikelstorleksfördelningen av fillerfraktionen och specifik yta redovisas i diagrammet nedan:



Figur 13. Partikelstorleksfördelning och specifik yta av fillerfraktionen (< 0,125 mm) genom laserdiffraction och BET med kvävgasadsorption på fillerfraktionen < 0,125 mm.

Resultatet blev, liksom för siktkurvan > 0,125 mm, att slipermaterialen är finare i sin partikelfördelning.

Resultaten från analys av densitet, vattenabsorption och finhetsmodul ges av tabellen nedan:

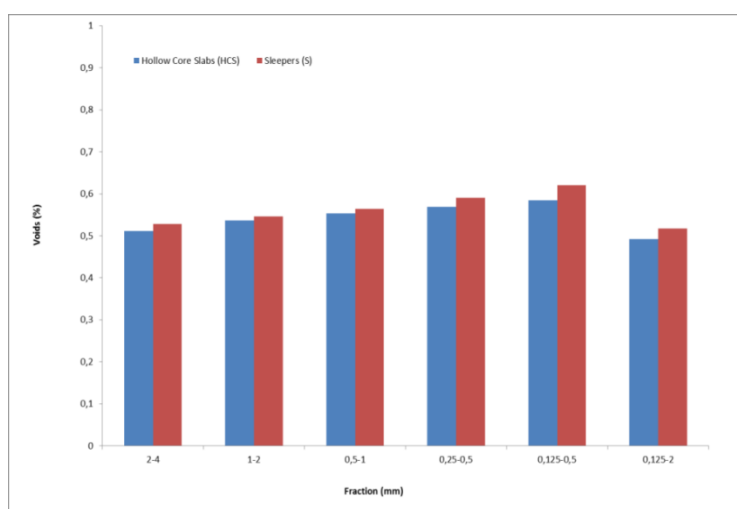
Tabell 5. Partikeldensitet, vattenabsorption och finhetsmodul av krossad betong från sliprar och håldäck.

Krossbetong	Partikeldensitet (kg/m ³)	Vattenabsorption (%)	Finhetsmodul (-)
Håldäck (HCS) 8/16 mm	2545	2,0	6,72

Sliper (S) 8/16 mm	2574	2,7	6,43
Håldäck (HCS) 4/8 mm	2581	2,6	5,56
Sliper (S) 4/8 mm	2525	6,8	5,50
Håldäck (HCS) 0/4 mm	-	-	2,99
Sliper (S) 0/4 mm	-	-	2,77

Resultaten i **Tabell 5** visar att krossat material från 4/8 mm fraktionen skiljer sig åt mellan de båda betongtyperna. Material från sliperbetongen visade signifikant högre vattenabsorption och lägre densitet. Det var dock inte tydligt i 8/16 mm fraktionen.

Resultaten från Hålrumsanalysen (lös packning) redovisas i diagrammen nedan.

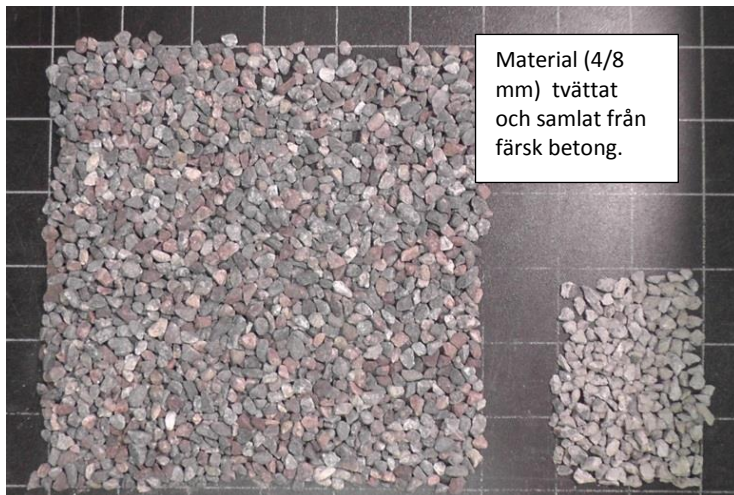


Figur 14. Andelen hålrum (vol. %) efter lös packning av krossat material >0,125 mm.

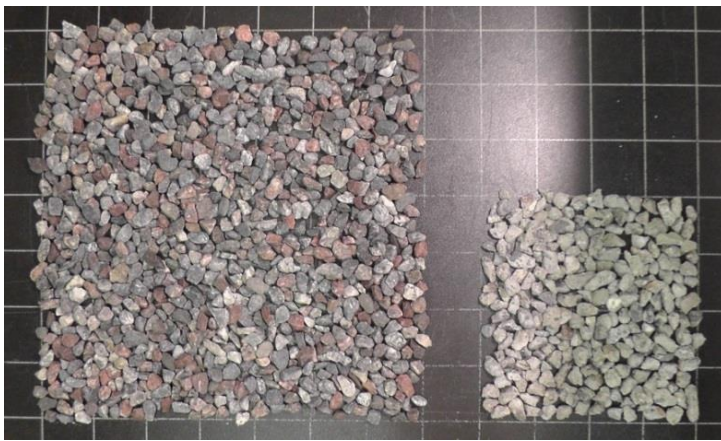
Som visas i diagrammet så är hålrumsvolymer i håldäcksmaterialet något mindre än i sliper materialet, vilket indikerar att kornformen i sliper materialet är något mer flakig/stänglig än i håldäcksmaterialet. En konsekvens av detta kan vara att sliper materialet kräver mer pastavolym för att erhålla samma arbetbarhet.

Malningseffekt på partiklarna vid blandning

Efter blandning av några recept så tvättades den färska betongen och allt material > 4 mm samlades upp efter våtsiktning. Det recept som tvättades var bland annat 0/8 mm natur och 8/16 krossad håldäcksbetong. Efter torkning och siktning samlades materialet upp på 4-5,6 mm respektive 5,6-8 mm sikten. Resultatet var att en god andel av den krossade betongballasten från 8/16 mm fraktionen återfanns i 4/8 mm fraktionerna (se **Figur 15** och **Figur 16**). Det medför att själva blandningen bearbetar betongballasten så att andelen finare ballast ökar i betongen.



Figur 15. Material (4/8 mm) tvättat och samlat från färsk betong och siktat i fraktion 4-5,6 mm. Naturballast från 4-5,6mm fraktionen till vänster och betongballast från 8/16mm till höger



Figur 16. Material (4/8 mm) tvättat och samlat från färsk betong och siktat i fraktion 5,6-8 mm. Naturballast från 5,6-8 mm fraktion till vänster och betongballast från 8/16mm fraktion till höger.

Upptag av CO₂

Försök med att mäta CO₂ upptaget i olika fraktioner med krossad betong utfördes under en period av 18 månader. Syftet med undersökningen var att se om lagring av krossad betong kan ge ett extra bidrag till koldioxidupptag. Krossad betong från både sliprar och håldäck delades upp i tre fraktioner: 0/4, 4/8 och 8/16 mm. Fraktionerna placerades på lastpallar under tak med ett luftgenomsläppligt nät i botten och pallkragar på sidorna (se Figur 17). Detta ökade möjligheten till CO₂ diffusion och därmed koldioxidupptag i ballastmaterialet. En nätkorg i form av en cylinder placerades vertikalt från toppen till botten i varje hög, för att lättare kunna ta ut ett representativt prov (se Figur 18 och Figur 19). Från varje nätkorg togs sedan fyra prover ut för karbonatiseringsanalys. Proverna togs ut från nivåerna: 0, 12, 24 och 36 cm från ytan (toppen). I varje prov mättes karbonatiseringsgrad och mängden cementpasta. Karbonatiseringsgraden är ett mått på hur stor mängd (vikt %) av cementpastan som har omvandlats till kalciumkarbonat, där 1,0 är 100 vikt % av cementpastan omvandlad till kalciumkarbonat.



Figur 17. Högar med tre fraktioner (0/4, 4/8 och 8/16 mm) av vardera krossad slipper och håldäcksbetong. Botten av pallkragarna bestod av ett luftgenomsläppligt nät.



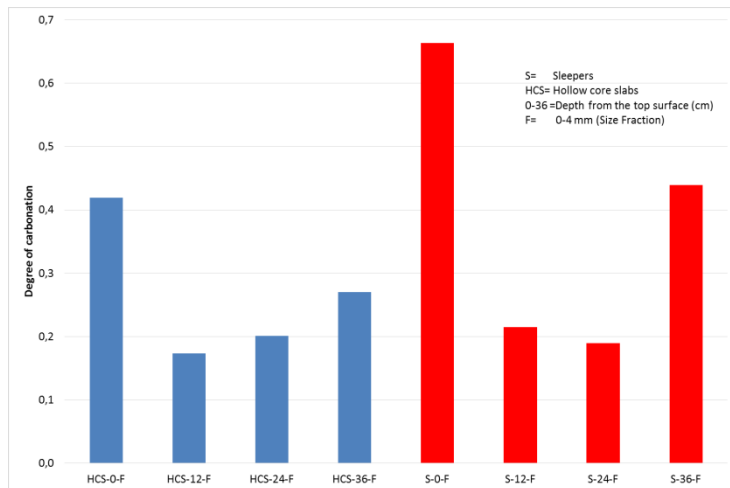
Figur 18. En nätkorg i form av en cylider placerades vertikalt från toppen till botten i högen .



Figur 19. Provuttaget i nätkorgen. Prover för karbonatiseringsanalys togs sedan ut på 4 nivåer.

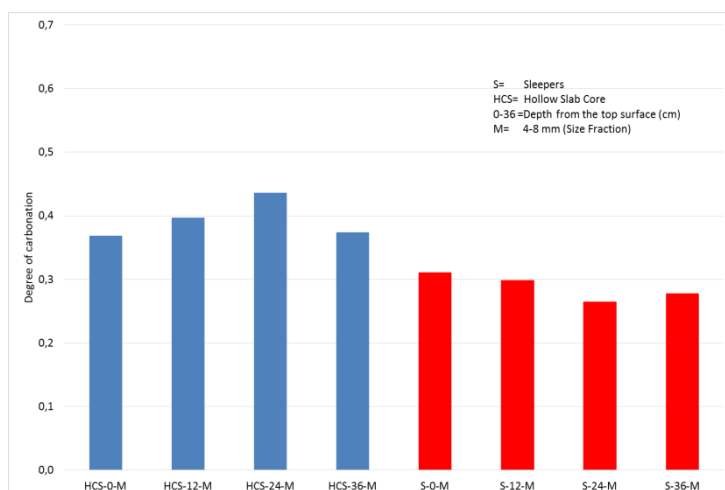
0/4 mm: Denna fraktion innehöll mest cementpasta av de tre fraktionerna. Resultaten från undersökningen visade att karbonatiseringsgraden var som störst i 0/4 mm fraktionen för båda materialen. Allra störst var karbonatiseringsgraden i slipperbetongen (0,65 = 65 %) jämfört med

håldäcksbetongen (0,4). I botten av högen (nära det luftgenomsläppliga nätet) var karbonatiseringsgraden 0,45 och 0,28 för sliper respektive håldäcksbetongen. I mitten av högen var karbonatiseringsgraden lägre eftersom koldioxiden har ett större motstånd att diffundera till mitten. Karbonatiseringsgraden var 0,2. Förklaringen till att den största karbonatiseringsgraden erhöles på ytan i 0/4 mm fraktionen och i sliperbetongen är att den specifika ytan är som störst i detta fall i kombination med god lufttillgång. Slipermateriallets specifika yta och finhet jämfört med håldäcksbetongen visas i **Figur 12** och **Figur 13**. Av dessa figurer framgår det att den största skillnaden i specifik yta mellan materialen finns i fraktionen 0/4 mm.



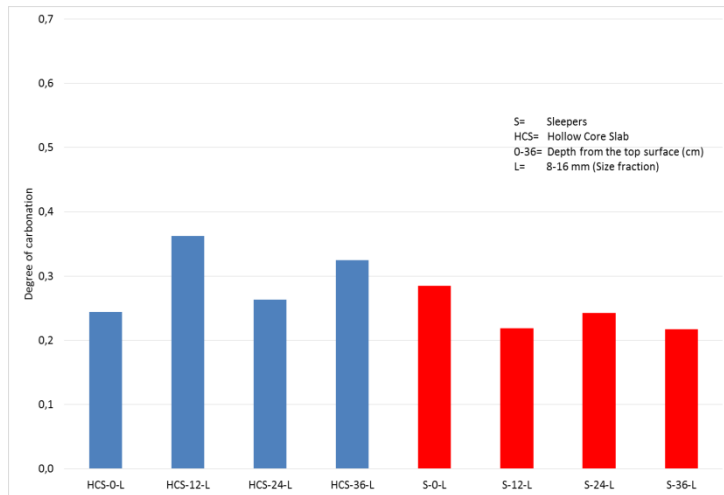
Figur 20. Karbonatiseringsprofilen från toppen till botten för håldäck- respektive sliperbetongen i 0/4 mm i fraktionen.

4/8 mm: Denna fraktion innehöll mindre cementpasta jämfört med 0/4 mm. I överensstämmelse med 0/4 mm fraktionen så innehöll sliperbetongen också mer cementpasta än håldäcksbetongen. Karbonatiseringsgraden var högre för håldäcksbetongen (0,4) än för sliperbetongen (0,3). Dessutom var karbonatiseringsgraden lika på alla djup, vilket visar att luftgenomsläppligheten och därmed CO₂-diffusionen varit effektiv.



Figur 21. Karbonatiseringsprofilen från toppen till botten för håldäck- respektive sliperbetongen i 4/8 mm fraktionen

8/16 mm: Denna fraktion innehöll minst cementpasta. Karbonatiseringsgraden var lika för både sliper- och håldäcksbetong (ca 0,3) och värdet var ungefär samma på alla fyra nivåerna. Liksom för 4/8 mm fraktionen indikerar detta god luftgenomströmning i hela högen.



Figur 22. Karbonatiseringsprofilen från toppen till botten för håldäck- respektive sliperbetongen i 8/16 mm fraktionen

Slutsatser

Slutsatserna från de olika delarna som undersökts sammanfattas nedan i punktform:

- 1) **Flytegenskaper:** Den färskas betongens egenskaper påverkades mest av ersättning i 0/4 mm fraktionen eftersom denna fraktion har högst specifik yta (BET) och utgör störst andel av totala mängden ballast (48 vol. %). Plastisk viskositet påverkades mer än flytgränsspänning. Den mängd flyttillsatsmedel som krävdes för att nå samma flytsättningsmått som för referensbetongen var mycket högre för betong med ballast från håldäck än för betong med ballast från järnvägssliprar. Detta gäller för ersättningsnivåer upp till 66 vol.%. Redan vid 5 % ersättning av 0/4 mm naturballast märktes en skillnad för håldäcksbetongen medan en signifikant skillnad märktes först vid 22-33% volymersättning i betongen med ballast från slipers.
Det var möjligt att ersätta 100 vol. % av 4/8 mm fraktionen utan att behöva öka flytdosen mycket jämfört med referensbetongen. Den utgjorde 12 vol. % av total ballastmängd. När 100 % av 8/16 mm byttes ut mot krossad betong så hade 8 % mer flyttillsatsmedel använts jämfört med referensbetongen. Den utgjorde 40 vol. % av total ballastmängd.
- 2) **Tryckhållfasthet:** Tryckhållfastheten förbättrades eller förblev oförändrad med ökande andel krossad betong som ballast när fraktionerna 8/16 och 4/8 mm ersattes. Som mest ökades tryckhållfastheten med 18 %. Det var alltså möjligt att ersätta upp till 100 vol. %. När 0/4 mm fraktionen av naturballast ersattes upp till 33 vol. % observerades ingen signifikant skillnad i tryckhållfasthet. Utöver denna nivå försämrades tryckhållfastheten.
- 3) **Uttorkningskrympning:** När 0/4 mm fraktionen ersattes till 100 % med krossad betong, blev krympningen 0,67 ‰ (+ 15 %) jämfört med referensbetongen. När 0/4 mm ersatte natur upp

till 33 vol. % observerades ingen signifikant skillnad jämfört med referensen. Vid 100 % ersättning av 8-16 mm fraktionen noterades en krympning på 0,70 ‰ (+ 20 %) och 0,65 ‰ (+ 12 %) för (S) respektive (HCS).

- 4) **Frostbeständighet:** SKB-betonger med olika ersättningsnivåer frysprovades enligt gällande standard SS 137244: 2005. Betongerna hade vct 0,40 och 420 kg Anläggningscement/m³ betong och en luftinblandning som medförde ca 4,5 vol. % luft. Samtliga var recept var frostbeständiga och en maximal avskalning av 0,05 kg/m² noterades.
- 5) **Kloridmigration:** Några utvalda betongrecept provades ytterligare för kloridmigration enligt NT BUILD 492 och resultaten var positiva med kloridmigrationskoefficienter mellan 6,6- 7,3 x 10⁻¹² m²/s. Normalt för en SKB med vct 0,40 är en migrationskoefficient < 10 x 10⁻¹² m²/s.
- 6) **Ballstens partikelfördelning, specifik yta och vattenabsorption:** Partikelfördelningen av slipermaterial var något finare i fraktionen 0/4 mm. I 8/16 mm fraktionen innehöll håldäcksbetongen också en större andel grova partiklar (> 11 mm). Resultatet från analys av laserdiffraktion av fillerfraktionen (< 0,125 mm) blev, liksom för siktkurvan > 0,125 mm, att slipermaterial är finare i sin partikelfördelning. Den specifika ytan i fillerfraktionen var nästan 2 ggr. så stor som för håldäcksmaterialet (4430 mot 2321 m²/kg). Vattenabsorptionen, och därmed porositeten, var betydligt högre för krossat slipermaterial än för håldäcksmaterialet. Detta gällde speciellt för 4/8 mm fraktionen.
- 7) **CO₂ upptag av betongkrossmaterialet:** Det fanns ett tydligt samband mellan materialets specifika yta och karbonatiseringsgraden i 0/4 mm fraktionen. Slipermaterial hade signifikant högre karbonatiseringsgrad och sprcifik yta än håldäcksmaterialet. På grund av begränsad luftgenomströmning så var karbonatiseringsgraden högre på ytan och i botten jämfört med i mitten av högen. För övriga fraktioner var karbonatiseringsgraden lika mellan materialen och lika vertikalt genom högen.