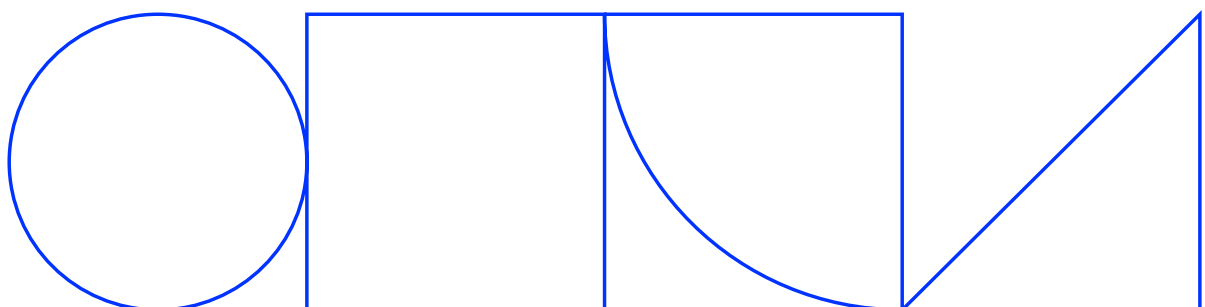


Cirkulär betong i betong

Cirkulär ballast i betong – egenskaper, utmaningar och tillämpning

Andreas Efraimidis
Skanska Sverige AB

2026-05-06



Förord

Projektet initierades av Erik Liljeby och Andreas Effraimidis med stöd av Johan Hedman och Barbro Brattström Grujovic. Laboratorieförsök utfördes av Andreas Effraimidis. Författare till rapporten är Andreas Effraimidis, Jan Englund och Malin Norin.

Ett stort tack riktas till medlemmarna i referensgruppen som hjälpt till med att vägleda projektet och kommit med givande återkopplingar och deltagit i goda diskussioner. Slutligen riktas ett mycket stort tack till SBUF, som varit finansiärer av projektet och möjliggjort dess genomförande. Projektets organisation var:

Projektledare:

Andreas Effraimidis

Arbetsgrupp:

Andreas Effraimidis Skanska Sverige AB

Malin Norin Skanska Sverige AB

Jan Englund Skanska Sverige AB

Referensgrupp:

Johan Holm, Skanska Affärsutvecklare

Peter Weywadt, Sydsten Teknisk Chef

Matias Bokdalen, Swerock Teknisk specialist

Niklas Johansson, MAPEI Teknisk Chef

Mona Jansson, PEAB Arbetsmiljöchef

Hanna Von Bahr, Skanska Hållbarhetschef

Ida Gabrielsson, RISE Teknisk Specialist

Stefan Eriksson, Vasakronan Projektchef

Stockholm 2026-05-06

Sammanfattning

Detta projekt har undersökt möjligheten att använda återvunnen betong som ballast i ny betong, med särskilt fokus på den fina fraktionen (0–4 mm), som idag utgör en stor outnyttjad resurs. Studien har genomförts genom en kombination av litteraturstudier, laboratorieförsök, fallstudie samt fältförsök i full skala. Bakgrunden till projektet är ett ökat behov av cirkulära materialflöden inom byggsektorn, där återvinning av betong kan bidra till minskat uttag av naturresurser samt reducerad klimatpåverkan. Samtidigt finns betydande tekniska utmaningar, särskilt kopplade till den återvunna finfraktionen, som påverkar den färskas betongens egenskaper negativt, exempelvis arbetbarhet, luftinnehåll och konsistens över tid.

Laboratorieresultaten visar att återvunnen betong har betydligt högre vattenabsorption (4–10 %) och lägre densitet jämfört med jungfrulig ballast ($\approx 0,5$ – $0,6$ %), vilket beror på hög porositet och förekomst av kvarvarande cementpasta. Detta leder till ett ökat vattenbehov samt större variation i betongens egenskaper. Vid ökande andel återvunnen ballast minskar betongens arbetbarhet och konsistensen avtar snabbare över tid. Vidare visar resultaten att tryckhållfastheten generellt minskar med ökande inblandningsgrad av återvunnet material, särskilt vid nivåer över 50–75 %. Trots detta kan tekniskt acceptabla hållfastheter uppnås även vid höga inblandningsnivåer, förutsatt att betongreceptet anpassas med avseende på vattenmängd och tillsatsmedel.

Fallstudien av en betongplatta med 100 % cirkulär ballast visar att betongen efter flera års användning uppvisar god hållfasthet och begränsad karbonatisering, vilket indikerar att återvunnen ballast kan fungera även i långsiktiga tillämpningar. Fältförsöket bekräftar laboratorieresultaten och visar att betong med hög andel återvunnen ballast har god initial arbetbarhet, men ett tydligt och tidsberoende konsistenstapp.

Sammanfattningsvis visar projektet att det är tekniskt möjligt att öka användningen av återvunnen betong som ballast i ny betong, särskilt vid måttliga inblandningsnivåer upp till 35% av finandelen, utan att egenskaperna påverkas i någon större utsträckning. För högre inblandningsgrader krävs dock noggrann kontroll av materialegenskaper, optimering av kornstorleksfördelning samt anpassning av betongrecept och produktionsprocess.

Projektet visar även att upphandlingskrav, tidig samverkan och tydlig kravställning är avgörande faktorer för att möjliggöra en ökad cirkularitet i praktiken. Resultaten bidrar därmed med viktig kunskap för branschen i arbetet mot mer resurseffektivt och klimatförbättrat byggande.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	5
2	Mål och syfte	8
3	Metodik	9
3.1	Nationell och internationell utblick (AP 1)	9
3.2	Laborrietester på ballast och färskbetong (AP2)	10
3.2.1	Ballastmaterial	11
3.2.2	Övrigt material vid betongblandning	13
3.2.3	Kornkurvor	13
3.2.4	Vattenabsorption och densitet	14
3.2.5	Betongblandningar med olika andel återvunnen ballast samt luft och sättmått mätningar	15
3.3	Fallstudie (AP 3)	16
3.3.1	Betongplatta Farsta betongfabrik	16
3.3.2	Fältnätning färsk betong vid betongtillverkning på betongstation (AP4)	18
4	Nationell och internationell utblick	19
4.1	Regelverk	19
4.2	Upphandling som främjar cirkulär betong som betongballast	19
4.3	Drivkrafter för cirkulär betong i betong	19
4.4	Tillsättning av cirkulär betong som betongballast	22
4.5	Utmaningar att använda finandel av krossad betong	22
4.6	Påverkan på arbetbarhet och slutprodukt	23
4.7	Påverkan av tillsatt mängd	24
4.8	Egenskaper som påverkar arbetbarhet och tryckhållfasthet	24
4.9	Justering av recept och tillsatsmedel	25
4.10	Betongdagen 2025	25
5	Resultat laboratorieundersökningar	27
5.1	Laborrietester, ballast och färskbetong	27
5.1.1	Ballast - kornstorleksfördelning	27
5.1.2	Ballast - vattenabsorption	28
5.1.3	Ballast - densitet	30
5.1.4	Färskbetong - konsistens och hållfasthetsutveckling	30
5.1.5	Färskbetong - luftindragning vid olika vattencemental	33
5.1.6	Färskbetong - flow table test	35

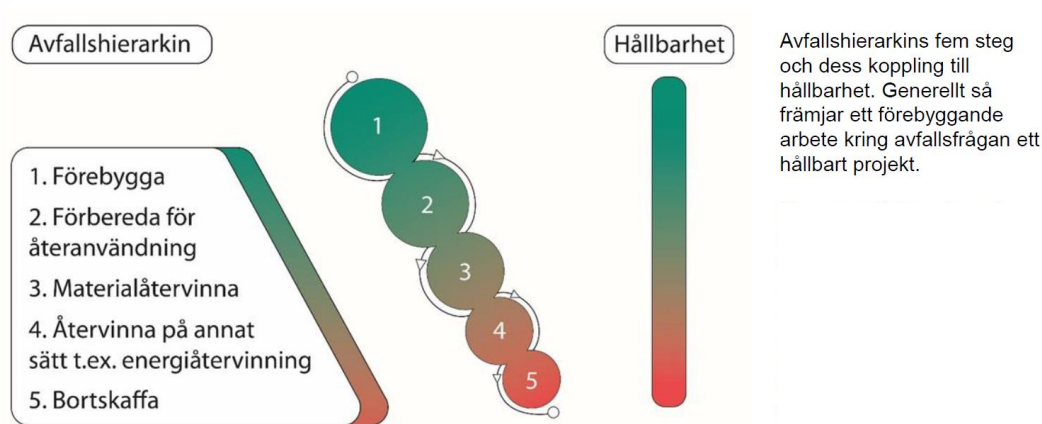
5.2	Fallstudie	37
5.3	Fältmätning färsk betong	39
6	Analys	42
6.1	Kornstorleksfördelning, vattenabsorption och densitet	42
6.2	Konsistens och arbetbarhet	43
6.3	Tryckhållfasthet	44
7	Diskussion	46
8	Slutsatser	48
9	Fortsatta studier	49
10	Litteraturförteckning	50

1 Bakgrund

Återanvändning eller återvinning av rivningsbetong från tidigare byggnader eller byggnadsverk eller restbetong från betongtillverkning innebär för en byggtreprenör att den inte behöver deponeras mot en avgift. Den återvunna betongen ersätter även material uttaget från bergtäkt. Det kan därmed finnas ekonomiska incitament till att återcirkulera material. Vidare börjar det förekomma innovativa upphandlingsformer där återvinning är ett krav. Som ett exempel kan det lyftas att i ett nu pågående projekt i Göteborg, som drivs av Vasakronan, var det ett upphandlingskrav att 100% av rivningsbetongen skulle återanvändas (Vasakronan, Kaj16).

Ballast utgör över 70% av betongvolym och påverkar betongens egenskaper såsom hållfasthet, arbetbarhet och beständighet. Standarden för ballast för betong, SS-EN 12620, ställer krav på redovisning av ballastens egenskaper såsom partikelgradering, korndensitet, vattenabsorption och konform och är grunden till ballast upphandling för betongtillverkare. Samma standard används för alternativa ballast. För att till fullo nyttja betongkross, som ett cirkulärt betongballastmaterial, finns en utmaning att kunna använda den fina delen av den krossade betongen (0-4 mm). Det har framkommit från initiala försök att den färska betongen drar in okontrollerat mycket luft, vilket påverkar såväl betongens hållfasthet som den färska betongen konsistens och arbetbarhet. Den färska betongen blir, till följd av denna luftinblandning, mycket trögare och behöver justeras med tillsatsmedel för att nå rätt konsistens. Ytterligare en utmaning som har iakttagits är att den färska betongen tappar konsistens över tid, dvs betongens arbetbarhet avtar över tid och ställer andra utförandekrav på en entreprenör. För att möjliggöra en så hög grad cirkulärt ballastmaterial av krossad betong, som möjligt, behöver dessa utmaningar undersökas mer ingående. Genom uppföljning av fallstudier, omvärldsbevakning, tester i labb och fält har föreliggande projekt för avsikt att ge ett underlag på detta. Målet är att rivningsbetongen landar så högt som möjligt i avfallshierarkin. Avfallstrappan, eller "avfallshierarkin", är ett EU-direktiv som är antaget i den svenska miljöbalken och styr hur vårt avfall ska tas om hand (Figur 1).

Genom att återanvända eller återvinna betong, minskar behovet av nytt jungfruligt bergmaterial, vilket är resursbesparande och minskar energibehovet. Ett vanligt sätt att omhänderta krossad betong är att nyttja materialet som obundet konstruktionsmaterial i till exempel vägar. Idag är denna användning många gånger problematisk när betongkross ofta har förhöjda halter av krom sex. Detta innebär då att materialet istället behöver deponeras på deponi, som vanligen är inert deponi. Kopplat till detta finns ytterligare problem när det är svårt med tillståndsprocessen för inertdeponier. Detta gör att transportavståndet generellt ökar vilket har en ytterligare negativ klimatpåverkan.



Figur 1 Avfallstrappan kopplat till påverkan på hållbarhet

Det råder stor osäkerhet kring hur mycket rivningsbetong det finns i Sverige med en grov uppskattning indikerar att det uppstår ca 1 miljon ton/år (Macsik 2024). Betongtillverkare har provat olika recept med krossad betong som ballast och regelverket tillåter idag 5 % inblandning (EN-SS 137003), se

Tabell 1. Grov ballast av återvunna rivningsmaterial indelas i två klasser, typ A och typ B. Kombinerad ballast av återvunna rivningsmaterial av typ A och typ B, får den totala mängden inte överstiga det högsta av värdena i för respektive exponeringsklass.

Tabell 1 EN-SS 137003 Högsta andelar av den grova ballasten av återvunna rivningsmaterial

Typ av material	Exponeringsklasser			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1, XS1	Alla andra exponeringsklasser
Grov ballast av återvunna rivningsmaterial typ A	50 %	30 %	30 %	0 % /30 % ^a
Grov ballast av återvunna rivningsmaterial typ B ^b	50 %	20 %	0 %	0 %
Anmärkning Observera att sammanlagt 5 % av den totala ballastmängden alltid får utgöras av ballast av krossad restbetong eller ballast återvunnen ur färsk restbetong.				

Det finns redan idag möjlighet att nyttja högre inblandningsgrad och en väg att gå är att produkten är CE-märkt. Mängden av återvunnen ballast som tillåts i ny betong beror på önskad exponeringsklass. I de mest skonsamma miljöerna kan upp till 50 % återvunnen ballast ersätta den grova ballastfraktionen (4–16 mm).

Den fina delen av den krossade betongen innefattar drygt hälften av den totala mängden betongkross. När andelen av den fina delen av krossad betong ökar i den

nyttillverkade betongen påverkas den färska betongens egenskaper. En fabriksblandad färskbetong måste ha rätt konsistens (arbetsbarhet) för att byggtreprenören ska kunna bygga betongkonstruktioner med efterfrågat konsinstensklass (till exempel S1-S5) och kvalitet. SS-EN 206:2013. I en förstudie genomförd på Vikans betongfabrik (Skanska) har det identifierades en problematik med luftindragning kopplat till den fina delen av den krossade betongen. De negativa effekterna som tidigare nämnts är relaterade till fin andelen av krossad betongen (0–4 mm) där det finns ca 90% av härdad cementpasta vilken har hög vattenabsorption, lägre densitet och detta påverkar negativt den färskbetongens egenskaper. Inom ramen för föreliggande projekt kommer fördjupade undersökningar genomföras baserade på den utförda förstudien.

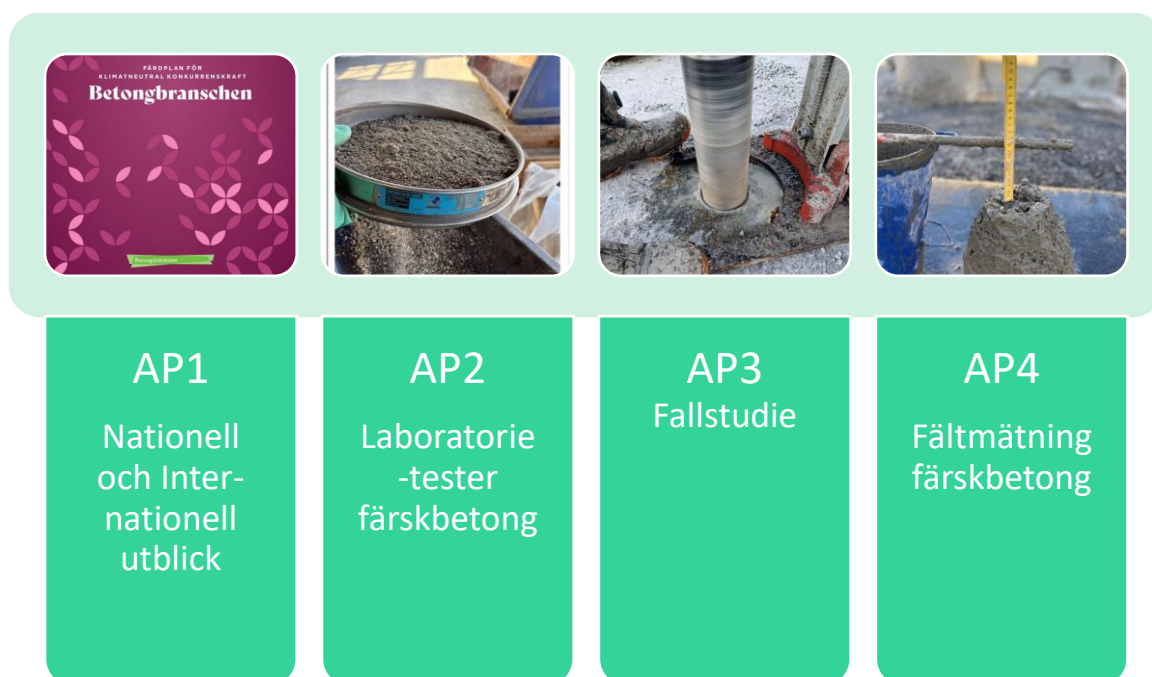
2 Mål och syfte

Syftet med projektet är att utifrån undersökningar och studier ge råd och rekommendationer för hur den krossade betongens finandel (0–4 mm) ska hanteras för att bibehålla den färska betongens egenskaper.

Målet med projektet är att möjliggöra för byggentreprenörerna att kunna öka cirkulariteten av återvunnet material och möta innovativa upphandlingsformer där grad av återvinning och klimatdeklarationer används i bedömningen.

3 Metodik

Projektet har genomförts i olika arbetspaket (AP) för att ta fram förutsättningar för att möjliggöra återanvändning av krossad betong i ny betong. Inom ramen för projektet har även upphandlingskriterier samt klimatvinster belysts när krossad betong cirkuleras i projekt. De olika arbetspaketen visas i Figur 2 och beskrivs översiktligt i följande kapitel.



Figur 2 Projektets arbetsprocess med dess fyra arbetspaket

Den branschgemensamma referensgruppen har kommit med värdefull input kring utvecklingsprojektets genomförande. Inom ramen för projektet har ett startmöte samt ett avslutande slutmöte genomförts, där projektets inriktning, resultat och slutsatser har diskuterats och förankrats i branschen

3.1 Nationell och internationell utblick (AP 1)

Inom ramen för arbetspaket 1 har en nationell och internationell utblick genomförts genom sammanställning av litteraturstudier om färskas betongens egenskaper vid inblandning av cirkulerad betong samt upphandlingskriterier där inblandning av krossad betong i ny betong premieras. Inom ramen för projektet har medverkan skett på Betongdagen (2025-10-23).

3.2 Laborrietester på ballast och färskbetong (AP2)

Inom ramen för föreliggande projekt så undersöks den krossade betongens egenskaper och dess påverkan på färskbetong i laboratorium (arbetspaket 2). I Tabell 2 redovisas vilka laborrietester som genomförs och på vilka material samt hur stor andel som utgörs av krossad återvunnen betong. Materialen som nyttjas är bergkross och betongballast med olika härkomst, som visas i Figur 3. För varje ballastsortering bestäms kornkurva, vattenabsorption och densitet. Den färska betongen provas med luftmätning – sättmått, flowtable test och hållfasthets provning.

Tabell 2 Provningsmatris för laborrietester av olika betongblandningar.

Matris för betongblandningar samt provningar									
All grov betongballast (4-16) kommer att bestå av 100% krossat betong		Andel av fin återvunnen betong ballast (0-4)					Vatten absorption	Densitet	Kornstorlek fördelning
		0%	25%	50%	75%	100%			
Ballast provning	Bergkross Vällsta	X					X	X	X
	Ale (upplag)		X	X	X	X	X	X	X
	Olunda (upplag)		X	X	X	X	X	X	X
	Tryckta betongkuber (labbkross)		X	X	X	X	X	X	X
Färsk betong provning	Luftmätning-sättmått		X	X	X	X			
	Flowtable test		X	X	X	X			
	Hållfasthet provtagning (kuber)		X	X	X	X			



Figur 3 Bergkross från Vällsta och återvunnen betongballast från Ale 0/16.

3.2.1 Ballastmaterial

Inom projektet har ballastmaterial från tre olika källor hanterats och bearbetats genom krossning för vidare användning i laboratorie och fältförsök. De tre materialen utgjordes av:

- Vällstas jungfruliga betongballast
- Krossad betong från upplag i Ale
- Krossad betong från upplag i Olunda
- Nykrossad betong från laboratorietillverkade betongkuber (Figur 4)

Vällstas jungfruliga betongballast från bergtäkt används som referensmaterial. Detta material har inte genomgått återvinning och bör därmed uppvisa stabila och välkända egenskaper avseende kornstorleksfördelning, densitet och vattenabsorption.

Sorteringarna som användes för Vällstas material var:

- 0–6 mm bergkross
- 8–16 mm bergkross

För att undersöka ifall ursprungskällan för betongkross har en påverkan undersöktes betongkross från Ale och Olunda. Betongkrossen från Ale kom från projekt Kaj 16 och bestod av sorteringarna:

- 0–4 mm krossad betong
- 4–16 mm krossad betong

Betongkrossen från Olunda bestod av sorteringen:

- 0–4 mm krossad betong, Olunda (upplag)

Dessa material har legat i upplag under längre tid och har därmed erhållit en viss vattenmättnadsgrad. För att studera skillnad mellan betongkross som legat i upplag en längre tid och nykrossad betong, laboratoriekrossades nytillverkade betongkuber till sortering:

0–4 mm nykrossad betong (Figur 4)



Figur 4 *Krossade betongkuber som nyttjas betongballast*

Sammanfattningsvis användes följande material och undersökningar för att ta reda på påverkan på den färska betongens egenskaper, se Tabell 2:

- Vattenabsorption (Vabs) och densitet på det cirkulära materialet, i syfte att klargöra variationer mellan olika fraktioner (enligt matris i Tabell 2).
- Effekten av lagringstid på vattenmättnadsgrad, jämförelse mellan nygjuten krossad betong (labb) och produktionskrossad betong.
- Provning av luftinnehåll i färsk betong samt hållfasthetstillväxt på kuber med 25 %, 50 %, 75 % och 100 % inblandning av krossad betong.
- Konsistens över tid för färsk betong med olika inblandningsnivåer av krossad betong, undersökt genom Flow Table-test.

Samtliga recept med krossad betong jämförs med en referensbetong tillverkad med 100 % jungfruligt krossat berg.

3.2.2 Övrigt material vid betongblandning

Övriga material och komponenter som användes vid betongblandningarna var:

- Cement: Heidelberg Materials Bas 2.0
- Flytmedel: Sika 6720
- Blandningsmetod: Stor Hobart-blandare för betong prover och liten Hobart-blandare för Flow table test

3.2.3 Kornkurvor

Kornstorleksfördelningen bestämdes genom siktanalys enligt SS-EN 933-1. En kornstorlekskurva är framtagen för samtliga material och fraktion. Kornstorleksfördelningen har en avgörande betydelse för ballastens packningsegenskaper, specifika yta samt vattenbehov i betongen. Genom siktanalys (Figur 5) fastställdes kornkurvor för samtliga ingåendematerial och fraktioner. Resultaten redovisas i form av kumulativa kornkurvor där passerande mängd (%) plottas mot siktstorlek.



Figur 5 Visar en siktserie och handsikt för kornstorleksfördelning

3.2.4 Vattenabsorption och densitet

Syftet med denna delstudie var att karakterisera de cirkulära ballastmaterialen som används i projektet och jämföra deras fysikaliska egenskaper med jungfrulig bergkross. Undersökningarna omfattar bestämning av vattenabsorption (%) och densitet (kg/m^3) för respektive material och fraktion.

Vattenabsorption

Vattenabsorptionen bestämdes enligt SS-EN 1097-6 med hjälp av sandkon och stamp, se Figur 6. Provet torkas först till ugnstorrt tillstånd och kyls därefter till rumstemperatur. Materialet fuktas sedan successivt tills det når mättad yt-torrt (SSD) tillstånd, vilket kontrolleras med sandkonen där materialet precis håller formen utan att flyta ut. Därefter vägs provet i SSD-tillstånd samt i ugnstorrt tillstånd. Vattenabsorptionen beräknas som skillnaden mellan dessa massor i förhållande till den torra massan.



Figur 6 Vattenabsorption, kon och stämpel-metod

Densitet (pyknometermetoden)

Densiteten bestämdes enligt SS-EN 1097-6 med hjälp av pyknometer, se Figur 7. Provet torkas först till ugnstorrt tillstånd och vägs. Därefter vattenmätas materialet till mättad yt-torrt (SSD) tillstånd. Provet placeras i en pyknometer som fylls med vatten, varefter den totala massan bestäms. Genom att jämföra massan av provet i luft, i

vatten samt i SSD-tillstånd kan materialets skrymdensitet beräknas. Metoden möjliggör bestämning av både partikel och skrymdensitet för ballastmaterialet.



Figur 7 Pyknometerflaskor

3.2.5 Betongblandningar med olika andel återvunnen ballast samt luft och sättmått mätningar

Betongblandningar med varierande inblandning av fin återvunnen ballast (0–4 mm) från olika källor genomförs. Syftet är att undersöka hur ökad andel återvunnet material påverkar den färska betongens egenskaper. De olika betongblandningarna och de därpå följande undersökningarna är sammanställda i Tabell 3.

Tabell 3. Betongblandningsmatris samt genomförda provningar.

Matris för betongblandningar samt provningar					
	Andel av fin återvunnen betong ballast (0-4)				
	0%	25%	50%	75%	100%
Bergkross Vällsta	X				
Ale (upplag)		X	X	X	X
Olunda (upplag)		X	X	X	X
Tryckta betongkuber (labbkross)		X	X	X	X
Luftmätning-sättnmätt		X	X	X	X
Flowtable test		X	X	X	X
Hållfasthet provtagning (kuber)		X	X	X	X

Blandningarna har tagits fram med successivt ökande andel återvunnen finballast (0 %, 25 %, 50 %, 75 % och 100 %) där jungfrulig bergkross från Vällsta används som referens. För varje betongrecept har den färska betongens egenskaper utvärderats genom mätning av luftinnehåll, sättnmätt samt arbetbarhet över tid (flow table-test). Vidare har hållfasthetsutvecklingen analyserats genom tryckprovning av kuber. Resultaten syftar till att ge en ökad förståelse för hur hög andel återvunnen finballast kan användas utan att betongens tekniska egenskaper försämras.

3.3 Fallstudie (AP 3)

I arbetspaket 3 har två olika fallstudier genomförts för att studera påverkan hållfasthet, arbetbarhet och färska betongens egenskaper vid försök i full skala. Detta för att kunna relatera erfarenheter från laboratoriestudierna till verklig användning.

3.3.1 Betongplatta Farsta betongfabrik

En uppföljande provtagning har genomförts på en betongplatta gjuten år 2020 vid Farsta betongfabrik (Skanska) (Figur 8). Vid provtagningstillfället var väderförhållandena kalla och torra, med en temperatur på cirka $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Trots vinterförhållanden kunde provtagningen genomföras utan påverkan på provkvaliteten. Syftet med uppföljningen var att undersöka hur betongen har presterat över tid samt verifiera att betong med 100 % cirkulär ballast kan uppvisa god beständighet och hållfasthet flera år efter gjutning.



Figur 8 *Borring av betongplatta i Farstas betongfabrik 2020 (100% återvunnet ballast)*

Plattan tillverkades med 100 % cirkulär ballast, där returbetong/restbetong användes som ballastmaterial i betongreceptet. Provtagning utfördes i december 2024 genom borring av cylindriska borrkärnor från den befintliga betongplattan. Totalt togs fem borrkärnor ut för vidare analyser se. De utborrade kärnorna visas i Figur 9.



Figur 9 *Uttagna borrkärnor i plastpåse från betongplattan*

3.3.2 Fältmätning färsk betong vid betongtillverkning på betongstation (AP4)

I arbetspaket 4 har fullskaliga provblandningar med recept där maximal inblandningsmängd av cirkulär betong används i betongstation. Utformningen av denna fullskaletest har baserats på laboratorieundersökningarna i AP2 för att följa upp om laboratorietesterna på färskbetong motsvarar tillverkning i produktion. Det har tidigare framkommit att det finns en problematik kopplat till att betongen tappar konsistens över tid. Det fullskaliga försöket har fokus på denna frågeställning där varierande transporttider kommer att simuleras i betongbil där arbetsbarhet kontrolleras vid olika tidpunkter med en avslutande gjutning. Provning genomfördes i Vikans betongfabrik i Göteborg 2026-02-03 vid en temperatur av -4 °C och soligt väder, Figur 10.

Det förekommer olika blandningsmetoder på olika betongstationer (frifallsblandare och tvångsblandare) och detta kan påverka luftindragning i den färska betongen. I föreliggande projekt har dock endast provning med tvångsblandare genomförts, vilket innebär att resultaten är baserade på denna blandningsteknik.



Figur 10 Vikans betonfabrik betongblandning med 70% återvunnet ballast

4 Nationell och internationell utblick

4.1 Regelverk

I dagens regelverk (EN 206 och SS 137003) kan upp till 5% av betongballasten ersättas med krossad betong från rivningsbetong eller restbetong utan att extra provning eller utvärdering behöver tillämpas. Även den nytillverkade betongens exponeringsklass påverkar hur mycket återvunnen betong som får tillsättas vilket framgår i Tabell 1. Exempelvis går det vid exponeringsklass XC2 att tillsätta upp till 30% återvunnen ballast.

4.2 Upphandling som främjar cirkulär betong som betongballast

Vasakronan bygger projekt Kaj 16 i Göteborg vid Lilla Bommen. I projektet Kaj 16 är det högt uppsatta mål inom hållbarhet för att uppfylla Vasakronans färdplan 2030 och miljöcertifieras enligt LEED med betyg Platinum. För att uppnå detta innebär det bland annat hållbara materialval inklusive återbruk och minimering av avfallsmängder. Det initiala upphandlingskravet inom projektet var att 100% av rivningsbetongen skulle återanvändas. Som ett led i detta startade Vasakronan en dialog med entreprenörer i samband med anbudsprocessen, där ursprungstanken var att återanvända så mycket som möjligt av en gammal betongkonstruktion på fastigheten som betongballast i ny betong. I upphandlingen premierades därefter entreprenörens förmåga att använda så mycket som möjligt av den återvunna betongen och minimera material till deponi.

Skanska involverades tidigt genom ett flertal samverkansmöten där hantering, krossning och återföring av materialet som ballast i ny betong diskuterades. Denna tidiga dialog var central för att identifiera tekniska möjligheter och begränsningar. Parallellt fördes interna diskussioner mellan olika funktioner såsom projektering, produktion, miljö och inköp, vilket möjliggjorde en samordnad kravbild. En tydlig kravställning togs fram för rivningsskedet avseende selektiv rivning, sortering och kvalitetssäkring, med målsättningen att materialet skulle hanteras som en resurs och inte klassas som avfall. För att säkerställa att arbetssättet uppfyllde gällande regelverk och miljökrav anlätades externa konsulter, såsom WSP och Sweco, som bidrog med expertstöd inom miljöbedömning och materialhantering. Sammantaget visar projektet att tidig samverkan, tydlig kravställning och involvering av rätt kompetenser är avgörande för att möjliggöra hög grad av cirkularitet i betongprojekt.

4.3 Drivkrafter för cirkulär betong i betong

För att nå klimatmålen om klimatneutralitet 2045 krävs, utöver att ta fram mer klimatneutrala byggmaterial, en omställning från linjära till cirkulära resursflöden. Inom cirkulär ekonomi betraktas inte avfallet som en slutprodukt utan som en resurs som ska recirkulera vilket i sin tur minskar behovet för uttag av nya naturresurser.

(Byggföretagen, 2018). Det pågår forskning kopplad till återvinningen av betong i linje med avfallshierarkin (Knutsson, 2023) men den är inte i dagsläget till fullo kommersiellt gångbar. Som ett led av den pågående systemomställningen i samhället har i början av 2025 publicerats en vägledning om cirkulär ballastproduktion för att främja cirkulära råvaror i produktionen och uppnå en betydande klimatnytta och ökad resurseffektivitet (Harale et al, 2025).

För att driva på utvecklingen mot en mer cirkulär resurshushållning finns olika drivkrafter och regelverk. Här är EU:s taxonomi ett viktigt incitament för att kunna identifiera och jämföra miljömässigt hållbara investeringar genom ett gemensamt klassificeringssystem för miljömässigt hållbara ekonomiska verksamheter. Taxonomin är ett verktyg för att nå EU:s klimatmål och målsättningarna inom EU:s gröna tillväxtstrategi och antogs 2020. EU-Taxonomin är ett verktyg för att påskynda omställning till ett hållbart samhälle. Miljöcertifiering används i projekt och fungerar som ett bevis på hur miljöanpassad en byggnad eller anläggning är samt underlättar kommunikationen av projektets miljöambitioner. Det innebär en rad fördelar, främst genom att tredjepartsgranska och kvalitetssäkra miljöprestanda. Det finns ett flertal olika miljöcertifieringssystem; BREEAM-SE, Miljöbyggnad, Svanen, LEED mm. I Figur 11 exemplifieras effekten av återvunnen ballast vid miljöcertifiering i BREEAM-SE v6.1. Det finns ett krav som heter "WST 02 Återvunnen ballast" där det finns möjlighet att tillgodogöra sig poäng relaterat till återvunnen ballast.

Livscykelanalys, LCA, är en standardiserad metod enligt ISO 14040-serien som hjälper till att skapa en helhetsbild av hur stor den totala miljöpåverkan är under en produkts eller tjänsts livscykel. Genom att ta reda på i vilket steg i produktionskedjan miljöpåverkan är som störst, kan företagen rikta sina miljöansträngningar åt rätt håll och på så sätt optimera produkter och processer ur miljösynpunkt. En miljövarudeklaration (EPD) är en formaliserad tillämpning av LCA, som möjliggör en standardiserad jämförelse av miljöprestanda hos likvärdiga byggprodukter. I EPD:n deklarerar livscykelfaserna A (A1-A5), C och D, dock krävs endast utsläppen i livscykelfaserna A1-A3 (tillverkning) i dagsläget. För byggprodukter där betong ingår så redogörs detta i EN 15804 version 2.0.1 (2025).

För att öka styrningen mot att klimatförbättrande åtgärder föreslår Boverket att gränsvärden om klimatutsläpp från byggnader införs år 2027. Gränsvärdet bör omfatta byggskedet, det vill säga modulerna A1–A5 (råvaruförsörjning i produktskedet, transport i produktskedet, tillverkning i produktskedet, transport i byggproduktionsskedet, bygg- och installationsprocessen i byggproduktionsskedet) samt även fler byggnadsdelar än lagförslaget från år 2022. Om dessa gränser överskrids bör det finnas ekonomiska påföljder, vilket kan skapa ekonomiska incitament att bygga inom dessa ramar (Boverket, 2020).

Utifrån sammanställning av ett större antal EPD:er för betongprodukter framgår det att cement normalt står för mer än 90 % av klimatpåverkan, i modul A1-A3 (Boverket,

2026). I en internationell studie (Onyelowe et al, 2022) framkom att för deras betongprodukt stod ballasten för 8% av klimatpåverkan. Inom ramen för slutdokumentationen av ett projekt i Vinnovas utlysning "Bygg för framtiden! Innovation för en hållbar bygg och anläggningssektor" har klimatpåverkan beräknats för såväl jungfrulig som cirkulär ballast. Klimatpåverkan i detta projekt var för jungfrulig och cirkulär ballast är 1,9 kg CO₂-ekvivalenter/ton och 1,5 kg CO₂-ekvivalenter/ton. Detta visade på en projektspecifik klimatreduktion på 22% vid cirkulär ballast. I totalen framkommer att cirkulära ballastens klimatpåverkan är mindre mestadels beroende på avsaknad av påverkan från sprängning (Nagy et al, 2025). Det är viktigt att det behövs mer projektresultat för att dra några mer generella slutsatser från detta.

Wst 02 Återvunnen ballast

Antal tillgängliga poäng	Minimikrav	Taxonomin
1+1	Nej	Nej

Syfte

Att uppmuntra och främja användningen av återvunnen och sekundär ballast, vilket minskar behovet av nytt material och optimerar materialeffektiviteten i byggandet.

Bedömningskriterier

Följande krävs för att visa att kriterierna efterlevs:

En poäng – Återvunnen ballast

1. Minst 25 procent av användningen av högkvalitativ ballast (inom byggprojektet) utgörs av sekundär eller återvunnen ballast. Andelen kan mätas antingen utifrån vikt eller utifrån volym.
2. Den återvunna eller sekundära ballasten utgörs av
 - 2.a byggavfall, rivningsavfall och schaktmassor från byggarbetsplatsen eller annan plats
 - 2.b sekundär ballast (se Relevanta definitioner).

Kriterier för exemplarisk nivå

Kriterierna för exemplarisk nivå, för att erhålla en exemplariskpoäng för denna BREEAM-SE-indikator, är följande:

3. Den totala mängden återvunnen eller sekundär ballast överstiger 50 procent (baserat på vikt eller volym) av den sammanlagda mängden högkvalitativ ballast i projektet.
4. Den återvunna eller sekundära ballasten som används kan antingen erhållas från en plats som inte ligger längre bort än avståndet för att hämta nytt material, eller hämtas inom en radie på maximalt 30 km från byggarbetsplatsen ifall nytt råmaterial kan införskaffas från närmare håll. Ballasten kan även erhållas från längre avstånd om den transporteras via järnväg eller båt till byggarbetsplatsen.

Figur 11 Miljöcertifiering enligt BREEAM-SE ver. 6.1, där återvunnen ballast hanteras (Wst 02).

Vidare kan det finnas möjlighet i framtida klimatdeklarationer att tillgodogöra sig rivningsbetongens karbonatiseringspotential som kolsänka (Bergqvist och Fryklund 2024). Karbonatisering av betong medför att CO₂ binds till betongen. Teoretiskt kan lite drygt 8 kg CO₂ tas upp per ton 1 ton rivningsbetong. Detta är framtida möjligheter som stödjer behovet av att skapa förutsättningar för att nyttja den krossade betongen till fulla i nyproducerad betong. Utvecklingen inom asfaltsindustrin kan ses som en förebild när Trafikverket sedan 2018 i TDOK 2013:0529 version 3 öppnat upp för användande av returafalt i större mängder genom att ta bort gränserna för max tillsatt halt returafalt.

4.4 Tillsättning av cirkulär betong som betongballast

Redan Knutsson et al (1996) kunde konstatera att det går att ersätta upp till 40% av ballast med krossad betongballast av sortering 8/16 utan att negativa effekter. Finare sorteringar var för stor utmaning. Ska ny betong tillverkas av återvunnen betongkross, är självkompakterande betong en lämplig betongsort att tillverka (Rogers et al (2016), Pak & Saleh (2018) et cetera då denna betong behöver ballast med hög finandel och detta tillgodoser betongballast av krossad betong. De senare anger även att det frigörs mycket finmaterial vid krossningsprocessen.

4.5 Utmaningar att använda finandel av krossad betong

Nedeljkovic et al (2021) genomförde en litteraturstudie över vilka egenskaper hos finandelen hos den krossade betongen som påverkar en färdig betongs egenskaper. Olika orsaker gör att finandelen hos den krossade betongen inte kommer till användning i ny betong. Exempel på dessa är:

- Brister i standarder som reglerar detta, det känns osäkert att frånga aktuella standarder
- Risk för kloridföreningar
- Variationen på ingångsmaterialet är större än om traditionell ballast används, vilket kräver mycket anpassningar av recept beroende på råvara. Exempel på detta är
 - Varierande kornstorleksfördelning
 - Varierande kornform/kantighet
 - Kemiska variationer, som påverkar bindningen
- Vattenabsorption och densitet är svårt att mäta. Vattenabsorptionen är dessutom väldigt hög (från 4 upp till 13 %). Densiteten är också lägre och påverkas av ursprungsbetongens beskaffenhet.
- Vatteninnehållet har stor påverkan och behöver vara högt och förutsägbart.
- Arbetbarheten är sämre på grund av vattenabsorption och kornform. Det behöver tillsättas mer vatten och konstistensmedel för att kompensera.

Även Rogers et al (2016) studerade olika egenskapers påverkan vid inblandning av krossad betong som ballast i ny betong. Ursprungskällorna var kasserade betongslipers och betonghåldäck. Dessa två betongsorter innehöll liten andel annat material än betongkross. Den krossade betongballasten användes för att tillverka självkompakterande betong. Målet var att ersätta så mycket av betongballasten med krossad betong utan negativa följder. De egenskaper som undersöktes var:

- Vattenabsorption
- Skrymdensitet
- Kornstorleksfördelning
- Flytsättsmått
- Viskositet
- Flytgränsspänning

- Tryckhållfasthet
- Uttorkningskrympning

För varje betongkrosskälla blandade man in fraktionerna 0/4 från 0% inblandning till 100 % inblandning i olika steg, 4/8 och 8/16 i inblandningsmängderna 0 %, 50 % och 100 % som ersättning till naturballast bestående av fraktionerna 0/8 och 0/16. Resultaten från Rogers et al (2016) vid analys av arbetbarhet visar att det var en skillnad beroende på den krossade betongens ursprung (håldäckselement och betongslipers) för sortering 0/4, där påverkan var störst där ursprunget var håldäckselement). Där ursprunget var betongslipers kunde upp till 22% tillsättas utan nämnvärd påverkan medan det räckte med 5 % tillsats där ursprunget var håldäckselement. Uttorkningskrympningen var opåverkad vid upp till 33% inblandning av krossad betong 0/4 men vid 100 % ersättning ökade krympningen med 15%. Frostbeständigheten var godkänd för alla ersättningsnivåer.

4.6 Påverkan på arbetbarhet och slutprodukt

Pak & Saleh (2018) hänvisar till tidigare studier där hög tryckhållfasthet kan erhållas vid tillsättning av krossad betong som ballast i ny betong men där fraktionen 0,125–2 mm har stor påverkan på den färska betongens arbetbarhet. Vid högre tryckhållfasthetsklasser kan något av hållfastheten gå förlorad. Logani & Golmami (2024) anger att finandelen av krossad betong har störst utmaning att använda som ballast i ny betong på grund av negativ påverkan på hållfasthet och beständighet samt arbetbarhet hos den färska betongen. Även frostbeständigheten verkar försämrats och krympbenägenheten ökar. Även Sadagopan (2021) visar genom försök att utbyte av betongballast till krossad betong, av både finandel och grovandel, försämrar tryckhållfasthet och arbetbarhet hos den nytillverkade betongen. Detta beror mycket på den större vattenabsorptionen. Efter mekanisk bearbetning där gammal cementpasta avlägsnas, blir hållfastheten och arbetbarheten i nivå med referensbetongen.

Karlsson & Taube Johansson (2018) beskriver vid sina försök att konsistensen blir sämre vid tillsättning av krossad betong som betongballast och att tryckhållfastheten blir lägre om detta kompenseras med tillsättning av vatten. De visar också i sina försök att när all betongballast byts ut mot ballast av krossbetong behövs en stor mängd flytmedel tillsättas betongblandningen för att den ska bli hanterbar och det går att tillverka en betong med tillräcklig hållfasthet. Betongen blir dock mycket svårarbetad och kostnaden vid tillverkning blir hög. De lyckades dock få till en bra arbetbarhet och tryckhållfasthet när hälften av all betongballast (både fin och grovandel) byttes ut mot krossad betong. Total ersättning av enbart grovandelen (8–16) innebar inga större konsekvenser för varken arbetsbarhet eller tryckhållfasthet.

4.7 Påverkan av tillsatt mängd

Hur mycket finandel av krossad betong som kan tillsättas har redovisats i olika rapporter. Rogers et al (2016) konstaterade att upp till 33 % av 0/4-delen kunde ersättas med krossad betong utan att tryckhållfastheten påverkades negativt. För 4/8 och 8/16 hade ökad inblandning enbart positiv effekt. I litteraturstudien av Nedeljkovic et al (2021) beskrivs istället att tryckhållfastheten går ned redan vid 10 % utbyte (6,7 % reduktion). Vid 30 % utbyte minskar den med 11 % och vid 50 % utbyte med hela 30 % och vid fullt utbyte med 50 %. Reduktionen förklaras av den ökade tillsättningen av vatten (för att få tillräcklig arbetbarhet). De beskriver emellertid andra studier som tvärt om visar att hållfastheten ökar och detta förklaras då av att fillerhalten ökar. Helsing et al (2023) genomförde betongprovblandningar med bland annat krossad rivningsbetong och restbetong. Det gick bra att ersätta ballasten med upp till 30 % betongkross utan att egenskaperna påverkades nämnvärt. Dock måste betongrecepten justeras med avseende på bland annat skillnad i vattenabsorption. Carro-Lopez et al (2024) beskriver i sina studier att upp till 100 % av finballasten kan ersättas med krossad betong och producera ny betong med egenskaper som kan passa många applikationer. Det är dock viktigt att ta hänsyn till den större vattenabsorptionen. Även Kareem et al (2025) hävdar att det är möjligt att tillverka betong av 100 % återvunnen finandel (0–4) men att tillsatt vatten och tillsatsmedel behövs i riklig mängd.

4.8 Egenskaper som påverkar arbetbarhet och tryckhållfasthet

Vad som påverkar tryckhållfasthet och arbetbarhet har beskrivits i ett flertal rapporter. Enligt Rogers et al (2016) är vattenabsorptionen högre för krossad betong i sortering 0/4 jämfört med motsvarande bergkrossmaterial eller naturgrus. Kornstorleksfördelningen påverkar där högre finmaterialhalt ökar den specifika ytan och därmed vattenabsorptionen. Detta ökar in sin tur ökar behovet av tillsatt vatten för att få rätt arbetbarhet. Finmaterialhalten ökar dessutom vid blandningsförfarandet i högre grad för krossad betong. Enligt Logani & Golmami (2024) påverkar hög vattenabsorption och ökat luftinnehåll vid tillsättning av finandelen hos krossad betong den färskas betongens egenskaper (arbetsbarheten). Används rivningsbetong betonar de även att renheten är en viktig egenskap att kontrollera. De anser också att för att kunna öka ersättningsnivåerna av krossad betong som ballast i ny betong behövs ny forskning. Enligt Pak & Saleh (2018) påverkas arbetsbarheten och vattenbehovet vid tillsättning av finandel av krossad betong genom avvikande gradering, större specifik yta samt olämplig kornform. De försökte påverka kornformen i sina försök genom att tumla materialet, vilket ökade finmaterialmängden. Det större vattenbehovet minskar i sin tur även tryckhållfastheten. Det ökade vattenbehovet förklaras av att kornen i finandelen hos den krossade betong är mer porös och absorberar mer vatten. Att tryckhållfastheten blir lägre förklaras också av att kornhållfastheten är lägre på grund av att många korn består av cementpasta, som har lägre hållfasthet är motsvarande korn av krossat berg eller naturgrus. Även Rahman & Ali (2018) anger att arbetsbarheten påverkas av att det är mer finmaterial i krossade betongens finandel,

vilket beror på att mer finmaterial skapas av den gamla cementpastan. Vattenabsorptionen är också högre på grund av större porositet.

Karlsson & Taube Johansson (2018) anger i sina studier att vattenabsorptionen är svår att uppskatta för finandel hos betongkross men att den uppskattats till 6 % jämfört med 0,2 och 0,5 % för naturgrus respektive bergkross, det vill säga betydligt högre. Helsing et al (2023) konstaterande också att vattenabsorptionen var upp till 6% för ballast av krossad betong mot normal ballast som har mindre än 1 %. Därför viktigt att vattenmätta ballasten före blandning av ny betong. Sadagopan (2021) beskriver också att det är viktigt att den krossade betongen är blötlagd innan betongblandning för att få bättre arbetbarhet och tryckhållfasthet. Den större vattenabsorptionen hos krossad betong beror till största del av den gamla cementpastan som omger ursprungligt ballastmaterial. Genom trumling av materialet tillsammans med stålkulor, kan en del av den gamla cementpastan avlägsnas från de enskilda kornen och därefter tvättas bort. Genom denna process får betongen vid 50% utbyte mot betongkross en högre hållfasthet än referensbetong och vid 100% utbyte ungefär samma nivå som referensbetongen. Arbetbarheten ligger i samma klass som referensbetongen vid båda inblandningsmängderna. Även kornformen påverkas i positiv riktning vid trumling.

4.9 Justering av recept och tillsatsmedel

För att få rätt arbetbarhet och konsistens hos den färska betong behövs tillsatsmedel, vilket beskrivs i flera rapporter. Rogers et al (2016) anger att flytmedelstillsättning behöver användas och ökas ju större andel krossad betong av sortering 0/4 som ersätter naturgrus för att få samma bearbetbarhet som vanliga betongrecept. Pak & Saleh (2018) beskriver att superplasticerare behövs för att kunna bibehålla en tillräcklig bearbetbarhet även efter transport och fortfarande kunna hålla ett lågt vct, för att i sin tur uppnå hög tryckhållfasthet. Även Karlsson & Taube Johansson (2018) anger att flyttillsatsmedel behövs för att göra betongen mer arbetbar men att det är svårt att kompensera när all finandel byts ut mot krossad betongballast.

Samuelsson et al (2023) har studerat tillsatsmedels och alternativa bindemedels inverkan (bland annat GGBS) på möjligheten att återanvända betong ur ett miljöperspektiv. De kom fram till att detta inte försämrade möjligheten till återanvändning och sällan kommer över halter för känslig markanvändning (KM).

4.9.1 Betongdagen 2025

Inom ramen för projektet deltog projektgruppen i Betongdagen 2025, vilket är en branschgemensam konferens där aktuella frågor inom betongteknik, hållbarhet och materialutveckling behandlas. Syftet med deltagandet var att ta del av den senaste utvecklingen inom området samt att relatera projektets resultat till pågående forskning och industriell tillämpning. Programmet omfattade presentationer kring klimatförbättrad betong, cirkulära materialflöden, digitalisering samt nya krav och riktlinjer inom betongbranschen. Vidare lyftes vikten av standardisering, kvalitetssäkring och anpassade provningsmetoder för att möjliggöra en ökad användning av återvunnet material i konstruktionsbetong. Även behovet av samverkan mellan beställare, entreprenörer och materialleverantörer betonades som en förutsättning för att driva utvecklingen framåt.

5 Resultat laboratorieundersökningar

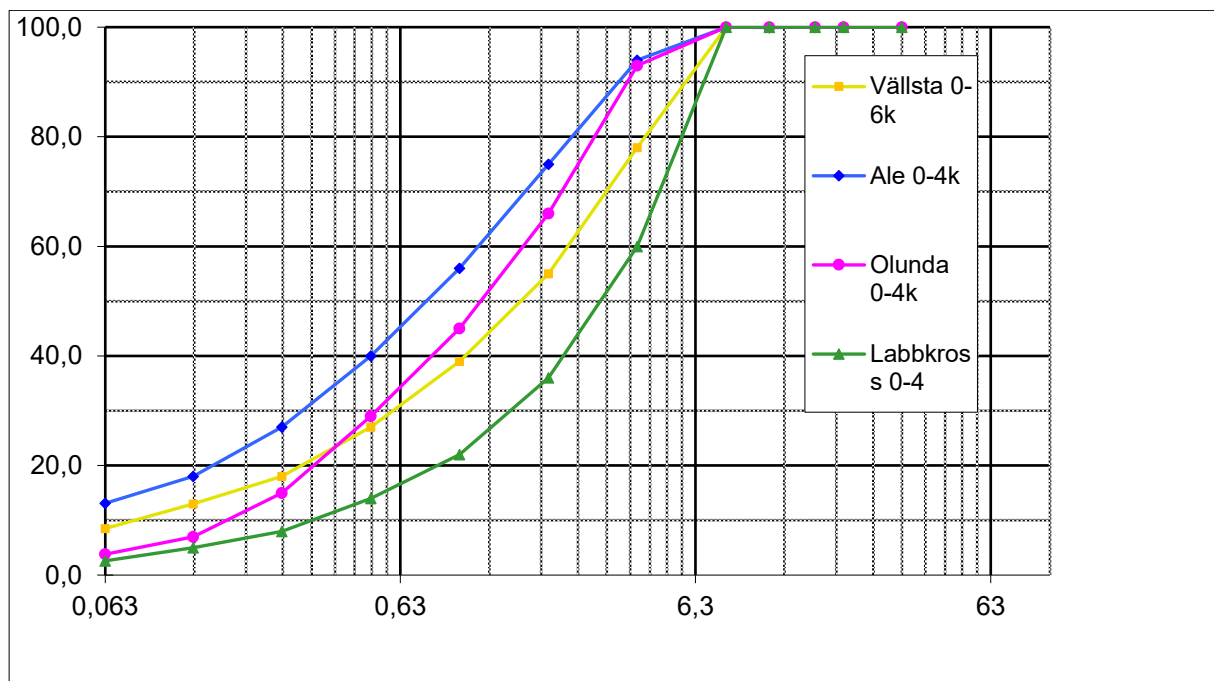
Resultaten presenteras utifrån samma uppställning som redovisades i metodkapitlet (Kap 4) och innefattar följande delar:

- Laborrietester, ballast och färskbetong (AP 2)
- Fallstudie (AP 3)
- Fältmätning färskbetong (AP 4)

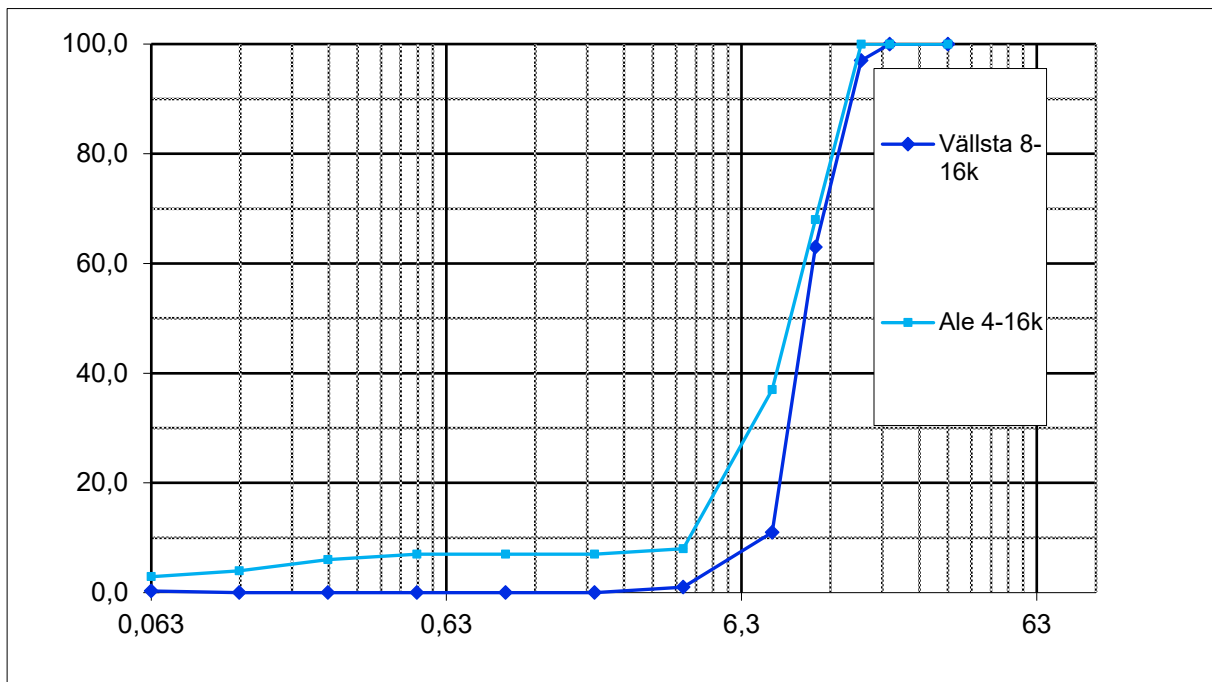
5.1 Laborrietester, ballast och färskbetong

5.1.1 Ballast - kornstorleksfördelning

För samtliga material har kornstorleksfördelningskurvor tagits fram, vilka redovisas i, Figur 12 och i Figur 13 samt i Bilaga 1.



Figur 12 Kornstorleksfördelning för material 0-4 från Vällsta, Ale, Olunda och labbkross.



Figur 13 Kornstorleksfördelning för material 8-16 från Vällsta och Ale.

Den jungfruliga ballasten 0-4 från Vällsta uppvisar en jämn och välgraderad fördelning med begränsad mängd finmaterial. Detta är typiskt för krossade hårda bergarter och ger goda packningsegenskaper och stabila egenskaper på den färskbetongen. De återvunna materialen av krossad betong (Ale, Olunda och nykrossad betong av laborietillverkade betongkuber) har däremot en större andel finmaterial samt en större variation mellan proven.

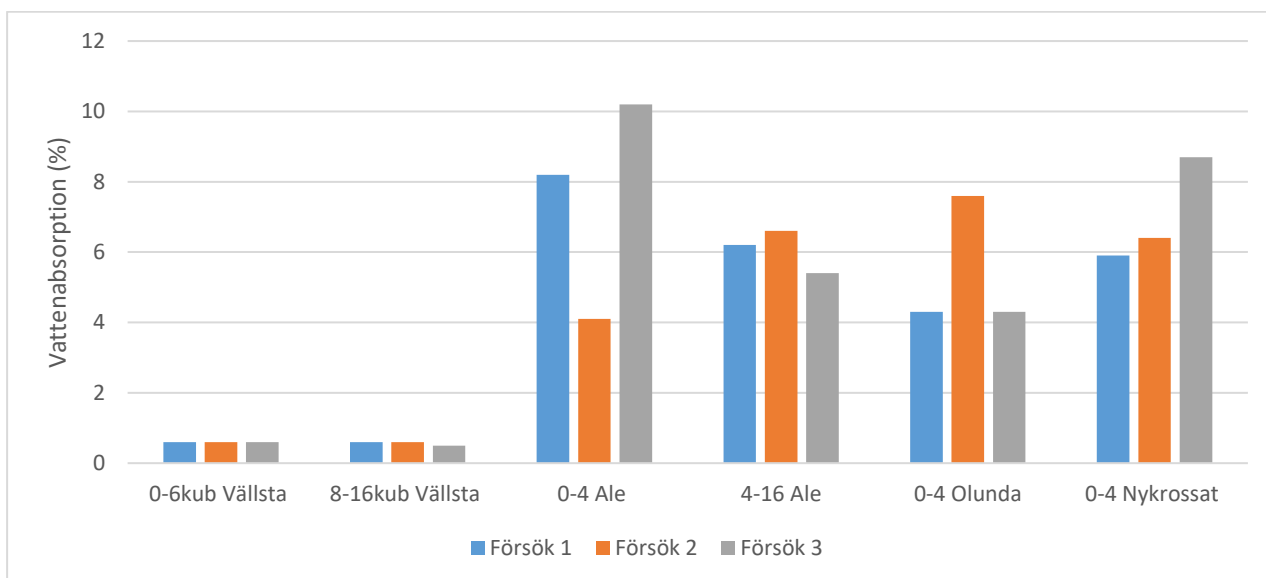
5.1.2 Ballast - vattenabsorption

I Tabell 4 och i Figur 14 visas vattenabsorption (%) för de olika materialen. De jungfruliga materialen (Vällsta) uppvisar en stabil och låg vattenabsorption 0,5-0,6 %, vilket är typiskt för krossat berg. De återvunna materialen visar däremot betydligt högre vattenabsorption, 4-10 %, samt en tydlig spridning mellan provserierna. Skillnaderna mellan Serie 1, 2 och 3 indikerar en heterogen materialkaraktär, vilket är typiskt för återvunnen betong.

Variationerna kan främst förklaras av skillnader i mängden kvarvarande cementpasta på ballastkornen, vilket påverkar materialets porositet och därmed vattenupptagning. Vidare kan ursprungsbetongens kvalitet (till exempel vattencementtal och ballasttyp), krossningsprocess samt lagrings- och fuktillstånd före provning ha bidragit till variationen. Särskilt för finfraktionen (0-4 mm) förstärks dessa effekter, då den högre specifika ytan och större andel cementpastarester medför en ökad känslighet för variationer mellan provserier.

Tabell 4 Vattenabsorption (%) för olika material och fraktion körda i tre olika serier.

Material / Fraktion	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Medel	Kommentar
0–6 mm Vällsta	0,6	0,6	0,6	0,6	Stabil, låg
8–16 mm Vällsta	0,6	0,6	0,5	0,6	Stabil, låg
0–4 mm Ale	8,2	4,1	10,2	7,5	Stor variation
4–16 mm Ale	6,2	6,6	5,4	6,1	Måttlig variation
0–4 mm Olunda	4,3	7,6	4,3	5,4	Stor variation
0–4 mm Nykrossat	5,9	6,4	8,7	7,0	Måttlig variation



Figur 14 Vattenabsorption (%) på jungfruligt material (Vällsta) samt återvunnit material (Ale, Olunda samt nykrossat) körda i tre serier.

5.1.3 Ballast - densitet

I Tabell 5 redovisas de olika materialens densitet.

Tabell 5 Densitet (kg/m³) för de olika materialen, jungfruligt (Vällsta) och återvunnet material (Ale, Olunda och nykrossat).

Ballasttyp	Densitet (kg/m ³)
0–6 mm Vällsta	2 680
8–16 mm Vällsta	2 670
0–4 mm Ale	2 460
4–16 mm Ale	2 610
0–4 mm Olunda	2 460
0–4 mm Nykrossat (återvunnet)	2 420

I Tabell 6 visas jämförande resultat av vattenabsorption och densitet mellan jungfruligt bergkross och återvunnen betong. Den jungfruliga ballasten från Vällsta (Granitisk gnejs och granit) uppvisar högst densitet ($\approx 2,67$ – $2,68$), vilket är normalt för naturkrossade hårda bergarter. De återvunna materialen uppvisar en lägre densitet, vilket indikerar högre porositet och en mjukare bergtyp eller mer flisigt material. Det nykrossade återvunna 0–4-materialet har allra lägst densitet (2,42).

Tabell 6 Vattenabsorption och Densitet för Jungfruligt berg och krossat betong

Materialtyp	Vattenabsorption (%)	Densitet (kg/m ³)	Kommentar
Jungfrulig bergkross (Vällsta)	0,5–0,6	$\approx 2,68$	Stabil
Återvunnen betong (Ale, Olunda, Nykrossat)	4–10	2,42–2,61	Porös, varierande

5.1.4 Färskbetong - konsistens och hållfasthetsutveckling

Inom ramen för projektet har en systematisk laboratoriestudie genomförts för att utvärdera effekten av återvunnen betong som ballast i ny betong. Flera betongrecept har tagits fram där jungfrulig ballast (Vällsta) successivt ersatts med återvunnen ballast från olika källor (Ale, Olunda samt labbkrossad betong) och i varierande inblandningsgrader.

Provningarna har omfattat både färsk och hårdnad betong, där parametrar såsom arbetbarhet (sättmått och konsistensförlust över tid), luftinnehåll samt tryckhållfasthet vid 7 och 28 dygn har analyserats. Samtliga resultat har jämförts mot en referensbetong med 100 % jungfrulig ballast för att möjliggöra en kvantitativ bedömning av hur ökande andel cirkulärt material påverkar betongens egenskaper. Resultaten från provningsmatrisen visar tydliga samband mellan andelen återvunnen ballast och den färska samt hårdnade betongens egenskaper (Tabell 7)

Tabell 7. Sammanställning av provresultat över den färska betongens egenskaper och slutgiltig tryckhållfasthet

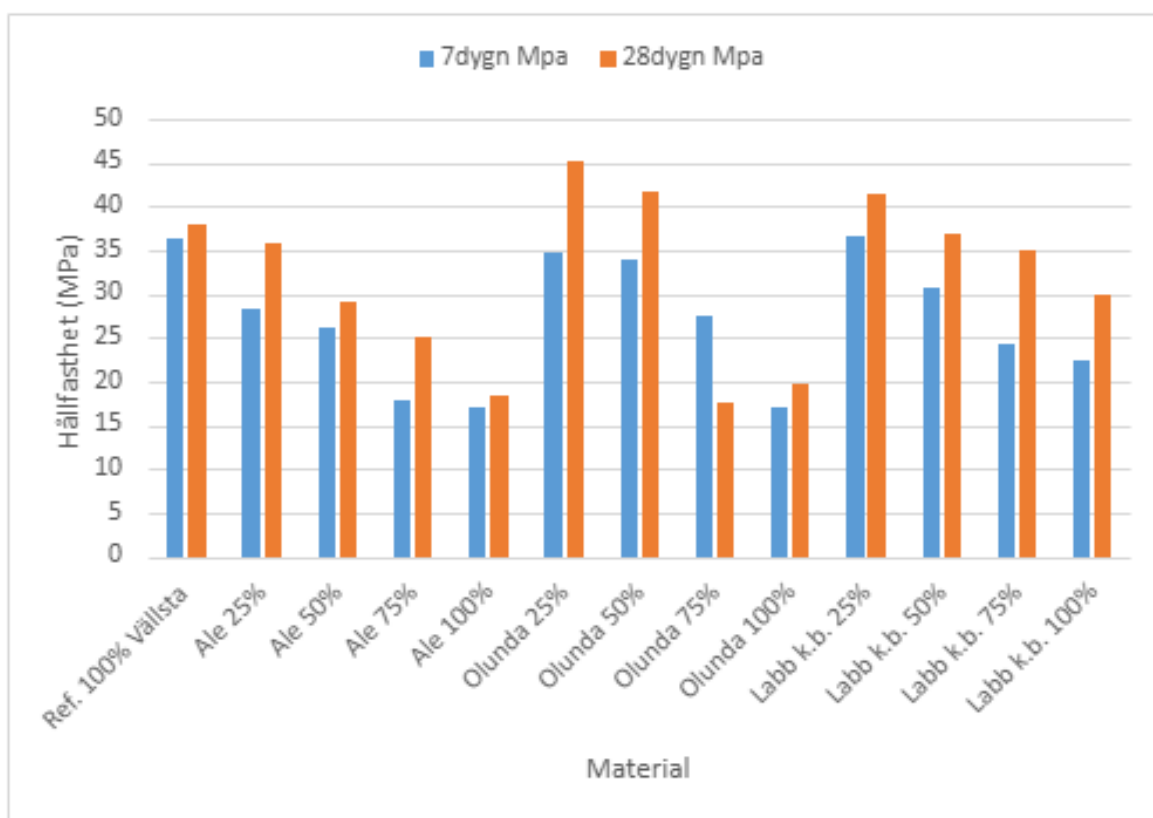
Recept	Flyt %	BAS 2.0	Vct	Arbetsbaret	Sättmått mm 3min	Sättmått mm 20min	Luft med vct 0,55	Luft med vct 0.7	7dygn Mpa	28dygn Mpa
Referens 100% Vällsta	0,80%	400Kg	0,55	S4	178	165	2,1%	2,1%	36,4	37,9
Ale 25%	1,30%	400Kg	0,55	S4	162	149	2,5%	4,4%	28,3	35,8
Ale 50%	1,30%	400Kg	0,55	S3-S4	151	132	3,0%	7,2%	26,3	29,1
Ale 75%	1,50%	400Kg	0,55	S3	144	119	3,6%	8,9%	18	25,2
Ale 100%	1,50%	400Kg	0,55	S3	105	89	5,0%	9,3%	17,2	18,3
Olunda 25%	1,20%	400Kg	0,55	S4	171	151	3,1%	4,6%	34,9	45,1
Olunda 50%	1,40%	400Kg	0,55	S4	157	130	3,5%	6,5%	33,9	41,8
Olunda 75%	1,50%	400Kg	0,55	S3	147	123	3,4%	13,0%	27,4	17,5
Olunda 100%	1,50%	400Kg	0,55	S2	115	98	3,6%	13,0%	17,2	19,8
Labbkrossat betong 25%	1,10%	400Kg	0,55	S4	165	142	3,7%	4,7%	36,7	41,5
Labbkrossat betong 50%	1,30%	400Kg	0,55	S3	149	129	3,5%	6,4%	30,7	36,8
Labbkrossat betong 75%	1,50%	400Kg	0,55	S3	132	111	3,6%	8,5%	24,3	35
Labbkrossat betong 100%	1,50%	400Kg	0,55	S2	118	98	2,9%	8,6%	22,4	29,9
35% Abb 0-4	1,00%	400Kg	0,55	S4	172	156	3,4%	4,6%	28,2	36,1

Recept	Beteckning	Vällsta 8-16K %	Ale 4-16 %	Olunda 0-4 %	Labbkrossat 0-6 %	Ale 0-4 %	Vällsta 0/8K %
Referens 100% Vällsta	1	25					75
Ale 25%	1,1		25			19	56
Ale 50%	1,2		25			37,5	37,5
Ale 75%	1,3		25			56	19
Ale 100%	1,4		25			75	
Olunda 25%	1,5		25	19			56
Olunda 50%	1,6		25	37,5			37,5
Olunda 75%	1,7		25	56			19
Olunda 100%	1,8		25	75			
Labbkrossat betong 25%	1,9		25		19		56
Labbkrossat betong 50%	2,0		25		37,5		37,5
Labbkrossat betong 75%	2,1		25		56		19
Labbkrossat betong 100%	2,2		25		75		
35% Abb 0-4	2,4		25			26	49

En generell trend är att betongens konsistens avtar med ökande andel återvunnen ballast. Detta framgår både av sättmått vid 3 och 20 minuter, där högre inblandningsgrader ger lägre värden och större konsistenstapp över tid. Detta kan kopplas till den återvunna ballastens högre vattenabsorption, vilket leder till att fri vattenmängd i betongen minskar under tiden.

Hållfasthetsresultaten visar att det är möjligt att uppnå goda tryckhållfastheter även vid relativt höga inblandningsnivåer av återvunnen ballast. Samtidigt ses en tydlig trend där hållfastheten minskar med ökande andel återvunnet material, särskilt vid de högsta inblandningsnivåerna. Detta är i linje med materialets lägre densitet och högre porositet.

Avseende luftinnehåll visar resultaten att betong med vct $\approx 0,55$ generellt har relativt låg lufthalt. Detta bedöms bero på att betongen är trög och svårarbetad, vilket begränsar luftinblandningen vid blandning och hantering. Vid högre vct ($\approx 0,7$) erhålls en mer lättbearbetad betong, vilket i sin tur leder till ökad luftinblandning och därmed högre uppmätta lufthalter. Resultaten från tryckhållfasthetsprovningen vid 7 och 28 dygn visar att betong med återvunnen ballast uppnår tillfredsställande hållfasthet, men att hållfasthetsnivån generellt avtar med ökande inblandningsgrad av återvunnet material (Figur 15).



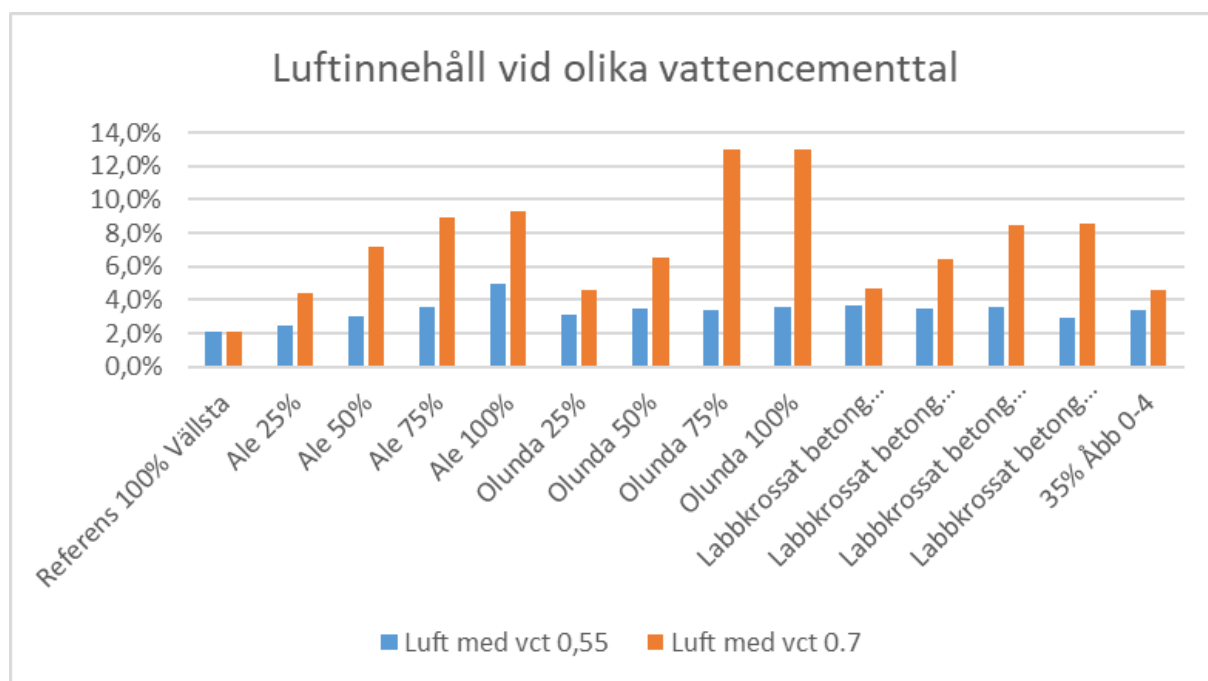
Figur 15 Hållfasthetsutveckling med ökande inblandningsgrad av återvunnet material

Vid lägre inblandningsnivåer ($\approx 25\text{--}50\%$) är skillnaden mot referensbetongen relativt begränsad, och hållfasthetsutvecklingen följer en liknande trend mellan 7 och 28 dygn. Detta indikerar att återvunnen ballast i dessa nivåer kan användas utan större påverkan på hållfasthet, förutsatt att receptet är anpassat. Vid högre inblandningsnivåer ($\geq 75\%$) ses en tydligare reduktion i både tidig hållfasthet (7 dygn)

och slutlig hållfasthet (28 dygn). Trots detta visar resultaten att hållfasthetstillväxten mellan 7 och 28 dygn i många fall är god, vilket tyder på att hydratiseringen fortgår och att strukturen fortsätter att utvecklas över tid. I vissa fall kan den återvunna ballastens interna fukt bidra till en viss intern eftervattning ("internal curing"), vilket kan ha en positiv effekt på hållfasthetsutvecklingen.

5.1.5 Färskbetong - luftindragning vid olika vattencementtal

Resultaten visar att luftinnehållet generellt är lägre vid vct 0,55 och ökar vid vct 0,7. Vid det lägre vct-talet (0,55) är betongen mer trög och svårarbetad, vilket begränsar luftinblandningen och ger relativt låga och jämna lufthalter. Vid högre vct (0,7) blir betongen mer lättarbetad, vilket medför att mer luft dras in under blandning och hantering, se Figur 16.



Figur 16 Luftinnehåll vid olika vattencementtal

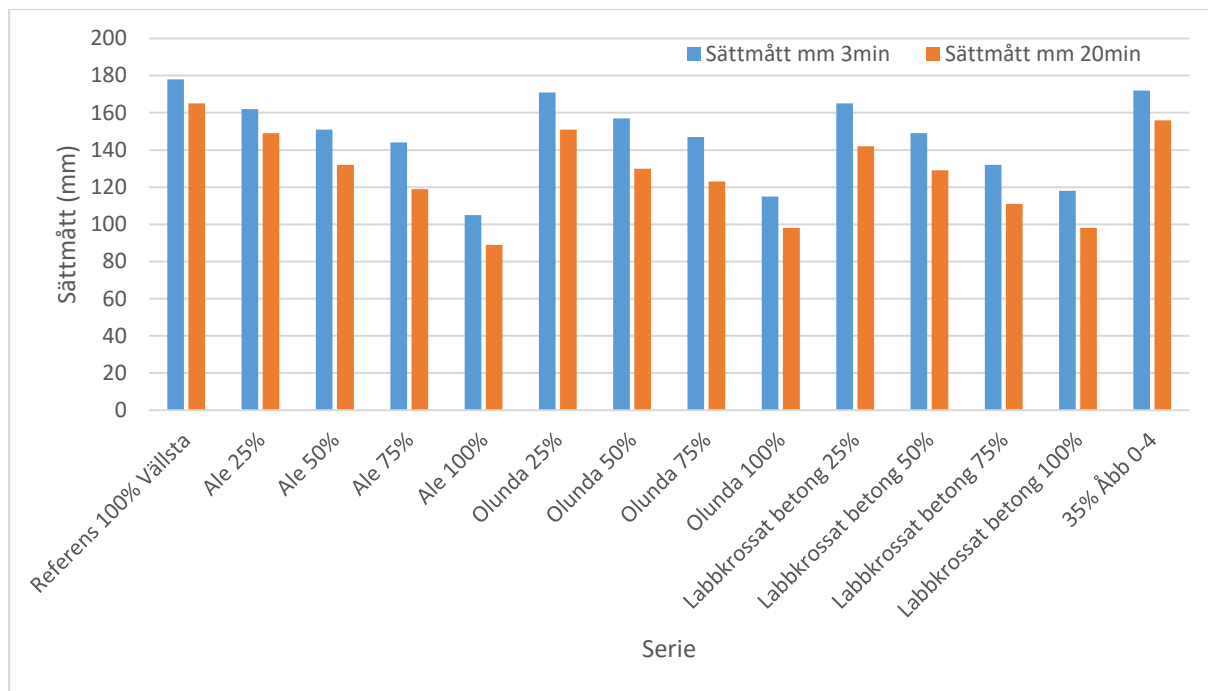
Vidare kan det observeras att ökande andel återvunnen ballast tenderar att öka luftinnehållet, särskilt vid högre vct. Detta kan kopplas till den återvunna ballastens högre porositet och mer kantiga kornform, vilket påverkar luftens inblandning och stabilitet i betongen.

Resultaten från de olika materialens vattencementtal visar att;

- Referensbetongen har stabil och låg lufthalt,
- Högre vct ger ökad luftinblandning,
- Ökad andel återvunnen ballast bidrar till högre och mer varierande lufthalter.

Konsistensförändring för färskbetong över tid

Figur 17 visar sättmått efter 3 respektive 20 minuter för olika betongrecept. Resultaten visar att samtliga betongblandningar tappar konsistens över tid, vilket framgår av lägre sättmått vid 20 minuter jämfört med 3 minuter.



Figur 17 Konsistensförändring för färskbetong över tid

Referensbetongen uppvisar en relativt liten konsistensförlust, vilket indikerar stabil arbetbarhet över tid. För betong med återvunnen ballast ses däremot en tydligare konsistenstapp, och denna ökar generellt med högre inblandningsgrad av återvunnet material. Särskilt vid höga andelar (75–100 %) återvunnen ballast är konsistensförlusten markant, vilket tyder på att betongen snabbt blir styvare. Detta kan förklaras av den återvunna ballastens högre vattenabsorption, där vatten successivt binds i materialet och därmed minskar den fria vattenmängden i betongen. Sammanfattningsvis visar resultaten för konsistensförändring över tid att:

- Alla recept tappar konsistens över tid,
- Referensbetongen har mest stabil konsistens,
- Ökad andel återvunnen ballast ger större och snabbare konsistenstapp.

Detta understryker behovet av anpassning av recept, exempelvis genom justering av vattenhalt eller tillsatsmedel, för att säkerställa tillräcklig arbetbarhet under transport och gjutning.

5.1.6 Färskbetong - flow table test

Flow table-testet, se Figur 18, har genomförts för att bestämma betongens utbredning (flyt) vid olika tidpunkter efter blandning. Mätningar utfördes vid 3, 30 och 60 minuter för att följa förändringen i arbetbarhet över tid. I studien har betongrecept med återvunnen ballast från Ale och Olunda undersökts vid olika inblandningsnivåer. Därutöver har ett recept med cirka 33 % återvunnen ballast (Åbb 33 %) inkluderats, vilket valts ut då dess kornstorleksfördelning ligger närmast referensmaterialet. Som referens används ett betongrecept med 100 % jungfrulig ballast från Vällsta.



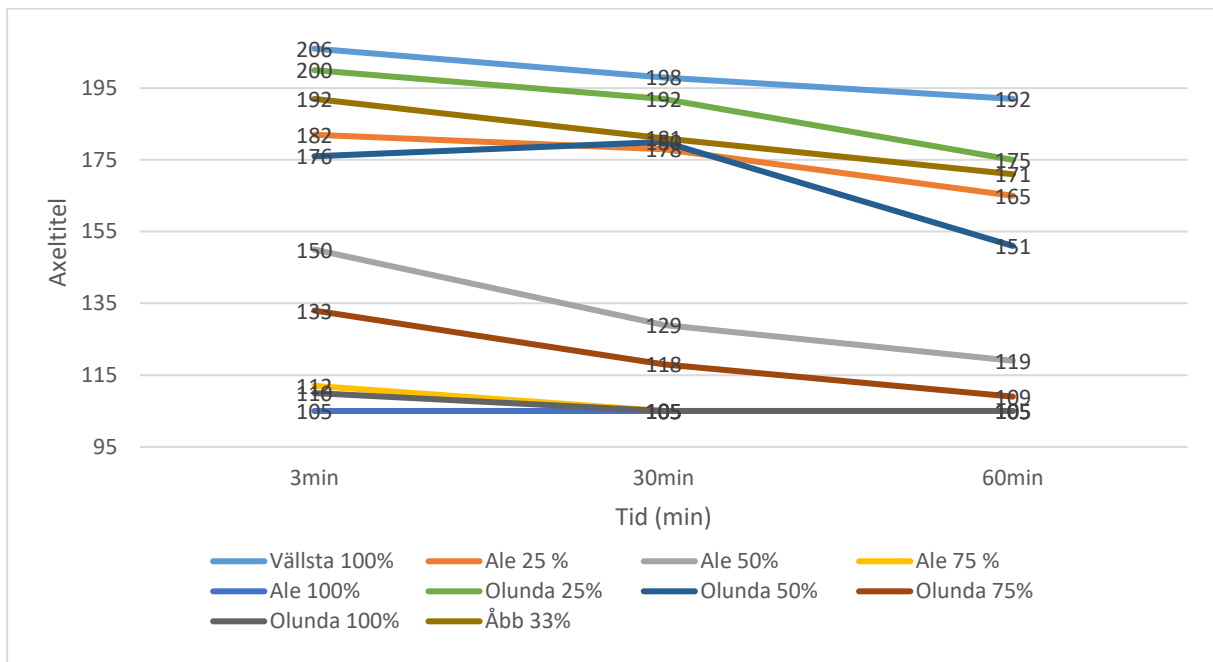
Figur 18 Flow table test-mätning

Resultaten från flow table-testet visar att referensbetongen (100 % Vällsta) uppvisar hög och stabil utbredning över tid, med en begränsad minskning mellan 3 och 60 minuter, se Tabell 8.

Tabell 8. Resultat Flow table test

Ballastkombination	3 min	30 min	60 min
Vällsta 100 %	206	198	192
Ale 25 %	182	178	165
Ale 50 %	150	129	119
Ale 75 %	112	105	105
Ale 100 %	105	105	105
Olunda 25 %	200	192	175
Olunda 50 %	176	180	151
Olunda 75 %	133	118	109
Olunda 100 %	110	105	105
Åbb 33 %	192	181	171

Resultaten visar att flytspridningen minskar med ökande andel återvunnen ballast. Referensmaterialet (Vällsta 100 %) uppvisar högst och mest stabil konsistens, medan blandningar med högre andel återvunnet material, särskilt från Ale, ger lägre initial flytspridning och större konsistensförlust. Vid högre nivåer av inblandad returbetong (75–100 %) är utbredningen låg redan vid 3 minuter och förändras i mindre grad över tid, vilket indikerar en styv och trög betong. se Figur 19. Skillnaderna mellan materialen kan främst förklaras av den återvunna ballastens högre vattenabsorption och porositet, vilket leder till att mer vatten binds i materialet och därmed försämrar arbetsbarheten. Variationer mellan Ale och Olunda tyder även på att ursprungsmaterial och krossningsprocessen påverkar betongens färska egenskaper.



Figur 19 Flow tabel test, Konsistensförändring över tid

5.2 Fallstudie

Provtagning genomfördes i december 2024 (Figur 20).



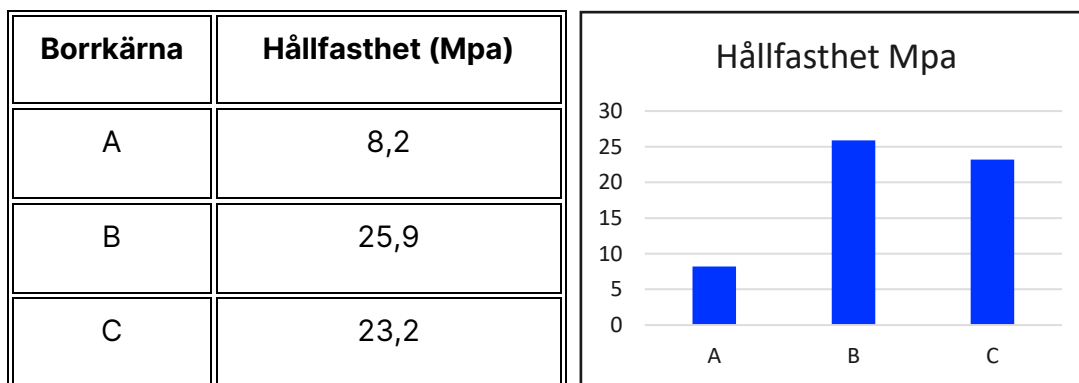
Figur 20 Betongfabrik Betongplatta med 100% återvunnet ballast

Vid provtagningen borrades tre cylindrar (A–C) ur den befintliga betongplattan för analys av tryckhållfasthet samt bestämning av karbonatiseringsdjup. Undersökningen syftade till att bedöma betongens långtidsegenskaper efter cirka fyra års exponering i fält. Karbonatiseringsdjupet bestämdes genom spräckning av borrhärdor och applicering av fenolftaleinindikator (Tabell 9). Den maximalt uppmätta karbonatiseringen uppgick till 9 mm, medan det genomsnittliga karbonatiseringsdjupet uppgick till 4 mm. Detta indikerar en begränsad karbonatiseringsfront och att betongen fortfarande har ett gott skydd mot armeringskorrosion

Tabell 9 Karbonatiseringsdjup

Prov	d max (mm)	d medel (mm)
A	9	4

Tryckhållfastheten uppvisade variation mellan de analyserade borrhärdorna; A, B och C, som framgår av Figur 21. Prov A uppvisade en lägre hållfasthet (8,2 MPa), medan prov B och C uppvisade betydligt högre värden på 25,9 MPa respektive 23,2 MPa. De högre värdena bedöms vara representativa för betongens generella hållfasthetsnivå, medan det lägre värdet sannolikt kan förklaras av lokala variationer, exempelvis porositet, sprickbildning eller provtagningspåverkan.

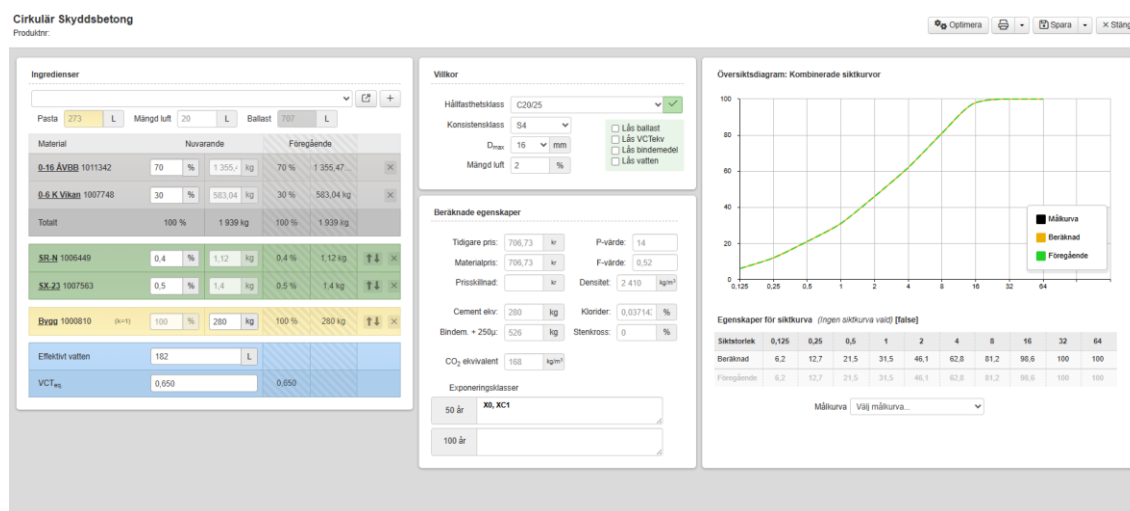


Figur 21 Hållfasthetsutveckling av betongplatta med 100% återvunnet betongballast

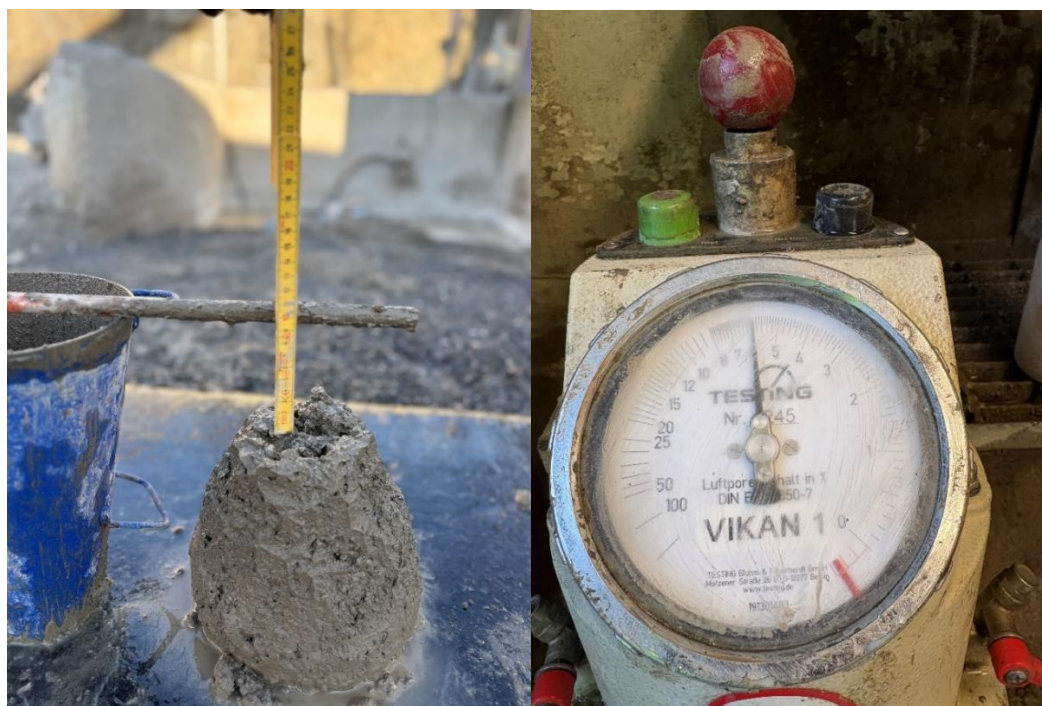
Sammantaget indikerar resultaten att betongen, trots 100 % cirkulär ballast, uppvisar god funktion efter flera års bruk. Karbonatiseringsdjupet är begränsat och hållfastheten ligger i huvudsak på en nivå som är typisk för konstruktionsbetong. Resultaten tyder därmed på att användning av cirkulär ballast i detta fall inte har haft någon avgörande negativ påverkan på betongens långtidsegenskaper.

5.3 Fältmätning färsk betong

Fältförsöket genomfördes med ett betongrecept innehållande cirka 70 % cirkulär ballast, se Figur 22. Den totala tillverkade volymen uppgick till cirka 2,5 m³. Betongen proportionerades med ett vattencementtal (vct) på 0,65 och en ballastfördelning bestående av cirka 70 % Återvunnet betongballast (0–16) och 30 % sten (grovfraction). För att uppnå önskad arbetbarhet tillsattes flytmedel motsvarande cirka 1 % av cementvikten. Under försöket genomfördes mätningar av betongens färska egenskaper vid flera tidpunkter efter blandning (Figur 23).



Figur 22 Betongfabriks recept med 70% återvunnet betong ballast 0–16



Figur 23 Vikans betongfabrik fältmätning

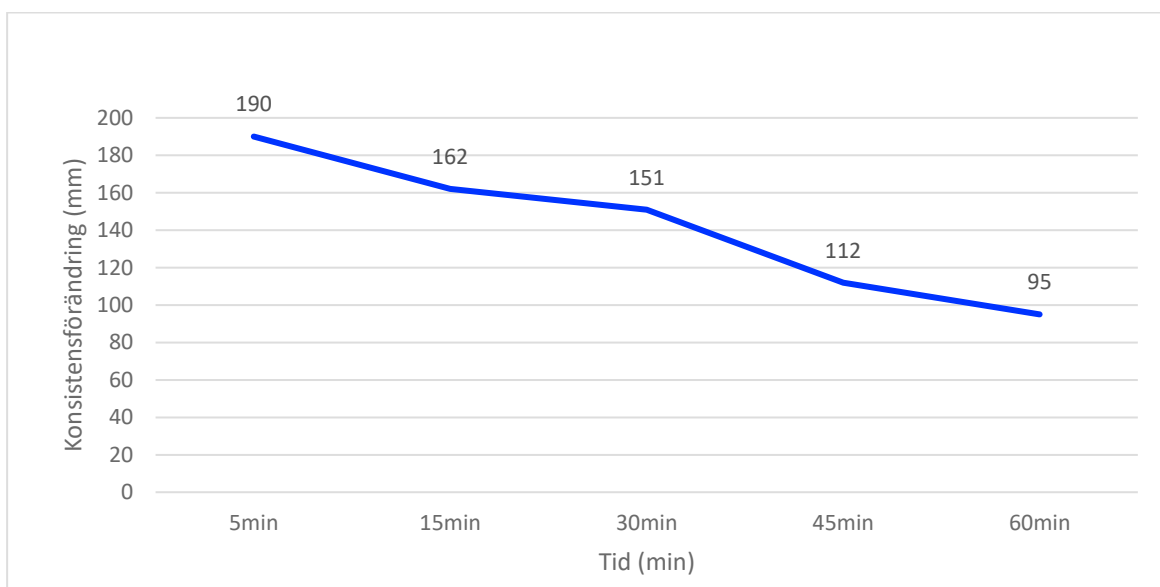
Konsistensen bestämdes genom sättmått (slump), och luftinnehållet bestämdes med tryckmetoden enligt SS-EN 12350-7. Mätningarna utfördes vid 5, 15, 30, 45 och 60 minuter för att följa förändringen över tid. Utöver mätningar på färsk betong tillverkades även tryckprovkroppar (kuber) för bestämning av tryckhållfasthet vid 7 respektive 28 dygn.

Syftet med försöket var att utvärdera hur en hög andel cirkulär ballast påverkar betongens arbetbarhet och egenskaper i färskt tillstånd samt att verifiera hållfasthetsutvecklingen. Resultaten, se Tabell 10, från fältprovningen visar att luftinnehållet initialt ökar från 4,4 % till cirka 6,0 % efter 30 minuter, varefter det stabiliseras kring 5,8 %. Detta indikerar att betongen fortsätter att utveckla luftstruktur under den första tiden efter blandning, vilket är i linje med tidigare observationer för betong med cirkulär ballast.

Tabell 10 Samlat resultat av fältmätning i Vikans betongfabrik

Parameter	5 min	15 min	30 min	45 min	60 min
Luft (%)	4,40	5,80	6,00	5,80	5,80
Konsistens (mm)	190	162	151	112	95
Konsistensklass	S4	S4	S4	S3	S2

Konsistensmätningarna visar en successiv minskning över tid (Figur 24).



Figur 24 Konsistensförändring över tid för recept med 70% återvunnet (0-16) betongballast

Från ett initialt sättmått på 190 mm (klass S4) minskar konsistensen till 151 mm efter 30 minuter, vilket fortfarande motsvarar klass S4. Efter 45 minuter sker en tydligare minskning till 112 mm (S3), och efter 60 minuter uppmäts 95 mm (S2). Den mest påtagliga förändringen sker mellan 30 och 45 minuter, vilket indikerar att konsistenstappet accelererar efter en viss tid. Detta beteende kan kopplas till den återvunna ballastens vattenabsorption, där vatten successivt binds upp i materialets porstruktur.

6 Analys

Inom föreliggande analyskapitel beaktas hur inblandning av cirkulär betong har påverkan på följande samband som beskrivs i följande delkapitel:

- Kornstorleksfördelning, vattenabsorption och densitet
- Konsistens och arbetsbarhet
- Tryckhållfasthet

6.1 Kornstorleksfördelning, vattenabsorption och densitet

Särskilt finfraktionen 0–4 mm från Ale och Olunda visar bred spridning och en hög andel mycket fina partiklar (<0,25 mm). Skillnaderna kan förklaras av:

- varierande mängd cementpastarester i finmaterialdelen
- krossningsteknikens inverkan på kornform
- variation i ursprungsbetongens kvalitet
- olika lagrings- och fuktförhållanden

Den stora skillnaden mellan vattenabsorptionen för jungfruligt och krossad betong kan härledas till:

- kvarvarande cementpasta på krossytorna som ökar porositeten
- skillnader i ursprungsbetongens kvalitet (vatten-cement-tal samt ballasttyp)
- lagringsförhållanden och fukthalt före provning.

Framför allt finfraktionerna (0–4 mm) uppvisar högre vattenabsorption på grund av större specifik yta och högre andel porösa partiklar på grund av högre andel finmaterial och inslag av gammal cementpasta. Detta är en central förklaring till dess höga vattenabsorption och kommer ha en påverkan på den färska betongens egenskaper. Den återvunna betongen har lägre densitet än jungfruligt bergtäktsmaterial, vilket är förväntat då återvunnen betong innehåller:

- rester av cementpasta,
- högre porositet,
- mikroskador från krossningen.

Den lägre densiteten hos återvunnet 0–4-material innebär i praktiken:

- Högre vattenabsorption → påverkar VCT och kräver vattenjustering.
- Lägre packningstäthet → risk för ökad luft och lägre densitet i färsk betong.

- Påverkan på hållfasthet → risk för lägre 28-dygnsvärden om inte proportioneringen justeras.

Detta stämmer väl med tidigare studier som pekar ut finfraktionen (0–4 mm) som den mest kritiska vid användning av återvunnen ballast i konstruktionsbetong. Resultaten från både vattenabsorption och densitet visar ett tydligt samband:

- hög vattenabsorption motsvaras generellt av låg densitet
- detta bekräftar att de återvunna materialen innehåller mer porösa partiklar och cementpastarester än den jungfruliga bergkrossen.

Sammanfattning av kopplingen mellan kornstorleksfördelning, vattenabsorption och densitet visar att:

- Jungfrulig ballast uppvisar stabila egenskaper med låg vattenabsorption och hög densitet.
- De cirkulära materialen visar betydligt större variationer, vilket kräver noggrann fuktkontroll och justering av vattentillsats vid betongtillverkning.
- De observerade skillnaderna mellan olika källor (Ale, Olunda, Nykrossade betongkuber) belyser vikten av individuell karakterisering av återvunna material inför användning i produktion.
- Resultaten understryker behovet av anpassade blandningsrecept och rutiner för kvalitetskontroll vid implementering av cirkulära ballastmaterial i ny betong.

6.2 Konsistens och arbetbarhet

Konsistens och arbetbarhet undersöktes genom sättmått och Flow Table Test. Resultaten visar att ökande andel återvunnen ballast medför:

- minskad och mer tidsberoendekonsistens
- För betong med återvunnen ballast från Ale ses en tydlig minskning i flytbenägenhet enligt Flow Table Test med ökande inblandningsgrad av återvunnen betongkross. Vid högre nivåer (75–100 %) är utbredningen låg redan vid 3 minuter och förändras i mindre grad över tid, vilket indikerar en styv och trög betong. Detta kan kopplas till materialets högre vattenabsorption samt kornstorleksfördelning. Analys av kornkurvorna visar att Ale-materialet innehåller en större andel finmaterial jämfört med övriga ballasttyper. Den ökade finandelen medför en större specifik yta, vilket i sin tur ökar vattenbehovet och bidrar till den lägre flytbarheten och snabbare konsistenstappet.
- Betong med ballast från Olunda uppvisar generellt högre flytvärden enligt Flow Table testet vid motsvarande inblandningsnivåer, vilket indikerar bättre arbetbarhet. Detta kan förklaras av en mer gynnsam kornstorleksfördelning samt något lägre finandel jämfört med Ale.

- Receptet med cirka 35 % återvunnen ballast (Åbb 35 %) visar värden nära referensbetongen, både avseende initialt flyt och förändring över tid. Detta tyder på att en optimerad kornkurva, som efterliknar den jungfruliga ballastens fördelning, har stor betydelse för att bibehålla god arbetbarhet.
- Luftinnehållet påverkas i hög grad av betongens arbetbarhet och vattencementtal. Skillnaden är mindre vid låga till medelhöga inblandningsnivåer.
- Högre inblandning av cirkulär betong kräver större anpassning av recept (vct, tillsatsmedel).
- Hållfasthetstillväxten över tid är fortsatt god för betong med återvunnen ballast, men utgår från en lägre initial nivå jämfört med referensbetongen (Vällsta 100 %), vilket innebär att slutlig hållfasthet generellt blir något lägre.
- Hög finandel (som i Ale-materialet) ger ökat vattenbehov och sämre arbetbarhet.
- Kornstorleksfördelningen har stor betydelse för betongens egenskaper.
- En optimerad kornkurva för material innehållande cirkulär betong kan ge egenskaper nära ett jungfruligt material (referensbetongen / Vällsta).

Fullskaletestet vid betongstation visar att betong med cirka 70 % cirkulär ballast har ett tydligt och tidsberoende konsistenstapp, samtidigt som luftinnehållet stabiliseras på en något högre nivå än initialt. Resultaten indikerar att betongen har god initial arbetbarhet, men att denna avtar markant efter cirka 30–45 minuter. Detta innebär att betongen är känslig för längre transport- och hanteringstider. För praktisk tillämpning krävs därför anpassning av betongrecept och produktion, exempelvis genom optimering av flytmedel, kontroll av ballastens fukttillstånd samt planering av transport och gjutning.

Sammanfattningsvis visar resultaten att det är möjligt att använda en hög andel cirkulär ballast i fabriksblandad betong, men att detta medför ökade krav på styrning av betongens färskas egenskaper över tid.

6.3 Tryckhållfasthet

Resultaten från mätningar av tryckhållfasthet visar att ökande andel återvunnen ballast medför en viss reduktion i hållfasthet. Resultaten visar emellertid att det är möjligt att uppnå tekniskt acceptabla hållfastheter även vid hög andel cirkulär ballast, men att detta kräver noggrann kontroll av materialegenskaper och proportionering. Dessa resultat understryker vikten av att anpassa både vattenmängd och tillsatsmedel vid användning av återvunnen ballast för att säkerställa önskade egenskaper i färsk och hårdnad betong.

Vid lägre inblandningsnivåer ($\approx 25\text{--}50\%$) är skillnaden mot referensbetongen relativt begränsad, och hållfasthetsutvecklingen följer en liknande trend mellan 7 och 28 dygn. Detta indikerar att återvunnen ballast i dessa nivåer kan användas utan större påverkan på hållfasthet, förutsatt att receptet är anpassat. Vid högre inblandningsnivåer ($\geq 75\%$) ses en tydligare reduktion i både tidig hållfasthet (7 dygn) och slutlig hållfasthet (28 dygn). Trots detta visar resultaten att hållfasthetstillväxten mellan 7 och 28 dygn i många fall är god, vilket tyder på att hydratiseringen fortgår och att strukturen fortsätter att utvecklas över tid. I vissa fall kan den återvunna ballastens interna fukt bidra till en viss intern eftervattning ("internal curing"), vilket kan ha en positiv effekt på hållfasthetsutvecklingen. Provresultaten från borrhärnor uppborrade ur betongplatta med 100% cirkulär betong indikerar att betongen, trots 100 % cirkulär ballast, uppvisar god funktion efter flera års bruk.

Hållfastheten ligger i huvudsak på en nivå som är typisk för konstruktionsbetong. Resultaten tyder därmed på att användning av cirkulär ballast i detta fall inte har haft någon avgörande negativ påverkan på betongens långtidsegenskaper.

7 Diskussion

Föreliggande studie har som målsättning att kunna ge råd och rekommendationer för hur den krossade betongens finandel (0–4 mm) ska hanteras för att bibehålla den färska betongens egenskaper. Därutöver är målsättningen att möjliggöra för byggtreprenörerna att kunna öka cirkulariteten av återvunnet material och möta innovativa upphandlingsformer där grad av återvinning och klimatdeklarationer används i bedömningen.

Resultaten visar på att upphandling framstår som ett centralt styrmedel för att möjliggöra cirkulär betong, där tydliga krav kan driva utvecklingen bort från linjära materialflöden. Fallet Kaj 16 visar att högt ställda krav, kombinerat med tidig dialog mellan beställare och entreprenör, skapar praktiska förutsättningar för ökad återanvändning. Genom att premiera minimering av deponi och hög återvinningsgrad i upphandlingen förskjuts fokus från avfall till resurs. Drivkrafterna bakom cirkulär betong är starkt kopplade till klimatmål, resurseffektivitet och minskat uttag av jungfruliga material. EU-taxonomin och miljöcertifieringssystem bidrar till att göra cirkulära lösningar ekonomiskt och strategiskt attraktiva. LCA och EPD:er ger dessutom beslutsunderlag som synliggör klimatnyttan av återvunnen ballast. Även om ballast utgör huvuddelen av betong (70%) är det emellertid tydligt att det cement som helt klart har den största klimatpåverkan (ca 90%). Att kunna nyttja cirkulär betong i betong endast en mindre skillnad vad det gäller klimatpåverkan utifrån dagens beräkningar. Det finns dock förhoppning om att i framtida klimatdeklarationer tillgodogöra sig rivningsbetongens karbonatiseringspotential som kolsänka. Att kunna nyttja cirkulär betong i betong, skapar möjlighet att sluta loopen och återcirkulera materialet och därmed skapa förutsättningar för ett cirkulärt och resurseffektivt samhälle.

Kornstorleksfördelningen har visat sig ha en avgörande betydelse för både färsk och hårdnad betongs egenskaper, särskilt vid användning av återvunnen betong som ballast. Resultaten från föreliggande undersökning visar tydligt att finfraktionen (0–4 mm) av återvunnen betong uppvisar en bredare och mer oregelbunden kornkurva jämfört med jungfrulig bergkross, med en högre andel mycket fina partiklar (<0,25mm). Denna ökade finhalt leder till större specifik yta, vilket i sin tur medför ökat vattenbehov, högre vattenabsorption och mer uttalat konsistenstapp över tid i den färska betongen.

Laboratorieresultaten visar att ballast med ogynnsam kornstorleksfördelning, såsom Ale-materialet, ger lägre flytbarhet och snabbare förlust av arbetbarhet vid både slump och flow table-provning. Betongrecept med bättre optimerad kornkurva, exempelvis Olunda-materialet och receptet med cirka 35% återvunnen ballast, vars kornfördelning låg nära referensmaterialet, uppvisade däremot betydligt stabilare färskegenskaper. Detta indikerar att kornstorleksfördelningen kan vara mer avgörande för

arbetsbarheten än den totala ersättningsgraden av återvunnen ballast i sig, förutsatt att vatten och tillsatsmedel anpassas.

Sambandet mellan kornstorleksfördelning, vattenabsorption och hållfasthet framträder även i hållfasthetsresultaten. Betong med hög andel finmaterial och låg densitet uppvisade generellt reducerad 7- och 28-dygnshållfasthet, särskilt vid ersättningsnivåer över 50–75 %. Detta överensstämmer med tidigare nationella studier, där Karlsson och Taube Johansson (2018) samt Helsing et al. (2023) påvisar att ökade mängder fin återvunnen ballast kräver omfattande receptjusteringar för att begränsa negativ påverkan på hållfasthet. Samtidigt visar både föreliggande försök och internationella studier (Rogers et al., 2016; Nedeljkovic et al., 2021) att en välgraderad finfraktion kan bidra med fillereffekt och i vissa fall motverka hållfasthetsförlust, särskilt vid måttliga ersättningsnivåer.

Internationell forskning bekräftar även att finandelen är den mest kritiska fraktionen vid användning av återvunnen betong som ballast. Pak och Saleh (2018) samt Logani och Golmami (2024) pekar på att variationer i kornstorleksfördelning och kvarvarande cementpasta i finfraktionen är centrala orsaker till försämrad arbetsbarhet, ökad luftinblandning och högre vattenbehov. Resultaten från detta projekt ligger väl i linje med dessa slutsatser och visar dessutom att variationen mellan olika källor av återvunnen betong är betydande.

Sammanfattningsvis visar diskussionen att kornstorleksfördelningen, och i synnerhet kontrollen av finfraktionen 0–4 mm, är en nyckelfaktor för att möjliggöra ökad cirkularitet i betong. Därmed kan följande rekommendationer ges:

- Högt ställda krav kombinerat med tidig dialog mellan beställare och entreprenör, skapar praktiska förutsättningar för ökad återanvändning.
- Skapa förutsättningar i framtida klimatdeklarationer (EPD) att ta med rivningsbetongens karbonatiseringspotential som kolsänka.
- Återvunnen ballast uppvisar betydligt högre och mer varierande vattenabsorption än jungfrulig ballast. Noggrann kontroll av vattenabsorption och fukthalt bör alltid genomföras innan produktion.
- Kornstorleksfördelningen bör optimeras och följas upp kontinuerligt. Variationer i finandel och partiklarnas form påverkar packningsgrad, luftinnehåll och konsistens i färsk betong.
- Vid högre inblandningsnivåer av återvunnen ballast krävs anpassade betongrecept och en välplanerad gjutningsprocess. Betong med hög andel återvunnet material kan ha snabbare konsistensförlust och större känslighet för transporttid och hantering. Det är därför viktigt att planera produktion, transport och gjutning så att betongen används inom rätt tidsfönster.

8 Slutsatser

Utifrån projektets syfte och mål så kan följande slutsatser dras:

- Resultaten visar att finfraktionen har en avgörande inverkan på betongens arbetbarhet, luftinnehåll och hållfasthet. Detta beror främst på att den krossade betongens finfraktionen har hög vattenabsorption och porositet.
- Utifrån studien har ett antal praktiska rekommendationer identifierats för entreprenörer och betongtillverkare. Dessa omfattar behovet av noggrann kontroll av ballastens fuktillstånd och vattenabsorption, anpassning av betongrecept (bland annat vattenmängd och tillsatsmedel) samt optimering av kornstorleksfördelningen. Vidare är kontinuerlig provning och kvalitetssäkring av det återvunna materialet en förutsättning för att uppnå stabila och förutsägbara egenskaper i betongen.
- Målet med projektet har varit att möjliggöra för byggentreprenörer att öka cirkulariteten i betongproduktion och därmed minska behovet av jungfruliga material. Resultaten visar att detta är tekniskt genomförbart, särskilt vid måttliga inblandningsnivåer, förutsatt att materialegenskaperna beaktas och att produktionsprocessen anpassas. Projektresultaten visar på att det är möjligt att tillsätta upp till 35% krossad betong i sortering 0/4 utan att egenskaperna skiljer sig från referensbetongen.
- Projektet visar även att upphandlingskrav och tidig samverkan mellan beställare, entreprenör och leverantör är avgörande för att möjliggöra en hög grad av återvinning. Genom att integrera cirkularitetsmål i upphandlingen och arbeta strukturerat i tidiga skeden skapas förutsättningar för att implementera cirkulära materialflöden i praktiken.
- Sammantaget bidrar projektet med ett kunskapsunderlag som stärker branschens möjligheter att använda återvunnen betong som ballast och därigenom möta framtida krav kopplade till klimatpåverkan, resurseffektivitet och hållbart byggande.

9 Fortsatta studier

Utifrån resultaten och slutsatserna i denna etapp av projektet identifieras ett fortsatt behov av fördjupade studier för att möjliggöra en ökad och mer robust användning av återvunnen betong som ballast i ny betong.

En central frågeställning är utveckling och standardisering av metoder för bestämning av vattenabsorption hos återvunnen ballast, där resultaten i detta projekt visat på stor variation mellan olika material och fraktioner. För att säkerställa tillförlitliga indata till betongrecept krävs vidare metodutveckling och jämförelse mellan olika provningsmetoder.

Vidare finns behov av att studera optimering av tillsatsmedel och deras kombinationer, i syfte att förbättra arbetbarhet samt minska oönskad luftinblandning vid högre inblandningsnivåer av återvunnen ballast.

Krossningsprocessens inverkan på materialets egenskaper bör också undersökas vidare, särskilt med avseende på att reducera mängden finmaterial (0–4 mm) och förbättra kornform samt materialkvalitet.

Ytterligare studier rekommenderas kring hantering och lagring av återvunnen ballast, där fukttillstånd och förvattning har visat sig vara avgörande parametrar för att uppnå stabila egenskaper i färsk betong.

Slutligen finns potential att undersöka kombinationer av återvunnen betong med andra restprodukter eller alternativa bindemedel, i syfte att ytterligare öka cirkulariteten och minska klimatpåverkan från betongproduktion.

10 Litteraturförteckning

[Boverket \(2026\): Boverkets klimatdatabas \(version 02.07.000\).](https://klimatdatabasen.boverket.se/detaljer/6/6000000036)

<https://klimatdatabasen.boverket.se/detaljer/6/6000000036> Hämtad 2026-05-05

Carro-Lopez D., Fernandez I., Gil Berrocal C., Eiras-Lopez J., 2024: Bond Behaviour of concrete with fin recycled aggregate.

EN 15804+A2 version 2.0.1, 2025: Construction products; Infrastructure & buildings. EPD International.

Fossilfritt Sverige, 2018: Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft betongbranschen.

Harale, N., Sadagopan, M., Nagy, A., Frederiksson, A., Bäckstrand, J., & Janne, M. 2025: Recycled Concrete in Sweden - Techniques Advances and Material Flows for a Circular Economy (Publicering in Nordic Concrete Research, 2025)

Helsing E., Brander L., Döse M., Gabrielsson I., Lindström C., 2023: BESTÅR – Beständig betong med återvunnen ballast. RISE Rapport: 2023:121.

Kareem A., Kumar Sahoo D., Ramdass S., 2025: Recycled concrete fine aggregate: a sustainable substitute for river sand in fresh concrete. Technical Paper, Volume 10, article number 272, Springer Nature.

Karlsson T. & Taube Johansson J., 2018: Återvinning av restbetong från fabrikstillverkning i ny betong. Examensarbete Högskoleingenjörsutbildning i byggt teknik, Byggingenjör, Högskolan i Borås, rapportnummer 2018.01.02.

Knutsson A., 1996: Betong av återvunnen betong. SBUF-projekt 5048.

Logani I.S, Golmami H., 2024: Återvinning av betong som ballast i anläggningssektorn – Från avfall till resurs. Examensarbete inom Byggt teknik och Design, KTH, Stockholm.

Nagy A., Harale N., Sadagopan M., 2025: Återvinning av betong i cirkulär ballast och cirkulär klimatreducerad betong. Högskolan i Borås.

Nedeljkovic M., Visser J., Savija B., Valcke S., Schlangen E., 2021: Use of fin recycled concrete aggregates in concrete: A critical review. Journal of Building Engineering, Volume 38, June 2021, 102196, Elsevier.

Pak A. & Saleh R., 2018: Krossad betong som ballast i självkompakterande betong – Experimentell studie om tryckhållfasthet och arbetbarhet. Examensarbete Högskoleingenjörsutbildning i byggt teknik, Byggingenjör, Högskolan i Borås, rapportnummer 2018.01.04.

Onyelowe, K., Ebid, A., Riofrio, A. Soleymani A., Baykara H. Kontoni D-P N., Mahdi H. A. och Jahangir H., 2022: Global warming potential-based life cycle assessment and optimization of the compressive strength of fly ash-silica fume concrete; environmental impact consideration. Built Environ., Sec. Construction Materials, Volume 8 - 2022

SS-EN 206:2013 Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse. Svenska institutet för standarder, SIS

SS 137003:2021+T2:2025 Betong — Användning av SS-EN 206:2013+A2:2021 i Sverige. Svenska institutet för standarder, SIS

SS-EN 15978:2011 Riktlinjer och beräkningsmetoder för LCA. Svenska institutet för standarder, SIS

SS-EN 12620 SS-EN 12620+A1:2008. Aggregates for concrete- Svenska institutet för standarder, SIS, 2008.

SS-EN 1097-6:2022 Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption. Svenska institutet för standarder, SIS

SS-EN 933-1:2012 Ballast – Geometriska egenskaper – Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning. Svenska institutet för standarder, SIS

Sadagopan M., 2021: Recycling of concrete in new structural concrete. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. University of Borås, Skrifter från Högskolan i Borås, nr. 117.

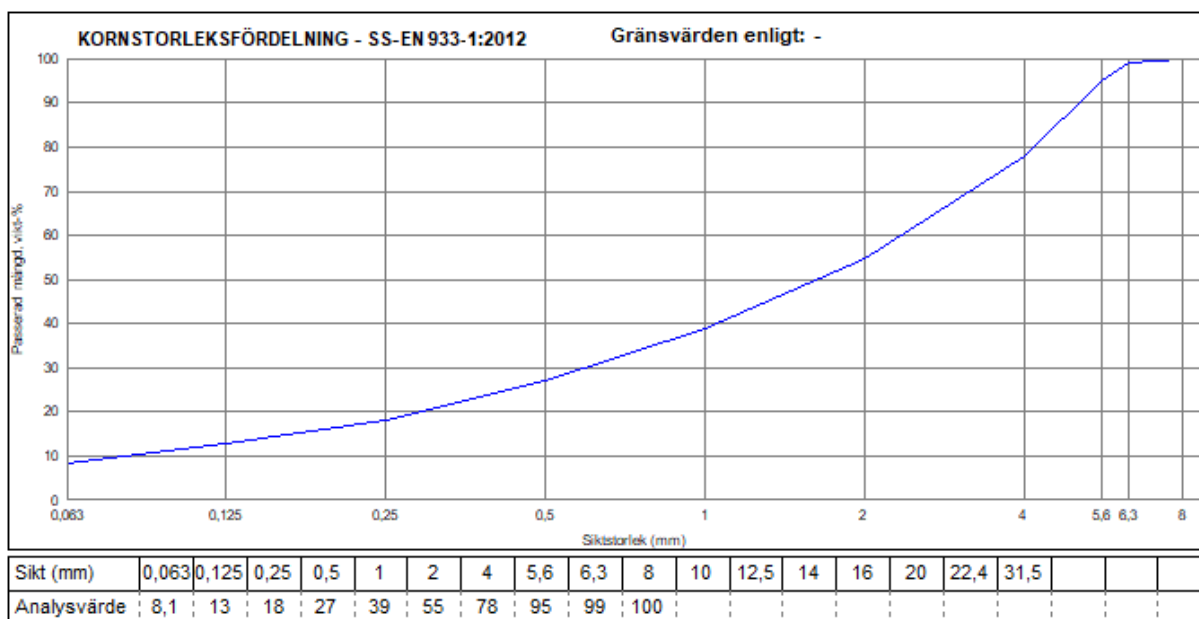
Samuelsson E., Janmar L., Viklund C., Welling S., Franzén U., 2023: Klimatreducerad betong – miljöpåverkan i ett slutskede. SBUF-projekt 14032

Rahman A.& Ali H., 2018: Återvunnen betong som ballast i ny betong. Examensarbete Högskoleingenjörsutbildning i byggt teknik, Byggingenjör, Högskolan i Borås, rapportnummer 2018.01.01.

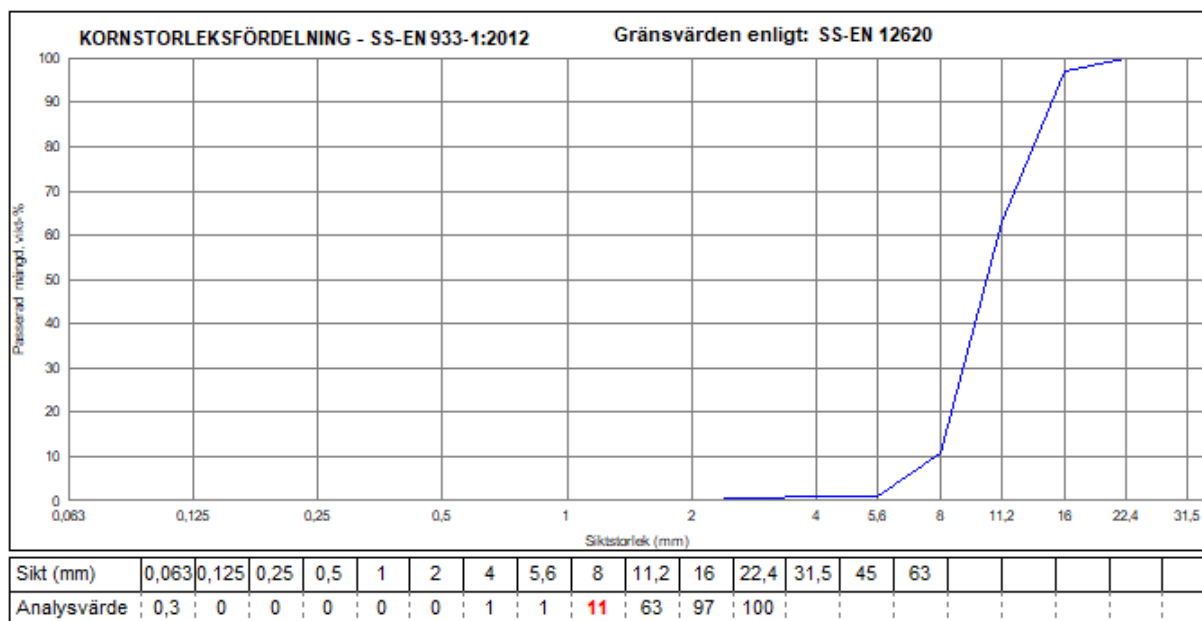
Rogers P., Fridh K., Gram H-E., Westerholm M., 2016: High Quality Reclaimed Concrete Aggregates for New Concrete – Återvunnen betong som ballast i ny betong. SBUF-Projekt 12771.

Bilaga 1: Kornkurvor

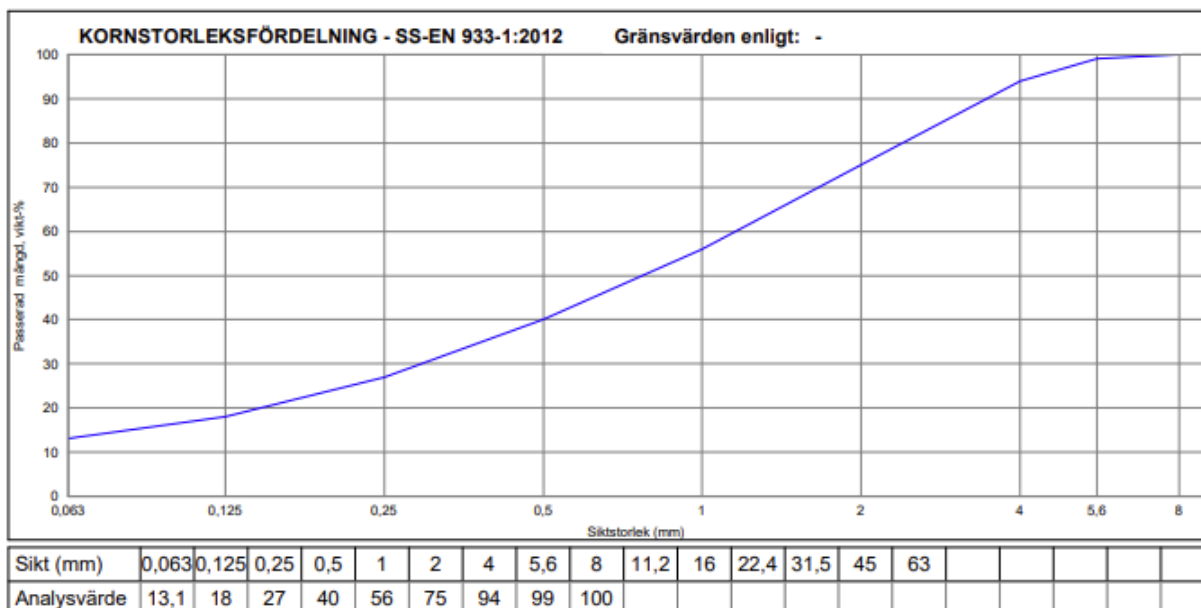
Kornstorleksfördelningen 0-6K Vällsta



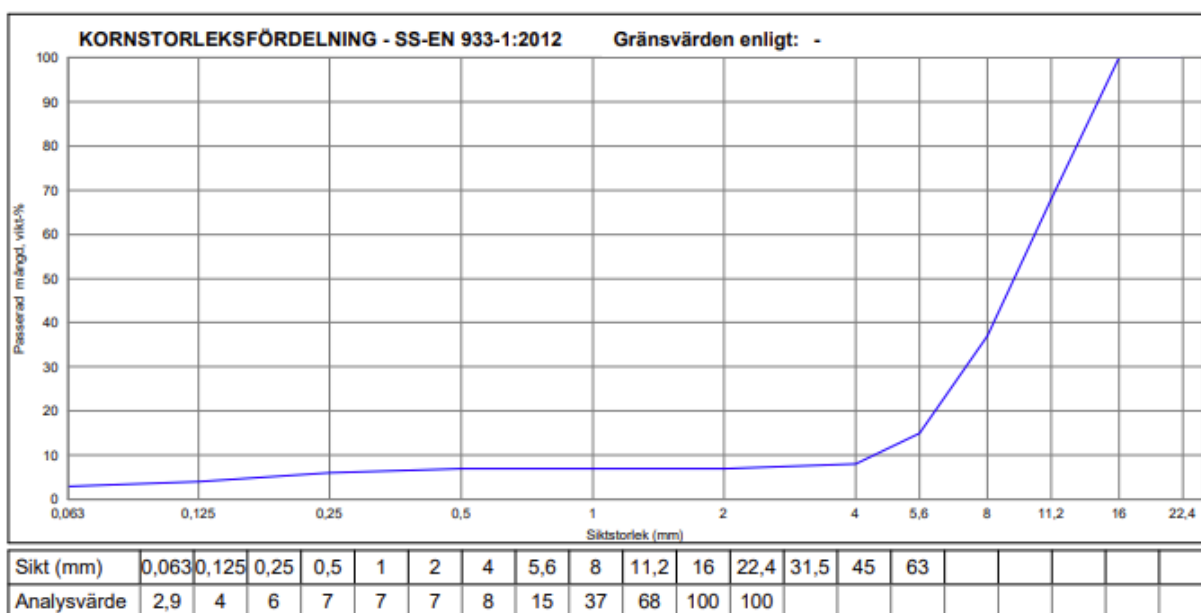
Kornstorleksfördelningen 8-16K Vällsta



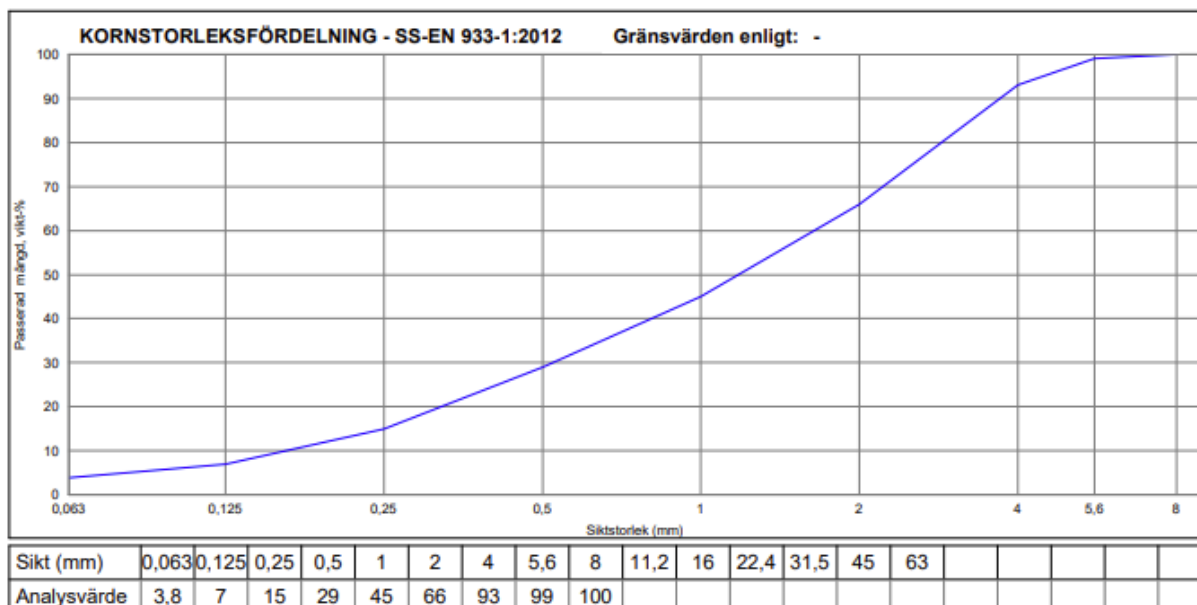
Kornstorleksfördelningen 0–4K Ale



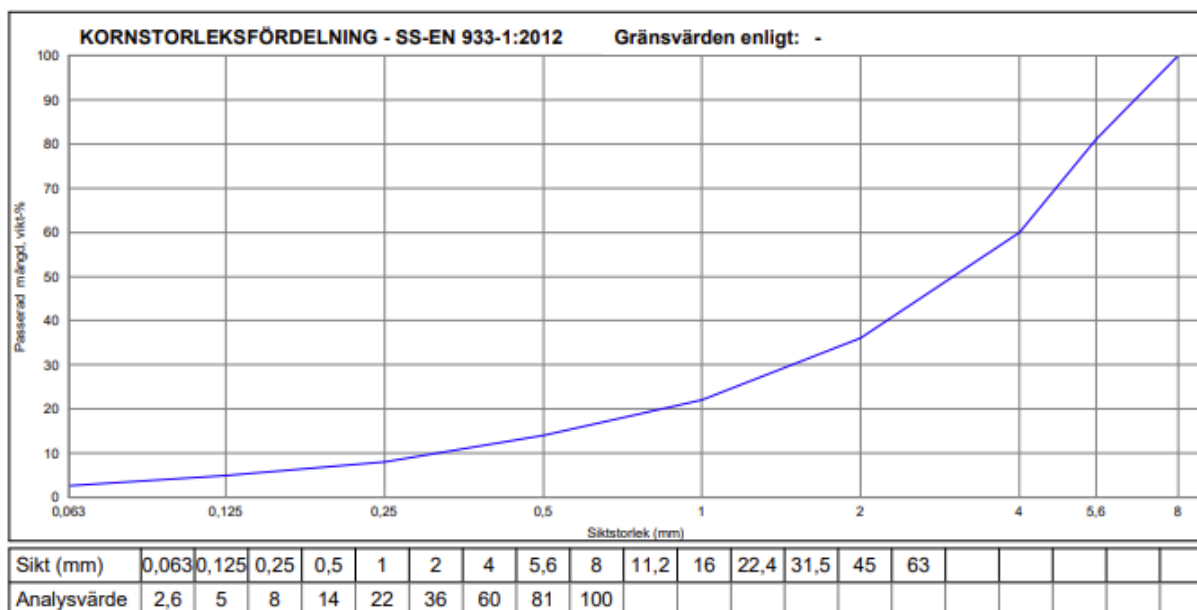
Kornstorleksfördelningen 4–16K Ale



Kornstorleksfördelningen 0-4K Olunda



Kornstorleksfördelningen 0-4K Nykrossat betong



Bilaga 2 Hållfasthetsutveckling

Hållfasthetsutveckling men olika inblandningsgrad av återvunnet ballast

Material / Inblandning	7 dygn (MPa)	28 dygn (MPa)
Ref. 100 % Vällsta	36,4	37,9
Ale 25 %	28,3	35,8
Ale 50 %	26,3	29,1
Ale 75 %	18,0	25,2
Ale 100 %	17,2	18,3
Olunda 25 %	34,9	45,1
Olunda 50 %	33,9	41,8
Olunda 75 %	27,4	17,5
Olunda 100 %	17,2	19,8
Labb k.b. 25 %	36,7	41,5
Labb k.b. 50 %	30,7	36,8
Labb k.b. 75 %	24,3	35,0
Labb k.b. 100 %	22,4	29,9