

# Användning av krävande ballastmaterial vid betongtillverkning

En laborativ utvärdering av absorptionshämmande tillsatsmedel för att möjliggöra användning av glimmerrik bergkross och återvunnen betong som ballast

---

Andreas Andersson & Anna Hagberg

Byggnadsmaterial | LTH | Lunds universitet



# Användning av krävande ballastmaterial vid betongtillverkning

En laborativ utvärdering av absorptionshämmande  
tillsatsmedel för att möjliggöra användning av glimmerrik  
bergkross och återvunnen betong som ballast

Andreas Andersson

Anna Hagberg



**LUND**  
UNIVERSITY

Master Thesis, Report 5130, Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, 2023

Examensarbete, Rapport 5130, Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund, 2023

Användning av krävande ballastmaterial vid betongtillverkning – En laborativ utvärdering av absorptionshämmande tillsatsmedel för att möjliggöra användning av glimmerrik bergkross och återvunnen betong som ballast

Andreas Andersson, Anna Hagberg

Report 5130

ISRN LUTVDG/TVBM-23/5130-SE

Antal sidor/Number of pages: 88

Illustrationer/Illustrations: 45

Sökord

Absorptionshämmare, arbetbarhet, ballast, betong, biotit, glimmer, hållfasthet, kalorimetri, tillsatsmedel, värmeutveckling, återvunnen betong.

Keywords

Absorption inhibitor, admixtures, aggregate, biotite, calorimetry, compressive strength, concrete, heat development, mica, recycled concrete, workability.

© Copyright: Division of Building Materials, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2023

Avdelningen Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2023.

---

Byggnadsmaterial  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[www.byggnadsmaterial.lth.se](http://www.byggnadsmaterial.lth.se)

Division of Building Materials  
Faculty of Engineering  
Lund University  
P.O. Box 118  
SE-221 00 Lund  
Sweden

[www.byggnadsmaterial.lth.se/english](http://www.byggnadsmaterial.lth.se/english)

# Förord

Det här examensarbetet är den avslutande delen på civilingenjörsprogrammet inom Väg- och Vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har skrivits vid avdelningen för Byggnadsmaterial i samarbete med MAPEI AB. Handledare från institutionen var Peter Johansson, biträdande handledare var Sven-Henrik Norman och Niklas Johansson från MAPEI AB. Examinator var Maria Fredriksson vid avdelningen för Byggnadsmaterial.

Vi vill först och främst rikta ett stort tack till Sven-Henrik Norman och Niklas Johansson, som med hjälp av sin stora kompetens inom betong och tillsatsmedel gjort detta examensarbete möjligt och bidragit med ett fantastiskt stöd under arbetets gång. Sedan vill vi även tacka Peter Johansson för hjälp med rapportens akademiska utformning. Utöver detta vill vi tacka Stefan Backe, för all hjälp nere i labbet, och David Wahlbom som hjälpt oss trycka kuber när vi befunnit oss på villorvägar. Slutligen vill vi tacka samtliga vid avdelningen för Byggnadsmaterial för en trevlig tid.

Andreas Andersson & Anna Hagberg

Lund, maj 2023

# Sammanfattning

Detta examensarbete utvärderar ett absorptionshämmande tillsatsmedel för att möjliggöra användningen av krävande ballast vid betongtillverkning. Den huvudsakliga anledningen till att ballasten benämns som krävande är att den har ovanligt hög absorptionsförmåga. Studien undersöker hur betongens egenskaper påverkas av olika halter absorptionshämmande. Dels studerades glimmerrikt bergkrossmaterial, som på grund av sin höga halt glimmermineral har en hög vattenabsorption vilket försämrar betongens arbetbarhet. För att minska transportavstånd och därmed klimatpåverkan är det viktigt att kunna använda närliggande täkter, även om bergmaterialet innehåller glimmermineral. Utöver glimmerkrossen studerades även återvunnen betong som ballast. Återvunnen betong har också en hög vattenabsorption vilket är en av de största utmaningarna för att kunna använda det som ballastmaterial. Då betong sällan hanteras cirkulärt i byggprocessen utan ofta läggs på deponi är den återvunna betongen som ballast en intressant tillämpning för att öka den cirkulära användningen.

Den största delen av arbetet bestod av en laborativ del där den färska betongens egenskaper, såsom sättmått och värmeutveckling, och den hårdnade betongens egenskaper, såsom tryckhållfasthet, utvärderades hos betongen med krävande ballastmaterial och olika halt absorptionshämmande. För den glimmerrika bergkrossen varierades även vattencementtalet, och för återvunnen betong varierades halt återvunnen betong medan vattencementtalet var konstant. En del av arbetet bestod av en teoridel där standarder och krav kring användning av återvunnen betong som ballast utreddes.

Resultatet från studien visade generellt att absorptionshämmande förbättrar arbetbarheten hos betongen. Dock gav absorptionshämmande en svagt retarderande effekt på hårdnandet, vilket syntes både i kalorimetrimätningarna av värmeutveckling och i tryckhållfastheten efter 24 timmar. Efter 28 dygn fanns inga tecken på retardation från absorptionshämmande.

Gällande standard tillåts 5 % av så kallad ballast av restbetong. Om högre halter ska användas, eller så kallad ballast av återvunna rivningsmaterial, ställs krav på provning av ballasten eftersom den måste CE-märkas. Då detta uppfylls finns det möjlighet att använda relativt höga halter av återvunnen betong som ballast, men endast för grovfraktion och för vissa exponeringsklasser. I försöken användes både fin- och grovfraktion och resultaten visade att det är möjligt att överskrida 5 %. Upp till 25 % bedöms som rimligt att användas då absorptionshämmande tillsätts för valt vattencementtal och med både fin- och grovfraktion, medan 40 % bedöms som för mycket.

# Abstract

This master thesis evaluates an absorption-inhibiting admixture to enable the use of demanding aggregate materials in concrete production. This was achieved by investigating how the properties of concrete were affected by different levels of absorption inhibitor. Firstly, mica-rich aggregate material was studied, which, due to its high mica mineral content, has a high water absorption rate that impairs the workability of concrete. In some locations, aggregates need to be transported over long distances. To reduce environmental impact and transportation costs, it is desirable to be able to use nearby quarries, even if the rock material contains mica minerals. In addition to mica aggregate, recycled concrete was also studied as an aggregate. Recycled concrete also has high water absorption, which is one of the biggest challenges in using it as an aggregate material. Since concrete is rarely handled in a circular manner in the construction process and is often disposed of in landfills, using recycled concrete as aggregate is an interesting application to increase its circular utilization.

Most of the work in this project consisted of a laboratory part where fresh properties such as slump and heat development, as well as hardened properties such as compressive strength, were evaluated for concrete with demanding aggregate materials and different concentrations of the absorption inhibitor. For the mica-rich rock aggregate, the water-cement-ratio was varied along with the concentration of the absorption inhibitor. For recycled concrete, the concentration of both the absorption inhibitor and the recycled concrete itself were varied while keeping other variables constant. A theoretical part of the work focused on investigating Swedish standards and requirements related to the use of recycled concrete as aggregates.

The results of the study generally showed that the absorption inhibitor improved the workability of concrete. However, the absorption inhibitor had a slightly retarding effect on the setting, which was evident in both calorimetry measurements of heat development and compressive strength after 24 hours. After 28 days, there were no signs of retardation caused by the absorption inhibitor.

The Swedish standard allows 5% of recycled concrete aggregates. If higher levels, or aggregates made from recycled demolition materials, are to be used, testing of the aggregate is required because it must be CE marked. When this requirement is met, it is possible to use relatively high levels of recycled concrete aggregates, but only for the coarse fraction and certain exposure classes. In the laboratory tests, both the fine and coarse fractions were used, and the experimental results showed that it is possible to exceed the 5% limit. Up to 25% is considered reasonable to use when an absorption inhibitor is added for the chosen water-cement-ratio and with both fine and coarse fraction, while 40% is deemed to be excessive.

# Förklaringar

Absorption	Bindning mellan två material där ett material upptas inuti det andra.
Adsorption	Bindning mellan två material där ett material binds vid ytan till det andra materialet.
Ballast av restbetong	Ballast från betong som kommer tillbaka betongtillverkaren efter en gjutning, d.v.s. ballast av överbliven betong.
Ballast av återvunnet rivningsmaterial	Ballast som framställs genom rivning och krossning av befintliga betongkonstruktioner.
Frostsprängning	Sprickbildning och avskalning som kan uppstå i betong på grund av expansion av vatten när det fryser.
Färsk betong	Blöt gjutbar betong.
Granulära material	Material som består av många enskilda fasta partiklar vilket gör att materialets egenskaper karakteriseras av mängden, d.v.s. inte de enskilda partiklarnas egenskaper.
Hydratation	Cementreaktion med vatten som gör att betongen hårdnar.
Hydrauliskt bindemedel	Bindemedel som reagerar med vatten till en vattenbeständig produkt.
Hårdnad betong	Betong som härdat.
Jungfrulig ballast (JB)	Ballast som inte tidigare använts till något annat utan kommer direkt från tåkten.
Krävande ballastmaterial	Ballastmaterial som skapar problem vid användning i betong. I denna rapport syftar detta främst till glimmerrikt bergkrossmaterial och krossad restbetong.
Kornfördelning	Hur de olika kornstorlekarna i exempelvis ett ballastmaterial förhåller sig till varandra. Redovisas ofta som en kornfördelningskurva.

<b>Restbetong</b>	Betong som blivit över från gjutningar och kommer i retur till betongtillverkaren. D.v.s. betongen har inte använts i någon konstruktion.
<b>Specifik yta</b>	Area per massenhet.
<b>Saturated Surface Dry (SSD)</b>	Ett tillstånd där ballastkornen är yttorra men fuktmätade.
<b>Ursprungsbetong</b>	Den betong som krossas till återvunnet ballastmaterial.
<b>vct</b>	Vattencementtal. Definieras som mängden vatten dividerat med mängden cement.
<b>Vindsiktning</b>	Process som separerar fina partiklar från grövre med hjälp av luft i en jämn ström.
<b>Återvunnen betong (ÅVB)</b>	Ballast från återvunnen betong, i denna rapport syftar detta främst till krossad restbetong.



# Innehållsförteckning

<b>Förord</b> .....	<b>I</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>II</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Förklaringar</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. Introduktion</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte & omfattning.....	2
1.3 Frågeställning .....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
<b>2. Betong – delmaterial &amp; undersökningsmetoder</b> .....	<b>3</b>
2.1 Ballast.....	3
2.1.1 Glimmerrik bergkross.....	4
2.1.2 Återvunnen betong (ÅVB) .....	6
2.2 Bindemedel .....	7
2.2.1 Vattencementtal (vct).....	8
2.2.2 Hydratation .....	8
2.3 Tillsatsmedel .....	9
2.3.1 Absorptionshämmare .....	9
2.4 Undersökningsmetoder .....	9
2.4.1 Isoterm kalorimetri .....	9
2.4.2 Mätning av relativ fuktighet .....	10
<b>3. Standarder &amp; krav</b> .....	<b>12</b>
3.1 Allmänt .....	12
3.2 Standarder för ballast.....	13
3.2.1 CE-märkning.....	13
3.2.2 Ballast av restbetong.....	14
3.2.3 Ballast av återvunna rivningsmaterial.....	14
<b>4. Material</b> .....	<b>18</b>
4.1 Karakterisering av ballast .....	20

4.1.1	Bestämning av korndensitet och vattenabsorption.....	22
4.1.2	Bestämning av siktkurva.....	23
<b>5.</b>	<b>Metod.....</b>	<b>24</b>
5.1	Blandning av betong.....	24
5.1.1	Referensbetong.....	24
5.1.2	Betong med glimmerrik bergkross.....	25
5.1.3	Betong med återvunnen betong som ballast.....	26
5.2	Karakteriseringsmetoder .....	27
5.2.1	Fuktkvot .....	27
5.2.2	Sättnmätt .....	28
5.2.3	Lufthalt & densitet.....	29
5.2.4	Kalorimetri.....	29
5.2.5	Kuber för tryckprovning.....	30
5.2.6	Mätning av relativ fuktighet .....	31
5.3	Recept .....	32
5.3.1	Glimmerrik ballast .....	32
5.3.2	Referens & återvunnen betong.....	34
<b>6.</b>	<b>Resultat.....</b>	<b>35</b>
6.1	Sättnmätt.....	35
6.1.1	Glimmerrik bergkross, vct 0,4 .....	35
6.1.2	Glimmerrik bergkross, vct 0,5 .....	36
6.1.3	Glimmerrik bergkross, vct 0,6 .....	37
6.1.4	Återvunnen betong, 25 % .....	39
6.1.5	Återvunnen betong, 40 % .....	40
6.2	Dosering av tillsatsmedel .....	41
6.3	Hållfasthet.....	43
6.3.1	Glimmerrik bergkross, vct 0,4 .....	43
6.3.2	Glimmerrik bergkross, vct 0,5 .....	44
6.3.3	Glimmerrik bergkross, vct 0,6 .....	45
6.3.4	Återvunnen betong, 25 % .....	47
6.3.5	Återvunnen betong, 40 % .....	48
6.3.6	Sammanställning.....	49
6.4	Kalorimetri.....	50
6.4.1	Glimmerrik bergkross, vct 0,4 .....	50
6.4.2	Glimmerrik bergkross, vct 0,5 .....	52
6.4.3	Glimmerrik bergkross, vct 0,6 .....	56
6.4.4	Återvunnen betong, 25 % .....	60
6.4.5	Återvunnen betong, 40 % .....	62
6.5	Lufthalt, densitet & temperatur.....	64

6.5.1	Lufthalt & densitet.....	64
6.5.2	Temperatur.....	64
6.6	Mätning av relativ fuktighet .....	65
<b>7.</b>	<b>Analys.....</b>	<b>66</b>
7.1	Diskussion.....	66
7.1.1	Sättnått .....	66
7.1.2	Hållfasthet.....	67
7.1.3	Kalorimetri.....	69
7.1.4	Mätning av relativ fuktighet .....	71
7.1.5	Standarder & krav.....	71
7.2	Slutsats .....	73
7.3	Förslag på fortsatta studier.....	75
	<b>Litteraturförteckning.....</b>	<b>76</b>
	<b>Bilaga A – Betongrecept .....</b>	<b>A-1</b>
	<b>Bilaga B – Resultat.....</b>	<b>B-1</b>
	<b>Bilaga C – Kornstorleksfördelningar .....</b>	<b>C-1</b>

# 1. Introduktion

## 1.1 Bakgrund

Byggbranschen står årligen för drygt 20 % av växthusgasutsläppen i Sverige (Boverket, 2023). En stor del av dessa kommer från framställning av byggmaterial och då huvudsakligen betong (Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) & Sveriges Byggindustrier, 2014). Cementproduktionen är idag den del av betongtillverkningen som orsakar mest koldioxidutsläpp. Med nya tekniker, som ersättning av delar av cementet med mer miljövänliga material och koldioxidinfångning, har utsläppen från cementproduktionen minskat och fortsätter att minska (Boverket, 2018).

När det kommer till ballastmaterial finns det ett flertal utmaningar som måste lösas. Ballast är huvudkomponent i både asfalt och betong och är den råvara som utvinns mest i Sverige. 1984 kom 80 % av Sveriges ballast från naturgrus medan 2020 kom 90 % av Sveriges ballast från krossat berg. Huvudsakligen beror minskningen på att naturgrusavlagringarna är oerhört viktiga ur miljösynpunkt då de levererar grundvatten av god kvalitet. Dessutom tenderar bergtäkter med krossad ballast att minska transportsträckorna då dessa ligger relativt nära betongproducenterna vilket är gynnsamt både miljömässigt och ekonomiskt (Sveriges geologiska undersökning (SGU), 2021).

Det krossade materialet gör betongen svårare att arbeta med jämfört med naturgrus, vilket ofta ställer krav på att mineralsammansättningen i bergarten ska vara gynnsam. För att minska transportkostnaderna genom att nyttja lokala bergtäkter har dock intresset för ballastmaterial som tidigare ansetts olämpliga att använda ökat på senare tid (Alexander & Mindess, 2005). Ett sådant ballastmaterial är glimmerrik bergkross, där en hög halt av glimmermineral påverkar betongens egenskaper negativt.

Vidare är betong en produkt som sällan hanteras cirkulärt i byggprocessen utan läggs på deponi efter rivning. Ett alternativ till deponi är att återanvända krossad betong som ballast i nyproducerad betong. Betongen kan både komma från rivna konstruktioner eller vara överbliven betong från en gjutning som returneras direkt till producenten, så kallad *restbetong* (RISE, u.å.). Då återanvänd krossad betong används som ballast i betong finns diverse standarder som måste följas och således begränsar användningen. Huruvida standardernas krav är rimliga eller för konservativa är i dagsläget svårbedömt och bör därmed utredas.

Den krossade betongen och det glimmerrika bergmaterialet kan tillsammans kallas för krävande ballastmaterial då dess egenskaper skiljer sig från traditionell ballast. Ett problem med krävande ballast är att den absorberar mycket fukt, vilket gör den anses som olämplig att använda i större mängder på grund av att betongen får en trög konsistens och snabbt tappar sin arbetbarhet (Leemann & Holzer, 2001, Etxeberria m. fl., 2007). Detta gör gjutning av betong med krävande

ballastmaterial besvärlig. På marknaden finns ett tillsatsmedel, i rapporten kallad absorptionshämmare, som har visat sig ge en mer lättflytande konsistens hos betong och förbättra arbetbarheten över tid för naturgrus med lermineral (Castiglioni m. fl., 2022). Genom att behandla krävande ballastmaterial med absorptionshämmaren finns förhoppningen att betongens egenskaper kan förbättras, och en större mängd krävande ballast kan användas.

## 1.2 Syfte & omfattning

Studiens huvudsakliga syfte är att utreda huruvida absorptionshämmaren kan underlätta användningen av krävande ballast, som i detta fall är glimmerrik bergkross och återvunnen krossad restbetong. För att få en bakgrund kring problematiken upprättades en teoridel kring betong i allmänhet med en omfattande del kring glimmerrik ballast och *återvunnen betong (ÅVB)*. Vidare förtydligades standarder och krav för att få en uppfattning kring möjligheter och begränsningar för användning av ÅVB. Huvuddelen av studien är laborativt där betongens färsk- och hårdnande egenskaper undersöktes. Detta genom att variera typ av ballast, vct, tillsatsmedel och blandningsmetoder. Med erhållna resultat kan därmed absorptionshämmaren utvärderas.

## 1.3 Frågeställning

Studien har följande frågeställningar:

- Vad säger standarden idag om att använda återvunnen betong som ballastmaterial i betong?
- Bör standarden förändras för att återvunnen betong ska kunna användas som ballastmaterial i betong?
- Hur påverkas betongens färsk- och hårdnade egenskaper av krävande ballastmaterial med varierande mängd av absorptionshämmare?
- Hur påverkar vct och blandningsmetodik absorptionshämmarens inverkan på betongens färsk- och hårdnande egenskaper?

## 1.4 Avgränsningar

I den laborativa delen av studien gjordes varje blandning enbart en gång. För att påvisa repeterbarhet och styrka resultaten hade det varit önskvärt att genomföra varje blandning flera gånger. Vidare undersöks endast ett vct för återvunnen betong vilket gör att resultaten blir mindre omfattande.

## 2. Betong – delmaterial & undersökningsmetoder

I detta kapitel kommer betong och dess delmaterial att behandlas. Fokus ligger på ballastmaterial då detta är det som främst studeras i den laborativa delen, men även bindemedel, vatten och tillsatsmedel kommer beskrivas. Vidare förklaras teorin bakom ett antal undersökningsmetoder som används i laborationerna.

Nutida betong består främst av de fyra beståndsdelarna ballast, cement, vatten och tillsatsmedel (Popovics, 1992). Den största delen av betongvolymen utgörs av ballast, normalt runt 65–70%. Resterande volym utgörs främst av cement och vatten (Billberg m. fl., 2017). En mycket liten del av den totala volymen utgörs av tillsatsmedel. Genom att kombinera de olika delmaterialen i varierande proportioner kan betong med önskade egenskaper erhållas. De ingående delmaterialen behandlas under respektive underrubrik.

### 2.1 Ballast

Ballast är *granulära material* som används i betong som fyllnadsmaterial för att bland annat göra den mer volymstabil. När cementpastan krymper vid uttorkning behåller ballasten sin form, vilket minskar krympningen och risken för sprickbildning i betongen. Ballasten gör även betongen nötningsresistent. Beroende på var i världen man befinner sig varierar tillgången på ballastmaterial, men oftast används olika bergartsmaterial som bryts lokalt (Alexander & Mindess, 2005). Vanligtvis är ballast en lågprisprodukt, vilket betyder att transportavståndet är avgörande för rimliga kostnader (Lagerblad & Trägårdh, 1995). På vissa platser är tillgången på lämpliga ballastmaterial begränsad, vilket gör att den kan behöva transporteras långa sträckor. Det kan därför även vara av intresse att studera alternativ till traditionell ballast, såsom användning av krossad betong (Alexander & Mindess, 2005).

Ballasten som används kommer i olika kornstorlekar som definieras enligt SS-EN 12620, se Tabell 2.1. De olika kornfraktionerna uttrycks ofta som  $d/D$  där  $d$  motsvarar den undre kornstorleken och  $D$  den övre. Exempelvis innebär kornfraktionen 8/16 att kornen har storlekar mellan 8–16 mm. Storleken på filler är inget som definieras i SS-EN 12620, men enligt Gram & Lagerblad (2017) sätts den vanligtvis till 0,125 mm.

Tabell 2.1: Definitioner av ballast utifrån kornstorlekar enligt SS-EN 12620 och Gram & Lagerblad (2017).

Beteckning	Kornstorlek [mm]
Grov ballast	$D \geq 4$ eller $d \geq 2$
Fin ballast	$D \leq 4$
Finmaterial	$< 0,063$
Filler	$< 0,125$

Kornstorlekarna påverkar egenskaperna hos både *färsk* och *hårdnad betong*. Ju mer ballast som används desto sämre arbetbarhet får den färska betongen. Den fraktion som har störst påverkan på betongens arbetbarhet är finballasten, detta på grund av dess stora *specifika yta*. Genom att variera kornfördelningen är det därför möjligt att påverka betongens arbetbarhet (Billberg m. fl., 2017).

Även kornens form påverkar arbetbarheten. Naturgrus från rullstensåsar, vilket tidigare användes flitigt i Sverige som ballastmaterial, är runda till formen vilket betyder att de enkelt rullar på varandra och ger en god arbetbarhet. Den vanligaste ballasttypen idag, krossat material, har kantiga och flisiga former vilket ger sämre arbetbarhet, vilket innebär att större volymer cementpasta eller flyttillsatsmedel behöver användas (Billberg m. fl., 2017).

Mellan olika ballastmaterial kan stora skillnader finnas i egenskaper såsom porositet, hållfasthet och ytstruktur (Alexander & Mindess, 2005). Med *krävande ballastmaterial* menas typer av ballast som inte anses vara optimala att använda i betong på grund av dess egenskaper. Varierande tillgång ballastmaterial i världen samt ett cirkulärekoniskt tankesätt driver dock på användningen av dessa material och även förädlingen av dem (Alexander & Mindess, 2005). De krävande ballastmaterial som studeras är krossad *restbetong* från betongtillverkare, så kallad ÅVB, samt glimmerrika bergkrossmaterial, men begreppet kan även innefatta betong från rivna konstruktioner och porösa bergarter. Försättningsvis kommer enbart krossad restbetong och glimmerrika bergkrossmaterial åsyftas vid användning av benämningen krävande ballast.

### 2.1.1 Glimmerrik bergkross

En bergart innehåller i de flesta fall flera olika mineral där mängd och typ av mineral vanligtvis definierar bergarten. Vid krossning utgörs de större partiklarna av bergartsfragment medan de mindre partiklarna består av enskilda mineral. Av denna anledning kommer framför allt de fina partiklarnas form bero på mineralets kristallform. Finfraktionen hos granitiska bergarter kan i vissa fall i princip endast bestå av glimmermineral som har en flakig kristallform och ger således försämrad arbetbarhet hos betongen (Gram & Lagerblad, 2017). I granit och gnejs, som båda är vanliga bergarter för ballastmaterial, varierar halten glimmer från nästintill ingenting till 20–30 % (Lagerblad m. fl., 2008). Glimmerrika bergarter är ofta heterogena, d.v.s. olika skikt i bergarten tenderar till att ha varierande halt glimmer. Beroende på orientering, storlek samt separation från andra glimmerrika skikt varierar bergartens egenskaper. Vidare anrikas halten glimmer i finfraktionerna vid krossning (Arm m. fl., 2004). Lagerblad m. fl. (2008) belyser också anrikningen som sker vid krossning och att det förekommer fri glimmer i fraktioner mindre än 0,5 mm.

Glimmer är ett samlingsnamn för en grupp phyllosilikatiska mineraler, där de två mest förekommande sorterna är muskovit och biotit. Det som karakteriserar dessa mineraler är dess spaltbarhet som gör att de får en flakig struktur med ett tydligt klyvningsplan, vilket beror på kristallstrukturen hos mineralen (Loberg, 1999). Glimmerkorn kan bli större än 4 mm vilket påverkar ballastens kornform eftersom det ger utslag på flakighetsindex. Dock är det huvudsakligen de fina fraktionerna som är den betydande parametern i betong. På grund av flakigheten försämras den färskas betongens arbetbarhet (Lagerblad & Trägårdh, 1995). Khachadorian (2003) skriver också att glimmerns flakighet har en negativ påverkan på reologin hos betong då viskositeten är hög, men påpekar även att ytegenskaperna hos mineralen har en negativ inverkan.

Ett annat problem med glimmermineral är att de påverkar ballastens vattenabsorptionsförmåga. Ökade halter av glimmer ger en högre vattenabsorption vilket ger en styvare betong (Lagerblad & Trägårdh, 1995). Detta stämmer väl med en laborativ studie av Maregesi (2020) där resultatet visade att vattenbehovet ökade med 8,1-16,1 % för att få samma sättmått med varierande halter glimmer i sand. Dessutom visade det sig att muskovit ökar vattenbehovet mer än biotit. Vidare påvisade Khachadorian (2003) i sin studie att då glimmermineralen är fria blir vattenabsorptionen hög, medan det är betydligt lägre om glimmer är del av bergartsfragmentet. Dock är glimmerns positionering inom bergartsfragmentet också en påverkande faktor. Då glimmermineralen är skiktade, se Figur 2.1, är vattenabsorptionen högre mellan skikten än vinkelrätt mot skikten. En annan faktor är hur väl glimmern binder till övriga mineraler, om bindningen inte är god vid glimmerns klyvning tenderar vattenabsorptionen att bli hög (Khachadorian, 2003). Problemen kan undvikas genom att minska andelen finfraktioner i kornkurvan och undgå anrikningen av finfraktioner. Exempelvis kan detta göras genom tvättning och *vindsiktning*, men det innebär ökade kostnader (Lagerblad m. fl., 2008).



Figur 2.1: Skiktning av biotit, en av glimmermineralen.



Vanligtvis undviks det att framställa ballastmaterial där glimmerhalterna är höga då betongtillverkare klassar detta som dålig ballast, och det krävs en betydande ökning av flyttillsatsmedel för att få tillräcklig arbetbarhet (MinBaS, 2005). Alternativt behöver betongens *vct* öka för att kompensera för den försämrade arbetbarheten, men det försämrar hållfastheten för hårdnad betong (Lagerblad & Trägårdh, 1995). Dessutom finns det data som indikerar att vid höga halter fri glimmer försämrar hållfastheten hos härdad betong. Gram & Lagerblad (2017) skriver att glimmerrik ballast kan medföra en risk för sämre hållfasthet samt sämre vidhäftning mellan cementpasta och ballast. Framför allt påverkas draghållfastheten negativt. Detta stämmer väl med Leemann & Holzer (2001), som säger att betongkvaliteten minskar då ballast med fri glimmer används eftersom cementpastans mikrostruktur påverkas och blir porösare. Från deras studie framgick det att partikelstorleksfördelningen i betongen får en stor variation, där finpartiklar tenderade till att koncentreras vid angränsande och runt om enskilda glimmerflak. På grund av detta fördelas cement och finpartiklar på ett ineffektivt sätt. Dessutom har angränsande glimmerflak en sällande effekt vilket betyder att finpartiklarna endast kan fylla en del av hålrummen, således ökas porositeten (Leemann & Holzer, 2001). Maregesi (2020) testade tryckhållfastheten hos prov med olika halter glimmer och kom fram till att hållfastheten minskade då innehållet av glimmer ökade, där muskovit försämrade hållfastheten mer än biotit.

Ett annat problem som uppstår på grund av vattenabsorptionen i fri glimmer är beständigheten. Både vattenmättnadsgraden hos ballasten och betongens porositet förändras, vilket bland annat kan försämra betongens frostbeständighet (Lagerblad & Trägårdh, 1995).

### 2.1.2 Återvunnen betong (ÅVB)

Genom att krossa hårdnad betong kan den användas som ballast i ny betong, detta kallas för *återvunnen betong* (ÅVB). Egenskaperna hos ÅVB skiljer sig från *jungfrulig ballast* genom att den innehåller cementpasta. Cementpastan är porös, vilket leder till att ÅVB har en högre vattenabsorption än jungfrulig ballast. Porositeten hos cementpastan styrs främst av *vct* hos den ursprungliga betongen, där ett lågt *vct* ger en tätare och mindre porös cementpasta (Etxeberria m. fl., 2007).

Porositeten och absorptionsförmågan hos ÅVB påverkar den färska betongens arbetbarhet då en del av blandningsvattnet kan absorberas i cementpastans porer (Bai m. fl., 2020). För att bibehålla god arbetbarhet hos färsk betong med ÅVB påvisar Poon m. fl. (2004) att använd ÅVB bör vara i lufttorrt och ej ugnstorrt tillstånd för att minska vattenabsorptionen, medan Saravanakumar m. fl. (2016) menar att ÅVB bör vara fuktmättad med torr yta när den tillsätts till betongblandningen. Utöver porositeten har även kornformen inverkan på arbetbarheten, där kantigare korn ger en trögare betong. Kornformen styrs till stor del av krossningsmetoden (Etxeberria m. fl., 2007).

Generellt ger en ökad mängd vidhäftad cementpasta på ballastkornen en större absorptionsförmåga och en lägre densitet. Mängden vidhäftad cementpasta styrs av ett antal olika faktorer, däribland krossningsmetoden. Hur länge och vilken typ av krossning som används påverkar mängden vidhäftad cementpasta, där en längre krossningsprocess leder till en lägre andel vidhäftad cementpasta med bieffekten att antalet användbara kornfraktioner blir färre (Kim, 2022). Etxeberria m. fl.

(2007) och Bai m. fl. (2020) påvisar även att mängden vidhäftad cementpasta styrs av kornstorleken hos ballasten, där en större procentuell mängd är fäst på finfraktioner än på grovfraktioner. Också vct hos den ursprungliga betongen påverkar mängden vidhäftad cementpasta, där ett lågt vct hos ursprungsbetongen leder till en tätare och mer hållfast cementpasta med högre krossningsresistens än vidhäftad cementpasta från en *ursprungsbetong* med högt vct (Kim, 2022).

Gällande inverkan av ÅVB på betongens tryckhållfasthet råder delade meningar. Etxeberria m. fl. (2007) påvisar att en inblandning av upp till 25 % ÅVB inte ger några skillnader i tryckhållfasthet jämfört med 100 % jungfrulig ballast. För högre halter ÅVB krävs en ökad cementmängd, ca 5–10 %, för att uppnå samma tryckhållfasthet som enbart jungfrulig ballast. Ridzuan m. fl. (2001) erhåller däremot högre hållfasthet för betongblandningar med 50 % respektive 75 % inblandning av ÅVB i förhållande till referensfallet med 100% jungfrulig ballast, något som förklaras med bättre vidhäftning mellan ny cementpasta och ÅVB. Vidare menar Brander m. fl. (2020) att finfraktionen hos ÅVB kan innehålla cement som inte är fullständigt hydratiserat och således leda till högre hållfasthet eftersom mängden cement ökar. Al Ajmani m. fl. (2019) får i sina försök en generell lägre hållfasthet hos betong med ÅVB jämfört med referensblandningen, däremot är skillnaden i hållfasthet mellan olika halter av ÅVB marginell.

Etxeberria m. fl. (2007) och Ying m. fl. (2020) menar att tryckhållfastheten styrs till stor del av vct hos ÅVB, där en ursprungsbetong med lågt vct ger en mer hållfast ny betong än om vct hos ursprungsbetongen är högt. Motsatt resultat erhålls av Padmini m. fl. (2009), som får en högre hållfasthet hos ny betong där ÅVB har högt vct. Detta antas bero på krossningsprocessen och att mindre vidhäftad cementpasta finns närvarande i likhet med resonemang från Kim (2022). Att olika resultat erhålls kan förklaras med de stora variationerna i egenskaper hos ÅVB, och beroende på vilken källa och vilka betongkvaliteter som krossats till ÅVB ger studierna olika resultat.

## 2.2 Bindemedel

Bindemedlets främsta uppgift i betong är att verka sammanhållande, och är också det som främst ger betongen dess hållfasthet. Cement, som används i all betong, är ett *hydrauliskt bindemedel*, vilket innebär att det genom reaktion med vatten hårdnar till en vattenbeständig produkt (Johansson, 2017). Reaktionen med vatten kallas *hydratation* och beskrivs mer ingående under 2.2.2 *Hydratation*. Det bindemedel som främst används vid betongproduktion idag är Portlandcement. Portlandcement framställs genom förbränning av jord- och bergarter innehållandes höga halter av kalk eller lera. Genom förbränningen bildas cementklinker som sedan mals ner och blandas med små mängder av andra tillsatsmaterial såsom gips (Popovics, 1992).

Utöver cement kan andra kompletterande bindemedel användas, såsom masugnsslagg och flygaska. Inblandning av dessa material är idag mycket vanligt då de kan ersätta en del av det klimatpåfresande cementet (Silfwerbrand, 2017). Beroende på vilket kompletterande bindemedel som främst används och i vilken mängd kan betongens egenskaper påverkas. Exempelvis kan tillsats av flygaska förbättra betongens arbetbarhet och ge en högre långtidshållfasthet än utan flygaska. Dock måste

mer tillsatsmedel användas än i vanlig betong och hållfasthetstillväxten med inblandning av flygaska blir långsammare (Ljungkrantz m. fl., 1994).

### 2.2.1 Vattencementtal (vct)

Vattencementtalet (vct) definieras som förhållandet mellan mängden blandningsvatten och mängden cement i en betongblandning, se Ekvation 1 nedan.

$$vct = \frac{W}{C} = \frac{m_{\text{vatten}}}{m_{\text{cement}}} \quad [\text{kg/kg}] \quad (1)$$

Vattencementtalet har stor inverkan på betongens egenskaper. Det påverkar bland annat täthet, härdningstid och sprickrisk vilket innebär att betongens användningsområde, gjutförhållanden och exponeringsklass måste klargöras för att säkerställa att rätt vct används (Fagerlund, 2017).

### 2.2.2 Hydratation

Hydratation sker när cement reagerar med vatten. Det är flera kemiska reaktioner som sker och börjar direkt på cementkornens yta då vatten tillsätts. Cementkorn består av klinkermineral, och då dessa hydratiserar blir klinkermineral och vattenmolekyler en kemisk sammansättning. Sammansättningen kallas cementgel vilket är finporöst och endast består av små partiklar. Partiklarna i sig är kalciumsilikathydrat (C-S-H) och utgör den huvudsakliga massan i cementpastan och ger den dess hållfasthet (Fagerlund, 2017).

För fullständig hydratation av Portlandcement behövs uppskattningsvis minst 0,22–0,25 i vct, exklusive avdunstat vatten. Dock, för att säkerhetsställa att tillräcklig hydratation sker, bör vct minst vara 0,4. Vanligtvis behöver vct vara högre än detta för att få tillräckligt god arbetbarhet. Trots detta är det ovanligt med fullständig hydratation eftersom det tar relativt lång tid och fuktigheten är för låg under bruksstadiet (Kosmatka m. fl., 2002). Enligt Fagerlund (2017) är 0,39 ett kritiskt värde för vct. Då detta underskrids finns det inte tillräckligt med utrymme mellan cementkornen för fullständig hydratisering. Således kommer pastan att innehålla cementgel samt cementkorn som inte har hydratiserats. När vct överskrider 0,39 kommer pastans beståndsdelar vara cementgel och kapillärporer. Ju högre vct, desto större kapillärporvolym. Vidare är andelen kapillärporer störst i ung cementpasta. Ju längre hydratationen har pågått, desto mer har cementgelen växt ut i kapillärporerna och minskat dess volym. Alltså minskar porositeten ju längre hydratationen har kommit vilket förbättrar betongens mekaniska och fysikaliska egenskaper samt dess beständighet.

Dessutom utvecklas även kalciumhydroxid ( $\text{CA}(\text{OH})_2$ ) vid hydratation. Kalciumhydroxid faller ut inne i cementgelen, i anslutning till cementgelen, i fasgränserna till ballastkornen samt i betongens defekter så som sprickor. Utfällningen har ingen betydelse för cementpastans hållfasthet, men ger betongen ett högt pH-värde och skyddar således armeringen mot korrosion. Dessutom bildas ettringit som är ett mineral med långa och smala kristaller. Dessa ombildas till monosulfat och utgör 15-20 % av pastans fasta reaktionsprodukter (Fagerlund, 2017).

## 2.3 Tillsatsmedel

För att på olika sätt styra betongens egenskaper, både i färskt och hårdnat tillstånd, används diverse tillsatsmedel. Vanligtvis är det kemiska produkter som tillförs i betongen och doseringen är låg, normalt 0,1-2,0 % av cementvikten (Löfgren & Johansson, 2017). Nedan nämns några vanliga tillsatsmedel.

<b>Accelererande</b>	Påskyndar tillstyvnads- och hållfasthetstillväxten.
<b>Retarderande</b>	Fördröjer tillstyvnads- och hållfasthetstillväxten.
<b>Flyttillsatsmedel</b>	Minskar vattenbehovet i betongen och gör konsistensen mer lättbearbetad.
<b>Luftporbildande</b>	Ökar betongens porositet för att på så sätt minska risken för <i>frostsprängning</i> .

### 2.3.1 Absorptionshämmare

Det finns problem med krävande ballast i betong som inte kan behandlas med ovan nämnda tillsatsmedel. Detta gäller främst porositeten i krävande ballast, vilket gör att ballasten har relativt hög uppsugning av vatten och flyttillsatsmedel vilket i sin tur kan påverka betongens egenskaper. För att minska den vattenuppsugande förmågan används en polymer, som har visat sig ha god inverkan på arbetbarheten vid behandling av natursand med förorenade inslag av lera (Castiglioni m. fl., 2022). Funktionssättet hos polymeren är i dagsläget inte känt, men tidigare tester har visat att den kan öka öppethållandetiden hos betongen om denna används i betongreceptet. Vidare har produkten visat sig ge svagt retarderande egenskaper i betongen. Produkten ökar även betongens flytegenskaper, vilket gör att den ersätter en del av det traditionella flyttillsatsmedlet.

## 2.4 Undersökningsmetoder

### 2.4.1 Isoterm kalorimetri

Reaktionen mellan vatten och cement är exoterm vilket innebär att värme avges. Huvudsakligen beror värmeutvecklingen på cementets kemiska sammansättning, men påverkas även av vct och omgivande temperatur. Då hydratationen kan fortskrida flera år kommer även värme att utvecklas under flera år. Dock sker mest värmeutveckling i början, där det första dygnet vanligtvis är mest betydande (Kosmatka m. fl., 2002). Enligt Fagerlund (2017) är sambandet mellan total utvecklad värme och hydratationsgrad mer eller mindre linjärt, vilket betyder att ju mer värme som utvecklas, desto längre har hydratationen kommit. Även Frølich m. fl. (2016) påpekar att det finns en korrelation mellan värme, hydratationsgrad och hållfasthet. Dock är hållfasthetsutvecklingen komplex eftersom den inte endast beror på hur mycket som har hydratiserats, utan även fördelning och sammankoppling av hydratiserad cementpasta.

Isoterm kalorimetri är ett effektivt sätt för att analysera värmeutvecklingen som sker vid hydratation. Detta görs genom att kontinuerligt mäta värmeutvecklingen hos mindre prov omgivna av en konstant temperatur. Data som genereras vid mätningar är bland annat värmeeffekt som funktion av tiden vilket gör att det totala värmets värde går att beräkna (Wadsö, 2005). Metoden finns med i svensk standard för cementprovning, SS-EN 196-11.

Frølich m. fl. (2016) studerade värmeutvecklingen med isoterm kalorimetri hos cementpasta med olika sammansättningar. Detta för att undersöka huruvida det går att använda som en testmetod för tryckhållfastheten. Det visade sig att värmeutvecklingen hos cementpastan korrelerade relativt väl med tryckhållfastheten efter 24 timmar. Hållfastheten blev högre då värmen från hydratationen var större.

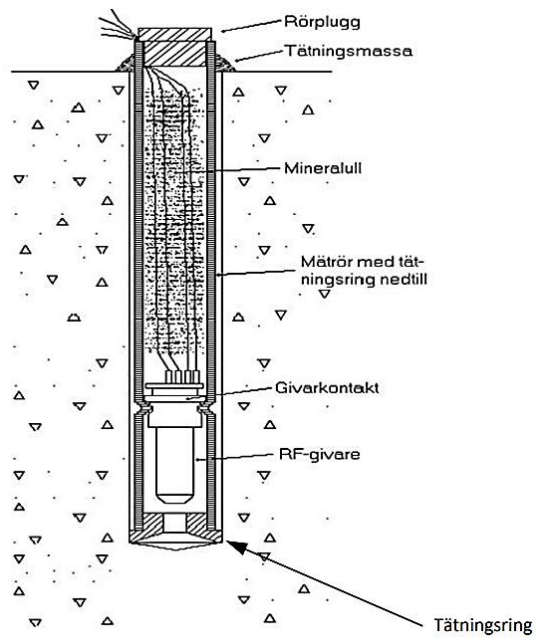
## 2.4.2 Mätning av relativ fuktighet

Betong i sig är inte ett fuktkänsligt material, däremot kan fuktig betong orsaka problem för andra fuktkänsliga material som kommer i kontakt med den. Ett vanligt problem är plastmattor som monteras för tidigt på betong. Är den relativa fuktigheten för hög sker en förtvålning av limmet och mattan lossnar från underlaget (Johansson, 2005). För att en betongblandning ska vara användbar i praktiska sammanhang är det därför viktigt att säkerställa att uttorkningstiden inte är för lång då det kan skapa flaskhalsar i produktionen.

Cementpasta har en inre självuttorkning, när det fria vattnet binds kemiskt upptar det enbart 75 % av den ursprungliga fria vattenvolymen. På grund av vattnets volymminskning bildas luftfyllda porer i cementpastan. Denna självuttorkning gör att betongens relativa fuktighet sjunker, vilket leder till att betongen krymper även då det inte sker någon yttre uttorkning. Självuttorkningen är lika omfattande överallt i betongen och följer hydratationsutvecklingen hos cementpastan (Fagerlund, 2017).

Utöver självuttorkning sker även en uttorkning utåt från betongytan som är exponerad för ett yttre klimat. Hur stor denna uttorkning är beror på omgivningens temperatur- och klimatförhållanden, men styrs också av betongens fukttransportförmåga. Eftersom uttorkning utåt enbart sker genom exponerad yta uppstår en ojämn fuktprofil i tvärsnittet där den är torrast vid ytan och blötast långt bort från ytan (Johansson, 2005).

För att bestämma utvecklingen av den relativa fuktigheten i betongen över tid kan en så kallad HumiGuard användas (Nordisk Industrifysik, Sverige). HumiGuard är ett mätsystem som utnyttjas genom att först borra ett hål i hårdnad betong som härdat ett par dagar i en hink. Därefter monteras ett mätrör med en tätningssring i botten i det nyborrade hålet. Sedan placeras en givarkontakt och RF-givare i hålet med hjälp av ett monteringsdon, varpå hålet fylls upp med mineralull och sluts med en rörplugg. Ett par centimeter av tilledarna, som sitter fästa på givarkontakten, sticker upp utanför rörpluggen och via dessa registreras den relativa fuktigheten i provkroppen kontinuerligt och kalibreras i förhållande till ett par referensgivare. Montering och mätning sker enligt Rapp (2019) på uppdrag av Rådet för byggkompetens (RBK). Figur 2.2 visar monteringen.



Figur 2.2: Montering av HumiGuard i betong (Rapp 2019).

## 3. Standarder & krav

I detta kapitel beskrivs aktuella standarder och krav som gäller för ballastmaterial. Huvudsakligen är standarderna utformade för Europa, men det finns även svenska tolkningar och undantag för en bättre anpassning till de svenska förutsättningarna. Först beskrivs det allmänt varför standarder används samt hur dessa anpassas till ballast. Därefter redovisas vilka standarder som är relevanta för att slutligen beskriva vad standarderna anger för krav och rekommendationer för ballast.

### 3.1 Allmänt

För att åstadkomma en gemensam marknad av varor och tjänster inom EU finns lagstiftningar, där de övergripande kraven framgår. Dessutom finns det standardiseringar, som genom en högre detaljnivå blir ett verktyg för att följa aktuella lagstiftningar. Europastandarder som är upprättade av en standardiseringsorganisation genomgår ett särskilt granskningsförfarande för att sedan offentliggöras och fastställas som en harmoniserad standard (Svenska institutet för standarder (SIS), u.å).

Ballast är en byggprodukt som omfattas av harmoniserad standard. Av denna anledning är CE-märkning med prestandadeklaration obligatorisk, vilket betyder att de väsentliga egenskaperna hos ballast måste redovisas. Det är tillverkarens ansvar att säkerställa att byggproduktens prestanda korrelerar med prestandadeklarationen. Detta görs genom metoder som anges i standarderna. Reglerna gäller samtliga länder i EU/ESS och Schweiz. Dock är CE-märkningen endast ett intyg på att redovisade uppgifter stämmer för byggprodukten, huruvida denna byggprodukt lämpar sig att användas i olika sammanhang anger inte CE-märkningen (Boverket, 2022). Aktuellt för prestandadeklarationen för ballast blir således anvisningar från EU:s byggproduktförordningen, *Construction Products Regulation*, (CPR) (305/2011) samt SS-EN 12620.

Byggproduktförordningen använder ett system som heter *Assessment and Verification of Constancy of Performance* (AVCP) för bedömning och fortlöpande kontroll av prestandan till byggprodukter. Detta görs enligt bilaga V till förordning (EU) nr 305/2011. Bilagan beskriver fem olika system (1+, 1, 2+, 3 och 4) där det framgår vilka uppgifter som skall utföras av tillverkaren eller av ett anmält organ.

## 3.2 Standarder för ballast

För betong finns två huvudsakliga standarder:

- SS-EN 206:2013+A2:2021 (SS-EN 206) *Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse*
- SS 137003:2021 (SS 137003) *Betong – Användning av SS-EN 206:2013+A2:2021 i Sverige*

Vidare finns det diverse standarder kring ballast:

- SS-EN 13369:2018 (SS-EN 13369) *Gemensamma regler för förtillverkade betongprodukter*
- SS-EN 12620+A1:2008 (SS-EN 12620) *Ballast för betong*
- SS-EN 1097 *Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper*
- SS-EN 933 *Ballast – Geometriska egenskaper*

Vid fortsatta referenser till ovan nämnda standarder kommer det förkortade namnet i parentes, om sådan finns, användas för att underlätta läsning.

### 3.2.1 CE-märkning

Då jungfrulig och återvunnen ballast används i betong ska den CE-märkas i enlighet med system 2+ enligt SS 137003. Detta innebär att det krävs både interna kontroller från tillverkaren och externa kontroller får ett anmält organ enligt bilaga V.

Enligt SS 137003 ska ballasten efterleva kraven i SS-EN 12620 samt krav i Tabell 2 i SS 137003. Tabell 2 anger kraven enligt SS-EN 12620 genom att för varje avsnitt ha en specifik egenskap. För varje egenskap anges det om behov av uppgift om prestanda i prestandadeklarationen behövs för egenskapen, om eller vilka prestandakrav som gäller för egenskapen samt eventuella anmärkningar. Ett exempel från Tabell 2 i SS 137003 anges i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Exempel från Tabell 2 i SS 137003:2021.

Avsnitt i SS-EN 12620+A1:2008	Egenskap	Behov av uppgift om prestanda i prestandadeklarationer	Prestandakrav	Anmärkning
5.8	Klassificering av beståndsdelarna hos grov återvunnen ballast	Ja för grov ballast av återvunna rivningsmaterial som typ A eller typ B	-	Beståndsdelar i typ A och typ B ska vara enligt 5.2.3.4.



### 3.2.2 Ballast av restbetong

*Restbetong* betyder att materialet inte har använts i en konstruktion utan det är överbliven betong från en arbetsplats eller tillverkningen. SS-EN 206 anger två typer av ballast av restbetong. Dessa är ballast återvunnen ur färsk restbetong samt ballast av krossad restbetong.

I SS-EN 206 framgår det att då ballast av restbetong används internt av tillverkare alternativt en grupp av tillverkare, får ballasten användas i betong. Vidare kan osorterad ballast som är framställd från restbetong användas upp till 5 % av massfraktionen av den totala ballastmängden utan att CE-märkas. Således behöver inte egenskaperna i Tabell 2 i SS 137003 redovisas. Då massfraktionen överskrider 5 % måste ballasten delas upp i grov och fin ballast enligt SS-EN 12620, och därmed CE-märkas. Vidare ska ballast från restbetong hanteras på samma vis som ballast av återvunna rivningsmaterial då 5 % överskrids.

### 3.2.3 Ballast av återvunna rivningsmaterial

SS-EN 206 definierar *ballast av återvunna rivningsmaterial* som ett oorganiskt material som använts vid byggnation och sedan bearbetats till ballast.

Då det återvunna rivningsmaterialet kommer från förtillverkade betongprodukter och har tillverkats i samma fabrik, tillåts 10 % enligt SS-EN 13369, förutsatt att hållfastheten provas. Dock begränsas denna till 5 % vid speciella tillämpningar. Vidare står det även att ballast av krossad restbetong och ballast av återvunnet rivningsmaterial inte får ha en negativ inverkan på tiden för hårdnande och sättning eller beständigheten hos den slutliga betongprodukten.

SS-EN 13369 innehåller även en informativ bilaga, Bilaga N. Då den är del av SS-EN 13369 tolkas det som att den endast gäller för förtillverkade betongprodukter. Bilagan behandlar tre olika typer av ballast varav alla tre ingår i definitionen *ballast av återvunna material*. Dessa tre är:

- **Återanvänd krossad ballast** – krossad ballast från förtillverkande betongprodukter, producerade i samma fabrik.
- **Återvunnen grov ballast bedömd av tillverkaren** – ballasten kommer från betongspill från känd extern källa med känd blandningssammansättning.
- **Annan återvunnen grov ballast** – ballast som inte klassificeras enligt ovan.

Beroende på användning och verifiering kan olika mängder av återanvänd eller återvunnen ballast användas enligt Bilaga N. Om högre halter än 10 % används behöver hållfastheten testas i full skala. Eftersom försöken i denna studien huvudsakligen syftar till betong för betongtillverkare och inte förtillverkade betongprodukter anges inget mer i detalj från SS-EN 13369.

Då återvunnen ballast ska användas i betongtillverkning som inte avser förtillverkade betongprodukter gäller SS 137003. Vidare skiljs det på grov och fin ballast.

## Grov ballast

I SS 137003 finns två klasser av ballast av återvunnet rivningsmaterial. Dessa är typ A och B och nedan anges vilka beståndsdelar respektive klass består av:

- Typ A: Rcu<sub>95</sub>, Rb<sub>10</sub>-, Ra<sub>1</sub>-, FL<sub>2</sub>-, XRg<sub>1</sub>..
- Typ B: Rcu<sub>70</sub>, Rb<sub>30</sub>-, Ra<sub>5</sub>-, FL<sub>2</sub>-, XRg<sub>2</sub>..

Beståndsdelarnas definitioner anges i SS EN 12620 och utgår från proportioner av olika material i grov återvunnen ballast. Summering och förklaringen från SS EN 12620 och SS 137003 sammanfattas i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Sammanfattning från SS-EN 12620 och SS 137003.

Beståndsdel	Beskrivning	Enhet	Typ A	Typ B
Rc	Betong, betongprodukter, murbruk, betongblock	viktprocent	≥90	≥50
Ru	Obunden ballast, natursten, hydrauliskt bunden ballast	viktprocent	≥95	≥70
Rb	Murverkselement/produkter av lera (d.v.s. tegelstenar och kakelplattor), murstenar av kalksandsten, icke-flytande lättbetong	viktprocent	≤10	≤30
Ra	Bitumiösa material	viktprocent	≤1	≤5
FL	Flytande material i volym	cm <sup>3</sup> /kg	≤2	≤2
Rg+X	Glas + Kohesiva (d.v.s. lera och jord), metaller (järnhaltiga och icke-järnhaltiga), icke-flytande trä, plast, gummi, gipsbruk	viktprocent	≤1	≤2

Utöver SS-EN 12620 and SS 137003 finns även rekommendationer i bilaga E i SS-EN 206 för typ A och B, se Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Tabell E.3 i bilaga E i SS-EN 206:2013+A2:2021. "Rekommendationer för grov ballast av återvunna rivningsmaterial enligt EN 12620".

Egenskap <sup>a</sup>	Avsnitt i SS-EN 12620:2002+A1:2008	Typ	Kategori enligt EN 12620
Finmaterialhalt	4.6	A+B	Kategori eller värde deklarerar
Flisighetsindex	4.4	A+B	$\leq FI_{50}$ eller $\leq SI_{55}$
Mostånd mot fragmentering	5.2	A+B	$\leq LA_{50}$ eller $\leq SZ_{38}$
Ugnstorr korndensitet	5.5	A	$\geq 2100 \text{ kg/m}^3$
		B	$\geq 1700 \text{ kg/m}^3$
Vattenabsorption	5.5	A+B	Värde deklarerar
Delmaterial <sup>b</sup>	5.8	A	$RC_{90}, RCu_{95}, Rb_{10-}, Ra_{1-}, FL_{2-}, XRg_{1-}$
		B	$RC_{50}, RCu_{70}, Rb_{30-}, Ra_{5-}, FL_{2-}, XRg_{2-}$
Innehåll av vattenlösligt sulfat	6.3.3	A+B	$\leq SS_{0,2}$
Innehåll av syralösliga kloridjoner	6.2	A+B	Värde deklarerar
Inverkan på initial bindetid	6.4.1	A+B	$\leq A_{40}$
<sup>a</sup>	Kategori NR (inga krav) kan användas för alla andra egenskaper, som inte anges i denna tabell, för vilka EN 12620 anger att kategori NR kan anges.		
<sup>b</sup>	För säkrskilda tillämpningar som kräver hög ytkvalitet bör beståndsdelen FL begränsas till kategori $FL_{0,2}$ .		

Då Tabell 3.3 uppfylls anges gränsvärden i SS 137003 på hur mycket normaltung grov ballast som kan ersättas av återvunnen grov ballast, se Tabell 3.4.

Tabell 3.4: Tabell 5 i SS 137003:2021 "Högsta andelar (massfraktion) av den grova ballasten som får utgöras av ballast av återvunna rivningsmaterial"

Typ av material	Exponeringsklasser			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1, XS1	Alla andra exponeringsklasser
Ballast av återvunna rivningsmaterial typ A	50 %	30 %	30 %	0 % <sup>a</sup>
Ballast av återvunna rivningsmaterial typ B	50 %	20 %	0 %	0 %
Anm. 1	Observera att sammanlagt 5 % av den totala ballastmängden alltid får utgöras av ballast av krossad restbetong eller ballast återvunnen ur färskbetong.			
Anm. 2	Grov ballast definieras i SS-EN 12620+A1:2008 enligt följande: benämning som ges till grövre sortering med D större eller lika med 4 mm och d större än eller lika med 2 mm.			
<sup>a</sup>	Upp till 20 % ballast av återvunna rivningsmaterial typ A får användas under förutsättning att det är säkerställt att dess ursprung utgörs av betong som har minst samma hållfasthetsklass och minst uppfyller kraven som gäller för den exponeringsklass i vilken betongen ska användas.			
<sup>b</sup>	Ballast av återvunna rivningsmaterial typ B ska inte användas i hållfasthetsklasser högre än C30/37			

SS-EN 206 säger även att då betong innehåller återvunna rivningsmaterial, bör provning övervägas för krypning, uttorkningskrympning och elasticitetsmodul.

### Fin ballast

I SS-EN 206 anges det inte några rekommendationer kring användningen av fin ballast från återvunna rivningsmaterial. Enligt Nedeljković m. fl. (2021) är behovet stort för en standard eftersom denna typen behöver en omfattande kvalitetskontroll då variationen är större jämfört med fin ballast av krossat berg. Avsaknaden av regler eller förbud kan tolkas som att om den uppfyller kraven för grova ballasten kan den användas på liknande sätt (Brander m. fl., 2020).

## 4. Material

I detta avsnitt beskrivs materialet som har använts i försöken. Först presenteras de använda materialen översiktligt innan karakteriseringen av materialen beskrivs. De egenskaper som främst behandlas är korndensitet, vattenabsorption och kornstorleksfördelning. I de fall där egenskaperna inte tillhandahållits av tillverkaren presenteras metoden som användes för att bestämma egenskaperna hos materialet.

I samtliga försök användes samma typ av cement, flyttillsatsmedel och absorptionshämmare. Cementet var byggcement CEM II/A-LL 42,5 R vilket har ett ordinärt hårdnandeförlopp. Korndensiteten för materialet är  $3080 \text{ kg/m}^3$ . Flyttillsatsmedlet som användes var ett superplasticerande tillsatsmedel baserat på modifierade akrylpolymerer med en densitet på  $1050 \text{ kg/m}^3$  och en torrhalt på 23 %. Absorptionshämmaren har en densitet på  $1070 \text{ kg/m}^3$ , en torrhalt på 20 % och består av formaldehydfria akrylpolymerer som modifierats i en vattenlösning.

De ballastmaterial som användes är glimmerrik bergkross i två fraktioner, 0/4 mm och 8/16 mm, återvunnen betong i fraktionen 0/16 mm, en referensballast i fraktionen 0/8 mm bestående av naturgrus samt en referensballast i fraktionen 12/16 mm av krossad gnejs och diabas.

Den glimmerrika krossade ballasten bestående av bergarterna gnejs och granit levererades i två olika säckar där den ena innehöll finfraktion 0/4 mm och den andra innehöll grovfraktion 8/16 mm. Ballasten skyfflades över till tunnor, och förvarades sedan i tunnorna med lock tills den användes för gjutning. För fraktion 0/4 hade ballastleverantören genomfört en petrografisk analys för att bestämma glimmerhalten med hjälp av tunnslipsanalys på fraktion 0,063/2 mm samt 2/4 mm. För 0,063/2 angavs volymandelen fri glimmer till 12 % och bunden glimmer till 5 %. För 2/4 mm angavs volymandelen bunden glimmer till 11 %. För fraktion 8/16 hade den petrografiska analysen endast en okulär analys som bedömde att 4/8 och 8/16 var likvärdiga 0/2 och 0/4 när det gäller typ och proportion av bergarter. Således anges inget värde på glimmerhalt då det ej anses vara nödvändigt när det inte förekommer fri glimmer.

I Figur 4.1 och Figur 4.2 nedan visas de glimmerrika bergkrossmaterialen. Till höger i Figur 4.2 syns ansamlingar av finfraktioner i tunnorna ovanpå den grova ballasten. Med stor sannolikhet innehåller finfraktionerna fri glimmer och därmed siktades ballasten innan den vägdes upp.



*Figur 4.1: Glimmerrik bergkross fraktion 0/4 mm.*



*Figur 4.2: Glimmerrik bergkross fraktion 8/16 mm. Till höger i figuren syns en anrikning av finfraktion ovanpå den grova ballasten.*

Den återvunna betongen bestod av restbetong vilket innebär att överbliven betong med varierande kvalitet och innehåll har hårdnat, lagrats och slutligen krossats. Krossningen utfördes med hjälp av en krossanläggning som erhåller fraktionen 0/16 samt är utrustad med kraftiga magneter för att separera metallfibrer och betong. Den återvunna betongen levererades fuktig i två större tunnor. Då det var relativt stor variation i fuktkvot i tunnorna placerades först den återvunna ballasten i en ugn på 105 °C i cirka 24 timmar för att torkas ut till 0 % fuktkvot. Därefter placerades i mindre hinkar med lock fram till gjutning. Figur 4.3 visar den återvunna betongen placerad i en hink.



*Figur 4.3: Återvunnen betong av fraktion 0/16 mm.*

## 4.1 Karakterisering av ballast

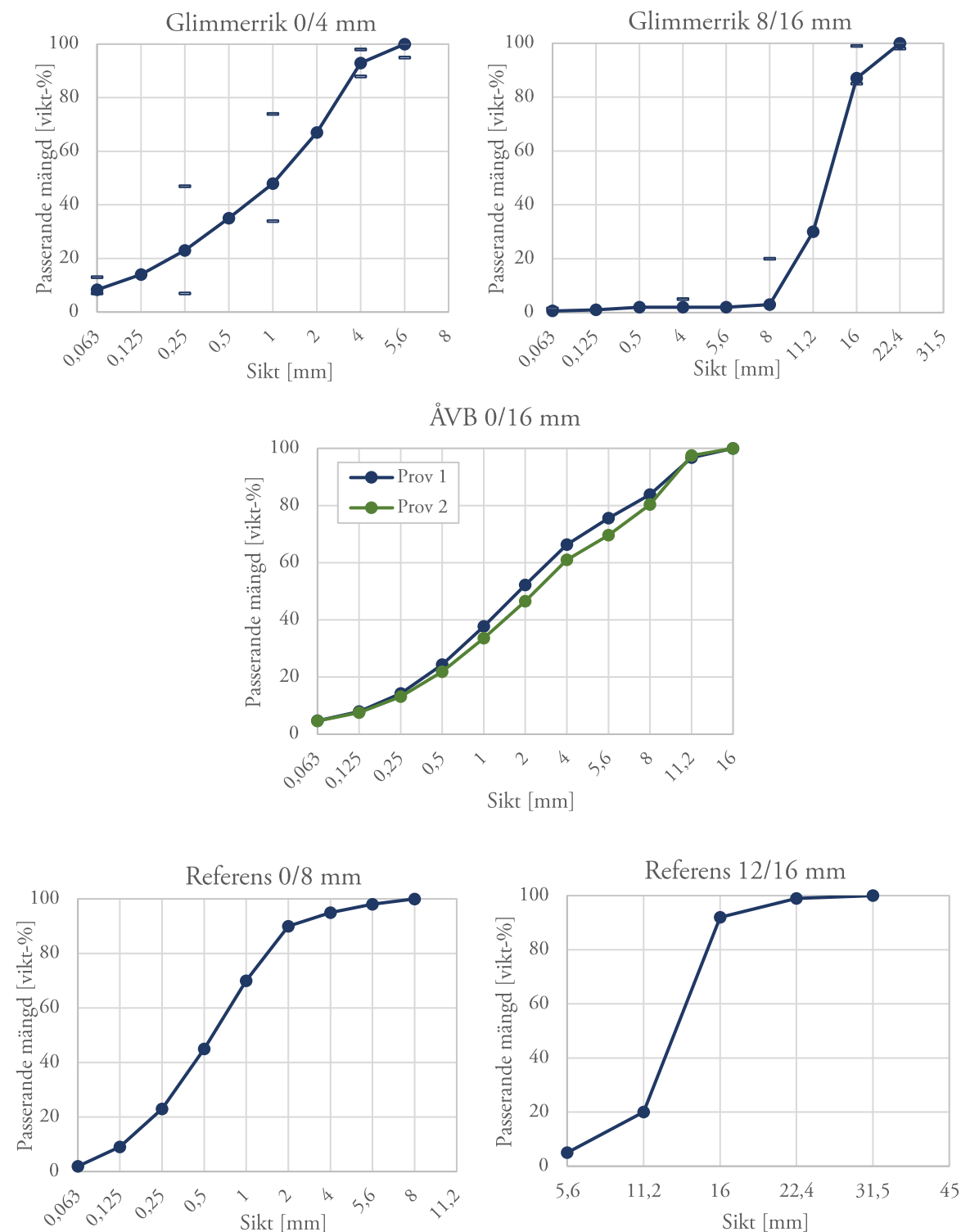
Korndensitet och vattenabsorption erhöles från ballastleverantör för glimmerrik bergkross fraktion 0/4 mm, återvunnen betong samt de båda referensmaterialen. Testerna är utförda av leverantörerna enligt SS-EN 1097-6. För den återvunna betongen redovisades ett värde på vattenabsorptionen från leverantören på 1,9 %. I samråd med betongtillverkare sattes dock absorptionen till 2,6 % då 1,9 % hade visat sig vara för lågt. För den glimmerrika bergkrossen fraktion 8/16 mm erhålls ingen korndensitet och vattenabsorption. Denna testades därför enligt standard, se 4.1.1 *Bestämning av korndensitet och vattenabsorption*. Korndensiteten och vattenabsorptionen för ballastmaterialen presenteras i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Korndensitet och vattenabsorption för använda ballastmaterial.

Typ	Beskrivning	Yttorr korndensitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Vattenabsorption [%]	Anm.
Glimmerrik 0/4	Krossad gnejs/granit, 11–12 % fri glimmer	2720	0,3	a)
Glimmerrik 8/16	Krossad gnejs/granit, 11–12 % bunden glimmer	2700	0,4	b)
ÅVB 0/16	Krossad restbetong	2510	2,6	a)
Referens 0/8	Naturgrus	2650	0,4	a)
Referens 12/16	Krossad gnejs/diabas	2730	0,3	a)

a) Korndensitet och vattenabsorption bestämd av leverantör  
b) Korndensitet och vattenabsorption från försök, se avsnitt 4.1.1

Kornstorleksfördelningen och tillhörande siktkurva mottogs från ballastleverantör för båda fraktioner av glimmerrik bergkross samt för båda referensmaterialen. Siktningen hade utförts av leverantör enligt SS-EN 933-1. För den återvunna betongen bestämdes kornstorleksfördelningen med hjälp av siktning, se 4.1.2 *Bestämning av siktkurva*. Siktkurvorna för ballastmaterialen presenteras i Figur 4.4 nedan.



Figur 4.4: Kornfördelningskurvor för glimmerrik bergkross, återvunnen betong och referensballast. Strecken i graferna med glimmerrik ballast motsvarar största och minsta värde. Samtliga data är erhållna från leverantör förutom för ÅVB.



### 4.1.1 Bestämning av korndensitet och vattenabsorption

Densiteten hos den grova glimmerrika ballasten bestämdes utifrån SS-EN 1097–6:2022. Då de tillgängliga provningskärlen var små utfördes testet på en mindre mängd ballast, cirka 0,1–0,2 kg, i stället för det rekommenderade 2 kg. Vidare användes en E-kolv för provningen i stället för en pyknometer då en sådan inte fanns tillgänglig vid laborationstillfället. Då den önskade densiteten är *saturated surface dry (SSD)*,  $\rho_{ssd}$ , användes Ekvation (2).

$$\rho_{ssd} = \rho_w \cdot \frac{M_1}{M_1 - (M_2 + M_3)} \quad (2)$$

$M_1$	Massan hos SSD-ballastkorn [kg]
$M_2$	Massan av provningskärlet fyllt SSD-ballast och vatten [kg]
$M_3$	Massan av provningskärlet fyllt med vatten [kg]
$\rho_w$	Vattendensiteten vid aktuell temperatur [kg/m <sup>3</sup> ]

För att erhålla SSD-ballast lades den naturfuktiga ballasten i blöt i cirka 24 timmar. Därefter plockades ett antal korn upp från blötläggningen och ytan torkades av lätt tills ingen vattenfilm fanns kvar på ytan. Ballastkornens placerades i en behållare och deras massa,  $M_1$ , bestämdes. Vattnets temperatur mättes och därefter fylldes det upp i en E-kolv. Omrörning i E-kolven genomfördes med jämna mellanrum för att tränga bort luftbubblor. När E-kolven var fylld antecknades dess vattenfyllda massa,  $M_3$ . Slutligen placerades ballastkornen i E-kolven tillsammans med vattnet och massan  $M_2$  antecknades. Vattendensiteten sattes till 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Vattenabsorptionen räknades fram genom att använda Ekvation (3).

$$WA_{24} = \frac{M_1 - M_4}{M_4} \quad (3)$$

$M_1$	Massan hos SSD-ballastkorn [kg]
$M_4$	Massan av ugnstorra ballastkorn [kg]

Då  $M_1$  redan hade bestämts placerades ballastkornen i en ugn på 105 °C i 24 timmar för att erhålla  $M_4$ . Därefter kunde vattenabsorptionen bestämmas genom vägning.

För att få pålitligare värden utfördes två prover. Resultatet av dessa presenteras i Tabell 4.2, där fetmarkerade värden är framräknade. De slutgiltiga värdena som användes i receptet redovisas i Tabell 4.1 och är avrundat medelvärde av de två proverna.

Tabell 4.2: Resultat korndensitet och vattenabsorption 8/16.

Prov	1	2
$\rho_{H_2O}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1000	1000
M <sub>1</sub> [g]	162,5	194
M <sub>2</sub> [g]	603,4	888,9
M <sub>3</sub> [g]	500,8	767,2
M <sub>4</sub> [g]	162	177,5
$\rho_{ssd}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2713	2683
WA <sub>24</sub> [%]	0,31	0,47

#### 4.1.2 Bestämning av siktkurva

För att bestämma den återvunna ballastens *kornfördelning* siktades denna i enlighet med SS-EN 933–1:2012. Då den tillgängliga sikten, se Figur 4.5, enbart kan hantera små mängder ballast frångicks standarden och provstorleken minskades från det rekommenderade minimivikten 2,6 kg till 0,2 kg.



Figur 4.5: Sikt i laboratoriet.

Provningen genomfördes genom att först placera en godtycklig mängd återvunnen betong från en av tunnorna som ballasten levererats i på en plåt som över natten fick stå i en ugn med temperaturen 105 °C. Mängden antogs vara representativ då den återvunna ballasten var naturfuktig och således bör ingen betydande separation av grova och fina fraktioner ha skett i tunnorna.

Efter torkning vägdes provet upp, varpå det placerades i sikten och siktades under 15 minuter. Två försök genomfördes för att säkerställa att kornfördelningskurvorna blir representativa för materialet. Slutligen vägdes massan som passerat respektive sikt och antalet procent som passerat beräknades.

## 5. Metod

I detta avsnitt presenteras metodiken som användes i försöken. Då förutsättningarna varierade för blandningarna på grund av ballastens egenskaper användes olika blandningsmetoder beroende på vilket recept som avses. Först kommer därför de generella metodikerna som användes att beskrivas kortfattat. Därefter beskrivs genomförandet av de olika delmomenten i detalj, och slutligen presenteras de olika blandningarna som genomfördes.

### 5.1 Blandning av betong

#### 5.1.1 Referensbetong

En referensblandning gjöts utan några krävande ballastmaterial. Syftet med denna referens var att kunna jämföra dess egenskaper med blandningarna med återvunnen betong. Blandningsmetoden för referensblandningen beskrivs nedan.

1. Fuktkvot mättes för Referens 0/8, se *5.2.1 Fuktkvot*
2. Blandaren fuktades.
3. Allt torrmaterial, d.v.s. ballast och cement, tillsattes i blandaren.
4. Blandaren kördes runt i 30 sekunder för att blanda torrmaterialet.
5. Vatten tillsattes.
6. Blandaren kördes runt i 30 sekunder för att få in vattnet i blandningen.
7. Flyttillsatsmedel adderades till blandningen.
8. Blandaren kördes i 3 min, extra flyttillsatsmedel tillsattes vid behov tills lagom blöt konsistens uppnåddes.
9. Temperaturmätning i blandning.
10. Sättnmätt togs enligt *5.2.2 Sättnmätt*.
11. Ett prov från betongblandningen siktades på 4 mm för att kunna användas i kalorimetern. Se *5.2.4 Kalorimetri* för detaljer.
12. Lufthalten mättes och densiteten bestämdes, se *5.2.3 Lufthalt & densitet*.
13. Efter lufthaltsmätningen avlägsnades det översta betonglagret i mätaren för att inte tillföra extra vatten till betongblandningen.
14. 30 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnmätt.
15. 60 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnmätt och lufthalten mättes.
16. 90 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnmätt.
17. Efter 90 minuter gjöts sex kuber för tryckprovning, se *5.2.5 Kuber för tryckprovning*. Även två hinkar fylldes med betong för RF-mätning, se *5.2.6 Mätning av relativ fuktighet*.
18. Efter 24 timmar trycktes tre kuber.
19. Efter 28 dygn trycktes tre kuber.

### 5.1.2 Betong med glimmerrik bergkross

Totalt genomfördes 19 blandningar med glimmerrik ballast. Av dessa 19 blandningar använde majoriteten metoden som beskrivs nedan, kallad Metod A.

#### Metod A

1. Glimmerrik 0/4 fuktades till en fuktkvot på ca 4 %.
2. Fuktkvoten mättes i Glimmerrik 0/4, se 5.2.1 *Fuktkvot*.
3. Blandaren fuktades.
4. Glimmerrik 8/16, hälften av Glimmerrik 0/4 och cement tillsattes i blandaren.
5. Blandaren kördes runt i 30 sekunder för att blanda torrmaterialet.
6. Vatten och eventuell absorptionshämmare tillsattes.
7. Blandaren kördes runt i 30 sekunder för att få in vattnet i blandningen.
8. Flyttillsatsmedel adderades till blandningen tills en blöt konsistens uppnåddes.
9. Resterande mängd av Glimmerrik 0/4 tillsattes.
10. Blandaren kördes i 3 min, extra flyttillsatsmedel tillsattes vid behov tills lagom blöt konsistens uppnåddes.
11. Temperaturmätning i blandning.
12. Sättnått togs enligt 5.2.2 *Sättnått*.
13. Ett prov från betongblandningen siktades på 4 mm för att kunna användas i kalorimetern. Se 5.2.4 *Kalorimetri* för detaljer.
14. Lufthalten mättes och densiteten bestämdes, se 5.2.3 *Lufthalt & densitet*.
15. Efter lufthaltsmätningen avlägsnades det översta betonglagret i mätaren för att inte tillföra extra vatten till betongblandningen.
16. 30 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnått.
17. 60 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnått och lufthalten mättes.
18. 90 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnått.
19. Efter 90 minuter gjöts sex kuber för provtryckning, se 5.2.5 *Kuber för tryckprovning*.
20. Efter 24 timmar trycktes tre kuber.
21. Efter 28 dygn trycktes tre kuber.

I början gjordes även försök med Metod B och Metod C. Skillnaden på dessa metoder från Metod A beskrivs kortfattat nedan.

#### Metod B

Allt torrmaterial tillsattes samtidigt och finballasten fuktades inte innan användning. I övrigt samma tillvägagångssätt som Metod A.

#### Metod C

Blandningstiden när vatten och eventuell absorptionshämmare tillsattes ökades till 5 minuter från 30 sekunder. Efter att flyttillsatsmedel adderats blandades ytterligare 10 minuter. För varje efterdosering av flyttillsatsmedel blandades 5 minuter extra.

### 5.1.3 Betong med återvunnen betong som ballast

Då den levererade återvunna betongen var fuktig med varierande fuktkvot gjordes valet att torka ballasten innan användning i betongen, detta för att säkerställa att rätt fuktkvot användes i receptet. Ett försök gjordes att fukta ballast på liknande sätt som i Metod A för glimmerrik ballast, men materialet tedde sig lika torrt som innan och en fuktkvot på 4 % antogs inte bidra till att öka reologin i en betongblandning nämnvärt. Nedan beskrivs metoden som användes för samtliga blandningar med ÅVB.

1. Den återvunna ballasten torkades.
2. Fuktkvoten mättes i Referens 0/8, se 5.2.1 *Fuktkvot*.
3. Blandaren fuktades.
4. ÅVB, Referens 12/16, halva mängden av Referens 0/8 och cement tillsattes i blandaren.
5. Blandaren kördes runt i 30 sekunder för att blanda torrmaterialet.
6. Vatten och eventuell absorptionshämmare tillsattes.
7. Blandaren kördes runt i 30 sekunder för att få in vattnet i blandningen.
8. Flyttillsatsmedel adderades till blandningen tills en blöt konsistens uppnåddes.
9. Resterande mängd av Referens 0/8 tillsattes.
10. Blandaren kördes i 3 min, extra flyttillsatsmedel tillsattes vid behov tills lagom blöt konsistens uppnåddes.
11. Temperaturmätning i blandning.
12. Sättnått togs enligt 5.2.2 *Sättnått*.
13. Ett prov från betongblandningen siktades på 4 mm för att kunna användas i kalorimetern. Se 5.2.4 *Kalorimetri* för detaljer.
14. Lufthalten mättes och densiteten bestämdes, se 5.2.3 *Lufthalt & densitet*.
15. Efter lufthaltsmätningen avlägsnades det översta betonglagret i mätaren för att inte tillföra extra vatten till betongblandningen.
16. 30 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnått.
17. 60 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnått och lufthalten mättes.
18. 90 minuter efter att vattnet tillfördes togs ett sättnått.
20. Efter 90 minuter gjöts sex kuber för provtryckning, se 5.2.5 *Kuber för tryckprovning*. Även två hinkar fylldes med betong för RF-mätning, se 5.2.6 *Mätning av relativ fuktighet*.
19. Efter 24 timmar trycktes tre kuber.
20. Efter 28 dygn trycktes tre kuber.

## 5.2 Karakteriseringsmetoder

### 5.2.1 Fuktkvot

Vid bestämning av fuktkvot hos ballasten användes fuktanalysatorer PMB 202 (Adam Equipment, Storbritannien), se Figur 5.1.



Figur 5.1: Fuktanalysatorer PMB 202.

Först placerades cirka 20 g ballasten på små plåtar i fuktanalysatorerna. När maskinerna startas torkar de provet tills en konstant massa uppnås. Massförlusten registreras och översätts till en fuktkvot hos provet enligt Ekvation 4. Metoden liknade den som beskrivs i SS-EN 1097-5:2008, med skillnaden att mindre mängd provmaterial användes och att fuktanalysatorn registrerade masskillnaden istället för att detta gjordes manuellt. Samtliga tre fuktanalysatorer användes och ett medelvärde av de uppmätta fuktkvoterna användes i recepten.

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \cdot 100 \quad (4)$$

$M_1$       Provets ursprungliga massa [kg]

$M_3$       Provets torra massa [kg]

$w$       Provets fuktkvot [%]

## 5.2.2 Sättnmätt

Sättnmättet togs i enighet med SS-EN 12350-2:2019. Bottenplattan och konen fuktades varpå konen fylldes med betong upp till en tredjedel av höjden. Därefter stöttes den 25 gånger med en stav. Konen fylldes sedan upp till två tredjedelar och stöttes 25 gånger på nytt. Slutligen fylldes konen upp till toppen och stöttes 25 gånger. Därefter drogs konen upp och sättnmättet mättes, se Figur 5.2 för procedur och sättnmättningsmätning. I de fall då utflytningen blev ojämn, såsom i Figur 5.3, frångicks standarden och sättnmättet sattes till ett medelvärde av den högre och lägre nivån. Det första sättnmättet som togs för samtliga blandningar låg mellan 200–230 mm och utvecklingen följdes efter 30, 60 och 90 minuter.



Figur 5.2: Stötning av betong i kon (till vänster) och sättnmätt (till höger).



Figur 5.3: Sättnmätt av betong med ojämnt utflyt, ett medelvärde togs mellan övre och undre nivå.

### 5.2.3 Lufthalt & densitet

Lufthalten mättes med en lufthaltsmätare B2020 (Form + Test, Tyskland) enligt SS-EN 12350-7:2019, se Figur 5.4. Lufthalten mättes två gånger för varje blandning, en gång efter 5 minuter och en gång efter 60 minuter. Då mätbehållaren har en volym på exakt 8 liter bestämdes även betongens färska densitet genom att väga behållaren fylld med betong och subtrahera behållarens tomma vikt.



Figur 5.4: Lufthaltsmätare.

### 5.2.4 Kalorimetri

För att bestämma värmeutvecklingen och identifiera eventuell retardation hos blandningarna användes kalorimetrar av modell I-Cal 2000 HPC (Calmetrix, USA), se Figur 5.5. Från varje blandning sattes två kalorimeterprover, en i varje kalorimeter. För att avlägsna ballast som var för grov för att rymmas i kalorimetrarna, siktades betongen på 4 mm. För att underlätta siktningen användes ett vibrationsbord. Den siktade betongen vägdes sedan upp i små plastburkar som sedan placerades i kalorimetrarna. Värmeutvecklingen i proverna mättes sedan i 24 timmar.



Figur 5.5: Kalorimetrar.



## 5.2.5 Kuber för tryckprovning

För varje blandning gjöts sex kuber med måttet 100 mm, se Figur 5.6, för att kunna utvärdera tryckhållfastheten efter 24 timmar och efter 28 dygn. Kuberna gjöts i enighet med SS-EN 12390–1:2021 och SS-EN 12390–2:2019. Kuberna täcktes med plast för att minska uttorkningen.



*Figur 5.6: Gjutna kuber för tryckprovning.*

Efter 24 timmar avformades kuberna och tre av dessa trycktes i en hydraulisk press av modell Alpha 3-3000 AD (Form + Test, Tyskland), se Figur 5.7, med konstant lastökning i enighet med SS-EN 12390–4:2019 tills provkropparna gick till brott. Tryckningen vid 24 timmar utfördes 24 timmar efter att vattnets tillsattes till betongblandningen, då det är vid denna tidpunkt som hydrationsprocessen startar och därför definieras som  $t_0$ . Resterande tre kuber placerades i vattenbad för härdning tills dessa trycktes efter 28 dygn. Tre provkroppar trycktes vid varje tillfälle för att erhålla säkerhet i resultatet.



*Figur 5.7: Tryckprovning med hydraulisk press.*

## 5.2.6 Mätning av relativ fuktighet

För varje blandning där relativ fuktighet mättes gjöts två hinkar, en hink med lock och en hink utan. I hinken med lock sker enbart självuttorkning, medan i hinken utan lock sker också uttorkning utåt på grund av den exponerade ytan. Efter några dagar monterades RF-mätarna i samtliga hinkar, se Figur 5.8.



*Figur 5.8: Hinkar med monterade fuktmätare.*

## 5.3 Recept

I detta avsnitt kommer de olika blandningarna som genomfördes att presenteras översiktligt, för betongrecept i detalj för varje blandning se Bilaga A.

### 5.3.1 Glimmerrik ballast

Blandningar med glimmerrik ballast gjordes vid tre olika vct, 0,4, 0,5 och 0,6, där 100 % av ballasten bestod av glimmerrikt material. Ett flertal blandningar gjordes på varje vct med varierande mängd absorptionshämmare för att se om detta hade någon inverkan på betongens egenskaper, både färsk och hårdnade. Vidare doserades flyttillsatsmedlet för att uppnå ett första sättmått på 200–230 mm. Blandningarna med glimmerrik ballast är namngivna enligt följande system:

$G_{xxR_{yy}f}$

G Glimmerrik ballast

xx vct i blandningen, exempelvis 0,4.

R Absorptionshämmare

yy Procent absorptionshämmare av cementvikt, exempelvis 0,5. För blandningar utan absorptionshämmare ersätts procenten med *Ref*. Eventuell siffra efter *Ref* är för en specifik metod.

f Gäller enbart för vct 0,6, *f* står för fuktad ballast, ofuktad är utan *f*.

I Tabell 5.1 presenteras de olika blandningarna som genomfördes med vct 0,4. Samtliga gjordes med Metod A.

Tabell 5.1: Blandningar med vct 0,4.

vct 0,4						
Blandning	Absorptionshäm. [% av cementvikt]	Absorptionshäm. [kg/m <sup>3</sup> ]	Flyttillsatsmedel [% av cementvikt]	Flyttillsatsmedel [kg/m <sup>3</sup> ]	Fuktkvot 0/4 [%]	Metod
G0,4 <sub>Ref</sub>	0	0	1,32	6,07	4,30	A
G0,4 <sub>R0,3</sub>	0,30	1,38	1,26	5,80	3,90	A
G0,4 <sub>R0,5</sub>	0,50	2,30	1,21	5,57	4,30	A
G0,4 <sub>R0,7</sub>	0,70	3,22	1,00	4,60	3,90	A

För vct 0,5 gjordes först två blandningar med Metod B, en referens och en med 0,4 % absorptionshämmare. Därefter uppdaterades receptet med ökad cementhalt samt ändrad blandningstid och fuktad ballast enligt Metod C, och två blandningar gjordes på detta sätt. Slutligen gjordes fyra blandningar med Metod A. Se Tabell 5.2 för sammanställning av blandningar med vct 0,5.

Tabell 5.2: Blandningar med vct 0,5.

vct 0,5						
Blandning	Absorptionshäm. [% av cementvikt]	Absorptionshäm. [kg/m <sup>3</sup> ]	Flyttillsatsmedel [% av cementvikt]	Flyttillsatsmedel [kg/m <sup>3</sup> ]	Fuktkvot 0/4 [%]	Metod
G0,5 <sub>Ref1</sub>	0	0	1,23	4,67	0,80	B
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	0,40	1,52	1,10	4,18	0,30	B
G0,5 <sub>Ref2</sub>	0	0	1,62	6,48	4,20	C
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	0,80	3,20	1,74	6,96	3,80	C
G0,5 <sub>Ref3</sub>	0	0	1,14	4,56	4,80	A
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	0,40	1,60	0,92	3,68	4,80	A
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	0,60	2,40	0,87	3,48	4,70	A
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	0,80	3,20	0,64	2,56	4,70	A

För vct 0,6 genomfördes först en hel blandningsserie enligt Metod B. Sedan gjordes alla blandningar med absorptionshämmare om enligt Metod A. Samtliga blandningar med vct 0,6 presenteras i Tabell 5.3.

Tabell 5.3: Blandningar med vct 0,6.

vct 0,6						
Blandning	Absorptionshäm. [% av cementvikt]	Absorptionshäm. [kg/m <sup>3</sup> ]	Flyttillsatsmedel [% av cementvikt]	Flyttillsatsmedel [kg/m <sup>3</sup> ]	Fuktkvot 0/4 [%]	Metod
G0,6 <sub>Ref</sub>	0	0	1,22	4,03	0,50	B
G0,6 <sub>R0,3</sub>	0,30	0,99	1,04	3,43	0,50	B
G0,6 <sub>R0,5</sub>	0,50	1,65	0,77	2,54	0,30	B
G0,6 <sub>R0,8</sub>	0,80	2,64	0,63	2,08	0,60	B
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	0,30	0,99	1,02	3,37	4,40	A
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	0,50	1,65	0,97	3,20	4,40	A
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	0,70	2,31	0,83	2,74	4,60	A

### 5.3.2 Referens & återvunnen betong

Sex blandningar gjordes med återvunnen betong. Även en referens utan ÅVB gjordes för jämförelse, se Tabell 5.4. Samtliga sju blandningar hade ett vct på 0,55 och en cementhalt på 360 kg/m<sup>3</sup>. I tre av blandningarna ersattes 25 % av den totala ballastvolymen med ÅVB och i tre ersattes 40 %. Vidare varierades mängden absorptionshämmare. Flyttillsatsmedlet doserades för att erhålla ett första sättmått på 200–230 mm.

Namngivningen för blandningar med ÅVB har följande system:

ÅVB<sub>xxRyy</sub>

ÅVB Återvunnen betong

xx Procent av den totala ballastvolymen som är ersatt med ÅVB

R Absorptionshämmare

yy Procent absorptionshämmare av cementvikt, exempelvis 0,5. För blandningar utan absorptionshämmare ersätts procenten med *Ref*.

Blandningen som görs utan någon ÅVB, d.v.s. referensblandningen har namnet *Ref*.

Tabell 5.4: Receptvariationer för referensblandning och blandningar med ÅVB.

Blandning	Andel ÅVB [%]	Absorptionshäm. [% av cementvikt]	Absorptionshäm. [kg/m <sup>3</sup> ]	Flyttillsatsmedel [% av cementvikt]	Flyttillsatsm. [kg/m <sup>3</sup> ]	Typ av finballast
Ref	0	0	0	0,99	3,56	Naturgrus
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	25	0	0	1,49	5,36	Naturgrus + ÅVB
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	25	0,50	1,80	1,21	4,36	Naturgrus + ÅVB
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	25	0,80	2,88	0,94	3,38	Naturgrus + ÅVB
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	40	0	0	3,02	10,87	Naturgrus + ÅVB
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	40	0,90	3,24	1,85	6,66	Naturgrus + ÅVB
ÅVB40 <sub>R1,2</sub>	40	1,20	4,32	2,25	8,10	Naturgrus + ÅVB

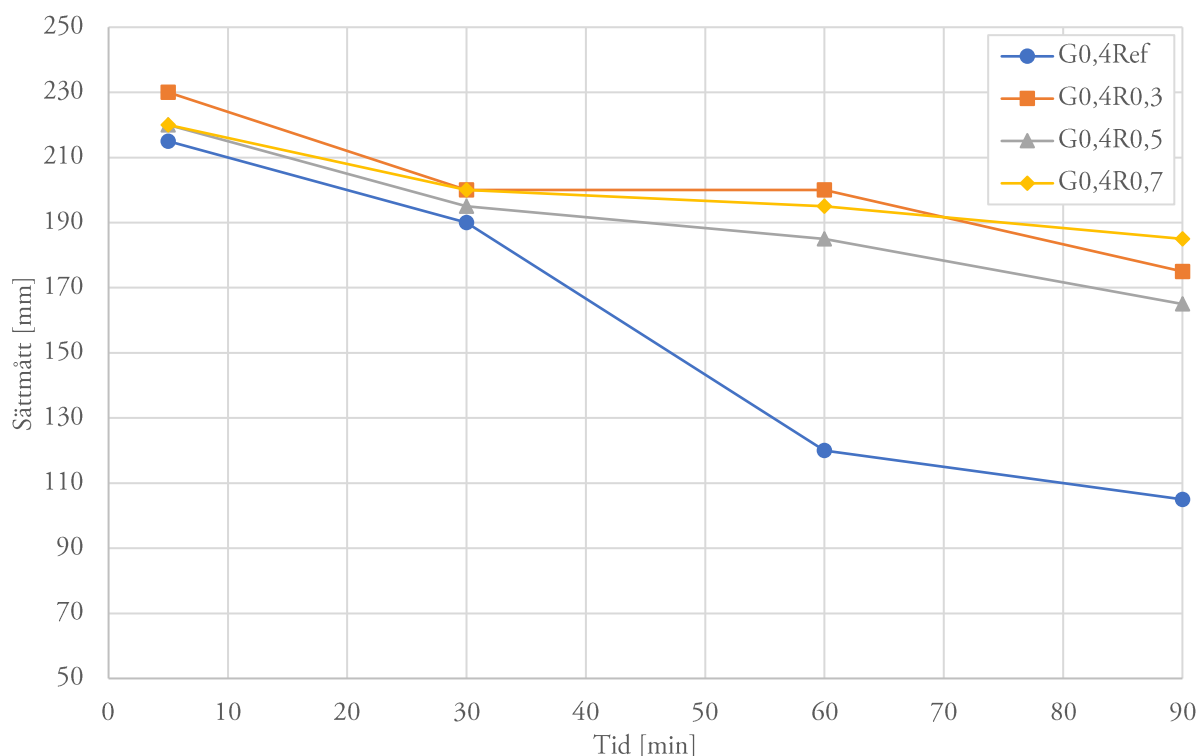
## 6. Resultat

I följande avsnitt presenteras de erhållna resultaten från försöken. Vidare kommer resultaten att kommenteras kortfattat, och eventuella korrelationer mellan olika resultat kommer visas. För detaljerad information kring resultaten hänvisas till Bilaga B, där alla mätvärden finns sammanfattade i tabeller.

### 6.1 Sättmått

#### 6.1.1 Glimmerrik bergkross, vct 0,4

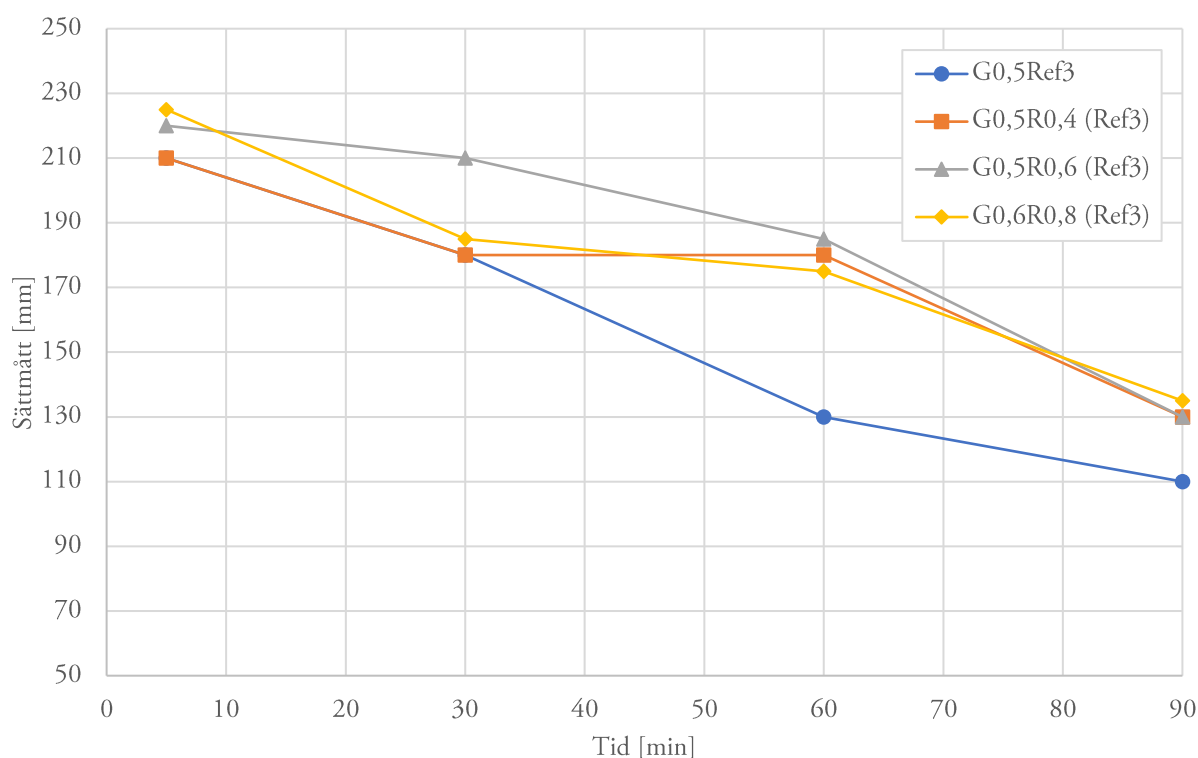
I Figur 6.1 nedan visas sättmåttutvecklingen för alla blandningar med glimmerrik ballast och vct 0,4. För referensblandningen,  $G_{0,4Ref}$ , med 0 % absorptionshämmare syns ett tydligt sättmåttstapp mellan 30 och 60 minuter. De övriga blandningarna  $G_{0,4R0,3}$ ,  $G_{0,4R0,5}$  och  $G_{0,4R0,7}$  med 0,3 %, 0,5 % respektive 0,7 % absorptionshämmare följer referensen de första 30 minuterna. Därefter påvisas tydligt ett mindre tapp i sättmått och efter 90 minuter erhåller samtliga ett sättmått som är minst 60 mm högre än referensen.



Figur 6.1: Sättmått som funktion av tid för olika doseringar av absorptionshämmare med vct 0,4 för betong med glimmerrik bergkross.

## 6.1.2 Glimmerrik bergkross, vct 0,5

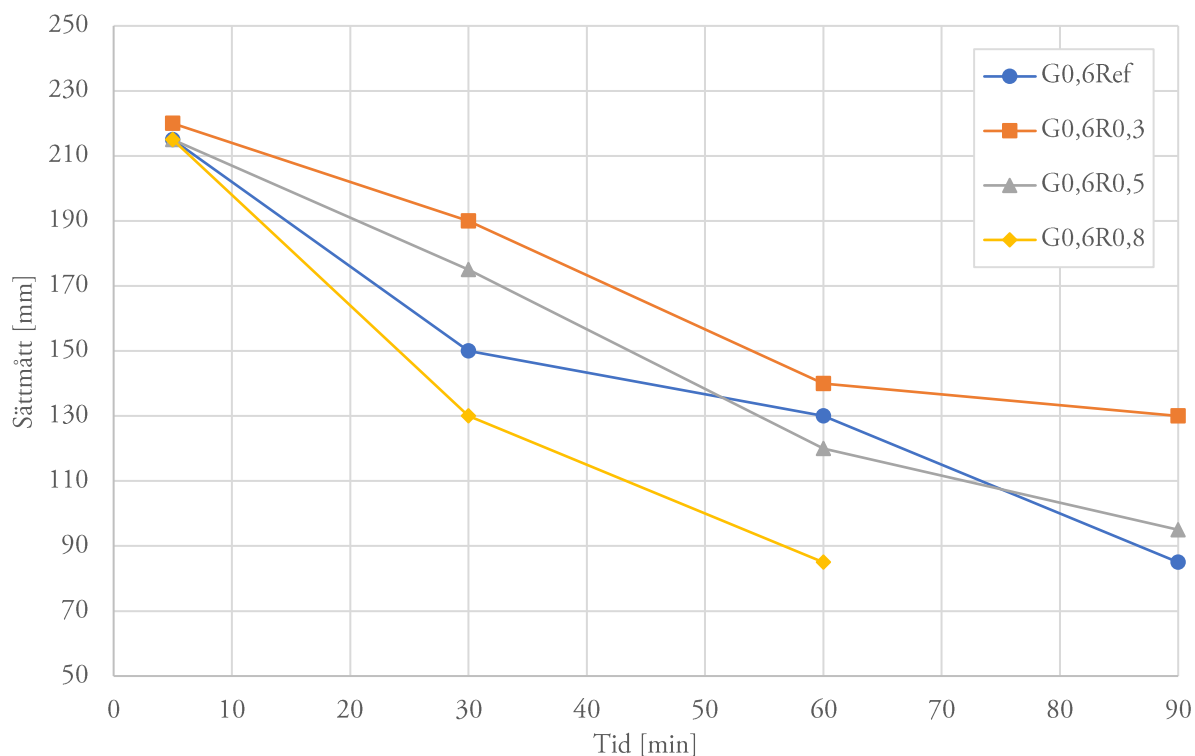
Sättmättet för blandningar med glimmerrik ballast och vct 0,5 presenteras i Figur 6.2. Det är enbart blandningar baserade på Ref3 (Ref3 utförd enligt Metod A, d.v.s. förfuktad finballast) som visas eftersom den har en hel serie av blandningar. För vct 0,5 syns ett liknande beteende för referensen,  $G_{0,5Ref3}$ , som referensen för vct 0,4, d.v.s. en tydlig sättmåttsminskning sker mellan 30 och 60 minuter. Blandningarna  $G_{0,5R_{0,4}Ref3}$  och  $G_{0,5R_{0,8}Ref3}$ , med 0,4 % respektive 0,8 % absorptionshämmare, följer varandra då båda har ett sättmättstapp mellan 5 och 30 minuter respektive 60 och 90 minuter. Sättmättet vid 90 minuter är däremot högre än referensen. Blandningen  $G_{0,5R_{0,6}Ref3}$  med 0,6 % absorptionshämmare har klart högst sättmätt vid 30 minuter, men har vid 90 minuter ungefär samma sättmätt som övriga blandningar med absorptionshämmare.



Figur 6.2: Sättmätt som funktion av tid för olika doseringar av absorptionshämmare med vct 0,5 för betong med glimmerrik bergkross. Samtliga blandningar är baserade på Ref3.

### 6.1.3 Glimmerrik bergkross, vct 0,6

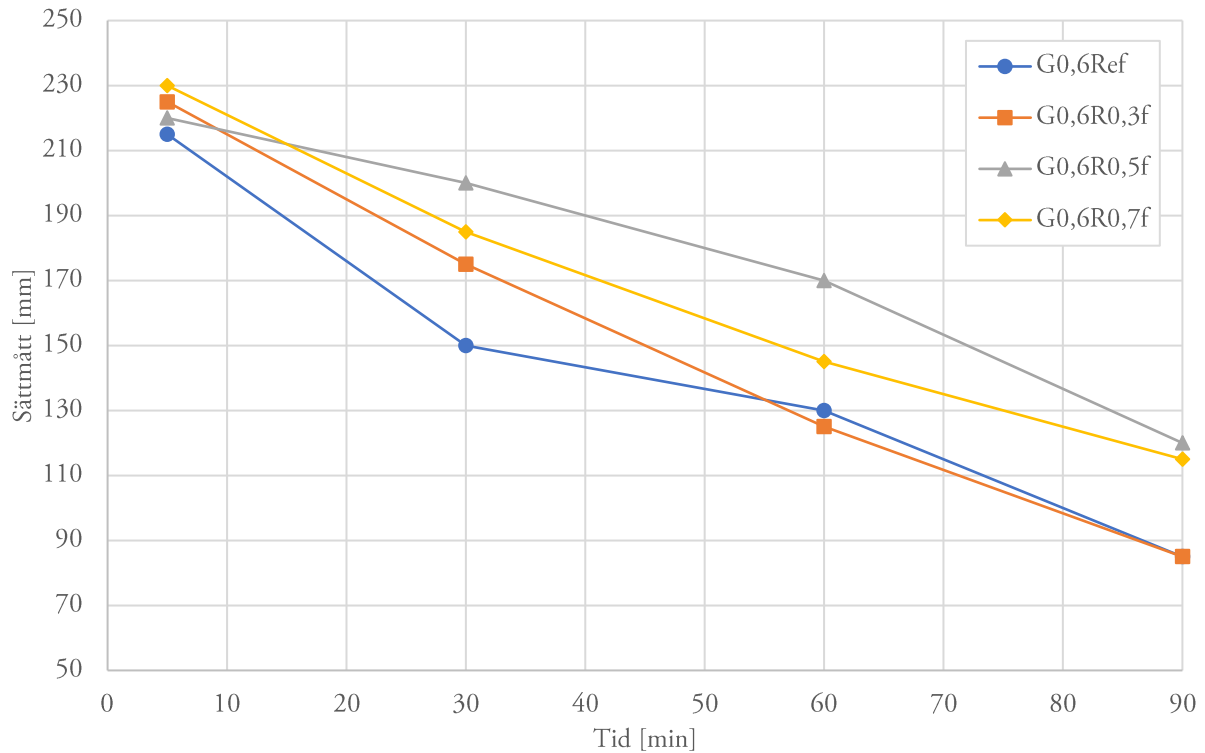
För glimmerrik ballast med vct 0,6 gjordes först försök med ofuktad ballast och sedan med fuktad ballast till en fuktkvot runt 4 %. Sättmåtten för blandningar med ofuktad ballast visas i Figur 6.4. Blandningen med 0,8 % absorptionshämmare,  $G_{0,6R0,8}$ , gav så pass låga sättmått att försöket inte fortsatte efter 60 minuter. Referensen,  $G_{0,6Ref}$ , har stora tapp mellan 5 och 30 minuter respektive 60 och 90 minuter.  $G_{0,6R0,5}$  har ett mer linjärt tapp och presterar generellt sett något bättre än referensen förutom vid 60 minuter. Skillnaden är dock liten. Genomgående högst sättmått har blandningen med 0,3 % absorptionshämmare,  $G_{0,6R0,3}$ .



Figur 6.3: Sättmått som funktion av tid för blandningar med glimmerrik ballast och vct 0,6 för betong med glimmerrik bergkross med olika doseringar av absorptionshämmare. Samtliga blandningar har genomförts med ofuktad ballast.



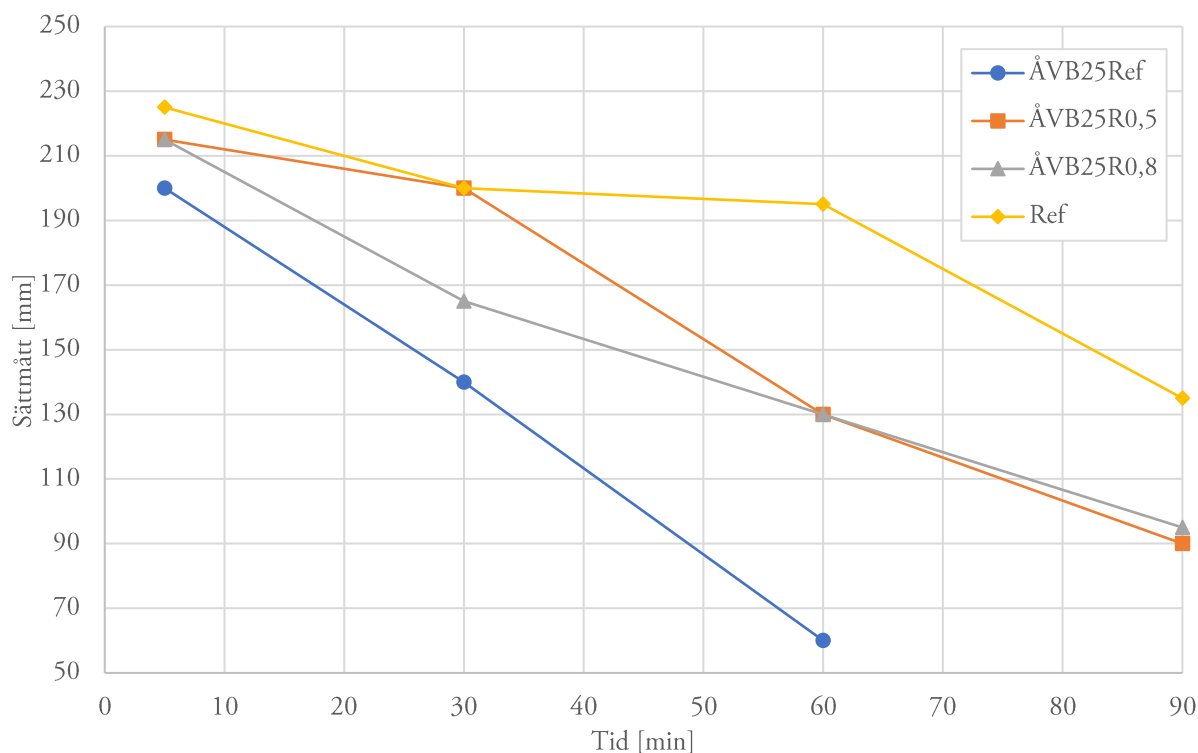
Resultaten från försöken med fuktad ballast presenteras i Figur 6.4. Referensen,  $G0,6_{Ref}$ , som är samma som i Figur 6.3 har här lägst sättmått eller ett sättmått i nivå med  $G0,6_{R0,3f}$  med 0,3 % absorptionshämmare. Blandningen med 0,7 % absorptionshämmare,  $G0,6_{R0,7f}$ , har alltid ett högre sättmått än  $G0,6_{R0,3f}$  och skillnaden ökar över tid. Förutom vid 5 minuter har blandningen med 0,5 % absorptionshämmare,  $G0,6_{R0,5f}$ , högst sättmått.



Figur 6.4: Sättmått som funktion av tid för blandningar med glimmerrik ballast och vct 0,6 för glimmerrik bergkross med olika doseringar av absorptionshämmare. Samliga blandningar utfördes med fuktad ballast förutom  $G0,6_{Ref}$ .

### 6.1.4 Återvunnen betong, 25 %

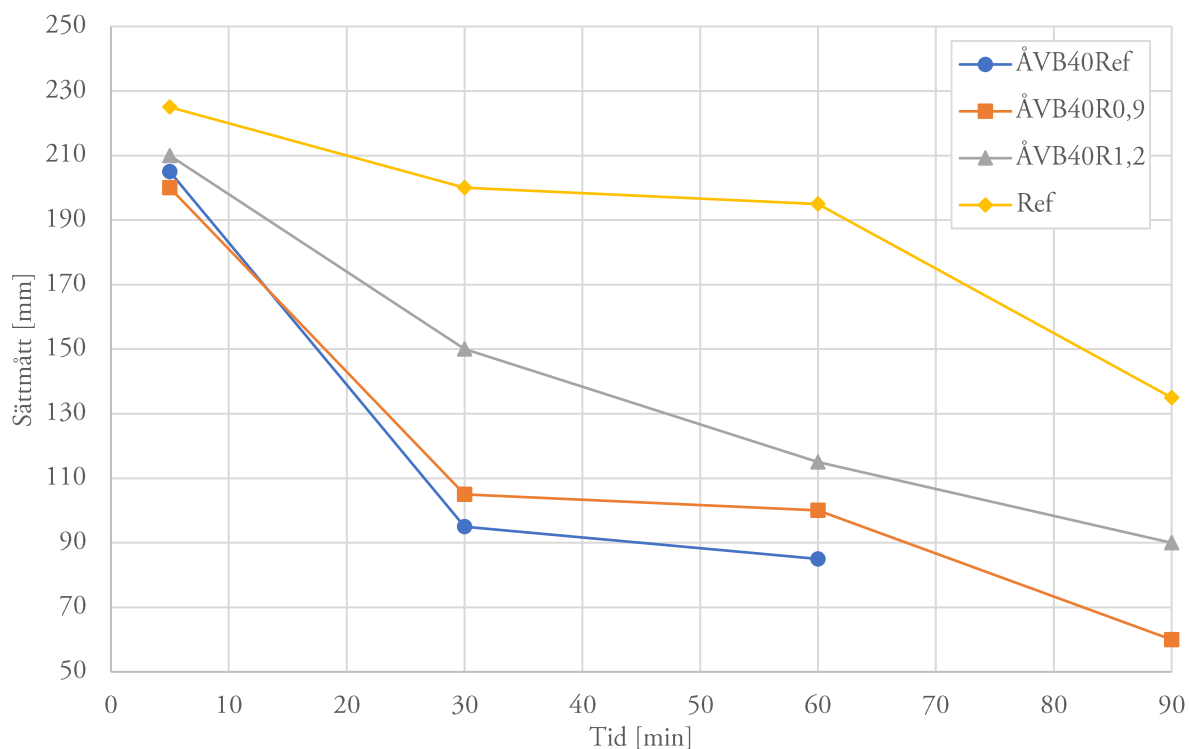
I Figur 6.5 visas sättmättet för de olika blandningarna där 25 % av ballasten är ersatt med ÅVB. Även en referensblandning, Ref, utan någon återvunnen betong är inritad. Resultatet visar tydligt sättmättet blir betydligt lägre vid inblandning av 25 % ÅVB i jämförelse med utan. För blandningen utan absorptionshämmare, ÅVB25<sub>Ref</sub> är sättmättet 60 mm efter bara 60 minuter. Används absorptionshämmare i kombination med ÅVB blir sättmättet högre än utan absorptionshämmare. ÅVB25<sub>R0,5</sub> och ÅVB25<sub>R0,8</sub> med 0,5 % respektive 0,8 % absorptionshämmare ger genomgående betydligt högre sättmätt än ÅVB25<sub>Ref</sub>, även om de fortfarande ligger långt under Ref.



Figur 6.5: Sättmätt som funktion av tid för blandningar med 25 % återvunnen betong och olika mängd absorptionshämmare. "Ref" är en blandning med 0 % återvunnen betong.

### 6.1.5 Återvunnen betong, 40 %

Blandningar där 40 % av ballasten ersattes med ÅVB fick sättmått enligt Figur 6.6. Även här är referensen, Ref, utan ÅVB inritad. Betongen med 40 % ÅVB var mycket torr, vilket gjorde att en stor mängd flyttillsatsmedel fick adderas. Gällande resultaten liknar de dem som erhöles från 25 % ÅVB. Ersättning av jungfrulig ballast med ÅVB ger ett lägre sättmått, sättmättet är dock högre om absorptionshämmare används än om det inte gör det. Blandningen med 1,2 % absorptionshämmare ÅVB40<sub>R1,2</sub>, ger ett högre sättmått än blandningen med 0,9 %, ÅVB40<sub>R0,9</sub>. Halten flyttillsatsmedel var även mycket högre i ÅVB40<sub>R1,2</sub> än i ÅVB40<sub>R0,9</sub>, trots motsatt trend i övriga blandningar.

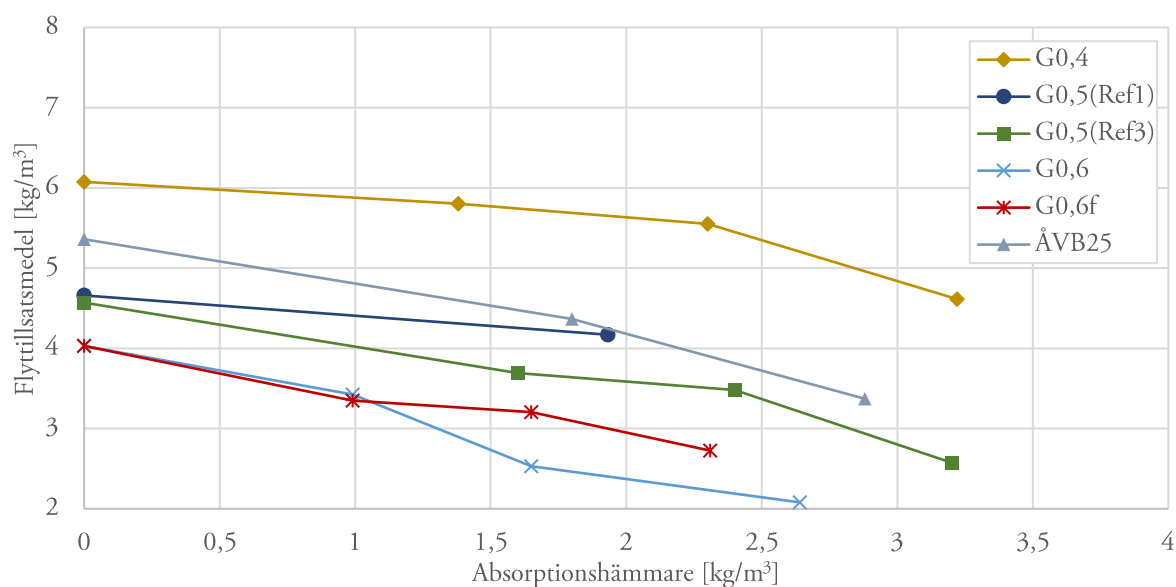


Figur 6.6: Sättmått som funktion av tid för blandningar med 40 % återvunnen betong och olika mängd absorptionshämmare. "Ref" är en blandning med 0 % återvunnen betong.

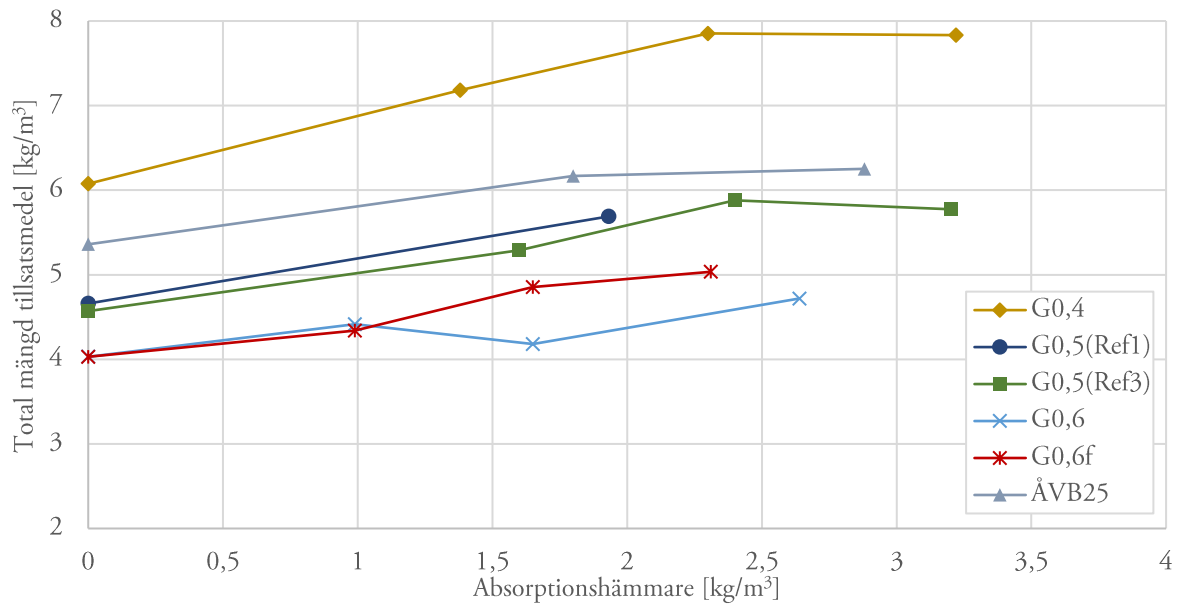
## 6.2 Dosering av tillsatsmedel

I Figur 6.7 framgår det hur halten flyttillsatsmedel minskar för ökad mängd absorptionshämmare. I Figur 6.8 redovisas hur den totala mängden tillsatsmedel, d. v. s. summan av flyttillsatsmedel och absorptionshämmare, förändras med ökad mängd absorptionshämmare. ÅVB40 uteslöts ur graferna då denna blandning egentligen borde ha modifierats med högre vatten- och cementhalt, se resonemang under diskussion. Namngivningen för varje kurva är gjord enligt följande, och återkommer senare i rapporten.

- G0,4            Blandningar med vct 0,4 och olika mängd absorptionshämmare.
- G0,5 (Ref3)    Blandningar med vct 0,5 baserade på Ref3 och olika mängd absorptionshämmare.
- G0,6            Blandningar med vct 0,6, ofuktad ballast och olika mängd absorptionshämmare.
- G0,6f           Blandningar med vct 0,6, fuktad ballast och olika mängd absorptionshämmare.
- ÅVB25           Blandningar med 25% ÅVB och olika mängd absorptionshämmare.
- ÅVB40           Blandningar med 40% ÅVB och olika mängd absorptionshämmare.



Figur 6.7: Förändring av mängd flyttillsatsmedel som funktion av mängden absorptionshämmare för blandningar med olika vct och ballast.

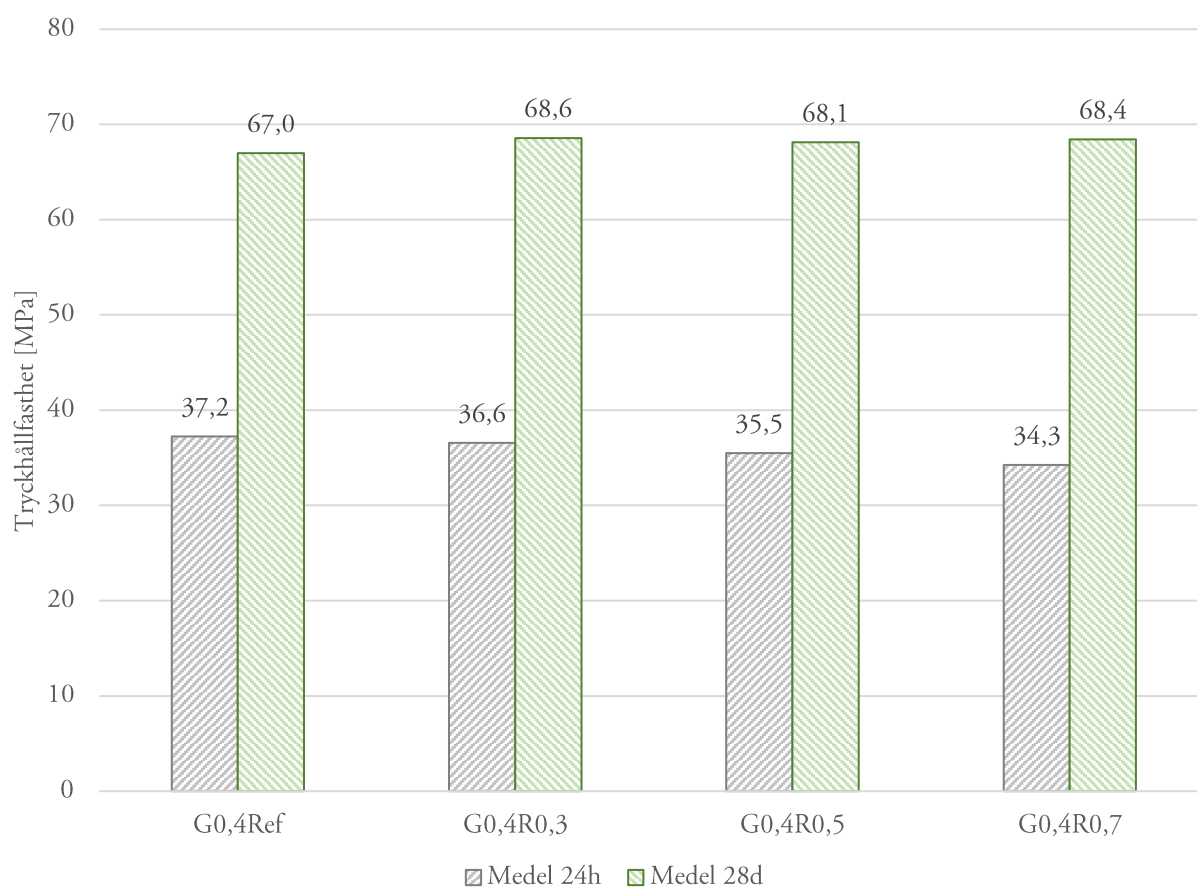


Figur 6.8: Förändring av total mängd tillsatsmedel, dvs. både flyttillsatsmedel och absorptionshämmare, som funktion av mängd absorptionshämmare för blandningar med olika vct och ballast.

## 6.3 Hållfasthet

### 6.3.1 Glimmerrik bergkross, vct 0,4

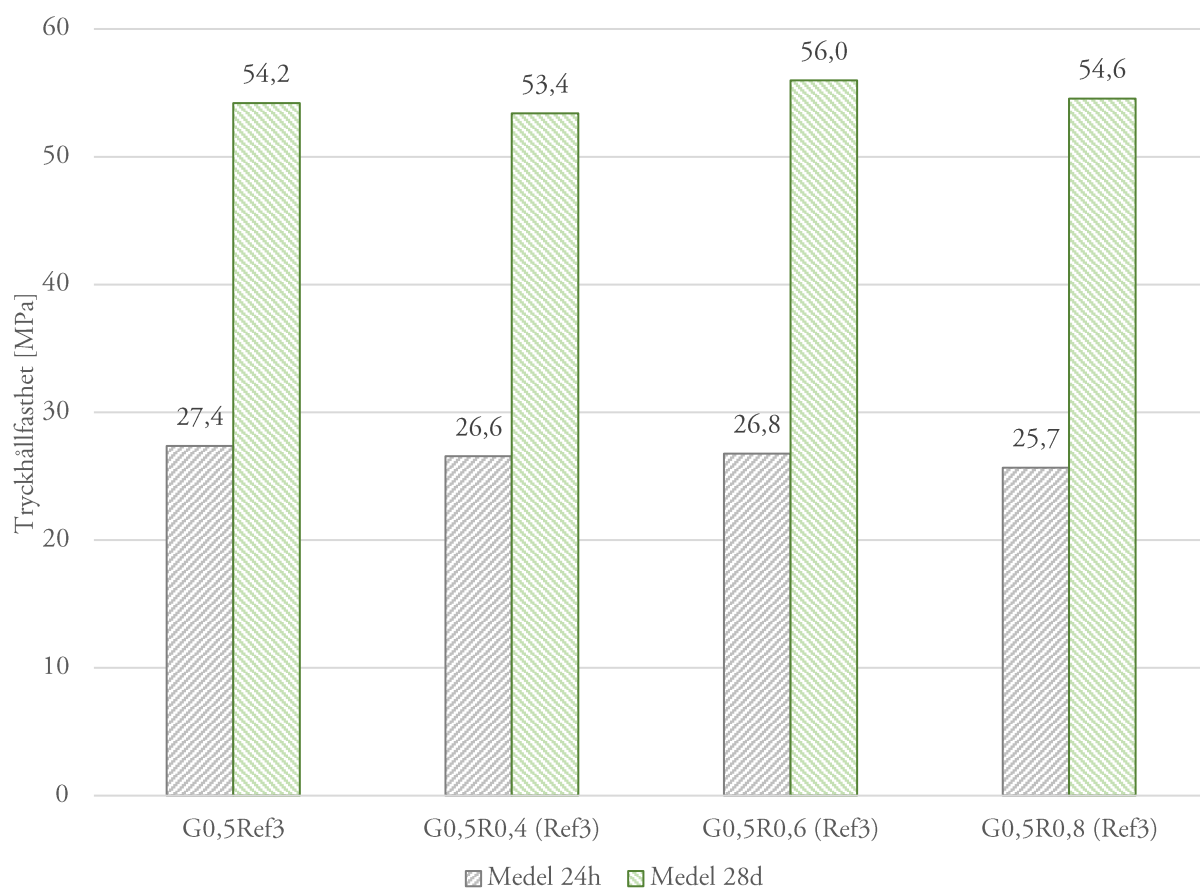
I Figur 6.9 presenteras medeltryckhållfastheten efter 24 timmar och efter 28 dygn för blandningar med vct 0,4 och olika mängd absorptionshämmare. Efter 24 timmar syns en svag nedåtgående trend i tryckhållfasthet för ökad mängd absorptionshämmare. För 0,7 % absorptionshämmare, G0,4R0,7, är tryckhållfastheten efter 24 timmar 34,3 MPa och för 0 % absorptionshämmare, G0,4Ref är den 37,2 MPa. Efter 28 dygn är skillnaden i tryckhållfasthet mellan de olika blandningarna marginell, snarare något högre för blandningar med absorptionshämmare än utan.



Figur 6.9: Tryckhållfasthet efter 24 timmar och 28 dygn för blandningar med olika mängd absorptionshämmare och vct 0,4 för betong med glimmerrik bergkross.

### 6.3.2 Glimmerrik bergkross, vct 0,5

För blandningar med vct 0,5 och olika doseringar av absorptionshämmare erhålls tryckhållfastheter efter 24 timmar och 28 dygn enligt Figur 6.10. En svagt nedåtgående trend i tryckhållfasthet efter 24 timmar syns med ökad mängd absorptionshämmare. Efter 28 dygn är hållfastheten generellt sett högre med absorptionshämmare än utan förutom för blandningen med 0,6 % absorptionshämmare, G0,5R0,6Ref3. Det bör dock noteras att variationerna i tryckhållfasthet är små, både efter 24 timmar och 28 dygn.

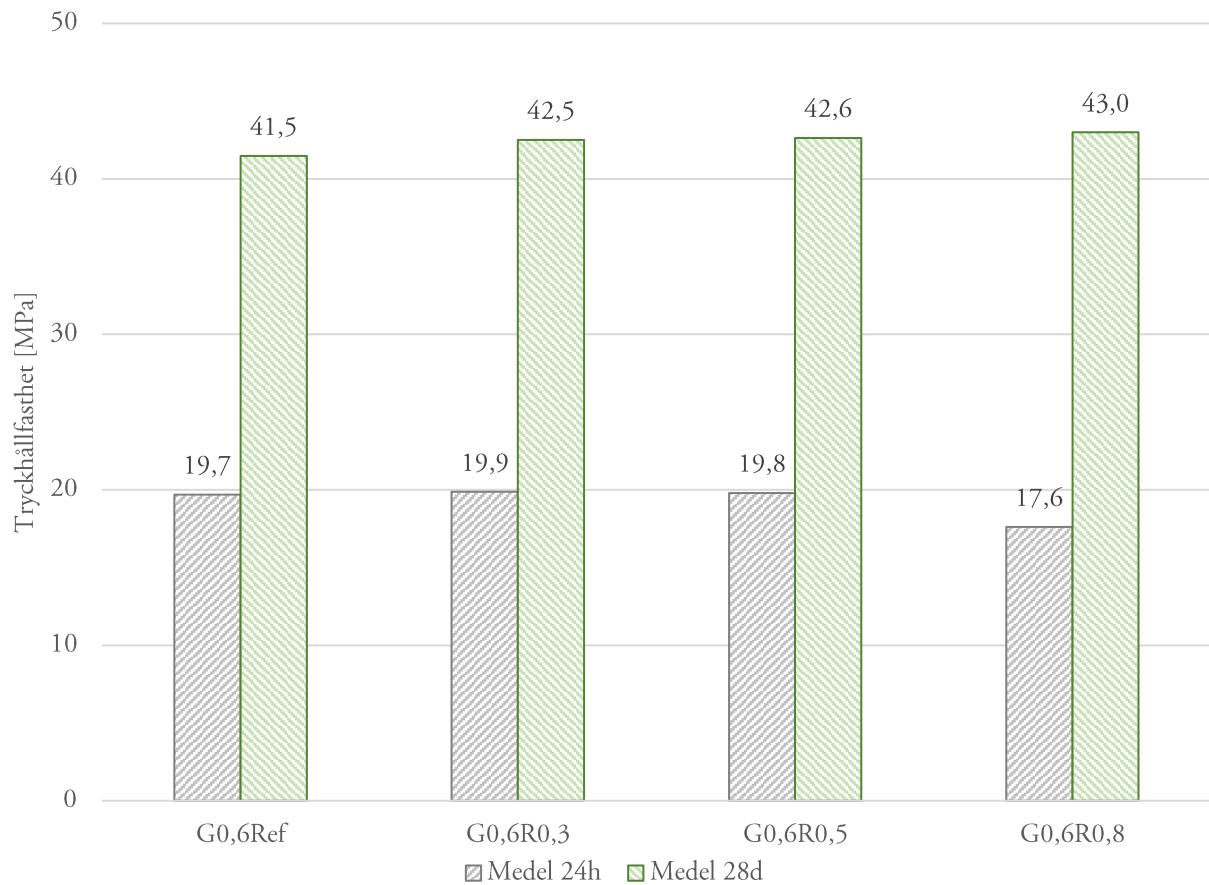


Figur 6.10: Tryckhållfasthet efter 24 timmar och 28 dygn för blandningar med olika mängd absorptionshämmare och vct 0,5 för glimmerrik bergkross.

### 6.3.3 Glimmerrik bergkross, vct 0,6

#### Ofuktad ballast

Tryckhållfastheten för blandningarna med ofuktad ballast redovisas i Figur 6.11. Efter 24 timmar har blandningarna med 0 %, 0,3 % respektive 0,5 % absorptionshämmare liknande hållfasthetsvärden. Blandningen med 0,8 %, G0,6R0,8, ligger något lägre efter 24 timmar. Efter 28 dygn är hållfastheten högre för högre halt absorptionshämmare, skillnaden är dock liten.

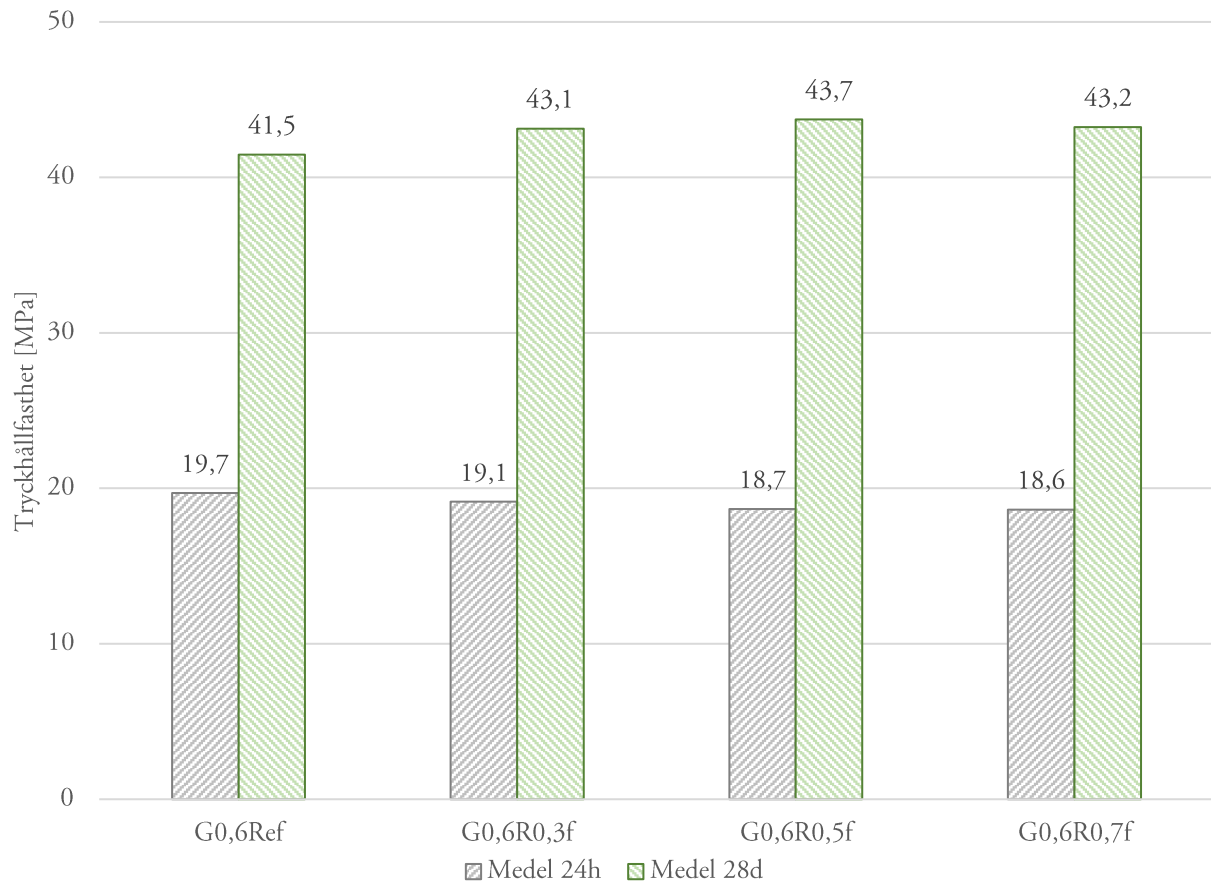


Figur 6.11: Tryckhållfasthet efter 24 timmar och 28 dygn för blandningar med olika mängd absorptionshämmare och ofuktad vct 0,6 för glimmerrik bergkross.



## Fuktad ballast

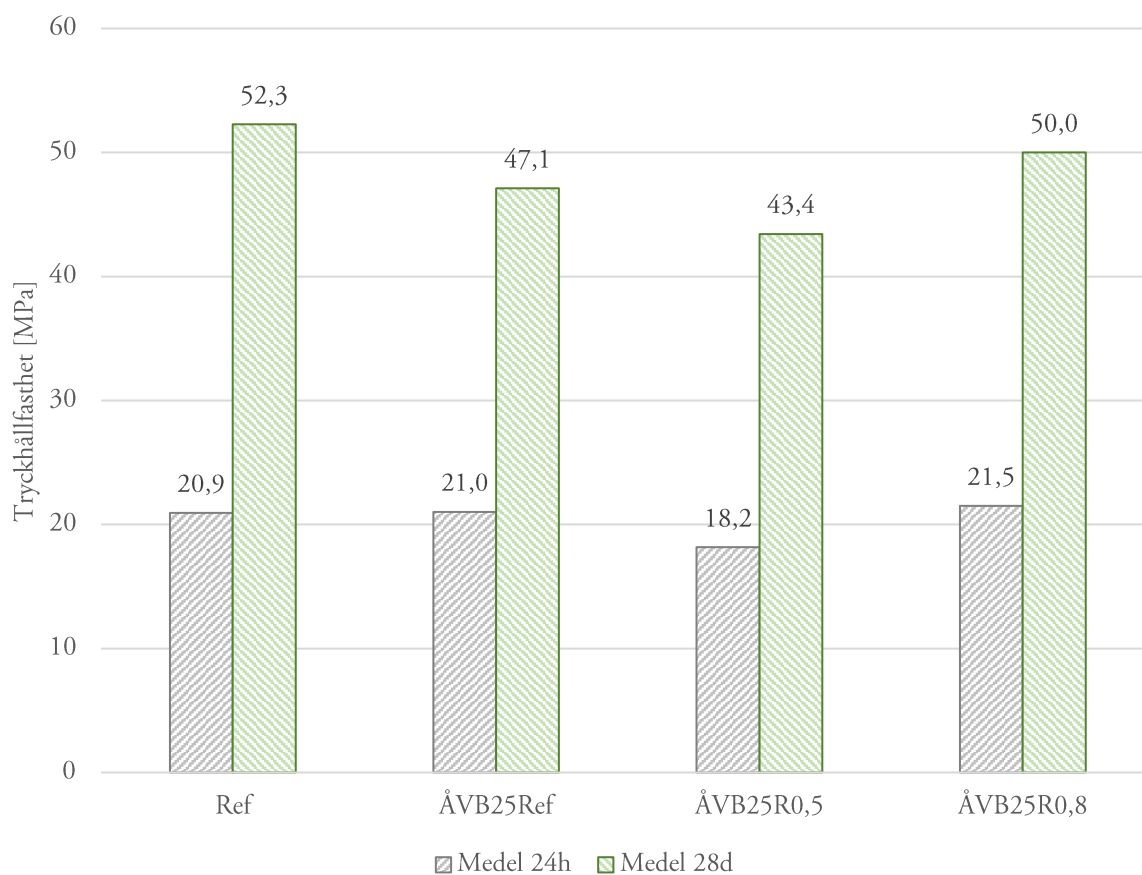
Likt för vct 0,4 syns för vct 0,6 med fuktad ballast en nedåtgående hållfasthetstrend efter 24 timmar för högre halter absorptionshämmare, se Figur 6.12. Skillnaden i hållfasthet är däremot mindre än för vct 0,4. Efter 28 dygn har blandningar med absorptionshämmare generellt något högre hållfasthet än blandningen utan.



Figur 6.12: Tryckhållfasthet efter 24 timmar och 28 dygn för blandningar med olika mängd absorptionshämmare och vct 0,6, fuktad för glimmerrik bergkross.

### 6.3.4 Återvunnen betong, 25 %

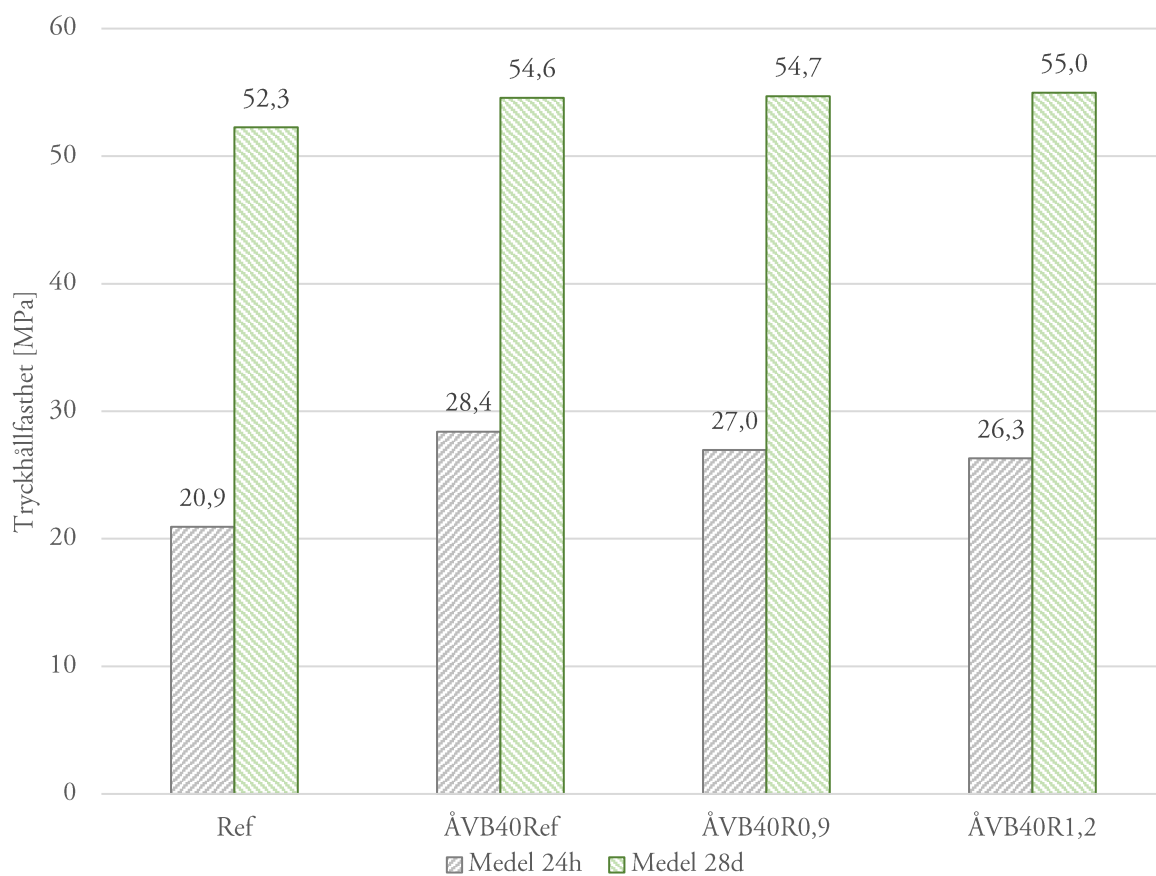
Tryckhållfastheten för blandningar med 25 % ÅVB presenteras i Figur 6.13. Ref är referensblandningen utan ÅVB. Både efter 24 timmar och efter 28 dygn ligger ÅVB25R0,5 lägre än övriga blandningar. Samtliga blandningar med ÅVB har lägre tryckhållfasthet efter 28 dygn jämfört med referensen.



Figur 6.13: Tryckhållfasthet efter 24 timmar och 28 dygn för blandningar med olika mängd absorptionshämmare för ÅVB25 och Ref.

### 6.3.5 Återvunnen betong, 40 %

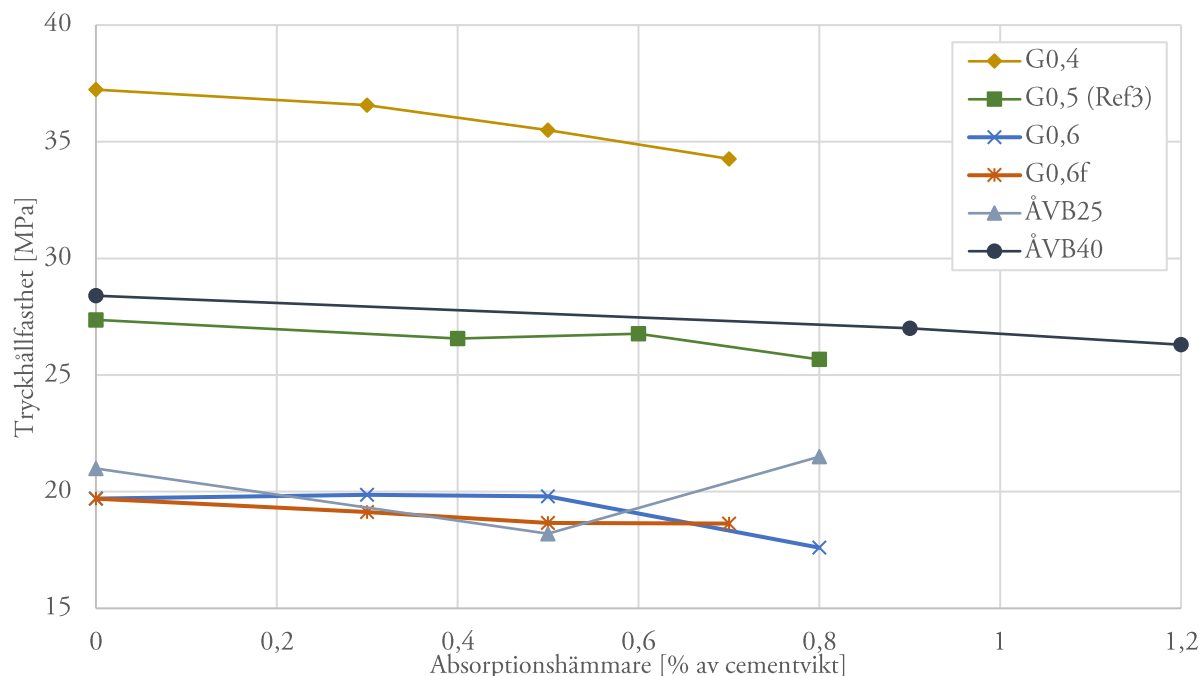
Tryckhållfastheten för blandningar med 40 % ÅVB samt referensblandningen Ref visas i Figur 6.14. Efter 24 timmar är tryckhållfastheten betydligt högre för samtliga blandningar med ÅVB än för Ref. Vid 28 dygn ligger ÅVB40 fortfarande högre än Ref, men skillnaden är mindre.



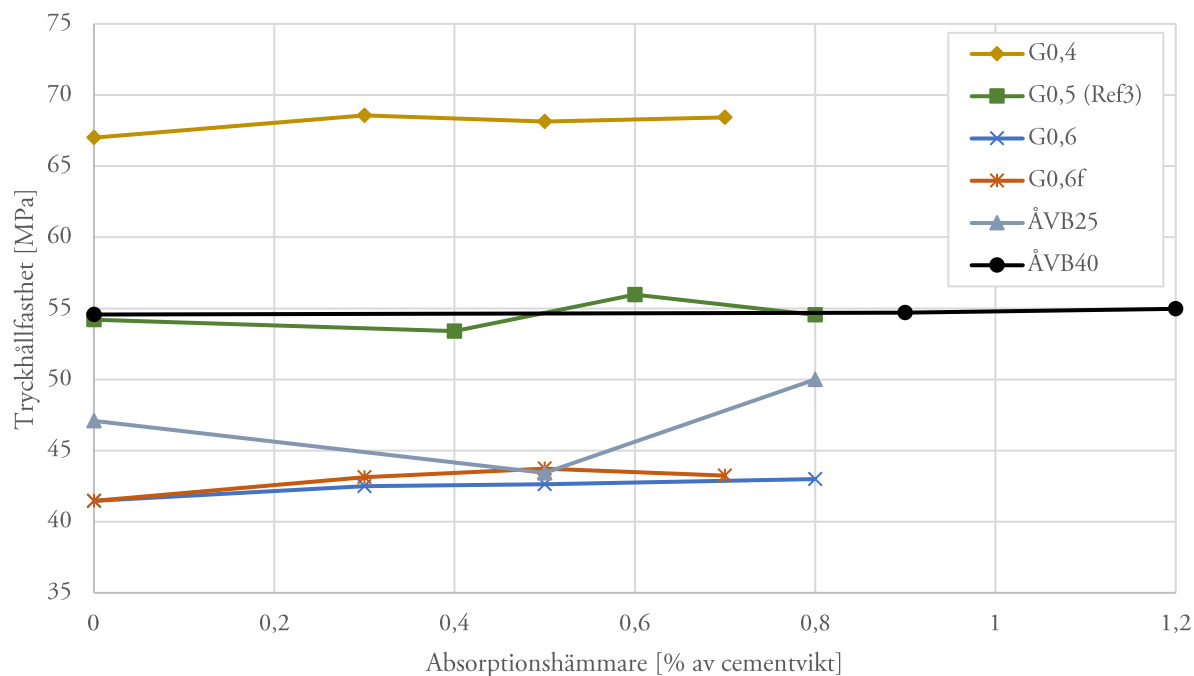
Figur 6.14: Tryckhållfasthet efter 24 timmar och 28 dygn för blandningar med olika mängd absorptionshämmare för ÅVB40 och Ref.

### 6.3.6 Sammanställning

För att enklare kunna utläsa eventuella samband mellan mängd absorptionshämmare och hållfasthet ritas dessa upp mot varandra, se Figur 6.15 och Figur 6.16. För förklaring av namngivning av linjer se 6.2 *Dosering av tillsatsmedel*.



Figur 6.15: Tryckhållfasthet efter 24 timmar som funktion av mängd absorptionshämmare för olika blandningar.



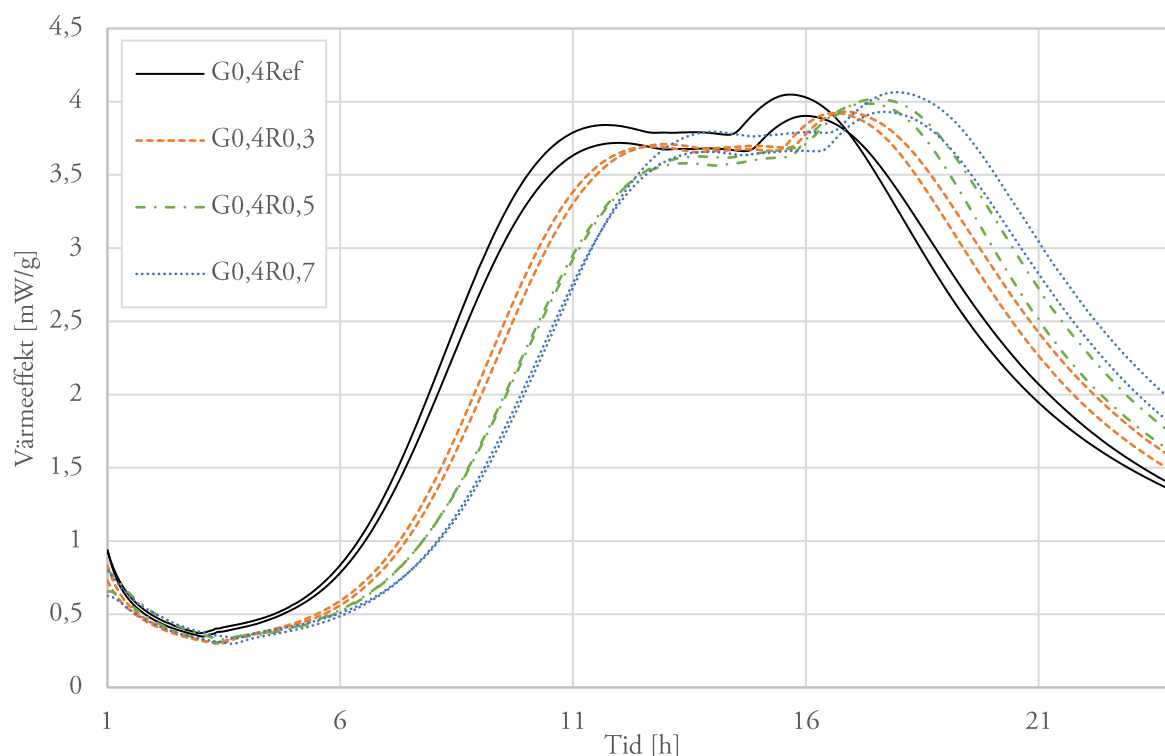
Figur 6.16: Tryckhållfasthet efter 28 dygn som funktion av mängd absorptionshämmare för olika blandningar.

## 6.4 Kalorimetri

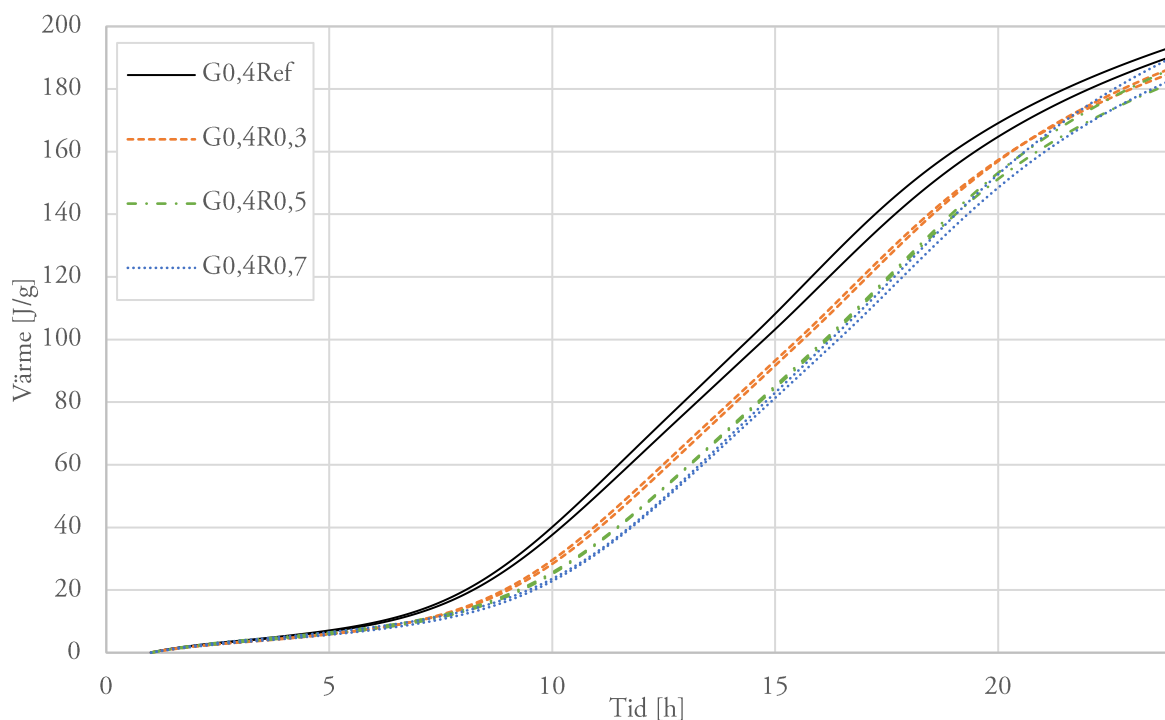
För kalorimetri togs två prover från respektive blandning för att bedöma hur god repeterbarhet metoden har. Skillnaden mellan provkropparna varierade beroende på blandning och således presenteras båda proverna för varje blandning. Från kalorimetri erhöles två diagram för respektive vct och ÅVB-halt som är relevanta för att förstå och kunna utvärdera blandningarnas retardation. Första diagrammet visar värmeeffekten under 24 timmar för respektive blandning. Dock är första timmen inte inkluderad då initieringsfasen har stor variation och är irrelevant för retardationen. Andra diagrammet visar värmeutvecklingen som erhålls genom att integrera värmeeffekten över tiden. Baserat på värmeutvecklingen redovisas även en tabell där retardationen framgår i timmar vid olika värmemängder.

### 6.4.1 Glimmerrik bergkross, vct 0,4

Värmeeffekten för G0,4 presenteras i Figur 6.17. Resultatet visar att ökad mängd absorptionshämmare skjuter kurvan åt höger, d.v.s. absorptionshämmaren har en retarderande effekt. Vidare visar Figur 6.18 värmeutvecklingen under 24 timmar där det framgår att den totala värmeutvecklingen hos referensen är något högre, men för de olika halterna av absorptionshämmare är skillnaden minimal. Vidare visar kurvan att retardationen är som störst mellan cirka 10 och 20 timmar.



Figur 6.17: Värmeeffekt under 24 timmar för betong med glimmerrik bergkross, vct 0,4.



Figur 6.18: Värmeutveckling under 24 timmar för betong med glimmerrik bergkross, vct 0,4.

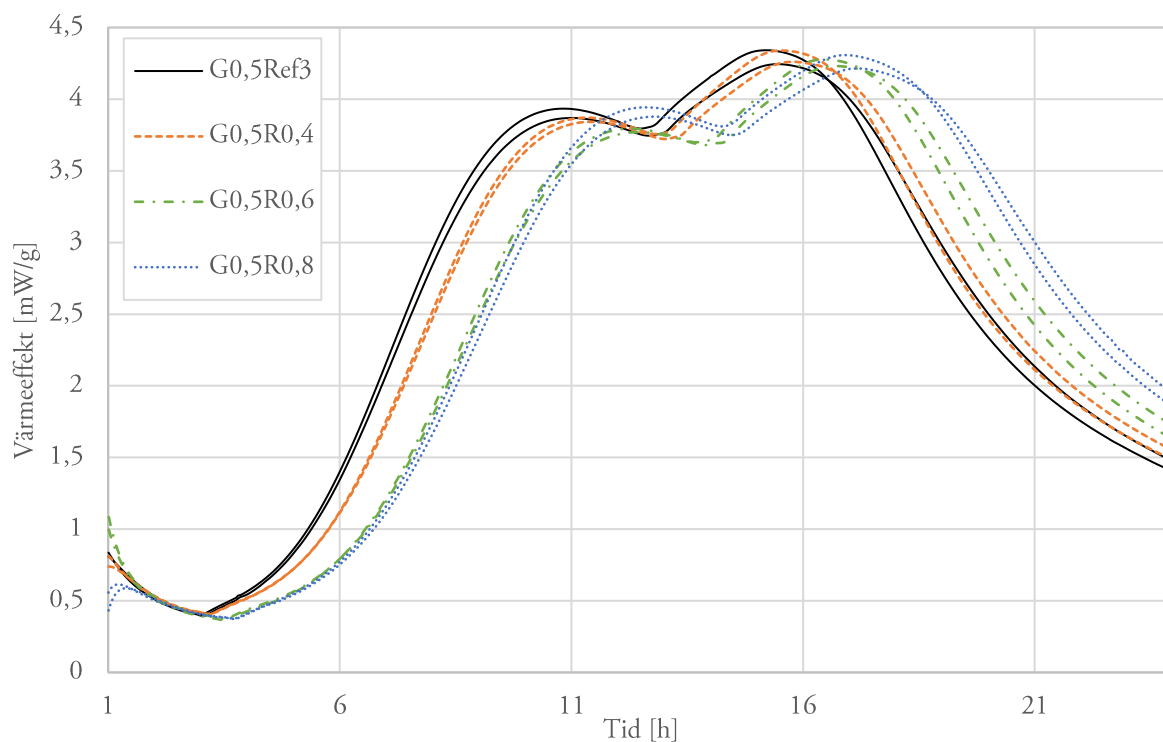
Retardationen i timmar framgår av Tabell 6.1 och är samma värden som visas i värmeutvecklingen ovan. Referensen utan absorptionshämmare anger tiden i timmar vid respektive värmemängd, medan blandningarna med olika halter absorptionshämmare anger skillnaden, d.v.s. retardationen, i timmar gentemot referensen.

Tabell 6.1: Retardation i timmar för blandningar med absorptionshämmare i förhållande till referensen för betong med glimmerrik bergkross, vct 0,4. 3 olika värmemängder redovisas liksom den totala utvecklade värmen efter 24 timmar.

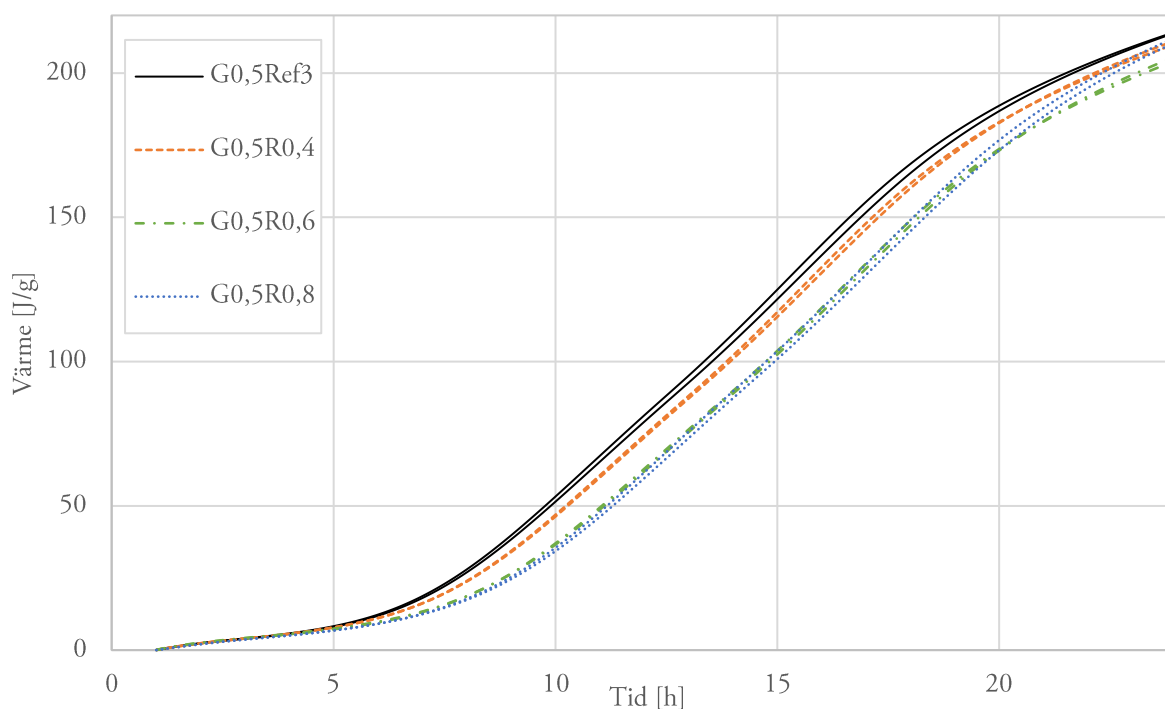
Blandning	Värmemängd [J/g]			Värmemängd vid 24 h [J/g]
	10	100	150	
G0,4 <sub>Ref</sub>	6,2	14,6	18,3	192
G0,4 <sub>R0,3</sub>	+0,7	+0,9	+1,1	186
G0,4 <sub>R0,5</sub>	+0,8	+1,6	+1,6	185
G0,4 <sub>R0,7</sub>	+0,9	+1,8	+1,7	187

### 6.4.2 Glimmerrik bergkross, vct 0,5

Värmeeffekten för G0,5 (Ref3) presenteras i Figur 6.19. Resultatet visar att ökad mängd absorptionshämmare skjuter kurvan åt höger, d.v.s. absorptionshämmaren har en retarderande effekt. Vidare visar Figur 6.20 värmeutvecklingen under 24 timmar där det framgår att den totala värmeutvecklingen hos referensen är högst. Lägst värmeutveckling har G0,5R0,6. Skillnaden, d.v.s. retardationen, är större för G0,5R0,6 och G0,5R0,8 än för G0,5R0,4 jämfört med referensen. Skillnaden är störst mellan cirka 10 och 20 timmar.



Figur 6.19: Värmeeffekt under 24 timmar för betong med glimmerrik bergkross, vct 0,5.



Figur 6.20: Värmeutveckling under 24 timmar för betong med glimmerrik bergkross, vct 0,5.

Retardationen i timmar framgår av Tabell 6.2 och är samma värden som visas i värmeutvecklingen ovan. Referensen utan absorptionshämmare anger tiden i timmar vid respektive värmemängd, medan blandningarna med olika halter absorptionshämmare anger skillnaden i timmar gentemot referensen.

Tabell 6.2: Retardation i timmar för blandningar med absorptionshämmare i förhållande till referensen för betong med glimmerrik bergkross, vct 0,5. 3 olika värmemängder redovisas liksom den totala utvecklade värmen efter 24 timmar.

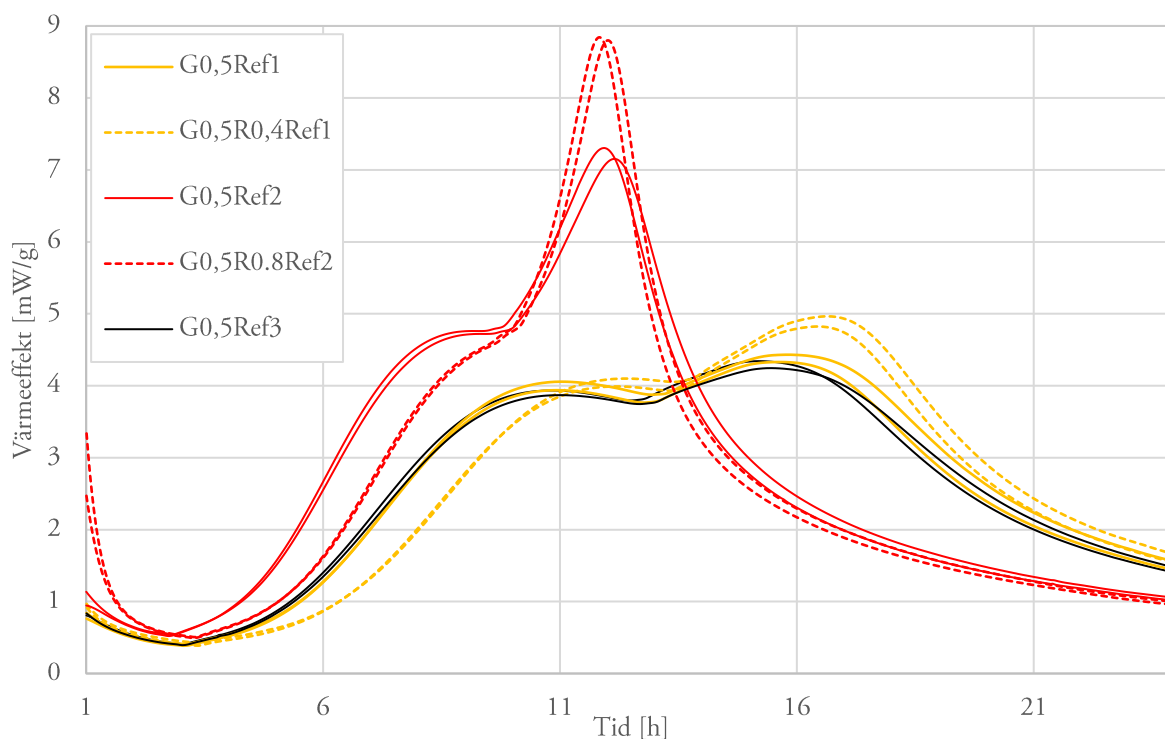
Blandning	Värmemängd [J/g]			Värmemängd vid 24 h [J/g]
	10	120	190	
G0,5Ref 3	5,6	14,8	20,2	214
G0,5R0,4	+0,2	+1,2	+1,4	211
G0,5R0,6	+0,6	+1,4	+1,6	205
G0,5R0,8	+0,8	+1,4	+1,2	212



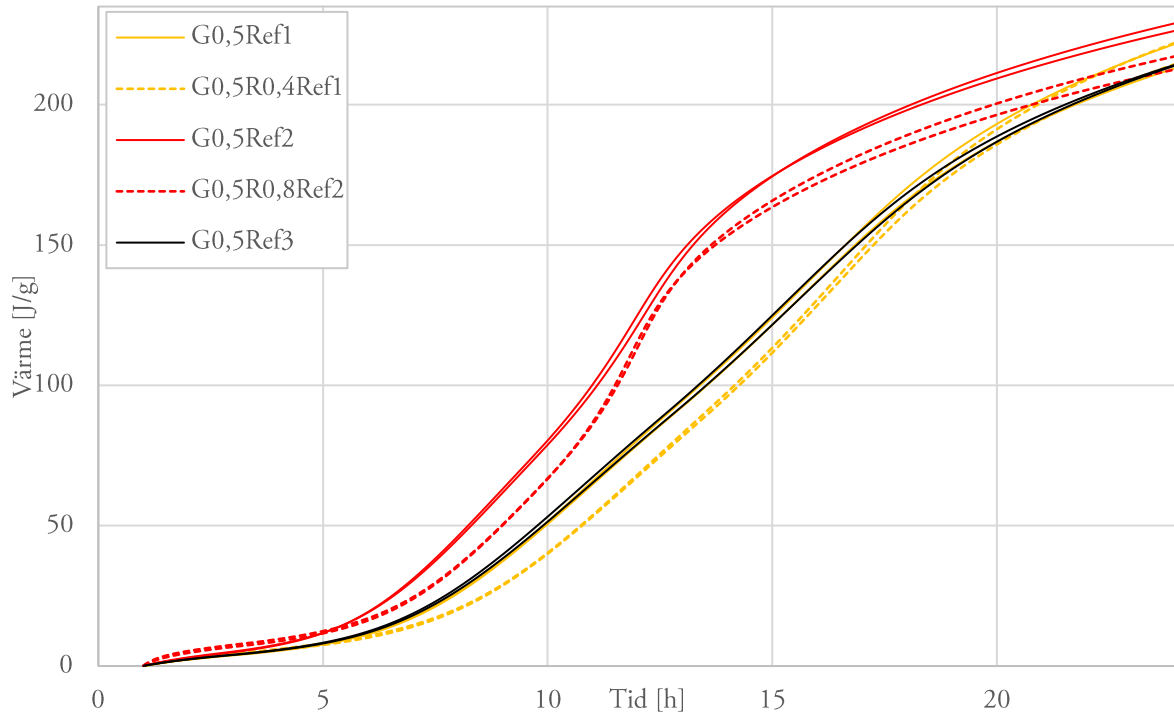
### Variation hos vct 0,5

Ref3 för G0,5 har presenterats ovan. Vidare finns det andra referenser med vct 0,5 och dessa presenteras i Figur 6.21 och Figur 6.22. Ref1 (Metod B) och Ref3 (Metod A) har snarlika metoder förutom att ballasten ej fuktas i Ref1. Ref2 (Metod C), som har längre blandningstid, har en högre och tidigare topp. För G0,5<sub>R0,8Ref2</sub> startar värmeutvecklingen något senare än för G0,5<sub>Ref2</sub>, men toppen för värmeeffekten blir högre. Detsamma gäller för Ref1, där värmeutvecklingen för G0,5<sub>R0,4Ref1</sub> börjar senare än för G0,5<sub>Ref1</sub> men ger en högre effekttopp.

Värmeutvecklingen för Ref1 och Ref3 är relativt lika, något retarderande då absorptionshämmare tillsattes men i princip ingen skillnad i värme efter 24 timmar. Skillnaden för Ref2 med och utan absorptionshämmare är något större, där absorptionshämmaren har en retarderande effekt då värmeutvecklingen är lägre, framför allt efter 24 timmar.



Figur 6.21: Värmeeffekt under 24 timmar för glimmerrik bergkross, vct 0,5, med Ref1 (ofuktad finballast), Ref2 (längre blandningstid) och Ref3 (fuktad finballast).



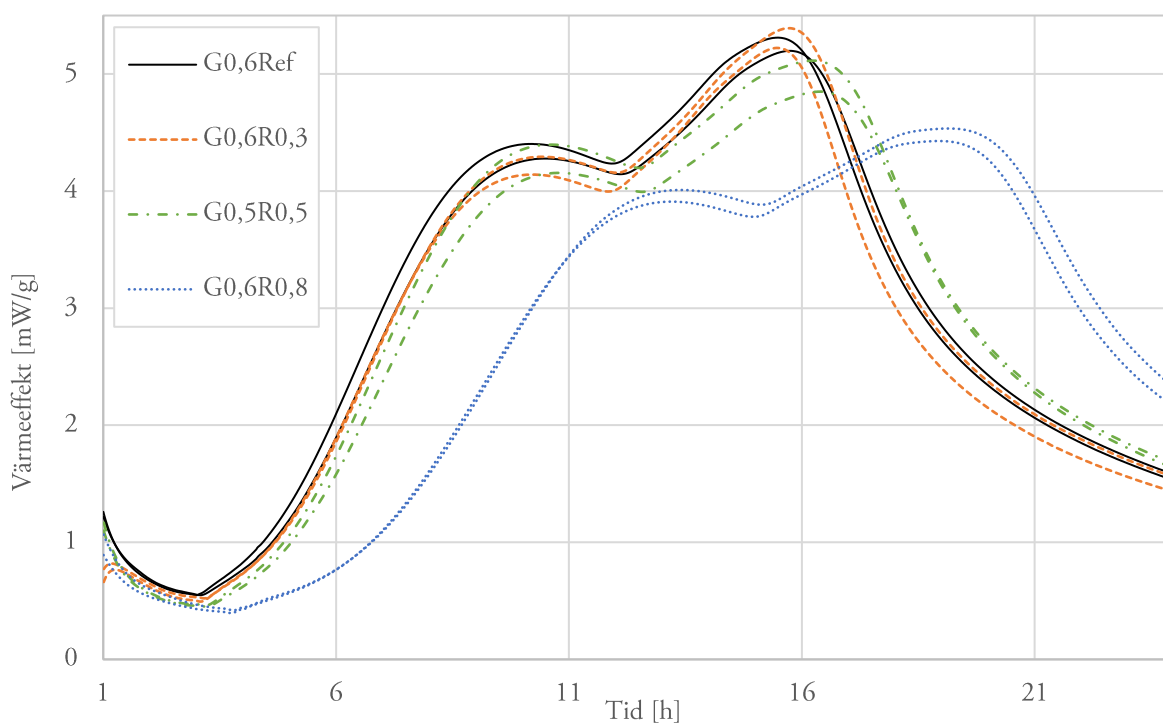
Figur 6.22: Värmeutveckling under 24 timmar för glimmerrik bergkross, vct 0,5, med Ref1 (ofuktad finballast), Ref2 (längre blandningstid) och Ref3 (fuktad finballast).

### 6.4.3 Glimmerrik bergkross, vct 0,6

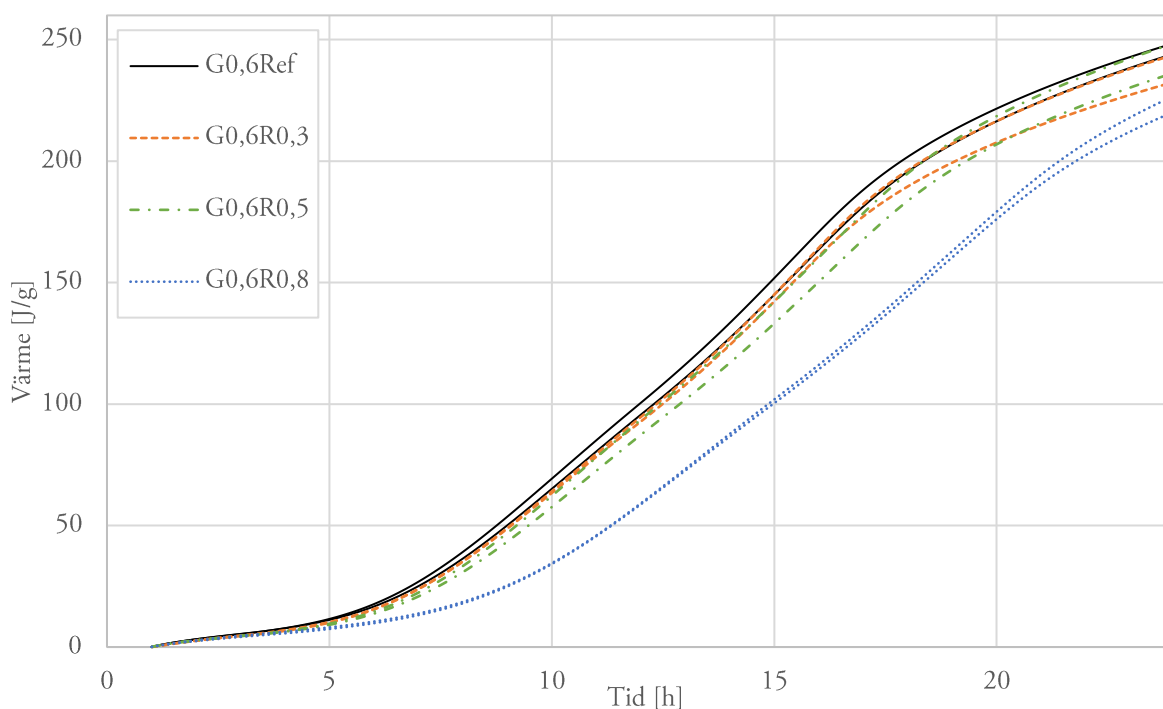
Resultatet för G0,6 är uppdelat beroende på vilken metod som använts. Referensen är endast utförd med Metod B, d.v.s. ofuktad fin ballast.

#### Metod B – Ofuktad fin ballast

Figur 6.23 visar värmeutvecklingen under 24 timmar för vct 0,6. För G0,6R0,3 och G0,6R0,5 är retardationen relativt liten. Dock är det större skillnad för G0,6R0,8 då den är förskjuten i sidled, d.v.s. är retarderad, samt har en lägre topp. Detta syns även tydligt i Figur 6.24 som visar värmeutvecklingen.



Figur 6.23: Värmeeffekt under 24 timmar för glimmerrik bergkross, ofuktad vct 0,6.



Figur 6.24: Värmeutveckling under 24 timmar för glimmerrik bergkross, ofuktad vct 0,6.

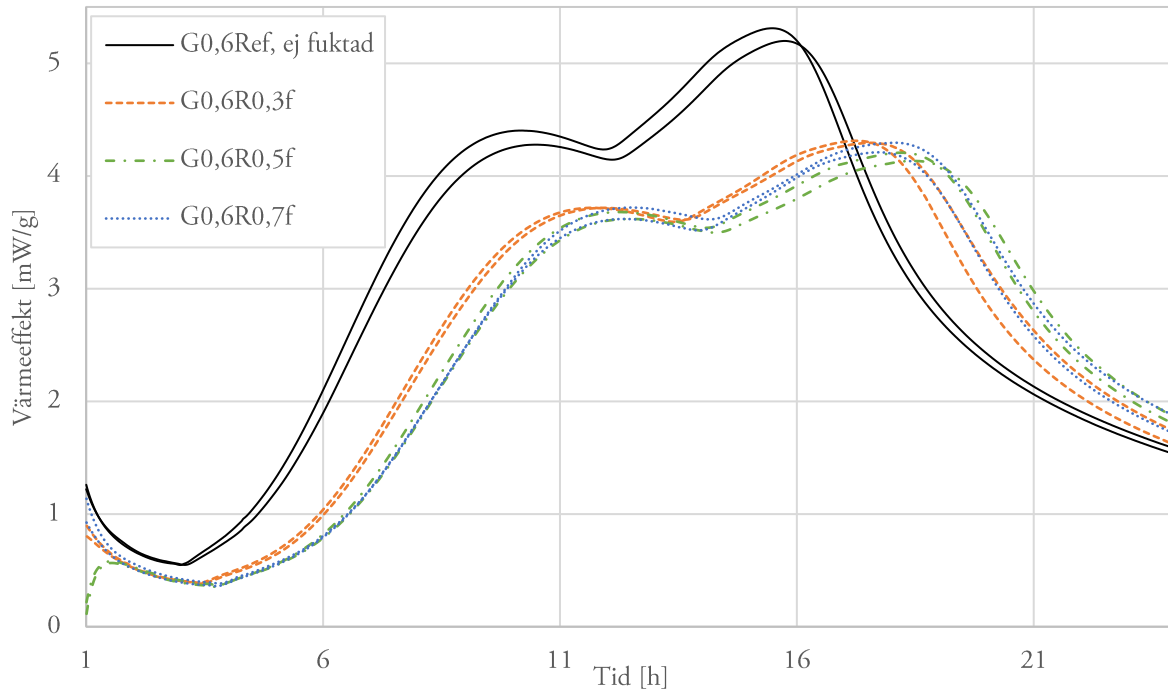
Retardationen i timmar framgår av Tabell 6.3 och är samma värden som visas i värmeutvecklingen ovan. Referensen utan absorptionshämmare anger tiden i timmar vid respektive värmemängd, medan blandningarna med olika halter absorptionshämmare anger skillnaden, d.v.s. retardationen, i timmar gentemot referensen.

Tabell 6.3: Retardation i timmar för blandningar med absorptionshämmare i förhållande till referensen för glimmerrik bergkross, ofuktad vct 0,6. 3 olika värmemängder redovisas liksom den totala utvecklade värmen efter 24 timmar.

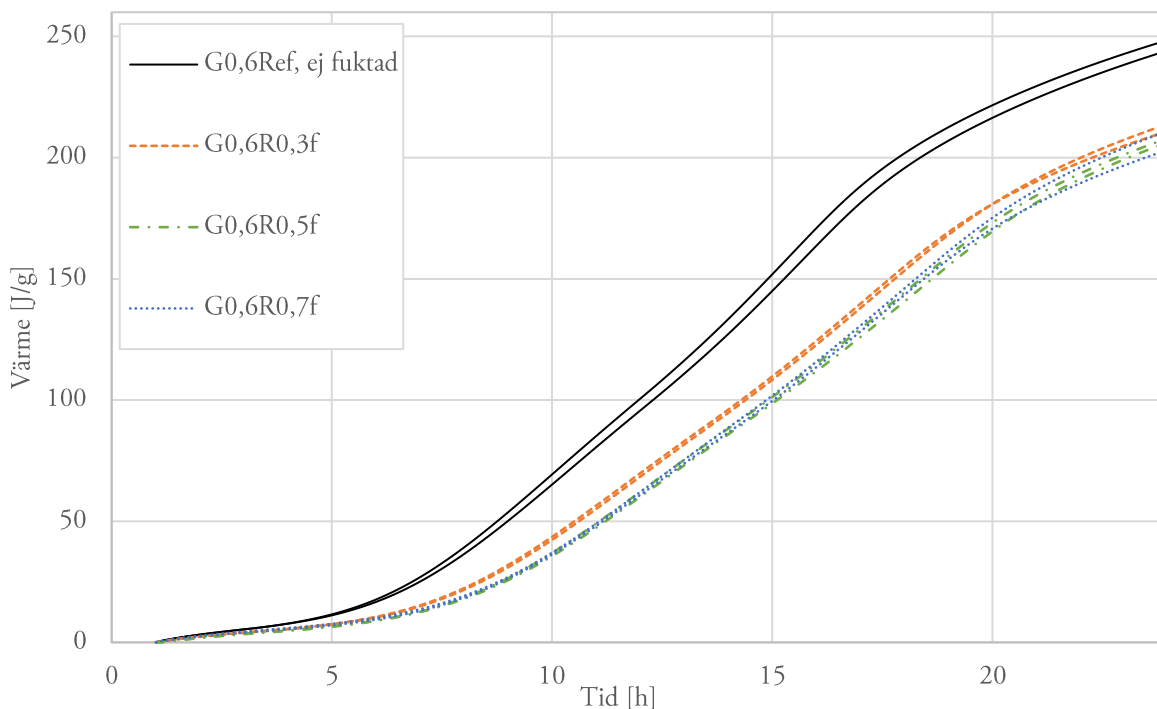
Blanding	Värmemängd [J/g]			Värmemängd vid 24 h [J/g]
	10	150	220	
G0,6Ref	4,7	15,1	20,1	246
G0,6R0,3	+0,3	+0,1	+0,9	238
G0,6R0,5	+0,5	+0,5	+0,7	243
G0,6R0,8	+1,3	+3,2	+3,5	224

### Metod A – Fukttad fin ballast

Referensen i Figur 6.25 är samma som för Metod B i Figur 6.23 ovan. Då Metod A, fuktad fin ballast, använts visar resultatet på relativt stor retardation oavsett mängd absorptionshämmare. Detta går att utläsa i Figur 6.25 och Figur 6.26. Skillnaden i retardation mellan olika mängd absorptionshämmare är liten.



Figur 6.25: Värmeeffekt under 24 timmar för glimmerrik bergkross, fuktad vct 0,6.



Figur 6.26: Värmeutveckling under 24 timmar för glimmerrik bergkross, fuktad vct 0,6.

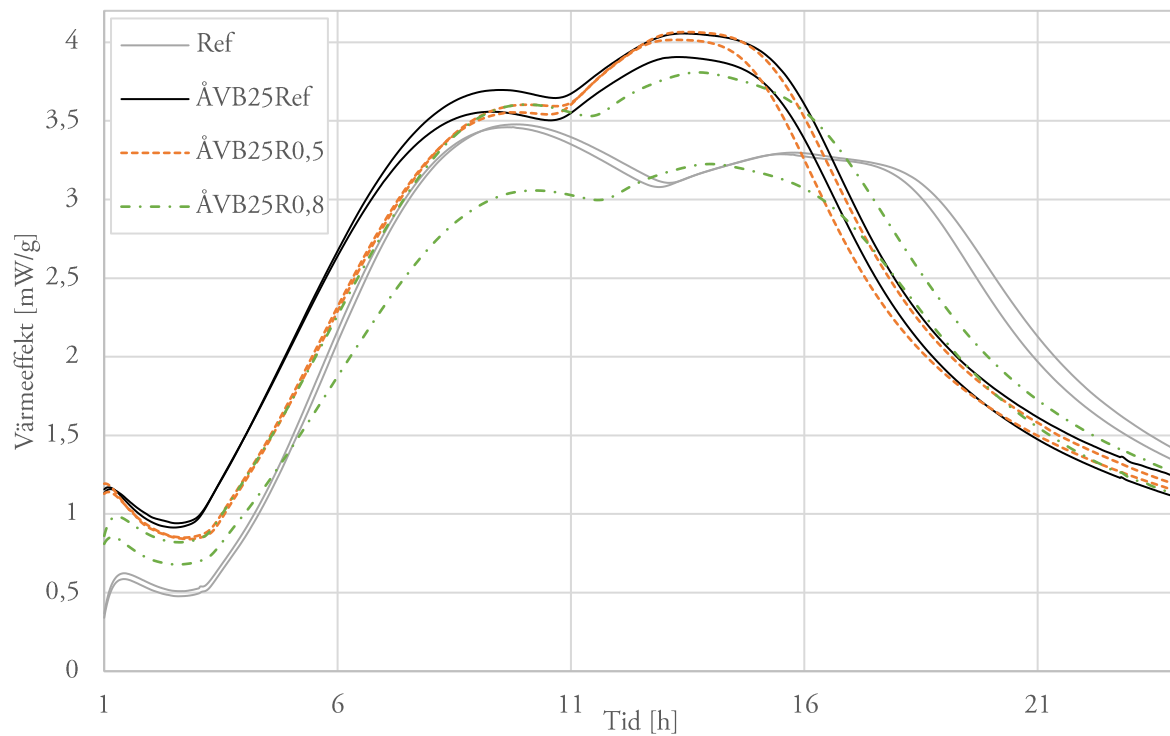
Retardationen i timmar framgår av Tabell 6.4 och är samma värden som visas i värmeutvecklingen ovan. Referensen utan absorptionshämmare anger tiden i timmar vid respektive värmemängd, medan blandningarna med olika halter absorptionshämmare anger skillnaden, d.v.s. retardationen, i timmar gentemot referensen.

Tabell 6.4: Retardation i timmar för blandningar med absorptionshämmare i förhållande till referensen för glimmerrik bergkross, fuktad vct 0,6. 3 olika värmemängder redovisas liksom den totala utvecklade värmen efter 24 timmar.

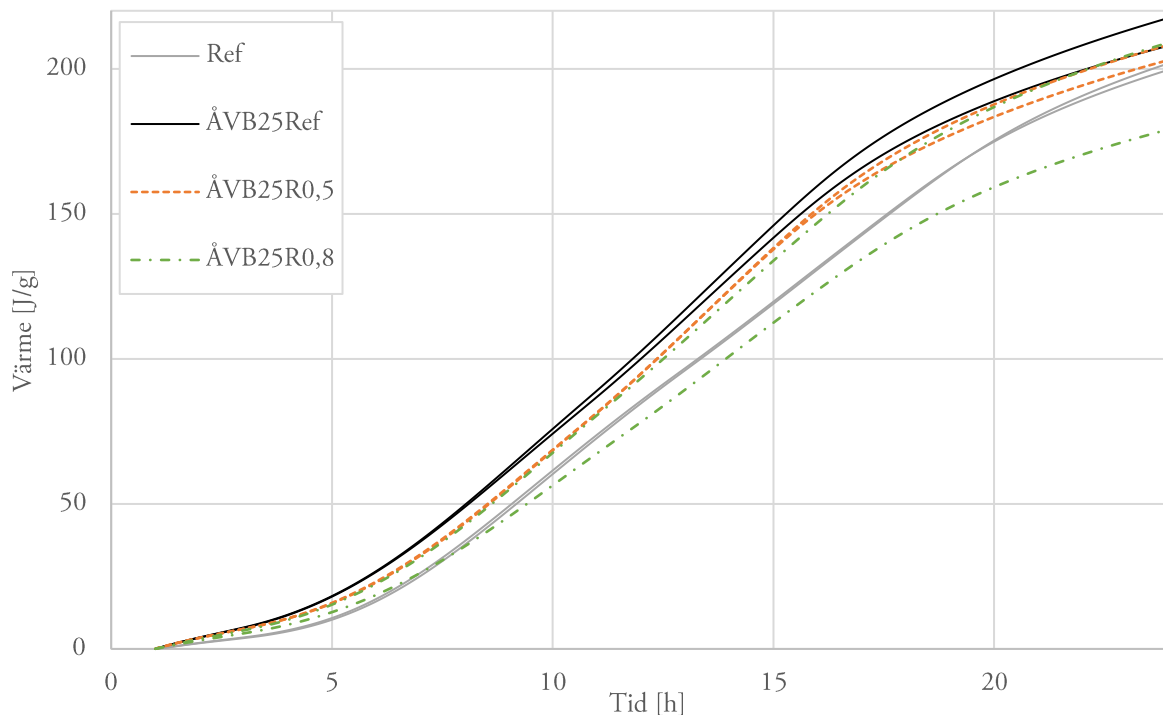
Blandning	Värmemängd [J/g]			Värmemängd vid 24 h [J/g]
	10	150	200	
G0,6Ref	4,7	15,1	17,9	246
G0,6R0,3f	+1,2	+2,7	+4,3	213
G0,6R0,5f	+1,7	+3,4	+5,0	207
G0,6R0,7f	+1,4	+3,2	+5,0	207

#### 6.4.4 Återvunnen betong, 25 %

Värmeeffekten som framgår av Figur 6.27 visar att Ref, som inte innehåller någon ÅVB, har lägre effekttoppar. Skillnaden i effekt mellan ÅVB25<sub>Ref</sub> och blandningarna med absorptionshämmare är relativt liten. Dock är skillnaden mellan de två provkropparna med ÅVB25<sub>R0,8</sub> stor. Den övre kurvan av de två provkropparna är närmre ÅVB25<sub>R0,4</sub> och ÅVB25<sub>Ref</sub>. Detta framgår även från värmetvecklingen från Figur 6.28.



Figur 6.27: Värmeeffekt under 24 timmar för ÅVB25.



Figur 6.28: Värmeutveckling under 24 timmar för ÅVB25.

Retardationen i timmar framgår av Tabell 6.5 och är samma värden som visas i värmeutvecklingen ovan. Referensen utan absorptionshämmare och utan ÅVB anger tiden i timmar vid respektive värmemängd. Referensen utan absorptionshämmare med ÅVB anges också i timmar vid respektive värmemängd. Blandningarna med olika halter absorptionshämmare anger skillnaden i timmar gentemot referensen med ÅVB.

Tabell 6.5: Retardation i timmar för blandningar med absorptionshämmare i förhållande till referensen för ÅVB25. 3 olika värmemängder redovisas liksom den totala utvecklade värmen efter 24 timmar.

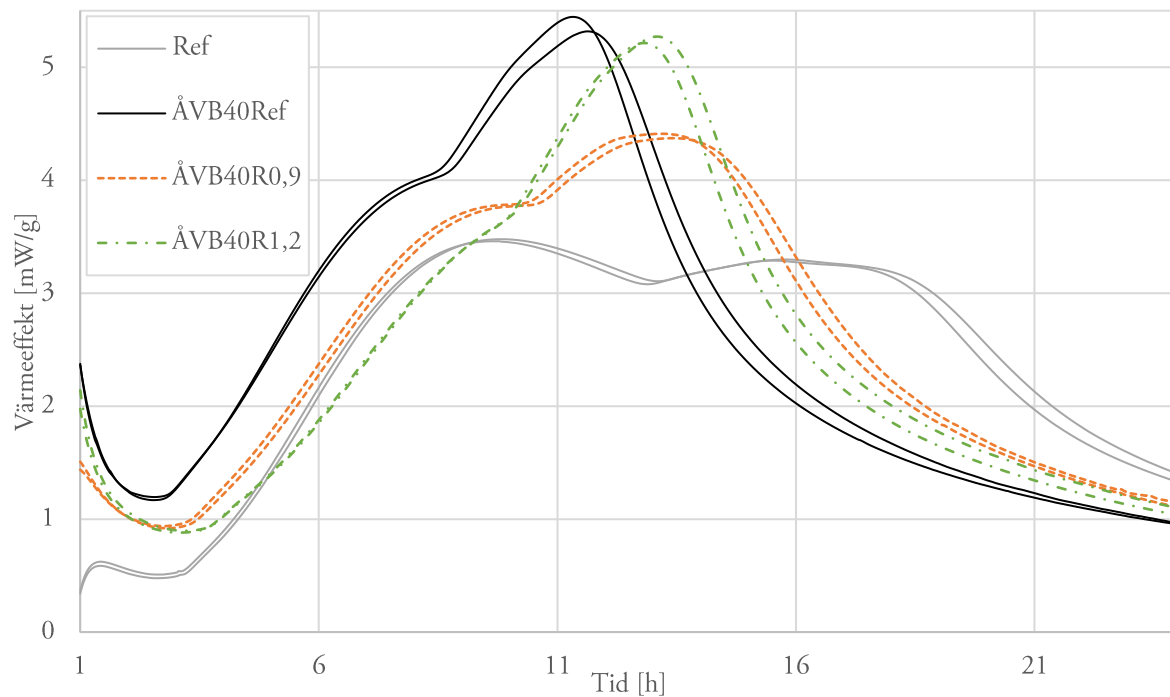
Blandning	Värmemängd [J/g]			Värmemängd vid 24 h [J/g]
	10	150	200	
Ref	5,0	17,6	22,0	201
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	3,7	15,5	19,6	213
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	+0,2	+0,4	+1,2	206
ÅVB25 <sub>R0,8</sub> *	+0,3*	+0,8*	+0,8*	209*

\*Baserat på 1 av provkropparna och inte medelvärdet.

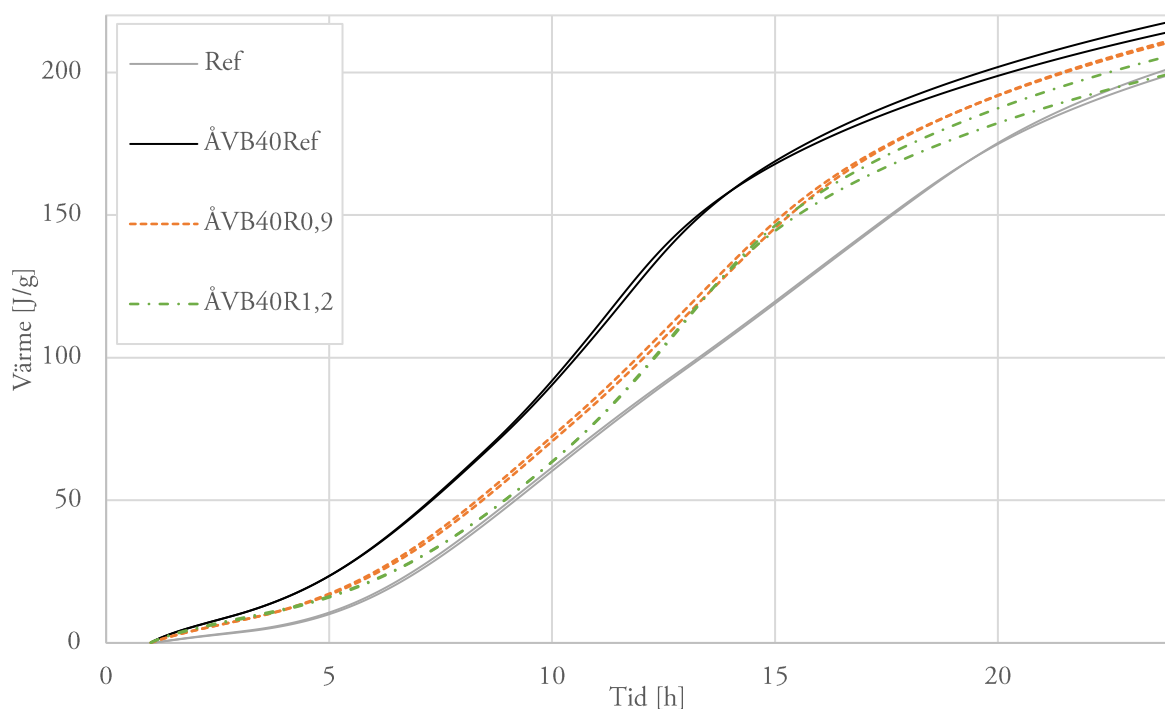


### 6.4.5 Återvunnen betong, 40 %

Värmeeffekten som framgår av Figur 6.29 visar att Ref, som inte innehåller någon ÅVB, har låga effekttoppar. ÅVB40<sub>Ref</sub> och ÅVB40<sub>R1,2</sub> är lika förutom att ÅVB40<sub>R1,2</sub> är förskjuten till höger, d.v.s. retarderad. ÅVB40<sub>R0,9</sub> har mindre toppar och retarderad jämför med ÅVB40<sub>Ref</sub>. Då värmeutveckling beaktas är retardationen något större för ÅVB40<sub>R1,2</sub> jämfört med ÅVB40<sub>R0,9</sub>, se Figur 6.30.



Figur 6.29: Värmeeffekt under 24 timmar för ÅVB40.



Figur 6.30: Värmeutveckling under 24 timmar för ÅVB40.

Retardationen i timmar framgår av Tabell 6.6 och är samma värden som visas i värmeutvecklingen ovan. Referensen utan absorptionshämmare och utan ÅVB anger tiden i timmar vid respektive värmemängd. Referensen utan absorptionshämmare med ÅVB anges också i timmar vid respektive värmemängd. Blandningarna med olika halter absorptionshämmare anger skillnaden i timmar gentemot referensen med ÅVB.

Tabell 6.6: Retardation i timmar för blandningar med absorptionshämmare i förhållande till referensen för ÅVB40. 3 olika värmemängder redovisas liksom den totala utvecklade värmen efter 24 timmar.

Blandning	Värmemängd [J/g]			Värmemängd vid 24 h [J/g]
	10	170	190	
Ref	5,0	19,4	22,0	201
ÅVB40Ref	3,0	15,2	18,0	217
ÅVB40R0,9	+0,6	+1,8	+1,7	211
ÅVB40R1,2	+0,5	+2,5	+3,0	203

## 6.5 Lufthalt, densitet & temperatur

Lufthalten, densiteten och temperaturen bestämdes för att säkerställa att dessa värden inte avviker från det normala. Uppmätta värden presenteras under respektive underrubrik.

### 6.5.1 Lufthalt & densitet

Lufthalten i de olika blandningarna efter 5 minuter och efter 60 minuter samt den färska densiteten presenteras i Tabell 6.7. För definition av namn se 6.3.6 *Sammanställning*. G0,5 är baserat på samtliga blandningar med vct 0,5, förutom ett par där vibrationsbordet inte användes och därför bortses från. Ref är referensblandningen för ÅVB. Det går tydligt att avläsa att lufthalten för ÅVB är betydligt högre än för övriga blandningar, dock är den högre för 25 % än 40 %. Ytterligare ett samband som kan utläsas är att lufthalten ökar för samtliga blandningar mellan 5 minuter och 60 minuter. Gällande densiteten ligger den för samtliga blandningar inom intervallet för det normala. Notera även att densiteten för blandningar med ÅVB är lägre än resten, vilket kan förklaras med att ÅVB har lägre densitet än traditionell ballast.

Tabell 6.7: Lufthalt i [%] vid 5 minuter och 60 minuter samt färsk densitet i [kg/m<sup>3</sup>] för samtliga blandningar.

	Lufthalt medel [%]		Färsk densitet medel [kg/m <sup>3</sup> ]
	5 min	60 min	
G0,4	0,7	1,2	2443
G0,5	0,6	1,1	2424
G0,6	0,7	1,2	2403
ÅVB25	2,7	3,3	2320
ÅVB40	2,0	2,4	2317
Ref	1,0	1,2	2370

### 6.5.2 Temperatur

Den uppmätta starttemperaturen hos blandningarna låg mellan 19 och 23 °C, vilket innebär att skillnader i blandningstemperatur inte bör ha någon inverkan på övriga resultat då intervallet alltid ligger inom rumstemperatur. För exakta temperaturer i de blandningar där temperaturen mättes, se Bilaga B.

## 6.6 Mätning av relativ fuktighet

För blandningarna med återvunnen betong gjordes första RF-mätningen den 11:e april och resultaten från detta redovisas i Tabell 6.8. Då vissa blandningar gjutits på olika dagar varierar tiden från gjutning till 11 april. Dock är skillnad sinsemellan blandningarna irrelevant. Det som är av intresse är skillnaden,  $\Delta$ , då detta visar om det är någon skillnad i hastigheten på uttorkningen med och utan absorptionshämmare samt med varierande mängd ÅVB.

Resultatet från de 3 olika mätningarna indikerar att Ref har lägst skillnad i RF och att RF minskar något snabbare med 40 % ÅVB jämfört med 25 % ÅVB, med undantag för ÅVB40<sub>R0,9</sub>. Således torkar betong ut snabbare med högre halter ÅVB.

Gällande absorptionshämmare torkar betongen ut något långsammare med absorptionshämmare baserat på resultatet. Dock torkar ÅVB25<sub>R0,8</sub> och ÅVB40<sub>R1,2</sub> snabbare än ÅVB25<sub>R0,5</sub> och ÅVB40<sub>R0,9</sub>. Således indikerar detta att då halterna absorptionshämmare ökar går uttorkningen fortare.

Tabell 6.8: RF-mätning för återvunnen betong vid 3 olika mättillfällen.

		Enkelsidig uttorkning			Självuttorkning		
Datum		11-apr	21-apr	05-maj	11-apr	21-apr	05-maj
Ref	RF	96,5	95,4	94,2	99	99	98,8
	$\Delta$	0	-1,1	-2,3	0	0	-0,2
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	RF	95,4	93,8	92,4	98,3	98,2	98
	$\Delta$	0	-1,6	-3	0	-0,1	-0,3
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	RF	96,3	95,1	93,7	98,3	98,2	97,8
	$\Delta$	0	-1,2	-2,6	0	-0,1	-0,5
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	RF	95,4	94,1	92,8	98,1	97,6	97,1
	$\Delta$	0	-1,3	-2,6	0	-0,5	-1
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	RF	95,3	93,3	91,7	97	96,1	95,4
	$\Delta$	0	-2	-3,6	0	-0,9	-1,6
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	RF	95,6	94,4	93,1	97	96,4	95,8
	$\Delta$	0	-1,2	-2,5	0	-0,6	-1,2
ÅVB40 <sub>R1,2</sub>	RF	95,7	93,7	92,1	97,3	96,6	95,8
	$\Delta$	0	-2	-3,6	0	-0,7	-1,5

## 7. Analys

Huvuddelen av analysen innehåller en omfattande diskussion kring metoder och resultat från studien. Detta för att kunna komma fram till slutsatser kring absorptionshämmarens verkan. Vidare anges även förslag på fortsatta studier baserat på diskussionen.

### 7.1 Diskussion

#### 7.1.1 Sättnmätt

För samtliga sättnmätt, förutom de med vct 0,6 och ofuktad ballast, ger användning av absorptionshämmare ett högre sättnmätt än om absorptionshämmare inte används. Då absorptionshämmaren visat sig vara svagt retarderande är det dock svårt att utvärdera om de förbättrade sättnmätten då absorptionshämmare används beror på retardation eller att produkten faktiskt verkar på ballasten, detta diskuteras vidare under *7.1.2 Hållfasthet*.

Både för G0,5 (Ref3) och G0,6f gav mellandosereringen på 0,6 % respektive 0,5 % högst sättnmätt vid 30 och 60 minuter, se Figur 6.2 och Figur 6.4. Detta antyder att det kan finnas en optimal mängd absorptionshämmare som ligger mellan den högsta och lägsta testade doseringen. Resultatet för G0,4 följer däremot inte trenden, då mellandosereringen 0,5 % ger lägst sättnmätt av alla blandningar där absorptionshämmare används, se Figur 6.1. För både G0,5 (Ref3) och G0,4 är skillnaden i sättnmätt minimal mellan den högsta och lägsta doseringen av absorptionshämmare, vilket också gör det svårt att avgöra vad som är en optimal dosering. Då absorptionshämmaren har doserats baserat på cementvikten, men är tänkt att verka på ballasten, hade det eventuellt varit bättre att dosera absorptionshämmaren per m<sup>3</sup> betong i stället för kg cement, något som kan vara värt att undersöka i framtida studier.

En teori kring varför G0,6, ofuktad, erhöll lägre sättnmätt för ökad halt absorptionshämmare är att det kan finnas en undre gräns för mängden flyttillsatsmedel, och understigs gränsen uppnås aldrig en betong med god arbetbarhet. I resultaten kan det utläsas att flyttillsatsmedelmängden i G0,6<sub>R0,5</sub> och G0,6<sub>R0,8</sub> är lägre än i övriga blandningar, se Figur 6.7. För G0,6<sub>R0,3</sub> är den samma som för fuktad ballast, men denna blandning erhöll å andra sidan ett relativt litet sättnmättstapp i förhållande till övriga, vilket gör det rimligt att anta att mängden flyttillsatsmedel har en inverkan.

Referensblandningarna med ÅVB, ÅVB25<sub>Ref</sub> och ÅVB40<sub>Ref</sub> gav en mycket svårbearbetad betong vars sättnmätt var så pass låga att det sista sättnmättet togs vid 60 minuter, se Figur 6.5 och Figur 6.6. Detta gällde speciellt för ÅVB40<sub>Ref</sub> som var mycket torr innan flyttillsatsmedlet adderades. Då blandningen skulle vara jämförbar med ÅVB25<sub>Ref</sub> användes en stor mängd flyttillsatsmedel i stället för att öka cement- och vattenhalten. Det hade förmodligen varit bättre att öka cement- och vattenhalten på båda blandningarna för att uppnå en betong med bättre arbetbarhet, dock innebär

det att betongen får högre klimatavtryck samt ökade kostnader. Därmed krävs en miljömässig och ekonomisk avvägning för hur mycket nytta ÅVB gör kontra ökad mängd cement.

När ÅVB25 och ÅVB40 behandlades med absorptionshämmare förbättrades öppethållandetiden och sättmåttan blev högre, däremot var sättmåttan fortfarande mycket lägre än för Ref, se Figur 6.5 och Figur 6.6. Beroende på tillämpning kan det därför antas vara olämpligt att använda så pass höga halter ÅVB i betong. En faktor som dock kan ha stor inverkan på arbetbarheten är huruvida ballasten är förfuktad eller inte. För glimmerrik ballast visade försöken att förfuktad ballast gav bättre arbetbarhet än torr ballast, vilket stämmer med resultat från litteraturen. Varför tillsättning av samma mängd fukt blir mer effektiv då en viss andel fukt tillförs i förväg är inte känd och svårt att spekulera kring.

För ÅVB gjordes dock valet att inte förfukta ballasten då det visade sig vara problematiskt att få en jämn fuktkvot, detta förmodligen då egenskaperna skiljer sig mycket från korn till korn. Hade ÅVB fuktats och mätningen av fuktkvot kunnat förfinas är det mycket möjligt att arbetbarheten hade förbättrats.

Ytterligare en faktor som behöver tas hänsyn till är vattenabsorptionen för ÅVB. Det värde som använts är baserat på vad betongleverantören använder, men det finns anledning att tro att detta värde enbart gäller för grov ÅVB då det i förhållande till den observerade förmågan är lågt. Som tidigare nämnts är absorptionsförmågan större för fin ballast än grov, och då mängden finmaterial i använd ÅVB är högt kan det innebära att mer blandningsvatten hade behövt användas för att erhålla rätt vct. Detta är något som påverkar så väl arbetbarhet som hållfasthet.

### 7.1.2 Hållfasthet

För den glimmerrika ballasten finns indikationer på att hållfastheten efter 24 timmar blir något lägre då absorptionshämmare används, detta gäller för G0,4 (Figur 6.9), G0,6f (Figur 6.12) och i stora drag för G0,5 (Figur 6.10). Detta påvisar den svagt retarderande effekten. Variationerna i hållfasthet är dock små, som mest 3 MPa och som minst drygt 1 MPa, vilket gör det svårt att avgöra om det finns ett tydligt samband eller om små variationer i tillvägagångssätt såsom vibrationstid av gjutformar har inverkat. För G0,6 (Figur 6.11), ofuktad, erhålls liknande hållfastheter efter 24 timmar för samtliga blandningar utom den med högst dosering av absorptionshämmare. Skillnaden efter 24 timmar mellan G0,6 och G0,6f är också så pass liten att inga slutsatser kan dras kring fuktningens inverkan på hållfastheten. Dock ligger G0,6f något lägre i hållfasthet förutom för blandningen med mest absorptionshämmare, men om teorin kring ökad retardation med ökad mängd absorptionshämmare stämmer är detta rimligt då den maximala halten absorptionshämmare är 0,7 % för den fuktade och 0,8 % för den ofuktade.

Efter 28 dygn finns, motsatt från 24 timmar, tendenser att hållfastheten för blandningar med absorptionshämmare är något högre än för blandningar utan. Detta gäller för samtliga förutom G0,5<sub>R0,4Ref3</sub>. Något samband mellan att ökad mängd absorptionshämmare ger högre hållfasthet efter 28 dygn finns dock inte, utan blandningar med absorptionshämmare ligger enbart generellt sett

högre. Det bör även nämnas att skillnaderna är små, som mest drygt 2 MPa vilket gör det svårt att dra en slutsats.

För ÅVB ser trenden annorlunda ut än för glimmerrik ballast. För ÅVB25 (Figur 6.13) har blandningarna generellt sett något högre tryckhållfasthet än Ref efter 24 timmar. Detta gäller dock inte för ÅVB25<sub>R0,5</sub> som ligger lågt och kan betraktas som avvikande. ÅVB40 (Figur 6.14) ligger däremot mycket högre än Ref i hållfasthet för samtliga blandningar, vilket kan bero på flera anledningar. Dels är det okänt hur nygjuten betongen som blir till ÅVB är. Om betongen som blir till ÅVB är relativt nygjuten innehåller den sannolikt ohydratiserat cement som kan reagera med vattnet när betong med ÅVB gjuts, alltså sänks vct vilket leder till högre hållfasthet. En annan teori är att den höga absorptionsförmågan hos ÅVB minskar halten tillgängligt blandningsvatten vilket också leder till ett lägre vct. Något som kan diskuteras är däremot varför skillnaden blir så stor mellan ÅVB25 och ÅVB40, men då egenskaperna i ÅVB skiljer sig mycket finns det anledning att tro att omblandningen varit dålig och att det som använts i respektive blandningsserie har varierande kvalitet.

Efter 28 dygn ligger ÅVB40 (Figur 6.14) fortfarande högre i hållfasthet än Ref, dock har skillnaden minskat. Motsatt gäller för ÅVB25 (Figur 6.13) som alltid ligger lägre än Ref, något som kan stödjas av teorin att ÅVB tenderar till att ha varierande kvalitet. Gällande inverkan av halt absorptionshämmare efter 24 h är det för ÅVB25 svårt att dra någon slutsats, då hållfastheterna varierar. För ÅVB40 syns en svag trend att högre dos absorptionshämmare ger lägre hållfasthet, även om samtliga har högre hållfasthet än Ref. Efter 28 dygn är trenden för ÅVB40 att hållfastheten ökar för ökad mängd absorptionshämmare, och för ÅVB25 är trenden liknande förutom för avvikelsen ÅVB25<sub>R0,5</sub>. Även här bör nämnas att då enbart två olika halter absorptionshämmare testades med ÅVB25 respektive ÅVB40 är det svårt att se om det är en trend eller en slumpmässig skillnad, och fler försök hade behövt göras. Vidare, något som gäller för både glimmerrik ballast och ÅVB, hade det varit önskvärt att trycka fler än tre kuber för varje blandning och tidpunkt och göra varje blandning fler gånger för att få ökad tillförlitlighet i resultatet.

### 7.1.3 Kalorimetri

#### Värmeeffekt

Generellt visar mätningarna av värmeeffekten att kurvan förflyttas till höger utan att nämnvärt förändra utseende. Hydratationen verkas således börja något senare då absorptionshämmaren tillsätts till blandningarna. För G0,4 (Figur 6.17) och G0,5<sub>Ref3</sub> (Figur 6.19) är förskjutningen snarlik, kurvorna förflyttas något mer vid ökad halt absorptionshämmare. För G0,6 (Figur 6.23) med ofuktad fin ballast är förskjutningen liten vid 0,3 % och 0,5 % vilket är likt G0,4 och G0,5<sub>Ref3</sub>, men vid 0,8 % skiljer den sig då förskjutningen ökar och toppen på grafen minskar, alltså är retardationen större.

Vidare har kurvan för värmeeffekten hos G0,6 (Figur 6.25) med fuktad fin ballast ett beteende likt G0,4 och G0,5<sub>Ref3</sub> då förflyttningen är liten då absorptionshämmaren ökar, skillnaden är att samtliga kurvor med absorptionshämmare skiljer sig relativt mycket från referensen. Dock hade referensen ofuktad fin ballast medan blandningarna med absorptionshämmare har fuktad fin ballast. Resultatet indikerar alltså att fuktning av fin ballast verkar ha en retarderande effekt, medan variationen hos vct 0,5, se Figur 6.21, påvisar att fuktning inte har någon nämnvärd påverkar då kurvan G0,5<sub>Ref1</sub> och G0,5<sub>Ref3</sub> i princip är identiska. Enda skillnaden är fuktning av fin ballast. Således hade det varit önskvärt att göra fler laborativa tester, framför allt en referens för G0,6 med fuktad fin ballast, men detta var inte möjligt på grund av tidsbrist.

Huruvida fuktad fin ballast påverkar retardationen är alltså svårbedömt. Fuktningen innebär inte en ökad mängd vatten, den är fortfarande samma för blandningen, enda skillnaden är att då de torra materialen blandas finns det en viss mängd vatten i finballasten. Exempelvis tillsattes 3,9 kg i fallet med ofuktad ballast och 3,1 kg vatten till fallet med fuktad ballast. Högst spekulativt skulle retardationen kunna bero på att vattnet som förekommer i fin ballasten inte kommer i kontakt med cementen och därmed finns det mindre vatten till hydratationen vilket ger en retarderande effekt. Dock motsäger kurvan för G0,5<sub>Ref1</sub> och G0,5<sub>Ref3</sub> detta, se Figur 6.21.

Värmeeffekten för återvunnen betong visar i princip liknande resultat, att kurva skjuts åt höger då halten absorptionshämmare ökar. En skillnad är att variationen tycks blir större. För ÅVB25<sub>R0,8</sub> (Figur 6.27) är skillnaden mellan de två provkropparna relativt stor vilket är ovanligt eftersom kalorimetri vanligtvis har god repeterbarhet. Då den undre linjen skiljer sig mest från ÅVB25<sub>Ref</sub> och ÅVB25<sub>R0,5</sub> bör denna betraktas som en avvikelse, eftersom beteendet i övrigt är likt tidigare värmeeffekter där kurvan skjuts något åt höger då halten absorptionshämmare ökar. ÅVB40 (Figur 6.29) har kurvor som förskjuts åt höger då halten absorptionshämmare ökar i enlighet med övriga resultat. Dock har ÅVB40<sub>R0,9</sub> lägre topp än både ÅVB40<sub>Ref</sub> och ÅVB40<sub>R1,2</sub>. Resultatet indikerar att ÅVB i det stora hela följer samma mönster, men att det avviker i större utsträckning än proverna med glimmerrik ballast. Detta kan bero på variationen är större hos ÅVB och således minskar förutsägbarheten.

Ett annat resultat från värmeeffekten för ÅVB är att samtliga kurvor med ÅVB fick annat utseende jämfört med referensen men vanlig ballast. Att topparna generellt var högre och något tidigare start



på hydratationen beror mest troligt på att ÅVB kan innehålla viss ohydratiserad cement. Då vattenhalten har liten inverkan på värmeutvecklingen är det mindre troligt att topparna beror på att ÅVB absorberar mer vatten.

Det ska dock nämnas att även då kalorimetri har god repeterbarhet kan det finnas felkällor för blandningarna. Då de två olika provkropparna för respektive blandning siktades tillsammans och det siktade materialet rördes om väl innan det placerades i plastburkarna bör det inte vara någon större variation mellan provkropparna. Dock finns såklart en risk att omrörningen inte var god nog, vilket innebär att innehållet kan ha blivit olika i prover från samma blandning. Sannolikheten att innehållet mellan olika blandningar varierar är dock större. Detta på grund av framför allt siktningen, som kan ha genomförts olika länge vilket påverkar bland annat ballastinnehållet i det siktade materialet.

### Värmeutveckling

Värmeutvecklingen är integralen av värmeeffekten över tid. Genom att dels redovisa grafer för värmeutveckling gentemot tid, dels visa utvecklad värme vid olika tidpunkter framgår det när skillnaden i hydratationsgrad är som störst vilket är svårt att utläsa endast från kurvorna med värmeeffekt.

Generellt sett visar värmeutvecklingskurvorna på en retardation när absorptionshämmaren används, men att retardationen inte är som störst vid 24 timmar utan vid tidigare tidpunkter. För G0,4 (Figur 6.18) har blandningar med absorptionshämmare en lägre värmeutveckling. Mellan 5 och 20 timmar är den lägre desto mer absorptionshämmare. Dock är skillnaden mindre vid 24 timmar, där 0,7 % har högre värme än 0,3 % och 0,5 %. Resultatet är snarlikt för G0,5 (Figur 6.20) där 0,8 % också har högre värmeutveckling än resterande mängder efter 24 timmar. G0,6 med ofuktad fin ballast (Figur 6.24) påvisar samma mönster, 0,8 % har mindre skillnad vid 24 timmar jämfört med 10–20 timmar. Dock framgår inte detta vid G0,6 med fuktad fin ballast (Figur 6.26), men som tidigare diskuterats är skillnaden mot referensen stor vilket är svårförklarligt.

För ÅVB25 (Figur 6.28) är värmeutvecklingen relativt lika oavsett med eller utan absorptionshämmare förutom avvikelserna hos ÅVB25<sub>R0,8</sub>. Då avvikelserna försummas verkar 0,8 % återigen ha högre värmeutveckling efter 24 timmar än 0,5 %. Denna tendens påvisas dock inte hos ÅVB40 (Figur 6.30), men ÅVB40<sub>R0,9</sub> är också en avvikelse från mönster som tidigare nämnts.

Att absorptionshämmaren ger lägre utvecklad värme vid 10–20 timmar, där retardationen generellt var 1–2 timmar, indikerar att hållfastheten vid dessa tidpunkter kan vara lägre jämfört med referensen. Eftersom skillnaden generellt sett varit lägre efter 24 timmar bör därmed hållfastheten vara relativt lika efter 24 timmar. En konsekvens av detta kan vara att absorptionshämmaren påverkar hållfastheten kortsiktigt genom att betongen behöver några fler timmar innan den kan beträdas. Exempelvis kan detta vara problematiskt då betongplattor gjuts då dessa kan behöva beträdas relativt tidigt, medan de första timmarna hos väggar spelar mindre roll.

#### 7.1.4 Mätning av relativ fuktighet

Då endast 3 mätningar av relativ fuktighet hann genomföras är underlaget för litet för att kunna dra en säker slutsats, det skulle behövas längre tid och fler mätningar. Mätdata indikerar dock att ökad halt ÅVB får betongen att torka ut snabbare då skillnaden mellan blandningar ökar. Dock är det svårt att se hur absorptionshämmaren påverkar uttorkningen då varierande resultat erhöles med denna. Den lägre doseringen hade en mindre uttorkning jämfört med referensen medan den högre doseringen hade en större uttorkning än referensen.

#### 7.1.5 Standarder & krav

Den återvunna betongen som laborativt testats klassificeras som restbetong. Således får 5 % av denna alltid användas i betong, men då 5 % överskrids ska betongballasten karaktäriseras och klassificeras i enlighet med SS 137003 vilket är den svenska tillämpningen av SS-EN 206. Klassificeringen i sig sker enligt SS-EN 12620 vilket är standarden för betongballast. Dessutom måste betongballasten CE-märkas då SS-EN 12620 är harmoniserad.

Då restbetongen inte är CE-märkt skulle det inte vara möjligt att överskrida 5 % för en betongleverantör. Vidare innebär detta att ballastens beståndsdelar, kvalitet, etc. inte är känt, utan den information som har används är baserad på testmetoder som i övrigt används för ballast. Exempel på detta är vattenabsorptionen som enligt provningsrapporten hade 1,9 %, men betongleverantören som använde ballasten använde 2,6 % eftersom det hade gett dem bättre resultat. Utöver detta varierade fuktkvoten relativt mycket även då den återvunna betongen blandades för att få en jämn fuktfördelning i materialet. Av denna anledning valdes det att torka all ÅVB för att inte ha för stor variation i fuktkvot. Därmed var den indata som användes för ÅVB osäker eftersom det varierar betydligt mer än för vanlig ballast.

Under försöken användes 25 % samt 40 % ÅVB i ballasten där både fin och grov fraktion förekom. För att en betongleverantör ska få använda så pass höga halter måste ballasten klassificeras i Typ A eller Typ B, endast användas för de lägre exponeringsklasserna och endast innehålla grovfraktion. Baserat på resultaten blir 25 % svårarbetad men visar god potential med ökad halt absorptionshämmare, medan 40 % blir ännu mer svårarbetad, men fortfarande något bättre mer absorptionshämmare.

Låg exponeringsklass tillåter användning av lågkvalitativ betong, vanligtvis genom ett högre vct. Således är det rimligt att det går att använda 50 % grov fraktion för exponeringsklass X0 eftersom sådana halter ÅVB sannolikt kräver ett högre vct än 0,55 för att uppnå god arbetbarhet. Detta är något som stöds av försöksresultaten, med skillnaden att även finfraktioner användes vilket sannolikt försämrar arbetbarheten ytterligare. Dock, med dessa förutsättningar, hjälper absorptionshämmaren utan att ge någon betydande negativ inverkan. Vidare borde försöken gjorts med endast grov fraktion då detta är vad standarden behandlar. Huruvida finfraktionen får användas är oklart då information kring detta saknas i standarden.

Generellt sett begränsas användningen av ÅVB till de lägre exponeringsklasserna, vilket förmodligen också beror på andra orsaker än arbetbarhet. Då det finns stora variationer i egenskaper hos återvunnen betong är denna begränsning rimlig för att säkerställa att egenskaper såsom frostbeständighet, täthet och motstånd mot kloridinträngning inte äventyras i utsatta miljöer.

Gällande hållfasthet förbättras den generellt sett då högre halter ÅVB används, men påvisar även viss variation. Exempelvis har ÅVB25<sub>R0,5</sub> lägst hållfasthet efter 24 timmar samt 28 dagar. Kalorimetri visar ingen nämnvärd skillnad i retardation av värmeutvecklingen och således bör det inte vara hydratationen utan ballasten i sig som påverkar hållfastheten negativt. Eventuellt kan det bero på dålig vibration vid gjutning eller något som påverkar bindningen negativt, exempelvis om den ÅVB som användes för aktuell gjutning hade någon beståndsdel som gav en negativ inverkan. Att hållfastheten generellt var högre kan bero på att ÅVB innehöll ohydratiserat cement och därmed sänkte betongens vct. Här påverkar sannolikt fraktionsstorlekarna, används inte finfraktionen är det troligt att det inte förekommer någon ohydratiserad cement i ÅVB vilket skulle kunna försämra hållfastheten. Vidare är finfraktionen inte önskvärd ur arbetbarhetssynpunkt, vilket ställer krav på avvägningar i krossningsprocessen där den grova ballasten blir renare med mer krossning samtidigt som andelen finfraktion ökar. Att kunna erhålla grov återvunnen betong av god kvalitet utan att alstra onödiga mängder finfraktion är något som bör forskas vidare på, såväl som användningsområden för finfraktioner.

Alltså möjliggör standarden användning av ÅVB då kvalitetskraven är relativt tydliga kring hur ballasten ska se ut och klassificeras. Halterna som anges i dagsläget kan baserat på resultaten bedömas som rimliga då det framför allt påverkade betongen färskas egenskaper negativt. Således är det tekniskt möjligt, men omständligt att få en tillräckligt bra betong. Vidare finns det andra praktiska faktorer som gör det komplicerat att följa standarder. För att det eventuellt ska bli lönsamt behövs stabila flöden för volym samt kvalitet, optimering och planering av transport och sortering i kombination med att utbud på ballast i övrigt är relativt god i Sverige.

## 7.2 Slutsats

Nedan besvaras de frågeställningar som presenterades i rapportens början kortfattat.

**Vad säger standarden idag om att använda återvunnen betong som ballastmaterial i betong?**

- ÅVB från krossad restbetong eller återvunnen färsk betong är tillåtet att använda i halter upp till 5 % utan att ballasten behöver CE-märkas. Detta gäller för samtliga exponeringsklasser.
- Det finns begränsningar för användning av ÅVB av återvunnet rivningsmaterial baserat på exponeringsklass och ingående material, vilket ställer krav på provning och analys av materialet.
- Standarden omfattar enbart grov ballast, för fin ballast finns ingen standard.

**Bör standarden förändras för att återvunnen betong ska kunna användas som ballastmaterial i betong?**

- Standarden anger vilka kvalitetskrav som är aktuella samt hur återvunnen betong ska klassificeras för att kunna användas som ballast och behöver således inte förändras ur denna synpunkt.
- ÅVB 0/16 får endast användas upp till 5 % då det innehåller finfraktion och inte är CE-märkt. Baserat på resultaten från detta arbete kan det vara rimligt att tillåta 25 % med absorptionshämmare, medan 40 % med vct 0,55 bör inte tillåtas. Således skulle standarden kunna tillåta högre halter än 5 %.
- Resultaten påvisade viss variation hos betongens hållfasthet med ÅVB. Då ÅVB används bör det framgå tydligare i standarden hur det säkerhetsställs att hållfastheten är tillräckligt hög.
- En standard för användning av återvunnen fin ballast hade behövt utvecklas.

## Hur påverkas betongens färska och hårdnade egenskaper av krävande ballastmaterial med varierande mängd av absorptionshämmare?

- Krävande ballastmaterial gör betongen mer svårbearbetad än om jungfrulig ballast används. Klimatnyttan med krävande ballast bör utredas vidare då användning av krävande ballast ofta innebär att vatten- och cementhalten också måste öka. Det är önskvärt att uppnå en betong med god arbetbarhet som är miljömässigt försvarbar.
- Användning av absorptionshämmare förbättrar arbetbarheten över tid, d.v.s. betongen får generellt sett lägre konsistenstapp, än när absorptionshämmare inte används. Sambandet mellan dosering och effekt bör utredas vidare då det inte finns något tydligt samband kring vilken dosering som ger bäst effekt.
- Absorptionshämmaren har en retarderande effekt på betongens hårdnande. Mest retardation kan observeras 10 till 20 timmar efter blandning, och retardationen är något mindre vid 24 timmar. Retardationen påverkar tryckhållfastheten efter 24 timmar som blir något lägre med absorptionshämmare än utan, vidare syns tendenser att ökad mängd absorptionshämmare ger lägre hållfasthet efter 24 timmar. Efter 28 dygn är hållfastheten generellt sett något högre för blandningar med absorptionshämmare än utan.
- Absorptionshämmaren ger ingen nämnvärd inverkan på lufthalt, densitet eller temperatur.

## Hur påverkar vct och blandningsmetodik absorptionshämmarens inverkan på betongens färska och hårdnade egenskaper?

- Absorptionshämmaren fungerar för samtliga vct som testades för glimmerrik ballast. Vidare undersökning kring inverkan av vct på ÅVB med absorptionshämmare bör genomföras.
- Blandningsmetodiken tenderar att påverka betongens färska egenskaper, då främst förfuktning av glimmerrik ballast där ofuktad ballast gav stora sättmåtstapp. Lång blandningstid visade sig också ge en trögare betong.

### 7.3 Förslag på fortsatta studier

Vidare studier kan genomföras kring hur halten återvunnen betong påverkar betongens egenskaper. Försök med lägre halter ÅVB med olika kornfraktioner kan ge tydligare resultat kring om standarden behöver utmanas. En sådan studie kan ge svar på hur egenskaperna påverkas genom att ersätta enbart grov ballast eller både fin och grov ballast med ÅVB. Även här hade det varit intressant att studera absorptionshämmarens inverkan.

Ett annat relevant studieområde är att utreda absorptionshämmarens funktionssätt, då det fortfarande inte är klarlagt om det är den retarderande förmågan som ökar sättmättet eller om det beror på att den påverkar ballastens absorptionsförmåga kemiskt genom att blockera porer.

Slutligen hade det varit intressant att utföra försöken som presenterats i denna rapport igen, för att styrka resultaten och visa på repeterbarhet.

# Litteraturförteckning

- Al Ajmani, H., Suleiman, F., Abuzayed, I. & Tamimi, A. 2019. Evaluation of concrete strength made with recycled aggregate. *Buildings*, 9, 56.
- Alexander, M. & Mindess, S. (2005). *Aggregates in Concrete*. New York: Taylor & Francis.
- Arm, M., Arvidsson, H. & Höbeda, P. (2004). Inverkan av glimmer på ett obundet vägmateriels deformationsegenskaper. Resultat från laboratorieförsök. Statens geotekniska institut.
- Bai, G., Zhu, C., Liu, C. & Liu, B. 2020. An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties. *Construction and building materials*, 240, 117978.
- Billberg, P., Peterson, M. & Westerholm, M. (2017). Färsk Betong. *Betonghandbok - Material*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- Boverket. (2018). Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan (Rapport 2018:5). Stockholm: Boverket.
- Boverket. (2022). *Att sälja byggprodukter* [Online]. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/byggprodukter/att-salja-byggprodukter/>. [Hämtad 01-30 2023].
- Boverket. (2023). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn* [Online]. Available: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer--aktuell-status/vaxthusgaser/> [Hämtad 2023-04-19].
- Brander, L., Helsing, E. & Gabrielsson, I. (2020). Constructivate arbetspaket 3 - Återvinning av rivningsavfall som ballast i betong. RISE Rapport 2020:25: RISE.
- Castiglioni, F., Ferrari, G., Gamba, M., Clemente, P., Alampi, G., Galliani, G., Biancardi, A., Artioli, G., Valentini, L. & Dalconi, M. C. 2022. The Influence of the Molecular Structure of PCEs on the Interaction with Expandable Clays. *Special Publication*, 354, 87-98.
- Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A. & Barra, M. 2007. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and concrete research*, 37, 735-742.
- Fagerlund, G. (2017). Struktur och strukturutveckling. *Betonghandbok - Material*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- Frølich, L., Wadsö, L. & Sandberg, P. 2016. Using isothermal calorimetry to predict one day mortar strengths. *Cement and Concrete Research*, 88, 108-113.

- Gram, H.-E. & Lagerblad, B. (2017). Ballast. *Betonghandbok - Material*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- Johansson, N. (2005). Uttorkning av betong: inverkan av cementtyp, betongkvalitet och omgivande fuktförhållanden. Lunds Tekniska Högskola: Avd Byggnadsmaterial.
- Johansson, S.-E. (2017). Cement. *Betonghandbok - Material*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- Khachadorian, B. (2003). *The influence of the fine crushed rocks and minerals on the properties of mortars and concrete*. Göteborg: Chalmers Reproservice.
- Kim, J. 2022. Influence of quality of recycled aggregates on the mechanical properties of recycled aggregate concretes: An overview. *Construction and Building Materials*, 328, 127071.
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C. & Kerckhoff, B. (2002). *Design and control of concrete mixtures*. Portland Cement Association Skokie, IL.
- Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) & Sveriges Byggindustrier. (2014). Klimatpåverkan från byggprocessen. Stockholm: IVA.
- Lagerblad, B., Mikael, W., Fjällberg, L. & Gram, H. E. (2008). *Bergkrossmaterial som ballast i betong*. Cement-och betonginstitutet.
- Lagerblad, B. & Trägårdh, J. (1995). *Ballast för betong.: Egenskaper, karaktärisering, beständighet och provningsmetoder*. Cement och Betong Institutet.
- Leemann, A. & Holzer, L. (2001). Influence of mica on the properties of mortar and concrete.
- Ljungkrantz, C., Möller, G. & Petersons, N. (1994). Tillsatsmaterial. *Betonghandbok - Material*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst & Cements AB.
- Loberg, B. (1999). *Geologi Material, processer och Sveriges berggrund*. Stockholm: Prisma.
- Löfgren, I. & Johansson, N. (2017). Tillsatsmedel. *Betonghandbok - Material*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- Maregesi, G. R. 2020. Mica in Concrete. *Advanced Engineering Solutions Journal*, 1, 2021.
- MinBaS. (2005). MinBaS - ett utvecklingsprogram för industrimineral, bergmaterial och natursten. SGU Dnr 0-1240/2002 utvecklingsprogrammet MinBaS:
- Nedeljković, M., Visser, J., Šavija, B., Valcke, S. & Schlangen, E. 2021. Use of fine recycled concrete aggregates in concrete: A critical review. *Journal of Building Engineering*, 38, 102196.
- Padmini, A., Ramamurthy, K. & Mathews, M. 2009. Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23, 829-836.



- Poon, C. S., Shui, Z., Lam, L., Fok, H. & Kou, S. 2004. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and concrete research*, 34, 31-36.
- Popovics, S. (1992). *Concrete materials: Properties, specifications, and testing*. William Andrew.
- Rapp, T. (2019). 12. Rutin för RF-mätning i borrhål - HumiGuard med webbplats. Rådet för byggkompetens (RBK).
- Ridzuan, A., Diah, A., Hamir, R. & Kamarulzaman, K. (2001). The influence of recycled aggregate on the early compressive strength and drying shrinkage of concrete. *Structural Engineering, Mechanics and Computation*. Elsevier.
- RISE. (u.å.). *Återvinning av rivningsavfall och liknande restflöden för användning i betong och andra byggprodukter* [Online]. Available: <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/rivningsavfall-i-betong> [Hämtad 2023-04-26].
- Saravanakumar, P., Abhiram, K. & Manoj, B. 2016. Properties of treated recycled aggregates and its influence on concrete strength characteristics. *Construction and Building Materials*, 111, 611-617.
- Silfwerbrand, J. (2017). Betong, betongbyggnade och betongbyggnad. *Betonghandbok - Material*. Halmstad: AB Svensk Byggtjänst.
- SS-EN 196-11:2019. Cementprovning - del 11: Värmeutveckling - Isoterm kalorimetrisk metod. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 206:2013+A2:2021. Betong - Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 933-1:2012. Ballast - Geometriska egenskaper - Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning - Siktning. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 1097-5:2008. Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 5: Bestämning av vattenkvot genom torkning i ett torkskåp. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 1097-6:2022. Ballast - Mekaniska och fysikaliska egenskaper - Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 12390-1:2021. Provning av hårdnad betong - Del 1: Form, dimensioner och övriga krav på provkroppar och formar. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 12390-2:2019. Provning av hårdnad betong - Del 2: Tillverkning och härdning av provkroppar för hållfasthetsbestämning. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).

- SS-EN 12390-4:2019. Provning av hårdnad betong - Del 4: Tryckhållfasthet - Fordringar på tryckpressar. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 12620+A1:2008. Ballast för betong. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS-EN 13369:2018. Gemensamma regler för förtillverkade betongprodukter. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- SS 137003:2021. Betong - Användning av SS-EN 206:2013+A2:2021 i Sverige. Stockholm: Svenska Institutet för Standarder (SIS).
- Svenska insitutet för standarder (SIS). (u.å). *EU och standarder* [Online]. <https://www.sis.se/standarder/vad-ar-en-standard/eu-och-standarder/>: Svenska Institutet för Standarder. [Hämtad 2023-01-30 2023].
- Sveriges geologiska undersökning (SGU). (2021). Grus, sand och krossberg 2020. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning.
- Wadsö, L. 2005. Applications of an eight-channel isothermal conduction calorimeter for cement hydration studies. *Cement international*, 94-101.
- Ying, J., Han, Z., Shen, L. & Li, W. 2020. Influence of Parent Concrete Properties on Compressive Strength and Chloride Diffusion Coefficient of Concrete with Strengthened Recycled Aggregates. *Materials*, 13, 4631.

# Bilaga A – Betongrecept

## Glimmerrik bergkross

G0,4					
	Blandning	G0,4 <sub>Ref</sub>	G0,4 <sub>R0,3</sub>	G0,4 <sub>R0,5</sub>	G0,4 <sub>R0,7</sub>
Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Cement	460	460	460	460
	Vatten	184	184	184	184
	Flyttillsatsmedel	6,08	5,80	5,55	4,61
	Absorptionshämmare	0	1,38	2,3	3,22
	Fraktion 0/4	871	869	869	869
	Fraktion 8/16	864	863	863	863

G0,5 (Ref1 & Ref2)					
	Blandning	G0,5 <sub>Ref1</sub>	G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	G0,5 <sub>Ref2</sub>	G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>
Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Cement	380	380	400	400
	Vatten	190	190	200	200
	Flyttillsatsmedel	4,66	4,17	6,48	6,95
	Absorptionshämmare	0	1,52	0	3,2
	Fraktion 0/4	974	973	948	946
	Fraktion 8/16	823	823	802	800

G0,5 (Ref3)					
	Blandning	G0,5 <sub>Ref3</sub>	G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>
Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Cement	400	400	400	400
	Vatten	200	200	200	200
	Flyttillsatsmedel	4,57	3,69	3,48	2,575
	Absorptionshämmare	0	1,6	2,4	3,2
	Fraktion 0/4	949	948	948	948
	Fraktion 8/16	803	802	802	801

G0,6								
	Blandning	G0,6 <sub>Ref</sub>	G0,6 <sub>R0,3</sub>	G0,6 <sub>R0,5</sub>	G0,6 <sub>R0,8</sub>	G0,6 <sub>R0,3f</sub>	G0,6 <sub>R0,5f</sub>	G0,6 <sub>R0,7f</sub>
Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Cement	330	330	330	330	330	330	330
	Vatten	198	198	198	198	198	198	198
	Flyttillsatsmedel	4,03	3,43	2,53	2,08	3,35	3,21	2,73
	Absorptionshämm.	0	0,99	1,65	2,64	0,99	1,65	2,31
	Fraktion 0/4	1062	1061	1060	1059	1061	1060	1059
	Fraktion 8/16	763	762	762	761	762	762	761

## Återvunnen betong & Ref

ÅVB & Ref								
	Blandning	Ref	ÅVB25 <sub>Ref</sub>	ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	ÅVB40 <sub>Ref</sub>	ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	ÅVB40 <sub>R1.2</sub>
Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	Cement	360	360	360	360	360	360	360
	Vatten	198	198	198	198	198	198	198
	Flyttillsatsmedel	3,57	5,36	4,37	3,37	10,89	6,64	8,10
	Absorptionshämm.	0	0	1,8	2,88	0	3,24	4,32
	Fraktion 0/8	1019	632	630	629	404	402	401
	Fraktion 12/16	760	705	703	702	669	666	665
	ÅVB 0/16	0	416	415	414	676	662	661

# Bilaga B – Resultat

## Sättmått

Sättmått [mm]				
	5 min	30 min	60 min	90 min
Ref	225	200	195	135
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	200	140	60	-
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	215	200	130	90
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	215	165	130	95
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	205	95	85	-
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	200	105	100	60
ÅVB40 <sub>R1.2</sub>	210	150	115	90
G0,4 <sub>Ref</sub>	215	190	120	105
G0,4 <sub>R0,3</sub>	230	200	200	175
G0,4 <sub>R0,5</sub>	220	195	185	165
G0,4 <sub>R0,7</sub>	220	200	195	185
G0,5 <sub>Ref1</sub>	220	175	120	85
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	210	155	120	90
G0,5 <sub>Ref2</sub>	180	-	125	85
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	-	170*	150	115
G0,5 <sub>Ref3</sub>	210	180	130	110
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	210	180	180	130
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	220	210	185	130
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	225	185	175	135
G0,6 <sub>Ref</sub>	215	150	130	85
G0,6 <sub>R0,3</sub>	220	190	140	130
G0,6 <sub>R0,5</sub>	215	175	120	95
G0,6 <sub>R0,8</sub>	215	130	85	-
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	225	175	125	85
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	220	200	170	120
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	230	185	145	115

\*Sättmått efter 45 minuter

## Tryckhållfasthet 24 timmar

Tryckhållfasthet 24h [MPa]				
	Prov 1	Prov 2	Prov 3	Medel
Ref	20,8	20,2	21,8	20,9
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	21,2	20,9	20,9	21,0
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	17,8	18,4	18,3	18,2
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	20,9	21,9	21,7	21,5
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	28,3	28,4	28,5	28,4
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	26,6	27,4	26,9	27,0
ÅVB40 <sub>R1.2</sub>	25,7	26,6	26,6	26,3
G0,4 <sub>Ref</sub>	37,2	37,3	37,2	37,2
G0,4 <sub>R0,3</sub>	36,2	36,8	36,7	36,6
G0,4 <sub>R0,5</sub>	35,4	35,7	35,4	35,5
G0,4 <sub>R0,7</sub>	34,5	34,2	34,1	34,3
G0,5 <sub>Ref1</sub>	28,2	27,9	27,7	27,9
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	27,3	26,9	27,5	27,2
G0,5 <sub>Ref2</sub>	31,0	32,0	31,8	31,6
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	31,7	32,6	32,9	32,4
G0,5 <sub>Ref3</sub>	27,4	27,1	27,6	27,4
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	26,6	26,7	26,4	26,6
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	26,1	27,2	27,0	26,8
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	25,8	26,2	25,0	25,7
G0,6 <sub>Ref</sub>	19,8	19,8	19,5	19,7
G0,6 <sub>R0,3</sub>	19,3	20,1	20,2	19,9
G0,6 <sub>R0,5</sub>	19,7	20,0	19,7	19,8
G0,6 <sub>R0,8</sub>	17,4	17,5	17,9	17,6
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	19,1	19,0	19,3	19,1
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	17,9	19,1	19,0	18,7
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	18,6	18,7	18,6	18,6

## Tryckhållfasthet 28 dygn

Tryckhållfasthet 28d [MPa]				
	Prov 1	Prov 2	Prov 3	Medel
Ref	50,8	53,4	52,6	52,3
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	47,6	47,0	46,7	47,1
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	42,9	44,0	43,4	43,4
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	49,7	51,0	49,3	50,0
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	54,8	56,0	52,9	54,6
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	55,4	54,4	54,3	54,7
ÅVB40 <sub>R1.2</sub>	54,9	54,4	55,6	55,0
G0,4 <sub>Ref</sub>	68,9	50,9	65,1	67,0
G0,4 <sub>R0,3</sub>	67,9	68,5	69,3	68,6
G0,4 <sub>R0,5</sub>	68,4	67,7	68,3	68,1
G0,4 <sub>R0,7</sub>	68,2	68,5	68,6	68,4
G0,5 <sub>Ref1</sub>	54,4	55,7	54,6	54,9
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	55,3	53,7	54,9	54,6
G0,5 <sub>Ref2</sub>	55,2	56,3	55,7	55,7
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	55,1	54,9	58,2	56,1
G0,5 <sub>Ref3</sub>	54,0	54,2	54,4	54,2
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	53,9	53,1	53,2	53,4
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	56,0	56,1	55,8	56,0
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	54,1	39,8*	55,0	54,6
G0,6 <sub>Ref</sub>	41,6	40,9	41,9	41,5
G0,6 <sub>R0,3</sub>	37,0*	43,0	42,0	42,5
G0,6 <sub>R0,5</sub>	43,2	43,6	41,1	42,6
G0,6 <sub>R0,8</sub>	42,8	43,1	43,1	43,0
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	43,1	43,2	43,1	43,1
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	43,3	44,3	43,6	43,7
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	42,7	42,7	44,3	43,2

\*avvikelse, ej med i medelvärde

## Lufthalt

Lufthalt [%]				
	5 min	30 min	60 min	90 min
Ref	1,0	-	1,2	-
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	2,9	-	3,6	-
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	3,0	-	3,6	-
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	2,3	-	2,8	-
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	2,2	-	2,7	-
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	2,1	-	2,3	-
ÅVB40 <sub>R1,2</sub>	1,8	-	2,3	-
G0,4 <sub>Ref</sub>	0,7	-	1,4	-
G0,4 <sub>R0,3</sub>	0,8	-	1,2	-
G0,4 <sub>R0,5</sub>	0,7	-	1,0	-
G0,4 <sub>R0,7</sub>	0,7	-	1,2	-
G0,5 <sub>Ref1</sub>	0,6	-	1,1	-
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	0,9	-	1,4	-
G0,5 <sub>Ref2</sub>	1,6	-	1,6	-
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	2,1*	-	-	2,4*
G0,5 <sub>Ref3</sub>	0,6	-	1,0	-
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	0,6	-	1,1	-
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	0,6	-	1,0	-
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	0,5	-	0,9	-
G0,6 <sub>Ref</sub>	0,8	-	1,6	-
G0,6 <sub>R0,3</sub>	1,0	-	1,4	-
G0,6 <sub>R0,5</sub>	0,9	-	1,2	-
G0,6 <sub>R0,8</sub>	0,8	-	1,5	-
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	0,5	-	1,0	-
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	0,4	-	0,8	-
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	0,7	-	1,1	-

\*Stöttes med stav i stället för vibrationsbord



## Densitet & temperatur

	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Temperatur [C]
Ref	2370	19,5
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	2320	-
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	2310	20,5
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	2330	-
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	2320	22,8
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	2310	-
ÅVB40 <sub>R1,2</sub>	2320	22,1
G0,4 <sub>Ref</sub>	2450	21,4
G0,4 <sub>R0,3</sub>	2440	21,4
G0,4 <sub>R0,5</sub>	2430	20,3
G0,4 <sub>R0,7</sub>	2450	20
G0,5 <sub>Ref1</sub>	2430	-
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	2400	-
G0,5 <sub>Ref2</sub>	2440	-
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	2420	23
G0,5 <sub>Ref3</sub>	2440	20,4
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	2430	-
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	2420	21
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	2410	19,2
G0,6 <sub>Ref</sub>	2390	-
G0,6 <sub>R0,3</sub>	2400	-
G0,6 <sub>R0,5</sub>	2380	-
G0,6 <sub>R0,8</sub>	2390	-
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	2420	-
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	2430	-
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	2410	20,5

## Tillsatsmedel

	Cementhalt [kg/m <sup>3</sup> ]	Flyttillsatsmedel		Absorptionshämmare		Total mängd tillsatsmedel [kg/m <sup>3</sup> ]
		[%] av cementhalt	Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	[%] av cementhalt	Massa [kg/m <sup>3</sup> ]	
Ref	360	0,99	3,6	0	0	3,6
ÅVB25 <sub>Ref</sub>	360	1,49	5,4	0	0	5,4
ÅVB25 <sub>R0,5</sub>	360	1,21	4,4	0,5	1,8	6,2
ÅVB25 <sub>R0,8</sub>	360	0,94	3,4	0,8	2,9	6,3
ÅVB40 <sub>Ref</sub>	360	3,02	10,9	0	0	10,9
ÅVB40 <sub>R0,9</sub>	360	1,85	6,6	0,9	3,2	9,9
ÅVB40 <sub>R1,2</sub>	360	2,25	8,1	1,2	4,3	12,4
G0,4 <sub>Ref</sub>	460	1,32	6,1	0	0	6,1
G0,4 <sub>R0,3</sub>	460	1,26	5,8	0,3	1,4	7,2
G0,4 <sub>R0,5</sub>	460	1,21	5,6	0,5	2,3	7,9
G0,4 <sub>R0,7</sub>	460	1,00	4,6	0,7	3,2	7,8
G0,5 <sub>Ref1</sub>	380	1,23	4,7	0	0	4,7
G0,5 <sub>R0,4Ref1</sub>	380	1,10	4,2	0,4	1,5	5,7
G0,5 <sub>Ref2</sub>	400	1,62	6,5	0	0	6,5
G0,5 <sub>R0,8Ref2</sub>	400	1,74	7,0	0,8	3,2	10,2
G0,5 <sub>Ref3</sub>	400	1,14	4,6	0	0	4,6
G0,5 <sub>R0,4Ref3</sub>	400	0,92	3,7	0,4	1,6	5,3
G0,5 <sub>R0,6Ref3</sub>	400	0,87	3,5	0,6	2,4	5,9
G0,5 <sub>R0,8Ref3</sub>	400	0,64	2,6	0,8	3,2	5,8
G0,6 <sub>Ref</sub>	330	1,22	4,0	0	0	4,0
G0,6 <sub>R0,3</sub>	330	1,04	3,4	0,3	1,0	4,4
G0,6 <sub>R0,5</sub>	330	0,77	2,5	0,5	1,7	4,2
G0,6 <sub>R0,8</sub>	330	0,63	2,1	0,8	2,6	4,7
G0,6 <sub>R0,3f</sub>	330	1,02	3,4	0,3	1,0	4,3
G0,6 <sub>R0,5f</sub>	330	0,97	3,2	0,5	1,7	4,9
G0,6 <sub>R0,7f</sub>	330	0,83	2,7	0,7	2,3	5,0

# Bilaga C – Kornstorleksfördelningar

## Glimmerrik bergkross 0/4 mm

Sikt [mm]	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8
Analysvärde [%]	8,3	14	23	35	48	67	93	100	100
Deklarerad [%]	10	17	27	39	54	72	93	100	100
Min [%]	7	-	7	-	34	-	88	95	100
Max [%]	13	-	47	-	74	-	98	100	-

## Glimmerrik bergkross 8/16 mm

Sikt [mm]	0,063	0,125	0,5	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5
Analysvärde [%]	0,6	1	2	2	2	3	30	87	100	100
Deklarerad [%]	0,3	1	1	1	1	4	36	90	100	100
Min [%]	-	-	-	-	-	-	-	85	98	100
Max [%]	1,5	-	-	5	-	20	-	99	100	100

## Återvunnen betong 0/16 mm

Sikt [mm]	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16
Prov 1 [%]	5	8	14	24	38	52	66	76	84	97	100
Prov 2 [%]	5	8	13	22	34	47	61	70	80	97	100

## Referensballast 0/8 mm

Sikt [mm]	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8
Analysvärde [%]	1,9	9	23	45	70	90	95	98	100

## Referensballast 12/16 mm

Sikt [mm]	5,6	11,2	16	22,4	31,5
Analysvärde [%]	5	20	92	99	100