



HÖGSKOLAN
I BORÅS

Ersättning av naturgrus med krossat berg i betong

Laborariestudium på Ulricehamn Betong

Replacement of natural aggregate with crushed rock in concrete

Test study at Ulricehamn Betong

Hassan Yasin Haji och Younes Beigi

HASSAN YASIN HAJI1, xasanyasin@hotmail.com

YOUNES BEIGI 2, yones_bg@yahoo.com

Examensarbete

Ämneskategori: Teknik

Högskolan i Borås

501 90 BORÅS

Telefon 033-435 40 00

Examinator: Katarina Malaga

Handledare, namn: Agnes Nagy

Handledare, adress: Borås högskola

Allégatan 1, 503 32 Borås

Uppdragsgivare: Ulricehamn Betong AB, Anders Swennberg

Datum: <datum för godkännande>

Nyckelord: Krossat berg, Naturgrus, Miljömål, Betong, Hållbarhet

Förord

I syfte med att åstadkomma en mer hållbar utveckling inom byggbranschen görs omfattande ansträngningar för att minska naturgrus användning för byggändemål. En rad olika forskningsprojekt och undersökningar har gjorts för att ta reda på möjligheten till att ersätta naturgrus med krossat berg i betongproduktionen. Detta examensarbete är ett av dessa försök och belyser därmed hur egenskaperna ändras i en betongblandning där merparten av naturgrusballasten ersätts med krossat berg.

Examensarbete ingår i Magisterutbildningen i byggt teknik vid Högskolan i Borås. Arbetet utförs i samarbete med Ulricehamn Betong AB (UBAB), en prefabelementfabrik i närheten av Ulricehamn.

Stort tack till alla som har hjälpt oss i detta arbete. Bland annat laboratoriepersonalen på UBAB, Oscar och Matias och Madumita Sadagopan, doktorand vid Högskolan i Borås. Speciellt tack till våra handledare på Högskolan i Borås, Agnes Nagy och Ulricehamn Betong AB, Anders Swennberg.

Stort tack till våra familjer och vänner för deras stöd under arbetets gång. Speciellt tack för Marian Yasin för korrekturläsning av arbetet.

Sammanfattning

Betong är ett av de mest använda byggnadsmaterialen i världen. Den består av en blandning av cement, vatten och ballast. Ballasten utgör cirka 65-75 % av betongmassan. Merparten av denna ballast kommer i nuläget från naturgrus. En ersättning av naturgrusballasten är önskvärd i enlighet med Regeringens miljömål för ”Grundvatten av god kvalitet” som innebär att uttaget på naturgrus ska minskas till 1-3 miljoner ton/år fram till år 2020.

Detta examensarbete fokuserar på att testa ersätta naturgrus med krossberg i betong. Målet var att få likvärdiga egenskaper i den nya betongblandningen både när det gäller tryckhållfasthet och arbetbarhet. Ett annat mål var att ta reda på hur en ökad krossbergförbrukning skulle bidra till att nå en hållbar utveckling i betongindustrin. Arbetet utfördes i samarbete med Ulricehamn Betong AB (UBAB), en betongfabrik i närheten av Ulricehamn.

Arbetet genomfördes i form av en laboratoriestudie där resultat från två testserier jämfördes med ”referensbetong”. Referensbetongen är baserad på ett känt- och beprövat betongrecept på UBAB. De två testserierna fokuserar på två parametrar i betongblandningen som varieras, krossbergandelen i betongreceptet och mängden flytmedel så kallad superplasticerare. Syftet var att undersöka hur variationen av dessa två parametrar i betongblandningen påverkar betongens egenskaper bland annat tryckhållfasthet och arbetbarhet. Testerna utfördes på gjutna kuber vid 1 och 28 dygns ålder och i vissa fall även vid 5 dygns ålder. Resultaten av alla dessa tester presenteras och analyseras i rapporten.

En hållbarhetsanalys på ballast i allmänhet och betongballast i synnerhet genomfördes också i rapporten. I denna hållbarhetsanalys beskrevs miljöpåverkan av transport som är knuten till ballastmaterial.

Testresultaten från alla försöken visar att alla väsentliga egenskaper är oförändrade och är likvärdiga med betong med merparten av naturgrus. Krosset är tillgängligt i närtrakten vilket leder i sin tur till mindre transporter och mindre utsläpp till luften. En ökad förbrukning av betong med merparten av krossat berg bidrar därmed till hållbarheten inom betongindustrin i allmänhet och UBAB:s hållbarhetsmål om minskad CO₂ utsläpp kan uppnås i synnerhet.

Ur social hållbarhetssynpunkt är en betong med upp till 70 % krossbergsersättning av naturgrus en arbetsmiljövänlig och hållbar lösning till det sinande naturgrusbiståndet.

För att åstadkomma en betongproduktion med mer krossbergandel bör forskning kring ämnet göras tills ersättningen av naturgruset omfattar hela 100 % av betongballasten och minst 3 tester av samma försök ska göras för att utesluta slumpen.

Nyckelord: Krossat berg, Naturgrus, Miljömål, Betong, Hållbarhet

Abstract

Concrete is one of the most used building materials in the world. It consists of a mixture of cement, water and aggregate. The concrete constitutes of approximately 65-75% of aggregates. Most of this used aggregate is natural aggregate. A replacement of natural aggregate is desirable in accordance with the Government's environmental objective for "Groundwater of Good Quality", which means that the use of natural aggregate will be reduced to 1-3 million tones/year by 2020.

In this master thesis a study to test the replacement of natural aggregate with crushed stone in concrete is presented. The goal was to produce equivalent properties to standard concrete in the new concrete mix, both in terms of compressive strength and workability. Another goal was to find out how an increasing use of crushed aggregates would contribute to achieve sustainable development in the concrete industry. The work was carried out in cooperation with Ulricehamn Betong AB (UBAB), a concrete factory near Ulricehamn. The work consisted of laboratory study where two test series results were compared with tests from a "reference concrete". The reference concrete is based on a well-known and proven concrete recipe from UBAB. The two test series comprise two parameters that are varied in the concrete mixture, the crushed rock fraction and the amount of additive, so-called superplasticizer. The purpose was to investigate how the variation of these two parameters in the concrete mixture affects the properties of concrete such as compressive strength and workability. The tests were carried out on cast cubes at 1 and 28 days of age and, when appropriate, at 5 days of age. The results of all these tests are presented and analyzed in the report.

A sustainability analysis of aggregate in general and concrete aggregate in particular is also presented in the report. This sustainability analysis describes the environmental impact of transport that is attributed to aggregate material both in a local and global perspective.

Test results from all trials show that these essential properties are unchanged and are equivalent to the concrete which mostly contains natural aggregates. The rock is available nearby area, which in turn leads to less transport and less emissions to the air. Increased consumption of concrete with most of crushed rock contributes to the sustainability of the concrete industry in general and the achievement of UBAB's sustainability targets on reduced CO₂ emissions.

From a social sustainability perspective, a concrete with up to 70% crushed rocks is a work environmentally friend and a sustainable solution to the ending natural aggregates.

To achieve a concrete production with more crushing rock, a research on the subject should be done until the replacement of the natural aggregates comprises 100% of the concrete ballast and at least 3 tests of same attempt must be done to exclude the chance.

Key words: Crushed rock, Natural aggregate, Environmental goal, Concrete, Sustainability

Innehåll

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Läsanvisningar	3
2. Litteraturstudie	4
2.1 Ballast.....	4
2.1.1 Klassning av ballast.....	5
2.1.2 Naturgrus	5
2.1.3 Krossberg.....	7
2.1.4 Hållbarhetsaspekter vid naturgrusuttag	7
2.1.5 Statistik av ballastförbrukning i Sverige.....	9
2.2 Betong.....	12
2.2.1 Allmänt.....	12
2.2.2 Cementpasta	12
2.2.3 Vattencementtal	13
2.2.4 Ballast i betongen.....	13
2.2.5 Tillsatsmedel.....	13
2.2.6 Betongens hållfasthet.....	14
2.2.7 Tryckhållfasthet.....	14
2.6.2 Arbetbarhet och stabilitet.....	15
3. Laboratiestudie för ersättning av naturgrus	17
3.1 Metodiken för betongtillverkningen på laboratoriet på UBAB	18
3.2 Referensbetongen	24
3.3 Redogörelse för en testserie	27
3.5 Testutrustning och betongblandning.....	28
4. Hållbarhetsanalys	29
4.1 Betongballast och hållbar betongproduktion.....	29
4.2 Miljöpåverkan från transport.....	32
5. Resultatanalys	34
5.1 Diskussion och slutsats	35
6. Referenser	37
Bilagor	40
Bilaga 1	Partikelfördelningskurva, test 1, KB 0-8
Bilaga 2	Partikelfördelningskurva, test 1, NB 0-8
Bilaga 3	Partikelfördelningskurva, test 2 NG 0-8
Bilaga 4	Partikelfördelningskurva, test 3 NG 0-8
Bilaga 5	Referensbetong, Partikelfördelningskurva, KB 0-4
Bilaga 6	Referensbetong, Materialprov, NG 0-8
Bilaga 7	Referensbetong, recept
Bilaga 8	Presentation - poster
Bilaga 9-12	Testresultat

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Att ha ”Grundvatten av god kvalitet” är ett av de 16 svenska miljömålen. Målet förutsåg att från år 1999 till 2010 skulle användningen av naturballast halveras från 22 miljoner ton till 12 miljoner ton. Därefter skulle uttaget minska till ett till tre miljoner ton/år fram till år 2020. Detta mål ger en bevekelsegrund för att främja krossberg förbrukning i betongproduktionen [1].

Att använda mer krossat berg som ballast till olika byggrelaterade ändamål är en rimlig lösning för att skona den ändliga naturgrustillgången i Sverige och utgör bra grund för att nå regeringens miljömål. Trenden av bergkrossanvändning har tilltagit i svensk byggindustrin sett på en 30 års tidsperiod (1985-2015). Krossberg utgör idag 85 % (70,9 miljoner ton) av den totala ballastförbrukningen enligt Sveriges geologiska undersökning. Naturgruset i sin tur utgör 12,8 % (10,8 miljoner ton) av den totala mängden av ballasten, en minskning med 1 % jämfört med år 2014 [1]. Om naturgrusuttaget minskar i samma takt kommande år så kommer inte miljömålsgränsen på 1-3 miljoner ton/år uppnås fram till 2020.

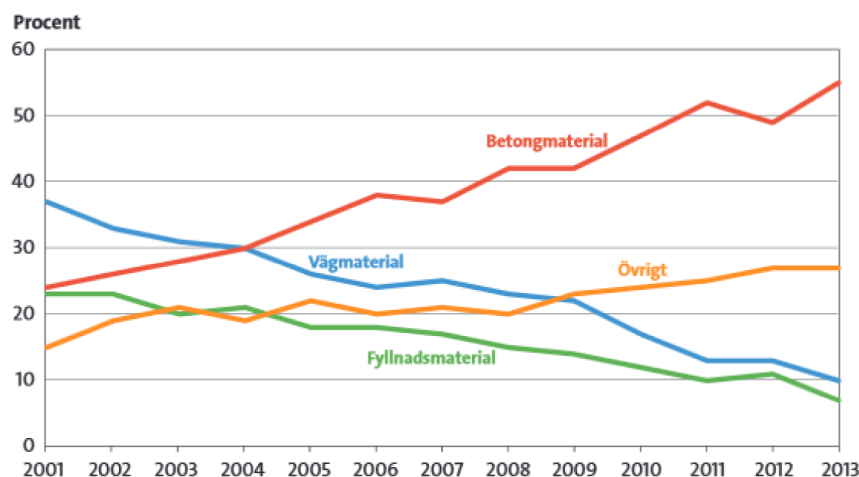
Det finns tydliga tecken som visar på att framsteg har gjorts delvis beroende på att man ersatte naturgruset med krossberg inom användningsområden med låga tekniska krav såsom vägbyggnation och fyllnadsmaterial, [2]. I detta examensarbete undersöks möjligheten att öka användning av krossberg (KB) även på områden där det ställs högre tekniska krav på materialen t. ex. i betongproduktionen för prefabricerade element.

Till betongframställningen går 13 % (ca 11 miljoner ton) av den totala mängden ballast i Sverige. Utav denna mängd kommer 52 % från naturgrus (NG) och 48 % krossberg (KB), [1].

Betongproduktionen ökar i Sverige nuförtiden och trenden försätter i takt med att allt fler hus byggs i Sverige. Ett ökat behov av betongballast gör att ännu mer naturgrus förbrukas om krossbergförbrukningen inte främjas i betongtillverkningen, se figur 1. Som styrmedel för att påverka omställningen har skatten på naturgrus höjts från 13 kronor/ton till 15 kronor/ton under år 2015, [1].

Mycket återstår att göra med avseende på att öka krossbergandelen i betongproduktionen. För att ta nästa steg mot minskad användning av naturgrus i betong behövs en kunskaps- och teknikutveckling på bred front. Det gäller att bryta traditioner och invända mönster för såväl producenter som konsumenter, [1].

En kvalitetssäkrad ersättning av naturgrus med krossberg i stor utsträckning är därför nödvändig.



Figur 1 Fördelning av naturgrusets användningsområden under perioden 2001-2013. [2]

Examensarbetet omfattar en studie om att ersätta naturgrus med krossberg och även belysa hur ökad förbrukning av krossberg bidrar till den hållbara utvecklingen. Det har undersökts olika ersättningsgrader av naturgrus från 40 %, 50 %, 60 % upp till 70 %. Testning av den nya betongens egenskaper sker i form av tryckhållfasthet och flytsättningsmått.

Ulricehamns Betong AB (UBAB) använder redan i dagsläget krossberg som grovballast i sin betongproduktion men vill öka krossbergandelen även inom den fina betongballasten. Avsikten är att åstadkomma en mer hållbar utveckling i sin betongproduktion på ett kostnadseffektivt sätt. Krossbergballasten som berörs av denna undersökning utvinns i närtrakten, ca fem mil från fabriken medan naturgrusgropen ligger 10 mil från fabriken. Detta innebär att ett byte av NG till KB kommer att innebära både en minskning av koldioxidutsläpp p.g.a. minskade transport men också minskade kostnader.

UBAB är ett starkt växande företag med 270 anställda med 20 olika nationalitet och etnisk tillhörighet. Företagets främsta produkt är betongelement (väggar och bjälklagselement) men även betongstommar med stomresning och montering utförs. Affärsidén är att ta ett helhetsgrepp genom att projektera, utveckla och tillverka betongelement och kundanpassade systemlösningar med hög grad av prefabricering, för ett kvalitetssäkrat och industriellt byggande.

1.2 Syfte

Syftet med arbetet är att undersöka möjligheterna att ersätta naturgruset med krossberg och få likvärdiga egenskaper i den nya betongblandningen. Målet är att testa mekaniska egenskaper och arbetbarheten på den nya betongen. Ett annat mål är att ta reda på hur en ökad krossbergförbrukning skulle bidra till att nå en hållbarutveckling i betongindustrin och på sätt nå regeringens miljömål om minskat naturgrusuttag.

1.3 Frågeställning

Två frågeställningar som undersöks i detta arbete är:

1. Att visa möjligheten att skapa betong med högre krossbergandel som är likvärdig en betong med naturgrus.

2. Att belysa hinder och möjligheter med krossbergersättning när det gäller hållbarhetsutvecklingen i betongindustrin.

1.4 Avgränsningar

I denna rapport undersöks endast betongen viktigaste mekaniska egenskaper, tryckhållfastheten. Därmed undersöks inte andra viktiga egenskaper såsom draghållfasthet och krympning.

Provningsmiljöer påverkar testresultatet. Alla provningskuber i denna undersökning härddas i vattenbassäng under de fyra första dagarna och därmed säkras en konstant klimat under betongens unga ålder. Relativ fuktighet och temperatur mäts inte i dessa tester, de förutses vara det samma då provningsmiljön inte ändras.

Referensbetongen är baserad på ett känt- och beprövat betongrecept från UBAB: S betongproduktion. Inga andra betongrecept undersöks.

Bara två ingångsparametrar varieras i betongen, krossbergandelen och flytmedlet (superplasticerare), var för sig.

16 timmars hållfasthetstest görs inte p.g.a. blandarens volym. Vi är medvetna om att företaget avformar sin produktion vid 16 timmars tidpunkt. Bara en provning utförs vid varje testtillfälle och därmed bara ses tendenserna och ingen statistikfördelning kan framvisas eller slump uteslutas.

Utvinningen av råmaterialen har sina miljöpåverkningar. I detta arbete behandlas inte materialutvinningen utan begränsas till framställningen i fabriken. Miljöpåverkan från transporten till fabriken och en allmän beskrivning av arbetsmiljörelaterade problematik vid utvinningen/krossningen presenteras i rapporten.

1.5 Läsanvisningar

Kapitel 1 belyser bakgrunden och syftet till detta arbete. En sammanfattande bild om hela arbetet samt avgränsningar presenteras.

Kapitel 2 ger en helhetsbild på ballasten i allmänhet och betongballasten i synnerhet. Olika ballaster, ballastklassning och dess användningsområden presenteras. En statistik på ballastförbrukningen i Sverige med avseende på både mängder och hållbarhetsaspekter kring användning av dessa material framgår i detta kapitel.

Detta kapitel ger beskrivningar om betongen och alla ingående delmaterialen samt dess miljöpåverkan och hållbarheten kring respektive material. Betongens egenskaper framför allt tryckhållfastheten beskrivs utförligt.

En annan synpunkt som ligger i fokus är svårigheterna kring krossberget vid såväl produktionen som behandlingen samt ekonomiska kostnader. En kort beskrivning om problematiken kring bergmaterialets utvinning framför allt sociala aspekter såsom arbetsmiljön beskrivs.

Kapitel 3 beskriver laboratoriestudien för ersättning av NG med KB. Här beskrivs förbehandling av krossberget samt görs en utförlig rutinbeskrivning om alla momenten som ingår i laboratoriarbetet. I detta kapitel presenteras alla ingående delmaterialen i den referensbetongen samt hur vägning och beräkning av mängderna sker. En redogörelse om en

testomgång presenteras som en form av rutin. Testrutin presenteras för tryckhållfasthet och bearbetbarhet samt utrustning som används vid testning beskrivs.

Kapitel 4 skildrar en hållbarhetsanalys på betongballast med avseende på miljöpåverkan. En omfattande statistik som har gjorts av olika aktörer såväl myndigheter som examensarbeten presenteras.

Kapitel 5 ger slutresultat på testserierna. Fokus läggs på svårigheterna och möjligheterna kring en ökad krossbergförbrukning i betongproduktionen.

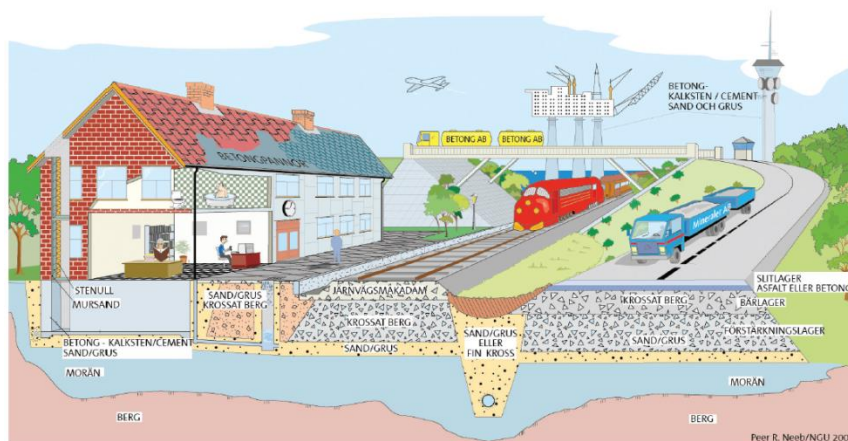
Under detta kapitel presenteras nödvändiga åtgärder som kan leda till att Regeringens miljömål om minskat naturgrusuttag nås i en överskådlig framtid.

2. Litteraturstudie

För att skaffa sig mer kunskap i ämnet, används befintliga studier och examensarbeten i ämnesområdet för betongtestning med krossberg samt diskussioner med handledaren på UBAB och labbpersonal som redan har gjort framsteg beträffande användning av krossberg i betongproduktionen. UBAB använder redan i dagsläge grovballast i sin betongproduktion men vill öka krossbergandelen av finballasten.

2.1 Ballast

Ballast är ett material som används för olika byggändamål. Användningsområden är bland annat, vägbyggnad, betongtillverkning och fyllnadsmaterial. I figur 2, framgår det flertal användningsområden där ballastanvändning ökar. I betongsammahang är ballasten en gemensam benämning av bergartsmaterial, avsedda för betongtillverkning, och på ersättningsmaterial för dessa [4]. Den indelas i två huvudgrupper, grov- respektive finballast.



Figur 2 Några exempel på användningsområden [1].

2.1.1 Klassning av ballast

Groballast

Groballast är den typ av ballast som har en diameter som är lika med eller större än 16 mm. Grövre ballasten i betongen ger god tryckhållfasthet. Kravet till detta är att den blir jämfördelad och gjutvolymen ska helst vara stor. Groballast används också vid annat byggrelaterat ändamål som väg- och järnväggsfyllnad.

Finballast

Den typ av ballast som har en diameter mindre eller lika med 8 mm benämns som finballast. Betongen består av olika beståndsdelar som gemensamt utgör betongens egenskaper. Mellan 70- 80 % av betongens innehåll är ballast och därmed utgör de väsentliga egenskaperna som en betongprodukt ska ha. Den fina ballastens främsta uppgift i betongsammanhang är att åstadkomma en ”volymstabilitet” och består av minst två partikelfraktioner, t.ex. sand och filler, se Tabell 1. Den mindre fyller upp mellanrummet mellan de större, [5]. Ballast som har diametern större än 8 mm kallas sten.

Tabell 1 Ballastbenämning [5]

Ballast benämning	Kornstorlek, mm
Sten	> 8 mm
Finballast	≤ 8 mm
Sand	≤ 4 mm
Filler	≤ 0,125 mm

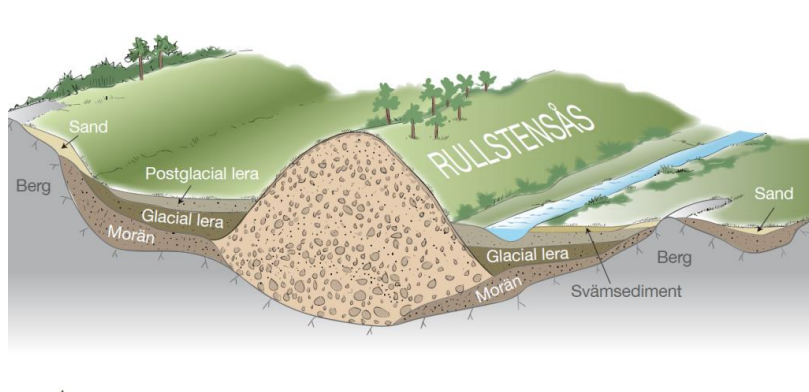
Enligt SS-EN 12620+A1:2008 – Ballast för betong benämns:

- **Filler-** ballast som till största delen passerar en 0,063 mm-sikt, och som man kan tillsätta byggnadsmaterial för att erhålla vissa egenskaper
- **Fin ballast-** benämning som ges till finare sorteringar med D (övre kornstorlekensgräns) mindre eller lika med 4 mm.
- **Finmaterial** – fraktion hos ett ballastprov, vars korn passerat 0,063 mm-sikten.

För anläggningsändamål (t. ex. vägar) så används en annan benämning/klassningssystem med fraktioner som silt med kornstorlek mellan 0,02-0,06 mm, sand mellan 0,06-2 mm och grus mellan 2-60 mm.

2.1.2 Naturgrus

Naturgrus definieras som jordarter som bildades av inlandsisen som försvann för cirka 10 000 år sedan, figur 3. Det består huvudsakligen av sand, grus och sten och utvinns från rullstensåsar. ”Rullstensåsar” som brukas som naturgrustäkter är en miljöreglerad och minskande naturresurs som gör bättre nytta för vattenrening än för byggnation, [6].

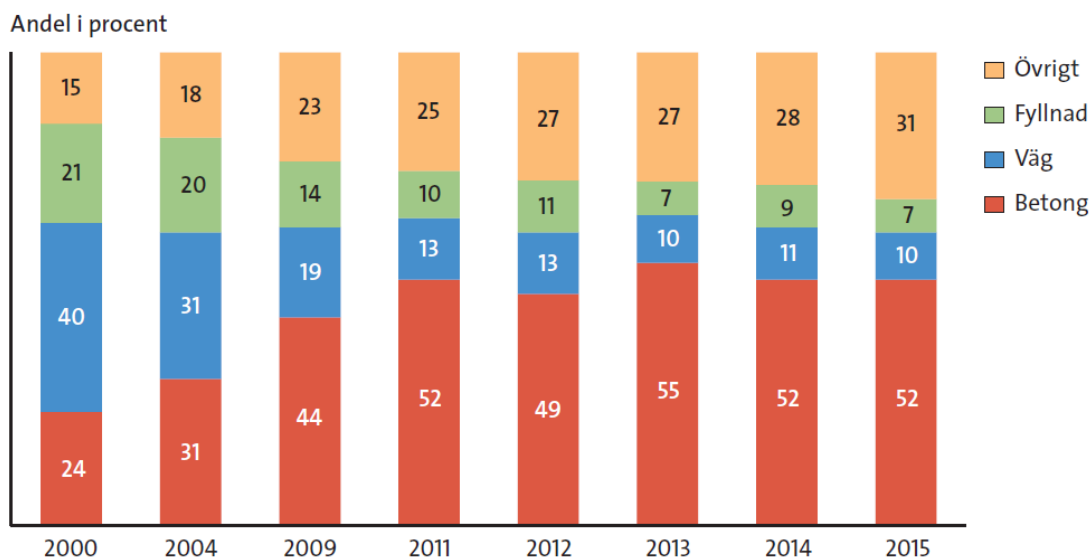


Figur 3 Naturgruset utvinns från rullstensåsar från istiden [6].

I dagsläget utgör naturgruset 12,8 % (10,8 miljoner ton) av totala mängden av ballasten, en minskning med 1 % enhet från 2014. Mer parten av det naturgrus som bryts går till betong, 52 % [1]. Naturgruset har alltid varit det mesta använda ballastmaterialet, men det finns ju en lokalbrist på naturgrus samt en ökande miljömedvetenhet och miljökrav på minskat naturgrusuttag, figur 4, [6].

Numera ersätts naturgrus med krossberg framför allt inom områden där tekniska kraven är låga bland annat vägbygge och järnvägsfyllning. Men vid betongtillverkningen är naturgruset det dominerande materialet. Förbrukning av naturgrus till olika användningsområden har varierat under en 15 års tidsperiod (2000-2015), se figur 4.

I figur 4 framgår det att naturgrus användning till vägbygge har minskat mellan åren 2000-2015 från 40 % av den totala naturgrusuttaget till 10 %, en minskning med 15 % procentenhet. Användningsområdet inom betongtillverkningen har istället ökat från 24 till 52 % under samma tidsperiod, [1] p. g. a. det överlag ökande bostadsbyggandet och förbrukning av betongmaterial.



Figur 4 Leveranser av naturgrus åren 2000–2015 användningsområde [1].

Enligt SGU:s rapport, kommer behovet av ballast för betongproduktion att öka väsentligt. Behovet ökar även i storstadsregionerna där naturgrusavlagringarna redan har exploaterats

hårt och dessutom är eller kan bli viktiga för vattenförsörjningen, samt att de ofta är viktiga områden för friluftsliv, [1].

2.1.3 Krossberg

Berg sönderdelas till ballast vid sprängning och krossning. Ballastens egenskaper bestäms förutom av bergart, mineralsammansättning av hur sprängningen sönderdelar berget och hur efterföljande krossningssteg fortsätter sönderdelningen av allt från block till små ballastkorn. Bergets kvalitet är tillsammans med krossnings teknik avgörande för krossgrusets kvalitet. Formen på krossballast avviker en hel del från naturgrus. Strukturen på krossade korn är sträv och ojämn och formen blir ofta avlång och vass.

Krossgrusets ojämna yta medför att betongreceptet kräver mer cement och vatten för att betongmassan ska få liknande egenskaper som betong med naturgrus som ballastmaterial. Kornformen gör att ballasten inte rör sig lika smidigt i betongmassan som det naturligt jämnare och rundare naturgruset, se figur 5. De finaste krossprodukterna innehåller ofta också en hel del stensmjöl som måste avlägsnas för att betongen ska få rätt kvalitet. [6].



Figur 5 Krossbergkornen är sträva och ojämna [6].

I Sverige används två metoder för att sönderdela krossmaterialet. Att klämma sönder (kompression) och att slunga partiklarna i en behållare, en centrifug.

Den första metoden är av historiskt skäl den som används mest i Sverige. Denna metod medför att partiklarna blir mer kantigformade och kräver mer vatten och cement vid betongtillverkningen.

I den andra metoden, så kallade Vertical Shaft Impact, ”VSI”- krossning är en metod där partiklarna slungas ut ur en rotor och formas genom att partiklarna krockar med varandra i en partikelbädd. VSI- krossteknik ger en mycket rundare kornform, [2].

Metoden som används vid krossning påverkar inte bara materialets egenskaper utan arbetsmiljön också p.g.a. damm och buller. Betong med krossballast kan öka slitaget på maskiner, t.ex. pumputrustningen eftersom krossballastens kornform ger en betongmassa med högre friktion och ökat pumptryck.

Bergkrossprodukter delas upp i tre kategorier när man köper från producenten:

-stensmjöl den fina fraktionen t.ex. 0/2 eller 0/4 mm. Materialet används med fördel till plattsättning

-bergkross är grövre fraktionen där även de finaste kornen ingår, exempelvis i fraktionerna 0/16, 0/32 eller 0/63 mm. Materialet går även under namn som väggrus, bärlager eller förstärkningslager beroende på fraktion och användningsområde

-makadam är material med en nedre och övre gräns. T.ex. 2/4, 8/11, 8/16 mm. Storleksintervallet och bristen på finmaterial ger en dränerande effekt med mindre känslighet för frost och tjäle. Produkten är den krossade motsvarigheten till singel.

2.1.4 Hållbarhetsaspekter vid naturgrusuttag

Miljöaspekter vid mer naturgrusutvinning

Enligt Regeringen miljösmål ”Grundvatten av god kvalitet ” användningen av naturgrusuttaget minska till 1-3 miljoner års ton år 2020, [6]. För att uppnå miljömålkravet 2020 borde naturgrusanvändningen ligga idag högst 7 miljoner ton. Men enligt SGU:s statistik förbrukningen av naturgruset var 10,7 miljoner ton år 2015.

Inom vissa användningsområden, såsom vägbygge, har regeringens mål om att sänka naturgrusanvändningen delvis uppnåtts. Men inom betongproduktionen går trenden i motsatt riktning. Inom regeringens miljösmål av grundvatten av god kvalitet finns det ett delmål som säger att naturgrus endast skall användas när inget annat alternativt ersättningsmaterial finns, [2]. I relation till detta görs denna laboratoriestudie som visar på att mer krossberganvändning i betongproduktionen är ett rimligt alternativ. Upp till 70 % av betongballasten är KB utan att egenskaperna hos betongen försämras, se kapitel 5.

Allt för mycket uttag av naturgrus för att täcka dagensbehovet skadar miljön och därmed påverkar kommande generationens möjlighet till grundvatten av god kvalitet ”.

Social hållbarhet- arbetsmiljö vid krossbergutvinning

Arbetsmiljörelaterade svårigheter förekommer i krossbergsanläggningar. Vissa av problematiken förekommer i stegbehandlingsprocessen och vid betongproduktionen i form av arbetsmiljö- och hälsoproblem.



Vid behandlingen av krossberg i krossen bildas stenhjöl med hög fillerhalt, figur 6. Damm ger förhöjd risk för skador på andningsorganen hos de som arbetar på krossen, inte minst förare av transportfordon inom krossområdet. [6].

Substansen som orsakar andningsbesvären kallas RCS-respirabel crystalline silica (inandningsbar kristallin kiseldioxid).

Figur 6 Krossning av berg alstrar stora mängder damm och buller, [6].

Kristallin kiseldioxid (SiO_2), ett hårt material som förekommer i naturen i form av sand. Den inandningsbara dammfraktionen av kristallin kiseldioxid, RCS, är luftburna partiklar som tränger in i lungan och kan orsaka stendamm lung (silikos)

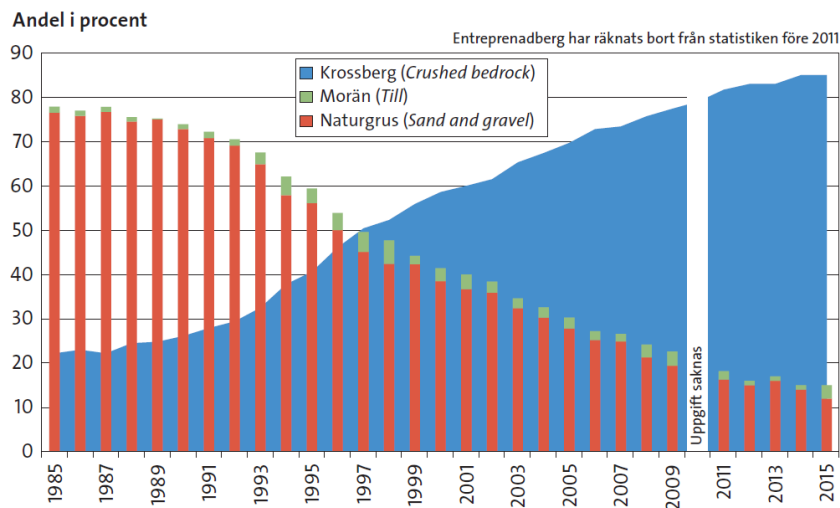
RCS förekommer på arbetsplatser framför allt där luftburet damm uppstår t.ex. vid stenbrott, gruvsdrift, mineralbearbetning, gjuteri, och där rivning och byggnadsarbeten pågår, [7].

För att skydda sig mot arbetsmiljörelaterade hälsoskador skall några förebyggande åtgärder vidtas bland annat luftfilter och hörselskydd samt förarhytten skall vara tät.

2.1.5 Statistik av ballastförbrukning i Sverige

Regeringens miljömål om Grundvatten av god kvalitet har gett en bevekelsegrund till att allt mer krossbergballast används i Sverige under senaste åren. Till skillnad från naturgruset finns det gott om berg i Sverige. Den mängd berg som går att utvinna finns i en tillräcklig mängd för att ersätta naturgruset helt, [6].

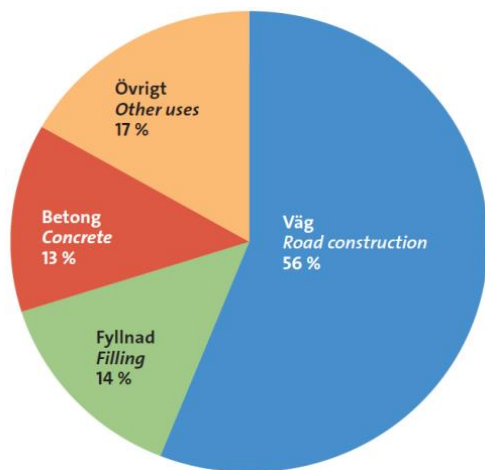
Enligt statistiken som sammanställts av SGU har under 2015 använts cirka 84 miljoner ton ballast i Sverige. Vidare ger statistiken data över landets leveranser av ballast inom byggsektorn under 30 års tidsperiod (1985-2015). Enligt samma källa ökar användning av krossberg som byggballast, se figur 7. Cirka 85 % av den totala mängden var krossat berg (70,9 miljoner ton) medan naturgrus var 12,8 % (10,8 miljoner ton). I figur 7 visas att krossberganvändningen har ökat 63 % jämfört med 1985, [1].



Figur 7 Naturgrusandelens utveckling åren 1985–2015, i procent, [1].

Leveransen av ballast från täkter var 84 miljoner ton år 2015. Undantaget var produktionen från entreprenadberg. Det är en stor ökning från 2014, då leveranserna uppgick till 77 miljoner ton.

Utvecklingen de senaste åren följer den långsiktiga trenden. 1985 stod naturgruset för 76 % av den totala ballastleveransen och krossat berg för 22 %, se figur 7. En övervägande del 56 % av dessa ballaster används till vägbygge medan bara 13 % används till betongtillverkning, enligt figur 8, [1].



I betongproduktion är det fortvarande naturgruset som används mest, 52 % naturgrus och 48 % krossat berg, 5,6 miljoner respektive 5,1 miljoner ton år 2015. Krossbergandelen är därmed enbart 6 % av den totala ballastmängden i hela landet.

Sedan 2013 är den procentuella andelen per användningsområde tämligen oförändrad, en tydlig signal som visar på att användning av krossberg i betongframställningen inte ökar linjärt.

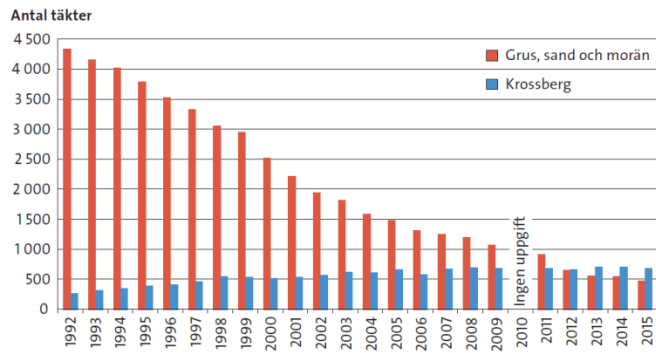
Figur 8 Leveranser av ballast år 2015 fördelat på användningsområden, [1].

Enligt Boverkets uppskattningar finns det behov för 700 000 nya bostäder i Sverige fram till 2025. Ifall den ambitionen för bostadsbyggande förverkligas är byggandet i en storleksordning som inte har haft i Sverige sedan i början på 1970-talet. Vid byggnation av sådan skala finns det behov av stora mängder ballast, dels till betongkonstruktioner och grundläggning av själva byggnaden, dels till omkringliggande infrastruktur som vägar och VA- nät. En framtida byggnadstakt på 70 000 bostäder per år skulle kunna innebära att behovet av ballast ökar till omkring 120 miljoner ton per år. Det betyder att det årligen behöver produceras 60–70 procent mer ballast i Sverige jämfört med medelvärdet för perioden 2000–2015, [1].

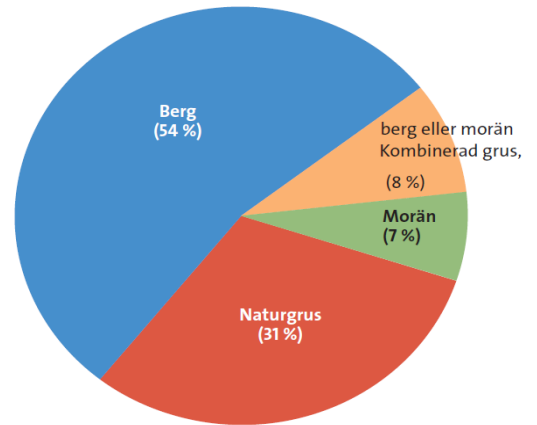
Det är en utmaning att öka ballastproduktionen i denna omfattning utan att det leder till ogynnsamma effekter på naturmiljö och transportsystem. För att uppnå mål om hållbar samhällsbyggnad och hållbar stadsutveckling är det därför nödvändig att uppmärksamma försörjningen av ballastmaterial i samhällsplaneringen för att undvika onödig påverkan på naturmiljön och för att få till ett resurseffektivt byggande utan onödiga transporter, [1].

Utifrån behovet som uppstår förmodligen, behövs det att användningen av krossberg i betongen ökas men även återvinning av betong som ballast i ny betong ökar. En rad frågor kring detta ämne beträffande tekniska funktion, miljöaspekter samt ekonomiska aspekter presenteras i denna rapport, se kapitel 4 och 5.

Vid sidan om ökande krossbergballastanvändning har antalet naturgrustäkter minskat (1992-2015), se figur 9 som följd av att allt färre naturgrustäkter får tillstånd att fortsätta ta ut naturgrus. De senaste fem åren har antalet tillståndsgivna naturgrustäkter halverats motsvarade 31 % av den totala antal täkter, se figur 10.



Figur 9 Antal tillståndsgivna täkter åren 1992–2015 fördelat på typ av täkt, [1].



Figur 10 Andelen tillståndsgivna täkter 2015 i procent, [1].

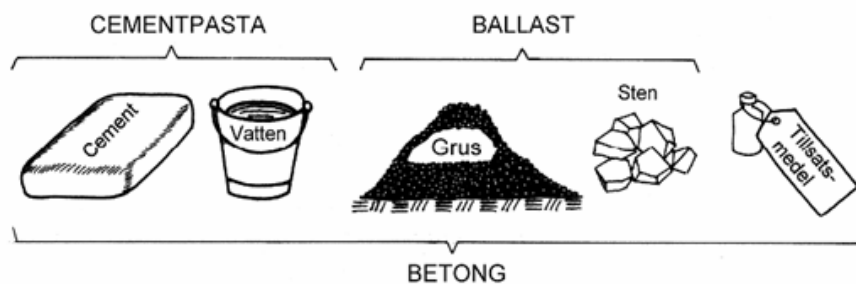
2.2 Betong

2.2.1 Allmänt

Betong är ett byggnadsmaterial som består av olika beståndsdelar som har sina respektive egenskaper. Huvudsakligen är den en blandning mellan cementpasta och ballast (vatten och cement respektive, ballast (naturgrus eller krossberg)), figur 11.

Betongens vatten- och cementandel kallas cementpasta medan grus- och stenandelen kallas ballast. Andra ämnen förekommer också i form av tillsatsmedel med avsikt att få betongen med speciella egenskaper t. ex att dels påskynda härdningsprocessen dels att förstärka bindningsförmågan, reducera vatteninnehållet eller öka arbetbarheten etc.

En färdigt härdad betong är slitstark, tät mot vatten, klarar hårda väderlekar, har lång livslängd och hög tryckhållfasthet. Betongen är brandsäkert och värmetrögt samtidigt som dämpar ljudet mycket bra, [1].



Figur 11 Betongens beståndsdelar [1].

2.2.2 Cementpasta

Cementpastan är blandningen av vatten och cement. Den fungerar som betongens bindemedel med uppgift att binda ihop ballastkornen. Dess andel i betongen varierar och vanligtvis motsvarar cirka 25-28 % av betong massan, [4].

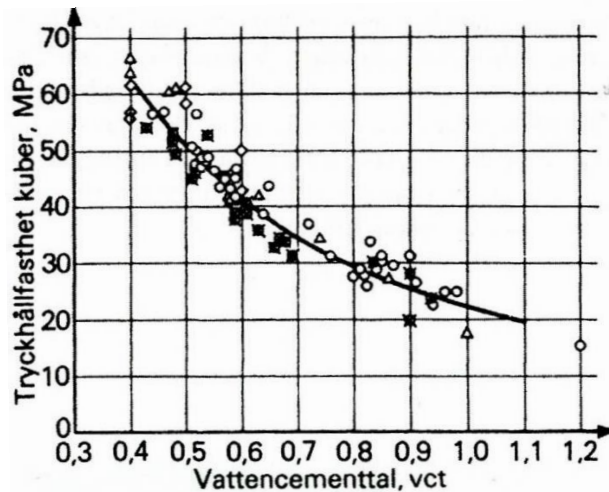
Vattenkvaliteten är en viktig faktor vid betongtillverkningen. I betongsammanhang används vattnet i tre ändamål: som blandningsvatten, som härdningsvatten och som spolvatten. I samtliga fallen finns krav på saltinnehåll då den påverkar den alkaliska miljön i härdad betong och framskyndar korrosion av armering. Kravet för insjöar- och floder är ett saltinnehåll <0,01 % och för grundvatten <0,6 % saltinnehåll). Vatten som används för betongtillverkningen skall vara drickbart. [4].

Cement i cementpastan är ett hydrauliskt bindemedel

Beroende på vilka ändamål man har med betongen väljs cementtypen. I Sverige används ofta i Prefab industrin den snabbhärdande cementtypen som innehåller cement av portlandklinker, så kallad CEM typ I. I andra fall så är portlandklinker delvis ersatt med tillsatsmaterial såsom flygaska, silika eller masugnsslagg då kallas cementen CEM typ II med ett innehåll på portlandklinker mellan 60–94% [9].

2.2.3 Vattencementtal

Vid en kontakt mellan vatten och cement initieras den kemiska reaktionen som sker under betongens härdningsförlopp. De tilltänkta betongens egenskaper efter härdningar är beroende på cement och vatteninnehåll. Förhållandet mellan dessa två parametrar, så kallad vct eller vattencementtalet i betongen påverkar framför allt betongens tryckhållfasthet, se figur 12. Betong med lågt vct har hög tryckhållfasthet, figur 12. Vattencementtal under 0,4 kännetecknar en högpresterande betong; vct < 0,6 kännetecknar normal betong som inte släpper genom vatten.



Figur 12 Samband mellan tryckhållfasthet och vattencementtal vid 28 dygn [9].

$$vct = \frac{w}{c}$$

w = vattenmängd i blandningen kg/m³.

c = mängden cement i blandningen, kg/m³.

2.2.4 Ballast i betongen

Ballaste i en normal betong utgör cirka 65-75 % av betongmassan, Beroende på kornstorleken kallas ballasten sand, ≤ 4 mm, grus ≤ 8 mm och sten > 8 mm, [5]. Kornstorlekar, kornformen och kornpackningen, gradering, fillerhalt, slamhalt, partikelfördelningen och ytbeskaffenhet påverkar betonggjutning, betongsammansättning och behovet av vatten och tillsatsmedel. Ballasten har också stor påverkan på betongens egenskaper i såväl tidigt skede som färdigt härdad åldern, hårdnad betong bland annat hållfasthet och bearbetbarhet.

2.2.5 Tillsatsmedel

Tillsatsmedel är en kemisk blandning som tillsätts betong under blandningen för att åstadkomma tilltänkta egenskaper. Den används för att modifiera såväl den färska som den hårdnande betongens egenskaper. Medlet utgör i normalt fall mellan 1-3 % av cementmassan, [5].

De vanligaste tillsatsmedlen är flytsatsmedel (SP, superplasticerare), vattenreducerande, luftporbildande och accelererande.

Flyttillsatsmedel, SP är den vanligaste av tillsatsmedlen använda i Sverige. Den används för att påverka på betongs konsistens och åstadkomma en lösare betong. I denna studie används ett flyttillsatsmedel för att få en lösare konsistens i en delvis självkompakterande betongblandning.

Vattenreducerade tillsatsmedlet används för att minimera vattenbehovet samt öka betongens hållfasthet och arbetbarhet. Luft porbildande tillsatsmedlet används för att öka hållbarhet och beständighet mot kyla och is medan accelererande tillsatsmedel används för att snabba betongens hållfasthetstillväxt eller tillstyvningsförloppet.[5].

2.2.6 Betongens hållfasthet

Hållfastheten är betongens viktigaste egenskap näst efter beständigheten. Det finns 14 betongklasser för normal betong noterat med C12/15 till C50/60. C står för 'compression', d.v.s. tryckhållfasthet som bestäms genom tryckning av provkroppar som lagrats enligt SS-EN 12390-2: 2009. Detta innebär att provkropparna lagras efter avformning i vatten ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) i fyra dygn och sedan förvaras i luft med temperaturen $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ och 40-80 % relativ luftfuktighet (65 % i vårt fall) fram till 28 dygn provning.

I denna studie används en betong betecknat med C32/40. Första siffran efter C är cylinder- respektive kubtryckhållfastheten. Den första siffran gäller för en cylindrisk provkropp med diametern 150 mm och höjden 300 mm och den andra en kubisk provkropp med måtten 150x150x150 mm.[10]. I Sverige har använts provkuber tidigare och har provnings sättet behållits, men i verkligheten betongen i ett väggelement fungerar mer motsvarande en cylinder, [8]. Detta tolkas som att uppskalningseffekten, d.v.s. försöksresultaten på cylindrar är lättare att transponera ut verkliga fall än vad det är för kuber. Förhållandet mellan cylinder- och tryckhållfasthet kan något förenklad beskrivas: $f_{c,cylinder} \approx 0,8 \times f_{c,kub}$, [10]. Det innebär att i denna studie när tryckhållfastheten undersöks på kuber så är förväntansvärdet på 40 MPa vid 28 dagars ålder är kubhållfastheten, medan cylinderhållfastheten är ca 32 MPa.

Betongen har relativt god tryckhållfasthet men låg draghållfasthet. För att täcka denna brist armeras betongen. I detta arbete behandlas enbart den oarmerade betongens tryckhållfasthet.

2.2.7 Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten (f_c , compressive strength), är betongens mest provade egenskap och ger en god bild av betongens förmåga att bära laster. [5].

I denna studie vid varje försökstillfälle testas bara en provkropp av försökstekniska skäl. Vanligtvis borde köras minst tre provkroppar för att se resultatens spridning och för att utesluta slump. Betongrecepten i denna studie är betongen av kvalitet C32/40. Det innebär att det karakteristiska värdet på kubhållfastheten är 40 MPa. Det innebär att kubhållfastheten har statistiskt sett normalfördelning där 40 MPa är karakteristiska värdet definierat som ett lågt värde som understigs var 5:e år, [10].

Framställning och härdning sker enligt standardens föreskrifter, som inbegriper gjutning av 150 mm kuber, luftlagring fram till avformning vid 1 dygn varefter 4 dygn i våt lagring, [4]. Därefter lagring i torr, inomhusmiljö, 20°C och relativ fuktighet 65 %.

Andra faktorer som påverkar betongens hållfastheten är belastningshastigheten, (snabb belastning ger högre hållfasthet, långsam belastning ökar betongens deformation genom krypning och leder till låga värden på hållfastheten), deformation- eller laststyrning och även

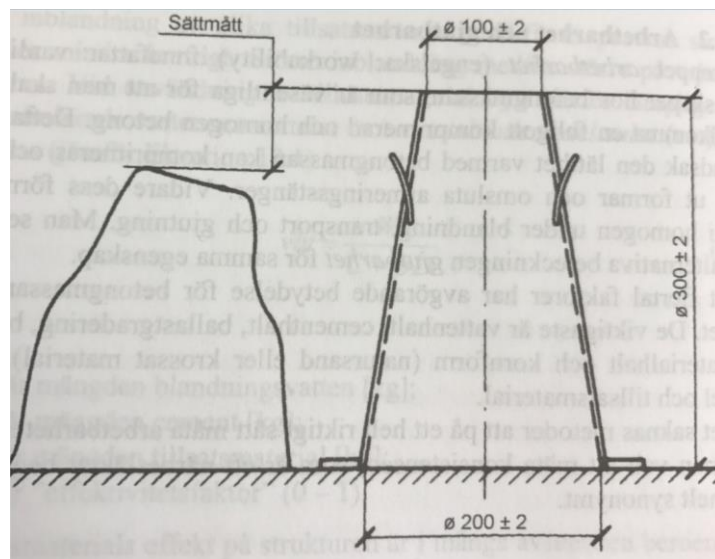
provkroppens ytbeskaffenhet[10]. Finns fall då efter avformning skärs bort en del av provkroppen bara för att få en fin och jämn yta som inte sneddriver belastningsmaskinens platta. I denna studie när man gjuter kuberna så fylls betongen upp till överkant form och dras av med en spatel för att få en jämn yta. Efter avformning och vid provning vänds kuberna så deras formsida kommer i kontakt med tryckmaskinens platta. Om överytan var ojämn kommer det att märkas genom provkroppens massa och kontaktarea men kommer inte att påverka provningen mekaniskt sätt.

2.6.2 Arbetbarhet och stabilitet

Betongens formbarhet är en betydelsefull egenskap som gör att en färsk, nygjuten betong ska få formas i obegränsade former. Två av betongens egenskaper som är viktiga ur denna synpunkt är dess *arbetbarhet* och *stabilitet*. God arbetbarhet ger snabb gjutning och god arbetsmiljö. God stabilitet säkerställer att betongen inte ändrar sitt homogena tillstånd under hela produktionsprocessen. Det innebär att betongens beståndsdelar inte separerar från varandra under härdningsfaserna.

Den mätbara storheten som är förknippade med arbetbarheten kallas för betongens konsistens [4]. Eftersom arbetbarhet är svår att mäta så har man istället utvecklat för praktisk användning metoder och motsvarande skala för att mäta konsistens. I denna studie används en delvis självkompakterande betong, d.v.s. en betong som flyter lätt ut i formen men som ska vibreras då elementen som den ingår i har lutande överytor. Metoden som används för att mäta konsisten är den som handlar om hur mycket sjunker en klump betong, så kallad sättmått istället för utbredning eller flytmått av betongen som oftast tillämpas på självkompakterande betong. Konsistensklasser för sättmått enligt standard SS-EN 12350-2 därmed indelas i fem huvud klasser från S1 till S5. Ju högre klassvärde desto mer lättbearbetbar är betongen. Ett exempel är att betongklass S5 har gränsvärdet satt till $>220\text{mm}$, vilket är fallet för vår betong.

Betongens konsistens mäts genom att en 300 mm hög kon fylls med betong, och därefter flyttas konen. Efteråt mäts hur mycket den färska betongen har satt sig (sjunkit).



Figur 13 Sättmått, [5].

Är t ex betongen för styv, får betongarbetarna svårt att arbeta med, formdugligheten blir sämre och även finns risk för att den hårdnade betongen inte blir homogen. Den sista kan i sin tur innebära att både hållfasthet och beständighet blir undermåliga.

Bearbetbarhet

Bearbetbarhet är ett allmänt begrepp som beskriver betongens beteende i färskt tillstånd. I allmänhet skall betongen formas till den tilltänkta formen utan att separation sker. Betongsegenskaper i detta tillstånd är således viktiga för senare tillstånden.

När cement blandas med vatten bildas cementpasta. Under dryga första timmen sker inget annat än en måttlig förtjockning av pastan. Först efter ett par timmar börjar pastan stelna. Inom denna tid ska betongen placeras i formarna och bearbetas så att den fyller ut formen väl och omsluter armeringen, [11]. Bedömning av denna egenskap görs genom att uppskatta mängd energi och tid som går åt t.ex. genom att skura nygjuten betongen med en rivbräda eller stålskånska.

3. Laboriestudie för ersättning av naturgrus

I denna laboriestudie utförs tester på ett betongrecept som används idag i UBAB:s produktion. Syftet är att göra en känslighetsanalys för två parametrar: krossbergandelen (KB) och flytsatsmedlet (SP). Testerna delas i två testserier med var sitt testschema ett för ökande andel KB och ett för varierande mängd SP.

I testschema i tabell 2 utförs fyra tester med ökande KB-andel i betongreceptet. Ju mer KB i betongen desto mindre NG i betongreceptet då den totala mängd finfraktion ballast inte ändras. Tester som utförs är arbetbarheten, bearbetbarhet och tryckhållfastheten, f_c i både ung betong (1 dygn) och i härdad tillstånd (28 dygn).

Tabell 2 Testschema för betong med varierande KB andel

X=1 en provkropp/testtillfälle

Serie 1	Arbetbarhet	1 dygn, f_c	28 dygn, f_c
Konstant SP, 0,102 kg			
Test 1, 40 % KB	X	X	X
Test 2, 50 % KB	X	X	X
Test 3, 60 % KB	X	X	X
Test 4, 70 % KB	X	X	X

I testschema i tabell 3, utförs tre tester med varierande mängd superplasticerare i betongreceptet. Syftet med testserien är att undersöka SP:s inverkan på betongens egenskaper med målet att om möjligt minska mängd SP med bibehållen bearbetbarhet i betongen. Ingångsvärdet för mängd SP motsvarar referensbetongen. Alla testtillfällena i denna serie har KB-andel, 50 %, NG 50%.

Tabell 3 Testschema för betongtest med varierande tillsatsmedel, SP-andel

Serie 2	Arbetbarhet	1 dygn, f_c	5 dygn, f_c	28 dygn, f_c
Konstant KB 50%. NG 50%				
Test 1 Referensbetong Tillsatsmedel, SP 0,102 kg	X	X	-	X
Test 2 Tillsatsmedel, SP 0,104 kg	X	X	-	X
Test 3 Tillsatsmedel, SP 0,09 kg	X	X	X	X

3.1 Metodiken för betongtillverkningen på laboratoriet på UBAB

Betongtillverkningen på laboratoriet utförs genom en processrutin på ett flertal efterföljande steg som upprepas för varje undersökning. Sammanlagt genomförs 6 distinkta undersökningar varav 4 med varierande KB-andel i betongen och 2 med varierande SP-andel.

Fukt i materialen

Fuktmängden i den fina ballasten mäts för att måttsätta mängd vatten som finns i ballasten och kompensera för det inom mängd vatten i betongrecepten. Målet är att vct-n på 0.39 ska hållas konstant oavsett mängd fukt i finballasten.

Fuktmätning sker på följande sätt: 1100 g av finballasten vägs och värms upp i tio minuter för att torka bort vatteninnehållet. Efter torkningen vägs ballasten igen.

En förändringsfaktor tas fram som är förhållandet mellan ballastmassan före och efter torkning.

$$\text{Förändringsfaktor} = \frac{\text{ballastmassa i kg före torkning}}{\text{ballastmassa i kg efter torkning}} \quad [-]$$

Förändringsfaktorn används för att korrigera mängd ballast för innehållen fukt och totala mängd vatten i betong för att bibehålla vattencementtalet, vct.

Siktning

Utav det torkade materialet väljs 1000 g för siktning. Siktning genomförs för att få partikelfördelningskurva (siktkurva) för en viss ballastfraktion. I figur 14 visas använd siktapparat; siktning pågår i 10 minuter. Partikelfördelningskurva visas för referensbetong se figur 22.



Figur 14 Siktmaskin

Betongtillverkning

Efter beredning av ingående materielen i receptet kan tillverkningen av betongen påbörjas. Materialen, efter vägning och kompensation för fukt, hålls i blandaren, en i taget. Stenen blir först och sedan andra ballaster (krossberg och naturgrus). Blandaren är en tvångsblandare med vertikal axel av modell Baron på 90 l, se figur 15.



Figur 15 Tvångsblandare Baron 90 l.

Sedan sätts till cementen och tumlas i 2 minuter innan vattnet hälls i blandaren. Så småningom tillsätts flytmedlet, SP. Tillverkningen/framställningen av betongen tar cirka 10-15 minuter.

Flytsättningsmått

Vid bestämning av betongens arbetbarhet används två olika metoder: flytsättningsmåttmetoden och bredningsmetoden. I denna test bestäms betongens arbetbarhet genom flytsättningsmåttmetoden. Konsistensen hos den unga betongen mäts genom att fylla betongmassan i en kon/ tratt. Man håller konen hårt mot väl renad träbricka. Fyllningen delas i tre skikt. Varje skikt komprimeras genom att en komprimeringskäpp sticks in i betongen 24 gånger för varje skikt med syftet att ta bort eventuell luft i betongen. Därefter flyttas konen och ställs den bredvid betongen.

Betongen sjunker och breder sig på träbrickan, sänkan mäts gentemot konens överkant. Ett högt värde på flytsättningsmått tyder på en betong som flyter ut i formen och inte kräver stor vibration- och arbetsinsats för att göra ytan slät. Högt flytsättningsmått är en bra indikator på en bra bearbetbarhet. Att betongen flyter ut är en förutsättning till att den har god arbetbarhet vilket utgör en viktig arbetsmiljöfråga för betongarbetarna.

Betonggjutning

Efter betongblandning gjuts två kuber och en bearbetbarhetsbricka. Kuberna avses för 1 dygns respektive 28 dygnstest för tryckhållfasthet. Före varje gjutning smörjs kubformerna och andra gjututrustningarna med formolja för att den färdiga produkten ska släppa formen vid avformning.

Vibrering av betongmassan sker för att den ska fylla hela formens utrymme för att få rätt volym på betongkuberna. Det är viktigt att inte vibrera för mycket då det finns risk för att betongens beståndsdelar separerar. Testerna görs i enlighet med svenska kubprovsningsstandarden, SS 137003: 2008 där kuberna skall vara (150x150x150 mm).

Efter gjutningen märks kuberna och formen med plastlappar som visar vilket datum gjutningen har skett. Märkningen av kuberna skiljer sig i färg. Ett dygnstest har en gråfärgad plastlapp och 28 dygnstest har en guldfärgad plastlapp.

Vibrering

Den färdigt gjutna betongen vibreras på ett vibreringsbord (figur 16) för att minimera risken för eventuellt luftrum i betongen och att betongen fyller formen. Vid förlängd vibrering förekommer risk att cementpasta och ballast separerar.



Figur 16 Vibreringsmaskin

Bearbetbarhet

Bearbetbarhet är en form av provning av betongytans så kallade finish: om hur pass lätt/snabbt kan betongens yta fås slät inför härdning och lämplig för att t.ex. lägga yttergolv på direkt efter montering av betongelementet. För att kartlägga om betongen är lätt bearbetbar gjuts den i en fyrkantig gjutform. Formen är ca 5 cm djup, kvadratisk, med måtten 40x40 cm², se figur 17. Därefter utsätts formen för vibration för att betongen ska flyta ut i formen. För att jämna den öppna betongytan skurar man den några minuter med en rivbräda eller stålskånska. Betongen anses lättbearbetbar om den på kort tid med bara några strykningar kan fås till en fin finish.



Figur 17 En gjutform fylls med betong för att undersöka betongens bearbetbarhet.

Rengöring och städning efter utförd test

Efter varje utförd test rengörs alla utrustningar som har använts. Syftet är att rensa bort eventuella kvarvarande färska betongrester och att hålla arbetsplatsen dammfri.

Skyddsutrustning

Vid både förarbetsmomenten och gjutningen används lämplig skyddsutrustning bland annat handskar, öronproppar och även skyddsglasögon vid behov.

Tryckhållfasthetstest

I det här arbetet görs tryckhållfasthetstester vid tre olika åldrar. Det första testet är ett dygnstest, den andra är fem dygnstest (den typen av test berör bara ett tillfälle) och den tredje är 28 dygnstest. Syftet har varit att ta reda på betongens tryckhållfasthet vid åldern som är viktiga antingen ur produktionssynpunkt eller ur utvecklingen av den mekaniska egenskapen. Resultat från ett dygnstest är därmed viktig för att UBAB ska kunna kontrollera om betongens tryckhållfasthet är tillräcklig hög för att avforma betongelementen i produktionen medan 28 dygnstestet är viktig för det är det värdet för vilket räknas att betong har uppnått ca 80 % av sin tryckhållfasthet, [4]. Alla tryckhållfasthetstester genomförs med samma provningsmetod och utrustning. Ett dygnstest görs vid samma tidpunkt på dygnet som man har gjutit dagen innan.

Vid tryckprovning placeras betongkuben centralt på provtryckningsmaskinens platta. Detta för att tryckbelastningen ska ske centrisk på betongkuben. Sedan utsätts kuben till en axiell tryckpålastning. Tryckpålastningen fortsätter tills sprickor uppkommer på betongkuben och maskinen automatiskt slutar pålastningen. Den omfattande sprickbildningen tyder på brott d.v.s. att materialets elasticitetsgräns har överskridits och att bestående plastisk deformation har uppstått i betongen, se figur 18.

Resultatet av varje test protokollförs noggrant och jämförs med referensbetongens resultat.



Figur18 Betongkuben centreras på provtryckmaskinens platta.

Kubernas lagring

Kuberna bevaras under samma betingelser och i samma miljö under härdningsförloppet. Efter avformning vid ett dygn bevaras kuberna i vattenbassäng, se figur 19. Vattentemperatur är på ca 20°C, drickbart vatten i enlighet med gällande krav för vatten lämpligt för betong.



Figur 19 Kuberna lagras i vattenbassäng i fyra dagar.

Efter fyra dagar i vattenbassäng, bevaras kuberna på en hylla där inomhus temperatur (ca 20°C) och relativ fuktighet (ca RF 65 %) råder i väntan på tryckprovning vid 28 dygn, se figur 20.



Figur 20 Kuberna förvaras i provningshyllan.

3.2 Referensbetongen

Referensbetongen är av kvalitet C32/40. D.v.s. 32 MPa tryckhållfasthet provat på cylindrar och 40 MPa på kuber. Dessa värden är karakteristiska värden som bygger på testning där man får fram den statistiska fördelningen av tryckhållfastheten för respektive betongrecept. T. ex kubhållfasthetsvärden på 40 MPa är ett lågt värde på hållfastheten som underskrids var 5:e år. I denna studie utför vi vid varje testtillfälle försök på en provkropp så kan vi inte få fram någon statistisk fördelning på tryckhållfastheten och vi kan inte utesluta heller slumpens inverkan. Därmed kan resultaten tolkas bara som en vägledning om tryckhållfasthetens värde.

All ingående material i betongreceptet framgår i tabell 4 för en betongmängd på 25 l. KB-andelen i detta recept är 32 % av den totala finballastmängden som är i det här fallet 28 kg. Vattencementtalet, vct är 0,39.

Tabell 4 Ingående materielmängder i referensbetongen

	Total finfraktion ballast	KB 0-4	NG 0-8	Sten 8-16	Cement	Varmt vatten	Tillsatsmedel, SP
Referensbetong	28 kg	9 kg	19 kg	17,35kg	8,5 kg	4,65 kg	0,102 kg
Procent	100%	32%	68%				1,2 % av cementmängd

Cementet som används i denna studie är snabbcement. Mest använda cementtypen i dagsläget är Bascement men till skillnad från Bascement är snabbcement baserat på ren Portlandklinker utan något tillsatsmaterial. I likhet med anläggningscement är snabbcement en så kallad CEM I typ med klinker mellan 95-100% medan för Bascement är en del i klinkerandelen reducerats och utgör nu cirka 80 procent av huvudbestånd och den är en så kallad CEM II typ. Då i prefabindustrin en snabb avformning krävs och därmed en extra snabb tidig hållfasthetsutveckling krävs för lyft av elementen så används oftast snabbcement som har en hög specifik yta, snabbare tidig hållfasthetstillväxt och kort bindetid.

Cementklinker blandas 5 vikt% gips för att reglera cementens bindning, d.v.s. den tiden efter vattentillsats då cementpastan uppnår en viss styvhet, [4]. Bindetid är starkt kopplad till arbetbarhet och bearbetbarhet av ytan. För att kompensera för snabbcementens korta bindetid tillsätts flytmedel, så kallad superplasticerare, i detta fall Sika 20He50, som blandas i betongen och ger en kraftig effekt på betongens konsistens. Det är möjligt att vid normaldosering ändra betongens konsistens och därmed arbetbarhet från plastisk till fullflyt. Flyttillsatsmedlen har ofta en optimal effekt vid en finmaterialhalt (mindre än 0,25 mm) på 400-450 kg/m³, [4].

Det är viktigt att anpassa doseringen flytmedel så att separation undviks. En för hög dosering kan även leda till retardation av cementreaktionerna och därmed försämrad hållfasthet i tidig ålder. Den andra försöksserien i detta arbete har för ändamål att undersöka flytmedels inverkan på betongens egenskaper.

Betongen i detta arbete är en delvis självkompakterande betong, SKB. Inom prefabtillverkningen är användning av SKB ca 60 % idag och användningen ökar i takt med att nya flytmedel tillkommer. I och med att SKB inte behöver vibreras förbättras arbetsmiljön väsentligt inom fabriken. Därmed minskar skador som vita fingrar, sämre rörelseförmåga eller skador på rygg. Bullernivån med SKB minskar till ca hälften vilket resulterar i att arbetsplatsen blir säkrare.



Figur 21 Snabbcement används vid alla gjuttillfällen kombinerad med flyttillsats.

Betongblandningen på UBAB är en delvis självkompakterande betong då en måttlig vibreringsinsats behöver göras i element med lutande överytor för att betongen ska omsluta armeringen. Detta uppnås med ett effektivt flytmedel i kombination med passande andel finmaterial (<0,125 mm) som håller grova ballastkornen flytande i cementpastan och därmed undviks separation, [5]. SP mängden på 1,2 % av cement mängden är inom ramen för lågt till normalt dosering av flytmedel. Mängd finmaterial som gör betongen till en delvis SKB i UBAB:s betong är säkrad genom att ha två finfraktioner en från 0-4 och en från 0-8, båda innehållande 0 delen och överlappandes upp till kornstorlek 4.

Kompensation för fukt i ballasten

Fuktig ballastfraktion kompenseras för innehållen vatten samtidigt som vatten i betongblandningen justeras för att behålla vattencementtalet. Mängd fukt i ballast beräknas med hjälp av en förändringsfaktor enligt kap 3.1.

Krossberg 0-4 med massa 1100 g torkas och vägs efter torkning, 1054 g som ger en så kallad förändringsfaktor= $1100/1038 = 1,06$.

Enligt receptet skulle andel krossberg i receptet vara 9 kg för torrt material. För att kompensera för fukttinnehållet så blir ny $KB_{\text{massa}}=1,06 \times 9 = 9,55$ kg.

Vattenmängd i betongen ska kompenseras för fukten i krossberg så att vct-n förblir oförändrat:

Vattenmängd i krossberg beräknas till

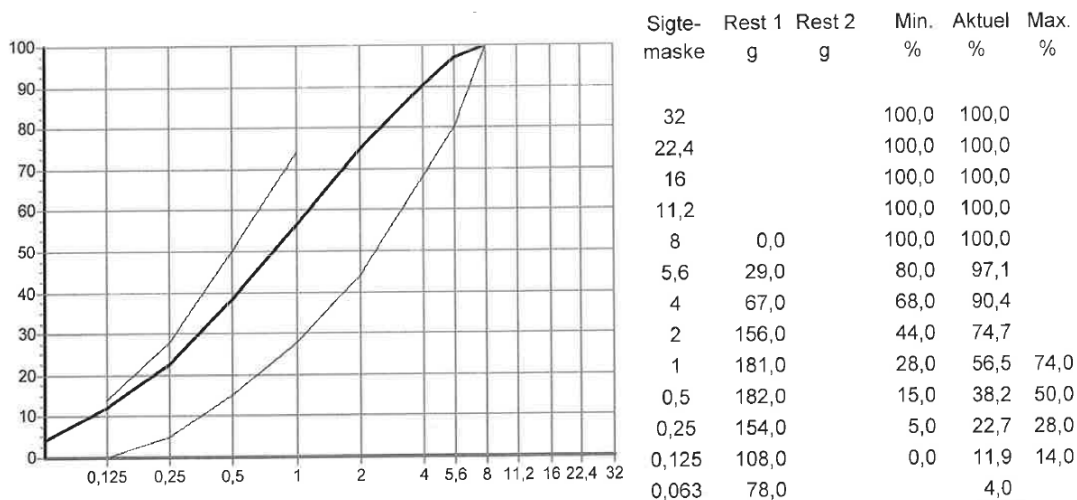
$$w_{\text{krossberg}}=9,55-9 = 0,55 \text{ kg}$$

Totalt vattenmängd i betong blir $4,65-0,55=4,1$ kg

Liknande beräkningsmetodik används för naturgruset och stenen. Naturgruset får en förändringsfaktor 1,044 och därmed blir naturgrusuttaget 19,83 kg och $w_{\text{naturgrus}}=19,83-19=0,83$ kg. Stenen får en förändringsfaktor 1,005 och massan modifieras till 17,43 kg. och $w_{\text{sten}}=17,43-17,35=0,08$ kg. Total vattenmängden korrigerad för fukten i ballasten blir: $4,1-(0,83+0,08) = 3,19$ kg.

Partikelfördelningskurva

En partikelfördelningskurva för ingående krossberg respektive naturgrus upprättas för att belysa finmaterialens kornfördelning. En betongblandning där stora korn dominerar i finmaterialandelen bidrar till att betongen får bättre hållfasthet. Men detta gör också att den nya betongen får lägre flytsättmått, något som försämrar i sin tur arbetbarheten i färska betongen. Som det framgår i figur 22 ligger KB-fördelningen inom intervallet för gränskurvor som kännetecknar en ballastkornfördelning som passar betong. Gränskurvorna är föreskriven i SS EN 12620+A1:2008 Ballast för betong.

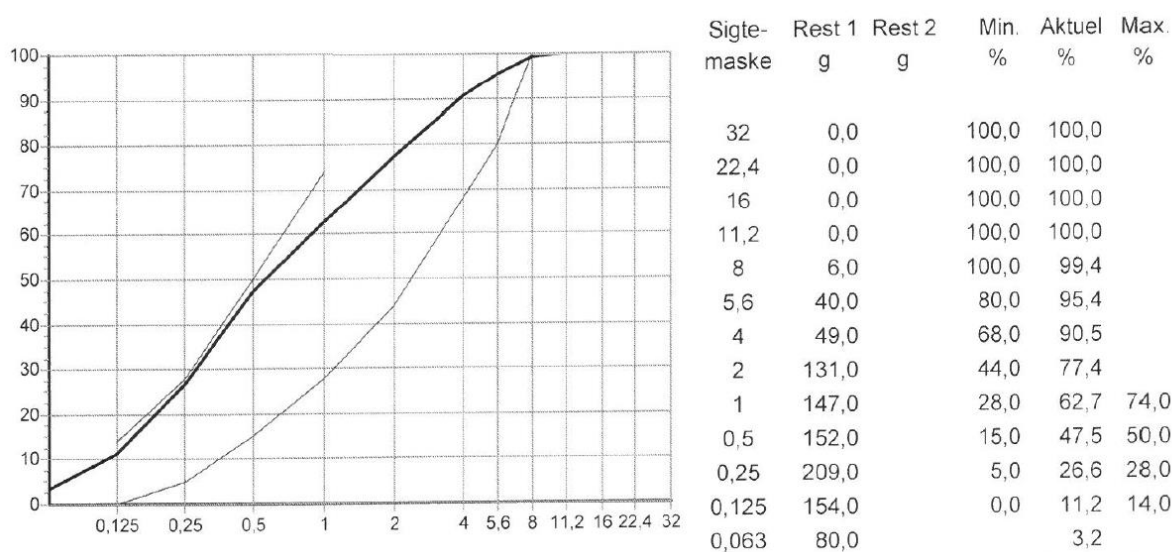


Figur 22 Partikelfördelningskurva för referensbetongens KB.

Referensbetongen består av två finballastfraktioner: fraktion 0-4 på krossberg, 32 % av total finfraktion och fraktion 0-8 naturgrus, 68 % av total finfraktion på 28 kg.

I figur 23 framgår kornfördelningskurvan för naturgrusandelen.

I båda fraktionernas fall ser vi att partikelfördelningen ligger inom ramen för gränskurvorna.



Figur 23 Partikelfördelningskurva för referensbetongens NG.

Resultaten från testning av referensbetong visas i tabell 5. Egenskaper som den unga betongens stabilitet eller bearbetbarhet saknar ett graderat mått. Därmed bedömds den genom hur lätt det går att skura, släta betongens yta efter vibrering och se med blotta ögat uppnått finish. Betygskriterium bygger på bedömningar såsom dålig, bra, mycket bra beroende på tid/ansträngning och ytans blankhet. Framöver med början i tabell 5 används dessa benämningar.

Tabell 5 Resultat för referensbetong

Resultat från referensbetongens tester	
kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,2
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	30,8
kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,2
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,9
Flytsättmått (mm)	220
Bearbetbarhet	Mycket bra

3.3 Redogörelse för en testserie

För att visa processen från proportionering, blandning, gjutning till genomförande av testerna så väljs att visas en av testserierna där referensbetongen modifieras genom att ersätta krossberg 0-4 med krossberg 0-8. KB-andelen i betongblandningen ökas till 40 % av den totala finfraktionen av ballasten. Stenmaterialet behålls som i referensbetongen. Testserien kallas för Test 1. En partikelfördelningskurva för NG- respektive KB-andelen görs för denna

test i bilaga 1 och 2. I referensbetongen ingår 28 kg finfraktion ballast varav 19,0 kg är naturgrus och 9 kg krossberg, se tabell 4. Vid ökningen av KB-andelen till 40 % blir:

$$KB = 0,4 \cdot 28 = 11,2 \text{ kg,}$$

$$NG = 0,6 \cdot 28 = 16,8 \text{ kg,}$$

Tabell 6 Ingående material i betongblandningen i Test 1

	Total finfraktion ballast	KB 0-8	NG 0-8	Sten 8-16	Cement	Varmt vatten	Tillsatsmedel SP
Test 1	28 kg	11,2kg	16,8 kg	17,35kg	8,5 kg	4,65 kg	0,102 kg
Procent	100%	40%	60%				1,2 % av cementmängd

Test 1 - betongens egenskaper

Alla andra materialen i receptet behålls konstanta som i tidigare testen för referensbetongen. Resultaten för testning av arbetbarhet, bearbetbarhet och tryckhållfasthet framgår i tabell 7.

Tabell 7 Resultat för Test 1

Resultat från Test 1	
kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,9
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,8
kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,9
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	60,8
Flytsättningsmått (mm)	200,0
Bearbetbarhet	Mycket bra

Vid flytsättningsmätningen av betongen för Test1 visar sig att betonghöjden minskar till 200 mm gentemot referenshöjden på konen men trots detta ändras inte bearbetbarheten, den blir ”Mycket bra”; tryckhållfastheten förändras inte nämnvärt gentemot referensbetongen.

3.5 Testutrustning och betongblandning

Olika utrustningar och maskiner har använts i det laborationsarbetet. Bland annat siktmaskin, betongblandare och vibreringsbord. Andra utrustningar som används var gjutformar av stål för kuber, kon/tratt för sättningsmått och vågar (noggrannhet 0.01 g). Skyddsutrustning: öronproppar, skyddsglasögon, handskar, m.m.

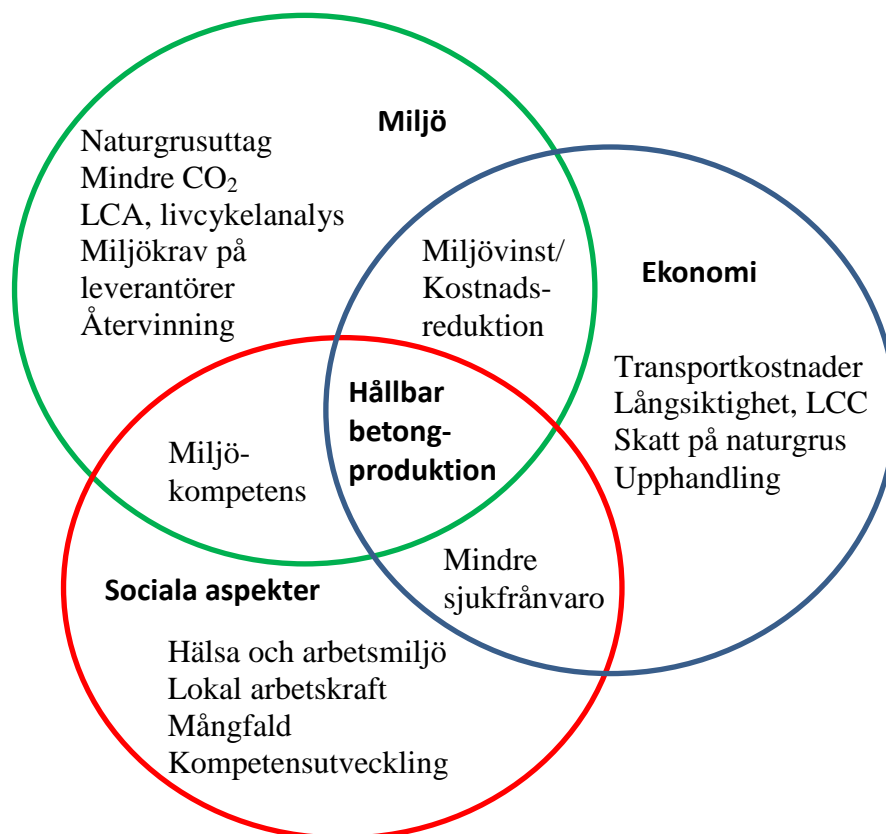
Siktmaskin Efter att ha torkat materialet hålls det i siktmaskin JEL200 för mätning av olika kornstorlekar. Siktmaskinen har olika maskvidd som separerar kornen i varierande storlekar. Maskvidden är 32 - 22,4, 16 - 11,2, 8 - 5,6, 4 - 2,1, 0,5 - 0,25, 0,125 - 0,063. Den största maskviddsstorlek är 32 och minsta maskvidd är 0,063.

Betongblandare Vid blandning av betongens beståndsdelar användes en eldriven blandare av typ tvångsblandare med vertikal axel av modell Baron 90 l.

Vibreringsmaskin Betongen vibreras efter den ha gjutits i kubform på vibreringsbord av mått 60x40 cm². På samma bord vibreras även betongprovkropparna i brickformar för att undersöka bearbetbarhet.

4. Hållbarhetsanalys

I detta arbete utgår man ifrån Brundtlands definition på ”Hållbar utveckling”: som ”en utveckling som tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov”, [3]. Den generella definitionen avgränsas med hjälp av en systemgräns gällande hållbar betongproduktion med krossberg. För en hållbar betongproduktion skall alla tre dimensionerna: ekologiska, ekonomiska och sociala aspekterna inom systemgränsen ska jobbas med och optimeras sinsemellan. I figur 24 läggs det fram hållbarhetens tre perspektiv för betongproduktion med krossat berg. För varje perspektiv (ekonomi, miljö och sociala aspekter) läggs fram relevanta indikatorer.

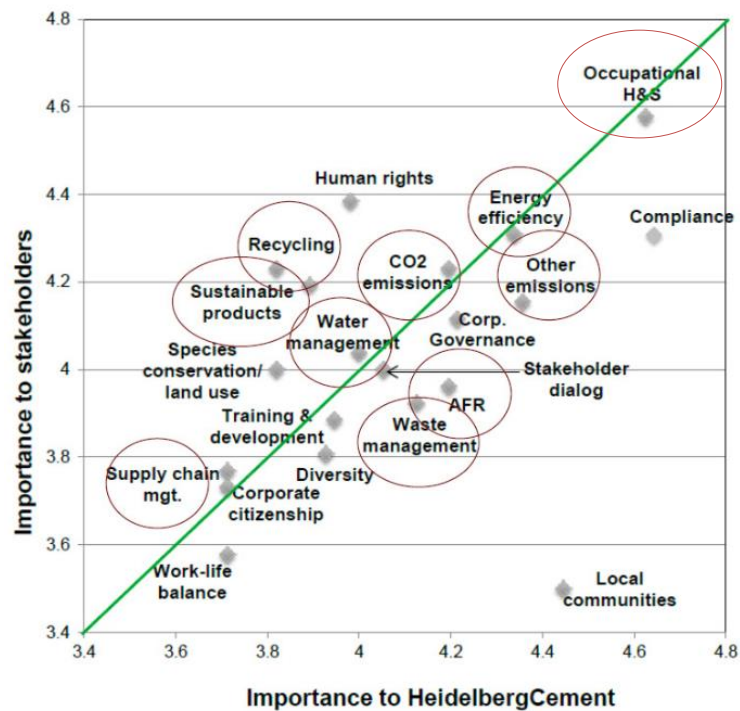


Figur 24 Hållbar betongproduktion: indikatorer för ekonomi, miljö och sociala aspekter

4.1 Betongballast och hållbar betongproduktion

Att ersätta naturgrus med krossballast ingår i UBAB:s arbete för en hållbar betongelementproduktion. Därför sätts systemgränsen för denna analys på hållbar betongproduktion som hamnar då i skärningspunkten av de tre aspekterna i figur 24. Några av de viktigaste indikatorerna som är relevanta för UBAB för social, ekonomisk och ekologisk hållbarhet har man skrivit in i respektive cirkel. Indikatorerna baseras på väsentlighetsanalysen i hållbarhetsredovisning från HeidelbergCement, [14] och på Vägledning för hållbart byggande med betong från certifieringssystemet BREEAM, [15].

Väsentlighetsanalysen från HeidelbergCement visar fram indikatorer i social, ekonomi och miljöaspekter som är viktiga för intressenterna och ingår i en cementtillverkares arbete med hållbarhet, se figur 25. Observera att cementindustrins hållbarhetsarbete har en annan detaljrikedom än arbetet som pågår i hållbar betongelementproduktion.



Figur 26 Hållbarhetsindikatorer för HeidelbergCement, [14]

Indikatorer som är markerade motsvarar cementproducentens nordiska verksamhet och därmed relevant för Sverige. Här ser man indikatorn Hälsa och arbetsmiljö som är viktigast för både interna och externa intressenter men också för företaget. Andra viktiga indikatorer är för miljöaspekter - CO₂ utsläpp, återvinning, miljökrav på leverantörer; för sociala aspekter – mångfald, kompetensutveckling; för ekonomi – logistik/transportkostnader, logistik/materialinköp. Dessa indikatorer anses vara relevanta även för UBAB:s verksamhet och förs in i hållbarhetsanalysen.

Enligt certifieringssystemet BREEAM bör som tillverkare av betong, betongelement och andra cement- och betongbaserade produkter vara beredd att lämna fakta och information kring sina produkter när man levererar till objekt som certifieras. Detta gäller specifikt för indikatorer som Livscykelkostnadsanalys, Livscykelanalys, Ansvarfull utvinning av byggnadsmaterial gällande t. ex ballastleverantörer och Återvunnet sten- och grusmaterial, [15]. Många av dessa indikatorer har förts in bland hållbarhetsindikatorerna i denna studie. I fortsättning detaljundersöks några av dessa indikatorer. En av indikatorerna, miljöpåverkan från transport kommer att beräknas med hjälp av en förenklad livscykelanalys i nästa kapitel.

Sociala aspekter

Indikator Hälsa och arbetsmiljö En av de indikatorer som framkommer i hållbarhetsredovisningarna som viktigast både för intressenterna och företagen. I BREEAM har denna indikator den högsta påverkan (15%) på slutbetyget av alla indikatorer.

Indikator Lokal arbetskraft och Mångfald För UBAB:s del väldigt denna indikator är högst aktuell då företaget har 270 anställda från 20 olika nationaliteter.

Indikator Kompetensutveckling är en av de högst rankade indikatorer i medarbetarsamtal. Tydlig synergieffekt finns mellan kompetensutveckling och miljömedvetenhet.

Ekonomi

Indikator livscykelkostnad LCC Livscykelkostnadsberäkningar utgör ett viktigt underlag till att förbättra bl. a. utformning av byggnader samt drift och underhåll under byggnadens livslängd. LCC är en ekonomisk analys där kostnader och intäkter för en produkt (betongelement i vårt fall) sammanställs under hela dess livslängd. LCC kan användas för att utvärdera olika alternativ, i detta fall byggnadens stomme, fasad och ytskikt. Som elementleverantör så kommer man inte behöva leverera hela LCC-kalkyler för sina element men kan behöva bistå byggherren i ett projekt som certifieras, [15]. Bl. a. ska redovisas:
-Underlag för en LCC-beräkning, dvs. produktens (= elementets eller fabriksbetongens) inköpskostnad, leveranskostnad samt underhållskostnad.

-Kostnader för rivning/demontering samt omhändertagande av rivningsmassor den dagen byggnadens livslängd är slut.

LCC-analys avseende stomme, fasad eller ytskikt av betong skulle även kunna utföras med olika betongrecept. I sådana fall kan kompletta LCC-analyser för olika betonger komma att efterfrågas.

Indikator Transportkostnader Indikatorn är direkt knuten till material- och leverantör upphandling och de kostnader som uppkommer i samband med detta. Bl. a. ser man synergieffekten av att minska transportsträckan för ballasten både som miljöeffekt, minskad CO₂ och minskad kostnad därmed för materialinköp.

Indikator Upphandling (material, leverantörer) Krav vid upphandling på leverantörer av ballastmaterial att vara kvalitets- och miljöcertifierade enligt ISO 9001 och ISO 14001.

Miljöaspekter

Indikator Naturgrusuttag Andel naturgrus i betongindustrin minskar, (10,3 miljoner ton år 2015) men på grund av att det pågår en bostadsboom i samhället så ökar betongproduktionen och därmed även naturgrusanvändningen. En ersättning med krossberg i ballasten som gör i denna studie skulle leda till att regeringens miljömål för ”Grundvatten av god kvalitet” kan uppfyllas till år 2020 då naturgrusuttaget ska ha minskat till 1-3 miljoner årston.

Indikator Mindre CO₂ Betongen är det mest använda byggnadsmaterialet i världen och i byggsektorn. Produktionen av betong är en energikrävande process med stor påverkan på växthuseffekten, [8]. År 2009, stod cementindustrin för totalt cirka 5 % av världens totala utsläpp av växthusgaser som till stor del innefattar koldioxidutsläpp som sker vid tillverkning av cement [9]. I detta arbete har det visat sig ur laboratoriestudien att krossberg i betongblandningen inte medför mer cementförbrukning vilket gör krossberg en bra ersättare för naturgrus ur miljösynpunkt.

Indikator Återvinning Med betong finns stora möjligheter till återvinning. Återvunna material kan användas i betongen och betongen kan i sin tur krossas och återanvändas som ballast i ny betong eller som fyllnadsmaterial. Återanvänd ballast i betong för stomme, bjälklag och hårdgjorda ytor är relativt ovanligt men utvecklas allt eftersom det finns stöd i standarderna idag. Enligt SS 137003 får betongtillverkaren använda ballast återvunnen ur restbetong från den egna tillverkningen. Upp till 5 % av den totala ballastmängden får utgöras av ballast från restbetong, som endera

kan bestå av krossad restbetong (reclaimed crushed aggregate) eller ballast återvunnen ur färsk restbetong (reclaimed washed aggregate), [19].

4.2 Miljöpåverkan från transport

Eftersom transport till och från tåkten identifieras som en av indikatorerna som påverkar mest CO₂ utsläppen så görs en förenklad livscykelanalys på den.

För att beakta en produkts fottryck på miljön finns flera metoder, [16]. I detta arbete väljs att ta fram miljöpåverkan i form av CO₂ utsläpp med hjälp av befintliga EPD-faktablad d.v.s. miljövarudeklarationer för bergkross och betong för ytterelement som är representativ för svenska förhållanden, [17], [18]. Dessa innehåller livscykelanalyser med data om CO₂ utsläpp som kan anpassas till transportsträckan i UBAB:s fall.

Indikator Miljökrav på leverantörer Det används mest dieseldrivna lastbilar för transporter. Förbrukningen av diesel gör att mer CO₂ släpps i luft något som i sin tur bidrar till växthuseffekten. Genom att ställa krav på biobränsledrivna lastbilar vid uppköp av krossbergsleverantör skulle denna indikator minska med skillnaden mellan resursanvändning för icke förnybar primäre energi och förnybar primäre energi som energibärare, [17]. Detta skulle leda till en energibesparing på $43,9 - 2,5 = 41,4$ MJ/ton krossberg.

Beräkningsförutsättningar: Leveranser av naturgrus till UBAB betongfabriken kommer från en täkt på 100 km från fabriken, medan krossbergstrakten ligger 5 km från fabriken. Enbart transport från täkt till fabrik som beaktas med en lastbil som inte lastas på med varor på returvägen, se tabell 8.

Beräkningarna för 100 och 5 km görs genom linjär interpolering från data presenterad i EPD-faktabladet på 35 km. Indikator CO₂-ekv står för växthusgasernas effekt på global uppvärmning i jämförelse med referensgasen CO₂. Växthusgaserna som beaktas utöver koldioxid CO₂ är metan CH₄ och dikväveoxid N₂O.

Resultaten visar på 95 % minskning av CO₂ utsläpp/ ton krossberg, proportionellt med sträckans minskning från 100 till 5 km. Om man antar att 70 % av betongen är ballast av enbart krossberg så innebär ca 0,7 ton krossberg/ton betong. Detta innebär att utsläppet blir på ton betong enligt tabell 8.

Tabell 8 Miljöpåverkan från krossbergtransport från täkt till fabrik

Transport					
Exempel på transport krossberg från produktionsort till fabriken:			Enhet km		
Typ	Kapacitetsutnyttjande inkl. retur	Fordonstyp	Distans km	Bränsle l/tkm	Värde (l/t)
Lastbil	52 %	Lastbil	5	0,031	0,16
			35		1,1
			100		3,1
Miljöpåverkan			Miljöpåverkan		
Parameter Global uppvärmingspotential för 5 km			Parameter Global uppvärmingspotential för 5 km		
0,46 kg CO ₂ -ekv/ton krossberg			0,46 x 0,7 = 0,32 kg CO ₂ -ekv/ton betong		
35	3,19		35	3,19	2,23
100	9,0		100	9,0	6,3

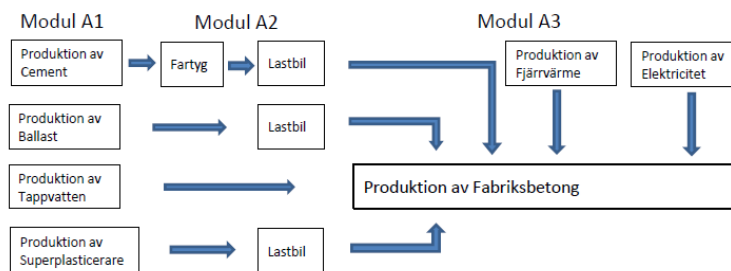
Uppgifterna i EPD-faktabladet för betong i ytterelement, [18], motsvarar en exempel tillverkare i Sverige, med en betong motsvarande en hållfasthetsklass på C28/35-C30/37. vct 0,55. med Cementas Bascement CEM LL/A-V 52,5 N eller deklarerat cement med lägre eller motsvarande miljöpåverkan, se figur 26.

Materialer	kg	vikt-%
Cement	340	14.4
Ballast	1830	77.55
Vatten	187	7.9
Superplasticerare	2.7	0.15
Summa	2360	100

Figur 26 Exempelbetong i EPD-faktablad för betong i ytterelement, [18]

I denna studie har vi använt oss av snabbcement med $vct=0,39$. Vi antar att UBAB:s ytterelement generellt har motsvarande miljöpåverkan som i EPD-faktabladet, med tanke på att vi har samma mängd cement på 340 kg i vårt betongrecept.

Systemgränsen i EPD-faktablad innehåller följande processteg, se figur 27:



Figur 27 Systemgräns för livcykelanalys för betong för ytterväggselement, [18]

Detta innebär att produktion av ballast och transport av ballast från täkt tillfabrik är inkluderad i framräknad miljöpåverkan som motsvarar 104 kg CO₂-ekv/ton betong. När man då kombinerar värden från krossbertransport gentemot betongens globala uppvärmingspotential så finner man att för 5 km så ger det drygt 0,3 % andel (0,32/104) medan för 100 km blir det cirka 6,1 % (6,3/104). Detta visar att genom att minska med 95 % på transportsträckan på ballasten kan en ca 6 % minskning av elementens CO₂-ekv utsläpp åstadkommas. Noggranna EPD-faktablad kan utföras specifikt för UBAB:s ytterväggselement med hjälp av livcykelanalys för att kunna användas i marknadsföringssyfte.

5. Resultatanalys

Resultaten från serie 1 och 2 sammanställs i tabell 8 respektive 9 för jämförelse. Ersättningen av naturgrus med krossberg har börjat med att krossbergandel 0-8 i betongreceptet ökas från 32 % till 40 %. Tryckhållfastheten i både ung åldern, ett dygn och även i härdat tillstånd, 28 dygn har uppmätts. Alla försöken visar att den nya betongen får likvärdig hållfasthet och arbetbarhet oavsett ersättningsandel av naturgrus med krossberg.

Med tanke på att betongen med mer krossbergandel är mer flisig, kantig och innehåller mer findelar, visar upp försöken bra resultat utan att extra cement eller vatten tillsattes.

Tabell 8 Resultat från fyra tester med olika KB-andel

Material (kg)	Referens- betong	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Sten 8-16 (kg)	17,35	17,35	17,35	17,35	17,4
Naturgrus 0-8 (kg)	19	16,8	14	11,2	8,4
Kross berg 0-8 (kg)		11,2	14	16,8	19,6
Krossberg 0-4 (kg)	9				
Andel KB i fina ballasten		40%	50%	60%	70%
Cement (kg)	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Flytmedel, SP (kg)	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
Varmt vatten (kg)	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
Resultat från tester					
kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,2	7,9	8,1	7,7	7,9
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	30,8	31,8	31,6	30,4	31,4
kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,2	7,9		8,0	7,9
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,9	60,8	61,8	60,1	61,7
Flytsättningsmått (mm)	220	200,0	218,0	195,0	210,0
Bearbetbarhet	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra

I testserie 2 framgår det resultat från tre olika tester med varierande SP-andel i betongblandningen. Syftet är att undersöka om en minskning av SP-andelen påverkar betongens arbetbarhet och mekaniska egenskaper i såväl färskt tillstånd som färdigt härdat tillstånd. Tre fall undersöks där man utgår från SP mängd på 1,2 % av cementmängden, Alt 1. Alt 2 ökar man SP mängden till 1,22 % av cementmängden medan i Alt 3 minskas det till 1,06 %. För en ökning av tillsatsmedlen ser man förväntad ökning av sättmättet utan att separation sker. 1 dygnshållfastheten är något större än för Alt 1 men 28 dygn hållfastheten ökar. När SP mängden minskas ändras inte sättmättet nämnvärt och inte heller 1 dygnshållfastheten. Skillnaden ser man dock på 28 dygnshållfastheten, som är drygt 3 % mindre.

Tabell 9 Försöksresultat från testserie 2

Material (kg)	Test 2, Alt. 1	Test 2, Alt. 2	Test 2, Alt. 3
Sten 8-16	17,35	17,35	17,35
Naturgrus 0-8	14	14	14
Kross berg 0-8	14	14	14
Krossberg 0-4			
Andel KB i fina ballasten	50%	50%	50%
Cement	8,5	8,5	8,5
Tillsatsmedel, SP	0,102	0,104	0,09
Varmt vatten	4,65	4,65	4,65
Resultat från tester			
kubmassa efter 1 dygn(kg)	8,1	8,1	8,1
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,63	32,046	31,38
Tryckhållfasthet (5 dygn) MPa	ej	ej	46,165
kubmassa efter 28 dygn(kg)		7,812	
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,832	62,831	59,8
Flytsatsmått (mm)	218	240	220
Bearbetbarhet	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra

5.1 Diskussion och slutsats

Krossbergballast skiljer sig från naturgrus i sina egenskaper bland annat kornform, fillerhalt och kornens ytbeskaffenhet. Krossbergskornen är mer sträva och ojämna och formen blir ofta avlång och vass och innehåller oftast mer finandel. Detta kan leda till att det blir mer svårarbetbar och att vattenandelen/flyttillsatsen måste ökas. För att bibehålla betongens vattencementtal kan en ökning av cementmängden vara nödvändig. [6].

Två testserier utförs där i serie 1 ökas gradvis krossbergsandelen och i serie 2 varierar flyttillsatsmedelet. Syftet är att ta reda på hur dessa parametrar påverkar betongens egenskaper i såväl ung åldern som färdigt härdat tillstånd. Målet är att åstadkomma ett hållbart betongrecept med hög krossbergandel så att användning av krossberg i betongframställningen blir ett godtagbart alternativ gentemot naturgruset.

Krossbergegenskaperna och betongens egenskaper testas i enlighet med Svenska Standarden SS-EN 12620+A1:2008 Ballast för betong, 2008 respektive SS137003:2 008.

Bland egenskaper som är aktuella för mer krossberganvändning i betongtillverkning är arbetbarheten hos betongen i ung åldern. Med tanke på att krossbergen har mer ruggig ytstruktur och är mer flisig än naturgruset befarades att mer krossberg i betongblandning skulle leda till ett lågt sättmått, något som skulle få negativa konsekvenser för arbetsmiljön i produktionen. Testresultaten visar att sättmålet inte förändras nämnvärt och därmed blir arbetbarheten oförändrat. Ur social hållbarhetssynpunkt är en betong med upp till 70 % krossbergsersättning av naturgrus är en arbetsmiljövänlig och hållbar lösning.

Bearbetbarheten hos betongen i unga åldern är en väsentlig egenskap som innebär att betongens yta är lätt att beredas. Testerna har visat sig att denna egenskap är också säkrad och att betongen kan bearbetas och formas i tilltänkta former liksom betong med naturgrus. Likaså har det visat sig att betongen är stabil, inte separerar; till och med en minskning av flytsatsmedel är möjlig i enlighet med testresultat för en krossbergsandel på 50 %. En ökad förbrukning av denna betong bidrar därmed till hållbarheten inom betongindustrin.

Tryckhållfastheten är betongens viktigaste mekaniska egenskap. I testerna har det visats att ersättningen av naturgruset med mer krossberg inte har försämrat betongens tryckhållfasthet i såväl ung åldern som färdigt härdat tillståndet.

Trots att det finns vissa svårigheter (arbetsmiljö frågor som damm och buller) i utvinning av krossat berg, är användning av mer krossberg i betongproduktionen är miljövänlig och hållbar. Krosset är tillgängligt i närtrakten vilket leder till mindre transporter och leder till mindre utsläpp till luften. UBAB:s hållbarhetsmål om minskad CO2 utsläpp kan uppnås genom ett skifte från naturgrus till krossberg. Kombinerat med en utökad satsning på upparbetning av betongavfall från produktion och minskning av deponi kan hållbarhetsarbetet förbättras och grunden kan läggas för hållbarhetsredovisning.

För att åstadkomma en betongproduktion med mer krossbergandel bör:

- Forskning kring ämnet görs tills ersättningen av naturgruset omfattar hela 100 % av betongballasten.
- Detta arbete visar bara på tendenser då vid varje testtillfälle har bara en provkropp testats. För att få fram variationen i testresultaten och för att utesluta slumpen så minst 3 provkroppar ska testas vid varje tillfälle.

6. Referenser

- [1] Islamovic M., Söderberg L.: Grus, sand och krossberg 2015, Sveriges geologiska undersökning, 2016
[https://www.google.se/search?q=Islamovic,+S%C3%B6derberg+\(2016\)%3A+En+%C3%A5r+lig+rapport+utarbetats+av+SGU&sourceid=ie7&rls=com.microsoft:sv-SE:IE-Address&ie=&oe=&gfe_rd=cr&ei=tAMwWf-qLMeq8wfgr7iICA](https://www.google.se/search?q=Islamovic,+S%C3%B6derberg+(2016)%3A+En+%C3%A5r+lig+rapport+utarbetats+av+SGU&sourceid=ie7&rls=com.microsoft:sv-SE:IE-Address&ie=&oe=&gfe_rd=cr&ei=tAMwWf-qLMeq8wfgr7iICA)
- [2] Bida J., Murén P., Evertsson M., Stomvall R.: Uthållig produktion av finkorniga produkter från bergmaterial, Chalmers tekniska högskolan, Slutrapport, Göteborg, 2014.
<http://document.chalmers.se/download?docid=50297c6d-709c-4d92-91a2-775aef2fe024>
- [3] Fransson K., Posner S., Jönbrink A., Roos E., Olsson E., Bäck J., Wilson K., Karlsson S. Kristinsdóttir A.: Miljöhandbok för upphandlare. Kammarkollegiet, Statens inköpscentral, 2015.
- [4] Ljungkrantz C., Möller G., Petersons N. : Betonghandbok material, utgåva 2, Svensk Byggtjänst, 1997.
- [5] Burström P. G.: *Byggnadsmaterial, uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Studentlitteratur, Lund 2006.
- [6] Heidelberg Cement Group: En vägledningsskrift om krossberg i betong, utgiven av Cementa AB, Stockholm, 2014.
www.cementa.se/sv/system/files_force/assets/document/d7/.../bergkrossibetong.pdf
- [7] IMA, International Management Assistant, Crystalline silica and health from a European industry perspective, IMA Europe, 2014, (besökt 13/5-2017), <http://www.crystallinesilica.eu/>
- [8] Hussein A.R.: Egenskaper för betong i ung ålder, hållfasthets- och värmeutveckling. Examensarbete, Luleå tekniska universitet, Luleå 2011.
- [9] Olofsson N., Persson O.: Undersökning och utvärdering av slagg som klinkersättare i cement, Examensarbete nr 3/2014, Högskolan i Borås, 2014.
- [10] Al-Emrani M., Engström B., Johansson M., Johansson P.: Bärande konstruktioner del 1 Rapport 20113:1, Chalmers Tekniska Högskolan, Göteborg 2013.
- [11] Berggren E.: Betongprovning med svensk standard, ISBN 978-91-977783-2-9, SIS Förlag, Stockholm, 2002.
- [12] Larsson R.: Jords egenskaper, Statens geotekniska Institut, Informationsbroschyr, Linköping, 2008 (www.swedgeo.se, 15/5–2017).
- [13] Rogers P., Trägårdh J.: Användning av krossad betong som ballast i betongtillverkning, SBUF, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, rapport nr 17:15, Stockholm, 2017.
- [14] HeidelbergCement: Sustainability report 2016, materiality analysis. (2017-06-09)
http://www.hcne-sustainability.nu/en/about_hcne

[15] BREEAM: Vägledning för hållbart byggande med betong, 2013. Checklista för elementtillverkare (2017-06-09)

<http://betongforeningen.se/wp-content/uploads/2013/02/Materialdokumentation-BREEAM.pdf>

[16] Baumann H., Tillman A-M.: Hitch Hiker`s guide to LCA, ISBN 9789144023649, Studentlitteratur, 2004.

[17] Skanska Asphalt och Betong: European product declaration for crushed stone/Miljövarudeklaration för bergkrossprodukter, Utförd av IVL Miljöinstitutet, The Norwegian EPD Foundation, 2017.

<http://epd-norge.no/asfalt-og-pukk/crushed-stone-bergkrossprodukter-article1562-326.html>

[18] Svensk Betong: European product declaration for concrete in façade elements/Miljövarudeklaration för betong i ytterväggar, Utförd av CBI Betonginstitutet, The Norwegian EPD Foundation, 2017.

<http://epd-norge.no/betongvarer/betong-foer-haalbjalklag-article1544-316.html>

[19] Helsing E.: Större möjligheter att använda återvunna material i betong med nya SS 137003. CBI Nytt, CBI Betonginstitutets kundtidning, 2/2015.

Bilagor

Bilaga 1	Partikelfördelningskurva, test 1, KB 0-8
Bilaga 2	Partikelfördelningskurva, test 1, NB 0-8
Bilaga 3	Partikelfördelningskurva, test 2 NG 0-8
Bilaga 4	Partikelfördelningskurva, test 3 NG 0-8
Bilaga 5	Referensbetong, Materialprov, KB 0-4
Bilaga 6	Referensbetong, Materialprov, NG 0-8
Bilaga 7	Referensbetong, recept
Bilaga 8	Presentationsposter
Bilaga 9-12	Testresultat

Bilaga 2 Partikelfördelningskurva, test 1, NG 0-8

UBAB Ulricehamns Betong AB

2017-03-28

Side: 1

MATERIALEPRÖVE

Pröve nr.: 428 Prøvetager: MC Prøvetype: Intern Prøve dato: 2017-03-28
 Mat. forkortelse: Grus 0-8 Materiale nr.: 1
 Materiale navn: Grus 0-8
 Følgeseddel: Gruppe: Sand
 Leverandør: Stråkengrus AB Varenr.: 0

Fugtindhold

Vægt skål, g:
 Vægt fugtig, g:
 Vægt udtørret, g:
 Total fugt, %:
 Absorberet fugt, %: 0,5
 Fri fugt, %:

Korndensitet

Forsøg:	1	2	3	Middel
Prøvemængde VOT, g:				
Pyknometer+vand, cm3:				
Pyknometer+prøve, cm3:				
Korndensitet, kg/m3:				

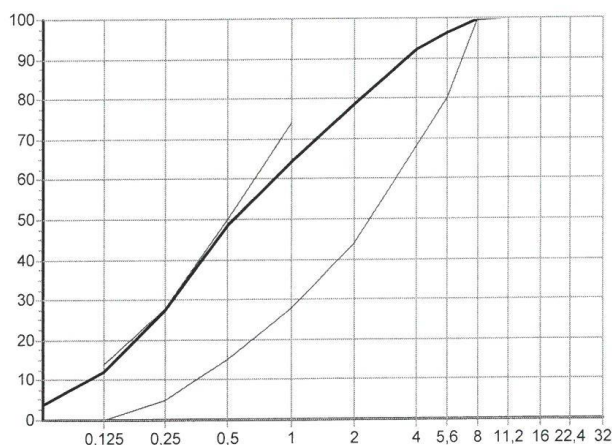
Absorption

Masse af VOT prøve, g:
 Masse af tør prøve, g:
 Absorption, %:

Humus og Slam

Forsøg:	1	2	Middel
Humus:			
Slamhøjde, mm:			
Totalhøjde, mm:			
Slamhøjde, %:			

Gennemfald



Sigte- maske	Rest 1 g	Rest 2 g	Min. %	Aktuel %	Max. %
32			100,0	100,0	
22,4			100,0	100,0	
16			100,0	100,0	
11,2			100,0	100,0	
8	4,0		100,0	99,6	
5,6	35,0		80,0	96,3	
4	45,0		68,0	92,0	
2	142,0		44,0	78,5	
1	149,0		28,0	64,4	74,0
0,5	167,0		15,0	48,5	50,0
0,25	223,0		5,0	27,4	28,0
0,125	163,0		0,0	11,9	14,0
0,063	87,0			3,6	

Bemærkning: Borås Högskola Prov.2 Naturgrus 0-8

UBAB Ulricehamns Betong AB

2017-04-24

Side: 1

MATERIALEPRØVE

Prøve nr.: 428	Prøvetager: BH	Prøvetype: Intern	Prøve dato: 2017-03-28
Mat. forkortelse: Grus 0-8			Materiale nr.: 1
Materiale navn: Grus 0-8			
Følgeseddel:		Gruppe: Sand	
Leverandør: Stråkegrus AB		Varenr.: 0	

Fugtindhold

Vægt skål, g:
 Vægt fugtig, g:
 Vægt udtørret, g:
 Total fugt, %:
 Absorberet fugt, %: 0,5
 Fri fugt, %:

Korndensitet

Forsøg:	1	2	3	Middel
Prøvemængde VOT, g:				
Pyknometer+vand, cm3:				
Pyknometer+prøve, cm3:				
Korndensitet, kg/m3:				

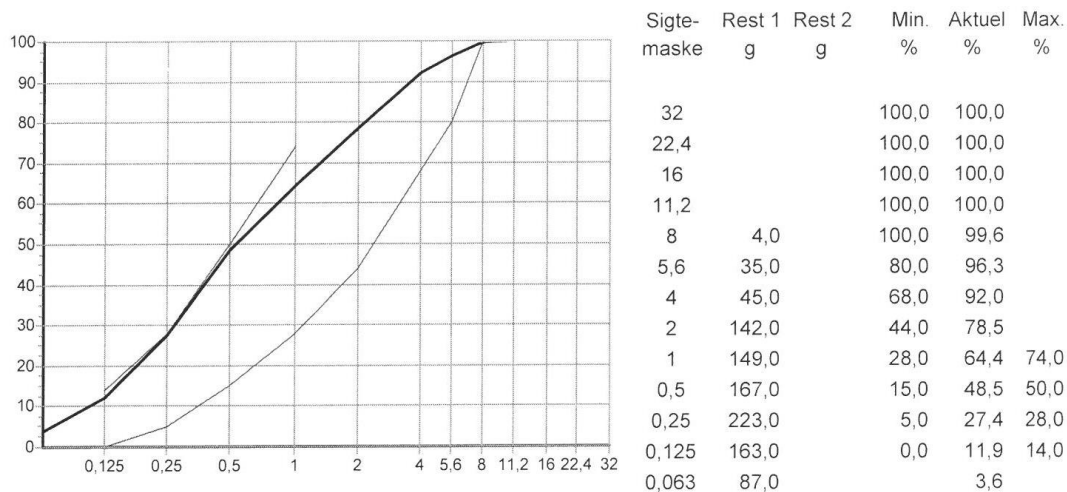
Humus og Slam

Absorption

Masse af VOT prøve, g:
 Masse af tør prøve, g:
 Absorption, %:

Forsøg:	1	2	Middel
Humus:			
Slamhøjde, mm:			
Totalhøjde, mm:			
Slamhøjde, %:			

Gennemfald



Bemærkning: Borås Högskola Prov.2 Naturgrus 0-8

Bilaga 4

Partikelfordelingskurva, test 3 NG 0-8

UBAB Ulricehamns Betong AB

2017-04-24

Side: 1

MATERIALEPRØVE

Prøve nr.: 430	Prøvetager: BH	Prøvetype: Intern	Prøve dato: 2017-04-04
Mat. forkortelse: Grus 0-8			Materiale nr.: 1
Materiale navn: Grus 0-8			
Følgeseddel:		Gruppe: Sand	
Leverandør: Stråkengrus AB		Varenr.: 0	

Fugtindhold

Vægt skål, g:
 Vægt fugtig, g: 1100,0
 Vægt udtørret, g: 1051,0
 Total fugt, %: 4,7
 Absorberet fugt, %: 0,5
 Fri fugt, %: 4,2

Korndensitet

Forsøg:	1	2	3	Middel
Prøvemængde VOT, g:				
Pyknometer+vand, cm3:				
Pyknometer+prøve, cm3:				
Korndensitet, kg/m3:				

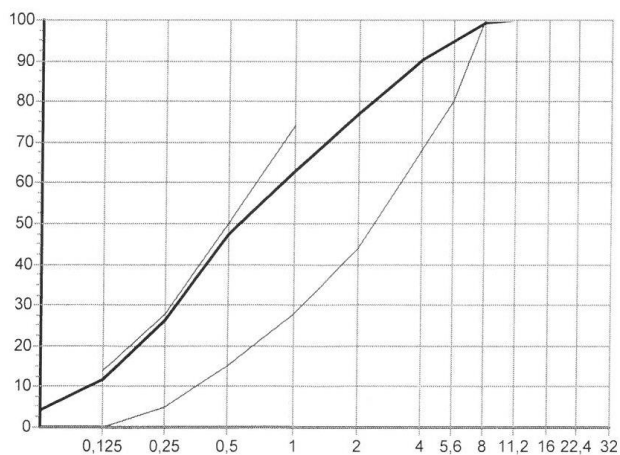
Humus og Slam

Absorption

Masse af VOT prøve, g:
 Masse af tør prøve, g:
 Absorption, %:

Forsøg:	1	2	Middel
Humus:			
Slamhøjde, mm:			
Totalhøjde, mm:			
Slamhøjde, %:			

Gennemfald



Sigte- maske	Rest 1 g	Rest 2 g	Min. %	Aktuel %	Max. %
32	0,0		100,0	100,0	
22,4	0,0		100,0	100,0	
16	0,0		100,0	100,0	
11,2	0,0		100,0	100,0	
8	6,0		100,0	99,4	
5,6	46,0		80,0	94,8	
4	45,0		68,0	90,3	
2	134,0		44,0	77,0	
1	143,0		28,0	62,7	74,0
0,5	153,0		15,0	47,5	50,0
0,25	212,0		5,0	26,3	28,0
0,125	147,0		0,0	11,7	14,0
0,063	75,0			4,2	

Bilaga 6

Referensbetong, Materialprov, NG 0-8

UBAB Ulricehamns Betong AB

2017-04-04

Side: 1

MATERIALEPRØVE

Prøve nr.: 431	Prøvetager: MC	Prøvetype: Intern	Prøve dato: 2017-04-04
Mat. forkortelse: Grus 0-8			Materiale nr.: 1
Materiale navn: Grus 0-8			
Følgeseddel:			Gruppe: Sand
Leverandør: Stråkengrus AB			Varenr.: 0

Fugtindhold

Vægt skål, g:	
Vægt fugtig, g:	1100,0
Vægt udtørret, g:	1054,0
Total fugt, %:	4,4
Absorberet fugt, %:	0,5
Fri fugt, %:	3,9

Korndensitet

Forsøg:	1	2	3	Middel
Prøvemængde VOT, g:				
Pyknometer+vand, cm3:				
Pyknometer+prøve, cm3:				
Korndensitet, kg/m3:				

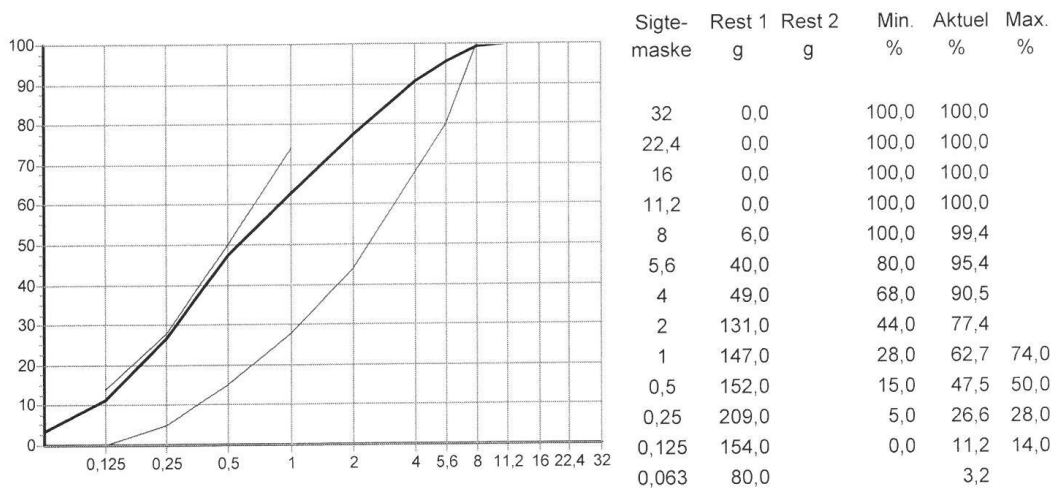
Humus og Slam

Forsøg:	1	2	Middel
Humus:			
Slamhøjde, mm:			
Totalhøjde, mm:			
Slamhøjde, %:			

Absorption

Masse af VOT prøve, g:	
Masse af tør prøve, g:	
Absorption, %:	

Gennemfald



Bemærkning: natur grus

Bilaga 7

Referensbetong, recept

UBAB Ulricehamns Betong AB

2017-03-27 Side: 2

RECEPESPECIFIKATION

Betegnelsen: Receipt nr.: 4

BLANDEFORLØB	Linie	Kode	Tekst
	1	1	Doser 11 Sten 8-16
	2	1	Doser 1 Grus 0-8
	3	1	Doser 3 Grus 0-4
	4	8	Vent t1 (5) sek.
	5	1	Doser 32 Skövde SH
	6	8	Vent t4 (30) sek.
	7	5	Kvik doser ledningsevne - bør: 370.000
	8	2	Mat. 22 Varmvatten
	9	1	Doser 41 Sika 20He 50
	10	1	Doser 43 Sika Aer10%
	11	8	Vent 45 sek.
	12	13	Start tørrning t6 (25 sek.) t6 (25 sek.)
	13	0	Slut

PROPORTIONERING	Tekst	% / Grp.	I alt	kg	Værdi
	32 Skövde SH	100,0	100,0	340,0	340,0 8,50
	22 Varmvatten	100,0	100,0		186,0 4,65
	11 Sten 8-16	100,0	100,0		694,0 17,35
	1 Grus 0-8	68,0			761,6 19,0
	3 Grus 0-4	32,0	100,0		358,4 8,96
	Cementfiller				
	Additiv mm. i % af cement				
	41 Sika 20He 50	1,2000			4,0800 0,1
	43 Sika Aer10%	0,1000			0,3400 0,1
	Kg i alt				

TILLÆG/FRADRAK	Fork.	Tekst	Pris



Ersättning av naturgrus med krossat berg i betong

Laboratoriestudium på Urichehamn Betong

Syftet

- > Att ersätta naturgruset med krossberg och få likvärdiga egenskaper i den nya betongblandningen med avseende på arbetbarheten, bearbetbarheten och tryckhållfastheten
- > Att ta reda på hur en ökad krossbergförbrukning skulle bidra till att nå en hållbarutveckling i betongindustrin och på sätt nå regeringens miljömål, "Grundvatten med god kvalitet".



Hållbarhets aspekter



Backgrund

"Att ha" Grundvatten av god kvalitet" var ett miljömål som regeringen hade. Från år 1999 till 2010 skulle användningen av naturgrus halveras från 22 miljoner till 12 miljoner ton. Därefter skulle uttaget minskas med ett till tre miljoner ton fram till år 2020. Detta mäl ger en bevakningsgrund för att främja krossbergförbrukning i betongproduktionen .

I detta arbete undersöks olika ersättningsgrad av naturgrus med krossat berg såsom 40 %, 50 %, 60 % samt 70 %. Testerna är baserade på ett beprövat betongrecept med 32 volymprocent (finmaterial andelen) av krossberg. Blandningarna omfattar enbart två parameter i betongreceptet, Flytmedlet, SP (superplastisören) och krossbergandelen (KB).

Resultatanalys

Material (kg)	Rf: betong	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Sten 8-16	17,35	17,35	17,35	17,35	17,4
Natur 0-8	19	16,8	14	11,2	8,4
Kross berg 0-8		11,2	14	16,8	19,6
Krossberg 0-4	8,92				
Andel KB i fina ballasten	32%	40%	50%	60%	70%
Cement	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Flytmedel, SP	0,102	0,102	0,102	0,102	0,102
Varmt vatten	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
Resultat från tester					
kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,2	7,9	8,1	7,7	7,9
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	30,8	31,8	31,6	30,4	31,4
kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,15	7,9		8	7,9
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,9	60,8	61,8	60,1	61,7
Flytsättningsmätt (mm)	220	200	218	195	210
Bearbetbarhet	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra

Material (kg)	Test 2, Ak. 1	Test 2, Ak. 2	Test 2, Ak. 3
Sten 8-16	17,35	17,35	17,35
Naturgrus 0-8	14	14	14
Kross berg 0-8	14	14	14
Krossberg 0-4			
Andel KB i fina ballasten	50%	50%	50%
Cement	8,5	8,5	8,5
Flytmedel, SP	0,102	0,104	0,09
Varmt vatten	4,65	4,65	4,65
Resultat från tester			
kubmassa efter 1 dygn(kg)	8,1	8,1	8,1
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,63	32,046	31,38
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	e	e	46,165
kubmassa efter 28 dygn(kg)		7,812	
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,832	62,831	59,8
Flytsättningsmätt (mm)			
Bearbetbarhet	Mycket bra	Mycket bra	Mycket bra

Hassan Yasin Haji och Younes Beigi

Magisterutbildningsexamen i Byggt teknik-hållbart samhällsbyggande, 60 HP

Bilaga 9

Referensbetong

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,35	19		8,92	32 %	8,5	0,102	4,65

Resultat från referensbetongens tester	
Kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,2
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	30,8
Kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,15
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,9
Flytsatsmått (mm)	220
Bearbetbarhet	Mycket bra

Test 1

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,35	16,8	11,2		40 %	8,5	0,102	4,65

Resultat från referensbetongens tester	
kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,9
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,8
kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,9
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	60,8
Flytsatsmått (mm)	200
Bearbetbarhet	Mycket bra

Bilaga 10

Test 2- alt 1

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,35	14	14		50 %	8,5	0,102	4,65

Resultat från referensbetongens tester	
kubmassa efter 1 dygn (kg)	8,1
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,6
Kubmassa efter 28 dygn (kg)	
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,8
Flytsatsmått (mm)	218
Bearbetbarhet	Mycket bra

Test2- alt 2

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,35	14	14		50 %	8,5	0,104	4,65

Resultat från referensbetongens tester	
Kubmassa efter 1 dygn (kg)	8,1
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	32
kubmassa efter 28 dygn (kg)	ej
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	62,8
Flytsatsmått (mm)	240
Bearbetbarhet	Mycket bra

Bilaga 11

Test 2-alt 3

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,35	14	14		50 %	8,5	0,09	4,65

Resultat från tester	
Kubmassa efter 1 dygn(kg)	8,1
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,4
Tryckhållfasthet (5 dygn) MPa	46,2
kubmassa efter 28 dygn(kg)	
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	59,8
Flytsatsning (mm)	220
Bearbetbarhet	Mycket bra

Test 3

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,35	11,2	16,8		60%	8,5	0,102	4,65

Resultat från referensbetongens tester	
Kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,7
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	30,4
kubmassa efter 28 dygn (kg)	8
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	60,1
Flytsatsmått (mm)	195
Bearbetbarhet	Mycket bra

Bilaga 12

Test 4:

Material (kg)							
Sten 8-16	Naturgrus 0-8	Kross berg 0-8	Kross berg 0-4	Andel KB i fina ballasten	Cement	Flytmedel SP	Varmt vatten
17,4	8,4	19,6		70 %	8,5	0,102	4,65

Resultat från referensbetongens tester	
Kubmassa efter 1 dygn (kg)	7,9
Tryckhållfasthet (1 dygn) MPa	31,4
kubmassa efter 28 dygn (kg)	7,9
Tryckhållfasthet (28 dygn) MPa	61,7
Flytsatsmått (mm)	210
Bearbetbarhet	Mycket bra