

Chalmers Tekniska Högskola  
Institutionen för Byggnadsmaterial

Publikation P-93:10  
Arb nr 501

**PROPORTIONERING AV LÄTTBALLASTBETONG  
SAMMANSÄTTNING AV TÄT KONSTRUKTIONSLÄTTBALLASTBETONG  
MED BERÄKNINGSEXEMPEL FÖR PRAKTISKT BRUK**

**AV**

**LEIF BERNTSSON**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890408-9 från Statens råd  
för Byggnadsforskning till Färdig Betong AB, Göteborg**

*och SBUF*

**Göteborg i Oktober 1993**

# INNEHÅLL

## FÖRORD

## SAMMANFATTNING

## ABSTRACT

|       |                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | ALLMÄNT.....                                                                   | 1  |
| 2.    | PROPORTIONERINGSFÖRFARANDE.....                                                | 4  |
| 2.1   | Krav vid proportionering.....                                                  | 4  |
| 2.2   | Principer för proportioneringsförfarande.....                                  | 4  |
| 3.    | PROVNINGSFÖRFARANDE.....                                                       | 8  |
| 3.1   | Provning av delmaterial.....                                                   | 8  |
| 3.1.1 | Korndensitet                                                                   |    |
| 3.1.2 | Skrymdensitet                                                                  |    |
| 3.1.3 | Fuktkvot och siktkurvor                                                        |    |
| 3.2   | Provning av färsk betong.....                                                  | 10 |
| 3.2.1 | Skrymdensitet                                                                  |    |
| 3.2.2 | Konsistens                                                                     |    |
| 3.3   | Provning av hårdnad betong, densitet och tryckhållfasthet.....                 | 10 |
| 4.    | PROPORTIONERINGSEXEMPEL.....                                                   | 12 |
| 4.1   | Egenskaper, delmaterialens andelar och samband.....                            | 12 |
| 4.2   | Beräkningsxempel.....                                                          | 15 |
| 4.2.1 | Exempel 1 - Proportionering av K25                                             |    |
| 4.2.2 | Exempel 2 - Proportionering av K30                                             |    |
| 4.2.3 | Exempel 3 - Proportionering av K40                                             |    |
| 4.2.4 | Exempel 4 - Proportionering av K30 med luft                                    |    |
| 4.2.5 | Exempel 5 - Jämförelse mellan recept och uppmätt densitet och tryckhållfasthet |    |
| 4.3   | Ändring av lättballast och bruk i betongen.....                                | 28 |
| 4.3.1 | Ändring av brukets densitet och hållfasthet                                    |    |
| 4.3.2 | Ändring av lättballastens densitet                                             |    |
| 4.4   | Speciella höghållfasta lättballastbetonger.....                                | 31 |
| 5.    | PROVBLANDNING OCH FÖRPROVNING.....                                             | 34 |
| 6.    | SLUTORD.....                                                                   | 35 |
| 7.    | LITTERATUR.....                                                                | 36 |

## FÖRORD

Föreliggande arbete avser bl a att vara hjälp för den som planerar eller förbereder tillverkning av lättballastbetong för konstruktionsändamål. För att kunna tillgodogöra sig innehållet och klara av att optimera betongsammansättningar för praktiskt bruk rekommenderas i förväg att studera proportionering av vanlig betong och för övrigt inhämta kunskaper om lättballastbetong i allmänhet.

Lättballastbetong kan vara ett alternativ då en konstruktions egenvikt bl a kan behöva reduceras. På tidigt stadium uppstår då frågan om ett visst ballastmaterial är lämpat för betongtillverkning så att kraven på bestämd hållfasthet eller hållfasthetsklass och densitet kan uppfyllas. Redan av frågeställningen och kraven framgår att lättballastbetongen är annorlunda än vanlig betong. Lättballastbetong är mer komplex. Betongens densitet har tillkommit som en ytterligare parameter. Den ingår oftast i kvalitetsbeteckningen för lättballastbetong tillsammans med hållfasthetsklassen.

Förfarandet som här beskrivs för att ta fram en lämplig betongsammansättning för konstruktionslättballastbetong har tillämpats i ett projekt finansierat av BFR <sup>nu BFR</sup> och utfört på uppdrag av Färdig Betong AB vid Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för byggnadsmaterial. Projektledare har varit Bo Carlsson, Färdig Betong AB och vid Institutionen för byggnadsmaterial Satish Chandra.

Proportioneringen är begränsad till lättballastbetong med tät struktur vilket innebär att cementbruk helt skall fylla utrymmet mellan de större ballastkornen. En ytterligare begränsning är att brukets hållfasthet skall vara större än lättballastpartiklarnas hållfasthet. Helst bör brukshållfastheten vara dubbelt så stor som medelkornhållfastheten. I detta arbete har visats att proportioneringsmetoden även kan tillämpas även om kornhållfastheten är större än halva brukshållfastheten. Ursprungligen tillämpades proportioneringsmetoden i en förenklad form i samband med utveckling av 3L-betong, se Berntsson 1982. Proportioneringsmetoder har bl a framlagts av Bache et al. 1976 och ACI 211.2-81, 1990.

Ett allmänt problem vid tillverkning av lättballastbetong är att man är bunden att utnyttja de fåtal lättballastmaterial som finns på marknaden. Det betyder att man även kan bli begränsad vid valet av hållfasthetsklasser särskilt med hänsyn till ekonomin. Det är i allmänhet kostbart att höja cementpastans hållfasthet för att kompensera låg hållfasthet hos lättballastmaterialet.

Ett stort tack riktas till de som under alla år aktivt stött vidareutvecklingen och bidragit till användningen av lättballastbetong. Särskilt högt uppskattar jag samarbetet med Bengt Hedberg.

Göteborg i oktober 1993

Leif Berntsson

## SAMMANFATTNING

Rapporten presenterar ett förfarande med syfte att bestämma preliminära recept för tillverkning av lättballastbetong med kompakt struktur för konstruktionsändamål huvudsakligen i hållfasthetsklasserna från K25 upp till K40 med och utan luft. Emellertid har proportioneringsmetoden visat sig vara tillämpbar för tryckhållfastheter inom området 12 - 90 MPa såväl med som utan luft.

För lättballastbetong är densiteten en betydelsefull egenskap som normalt ingår i kraven på betongen förutom den självskrivna hållfastheten. Proportioneringen baseras på att betongens tryckhållfasthet bestäms av både brukets och lättballastens hållfasthet samt deras respektive volymer i betongen. Hållfastheterna för bruk och lättballast beräknas med användning av enkla empiriska samband. Dessa samband har begränsat giltighetsområde men är ändå tillräckliga för att täcka de vanligaste betongkvaliteterna. För att förstärka stabiliteten hos den färska betongen och minska risken för separation av lättballastpartiklar vid transport och vibrering har införts vissa begränsningar i partikelsammansättningen hos ballasten. En modifierad Fuller-kurva har visat sig kunna tillämpas för partikelsammansättning av det totala ballastmaterialet.

Flera av de nu existerande och normerade provningsmetoder gäller inte för lättballast eller för lättballastbetong. Av den anledningen har framtagits några provningsmetoder för att användas tills motsvarande har fastställts som standard.

För att förtydliga proportioneringsförfarandet har några recept tagits fram för lättballastbetong i olika hållfasthetsklasser. Samtliga delmaterial har direkt motsvarighet i verkligheten. Exempelen innehåller vissa resonemang vid val såsom av optimal lättballast med avseende på både betongens hållfasthet och densitet. Beräkningsexemplen innehåller även en del information av praktisk art och råd som erfarenhetsmässigt erhållits vid betongtillverkning under laboratoriebetingelser och i industriell skala.

Som vid all betongtillverkning och i synnerhet lättballastbetong kan man knappast undgå att då och då justera sammansättningen. Ändringar kan i praktiken knappast undvikas vid förprovningen. Proportioneringsmetoden har den fördelen att man på ett snabbt och överskådligt sätt kan se resultatet av en genomförd ändring av såväl material som betongsammansättning.

Proportioneringen i allmänhet kan inte betraktas som avslutad förrän provblandning och förprovning utförts. Resultaten skall därvid entydigt visa att den lättballastbetong som beskrivs i receptet uppfyller samtliga ställda krav.

## ABSTRACT

This report presents a method of designing concrete mixes for producing structural lightweight aggregate concrete with dense structure and with compressive strength between 10 and 90 MPa with and without entrained air. The mix design is based upon results from laboratory tests and field experience during many years.

The density of lightweight aggregate concrete is an important property which is closely connected in most cases to its strength and which is used for identification of different concrete classes. The mix design is based on the assumption that the strength of the concrete is developed by mutual interaction of mortar and lightweight aggregates. The strengths of mortar and lightweight aggregates are calculated using empirical formulas. These have restricted validity but are sufficient to cover most of the used concrete types. To strengthen the stability of the fresh concrete and to reduce the risk of segregation of the aggregate particles during transportation and vibration, requirements for the grading of lightweight aggregate have been introduced. In this respect a modified Fuller's grading curve seems to be adequate for the grading of the total aggregate.

Most of the existing standardized test methods, such as tests of particle and bulk density of lightweight aggregate as well as density and consistency of fresh concrete, are not valid for lightweight aggregate and lightweight aggregate concrete. Therefore, some test methods have been described and could be used until methods have been standardized.

The mix design principle described in this report is basic and does not provide the final recipe. Initial trial mix or mixes are to be performed with the available materials to check the proportioning. Changes in the properties of the concrete materials have a direct influence on the mix proportions. The final recipe obtained from the mix design procedure is to be confirmed after premixing and pretesting of the concrete.

**Keywords:** Concrete mix design  
high strength lightweight aggregate concrete  
lightweight aggregate concrete  
structural lightweight aggregate concrete

## 1. ALLMÄNT

Målet med proportionering av betong i allmänhet är att på något sätt komma fram till ett recept där de olika delmaterialmängderna framgår. Proportionering av betong är egentligen ett kompromissförfarande med ingredienserna delmaterialegenskaper, packningsmetoder, krav på den färska och hårdnade betongen samt ekonomi. En optimal sammansättning för den färska betongen med avseende på reologiska egenskaper såsom konsistens, arbetbarhet och stabilitet, är inte densamma som optimal sammansättning med avseende på egenskaper i hårdnat tillstånd, exempelvis hållfasthet, klimatbeständighet, slitstyrka, krympning och krypning. En oeftergivlig förutsättning är att betongen kan kompakteras och få en i alla riktningar homogen struktur. Dessutom skall armeringen omslutas av betong och ytterytorna bli så porfria som möjligt. Kompaktering är därför en viktig del inom produktionstekniken och är oftast bestämmande för om en betong kan gjutas eller ej.

Att jämföra storleken av enbart en betongs tryckhållfasthet utan att samtidigt ange ytterligare betingelser är en ofullständig information. Sannolikheten att någon eventuellt intresserad avnämare gör en felbedömning är ganska stor. Karakterisering av betong bör vara så utförlig att en överslagsmässig jämförelse med redan kända resultat eller med erfarenhetsvärden kan göras.

Innan man kan börja att sammansätta betong måste förutsättningarna för betongen i helhet vara klarlagda. Detta betyder dels att krav på betongens egenskaper skall vara bestämda, dels att man har tillräcklig information om de material som står till förfogande, dvs betydelsefulla egenskaper hos delmaterialen skall vara kända. Ett enkelt exempel kan lyda som följer: Man skall tillverka betong av hållfasthetsklassen K30, använda standard portlandscement, gjutgrus av naturmaterial med finhetsmodul 3,5 och makadam i fraktionerna 8-12 och 12-16 mm. Konsistensen skall vara lättflytande. Exemplet gäller normalbetong.

Uppgiften att tillverka lättballastbetong kan formuleras på liknande sätt med den skillnaden att man behöver fler materialuppgifter för delmaterialen. Uppgiften kan lyda: Sammansätt en lättballastbetong som uppfyller hållfasthetsklassen K25 med densiteten högst  $1700 \text{ kg/m}^3$ . Konsistensen skall motsvara sättmättet 80 - 100 mm. Till förfogande står standard portlandscement, gjutgrus med känd siktcurva, lättballast av expanderad lera, fraktion 2 - 4 mm med skrymdensitet  $450 \text{ kg/m}^3$  och fraktion 4 - 8 mm med skrymdensitet  $350 \text{ kg/m}^3$ . Plasticerande tillsatsmedel får användas för att uppnå avsedd konsistens och god gjutbarhet.

Svenska betongbestämmelser, BBK 79, utgåva 2, har angivits hållfasthetsklasser från K16 till K80 för såväl vanlig betong som lättballastbetong. Dessutom finns klasserna K8 och K12 för enbart lättballastbetong. I förslag till EN-norm, Eurocode 2, har lättballastbetong enligt EN 206 klassiferats i

densitetsklasser från 1,0 till 2,0. 1,0 betyder att den ugnstorkade betongens densitet skall ligga inom området 901 -1000 kg/m<sup>3</sup> och 2,0 inom området 1801 - 2000 kg/m<sup>3</sup>. Mellanliggande densitetsklasser är fem med differensen 0,2. För beräkning av en konstruktions egenvikt anges även den densitet som skall användas inom varje densitetsklass. För densitetsklassen 1,0 skall användas densiteten 1050 kg/m<sup>3</sup> och för 2,0 densiteten 2050 kg/m<sup>3</sup> osv. På liknande sätt har lättballastbetongen i samma norm indelats i olika hållfasthetsklasser för dimensioneringsberäkningar. En hållfasthetsklass har tilldelats ett karakteristiskt tryckhållfasthetsvärde,  $f_{ck}$ . Lägsta hållfasthetsklass benämnes LC 12/15 med  $f_{ck} = 12$  MPa (N/mm<sup>2</sup>) och högsta benämnes LC 50/60 med  $f_{ck} = 50$  MPa.

I BBK 79, 7.3.5, anges krav på densitet. Kravet anses vara uppfyllt om medelvärdet av tre provkroppar vid normaltidsålder, 28 dygn, inte överstiger fordrat värde eller understiger detsamma med mer än 150 kg/m<sup>3</sup>. Det betyder att betongens densitet bestäms på normallagrade hållfasthetsprovkroppar efter 28 dygn. I nämnda kapitel nämnes även storleken på avvikelser för enskilt prov. I exemplet ovan är således kravet uppfyllt om betongens densitet ligger inom 1550 - 1700 kg/m<sup>3</sup>. Ett råd bör vara att ange ett högt fordrat värde och proportionera för ett lägre, exempelvis 1650 kg/m<sup>3</sup>.

Eftersom lättballastkornen innehåller vatten vars mängd varierar ibland avsevärt, kommer betongens densitet att ändras i motsvarande grad. Det är därför viktigt att känna till betongens densitet i uttorkat tillstånd. Motivet till detta är bl a att man får minskad spridning hos det samband som beskriver förhållandet mellan densitet och tryckhållfasthet. Vidare behöver man torrdensiteten vid kontroll och justering av betongsammansättningen och vid beräkning av fuktbalansen i betongen. Vid tillämpning av vissa normer måste man känna till den torra betongens densitet såsom vid beräkning av en del egenskaper utgående från betongens tryckhållfasthet, exempelvis karakteristisk draghållfasthet.

En betydelsefull skillnad mellan vanlig betong och lättballastbetong är att lättballastkornen har mindre densitet än cementbruket. Ballastpartiklarna har en flytkraft i den färska betongen. Separation av lättballastkorn ger inhomogen betong. Cementbruk samlas i botten på betongmassan och lättballastkorn stiger upp till överytan. Separationen av lättballastkorn kan undvikas genom att välja en lämplig kornfördelning i ballasten eller använda styvare betongkonsistens.

Betongreceptet skall betraktas som ett förslag för att uppnå fordrade egenskaper. Med receptet som grund skall nästan alltid företas en provblandning och förprovning. Vid provblandningen bestäms den färska betongens densitet och konsistens. Lättballastmaterialet som är vattensugande kommer att orsaka en förstyvning av betongkonsistensen med tiden. Vattensugningen är olika för olika lättballastmaterial och varierar såväl med vatteninnehållet i lättballastkornen, dvs med fuktkvoten, som med porositeten. Sambandet mellan konsistens och lagringstid eller tiden som förflutit efter blandningen bör därför bestämmas.

Bestämning av den färska betongens densitet är den viktigaste provningen av färsk betong såväl vid förprovning som under kontinuerlig produktion. Konsistens kan man möjligtvis bedöma visuellt efter erfarenhet men att på samma sätt bedöma densitet är omöjligt. Både vid förprovning och fortlöpande tillverkning skall alltid densitetsbestämning utföras, lämpligen med den metod som finns beskriven i punkt 3.2. Provtätheten kan bedömas från fall till fall. Storleken på densiteten avgör om betongreceptet behöver korrigeras. Ändring av densiteten antyder att någon förändring inträffat, exempelvis att lättballastmaterialets volym eller densitet har ändrats. I varje fall skall man bedöma vilken åtgärd som är befogad att vidta.

Den vanligaste variationen hos betongens densitet förorsakas av ändring i lättballastens densitet och fuktkvot dvs vatteninnehåll. För att minska variationerna rekommenderas att lättballasten sättes till blandaren efter volym. Då undviker man att få alltför stor avvikelse från den önskade partikelvolymen. Däremot kommer betongens densitet i stället att ändras. Vid många blandaranläggningar kan lättballasten endast tillsättas efter vikt.

## 2. PROPORTIONERINGSFÖRFARANDE

### 2.1 Krav vid proportionering

Betong i allmänhet kan sammansättas med avseende på användningsområde, egenskaper eller bådadera. Som konstruktionsmaterial skall betong sammansättas med avseende på tryckhållfasthet. Föreskrifter och allmänna råd finns i betongbestämmelserna, BBK 79. Krav i föreskrifterna skall uppfyllas om inga andra speciella skäl föreligger. Andra krav på egenskaper än hållfasthet kan tillkomma. Det kan vara krav på frostbeständighet, slitmotstånd, vattentäthet mm. Då det ibland saknas provningsmetoder och det inte är möjligt att kvantifiera egenskaper, har man möjligheten att i stället tillämpa ställföreträdande krav. De kan vara begränsning av vattencementtalet, att betongen skall innehålla en bestämd lufthalt efter luftinblandning eller att total alkalihalt får högst vara 0,6 % av bindemedelsmängden.

För inomhusbetong med bärande funktion är hållfasthet och densitet oftast tillräckliga krav. Utomhusbetong som utsätts för klimatpåverkan eller annan nedbrytning under funktionstiden kan tilldelas krav på minsta tekniska "livslängd". Sådan betong kommer sannolikt att ges annan betongsammansättning. Även valet av delmaterial kommer att påverkas. Krav på salt-frostbeständighet och krav på minsta tid innan korrosion börjar uppträda på armeringen är numera självskrivna.

### 2.2 Principer för proportioneringsförfarande

I ett antal punkter nedan ges det principiella tillvägagångssättet att sammansätta recept för konstruktionslätballastbetong med tät struktur.

#### *a. Krav på betongen*

Kraven kan tillhöra konstruktionsförutsättningar eller omfatta allmänna eller speciella egenskaper. Man bör kontrollera att samtliga uppgifter finns som skall beskriva kraven på betongen såsom hållfasthetsklass, skrymdensitet, vattencementtal och lufthalt och att kraven är rimliga.

#### *b. Betongens delmaterial*

Uppgifter om ingående delmaterials egenskaper sammanställs på överskådligt sätt. Följande provningar skall alltid utföras:

- Fuktkvotsbestämning på samtliga ballastmaterial
- Siktanalys efter de olika partiklarnas volym
- Korndensitets- och skrymdensitetsbestämning för lätballast

Densitetsbestämningar behöver normalt endast utföras på lätballast. Det är tillräckligt att bestämma skrymdensitet och fuktkvot vid fortlöpande provning. Ändras materialet väsent-

ligt skall även korndensitet bestämmas. Beräkna kvoten mellan skrym- och korndensiteten, ibland benämnt  $k$ -värdet.

*c. Sammansatt ballastkurva*

Konstruera en kontinuerlig kornfördelningskurva efter partikelvolym. Här kommer partikeldensiteterna för de olika kornstorlekarna att användas. Det betyder att korndensiteten skall bestämmas för varje fraktion, dvs bestämmas på det material som stannar på samtliga siktar vid siktproceduren.

En Fuller-kurva, dock i något modifierad form, har visat sig vara lämplig att beskriva en kontinuerlig partikelfördelning för det totala ballastmaterialet i betongen. Kurvan beskrivs med formeln:

$$p = (d/D)^n \quad (1)$$

där  $p$  är passerande andel genom sikt med maskvidden  $d$  mm  
 $D$  är största kornstorleken i materialet och  
 $n$  erhålles i tabell 1.

Tabell 1

| Sikt mm  | $n$  |
|----------|------|
| 0,125    | 0,70 |
| 0,25     | 0,65 |
| 0,5      | 0,60 |
| 1        | 0,55 |
| $\geq 2$ | 0,50 |

*d. Medelkorndensitet och partikelhållfasthet*

Bestäm medelkorndensiteten för lättballasten. Medelvärde på partikelhållfastheten för lättballasten kan beräknas enligt en empirisk formel (6). I vissa fall såsom för okända ballastmaterial bör man med försök bestämma de för lättballasten relevanta koefficienterna i formeln.

*e. Brukets hållfasthet*

Betongens hållfasthet bestäms av brukets volymandel och hållfasthet i betongen samt av lättballastens hållfasthet. Sambandet mellan hållfastheter och volymandelar är logaritmiskt och kan lättfattligt åskådliggöras och ändringar följas i en lämpligt konstruerad graf, figur 1. För lättballastmaterial med partikelstorlek från 2 till 12 mm utan partikelsprång kan lättballastvolymen väljas mellan 30 och 40 % av betongvolymen. 35 % är ett lämpligt begynnelsevärde för första beräkningen vid proportioneringen. Vattencementtalet beräknas

varvid man utgår från erforderlig hållfasthet hos cementbruket, se formel (8). Även brukets densitet behövs för proportioneringen.

*f. Volym cementpasta och cementmängd*

Volymen av cementpasta eller bindemedelspasta bör väljas inom området 0,28 - 0,34 m<sup>3</sup> per m<sup>3</sup> betong. Storleken beror bl a på hållfastheten hos bruket utan lufttillsats. Cementmängden kan beräknas då volymen cementpasta och vattencementtalet är kända.

*g. Konsistens*

Betongens konsistens väljes med hänsyn till transport, gjutningssätt, konstruktionens utformning osv. Konsistensen beror huvudsakligen på cementpastavolym och cementpastans reologiska egenskaper. Förutom lättballasttyp, fukthinnehåll och temperatur inverkar även mängd och typ av tillsatsmedel på betongens konsistensändring med tiden. Dispergerande tillsatsmedel, typ flytmedel, användes numera för att reducera vattencementtalet och minska viskositeten hos cementpastan. För lättballastbetong lämpar sig utbredningsmått och sättmått som praktisk provningsmetod. Vid provningen mätes konsistensen vid olika tidpunkter räknat från den tidpunkt vatten tillsattes i blandaren. Normalt räcker det med provningstid på en och en halv timma. Man bör sträva efter att mäta konsistensen vid samma tidpunkt vid fortloppande tillverkning, exempelvis 10 minuter efter tömning av blandaren. Konsistensens ändring med tiden är viktig att känna till och betongtemperaturen skall alltid anges.

*h. Preliminärt recept*

Betongens delmaterial sammanställs och anges i såväl vikt som volym för 1 m<sup>3</sup> kompakterad betong. Skrymvolymerna hos lättballastmaterialen skall även anges i receptet i de fall då de tillsättes efter volym.

*i. Provblandning*

En provblandning görs efter det preliminära receptet. Densitet och konsistens provas. Avviker densiteten för mycket från det förutberäknade värdet, exempelvis  $\pm 30$  kg/m<sup>3</sup>, skall man först söka orsaken och därefter korrigera betongsammansättningen. Ny provblandning görs tills man kan acceptera det nya värdet på densiteten. Samtidigt utföres provning av konsistensen. Avvikelse från det önskade värdet föranleder därför ändring i receptet. Styv betong ges lösare konsistens genom att tillsätta plasticerande tillsatsmedel. Har man lyckats att nå acceptabel densitet men inte acceptabel konsistens måste man antingen ändra på sammansättningen eller byta ballastmaterial. Andra möjligheter är att utprova olika typer, kombinationer och mängder tillsatsmedel. Det är inte alltid

man kan uppfylla samtliga krav. Man har i sådana fall inte lyckats lösa proportioneringsuppgiften med tillgängliga betongdelmaterial.

*j. Slutligt recept*

Densitet och hållfasthet bestämmes på kuber eller cylindrar, efter normenlig lagring vid åldern 28 dygn. De tryckprovade provkropparna torkas till jämvikt i 105 °C varefter den uttorkade betongens densitet beräknas. Avsluta helst med en analys av betongens sammansättning baserat på torrdensiteten. Tre olika densiteter för lättballastbetongen kommer att erhållas, nämligen densitet för färsk betong, för normlagrad betong och för uttorkad betong. Först efter 28 dygn kan man avgöra om man lyckats uppfylla samtliga ställda krav på betongen. Enligt betongbestämmelserna gäller endast värdet på densiteten efter normallagring vid 28 dygn.

### 3. PROVNINGSFÖRFARANDE

#### 3.1 Provning av delmaterial

Provningsmetoder väljes i första hand bland de som finns normerade, såsom Svensk standard, Nordtest m fl. Så småningom kommer EN-normer (Europannormer) att utges. Här nedan beskrives metoder som speciellt är anpassade för provning av lättballast.

##### 3.1.1 Korndensitet

Korndensiteten hos lättballasten kan bestämmas på olika sätt. Här återges två förfarande som beskrives i DIN 4226.

Provmängden är beroende av materialets densitet, följande mängder väljes:

|               |                         |               |
|---------------|-------------------------|---------------|
| Skrymdensitet | < 800 kg/m <sup>3</sup> | omkring 150 g |
| "             | 800 - 1000 "            | " 300 "       |
| "             | > 1200 "                | " 500 "       |

Provmaterialet uttas från ett större parti som torkas till jämvikt i 105 °C. Provtagning skall följa SS 13 21 02 punkt 4 och 5. Viktnoggrannhet för provmängden skall vara 1 gram. Efter vägning sker avsvälning till rumstemperatur innan fortsatt provning företas. Fyll en mätcylinder som rymmer 1000 cm<sup>3</sup> med vatten till 500 cm<sup>3</sup> - märket. Därefter kan väljas något av de två följande förfarande.

##### *Förfarande 1*

Lägg det uppvägda provmaterialet i vatten under 1/2 timme. Vattenfilmen på ballastkornens yta avtorkas genom att gnugga kornen mellan linnedukar eller liknande vattenabsorberande material. Torkning med varmluftfläkt (hårtork) är även möjlig. Håll därefter materialet i mätcylindern och se till att luftblåsor avlägsnas genom knackning på mätcylindern. Ballastkorn som har mindre densitet än vattnet kommer att flyta upp till ytan. Kornen hålles under vattenytan med en tunn plan skiva fäst i ena änden på en stång. Korndensiteten beräknas enligt:

$$\rho = G \cdot 1000 / [V - (V_s + 500)] \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2)$$

där  $G$  är vikten av torra ballastkorn (g)

$V$  är avläst totalvolym vid provningen (cm<sup>3</sup>)

$V_s$  är skivans volym (cm<sup>3</sup>)

## Förfarande 2

Det uppvägda, torkade och avsvalnade materialet sprejas med någon lämplig vattenavvisande vätska såsom lacknafta, dilutin eller cyklohexan. Därefter hälls materialet i mätcylindern. Fortsätt för övrigt som beskrivs i Förfarande 1 ovan.

Tre provningar skall utföras. Medelvärdet redovisas med angivande på 10 kg/m<sup>3</sup> när (ex. 870 kg/m<sup>3</sup>). Destillerat, avluftat vatten, dvs vatten utan luftblåsor (kokt), har följande densitet:

Tabell 2

| T (°C) | Densitet (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------|-------------------------------|
| 15     | 999.0                         |
| 20     | 998.2                         |
| 25     | 997.0                         |

### 3.1.2 Skrymdensitet

Skrymdensiteten hos lättballast kan bestämmas såväl på det icke förtorkade som på det uttorkade materialet. Bestämmas skrymdensiteten på fuktigt material skall även fuktkvoten bestämmas på samma material. Provningen skall ske enligt följande:

Ett mätkärl vars volym är minst 5 dm<sup>3</sup> skall användas. Mätkärllet skall kalibreras med avseende på vikt och volym. Kärlet fylles med ballast utan att omskakas. Ballasten får inte utsättas för någon slags packningspåverkan under mätförfarandet.

Ballast fylles i en hink eller liknande behållare som minst rymmer 10 dm<sup>3</sup>. Innehållet i hinken hålls i mätkärllet tills att råge uppstår. Avståndet mellan mätkärllets överkant och hinken ur vilken ballasten hålls bör vara omkring 20 cm. Avstrykning göres en gång med en rätskiva. Det fyllda mätkärllet väges och skrymdensiteten beräknas enligt:

$$\gamma = (M - m) \cdot 1000/V \quad (\text{kg/m}^3) \quad (3)$$

där  $M$  är vikten av mätkärl fyllt med provmaterial (kg)

$m$  är mätkärllets vikt (kg)

$V$  är mätkärllets volym (dm<sup>3</sup>)

Tre provningar skall utföras och medelvärdet redovisas.

Sker provningen på icke torkat material, uttas prov för torkning i ugn i 105 °C tills jämvikt inträtt. Fuktkvoten skall alltid anges i samband med skrymdensiteten.

### 3.1.3 Fuktkvot och siktkurvor

Fuktkvoten rekommenderas att bestämmas enligt SS 13 21 22 och siktkurvor enligt SS 13 21 23. Båda metoderna är avsedda för bergartsballast men bör även kunna användas för lättballast. För att konstruera siktkurvorna med avseende på partikelvolym behövs korndensiteterna hos för de olika kornstorlekarna. Bestämningen sker enligt 3.1.1.

## 3.2 Provning av färsk betong

### 3.2.1 Skrymdensitet

Den färska betongens skrymdensitet bestämmas enligt följande förfarande:

En behållare med vikten  $m_1$  och volymen  $V$  med noggrannhet inom  $\pm 0,1\%$  skall användas. Behållarens volym skall vara minst  $5 \text{ dm}^3$ .

Betongen fylls i behållaren i två lager och varje lager packas på vibrobord, exempelvis vebe-bord, under maximalt 10 sekunder. Bordets frekvens skall högst vara 50 Hz. Överytan avjämnas jäms behållarens överkant. Behållarens utsida rengöres och det hela vägs, vikt  $m_2$ . Skrymdensiteten beräknas enligt följande uttryck:

$$\gamma = (m_1 - m_2)/V \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4)$$

Resultatet anges med heltalssiffran avrundad till 0.

### 3.2.2 Konsistens

Konsistensen kan bestämmas med sättmått enligt SS 13 71 21 eller utbredningsmått enligt SS 13 71 23. I beskrivningen för de båda metoderna noteras att de inte är avsedda att användas när betongen helt eller delvis består av lättballast. Erfarenheten har dock visat att de lättballastbetonger som här avses, dvs de som har tät struktur och har ungefär lättflytande konsistens, kan provas med de nämnda metoderna såväl i laboratorium som fält.

Utbredningsmättet kan även användas för att bedöma den färska betongens sammanhållning. Betongen anses ha god sammanhållning om inte grövre ballastkorn eller klumpar lossnat från betongen efter provningen. Sammanhållning är särskilt viktig för lättballastbetong.

## 3.3 Provning av hårdnad betong, densitet och tryckhållfasthet

Betongens densitet bestämmas på de provkroppar, kuber med 15 cm sida, som är avsedda för hållfasthetsprovning. Normaltidsprovet som utföres vid 28 dygns ålder, innefattar bestämning av tryckhållfastheten enligt

SS 13 72 10. I denna standard beskrivs hela förfarandet för kubhållfasthet såsom gjutning och härdning. Efter provningen skall en del kuber torkas i luftad ugn vid 105 °C tills jämvikt inträtt. Den torkade betongens densitet beräknas. I samband med förprovningen skall samtliga kuber torkas för att erhålla den uttorkade betongens skrymdensitet. Vid fortlöpande provning bestäms hur stor andel av de provade kuberna som skall torkas.

## 4. PROPORTIONERINGSEXEMPEL

Här avses att belysa med ett antal exempel hur man kan sammansätta några olika lättballastbetonger för given hållfasthetsklass. Det förekommer även fall med ytterligare krav, såsom att inte överskrida en övre gräns för betongens densitet.

### 4.1 Egenskaper, delmaterialens andelar och samband

#### 1. Erforderligt medelvärde för betongens tryckhållfasthet

Medelvärde för tryckhållfastheten med avsikt att uppnå ett visst fordrat värde,  $f_K$ , vid fortlöpande provning anges i BBK 79 kap. 7.3.3.2 på följande sätt för minst nio prov:

$$m \geq f_K + 1,4 \cdot s \quad (5)$$

där  $m$  är medelvärde för samtliga hållfasthetsvärden  
 $s$  är standardavvikelse för samtliga hållfasthetsvärden, dock minst 1,5 Mpa

Uppskattningsvis kan man anta vid proportionering en variationskoefficient på 10 % för hållfastheten, för densiteten ca 3 %. Andra storlekar kan även användas på variationskoefficienter. (Med standardavvikelse avses variationskoefficienten multiplicerad med medelvärdet.)

#### 2. Lättballastpartiklarnas hållfasthet

För att kunna tillämpa proportioneringsmetoden bör hållfastheten hos det bruk som ingår i betongen helst vara dubbelt så stor som egenhållfastheten hos lättballasten. Lättballastens medeltryckhållfasthet erhålles av uttrycket:

$$f_{lb} = a \cdot 10^{b \cdot \rho / 1000} \quad (6)$$

där  $\rho$  är korndensiteten för torr lättballast i kg/m<sup>3</sup> och  
 $a$  och  $b$  är koefficienter enligt tabell 3.

Tabell 3

| Ballast nr | a    | b                 |
|------------|------|-------------------|
| 1          | 1,52 | 1,14 (1,08, 1,03) |
| 2          | 1,12 | 1,22 (1,16, 1,11) |
| 3          | 1,00 | 1,25 (1,15, 1,14) |
| 4          | 0,89 | 1,28 (1,22, 1,17) |

Anm. Inom parentes för värdet på  $b$  anger första värdet 5 % och andra värdet 10 % fuktkvot i lättballasten. Värdet på  $a$  påverkas obetydligt av fuktkvoten. Ballast nr 1 motsvarar Liapor 5,6 och 8 och nr 3 svensk Leca.

Olika typer lättballast, syntetiska och naturliga, har olika samband mellan partikelhållfasthet och partikeldensitet. Det finns speciella metoder med vilka man kan bestämma någon slags tryckhållfasthet hos enskilda partiklar eller flera samtidigt. Eftersom lättballastkornen skall verka i betong, rekommenderas den metod som baseras på föreliggande proportioneringsförfarande. Man bestämmer lättballastens hållfasthet i betongen genom ett enkelt analysförfarande. Resultat från densitets- och hållfasthetsprovningar utnyttjas för att bestämma koefficienterna  $a$  och  $b$  i formel (6). Varierar densiteten hos såväl lättballast som betong för ett och samma lättballastmaterial tycks formel (6) ge acceptabel noggrannhet.

Sambandet mellan brukets hållfasthet, lättballastkornens hållfasthet, betongens hållfasthet och volymandelen lättballast i betongen uttryckes med följande formel:

$$\log f_B = (\log f_{btg} - v_{lb} \cdot \log f_{lb}) / (1 - v_{lb}) \quad (7)$$

där  $f_B$  är brukets hållfasthet

$f_{btg}$  är betongens hållfasthet

$f_{lb}$  är lättballastens hållfasthet

$v_{lb}$  är volymandelen lättballast i betongen

### 3. Brukets tryckhållfasthet

Brukets hållfasthet bestäms med nedanstående uttryck. Naturligt sand- och grusmaterial samt standard portlandscement förutsättes användas. Be tryckhållfastheter som avses är närmast att jämföra med de som erhålles vid provning av bruk med standardkuber dvs kuber med sidorna 15 cm. Man skall således inte direkt använda tryckhållfastheter från provning av bruk med prismor av storleken 40 x 40 x 160 mm. Hållfasthetsprovning av bruksprismor med denna storlek utnyttjas vid standardprovning av cement och beskrivs i Statliga cementbestämmelser, utgåva 1982.

$$f_B = A \cdot 10^{-B \cdot vct} \quad (8)$$

där  $A$  och  $B$  är koefficienter som bestämmes experimentellt

Med  $A = 140$  och  $B = 0,87$  (svensk standard portlandscement vid 28 dygn och  $vct$  eller  $vbt > 0,30$ ) erhålles

$$f_B = 140 \cdot 10^{-0,87 \cdot vct}$$

eller

$$vct = \log (140/f_B) / 0,87 \quad (8a)$$

Då  $vbt \ 0,20 < vbt(vct) < 0,25$  användes formeln

$$f_B = 160 \cdot 10^{-0,87 \cdot vct} \quad (8b)$$

För  $vct$  mellan 0,25 och 0,30 kan  $A$  väljas efter interpolation.

Definitionsmässigt är vattencementtalet

$$vct = W \cdot 10^3 / C$$

där  $W$  är vattenhalten i  $\text{m}^3/\text{m}^3$  och  
 $C$  är cementhalt i  $\text{kg}/\text{m}^3$

Formlerna gäller för normalsand, ej för lättballastsand. Vidare bör form-  
lerna endast användas då  $vct < 0,8$  och för svenskt portlandscement.

För lufttillsatt betong användes formeln:

$$vlct = \log (176/f_B) \quad (8c)$$

Lufthalten i bruket skall motsvara högst 10 % luft i betongen.

Vattenluftcementtalet definieras som

$$vlct = (W + V_l) \cdot 10^3 / C$$

där  $V_l$  är lufthalten i  $\text{m}^3/\text{m}^3$

#### 4. Volym cementpasta

Volymen cementpasta i betongen beror bl a av hur stor brukets hållfasthet  
är. Baserat på erfarenhet kan i första beräkningsomgången tillämpas de  
värden som redovisas i tabell 4. De avser gälla för bruk i betong utan  
lufttillsats. Mellanliggande värden beräknas genom interpolation.

Tabell 4

Brukets tryckhållfasthet och volymen pasta.

| Brukets hållfasthet<br>$f_B$ Mpa | Volym pasta<br>$v_p$ |
|----------------------------------|----------------------|
| 40                               | 0,28                 |
| 80                               | 0,34                 |

#### 5. Cementmängd

Cementmängden beräknas enligt formeln:

$$C = 1000 \cdot v_p / (0,31 + vct) \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (9)$$

där  $v_p$  är volymandel pasta i betongen

## 6. Sand- eller grusmängd

Mängden sand eller grus efter volym beräknas med formeln:

$$v_{sg} = 1 - (v_p + v_{lb} + v_l) \quad (10)$$

där  $v_l$  är volymen luft i betongen, vanligen sättes den till 2 % av betongvolymen. För lufttillsatt betong användes det fordrade värdet på lufthalten.

## 7. Betongens densitet

Densiteten för betongen kan antingen erhållas genom att summera delmaterialmassorna eller beräknas med formeln:

$$\gamma_{btg} = v_{lb} \cdot \gamma_{lb} + \gamma_B \cdot (1 - v_{lb}) \quad (11)$$

där  $\gamma_{btg}$  är betongens skrymdensitet  
 $\gamma_{lb}$  är lättballastens medelkorndensitet  
 $\gamma_B$  är brukets skrymdensitet

## 4.2 Beräkningsexempel

### 4.2.1 Exempel 1 - Proportionering av K25

*Uppgift:*

Sammansätt en lättballastbetong med hållfasthetsklassen K25. Det är önskvärt att betongens densitet ligger omkring  $1650 \text{ kg/m}^3$  vid normaltidsprovning. Lättballasten som står till förfogande är av typen sintrad lera. För fraktionen 2-6 mm är medelkorndensiteten  $840 \text{ kg/m}^3$ , skrymdensiteten  $460 \text{ kg/m}^3$ , för fraktionen 4-10 mm är medelkorndensiteten  $580 \text{ kg/m}^3$ , skrymdensiteten  $320 \text{ kg/m}^3$ . Dessa värden gäller för torra material.

*Lösning:*

#### 1. Erforderlig tryckhållfasthet

Medelvärde på tryckhållfastheten beräknas med formel (5):

$$m \geq 25 + 1,4 \cdot 0,1 \cdot m$$
$$m \geq 29 \text{ Mpa}$$

#### 2. Lättballastens korndensitet

Beräkna medelkorndensiteten för lättballastmaterialet. Anta att hälften av varje fraktion användes. Korndensiteten blir då  $(840 + 580)/2 = 710 \text{ kg/m}^3$ .

### 3. *Lättballastens kornhållfasthet*

Egenhållfastheten för lättballasten blir enligt formel (6) med  $a = 1,00$  och  $b = 1,25$  (ballast nr 3):

$$f_{lb} = 1,00 \cdot 10^{1,25 \cdot 710 / 1000} = 7,7 \text{ MPa}$$

### 4. *Erforderlig cementbrukshållfasthet*

Använd formel (7) för att beräkna brukets tryckhållfasthet. Volymandelen lättballast,  $v_{lb}$ , väljes till 0,36.

$$\log f_B = (\log 29 - 0,36 \cdot \log 7,7) / (1 - 0,36) = 1,79$$

Brukets hållfasthet  $f_B$  blir 61 MPa.

### 5. *Vattencementtal*

Vattencementtalet beräknas med formel (8a).

$$v_{ct} = \log [(140/59)] / 0,87 = 0,41$$

### 6. *Volym cementpasta*

Volymen cementpasta erhålles efter interpolation i tabell 4,  $v_p = 0,31$ .

### 7. *Cementmängd*

Cementmängden beräknas med formeln (9)

$$C = 1000 \cdot 0,31 / (0,31 + 0,41) = 430 \text{ kg/m}^3$$

### 8. *Sand- eller grusmängd*

Volymen sand eller grus erhålles enligt (10).

$$v_{sg} = 1 - (0,31 + 0,36 + 0,02) = 0,31$$

$$\text{Massan blir } v_{sg} \cdot \rho_{sg} = 0,31 \cdot 2650 = 822 \text{ kg/m}^3$$

### 9. *Volym eller vikt lättballast*

Två fraktioner användes med hälften av vardera. Detta är ett antagande som tidigare har använts i punkt 2.

2-6 mm, k-värdet är skrymdensitet/korndensitet =  $460/840 = 0,548$

$$\begin{aligned}\text{partikelvolym } (v_{lb}) &= 0,36/2 = 0,180 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ \text{massa} &= 840 \cdot 0,180 = 151 \text{ kg/m}^3 \\ \text{skrymvolym} &= 0,180/0,548 = 0,328 \text{ m}^3/\text{m}^3\end{aligned}$$

4-10 mm, k-värdet =  $320/580 = 0,552$

$$\begin{aligned}\text{partikelvolym } (v_{lb}) &= 0,36/2 = 0,180 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ \text{massa} &= 580 \cdot 0,180 = 104 \text{ kg/m}^3 \\ \text{skrymvolym} &= 0,180/0,552 = 0,326 \text{ m}^3/\text{m}^3\end{aligned}$$

#### 10. *Betongens sammansättning*

För 1 m<sup>3</sup> betong och torra material blir sammansättningen:

| Delmaterial         | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|------------|-------------------------|
| Cement              | 430        | 0,134                   |
| Vatten 0,41·430     | 176        | 0,176                   |
| Grus                | 822        | 0,310                   |
| Lättballast 2-6 mm  | 151        | 0,180 (0,328)           |
| Lättballast 4-10 mm | 104        | 0,180 (0,326)           |
| Luft                |            | 0,020                   |

(Värden inom parentes i tabellen avser skrymvolym)

Lättballasten kommer att absorbera vatten i den färska betongen både under blandningsproceduren och efteråt. Vattenuppsugningen resulterar i att betongen blir allt styvare. Detta vatten skall man ersätta genom att lägga till extra vatten under blandningen. Uppskattningsvis kan behövas en vattenvolym mellan 4 till 6 volymprocent av lättballastpartiklarnas volym. Dessa procenttal gäller vattenabsorption under cirka en timme. I det här exemplet kan 15 liter/m<sup>3</sup> vara en rimlig storlek.

Storleken på vattensugningen kan variera kraftigt beroende på vilken typ av lättballast det gäller. Även initialfuktkvoten påverkar vattensugningen, dock är inverkan ringa vid korttidssugning, 5 á 10 minuter. Ett annat sätt att uppskatta vattensugningen i betong är att mäta fri uppsugning i vatten och reducera detta värde till 70 - 80 %.

**Viktigt!** Vatten som finns i lättballastpartiklarna, antingen detta vatten har räknats till fuktkvoten eller har sugits upp från den färska betongen, inräknas inte i vattencementtalet (vct) eller vattenbindemedelstalet (vbt).

Densiteten av den färska betongen blir summan av vikterna för delmaterialen i receptet. Summan blir  $1692 + 15 = 1707 \text{ kg/m}^3$ . Betongens densitet kan även bestämmas med följande uttryck enligt formel (11):

$$\begin{aligned}
 \gamma_{btg} &= v_{lb} \cdot \gamma_{lb} + (1 - v_{lb}) \cdot \gamma_B = \\
 &= v_{lb} \cdot \gamma_{lb} + \Sigma(\text{cement, vatten, sand}) = \\
 &= 0,36 \cdot 710 + 405 + 174 + 848 = 1683 \text{ kg/m}^3 \\
 &\approx \underline{1680 \text{ kg/m}^3}
 \end{aligned}$$

Under den normenliga lagringen uppstår en viktsförlust genom uttorkning. Viktminskningen kan vara 10 - 30 kg/m<sup>3</sup>. Densiteten vid 28 dygn bör bli ca 1660 kg/m<sup>3</sup>.

Principen för betongsammansättningen kan översiktsmässigt åskådliggöras i ett diagram där tryckhållfastheter har satts som funktion av densiteter, se figur 1. Punkt A representerar lättballasten med korndensitet (710 kg/m<sup>3</sup>) och kornhållfasthet (7,7 MPa) och punkt B representerar bruket med densitet (2231 kg/m<sup>3</sup>) och hållfasthet (61 MPa). Punkt O anger läget för lättballastbetongens densitet (1683 kg/m<sup>3</sup>) och hållfasthet (29 MPa). Läget för O på linjen AB bestäms av volym lättballast resp. volym bruk.

$$AO/AB = v_B = 1 - v_{lb} \text{ och } BO/AB = v_{lb}$$

Linjen AL erhålles av uttrycket (6) för ballast 3 i tabell 3.

Linjen AB:s ekvation är

$$\log f_{btg} = 5,91 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma_{btg} - 0,4668$$

där  $f_{btg}$  är betongens tryckhållfasthet i MPa och  $\gamma_{btg}$  är betongens densitet i kg/m<sup>3</sup>

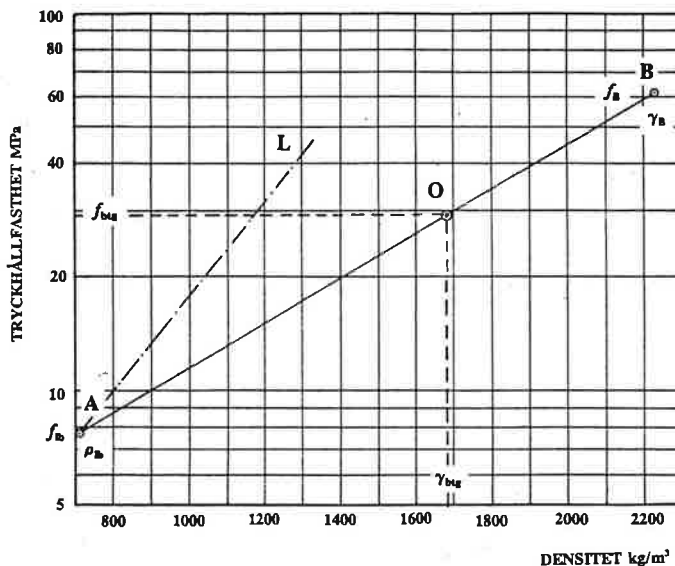


Fig:1 Diagram som beskriver lättballastbetong beskriven i exempel 1. Linje AL anger samband mellan kornhållfasthet och korndensitet för lättballast 3. Densitet och hållfasthet för lättballastbetongens huvudkomponenter representeras av punkt A (lättballast) och punkt B (bruk). Punkt O anger densitet och hållfasthet för lättballastbetong.

## 11. Konsistens

Betongens konsistens regleras med tillsättning av något plasticerande tillsatsmedel (dispergerande), exempelvis flytmedel. I flera fall har man fått särskilt goda resultat genom att kombinera två eller flera plasticerande tillsatsmedel av helt olika ursprung och med olika egenskaper. Användes luftporbildande tillsatsmedel för att bl a säkerställa betongens frostbeständighet kommer luftporsystemet att ge lösare konsistens. 1 % lufthalt kan motsvara ca 5 liter vatten per m<sup>3</sup> med avseende på konsistensen.

Lyckas man inte att uppfylla kraven på konsistens och konsistensens ändring med tiden, kan man bli tvungen att ändra på betongens sammanställning eller byta ut vissa delmaterial. Vid alltför snabb tillstyvnande av betongen kan man exempelvis tillsätta ytterligare en mindre mängd plasticerande tillsatsmedel strax före gjutning. Detta kan vara möjligt om betongen transporteras med roterbil till byggplatsen.

### 4.2.2 Exempel 2 - Proportionering av K30

#### Uppgift:

Proportionera en betong för hållfasthetsklassen K30 och med en skrymdensitet på ca 1700 kg/m<sup>3</sup> vid 28 dygn efter normallagring. Variationskoefficienten för tryckhållfastheten antas till 10 %.

Natursand, naturgrus och tre olika lättballastmaterial står till förfogande. Siktcurvorna har sammanställts i Tabell 5.

#### Tabell 5

##### Siktanalys av ballastmaterial

| PASSERANDE VIKT (sand och grus) resp VOLYM (övriga) % |      |      |        |         |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------|------|------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Sikt mm                                               | Sand | Grus | A(2-6) | A(4-10) | B(1-4) | B(4-8) | C(2-4) | C(4-8) |
| 11,3                                                  | 100  | 100  | 100    | 100     | 100    | 100    | 100    | 100    |
| 8                                                     | 100  | 97   | 100    | 45      | 100    | 100    | 100    | 100    |
| 5,6                                                   | 100  | 93   | 100    | 6       | 100    | 50     | 100    | 45     |
| 4                                                     | 98   | 88   | 70     | 1       | 100    | 9      | 100    | 1      |
| 2                                                     | 92   | 77   | 12     | 0       | 21     | 0      | 20     | 0      |
| 1                                                     | 77   | 61   | 8      | 0       | 8      | 0      | 7      | 0      |
| 0,5                                                   | 44   | 34   | 5      | 0       | 1      | 0      | 1      | 0      |
| 0,25                                                  | 13   | 8    | 4      | 0       | 1      | 0      | 1      | 0      |
| 0,125                                                 | 4    | 2    | 3      | 0       | 1      | 0      | 1      | 0      |

Medeldensiteter, såväl korn- som skrymdensiteter för lättballastmaterial A, B och C, framgår av tabell 6.

Tabell 6

Korn- och skrymdensitet för torra lättballastmaterial

| Lättballast<br>Typ | Korndensitet<br>kg/m <sup>3</sup> | Skrymdensitet<br>kg/m <sup>3</sup> | k-värde |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------|
| A 2-6 mm           | 838                               | 457                                | 0,545   |
| 4-10 mm            | 584                               | 318                                | 0,545   |
| B 1-4 mm           | 968                               | 511                                | 0,528   |
| 4-8 mm             | 897                               | 497                                | 0,544   |
| C 1-4 mm           | 1110                              | 595                                | 0,536   |
| 4-8 mm             | 1052                              | 606                                | 0,576   |

(k-värde är kvoten mellan skrym- och korndensitet)

För bestämning av kornhållfastheterna enligt formel (6) skall vid val av koefficienterna  $a$  och  $b$  i Tabell 3 lättballast typ A räknas som ballast nr 3, lättballast typ B och C som ballast nr 1. Följande erhållas då hälften av vardera lättballastfraktionen baserat på erfarenhet antas användas för varje typ:

Tabell 7

| Lättballast<br>Typ | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | $f_{lb}$<br>MPa | $f_B$<br>MPa |
|--------------------|-----------------------------|-----------------|--------------|
| A                  | 711                         | 7,7             | > 15         |
| B                  | 933                         | 17,6            | > 35         |
| C                  | 1081                        | 26,0            | > 52         |

Valet beträffande andelarna av de två fraktionerna lättballast är en gissning som har visat sig vara lämplig som en första approximation. Om man beräknar kornfördelningen för den totala ballastkurvan kommer det att visa sig om fördelningen kan accepteras. Även vid förprovningen skall bedömas om lättballastmaterialets sammansättning är den bästa. De egenskaper som man bör iakttä är sammanhållning vid konsistensprovning och stabilitet vid transport och vibrering.

Lösning:

Erforderlig medeltryckhållfasthet skall vara enligt (5)

$$m \geq 30 + 1,4 \cdot 0,1 \cdot m$$

$$m = 35 \text{ MPa}$$

Med  $v_{lb} = 0,38$  (volym lättballast, se 2.2 e.) och formel (7) blir bruks-hållfastheten  $f_B = 88$  MPa för lättballast typ A,  $f_B = 53$  MPa för lättballast typ B och  $f_B = 42$  MPa för lättballast typ C. Av dessa tre lättballasttyper tycks typ B vara mest lämpad därför att  $f_B > 2 \cdot f_{lb}$  och att typ A ger en oekonomisk betongsammansättning.

Fraktionen 1-4 mm innehåller 21 % < 2 mm, se tabell 5, vilket betyder att man kan räkna med  $(0,35/2) \cdot 0,21 \approx 0,04$  tillägg till antaget värde 0,35 för volymen lättballast.

Således blir  $v_{lb} = 0,39$ .

Hållfastheten för lättballasten bör bli något mindre då medelkorndensiteten blir något mindre, uppskattningsvis 920 kg/m<sup>3</sup> i stället för 933 kg/m<sup>3</sup>. Beräkningen har skett med värden hämtade ur tabell 6. Nytt värde på lättballastens kornhållfasthet blir 17,0 Mpa.

Formel (7) ger  $f_B = 56$  MPa i stället för 53 MPa.

Vattencementtalet beräknas enligt (8a):

$$v_{ct} = \log [(140/56)]/0,87 = 0,46$$

Volym cementpasta fås från tabell 4,  $v_p = 0,30$

Cementmängden beräknas med formel (9), den blir

$$C = 1000 \cdot 0,30 / (0,31 + 0,46) = 390 \text{ kg/m}^3$$

Volymen sand eller grus erhålles från formel (10):

$$v_{sg} = 1 - (0,30 + 0,39 + 0,02) = 0,29 \text{ m}^3$$

Den totala partikelfördelningen kan nu jämföras med partikelkurvan enligt formel (1). Konstruera den sammansatta siktkurvan med avseende på partikelvolym för grus med volymen 0,29 m<sup>3</sup> och lättballast med volymen 0,39 m<sup>3</sup>. Detta motsvarar 42 volyms-% grus och 58 volyms-% lättballast (29 % av vardera fraktionen). Vid ett försök vars resultat inte visas här kom den sammansatta kurvan att ligga avsevärt under kurvan enligt formel (1). Detta betyder att ballasten innehåller lite finmaterial. Det skulle man på tidigt stadium kunna sluta sig till då man studerar partikelfördelningen för grus i tabell 4. Genom att ersätta en större del av gruset med sand som innehåller mer finmaterial, kan halten partiklar < 0,25 mm öka. Ballastkurvorna visas i figur 2. Volymandelarna för ballasten blir följande:

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Sand                      | 0,28 |
| Grus                      | 0,14 |
| Lättballast typ B, 1-4 mm | 0,29 |
| " , 4-8 mm                | 0,29 |

Man kan i praktiken inte räkna med att få tillgång till sand, grus och lättballast och nå en partikelfördelning som överensstämmer med den sk börkurvan. Man blir tvingad att kompromissa dock utan att göra avkall på gällande krav. Resultat från förblandningen ger svaret på fortsatt ställningstagande.

Den valda sammansättningen av ballasten ovan får siktkurva som visas i figur 2. I siktdiagrammet återges också kornfördelningskurvan enligt formel (1), börkurvan.

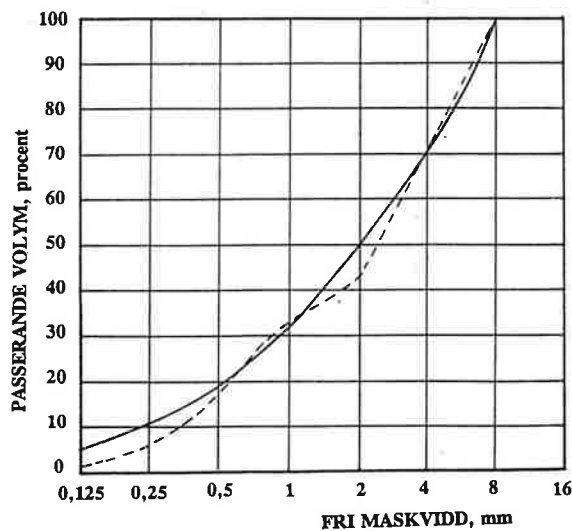


Fig:2 Kornfördelningskurva (streckad) för den totala ballasten i exempel 2. Helt dragen kurva återger modifierad Fuller-kurva, börkurva.

Massa sand och grus blir  $v_{sg} \cdot \rho_{sg} = 0,29 \cdot 2650 = 769 \text{ kg/m}^3$

Sand =  $(0,28/0,42) \cdot 769 = 513 \text{ kg/m}^3$  (0,42 är andelen i totala ballasten)

Grus =  $(0,14/0,42) \cdot 769 = 256 \text{ "}$

Lättballast typ B, 1 - 4 mm

$$\begin{aligned} \text{partikelvolym } (v_{lb}) &= 0,39/2 = 0,195 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ \text{massa} &= 968 \cdot 0,195 = 189 \text{ kg/m}^3 \\ \text{skrymvolym} &= 0,195/0,528 = 0,369 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Lättballast typ B, 4 - 8 mm

$$\begin{aligned} \text{partikelvolym} &= 0,39/2 = 0,195 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ \text{massa} &= 897 \cdot 0,195 = 175 \text{ kg/m}^3 \\ \text{skrymvolym} &= 0,195/0,544 = 0,358 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Betongens sammansättning blir för 1 m<sup>3</sup> :

| Delmaterial         | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------|------------|-------------------------|
| Cement              | 390        | 0,121                   |
| Vatten              | 179        | 0,179                   |
| Sand                | 513        | 0,193                   |
| Grus                | 256        | 0,097                   |
| Lättballast, 1-4 mm | 189        | 0,195 (≈ 0,370)         |
| Lättballast, 4-8 mm | 175        | 0,195 (≈ 0,360)         |
| Luft (2 %)          |            | 0,020                   |

Summan av delmaterialens vikter är 1702 kg/m<sup>3</sup>, vattenabsorptionen i lättballasten 15 och viktsminskningen 20 kg/m<sup>3</sup>, se exempel 1 punkt 10. Betongens densitet blir något mindre än 1700 kg/m<sup>3</sup> vid 28 dygn.

Den uttorkade betongens densitet blir ca  $1702 - 106 \approx 1600$  kg/m<sup>3</sup>.

Uttorkad vattenmängd = Total vattenmängd – kemiskt bundet vatten =  $179 - 0,75 \cdot 0,25 \cdot 390 = 106$  kg/m<sup>3</sup>; 0,75 är antagen hydratationsgrad vid 28 dygn och  $0,25 \cdot 390$  är kemiskt bundet vatten vid fullständig hydratisering av cementet.

#### 4.2.3 Exempel 3 - Proportionering av K40

*Uppgift:*

Sammansätt en lättballastbetong med hållfasthetsklassen K40. Använd lättballast typ C vars egenskaper hämtas från föregående exempel.

*Lösning:*

Erforderlig medeltryckhållfasthet enl. (5)

$$m \geq 40 + 1,4 \cdot 0,1 \cdot m$$

$$m = 46,5 \text{ MPa}$$

För  $v_b = 0,38$  blir brukshållfastheten  $f_B = 68$  MPa enl (7)

$$v_{ct} = \log [(140/68)]/0,87 = 0,36 \text{ enl (8)}$$

Volymen cementpasta  $v_p = 0,32$  enl tabell 4

$$\text{Cementmängd } C = 1000 \cdot 0,32 / (0,31 + 0,36) = 468 \text{ kg/m}^3$$

Då cementmängden överstiger 450 kg/m<sup>3</sup> bör man överväga möjligheten att tillsätta mikrosilika. Vattencementtalet ( $v_{ct}$ ) och vattenbindemedels-

talet ( $v_{bt}$ ) väljes lika stora. Som första förslag provas 5 % silika av cementmängden. Använd formeln:

$$v_{bt} = W/(C + 2 \cdot S) \quad (12)$$

där  $W$  är vattenmängden i  $\text{kg/m}^3$  och

$S$  är silikamängden i  $\text{kg/m}^3$

Cementmängden blir  $468/1.1 = 425 \text{ kg/m}^3$ , silikamängden  $= 0,05 \cdot 425 = 21 \text{ kg/m}^3$ .

Volymen bindemedelspasta är summan av volymerna för cement, silika och vatten.

$$425/3200 + 21/2200 + 0,36 \cdot (425 + 2 \cdot 21)/1000 = 0,310 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\text{Volymen natursand} = 1 - (0,31 + 0,38 + 0,02) = 0,29 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\text{Vikt sand} = 0,29 \cdot 2650 = 769 \text{ kg/m}^3$$

Receptet blir följande:

| Delmaterial         | Massa (kg) | Volym ( $\text{m}^3$ ) |
|---------------------|------------|------------------------|
| Cement              | 425        | 0,133                  |
| Silika              | 21         | 0,009                  |
| Vatten              | 168        | 0,168                  |
| Sand                | 769        | 0,290                  |
| Lättballast, 1-4 mm | 211        | 0,190 (0,354)          |
| Lättballast, 4-8 mm | 200        | 0,190 (0,330)          |
| Luft                |            | 0,020                  |

Densiteten vid 28 dygn blir ca  $1790 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.2.4 Exempel 4 - Proportionering av K30 med luft

*Uppgift:*

Proportionera lättballastbetong med de krav som anges i exempel 2 och dessutom med 5 % lufthalt.

*Lösning:*

Förfarandet kan vara detsamma fram t o m att receptet är klart. I exempel 2 har antagits 2 % luft som den sk naturliga lufthalten. Till denna lufthalt skall ytterligare tillföras 3 % genom att tillsätta luftporbildande tillsatsmedel vid betongens blandning.

Tillskott av luftporer har liknande inverkan på betongens konsistens som vattentillskott. Översiktsmässigt kan man räkna med att 1 % lufthaltshöjning motsvarar reduktion av vattenhalten på  $0,005 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , dvs  $5 \text{ l/m}^3$ , utöver de 2 % man räknar för icke lufttillsatt betong. Genom att ytterligare luftporer tillförs betongen kommer hållfastheten att minska. Minskningen skall kompenseras genom att vattenluftcementtalet hålles oförändrat. Cementmängden i den lufttillsatta betongen blir:

$$C_1 = C_0 \cdot [(W_0 - \Delta W_1 + V_{11}) / (W_0 + V_1)] \quad (12)$$

där  $C_0$  är lufthalt i icke lufttillsatt betong,  $\text{kg/m}^3$

$W_0$  är vattenhalt i icke lufttillsatt betong,  $\text{m}^3/\text{m}^3$

$\Delta W_1$  är vattenhaltsreduktion av lufttillsättning,  $\text{m}^3/\text{m}^3$

$V_1$  är lufthalt i icke lufttillsatt betong ( $\approx 2 \%$ ),  $\text{m}^3/\text{m}^3$

$V_{11}$  är lufthalt i lufttillsatt betong,  $\text{m}^3/\text{m}^3$

$$C_1 = 390 \cdot [(0,179 - 3 \cdot 0,005 + 0,050) / (0,179 + 0,020)] = 419 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Vatten} = 0,179 - 0,015 = 0,164 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ eller } 164 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Vattenluftcementtalet, } vlct = (164 + 50) / 419 = 0,51$$

$$\text{Vattencementtalet, } vct = 164 / 419 = 0,39$$

$$\text{Volymen ballast är } 1 - (v_p + v_l) = 1 - (419/3200 + 164/1000 + 0,050) = 1 - (0,131 + 0,164 + 0,050) = 0,655 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Volymandelarna för vardera sand, grus och lättballast används som de har angivits i exempel 2.

$$\text{sand: } 0,28 \cdot 0,655 = 0,183 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\text{grus: } 0,14 \cdot 0,655 = 0,092 \text{ "}$$

$$\text{lättballast, 1-4 mm: } 0,29 \cdot 0,655 = 0,190 \text{ "}$$

$$\text{lättballast, 4-8 mm: } 0,29 \cdot 0,655 = 0,190 \text{ "}$$

Brukets tryckhållfasthet enligt (7) blir

$$\log f_B = (\log 35 - 0,38 \cdot \log 17) / (1 - 0,38)$$

$$f_B = 54,5 \text{ MPa}$$

Vattenluftcementtalet för lufttillsatt betong beräknas med formel (8c).

$$vlct = \log (176/54,5) = 0,51, \text{ dvs samma som ovan.}$$

Lufthalten i betongen kan inte mätas med den lufthaltsmätare som baseras på tryckluftsprincipen. Lättballasten innehåller luftfyllda porer som påverkar mätningen. I stället skall man välja den lufthaltsmätare med vilken man direkt mäter luftvolymen, exempelvis lufthaltsmätare enligt Mayer.

Betongens sammansättning blir följande för 1 m<sup>3</sup> färsk betong:

| Delmaterial         | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> )  |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Cement              | 419        | 0,131                    |
| Vatten              | 164        | 0,164                    |
| Sand                | 458        | 0,183                    |
| Grus                | 244        | 0,092                    |
| Lättballast, 1-4 mm | 184        | 0,190 ( $\approx$ 0,360) |
| Lättballast, 4-8 mm | 170        | 0,190 ( $\approx$ 0,350) |
| Luft                |            | 0,050                    |

Anm. Inom parentes anges skrymvolymen för lättballasten.

Betongens densitet blir 1639 kg/m<sup>3</sup> som är 63 kg/m<sup>3</sup> mindre än betong utan luft.

Då vattenabsorptionen i lättballasten = 15 kg/m<sup>3</sup> och uttorkningen av provkropparna under normallagringen  $\approx$  15 kg/m<sup>3</sup> (mindre vattencementtal än i exempel 2) blir densiteten av betongen ca 1640 kg/m<sup>3</sup>.

Skulle det visa sig att hållfastheten blir mindre än vad som avses vid normaltidsprovning behövs att sammansättningen korrigeras med avseende på hållfasthet. I detta fallet kan man exempelvis öka betongens densitet genom att öka normalsanden och minska lättballasten med samma volym. De övriga delmaterialen lämnas oförändrade.

Minska volymen av lättballast från 0,38 till 0,35 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> och öka sand och grus med 0,030 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

Det korrigerade receptet blir:

| Delmaterial         | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> )  |
|---------------------|------------|--------------------------|
| Cement              | 419        | 0,131                    |
| Vatten              | 164        | 0,164                    |
| Sand                | 504        | 0,190                    |
| Grus                | 278        | 0,105                    |
| Lättballast, 1-4 mm | 174        | 0,180 ( $\approx$ 0,340) |
| Lättballast, 4-8 mm | 161        | 0,180 ( $\approx$ 0,330) |
| Luft                |            | 0,050                    |

För vattensugningen i lättballasten föreslås ytterligare ett vattentillskott på ca 15 kg/m<sup>3</sup>. Den modifierade betongens densitet blir 1700 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.5 Exempel 5 - Jämförelse mellan recept och uppmätt densitet och tryckhållfasthet

Vid tillverkning av X-betongelement i fabrik har bl a under en produktionstid på ca 6 månader som brukligt är samlats provningsvärden på densitet och tryckhållfasthet vid 28 dygn. Betongkuberna har lagrats som betongbestämmelserna föreskriver. Följande resultat har erhållits:

|                  |                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------|
| Densitet         | 1435 kg/m <sup>3</sup> (variationskoefficient = 3 %) |
| Tryckhållfasthet | 14,3 MPa ( " " = '8 " )                              |

Betongen motsvarar en hållfasthetsklass av K12.

Receptet för 1 m<sup>3</sup> färsk betong:

| Delmaterial       | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|------------|-------------------------|
| SH-cement         | 370        | 0,116                   |
| Vatten            | 170        | 0,170                   |
| Styropor 0,5-2 mm | 4          | 0,100                   |
| Sand 0-2 mm       | 325        | 0,122                   |
| Leca 2-6 mm       | 168        | 0,200                   |
| Leca 4 10 mm      | 116        | 0,200                   |
| Tillsatsmedel     | 2          | 0,002                   |
| Luft              |            | 0,090                   |

Vattenabsorption i 0,4 m<sup>3</sup> lättballast = 15 kg/m<sup>3</sup>

Vatten i lättballasten ( ungefär 5 % fuktkvot) = 15 kg/m<sup>3</sup>

Tillsatt vatten vid blandning = 170 + 15 = 185 kg/m<sup>3</sup>

Uttorkning under lagring = 45 kg/m<sup>3</sup> (medelvärde)

Beräknad densitet enligt recept = 1185 - 45 = 1140 kg/m<sup>3</sup>

Proportioneringsmetoden användes för beräkning av densitet och tryckhållfasthet.

Volym lättballast  $v_{lb} = 0,200 + 0,200 = 0,400 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Volym cementbruk  $v_B = 1 - 0,400 = 0,600 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Lättballastens korndensitet:  $\rho = 710 \text{ kg/m}^3$

Lättballastens kornhållfasthet enl (6):  $f_{lb} = 10^{1,25 \cdot 0,710} = 7,7 \text{ MPa}$

Vattencementtal =  $170/370 = 0,46$

Vattenluftcementtal =  $(170 + 100 + 90)/370 = 0,97$

SH-cement ger 10 - 12 % högre tryckhållfasthet vid 28 dygn än std-cement.

Brukets tryckhållfasthet beräknat enligt (8b) blir

$$f_B = 1,12 \cdot 176 / 10^{0,97} = 21,1 \text{ MPa}$$

Betongens tryckhållfasthet:

$$\begin{aligned} \log f_{btg} &= v_{lb} \cdot \log f_{lb} + v_B \cdot \log f_B = \\ &= 0,4 \cdot \log 7,7 + 0,6 \cdot \log 21,1 = 1,149 \\ f_B &= 14,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Lättballastens densitet i betongen:

$$\rho = (168 + 116 + 15 + 15) / 0,4 = 314 / 0,4 = 785 \text{ kg/m}^3$$

Brukets densitet i betongen:

$$\gamma = (1185 - 314) / 0,6 = 1452 \text{ kg/m}^3$$

Betongens densitet:

$$\begin{aligned} \gamma_{btg} &= v_{lb} \cdot \gamma_{lb} + v_B \cdot \gamma_B = \\ &= 0,4 \cdot 785 + 0,6 \cdot 1452 = 1185 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Vid 28 dygn efter normallagring blir densiteten  $1185 - 45 = 1140 \text{ kg/m}^3$ .

Jämför man vad som erhållits i produktionen och vad proportioneringsmetoden har gett är överensstämmelsen acceptabel. Proportioneringsmetoden har använts såväl för praktiska ändamål som i forsknings och utvecklingssammanhang under mer än 10 års tid för 3L-betong och X-betong.

### 4.3 Ändring av lättballast och bruk i betongen

I många fall ställer man sig frågan vilken effekt på betongens egenskaper uppstår, såsom på densitet och hållfasthet, om man ändrar material och mängder i ett givet recept. Först kan konstateras att varianterna är många. Här skall bara diskuteras några enkla fall.

Resultatet av vad som händer, då exempelvis lättballastvolymen ändras utan någon annan förändring i receptet, kan enkelt studeras i figur 1. Ändras lättballastvolymen måste även volymen bruk ändras. Punkten O på linjen AB i figurerna 3 eller 4 förflyttas uppåt höger vid ökning av volymen bruk. Vid förflyttning nedåt vänster ökar i stället volymen lättballast. Då bruket respektive lättballasten ändras blir resultatet något mer komplicerat. Här nedan beskrives ett par enkla fall.

I figur 3 visas en godtycklig minskning av brukets densitet,  $\Delta\gamma_B$ , och hållfasthet,  $\Delta f_B$ ,  $B \Rightarrow B'$ . Volymen bruk hålls konstant. Betongens densitet efter ändringen blir

där  $\gamma_{\text{brg}}$  är betongens densitet i  $\text{kg/m}^3$  före ändringen och  $\Delta\gamma_{\text{B}}$  är ändring av brukets densitet i  $\text{kg/m}^3$

$$f'_{\text{btg}} = f_{\text{btg}} \cdot (f'_{\text{B}}/f_{\text{B}}) v_{\text{B}} \quad (15)$$

29

### 4.3.2 Ändring av lättballastens densitet

Då lättballasten ändras, exempelvis utbyte mot en annan lättballast eller ändring av partikelfördelningen, är det vanligt att lättballastens medeldensitet även ändras. I figur 4 visas vad inträffar då lättballastmaterialets korndensitet ökar. Såväl volymen lättballast som bruket hålles oförändrade. Lättballastbetongens densitet efter ändringen blir

$$\gamma'_{btg} = \gamma_{btg} + v_{lb} \cdot \Delta\rho \quad (16)$$

där  $\Delta\rho$  är ändringen av korndensiteten i  $\text{kg/m}^3$ .

Lättballastbetongens hållfasthet efter ändringen blir

$$f'_{btg} = f_{btg} \cdot (f'_{lb}/f_{lb})^{v_{lb}} \quad (17)$$

där  $f'_{lb}$  är kornhållfastheten i MPa hos den ändrade lättballasten.

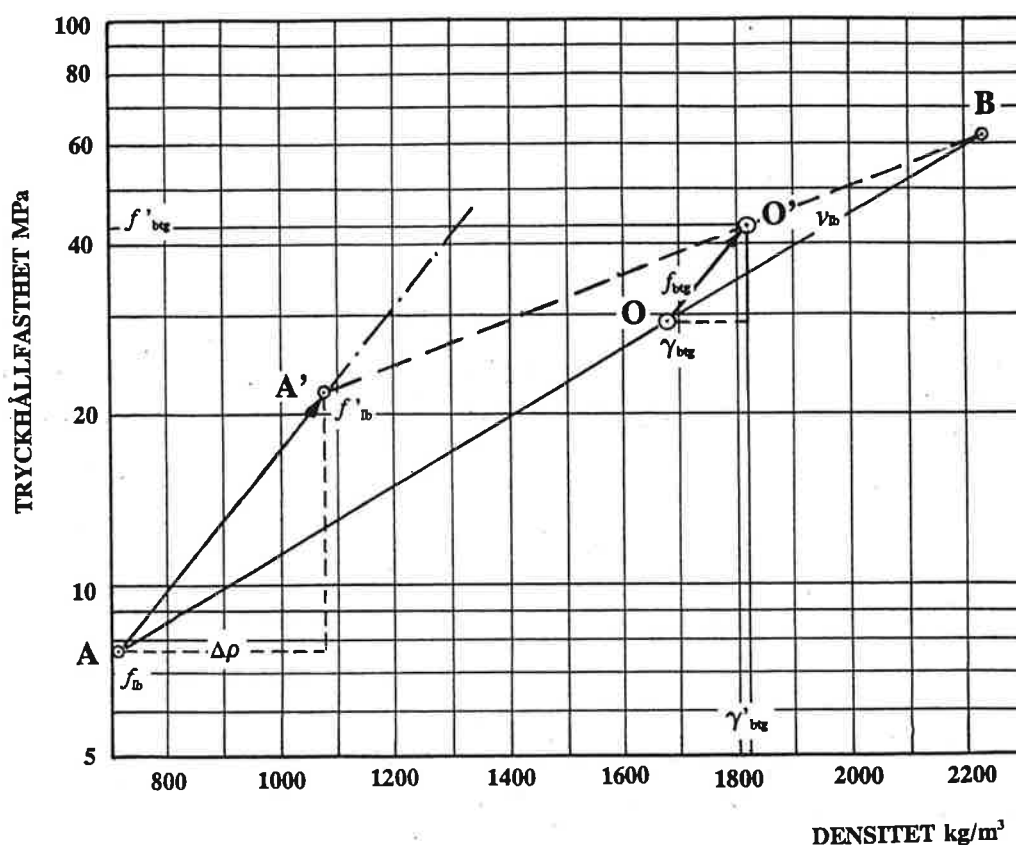


Fig:4 Grafisk representation av lättballastbetongens densitet och hållfasthet då korndensiteten hos lättballasten ökat från  $\rho_{lb}$  till  $\rho'_{lb}$ . Volym av lättballast och brukets sammansättning är oförändrade.

#### 4.4 Speciella höghållfasta lättballastbetonger

Det finns ingen vedertagen definition på höghållfast lättballastbetong på samma sätt som det ibland framföres för vanlig betong. För närvarande räknas den vanliga betongen som höghållfast om tryckhållfastheten överstiger den högsta normerade som är K80. För lättballastbetong är det inte lika lätt att acceptera samma gränser för hållfastheten. Ett förslag skulle kunna vara att höghållfast lättballastbetong kan kallas den lättballastbetong vars tryckhållfasthet överstiger 30 MPa, dvs har en hållfasthetsklass som är högre än vad normalt användes till vanliga slakarmerade betongkonstruktioner. Denna hållfasthetsgräns ligger ungefär där lättballastbetong är tillåten att spännarmeras enligt preliminär EN-normen. Densiteten behöver inte vara kopplad till hållfastheten.

För att nå tryckhållfastheter som överstiger 30 MPa hos betongen fordras högre tryckhållfastheter hos bruket än 30 MPa. Ju mindre lättballastbetongens kornhållfasthet är desto större måste brukets hållfasthet vara. Betonghållfastheter som skall vara högre än exempelvis 50 MPa skall åtminstone ha tryckhållfastheter hos bruket på åtminstone 60 till 70 MPa. För att praktiskt nå upp till dessa hållfastheter kan det vara lämpligt utnyttja mikropartikelteknik, såsom tillsättning av mikrosilika med dispergerande tillsatsmedel till portlandscement lämpad för höghållfast betong. Vidare bör normalsand helt eller delvis bytas mot lättballastsand. Den har mindre korndensitet än natursanden, brukets densitet minskar utan särskild stor minskning av hållfastheten.

Vid proportionering av lättballastbetong med höga tryckhållfastheter tycks det vara möjligt att de tidigare sambanden mellan brukets och lättballastpartiklarnas hållfasthet kan användas även om lättballastens kornhållfastheten är större än hälften av brukets hållfasthet. Analys av flera olika betongsammansättningar som utprovats i flera serier i laboratorieskala skall demonstrera proportioneringsmetodens tillämplighet. Nedan angivna recept avser 1 m<sup>3</sup> färsk lättballastbetong.

##### A. Tryckhållfasthet 70 MPa och densitet 1830 kg/m<sup>3</sup>

| Delmaterial          | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|------------|-------------------------|
| SH-cement            | 425        | 133                     |
| Silika               | 34         | 15                      |
| Vatten               | 170        | 170                     |
| Natursand            | 532        | 198                     |
| Lättballast, 4-8 mm  | 340        | 233                     |
| Lättballast, 8-12 mm | 340        | 233                     |
| Flytmedel            | 9          | 6                       |
| Luft                 |            | 12                      |

Lättballastens korndensitet är 1385 kg/m<sup>3</sup>, ugnstorkat material.  
Lättballastens fuktkvot är 4,6 %.

Volymen bruk är 0,534 m<sup>3</sup> och volymen lättballast är 0,466 m<sup>3</sup>.

Lättballastens hållfasthet  $f_{lb} = 1,52 \cdot 10^{1,14 \cdot 1,385} = 58$  MPa,  
formel (6) och ballast 1 enligt tabell 3.

Vattenbindemedelstal,  $vbt = (170 - 10)/(425 + 2 \cdot 34) = 0,325$   
Vattenabsorptionen i lättballasten uppskattas till ca 10 kg/m<sup>3</sup>. Lättballasten innehöll vatten från början, bl a har förvattning skett.

Brukets hållfasthet,  $f_B = 1,1 \cdot 140 \cdot 10^{-0,87 \cdot 0,325} = 80$  MPa formel (8), SH-cement tilldelas faktorn 1,1, för std-cement är faktorn 1,0.

Betongens hållfasthet är

$$\log f_{btg} = 0,466 \cdot \log 58 + 0,534 \cdot \log 80 = 1,838$$

$$f_{btg} = 69 \text{ MPa}$$

Provningsen av lättballastbetongen gav vid 28 dygn ett medelvärde på tryckhållfastheten av 69,3 MPa, 1-dygnshållfastheten var 59 MPa. Den färska betongens densitet var 1840 kg/m<sup>3</sup> och den uttorkade betongens densitet var 1840 kg/m<sup>3</sup>. Densiteten efter normlagring var ca 1830 kg/m<sup>3</sup>.

#### B. Tryckhållfasthet 90 MPa och densitet 1875 kg/m<sup>3</sup> (efter vattenlagring)

| Delmaterial           | Massa (kg) | Volym (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------|------------|-------------------------|
| Cement                | 500        | 156                     |
| Silika                | 50         | 23                      |
| Vatten                | 187        | 187                     |
| Natursand             | 238        | 90                      |
| Lättballast, 0-2 mm   | 345        | 138                     |
| Lättballast, 4-8 mm   | 492        | 359                     |
| Flytmedel             | 22         | 15                      |
| Retarderande tillsats | 3          | 2                       |
| Luft                  |            | 30                      |

Lättballastens korndensitet är 1370 kg/m<sup>3</sup> i torrt tillstånd.  
Fuktkvoten är 0 %.

Volym bruk med lättballastsand  $v_B = 0,641$ ,  $\gamma_B = 2098$  kg/m<sup>3</sup>  
Volym lättballast  $v_{lb} = 0,359$ ,

Lättballastens hållfasthet  $f_{lb} = 1,52 \cdot 10^{1,14 \cdot 1,37} = 55$  MPa

## LITTERATUR

ACI Committee 211. *Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete*, ACI 211.2-81 (Reapproved 1990). Detroit, Mich, 1990. Finns i ACI Manual of Concrete Practice, Part 1.

Bache H H, Mikkelsen A. & Pedersen E. J. *Proportionering av let konstruktionsbeton*. Beton-Teknik. Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor. Aalborg Portland.

Berntsson L. *Proportionering av 3L-betong*. Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för byggnadsmaterial, Rapport 82:17, Göteborg 1982.

Berntsson L. *Sammansättning av 3L-betong. Proportioneringsexempel och korrigering*. Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för byggnadsmaterial, Rapport 82:19, Göteborg 1982.

*Statliga Cementbestämmelser*, Utgåva 2 (1982). Statens Betongkommitte', Svensk Byggtjänst