



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



LEIF BERNTSSON

# Proportionering av lättballastbetong

R12: 1994

Kompakt struktur  
Beräkningsexempel för  
praktiskt bruk

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129312



BYGGFORSKNINGSRÅDET

R12:1994

**PROPORTIONERING AV  
LÄTTBALLASTBETONG**

**Kompakt struktur  
Beräkningsexempel för praktiskt bruk**

**Leif Berntsson**



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 910105-3  
från Byggforskningsrådet och Svenska Byggnadsbranschens  
Utvecklingsfond till Färdig Betong AB, Göteborg.**

## REFERAT

Rapporten presenterar ett förfarande med avsikt att sammansätta lättballastbetong med kompakt struktur för konstruktionsändamål. Med proportioneringsmetoden är det möjligt att skapa recept för betong med tryckhållfastheter i området 10 - 90 Mpa. Principen för sammansättningen baseras på att betongens tryckhållfasthet bestäms av både brukets och lättballastens individuella hållfastheter samt deras respektive volymer i betongen. Hållfastheten för bruk och lättballast beräknas med enkla empiriska samband. För att förstärka stabiliteten hos den färska betongen och minska risken för separation av lättballastpartiklar vid transport och gjutning har anvisats regler för den totala ballastens partikelsammansättning. Fullständiga recept har konstruerats för några hållfasthetsklasser för att förtydliga proportioneringsmetoden. Recepten har kontrollerats med verkliga försök. Exempelen innehåller även praktiska råd grundade på erfarenhet vid betongtillverkning såväl under laboratoriebetingelser som i industriell skala, såsom val av optimal lättballast med avseende på betongens densitet och hållfasthet. I samband med obligatorisk provblandning och förprovning är proportioneringsmetoden lämpad för justering av betongsammansättningen bl a genom att man på överskådligt sätt direkt kan se resultatet av förändringar av delmaterialens egenskaper och volymandelar.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt.  
Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R12:1994

ISBN 91-540-5632-2  
Byggforskningsrådet, Stockholm

**gotab** 10761, Stockholm 1994

# 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 beskrives för att ta fram en lämplig betongsammansättning för konstruktionslättballastbetong har tillämpats i ett projekt finansierat av BFR och SBUF 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 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 lättballastmaterialen.

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. Exemplet innehåller vissa resonemang vid val såsom av optimal lättballast med avseende på både betongens hållfasthet och densitet. Beräkningsexemplet innehåller även en del information av praktisk art och råd som erfarenhetsmässigt erhållits vid betongtillverkning under laboratoriebetingselser 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 gutas eller ej.

Att utgå från 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 siktkurva, 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, anger hållfasthetsklasser f o m K16 t o m 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 fort-löpande 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, vattentätet 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 konstruktionslättballastbetong 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 lättballast

Densitetsbestämningar behöver normalt endast utföras på lättballast. 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. Bruketets 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, gjutningsätt, konstruktionens utformning osv. Konsistensen beror huvudsakligen på cementpastavolym och cementpastans reologiska egenskaper. Förutom lättballasttyp, fuktinnehåll 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 fortlöpande 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 bestäms 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 normlagring 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 hålles 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. Bestämmer skrymdensiteten på fuktigt material skall även fuktkvoten bestämmas på samma material. Provningsen skall ske enligt följande:

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

Ballast fylls i en hink eller liknande behållare som minst rymmer 10 dm<sup>3</sup>. Innehållet i hinken hålls i mätkärlat tills att råge uppstår. Avståndet mellan mätkärlets överkant och hinken ur vilken ballasten hålls bör vara omkring 20 cm. Avstrykning göres en gång med en rätskiva. Det fyllda mätkärlat 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 mätkärlets vikt (kg)

$V$  är mätkärlets 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 bestäms 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 bestäms 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:

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

där  $\rho$  är korndensiteten för torr lättballast i  $\text{kg/m}^3$  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)

2

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. Brukets 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 prismetor av storleken 40 x 40 x 160 mm. Hållfasthetsprovning av bruksprismetor 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 bestäms experimentellt

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

$$\begin{aligned} f_B &= 140 \cdot 10^{-0,87 \cdot vct} \\ \text{eller} \\ vct &= \log(140/f_B) / 0,87 \end{aligned} \quad (8a)$$

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  $m^3/m^3$  och  
 $C$  är cementshalt i  $kg/m^3$

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

$$vlct = (W + V_1) \cdot 10^3 / C$$

där  $V_1$  är lufthalten i  $m^3/m^3$

#### 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 bruk i betong utan lufttillsats.  
Mellanliggande värden beräknas genom interpolation.

Tabell 4

Brukets tryckhållfasthet och volymen pasta.

Brukets hållfasthet $f_B$ Mpa	Volym pasta $v_p$
40	0,28
80	0,34

#### 5. Cementmängd

Cementmängden beräknas enligt formeln:

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

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:*

Sammanställ 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).

$$vct = \log [(140/59)] / 0,87 = 0,41$$

### 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	20,180 (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 å 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 översiktligt 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>

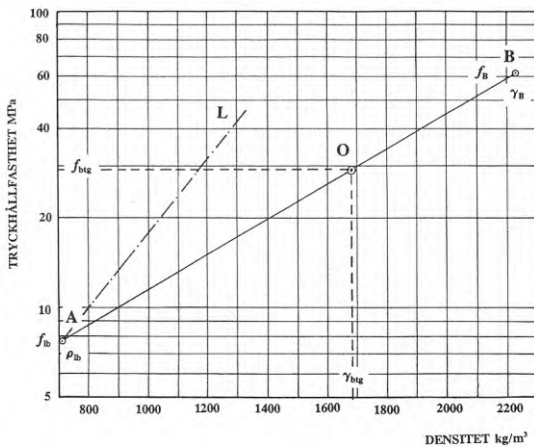


Fig:1 Diagram som beskriver lättballastbetong beskriven i exempel 1. Linje AL anger samband mellan kornhållfasthet och korndensitet för lättballast 3. Densitet och hållfasthet för lättballastbetongens huvudkomponenter representeras av punkt A (lätballast) och punkt B (bruk). Punkt O anger densitet och 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 bli 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 sammansättning eller byta ut vissa delmaterial. Vid alltför snabbt 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 bygplatsen.

### 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. Sikt kurvorna 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 Typ	Korndensitet kg/m <sup>3</sup>	Skrymdensitet 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 erhålls då hälften av vardera lättballastfraktionen baserat på erfarenhet antas användas för varje typ:

Tabell 7

Lättballast Typ	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$f_{ib}$ MPa	$f_B$ 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 iaktta 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  $920 \text{ kg/m}^3$  i stället för  $933 \text{ kg/m}^3$ . Beräkningen har skett med värden hämtade ur tabell 6. Nytt värde på lättballastens kornhållfasthet blir  $17,0 \text{ Mpa}$ .

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

Vattencementtalet beräknas enligt (8a):

$$vct = \log [(140/56)]/0,87 = 0,46$$

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 siktcurvan med avseende på partikelvolym för grus med volymen  $0,29 \text{ m}^3$  och lättballast med volymen  $0,39 \text{ m}^3$ . 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 ger en siktkurva som visas i figur 2. I siktdiagrammet återges också kornfördelningskurvan enligt formel (1), bör-kurvan.

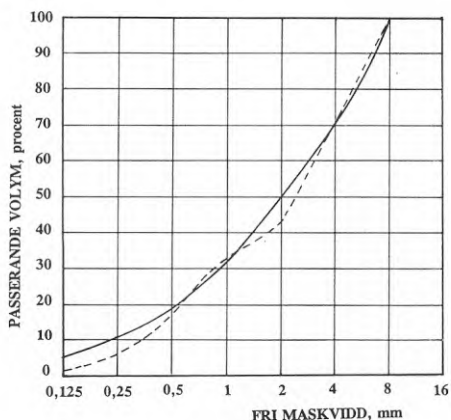


Fig:2 Kornfördelningskurva (streckad) för den totala ballasten i exempel 2. Heldragen kurva återger modifierad Fuller-kurva, bör-kurva.

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 ≈ 1600 kg/m<sup>3</sup>.

Uttorkad vattenmängd = Total vattenmängd - kemiskt bundet vatten = 179 - 0,75·0,25·390 = 106 kg/m<sup>3</sup>; 0,75 är antagen hydratationsgrad vid 28 dygn och 0,25·390 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  $v_{1b} = 0,38$  blir brukshållfastheten  $f_B = 68 \text{ MPa}$  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 ( $vbt$ ) väljes lika stora. Som första förslag provas 5 % silika av cementmängden. Använd formeln:

$$vbt = W/(C + 2 \cdot S) \quad (12)$$

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

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

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

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

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

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

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  $1790 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

#### 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

sand:	$0,28 \cdot 0,655 = 0,183 \text{ m}^3/\text{m}^3$
grus:	$0,14 \cdot 0,655 = 0,092 \text{ "}$
lätballast, 1-4 mm:	$0,29 \cdot 0,655 = 0,190 \text{ "}$
lätballast, 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).

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

Lufthalten i betongen kan inte mätas med den lufthaltsmätare som baseras på tryckluftsprincipen. Lätballasten 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 (≈ 0,360)
Lättballast, 4-8 mm	170	0,190 (≈ 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 ≈ 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 måste 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 (≈ 0,340)
Lättballast, 4-8 mm	161	0,180 (≈ 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	1135 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> )
SF-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:  $\rho = 710 \text{ kg}/\text{m}^3$

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

Vattencementtal =  $170/370 = 0,46$

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

SF-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 utvecklingsområden 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 beskrivs ett par enkla fall.

#### 4.3.1 Ändring av brukets densitet och hållfasthet

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

$$\gamma'_{btg} = \gamma_{btg} - v_B \cdot \Delta\gamma_B \quad (14)$$

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

Betongens hållfasthet efter ändringen blir

$$f'_{btg} = f_{btg} \cdot (f'_B/f_B)^{v_B} \quad (15)$$

där  $f'_B$  är brukets hållfasthet i MPa efter ändringen.

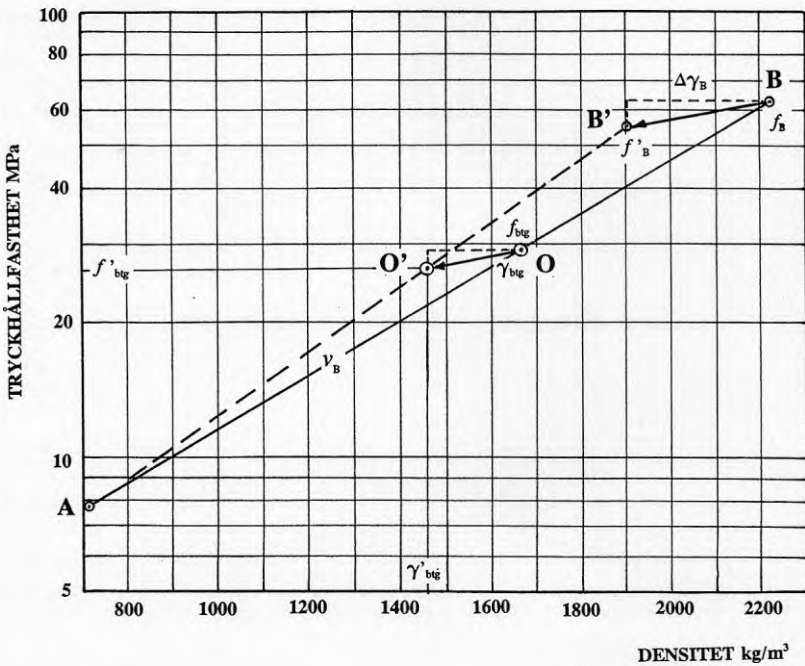


Fig:3 Grafisk representation av lättballastbetongens densitet och hållfasthet vid minskning av brukets densitet och hållfasthet. Volymen av bruket,  $v_B$ , och lättballastmaterialet är oförändrade.

### 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  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

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.

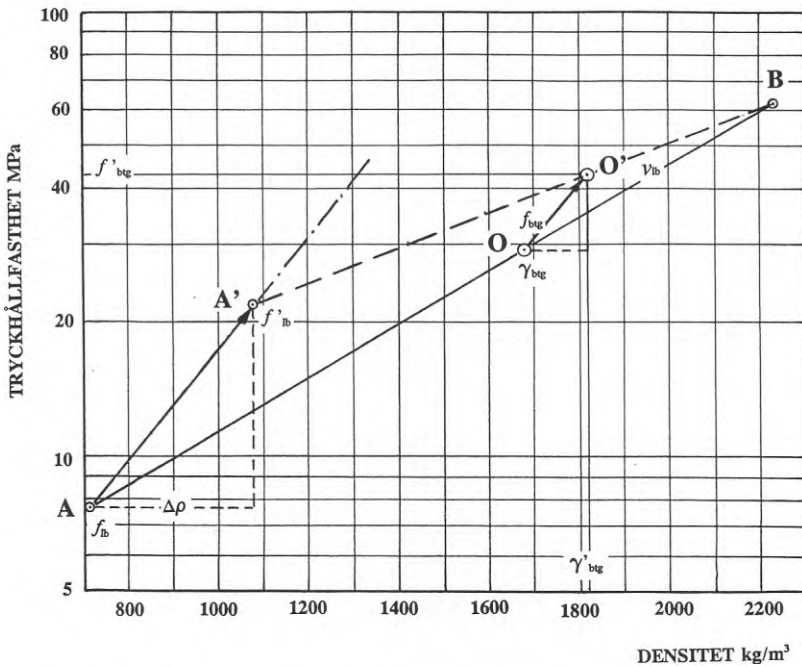


Fig:4 Grafisk representation av lättballastbetongens densitet och hållfasthet då korndensiteten hos lättballasten ökat från  $\rho_{lb}$  till  $\rho'_{lb}$ . Volym av lättballast och brukets sammansättning är oförändrade.

#### 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

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

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

Provnigen av lättballastbetongen gav vid 28 dygn ett medelvärde på tryck-  
hållfastheten 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

Vattenabsorption i lättballasten uppskattas till följande:

Från absorptionsprov med lättballastmaterialen har visat att lättballastsanden som är krossad sugit 15 vikt-% och grovballasten 8 vikt-% under 30 minuter.

Lättballastsand:  $0,15 \cdot 345 \cdot 0,75 = 39 \text{ kg}$

Grovballast:  $0,08 \cdot 492 \cdot 0,75 = 30 \text{ kg}$

Vattenbindemedelstalet,  $v_{bt} = (187 - 69)/(500 + 2 \cdot 50) = 0,2$

Brukets hållfasthet  $f_B = 1,15 \cdot 160^{-0,87 \cdot 0,2} = 123 \text{ MPa}$

Cementet (norsk SP 30 - 4A) som använts i denna betong har 15 % högre hållfasthet än std-cement (svensk) vid 28 dygn.

Betongens tryckhållfasthet är

$$\begin{aligned} \log f_{btg} &= 0,359 \cdot \log 55 + 0,641 \cdot \log 123 = 1,964 \\ f_{btg} &= 92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Beräknad skrymdensitet  $\gamma_{btg} = 0,359 \cdot 1370 + 0,641 \cdot 2098 = 1837 \text{ kg/m}^3$

Från laboratorieförsöken erhöles:

Sättnått: 250 mm efter 30 minuter

Tryckhållfasthet vid 28 dygn var 91,8 MPa, standardavvikelse 1 MPa.

Densitet efter vattenlagring var  $1875 \text{ kg/m}^3$

Den uttorkade betongens densitet var  $1690 \text{ kg/m}^3$ .

## 5. PROVBLANDNING OCH FÖRPROVNING

Provblandning och förprovning av lättballastbetong i såväl färskt som hårdnat tillstånd har som syfte att kontrollera om man uppnått de önskade egenskaperna. Skulle så inte vara fallet måste blandningens sammansättning ändras och ny förprovning utföras. Provblandning med förprovning tillhör proportioneringsförfarandet. Proportioneringen är m a o inte slutförd förrän det slutgiltiga receptet kan lämnas. Provblandning finns omnämnt i punkt 2.2, provning av färsk betong i punkt 3.2 och hårdnad betong i punkt 3.3.

Den första provningen som företas är bestämning av den färska betongens densitet. Avviker densiteten mer än 2 á 3 % bör man visa med beräkningar den sannolika orsaken till avvikelserna. Alla möjliga fall kan behöva bedömas. Några av dessa fall kan vara:

1. Variation hos lättballasten, dvs i korn- och skrymdensitet och fuktkvot
2. Fel i receptet, beräkningsfel
3. Fel i samband med uppmätning av betongens delmaterial
4. Felaktiga vågar
5. Otillräckligt blandad betong, variationer inom betongmassan
6. Fel i utrustningen för densitetsbestämning
7. Fel begånget vid densitetsmätningen såsom vid packning av betongen
8. Vid lufttillsatt betong avvikelser i lufthalt

Lufttillsatt betong är speciellt komplicerad eftersom luft finns både i lättballasten och i cementbruket. I detta fall blandar man först betong utan att tillsätta luftporbildare och bestämmer betongens densitet. Eventuella korrigeringar utföres. I nästa steg tillsättes luftporbildare och lufthalten beräknas samtidigt som man mäter lufthalten. Betongens densitet kan även mätas med kärlet till lufthaltsmätaren.

Att bestämma storleken av det verkliga vattencementtalet är ytterligare en svårighet som komplicerar kontrollen av lättballastbetongen. Man kan endast ange den tillsatta vattenmängden och därav beräkna ett sk nominellt vattencementtal. Hur mycket vatten som absorberats i lättballastkornen från cementpastan kan man möjligen på ett ungefär mäta genom att exempelvis torka fränsiktade lättballastkorn ur den färska betongen.

Genom att kontinuerligt samla provningsdata och statistiskt behandla dessa är det möjligt, dels att ha kontroll på lättballastbetongens kvalitet i allmänhet, dels att indirekt erhålla data på fysikaliska och mekaniska egenskaper hos lättballasten efter analys.

Kraven på betongen kan uppfattas vara uppdelade på två skilda kategorier. Den första omfattar de krav som härrör från betongbestämmelserna, hållfasthet, densitet, frostbeständighet osv. Till den andra kategorien kan räknas de krav som är knutna till produktionen såsom arbetbarhet eller konsistens, stabilitet och homogenitet.

## 6. SLUTORD

Tät lättballastbetong för bärande konstruktioner kan samtidigt proportioneras för krav på densitet och hållfasthet. Förutsättningen för att man beräkningsmässigt skall kunna ta fram preliminära betongsammansättningar är att man känner vissa egenskaper hos betongens delmaterial såsom korndensitet och skrymdensitet hos lättballastmaterialet och siktdiagrammen för samtliga ballastmaterial.

Före proportioneringen eller åtminstone samtidigt med provgjutningen bör man även prova brukets densitet och hållfasthet. Man bör även överväga om lättballastsand skall användas.

I löpande produktion av lättballastbetong är det viktigt att kontrollera lättballastens densitet och fuktkvot vid leverans. Det rekommenderas att skriftligen avtala om variationsområden för densitet och fuktkvot samt största halt material som ligger utanför fastställda fraktionsgränser.

## 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







**R12:1994**

ISBN 91-540-5632-2

Byggforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 68140012

Abonnemangsgrupp:

Z. Konstruktioner och material

Distribution:

Svensk Byggtjänst

171 88 Solna

Cirka pris: 75 kr inkl moms