

# Examensarbete

## Byggingenjör 180hp



## Skillnader i betongens härdningsprocess

Lämplighet enligt den europeiska och svenska standarden

Examensarbete inom byggt teknik 15 hp

Halmstad 2019-05-13

Jarjes Sadi och Safaa Aqel



## Sammanfattning

Betongindustrin ska enligt standard, varje vecka gjuta minst en kub per betongfamilj för att avstämna att hållfastheten som tillverkas inte understiger hållfastheten som kunden efterfrågar. Hållfastheten får inte vara lägre än den efterfrågade, men ingen standard påpekar hur mycket den kan överstiga. Dock kan en högre hållfasthet påverka konstruktionen negativt. En liten blandningsmassa tas ut från blandaren innan den skickas iväg till arbetsplatsen för att härdas i 28 dygn innan den trycks. Massan hålls i en kub och härdas i olika steg som ska utföras enligt standard. Det finns två olika härdningsprocesser, en enligt den svenska standarden och en enligt den europeiska standarden. Det europeiska alternativet säger att betongkuben efter dag ett av härdning ska placeras i vattenbad med temperaturen  $20\pm 2$  °C fram till tryckningen. Den svenska standarden däremot säger att kuben efter första dagen av torkning ska härdas i vattenbad i 4 dygn och därefter placeras i ett härdningsutrymme med en relativ luftfuktighet mellan 40–80% med en temperatur på  $20\pm 2$  °C. Den luftlagrade ger en högre hållfasthet och ska därför räknas om med en omräkningsfaktor för att efterlikna den europeiska standarden. Enligt de olika betongindustrierna kan dessa två härdningsprocesser ge samma hållfasthet vissa gånger, men andra gånger inte. Detta arbetet har därför gått ut på att jämföra de två processerna för att kunna komma fram till varför det kan variera och vad dessa faktorer beror på. För att kunna komma fram till ett resultat har arbetet valt att fördjupa sig i hållfastheten för betong genom litteraturstudier och även gjuta kuber som senare skulle tryckas för att se över hur hållfastheten varierar för de olika kuberna.

Det studien har kommit fram till är att kuber inte alltid kommer ge samma hållfasthet fastän de utgår från samma blandning och härdning. Detta på grund av att betong består av olika beståndsdelar såsom ballast med olika storlekar som är svårt att fördela lika mycket i varje kub. Utrustningen och genomförandet under kubgjutning kan även vara en faktor som kan påverka hållfastheten där en kub kan ha vibrerats eller blandats lite mer än de andra. En annan faktor som kan ha gjort skillnad mellan härdningsprocesserna är omräkningsfaktorn för kuber som har härdats i luftutrymme. Den relativa fuktigheten i lokalen låg nära 40% för kuberna och omräkningsfaktor enligt standard ska vara den samma för den relativa luftfuktigheten mellan 40–80%, detta antas vara något som bör varas tydligare med då det i betonghandboken stod att omräkningsfaktor kan ändras beroende på hur många procent den ligger på. Detta är en av anledningarna till att den europeiska standarden anses vara den mer effektiva processen. En annan anledning är även att kuber i vatten hela tiden får tillräckligt med luft runt om, till skillnad från härdningsutrymme där fuktigheten varierar konstant.



## **Abstract**

According to the standard, the concrete industry must, every week, cast at least one cube per concrete family to reconcile that the strength produced is not less than the strength demanded by the customer. To calculate the compressive strength of the concrete, two different curing processes can be used, both processes occur over 28 days and then can test the compressive strength. The processes are the Swedish standard and the European standard where the difference is the curing process and that's the Swedish standard provides a higher strength and needs to be applied according to the European currency by means of a conversion factor. This work has therefore been to compare the two processes in order to be able to determine why it can vary and what these factors depend on.

This study has come up with that the cubes will not always give the same strength even though they are based on the same formula and curing. This is because concrete consists of different components such as aggregates with different sizes that are difficult to allocate as much in each cube. This is one of the reasons why the European standard is considered to be the more effective process.



## Förord

Detta examensarbete har genomförts av två studenter i byggingenjörsprogrammet, Halmstad högskola under våren 2019. Arbetet har utförts i samarbete med Betongindustri och Sydsten för att kunna få en bättre förståelse över genomförandet av härdningsprocesserna samt en förståelse över betongens egenskaper.

Under arbetets gång har ett flertal personer varit till stor hjälp, från att dela med sig av nyttig information till att bidra med material och litteratur. Först och främst vill vi tacka vår handledare Margaretha Borgström på Halmstad högskola för allt stöd vi har fått när det kommer till ämnet och rapportens utformning.

Vidare vill vi tacka följande företag som valt att ställa upp och medverka under arbetet:

Sydsten, Halmstad  
Betongindustri, Halmstad/Varberg  
Thomas betong, Göteborg  
Abetong, Falkenberg  
Peterson & Hansson, Falkenberg  
NCC, Halmstad

2019-05-13, *Halmstad*

Jarjes Sadi  
Safaa Aqel





## Innehåll

Sammanfattning .....	1
Abstract .....	2
Förord .....	3
1. Inledning .....	7
1.1 Bakgrund .....	7
1.2 Problembeskrivning .....	8
1.3 Syfte .....	8
1.4 Mål .....	8
1.5 Avgränsningar .....	8
1.6 Metod .....	9
2. Betong .....	10
2.1 Allmänt .....	10
2.2 Cement .....	10
2.3 Vatten .....	10
2.4 Ballast .....	11
2.5 Tillsatsmedel .....	11
2.5.1 Luftporbildare .....	11
2.5.2 Accelererande .....	12
2.5.3 Retarderande .....	12
2.5.4 Vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatser .....	12
3. Att mäta betongens hållfasthet .....	13
3.1 Allmänt .....	13
3.2 Europeisk Standard .....	14
3.3 Svensk Standard .....	14
3.4 Tryckprovning .....	15
3.5 Tendenskurva .....	16
4. Faktorer som påverkas betongens hållfasthet .....	17
4.1 Allmänt .....	17
4.2 De påverkades faktorerna .....	17
4.2.1 Vattencementtal .....	17
4.2.2 Betongens lufthalt .....	18
4.2.3 Vibration .....	20
4.2.4 Avdunstning.....	20
4.2.5 Tryckpress .....	21

5. Metod .....	22
5.1 Val av metod .....	22
5.2 Insamling av data .....	22
5.3 Bedömning av studie .....	23
5.3.1 Validitet .....	23
5.3.2 Reliabilitet .....	24
5.4 Genomförande av labundersökningar .....	25
5.4.1. Labundersökning .....	25
6. Resultat .....	27
7. Analys .....	31
8. Diskussion.....	33
9. Slutsats och framtida forskning .....	35
9.1 Slutsats .....	35
9.2 Framtid forskning.....	36
Referenser .....	37
Böcker .....	37
Vetenskapliga artiklar .....	38
Webb .....	38
Standard.....	39
Bilaga 1 .....	40
Betongrecept .....	40
Grundrecept för C30/37–16 S5 .....	41
Bilaga 2 .....	42
Tryckprovning av betong .....	42
2.1 Mätningvärden tryckhållfasthet .....	43
Vattenlagrande .....	43
Luftlagrad .....	43
2.2 Mätningvärden med lufthalt .....	44
Vid dag 7 .....	44
Tabell 2.2.1 .....	44
Vid dag 14 .....	45
Vid dag 21 .....	46
Vid dag 28 .....	47
Tabell 2.2.4 .....	47
2.3 Temperatur och relativa luftfuktighet vid lagringsutrymmen .....	48
2.3.1 Vattenlagrade betongkubernas temperatur .....	48
2.3.2 Luftlagrade betongkubernas relativa fuktighet.....	49

Bilaga 3 .....	50
Intervjuer.....	50
Peterson & Hansson 6 feb 2019, Falkenberg .....	51
Sydsten 7 feb 2019, Halmstad.....	54
Betongindustri 11 feb 2019, Halmstad.....	56
Thomas Betong 13 feb 2019, Göteborg .....	58
Betongindustri 2 april 2019, Varberg.....	60
Thomas Betong 4 april 2019, Göteborg.....	62
Abetong 24 april 2019, Falkenberg.....	6



# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Betong används oftast som bärande konstruktioner med stora belastningar såsom pelare, bjälklag och väggar. Att bestämma vilka egenskaper betongen ska ha beror på vilken typ av konstruktion som ska byggas och därefter väljs rätt hållfasthetsklass. Betongen som tillverkas hos de olika betongfabrikerna bör uppfylla den hållfasthet som efterfrågas hos kunderna. Hållfastheten som tillverkas får inte understiga den standardiserade tryckhållfastheten som kunden efterfrågat, men har ingen övre gräns. Dock kan en mycket högre hållfasthet än den kunden valt leda till sprickbildning (Petersson & Hansson). För att kunna kontrollera hållfastheten, dvs se ifall betongen klarar av belastningen och uppfyller kundens krav, används tryckprov som görs med hjälp av kuber som utförs efter 28 dygn. Utförandet av tryckprovningar följer flera standarder där ett av kraven är att betongen regelbundet ska testas hos de olika betongfabriker. Varje betongfabrik använder sig av sitt eget betongrecept och hur ofta tryckprover skall göras beror på hur ofta det "receptet", det vill säga hållfasthetsklassen väljs bland kunderna. Standarden säger att varje recept som används ska testas minst en gång per vecka men flera tester kan förekomma vid större tillverkningsmängder (Betongindustri AB). En liten mängd av betongblandningen formas i en kub för att testas strax innan den färdas till kunden. Den lösa massan i kuben kvarstår under ett dygn tills en fastare konsistens bildats. därefter finns det två olika metoder att härda kuberna på. Antingen enligt den europeiska standarden som säger att kuberna ska placeras i vattenbad under 27 dygn efter avformningen medan det andra sättet följer den svenska standarden. Den standarden säger att efter avformningen ska kuberna vila i vatten under 4 dygn och därefter förflyttas till ett luftutrymme med en viss luftfuktighet fram tills att dag 28 har passerat och tryckningen kan ske. (SS137210) Vid den svenska standarden använder man sig av en omräkningsfaktor som ser till att anpassa hållfastheten efter den europeiska standarden då den som lagrad i luft ger en högre hållfasthet på grund av att betongen torkas snabbare. (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012)

## 1.2 Problembeskrivning

Vid beräkning av tryckhållfastheten har man möjlighet att lagra betong genom två olika metoder. Som tidigare nämnt, kan man antingen härda betongen i fuktigt utrymme eller i vattenbad. Vid genomförande av de olika metoderna har det vid vissa tillfällen gett samma tryckhållfasthet men i övrigt har avvikelser uppstått. För att uppnå den eftersträvade kvalitén och samtidigt vara på den säkra sidan vill man att tryckhållfastheten ska vara den samma efter tryckning, utan några variationer. Dock finns det även olika faktorer som påverkar sluthållfastheten redan vid tillverkning av betong som möjligtvis kan vara orsaken till skillnaden mellan dessa två metoder.

## 1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete var att undersöka eventuella skillnader som uppstår mellan de olika härdningsmetoderna och på så sätt kunna komma fram till vilken metod som är mest lämplig att utföra.

För att förtydliga arbetets problembeskrivning var frågeställningarna följande:

- Finns det skillnader mellan de två olika härdningsprocesser?
- Hur kommer det sig att dessa två härdningsmetoder går att utföra fastän de utförs på olika sätt?
- Vilka faktorer påverkar hållfasthetens slutresultat?

## 1.4 Mål

Studiens mål var att hitta faktorer som påverkar sluthållfastheten för de olika metoderna genom att utföra tryckprover. Med hjälp av dessa tester har en sammanställning tagits fram för att underlätta betongfabrikens arbete gällande hållfasthetskrav. Oavsett den härdningsmetod man väljer att använda sig av, ska den kunna ge ett tryggt hållfasthetsresultat utan några osäkerheter.

## 1.5 Avgränsningar

Absorption hos betong kräver egna mätningar och undersökningar för att beräkna mängde vatten som redan finns i ballasten. I grund och botten så innehåller ballasten en mängd vatten som i sin tur påverkar vattencementtalet. För att minimera detta så krävs det mätningar och undersökningar som visar ballastens vatteninnehåll, därmed har arbetet valt att avgränsa absorption från denna studie. Vidare har studien endast testats hållfasthetsklass C30/37.

## 1.6 Metod

Detta examensarbete har genomförts genom litteraturstudier och utförda laboriemätningar på betongens tryckhållfasthet. Under arbetet har vi även varit i kontakt med flera betongfabriker som har hjälpt till med detta arbetet.

## **2. Betong**

### **2.1 Allmänt**

Betong är ett byggnadsmaterial som används inom byggindustrin och anses vara ett material med lång livslängd och bra egenskaper gällande bland annat isolering och brand. Betong används oftast i bärande byggnader och även i konstruktioner med stora belastning såsom broar, motorvägar och trottoarer (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

Byggnadsmaterialet är en blandning som består av cement, ballast, vatten och eventuella tillsatsmedel. Betong har olika konsistensklasser som formas efter kundens val av konstruktion vilket gör att betongen kan gjutas och formas till olika konstruktionsdelar. Den formbara massan hårdnar relativt snabbt och med tiden når den eftertraktade hållfastheten (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016). Kvaliteten och hållfastheten på betongen kan påverkas beroende på mängden av de olika beståndsdelar som förekommer i blandningen.

### **2.2 Cement**

Cement är ett hydrauliskt bindemedel som innebär att när det blandas med vatten bildas ett material, nämligen cementpasta, som är motståndskraftigt mot vatten. Cement består av kalk- och mägersten som bränns, krossas och mals till råmjöl (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016). Cementhalten i betongen påverkar betongens hållfasthet, ju mer cementpulver betong består av desto högre hållfasthet får betongen under förutsättning att resterande material i sammansättningen är densamma. Det finns olika cementsorter och valet av cement bestäms av egenskaperna som önskas hos betongen och av tillgänglig ballast. (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

### **2.3 Vatten**

Vatten är en viktig ingrediens där det med cementet bildar en pasta som kallas för cementpasta och tillsammans skapas en kemisk reaktion (hydratation) som gör att betongen hårdnar och på så sätt får sin fasta struktur. Vattnet ska vara rent för att förhindra att sidoreaktioner uppstår, vilket kan försvaga betongen eller på ett annat sätt störa hydratiseringsprocessen. Kvalitet på vattnet spelar även en viktig roll för betongens hållfasthet negativt vid sämre kvalitet (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

## 2.4 Ballast

Ballast är ett samlingsnamn för bergarter som blandas in i betongen. Sand och grus är några av de bergarter som blandas in i betongen. Betongens ballaster bör ha en blandning av partiklar med olika kornstorlek för att kunna fylla de tomma hålrummen för att på så sätt göra betongen tät och kompakt (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016). Betongens egenskaper kan variera mycket beroende på ballastens kornstorlek som förekommer i blandningen. Att ändra ballastsorten påverkar betongens styrka, till exempel tillsatsen av lätt ballast ger lägre hållfasthet än tung ballast (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012). Kvaliteten på ballasten, dess storlek, form och struktur är faktorer som kan påverka hållfastheten vid tillverkning av betong. För en bra betongblandning måste ballasten vara ren, fri från absorberade kemikalier eller beläggningar av lera och annat fint material som kan orsaka försämring av betong. Salter såsom klorider och sulfat, silt och lera i ballasten drar även ner på betongens hållfasthet (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

## 2.5 Tillsatsmedel

För att få bra betongegenskaper, tex högpresterande betong, använder man sig av tillsatsmedel som tillsätts i betongen i små mängder. De kemiska medlen klassificeras i olika grupper beroende på dess inverkan på egenskaperna hos betongen. Val av tillsatsmedel är beroende på den betongegenskap som eftersträvas. En del medel kan föras samman i flera grupper beroende på medlets inverkan på betongen. Tillsatsmedel som är vanliga att använda är: (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016)

- Luftporbildande tillsatsmedel
- Accelererande tillsatsmedel
- Retarderande tillsatsmedel
- Vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatser

### 2.5.1 Luftporbildare

Luftporbildare används för att producera en frostbeständig betong som skyddar betongen mot sprickning. Luftporer tillsätts i betongmassan och jämnas ut i cementpastan så att frysning av porvattnet i betongen kan tas hand om. Detta leder till en ökad porositet som kan påverka betongen negativt genom att sänka hållfasthet och öka krympningen (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016).



## **2.5.2 Accelererande**

Accelererande tillsatsmedel ser till att driva fram reaktionen under betongens härdningsprocess och hållfasthetstillväxt. Klorid är ett hållfasthetsaccelererad medel som är förbjudet att använda sig av idag på grund av att det orsakar armeringkorrosioner (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016). Den färskas betongvärmeutvecklingen påverkas av det accelererande tillsatsmedlet som ger en påtaglig temperaturstegring och tillsatsmedlet ger som störst effekt vid låg temperatur. Själva medlet påverkar normalt inte sluthållfastheten utan påskyndar processen i början vid hållfasthetstillväxten (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

## **2.5.3 Retarderande**

Retarderande tillsatsmedel ser till att sakta ner betongens härdning, detta påverkar dock inte betongens sluthållfasthet. Tillsatsmedlet hindrar cementreaktionen som sker i betongen. Detta är en fördel vid transporter av betong under sommartiden, längre gjutfronter och vid undervattensgjutning (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016). Betongens tillstyvnad kan saktas ner upp till flera dygn och hur långsamt det sker påverkas av temperaturen, cementsort och betongens sammansättning (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

## **2.5.4 Vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatser**

Vattenreducerande tillsatsmedel och flyttillsatser förbättrar betongens flytförmåga genom att påverka cementhalten i betongen (se under flyt sika). Båda tillsatsmedlen har samma egenskaper men flyttillsatsmedlet har en kraftigare effekt än ett vattenreducerade medel eftersom det ger en liten eller eventuellt ingen fördröjning av påverkan i betongen (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012). Flyttillsatsmedlet är den enda tillsatsmedlet som kan användas på arbetsplatsen. Möjligheten ges eftersom tillsatsmedlet har en begränsningstid gällande reaktionen i betong som är beroende av temperaturen, därmed är detta medlet gynnsamt vid långa transporter samt varmt väder (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016).

### **2.5.4.1 Flyt sika 30–20**

Flyt sika är det tillsatsmedel som användes vid genomförandet av mätningar på betongens hållfasthet. Detta vattenreducerande tillsatsmedlet påverkar reaktionen mellan cementkornen och vattnet där den vid tillsättningen i betongens blandning minskar vattenmängden. Reducering av vattenmängden i betong leder till ett lägre vattencementtal (vct) som i sin tur ger en högre hållfasthet (mer om vct längre ner). Flyt sika ger även möjligheten till besparing av cement genom att bevara betongens konsistent och hållfasthet samtidigt som samma vattencementtal erhålls. Besparingen sker genom att reaktionen inte kräver lika mycket vatten och på så sätt minskas cementmängden (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016).



## 3. Att mäta betongens hållfasthet

### 3.1 Allmänt

Att testa betongens hållfasthet kan åstadkommas via två olika härdningsprocesser, där den ena följer den svenska standarden medan den andra följer den europeiska standarden. För att kunna använda sig av dessa metoder behöver kuber gjutas av betongmassan med måtten 150x150x150mm. Det funkar även att gjuta kuber med måtten 100x100x100mm och skulle man använda sig av detta mått behöva man ta hänsyn till en omräkningsfaktor på grund av att kuberna hållfasthet förändras beroende på måttstorlek (www.betong.se, 2017). Vill man däremot testa hållfastheten i en nybyggd konstruktion behöver man borra ut cylindrar från själva konstruktionen (www.betong.se, 2017). I vissa tillfällen kan hållfastheten vara intressant tidigare än 28 dygn då man vill påskynda processen på grund av olika orsaker som bland annat glättning, formrivning eller för att undvika sprickbildning som uppstår när gjutningen av betong härdas (Petersson & Hansson). Cylindern skickas iväg till ett laboratorium för att provtryckas och på så sätt kan man få reda på hållfastheten, jämföra med tendenskurva och bedöma hur man ska gå vidare (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016).

För betong finns det en hel del olika hållfasthetsklasser mellan C12/15 och C60/75. Den första siffervärdet är tryckprovning av cylindrar med 150 mm diameter och 300 mm höjd och den andra är tryckprovningar av 150 mm kuber (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016). Vid till exempel C30/37 har betongklassen en cylinderhållfasthet på 30 MPa och en kubhållfasthet på 37 MPa. Ungefär 20 % lägre hållfasthet har en betongcylinder eftersom man räknar på att cylinderns höjd är dubbelt så hög som diametern och kommer därmed påverka belastningen vid betongtryckningen som ger en lägre hållfasthet än kuben (www.betong.se, 2017).

Som nämnt ovan, trycks kuber för att kontrollera att hållfasthetsklassen som tillverkas stämmer med den som kunden har efterfrågat. En viktig aspekt att tänka på är att hållfastheten som fås under provtryckning efter 28 dygn inte kommer vara densamma som för arbetsplatsen på grund av att en provkropp och en konstruktion inte härdas på samma sätt då de är utsatta för olika miljöer (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012). Temperaturen och luftflödet skiljer sig ifrån varandra eftersom kuberna bevaras inomhus medan konstruktionerna befinner sig ute på arbetsplatsen. Kuben är liten i storlek medan det på arbetsplatsen är stora konstruktioner såsom bjälklag och väggar. För kuberna som bevaras inomhus kan luftflödet och temperaturen regleras beroende på standardiseringssätten som finns till skillnad mot en konstruktion som placeras utomhus. (Petersson & Hansson).

## 3.2 Europeisk Standard

Enligt europastandarden ska betongkuberna lagras i vatten efter avformningen eftersom temperaturfördelningen i vatten är lättare att hantera. Betong skall vattenlagras i en konstant temperaturen mellan 18°C och 22°C från dag två tills det är dags att provtrycka (efter 28 dygn) (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

## 3.3 Svensk Standard

Enligt den svenska standarden kan betongkuberna utföras och härddas på samma sätt som den europeiska standarden fram till dag fem och därefter förflyttas kuberna från vattenbadet till ett luftlagringsutrymme. Betongkuberna ska luftlagras med en temperatur på  $20 \pm 2$  °C grader med en relativ fuktighet på 40–80% (SS137210). Väljer man att luftlagra kuber, ska tryckhållfasthet reduceras med 8% enligt standarden SS 137003 på grund av att den ger en högre hållfasthet än den vattenlagrade. Detta beror på att den luftlagrade betongen torkar ut snabbare och behöver efterlikna den europiska standarden. I betonghandboken (2012) förklaras det att omräkningsfaktorn skall reducera tryckhållfastheten precis som standarden säger, dock nämns det att omräkningsfaktorn är 8% i genomsnitt och varierar beroende på relativa fuktigheten enligt tabell 3.3.1.

I en tabell från Statens Betongkommitté (1996) från betonghandboken (2012) visas att omräkningsfaktorn beror på lagringsmiljöns relativa fuktighet (tabell 3.3.1). Tabellen visar att tryckhållfastheten för luftlagrade kuber alltid ger en högre hållfasthet än den vattenlagrade eftersom hållfasthet är över 100% oavsett den relativa fuktigheten. Omräkningsfaktorn enligt Betonghandboken (2012) påverkas av den relativa fuktigheten då en lägre fuktighet ger en högre hållfasthet. Omräkningsfaktorn är 0.95 vid 95% relativ fuktighet medan den minskar till 0.89 vid 60% relativ fuktighet. Dock tar standarden inte hänsyn till detta, då omräkningsfaktor är 0.92 oavsett relativ fuktighet så länge den är mellan 40–80% (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

Tabell 3.3.1 Tryckhållfastheten beroende av lagringsmiljöns relativa fuktighet.

Lagringsmiljö	Tryckhållfasthet [%]
Vatten	100
Dimrum med ca 95% relativa fuktighet	105
Luftlagrad med 60% relativa fuktighet	111
Luftlagrad med 40% relativa fuktighet	113

### 3.4 Tryckprovning

Vid beräkning av betongens hållfasthet används en tryckpress som belastar provkroppar med ett tryck för att kunna få fram provkroppens sluthållfasthet. Eftersom tryckpressen är en utrustning som visar hållfastheten hos betongen bör tryckplattorna och tryckpressens stativ ha en viss styvhet för att kunna centrera den resulterande kraften på provkroppar. Styvheten hos tryckplattorna är en viktig punkt då tunna tryckplattor kan deformeras och påverka trycket som leder till ett lägre brottvärde (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012). I tryckprovningens standarden förekommer detta att den övre plattan ska vara ansluten till en kulle med en vridningscentrum mot kubens mittpunkt. Rörligheten hos den övre tryckplattan ser till att plattan ställs in tätt intill provkroppens yta samtidigt som den ska kunna vrida sig. Vridningen ser till att omfördela lastökningen när ett brott skett på ena sidan av provkroppen. (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

Inför tryckprovning ska varje provkropp vägas och arean och höjden ska noggrann mätas med en säkerhetsfaktor på runt 1% (SS137210). Vid beräkning av arean användes ett verktyg som mäter arean i tre olika höjder på kuben, botten, mitten och toppen (7.1a). Kuberna ska därefter placeras centriskt i tryckpressen, dvs pressen ska ha en jämn belastning över hela kuben med en noggrannhet på  $\pm 1$  mm för att minska på avvikelser som skulle påverka hållfasthet. Därefter utsätts proven för en konstant belastningshastighet på ungefär 22,5 kN/s, vilket motsvarar ungefär 1 MPa/s med hjälp av Sydstens tryckpress (se bild 3.4.1) (SS137230). Belastning hastigheten ökar konstant tills provkroppen utsätts för ett brott och inte kan ta emot en högre last och därefter börjar sprickbildningar uppstå. Den högsta lasten som provkroppen kan ta emot kan avläsas och används vid beräkning av tryckhållfastheten (se ekvation 3.4.1) (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

$$F_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.4.1)$$

Där

$F_c$  = Tryckhållfasthet [MPa]

$F$  = Högsta last vid provkroppens brott [N]

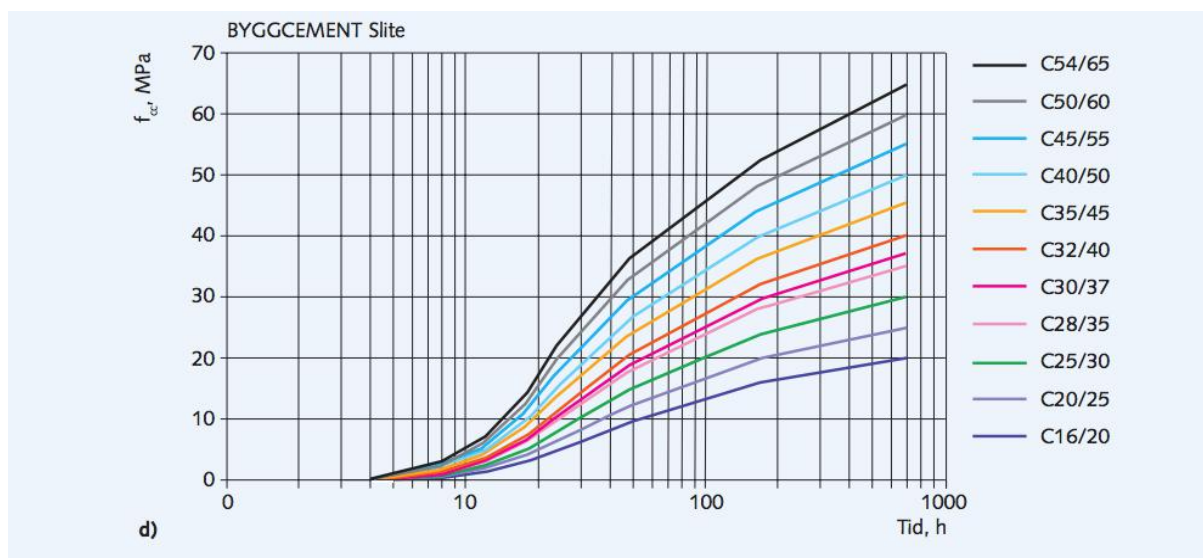
$A_c$  = Provkroppens area [ $m^2$ ]



Bild 3.4.1 Tryckpress hos Sydsten

### 3.5 Tendenskurva

Betongens hållfasthet beräknas med hjälp av tendenskurvor som har tagits fram av Cementa AB och är baserade på en konstant temperatur. Det finns flera tendenskurvor beroende på den cementtyp som används, men har endast tagits fram för de vanligaste svenska cementtyperna. Tendenskurvor har tagits fram enligt normenlig provning, man härdade kuber enligt den europeiska standarden under 28 dygn (Cementa AB, 2018). Provtryckningen sker dag 28 eftersom den kemiska reaktionen i betongen sker som mest fram till dess och på så sätt har betongen nått sin sluthållfasthet. Härdningen för betong stannar inte vid en viss tidpunkt utan fortsätter livet ut, så länge betongen är i kontakt med fukt skapar den bindningar. Hållfasthetstillväxten sker som mest under de första sju dygnen, sedan ökar den successivt fram till dag 28 och senare är tillväxten väldigt liten (se figur 3.5.1), (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012). Med hjälp av tendenskurvan kan man bestämma hållfastheten hos betongen, dock måste mognadsåldern vara känd. Med mognadsåldern menar man hur många dagar betongen är i temperaturen 20 grader (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016).



Figur 3.5.1 Tendenskurva för byggcement under 28 dygn

## 4. Faktorer som påverkas betongens hållfasthet

### 4.1 Allmänt

Hållfastheten hos olika material definieras som brottmotstånd under påverkan av olika tryckkrafter. Det finns flera faktorer som påverkar betongens hållfasthet såsom betongens vattencementtal, lufthalten i betongen, härdningsprocessen och sammansättning av det olika beståndsdelarna (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

### 4.2 De påverkades faktorerna

#### 4.2.1 Vattencementtal

En av de viktigaste faktorerna gällande betongens hållfasthet är förhållandet mellan cement och vatten (vct), ju mindre cementpartiklarnas avstånd är, desto snabbare kan reaktionen mellan cement och vatten ske. Tryckhållfastheten ökar när vattencementtalet avtar eftersom en mindre mängd vatten är gynnsamt för både hållfastheten men även för betongens beständighet (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012). En härdad betong ska bestå av cirka 1% luftporer men ifall luftporerna skulle var fler kommer de fyllas med vatten som i sin tur leder till försämring av betongens styrka. För att kunna se till att minimera halten luftporer använder man sig en av vibrator som bortför luften ut ur betongen. Betong måste vara både stark och bearbetbar och därför krävs en noggrann balans mellan förhållande av cement och vatten. I ekvationen (4.2.1a) nedanför kan beräkningen av vattencementtalet beräknas (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

$$V_{ct} := \frac{W}{c} \quad (4.2.1a)$$

Där

W: Mängden vatten [kg]

c: Mängden cement [kg]

När en betongblandning använder sig av tillsatsmedel behöver man vid beräkning av vattencementtalet korrigera ekvationen. Största delen av betongens hållfasthet bestäms av mängden vatten i förhållande till bindemedels mängden i betongen, det så kallad  $v_{ct}$ , (4.2.1b): (Almgren, Holmgren & Martinsson. 2016).

$$v_{ct_{ekv}} := \frac{W}{C \cdot \beta \cdot D} \quad (4.2.1b)$$

Där

W: Mängd vatten [kg]

C: Mängden cement [kg]

B: effektivitetsfaktor [Ligger mellan 0–1]

D: Mängden tillsatsmedel [kg]

#### 4.2.2 Betongens lufthalt

Lufthalten har en stor betydelse när det kommer till betongens hållfasthet. Ju mer luft betongen består av desto lägre hållfasthet får betongen, en sänkning med ungefär 5% av hållfastheten vid varje ökad % luft i betongen. Luft är något som tillsätts i betongen vid blandningen och brukar ligga mellan 4–5% beroende på betongtypen och recept (SS137003). Betongfabrikernas lufthalt skiljer sig beroende på den maximala ballast storleken som visas i tabell 4.2.2 (SS137003). Enligt betonghandboken (2012) har blandningstiden en påverkan på mängden lufthalt som tillförs i betongmassan, där lufthalten ökar med ökad blandningstid fram tills en optimal blandningstid åstadkommit. Utav denna anledning har betongtillverkarna en viss blandningstid som betraktas som den optimala blandningstiden. En blandningstid på mer än den optimala blandningstiden leder till en ökad mängd luftporer i betongen (Ljungkrantz, Möller & Petersons, Nils. 2012).

Tabell 4.2.2

Maximal sten storlek [mm]	Lägsta lufthalt [%]
8	5,0
12	5,0
16	4,5
27	4,0



En jämförelse mellan kubens densitet och hela blandningens densitet ger en differens mellan lufthalten hos kuben och hela blandningen. Detta påverkar hållfastheten och därför kan en noggrann hållfasthet på kuben beräknas med hjälp av följande ekvationer (4.2.2.1 – 4.2.2.4).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.2.2.1)$$

Där

$\rho$ : Densitet [Kg/v<sup>3</sup>]

$m$ : Massa [Kg]

$v$ : Volym [v<sup>3</sup>]

$$L_{kub} = \frac{\rho_{recept} - \rho_{kub}}{\rho_{recept}} \quad (4.2.2.2)$$

Där

$L_{kub}$ : Lufthalt per kub

$\rho_{recept}$ : Receptets densitet

$\rho_{kub}$ : Kubens densitet

$$\sum L = L_{recept} + L_{kub} \quad (4.2.2.3)$$

Där

$\sum L$ : Totala lufthalten

$L_{recept}$ : Receptets beräknade lufthalt

$L_{kub}$ : Kubens lufthalt

$$F_{ny} = (0,05 \times L_{kub} + 1,0) \times F_c \quad (4.2.2.4)$$

Där

$F_{ny}$ : Hållfasthet med hänsyn till lufthalten [MPa]

0,05: 5% av hållfastheten vid varje ökad % luft

$L_{kub}$ : Kubens lufthalt

1,0: Faktorn för 100%

$F_c$  = Tryckhållfasthet [MPa]

### 4.2.3 Vibration

Vibrationen får betongblandningen att flyta och på så sätt reduceras den inre friktionen hos cementets beståndsdelar, ballast och vatten. Det hjälper även till att säkerställa att rätt mängd betongmassa kommer in i varje hålrum och fyller dem. Luftbubblor som kommer in vid blandningen flyter upp till ytan och försvinner ut vid vibrationen. I bild 4.2.3.1a och 4.2.3.1b syns skillnaden hos betongmassan innan vibration och efter vibration.

Betongvibrationen är även viktig för att uppnå konsolidering i betongblandningen som resulterar till en homogen betong (Observation från Sydsten och Betongindustri).



Bild 4.2.3.1a Innan vibration



Bild 4.2.3.1b Efter vibration

### 4.2.4 Avdunstning

Under betongens första dygn uppstår det avdunstning av vattnet i betongmassan, därför är det viktigt att se till att täcka kuberna med plast enligt bild 4.2.4.1a för att undvika avdunstningen. Om vattnet avdunstar bort kommer betongens tryckhållfasthet att påverkas, eftersom vct är en viktig faktor gällande hållfastheten. Det finns flera faktorer som påverkar avdunstningen som bland annat luftens temperatur, relativa fuktigheten och luftflödet. Temperaturen är en viktig punkt inom avdunstningen då förångningshastigheten beror på hur varmt och fuktigt det är (Betongindustrin). Om fuktavgången mellan luften och betongmassan sker för fort innan betongen har hårdnat, kan den krympa och resultera i en sämre kvalitétbetong.



Bild 4.2.4.1a Plastad betong

#### 4.2.5 Tryckpress

Under kapitlet tryckprovning nämndes att provkroppen ska placeras centrisk med en noggrannhet för att kunna minimera avvikelser. Detta bör man göra eftersom placeringen kan medföra en lägre tryckhållfasthet upp mot 10% mot verkligheten. Tryckpress ska kalibreras årligen hos varje betongindustri för att kontrollera att inga mätfel uppstår på grund av fel hos tryckpressen. Bild 4.2.5.1a är en vattenlagrad kub som upplevt sitt högsta tryck som lett till att brott uppstått. I bilden syns att kuben har tryckts på ett korrekt sätt, det vill säga centriskt eftersom deformationen visar att trycket har fördelat sig på hela kuben och inte endast ett visst område. Hade trycket varit ojämnt hade deformationen endast varit på en del av kuben.



Bild 4.2.5.1a Tryckt kub



## **5. Metod**

### **5.1 Val av metod**

Forskning som består av mätningar med hjälp av observationer, tester och matematiska värden innebär en kvantitativ studie (Höst, Regnell & Runeson. 2006). Den kvantitativa metoden är något som valts i denna studien då arbetet består av olika mätningar och beräkningar av betongens tryckhållfasthet. Dessutom har arbetet till stor del bestått av semistrukturerade intervjuer för att kunna ta lärdomar om härdningsmetoderna och senare diskutera studiens mätningar. Med hjälp av litteraturundersökningar och tidigare forskning har arbete kunnat se över faktorer som påverkar tryckhållfastheten men även härdningsmetoderna.

### **5.2 Insamling av data**

Arbetet består av flera olika semistrukturerade intervjuer med enskilda personer från flera företag för att kunna få med olika perspektiv. Studien valde att intervjua Sydsten, Betongindustrin, Thomas betong samt Abetong eftersom de levererar betong och i sin tur tryckprovar betongkuber konstant. Arbetet utgår från två olika härdningsmetoder och därmed valdes ett samarbete med Betongindustrin och Sydsten som använder olika metoder. Anteckningar och ljudinspelningar fanns tillgängliga vid intervjuerna för att kunna bearbeta information i efterhand. Granskning av litteratur har också förekommit under arbetet för att kunna få kunskap gällande arbetets bakgrund samtidigt som det bidrog till en överblick över problembeskrivningen. Betonghandböckerna har varit huvudböckerna under arbetets gång samtidigt som har andra betongböcker varit till stöd för fördjupning och förtydligande inom vissa områden.

Även elektroniska källor såsom OneSearch, Google Scholar och Diva har använts. OneSearch är Halmstad högskolas egen sökmotor som erbjuder e-tidskrifter och e-böcker som användes i detta arbete. Google Scholar är precis som OneSearch en sökmotor, från Google som söker upp vetenskapliga publikationer och tidskrifter. Användningen av e-nav har också förekommit under arbetet. E-nav är ett onlinebibliotek som har tillgång till fler olika standarder som är standardiserad efter krav och tidigare forskning som gjorts. Olika standard har använts i denna studien gällande tryckprover enligt både den europeiska och svenska standarden.

## 5.3 Bedömning av studie

I en kvantitativ forskning analyseras data med hjälp av undersökningar för att kunna lösa problembeskrivningen som finns. Bedömning av trovärdigheten är enklare att bevisa i kvantitativ forskning eftersom det bygger på att analysera mätvärden då kvalitativ grundas på teori. I kvantitativa forskningar är det viktigt att sträva efter att upptäcka eventuella felfaktorer i ett tidigt skede för att kunna hitta lösningarna under arbetets gång. (Höst, Regnell & Runeson. 2006). Detta arbetet som tidigare beskrivits handlar om att hitta faktorerna som påverkar skillnaden mellan härdningsprocessen med hjälp av mätningar och därför är det många aspekter att tänka på vid genomföring men även vid insamling av data. I det kommande stycket kommer arbetet stärka rapportens bedömning av trovärdigheten genom validiteten och reliabiliteten.

### 5.3.1 Validitet

Eftersom detta arbetet går ut på att hitta felfaktorer mellan de två standarder med hjälp av mätningar är validitet ett viktigt begrepp inom denna studien. Validitet innebär att mätningar som görs ska vara trovärdiga och tillförlitliga. Mätningarna ska utgå från datainsamling som beskriver det som ska undersökas i denna studien och därefter sträva efter att utföra det på samma sätt, så noggrant som möjligt. Förutom vetenskapliga artiklar och böcker har intervjuer även genomförts för att förtydliga och försäkra att missförstånd inte uppstår. I och med att Sydsten och Betongindustri gjuter betongkuber nästan dagligen har två intervjuer gått ut på att se hur de utför sina tryckprover för att få kunskap inför studiens undersökningar. Undersökningarna som gjordes i denna studien har utförts hos båda Betongindustrin och Sydsten för att minska felfaktorer som kan uppstå i skolans laboratorium. Detta på grund av att skolan inte hade tillgång till alla redskap, men även nyare verktyg och kontroll av maskiner fanns tillgänglig hos företagen. För att förstärka validitet har arbetet även tagit hänsyn till de olika standards kraven som gäller vid tryckprovning av betong.

### 5.3.2 Reliabilitet

En bra reliabilitet uppnås genom noggrannhet av datainsamling och framförande av genomförandet. Genom att stärka upp datainsamlingen är det viktigt att låta en annan individ granska och analysera den för att kunna hitta eventuella svagheter (Höst, Regnell & Runeson, 2006). Studien har granskat och analyserat av båda författarna för att kunna bevisa rätt förståelse och att rätt data har samlats in. Granskning har varit en viktig del i detta arbete för att minimera aspekterna som påverkar sluthållfastheten negativt. Under studien har även noggrannheten vid labbundersökningar varit i stor fokus. Då människor är olika och arbetar på olika sätt valde studien att arbetsfördela prövningen så att samma person genomförde samma moment vid varje kub. Författarna har hela tiden haft en dialog samtidigt som det har övervakats över varandras arbete för att minimera avvikelser. Ett exempel kan vara vid vibrationen av kuberna, där användes en timer för att alla kuber skulle vibrera lika länge. Även samma person startade tidsmätningen medan den andra person startade och stängde av vibratorn. Ett annat exempel är betongssluthållfasthet. Den är mest intressant efter 28 dygn men för att vara så noggranna och för att kunna se var den eventuella avvikelserna är som störst, valde studien att trycka 4–6 betongkuber per vecka.

## 5.4 Genomförande av labundersökningar

Under detta kapitel beskrivs tillvägagångssättet när det gäller tryckning av betong. En möjlighet att få en förtydligad bild över hur tryckningen olika steg angående standardprocesserna. En uppföljning som leder till en bättre förståelse rörande problematiken bakom metoderna, varför ger det inte alltid ger samma resultat när det kommer till tryckhållfastheten?

### 5.4.1. Labundersökning

Betongblandningen genomfördes hos Betongindustrin för alla kuber (för de som ska härdas i vattenbad och i luftutrymme) för att de skulle utgå från samma betongrecept och på så sätt kunna minimera eventuella avvikelser att uppstå om två recept användes. Studien valde att testa betong hållfastheten C30/37 som är en av de vanliga typerna hos betongindustrin. Betongindustrin tog hand om själva blandningen som enligt receptet ska ha en blandningstid på 90 sekunder men eftersom betongmassan förflyttades till labbet i tre omgångar fick arbetet en högre blandningstid.

Formarna var totalt 22 stycken i storlek  $150 \text{ mm}^3$  där 11 bestod av plast och 11 av stål. Innan kuberna fylldes med betong smörjdes de med ett smörjmedel som kallas för Wiking wax som underlättade kubernas lossning från formarna dagen efter. När alla kuber smörjdes togs en kub i taget och fylldes med betongmassan. Varje kub fylldes i två omgångar för att vibreras två gånger för att kunna få ut luften och samtidigt få en kompaktare betong (SS 13 71 24). Kuberna fylldes halvvägs och vibrerades i fem sekunder, därefter fylldes kuberna helt och vibrerades ytterligare i tio sekunder till. Med hjälp av en spackel kunde man spackla bort överflödet av betongen då lika långa kuber eftersträvades (se bild 5.4.1a)).

När alla kuber var fyllda så täcktes kuberna med plastpåsar för att undvika vattnets avdunstning från betongmassan, då vattnet påverkar sluthållfastheten. Kuber skulle vila under ett dygn i rumstemperatur för att få en kemisk reaktion mellan beståndsdelarna och på så sätt formas. Dagen därefter togs kuberna ut ur formarna (se bild 5.4.1b) och placerades i ett gemensamt vattenbad med en konstant temperatur på ungefär  $20 \text{ °C} \pm 2\text{°C}$  för att kunna minimera avvikelserna som hade kunnat uppstå ifall arbetet valt att använda sig av två olika vattenbad. Temperaturen mättes dagligen för att konstatera att temperaturen stämmer. Dag fem halverades kuberna, där hälften förflyttades till Sydsten för att luftlagras med en relativ luftfuktighet på omkring 60% medan resten stannade kvar i vattenbadet hos Betongindustri.



När kuberna skulle tryckas i de fyra olika tillfällen (dag 7, 14, 21 och 28) togs det hjälp av Sydstens personal och tryckpress för att utesluta mätfel. För att kunna utföra beräkningarna behövde man väga och mäta kuberna. Kuberna vägdes och sedan mättes höjden och arean med hjälp av en areamätare (bild 7.1a). Därefter skulle kuberna tryckas, kuberna placerades centrisk i tryckpressen för att undvika missvisande värden som hade uppstått om belastningen från tryckpressen inte verkat centrisk mot kuberna (SS137230). Sydstens tryckpress hade en markering för den centrisk placering av  $150\text{ mm}^3$  kuber.



Bild 5.4.1a Före härdning



Bild 5.4.1b Efter härdning



## 6. Resultat

Det som underlättade genomföringen och skapade en mer säker och trovärdig studie är att studien utgick från flera olika standardkrav. Studien tog även hänsyn till flera aspekter för att kunna minimera avvikelser som kan uppstå genom att alla kuber utgick från samma recept och samma blandning. De fyra första dagarna härdades betongen utifrån samma förutsättning, i samma utrymme och i samma vattenbad. Vid tryckningen användes samma tryckpress och mätmaterial för att beräkna hållfastheten fastän kuberna inte varit samma lagringsutrymme.

En faktor som påverkade resultatet av hållfastheten var att plast- och stålkuber användes. Hållfastheten påverkades eftersom plast är ett material som värms upp snabbare än stål, vilket påverkar vattnet i betongen som leder till att hållfasthetstillväxten blir långsammare för plast (Thomas betong). Diagram 1–4 visar att hållfastheten alltid blev lägre hos kuberna med plastformer till skillnad från stålkuber. I diagram 1–3 skiljer sig hållfastheten på kuberna generellt från varandra. Som visat i diagram 2 är hållfasthets skillnaden 41,7–51,2 MPa och även i diagram 3 varierar kubernas hållfasthet från 41,1–52,8 MPa. I diagram 2 avviker stålkub 2 för vattenlagrade från de andra på grund av mätfel som märktes direkt vid tryckningen (mer om det under analysdelen). Som man även kan se, är det inte enbart härdningsmetoderna som skiljer sig, utan även kuber med samma härdningsmetod har olika hållfasthet. En stor skillnad finns i bland annat diagram 3 där hållfastheten för vattenlagrade kuber ligger mellan 41,4–51,5 MPa. Detta beror på faktorer som diskuteras längre ner.

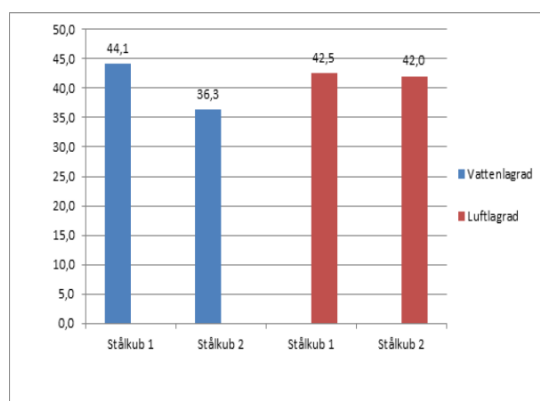


Diagram 1 Kubernas hållfasthet vid dag 7

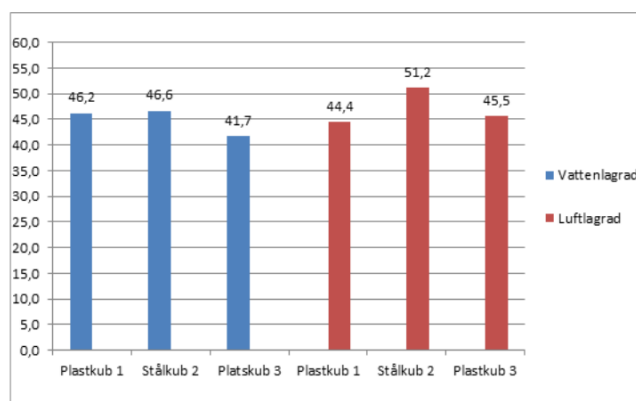


Diagram 2 Kubernas hållfasthet vid dag 14

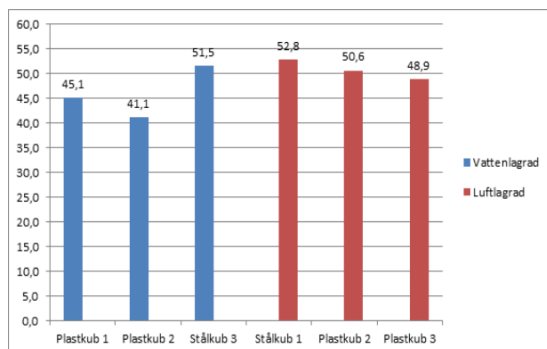


Diagram 3 Kubernas hållfasthet vid dag 21

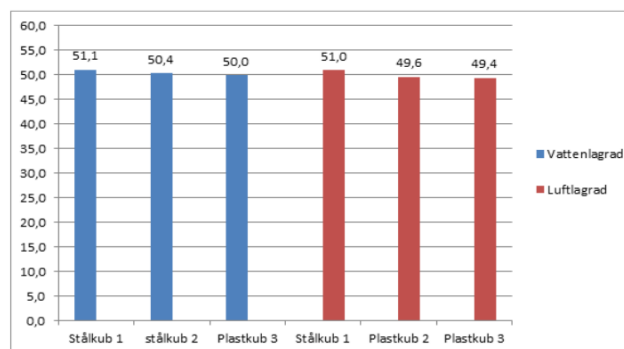


Diagram 4 Kubernas hållfasthet vid dag 28

Diagram 5 visar en överblick över hållfastheten för de fyra tillfällen kuberna trycktes, för vattenlagrad, luftlagrad och tendenskurvan. Man kan se att hållfastheten för provtrycken ger en mycket högre hållfasthet än den minimala, det vill säga i jämförelse med tendenskurvans hållfasthetsvärde. Tendenskurvan visar den minimala hållfastheten som en betongklass får ha. Som visat i diagram 5 ger luftlagrade kuber en högre hållfasthet under de 3 första provtryckningar eftersom omräkningsfaktorn inte togs hänsyn till. Vid dag 28 var värden på den luftlagrade och vattenlagrade hållfastheten likvärdiga då omräkningsfaktorn användes. Detta är på grund av att omräkningsfaktorn endast är framtagen för dag 28 (Thomas betong).

I diagram 5 visas det att hållfasthetens medelvärde har ökat med mer än 10 MPa än tendenskurvans. Att hållfastheten för kuberna ligger över tendenskurvans värde är inte något konstigt då detta är något som sker konstant hos betongtillverkarna. Eftersom tendenskurvan utgår från den minsta acceptabla hållfastheten inom betongkvalitet är det i vissa fall standardiserat att betongindustrin ska ha en marginal med minst + 4MPa för att kunna undvika minimigränsen hos tendenskurvan. I den stora helheten är fördelningen mellan kubernas hållfasthet och tendenskurvan ganska jämn för varje trycktillfälle eftersom hållfastheten ökar kraftig vid det första sju dygnen och därefter kommer hållfasthetstillväxten ske succesivt fram till dag 28. Enligt studiens sluthållfasthet ligger den strax över 50 MPa, vilket kan anses vara högt för att klassas som C30/37. Detta var dock inget ovanligt då de olika betongindustrier som intervjuades i detta arbetet brukar få likadana värden. Ett exempel är Thomas betong som visade sina värden under intervjun: hållfasthet för en C30/37 kunde gå upp mot 61 MPa.

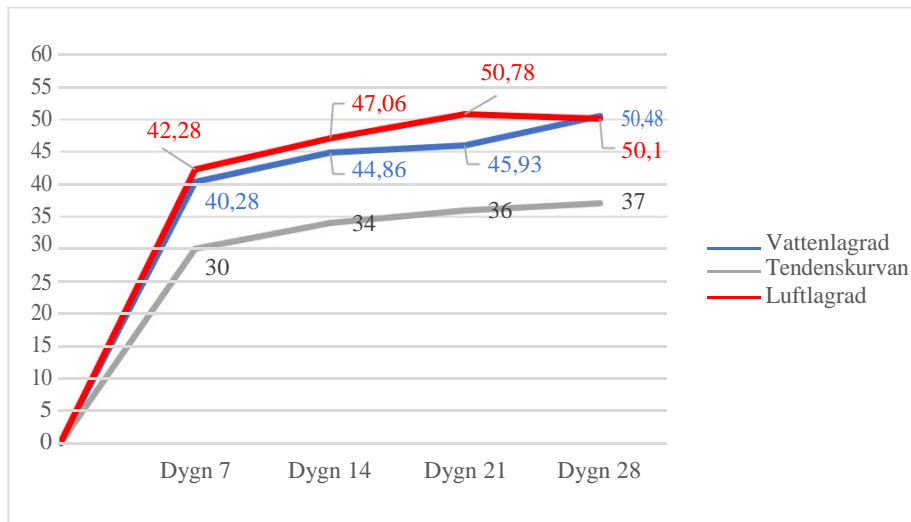


Diagram 5 Medelvärde av sluthållfastheten efter 28 dygn i jämförelse med tendenskurvan.

Lufthalt har en stor påverkan på hållfastheten eftersom mängden luft kan variera från kub till kub beroende på vibrationen och bindningen mellan de olika beståndsdelarna i blandningen. Med hjälp av en efterhandsberäkning kunde kubernas lufthalt beräknas i jämförelse med hela betongmassans lufthalt. Utifrån detta kunde en "tydligare" hållfasthet visas som visas i diagram 6 och 7. De vattenlagrade kubernas lufthalt visas i diagram 6 där den mörka färgen beskriver kubernas tryckhållfasthet medan den ljusblå bevisar justeringen av tryckhållfastheten beroende på mängden luft i kuberna. Diagram 7 visar den luftlagrade betongen, där den gröna färgen står för tryckhållfastheten och den ljusgröna innebär den justerbara hållfastheten. Genom dessa diagram kan man se att lufthalten hos de vattenlagrade kuber minskade hållfastheten vid de första tre tillfällena men ger en ökning vid dag 28. Medan för de luftlagrade kuberna minskade hållfastheten eftersom kuberna hade en ökat lufthalt.

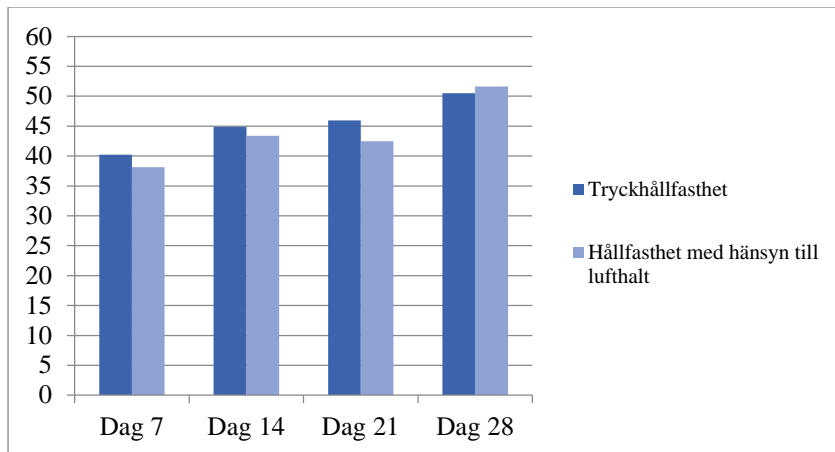


Diagram 6 Hållfasthet med hänsyn till lufthalten i vattenlagrade kuberna

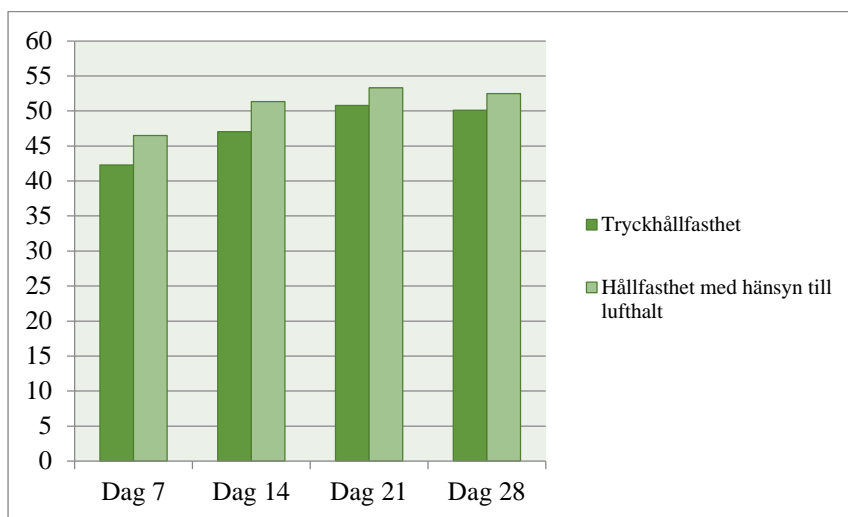


Diagram 7 Hållfasthet med hänsyn till lufthalten i luftlagrade kuberna

## 7. Analys

Resultatet från denna studien gav ett bra underlag över hållfastheten gällandet de två olika härdningsprocesserna. Betong är en "kaosteori" som kan vara svår att förstå sig på men denna studie har försökt att förtydliga faktorerna på bästa möjliga sätt. Med "kaosteori" syftar arbetet på att betong är ett ämne som har en del oklara delar, då det hela tiden uppstår nya frågetecken vid forskning. Det finns många faktorer som påverkar betongens hållfasthet så som vatten-, ballastens kvalitet och vct men dessa faktorer påverkade inte arbetets resultat eftersom kuberna bestod av samma betongrecept. Däremot finns det flera faktorer som är svåra att förutse, det kan till exempel vara betongens beståndsdelar. Receptet som användes i detta arbete hade ballast med storleken 0-16mm, storlek på ballasten skapar en kompakt betong som fyller hålrummen i betong men påverkar betongens hållfasthet.

Den viktiga frågan är varför det i vissa tillfällen ger avvikelser på vissa kuber och även varför kuberna med samma härdningsprocess får olika hållfasthet. Detta kan bero på många faktorer såsom att blandningen inte har fördelat beståndsdelarna i betongen jämnt och även att några kubmassor blandades mer än andra. Detta är på grund av att betongmassan inte är en homogen blandning som även innebär att en del kuber kommer bestå av mer cement medan andra kommer bestå av mer ballast. I diagram 2 kan man se att kub 2 för luftlagring har en hållfasthet på 51,4 MPa medan resterande luftlagrade kuberna ligger mellan 44–46 MPa. Detta kan bero på att kuben består av en högre mängd cement som ger en högre hållfasthet. Detta går inte att lösa i praktiken eftersom det är omöjligt att kunna få tag i en hög ballast som har samma struktur, storlek och massa.

Som visat i diagram 6–7 påverkar lufthalten hållfastheten i betongkuberna och en fördel var att möjligheten till beräkning kunde utföras i efterhand. Hur mycket luft det finns i kuben har många orsaker och en av de är blandningstiden, där en ökad blandningstid ökar lufthalten i betong. Betongindustrin brukar ha en blandningstid på 90 sek under C30/37 beställningar, men vid utförandet av detta arbete blandades beståndsdelarna under en längre tid eftersom betongen behövdes ta i flera omgångar för att fylla alla kuber. Betongen tog i flera omgångar på grund av att betongen skulle vara färsk och att samma konsistens skulle erhållas under gjutningen. I blandaren kan temperaturen justeras och jämnt fördelat beståndsdelar kunde fås. Detta var något som eftersträvades för att som tidigare nämnt, undvika att ballast med högre densitet skulle sjunka ner till botten av blandningen som senare skulle påverka hållfastheten. En annan faktor som påverkar lufthalten i kuberna är vibrationstiden. Ju mer luft som togs ur betongen desto kompaktare betong fås och desto högre hållfasthet erhöles.

Utrustningen och tillvägagångssättet kan också vara påverkade faktorerna då man aldrig kan vara 100% säker på att man uteslutit alla mätfel. En noggrannhet vid vibrationen var något som förekom under arbetsgång men lite mindre/mer vibration kan ha uppstått.

Vibrationstiden samt hur noggrant betongen fyllde kuberna i slutet efter sista vibrationen påverkade även höjdskillnaderna för kuberna som ledde till att betongmassan minskade och blev någon millimeter kortare eller högre. Detta är även något som påverkar hållfastheten då hållfastheten är beroende av arean (se bilaga 2.3.2). Med hjälp av en areasticka (Bild 7.1a) kunde arean beräknas för varje kub, där ett medelvärde av arean beräknades genom tre olika punkter på kuben. Eftersom betongkuber inte filas, var inte alla sidor lika och arean på kuberna varierade lite.



Bild 7.1a Mätning av area inför provtryckning.

Kunskap om tryckning av betong framkallades genom observationer hos Betongindustri och Sydsten men även studier av olika betongstandarder. Noggrannhet vid tryckningen blev större efter varje tryckning eftersom nya aspekter kom emellan. Vid arbetets första tryckning (dag sju) uppstod det ett mätfel på grund av brist på kunskap ur författarnas perspektiv samt brist på noggrannhet från Sydsten. Stålkub 2 för vattenlagrad härdning i diagram 1, har en hållfasthet som inte stämmer överens med de andra kuberna eftersom borstning av tryckpressen var något som inte togs hänsyn till efter första kubtryckning. Därefter blev den en viktig aspekt att tänka på, då den minsta lilla betongbit kan påverka tryckpressen och fel hållfasthet kan beräknas. Detta var en av anledningen till att det valdes att trycka 4 gånger fastän den mest intressanta dagen är dag 28.

En helhetsbild som kan ses över studiens resultat är att tryckhållfastheten påverkas av flera aspekter under tillvägagångssättet men även härdningsprocessen. Att den svenska standarden ger en högre hållfasthet än den europeiska är något som ses i diagrammen då betongens härdningsprocess är annorlunda. Den svenska standarden för kuberna är inte omslutna av vatten och därmed torkas ut snabbare vilket leder till en ökad lufthalt. Betongens hållfasthet ökar, vilket innebär att den svenska standarden inte efterliknar den europeiska standarden och därmed behövs en omräkningsfaktor för att kunna uppnå tillämpningen av den europeiska.



## 8. Diskussion

Tillvägagångssättet för denna rapport bestod av en kvantitativ studie som var baserad på mätningar och undersökningar. Att kunna balansera en kvantitativ studie med en kvalitativ studie hade förändrat genomförandet av arbetet som i sin tur hade skapat små förändring i analysdelen. En förändring som hade krävts är jämförelse med tidigare forskning, där ett av arbetets största hinder har varit att finna tidigare forskning som matchar denna rapport. Som tur är har arbetet haft en öppen dialog med samarbetspartnerna som underlättade en hel del i arbetet. Möjligheten till ett samarbete med Betongindustrin och Sydsten och även intervjuer med andra företag som tillverkar och levererar betong dagligen har lett till större förståelse över arbetet samt tillvägagångssättet för beräkning av betongens hållfasthet och dess faktorer.

Härdningsprocesserna har varit svåra att bedöma eftersom uppföljningen av den relativa fuktigheten i Sydsten laboratorium varierade under de veckovisa besöken. Den relativa fuktigheten var mellan 40 % upp mot 56,0 % (se bilaga 2). En förändring av den relativa fuktigheten är något som anses borde förändra omräkningsfaktorn enligt betonghandboken. Där står det att omräkningsfaktorn ska ändras beroende på den relativa fuktighetens storlek, medan den svenska standarden SS 137003 anger en omräkningsfaktor på 0,92 för relativ fuktighet mellan 40–80%. Studien använde sig av standardens omräkningsfaktor för alla mätningar, vilket teoretiskt sätt ger ett annorlunda mätvärde enligt betonghandboken. Även Thomas betong konstaterade att omräkningsfaktorn påverkas av den relativa fuktigheten, vilket företag inte tar hänsyn till eftersom man följer standarden. Detta var något som var oklart för studiens skribenter eftersom betongtillverkarna hela tiden diskuterades att minimera antal avvikelser för att kunna få rätt sluthållfasthet. I baktanken behöver man även ha med sig att omräkningsfaktorn är endast framtagen vid dag 28 och inte för tidigare dagar. Detta var enbart något som Thomas betong påpekade och var tydlig med att arbetet inte skulle använda sig av omräkning under de tre första veckorna.

Resultatet hade även varit tydligare ifall kuberna bestått av samma material för att kunna undvika avvikelserna när det kommer till betonghållfastheten. Att minimera felfaktorer att uppstå kommer hjälpa till att få en tydligare bild av arbetets resultat som är svårt att bevisa. Angående formens material, plats och stål, var det inget som författarna visste skulle påverka vid gjutningen. Inte heller under studiens observation nämndes det att kubernas material påverkar hållfastheten. Först efter den andra intervjun hos Thomas betong och hos första intervjun Abetong påpekades det att olika material har en betydelse för hållfastheten och att arbetet borde ha undvikit detta. Förkunskap inom detta område saknades men i resultatet visar det att kuber som härdat i plastkuber får en lägre hållfast än stålkuber då de värms upp snabbare. Abetong påpekade även att flera tester förekommit för att kunna dra denna slutsats men det finns ingen vetenskaplig teori om detta och därmed inget som bör tas hänsyn till.

Något som respondenterna var enade om var att antal kuber inte var tillräckliga för denna studien, man hade hoppats på fler kuber för att kunna få en tydligare resultat som bidragit till en generell slutsats. Att jämföra två till tre kuber per vecka för dem olika härdningsprocess anses inte vara tillräckligt för att kunna få en helhetsbild. Betongindustri och Thomas betong hade velat ha kuber uppemot 50–100 styck för att kunna dra en slutsats av arbetet. Däremot kan hypoteser dras med hjälp av undersökningarna då det är baserat på arbetets tänkbara lösningar.

För att sammanfatta skillnaden mellan härdningsmetoderna kan man säga att den vattenlagrade härdningsprocessen är mer effektiv eftersom den luftlagrade betongens hållfasthet behöver reduceras för att kunna efterlikna den europeiska standarden. Thomas betong som provtrycker betong dagligen och forskar inom betongens tryckhållfasthet använder sig av den europeiska standarden. Thomas betong anser att den vattenlagrade härdning är effektivare eftersom det är en jämnare klimat i vattnet som leder till att betongen kommer ha en konstant miljö. Även Abetong som arbetar med prefabricerad betong höll med om att den europeiska standarden är mest lönsam eftersom de vattenlagrade kuberna har mer tillgång till fukt som undviker att betongen torkar ut för snabbt då den befinner sig i vattenbad och fukten i betongen inte försvinner. På så sätt kan den kemiska reaktionen hållas igång som tänkt utan några hinder. Den luftlagrade härdningen anses däremot kan ha påverkan på betongens uttorkning där Abetong påpekade att en relativ fuktighet på 40% kommer båda torka ut snabbare och avge fukt från betongkuberna mer än en kub med relativ fuktighet på 80%.

## 9. Slutsats och framtida forskning

### 9.1 Slutsats

Studien strävade efter att studera betongens tryckhållfasthet genom att undersöka härdningsmetoderna enligt den europeiska och svenska standarden. Vilka faktorer som har en inverkan när det kommer till betongens hållfasthet samt vilken metod som är den mest effektiva är något arbetet baserades på. Studien ansågs ha för få kuber och därför kunde ingen riktig slutsats dras. Dock kan vi för denna studien se att hållfastheten för kuberna dag 28 visade liknande värden och detta tyder på att båda metoder anses vara säkra att utföra.

Arbetes undersökningar visas det att flera faktorer kan ha en påverkan. Vissa faktorer är lättare att beräkna och se över medan andra är svårare, här kan det till exempel gälla att kubernas enskilda lufthalt går att beräkna i efterhand men kubernas beståndsdelar inte går att fördela lika mycket i kuberna då betong inte är homogen.

Mål med arbete var att kunna underlätta betongfabrikers arbete gällande hållfasthetskraven, genom att minimera avvikelser som kan uppstå vid utförande av kubundersökningen. Av den hypotes som arbetet kan ta är att den europeiska standarden är något som föredras då den svenska standarden tillämpas efter den internationella standarden. Den svenska standarden behöver justera hållfastheten för att kunna efterlikna den europeiska standarden eftersom den luftlagrade ger en högre hållfasthet än den vattenlagrade processen. De vattenlagrade kuberna har även konstant tillgång till fukt runt om, den kemiska reaktionen i betongen vid utvecklingen sker som den bör göra utan brist på något. Däremot kan fukten i den luftlagrade utrymmet variera och vid låg relativ fuktighet kan kubernas reaktion ske fortare än förväntat.

## 9.2 Framtid forskning

Som tidigare nämnt var studiens mål att kunna bevisa betongfabriker vilken metod som eventuellt var den mest effektiva processen gällande betongenshärdning. Med tanke på att undersökningens tester var för få i antalet hade det varit intressant att göra om studien med fler antal kuber samtidigt som man följer upp arbetets avvikelser som dök upp efterhandi detta arbetet, till exempel användning av samma material i formerna. Detta hade varit intressant då arbetets provtryckningar visade en skillnad i början mellan båda härdningsprocessen och tydde på att den europeiska var den mest effektiva. Ett annat intressant ämne hade varit om undersökningar gjordes för att få fram en omräkningsfaktor för tidigare än 28 dygn. Eftersom det endast finns en omräkningsfaktor för dag 28 är det svårt att justera resterande dagars hållfasthet när en tidig hållfasthet skall beräknas.

## Referenser

### Böcker

Almgren, Thomas, Holmgren, Lars & Martinsson, Jan (2016). *Betong- och armeringsteknik*. Göteborg: Sveriges Byggindustrier

Backman, Jarl (2016). *Rapporter och uppsatser*. Johanneshov: MTM

Berggren Ewa (2002). *Betongprovning med svensk standard*. SIS Förlag, Stockholm, 2002

Burström Per. Gunnar (2006). *Byggnadsmaterial, uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*, Lund Studentlitteratur

Hoel, Torlaug Løkensgard (2010). *Skriva på universitet och högskolor en bok för lärare och studenter*. Johanneshov: TPB

Höst, Martin, Regnell, Björn & Runeson, Per (2006). *Att genomföra examensarbete*. Lund: Studentlitteratur

Ljungkrantz, Christer, Möller, Göran & Petersons, Nils (red.) (2012[1994]). *Betonghandbok. Material*. 2. utg. Solna: Svensk byggtjänst

Ljungkrantz, Christer, Möller, Göran & Petersons, Nils (red.) (2012-[1992]). *Betonghandbok. Arbetsutförande: projektering och byggande*. 2. utg. Solna: Svensk byggtjänst

Petersons, Nils & Ljungkrantz, Christer (red.) (2000). *Betonghandbok. Högpresterande betong: material och utförande*. Solna: Svensk byggtjänst

Silfwerbrand, Johan (2017). *Betonghandbok. Material. D. 1, Delmaterial samt färsk och hårdnande betong*. Tredje, reviderade utgåvan Solna: Svensk byggtjänst

## Vetenskapliga artiklar

Chen, Q., Jin, R., & Soboyejo, A., 2015. *Survey of the current status of sustainable concrete production in the U.S.* [Online]. ScienceDirect. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915301105?via%3Dihub> [Hämtat 2019-02-26]

Alexander, Mark G., Bentur, Arnon & Mindess, Sidney (red.) (2017). *Durability of concrete: design and construction.* [Online]. Boca Raton: CRC Press. Hämtat från: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781482237269> [Hämtat 2019-03-14]

Austin, Simon, Cavalaro, Sergio H, Galobardes, Isaac, Goodier, Chris I & Rueda, Angel. 2015. *Maturity method to predict the evolution of the properties of sprayed concrete.* [Online]. Hämtat från: [https://ac.els-cdn.com/S0950061814013403/1-s2.0-S0950061814013403-main.pdf?\\_tid=a8eb32e8-bf93-42d2-9b48-b92706bdbaf3&acdnat=1549277347\\_8dfe4ba193654cc997cb1604842660e2](https://ac.els-cdn.com/S0950061814013403/1-s2.0-S0950061814013403-main.pdf?_tid=a8eb32e8-bf93-42d2-9b48-b92706bdbaf3&acdnat=1549277347_8dfe4ba193654cc997cb1604842660e2) [Hämtat 2019-03-14]

Hung-Liang, Chen & Tahsin Alper, Yikici. 2015. *Use of maturity method to estimate compressive strength of mass concrete.* [Online]. Hämtat från [https://ac.els-cdn.com/S0950061815300441/1-s2.0-S0950061815300441-main.pdf?\\_tid=888e8847-6c1b-4e51-a70e-2360628a06d4&acdnat=1549362776\\_1f43f563d443fdc0962efe0d0c3b9970](https://ac.els-cdn.com/S0950061815300441/1-s2.0-S0950061815300441-main.pdf?_tid=888e8847-6c1b-4e51-a70e-2360628a06d4&acdnat=1549362776_1f43f563d443fdc0962efe0d0c3b9970) [Hämtat 2019-03-15]

## Webb

Betong, 2017 [Online]. Fråga Experten: Tryckhållfasthetsprovning för betongkonstruktioner? Hämtat 2019-02-16 från, <http://betong.se/2017/06/07/fraga-experten-tryckhallfasthetsprovning-for-betongkonstruktioner/>

Cementa AB, 2018 [Online]. Bascement: Teknisk beskrivning. Hämtat 2019-02-18 från, <https://www.cementa.se/sv/bascement-slite>

## Standard

Standardiseringskommissionen i Sverige, 1978. SS 13 72 10. Betongprovning – Hårdnad betong – Kubhållfasthet

Standardiseringskommissionen i Sverige, 1983. SS 13 72 30. Betongprovning – Hårdnad betong – Tryckhållfasthet hos provkroppar.

Standardiseringskommissionen i Sverige, 1983. SS 13 11 11. Betongprovning – Provkroppar – Form, mått och toleranser.

Standardiseringskommissionen i Sverige, 1989. SS 13 71 24. Betongprovning - Färsk betong - Lufthalt (tryckmetod)

Swedish Standards Institute, 2000. SS-EN 12390-4. Provning av hårdnad betong – Del 4: Tryckhållfasthet – Fordringar på tryckpressar.

Swedish Standards Institute, 2011. SS-EN 12390-3. Provning av hårdnad betong – Del 3: Tryckhållfasthet hos provkroppar.

Standardiseringskommissionen i Sverige, 2015. SS 13 70 03. Betong-Användning av SS-EN 206 i Sverige.

Standardiseringskommissionen i Sverige, 2016. SS-EN 2016 Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överrenstämmelse.





# **Bilaga 1**

# **Betongrecept**

## Grundrecept för C30/37–16 S5

- Sättning(220m)
- Konsistens (140mm)
- VBT(0,55)
- Bindningstiden (90 sekunder)

Benämning	Förkortning	Kg/m <sup>3</sup>	Procent	Effektfaktor
Bascement CEMII52.5	BAS	325,00	100,00	1
Kallvatten	KALLV	178,75	100,00	
Flyt Sika 30-20	30-20	3,9	1,20	0
Ballast	8-16mm kassakällor	8-16C	699,63	38,00
	0-8mm kassakällor	0-8A	1135,77	61,00
	Limus 40	KALK	18,68	1,00
Betongensdensitet	2361,73 Kg/m <sup>3</sup>			
Lufthalt	4,5%			

# **Bilaga 2**

# **Tryckprovning av betong**

## 2.1 Mätningvärden tryckhållfasthet

Tabell 2.1

D	K	Vattenlagrande					Luftlagrad				
		Belastning	Area	Höjd	Hållfasthet		Belastning	Area	Höjd	faktor	Hållfasthet
A	U	[Kg/lb]		[mm]	[MPa]	[Kg/lb]		[mm]		[MPa]	
G	B										
7	1	102	227	151	44,125	97	224	149	1	42,524	
	2	84	227	151	36,338	96	225	150	1	42,043	
Medelvärde av hållfasthet [MPa]					40,232					42,283	
14	1	104	221	147	46,212	99,5	220	147	1	44,413	
	2	104,5	220	147	46,645	117,5	225	150	1	51,230	
	3	96	226	151	41,713	104	224	149	1	45,546	
Medelvärde av hållfasthet [MPa]					44,857					47,063	
21	1	101,5	221	147	45,101	121	225	150	1	52,810	
	2	93	222	148	41,138	114,5	222	148	1	50,648	
	3	116	221	147	51,544	112	225	150	1	48,882	
Medelvärde av hållfasthet [MPa]					45,928					50,780	
28	1	117	225	150	51,064	126	223	149	0,92	51,046	
	2	115,5	225	150	50,409	122,5	223	149	0,92	49,628	
	3	114,5	225	150	49,973	122	223	149	0,92	49,426	
Medelvärde av hållfasthet [MPa]					50,482					50,00	

I tabellen 2.1, visas betonghållfasthet för varje vecka vid de båda härdningsprocesserna. Hållfasthet med streck under är plastkuber.

## 2.2 Mätningvärden med lufthalt

Det kommande tabellerna (Tabell 2.2.1 – Tabell 2.2.4) kommer ge en inblick över betongkubernas enskilda lufthalt gällandet den vattenlagrade betong och den luftlagrade betongen. Den nya hållfastheten bevisar vad den eventuella hållfastheten hade blivit ifall kuberna hade bestått av den beräknade lufthalten (4,5% enligt betongindustrin)

### Vid dag 7

Tabell 2.2.1

Vattenlagrad betong									
Kub	Hållfasthet [MPa]	Vikt [Kg]	Volym [m <sup>3</sup> ]	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Receptets densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Kubens lufthalt [%]	Receptets lufthalt [%]	Totala lufthalt [%]	Ny hållfasthet [MPa]
1	44,125	8,022	0,0034	2361,0	2361,7	+0,031	4,5	4,531	44,19
2	36,338	7,983	0,0034	2419,1	2361,7	-2,344	4,5	2,156	32,08
Medelvärde hållfasthet [MPa]						38,14			
Luftlagrad betong									
1	42,524	7,873	0,0034	2315,4	2361,73	+1,96	4,5	6,46	46,69
2	42,043	7,866	0,0034	2313,4	2361,73	+2,046	4,5	6,546	46,34
Medelvärde hållfasthet [MPa]						46,52			

## Vid dag 14

Tabell 2.2.2

Vattenlagrad betong									
Kub	Hållfasthet [MPa]	Vikt [Kg]	Volym [m <sup>3</sup> ]	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Receptets densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Kubens lufthalt [%]	Receptets lufthalt [%]	Totala lufthalt [%]	Ny hållfasthet [MPa]
1	46,212	7,905	0,0033	2395,30	2361,73	-1,421	4,5	3,079	42,93
2	46,645	7,893	0,0033	2391,67	2361,73	-1,268	4,5	3,232	43,69
3	41,713	7,963	0,0034	2342,06	2361,73	+0,833	4,5	5,333	43,45
Medelvärde hållfasthet [MPa]						43,36			
Luftlagrad betong									
1	44,413	7,682	0,0033	2327,73	2361,73	+1,440	4,5	5,940	47,67
2	51,230	7,845	0,0034	2307,21	2361,73	+2,308	4,5	6,808	57,14
3	45,546	7,899	0,0034	2323,09	2361,73	+1,636	4,5	6,136	49,27
Medelvärde hållfasthet [MPa]						51,36			

## Vid dag 21

Tabell 2.2.3

Vattenlagrad betong									
Kub	Hållfasthet [MPa]	Vikt [Kg]	Volym [m <sup>3</sup> ]	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Receptets densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Kubens lufthalt [%]	Receptets lufthalt [%]	Totala lufthalt [%]	Ny hållfasthet [MPa]
1	45,101	7,843	0,0033	2376,7	2361,73	-0,633	4,5	3,867	43,67
2	41,138	8,013	0,0033	2428,0	2361,73	-2,807	4,5	1,693	35,36
3	52,544	7,918	0,0033	2399,4	2361,73	-1,595	4,5	2,905	48,35
Medelvärde hållfasthet [MPa]						42,46			
Luftlagrad betong									
1	52,810	7,947	0,0034	2337,2	2361,73	+1,038	4,5	5,538	55,55
2	50,648	7,766	0,0033	2353,2	2361,73	+0,362	4,5	4,862	51,56
3	48,882	7,903	0,0034	2324,3	2361,73	+1,587	4,5	6,087	52,76
Medelvärde hållfasthet [MPa]						53,29			

## Vid dag 28

Tabell 2.2.4

Vattenlagrad betong									
Kub	Hållfasthet [MPa]	Vikt [Kg]	Volym [m <sup>3</sup> ]	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Receptets densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]	Kubens lufthalt [%]	Receptets lufthalt [%]	Totala lufthalt [%]	Ny hållfasthet [MPa]
1	51,064	7,955	0,0034	2339,56	2361,73	+0,9	4,5	5,4	53,36
2	50,409	8,001	0,0034	2353,24	2361,73	+0,359	4,5	4,859	51,31
3	49,973	8,022	0,0034	2359,41	2361,73	+0,098	4,5	4,598	50,22
Medelvärde hållfasthet [MPa]						51,63			
Luftlagrad betong									
1	51,046	7,774	0,0033	2355,76	2361,73	+0,253	4,5	4,753	51,69
2	49,628	7,8505 5	0,0034	2308,97	2361,73	+2,234	4,5	6,734	55,17
3	49,426	7,756	0,0033	2350,30	2361,73	+0,484	4,5	4,984	50,62
Medelvärde hållfasthet [MPa]						52,49			



## 2.3 Temperatur och relativa luftfuktighet vid lagringsutrymmen

### 2.3.1 Vattenlagrade betongkubernas temperatur

Tabell 2.3.1

DAG	Temperatur i Vatten [°C]	DAG	Temperatur i Vatten [°C]
1	Rumstemperatur ca 20 grader	15	20,9
2	20,1	16	20,9
3	20,4	17	20,6
4	21,1	18	20,5
5	21,0	19	20,3
6	-	20	-
7	-	21	-
8	21,3	22	20,8
9	21,0	23	20,6
10	21,2	24	20,7
11	21,1	25	20,9
12	21,0	26	21,0
13	-	27	-
14	-	28	-

Tabellen visar den dagliga temperaturen för vattenlagrade betongen.

### 2.3.2 Luftlagrade betongkubernas relativa fuktighet

Tabell 2.3.2

Dag	Relativa fuktighet
7	52,5%
14	56 %
21	40,5%
28	42%

Tabellen visar Sydstens luftlagringsutrymmets veckvisa relativa fuktighet.

# **Bilaga 3**

# **Intervjuer**

## **Peterson & Hansson 6 feb 2019, Falkenberg**

### **Hur många klasser tycker ni att vi ska testa?**

Klassen bör inte ha stor inverkan, det kan man ju se på tendenskurvor. Men det kan vara intressant att se skillnaden mellan en betongklass C20/25 och en C30/37.

### **Vilka klasser rekommenderar du att vi testar?**

Jag skulle kört på en C20/25 då det är vanligt för en villgrund och en 30/37 för platta. Eftersom det en stor differens mellan cement.

### **Blandar ni betongen på plats?**

Nej det är Betongindustri som gör blandningen och skickar den till oss. Vi lägger en beställning på en platta men gjuter det på plats. Vi kan beställa en 30/37 med en temperatur med 20–25 grader så måste jag mäta den på plats då vi gjuter den. När den väl kommer till oss och jag mäter, så är temperaturen runt 21 grader kan vi ses eftersom den har transporterat hit.

Detta blir mitt startvärde, gjuttemperatur. Sen fram vid lunch mäter jag och får 10 grader och fram mot eftermiddagen har jag kanske 16 grader. Detta lägger jag in på vår databeräkning varje dag. Detta är vid intresse då jag vill riva formen så tidigt som möjligt.

### **Gör ni detta alltså för att formriva i god tid?**

Precis detta gör vi för formrivningen, för att kunna säkerställa arbetet. Jag behöver kunna räkna på det. När jag räknar på den teoretiska hållfastheten är mycket lägre än den tryckprovade. Så detta hade varit intresserade för er att undersöka, att ni loggar temperaturen, nu borde denna kub hålla denna tryckhållfasthet samt se över värdena.

På vinter vill jag ha en temperatur mellan 20–25 grader som jag beställer utan temperatur så kanske jag får en temperatur på 3 grader. Vilket med stor sannolikhet kommer leda till att betongen fryser. Som man ser på härdnings kurvor så sticker den bra i början innan cementen börja bränna ordentligt. Kommer den inte igång kommer man helt enkelt kassera hela valvet om den fryser.

### **Vad är de som bestämmer betongens temperatur?**

De är varmvatten, man blandar med varmvatten. Man håller i tempererat vatten. Man tar varmvatten från kranen.

### **Hur påverkar betong om de är kallt ut?**

Den tappar ju ganska fort, Om du tänker dig konduktiviteten i betong. Hur mycket värme den kan hålla. Vilket är en jätteskillnad om den är 4 grader eller 25 grader. Då de tar väldigt långt tid för att kyla ner då de är mycket värme då det säkert är 100 kubik. Mycket värme som ska försvinna ner. Och som sagt jag behöver få igång att cement börja bränna ordentligt, då är det som viktigast. Pratar vi om 0,5 MPA och de fryser så snackar vi om mycket pengar. Detta får inte hända. Detta är något som jag måste ha koll på för då vet jag att cementet bränner ut, vilket är vanligt efter ett dygn. Jag kan ju se hur den härda i temperaturen när jag läser av temp, jag vet att den kommer gå ner men jag vill se att den går upp då den kommer bränna.

När jag lägger i tempen kan jag se genom beräkning att den har t.ex. 5 MPa här. För då vet jag att jag ej behöver värma underifrån för att nå upp.

Ett annat sätt hade ju varit att kunna gjuta små kuber och skicka de till Linköping för att få ut värden men detta får jag inte reda på de först efter 2 dagar. Men ibland kan de vara försent då jag behöver få reda att den är uppnått 5 MPa för sen får den frysa. Men då härda den inget efteråt. De är ju därför det är en väldigt viktig del när vi gjuter i intervall speciellt nu under vintertid.

### **Detta gör man för formrivning och frysning?**

De första är frysningen måste vi klara för det är en ekonomisk kostnad. Sen för att jag skall kunna riva formen för att kunna fortsätta med arbetet.

### **Hur mäter ni temperaturen?**

Vanlig termometer, ingen avancerar. Köp en så billig som möjligt då det intressanta är att man vill veta temperatur genom att gjuta in den. Betong är ju inte så avancerad, man behöver inte göra de mycket komplicerad. Man kan även borra ett håll och hålla i en väska för att sedan mäta väskan temp. Man gjuter in termometern i den mest kritiska punkten som brukar vara ett hörn. Vi brukar ha den sämsta punkten som är 2/5 delar ner i tjockleken. Sen även ett teoretiskt mått in från sidan, jag har för mig att de är 2/5 runt 100mm hos 250mm. Gjuter man in den i kanten blir de fel då de precis är vid kanten och inte exakt. Då ni gör en kub så får ni använda er av mitten då ni har en sån liten volym.

### **Är de inte konstigt att flera företag som vi kontakta reagerat på detta problem men ingen gjort något åt problemet?**

Detta problemet finns men tyvärr har inte företagen råd eller tid att lägga ut på en utredning. Och därför är det väldigt viktig att någon student tar tag i det och får handledning av olika företag. Då studenterna kommer behöva gå in i teoretiska och börja forska. Detta är inget problem och problem då de finns lösningar men de är ju en frågeställning om varför detta är som det är.

### **Är det en ekonomisk kostnad då skillnaderna är som det är?**

Självklar de kostar ju mer då man behöver tänkt t.ex. på gasolen vid uppvärmningen. Så ju närmare man kommer verkligheten desto bättre blir de för företagen. Företaget kostnad och effektivisering påverkas av skillnaden.

### **Hur trycker prover man? Gör ni betongkuber vid sidan om eller hur gör ni?**

Jag tryckprover inte jätteofta, utan jag gör endast de när det behövs som när jag behöver spara en vecka. När det väl behövs så tar jag hit en hålborrade som tar en ut en kärna. Detta är det bästa sättet för att få närmaste värde. Om jag ställer en kub vid sidan om så påverkas de av luftflöden då de luftströmmen kommer blåsa från alla sidorna. Så om Jag ändå ska lägga pengar på de så gör jag de helt med bästa resultat då de är väldigt viktig för mig att få en bild av verkligheten. Detta brukar kosta ungefär 5000 kr allt som allt man brukar ge 1000kr till borrararen

### **När är de du känner att du behöver tryck prova?**

När vi ligger illa till i tidsmässigt, då jag behöver rivavåningen nedanför. Jag kanske har 5–6 gubbar som inte har ett jobb. Då måste jag veta exakt när jag kan riva formen för att veta om det handlar om 1–2 veckor innan eller efter den planerade. Här kan jag planera in borrararen i rätt tid. Är de nollgradigt kan de handla om 1–2 veckor. Det finns flera olika seminarier angående att gå vidare med arbetet. Efter borrhandet fyller vi igen hållet.

### **Testar ni cylindrar eller kub?**

C20/25 står för hållfastheten för 20MPa för cylinder och 25 MPA för Kubb. Vilket påverkas av arean, därför finns det en skillnad. Tryckhållfastheten är den samman bara att de visar olika vid trycken. Detta har man kommit fram till genom undersökningarna i laboratorium. Där det tar 1–2 dagar för att få svara beroende vad man betalar. C20 är för den europeiska standarden med 25 är för de svenska. Där 20 vid en cylinder är lika med 25 vid en kub, man pratar om samma sak.

### **Räknar ni på omgivande temperatur?**

Man tar inte hänsyn till utomhustemperatur i beräkningarna. Utan jag tar bara hänsyn till de om jag ska behöva täcka valvet för att skydda den vid temperatursänkningen.

### **Vilken dataanalys använder ni?**

Snacka med Richard så kan han hjälpa er angående betong standarden

### **Vad innebär temp 20 grader vid tendenskurvor?**

20 grader är egentligen den ekvivalenta härdningstiden, På en timme härdar den 1 timme på en timme. Man har utgått på 20 grader för att få grunden inom resterande temp över 0 grader. Som tex. vid 5 grader har man 0,34 timmar av 20 grader. Som t.ex. vid en 5 grader betong härdar med en faktor på 0,34 av en 20 graders betong hade härdat på en timme.

### **Tendenskurvor:**

Den största temperaturen är den översta temperaturen medan ”sido” temperaturen är betongens temperatur. Man beräknar summan av de olika tempmätningarna genom att addera dem, detta får vi genom summan av Faktorerna \* tid vid mätningen (var och en för sig)

## **Sydsten 7 feb 2019, Halmstad**

### **Hur mäter ni hållfastheten, vilka program använder ni er av?**

Vi har ett internt dataprogram som vi använder efter att ha tryckt betongen men sen har vi även ett annat program som kallas för Hett 11, den används mest till våra kunder ifall de vill se på ett ungefär hur mycket hållfastheten har kommit upp till. Då kan en av gubbarna på arbetsplatsen ringa för att veta snabbt hur mycket hållfastheten ligger på just då ifall de tex då vill riva formen. Hett 11 berättar hur långt tid tar det för att uppnå den hållfastheten man vill ha, vad är jag på efter 7 dagar osv.

### **Hur trycker ni betongkuber?**

Efter att vi blandar betongen släpps en liten del ner från bilen till kärnan innan den åker till arbetsplatsen. Vi mäter temperaturen och sedan håller det i en form. Kuben står där under dagen och dagen därpå lossar vi kuben och lägger den i vattnet tills den har blivit 5 dagar gammal. Temperaturen i vattnet är ungefär 20 grader. Sedan så ställs den i ett härdningsutrymme tills den är 28 dagar. luftfukthalten i utrymmet ska ligga runt 60.

### **Hur mäter ni betongens temperatur innan ni håller den i formen?**

Vi har en temperaturmätare i blandaren. Sen mäter vi även blandningen när den är i kärnan. Vi mäter den med en vanlig termometer.

### **Anser ni att det är bra att trycka på det sättet?**

Man vill ju ha kuberna stå ute vid byggkonstruktionen för att temperaturen och vinden ska bli samma. En kub blir ju självklart kallare snabbare jämfört med betongplattan som är mycket större.

### **Vad gör ni åt det?**

Eftersom det är kuber som görs och inte tas från konstruktionen så har de en standard på att det ska ligga ungefär 6–7 MPa högre.

Har det hänt någon gång att ni inte har fått en lägre hållfastheten än det önskat?

Vi har sådan koll att den aldrig ligger under hållfastheten av vad vi lovar, det har aldrig hänt sedan 1970. Det kan variera från kub till kub men aldrig några risker.

### **Gör ni endast kuber eller båda kuber och cylindrar?**

Cylindrar gör man efter gjutning om man märker att något har gått fel eller om man vill påskynda processen. Det ger ett mer rättvist värde. När man bygger broar eller kajer görs det ofta cylindrar då de är utsatta för salt och frost. De skickas iväg för att planas av för att det ska vara plana ytor och 10 cm långa, kuberna är 150x150mm. Cylindrarna görs inte hos oss då det inte är vårt jobb, vi skickar blandningen och våra kunder sköter resten.

### **Varför väntar ni med 28 dagar när den kan nå den hållfastheten på kortare tid?**

Det kan kanske räcka med 7 dagar då det har nåt 70 - 80 % av hållfastheten men regelverket säger 28 dagar. Det är svensk standard som säger det. Efter 28 dygn lovar man att det ska hålla den hållfastheten som krävs.

### **Med tanken på att tryckningen görs inomhus, tar ni hänsyn till att olika kunder inte värmer betongplattorna och att vissa gör?**

Man rekommenderar till kunderna att hålla koll på värmen men inget vi tar hand om. Om man gjuter en platta är det bra att täcka det med presenning och värmer den under natten så kan betongen komma upp i en hög temperatur. Det är jätte viktigt att kunderna tänker hela vägen. Många tycker det kostar mycket och värma men man ska även tänka att det kostar att riva om. Vi tar inte hänsyn till om de täcker plattan eller inte.

### **Hur märker man av att betongen har spräckts innan den har nått 5 MPa?**

Om det spricker innan 5 MPa kan man se det på betongens yta, det finns någon kakulering på ytan, rutmönster och knackar man på betongen så släpper den. Plattan behöver inte vara förstörd men man behöver slipa ytan. Det är viktigt att efter man gjuter, täcker med vintermattor, liggunderlag för att hålla värmen i plattan så att den inte går ut eller en pressening, vissa använder sig av tält. För bjälklag har man på båda ovan och under sidan. Man måste stänga alla fönster då det brukar vara öppet. Det kostar att hyra och energi kostar också och gubbar som ska jobba ska få betalt och det har man inte räknat med i början. Många gör utan, de flesta täcker inte. De får blandningen och använder sig av en accelerator som skyndar på allting så att hållfastheten sätter igång.

### **Hur ofta tryckprovar ni?**

Vi har 5 olika betongfamiljer och vissa skickas för frysning så de fryser och tinas i 5 till 6 dagar så skrapar man på ytan och ser om det släpper varje dag, för att det ska klara frost. Kravet är att man tar en kub av varje familj varje vecka.

### **Ni kollar inte medelvärde o tar flera än en per familj?**

Nej sen blir det medelvärde när man räknar tillbaka, när vi lägger in det i vårt system, så räknar den tillbaka. Man gör det varje kvartal, då gör man sammanställning och man har 12 veckor att sammanställa och se hur kuberna ligger i förhållande till varandra.



## **Betongindustri 11 feb 2019, Halmstad**

### **Använder ni er utav tendenskurvan?**

Ja det gör vi fast inte på det gamla sättet utan vi använder oss utav ett dataprogram. Vi har ett system där vi mäter hållfasthet, en termotråd som sätts in i betongen och sen skickar den signaler upp i ett mån och sen får man det på programmet.

### **Har ni beräkningarna som har gjorts för tendenskurvan?**

Vi har inte det men finns i givetvis hos betongindustri. Men principen är densamma som den gamla, för tid och temperaturen. En sak är ju om man tar en hållfasthetsklass C28/35, den förutsätter man ska hålla 35 MPa efter 28 dygn men det är ju inte sant utan den håller oftast mer, för vi måste ligga med en högre hållfasthet i vår utvärdering för att se om vi klarar den statistiska utvärderingen.

### **Vart får man tag på dessa standarder?**

De finns i standarden SS- En 206-31, betongstandard som håller för hela Europa. Man kan få tag på de hos SIS som släpper alla standard. Jag får inte dela ut de för de är licensierade, men där står det om betongfamiljer, utvärderingar osv.

### **Hur funkar detta med betong familjer?**

Varje betongindustri har betongfamiljer av samma betong, vi har 5 stycken sen tar man ett prov i veckan per familj, eller mer om betongmassan är mer än 350, 400 kubik ungefär, kommer inte exakt, då ska vi ta ytterligare ett till.

### **Trycker ni kuberna här?**

Nej vi har vårt laboratorium i Varberg där vi skickar iväg kuberna när det är dags att trycka.

### **Har ni de i vattenbad när ni skickar iväg de med tanken på den långa sträckan? Nej.**

### **Påverkar inte detta hållfastheten med tanken på att de får åka en bit utan härdning och får utsättas för kallare utrymme?**

Det är en halvtimme, den hinner knappast förändras något. Sen så har de fått sin hållfasthet efter 28 dygn så de hinner inte påverkas. Även om de skulle åka iväg ett dygn som vi gör med cylindrarna. Om de får stå i vatten i 2 veckor med 20 graders temperatur och sedan skickas iväg under ett dygn med vi säger 10 grader och sedan om man skulle räkna på det så märker man att det knappast ger någon skillnad.

### **Hur håller ni koll på temperaturen i vattnet?**

Vi har en termometer, vi har en tolerans på plus minus två grader. Det mäter vi varje dag så den står rätt.

### **Ni har alltså inte kuberna i ett fuktutrymme?**

Nej, man kan även lägga de i ett fuktigt utrymme men då måste man räkna ner resultaten med 8 %.

### **Vilket är det bästa härdningsmetod att göra?**

Det har inte så stor betydelse för båda går att göra. Det är mer en utrymmesfråga, om man har plats med vattenbad eller inte. Vi kör ju 100 mms kuber och inte 150. Standarden är 150 mms kub men man kan ha 100 mm istället och sen räkna man med en omräkningsfaktor, det står i någon standard.

### **Har ni några material om hur dessa tryckprover kom till?**

Nej men det finns många standarder som styr hur man ska göra och där står allt från tillverkning till provtryck.

### **Skulle vi kunna få grundreceptet för C20/25?**

Ja, det ska ni kunna få. Det som styr hållfastheten är vct-talet, förhållande mellan cement och vatten, där lägre vct ger högre hållfasthet. Om ni ska utföra det själva är det oerhört viktigt att ni har koll på vattnet, även ballasten kan innehålla vatten.

### **Tar ni hänsyn till vattnet som finns i ballasten?**

Ja vi gör det annars hade vi vart helt borta med vår betongtillverkning.

### **Hur vibrerar ni betongen?**

Vi har en vibrator, även det är det den standard där det står hur man ska göra. Vi håller betongen i formen och sedan vibrerar vi det direkt och sedan låter vi det stå där med plast på så att vattnet inte avdunstar.

### **Är det alltid 28 dagar man trycker kuberna?**

Ja det är en standard det också.

### **Betonginduststi frågar: Vilken hållfasthetsklass ska ni testa?**

C20/25 tänkte vi.

Betongindustri säger: Det är sällan man använder en sådan, vi kör nästan aldrig den klassen.

### **Vilken rekommenderar ni vi ska testa?**

C30/37 är den vanligaste under vintern. Ska ni använda er utav vårt recept kan jag titta på vilken vct vi använder oss utav. Om det inte är en stor mängd kan ni få blandning från oss så blir det säkrare.

## **Thomas Betong 13 feb 2019, Göteborg**

### **Använder ni er av tendenskurvor?**

Ja, vi hjälper kunder också som t.ex som formrivning eller tidigt frysning. När har man uppnått en viss hållfasthet.

### **Hur funkar vanliga termometer till skillnad från conreg?**

De funkar på liknande sätt men det är bökigare än conregen då denna sköter jobbet.

### **Petersson & Hansson mäter två gånger om dagen, hur ser du på det?**

Det är för glest egentligen, då man behöver mäta oftare vid ett tidigt skede och man vill ju fånga när det är en hög lutning och när det händer som mest.

### **Men vad rekommenderar du oss? Hur många gånger om dagen ska vi mäta?**

Jag tycker ni ska använda er av en conreg och justera en gång i halvtimmen men självklart kan ni använda er av en gång per tio minuter också. Det spelar ingen roll, men en gång i halvtimmen är lagom. Det finns ett program som kan koppla till denna som man har i dator.

### **När ni tryckprover använder ni er av vattenlagrad eller luftlagrad?**

Vi använder oss av vattenlagrad, det finns ju europeisk och svensk standard och den svenska bygger på den europeiska men ger avsteg. Sis har standarderna och jag kan rekommendera att ni kan kolla på SS137003 som är en tillämplig av den europeiska. Denna har alla betongfabriker.

### **Har ni märkt att en skillnad uppstår?**

Ja vi har en stor skillnad

### **Anser ni att detta är något man behöver göra något åt?**

Nej man vill ju alltid vara på säkra sidan, man har ju en viss hållfasthet man vill hålla sig till om man t.ex. har en C30/37 där 37 MPa är vattenlagrad fram till provlagen. Sen i Sverige har man luftlagring där man vattenlagrar 4 dygn och sen luftlagra resterande dygn. Men detta är inte rätt

### **Varför tycker du att det inte är rätt?**

För att det är en norm och är ett krav men i Sverige finns det en avvikelse att man kan använda sig av luftlagring. Vattenlagrad ska tillämpas så vi vill använda oss av rätt metod

### **Varför ska man vattenlagra den i 28 dygn?**

För att det är en jämnare klimat i vatten, lättare att få en en konstant miljö. Sen är det så att luftlagrad ger ett högre hållfasthet och därför behöver man reducera hållfastheten, där behöver man räkna om och gångra med 0,92.

### **Har ni kunder som ber er att trycka deras kuber?**

Ja

### **Hur tar man hänsyn till leveransen då?**

Ja precis, de fyller i en beställning som visar om de är en luftlagrad eller vattenlagrad. Har man en vattenlagrad så lägger man kuber i en tät försluten påse.

### **Men leveransen är ingen ni anser påverka tryckhållfastheten?**

Nej inget som påverkar. Men man kan beräkna på det men är det bara någon dag så påverkas det inte.

### **Vi tänkte oss att jämföra två hållfastheten vad tycker du?**

Ja de är alltid bra, men jag tänker mer vct men jag håller mig alltid till tre vct men de blir en hel del att hålla sig till. Så försök att hålla ner variabel annars har ni för mycket att göra. Samma sak med vct då de inte är något linjärt.

### **Tendenskurvor uppbyggnad**

Tendenskurvan är unik för olika cement och olika vct. kurvorna finns för alla betongtyper och cementsorter. Detta är tendenskurvor och den andra är mognadsgrad där man skriver te som är den ekvivalenta tiden som man behöver räkna om till 20 grader, om man inte har 20 grader behöver man räkna om det. så de är två bitar den ena är tendenskuva och den andra är mognadsgrad där man behöver beräkna för båda bitarna.

Kt-faktorn i mognadsgraden vad är den grundad på.

kt faktorn är inte beroende av tillsatsmedlet som är väldigt speciell och beror på vilken cement man använder sig av. Det finns olika varianter när det gäller Kt, den enklaste är tt-faktorn och då är Kt lika med temperaturen + 10/30 och den är väldigt förenklat form. Denna är linjär men tyvärr så är Kt inte linjär som är cement beroende och vct beroende.

### **Vad visar era tryckningar?**

När vi trycker för en C30/37 så håller den betydligt mycket mer då den inte får ligga under 37MPa. 37MPa är ju minsta hållfastheten för denna betongtyp.

### **Hur stor skillnad brukar ni få?**

Jag fick ett mejl igår av en kund så vi kan kolla på det så ska ni få se. Här är en C30/37 och på uppmätt kan ni se t.ex. 61 MPa, 48 och så vidare. Detta är var kuberna håller.

### **Hur är din Excelfil uppbyggd?**

(Här visar oscar hela uppbyggnaden av filen)

## **Betongindustri 2 april 2019, Varberg**

**Om vi kollar på våra prover så kan vi se att det finns en del som sticker ut medan andra är hyfsat nära, vad kan detta bero på då betongen kuberna består av samma blandning, trycks av samma tryckpress under samma dygn.**

Detta kan vara slumpmässigt, det är svårt att kunnat ta en slutsats då proverna är för lite. Statistisk sett hade man behövt fler prover för att kunna ta en slutsats men även för att kunna se skillnaderna. Det ni kan se är att det varierar men det vi vet är att de påverkas av flera olika faktorer, vilket är väldigt svårt att kunna ta en slutsats när de gäller att kuberna är för lite. Betong är kaos, vilket är väldigt svårt att kunna beskriva, då det är svårt att kunna veta exakt hur mycket beståndsdelar som finns i varje kub.

### **Är betongkubernas vikt en viktig faktor?**

Vikt är viktigt, ju högre vikt man har desto kompaktare kub har man. Kompaktare kub ger en högre densitet som ger en högre hållfasthet.

### **Hur ser våra värden ut?**

Jag tycker det är väldigt höga värden, känns som om något är fel. Kan vara mätfel. Jag ska kolla med Richard och se vad han säger

Betongindustri person 2: Om vi kollar på deras värden så verkar dem relativa höga, vill du kolla över det? Och se ifall de stämmer

Betongindustri person 1: Vi kan se att värden höjs ganska bra under det första sju dagarna och höjs med en liten marginal under resterande veckor. Vilket ser bra ut. Men hur såg temperaturen ut?

### **Vi har mät dagligen och temperaturen har legat runt $20 \pm 2$ . Dock kunde vi se att den relativa luftfuktigheten hos luftlagrade varierade något lite större, kan detta vara orsaken?**

Svårt att avgöra, ni har för få kuber för att kunna ta denna slutsats. Är kuberna tagen med samma tryckpress?

Ja alla kuber är tagna under samma dag hos Sydsten, med hjälp av deras tryckpress. Men vi brukar la inte få sådan höga värden?

**Betongindustri person 1:** Värdena är höga för att vara till en C30/37 men om vi utgår med kvalitén C35/45 så stämmer det ganska bra.

**Betongindustri person 2:** Så då kan värdena stämma trotsallt?

**Betongindustri person 3:** Som regel kan brukar man säga om man fått hållfastheten under de första 7 dyggen kan man lägga omkring 10MPa på sluthållfastheten då de inte brukar variera så mycket under resterande dagar.

**Betongindustri person 2:** Om man har vattenlagrad och luftlagrade kan man se att härdningsprocessen påverkar ytterst lite då det är andra faktorer som påverkar mer som t.ex. luften i betong, material halten.

## **Thomas Betong 4 april 2019, Göteborg**

### **Säkerhetsfaktor utefter luftfuktighetens grad, skiljer det sig under olika RÅ?**

Ja det skiljer sig beroende på luftfuktigheten. Säkerhetsfaktor är bara framtagna vid dygn 28, vilket innebär att man inte ska ha en faktor under de tre första veckorna.

### **Thomas betong frågar: Tryckte ni betongkuberna på samma ställe och använde ni er av samma betongmassa?**

Ja, vi använde oss av samma betongrecept och härdade dem i samma vattenbad fram till dag 5 där det förflyttades till Sydsten för att luftlagra. Båda fabrikerna låg nära så det var inga konstigheter. När vi väl skulle tryckas så använde vi oss av Sydsten tryck för att minimera avvikelserna som kan uppstå vid tryckningen.

### **Vilka faktorer påverkar hållfastheten?**

Lufthalten är en viktig del när det kommer till hållfastheten. Eftersom luften i betong kommer påverka tryckfördelningen. Sen så har ni inte så många prover, vilket innebär att detta kan man inte dra en slutsats över.

### **Vilka faktorer påverkar hållfastheten under tillverkning?**

Formerna kan vara en av orsakerna. Har man använt sig av plats och stål så kommer man få en lägre hållfasthet av plats eftersom de blir varmare.

### **Kan tryckpressen påverka hållfasthet?**

Nej det kan inte vara så.

### **Kan blandningstiden påverka hållfastheten?**

Nej, det ska inte påverka så mkt men självklart kan de påverka en liten del.

### **Ekvationer gällande beräkning av hållfastheten vid luftlagrad?**

$$F_c = (F/A_c) * 0,92$$

### **Hur kommer det sig att man har två olika härdningsprocesser med samma budskap?**

Om man kollar nog så skiljer sig värdena en del och man kan ju se att den luftlagrad ger en högre hållfasthet.

### **Hur ser våra värden ut?**

Vi trycker både luftlagrade och vattenlagrade kuber och jag tycker att era värden är åt rätt håll. Vi brukar också få höga värden.

### **Om man kollar på första vecka är värdena inte för höga?**

Svårt att säga, det ser bra ut och C30/37 är en kvalité som ligger ganska hög. Så jag tycker inte att det ser ut som några konstigheter. Det finns ju ingen övre gräns helt enkelt. Vi själva har legat över 60 MPa i denna kvalité men det ledde till sprickningar, vilket inte är bra.

### **Varför skiljer sig lufthalten så mycket i vatten resp. luft?**

Vattenlagrad kub tar upp vatten i de tillgängliga porerna under lagring, varför kubens väger något mer (ger högre densitet). Om kubens vägs strax efter att den togs upp ur vattenbad (istället för att låta torka någon timme) kan det ge högre vikt. Bättre sätt att mäta kubens densitet är att bestämma volymen med Arkimedes princip.

### **Lufthalten beror på vct och porositeten men hur kommer det sig att det finns en skillnad när receptet var samma?**

Bättre densitetsbestämning (med Arkimedes princip) ger som regel mindre skillnader i densitet/lufthalt på samma uttag. Andra faktorer som kan påverka kan exempelvis vara mängden formolja, hur mycket kubens vibreras, kubformens täthet, mätningen av dimensionerna, ej stabil betong (varierande mängd ballast), täckning/lagring av kubens (dygn 1), osv.

### **Vilka mer faktorer påverkar lufthalten förutom vct och porositeten?**

Vct ger porositeten, men det finns också faktorer hos delmaterialen som kan påverka mängden luft och luftporstruktur. Blandningsenergi (tid och effektivitet hos blandare), blandningsordning när tillsatsmedel tillsätts blandningen, typ av luftporebildare, betongtemperatur vid blandning, typ och ålder på flytmedel, flytmedelsdos, osv. Sedan kan en del hända under transport, pumpning, utläggning, mm.



## **Abetong 24 april 2019, Falkenberg**

### **Vilken metod använder ni er utav?**

Luftlagrad

### **Vad brukar den relativa fuktigheten ni ligga på?**

80%

### **Är det samma omräkningsfaktor beroende på luftfuktighet?**

Ja det är samma. Så länge man har hög luftfuktighet så ska det inte göra några bekymmer.

### **Vad tycker ni om hållfastheten vi har fått fram?**

Att det inte skiljer sig så mycket är inget som jag är förvånad över. Det är en normal differens då vi tryckte två kuber av samma satts förra veckan där den ena gav 52 MPa och den andra 58 MPa. Man kan även se att plastkuberna var betydligt lägre om man tittar på era tabeller. Detta är något som man har gjort tester på och kommit fram till att plast ger lägre men det är inget vetenskapligt som man bör ta hänsyn till. Man säger att stål är bättre.

### **Vad tror ni faktorerna beror på att det gav olika hållfasthet?**

Hur man fyller kuberna, man tar ju och fyller kub ett sen kub två osv. Egentligen ska man ta en skopa i varje sen lika mycket i nästa för att försöka få en homogen betong men det är inte lätt att få.

**Hur kommer det sig att man kan luftlagra båda och få samma resultat?** Teoretiskt sätt är den vattenlagrade bättre eftersom kuberna har mer tillgång till fukt. Den luftlagrade torkar ju ut mycket snabbare vilket gör att det ökar chansen att det finns cement som inte har reagerat. Den vattenlagrade ger möjlighet att vattnet som finns i kuberna inte torkar ut utan kan användas till den kemiska processen vilket gör att troligtvis mer cement kommer reagera i kuberna. Har du vatten runt omkring kan du inte utsöndra någon fukt från kuberna, all fukt blir kvar i kuberna vilket gör att fukten som finns i kuberna kan användas till reaktionen. Om den luftlagrade ligger på 80 % konstant, då tror jag att skillnaden mellan dessa processer är mindre, medan ligger den på 40 % så kommer mycket mer vatten i betongen att försvinna ut som egentligen hade behövt ha för att få en reaktion.

### **Hur kommer det sig att ni använder er av luftlagringsutrymme?**

Vi har inte möjligheten att vattenlagra, vi tar många kuber per vecka, två till sex kuber på dag och då behöver vi ett stort utrymme som vi inte har tillgång till.

### **Påverkas inte kuberna av vattnet runt om?**

Det är ganska marginellt, betongen i sig är ganska tät, suger den sig åt tror jag det är ytterst ytterst lite.

### **Tar ni hänsyn till lufthalten när ni räknar hållfastheten?**

Man tar hänsyn till den i de recept man måste, man kör med en bestämd lufthalt. Ju mer luft man har desto porösare blir betongen och då får man kompensera det med någonting, cement till exempel.

**Varför tror ni lufthalten påverkade hållfastheten på det sättet? (Diagram)** Jag är inte riktigt insatt i det, men man räknar normalt med 2 % luft i betongen. Blandningstiden är en sak och även hur väl man blandar betongen. Sen brukar man låta de vattenlagrade kuber vila i en timme tills de har torkat av för att senare trycka.

### **Använder ni stålkuber?**

Ja det gör vi, 100 mms kuber, vi hade 150 innan men gick över till 100 istället för att det är lättare och tar mindre plats.

### **Är 150 mm kuber säkrare?**

Vi gjorde en liten jämförelse när vi gick över till 100 mms kuber, vi märkte inte jättestora skillnader. Vi har inte heller behövt öka cementhalten, det är ett bekymmer vi har haft innan, att vissa log på gränsen och klara medelvärdet, de bekymren fanns kvar. Jag har inte märkt någon nackdel med att köra 100 mms kub.

### **Vad brukar ni få på er C30/37 när ni trycker vid dag 28?**

Allt från 45 upp till 55, sen kan man inte jämföra prefabricerad som vi utför, med platsgjutning.

### **Hur kommer det sig att hållfastheten varierar från kub till kub men sista veckan jämnar de ut sig? (Diagram)**

Ju längre tid det går desto mindre betydelse har det. Det beror ju på vad man får med sig i början av beståndsdelar, det påverkar ju mycket mer tidigare. Det har med porstrukturen att göra, att du har mycket vatten i början. Reaktionen i betongen påverkas ju mest i början och det är mycket som sker och hållfasthet har inte suttit sig än. Detta är nog naturligt och ju mer tid det går desto mer lika blir kuberna, då har vattnet i betongen transporterats och betongen härdats färdigt.

Jarjes Sadi

Safaa Aqel



Besöksadress: Kristian IV:s väg 3  
Postadress: Box 823, 301 18 Halmstad  
Telefon: 035-16 71 00  
E-mail: [registrator@hh.se](mailto:registrator@hh.se)  
[www.hh.se](http://www.hh.se)