

Mekaniska egenskaper hos låghållfasta murbruk

Mechanical Properties on Engineered Low-Strength Mortar

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg och vattenbyggnad

MARTIN LUDVIGSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avd för Byggnadsteknologi
Byggnadsmaterial
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2005
Examensarbete 2005:9

EXAMENSARBETE TILL CIVILINGENJÖRS EXAMEN

Mekaniska egenskaper hos låghållfasta murbruk

Mechanical Properties on Engineered Low-Strength Mortar

MARTIN LUDVIGSSON



Department of Building Technology
Building Materials
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Göteborg, Sweden 2005

MEKANISKA EGENSKAPER HOS LÅGHÅLLFASTA MURBRUK
Mechanical Properties on Engineered Low-Strength Mortar

MARTIN LUDVIGSSON

© MARTIN LUDVIGSSON, 2005.

Technical report no 2005:9
Department of Building Technology
Building Materials
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone + 46 (0)31-772 1000
<http://www.chalmers.se>

<u>NYCKEL ORD</u>	-	<u>KEYWORD</u>
Bruk	-	Mortar
Murverk	-	Masonry
Kalk	-	Lime
Hydraulisk kalk	-	Hydraulic lime
Egenskaper	-	Properties
Provningsmetoder	-	Test-methods

Omslagsbild:

Bild vänster längst upp visar provning av färskt murbruks utbredning.
Bild höger längst upp visar typiska provprismor efter tryckprovet med inlagda
arbetskurvor.
Bild vänster längst ner visar murpelarna som provades.
Bild höger längst ner visar provprismorna efter böjdragprovet.

Chalmers Reproservice
Göteborg, Sweden 2005

Förord

Tankar om en undersökning av kalkbruk och dess egenskaper fanns redan formulerade i ett tänkt examensarbete initierade av Boverket och dåvarande Optiroc AB tillsammans med avdelningen för Byggnadsmaterial på Chalmers år 1997. Mitt intresse av detta gamla och väl beprövade byggnadsmaterial som trots allt verkade vara relativt okänt med knapphändig forskning kring, ledde mig vidare att undersöka möjligheten att genomföra detta arbete. Tillsammans med Mats Rodhe togs inledande kontakt med Elisabeth Helsing på Boverket, som pekade på deras behov och stora intresse av nya provningar kring låghållfasta bruk (D-bruk). Eftersom BKR skall revideras, skall nya provningar ge ytterliggare kunskap och grundade provvärden, vilket förhoppningsvis skall leda till bättre råd och föreskrifter för murning av dessa bruk. Även industrin där maxit AB (f.d. Optiroc AB) visade stort intresse för detta projekt. Rolf Blank på Malmöavdelningen för maxit AB kontaktades och har varit delaktig i planeringen och hur det praktiska genomförandet av hela provningen skall ske. Inriktningen med olika hydrauliska bruk respektive KC-bruk, samt hur dessa fungerar i murverk initierades av Rolf. Det fanns ett tydligt behov från industrin av mer kunskap och hur dessa bruk kommer till bättre användning, både ur teknisk synvinkel men också rent ekonomisk.

Provningsmetoder gav praktiska erfarenheter i hur provning bedrivs och förbereds med ett väl genomtänkt provningsprogram. Sammanlagt har ca 536 provprismor och 40 murpelare tillverkats och provats.

Jag vill tacka alla som uppmuntrat mig i arbetet och speciellt tack till Mats Rodhe, byggnadsmaterial, Chalmers, som alltid funnits till hands med råd, inspiration och stor kunskap i ämnet. Många tunga lästimmor och rättningar har Mats tillbringat för att tillslut denna rapport skulle bli en tillfredställande läsning. Även stort tack till Rolf Blank på maxit AB som bidragit med stor kunskap och erfarenhet både vad det gäller provningar, bruk och genomförandet där alltid tid för råd och uppmuntran fanns. maxit AB tillsammans med Leca har bidragit med provningsmaterial till provningarna, samt att Göteborgsavdelningen gav mig ett givande studiebesök på deras torrbruksfabrik. Carl-Magnus Capener, doktorand och min handledare, som hjälpt under hela arbetets gång samt Marek Machowski, som bidragit med hjälp och råd i provningsarbetet. Tack till alla övriga på byggnadsmaterialavdelningen med Ingela i spetsen samt Nidal och Anders som också ryckt in, och alla ni andra som stöttat mig och varit god gemenskap under hela arbetets gång. Elisabeth Helsing från Boverket som hjälpte mig med att komma igång med arbetet, och bidragit med normer och råd för provningar och gällande regler för murning och bruk. Tillsist men störst vill jag tacka min familj hemma i Långalt och speciellt Mor och Far som alltid funnits där, utan er hade jag inte varit här idag och min Gud som ger mig ny inspiration och kraft varje dag.

Martin Ludvigsson

Göteborg den 11/2-2005

Sammanfattning

D-bruk, en brukskvalitet som Boverkets Konstruktionsregler, BKR, definierat, är ett bruk med låghållfasta egenskaper där bindemedlet antingen kan vara hydrauliskt kalk eller en kalkcement blandning. D-bruket har återinförts i BKR som ett konstruktionsmaterial, men reglerna är schablonmässigt och något hårt satta. Istället används det hårdare och idag vanligaste murbruk, B-bruket. Boverket efterfrågar nya provningar av D-bruket för att kunna förnya konstruktionsreglerna. Även Industrin har stort intresse av nya provningar för att uppvisa fördelarna med att använda D-bruk. Här finns både framtida ekonomiska och tekniska fördelar i att ersätta eller komplettera B-bruket.

Syftet med denna rapport har varit att genom provning undersöka framförallt de hårdnande låghållfasta brukens egenskaper vid murning under olika klimatförutsättningar. Mekaniska egenskaper hos några utvalda D-bruk som finns på marknaden har provats. Inverkan av olika klimat har simulerats för att påvisa hur dessa betingelser inverkar på hårdnandeutvecklingen. Speciell vikt har lagts vid de klimat som ofta är begränsande för brukets användning. Som referensbruk har ett B-bruk använts. Materialen har huvudsakligen provats vid 7 och 28 dygns ålder.

En litteraturstudie har utförts där såväl sambandet mellan sammansättning och egenskaper som olika provningsmetoder studerats. Detta ligger till grund för försöksuppläggningsen. Provningar har utförts på bruksprismor och pelare murade av lecablock. De egenskaper som främst provats är hållfastheten, sambandet last - deformation samt brukets krympning.

Vid provning på bruksprismor uppvisar D-bruken och B-bruket stora skillnader i egenskaper. Även de olika D-bruken visar på skillnader i egenskaper sinsemellan. Vid murning av pelare med lecablock fås mycket lika egenskaper hos pelarna oberoende av valt murbruk. Detta gäller såväl inverkan av ålder som temperatur.

En trolig orsak till de små avvikelserna i egenskaper hos murpelarna är att D-bruk fördelar laster mellan blocken på ett bättre sätt. Det sker en omlagring av D-bruket eftersom bruket är mer plastiskt vilket framgår av bruksproven. Sprickfördelningen i D-bruken bör bli finare och risken för skadliga last- eller sättningssprickor i murverket reduceras således. Detta ger därför ett mindre behov av armering. Här kan man då uppnå tekniska och ekonomiska fördelar vid användning av D-bruk.

Skadliga effekter av brukens krympning under hårdnandet i murverket blir troligen mindre hos D-bruk. Visserligen är krympningens storlek större hos D-bruk men den sker framförallt i det plastiska stadiet. Därefter är krympningens storlek relativt lika mellan D- och B-bruk. Eftersom B-bruket nått en större hållfasthet kan detta medföra större sprickor än de som uppkommer i D-bruket.

Abstract

D-mortar is a mortar quality that Boverket's Rules of Constructions, BKR, defines as a mortar with low strength properties where the binder can be either hydraulic lime or a mixture of lime and cement. BKR has reintroduced D-mortar as a construction material, but the standard is stereotyped with low precision. Instead of using low-strength mortar, the more common B-mortar has been used. The Swedish agency of Boverket asks for new investigations of D-mortar for the renewal of constructions rules and the industry has a great interest in these new investigations to prove the advantages of using D-mortar. There are both future economical and technical advantages in replacing or supplementing B-mortar.

The main aim of this report has been testing and examining the hardened low strength mortars' properties in reference to different climate conditions. Mechanical properties of selected D-mortars that exist on the market have been tested. The influence of varying climate has been simulated to prove how these conditions affect the hardening of mortars. Particular emphasis has been placed on the climates confining the limits for the use of mortar. A reference mortar, classified as B-mortar, has been used. The mortar materials have been tested principally in the age of 7 and 28 days.

A thorough literature study supports the experimental set-up in this report, where the mortar composition, its properties and different testing methods been analysed. The laboratory tests consist of both mortar-prisms that pressurized and testing of mortar used in a pillar of Leca-bricks. The main focus has been on the properties of the hardened mortar when exposed to fracture strength as well as load-deformation relations and shrinkage of mortar.

D- and B-mortar prove to have significantly different properties in the prism-tests. There are even differences of properties between D-mortars. More equalized properties were received when the mortar was built into masonry of Leca-pillars, independent of type of mortar. That applies both to influences of age as well as temperature.

This leads to less need for reinforcement in the masonry, giving both economical and technical advantages as well as practical advantages of using D-mortar.

The shrinkage under the hardening of the mortar will probably lead to less harmful effects for D-mortar. However the shrinkage is larger for D-mortar but it takes place in the early, plastic stadium under re-deposition and still low strength. Thereafter is the shrinkage size relatively equal between D- and B-mortar. In that stadium B-mortar reached far higher strengths that increase the risk of larger cracks compared to D-mortar.

Noter

Symbol	Beskrivning	Enhet
A	Area	[m ²]
A _i	Area för varje prov i	[m ²]
s	Ballastens kompaktdensitet	[kg/m ³]
ε _u	Brottstukning	[%o]
f _c	Brotttryckhållfasthet	[Pa]
σ _p	Brotttryckhållfasthet	[Pa]
σ _{bd}	Böjdragbrothållfasthet	[Pa]
ρ	Densitet	[kg/m ³]
f _{cd}	Dimensionerande brotttryckhållfasthet	[Pa]
f _{td}	Dimensionerande dragbrothållfasthet	[Pa]
f _t	Dragbrothållfasthet	[Pa]
M	Hydraulisk kalkmodul	[-]
E _i	Elasticitetsmodul för varje prov i	[Pa]
β	Effektivitetsfaktorn (0-1)	[-]
E	Elasticitetsmodul	[Pa]
f _{ck}	Karaktäristisk brotttryckhållfasthet	[Pa]
f _{tk}	Karaktäristisk dragbrothållfasthet	[Pa]
E _k	Karaktäristisk elasticitetsmodul	[Pa]
f _{vk}	Karaktäristisk skjuvbrothållfasthet	[Pa]
P _c	Kompaktdensitet	[kg/m ³]
L	Lufthalt	[%]
f _m	Medelbrotttryckhållfasthet	[Pa]
E _m	Medelelasticitetsmodul	[Pa]
h _u	Murblock höjd	[m]
l _u	Murblock längd	[m]
W	Mängd blandningsvatten	[kg]
D	Mängd tillsatsmedel	[kg]
γ _m	Partialkoefficient avseende konstruktion och material	[-]
γ _n	Partialkoefficient avseende på säkerhetsklass	[-]
k	Permeabilitet	[g H ₂ O/m ² yta]
l _s	Provmurkropp bredd	[m]
h _s	Provmurkropp längd	[m]
RF	Relativ fuktighet	[%]
f _v	Skjuvbrothållfasthet	[Pa]
t	Tid	[h] alt. [dygn]
T	Temperatur	[°C]
F	Trycklast	[Kg]
vbt	Vattenbindetalet	[vikt %]
pn	Vertikallast	[Pa]
σ _n	Vertikal trycklast	[Pa]
V	Volym	[m ³]

Förkortning	Beskrivning
AlO ₃	Aluminiumoxid (Aluminat)
C	Cement
C i/j	Cementbruk med sammansättningen i kg cement och j kg ballast
2(2CaO·SiO ₂)	Dikalciumsilikat
CaSO ₄	Gips
HE	Helium
K _h -bruk	Hydrauliskt kalkbruk
i:j	i volymdel bindemedel och j volymdel ballast
FeO ₃	Järn(III)oxid
Ca(OH) ₂	Kalciumhydroxid (släckt kalk)
CaCO ₃	Kalciumkarbonat
CaO	Kalciumoxid (bränd kalk)
3CaO· 2SiO ₂ · 3HO	Kalciumsilikathydrat
Ca(HCO ₃) ₂	Kalciumvätekarbonat
K	Kalk
K-bruk	Kalkbruk
KC	KalkCement
M-bruk	KalkCementbruk med cementbindemedelet murcement
K i/j	Kalkbruk med sammansättningen i kg kalk och j kg ballast
KC i/j/k	Kalkcementbruk med sammansättningen i kg kalk, j kg cement och k kg ballast
SiO ₂	Kiseldioxid (Silikat)
CO ₂	Koldioxid
Leca-block	Lättklinkerblock
MgO	Magnesiumoxid
W	Mängd blandningsvatten
NaOH	Natriumhydroxid
H ₂ SO ₄	Svavelsyra
TGA	Termogavitmetrisk analys
H ₂ O	Vatten

Innehållsförteckning

Förord	III
Sammanfattning	V
Abstract	VII
Noter	IX
Innehållsförteckning	XI
1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte och målsättning	1
1.3. Metod	2
1.4. Avgränsningar	2
2. Litteraturstudie	3
2.1. Historik	3
2.2. Svenska murbruk och normer	4
2.2.1 Allmänt	4
2.2.2 Svenska murbruk	5
2.3. Egenskaper	11
2.3.1 Färskt bruk	11
2.3.2 Hårdnande bruk	13
2.3.3 Hårdnat bruk	14
2.4. Provningsmetoder	19
2.4.1 Syfte, metod och genomförande	19
2.4.2 Provningsmetoder delmaterial	20
2.4.3 Provningsmetoder färskt bruk	21
2.4.4 Provningsmetoder hårdnande bruk	23
2.4.5 Provningsmetoder hårdnat bruk	24
2.5. Forskning och utveckling	28
2.6. Slutsatser	30
3. Provning	31
3.1. Riktlinjer för provningen	31
3.2. Delmaterial	32
3.2.1 Ballast	32
3.2.2 Bindemedel	32
3.3. Sammansättning	33
3.4. Blandnings-, formutrustning	34
3.5. Lagring av provprismor	35
3.6. Provning av färskt bruk	37
3.7. Provning på hårdnande bruk	38
3.7.1 Provprismor	38
3.7.2 Provning av murpelare	42
3.8. Provningsprogram	44
3.8.1 Provning på delmaterial	44
3.8.2 Provning på färskt bruk	44
3.8.3 Huvudförsök	44
3.8.4 Försök med klimatbyte	48
3.8.5 Försök med extra materialsammansättningar	49

3.8.6	Försök på murpelare	50
4.	Resultat och analys, delmaterial	53
4.1.	Siktkurva, ballast	53
4.2.	Kompaktdensitet, ballast	53
4.3.	Kompaktdensitet, bindemedel	53
5.	Resultat och analys, färskt bruk	55
6.	Resultat och analys, hårdnande bruk	57
6.1.	Allmänt	57
6.2.	Huvudförsök	57
6.2.1	Tryckhållfasthet	57
6.2.2	Arbetskurva	72
6.2.3	Böjdraghållfasthet	82
6.2.4	Karbonatiseringsdjup	86
6.2.5	Densitet	87
6.2.6	Krympning	88
6.2.7	Spridning av resultat	91
6.3.	Försök med klimatbyte	92
6.4.	Försök på extra materialsammansättningar	94
6.4.1	Allmänt	94
6.4.2	Tryckhållfasthet	94
6.4.3	Karbonatiseringsdjup	98
6.4.4	Böjdraghållfasthet	98
6.4.5	Spridning av resultat	99
6.5.	Försök på murpelare	100
6.5.1	Tryckhållfasthet	100
6.5.2	Brottbilder	106
6.6.	Färg och nyans	109
7.	Slutsatser	111
8.	Diskussion	113
9.	Förslag till fortsatt arbete	117
10.	Referenser	119
10.1.	Litteraturförteckning	119
10.2.	Internet	120
10.3.	Intervju, studiebesök	120
Bilagor		121
	Bilaga A Egenskaper - bindemedel	
	Bilaga B Bruk	
	Bilaga D Sammanställning	
	Bilaga E Provresultat	
	Bilaga F Klimat	
	Bilaga G Utökad litteraturstudie	

1. Inledning

1.1. *Bakgrund*

Idag används mestadels hårda KC-bruk (B-bruk) vid murning av murverk t.ex. med lecablock. För att undvika sprickbildning lägger man också armering i fogen. Genom att använda bruk med lägre hållfast (D-bruk) kan många fördelar fås t.ex. kan större sprickor undvikas till förmån av mer utspridd sprickfördelning, vilket medför att man kan acceptera större rörelser i fogar, samt att man inte behöver armeringen. Idag används D-bruket mestadels i restaurerings- och reparationssammanhang då man försöker kombinera äldre låghållfast kalkbruk med nya hydrauliska kalkbruk.

Kraven för murning av nya murverk med D-bruk är ganska snäva och schablonmässiga satta. Detta gäller både olika temperaturgränser som begränsar själva murningen, men även hållfasthetsbegränsningar som medför att kraven för murning av D-bruk blir allt för snäva. Detta sammantaget gör murningen omständligt och komplicerad och leder till fördyringar i byggprocessen. Skulle man dessutom beroende på konstruktionsdel välja vilket bruk som ska användas, väljs hellre den enklaste vägen nämligen ett bruk och då endast B-bruk. Istället skulle det vara mer fördelaktigt av tekniska skäl att använda ett låghållfast bruk då man dessutom skulle spara in armeringen. Detta har under de senaste åren uppmärksammats, vilket föranleder både Industrin och Boverket att efterfråga en förnyelse av konstruktionsreglerna som grundar sig i verklighetsnära undersökningar och provningar.

1.2. *Syfte och målsättning*

Syftet med den här rapporten är att genom provning undersöka den färska och den hårdnade låghållfasta brukens egenskaper med avseende på olika klimatförutsättningar. Provningsens tyngdpunkt ligger i de mekaniska egenskaperna hos några utvalda D-bruk som finns på marknaden. Här skall speciellt inverkan vid sämre klimatförutsättningar undersökas som antas vara:

- låg temperatur
- låg/hög relativ fuktighet (RF)
- låg CO₂-halt

Undersökningen skall också innefatta jämförelsen mellan olika D-bruks mekaniska egenskaper, dvs. om där finns skillnader mellan olika hydrauliska kalkbruk och med cementbaserade KC-bruk. Egenskaperna provas huvudsakligen på bruksprismor, men där kopplingen till hur egenskaperna uppträder i ett murverk görs med murade lecapelare.

Detta syftar till att ge underlag för bättre tillämpade krav för byggandet med låghållfasta murbruk och även medverka till ett billigare och enklare byggande där man idag använder armerade B-bruk. Denna provning skall även visa temperaturens och fuktens inverkan på hårdnandet och i sin förlängning hur det inverkar på karbonatiserings- samt hydrationsprocessen.

1.3. **Metod**

Genom litteraturstudier studeras allmänt murbrukets sammansättning och egenskaper. Till grund för vidare provningar undersöks olika provningsmetoder för dels färskt bruk och dels hårdnat eller hårdnade bruk som finns att hämta i litteratur och hos industrins erfarenheter av vedertagna provningsmetoder. Med detta som bakgrund har jag tillsammans med M. Rodhe (handledare, Chalmers) och R. Blank (handledare maxit AB) skapat ett provningsprogram för laboratorieförsöken som ska omfatta alla delar och som syftar till att belysa de mekaniska egenskaperna. Ambitionen för dessa försök eller provningar skall i möjligaste mån vara enligt standard och skall ske på bruk som provprismor. Även en mer verklighetsbaserad provning skall verifiera resultaten från prismaproven, då pelare av lecablock muras som sedan tryckprovas.

1.4. **Avgränsningar**

Litteraturstudien omfattar en beskrivning av huvudsakligen låghållfasta murbruk i synnerhet, dess historiska bakgrund, delmaterial, sammansättning samt dess olika egenskaper, utifrån tillgänglig litteratur inom området. Tyngdpunkten i beskrivningen ligger på de mekaniska egenskaperna. Dessa egenskaper påverkas dock av många andra inverkanse faktorer. Så för att få en helhetsbild berörs även en del andra egenskaper. Genom litteraturen beskrivs de vanligaste provningsmetoderna för att påvisa olika egenskaper. En kort redovisning om vad som sker inom aktuell forskningen idag rörande låghållfasta bruk, avslutar litteraturstudien tillsammans med korta slutsatser och riktlinjer för provningen.

Provningsen är begränsad till tre olika låghållfasta murbruk av typen D-bruk, som finns på marknaden. Som referensbruk provas det idag vanligt förekommande murbrukstypen, B-bruk. En möjlighet till en ytterliggare utvidgning av provningen ges också, där murade pelare av lecablock och egna bruksblandningar testas.

2. Litteraturstudie

2.1. *Historik*

Olika former av murbruk har använts under långa tider från det att man använde jord och lera till att täta och sammanbinda hyddor uppbyggda av träslanor, natursten eller uthuggna kalkstensblock. Byggnadsverk i bränt tegel fanns flera tusen år f. Kr. och har varit så gott som det allena rådande murstensmaterialet under årtusenden framöver. Det är inte förrän det senaste århundradet med den industriella utvecklingen ett stort antal konkurrentmaterial har dykt upp (Granholt Red., 1953 3:e uppl.). Om vi begränsar oss till just murbruken och dess ursprungliga beståndsdel kalken vet man inte med säkerhet hur långt tillbaka i tiden man började använda kalksten för att tillverka kalkbaserade bindemedel. Men av arkeologiska undersökningar i antika lämningar, främst i främre orienten och i Medelhavsområdet har man påvisat användandet av kalkbaserade bindemedel. Under senare tid har man funnit lämningar av bl.a. golvkonstruktioner i centrala Europa som är avsevärt äldre än vad man funnit i området kring Eufkrat och Tigris. Även i Egypten har man funnit att man använt kalkbindemedel (Berntsson, 2003).

Från öster spreds många kulturer in i Medelhavsområdet. Det grekiska området fick troligen sin materialkunskap från fenicierna. Det kan även tänka sig att genom äldre kontakter med folk från fjärran östern spreds kunskapen, exempelvis från judar, assyrier, egyptier etc. vilka också grundade städerna Jeriko och Damaskus som fortfarande än idag är i bruk. Grekerna använde tidigt kalk som bindemedel till murbruk t.ex. på Kreta. Emellertid är det framförallt romarna med sitt imperium vid tiden kring vår tideräknings början som är kända för sina murade byggnadsverk. Romarna vidareutvecklade den grekiska byggnadskonsten. Vitruvius, den romerske arkitekten som verkade århundradet före vår tideräkning författade skriften: *Om arkitektur – Tio böcker*¹, där han beskriver antikens arkitektur och byggnadsmetoder. Fram till 1800-talet har han genom sin detaljerade framställning om t.ex. mureriet och material ha varit en av de få kunskapskällor i form av skrivna handböcker som har betytt mycket och stått sig genom tiderna. Från romarikets fall år 476 till mitten av 1700-talet användes samma bindemedel som ärvdes från romarna, huvudsakligen släckt kalk med tillsats av puzzolan material. Vid slutet av 1700-talet startade många försök att utveckla effektivare bindemedel för bruk, puts och betong. En del av experimenten var lyckade som öppnade vägen till dagens portlandscement. År 1824 fick Josef Aspdin sitt patent på det hydrauliska cement som under 1900-talet, speciellt den senare delen som innebar stort genomslag för byggnadsutvecklingen (Berntsson, 2003).

Murade hus kom till träbyggarlandet Sverige under medeltiden när kyrkorna började byggas av byggmästare och hantverkare från kontinenten. Kalkbruket, dåtidens murbruk, kan man finna i de tidigaste murade kyrkor i natursten från 1000-talet. Tegelmuren kom först vid 1200-talet. Den medeltida muren – skalmuren – byggdes i två skal av sten eller tegel med en kärna av kalkbrukmassa, bemängd med mindre stenar och tegelrester. Denna gjutmur hade sina rötter i den romerska byggtraditionen och förblev ett exklusivt byggnadsmaterial som endast användes till kyrkor, slott och borgar (Millhagen Red., 1998). Först efter 1500-talets slut blev teglet vanligare som

¹ *Om arkitektur - Tio böcker*, översättning Birgitta Dahlgren utgiven på Byggeförlaget, Stockholm 1989

stommaterial och homogena murar i tegelförband. Städerna som fortfarande långt in på 1800-talet byggdes i trä, kom att efter stadsbränder och myndighetskrav ersättas med murade hus och putsade fasader. Till en början putsade man utanpå träfasaderna med ler- eller kalkbruk, s.k. revetering. Senare under 1800-talet blev husen högre och murades i tegel (Millhagen Red., 1998). Kalkbruket (mer eller mindre hydrauliskt) var även då det vanligaste bruket, som användes i det murade huset fram till andra världskriget, vilket ledde till kalkindustrins storhetstid i början på 1900-talet. Den hydrauliska kalken började användas i mitten av 1800-talet men endast till konstruktioner under vatten. Den blev mer allmänt spridd i Sverige några decennier senare och producerades fram till 1970-talet, men under dalande efterfrågan. Härefter började man på nytt använda hydraulisk kalk i samband med restaurering av medeltida kyrkor på Gotland (Millhagen Red., 1998).

Portlandscementen kom genom Josef Aspdin lyckade försök 1824 att förändra hela mureri- och betongteknikens villkor. Cementen började egentligen inte användas förrän i slutet av 1800-talet, först till fogning och sedan även putsning. Fram till andra världskriget var portlandscement ett exklusivt material och dyrare än kalk. Efter andra världskriget trängde kalkcemen ten ut kalken som dominerande bindemedel i puts-, mur- och fogbruk (Millhagen Red., 1998). Det är inte förrän under senare år man upptäckt fördelarna med låghållfasta murbruk som det gamla kalkbruket var. I byggandet, handböcker, normer och hantverkskunskap idag, där cementen är det självklara alternativet finns luckor och förlorad kunskap som vi idag bör undersöka och upptäcka för att ge vårt bidrag till bättre byggnader från vår tid.

2.2. Svenska murbruk och normer

2.2.1 Allmänt

De senaste åren har återigen blivit en uppgång för det murade byggande och bärande murverk som väl går hand i hand med strävan av att bygga sunda och vackra hus. Även försök att koppla samman den äldre hantverkstradition och material som många av våra byggnader är byggda utifrån. Här märks det framför allt i renoverings- och restaureringssammanhang. Detta har också fått genomslag i normer och handböcker, i form av revidering och förnyelse så att i många avseenden murningen blivit bättre och mer materialutnyttjande.

I *Boverkets konstruktionsregler, BKR* har murbruksklassen D, dvs. låghållfasta bruk, exempelvis hydrauliskt kalkbruk som återinförts som alternativ vid murverkskonstruktioner av t.ex. tegel eller lättklinkerblock. Bruket kan under vissa förutsättningar användas till ytter- och innerväggar (se nedan). För att utnyttja ett murverks bästa bärande egenskaper är förutsättningen att det utförs i utförande klass I, samt att materialet är tillverkningskontrollerat.

I *HusAMA* finns idag murbruksklassen D och E definierade. I utförande föreskrifterna finns också infört om att murning och putsning med D-bruk skall skyddas från nederbörd samt temperaturen säkerställd. Vid beskrivning av utförande med puts har tabell införts där de olika delarna skall beskrivas: Putstyp, material, underlag/putsbärande, förbehandling, underbehandling och färdigbehandling.

2.2.2 Svenska murbruk

Murbruk klassificeras i olika murbrukstyper och beteckningar efter ingående bindemedel och vikt- eller volymproportioner i blandningen, se Tabell 2.1 nedan. Brukstyperna är följande (Sjöstrand Red., 1990):

- **Cementbruk** - Är ett bruk baserat på Portlands cement som bindemedel, tillsammans med ballast och eventuella tillsatser. Cementbruket innehåller cement som enda bindemedel. Cementbruket används för murning, putsning, plattläggning, injektering av sprickor, slitlag på golv eller för sprutning av sprutbetong (Alvén Red., 1977). De största fördelarna med C-bruk är att hållfastheten växer snabbt och uppnår höga värden vilket beror också på hur mycket överskottsvatten det färska bruket innehåller, samt vilket klimat det hårdnar i. Hårdnande C-bruk kräver fukt för att hydratisera. Nackdelar med C-bruket är sprickbildningstendensen, dålig smidighet samt hög vattenseparationstendens (Alvén Red., 1977).
- **Murcement-bruk** är ett bruk baserat på murcement som bindemedel tillsammans med ballast och eventuella bindemedel. Tillsatsmedlet ingår i bindemedlet (Blank, 2005). I dagligt tal används ofta det svenska ”Brandnamnet” ”Gullex”. Bruket innehåller endast ett bindemedel som hårdnar i princip som cementbruket dvs. genom hydratisering. Framställs genom finmalning av portlandsklinker med kalksten till finhet av 6000-8000 cm²/g. Ett normbruk för provning skall blandas M100/350. Här definierad som vikttdelar murcement/ballastmaterial, se tabell 2.1. Murcement A innehåller ca 70-75 % portlandsklinker samt dessutom luftporbildare och plastificerande tillsatser (Alvén Red., 1977). Utmärkande för Murcementbruket är dess smidighet, som i första hand kan tillskrivas de ingående tillsatsmedlen, men även den höga finmalning bindemedlet har. Murcementen har också obetydlig vattenseparationstendens och används på samma sätt som KC-bruken i respektive bruksklass. Bindemedelshalten är lägre än i motsvarande KC-bruk med samma hållfasthet (Blank, 2005). Murcementbruket har något mindre fri krympning än motsvarande KC-bruk samtidigt som e-modulen är något lägre. Även sprickbildningstendensen är något mindre än för KC-bruket. Som för övriga cementbruk måste bruket hållas fuktigt under hårdnandet för att inte riskera få svaga, ”mjölande” ytor (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).
- **Kalkcementbruk (KC-bruk)** är ett bruk baserat på definierade mängder kalk och cement som bindemedel tillsammans med ballast och eventuella tillsatser. Innehåller kalk, cement, ballast och vatten. Karaktäristiskt för detta bruk är det bygger på två bindemedel, som har helt olika egenskaper, men som ändå samverkar väl. T.ex. svarar framförallt cementet för hållfastheten och kalken för smidigheten i det färska bruket och deformationsegenskaper i det hårdnade. Genom att variera förhållandet mellan de olika bindemedlen kan olika egenskaper framhävas på bekostnad av den andres. Cementets hydratisering sker snabbt, medan kalkens karbonatisering sker långsamt. Ofta sker inverkan av de olika bindemedlen som hämmar hårdnandet för respektive. Men ju större cementdel desto starkare och tätare blir bruket. Vid små cementtillsatser kan dock brukets starka egenskaper bli motsatta eftersom cementgelen verkar tätande och försvårar karbonatiseringen då vattenavdunstningen blir långsam och lufttillträdet till kalkkornen försvåras

(Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Detta hållfastresonemang är dock tveksamt vid praktisk användning (Blank, 2005). För att man skall med säkerhet tillgodoräkna KC-bruket starkare egenskaper än rent K-bruk, skall minst 35 vikt % cement användas (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966). Detta stämmer inte med senare erfarenheter och provningar, utan det har visat sig räcka med en cementhalt på 20 vikt % (Blank, 2005). Ser man på långtidseffekten, dvs. puzzolaneffekten så är gränsen än lägre (Blank, 2005). Hindersson 1958, visar på att man måste ha 50 vikt % cement för motsvarande (Hidemark, Holmström, 1984), men här kan en konstig provningmetod förklara detta avvikande värde (Blank, 2005). Är cementhalten större än 80 % blir bruket så tätt att inte kalken överhuvudtaget karbonatiserar vilket då inte bidrar till någon hållfasthet. Kalken bidrar då endast som fuktighetsbevarande under hårdnandet samt till ökad smidighet av det färska bruket.

- **Kalkbruk** (K-bruk) är ett bruk baserat på kalk som bindemedel tillsammans med ballast och eventuella tillsatser. Innehåller kalkhydrat som enda bindemedel och kallas ofta luftkalkbruk. Benämningen luftkalk kommer av att kalkbruk endast kan hårdna i luft och inte i vatten eller i vattenmättat tillstånd. K-bruk är svaga men spelar en viktig roll, t.ex. för dess goda arbetbaregenskaper som smidighet den ger åt magra bruk. Kalkbruk har dock inte använts under de senaste decennierna i nyproduktion av byggnader. Det färdigblandade bruket kan förvaras under obegränsad tid under förutsättning att vattenavdunstningen och kontakt med luft förhindras.
- **Hydrauliskt kalkbruk** (K_h -bruk) är ett bruk baserat på hydrauliskt kalk som bindemedel tillsammans med ballast och eventuella tillsatser. Hydrauliskt kalkbruk hårdnar som först genom uttorkning då en vattenlöslig kristalliserad massa fås. De hydrauliska komponenterna som aluminater och silikater reagerar därefter likt cementen. Karbonatisering sker över en längre tid. Den väsentliga skillnaden mellan KC-bruk och hydraulisk kalkbruk är att bindningen av de hydrauliska beståndsdelarna i hydrauliska kalken i regel börjar senare än i portandscement (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Dock kan stora skillnader visa sig beroende på olika typer av hydraulisk kalk. Hydrauliskt kalkbruk används framförallt vid restaurering av äldre byggnader. Hydrauliskt kalkbruk sammansätts så att deras hållfasthet motsvarar klass D. Ett bruk med enbart hydraulisk kalk uppnår inte klass C, då krävs tillsats av portandscement som motsvarar KC 50/50 (definierad viktandel: luftkalk/cement) (Blank, 2005). Puts med hydraulisk kalk är mindre känsligt än luftkalkputs för låga temperaturer under hårdningen. Hydrauliskt kalkbruk har mer möjlighet att bli frostbeständigt om tillräckligt lång tid ges under lämpliga förhållanden under hårdningen än ett luftkalkbruk (Malinowski, 1998).
- **Gips- och gipskalkbruk** som består av bindemedlet gips/kalk tillsammans med ballast och eventuella tillsatser (Avén Red., 1977). Gipsbruk används endast inomhus (Blank, 2005)

Brukstyper sammanförs i murbruksklasser A, B, C, D eller E, om de uppfyller fordringar på hållfasthet och övriga tekniska egenskaper som anges i SS13 75 19 och Hus AMA 83 (Sjöstrand Red., 1990). Murbruksklasserna D och E finns ej med i NR

1, men förekommer i renoveringssammanhang (Sjöstrand Red., 1990). Murbruk enligt utförandeklass I skall sammansättas genom vägning av beståndsdelarna, medan i utförande klass II kan även volym mätning ske. Vidare anges att lufthalten skall vara mellan 12-25 volymprocent. Bruk skall blandas med maskinblandare där blandningstiden inte får vara kortare än 5 minuter räknat från då alla delmaterial är tillsatta (gäller för frifallblandare och planblandare). Blandningsförhållanden mellan bindemedel och ballast för olika brukstyper skall vara enligt tabell nedan (Sjöstrand Red., 1990).

Tabell 2.1. Murbruksklasser och sammansättning (AB Svensk byggtjänst, 1998), (Boverket, 2003)

Tabell FS/1			
Murbruksklass	Bindemedel	Bindemedel/ballast	
		Viktdelar	Volymdelar
Murbruksklass A			
Cementbruk	Cement	C 100/450	C 1:4
Kalkcementbruk	Kalk + Cement	KC 10/90/350	KC 1:4:15
Murcementbruk	Murcement	M 100/350	
Murbruksklass B			
Kalkcementbruk	Kalk + Cement	KC 35/65/550	KC 1:1:8
Murcementbruk	Murcement	M 100/600	
Murbruksklass C			
Kalkcementbruk	Kalk + Cement	KC 50/50/650	KC 2:1:12
Kalkcementbruk	Kalk + Cement	KC 35/65/650	KC 1:1:10
Murcementbruk	Murcement	M 100/900	
Murbruksklass D			
Kalkcementbruk	Kalk + Cement	KC 50/50/950	KC 2:1:18
Kalkbruk	Hydraulisk kalk	K _h 100/850	K _h 1:5
Murbruksklass E			
Kalkbruk	Kalkhydrat	K 100/1050	K 1:5

Tryckhållfastheten bestäms på provkroppar med dimensionen 40x40x80 mm efter 28 dygn. Tryckhållfastheten skall minst uppgå till följande värden (Sjöstrand Red., 1990) enligt Tabell 2.2.

Tabell 2.2. Bindemedelklass styrs av tryckhållfastheten (Sjöstrand Red., 1990).

Bindemedelklass	Min. Tryckhållfasthet (MPa)
A	12
B	4
C	1.5

För bindemedelklasserna D och E ställs inga krav på hållfasthet.

Boverkets konstruktionsregler, BKR

Kapitel 6:4 anger materialegenskaper hos murstenar, murblock och murbruk skall vara väl anpassade till varandra både så tillfredställande täthet och vidhäftning erhålls. Som råd ges exempel på användningsområde för olika brukstyper i murverk av mursten/-block enligt Tabell 2.3. D-bruket användas inte i exempelvis grundmurar men i övriga väggar.

Tabell 2.3. Lämpliga kombinationer av murstenar/murblock och murbruk (Boverket, 2003)

Material	Byggnadsdel	Murbruksklass enligt SS 13 75 19
Tegelsten	Ytterväggar	A ¹ , B, C ² , D ²
	Innervägg	A ¹ , B, C ² , D ²
	Armerade valv och väggbalkar	A, B
	Skorstenar	B, C ²
Kalksandsten		B ³ , C ³
Betongsten		A, B
Betongblock	Grundmurar	A, B
	Övriga väggar	A, B, C ²
Lättbetongblock	Grundmurar	B
	Övriga väggar	B, C ²
Lättklinkerblock	Grundmurar	B
	Övriga väggar	B, C ² , D ²

(BFS 1998:39)

¹ Används normalt endast vid armerat murverk. (BFS 1998:39)

² Skall enligt avsnitt 6:3128 inte användas för armerat murverk. Bör inte användas vid murning vid temperaturer under +5°C.

För murbruk i klass D se även avsnitt 6:51. (BFS 1998:39)

³ Avser murbruk med murcement A som bindemedel.

Kapitel 6:42 ger följande anvisningar om vad D-bruket skall uppfylla för tryckhållfasthetskrav enligt Statens planverks godkännande regler (1 976:1) i avsnitt 2.28. Här anges hållfasthetskrav efter 28 dygn vid 20°C och vatten mättad RF. Provkropparna har dimensionen 25x25x170 mm.

Tabell 2.4. Hållfasthetskrav utifrån bindemedelsklass (Statens planverk, 1976).

Bindemedelklass	Böjdraghållfasthet (MPa)	Tryckhållfasthet (MPa)
A	3.5	18
B	2.5	9
C	1.5	4.5
D	1.0	2.0
E	-	-

Svensk standard (EU-norm; EN) klassificerar hydrauliskt kalk efter olika egenskaper som tryckhållfasthet, densitet och även efter kemiskt innehåll:

Tabell 2.5. Tryckhållfasthet för hydrauliskt kalkbruk (SS ENV 459-1, 1994)

Typ av byggkalk	Tryckhållfasthet (f _c) i MPa	
	7dygn	28 dygn
HL 2	-	2-5
HL 3.5	≥1.5	3.5-10
HL 5	≥2.0	5-15

Kapitel 6:51 beskriver utförandet av murning som göras med helt fyllda fogar. Dock får stötfri murning utföras med lättklinkerbetong och strängmurning. Då lämnas stötfogen ofylld och högst den mellersta tredjedelen av liggfogen ofylld. Vid murning med D-bruk skall murverket säkerställas så att:

- under de tre första dyggen skall murverket skyddas från nederbörd och temperaturer under 0°C samt

- under de första 14 dyggen har en medeltemperatur över dygnet högre än +5°C.

Alternativt under de första 6 dyggen har en medeltemperatur som är högre än +10°C.

Kapitel 6:11 anges krav på beständighet för murverkskonstruktioner skall utformas, dimensioneras och utföras med beaktande av skadlig nedbrytning. Här anges i råden

att volymbeständighet vid fukthaltändring hos lättklinkerblock, uppgår till högsta medelvärdet 0.5 ‰ för provprismor (vid krympningsprovningssmetod enl. SS 22 72 31). Där högsta enskilda värde är 0.6‰.

Kapitel 6:211 ger de karaktäristiska värden för tryckhållfasthet (f_{ck}) vinkelrätt liggfogen samt för brottstukning (ϵ_u) vid långtidslast. Förutsättningarna för dessa värden anges enligt följande. Fogtjockleken är i medeltal högst 15 mm för murblock samt högst 3mm vid tunnfogsmurning. Vidare skall murverket utföras med fyllda liggfogar, utom vid strängmurning där högst den mellersta 1/3 delen lämnas ofylld då tabellens värden reduceras med att multiplicera med 2/3. Dock kan reduktionen bortses om endast 1/6 av liggfogen lämnas ofylld. Murverket utförs vidare med fyllda stötfogar (kan även utföras med ofyllda med speciella värden). Murverken bör utföras bredare än 150 mm.

Tabell 2.6. Karaktäristiska värden på murverks tryckhållfasthet samt brottstukning vid långtidslast för lättklinkerblock (Boverket, 2003).

Murstenar/Murblock Lättklinkerblock	Hållfasthetsklass	f_{ck} (MPa)				ϵ_u (‰)
		Murbruksklass enl. SS 13 75 19				
		A	B	C	D	
	2	-	1.8	1.2	0.5	2.5
	3	-	2.4	1.6	0.5	2.5
	5	-	3.4	2.2	0.5	2.5
	10	-	4.3	3.4	0.5	2.5

Tryckhållfasthetsvärdena i murbruksklass D utsätts aldrig för temperaturer under 0°C och vars medeltemperatur över dygnet alltid är över +5°C får 40 % högre värden tillämpas, dvs.

$$1.4 \times 0.5 \text{ MPa} = 0.7 \text{ MPa.}$$

ϵ_u -värdena gäller för B- och C-bruk, för D-bruk multipliceras värdet med faktorn 2.1, dvs.

$$2.1 \times 2.5 = 5.25 \text{ ‰.}$$

De karaktäristiska grundvärdena i tabell 2.6 ovan motsvarar den nedre 5-procentfraktilen på 75 % konfidensnivå (Cajdert, 1996). Vid dimensionering i brottgränstillstånd (f_{cd}) används dessa grundvärden (f_{ck}) i följande samband: $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_m \gamma_n$ där γ_m är en partialkoefficient för murverkets bärförmåga enligt 6:3123 och γ_n är partialkoefficienten för olika säkerhetsklass enligt 2:115 i BKR.

Svensk standard (SS EN 1052-1) beskriver bestämningen av ett murverks tryckhållfasthet, och som klassificerar murverket enligt följande, efter 28 dygn:

Tabell 2.7. Tillåtet intervall av tryckhållfasthet för bruk i murverk som provas (SS EN 1052-1, 1998).

Bruksklass	Specifik tryckhållfasthet (f_{md}) i MPa	medelvärde av tryckhållfasthet vid provning (f_m) i MPa
M1	1.0	$1.0 \leq f_m < 2.5$
M2.5	2.5	$2.5 \leq f_m < 5.0$
M5	5.0	$5.0 \leq f_m < 7.5$
M7.5	7.5	$7.5 \leq f_m < 10.0$

Det karaktäristiska värdet av tryckhållfastheten beräknas av $f_k = f / 1.2$ eller $f_k = f_{i,min}$. Om där är 5 prov eller fler beräknas nedre 5 % fraktilen baserat på 95 % konfidensintervall.

Böjdraghållfastheten i kapitel 6:212 anges för murbruksklass B och lättklinkerblock där $f_{ik,par}$ är parallellt liggfogen medan $f_{ik,tra}$ är transversellt mot liggfogen.

Tabell 2.8. Hållfasthetsklasser för böjdraghållfastheten för lättklinkerblock (Boverket, 2003)

Hållfasthetsklass	$f_{ik,par}$ (MPa)	$f_{ik,tra}$ (MPa)
2	0.15	0.15
3	0.3	0.15
5	0.3	0.15
10	0.3	0.15

I murbruksklass C multipliceras ovan grundvärden med 0.8, i övrigt anges inga värden i klass D.

Elasticitetsmodulen karaktäristiska värde (E_k) anges i kap 6:214 vid korttidslast och antas vara konstant för påkänningar mellan böjdraghållfasthetens dimensioneringsvärde f_{td} och $0.6f_{cd}$, där f_{cd} är tryckhållfasthetens dimensioneringsvärde i brottgränstillstånd. Vidare anges approximativt $E_k = 1400f_{ck}$ för lättklinkerblock.

Svenskstandard (SS EN 1052-1) anger en formel för elasticitetsmodulen, E_i för varje prov enligt följande:

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3 \times \varepsilon_i \times A_i}$$

Samband 2.1. Beräkningssamband för elasticitetsmodul. En sekantmodul av töjningens medelvärde i fyra mätpunkter. Medelelasticitetsmodulen, E_m beräknas med noggrannhet av 100 MPa (SS EN 1052-1, 1998)

Skjuvhållfastheten (f_{vk}) i ett murverk av lättklinker fås av följande samband:

$$f_{vk,par} = 0.15 + 0.90\sigma_n \text{ dock } \leq 1.1 \text{ MPa.}$$

Samband 2.2. Beräkningssamband för skjuvhållfasthet som beror av den vertikala trycklasten σ_n .

Arbetskurvan för murverk används till att beräkna momentkapacitet, deformationer och stabilitet. Stabiliteten kan beräknas om inte medeltryckpåkänningen överstiger $0.6f_{cd}$. En noggrannare beräkning i brottgränstillståndet efter andra ordningens teori vid dimensionering med hänsyn till fortskridande ras då man därmed beaktar en gynnsam inverkan av stora deformationer ges en övergångskurva i *Betonghandbok Konstruktion* (Cajdert, 1996).

2.3. **Egenskaper**

2.3.1 **Färskt bruk**

Arbetbarhet

Det viktigaste kravet muraren ställer på ett färskt bruk är att det skall ha god arbetbarhet. Ett viktigt krav som skall uppfyllas såvida detta inte kommer hindra övriga kvalitetskrav. Med god arbetbarhet menas att bruket är lätt att behandlas av muraren i olika arbetssituationer för såväl murning som putsning. Detta får därmed en stor betydelse för hur arbetsmomentet, hantverket påverkar brukets färdiga egenskaper. Arbetbarhet är ett samlingsnamn för en mängd olika egenskaper som påverkar varandra. Nedan följer några av de viktigaste egenskaperna (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Styvhet och konsistens

Styvheten är indirekt beroende av den mängd vatten som är tillsatt. Dock kräver olika arbetssituationer och arbetsmoment olika styvheter, allt ifrån jordfuktiga, mycket styva bruk för platt- och golvläggning till lättflytande bruk för slamning och grundning. Därmed är styvhet och konsistens ingen materialegenskap, utan ett tillstånd (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). När jämförelser mellan olika bruk äger rum, t.ex. vid provningen som denna rapport redovisar, bör bruken ha samma styvhet.

Smidighet

Denna egenskap består av två delar: plasticiteten och kohesionen. Plasticiteten uttrycker brukets formbarhet, dvs. hur liten friktionen det är i massan. Kohesionen beskriver brukets sammanhållning, dvs. dess förmåga att behålla sammanhanget då det deformeras. Är kohesionen dålig sägs det att bruket är "kort". Det är svårt mäta brukets smidighet. Man använder metoder som jämför och värderar olika bruk på en mer praktisk nivå. Luftkalken har förmågan att lätt ge ett smidigt bruk eftersom kalken är finkornig. Ju mer finkornig kalken är desto smidigare blir bruken. För att få störst utbyte av smidigheten för kalkbruk, är våtsläckt kalk att föredra tillskillnad mot torrsläckt som har en tendens att klumpa i hop sig till större klumpar. Detta kan kompenseras genom att antingen låta berett torrsläckt bruk stå en tid eller att man blötlägger kalken innan blandningen. Cement har avsevärt sämre förmåga att ge smidiga bruk och därmed låter sig sämre formas. Det beror på att delmaterialens korn inte tillräckligt lätt glider förbi varandra, samt dess sämre sammanhållning. Dock gäller samma som för kalkbruken att ju mer finkornigt cement desto mer smidigt bruk (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

En god sandgradering är viktigt för smidigheten. Man bör ha en relativ stor fillerhalt som ökas i den mån bindemedelhalten minskar. Dock kan en för hög fillerhalt verka negativt för det hårdnade bruket (krympning och hållfasthet). En ökad bindemedelhalt ger också en ökad smidighet, där framförallt en ökad kalkhalt i KC-bruk ökar smidigheten märkbart. En stor roll har även kalkens kvalitet där en god våtsläckt kalk har positiv inverkan (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Lufttillsatser ger luftbubblor som fungerar som ett kullager mellan kornen och minskar den inre friktionen avsevärt. Bruket blir mer plastiskt, vilket inverkar väldigt lite negativt på kohesionen och brukets formbarhet. Plasticiserande tillsatser förbättrar brukets smidighet. Dispergeringsmedel kan också användas då man önskar förbättra

kohesionen och plasticiteten. Detta sker genom en jämnare fördelning av partiklarna och att kontakten mellan vattnet och delmaterialens korn förbättras. Gelbildande ämnen förbättrar kohesionen men innehåller ofta även tillsatser som fungerar som luftporbildare. Blandningsmetoden är av stor betydelse för brukets smidighet. Ett dåligt blandat bruk ger en ojämn fördelning av delmaterialen som då påverkar smidigheten (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Vattenseparation

Egenskap på det blandade bruket som bestämmer förmågan att bestå homogent i murarbaljan utan att behövas röras om. Denna egenskap följer oftast smidigheten, dvs. ju smidigare bruk desto mindre tendens uppvisar bruket att avskilja vatten på ytan. Kalkbruket har mindre tendens att separera än cementbruk (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Vattenkvarhållning

Egenskap som fördröjer att brukets vatteninnehåll sugas upp av porösa och sugande underlag. Ofta följer denna egenskap vattenseparationen men dock inte alltid. En hög vattenkvarhållningsförmåga behöver inte vara positivt, utan den bör vara varken för låg eller för hög (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). En för hög förmåga hindrar bruket att torka ut och karbonatisera, detta är dock osäkert har senare forskning visat. Men skulle det försvåra uttorkningen skulle det ge problem i själva murmomentet, och speciellt vid låga temperaturer. Även en viss negativ inverkan på brukets hårdnade egenskaper ger en hög vattenkvarhållande förmåga. En för låg vattenkvarhållningsförmåga skulle ge liknande följdverkningar fast i motsatt riktning. Egenskapen är dock endast sekundär för murverkskvaliteten eftersom vattenkvarhållningen inte får ersätta vidhäftningsprovningen (Statens planverk, 1976).

Öppethållandetid

Den tid efter att bruket lämnat blandaren och till att där finns risk för att den kemiska reaktionen gått för långt. Rent luftkalkbruk har obegränsad öppethållandetid så länge det inte torkar ut. Så fort någon hydraulisk komponent finns i bindemedlet är öppethållandetiden begränsad. Tiden kan bero på bindemedelstyp och -halt, temperatur och eventuella tillsatsmedel. Normalt ligger denna tid på tre timmar (viss säkerhetsmarginal), men kan självklart förändras beroende på ovan nämnda faktorer. Öppethållandetiden skall ej förlängas med ytterliggare uppblandning med vatten. Vissa bruk har en tendens att styvna till något, precis efter tillredningen och blandningen av bruket, just innan själva hårdnandet hunnit sätta igång. Detta kan bero på uttorkning eller bindemedlets ”falska” snabbbindning. Detta skall inte förväxlas med brukets öppethållandetid. Några exempel öppethållandetider är (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966): C-bruk ligger mellan 2-3 timmar
KC-bruk 2-4 timmar

Klibbighet

Menas med brukets förmåga att häfta på såväl underlag som murslev. Ett bra bruk anses kunna sitta kvar på mursleven när den hålls upp och ner medan den glider av när slevan hålls snett. Även kalvningstendenser då bruket slås på en vertikal vägg skall ej uppstå. Klibbigheten beror mycket på bindemedelshalten och volymvikten.

Densiteten

Bruk utan lufttillsats ligger jämnt från 1800 kg/m³ för K-bruk, till 2200 kg/m³ för C-bruk. Tillsätts luft minskar densiteten i proportion till luftmängden, vilket ofta föredras av muraren.

Anmärkning

Ovan egenskaper på färskt bruk beskriver bruket framför allt utifrån att underlätta och ge ett så bra utförande av själva arbetsmomentet som möjligt. Dessa egenskaper får inte gå utöver murens eller putsens kvalitet där t.ex. lufthalt och fillerhalt kan få en större betydelse (ej för höga halter).

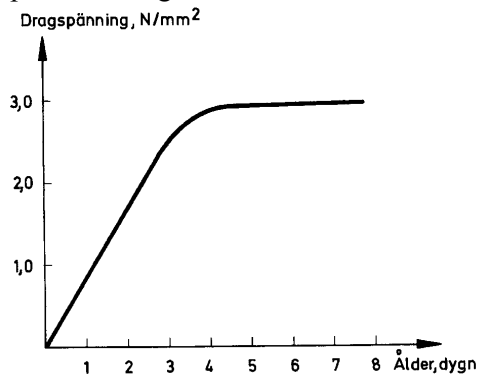
2.3.2 Hårdnande bruk

Brukets tillstyvnande börjar direkt då det kommer i kontakt med underlaget, eftersom då sugts vatten bort från bruket. Man kan tänka sig att bruket fäster på underlaget både mekaniskt, fysikaliskt och kemiskt (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Med mekanisk vidhäftning menas att brukets beståndsdelar tränger in i underlagets ojämnheter, öppningar och porer där det håller sig fast. Med fysikalisk vidhäftning menas sammanhållande molekyllära krafter mellan bruk och underlag. Slutligen med kemisk vidhäftning där kemisk bindning utgör det som fäster bruket mot underlaget. Beroende på underlagets sugande förmåga visar erfarenhet att olika bruk lämpar sig. Ett cementrikt bruk kan vara till fördel vid dåligt vidhäftande/sugande underlag medan kalkbruk tål bättre ett starkt sugande underlag. Vid sådana förhållanden kan ett magert cementbruk klara sig bättre mot ett sugande underlag eftersom överskottsvattnet sugs upp och därmed minskas vattenbindetalet. Även lufthaltiga bruk är mer känsliga mot sugande underlag (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

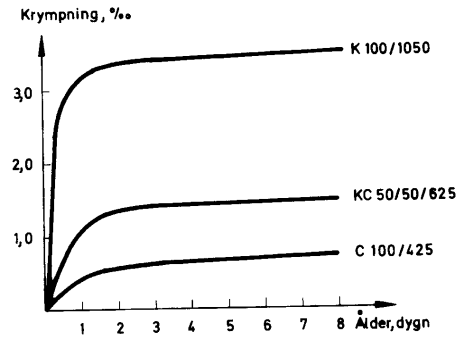
Hållfasthetstillväxten sätter igång vid kontakt med underlaget, men den egentliga bindningen eller hårdnandet sker först efter en viss tid till följd av de kemiska reaktionerna. För cement ökar hållfastheten snabbt, och bara efter några dagar har halva hållfastheten uppnåtts. För kalkbruk kan det ta veckor eller månader att nå motsvarande. Temperaturen spelar en viktig roll i hållfasthetstillväxten. Låga temperaturer kan fördröja ja rentav avstanna den kemiska reaktionen i hårdnandet. Fukthalten spelar också en viktig roll för hårdnandet. Låg fukthalt kan innebära avstannat hårdnande och därmed lägre sluthållfasthet.

Krympningen sker parallellt med hållfasthetstillväxten och sätter även den igång när bruket kommer i kontakt med underlaget. Innan bruket har stelnat sker en plastisk krympning. Den ger inte upphov till synliga förändringar som sprickor odyt. Eftersom bruket fortfarande är formbart. I takt med att bruket styvnar mot underlaget framkallas spänningar orsakade av krympningen och som kan resultera i sprickbildning. Man kan då tala om en *förhindrad krympning* som uppstår där dragspänningarna är den viktiga parametern som jämförs med brukets draghållfasthet. Ofta är det den *fria krympningen* som mäts istället i ett otvunget tillstånd exempelvis längdändring på bruksprismor. En betydligt enklare metod, man kan då se att krympningen är mycket stor de första timmarna och att den ökar med kalkhalten i bruket. Resultaten kan ge en missvisande bild av risken för sprickbildning eftersom i kalkrika bruk byggs krympningsspänningarna upp långsamt och under en lång tid där de är mycket små. När cement mängden i bruket ökar uppkommer

krympningsspänningarna fortare och får högre värden och därmed ökar risken för sprickbildning.



Figur 2.1. Exempel på dragspänning till följd av förhindrad krympning för C-bruk (Burström, 2001).



Figur 2.2. Fri krympning hos olika bruk. K-bruk ger större fri krympning orsakad av uttorkning än ett C-bruk, men C-bruket ger upphov till större spänningar trots mindre fri krympning (Burström, 2001).

Hos alla bruk med kalk eller cement som bindemedel bestäms krympningens storlek av det s.k. mikrobruket som består av bindemedel, filler och vatten. Ökas någon delmängd av mikrobruket leder det till en ökad krympning. Likaså kan uttorkningsbetingelserna vara av stor betydelse för krympningens storlek och därmed också sprickrisken. Särskilt cementrika bruk bör hållas fuktiga den första tiden (3-4 dygn) vilket minskar risken för uttorkning och stora krympningar. En ökad draghållfasthet som hjälper till att förhindra brott och sprickor kan då också fås. Även senare förekommer det spänningar, men en viss plastisk deformation sker med tiden som minskar spänningarna.

Hos kalkbruk sker den första krympningen när vattnet lämnar bruket och kalciumhydroxiden bildar kristaller. Bruket är då så deformerbart att endast plastisk krympning sker. Det leder inte till sprickor utan endast en ökad porositet. Den senare krympningsfasen när kalciumhydroxiden karbonatiserar sker även då en volymminskning. Sker detta i normal hastighet kan det svaga bruket deformera sig plastiskt utan att sprickor uppkommer. Dessa två stadier förekommer även i cementgelen men på olika sätt. Det första stadiet då vattnet binds kemiskt är inte så allvarligt, eftersom bruket fortfarande, i de flesta fall är deformerbart och får samma följdverkan som hos K-bruket. Det senare stadiet är mer allvarligt när uttorkningen sker av det tillstuvade bruket. Cementgelen drar då ihop sig som en följd av att vattnet till en början lämnar de stora porerna, och sedan även en del av de små gelporerna. Det leder till betydande adsorptionskrafter, med risk för sprickbildning (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

2.3.3 Hårdnat bruk

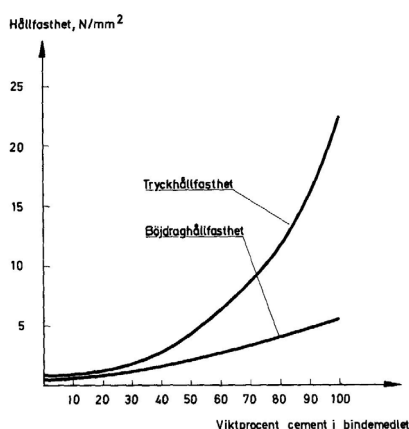
Allmänt

En rad olika mekaniska egenskaper kan ställas upp för att beskriva det hårdnade bruket som skall uppfylla de krav som är uppsatta för att säkerställa funktionen och beständigheten på den färdiga byggnadsdelen. Avsnitten tidigare har beskrivit olika faktorer i ballasten, bindemedel, klimat, sammansättningar osv. som påverkar det färska och hårdnande bruket, vilket i sin förlängning även direkt eller indirekt

påverkar det hårdnade brukets mekaniska egenskaper. Olika mekaniska egenskaper kan variera från fall till fall, men de viktigaste är följande (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966).

Hållfastheten

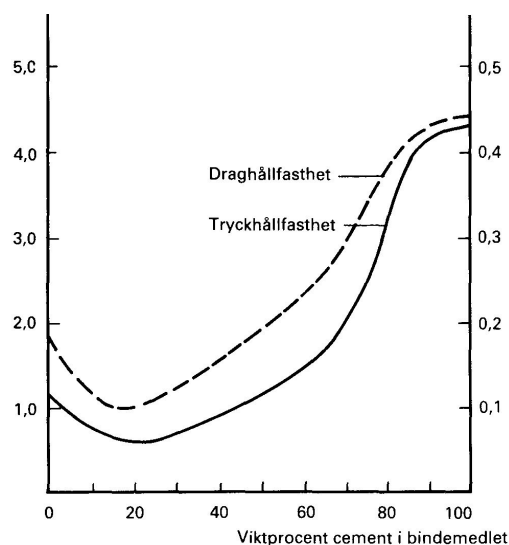
Tryckhållfastheten har genom åren varit den vanligaste och mest förekommande egenskapen som uppmäts. Det kan bero dels på att provningsmetoden, som är relativt enkel och ger jämförbara siffervärden. Dels finns där samband med flera andra mekaniska egenskaper vilket gör användbarheten av att bestämma tryckhållfastheten praktiskt och betydelsefull. Det är inte alltid det viktigaste att få hög tryckhållfasthet på vare sig murbruk eller putsbruk, även om detta styr kvalitetsindelningen idag. Ofta är hög hållfasthet rent olämpligt, istället skulle ganska låg hållfasthet, hög elasticitet och vidhäftning vara att föredra. Detta öppnar dörren för låghållfasta bruk och här då speciellt D-bruket som är ett bruk med motsvarande egenskaper tillskillnad mot ett höghållfast cementbruk. Som tidigare påpekats påverkar flera faktorer det hårdnade brukets mekaniska egenskaper. Hur mycket tryckhållfastheten beror av cementhalten i bindemedlet illustreras i figur nedan där en ökad cementhalt ger en ökad hållfasthet, men med en lägre cementhalt än 40 % ger cementet väldigt lite inflytande på hållfastheten, vilket skulle vara fallet för ett D-bruk av KC-typ.



Figur 2.3. Exempel på cementhaltens betydelse för hållfastheten. Volymförhållande bindemedel: ballast 1:4. Vid 3 månaders härdning i 70 % RF (Burström, 2001).

I figur 2.5 kan man jämföra värden från Cementa för prov av prismor. Inverkan av proportioner sand och bindemedel visade Hindersson år 1954 att kalkbrukets hållfasthet påverkas ytterst lite av andelen sand (KC-bruk 35/65 och kalkbruk i 40 % RF). I en tidigare undersökning visades dock motsatsen se figur 2.6 Inverkan av

Figur 2.5. Blandningar av torrbruk, ur cementas "handbok för byggare" 1982. Prismaprov förvarade i 90 % RF (Hidemark, Holmström, 1984).



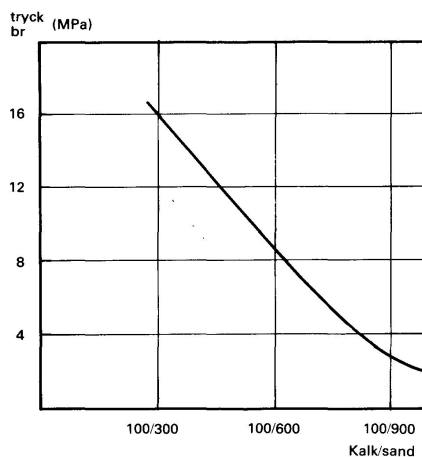
Figur 2.4. Exempel på cementhaltens betydelse för hållfastheten. Bindemedel: sand är 1:4. Vid två månaders härdning i 40 % RF och 17°C, efter Sandin 1983 (Hidemark, Holmström, 1984).

Blandningar av Cementa Kalkbruk och Cementa Puts- och Murbruk C.

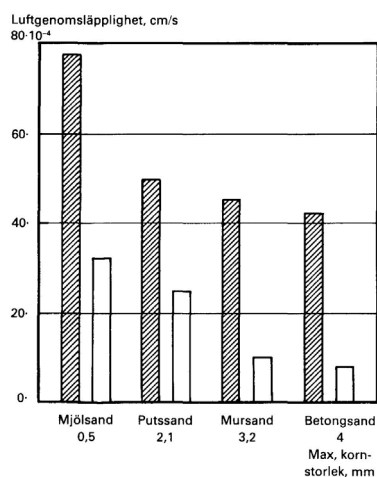
Cementa Kalkbruk Viktdel	Puts- och Murbruk C Viktdel	Samman-sättning Kalk/ Cement KC	Sand-mängd per 100 viktdelar binde-medel	Vikt% cement av total torrrbruks-mängd	Förväntad hållfasthet $\sigma_{28 d}$ MPA
1	0	100/0	1050	0	1,0-1,5
3	1	88/12	950	1,2	1,5
2	1	83/17	915	1,6	1,5-2,0
1	1	75/25	850	2,6	2,5
1	2	67/33	800	3,7	3,5-4,0
1	3	63/37	750	4,4	4,0-4,5
0	1	50/50	650	6,7	5,0

olika ballasttyper visar Hindersson att KC-bruket ger en ökad välgradering en ökad hållfasthet, medan kalkbruket visade på motsatsen. Alltså utnyttjas sandskelettet mer i det hydrauliska KC-bruket.

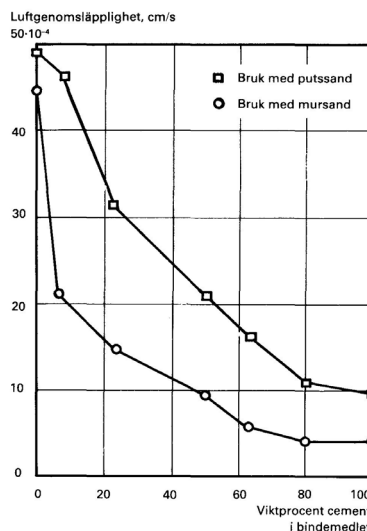
En välgraderad sand ger ett tätare bruk än en enkornig sand och hindrar därmed karbonatiseringen. I figur 2.7 och 2.8 nedan visas luftgenomsläpligheten beroende på hur kornstorlek och gradering av ballasten, samt även hur cementhalten i KC-bruket påverkar tätheten.



Figur 2.6. Tryckhållfasthet beroende av förhållandet kalk och sand, efter Diechmann 1937 (Hidemark, Holmström, 1984)



Figur 2.7. Luftgenomsläplighet efter 28 dygns lagringstid beroende på bruk och gradering av ballast. Fyllda staplar visar kalkbruk 1:8 ofyllda staplar visar KC-bruk 5,6:1:49 av Hindersson 1954 (Hidemark, Holmström, 1984)



Figur 2.8. Luftgenomsläplighetens beroende av cementhalt i KC-bruk. Resultat efter 28 dygns lagring, efter Hindersson 1958 (Hidemark,

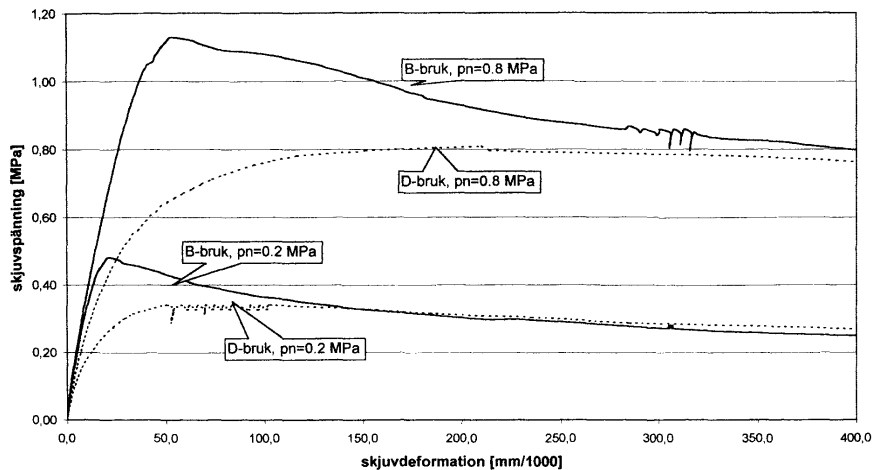
När en murad vägg belastas med en tryckkraft, är fogarna murverkets svagaste länk. När belastningen ökar, börjar murfogen att deformeras och det hårdnade bruket tenderar att flyta ur fogarna. På grund av friktionen mellan bruk och sten överförs denna utflytning till så stora dragspänningar på murstenen, över och under fogen, att den tillslut får ett brott. Deformationerna ökar då fogen är dåligt ifylld, bruket är svagt, av enstaka stora sandkorn eller av en ökad fogtjocklek. Tillskillnad från laboratorieprov kan brukets hållfasthet på arbetsplatsen variera betydligt mer. Faktorer som bristande noggrannhet vid uppmätning av delmaterial, ogynnsamma fukt- och temperatur förhållanden, dålig kornkurva är några faktorer som kan reducera hållfastheten. Dessa faktorer inverkar additivt på hållfastheten, dvs. flera

ogynnsamma faktorer bygger på med sin del av hållfasthetsreduktionen. Även luftporbildare reducerar tryckhållfastheten med upp till 2.5 % för varje tillförd procent luft (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Böjdraghållfastheten

Draghållfastheten är minst lika viktig för murverkets eller putsens kvalitet som tryckhållfastheten. Det är dock svårt att bestämma draghållfastheten, därför bestäms hellre böjdraghållfastheten, som inte ger helt korrekta värden för draghållfastheten. Men man kan räkna med att det råder proportionalitet mellan dessa värden. Att endast bestämma tryckhållfasthet och att grunda kvalitetskraven utifrån tryckhållfastheten göres oftast vilket isig inte heller innebär stora fel. Kurvan för böjdraghållfasthet och tryckhållfasthet liknar varandra, se figur 2.4 ovan. Böjdraghållfastheten hos K-bruk är ungefär 60 % av tryckhållfastheten. Med stigande cementandel sjunker sedan detta värde till ca 25 % för ett rent C-bruk (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Det innebär att murverk med kalkrika bruk kan ha större hållfasthet än vad brukets tryckhållfasthet visar. Draghållfastheten påverkas i högre grad av ballasttyp än vad tryckhållfastheten gör t.ex. ger krossat stenmaterial högre draghållfasthet än natursand.

I murverk som är utsatta för vertikala tryckkrafter kan förmågan att ta upp drag- och skjuvkrafter i murfogarna öka (Molnár, 2004). Detta visar undersökningar som är gjorda på Lunds tekniska högskola där också jämförelsen mellan D-bruk och B-bruk genomfördes enligt figur 2.9 nedan.



Figur 2.9. Vertikallastens inverkan på skjuvbelastade fogar i ett murverk, pn anger vertikallastens storlek (Sandström Malinowski Red., 2000).

Elasticitetsmodulen

E-modulen är ungefär proportionell mot tryckhållfastheten som växer från 3000 MPa för K-bruk till 20-30000 MPa för C-bruk. Brotttöjningen är ungefär den samma för samtliga bruk och ligger vid 0.2-0.4 %. Eftersom dessa värden är så små är egentligen inte bruket ett elastiskt material, utan ett sprött material som har stor förmåga att deformeras plastiskt. Murfogen är som ett elasto-plastiskt friktionsmaterial när man beskriver de dragande lasterna i ett murverk (Molnár, 2002). Vidare karaktäriseras murstenen som ett elasto-sprött material (Molnár, 2002). Sprödheten gör att t.ex. krympspänningar i det hårdnade bruket reduceras med tiden då bruket deformeras plastiskt.

Vidhäftningen

Vidhäftningen är brukets eller putsens förmåga att fästa på underlaget. Idag säkerställs putsens vidhäftning med en tunn grundning av cementrik, lättflytande bruk. Detta skikt har till uppgift att jämna ut och minska underlagets sugning, samt ge en stark och vidhäftande grund att fästa grovputsen på, i en treskiktputs. Behovet av denna typ av cementrik grundning är ej befogad vid restaurering eller putsning med kalkbruk eftersom det är ofta själva arbetsmomentet som kräver denna jämna uttorkning och får därmed inte användas på denna typ av bruk och användningsområden (Hidemark, Holmström, 1984). Mer avgörande för vidhäftningen är att putsen väter underlaget ordentligt och där bindemedelhalten spelar mindre roll (Hidemark, Holmström, 1984). Det är inte så ofta belastningar av en puts eller bruksfog utsätts för vinkelräta påkänningar mot underlaget och fogen eller putsens ytor. Dock förekommer ofta s.k. skärspänningar som uppträder mellan bruken och underlaget som kan bero på t.ex. olika krympning eller värmeutvidgning mellan underlag och puts eller när bruksfogen deformeras vid belastning och försöker flyta ur liggfogen. Följden av skärspänningar blir ofta att bruksrötterna i underlaget skärs av och därmed försämrar vidhäftningen. Därför kan det även vara lämpligt att bestämma skärhållfastheten. Ett vidhäftningsbrott sker antingen i kontaktzonen, i bruket eller i underlaget. Ofta är det kombinationer av skär- och vidhäftningsbrott, men när brottet endast utan bruksrester sker i häftzonen är det speciellt allvarligt vilket tyder på dålig vidhäftning eller s.k. boom. Sker vidhäftningsbrottet i betydelse betyder det att vidhäftningen är större än brukets respektive underlagets draghållfasthet, och därmed kan anses som god vidhäftning. Då behövs inga särförsök, samt att även brukets draghållfasthet kan kontrolleras genom vidhäftningstestet (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Man kan fördröja sprickinitieringen i en dragbelastad, horisontellfasthållen fritt murverk om man ökar vidhäftningen mellan sten och murbruk. Detta är speciellt tydligt när låga vertikallaster föreligger, eftersom vertikallasten medverkar till sammanhållningen av murverket. På så sätt är vertikallasten och vidhäftningen utbytbara när det gäller sprickrisk i murverket (Molnár, 2002). När spricka uppkommer i en dragbelastad murad vägg avlastas den och deformationen koncentreras till sprickan. Avlastningen bestäms främst av vidhäftningen mellan stenen och bruket, vilket därmed leder till att cementrika bruk har större förmåga att avlasta en uppsprucken vägg. Men generellt blir sprickorna större med cementbruk (direkt proportionell mot avlastning och vägglängd) än kalkrika bruk med en given vägglängd och vertikallast (Molnár, 2002).

Slitstyrkan

Slitstyrkan för bruk och puts är särskilt betydelsefull för konstruktioner utsatta för hög avnötning t.ex. golv. Slitstyrkan ökar med cementhalten upp till en gräns med vanlig ballast som motsvarar ett bruk med blandningen C 100/300. Det är i det s.k. mikrobruket, blandningen mellan cementlimmet och filler, förslitningen sker i första hand. Därför skall man undvika slamskikt på ytor. Istället bör man få de grövre ballastkornen att samlas i ytan. Ballast som krossat berg eller kompositmaterial kan användas för att ytterligare öka slitstyrkan.

Frostbeständigheten

Om bruk fryser sönder eller ej vid en viss fukthalt beror på materialets porstruktur och mekaniska styrka (Hidemark, Holmström, 1984). Erfarenheter visar att ett normalt bruk, rätt sammansatt, väl blandat, är frostbeständigt om cementhalten motsvarar minst bruksbandningen KC 50/50 (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Detta gäller inte om det finns för lite bindemedel eller att det råder dåliga härdningsbetingelser. Det är

då särskilt viktigt för svaga spröda bruk att det finns tillräckligt med luftfyllda porer nära varandra så vattnet kan expandera utan att det är för lång väg till en annan större por (Hidemark, Holmström, 1984). Den mekaniska styrkan kan övervägas av olämplig porstruktur. Både vad det gäller lufthårdnande kalkbruk hydrauliskt bruk bör man sträva efter hög porositet med lämplig struktur. Kalkbruket kan därmed få dubbla möjligheter att bli frostbeständigt, dels av den ökade möjligheten för karbonatisering och därmed högre hållfasthet, samt expansionsutrymme för det frysta vattnet. Porositet och porstruktur beror som tidigare nämnts på flera olika faktorer som kalkens egenskaper (bränning, släckning och lagring), sanden, bindemedelhalten, vattenhalten, tillsatsmedel, blandnings- och putsmetod, underlagets sugning samt klimatet. Om bruket skulle innehålla en stor del stora porer som kommer av överskottsvattnet, speciellt vid snabb uttorkning blir bruket frostkänsligt. En tillförsel av mindre luftporer (mikroporer) med hjälp av lufttillsatsmedel är gynnsamt, och medverkar till att även cementfattigare bruk kan användas på frostutsatta ställen (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Lufttillsats finns i de flesta fabriksstillverkade bruk idag för att säkerställa en frostbeständighet. Gamla tiders kalkbruk hade hög porositet vilket gjorde de till lämpliga bruk ur frostsynpunkt. Lufthalten mellan 16-20 % är gynnsammast ur frostbeständighetssynpunkt, detta visade Kenneth Sandin/Thomas Carlsson i sina undersökningar (Blank, 2005), vilket maxit AB idag har som riktvärden.

Krympning och svällning

Krympning och svällning hos hårdnat bruk orsakas av samma mekanismer som under primärkrympningen vid hårdnandet, dvs. tömning respektive påfyllning av gelporerna med vatten. Rörelsernas storlek är dock betydligt mindre. Därför sker oftast ingen ytterligare sprickbildning för hårdat bruk, detta också beroende på att draghållfastheten blivit högre. Utmatningsbrott i form av sprickor och sprickor framkallade av samverkande belastning av temperatur och krympning eller vibrationer är exempel där trots allt kan sprickor uppkomma på hårdnat bruk.

2.4. *Provningsmetoder*

2.4.1 Syfte, metod och genomförande

Det är av stort värde att redan innan provningsmetod och analysmetod väljs bestämma syfte och målsättning med aktuell provning. Provningsmetoden kan ske på olika skeden av ett bruks livstid, alltifrån när bruket tillverkas och de olika delmaterialen, till det redan hårdnade historiska bruket som finns på en gammal byggnad. Speciellt viktigt är detta för det senare skedet som ofta innebär mer komplexa, osäkra frågeställningar ifråga om att genom provning bestämma olika egenskaper eller innehåll av bruket. Det är viktigt att beakta följande frågor före en undersökning (RILEM Technical Committee, 1999).

- Provningsmetoden eller analysen ger det svar på vilket sätt frågan ställdes i undersökningen.
- Relevansen och kvaliteten i provmaterialet, provningsmetoden.
- Beroende på vad som undersöks får man olika resultat som belyser olika delar mer eller mindre bra.
- Reproducerbarheten.

2.4.2 Provningsmetoder delmaterial

Ballast, siktkurva

Siktning av ballasten sker enligt Svensk standard, SS 13 21 12. Sikten med kvadratiska öppningar skall innehåll följande storlekar: 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16.

Efter en noggrann blandning av generalprovet tas delprov genom upprepad halvering. Storleken på delprovet vid max 8 mm kornstorlek är ca 500g (generalprovet 10 ggr större). Delprovet torkas vid högst 110°C. Siktningen utföres för hand eller med skakapparat och fortsätter tills inte mer än 0.5 viktprocent av hela delprovet under 1 minut passerar någon sikt. Klumpar av finmaterial sönderdelas försiktigt mot siktramen. Därefter bestäms sambandet mellan maskvidd och passerande mängd material i viktprocent (noggrannhet på 0.5% av siktprovets vikt). Resultatet redovisas i tabellform eller siktdiagram.

Kompaktdensitet

Cement (bindemedel)

Kompaktdensiteten bestäms med pyknometermetoden enligt Svenska cementbestämmelserna.

65,00 g cement vägs och nedföres i små portioner under loppet av 30 minuter och magnetblandaromrörning. Därefter vändes kolven några gånger så att cementen som fastnat på väggarna avlägsnas. Temperatur och volym avläses efter ytterliggare 15 minuters omrörning. Har badets temperatur mellan de båda avläsningarna ändrats, minskas volymen med 0,025 ml för varje 0.1 °C temperaturstegring. Skillnaden mellan andra och första volymavläsningen representerar cementets volym, och kompaktdensiteten beräknas ur:

$$\text{kompaktdensitet, } \rho_c = \frac{C}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

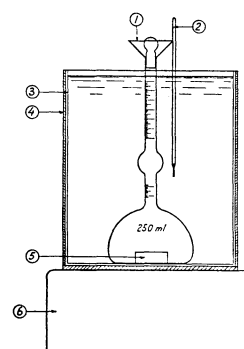
där C = cementets vikt, g
V = undanträngd vätskevolym, ml

Samband 2.11. Beräkning av kompaktdensiteten (Tepfers, 1991)

Ballast

Bestämning av kompaktdensiteten för torr ballast sker enligt Svensk standard, SS 13 21 14 (Tepfers, 1991). Detta innebär att pyknometermetoden nyttjas, och som pyknometervätska används vatten. Pyknometern med 500 ml volym används med en halsvidd av ca 20 mm. Vikten av pyknometern, fylld med vatten upp till 500 ml strecket, bestäms vid olika temperaturer mellan 15 – 25. Luftblåsorna avlägsnas före vägning genom omrörning, skakning eller med hjälp av vakuüm. Med hjälp av de erhållna värdena uppritas en kalibreringskurva över sambandet mellan vattentemperatur och vikt av pyknometer, fylld till 500 ml-strecket.

Ballasten som skall vara torr, torkas och uppväges därefter ca 300 g och införes i pyknometern. Vatten fylls till ca $\frac{3}{4}$ av pyknometerens volym. Pyknometern omskakas kraftigt under någon minut och får sedan stå orörd i ca en timme. Därefter fylls vatten



Figur 2.10. Apparatur att bestämma kompaktdensitet, består av (1) 250 ml Le Chatelier-kolv med vattenfri kristallolja, (3) ett kärl isolerat med wellpapp (4), (5) och (6) magnetomrörare, (2) termometer. Kolven fylls till märket 0 och placeras i vattenbadet, vars temperatur skall vara $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Vätskevolymen och badets temperatur avläses efter det att kolven antagit badets temperatur (Tepfers, 1991)

upp till 500 ml-strecket, under det att skum avlägsnas med ett sugande papper. Pyknometern med dess innehåll väges samt temperaturen mäts. Kompaktdensiteten uttrycks med två decimaler som medelvärde av två bestämningar. Ballastens kompaktdensitet s beräknas ur formeln:

$$s = \frac{A}{A + B - C}$$

där A = ballastprovets vikt, g
 B = pyknometerns vikt, fylld med vatten av samma temperatur som vid provningen (erhålles ur kalibreringskurvan), g
 C = pyknometerns vikt, fylld med ballastprov och vatten, g

Samband 2.11. Beräkning av kompaktdensiteten för ballast (Tepfers, 1991)

2.4.3 Provningsmetoder färskt bruk

Lufthalt

Lufthalten kan bestämmas med flera olika metoder. En enkel metod är volymmätningmetoden där man mäter volymminskningen efter det att all luft är utdriven. Lufthalten bestäms i ett 500 ml mätglas av plast utan pip, med 5 ml eller noggrannare skalindelning samt försett med gummipropp. Ett genomsnittspröv bruk uttas och mätglaset fylls till ungefär 200 ml märket med bruk. En plåtratt kan lämpligt vis användas för att undvika att bruk hamnar på mätglasets väggar. Bruket fylls på så att inga stora slutna hålrum uppstår. Man bör vara försiktig om detta endast kan uppnås genom skakning. Brukets volym (B) avläses exakt. Därefter hälls ca 0,5 ml isopropylalkohol och vatten till 500 ml märket. Alternativt kan även en blandning av rödsprit och vatten användas på samma sätt (60 volymdelar sprit + 40 volymdelar vatten). Vätskan hälls försiktigt så att det inte blandar sig med bruket. Mätglaset skakas energiskt under en minut efter det att man tillslutet mätglaset med en gummipropp. Ca 5 minuter senare avläses vätskenivån. Proppen sätts ytterliggare igen med en upprepad omskakning med avläsning. Erhålles samma resultat (V) vid två på varandra upprepade avläsningar beräknas lufthalten (L) enligt följande samband:

$$L = \frac{500 \times V}{B} \times 100 \quad [\%]$$

Samband 2.12. Beräkning av lufthalten med volymmetoden

Ytterliggare en metod att bestämma lufthalten är utifrån bestämda densiteten på delmaterialen beräkna enligt följande samband:

$$L = 1 - \frac{V_{tot} \times G_{bruk, kärl}}{G_{tot} \times V_{kärl}} \quad [\%]$$

Samband 2.13. Beräkning av lufthalten med densitetsmetoden

$$V_{tot} = \sum \frac{G_{delmaterial,i}}{\delta_{delmaterial,i}} \left[m^3 = \frac{kg}{kg/m^3} \right]$$

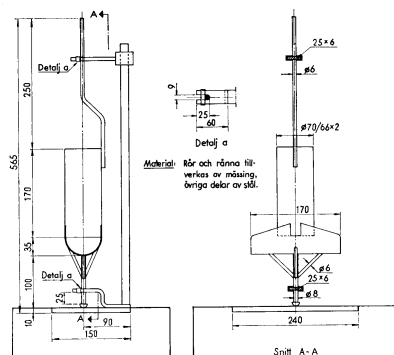
Samband 2.14. Beräkning av total volym i densitetsmetoden

Genom att väga upp de olika delmaterialen i satsen fås den totala vikten (G_{tot}) för alla delmaterial i satsen (inkl. vattnet). Ett behändigt kärl som med en volym på ca 300 ml där volymen ($V_{kärlet}$) och vikten är nogga bestämd. Detta kärl fylls försiktigt utan slutna hålrum. Detta kan uppnås genom att först fylla halva kärlet, därefter skaka kärlet ett bestämt antal gånger mot ett underlag (5 skakningar i mitt fall) därefter fylls strax upp till kanten med påföljande skakningar. Sedan fylls kärlet och rakas av jämnt med ovankanten. All bruk som hamnar på kanterna av kärlet torkas av, för att därefter vägas med bruken. Vikten på bruken ($G_{bruk,kärlet}$) fås genom att subtrahera vikten av kärlet av den vikt som fås vid vägningen av kärlet med bruk i.

En annan metod är genom tryckmetoden där man använder en godkänd och kalibrerad tryckmätare som fylls med genomsnittsbruken. Efter att avjämnat bruken och torkat av kanten på behållaren så locket tillsluter väl, påförs locket för att sedan fyllas med vatten via ett munstycke i locket. Ett tryck pumpas upp så att alla luft i bruken försvinner. Trycket släpps ut och en tryckskillnad uppstår som visar hur mycket luft bruken innehåller enligt en tryckmätare på locket.

Styvhet och konsistens

Kan bestämmas genom att räkna det antal stötar som erfordras för att tömma det fyllda vertikala röret i en Mo-mätare.



Figur B1.12. Mo-mätare för bestämning av konsistens hos bruk.

Figur 2.11. Mo-mätare för bestämning av konsistens hos bruk (Statens planverk 1976).

Kan även bestämmas genom att mäta utbredningen av en brukskon efter 10 stötar på ett skakbord. Konformen fylls på till hälften, packas 10 gånger med en cirkulär degel (Ø 25 mm), fylls sedan och packas ytterliggare 5 gånger. Konformen fylls till kanten, och rakas av efter densamma, därefter lyftes formen av. Efter att stötarna på skakbordet är utförda, mäts utbredningen genom origo, där medelvärdet av två mätningar vinkelrätt mot varandra blir slutlig utbredning. Utbredningsmättet för normal konsistens på murbruken bör ligga mellan 175-185 mm. Denna metod föreskriver europenormen, EN.

Smidigheten

Finns idag ingen vedertagen metod med något mätinstrument att mäta smidigheten, kohesionen eller plasticiteten på ett bruk. Denna bedömning sker därför genom murarens försorg, som blir grov i viss grad subjektiv eftersom arbetsrutiner, och metoder kan variera betydligt (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966).

Vattenseparationen

Vattenseparationen kontrolleras genom att låta ett bruksprov stå i en cylindrisk behållare (diameter: 90 mm, höjd: 120 mm) och mäter den vattenmängd som separerat under en viss tid (2 timmar). Behållaren skall stå på ett icke vibrerande fast underlag. Vattenseparationen skall inte överstiga 7 ml (Avén Red.1977).

Klibbighet

Kan genom att vända upp och ner på mursleven med bruk, skall inte bruket lossna från slevan. Vänder man istället slevan vertikalt skall bruket nästan utan motstånd glida av (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Vattenkvarhållningen

Metoden sker på något varierande sätt men principiellt anges vattenkvarhållningen som den procentuella mängd vatten, som efter en bestämd tid finns kvar i ett bruksskikt utbrett på läskapper. Med kännedom om ursprunglig vattenmängd i bruket och genom vägning av en läskappersatsen bestäms vattenkvarhållningen.

Densitet

Densiteten bestäms enklast genom att väga en känd volym som är försiktigt packad av bruk.

2.4.4 Provningsmetoder hårdnande bruk

Krympning

Utifrån hur långt bruket har kommit i hårdnandet finns principiellt två typer av krympning under hårdnandet. Dels den plastiska, som är den första i uttorkningskedet. Efterföljande uttorkningskrympning på det redan styva bruket beror på kemiskt bindande av vatten, samt även en uppstartande karbonatiseringsprocess som också är plastisk i början men blir mer elasto-plastisk i sin form. Att mäta krympning på färskt bruk kan göras på många sätt. Principen är i alla fall att på något sätt fästa lättrorliga detektorer på en provkropp av bruk med givna mått. Dessa detektorer mäter krympningen storlek med tiden, av vilket man kan därefter beräkna töjningen.

När bruket hårdnat mäts krympningen oftast med provprismor som är försedda med dobb i var ände. Längdändringen mäts efter en lämplig tidsplan i ett bestämt klimat för att få en tidstyrd krympning. Överensstämmelse med verkligheten kan vara ett problem med provprismor eftersom både dimensioner, sugförhållanden inte är detsamma som i en fog eller puts. Som också tidigare nämnt mäter man bara den fria krympningen vilket inte ger det resultat som är direkt överförbara till de spänningar krympningen medför. Det finns även metoder att istället för att mäta krympningens storlek, mäter man spänningarna direkt som krympningen orsakar. Vilket då skulle ger ett bättre och mer verkligt värde som kan jämföras med brukets draghållfasthet, vilken avgör om det spricker eller ej. Dessa mätningar är mer komplicerade och kräver mer och bättre provutrustning.

Volymbeständighet

Volymbeständigheten bestäms på en pasta av bindemedel och vatten. Kakor av denna pasta får torka i 24 timmar, varefter de under en timme utsätts för ånga över ett kokande vattenbad. Provkropparna får efter behandling inte uppvisa sprickor eller sönderfall orsakade av svällningen (Avén Red., 1977).

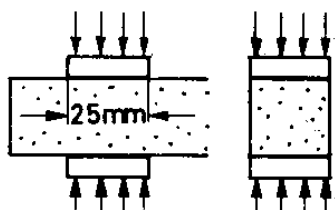
Tillstyvnande

Tillstyvnande bestäms i en Vicatapparat, i vilken nålen byts ut mot en cylinder med 10 mm diameter. Bestämningen sker på standardbruk som efter beredning fått stå i två timmar vid rumstemperatur. Cylindern får högst stanna 20mm över bottenplattan (Avén Red., 1977).

2.4.5 Provningsmetoder hårdnat bruk

Tryckhållfasthet

En viss oklarhet verkar råda med vilken provningsmetod som nu gäller. BKR hänvisar till Godkännanderegler där hållfasthetsvärden är angivna med en äldre provningsmetod. Denna provningsmetod innebär att provkroppar med dimensionerna 25x25x170mm tillverkas och provas efter 28 dygn. Prismorna gjuts i stålformar med sugande läskpapper som simulerar sugning från underlaget. Bruket komprimeras 25x2 gånger med en stålstav. Prismorna lagras i vattenmättat klimat med temp 20°C. Vid själva tryckprovet påföres kraften via tryckplattor med dimensionen 25x25mm av stål. Hastigheten på belastningsökningen till, kan beskrivas genom att brott inträffar efter 10 -15 sekunder. Sex prismor skall provtryckas varav tre och tre skall härröra från två olika blandningssatser (Statens planverk, 1976).



Figur 2.12. Principskiss på provning av tryckhållfasthet (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Enligt europanormen fastställs tryckhållfastheten genom provtryckning av provprismor 40x40 mm, med längden 80 eller 160 mm. Provprismorna skall lagras fram till provningen i vatten med temperaturen 20±1°C (cementbruk) (Avén Red.1977). I övrigt gäller samma förutsättningar som ovan. Vidare beskrivning av provningsmetoden och förutsättningar finns SS ENV 196-1.

Enligt EN 1015-11 gäller följande för provningsbetingelser för KC-bruk som innehåller olika cementhalter i bindemedlet. Temperaturen är 20°C hela tiden för lagringen och formrivningen:

Mindre än 50 % Cementhalt

5dygn i form
2dygn i 95 % RF
21 dygn i 65 % RF

Mer än 50 % Cementhalt

2dygn i form
5dygn i 95 % RF
21 dygn 65 % RF

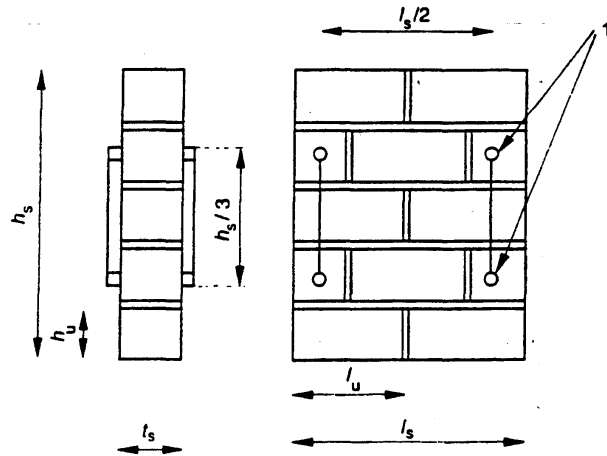
Därefter provas 28 dygnhållfastheten och utifrån resultaten klassificeras bruket efter de givna hållfasthetsintervallarna. Det anges även 6 lager läskpapper för de ovan angivna provningsbetingelserna, under och ovanpå provprisman i stålformen. Läskpapperna avlägsnas efter 6 timmar i formen.

Ett problem med att provtrycka provprismor är att resultatet kan vara missvisande, eftersom dess kraftiga dimension och gjutningsmetod i en ej sugande form gynnar cementbaserade bruk. De kalkrika bruken behöver luft och förhindras därmed av fukten och de kraftiga dimensionerna att hårdna. Tvärtom är det för cement där fukt krävs och gynnar hydratationen. Det kan även tilläggas att prismor med mindre dimensioner ger allmänt högre tryckhållfasthet vilket kan förklara de höga tryckvärden i godkännanderegler som utgör grunden för bruksklassificeringen. En betydande orsak till högre hållfasthetsvärden kan även bero på hur mycket fukten/vattnet sugts upp från omgivande form/läskpapper eller som i det verkliga fallet vilken mursten som används. Fler läskpapper medför större uppsugning och därmed högre hållfasthet.

Även i väl kontrollerade laboratoriebetingelser, måste man räkna med vissa variationer från gång till gång, som kan bero på variationer på bindemedel och sand, små skillnader i sammansättningar, betingelser och provutrustning samt defekter på provkropparna. Provvärden från de tre provprismorna som har maximalt 10 % avvikelse från medelresultatet räknas till ett samlat medelvärde, dock redovisas alla resultat (SS ENV 459-2, 1994).

Vid tryckprovning av befintligt bruk/puts på byggnader kan mindre provbitar tas ur och jämnas med cementbruk så jämna tryckytor erfås (Hidemark, Holmström, 1984). Ofta är det svårt att få ut rätt dimensioner på provbitarna som ofta finns på värdefulla byggnader som också begränsar denna möjlighet.

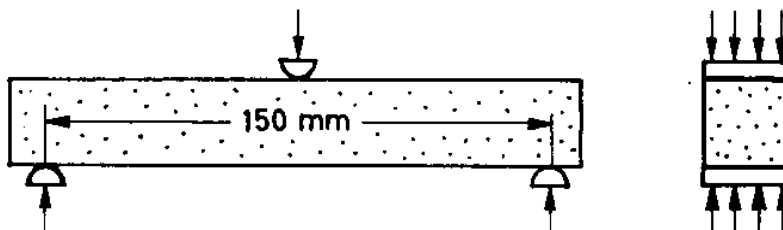
Tryckprovning av ett murverk sker med en uppmurad provkropp som byggs upp enligt figur 2.13 nedan (SS EN 1052-1, 1998). Provkroppen skall minst innehålla en fog i varje skift centralt placerad samt där $l_s \geq 400$ mm och $l_s \geq l_u$. De sågade blocken i sidorna skall vara längre än tjockleken av blocken, samt att alla blockytor i fogarna skall vara opåverkade. Deformationsmätningstrustningen är placerad som figuren visar.



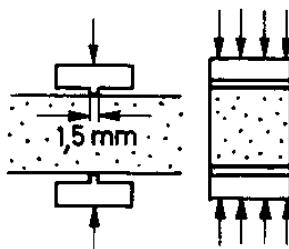
Figur 2.13. Provkropp av ett murverk, där mätutrusningen placeras enligt figur (SS EN 1052-1, 1998).

Böjdraghållfasthet

Vid provning av böjdraghållfastheten gäller samma förutsättningar som för tryckprovet, där man innan tryckprovningen utför böjdragprovet på tre bruksprismor. Utrustningen skall vara så utformad att inget vridande moment uppstår, när belastning via en liggande rundstålstav (10mm diameter) påförs provkroppens mitt. Provkroppen vilar på två upplag av liknande stålstavar. Lasten påförs med en hastighet av 5-10 N/s (Statens planverk 1976).



Figur 2.14. Principskiss på provning av böjdraghållfastheten (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).



Figur 2.15. Principskiss på provning av draghållfasthet med ett spaltprov (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966)

Krympning och svällning

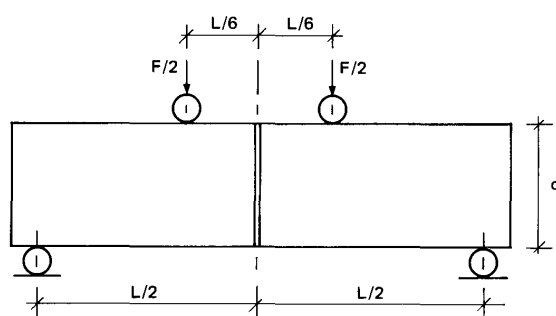
Krympning och svällning mäts oftast med provprismor försedda med dubb (se krympning under hårdnandet ovan), som utsätts för olika klimat.

Vidhäftning

Vidhäftning kan provas indirekt genom böjdragprovning med 2 sammanmurade murblock (tunnfogade, 2 mm), enligt figur 2.16 nedan. Eller genom dragprov dras blocken vinkelrätt mot fogen mellan de sammanmurade blocken och vinkelrätt jäsriktning. Blocken sågas till 100x150x200mm och förvaras efter tillverkning av provkropparna i 20°C och 65 % RF. Provning sker efter 28 dygn.

Böjdraghållfastheten beräknas enligt uttrycket nedan (Statens planverk 1976).

$$\sigma_{bd} = \frac{F L}{b d^2}$$



Figur 2.16. Böjprovning av fogstyrka (vidhäftning) (Statens planverk 1976).

Vidhäftningen kan också mätas genom att cirkulära spår borras genom den färdiga putsen eller murverket ca 7 cm i diameter, varefter en metallskiva limmas mot den av spåret begränsade yta (Hinderssons vidhäftningsmetod). En drag kraft appliceras centriskt mot denna sedan limmet hårdnat. Metoden är enkel och pålitlig som kan användas i fält på färdiga objekt. Dock är resultatet inte så relevant (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). På liknande sätt kan även en s.k. Säbergmätare användas (Hidemark, Holmström, 1984).

Skärförsök kan vid behov göras för att bestyrka ett vidhäftningsprov, vanligen när putsning eller sättbruk skall ske på betong. Skärförsöket ger ett mer verklighetsnära resultat ur belastningssynpunkt, dock med nackdelen att det endast kan ske i laboratorium. Skärförsök sker genom att provtrycka en prisma som är samma som underlaget till putsen t.ex. betong som är putsad. Putsen får inte nå ut till ändarna av betongprismat för den inte ska utsättas direkt för tryckkraften mellan tryckbackarna. Vidhäftningen bedöms hur mycket deformation underlaget (i detta fall betongprismat) kan ta innan putsen släpper. Helst bör detta ske vid betongens tryckhållfasthet, men i inte innan töjningen 1-1.5 % (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Karbonatisering

Karboniseringsdjup mäts enklast genom ett s.k. fenolftaleintest där man utnyttjar att kalciumhydroxiden ger mer en basisk reaktion än kalciumkarbonatet. Fenolftalein ger en skarp röd färg för basiska ämnen (pH > 9), och ofärgad i neutral miljö. Fenolftalein spädes i etanol 1g per 50 ml etanol. Vid kontroll av puts borras ett hål som rengörs, och sprayas med fenolftaleinlösning. Är den yttre delen ofärgad eller rosa är den sluthårdnad (delvis). Den skarpt röda delen är fortfarande kalciumhydroxid, och därmed inte sluthårdnad. Genom att spraya ett tunt skikt fenolftaleinlösning på

nyupptagna brottytor av skilda byggnadsdelar, provkroppar kan karbonatiseringsdjupet mätas efter ca 5 minuter.

En metod att mäta karbonatiseringsgraden är med termogravimetrisk analys (TGA), där man väger ett bruksprov under uppvärmning. Viktminskningen korresponderar med hur mycket kalciumkarbonat som avgår, vilket ger karbonatiseringsgraden. Metoden beskrivs under avsnittet bindemedelanalys nedan.

Densitet

Hårdnad bruks kompaktdensitet kan bestämmas med hjälp av en automatisk heliumpyknometer enligt SP-metod 1338 (Hidemark, Holmström, 1984). För att få bort eventuella porer i bruket mals detta vanligen ner i en kvarn före analys. Kan även ske utan nedmalning, genom att använda HE-gas istället för vatten (Hidemark, Holmström, 1984).

2.5. *Forskning och utveckling*

Fram till 1970-talet bedrevs mycket forskning till syfte att utveckla mur- och putsbruken och ge klara och tydliga regler och standarder för murning, samt att fastställa dess egenskaper. Det var framförallt hårda cement- och kalkcementbruk som forskningen handlade om. Mycket skrevs också då och som i stort gäller även idag. Det är förhållande vis lite sammanställd ny forskning som behandlar puts- och murbruk tillskillnad mot vad som gäller för betong .

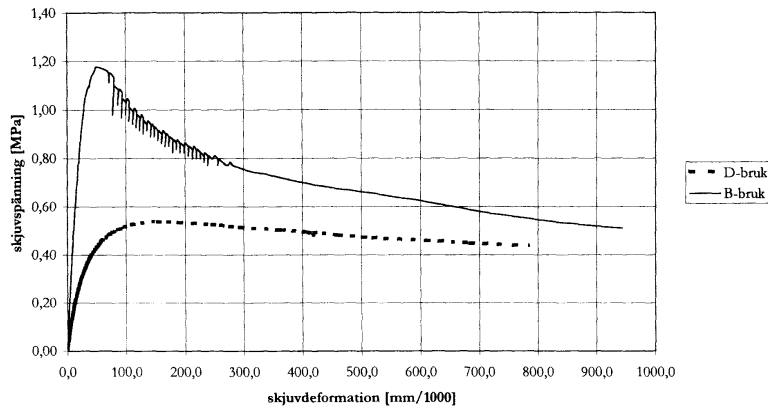
För de mer låghållfasta bruken, och i synnerhet kalkbruken hävdas det att en utveckling har skett under senare år och fram till idag, men faktum är att det inte tillkommit något nytt i stor omfattning (Malinowski, intervju). Dock kan ju nämnas att ett flertal forskningsprojekt från spridda delar från forskar-, antikvarie- och industrivärlden har bedrivits under åren. Inga samlade insatser har i stort bedrivits vilket gjort att kunskapen inte blir tillgänglig för alla delar av byggandet med puts och bruk. Under senare år har initiativ tagits att samla den kunskap av material- och hantverkskunskap som under decennier har gått förlorat eller höljts i ett dunkel för många. Nedan framgår några av de senare forskningsprojekt i Sverige somliga pågår även idag.

LTH- och SP-forskning

1996 startade ett forskningsprojekt som skulle ge mer insikt i vissa tekniska frågor rörande bärande murverk som stomalternativ till stål, trä och betong. Projektet hade två huvuddelar:

- Murverk i byggsystem, ett tvärvetenskapligt systeminriktat projekt
- Karaktärisering av murverks mekaniska egenskaper, ett renodlat forskningsprojekt

Bland annat visade det sig i LTH-projektet att kalkbruk har 2-3 gånger större deformationskapacitet än i ett ”vanligt” B-bruk, vilket är av stor betydelse när man belastar ett murverk (Sandström Malinowski Red., 2000).



Figur 2.17. Skillnader mellan B- och D-brukets deformationskapacitet (Sandström Malinowski Red. 2000)

Statens provnings anstalt, SP har under många år i bedrivit undersökningar på olika kalkbruk och dess egenskaper. I samarbete med både högskolor, och t.ex. de nedan omnämnda projekten har SP en uppgift i att karaktärisera, utveckla provnings- och undersökningsmetoder samt göra analyser på kalkbruken.

Vidare forskning har under senare år även bedrivits av industrin där Optiroc AB (nuvarande maxit AB) har både utvecklat och bedriver forskning för att ta fram fabriksstillverkade bruk med hög kalkhalt som ger låghållfasta egenskaper.

Forskningen vid Läckö slott, Borgholms slott och på Gotland.

Läckö: Här har pågått under en tid en mängd olika försök att utveckla och förstå putsbruket egenskaper där man genom praktiska försök utvecklar bruk och hantverkskunskapen. Exempelvis förses provtytor på fasaden med bruk med olika egenskaper som härleds till ursprungliga, lokala bruk. Exempelvis används kalk som Jurakalk (fabriksstillverkat), fransk låghydraulisk kalk, KC-bruk, bruk av Gotlandskalk samt den lokala Kinnekullekalken. Bränning, släckning och tillredning av kalken sker lokalt med kalk från Kinnekulle som ger en svagt hydraulisk kalk. Syftet är att återskapa beständiga bruk med hjälp av de traditionella materialen. Frågor som hur vi ska återfå mångfalden i bruken? Måste man använda hantverksmässiga metoder? Hur komponerar man de rätta recepten på restaureringsbruk, är några av de frågor forskningen arbetar med vid Läckö.

Gotland: Kalkbränningen återupptogs enligt gammal tradition i Hejnum norr om Visby redan under slutet av 1960-talet. Som följd av denna verksamhet där och vid den privata ugnen i Buttle har åter luftkalk börjat användas i putsreoveringar framför allt pådrivet av restaureringsbehovet av de gotländska kyrkorna. Erfarenheterna från den våtsläckta och lagrade Gotlandskalken har bidragit till att industrin utvecklat färdiga bruk som ger ett säkert resultat i de fall när inte platsblandat bruk används. Under senare år har intresset för materialfrågor fördjupats då man frågar sig varför inte svenskt hydraulisk kalk finns att köpa (Sandström Malinowski Red., 2000).

Att den hydrauliska kalken kräver kunskap har visat sig genom åren från olika försök med Gotlandskalken. Dess enkla kemi är tillskillnad mot cementens ger liten slarvtolerans vilket kräver mycket kunskap och erfarenhet för att lyckas. Det är inte alltid den ”naturliga” hydrauliska kalken behöver vara mer restaureringsvänlig kalk än

KC-bruket. Beroende på hydraulisk kalk kan den både ge hårdare och tätare bruk än den cementbaserade KC-bruket (Sandström Malinowski Red., 2000).

Borgholms slott, Öland: Olika restaureringsarbeten vid Borgholms slottsruin påbörjades 1996. Efter att man har uppfört en kalkugn bränner man nu kalk lokalt på platsen och får därigenom en gulaktig, svagt hydraulisk kalk som används i restaureringsarbetet. Man har förhoppningar om att tillgodose svenska marknaden med denna kalk som ett komplement till den ickehydrauliska kalken från Gotland för t.ex. restaureringar av kulturhistoriska byggnader. Idag importeras jurakalk från Tyskland som inte är bränd på ursprungligt vis, som uppvisar starkt hydrauliska egenskaper liknande cement, vilket gör det olämpligt i många restaurerings-sammanhang.

Riksantikvarieämbetet har genom ett nordiskt utvecklingsarbete som handlar om att verksamheter, kunskaper och färdigheter dokumenterat projekt av restaurering, kalkbrytning, kalkbränning och andra verksamheter med kalkanknytning som syftar till att i Norden undersöka (Sandström Malinowski Red., 2000):

- Kalk i byggnadsverksamheten; tradition, brott och revitalisering.
- Kalk och hantverk i byggnadsvården, samt även bygga upp ett nordiskt nätverk av forskare och praktiker

2.6. **Slutsatser**

Utifrån ovan gjorda litteraturstudier kan man sammanfattningsvis dra några slutsatser med tanke på provningen:

- Bindemedelstyp och – halt, lufthalt, ballasttyp och vattenbindetalet påverkar de mekaniska egenskaperna hos murbruk.
- Ofta motverkar egenskapskraven varandra vilket medför att kunskapen om, vad bruket ska användas till och vilka egenskaper (samt hur de påverkas) som därmed ska prioriteras, bör vara god. Exempelvis kan en högre lufthalt ge positiv inverkan på frostbeständigheten karbonatiseringen men samtidigt sänks hållfastheten.
- Ett kalkbruk kräver en viss porositet och fukt för att bruket skall karbonatisera, men inte för mycket vilket kan försämra hållfastheten eller hindra karbonatiseringen.
- Luftkalken och den hydrauliska kalkens kan ge väldigt olika bruksegenskaper beroende på var den kommer från, kemiskt innehåll, bränning och släckning.
- Hållfastheten ökar med ökad bindemedelhalt, men har liten inverkan vid små cementhalter i KC-bruk.
- Det låghållfasta kalkbruket medger större plastiska deformationer under längre tid än cementbruket, vilket ger mindre krympspänningar i en fog eller puts.
- En snabbt tillväxande draghållfasthet motverkar sprickbildning.
- Ett tryckhållfasthetsprov är enkelt och kan ge representativa egenskaps samband för andra egenskaper vilket gör detta prov användbart och är kvalitetsstyrande av olika brukstyper.
- Litteraturen och forskningen idag är ofta en kvarleva från decennier tillbaka i tiden, där väldigt lite av ny vetenskapsbaserad forskning som är gjord. Mycket gäller fortfarande och är högst relevant, dock kan t.ex. brukets färskas egenskaper verka något subjektivt och schablonmässigt definierade med föråldrat språk.

3. Provning

3.1. Riktlinjer för provningen

Av mötet den 21/11-2003 på maxit AB i Malmö, bestämdes riktlinjer för provningen, som under arbetets gång kontinuerligt uppföljts av samråd med handledare från Chalmers (M. Rodhe) och Maxit (R. Blank). Initiellt gav även Boverket (E. Helsing) sina synpunkter utifrån rekommendationer och normer angående provningsmetoder och riktvärden enligt BKR, Europa norm, EN samt Svensk Standard, SS. Med detta som bakgrund samt litteraturstudien har riktlinjer för vad provningen skall innehålla och visa enligt följande:

Delmaterialen egenskaper

- Kompaktdensitet av bindemedel och ballast
- Siktkurva (ballast)

Färska brukets egenskaper

- Konsistens, krav: utbredning mellan 175-185 mm
- Lufthaltbestämning, krav: 16-20 %

Hårdnande och det hårdnade brukets egenskaper

- Tryckhållfasthet – 40x40x160 mm prismor trycks efter det att de böjdragprovats vilket ger två tryckprov per prisma. För varje klimat- och brukstyp skall i möjligaste mån tre provprismor (40x40x160) provas.
- Böjdraghållfasthet – 40x40x60 mm provprismor böjdragprovats innan tryckprovet, med målsättning att tre prismor för varje klimat och brukstyp provas.
- Krympning – den plastiska- och uttorkningskrympningen, där uttorkningen mäts på dobbförsedda 40x40x160 mm prismor. Den plastiska krympningen mäts med C.M. Capener provutrusning (Delta L) på Chalmers.
- Karbonatisering – Fenolftaleinprov. TGA-provning (Termogavimetrisk-analys) som skulle verifieras med en provning där man mätte volymändringen efter att bruksprovet lösts i saltsyra. Varken TGA-provet eller volymändringsprovet blev realiserat eftersom omfattningen på hela provningen redan blev så omfattande i förhållande till tillgänglig tid.
- Murpelare av lecablock – Tryckprovning av tre i höjd murade block.
- Elasticitetsmodul – Utifrån tryckprovningarnas arbetskurva ovan ta fram några elasticitetsmoduler värden för varje klimat- och brukstyp.
- Bindemedel: Chaux La Farge (hydraulisk kalk)
Jura kalk (hydraulisk kalk)
Kalkcement, KC
Murcement A (Gullex, färdigblandat bruk som referensbruk).
- Bruk: Samma delmaterialhalter för alla bruk (dock är B-bruket, Gullex färdigblandat)
- Klimat: Temperatur 20, 10, 4°C
Relativ fuktighet, RF: 100 % (membran), 75 %, 50 % RF
Koldioxidhalt: Normal eller ingen.
- Personlig fördjupning. Ytterligare utrymme för egna bruksblandningar med andra bindemedel samt även ändring av ytterligare parametrar t.ex. lufthalt och klimatbyte som inverkar på det hårdnade brukets egenskaper kan möjliggöras.

3.2. ***Delmaterial***

3.2.1 **Ballast**

För tillverkning av provkroppar samt för murning användes Maxits färdig torkade sand som levererades i 25 kg säckar. Fraktionen på sanden är 0-4 mm. Sanden beställdes och hämtades på Maxits cementfabrik i Göteborg under v.48 år 2003.

Provningsen bestod av att bestämma följande egenskaper:

- Siktkurvan
- Kompaktdensiteten

3.2.2 **Bindemedel**

Allmänt

Följande bindemedel används:

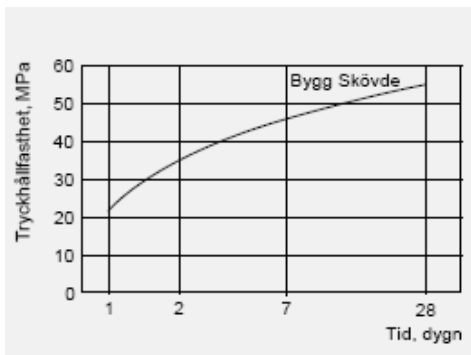
Hydrauliska kalker: *LaFarge Chaux Blanc kalk*
Jura kalk (den gamla ursprungliga Jurakalken)

Luftkalk: *Släckt murkalk E*

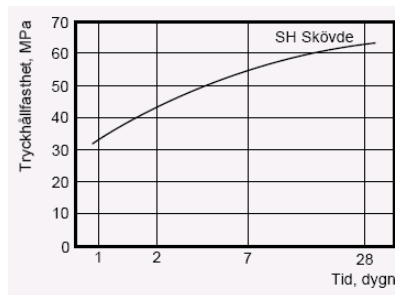
Cement: *Snabbhårdnande SH-cement*
Byggcement
Injektering 30
Ultrafin 12

De hydrauliska kalktyperna beställdes genom R. Blank från Maxits fabrik i Sala v.48 år 2003, varefter dessa skickades till deras torrbruksfabrik i Göteborg. Därifrån hämtades de aktuella bygg- och SH-cementen, luftkalken och den hydrauliska kalken v.48 och v.3, 2004. Tiden för beställningen kan ha betydelse eftersom sammansättningen senare ändrades något i den hydrauliska kalken. Senare beställdes även Injektering 30 och Ultrafin12 till Chalmers för utökade materialprov.

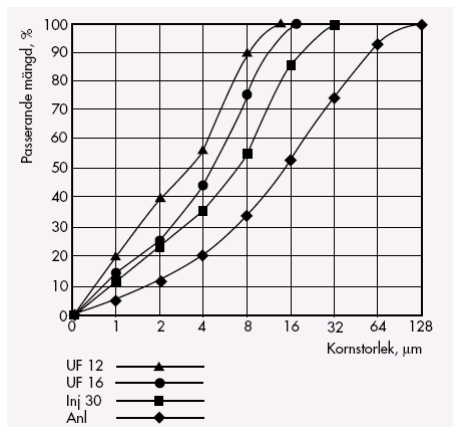
Huvudförsöken innehåller bruk som består av två olika hydrauliska kalker, Lafarge- och Jurakalk. Även ett KC-bruk där den naturligt hydrauliska kalkens egenskaper ersätts med ett kalkcement bindemedel finns med i huvudförsöket. Här blir cementet med sina hydrauliska egenskaper det verksamma bindemedlet för bruket, medan luftkalken fungerar som ett lufttillsats medel samt förbättrar det färska brukets arbetbarhet. Luftkalken reducerar även cementets hållfasthet och den snabba hydrauliska reaktion som ger den snabba hållfasthetstillväxten. SH-cementen används som cement i huvudförsöket vilket ökar hastigheten på hållfasthetstillväxten, jämfört med exempelvis byggcement, se figur 3.1 och 3.2 nedan. Genom att variera cementsort kan KC-bruket få olika egenskaper detta provas för de extra materialsammansättningar, där byggcementen har en mer normal hållfasthetstillväxt, medan både injektering 30 och Ultrafin 12 har en utpräglad snabb hållfasthetstillväxt. Denna egenskap beror framförallt på olika finmalningsgraden av bindemedlet, eftersom det är ytan på de reaktiva cementkornen som reagerar i cementgelen. I figur 3.3 illustreras exempel på olika cementsorters kornkurvor, ju finare kornfördelning desto mer reaktivt cement



Figur 3.1. Normbrukhållfasthet, byggcement. (www.maxit.se, 2004)



Figur 3.2. Hållfasthetsutveckling för SH-cement. (www.maxit.se, 2004)



Figur 3.3. Exempel på kornkurvor på olika cementtyper. Ultrafin 12 har störst andel av de små fraktionerna (www.maxit.se, 2004)

Kompaktdensitet

Kompaktdensiteten bestäms på följande bindemedel enligt pyknometermetoden (Tepfers, 1991). Värdena redovisas i resultatdelen.

- LaFarge Chaux Blanc kalk
- Jura kalk

3.3. **Sammansättning**

Sammansättningen för de olika D-bruken utgår från samma recept vad det gäller viktprocent delar, men där olika bindemedel varierar. Följande *viktprocentandelar* gäller:

- Hydrauliskt kalk: 11 %
- Släckt murkalk E: 2 %
- Sand (0-4mm): 87 %
- Luftporbildare, SC 91: 0.05 %

Detta recept gäller också för KC-bruken, där den totala bindemedelmängden blir 13 viktprocent (11 % + 2 %). Viktförhållandet mellan bindemedlen kalk respektive cement, KC skall vara: 75/25. Detta ger överfört till ovan recept följande *viktprocentandelar*:

- Cement (typ: SH, Bygg, Injektering 30, Ultrafin 12): 3.25 %
- Släckt murkalk E: 9.75 %

- Sand (0-4 mm): 87 %
- Luftporbildare, SC 91: 0.05 %

Överfört i *volymdelar* blir recepten följande (torr sand):

- Kalk:Lafarge:Sand = 1:5:39,2
- Kalk:Jura:Sand = 1:4,2:36,5
- Kalk:Cement:Sand = 1:0,24:7,57

3.4. **Blandnings-, formutrustning**

De inledande provblandningar genomfördes med en standardiserad laboratorieblandare av typ RMU blandare eller en Hobart blandare, se figur 3.4 nedan. Den krävde betydligt kortare blandningstid än tvångsblandaren av typ AB Sandby maskiner, 40 liter (Typ: T0.75 Tilverkningsår:1975). Denna blandare användes senare i alla gällande provblandningar, se figur 3.5 nedan. Blandningshastigheten för tvångsblandaren är 34 varv/minut (bladen), men där också själva trumman roterar mot bladen i samma hastighet. För att få ett godkänt bruk med samma förutsättningar och samma färskas egenskaper (konsistens och lufthalt) oberoende vilket bruk som används är blandningsproceduren gemensam för båda utrustningarna, och är följande:

1. Uppvägning av delmaterialen utom vatten.
2. Blandas samman i en minut torrt.
3. Vattenmängden vägs upp och appliceras i blandaren under omrörning under ca en minut.
4. Blandas ytterligare 3 minuter och konsistensen mäts samt en enkel lufthaltstest enligt densitetsmetoden, se ovan avsnitt.
5. Vid behov tillsätts ytterligare vatten för att få rätt konsistens, dvs. utbredning. Ytterligare blandning krävs för att få ner vattnet, vilket bör minimeras i detta skede.
6. Lufthalten mäts igen på samma sätt. Eventuell ytterligare blandning för att uppnå avsedd lufthalt i bruket. Vid uppnådd lufthalt verifieras lufthalten i bruket med tryckmetoden samt med volymmetoden enligt ovan.



Figur 3.4. Standardblandare för laboratieförsök som användes vid inledande brukstester (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.5. Tvångsblandaren användes till bruksblandningarna för provningen (Ludvigsson, 2004).

Formutrustningen består av stålformor av massivt stål som är löstagbara och demonteras, rengörs samt oljas efter varje gjutning. Under formväggarna på formplattan placeras ett lager läskpapper, innan monteringen av formen. Detta för att efterlikna sugningen på bruket från murstenarna i en murverkskonstruktion. Efter monteringen, kan gjutning ske enligt följande procedur:

1. Halva höjden på formen fylls med bruk.
2. 25 stötar med en kvadratisk trästång med måtten 25x25mm.
3. Formen fylls upp till kanten med bruk
4. Ytterligare 25 stötar med samma hastighet och styrka
5. Formen fylls vid behov och avstryks till en jämn yta.
6. Ett lager läskpapper appliceras även ovanpå formen och bruket.
7. Formarna placeras i möjligaste mån på varandra med något tät skiva emellan, eftersom ingen ytterligare tätslutning är möjligt fram till avformningen.
8. Formarna placeras i respektive temperatur där de avformade proverna skall lagras.
9. Avformning sker efter 24 timmar enligt EN 196:1:1994, där man också kan medge en förlängning till 48 timmar om hållfastheten ej tillåter en tidigare avformning. Detta ska i så fall anges.
10. Efter avformningen placeras provkroppen i avsett klimat, med avseende på temperatur, RF och CO₂-tillgång.



Figur 3.6. Isärtagbara stålformor där gjutning av provprismor 40x40x160mm äger rum. (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.7. Stålformen fylldes upp till hälften, komprimeras, och därefter toppfylldes. Läskpapper är placerat under stålramen. Läskpapper placeras även ovanpå efter påfyllningen (Ludvigsson, 2004).

3.5. Lagring av provprismor

Temperatur 20°C

Klimatrum CA12 i byggnadsmateriallaboratoriet på Chalmers användes för detta klimat. Här finns en styrd relativ fuktighet på 50 % RF, med fri tillgång på CO₂, eftersom rummet har en kontinuerlig styrd ventilation.

Temperatur 10°C

Ett rymligt kylskåp användes, där temperatur och relativ fuktighet loggades under hela lagrings- och provtiden. Temperatur- och RF- medelvärden för hela lagringsperioden beräknades till 10.0°C och 58 % RF i kylskåpet. Kurvorna redovisas i bilagan "Klimat". Tillgången på CO₂ kan delvis vara begränsad av den volym kylskåpet innehåller. Men på grund av otätheter och nästan daglig öppning av kylskåpet tillföres CO₂.



Figur 3.8. Klimatet 10°C i ett kylskåp. Här placerades även klimatboxar med 75 % RF och i tätslutna plastpåsar (100 % RF). (Ludvigsson, 2004).

Temperatur 4°C

Klimatrum CA6 på Chalmers användes där temperatur och relativ fuktighet loggades under hela lagrings- och provtiden. Medelvärdena under lagringsperioden beräknades till 3.7°C och 83 % RF. Kurvorna redovisas i bilagan "Klimat". Tillgången av CO₂ är obegränsad eftersom rummet är kontinuerligt ventilerat under temperaturstyrning.



Figur 3.9. Klimatet 4°C i ett ventilerat klimatrum. Här placerades provprismorna öppet, i klimatboxar med 75 % RF och i tätslutna plastpåsar (100 % RF) (Ludvigsson, 2004).

Relativfuktighet 75 %

Täta boxar med sluten cirkulerande ventilation användes. Ingen tillgång till CO₂ fanns (endast den begränsade volym boxarna innehöll). Mättad natriumhydroxidlösning användes för att ge RF 75.5 %.



Figur 3.10. Klimatbox med 75 % RF som placerades i 20 respektive 4°C. På locket finns en fläkt som cirkulerar luften. Saltet finns på botten under ett galler (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.11. Klimatbox med 75 % RF i 10°C. Från sidan cirkuleras luften via en fläkt (Ludvigsson, 2004).

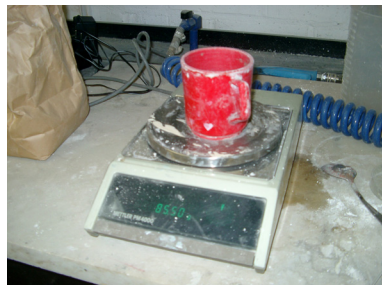
3.6. **Provning av färskt bruk**

Lufthalt

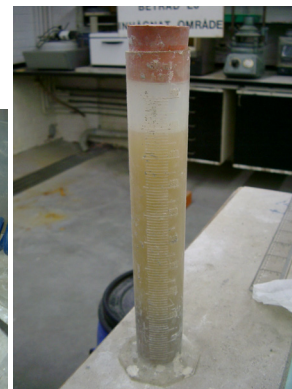
Med hänsyn till karboniseringsmöjligheten, sprickbildningen och frostbeständigheten rekommenderar Maxit AB en lufthalt mellan 16-20 %. Lufthalten uppmättes genom densitetsmetoden samt verifierades med tryckmetoden. Vid de inledande försöken användes även volymmetoden.



Figur 3.12. Lufthaltmätare för bruk enligt tryckmetod (se ovan). (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.13. Mätkärl och väg för bestämning av lufthalt enligt densitetsmetod (se ovan). (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.14. Lufthaltsmätning genom att mäta volymminskningen, enligt volymmetod (se ovan). (Ludvigsson, 2004).

Bruksblandningen modifierades utifrån lufthaltbestämningen, där en ökad blandningstid medförde en ökad luftinblandning i bruket, dock till en viss gräns där lufthalten ställer in sig på en konstant nivå.

Styvhet och konsistens

Genom att fylla bruk i en kon till hälften och därefter komprimera med 10 stötar, fylldes konen till överkant för att därefter avlägsna tratten. Därefter följde ytterligare 5 stötar och en avjämning med ytterligare bruk som drogs av längs ovankant. Konen avlägsnas rakt uppåt. Därefter följer 10 varv (slag) på slagbordet där brukssatsen

ligger. Utbredningen mäts i en riktning samt i en vinkelrät riktning. Medelutbredning från de två värdena beräknas här efter. En lämplig konsistens bör ha en utbredning mellan 175-185 mm enligt maxit AB. Detta krav uppfyllades genom att gradvis öka vattenmängden som beskrivits ovan.



Figur 3.15. Konen fylldes med bruk som komprimerades genom stötar med en cirkulär stöt, (standardutrustning) (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.16. Konsistensen på bruket mättes genom att mäta den utbredning brukskonen får efter 10 stötar med stötbordet. (Ludvigsson, 2004).

Vattenbindetalet som beskriver hur mycket vatten de olika bruken innehåller och

definieras: $vbt = \frac{W}{C + \beta D}$ där

W är mängden blandningsvatten (kg)

C är mängden cement (kg)

D är mängden tillsatsmedel (kg)

β är effektivitetsfaktorn (0-1), beror av tillsatsmedlets reaktivitet exempelvis får silkastoft värdet 1 (Burström, 2001). I denna provning ges β värdet 0.

Klibbighet

Har genomförts något översiktligt med en murslev och bruk som vändes upp och ner.

Volymvikt

Beräknas utifrån lufthaltsprovet (densitetsprovet), och delmaterialens densitet.

3.7. Provning på hårdnande bruk

3.7.1 Provprismor

Tryckhållfasthet och e-modul

Tryckprovsutrustningen består av en Hounsfield tensometer (import från Croydon, England) som genom manuell pålastning, via en vev och en gängad stång som utvecklar en tryckkraft på provprismat enligt figur nedan. Deformationen mäts i dragstången med en givare, därefter förstärks signalerna i en förstärkare som i sin tur skickar vidare till en dator där ett excellprogram omräknar signalerna till deformationer och spänningar. Utrustningen är deformationsstyrd vilket innebär att även glapp och töjning i utrustningen medför mät fel på uppmätta deformationen. Det initiala mätfelet orsakat av möjliga glapp i utrustningen ingår i alla

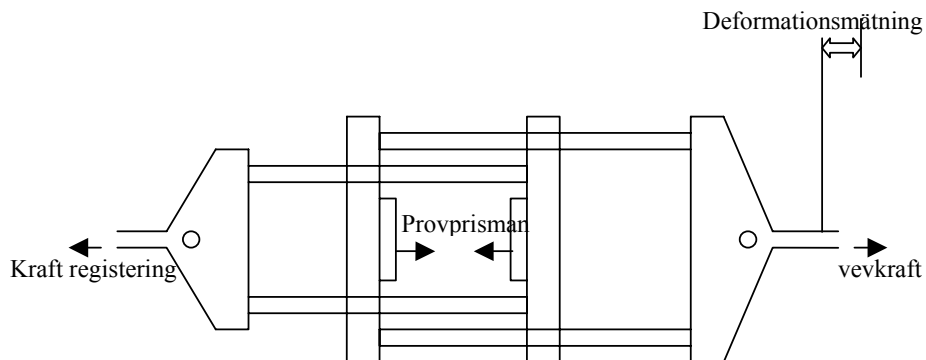
deformationsvärden. Mätfelet på grund av vekhet vid laststegring kompenseras genom kalibrering för aktuellt spänningsområde som används.



Figur 3.17. Pågående tryckprovning med tensometern. Här överförs dragkraft till tryck på prismet (Ludvigsson, 2004).

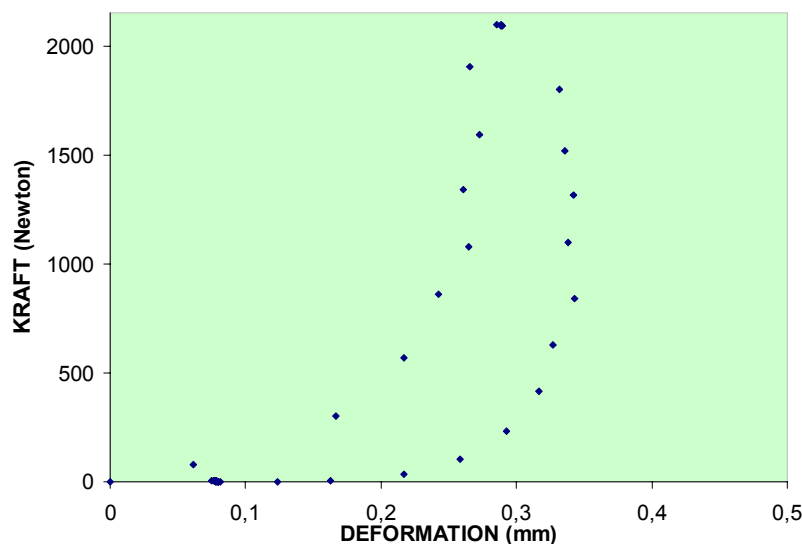


Figur 3.18. Tensometer där tryckproven utfördes. Tillhöger i bild sker manuell vevning som skruvar en gängad stång till tryck vid tryckbackarna (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.19. Principskiss av tryckutrustningen.

Utrustningen kalibreras för ett tryckintervall vilket gör att vekheten som medför att kurvan kan få negativ lutning kalibreras bort vid förväntat lastintervall. Kalibrering gjordes för laster upp till 300 kg för D-bruken medan för B-brukets 28 och 56 dygns prov kalibrerades för ett lastintervall kring 800 kg.



Figur 3.20. Arbetskurva som visar "felet" på tryckutrustningen

Figuren ovan visar att arbetskurvan utan provprisma ger en initiell deformation på ca 0,25 mm vid lastuppbyggnaden. Vid avlastning sker en ökad deformationskurva vilket kan tyda på något glapp i utrusningen. Avlastning sker ej under provningen därför är denna kurva ej aktuell. Det initiella töjningsfelet på 40 mm provprisma skulle då bli ca 0.00625.

Böjdraghållfasthet

Böjdragprov-utrustningen är av typen Chemisches Laboratorium fur Tonindustrie, Prof.Dr.H.Seger o Cramer Kom.ges, Tillverknings år 1966. Utrustningen medger två kraftintervall, där det lägre användes (0-120 kP/cm²). Utrustningen består av en motordriven hävstång som genom utskruvning ger en konstant belastningsökning. Provprisman som är placerad över två upplag med en central lastpunkt på mitten över hela bredden. Hållfasthetsvärdet anges på en skalstock (kP/cm²) på hävstången genom att motorn stannar vid brott och avläsning kan ske. Provningsen av provprismornas hårdnade egenskaper inleddes alltid med vägning, samt höjdmätning och därefter själva böjdragprovet.



Figur 3.21. Böjdragprovutrustning som användes (Ludvigsson, 2004).

Densitet

Volymen fås genom att mäta höjden mitt på de två prismakropparna som fås efter böjdragprovningsen. Av dessa värden beräkna medelhöjden för hela prisma som multipliceras med (40x160) vilket ger volymen. Höjden mäts med ett skjutmått som ger en noggrannhet av 1/10 mm. Varje prisma vägs upp just innan varje provning. Fel p.g.a. ojämnheter, små bitar som t.ex. fallit av prisma eller lösa partiklar på prisma, bör tas hänsyn till vid en mer noggrann bedömning av densiteten.

Krympning

Uttorkningskrympningen uppmättes på provprismor (40x40x160mm) som försågs med ståldubb vid gjutning. Eftersom risken för att dessa dubbar skulle lossna vid avformning förlängdes prismans tid i form till 5 dygn. Detta medför att först efter 5 dygn kan provkroppslängden mätas. Provkropparna skyddas från kontakt med luft under tiden i formen för att inte ge tidig uttorkning. Mätningens nollvärde utgår från 5 dygn efter gjutning och därefter sker mätningen i intervallet 8, 14, 28 och 56 dygn. Mätutrustningen består av en mätklocka, med en noggrannhet av 1/1000 mm. Utrustningen är beläget i ett klimat med konstant temperatur och RF.



Figur 3.22. Mätutrustning för uttorkningskrympning. Före varje mätning kalibreras utrustningen med en kalibreringsprisma (Ludvigsson, 2004).

Den *plastiska krympningen* i tidig ålder uppmättes på lätt glidande stålbitar fastgjutna i provens ändar. Sensorer registrerar kontinuerligt deformationen eller krympningen. Denna metod är konstruerad och avsett för en ca 10 mm puts men kan också ge goda värden på den plastiska krympningen hos en murfog. Denna utrustning och programmjukvara heter Delta L, och är utvecklad och använd i C.M. Capener forskningsarbete för maxit AB på CTH.



Figur 3.23. Mätutrustning, Delta L för plastisk krympning. Längdförändringen på 8 bruksprov registreras kontinuerligt under det att hårdnandet sker (Capener, 2004).

Karbonatisering

Karbonatiseringsdjupet av provprismorna uppmättes efter tidigare beskrivna metoden där fenolftalein används. Efter böjdragprovet fås färsk brottytor på prisma, som sprayas med fenolftalein. Efter 5 minuter mäts hur långt in från ytan karbonatiseringsfronten har gått. Endast provprismorna som är utsatta för CO₂ mäts, övriga är ej karbonatiserade.



Figur 3.24. Provprismorna i mitten uppvisar en tydlig karbonatiserad front. Prismorna till höger har inte blivit karbonatiserade, dessa uppvisar en serisröd färg över hela brottytan (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.25. Exempel på hur svårt det kan vara att bestämma en tydlig karbonatiserad front (Ludvigsson, 2004).

3.7.2 Provning av murpelare

Tillverkning

Leca murblock typ 650/3 med måtten 19x19x59 cm och nominell densitet 650 kg/m³ användes. Blocken har λ -klass: 0,200 W/mK och tillverkningsdatum: 040116. Blocken delades på mitten med en vattenkyld cirkelsåg. Murpelarna som består av tre halvor murade ovanpå varandra (två fogar och tre block i höjd) med utsparningarna för armering placerade uppåt, se Figur 3.28. Fogarna med D-bruken är helt fyllda med en tjocklek av 15mm. B-bruket murades med en murarlåda vilket ger två strängar av bruk med max 10 mm tjock fog och ett centralt luftrum i fogen. Dessa olika metoder och fogar skulle motsvara hur murningen i det verkliga fallet sker och



Figur 3.26. Blocken delades med en vattenkyld cirkelsåg. Blocken torkade därefter i rumsklimatet (Ludvigsson, 2004)

lämpligen förväntas bli. Pelarna murades på pallar där några är inneslutna i plastsäck (100 % RF) och resterande står öppet. Pallarna förvarades i 4°C eller i 20°C.

Utsparningarna på det översta lecablocket fylldes ut av fett cementbruk av typ SH-cement med ett vct = 0.4. Detta gjordes dagen innan provningen. Enligt maxit AB ligger hållfastheten efter ett dygn kring 30 MPa.



Figur 3.27. Tre block i höjd muras upp, här med B-bruk. Utsparningarna på blocken är riktade uppåt (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.28. Murning av pelare med D-bruk där hela fogen fylldes med 15 mm bruk. Plastsäcken dras över pelaren och tillsluts (Ludvigsson, 2004).

Provtryckutrustning

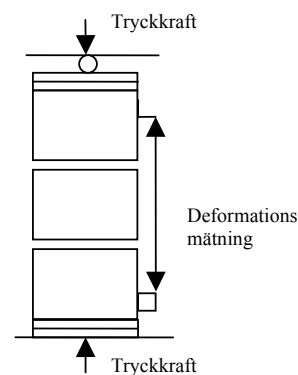
Utrustningen för provtryckning av murpelarna är av en typ som använder sig av hävstångsprincipen och heter Alfa-maskin. Belastningsökningen på tryckmaskinen styrs automatiskt där läge 8 används vid provningen. Mot pelarens övre och undre tryckytor placeras en träfiberskiva samt en tjock järnplatta som fördelar trycket över hela blockets yta. Under denna järnplatta (undersidan) placeras en ”våg” centralt, och på ovansidan placeras ett kullager vilket medför att trycket sker vertikalt samt över hela ytan trots att pelaren skulle vara sned. Deformationsmätningen sker på ena sidan av blocken enligt principskissen nedan. Mätningen sker över två fogar och två block (två halvor + ett helt). Deformationssignalen förstärks och registreras på en analog skrivare och skrivs ut på ett mm-rutat papper. Töjningen som redovisas i avsnittet resultat och analys beräknas över hela längden mellan deformationsmätningarna där avståndet är 415 mm.



Figur 3.29. Mätutrusning sitter på plats trots att brott sker vid provtryckning (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.30. Alfamaskinen med hjälp av hävstångsprincip trycker pelaren. Mätutrusning är placerad på murpelaren (Ludvigsson, 2004).



Figur 3.31. Principskiss på provtryckutrustning av murpelare (Ludvigsson, 2004).

3.8. **Provningsprogram**

3.8.1 **Provning på delmaterial**

Provningen av kompakt densitet hos bindemedlen Jura- och Lafargekalken görs en gång. Ballastens kompakt densitet samt dess siktkurva provas också fram en gång.

3.8.2 **Provning på färskt bruk**

För varje bruksblandning provas konsistensen som regleras med hjälp av vattentillsatsen och som därmed ger vattenbindetalet. Även lufthalten provas fram i varje bruksblandning denna egenskap regleras med hjälp av blandningstiden. Huvudförsöken av provprismorna omfattar minst två bruksblandningar per bruk, medan provprismorna tillverkade av de extra brukssammansättningar, proven för plastisk krympning samt murpelarna av lecablock tillverkas utifrån en bruksblandning.

Lufthalten i bruket är viktigt utifrån frostsäkerhet, hållfasthet och arbetbarhet. Lafargebruket provas här utöver huvudförsöken för provningen även för enstaka hållfasthetsprov där lufthalten är lägre än rekommenderad. Vad detta kan innebära för hållfastheten, kan vara av intresse. Det skulle även vara intressant att påvisa skillnader på hydratiseringen och karbonatiseringen utifrån lufthaltsskillnader. I övrigt för hela provningen ligger brukens lufthalter inom rekommenderade gränserna, dvs. mellan 12-20 % (enl. BKR). Maxit AB gav dock snävare gränser mellan 16-20% vilket ytterligare förbättrar frostbeständigheten, skyddet mot sprickbildning och karbonatiseringsförmågan.

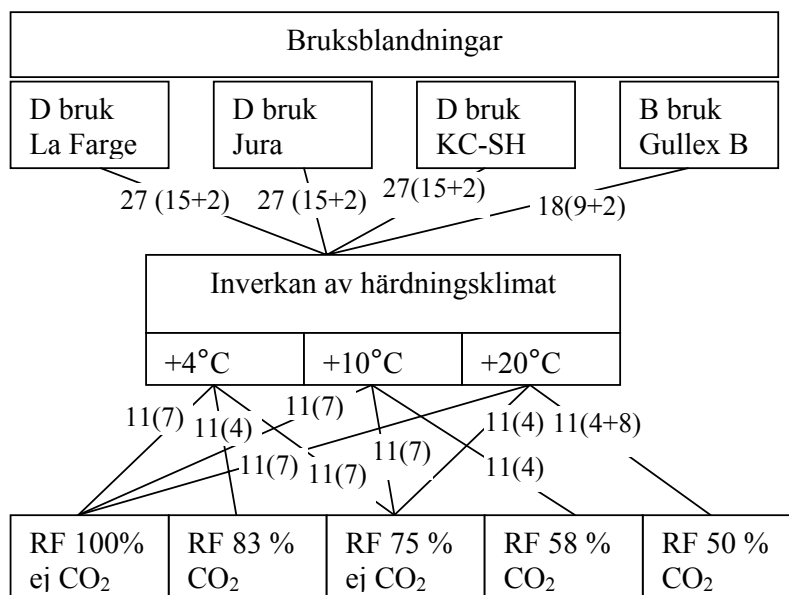
3.8.3 **Huvudförsök**

Huvudförsöken omfattar bruken i hårdnat tillstånd enligt figur 3.32. Vid försöken studeras inverkan av:

- Ålder
- Temperatur
- RF
- Tillgång till luftens koldioxid, CO₂
- Låg lufthalt

En översikt av inverkan på tillväxten av viktiga materialegenskaper efter gjutning vid huvudförsöken visas i figur 3.32. I huvudförsöket ingår följande prov:

1. Tryck
2. Arbetskurva (E-modul och deformationer)
3. Böjdrag
4. Karbonatiseringsdjup
5. Densitet
6. Krympning a) plastisk krympning
 b) uttorkningskrympning



Figur 3.32. Översikt på provningsprogram för huvudförsöken och krympproven. Figuren anger de olika bruksblandningarna och olika härdningsbetingelser. Mellan bruk och temperatur är antal provprismor för respektive bruk i varje temperatur angivna. På samma sätt innehåller varje temperatur ett visst antal provprismor, X för olika RF, vilket anges av siffran mellan dessa klimatfaktorer. Siffrorna i parentes står för de olika krympproven ($X_{\text{uttorkningskrympning}}$) eller ($X_{\text{uttorkning krympning}} + X_{\text{plastisk krympning}}$). Denna figur motsvarar ett provningstillfälle. Tre provningstillfällen gäller, det första efter 7 dygn och det andra efter 28 dygn och det tredje efter 56 dygn. En mer ingående översikt av provprismorna finns i bilagan "Översikt".

1. Tryckprovning

Denna provning sker efter åldern 7, 28 och 56 dygn enligt figur 3.32 där figuren representerar en provning vid en ålder t.ex. efter 28 dygn. Varje bruksblandning provas och brottlasten redovisas ur arbetskurvan. Av en provprisma fås två prov från böjdragprovet, vilket resulterar i 54 tryckprov per bruk (27x2). Det finns 3 olika temperaturer, 3 olika fuktnivåer och 3 prismor/förutsättning: $3 \times 3 \times 3 = 27$ (Gullex 2 prismor/förutsättning). Medelvärden, standardavvikelse och konfidensintervall beräknas för alla prov med samma bruk, klimat och ålder.

Tryckhållfasthet D-bruk och B-bruk

Provningens huvuddel består av tre olika D-bruk som skall jämföras både inbördes och med ett B-bruk som är ett s.k. nollprov för proven. D-bruken består av två hydrauliska kalkbruk och ett KC bruk. Brukens tryckhållfasthet som hämtas ur arbetskurvan studeras mellan de olika bruken. Både vid tidig ålder och vid 28 dygn då man får standardiserade jämförelsevärden på hållfastheten. Även hållfastheten efter lång tid kan vara intressant beroende på vilket bruk som används.

Inverkan av ålder

För att få ett mått på hur snabbt hårdnandeprocessen sker i de olika murbruken har provningsprogrammet utformats så att man får tre olika former av hållfasthetsutveckling. Den tidiga hållfastheten är central i denna provning. Den har stor inverkan på det praktiska arbetsmomentet, men även hur man använder murverket. Framförallt är det i de mest kritiska (sämsta) klimaten som är intressant då endast det första uttorkningshårdnandet och hydratationen verkar.

Därefter sker provningen efter 28 dygn som också är ett viktigt mått, vilket i allmänt är standard och karaktäriserar de flesta av bruks hållfasthet. Här ges även ett mått på hur mycket belastning ett murverk skall klara, vilket oftast ses som den slutliga hållfastheten hos olika murbruk.

Hållfastheten ökar troligtvis även efter 28 dygn, därför för att få ett mått på hur detta sker, och är speciellt viktigt för kalkbruk där karbonatiseringen är en viktig faktor som inverkar på det sluthållfastheten. Att jämföra de olika bruken efter lång tid kan därför vara betydelsefullt då kalkbrukens fördelar kan påvisas.

Inverkan av temperatur

Temperaturen påverkar hårdnandet av murbruk, detta ser vi inte minst i BKR där angivna temperaturer bestämmer förväntad hållfasthet samt begränsningar i användandet av D-bruk. Begränsningen ligger vid minst +5°C, då man får iaktta speciella krav för murning. Är dessa krav rimliga och väl förankrade? Kalkbruk verkar vara, enligt litteraturen mer känsliga för låga temperaturer än vad cementbaserade bruk verkar vara. Gäller detta även för D-bruken denna provning omfattar? Dessa frågor skall belysas med provningen av bruk som är lagrad i temperaturen 4°C. För att kunna få normerade hållfasthetsvärden med föreskrivet klimat, där man kan få jämförbara provresultat skall även provprismorna lagras i temperaturen 20°C. En mellantemperatur är också lämpligt att införa som ytterliggare temperaturvariabel, denna är då 10°C.

Inverkan av luftens fuktighet, RF

Hårdnandet beror i hög grad också på den relativa fuktigheten. Hydratisering, där den hydrauliska komponenten reagerar med vatten bildar silikater (från kiselsyran). Denna reaktion avstannar nästan helt under 80 % RF. Karbonatiseringen, där kalciumhydroxiden reagerar med luftens koldioxid fungerar bäst mellan 50-70 % RF. Av dessa orsaker ska RF inverkan påvisas i provningarna och jämföras mellan de olika bruken. I provningen användes följande RF:

- 100 % (membran härdning)
- 75 %
- aktuell RF i varje klimatrum: 50 % (20°C), 58 % (10°C) och 83 % (4°C).

Inverkan av tillgång på CO₂

CO₂ – halten påverkar karbonatiseringsförloppet av kalkbruket. Det kan vara av intresse hur stor inverkan på hårdnandeprocessen CO₂ medverkar till. För att påvisa detta hindras all CO₂ tillträde till proven, förutom för de prov som befinner sig i öppet i de olika klimaterna. Första tiden hårdnar bruket på grund av uttorkning, samt något senare även av reaktionen mellan de hydrauliska komponenterna i bruket. Härvid kan man få en bild av karbonatiseringen och hydratiseringens inverkan i hårdnandet. Det ger även begrepp om hur bruket hårdnar under de sämst möjliga härdningsklimaten där ingen CO₂ finns tillgänglig, vilket då kan ge ett minimivärde för lägsta tänkbara hållfasthetstillväxt i avseende på CO₂ – halt.

Inverkan av låg lufthalt

Enligt litteraturen ökar hållfastheten vid en minskad lufthalt. Om hur detta förhållande gäller för ett D-bruk undersöks för att om möjligt öka hållfastheten. Detta är dock inte att rekommendera ur frostsäkerhetssynpunkt, dessutom minskas möjligheten för bruket att karbonatisera. Provningsen gäller för en blandning av D-bruket Lafarge

Chaux Blanc. Lufthalten är ca 9 % och provas vid samtliga klimat och åldersnivåer som anges i Figur 3.32, dock är antalet prov endast 1-2 prismor vid varje klimat och ålder, se mer ingående i bilagan ”Översikt”.

2. Arbetskurvan

Arbetskurva fås från varje tryckprov. Från arbetskurvan beräknas även **e-modulen** genom att beräkna lutningen på arbetskurvan över minst fyra punkter. Medelvärden beräknas på E-modulerna. Även **deformationen** (brottdeformationen) beräknas utifrån arbetskurvan, samt utifrån beräknade medelvärden på brottlast (tryck) och E-moduler.

Arbetskurvan för en hållfasthetsprovning ger mycket information om brukets egenskaper. Att påvisa med hjälp av arbetskurvan D-brukets fördelar vad det gäller t.ex. förmågan att ta upp deformationer. Vid olika tidpunkter i brukets hårdnandeprocess har arbetskurvan olika karaktärer som talar om hur bruket beter sig under belastning. Arbetskurvorna är framtagna för de flesta av tryckproven, med några undantag, se vidare i bilaga ”Översikt”.

E-modul

Ur arbetskurvan går även elasticitetsmodulen att beräkna som är ungefär proportionell mot tryckhållfastheten. Att ha en hög e-modul är inte alltid eftersträväsvärdt för bruk t.ex. eftersträvar man en låg e-modul vid putsning. E-modulen beror i hög grad på brukssort också. E-modulen är angiven i arbetsdiagrammen som är beräknad utifrån minsta kvadrat metoden i programmet som ritat arbetskurvan. Stora differenser kan här visa sig på E-modul värdena för samma bruk i samma klimat. Detta beror dels på var på arbetskurvan man beräknar e-modulen. Användbarheten av E-modulen för bruk speciellt i tidig ålder kan diskuteras där materialet egentligen inte uppvisar linjärelastiska egenskaper utan ger direkt plastiska deformationer.

Deformation

Som redan nämnt är låghållfasta murbruk gynnsamma ur deformationssynpunkt. För att få fram värden på hur känsligt de olika bruken är för deformationer innan sprickbildning sker. Analyseras arbetskurvorna för 50 %, 75 % och 95 % av brottlasten där deras deformationer jämförs.

3. Böjdragprovning – Denna provning sker efter åldern 7, 28 och 56 dygn enligt figur 3.32 där figuren representerar en provning vid en ålder t.ex. efter 28 dygn. Varje bruksblandning provas vilket resulterar i 27 prov per bruk, där endast böjdrag-brottpasten registreras. Medelvärden, standardavvikelse och konfidensintervall beräknas för alla prov med samma bruk, klimat och ålder. Utifrån böjdragprovet studeras liksom för tryckprovet inverkan av ålder, temperatur, tillgång på CO₂, samt inverkan av låg lufthalt

4. Karbonatiseringsdjup – Fenolftaleinprov görs på provprismorna som är lagrade där CO₂ finns tillgängligt. Provprismorna är där hindrade från att karbonatiseras. Karbonatiseringen som sker från ytan och in, kräver kontakt med luftens kolsyra, CO₂. För att fastställa provprismornas opåverkade status med avseende på karbonatisering undersöks även enstaka prismor ur de andra serierna med ingen koldioxid tillgång. Karbonatiseringsprocessen är normalt långsam i murverk vid normala klimat jämfört med en putsad yta. En 10mm tjock puts kan karbonatiseringen ske på en månad vid normala förhållanden. Men karbonatiseringshastigheten beror i

hög grad på luftens och materialets relativa fuktighet, brukets täthet, var i murverket bruket är och dess tillgång till CO₂, samt om eventuella ytbehandlingar finns.

5. Densitetsprovning

Inför varje provning vägs provprismat. Även direkt efter avformningen vid 1 dygn i form vägs provprismorna. Av dessa viktvärden fås viktförändringen i olika klimat som kan ställas mot hållfasthetstillväxten för bruken. Denna analys kan utvecklas till att bedöma hur långt, och när hydratiseringen eller karbonatiseringen sker. Vid karbonatisering minskar vikten till en början när den avgående fukten överstiger karbonatiseringsreaktionen. Därefter ökar vikten i takt med att bruket karbonatiserar dvs. att produkten blir kalciumkarbonat som är ett tyngre ämne än kalciumhydroxid som utgångskalken består av. Av praktiska skäl vägs ej prismorna vid 100 % RF utom vid avformningen och provningen eftersom en obruten försluten plastpåse är att föredra, i övrigt väges alla prismorna vid 7, 28 och 56 dygn.

6. Krympningsprovning

Krympningen storlek är en viktig del i det hårdnade brukets egenskaper. Den består framförallt av två delar. Den första tidens plastiska krympning efter appliceringen under det att bruket stelnar till. Sedan sker uttorkningskrympningen som är en längre process. Provningsen är inte statistiskt säkerställt utan ger framför allt en jämförelsebild mellan de olika bruken och i vilken storleksordning krympningen är för respektive bruk.

Uttorkningskrympning

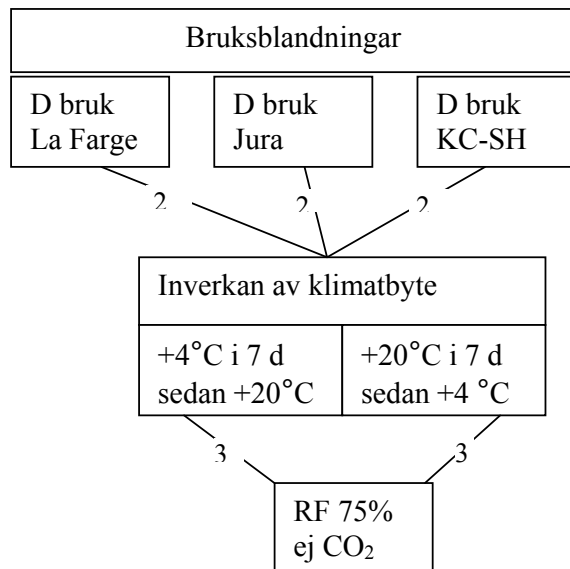
Två krympprismor per D-bruk och klimatbetingelse, där B-bruket endast har en krympprisma. I respektive klimat blir det 2x3x3=18st prismor per D-bruk enligt Figur 3.32. Längdändring mäts på båda krympprismorna, medan viktminskning endast på en av dem. Mätningen startar efter 5 dygn då avformningen har gjorts. Därefter sker mätningen vid 8, 14, 28 och 56 dygn.

Plastisk krympning

Kontinuerlig längdändringsmätning från dygn 0 till 9. Två provkroppar per bruk, och ytterligare ett prov för varje bruk där viktminskningen registreras. Endast i ett klimat 20°C och 50 % RF genomförs detta test. Bruk, klimat och antal provprismor anges i Figur 3.32 ovan.

3.8.4 Försök med klimatbyte

Om ett bruk utsätts för klimat som är negativt i hårdnandeprocessens första dagar och därmed förhindrar hårdnandet, kan detta enligt litteraturen medföra bestående hållfasthetsförsämringar, även om klimatet skulle förbättras. Oftast är det temperaturen som är den viktiga inverkan på brukets hårdnande. Av denna anledning har ett antal bruksprismor bytt klimat (temperatur) enligt följande översikt i Figur 3.33.



Figur 3.33. Generell översikt på provningsprogrammet för klimatbytesförsöket, med samma uppställnings princip som i Figur 3.32. RF är konstant därför innebär byte av klimat endast byte av temperaturen, och då mellan 20 och 4°C. Enstaka prov finns även för 10°C, se bilaga "Översikt".

Provningsen sker i samband med huvudförsöket ovan, där samma provningsmetoder och beräkningar av viktiga egenskaper genomförs. Dock är inte standardavvikelseerna eller konfidensintervall beräknade. Ej heller någon krympprovning för dessa provprismor genomförs. Generellt upplägg för denna provning är enligt följande, se även Figur 3.33 ovan:

- Efter 7dygn i 4°C därefter byte till 20°C fram till 28 dygnsprov samt 56 dygnsprov.
- Efter 7 dygn i 20°C, därefter byte till 4°C fram till 28 dygnsprov samt 56 dygnsprov.
- Efter 28 dygn i 4°C därefter byte till 20°C fram till 56 dygnsprov.
- Efter 28 dygn i 20°C därefter byte till 20°C fram till 56 dygnsprov.

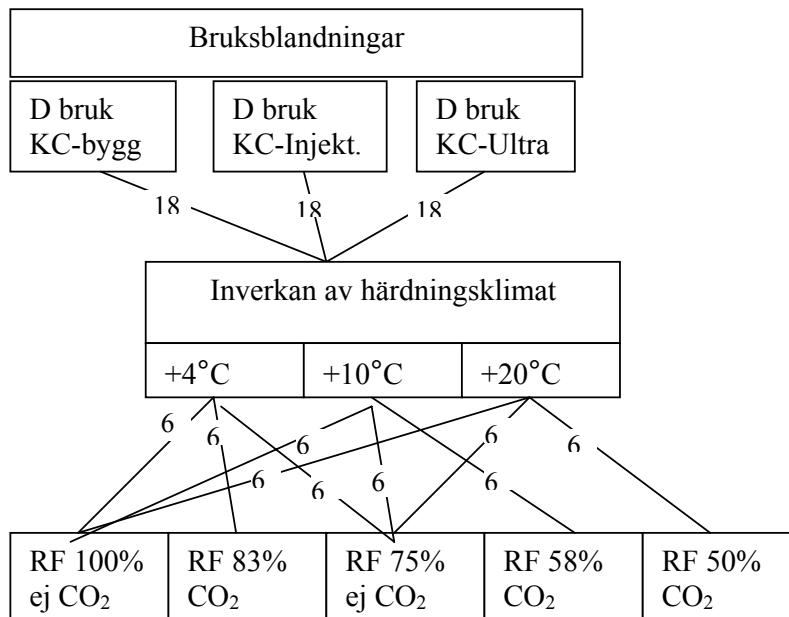
Den relativa fuktigheten är konstant 75 % RF för alla klimat vid byte. Antal provprismor är 1-2 stycken för varje bruk och provtid, och är därmed inte statistiskt säkerställt, utan detta test är framförallt till för att ge en bild av om verkligen temperaturen är så viktig parameter som inverkar på hårdnandet och där en låg temperatur i en tidig ålder ger bestående egenskapsförsämringar på det hårdnande bruket. För en mer ingående översikt på varje provprisma se bilagan "Översikt".

3.8.5 Försök med extra materialsammansättningar

Utöver de tre huvudblandningarna av D-bruk, kom tanken på att utveckla några extra blandningar för att om möjligt förbättra vissa egenskaper hos bruken. Framförallt var det att få en snabb hållfasthetsstillväxt för att vid t.ex. låga temperaturer ge en mer praktiskt användbar produkt för arbetsmomentet, men ändå bevara de låghållfasta fördelarna i bruket. Samma blandningsrecept gällde fortfarande endast utbyte av SH-cementen för KC-bruket. Istället för SH-cement användes följande cement som också finns på marknaden:

- Byggcement
- Injekteringsbruk 30
- Ultrafin 12

Nedan figur visar en översikt på denna provning där bruk, inverkan faktorer och antal provprismor är uppställda.

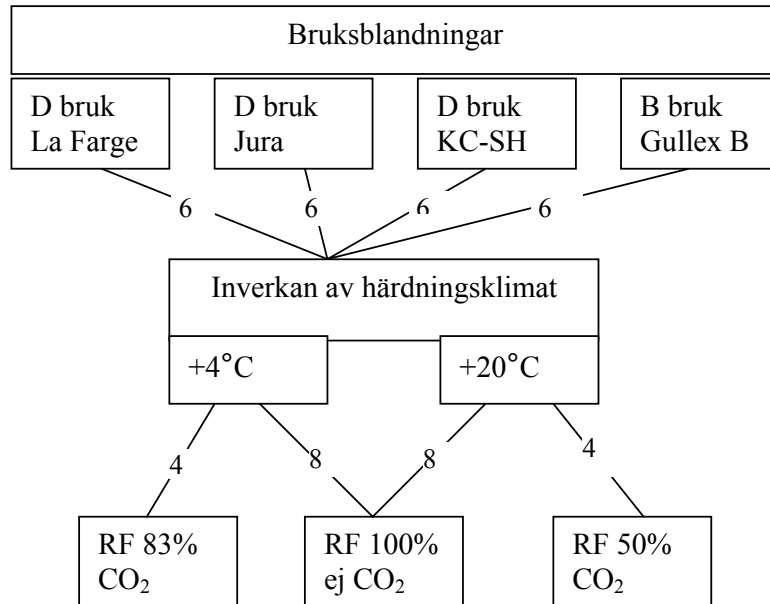


Figur 3.34. Översikt på provningsprogram för extra materialsammansättningar. Uppställningen i figuren är enligt samma princip som Figur 3.32 och som motsvarar ett provningstillfälle. Tre provningstillfällen gäller, det första efter 7 dygn och det andra efter 28 dygn och det tredje efter 56 dygn. En mer ingående översikt av provprismorna finns i bilagan "Översikt".

För dessa bruk var inte ambitionen att få lika statistiskt säkerställda resultat med flera provprismor i respektive klimat. Resultatet skall ge en bild av hur de mekaniska egenskaperna på dessa bruk varierar beroende på cementsort. Dock är det samma inverkan faktorer som klimat och ålder vid provningstillfällena, som för huvudförsöken ovan.

3.8.6 Försök på murpelare

De låghållfasta murbruks mekaniska egenskaper kan som ovan bestämmas med bruksprismor. Men för att få en bättre koppling till det verkliga fallet där man använder exempelvis lecablock vid murning av ett murverk, tillförs även några provserier av murpelare murade med D-bruken från huvudförsöken. Även i dessa försök används B-bruk till murpelarna som ett referensbruk (Gullex A). Relationen mellan provprismornas mekaniska egenskaper respektive murat bruk i en murpelare är av stort intresse för ett låghållfast murbruk. Antagligen ökar hållfastheten för bruket. Även en snabbare hållfasthetstillväxt kan tänkas visa sig. Nedan figur ger en översikt över provningen för murpelarna.



Figur 3.35. Översikt för provning av murpelare, där bruk, inverkan av klimatfaktorer och antal pelare anges i figuren vid ett provningstillfälle. Två provningstillfällen gäller, det första efter 7 dygn och det andra efter 28 dygn.

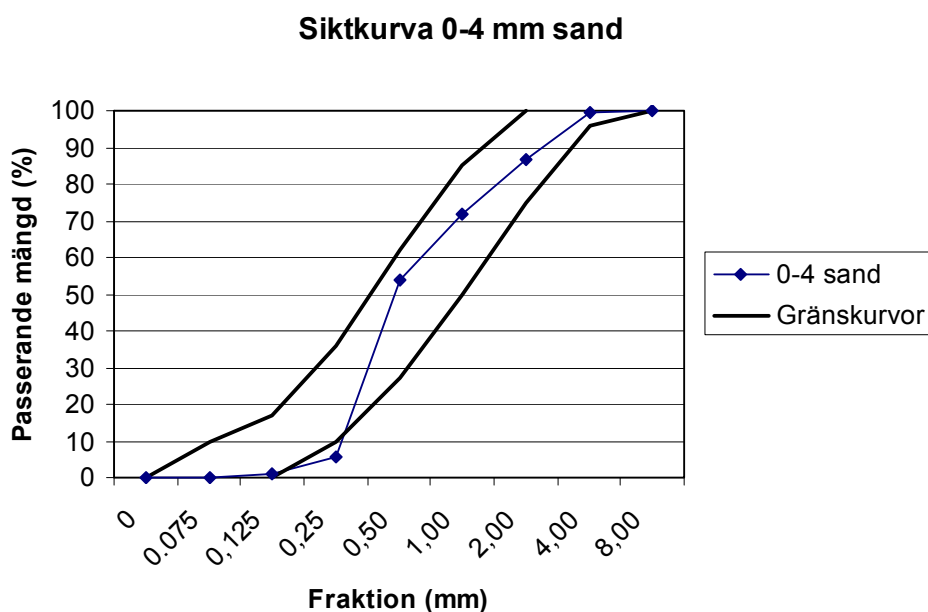
1. Tryckprovning

Denna provning sker efter åldern 7 och 28 enligt Figur 3.35. Varje bruksblandning tryckprovas där arbetskurvan registreras. Det finns 2 olika temperaturer, 3 olika fuktnivåer. 2 pelare finns vid 100 % RF samt 1 pelare i respektive öppet klimat. För 7 dygnsprovet gäller ej ovan Figur 3.35, då endast en pelare för varje bruk i respektive klimat finns. Ur *arbetskurvan* som fås från varje tryckprov bestäms *brothållfastheten* samt att även *deformationen* analyseras. Analysen sker också med provprismarens resultat som bakgrund och jämförelsematerial. E-modulen är inte beräknad men kan tas fram för vidare analyser på provningsresultaten.

4. Resultat och analys, delmaterial

4.1. Siktkurva, ballast

Kornfördelning uppmättes för den aktuella sanden (0-4mm sand) vilket gav siktkurva enligt Figur 4.1 nedan. Siktningen skedde enligt ovan beskrivna provningsmetod. Kurvan håller sig inom rekommenderade gränskurvor för mursand. Sandens gradering av material mellan 0.25-0.5 mm är något i överrepresenterade, medan fraktionerna mindre och större är något i underkant representerade av den totala mängden. Det bör påpekas att siktningen utgör bara ett stickprov ur en säck (25 kg), vilket inte medger att man kan dra några statistiskt säkra slutsatser, men sanden verkar uppfylla kraven på god gradering.



Figur 4.1. Uppmått siktkurva för Maxits färdigtorkade 0-4 mm sand. Rekommenderade gränskurvor enligt BKR på god kornfördelning i mursand finns inlagda i figuren.

4.2. Kompaktdensitet, ballast

Kompaktdensiteten bestämdes till 2665 kg/m³.

Densitetsprovet genomfördes enligt pyknometermetoden (Tepfers, 1991).

4.3. Kompaktdensitet, bindemedel

Kompaktdensiteten på nedan bindemedel bestämdes enligt pyknometermetoden (Tepfers, 1991). Utifrån följande värden beräknades kompaktdensiteten:

LaFarge Chaux Blanc kalk

Kompaktdensiteten bestämdes till 2624 kg/m³.

Jura kalk

Kompaktdensiteten bestämdes till 2910 kg/m³.

5. Resultat och analys, färskt bruk

Lufthalt

Lufthalten uppmättes genom densitetsmetoden samt verifierades med tryckmetod. Inledande försök gjordes även med volymmättningsmetoden, men dessa försök gav sämre resultat eftersom mycket luftbubblor bildades och avläsningen var svårbestämd, trots den tillsatta alkoholen.

Följande blandningstider och lufthalter gäller för de olika bruken. En mer omfattande redovisning av lufthalter för varje metod och stegvis ökande blandningstider återfinns i bilaga ”Bruksblandning”. Ofta förelåg en låg lufthalt vilket medförde ytterliggare blandningstid för att uppnå avsedd lufthalt i bruket.

<u>Bruk</u>	<u>Lufthalt (ca medel) [%]</u>	<u>Blandningstid (frifallsblandare)</u>
Jura	17.5	7-10 min
LaFarge	13.0	14-20 min
KC sh	14.0	12-14 min
KC bygg	17.0	12 min
KC injekt 30	16.0	18 min
KC ultrafin	15.0	24 min
Gullex B	16.0	10 min

Tydliga skillnader mellan lufthalter beroende på vilket bindemedel som används uppvisar provningen av färskt bruk. Jurabruket har lätt för att ge en hög lufthalt trots relativt kort blandningstid, medan Lafargebruket har stora problem att få upp lufthalten till rekommenderade värden trots långa blandningstider. Luftkalken som innehåller luftporbildare och som förekommer i alla bruken mer eller mindre (mest i KC-bruken) får funktionen som en lufttillsats i bruken. Kalkbruken med cementinblandning verkar ge lägre lufthalter. Här kan även LaFarge räknas eftersom detta hydrauliska bindemedel innehåller 10-12 % vitcement (därav den ljusare färgen), samt att bruket inte innehåller så mycket luftkalk som KC-bruken.

Styvhet och konsistens

Resultaterande vattenbindetal (vbt) för alla brukssammansättningar är enligt följande (i medeltal):

<u>Bruk</u>	<u>vbt</u>
Jura	1.15 (sats1), 1.18 (sats 2)
LaFarge	1.24
KC sh	1.34
KC bygg	1.34
KC injekt 30	1.38
KC ultrafin	1.38
Gullex B	14.3 vikt % vatten (färdigblandat bruk)

Klibbighet

Bruken är precis så de släpper från slevan när den vänds upp och ner, detta gäller för alla bruk.

Volymvikt

Kan beräknas utifrån lufthaltsprovet (densitetsprovet) där följande värden gäller för de olika bruken:

<u>Bruk</u>	<u>volymvikt, densitet färskt bruk (kg/m³)</u>
Jura	1806
LaFarge	1878
KC sh	1815
KC bygg	1782
KC injekt 30	1768
KC ultrafin	1795
Gullex B	1824

6. Resultat och analys, hårdnande bruk

6.1. Allmänt

Avformningen ägde rum efter 24 timmar för alla prov. Speciellt för jurabruksproven i 4°C respektive 10°C och 100 % RF var problem att behålla prismornas form eftersom dessa var relativt färska och blöta i konsistensen.

Vid tryckprovningen blir sprickbildning visuellt märkbar efter det att arbetskurvan lämnat brottlasten och på väg neråt. Det kan uppstå sprickor tidigare, men då är oftast provkroppen ojämn eller att andra gjutfel uppstått.

Vid tryckprovningen då deformationen befinner sig mellan 1-1.5mm ($\epsilon = 0.02 - 0.038$) släpper det avspjälkade provkroppsbitarna från själva prisma.

Om inget fel har uppstått på provkroppen är initialsprickan parallell med belastningen mellan tensometerns tryckbackar. Ibland har formdefekter uppstått vid tillverkningen eller formrivningen av provprisman, detta resulterar i ett lägre värde på brottlasten t.ex. KCb37-2. Då tar den initiella sprickan andra vägar beroende på hur lastlinjerna går genom provbiten.



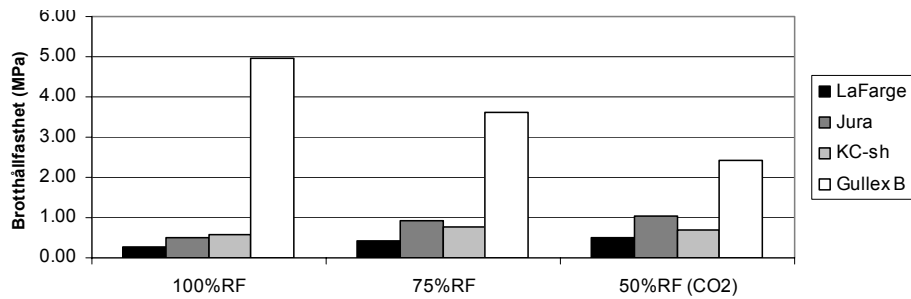
Figur 6.1. Typisk brottbild för en provprisma vid tryckprovning (Ludvigsson, 2004)

6.2. Huvudförsök

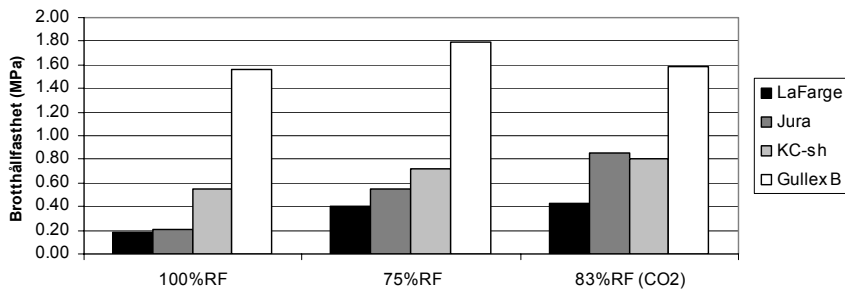
6.2.1 Tryckhållfasthet

Brotthållfasthet

Den tidiga tryckhållfastheten är lägst för Lafargebruket vid alla temperaturer. Detta trots att Jurabruket var minst hårdnat vid formrivningen. Som lägst når Lafarge upp till 0.19 MPa och Jura något högre vid det mest kritiska klimatet, dvs. vid 4°C och 100 % RF. KC-bruket som verkar påverkas mindre av klimatet har en någon högre lägsta nivå, ca 0.54 MPa. Detta kan bero på att cementbindemedlet har en snabbare hållfasthetstillväxt, speciellt påvisas detta i fuktiga miljöer. Denna slutsats stärks ytterligare av att B-bruket (Gullex B) uppvisar samma tendenser. B-brukets lägsta värde är 1.56 MPa, och ligger vid samma kritiska klimat som för de övriga bruken. Däremot är B-bruket högsta värde ca 5 MPa i det fuktigaste klimatet, medan Jura ligger kring 1 MPa, KC har 0.8 MPa och Lafarge 0.5 MPa i mer uttorkande klimat. Trots 4°C uppvisar D-bruken nästan lika höga värden som för 20°C. Skillnaden på hållfastheten blir något mindre mellan D-bruken och B-bruket vid den lägre temperaturen.

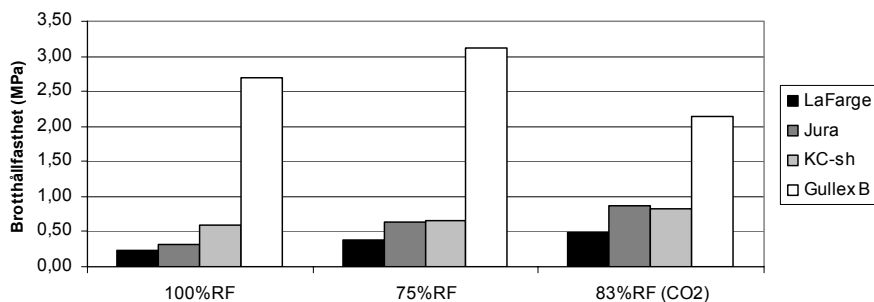


Figur 6.2. Tidig tryckhållfasthet efter 7 dygn vid rumstemperaturen 20°C.



Figur 6.3. Tidig tryckhållfasthet efter 7 dygn vid kritisk temperatur dvs. vid 4°C.

Skillnaden mellan tryckhållfastheten vid 4 och 10°C är väldigt liten för D-bruken. Enligt BKR:s krav för murning skulle denna temperaturskillnad medföra att minsta härdningstiden ger en veckas skillnad dvs. vid 10°C under de första dygna efter murning kräver 6 dygn eller vid 5°C kräver 14 dygn.

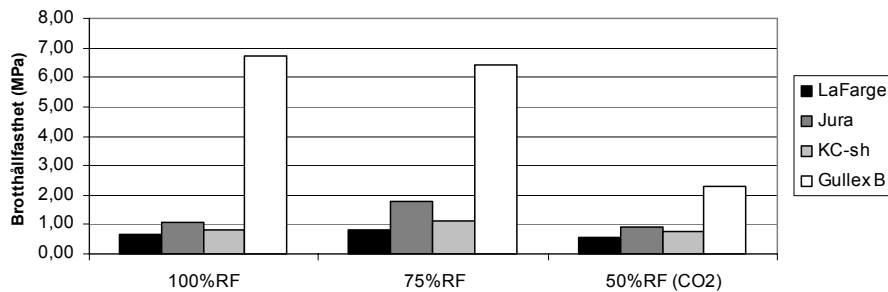


Figur 6.4. Tidig tryckhållfasthet efter 7 dygn vid 10°C. Jämför dessa värden med 4°C enligt Figur 6.3, vilket visar på små hållfasthetsdifferenser.

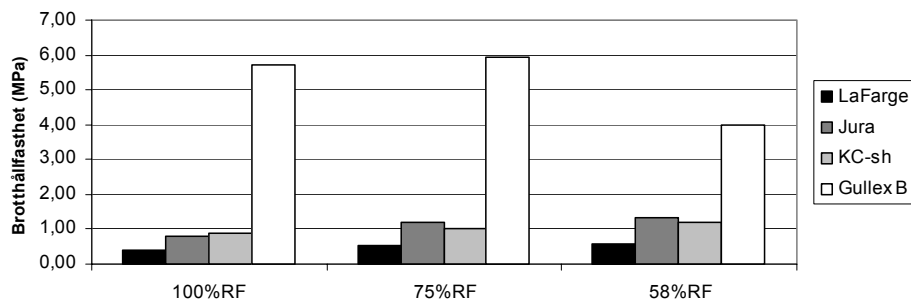
Bruket hållfasthet efter härdning i 28 dygn definierar bruket i olika bruksklasser som normer och handböcker anger. I avsnittet 2.2 *Svenska murbruk och normer* anges dessa tryckhållfasthetsvärden på provprismor härdade i fuktmättat, 20°C klimat.

Resultaten visar att den lägsta tryckhållfastheten uppkommer som förväntat i det mest kritiska klimatet för D-bruken, enligt följande se figur 6.7 (4°C 100 % RF): Lafarge: 0.34MPa, Jura: 0.39MPa och KC: 0.75MPa. Det är bara KC-bruket som har sin sämsta hållfasthet i klimatet 20°C, 50 % RF. Även B-bruket har lägsta värdet 2.28 MPa, i 20°C (50 % RF). B-bruket (Gullex) högsta tryckhållfasthet är 6.7 MPa och uppkommer i det fuktigaste klimatet, precis som fallet var efter 7 dygn. Jämfört med D-brukens högsta hållfasthetsvärden uppvisar även B-bruket sina högsta värden i temperaturen 4°C (83 % RF med CO₂). Resultaten efter 28 dygn ger högsta värden för

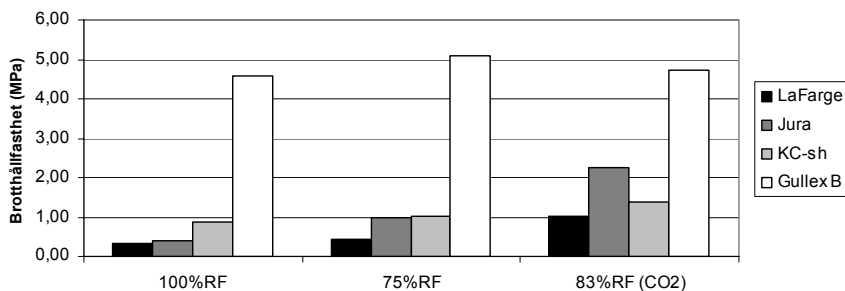
respektive bruk: Lafarge: 1.04 MPa, Jura: 2.26 MPa och KC: 1.37 MPa. Jura ligger jämnt över lite högre än de övriga i de olika klimatet, därefter KC-bruket. Skillnaden mellan Lafarge- och Jurabruket uppgår till 50 %. Dock är skillnaderna mellan Jura- och KC-bruket mindre, men vid vissa klimat där inverkar cementet i KC-bruket som då ger högre värden i den fuktiga miljön. Skillnaden mellan B-bruket och D-bruken är som störst i dessa fuktiga förhållanden samt då ingen CO₂-halt förekommer. Där uppgår skillnaden till nära 10 gånger starkare B-bruk. Med minskad fuktighet och minskad temperatur minskar även skillnaden mellan tryckhållfastheten för de olika bruksklasserna. Vid B-brukets lägsta värde är skillnaden knappt 3 gånger större än D-bruken, som inte påverkas så mycket negativt av det torra klimatet som B-bruket gör (vid klimatet 20°C och 50 % RF).



Figur 6.5. Tryckhållfasthetsresultat vid normerad temperatur och ålder enligt BKR, vid 20°C efter 28 dygn (normerad RF är 100 %).

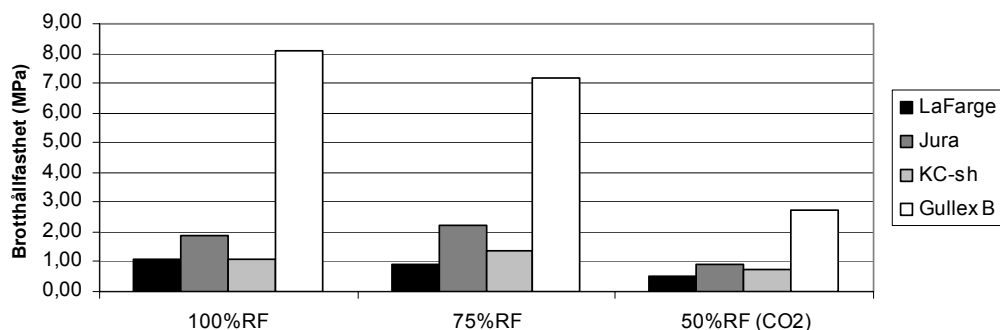


Figur 6.6. Tryckhållfastheten efter 28 dygn vid 10°C. Visar på liknade resultat som vid 20°C men med något lägre värden i 100 % och 75 % RF, och högre i det öppna klimatet.

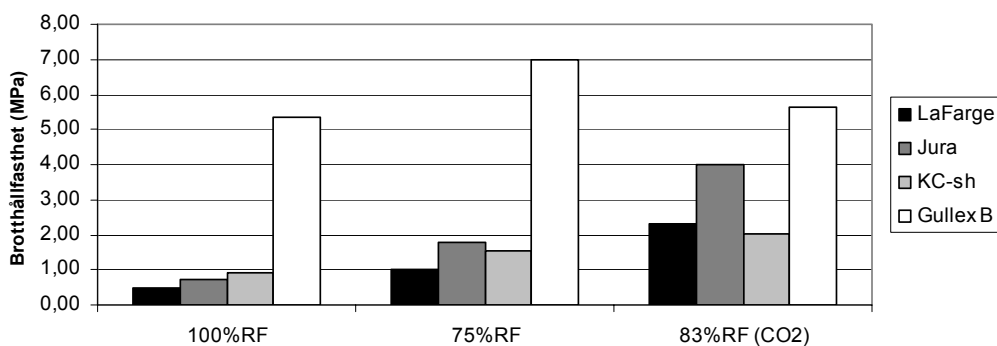


Figur 6.7. Tryckhållfasthet efter 28 dygn i temperaturen 4°C. I temperaturen 4°C sjunker tryckhållfasthetsvärdena ytterliggare dock marginellt för D-bruken, men där jura sjunker mer vid 100 % RF. Annars ökar hållfastheten vid det öppna klimatet som också är fuktigare än vid 10°C.

Tryckhållfastheten efter lång tid (56 dygn) följer samma mönster som för resultaten vid 28 dygnsprovet, där lägsta och högsta värdena inträffar i samma klimat. Intressant är dock att det blir tydligare att KC-bruket har sina lägsta värden i 20°C se Figur 6.9 och 6.10. Lägsta värdena är för Lafarge: 0.46 MPa, Jura: 0.71 MPa och KC: 0.77 MPa. De högsta är för Lafarge: 2.31 MPa, Jura 3.99 MPa och KC: 2.01 MPa. B-brukets lägsta respektive högsta hållfasthetsvärden är 2.75 MPa och 8.09 MPa båda i 20°C. Jurabruket ligger i allmänhet något högre än de övriga D-bruk, dock med ett undantag i den lägre temperaturen med slutet fuktigt tillstånd. I övrigt visar resultaten att de olika D-bruken påverkas i samma grad av liknande klimatfaktorer som efter 28 dygn.



Figur 6.8. Tryckhållfastheten efter lång tid (56 dygn) vid 20°C. En viss ökning visar sig utom för det torra, öppna klimatet jfr. Figur 6.5.



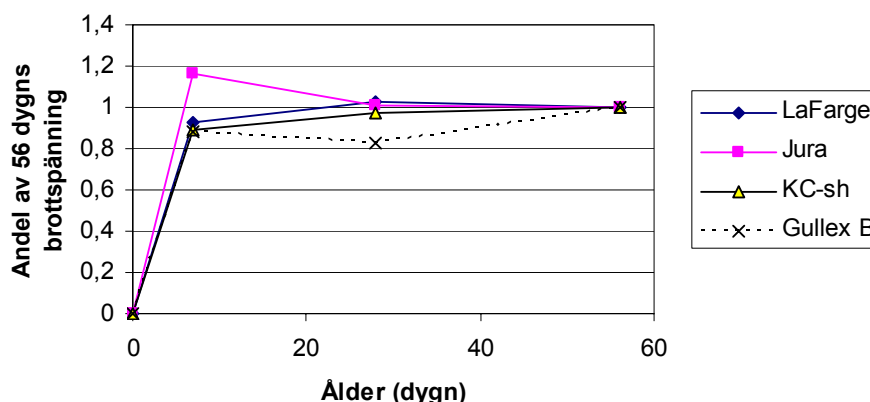
Figur 6.9. Tryckhållfasthet efter 56 dygn i temperaturen 4°C och 83 % RF. Vid 4°C sker också en liknande ökning av hållfastheten som vid 20°C, men vid det öppna klimatet (83 % RF) sker också en ökning av tryckhållfastheten vilket inte var fallet vid 20°C som hade torrare klimat.

Inverkan av ålder

Tryckhållfastheten utvecklas olika beroende på klimat och bruk. Att även åldern spelar en viktig roll är också känt. Här görs ett försök att utifrån provresultaten på tryckhållfastheten visa hur åldern inverkar på D-bruken respektive referensbruket (B-bruket). För att få en bild av denna inverkan eller hållfasthetsutveckling illustreras detta med hjälp av diagram som anger hur stor del av 56 dygnshållfastheten som uppnås vid 7 och 28 dygnsprovningen. Därmed ges inga absoluta hållfasthetsvärden. Dessa värden finns redovisade i diagramform i bilagan ”sammanställning”.

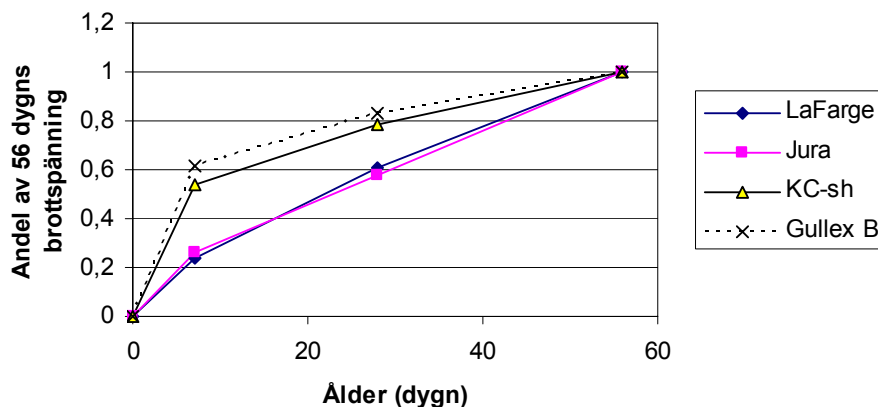
Ett bruk i ett varmt klimat får ej nödvändigtvis en snabb hållfasthetsutveckling, men däremot ger ett lågt RF den största delen av hållfastheten vid tidig ålder, dvs. i detta fall efter 7 dygn. Därefter ökar hållfastheten marginellt den återstående tiden se Figur 6.10 nedan. Detta gäller både för B- och för D-bruken. Här sker ingen karbonatisering och bara en väldigt liten hydrataion Detta kan man misstänka eftersom den korta tid

efter gjutningen, samt att hydratationen endast kan ske så länge vatten finns tillgängligt i det hårdnande bruket.



Figur 6.10. Hårdnandets utveckling i klimatet 20°C och 50 % RF. Diagrammet visar hur stor del av 56 dygns hållfastheten vid 7 respektive 28 dygn. Redan efter 7 dygn har i stort hela hållfastheten uppnåtts för samtliga bruk, dock med låga värden, jfr Figur 6.2.

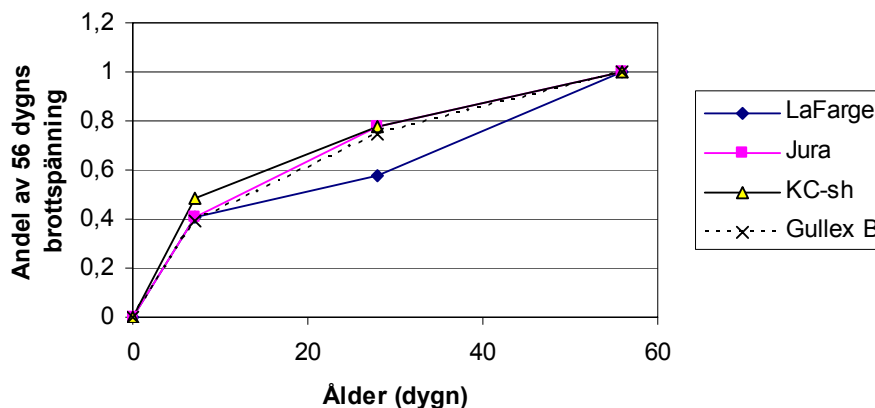
Generellt sett över de olika klimatet har Jura- och Lafargebruket något lägre värden vid hållfastheten efter 7 dygn jämfört med KC-bruket. Alltså har KC-bruket snabbare hållfasthetstillväxt men å andra sidan avstannar denna tillväxt snabbare. Dock inte om den hindras av låg temperatur eller av ett allt för torrt klimat se Figur 6.10 ovan och Figur 6.13 nedan.



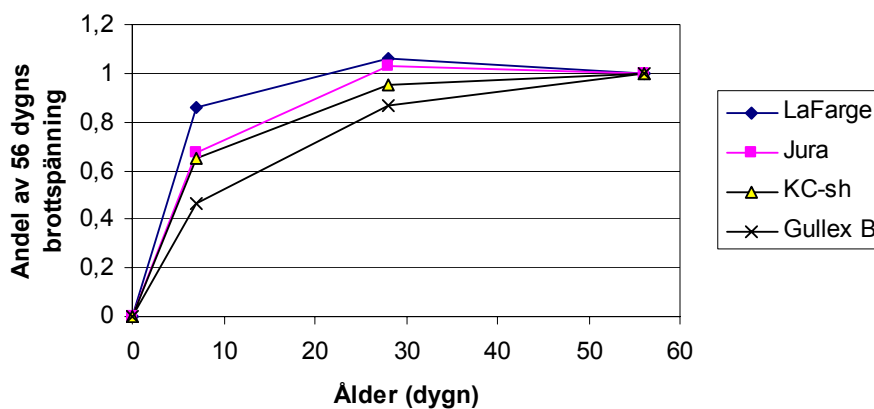
Figur 6.11. Hårdnandeutveckling i klimatet 20°C och 100 % RF. Diagrammet visar andelen av 56 dygns hållfastheten. I fuktigt klimat sker en stark utveckling för de cementbaserade bruken, medan de hydrauliska D-bruken får en försenad utveckling.

Lafargebruket har jämt över lägst hållfasthet, men har en starkare utveckling efter 28 dygn. Att B-bruket skulle ha snabbare hållfasthetstillväxt än D-bruken visar inte resultaten. Endast klimatet i Figur 6.11 antyder på detta. I övrigt ligger den tidiga utvecklingen i samma område som B-bruken, och ibland lägre t.ex. vid låg temperatur (4°C) eller vid torrt klimat (58 % och 50 % RF). Däremot sker en stark utveckling av B-bruket hållfasthet mellan 7 och 28 dygn, den är överlag både snabbare och större än de jämförande D-brukens hållfasthetstillväxt vid denna ålder. Vid 28 dygn har B-bruket minst nått till 75 % av 56 dygns hållfastheten oavsett klimat.

Vid låga temperaturer har Jura- och Lafargebruket en förhållandevis stor utveckling vid senare provningar. Mellan 28 och 56 dygn, och då speciellt Lafargebruket har en stark tillväxt vid 10°C om inte en uttorkning sker pga. låg fuktighet.

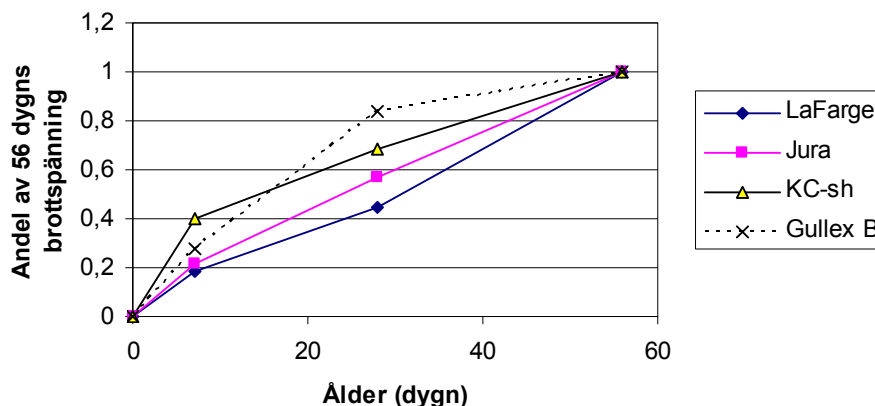


Figur 6.12. Hårdnandeutveckling i klimatet 10°C och 75 % RF. Diagrammet visar andel av 56 dygnshållfastheten. Liknande utveckling för såväl B- som D-bruk. Mellan 40-50 % av hållfastheten uppnås efter 7 dygn.



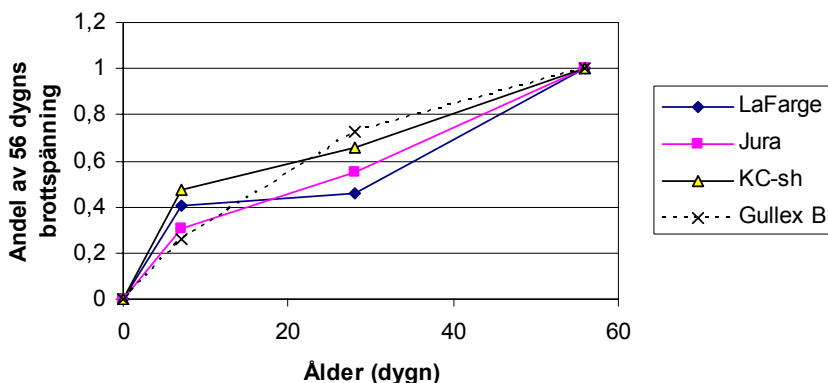
Figur 6.13. Hårdnandeutveckling i klimatet 10°C och 58 % RF. Diagrammet visar andel av 56 dygnshållfastheten. I detta torra, öppna klimat sker ett snabbare hårdnande för D-bruken jämfört med B-bruket, ca 65-90 % av hållfastheten uppnås efter 7 dygn.

Det visar sig överlag att D-bruken har en större hållfasthetstillväxt mellan 28 och 56 dygn. Detta gäller både för klimat med tillgång till CO₂ och ej tillgång. Dock visar det sig att i de torra öppna klimaten sker ingen vidare karbonatisering eftersom hållfasthetstillväxten är dålig mellan 28 och 56 dygn. Medan i fuktigt öppet klimat sker en kraftig hållfasthetstillväxt som sannolikt beror på karbonatisering se Figur 6.14 nedan.



Figur 6.14. Härnandeutveckling i klimatet 4°C och 83 % RF. Diagrammet visar andel av 56 dygns hållfastheten. En något dämpad tidig hållfasthetstillväxt jämfört med varmare klimat, men D-bruken utvecklas jämt och kraftigt under perioden. Mellan 7-28 dygn har B-bruket sin kraftigaste hållfasthetsutveckling jämfört med andra klimat och bruk.

Att ovan resonemang med karbonatisering skulle vara orsaken till hållfasthetstillväxten styrks inte av Figur 6.15 nedan, men kan förklaras med att en låg temperaturer försenar hållfasthetstillväxten för D-bruken och därav den starka hållfasthetstillväxt som även sker i ett slutet klimat.



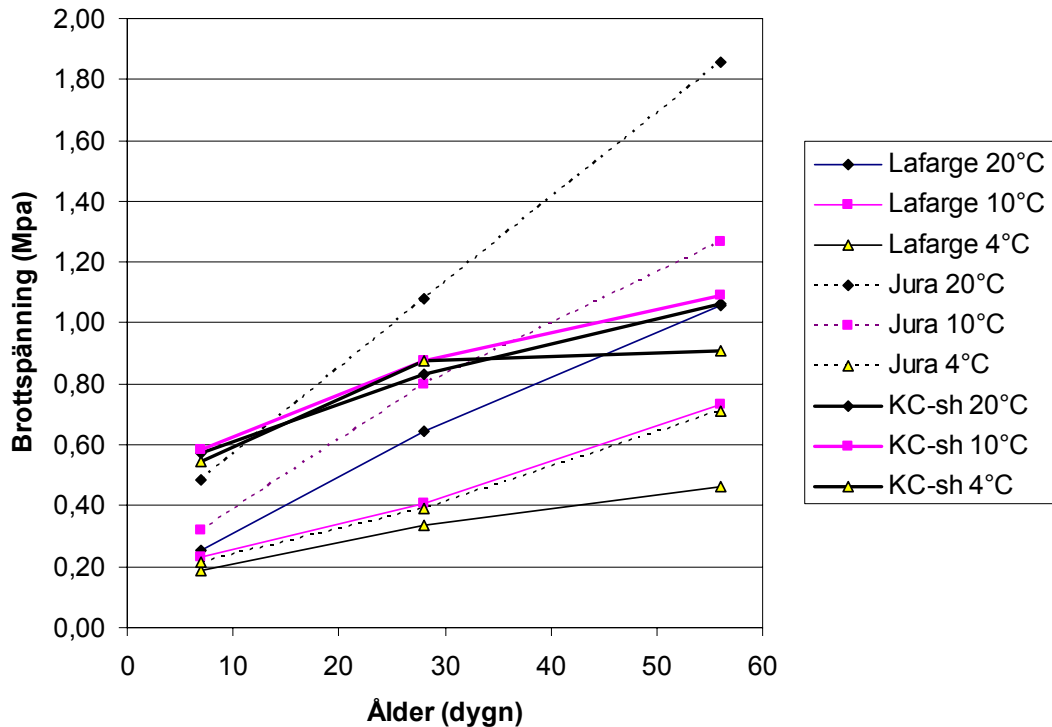
Figur 6.15. Härnandeutveckling i klimatet 4°C och 75 % RF. Diagrammet visar andel av 56 dygns hållfastheten. Härnandeutvecklingen i detta slutna klimat påminner om härnandeutvecklingen i det öppna klimatet, se Figur 6.14.

För KC-bruket ser man att hållfastutvecklingen är mindre känslig för olika klimat än de övriga (naturligt hydrauliska) D-bruken. KC-bruket uppnår mer än hälften av sin sluthållfasthet efter 7 dygn i stort sett alla klimat. Generellt över klimaten har KC-bruket oftast högst hållfasthetsandel vid såväl 7 dygn som 28 dygn av sin 56 dygns hållfasthet. Detta gäller även i jämförelse med B-bruket som endast för 28 dygnsprovet har något högre vid 20°C 75 % RF samt även vid 4°C, 75 % RF.

Inverkan av temperatur

Som ovan avsnitt visade, inverkar temperaturen på hållfastheten. I nedan figurer visas olika hållfasthetsutvecklingskurvor med olika temperaturer där RF är konstant och därmed inte inverkar på hållfastheten i respektive diagram. Inverkan av CO₂ och karbonatisering antas inte påverka eftersom jämförelsen sker för de slutna klimaten dvs. i 100 % och 75 % RF.

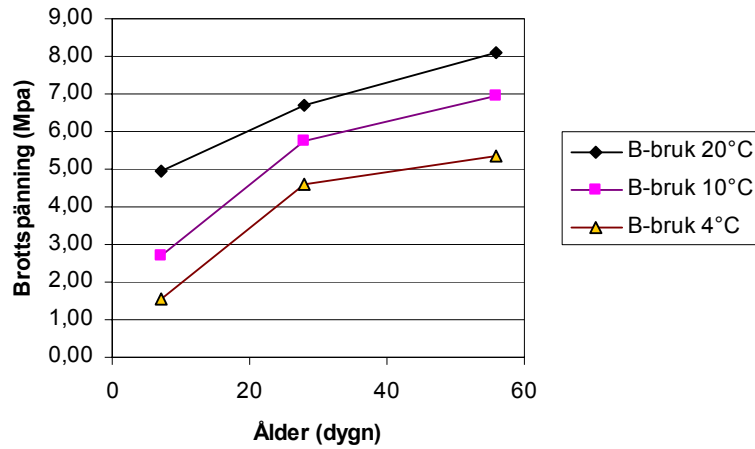
Jurabruket uppvisar störst känslighet mellan de olika D-bruken vid temperaturvariationer. Hållfastheten vid 4°C uppgår till en 1/3 av hållfastheten vid 20°C. Detta gäller vid 100 % RF, vid lägre RF minskar temperaturkänsligheten till mindre än 50 % skillnad mellan högsta och lägsta hållfasthet, se Figur 6.18. KCsh-bruketets hållfasthet uppvisar minst påverkan av temperaturvariationerna både i jämförelse med övriga D-bruk och med B-bruket.



Figur 6.16. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och temperaturer. Konstant 100 % RF råder, därav endast inverkan av temperaturen.

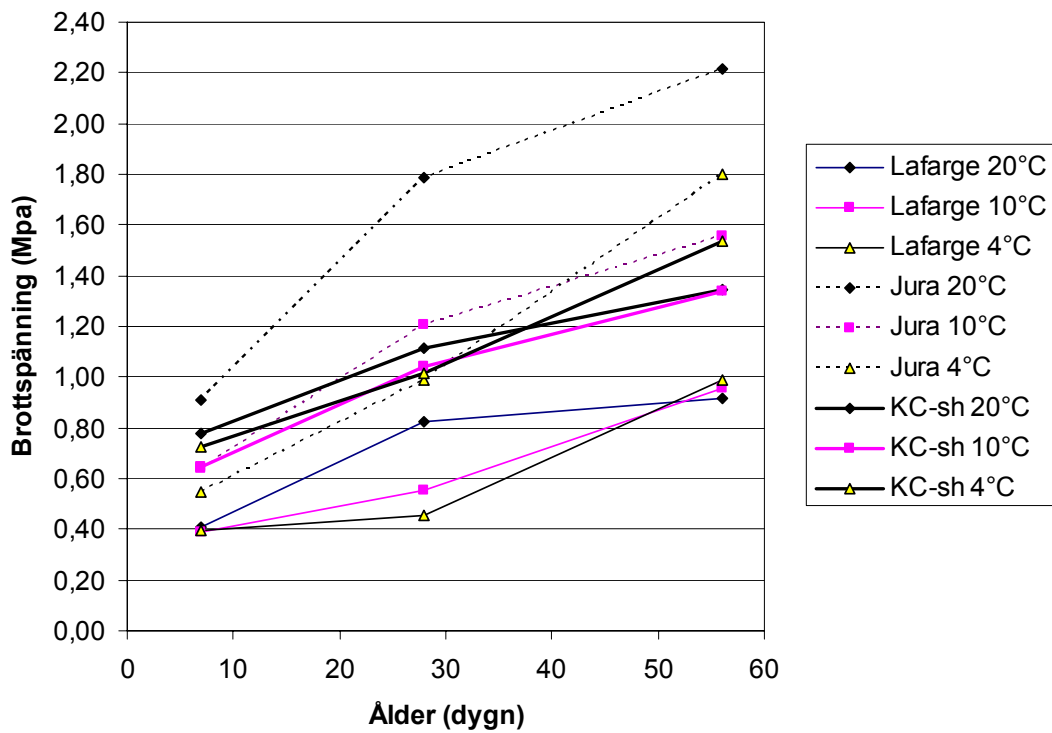
B-bruket påverkas i samma storleksordning som Jurabruket av temperaturvariationer och då speciellt vid tidig ålder och fuktigt klimat (100 % RF). Dock sker en hållfasthetstillväxt mellan 7 och 28 dygn vid låg temperatur som reducerar temperaturinverkan på hållfastheten för B-bruket. Vid en 28 dygnsjämförelse mellan Jura- och Lafargebruket, visar B-bruket mindre påverkan av temperaturen.

B-bruket påverkas mer negativt vid låga temperaturer runt 4°C (halverad hållfasthet jfr med 10°C), medan B-bruket påverkas väldigt lite mellan 20 och 10°C. D-bruken verkar uppvisa en jämnare hållfasthet vid låga temperaturer, runt 4°C (75 % RF) och tidig hållfasthet. Vid högre temperaturer inverkar RF mer på hållfastheten än vad temperaturen gör. Men det kan ju sägas att hållfastheten för B-bruket halveras när man går från 20 till 10°C och 100 % RF vid 7 dygn, se Figur 6.17.

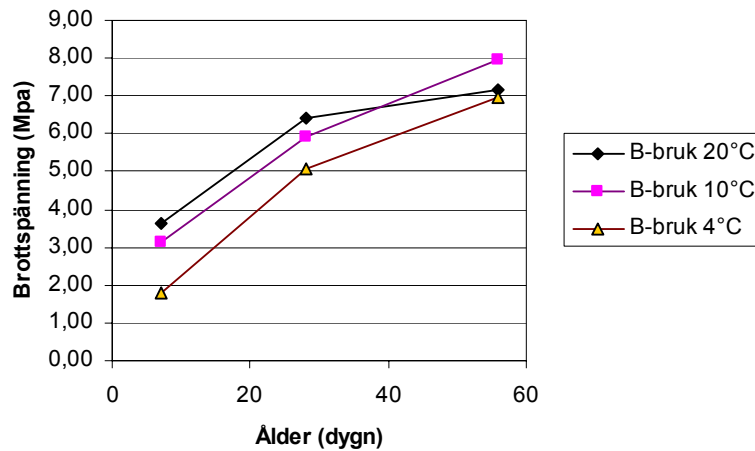


Figur 6.17. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för B-bruket vid olika temperaturer. Konstant 100 % RF råder, därav endast inverkan av temperaturen.

Vid 28 dygnsprovet kan man se att Jurabruket påverkas mer av temperaturen än vid 7 dygn för klimatet 100 % RF. Detta gäller även för Lafargebruket.



Figur 6.18. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och temperaturer. Konstant 75 % RF råder, därav endast inverkan av temperaturen.



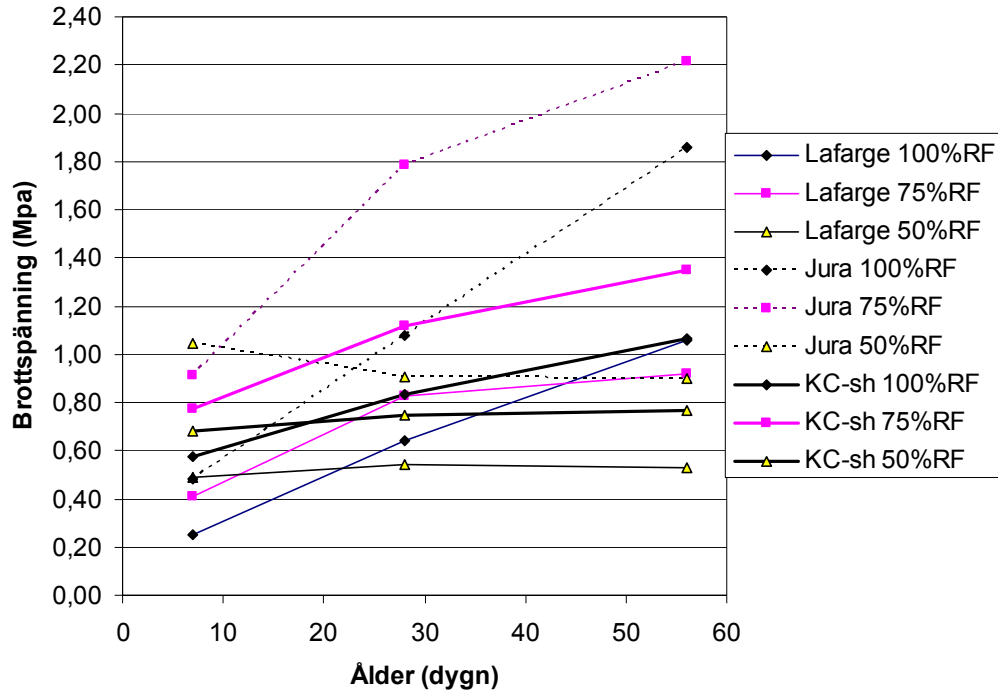
Figur 6.19. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för B- bruket vid olika temperaturer. Konstant 75 % RF råder, därav endast inverkan av temperaturen.

Resultaten efter 56 dygn visar på liknande förhållanden som efter 28 dygn. B-brukets långsiktiga hållfasthet påverkas av temperaturen i en omfattning som påminner om KC- bruket och är relativt liten i sammanhanget.

Det verkar som om temperaturens inverkan på hållfastheten beror även på vilken RF luften innehåller. Detta förhållande märks tydligast hos Jura- och LaFarge bruket. Vid de öppna klimatet där 20°C har 50 % RF, 10°C har 58 % RF och 4°C har 83 % RF visar att RF inverkar mer på hållfastheten än vad temperaturen gör. Detta framkommer då högst hållfasthet fås i den lägsta temperaturen men vid sämsta RF (50 % RF) trots att Jurabruket enligt ovan påvisade störst känslighet och lägst värden vid låga temperaturer. Detta leder oss vidare till frågan hur luftens RF påverkar hållfastheten hos de olika bruken, vilket behandlas i nästa avsnitt.

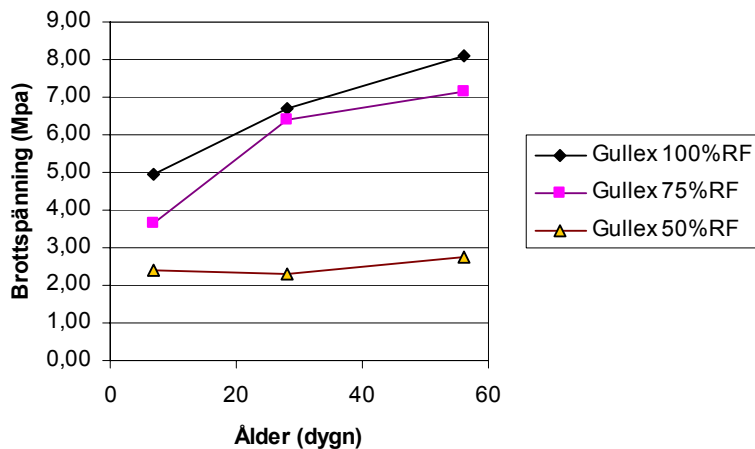
Inverkan av luftens fuktighet, RF

Den tidiga hållfastheten beror mycket på uttorkningen. Detta medför att högre hållfastheter ju torrare klimatet är, dock till en viss gräns. Små RF har liten eller ingen positiv inverkan. Det verkar som om 50 % RF (akt % RF 20°C) är under denna gräns, där resultaten av hållfastheten ibland är bättre och ibland sämre än vid 75 % RF, beroende på vilket bruk som avses. En tydligare skillnad finns dock mellan det membranförsedda prismaprovet (100 % RF) och de övriga RF-klimaten. Jurabruket påverkas mest här liksom det var vid inverkan av temperaturvariationerna. Känsligast relativt sett är Jurabruket vid 100 % RF, dock är det viktigt att tillägga att Juras lägsta hållfasthetsvärde vid 20°C ligger över LaFarge högsta värde. Men vid låg temperatur reduceras Juras lägsta till LaFarge lägsta. Juras 10°C kurvor påminner om 4°C kurvor, men något högre.



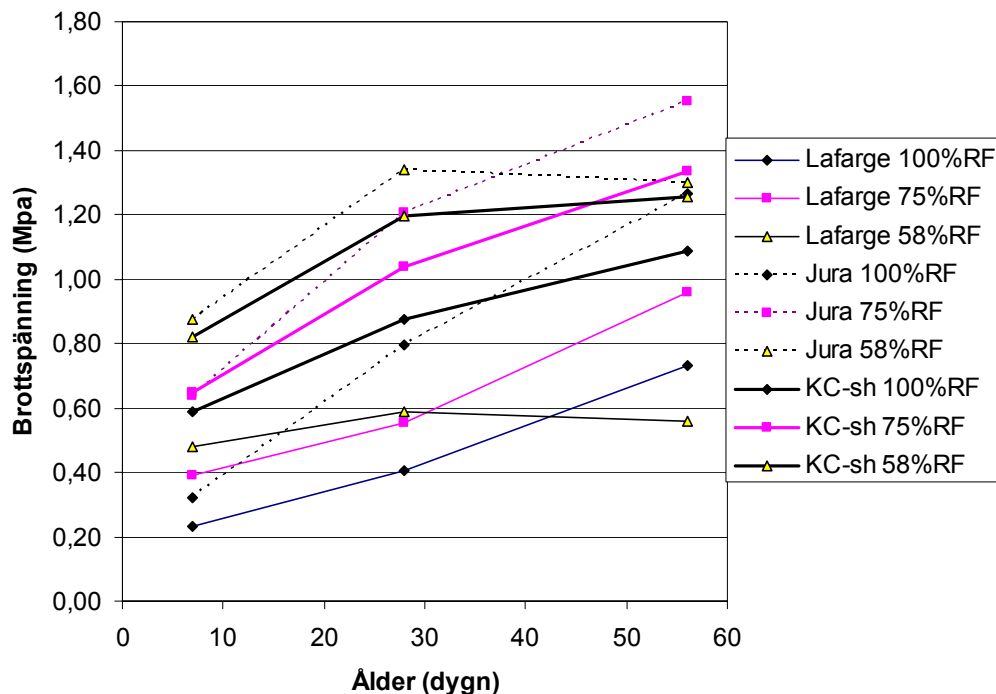
Figur 6.20. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och RF. Konstant temperatur på 20°C råder, därav endast inverkan av RF.

KC-bruket verkar hårdna trots 100 % RF, tillskillnad från Jurabruket. I övrigt ligger deras hållfasthetsvärden ungefär lika vid tidig ålder. Dock är denna höga fuktighet hindrande för hållfasthetstillväxten tillskillnad från B-bruket. Lägre RF runt 80 % RF är mer idealt för hållfasthetstillväxten för D-bruken. Även torrare klimat (50 %RF) verkar positivt för D-bruken vilket inte är fallet för B-bruket



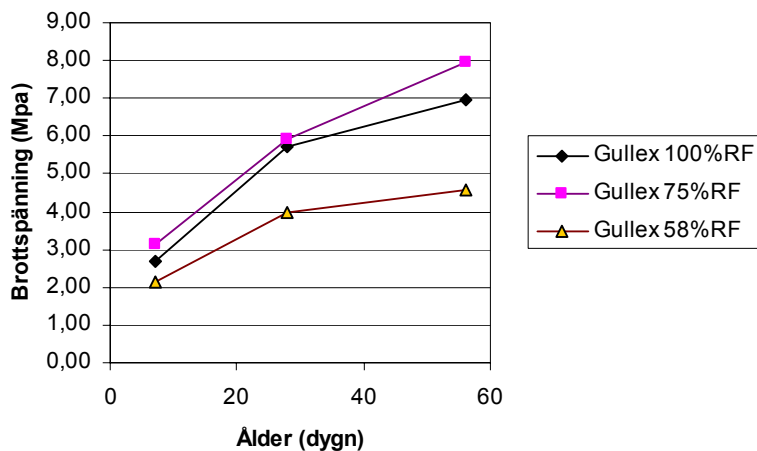
Figur 6.21. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för B-bruket vid olika RF. Konstant temperatur på 20°C råder, därav endast inverkan av RF.

Relativt sett är skillnaderna på hållfastheten större beroende på inverkan från olika RF-halterna (speciellt för Jura- och Lafargebruket), än vad som tidigare avsnitt behandlade dvs. temperaturns inverkan.



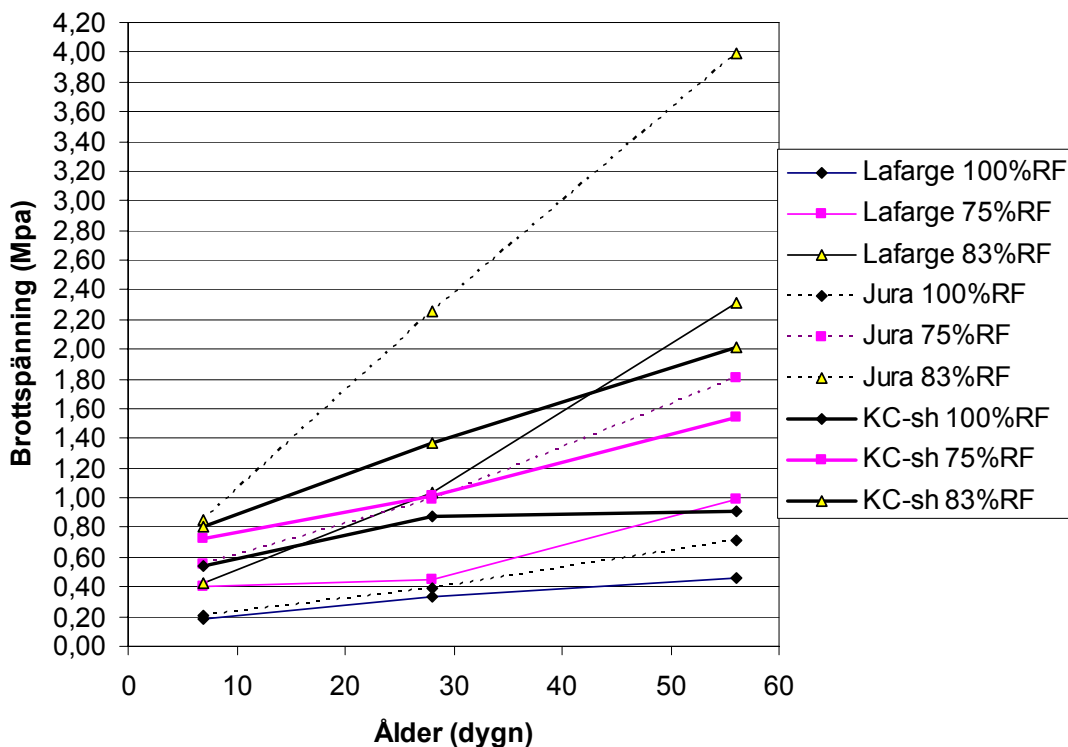
Figur 6.22. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och RF. Konstant temperatur på 10°C råder, därav endast inverkan av RF.

B-bruket vid 10°C har liknande kurvor relativt sett som vid kurvorna för 20°C, med ett högsta värde strax över 3 MPa som inträffar för klimatet 75 % RF. Tillskillnad mot temperaturen 20°C, där högsta hållfastheten istället inträffar vid 100 % RF. Tydligaste skillnaden mellan B-bruket och D-bruken (dock ej KC-bruket) är att 20°C och det fuktigaste klimatet (100 % RF) är mest positivt för B-brukets hållfasthet medan motsatt förhållandet gäller för D-bruken, och då speciellt de med naturligt hydrauliska bindemedel dvs. Jura- och Lafargebruket. Alltså växer de cementbaserade brukens hållfasthet snabbare vid väldigt fuktiga förhållanden, detta beror på att cementet behöver vatten för att hydratisera och därför verkar positivt i hårdnandet i motsats till de hydrauliska kalkerna, som inte verkar hårdna eller komma igång vid så fuktiga klimat och tidig ålder.

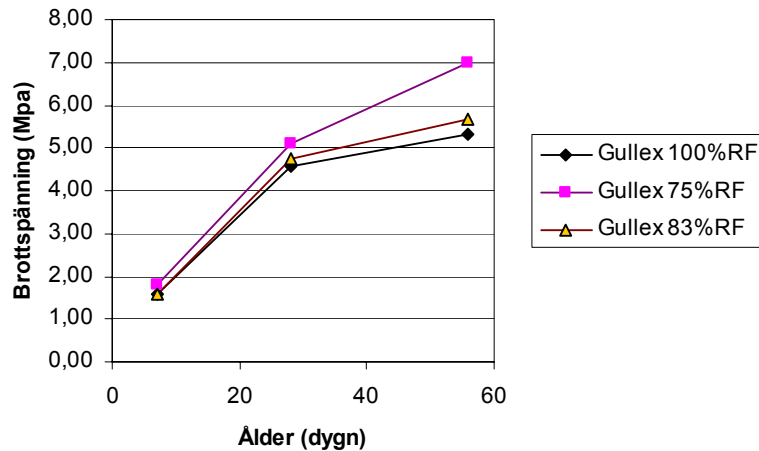


Figur 6.23. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för B-bruk vid olika RF. Konstant temperatur på 10°C råder, därav endast inverkan av RF.

Jurabruket uppvisar efter 28 dygn något annorlunda resultat än vid 7 dygn, där torra klimat verkade positivt för hållfastheten. Efter 28 dygn är både väldigt torra och fuktiga klimat negativt för hållfastheten vid 20°C. Det kan ju även nämnas att vid 10°C har fortfarande det torra klimatet (öppet, 58 % RF) högst hållfasthet och lägst vid 100 % RF. Intressant är att notera att trots låg temperatur kan högre hållfasthet fås vid tillgång till CO₂ och ett RF runt 83 %. Då samtidigt i klimatet 50 % RF (20°C) och tillgång till CO₂ medför väldigt låga hållfasthetsvärden för Jurabruket.



Figur 6.24. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och RF. Konstant temperatur på 4 °C råder, därav endast inverkan av RF.



Figur 6.25. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för B-bruket vid olika RF. Konstant temperatur på 4°C råder, därav endast inverkan av RF.

Vid låga RF påverkas B-bruket kraftigt negativt, medan vid 75 % RF och uppåt visar på en positiv inverkan på hållfastheten vid 28 dygn. I detta övre intervall är hållfasthetsvariationen liten och mindre beroende av RF, tillskillnad mot de hydrauliska kalkbruken.

Lafargebruket påminner mycket om Jurabruket i förhållandet mellan arbetskurvorna, men med halverade hållfasthetsvärden. Även värdena vid 10°C uppvisar motsvarande förhållanden.

Förhållandet verkar även för KC-bruket och dess arbetskurvor visa på samstämmighet, dock med skillnaden att variationerna mellan hållfasthet beroende på olika RF, är mindre för KC-bruket.

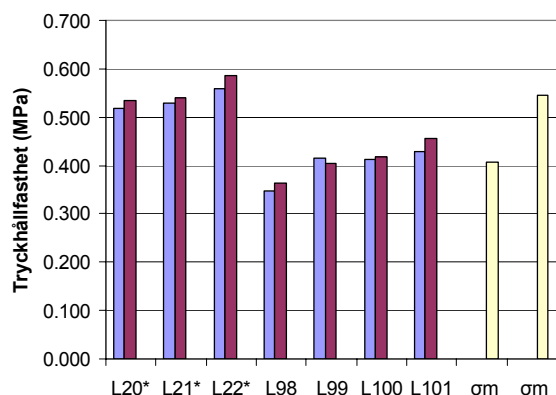
D-brukens, liksom B-brukets sena hållfasthet har påverkats av klimat som har låga RF. Även RF-halter kring 83 % RF ger större hållfastheter än 75 % RF, dock kan allt för fuktiga klimat inverka negativt, liksom fallet var för de torra förhållandena. Karbonatisering kan medverka till en viss hållfasthetsökning vid 83 % RF och 4°C. Antagligen sker en väldigt liten eller ingen karbonatisering i klimatet 50 % RF och 20°C, eftersom detta låga RF inte medger karbonatisering. Detta visar sig också i avsnittet *karbonatiseringsdjup* nedan, där karbonatiseringen analyseras.

Inverkan av tillgång till luftens koldioxid, CO₂

Antingen är provprismorna utsatta för normal CO₂-halt (vid 10°C kan det vara något lägre), eller är de helt avskärmade från luftens CO₂. Karbonatiseringen som ovan beskrivits följer efter en tid då kalkbruket kommer i kontakt med luften. Ambitionen för provningen var att också öka halten CO₂, för att påvisa sambandet av hårdnande och karbonatiseringshastighet. Omfattningen av gjorda provningarna är redan stor, därför kan dessa förslag på prov rekommenderas för vidare forskning och provningar kring kalkbruk. Undersökning av olika karbonatiseringsdjup då detta inverkar på hållfasthetens, analyseras i avsnitt 6.2.4 nedan.

Inverkan av låg lufthalt (från färskt bruk)

Lufthalten som bestämdes i det färska bruket är av betydelse för hållfastheten. Detta visar även denna provning. Den låga lufthalten i ett av Lafargebruken, ca 9 %, gav upphov till en generell hållfasthetsökning på mellan 15-35 % \pm 5 % vid en kvalitativ bedömning av resultaten. Lafargebrukets övriga blandningar innehöll en lufthalt kring 13 %. Några av resultaten var inte helt samstämmiga enligt denna bedömning. Dock visar huvuddelen av dessa prov att en minskad lufthalt ger ökad hållfasthet, vilket man också kunde förvänta sig enligt tidigare studier. Ett generellt exempel för 7 provade prisma visar hur tryckhållfasthet och fördelning kan se ut för Lafargebruket där både normal och låg lufthalt representeras, enligt figur 6.26 nedan.



Figur 6.26. LaFarge vid 28 dygn, 10°C och 100 % RF. Provrnr. L20-L22 har den låga lufthalten (9 %), medan L98-101 har en högre lufthalt dvs. ca 13 %. De olika färgerna på dubbelstaplarna står för de två delar i varje provprisma som tryckprovas. σ_m är medeltryckhållfastheten för respektive sort i detta diagram.

För vidare studier av tryckprovresultaten med lägre lufthalt se bilaga ”provresultat”.

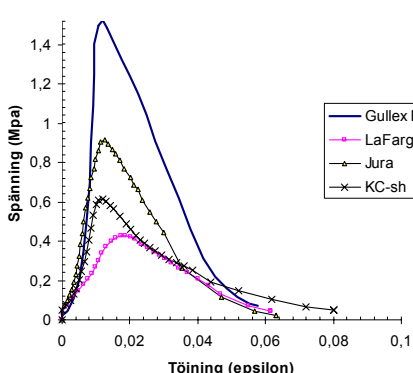
Det är också viktigt att veta att värdena inte endast beror på lagringsklimatets inverkan utan även vilket RF som fanns i respektive provprisma vid provtillfället. Denna fukthalt finns endast redovisad från det färska brukets egenskaper, men kan se annorlunda ut efter hårdnandet beroende på fuktavgång till omgivning och omgivande material. Detta kan få stor inverkan på provresultaten, men beaktas inte vidare i detta avsnitt. Å andra sidan är det ju ”verkligheten” utifrån de uppkomna resulterande värdena som här har analyserats.

6.2.2 Arbetskurva

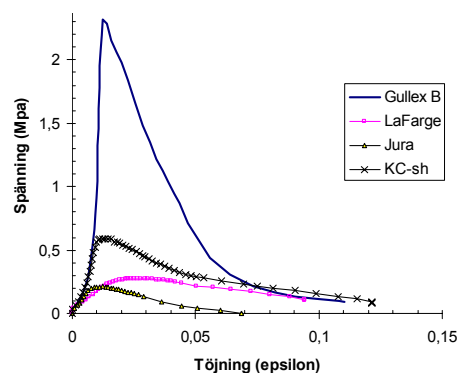
1. Inverkan av ålder

7 dygn

Redan vid tidig hållfasthet uppvisar B-bruket en arbetskurva med en väl definierad brottlast, där kurvan är spetsig uppåt. Det innebär att just efter brottet minskar lastupptagningsförmågan nästan med liknande lutning som vid lastökningen.



Figur 6.28. Arbetskurvor vid 7 dygn för olika bruk i 20°C klimat med endast 50 % RF. Här får kurvorna samma karaktär där de i stort uppnått sin sluthållfasthet. Ett klart definierat brott med följande negativa lutning.

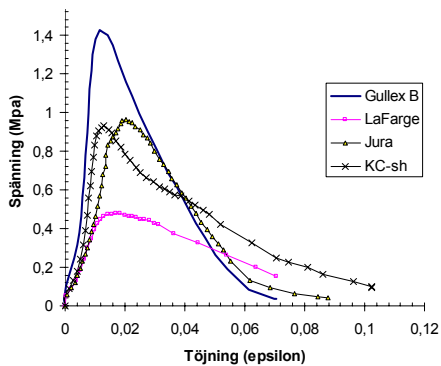


Figur 6.29. Arbetskurvor vid 7 dygn för olika bruk i 10°C klimat med endast 100 % RF. Här får kurvorna något annorlunda karaktär där de uppvisar stor skillnad i negativ lutning efter brott.

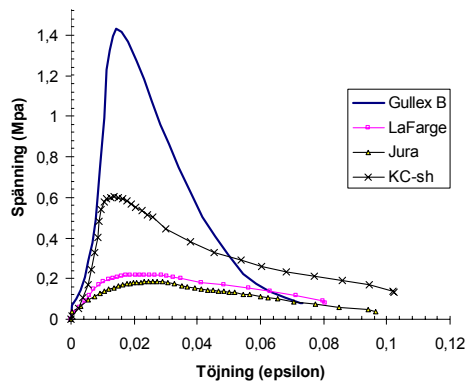
B-bruket med sin höga brottlast som utsätts för ytterliggare last över dess brottgräns, minskar därmed snabbt sin förmåga att bära laster, vilket leder till sprickor.

Analyserar man D-brukens arbetskurvor har dessa betydligt lägre brotthållfastheter efter 7 dygn. Utseendet på dessa kurvor får en mer utplanad karaktär, där kurvan efter brottet har mindre negativ lutning än B-bruket. Det innebär att i förhållande till respektive brottlast, kan D-bruket ta upp laster även efter brottet.

Vid speciellt höga temperaturer och hög fuktighet (100 % RF), får Lafargebruket, men även Jurabruket extremt utplanade kurvor. Här är det svårt att urskilja en väl definierad brottlast. På dessa kurvor börjar det med en viss lastupptagning som följs av en utjämning mellan deformation och lastökning. Istället för typiska sprickbrott sker här en omlagring eller små deformationer i hela bruksprisman, där bruket är så ”mjukt” att ingen egentlig spricka uppträder.



Figur 6.30. Arbetskurvor vid 7 dygn för olika bruk i 4°C klimat med 83 % RF. Här får kurvorna annorlunda utseende beroende på bruk. Lafarge och Jurabrukets arbetskurvor är mer utjämnade med mindre lutning efter brott trots att brotthållfastheten är i samma storleksordning som exempelvis B-bruket.

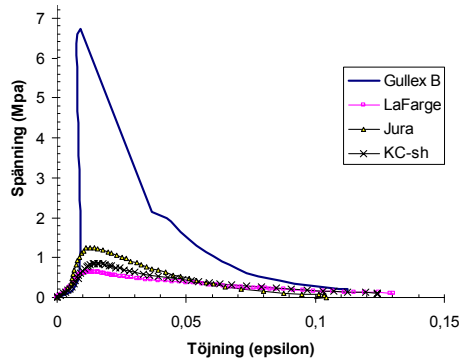


Figur 6.31. Arbetskurvor vid 7 dygn för olika bruk i 4°C och 100 % RF. Här får D-brukens kurvor lägre värden med mer utjämnad form jämfört med Figur 6.30

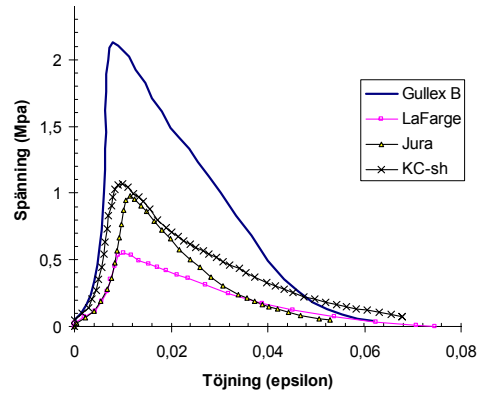
28 dygn

D-brukens arbetskurvor liknar varandra, men med skillnaden att i 100 % RF där Lafarge- och även Jurabruket har fortfarande en tendens att ge kraftigt utdragen form och då speciellt efter brottlasten. Vid denna höga fuktighet ligger brottlasten för D-bruken i allmänhet lägre. Vid stora deformationer ser man att dessa arbetskurvor ändå korsar den snabbare nedåtgående arbetskurvan för B-bruket med dess högre brottlast. Detta är fallet även mellan de olika D-bruken i klimat med lägre RF. Ofta sker detta när ett svagare bruk jämförs med det starkare, vilket skulle tyda på att kraftupptagningsförmåga för det svagare bruket vid stora deformationer är större.

28 dygnsproven uppvisar liknande utseende på arbetskurvan som 7 dygnsproven gjorde. Dock har både D-brukens och B-brukets arbetskurvor ökat sin brotthållfasthet och därmed något mindre skillnader på kurvformen. Eftersom brotthållfastheten har ökat uppvisat även kurvorna klarare form och ett mer definierat brott. Även kurvan efter själva brottet får en snabbare sjunkande lastupptagningsförmåga. Tydligt blir det för B-bruket där spänningen sjunker momentant när brottet inträffar till en mycket lägre nivå, och dessutom stor deformation som följd. Detta skulle troligen medföra en sprickbildning av murfogen, se Figur 6.32. D-bruket med sin lägre hållfasthet leder inte till detta plötsliga spänningsfall och deformation vid brott.



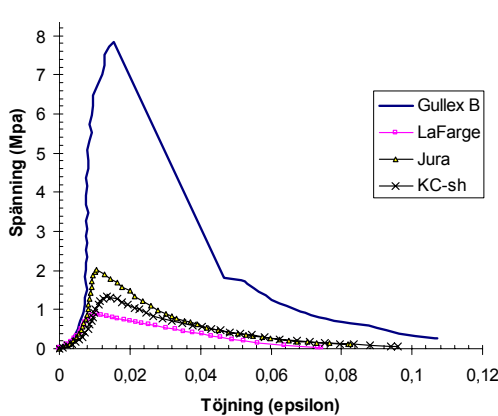
Figur 6.32. Arbetskurvor vid 28 dygn för olika bruk i 20°C och 100 % RF. Här får D-brukkurvorna betydligt lägre värden men ger betydligt mindre deformation vid brott. Jämför den raka linje på kurvan för B-bruket som sker momentant vid brottet.



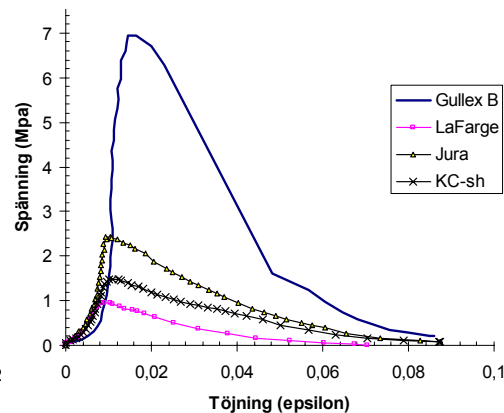
Figur 6.33. Arbetskurvor vid 28 dygn för olika bruk i 20°C, öppet klimat med 50 % RF. Här får D-brukkurvorna liknande värden som Figur 6.32, men B-brukets brottgräns sjunker betydligt. D-bruk kurvorna korsar B-brukkurvan vid stora deformationer på grund av mindre lutning efter brott

56 dygn

Arbetskurvan för B-bruket sjunker väldigt snabbt vid brott. Detta sker momentant nästan explosionsartat (rak kurva efter brott). Lasten sjunker lägre ju högre brotthållfasthet bruket har. Exempelvis vid brotthållfasthet på ca 6 MPa sjunker spänningen till ca 2.5 MPa. Vid brotthållfasthet kring 8 MPa sjunker spänningen till ca 1.7 MPa där även påföljande deformation blir större. Jämfört med D-bruket innebär första sprickan (brottet) en spänningsminskning för B-bruket som ligger knappt under brottgränsen för D-bruken. Samtidigt har B-bruket fått betydligt större deformationer se Figur 6.34 och 6.35.

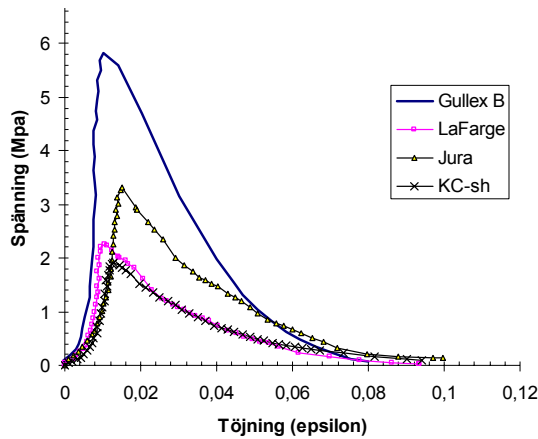


Figur 6.34. Arbetskurvor vid 56 dygn för olika bruk i 20°C och 75 % RF. Här får D-brukkurvorna betydligt lägre värden men ger betydligt mindre deformation efter brott och därmed bättre lastupptagningsförmåga.



Figur 6.35. Arbetskurvor vid 56 dygn för olika bruk i t klimatet 4°C och 75 % RF. Här får D-brukkurvorna liknande värden som i varmt klimat men även här betydligt mindre deformation efter brott än B-bruket. Temperaturen har liten inverkan både på hållfastheten och på kurvan.

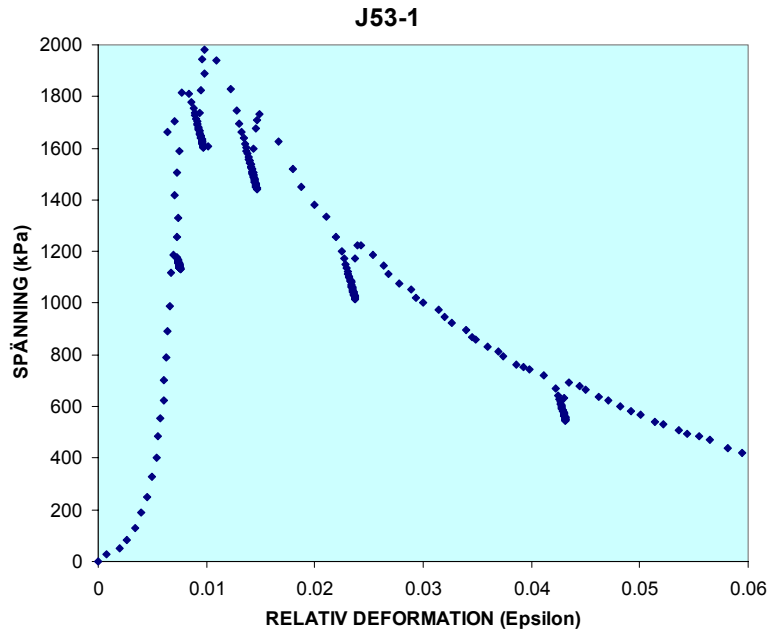
Även då D-bruken uppvisar sina högsta brotthållfastheter ger dessa inte upphov till så stora spänningsfall och åtföljande deformationer efter brottet, se Figur 6.36. Detta medför att D-bruken har bättre lastupptagningsförmåga efter brott än vad B-bruket har. Skillnaden mellan ovan Figur 6.32 och 6.33 är att klimatet är något fuktigare (83 % RF) samt att karbonatiseringen har verkat eftersom bruken i Figur 6.33 befinner sig i kontakt med luft. Detta höjer hållfastheten för D-bruken men förändrar inte deformationen och kurvans form mer än att kurvan får en något spetsigare brytning vid brottpunkten.



Figur 6.36. Arbetskurvor vid 56 dygn för olika bruk i 4°C, öppet klimat med 83 % RF. Här uppvisar D-brukskurvorna sina högsta brotthållfasthetsvärden. Trots detta ger D-bruken mindre deformationer efter brott än vad B-bruket ger.

2. Inverkan av avlastning

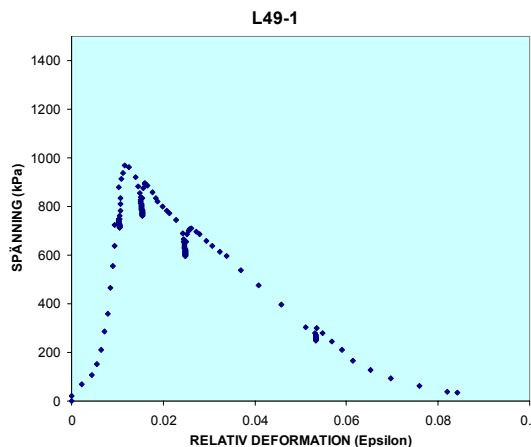
Genom att stoppa av lastökningen dvs. avstanna vevningen på tensometern sker en relaxation av den tryckande kraften som avstannar vid ett lägre värde under det att en viss deformation sker. Figur 6.37 visar ett prov av Jurabruk (20°C, 75 % RF) vid 28 dygn som visar dippar till följd av denna avlastning. Varje punkt motsvarar en registrering av kraft och deformation efter konstant tidsintervall. I dippen går punkterna mot ett konstant läge. Dipparna i figurerna nedan har i princip avstannat och uppkommit vid en minuts vevstopp. Därefter har vevningen återupptagits igen. Kurvan går då upp i samma läge där dippen lämnar kurvan (inklusive deformationen som uppstod i dippen) och fortsätter sedan i samma riktning som arbetskurvan vid fortsatt vevning och pålastning.



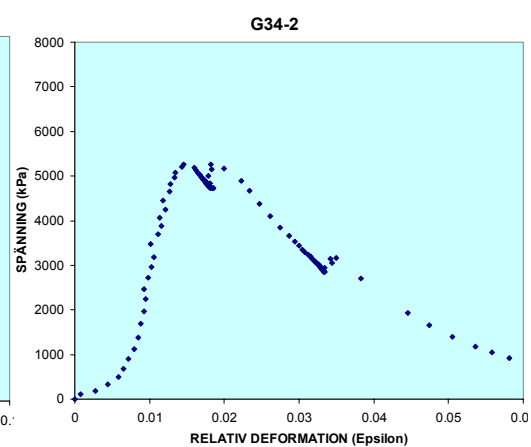
Figur 6.37. Arbetskurva för ett tryckprov med Jurabruk lagrad i klimatet 20°C, 75 % RF i 28 dygn. Dippar till följd av avstannad lastökning (vevstopp i en minut) som leder till en spänningssänkning som går mot ett konstant värde. Även en viss deformation sker. Vid återupptagen lastökning (vevning) ökar spänningen tills den möter arbetskurvan igen för att därefter åter följa kurvan form dock inklusive deformationen som uppkom vid dippen.

Det går att se skillnaden på hur långt dippen når före respektive efter brott. Den övre dippen sker i samband med brott, men brotthållfastheten ökar trots detta något vid återupptagen vevning. Generellt sett beror längden på dippen på hur mycket pålagd spänning provprisman är utsatt för. Proportionalitet mellan spänning och denna typ av relaxation kan man utläsa av resultaten.

Det går utav dessa lägsta punkter som dipparna sjunker ned till, göra en ny kurva som för aktuellt klimat och bruk ger en "säkerhetskurva" som bruket skulle klara av utan att deformeras vid olika spänningslägen. Tillståndet på bruket befinner sig då någonstans längs arbetskurvan antingen innan eller efter ett brott.

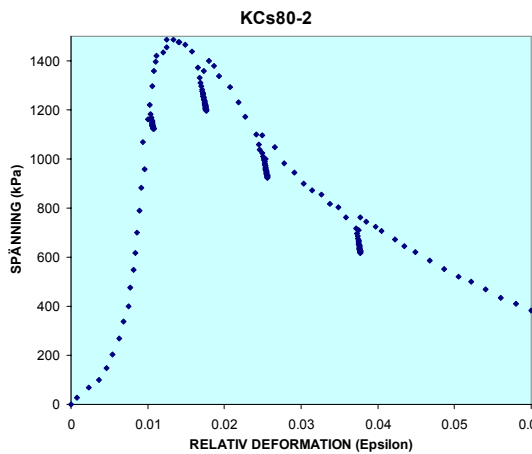


Figur 6.38. Dippar i arbetskurvan både innan och efter brott för Lafargebruket lagrad i klimatet 20°C, 75 % RF efter 28 dygn.



Figur 6.39. Dippar i arbetskurvan för B-bruket lagrad i klimatet 4°C 75 % RF efter 28 dygn.

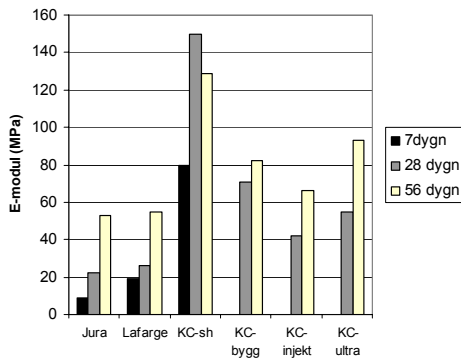
Några klara skillnader mellan bruken och hur de beter sig vid dessa dippar går inte att se mer än att bruk med högre hållfasthet ger större deformationer och spenningsfall jfr Figur 6.39 med övriga figurer.



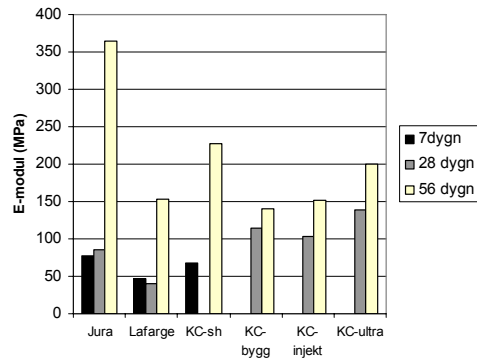
Figur 6.40. Dippar i arbetskurvan för KC-bruket lagrad i klimatet 4°C, 83 % RF (CO2) efter 28 dygn. Dippar både innan och efter brott.

3. Elasticitetsmodul

Elasticitetsmodulen bestämdes av arbetskurvans lutning, där varje beräkning har eftersträvat maximalt värde på e-modulen. Dock kan enstaka större variationer uppstå, men de flesta av beräkningarna gav förhållandevis en begränsad spridning. Nedan figurer visar medelvärden av e-modulen för vissa klimat. E-modulen verkar vara proportionerlig mot tryckhållfastheten, dock med vissa variationer beroende på klimat. Nedan kan man se att KC-sh har höga e-modulvärden jämfört med övriga D-bruk. Detta gäller bara i det fuktigaste klimatet. Vid 75 % RF och även vid 83 % RF har Jurabruket något större e-modul vilket också sammanfaller med tryckhållfastheten.

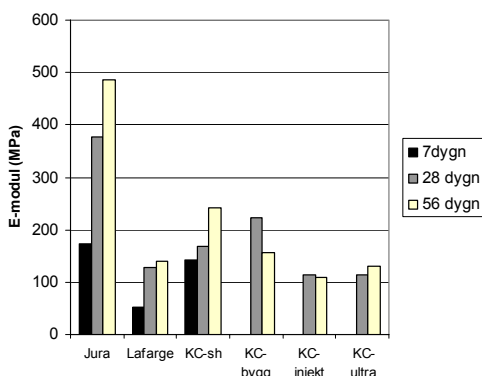


Figur 6.41. E-modulmedelvärden beräknade av arbetskurvans lutning för olika bruk. Klimatet är 4°C, 100 % RF. Även bruken med extra materialsammansättningar finns redovisade

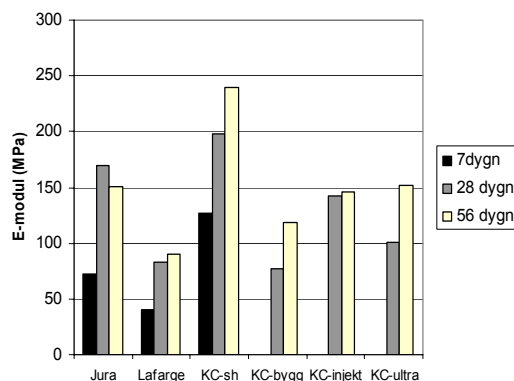


Figur 6.42. E-modulmedelvärden beräknade av arbetskurvans lutning för olika bruk. Klimatet är 4°C, 75 % RF. Även bruken med extra materialsammansättningar finns redovisade.

Vid högre temperaturer ökar e-modulen speciellt för Jurabruket. Nedan figur visar att vid torra klimat (10°C, 58 % RF) uppvisar KC-bruken i motsats till vad man kan förvänta sig ett högre värde.

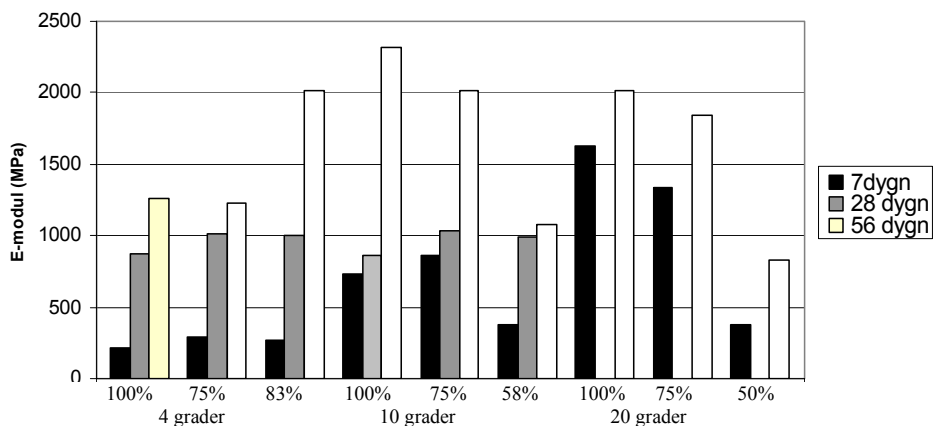


Figur 6.43. E-modulmedelvärden beräknade av arbetskurvans lutning för olika bruk. Klimatet är 20°C, 75 % RF. Även bruken med extra materialsammansättningar finns redovisade.



Figur 6.44. E-modulmedelvärden beräknade av arbetskurvans lutning för olika bruk. Klimatet är 10°C, 58 % RF. Även bruken med extra materialsammansättningar finns redovisade.

B-brukets e-modul är ca 6-8 ggr större vid 20°C och vid 10°C ca 10 ggr större, dock lite beroende på vilket D-bruk och RF. Jura- och Lafargebruken uppvisar något mindre e-moduler jämfört med B- bruket vid 100 % RF. Men vid 4°C följer ungefär samma resonemang som för 10°C.



Figur 6.45 E-modulmedelvärden beräknade av arbetskurvans lutning för B- bruket vid olika klimat och ålder.

Proportionaliteten mellan tryckhållfasthet och elasticitetsmodul varierar beroende på klimatet. Några exempel som visar tendensen hur proportionalitetens variation och storleksordning är vid 28 dygnsprovet:

Tabell 6.1. Proportionaliteten (e-modul delat med tryckhållfasthet) för bruken vid olika klimat.

Temp/RF:	20/75	10/58	4/100
Jura	208	188	65
Lafarge	169	187	64
KC-sh	133	266	160
B-bruk	234	800	120

Resultaten ur tabellen tyder på att proportionalitetstalen sjunker med kallare klimat, där även den mättade fuktigheten inverkar negativt på dessa tal. Ett torrt klimat verkar innebära ökad e-modul i förhållande till tryckhållfastheten.

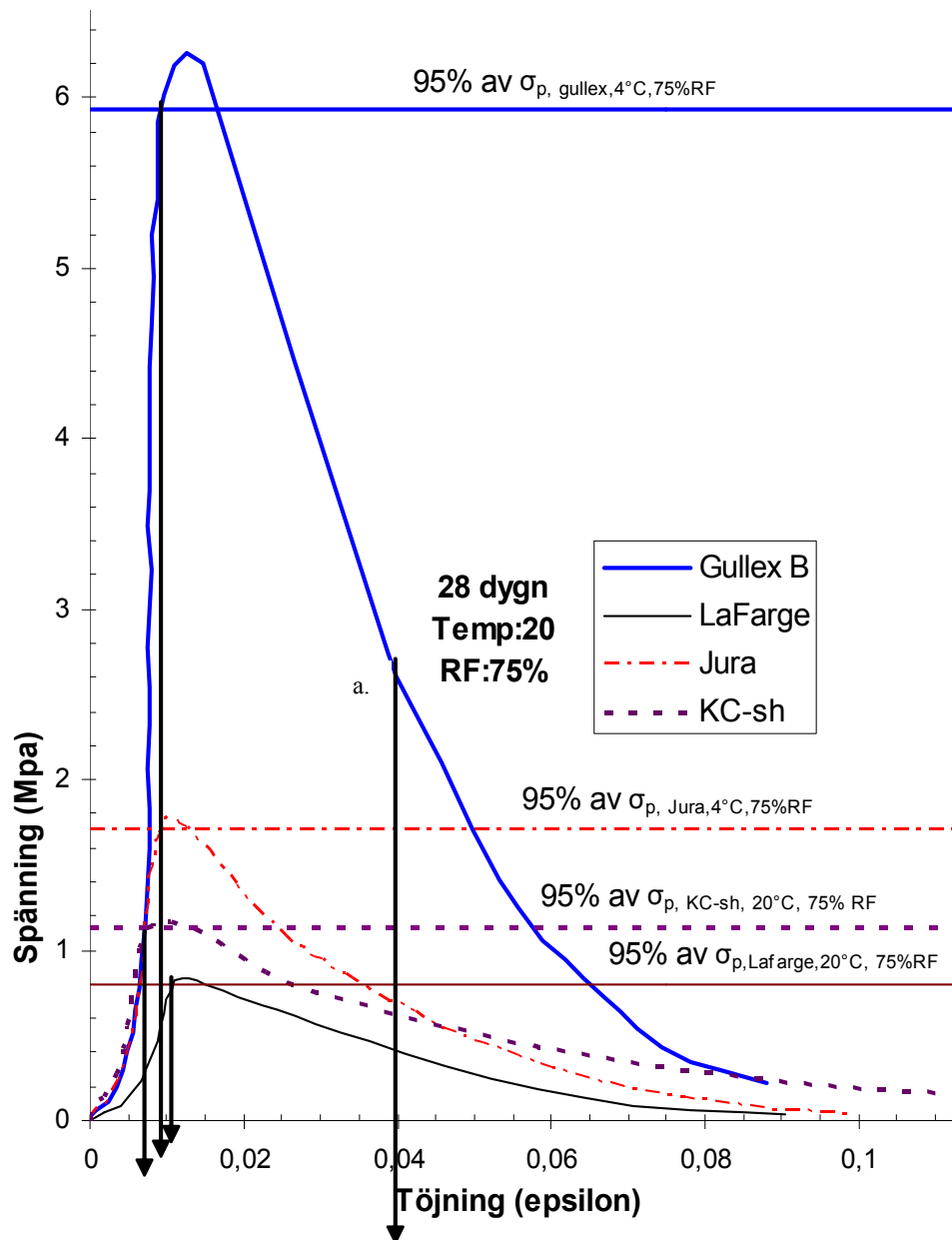
4. Deformationer

En analys av de olika brukens deformationer kan vara av stort intresse. Det är dock svårt att kvantitativt mäta deformationen eller töjningen med hjälp av de arbetskurvor som erhöles vid tryckprovningen av provprismorna. I dessa kurvor finns en viss vekhet och fel i utrusning som medför ett initieilt fel. Felet kan bestämmas till ca $\epsilon_{fel} = 0,0062$ (se 3.7.1 Provprismor). Även när själva mätningen påbörjas kan skillnader uppträda t.ex. om en initieill pålagd last finns innan mätning påbörjas och kurvan startar vid en viss spänning (även motsatta fallet kan uppträda pga. den deformationsstyrda töjningsmätningen).

En kvalitativ jämförelsebedömning mellan bruken i de olika klimaterna går dock att göra. Deformationer vid 95 %, 75 % och 50 % av brotthållfastheten var lämpliga kriterier för denna jämförelse efter rekommendation av R. Blank (Maxit AB). Nedan figurer visar hur lite det skiljer mellan B- och D-bruk vid de olika kriterierna. Skillnader i deformationen (töjning) mellan de olika brukerna ligger i ett intervall av $\epsilon \leq 0.005$.

Skillnaden mellan 95 % av tryckhållfastheten och 75 % är liten. Intervallet där brukens töjning ligger, sjunker med ca 2 %. B-bruket har en töjning som ligger mellan KC- och Lafargebruket. Figur 6.46 redovisar bruk i ett normalt klimat (20°C, 75 % RF). Större skillnader mellan brukens deformationer uppträder dock om mer extrema klimat påverkar härdningsprocessen. Ett 100 % RF klimat ger större brottdeformationer för D-bruken speciellt Lafarge och även Jura vid tidig provning. B-brukets deformation minskar, vilket medför större skillnader mellan brukstyperna. Generellt kan man säga att deformationen följer tryckhållfasthetstillväxten, där hög tryckhållfasthet ger små deformationer och vice versa.

Det visar sig att man får väldigt lite skillnad mellan de olika brukens deformationer även vid 50 % av brotthållfastheten. Resultaten liknar de övriga då man för ned deformationen vid halva kurvans höjd. Dock uppträder en minskning av töjningen, fast väldigt liten ca $\epsilon \leq 0,0025$ mindre än vid 75 % av brotthållfastheten. Töjnings- eller deformationsminskningen skulle bli relativt större för D-bruken jämfört med B-bruket, och störst för Lafargebruket. I bilagan "sammanställning" redovisas ytterliggare exempel på liknande analyser för respektive bruk och temperatur i 75 % RF för 28 dygnsprovet.

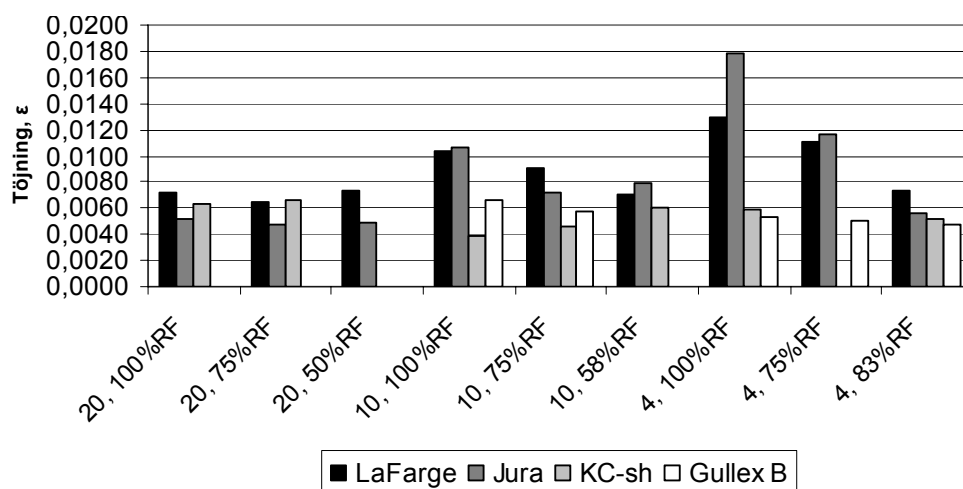


Figur 6.46. Deformationer för 95 % av brotthållfastheten. Deformationen efter brott sker momentant för B-bruket vilket symboliseras av där kurvan är bruten vid a. Om brott inträffar för samtliga bruk skulle detta medföra betydligt större deformationer för B-bruket.

Av stor betydelse i denna provning är att också analysera deformationen efter brott, vilket resulterar i andra slutsatser av deformationen på för de olika brukstyperna. Här skulle D-bruken ge betydligt mindre deformationer än B-bruket. Detta beroende på den stora momentana deformation som sker med B-bruket se punkt a i figur 6.46. Betydligt mindre deformationer uppträder för D-bruket som endast skulle få en marginell ökning av deformation efter brott, jämfört med innan brott. Dock är ju skillnaderna på brottspänningarna för de olika brukstyperna betydande. Detta skulle ändå innebära att D-bruket har betydligt större lastupptagningsförmåga efter brott i förhållande till sin hållfasthet än vad B-bruket har. Det är då man kan tänka sig att en

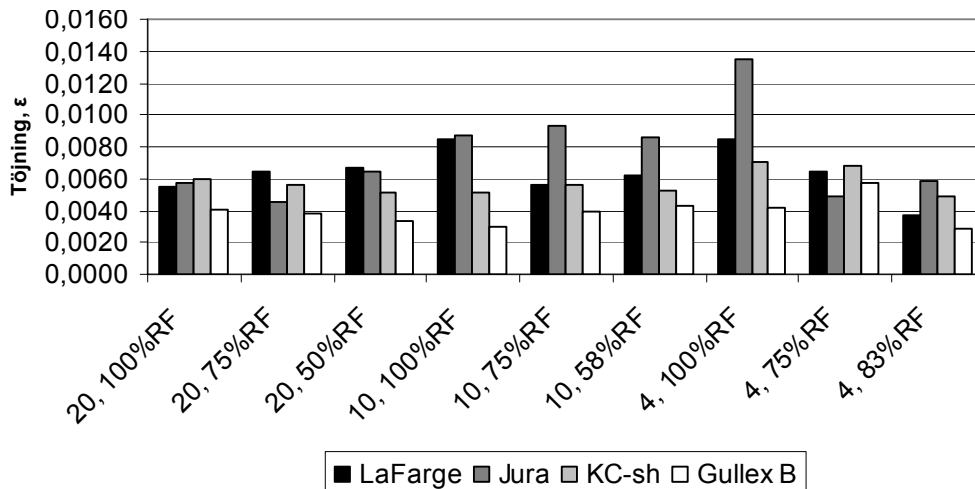
omlagring av bruket sker istället för en enstaka stor spricka. Eventuellt behöver inte brottlasten därmed betyda så mycket för D-bruket, eftersom bruket fortfarande har god lastupptagning. Detta blir viktig faktor i provningen på murpelarna.

Ytterligare en metod att bestämma deformationen skulle kunna utgå från de beräknade medelvärdena av elasticitetsmodulerna och brotthållfastheterna. Denna beräkning förutsätter linjärelastiskt material, vilket inte helt överensstämmer med murbrukets egenskaper. Som tidigare berörts är murbruket ett mer elasto-sprött material där bruket deformeras elastiskt men samtidigt även något plastiskt. Spridningen utifrån beräknade medelvärden kan också ge ytterligare fel, men det visade sig att resultaten var samstämmiga med resultaten från föregående grafiska metod. Denna metod lämpar sig bättre för en kvantifiering av deformationen. Följande värden erhöles vid 28 dygnsprovet, se Figur 6.47 nedan.



Figur 6.47. Deformations värden beräknade av brotthållfasthetens och e -modulens medelvärde vid 28 dygn dvs. $Töjning_{medel} = \frac{Brotthållfasthet_{medel}}{E_{modul}_{medel}}$

Jämfört med föregående metod stämmer deformationsvärdena bra, det bör påpekas att dessa värden är beräknade på hela brotthållfastheten (ej som föregående där 95 %, 75 % eller 50 % av brotthållfastheten användes). En del av B-brukets (Gullex B) värden är borttagna i Figur 6.47, eftersom dessa var orimliga beroende på fel i provning etc. Deformationerna ligger även här relativt jämt mellan bruken, där B-bruket ligger i allmänhet något lägre än D-bruken. För att styrka dessa resultat ytterligare redovisas även 56 dygnsprovet nedan, vilket ger en liknade bild av brukens töjning vid brotthållfastheten. Vid fuktiga klimat (även till viss grad i låg temperatur) kan man se en betydande deformationsökning hos D-bruken, detta kan bero på att bruket inte hårdnat och plastiskt mer eftergivligt för rörelser än t.ex. B-bruket.



Figur 6.48. Deformations värden beräknade av brotthållfasthetens och e-modulens medelvärde vid 56 dygn.

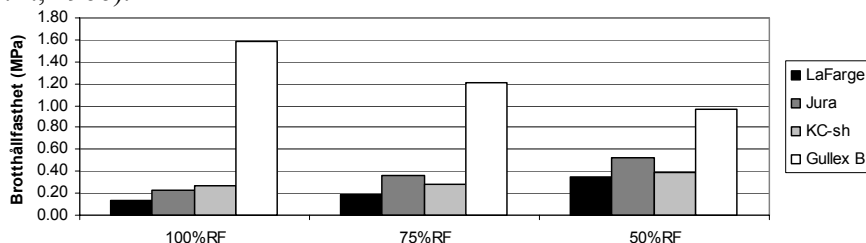
Deformationerna minskar mellan 7 och 28 dygn med 4-8 % för Jura- och Lafargebruket, medan KC- och B-brukets deformationer minskar med ca 1- 3 %. Dock visar resultaten att vid 75 % RF går det inte att se någon skillnad av minskade deformationer vid 7 respektive 28 dygn, mellan bruken. Minskningen ligger då kring 1-4 %. Figurerna ovan där deformationer vid 28 respektive 56 dygn visas, sker en liten generell minskning av deformationen på ca 1-4 %. Det förekommer även en del avvikelser, där även marginella ökningar uppträder.

Figurerna ovan styrker resultaten för den grafiska metoden vid klimatet 20°C och 75 % RF, där deformationerna ligger ganska jämnt fördelade mellan bruken. Resultaten visar också här på större deformationsvariation vid det fuktmettade och kalla klimatet (se speciellt Jura och Lafarge). Deformationsvärden i siffror beräknade enligt denna senare metod finns redovisade i bilagan ”sammanställning”.

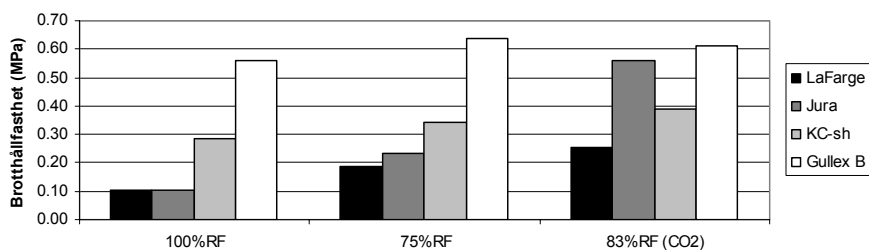
6.2.3 Böjdraghållfasthet

Brotthållfasthet

Vid åldern 7 dygn råder en tydlig proportionalitet mellan tryckhållfastheten och böjdraghållfastheten. För B-bruket ligger böjdraghållfastheten det kring 33-40 % (50 % där i CO₂ finns) av tryckhållfastheten. D-brukens böjdraghållfasthet ligger mellan 43-55 % (65 % där CO₂ finns) av tryckhållfastheten. Även här uppvisar böjdraghållfastheten något högre värde i klimatet där CO₂ finns tillgängligt. Förhållandet mellan de olika D-bruken är i stort samma som vid tryckhållfasthet, där. Det visar sig också att såsom Saretok m.fl. beskrev det, att en ökad cementhalt minskar böjdraghållfastheten i förhållande till tryckhållfastheten (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

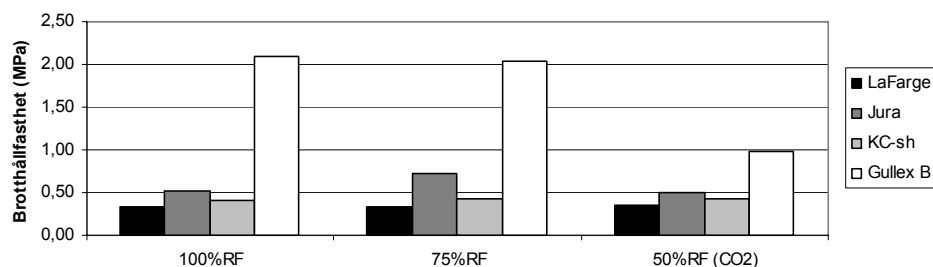


Figur 6.49. Böjdraghållfasthet vid 7 dygn i klimatet 20°C.

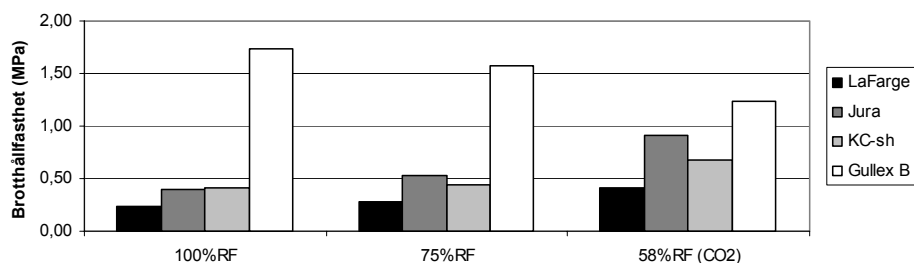


Figur 6.50. Böjdraghållfasthet vid 7 dygn i klimatet 4°C.

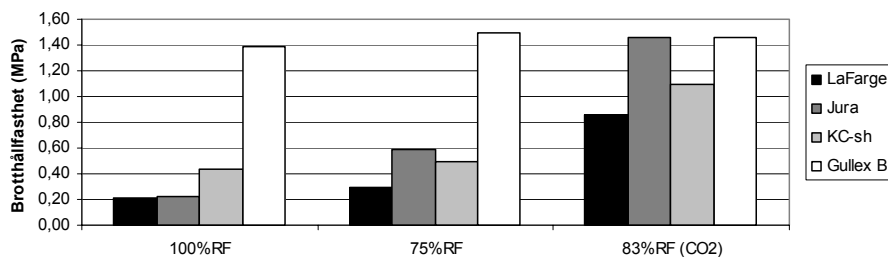
Vid åldern 28 dygn är lägsta böjdraghållfastheten för respektive D-bruk följande. Lafarge: 0.21 MPa, Jura: 0.22 MPa, KC: 0.41MPa. B-bruket har sitt lägsta värde vid 20°C och 50 % RF som är 0.97 MPa. Däremot har D-bruken sina lägsta värden vid 4°C och 100 % RF, dock inte KC-bruket som ligger lägst vid 20°C. Högsta värdena för D-bruken återfinns i den lägsta temperaturen med fri tillgång till CO₂ med relativt hög fuktighet. Värdena är för Lafarge: 0.86 MPa, Jura: 1.46 MPa och KC: 1.09 MPa. B-brukets högsta värde är 2.1 MPa och liksom tidigare finns i det fuktmatade klimatet med temperaturen 20°C. I övrigt är förhållandet mellan tryckhållfastheten och böjdraghållfastheten stort densamma som för 7 dygnsprovningen.



Figur 6.51. Böjdraghållfasthet efter 28 dygn i temperaturen 20°C

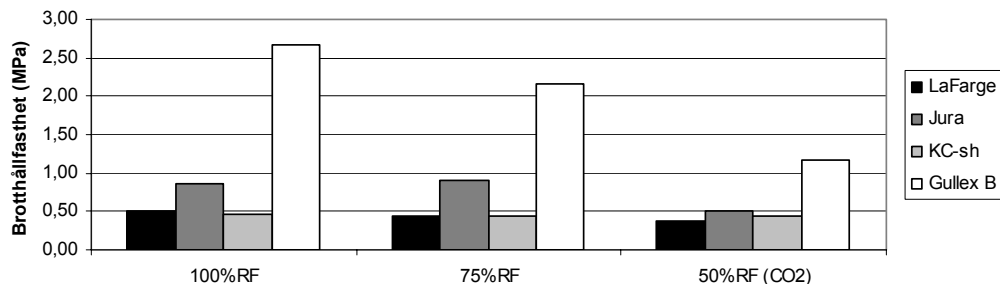


Figur 6.52. Böjdraghållfasthet efter 28 dygn i temperaturen 10°C.

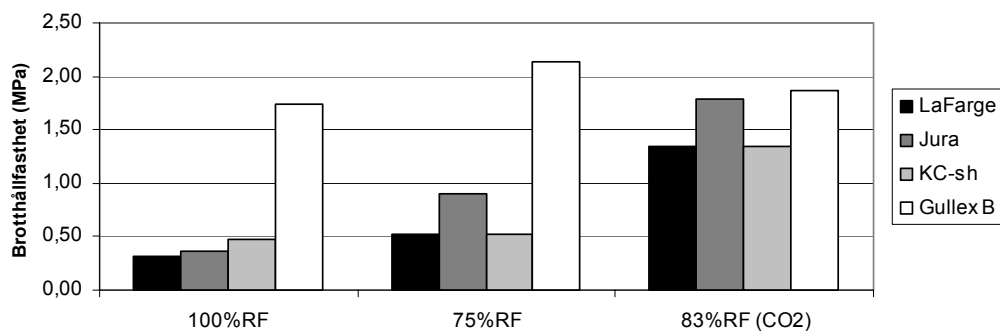


Figur 6.53. Böjdraghållfasthet efter 28 dygn i temperaturen 4°C.

Resultaten på böjdraghållfastheten efter lång tid (56 dygn) följer samma förhållanden som tidigare tryckprovningar, dock med skillnaden att en viss relativ ökning av Lafargebrukets hållfasthet jämfört med t.ex. KC-bruket. Detta uppträdde också i tryckhållfasthetsprovet ovan. Det visar sig dessutom att D-bruken i ett lämpligt klimat (83 % RF och CO₂) når upp i nästan samma böjdraghållfasthet som B-bruket, och dessutom är temperaturen 4°C.



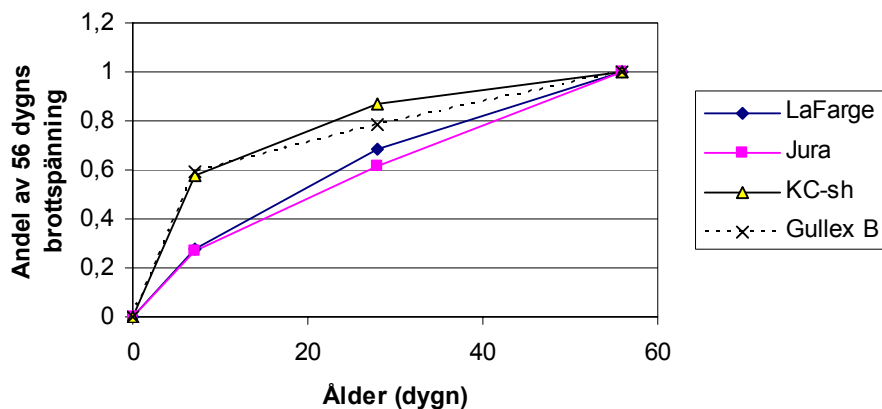
Figur 6.54. Böjdraghållfasthet efter 56 dygn i temperaturen 20°C.



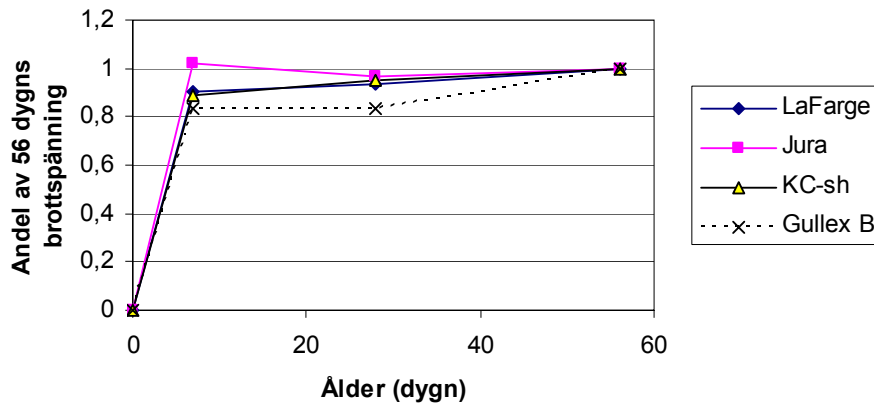
Figur 6.55. Böjdraghållfasthet efter 56 dygn i temperaturen 4°C.

Inverkan av ålder

Böjdraghållfastheten i stort följer tryckhållfasthetsutvecklingen. Tendensen är att D-brukens böjdraghållfasthet som är proportionell i förhållande till tryckhållfastheten, får en växande andel av tryckhållfastheten. Men för B-bruket visar resultaten på motsatt tendens. Det går även att se att böjdraghållfastheten ökar i en del fall snabbare än tryckhållfastheten, där största delen av böjdraghållfastheten redan är nådd efter 7 dygn se Figur 6.57.



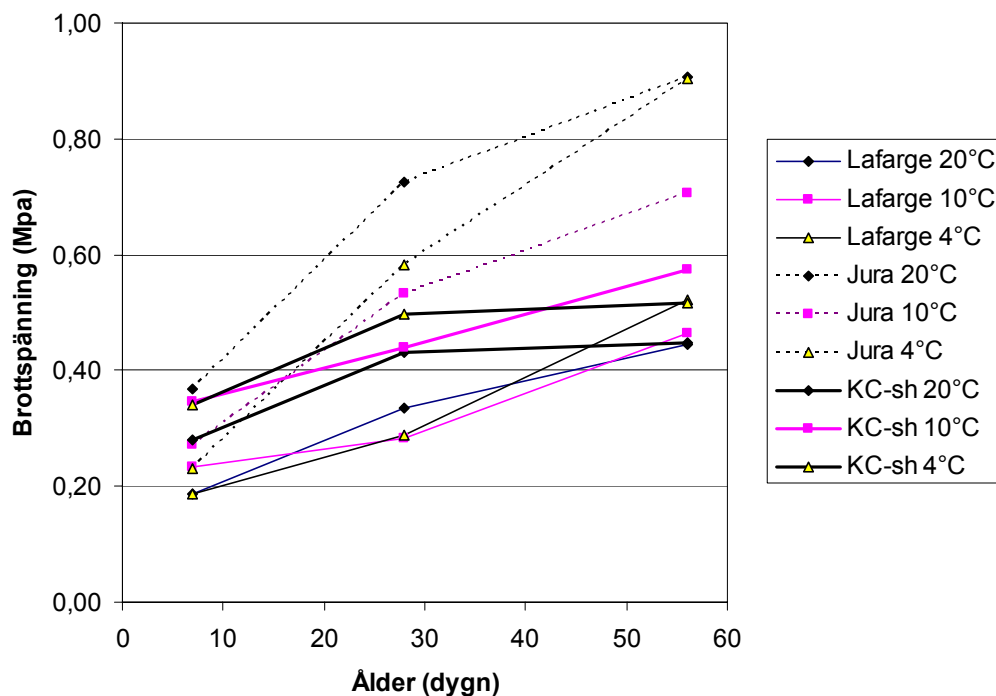
Figur 6.56. Böjdraghållfasthetens utveckling i klimatet 20°C och 100 % RF. Diagrammet visar uppnådd andel hållfasthet efter 7 respektive 28 dygn av den totala 56 dygnshållfastheten.



Figur 6.57. Böjdraghållfasthetens utveckling i klimatet 20°C, 50 % RF. Diagrammet visar uppnådd andel hållfasthet efter 7 respektive 28 dygn av den totala 56 dygnshållfastheten.

Inverkan av temperatur

Temperaturen inverkar på D-brukens böjdraghållfasthet i likhet med tryckhållfastheten. Beroende på temperatur kan något mindre variationer uppträda enligt Figur 6.58 nedan, dvs. att temperaturen inverkar mindre på böjdraghållfastheten, än vad som sker för tryckhållfastheten, jämför även Figur 6.18.

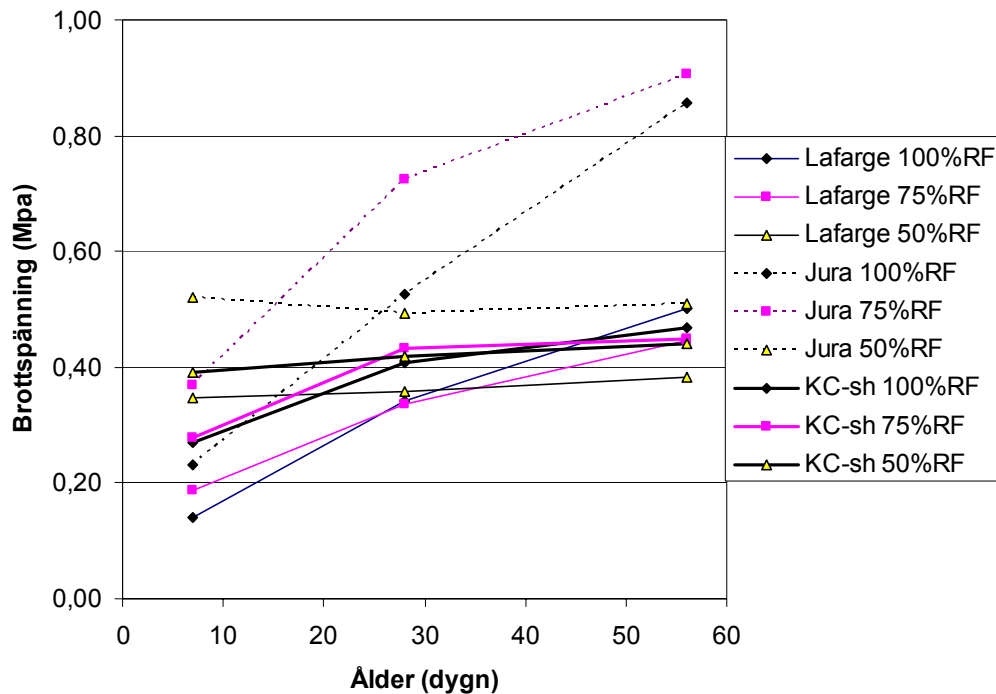


Figur 6.58. Tryckhållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och temperaturer. Konstant 75 % RF råder, därav beror variationerna mellan kurvorna på en inverkan av temperaturen.

Inverkan av RF

Även då inverkan av RF undersöks ser man hur förhållanden mellan tryck- och böjdraghållfastheten sammanfaller. Även här uppträder en minskad inverkan på böjdraghållfastheten jämfört med tryckhållfastheten. Detta visar sig tydligast vid sen

ålder (56 dygn) där värdena får en liten variation beroende på olika RF, se Figur 6.59 nedan. Dock utmärker sig Jurabruket i de fuktiga klimatet med en betydligt högre böjdraghållfasthet, vilket också var tydligt för tryckhållfastheten se Figur 6.8.



Figur 6.59. Böjdraghållfasthetskurvor vid åldern 7-56 dygn, för olika D-bruk och RF. Konstant temperatur 20°C råder, därav beror variationerna mellan kurvorna på inverkan av olika RF.

Inverkan av tillgång till luftens koldioxid, CO₂

Se avsnitt 6.2.4 nedan.

Inverkan av låg lufthalt (från färskt bruk)

Böjdraghållfastheten på Lafargebruket uppvisade liksom tryckhållfastheten en ökning av hållfastheten som följd av en lägre lufthalt (lufthalt: 9 % jämfört med 13 % för övriga). Dock med skillnaden, att böjdraghållfastheten uppvisade något mindre ökning. Det kan också bero på spridningen i resultaten eftersom ganska få prov utfördes.

6.2.4 Karbonatiseringsdjup

Karbonatiseringsdjupet mättes med hjälp av fenolftalein. Bedömningen var relativt svår i många fall. Flera provprismor hade olika djup på karbonatiseringsfronten beroende på sida. Generellt efter 56 dygn uppvisar de flesta provprismor inte mer än ett fåtal millimeter karbonatiseringsdjup från ytan. I Tabell 6.2 anges medelvärden för de uppmätta karbonatiseringsdjupen i mm.

Tabell 6.2. Sammanställning av hur långt karbonatiseringsfronten nåt in i provprismorna, måtten i mm. Värden inom parentes är osäkra resultat eftersom dessa har stora avvikelser från övriga karbonatiseringsdjup samt i själva medelvärdet, se alla resultat i bilagan "sammanställning".

7 dygn	20°C	10°C	4°C
<i>LaFarge</i>	0.2	0.25	0.25
<i>Jura</i>	0.45	0.75	1.5
<i>KC-sh</i>	0.1	0.45	0.2
<i>Gullex B</i>	1.2	1.3	(10.0)
28dygn			
<i>Lafarge</i>	1.8	1.4	3.2
<i>Jura</i>	1.0	2.8	(10.1)
<i>KC-sh</i>	(4.4)	0.75	3.8
<i>Gullex B</i>	1.5	1.5	3.75
56 dygn			
<i>Lafarge</i>	0.2	0.1	0.65
<i>Jura</i>	0.35	0.6	(8.5)
<i>KC-sh</i>	0.2	0.7	(4.2)
<i>Gullex B</i>	1.2		

Det går att antyda en ökad karbonatiseringsbenägenhet i det kallare klimatet med hög RF dvs. i 83 % RF och 4°C. Detta visar också den hållfasthet provprismorna får i detta klimat som trots låg temperatur. Det kan även tilläggas att koldioxidhalten vid 10°C kan vara lägre eftersom kylskåpet har volymen på ca 1.5 m³ luft. Det är en liten mängd i förhållande till karbonatiseringsbehovet. Dock finns det möjlighet för luften att tränga in i springor mellan dörr och skåp, samt att kylskåpet någon gång, öppnas nästan varje dag.

Inverkan av karbonatisering som har påverkat hållfastheten kan egentligen bara påvisas för provprismorna i klimatet 4°C. Detta skulle därmed också förklara de högre hållfastheterna i detta kallare klimat som D-bruken generellt uppvisade. I de övriga temperaturerna är karbonatiseringsfronten inte mycket mer än 1-2 mm, vilket man kan antaga ge en väldigt lite inverkan på de mekaniska egenskaperna av det hårdnade bruket.

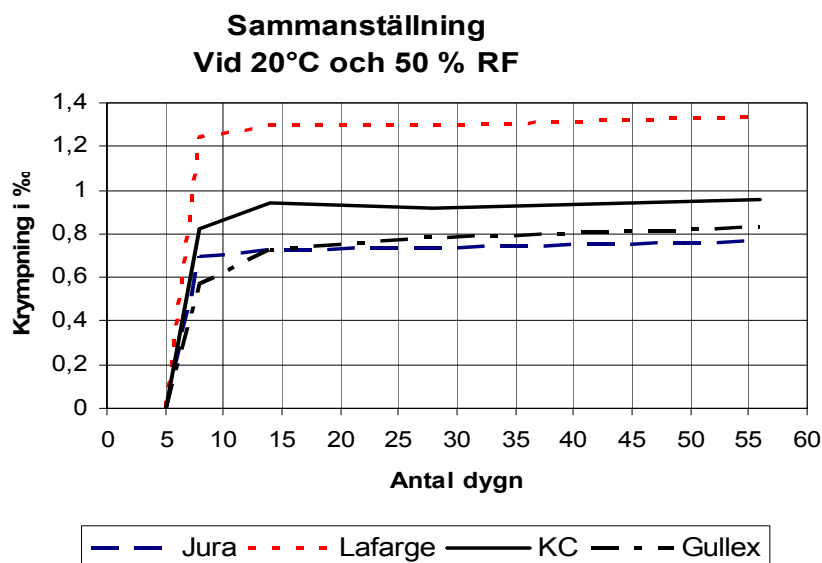
6.2.5 Densitet

Densiteten är framtagen för varje provkropp samt hur densiteten förändras med tiden, allteftersom bruket hårdnar. Dessa resultat finns redovisat i bilagan "provresultat" vilket finns tillgängligt att läsa vid behov. Det kan då vara t.ex. då man ska förklara eller verifiera en sen hållfasthetstillväxt hos exempelvis Jurabruket. Genom att bruket karbonatiserar mer än vattenavgången leder detta till att densiteten ökar. Det beror på det nybildade kalciumkarbonat innehåll som har en större molvikt jämfört med den nymurade kalciumhydroxiden i kalkbruket. Densitet tillsammans med en termogravimetrisk analys skulle kunna visa på karbonatiseringsgrad etc. En vidare och mer övergripande analys av densiteten och hur den varierar med tiden är inte gjord här.

6.2.6 Krympning

Uttorkningskrympning

Krympningen som mättes på dobbförsedda prismor anges i ackumulerade värden i promille från dygn 5 till dygn 56 efter gjutning. I figur 6.60 nedan, visar det sig att redan efter det åttonde dygnet har den största delen av krympningen skett för samtliga bruk. Vid 8 dygn har B-bruket minst krympning (0.6 ‰) medan Jura krymper något mer (0.7 ‰). Ytterliggare lite högre ligger KC- och Lafargebruket (0.8 respektive 1.2 ‰). Efter de påföljande 6 dyggen ökar krympningen med endast någon tiondels promille för D-bruken medan B-bruket ökar något mer. Krympningen stabiliserar sig därefter, och tiden fram till dygn 56, där krympningen i stort har avstannat.



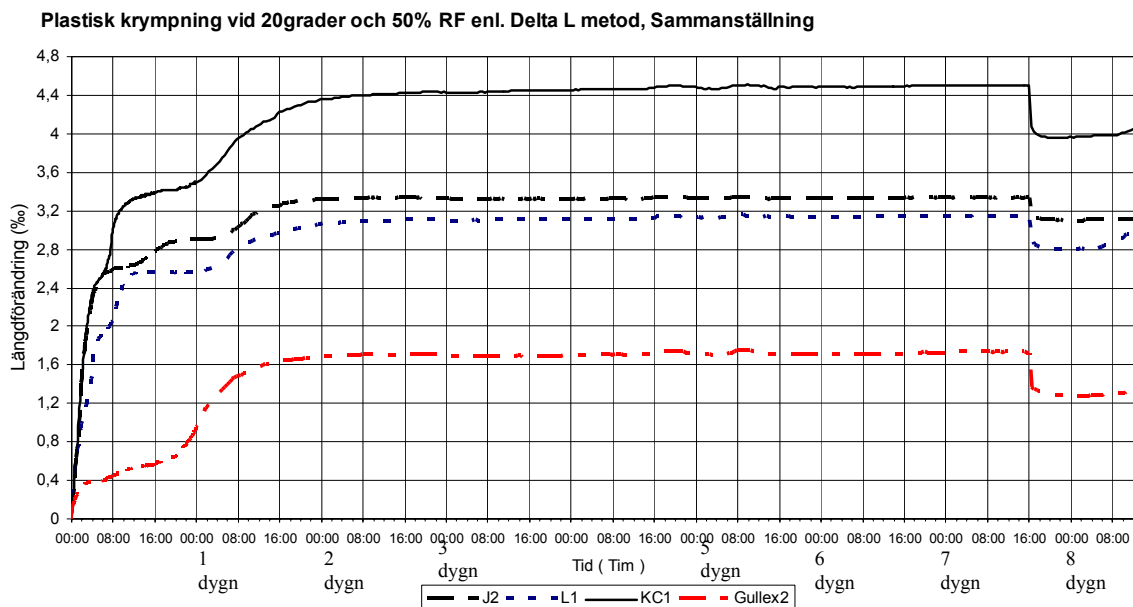
Figur 6.60. Uttorkningskrympning för dobbförsedda prismor med måtten 40x40x160mm från dygn 5 (avformning) till dygn 56 i klimatet 20°C och 50 % RF.

Uttorkningskrympningen i siffror och övriga klimat finns sammanförda i bilagan ”sammanställning”.

Plastisk krympning

De första 4 timmarna efter gjutningen sker en kraftig krympning vilket beror på en vattenavgång. Ca 50 % av den totala krympningen har skett för D-bruken. B-bruket verkar inte krympa så snabbt i detta tidiga stadium, endast med 25 % av total krympning har skett efter 4 timmar. Det visar sig att krympningen avstannar efter 8-10 timmar för att återigen öka efter ca 8 timmar. Skillnader i hur de olika brukna krymper antyder på att bruk med cementblandning får en större krympning efter ca 20-24 timmar efter gjutningen vilket kan bero på den kemiska bindningen av vattnet sker då. För kalkbruket kan också några extra knyckar i krympkurvan uppträda de första 16 timmarna. Jämförs uttorkningskrympningen med denna mätning som också innehåller den plastiska krympningen, skulle krympningen efter 5 dygn, där den första uttorkningskrympning-mätningen startade, motsvara efter ca 12-24 timmar på den plastiska mätningen. Skillnaden mellan 5 och ett dygn kan bero på att provprismorna (40x40x160mm) hade en relativt god omslutning som förhindrade uttorkning, samt att provkropparna för den plastiska mätningen var applicerade som en 10 mm puts med öppen yta mot luft. Det skulle innebära att D-bruket har krympt sin största del som är betydligt större än B-bruket (4-5 gånger större) under sitt plastiska skede vilket

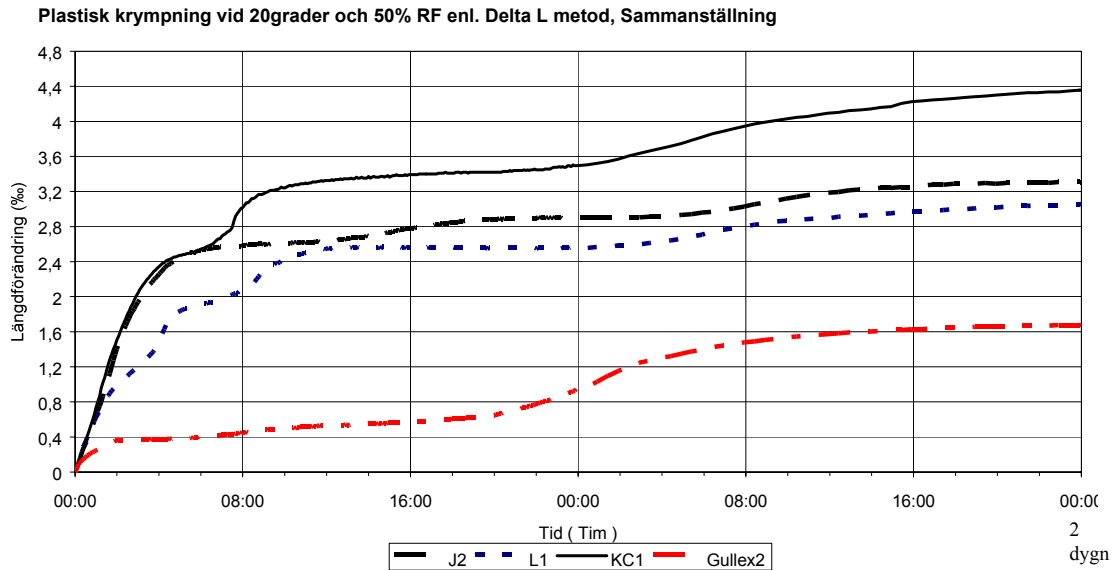
benämnas som plastisk krympning. Medan B-brukets plastiska krympning endast är en mindre del av den totala. Därmed relativt sett återstår en större del av B-brukets krympning jämfört med D-bruken och som då består av en uttorkningskrympning. Detta kan i sin tur innebära problem med sprickbildning. Dock är den värdemässigt största uttorkningskrympningen för D-bruken som ovan avsnitt också visade.



Figur 6.61. Plastisk krympning för 10 mm tjocka bruksprov. Mätningen startar från färskt bruk till hårdnat bruk efter ca 9 dygn. Efter 7 dygn bevattnades bruksproven vilket medförde en svällning. B-bruket är den lägsta kurvan.

Svällningen efter 7 dygn och ca 15 timmar beror på att proven bevattnades med en blomstervattenspruta så att vattenyta bildades ovan på proven. Enligt diagrammet nedan sker en momentan svällning på ca 0.5 % för samtliga bruk (något mindre för Jura), för att därefter uppvisa en utjämnning av krympningen vid påföljande uttorkning under ca 15 timmar. Därefter verkar bruken återigen krympa (med samma hastighet som efter 2 dygn) till den förmodade krympning som fanns före bevattningen. Dock avbröts krymptestet innan detta kunde visas.

Figur 6.62 nedan visar den viktminskning som sker för respektive bruk för ovan plastisk krympmätning. Relativt störst viktminskning de första 20 timmarna har B-bruket, för att påföljande dygn ge den minsta viktminskningen. Jura- och Lafargebruken verkar vid detta tidsintervall ha något större viktminskningar. Vad detta innebär med hänsyn till krympningen kan vara svårt att dra några vidare slutsatser utifrån.

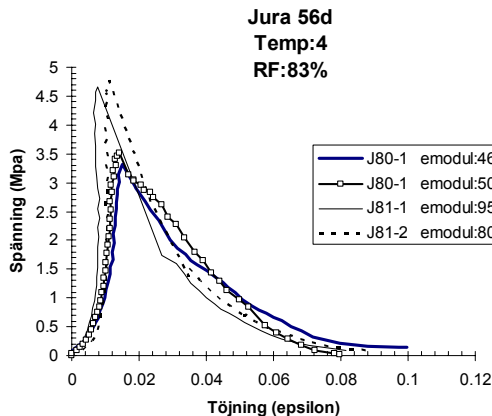


Figur 6.63. Klimat 20°C, 50 % RF. Plastisk krympningsmätning under de första två dygnen efter gjutning (en uppskalad Figur 6.61). B-bruket är den lägsta kurvan.

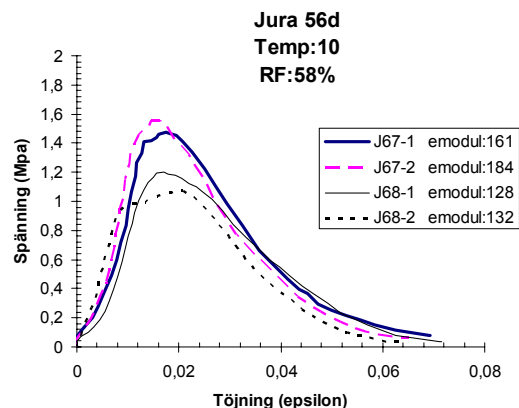
6.2.7 Spridning av resultat

För att få en statistisk säkerställd provning är det av stor betydelse att redovisa spridningen av provresultaten. Huvudförsöken som bestod i att prova tre olika D-bruk (Jura-, Lafarge- och KCsh-bruk) har enligt provningsnormer utgjorts av tre provprismor i nästan varje klimat och ålder. Spridningen har varit påfallande liten, dock kan enstaka större variationer uppträda, men det samlade intrycket är dock en liten spridning av resultaten. Standardavvikelsen är beräknad samt 95 % konfidensintervall. Dessa resultat finns redovisade i bilagan ”Provresultat”.

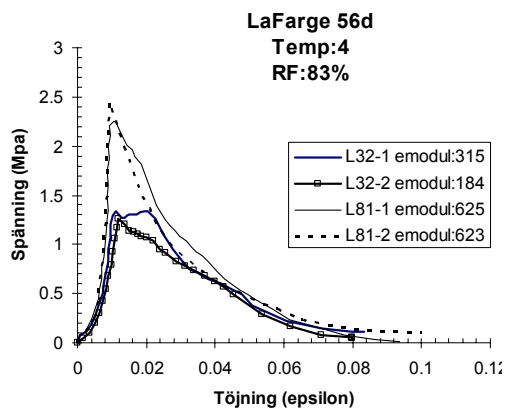
Spridningen av *tryckprovningen*, där totalt 27 provningsomgångar med standardavvikelser är beräknade, ligger 11 av dessa standardavvikelser över 10 % av medeltryckhållfastheten för jurabruket medan för KC-bruket har 5 stycken och Lafargebruket har 10 stycken samt B-bruket har 8 stycken standardavvikelser som ligger över 10 % av medeltryckhållfastheten. De flesta provningar har en standardavvikelse runt, och något under 10 % av medeltryckhållfastheten. Nedan figurer visar de prov med störst spridning i förhållande till medeltryckhållfastheten. Jura- och Lafargebruket har generellt de största, och är mest förekommande, standardavvikelsena.



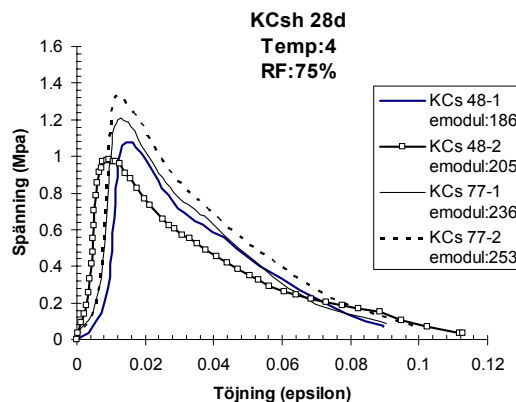
Figur 6.64. Exempel störst spridning Jura.



Figur 6.65. Exempel störst spridning Jura.



Figur 6.66. Exempel störst spridning Lafarge för KC-sh.



Figur 6.67. Exempel störst spridning.

Även *elasticitetsmodulen* är beräknad för varje arbetskurva med minsta kvadratmetoden över lämpligt utvalda mätpunkter och antal (dock minst fyra) på kurvan i det elastiska området. E-modulen är beräknad på den rakaste delen av kurvan då samtidigt ett maximalt värde eftersträvades. E-modulen redovisas i varje arbetskurva för varje tryckprovkroppsdela som figurerna ovan. Dessa finns redovisade i bilagan ”Provresultat”. Spridningen av e-modulen är något större än brotthållfastheten. Inga standardavvikelser eller konfidensintervall är framtagna för e-modulen, dessa värden kan beräknas vid behov utifrån bilagan.

Spridningen för *böjdragprovet* följer i stort tryckprovet, där de tryckproven med störst standardavvikelse också ger högst avvikelser i böjdragprovet. Av 27 standardavvikelser i varje D-bruk gav 6-8 avvikelser över 10 % av medelböldraghållfastheten. 11-12 standardavvikelser låg under 5 % förutom Lafarge som har endast 7 avvikelser under 5 % av medelböldraghållfastheten. I allmänhet ligger de med störst spridning vid 7 dygnsprov. Böjdragprovet har generellt sett något mindre standardavvikelser än vad fallet är för tryckprovet. Spridningsförhållanden för D-bruken sammanfaller i stort även för B-bruket, dock med skillnaden att färre prov är utförda på B-bruket (totalt 14 standardavvikelser med 3 över 10 % och 6 under 5 %), men med ungefär samma relativa fördelning.

6.3. Försök med klimatbyte

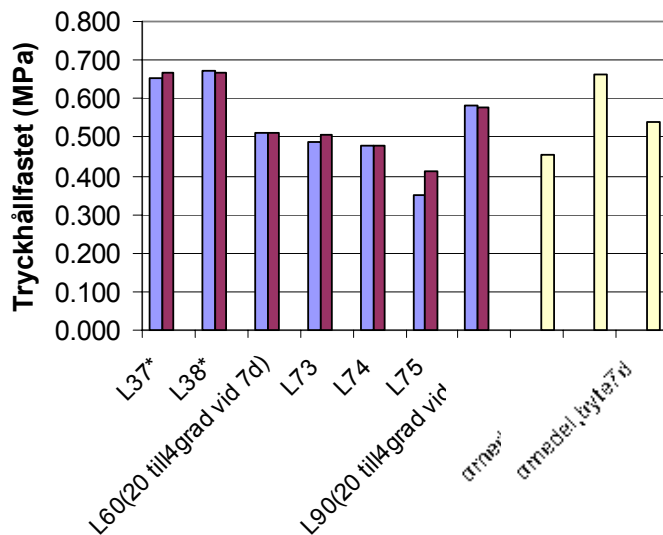
Brotthållfasthet

Att hållfastheten påverkas av klimatvariationer antyds i BKR. Där man föreskriver att murning med D-bruk kan ske då de första 14 dyggen har en medeltemperatur över dygnet, högre än +5°C. Alternativt under de första 6 dyggen där medeltemperaturen är högre än +10°C. Är då dessa gränser motiverade, och med endast temperaturen som utgångspunkt? Vad händer med brukets hållfasthet om bruket efter en tids hårdnande i en temperatur får antingen en högre eller lägre omgivande temperatur? Eller inverkar en låg temperatur i tidigt skede på brukets hållfasthet efter lång tid trots att temperaturen stigit?

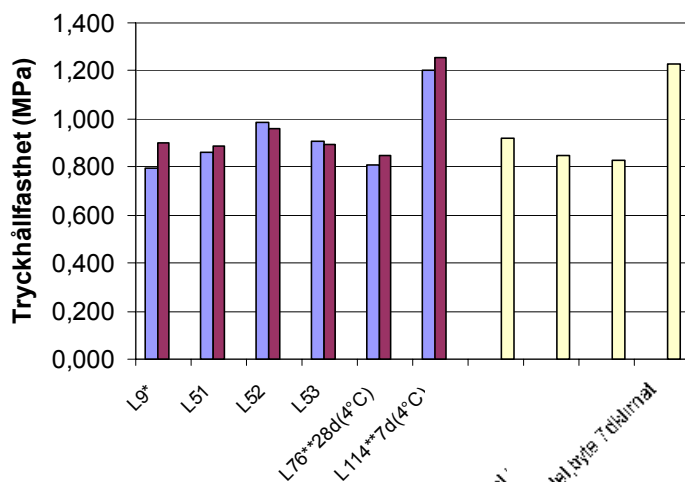
Provet visar att proven som bytte klimat mellan 4°C och till 20°C (75 % RF) efter 7 dygn, och som därmed förväntas få en lägre hållfasthet än om proven skulle

finnas i 20°C hela tiden, uppvisade endast Jurabruket (både 28 och 56 dygnsprov) en lägre hållfasthet. Lafargebruket uppvisade motsatta resultat för båda proven. Endast 56 dygnsprovet för KC-bruket uppvisade lägre hållfasthet, där klimatbytet ägde rum efter 7 dygn.

Klimatbyte i motsatt riktning dvs. från 20 till 4°C (75 % RF) efter 7 dygn, bör innebära en förväntad ökad hållfasthet enligt BKR. Detta var uppvisade endast Jurabrukets 28 dygnsprov, övriga gav tämligen lika eller något oväntat lägre hållfastheter.



Figur 6.68. 28 dygns prov för LaFarge 4°C, 75 % RF. Med ett inledande varmare klimat (första 7 dygnen) fås något högre hållfasthet än om proven befunnits i 4°C under hela 28 dygnsperioden. L37-38 har låg lufthalt. För prismorna L60 och L90 sker klimatbyte från 20 till 4°C efter 7 dygn. L73-75 är normala tryckprov lagrade i klimatet 4°C under alla 28 dygnen.



Figur 6.69. 56 dygns prov för Lafarge vid 20°C, 75 % RF. Här uppvisar ena resultatet (L114, byte vid 7 dygn) på högre värden trots inledande kallt klimat (4°C) än de som lagrats i 20°C hela tiden (L51-53), medan det andra resultatet (L76, byte efter 28 dygn i 4°C) uppvisar något lägre hållfasthet.

Ovan resultat är inte statistiskt säkra vilket antyds också på variationerna mellan hållfastheterna för provkropparna. Dock kan en något ökad temperaturkänslighet märkas i Jurabruket. Utav dessa provresultat kan inte BKR:s rekommendationer motiveras, där endast temperaturen nämns som kritisk variabel och "D-bruk" som generell brukstyp. Även litteraturen säger att hållfasthetsförsämringar orsakade av tidig inverkan av negativt klimat såsom kyla, ger bestående hållfasthetsförsämringar av kalkbruk. Detta kan inte provningen påvisa entydigt.

6.4. Försök på extra materialsammansättningar

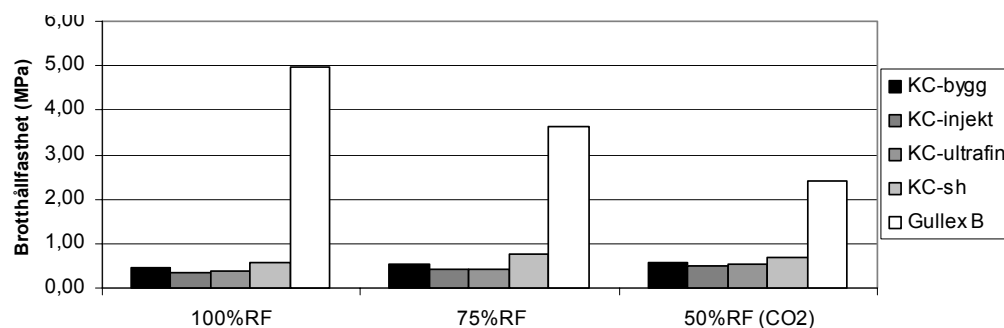
6.4.1 Allmänt

Låghållfasta murbruk kan bestå av många olika bindemedel. Det låghållfasta KC-bruket där bindemedlet består av en kalkdel och en cementdel. Cementdelen i huvudförsöken har varit snabbhårdnande cement av typen SH-cement. I detta kapitel analyseras hur olika cementtyper i bindemedlet som finns på marknaden inverkar på de mekaniska egenskaperna. Motivet till varför Injekteringscement 30 och Ultrafin 12 användes var att ge en snabb hållfasthetstillväxt på grund av den stora yta finmalningen medför. Avsikten var dock inte att höja sluthållfastheten utan ge en snabb tillväxt av hållfasthet som då skulle underlätta själva murningsmomentet, speciellt under kritiska klimat. Här uppstår ofta begränsningar för låghållfasta bruk, t.ex. i antal möjliga skift vid varje murtillfälle. Även i råd och normer för murning i dåliga klimat finns begränsningar i hur murbruket kan användas, vilket då möjligen skulle kunna förbättra brukets egenskaper och därmed bättre regler. Den vanliga standardcementen som idag kallas Byggcement, kan vara av intresse att jämföra med SH-cementen, därav användes också denna cementtyp.

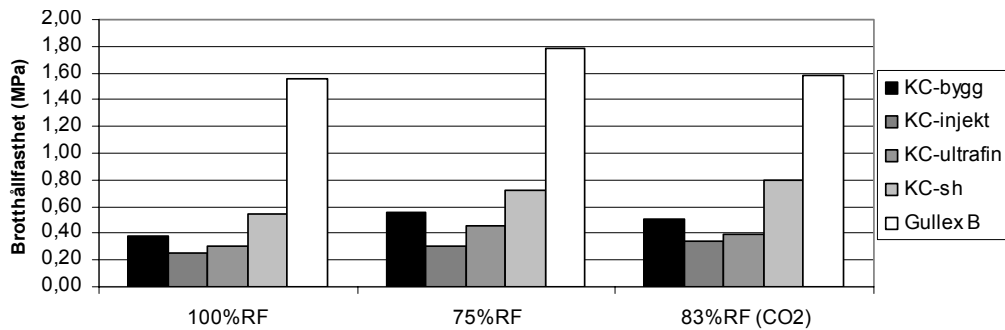
6.4.2 Tryckhållfasthet

1. Brotthållfasthet

Tryckhållfastheten för dessa tre olika bruk bedöms utifrån SH-cementbruket och B-bruket som referens. Den tidiga hållfastheten är av speciellt värde, men enligt provningen uppvisar både Ultrafinbruket och Injekteringsbruket en lägre tryckhållfasthet efter 7 dygn. Trots att Byggcementen bör ha en mindre hållfasthetstillväxt uppvisar detta bruk något högre värden än Ultrafin- och Injekteringsbruket. Detta gäller även vid låg temperatur, som Figur 6.71 visar.



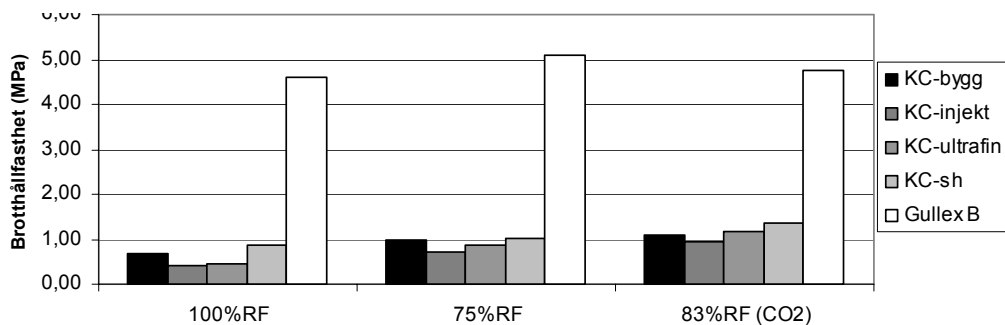
Figur 6.70. Tryckhållfasthet efter 7 dygn i temperaturen 20°C för extra brukssammansättningar i jämförelse med B- och KC-sh bruket i huvudförsöket.



Figur 6.71. Tryckhållfasthet efter 7 dygn i temperaturen 4°C för extra brukssammansättningar i jämförelse med B- och KC-sh bruket i huvudförsöket.

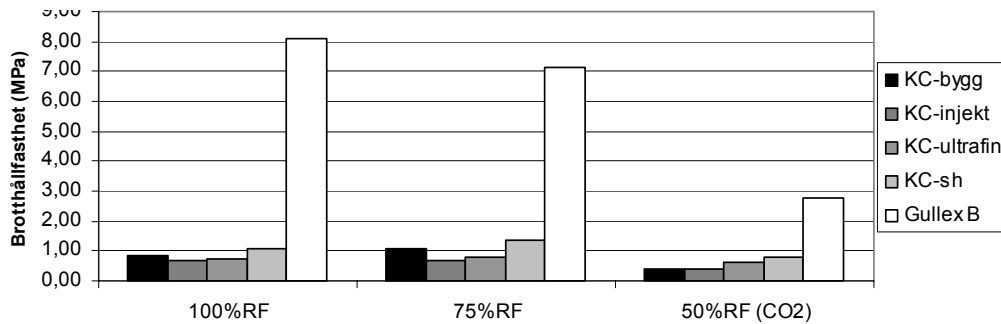
Orsaken till denna lägre hållfasthet kan bero dels på för hög andel finmaterial, eller att en del av den tidiga reaktionen redan ägde rum under blandningsfasen av bruket. Det var ett visst hårdnande som visade sig under en kort tid i blandaren. Detta varade endast under en kort tid när vatteninblandningen pågick. Provprismorna som bestod av Injekterings- och Ultrafinbruk upplevdes också mer porösa vid själva provningen. Det verkar alltså inte öka hastigheten på hållfasthetstillväxten med mer finmalen cement, vilket provningen visar för Injekterings- och Ultrafinbruket. Även om så skulle vara fallet blir kvaliteten på bruket sämre än t.ex. SH-cement. Injekteringsbruk och Ultrafinbruk uppvisar ganska lika hållfasthetsvärden inbördes. Dock uppvisar Ultrafinbruket generellt något högre tryckhållfasthetsvärden.

Tryckhållfasthetsresultaten vid 28 dygn uppvisar liknande förhållande mellan de olika KC-bruken som efter 7 dygn, vilket visas i Figur 6.72 nedan.



Figur 6.72. Tryckhållfasthet efter 28 dygn i temperaturen 4°C för extra brukssammansättningar i jämförelse med B- och KC-sh bruket i huvudförsöket.

I allmänhet har SH-bruket högst hållfasthetsvärden i jämförelsen mellan de olika KC-bruken. I goda klimat där inte alltför låga luftfuktigheter förekommer, verkar dock byggcementbrukets tryckhållfasthet uppvisa samma värden som SH-bruket.

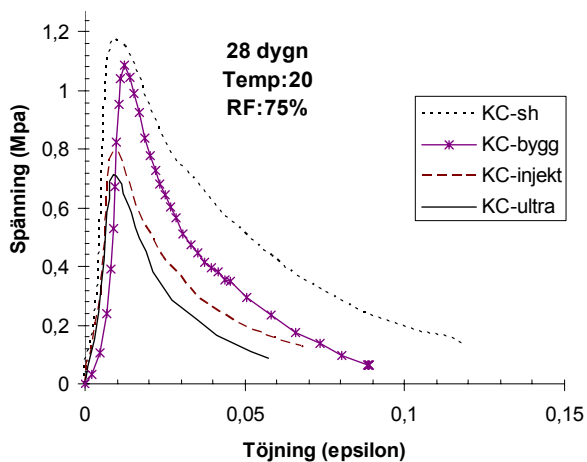


Figur 6.73. Tryckhållfasthet efter 56 dygn i temperaturen 20°C för extra brukssammansättningar i jämförelse med B- och KC-sh bruket i huvudförsöket.

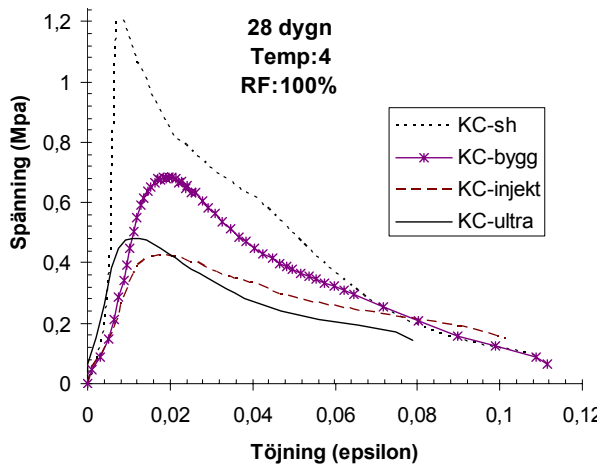
En förklaring till att Injekterings- och Ultrafincement inte medför några vidare fördelar jämfört med exempelvis SH-cementen när man jämför dess hållfasthet och dess tillväxt är att dessa finmalda cementbindemedel är i princip finmalda Anläggningscement som är ett lågvärme utvecklande cement med låg halt aluminater och låg halt alkalier vilket således ger ett långsamt bruk (Blank, 2005). Dock skulle det vara av intresse hur man vidare skulle kunna förbättra ett syntetiskt hydrauliskt bruk genom endera eller kombinera cementeffekten med en puzzolan effekt.

2. Arbetskurvan

Arbetskurvorna för dessa extra brukssammansättningar är framtagna ur tryckprovningen vid 28 och 56 dygn (gäller även e-modulen). Sambandet med tryckhållfastheten som berördes i huvudförsöken, avgör utseendet på kurvan. Dock kan man se att deformationsenergin som bruket upptar, vilket beskrivs av den ytan under arbetskurvan är relativt liten för Injekterings- och Ultrafinbruket i jämförelse med övriga bruk med liknande tryckhållfasthet. Det är också så att e-modulen (lutningen på kurvan) i stort är samma som de brukerna med högre tryckhållfasthet, se Figur 6.74. Detta innebär att bruket är hårt och sprött, tillskillnad mot exempelvis Lafargebruket, som har en mer utjämnad kurva. I övrigt kan nedan figurer ge bra exempel på hur de olika brukens arbetskurvor förhåller sig till varandra. Figur 6.74 beskriver ett normalt klimat, medan Figur 6.75 beskriver ett mer kritiskt klimat.

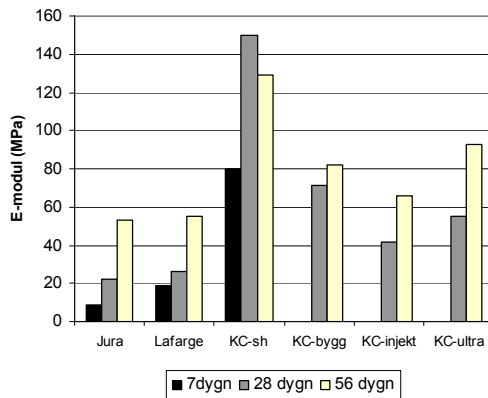


Figur 6.74. Arbetskurvor för extra brukssammansättningar efter 28 dygn i klimatet 20°C, 75 % RF. Jämför med KC-sh brukets arbetskurva som är streckad.

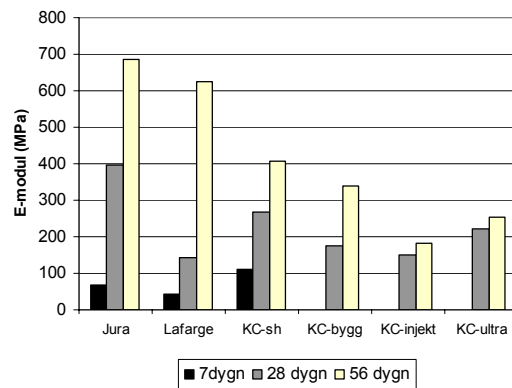


Figur 6.75. Arbetskurvor för extra brukssammansättningar efter 28 dygn i klimatet 4°C, 100 % RF. Jämför med KC-sh brukets arbetskurva som är streckad som påverkas mindre av klimatet.

Elasticitetsmodulen för dessa olika KC-bruk varierar beroende på klimat. Vid de mest kritiska klimatena (4°C, 100 % RF samt 20°C, 50 % RF) ligger e-modulen mellan 50-100 MPa för Ultrafin- och Injekteringsbruket. Även Byggcementbruket ligger i detta intervall, fast i övre delen av intervallet. SH-cementbruket har generellt mellan 50-100 % högre e-moduler än övriga. I de ovan nämnda kritiska klimat, ligger SH-cementbrukets e-modul på mellan 100 och 150 MPa. I mer gynnsamt klimat kan e-modulen uppgå till över 400 MPa för SH-bruket (4 C, 83 % RF), se Figur 6.77 nedan.

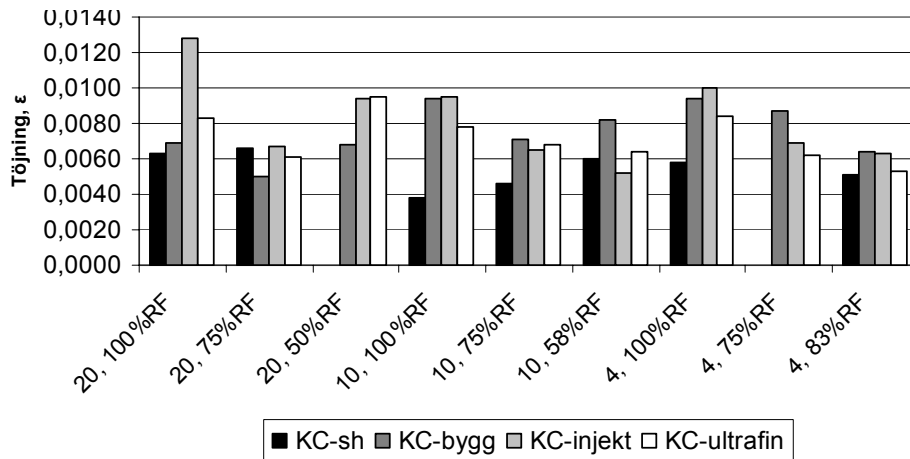


Figur 6.76. E-modul vid 4°C, 100 % RF.



Figur 6.77. E-modul vid 4°C, 83 % RF och CO₂.

Deformationen eller töjningen. Utifrån elasticitetsmodulens och tryckhållfasthetens medelvärden beräknades töjningsvärden som redovisas i Figur 6.78 nedan. Större töjning för de svagare bruket och generellt mindre töjning för det hårdare SH-bruket. Värdena visar också att trots Byggcementbrukets högre tryckhållfasthetsvärden jämfört med Injekterings- och Ultrafinbruket, får Byggcementbruket oftast större töjning eller deformation.



Figur 6.78. Deformationsmedelvärden beräknade från brotthållfastheten och e -modulen vid åldern 28 dygn.

6.4.3 Karbonatiseringsdjup

Karbonatiseringen följer mönstret från huvudförsöken, där i stort inte karbonatiseringsfronten har nått mycket djupare än någon eller några millimeter efter 56 dygn. Även en ökad karbonatiseringsbenägenhet uppvisar de prov som lagrats i den lägre temperaturen med 83 % RF.

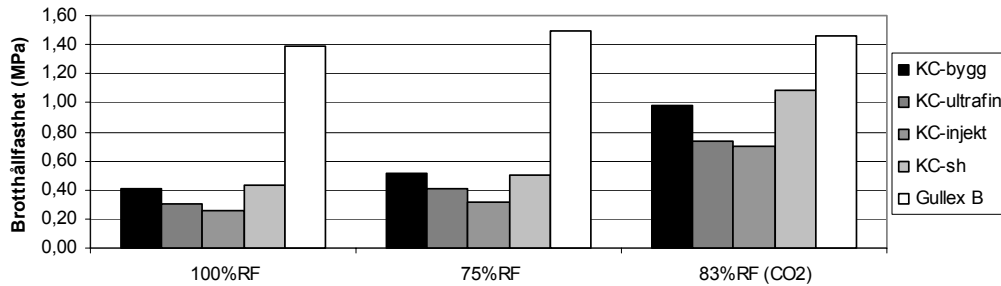
Tabell 6.3. Sammanställning av medelvärden av karbonatiseringsdjupen för extra bruksblandningar, mätt i mm. Medelvärden inom parentes är osäkra eftersom de innehåller värden med större spridning.

7 dygn	20°C	10°C	4°C
KC-sh	0.1	0.4	0.1
KC-bygg	0.2	0	0
KC-injekt	0.2	0.1	0.1
KC-ultra	0.1	0.1	0
28dygn			
KC-sh	0.8	0.8	3.8
KC-bygg	0.2	0.1	1.7
KC-injekt	0.1	0.2	1.2
KC-ultra	0.1	0	2.8
56 dygn			
KC-sh	0.2	0.7	(4.3)
KC-bygg	0.8	0.5	1.8
KC-injekt	0	0	(4.2)
KC-ultra	0.1	0	3.5

6.4.4 Böjdraghållfasthet

Brotthållfasthet

Böjdraghållfastheten följer även dessa bruk ett proportionellt förhållande till tryckhållfastheten. Nedan figur är ett typiskt exempel på storleksordning och hur bruken förhåller sig mot varandra när det gäller böjdraghållfastheten. Böjdraghållfastheten för dessa extra bruksammansättningar finns redovisad i bilagan ”Sammanställning”.



Figur 6.79. Böjdraghållfasthet efter 28 dygn i temperaturen 4°C.

6.4.5 Spridning av resultat

Spridningen av resultaten är liten, endast 2-3 resultat av totalt 27 resultat för varje bruksort har en standardavvikelse som överstiger 10 % av medeltryckhållfastheten. Huvuddelen hamnar under 5 %. Ytterligare bättre spridningsfrekvens har böjdragresultaten där ingen standardavvikelse överstiger 10 % av medelböjdraghållfastheten. Det kan ytterligare tilläggas att mindre antal prov är utförda för dessa extra bruksblandningar. Kortfattat har en provprisma i varje klimat vid 7 respektive 56 dygn provats. Två provprismor har provats vid 28 dygn i respektive klimat. Dock förekommer avvikelser i antal provade prismor. Ytterligare information finns i bilagorna ”Översikt” och ”Provresultat”. Krympningsprovningen är inte utförd på dessa extra brukssammansättningar.

6.5. Försök på murpelare

6.5.1 Tryckhållfasthet

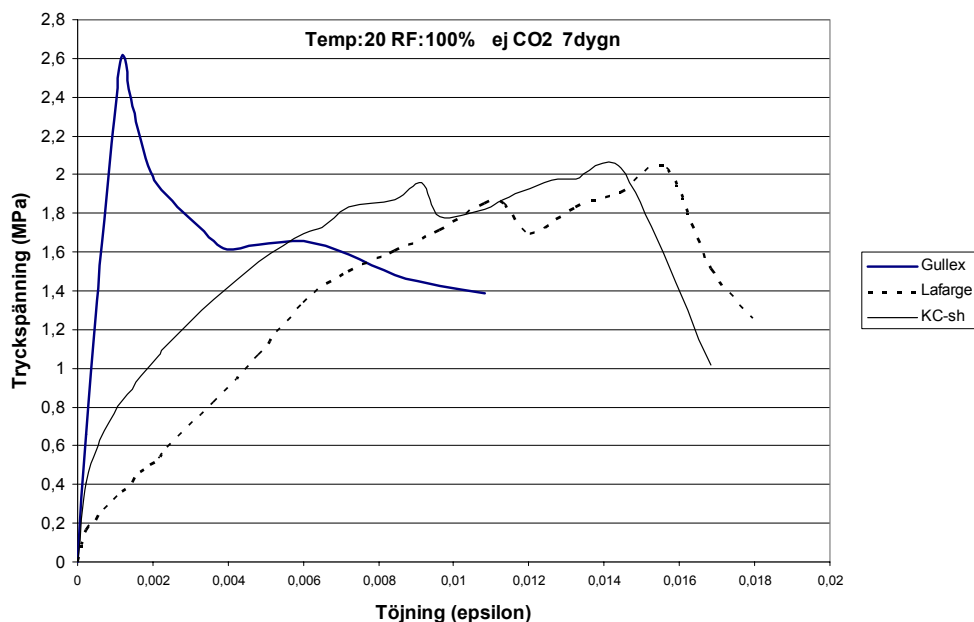
Murpelarna har lagrats i klimaten 20°C och 4°C. Provningsen av bruksprismorna för dessa klimat kan användas som referens till murpelarresultaten. Redan den tidiga tryckhållfastheten efter 7 dygn, uppstår stora skillnader mellan bruksprismaproven och murpelarna. Det visar sig att B-brukets höga tryckhållfasthet inte kan tillvaratas utan begränsas av lecablockets lägre hållfasthet. Det visar sig också att D-bruken som har en betydligt lägre hållfasthet i tidig ålder än lecablocket, får en ökad hållfasthet i ett sådant murverk. Detta kan bero på blockens sammanhållande förmåga samt att blocken medverkar till brukets torkning. Även i väldigt fuktiga klimat sker en betydande hållfasthetsökning efter 7 dygn för murpelarna, jämfört med bruksprismorna.

Brottsdeformationens storlek är ca 1.2-2 ‰ för B-bruket och 9-11 ‰ för D-bruken. Följande intervall av deformationsvärden beroende på vilket D-bruk som avses vid tidig ålder, uppvisade provningen:

Jurabruket: 2-7 ‰

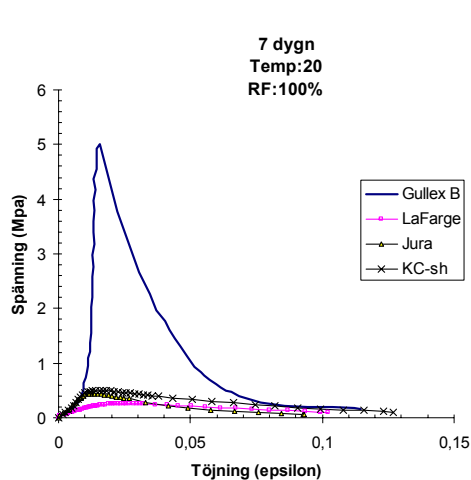
KCsh-bruket: 5-13 ‰

Lafargebruket: 5-11 ‰

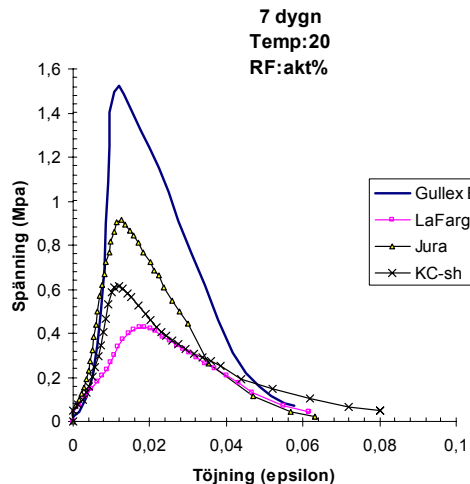


Figur 6.80. Arbetskurvor för murpelare murade med Lafarge, KC-sh och B-bruk (Gullex) efter 7 dygn. Klimatet är 20°C och 100 % RF. D-bruken uppvisar större deformationer trots marginellt lägre brotthållfasthet i förhållande till B-bruket. Jämför även med prismaproven i Figur 6.78.

Brottsdeformationerna minskar med några promille för B-bruket jämfört med prismaprovet eftersom inte lika hög tryckhållfasthet nås här. Denna minskning uppvisar även Lafargebruket, dock beroende på var brottlasten på kurvan definieras. KC-brukets brottdeformation i murpelaren ökar istället med några promille jämfört med prismaprovet.

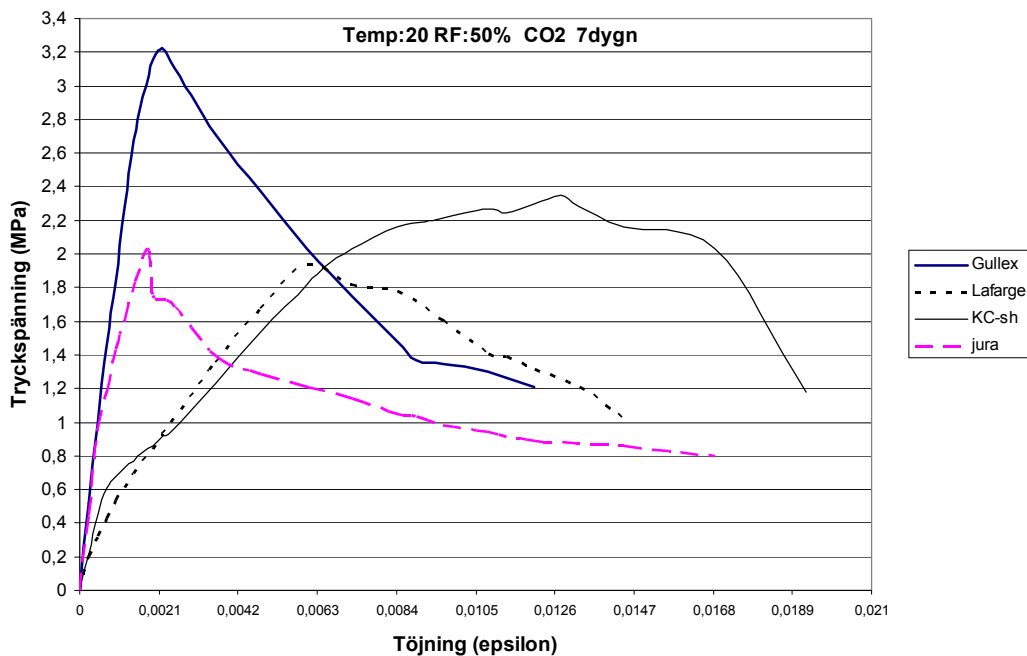


Figur 6.81. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.80 ovan. Arbetskurvorna uppvisar stora skillnader jfr med murade lecapelare.



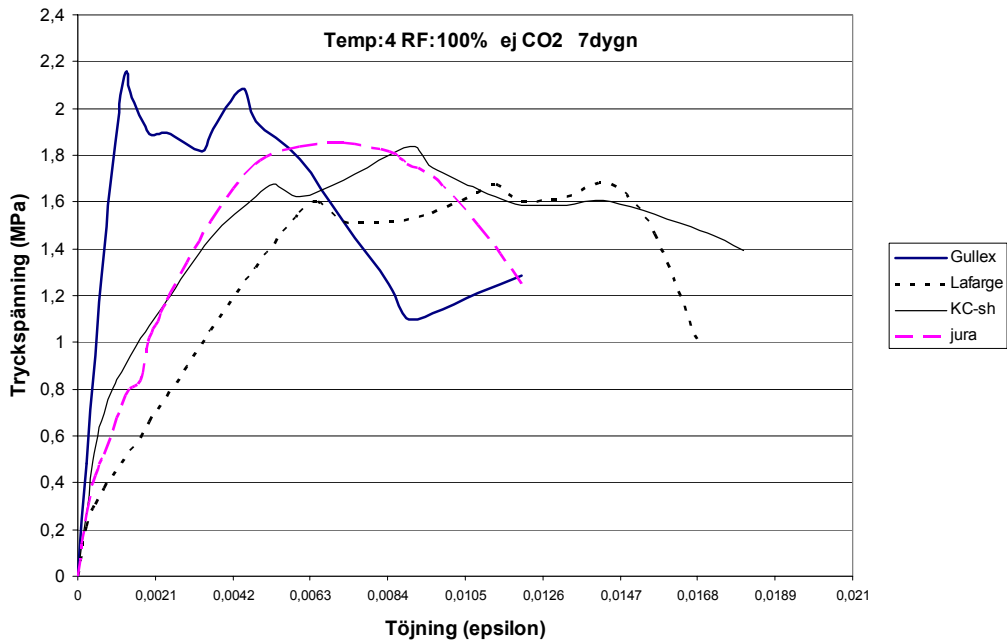
Figur 6.82. Motsvarande provprismaprovkurvor till Figur 6.83 nedan.

Även då B-brukets tryckhållfasthet från provningen med prismorna ligger under lecablockens tryckhållfasthet (ca 3 MPa) som inträffar vid ogynnsamt klimat, medverkar blocken till att även B-bruket får högre tryckhållfasthet i ett murverk. Ur nedan Figur 6.83 kan man utläsa en halverad deformation för samtliga bruk jämfört med prismorna, dock inte för KCsh-bruket som tillåter sig deformeras med en konstant brottlast utan att tappa bärighetsförmågan.

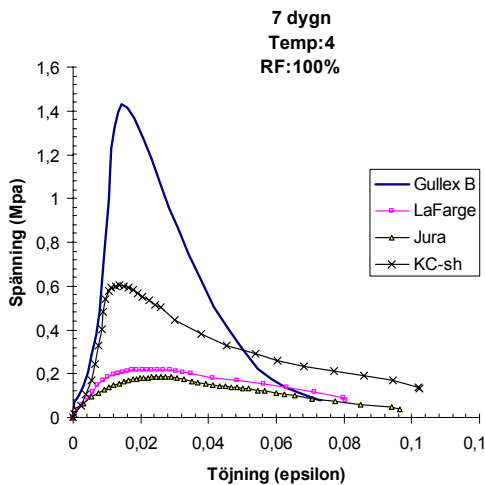


Figur 6.83. Arbetskurvor för murpelare murade med D- och B-bruk efter 7 dygn. Klimatet är 20°C och 50 % RF och tillgång till CO₂, högre hållfasthetsvärden i detta torra klimat än det slutna fuktiga i övrigt fås liknande resultat dock avviker Jurakurvan vilket kan tyda på fel i provningen.

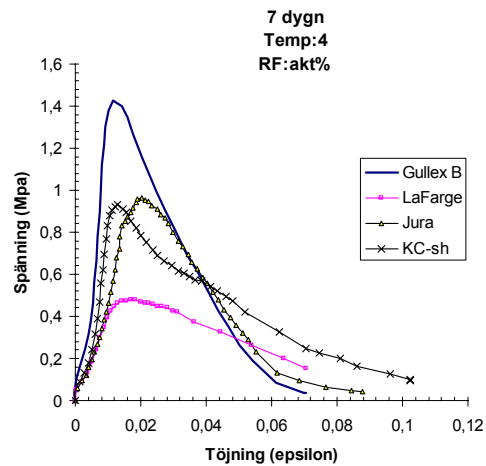
Även vid ogynnsamma klimatförhållanden där murning med D-bruk begränsas i BKR, hamnar den tidiga tryckhållfastheten på förvånansvärt höga värden, mellan 1.6-1.8 MPa. Detta trots att tryckhållfasthetsvärden från bruksprismorna bara uppvisar värden mellan 0.2-0.6 MPa efter 7 dygn.



Figur 6.84. Arbetskurvor för murpelare murade med D- och B-bruk efter 7 dygn. Klimatet är 4°C och 100 % RF, ett kritiskt klimat för murning. Skillnaderna mellan hållfasthetsvärden utjämnas där B-bruket sjunker något jämfört med den högre temperaturen, men D-bruken förblir på samma nivå trots denna låga temperatur.

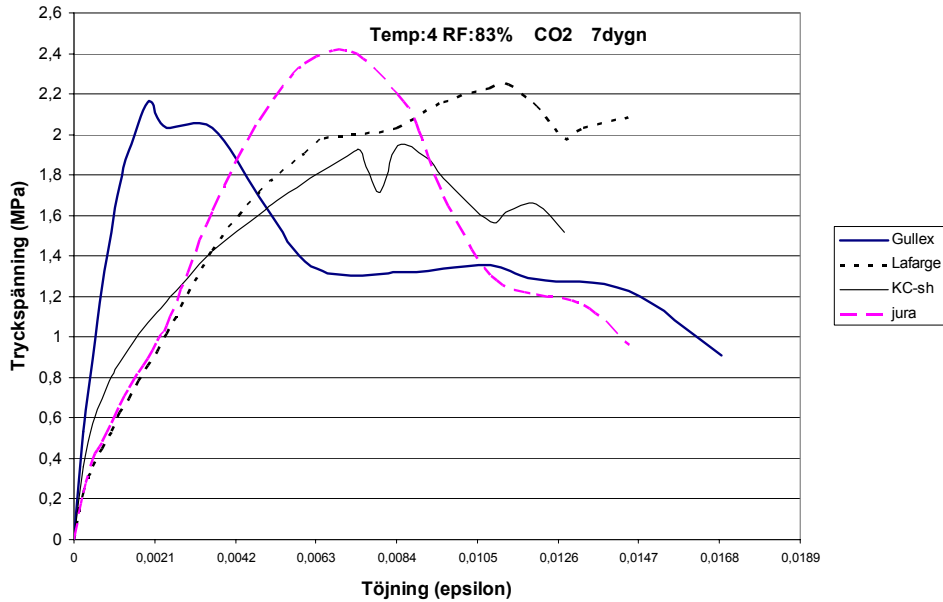


Figur 6.85. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.84 ovan.



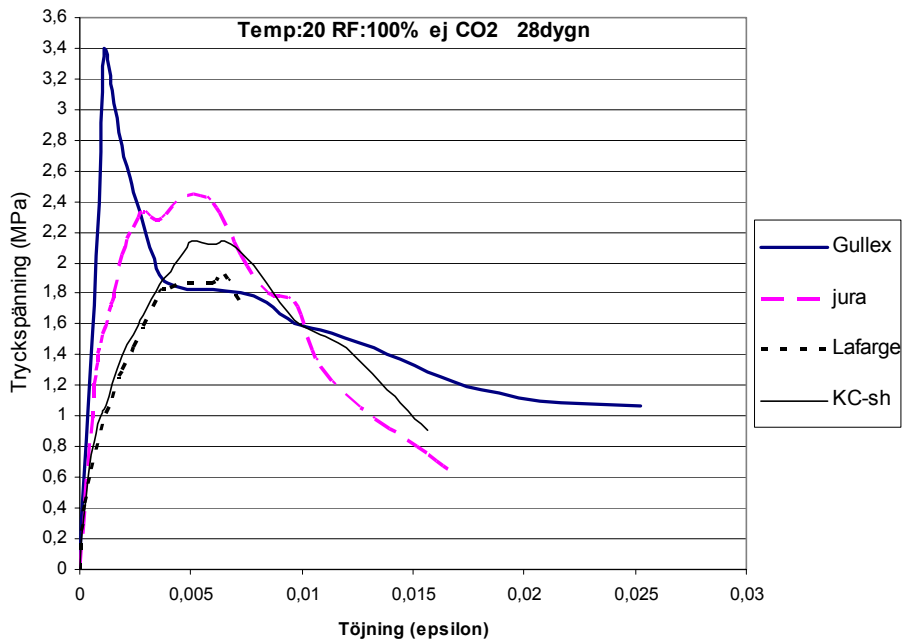
Figur 6.86. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.87 nedan.

Även Lafargebruket kan nå högre hållfasthet än B-bruk. Trots detta medger Lafargebruket (även övriga D-bruk) en större deformation, vilket är positivt ur sprickbildningshänsyn.

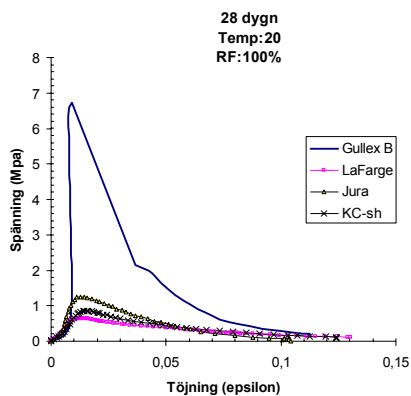


Figur 6.87. Arbetskurvor för murpelare murade med D- och B-bruk efter 7 dygn. Klimatet är 4°C och 83 % RF med CO₂ tillgång. Skillnaderna mellan hållfasthetsvärden utjämnas där B-bruket sjunker något jämfört med den högre temperaturen, men D-bruken förblir på samma nivå trots denna låga temperatur.

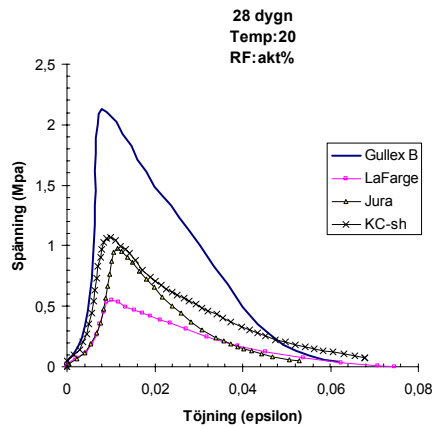
Tryckhållfastheten vid 28 dygn uppvisar liknande förhållanden mellan brukerna som vid 7 dygnsprovet. En viss hållfasthetsökning har skett, men den är relativt liten.



Figur 6.88. Arbetskurvor för murpelare murade med D- och B-bruk efter 28 dygn. Klimatet är 20°C och 100 % RF. Hållfasthetsvärdena ökar jämfört med 7 dygnsprovet samt med minskade deformationer. Skillnaderna mellan hållfasthetsvärden något större än vid 7 dygn på grund av B-brukets större ökning. Dock begränsas B-brukets hållfasthet kraftfullt av lecablockets hållfasthet, jämför Figur 6.89 nedan.



Figur 6.89. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.88 ovan.

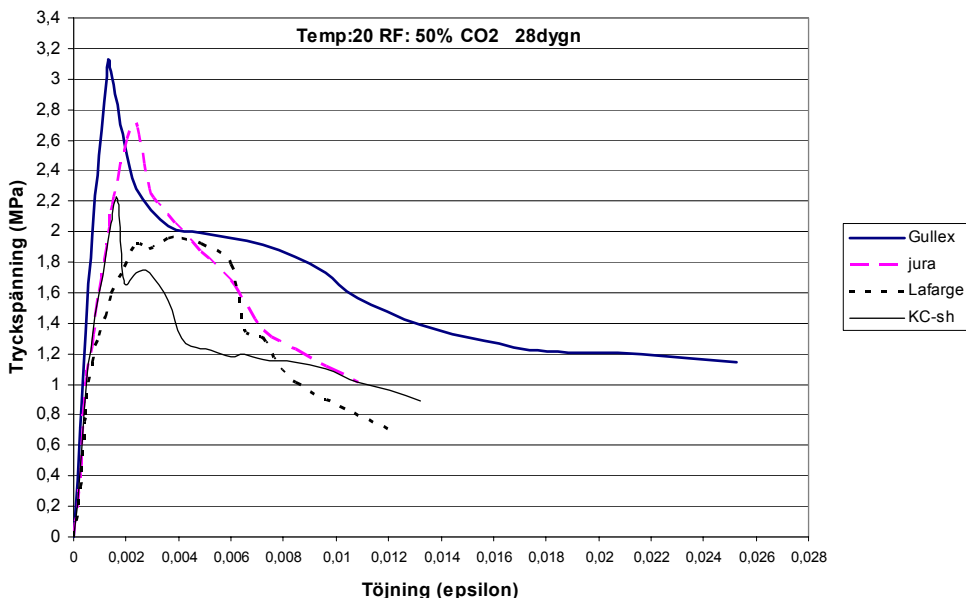


Figur 6.90. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.91 nedan.

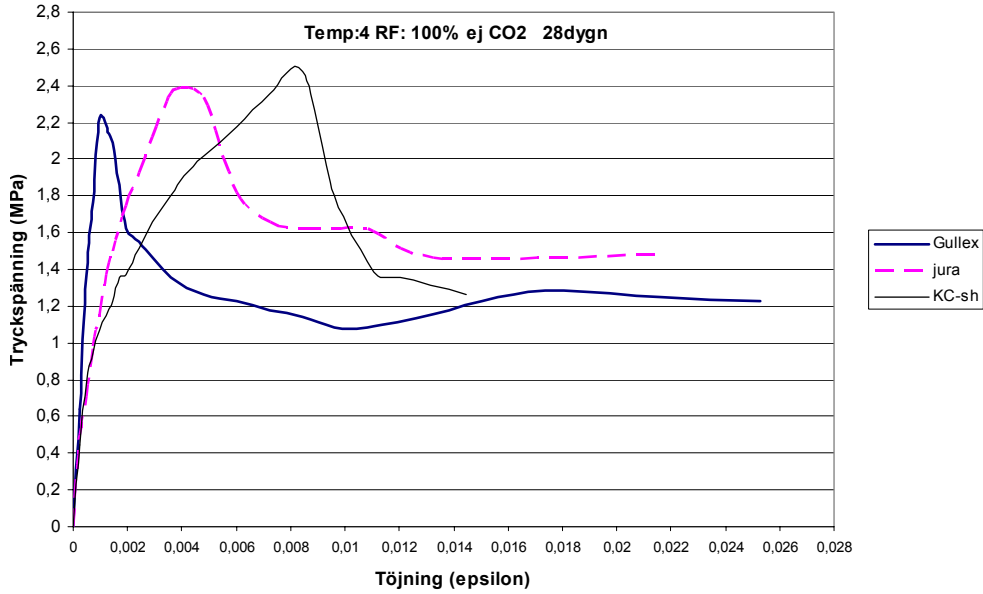
Skillnaderna bruken emellan minskas med blockmurning, samtidigt som alla brukens brott hållfastheter höjs. Detta illustreras i Figur 6.91 nedan, där B-bruket inte skulle få högre värde än drygt 2 MPa för ett tryckprov på en bruksprisma, se Figur 6.90.

Brottsdeformationens storlek för bruken är stort samma som vid 7 dygnsprovet, fast något lägre. B-bruket har ca 1-1.5 ‰ och D-bruken uppvisar följande intervall på deformationsvärden efter 28 dygn beroende på klimat:

- Jurabruket: 2.5-4 ‰
- KCsh-bruket: 2-8.5 ‰
- Lafargebruken: 2.5-4.5 ‰

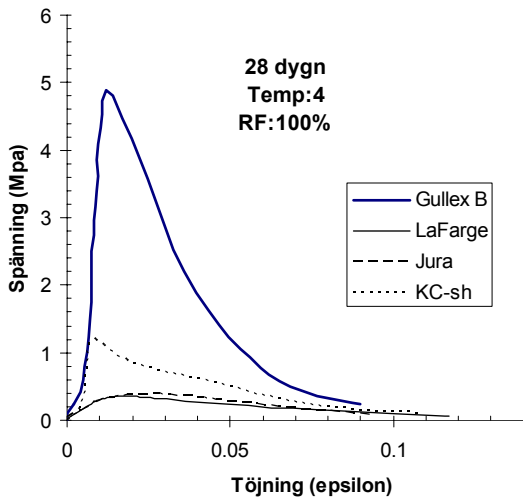


Figur 6.91. Arbetskurvor för murpelare murade med D- och B-bruk efter 28 dygn. Klimatet är 20°C och 50 % RF med CO₂ tillgång. Hållfastheten för pelarna höjs för alla bruk. Skillnaderna mellan hållfasthetsvärdena utjämnas också.

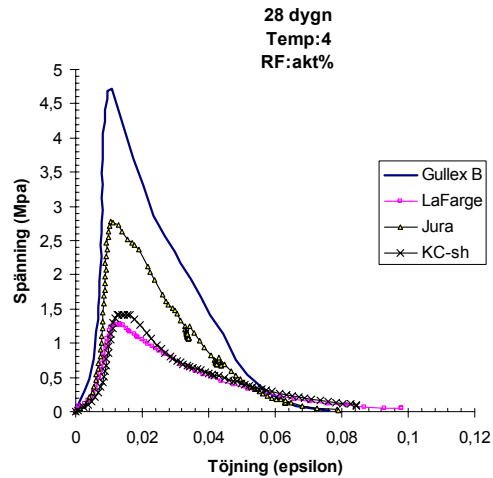


Figur 6.92. Arbetskurvor för murpelare murade med D- och B-bruk efter 28 dygn. Klimatet är 4°C och 100 % RF. D-bruken uppvisar högre värden än B-bruket som inte har högre värden än det var vid 7 dygn.

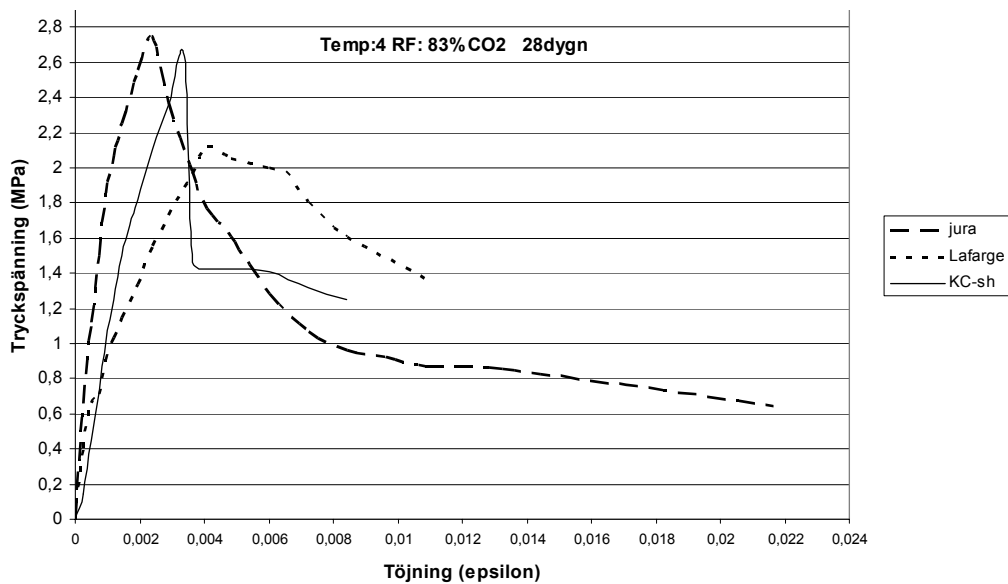
Det visar sig att något större deformationer inträffar i murpelarna jämfört med provningen av bruksprismorna. Endast en liten hållfasthetsökning (0.2-0.4 MPa) jämfört med 7 dygnsprovet, uppvisar 28 dygnsprovet. Även en något minskad deformation visar 28 dygnsprovet, där arbetskurvan blir mer spetsig, speciellt för Jura- och KC-bruket. Egenskaperna liknar därmed mer B-bruket efter längre tid där brottet blir allt tydligare definierat och får en mer momentan bärighets försämring efter brott.



Figur 6.93. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.92 ovan.



Figur 6.94. Motsvarande provprismaprov till Figur 6.95 nedan.



Figur 6.95. Arbetskurvor för murpelare murade med D-bruk efter 28 dygn. Klimatet är 4°C och 83 % RF med CO₂ tillgång. Hållfasthetsvärden har ökat och deformationen har kraftigt minskat från 7 dygnsproven.

6.5.2 Brottbilder

Murpelarna som är uppbyggda av tre ovanpå, sammanmurade lecablock fick en liknande brottsutvecklingen oavsett bruk. Eftersom tryckytorna på pelaren binds samman av cementbruket och träfiberskivan utgör det mittersta blocket den mest verkliga och representativa delen av en murad konstruktion. Ofta startade själva brottet i det mittersta blocket eller dess murfogar eller i anslutning till detta.



Bild 6.1. Brottsutveckling av en Jurapelare (J 12) vid 28 dygn. Bild 6.1 visar hur brottet inleds med sprickor vid fogarna, längs ytterkanterna. Det knäpper i blocken innan sprickorna visar sig, vilket tyder på att blocken har nått sin brottgräns. Själva brottet sker momentant, men inte så explosivt som för de pelarna som murades med B-bruk (Ludvigsson, 2004).

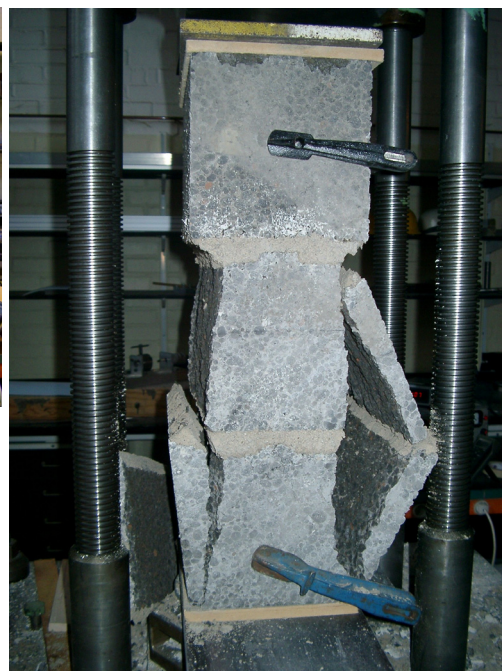


Bild 6.2 Ett senare skede av hur pelaren från Bild 6.1 fortsätter deformeras efter brottet, där en tydlig brottbild av de typiska brottytor som uppkom vid tryckproven (Ludvigsson, 2004).

Bild 6.3-6 Sprickutveckling på en Lafargebruk murad pelare efter 7 dygn.

Bild 6.3 Sprickorna inleds med att bruk deformerar kring blockhörnen, och vidare in längs fogen. Deformationen fortsätter i blocken upp längs sidorna ca 5 cm in. Inte alla block fick jämna symmetriska brottbilder. Här går sprickan ut till ytan som en kil.

Bild 6.4 Fogen deformerar ut längs brottytan som går diagonalt in mot det mittersta blocket. Även en central spricka utbildades därefter i övre blocket

Bild 6.5 Något senare faller blocken helt samman längs brottytorna.

Bild 6.6 Pelaren efter avslutat tryckprov, då ingen bärförmåga längre finns.



Bild 6.3. (Ludvigsson, 2004).

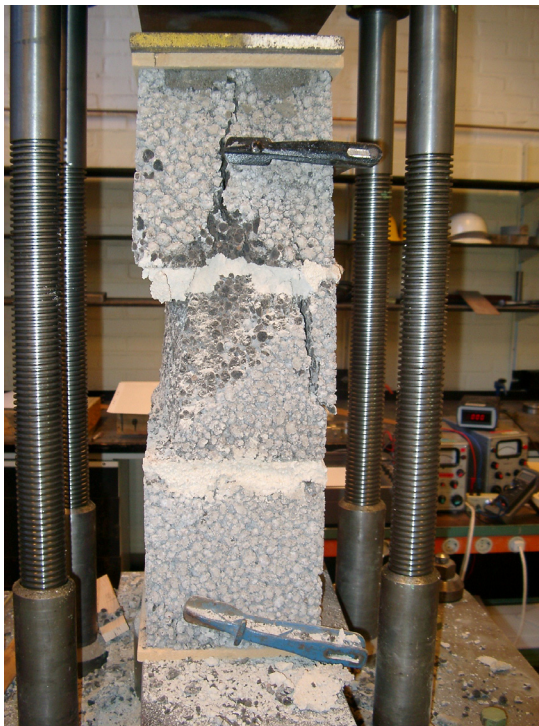


Bild 6.6. (Ludvigsson, 2004).



Bild 6.4. (Ludvigsson, 2004).



Bild 6.5. (Ludvigsson, 2004).

I någon av murpelarna kunde ena fogen vara något tjockare än den andra på pelaren, vilket resulterade i att det initiala brottet tog plats i den tjockare fogen.



Bild 6.7. Tidig sprickutveckling, vid 28 dygnprov (Ludvigsson, 2004).



Bild 6.8. Mer utvecklade sprickor från samma pelare som föregående bild (Ludvigsson, 2004).

Bild 6.7-8 Typisk sprickutveckling för en murpelare murad av B-bruk. Här sker sprickuppkomsten explosionsartat där blocket får en mångtydig sprickfördelning.

6.6. Färg och nyans

Färg och nyans på bruksprismorna varierade beroende på bruksort. Nedan bilder visar hur nyansen varierar i ett och samma klimat för alla bruksprismor. Samma klimat är en förutsättning för denna jämförelse annars skulle skillnader beroende på hur bruket är uttorkat eller hur länge bruket härdat ge skillnader i nyanser. B-bruket (Gullex) har den mörkaste tonen av bruken. Jurabruket har något ljusare gråfärg eller nyans. Ytterliggare ljusare grå har Lafarge-, KC-sh och KC-byggbruket, som i stort har samma nyans. De ljusaste proven uppvisar Injekterings- och Ultrafinbruket.



Bild 6.9. Bruksprismor i klimatet 20°C, 75 % RF efter 28 dygn. Från vänster går det från mörkare grå till ljusare gråton. Blixt inverkar något på hur bilden representerar verkligheten (Ludvigsson, 2004).

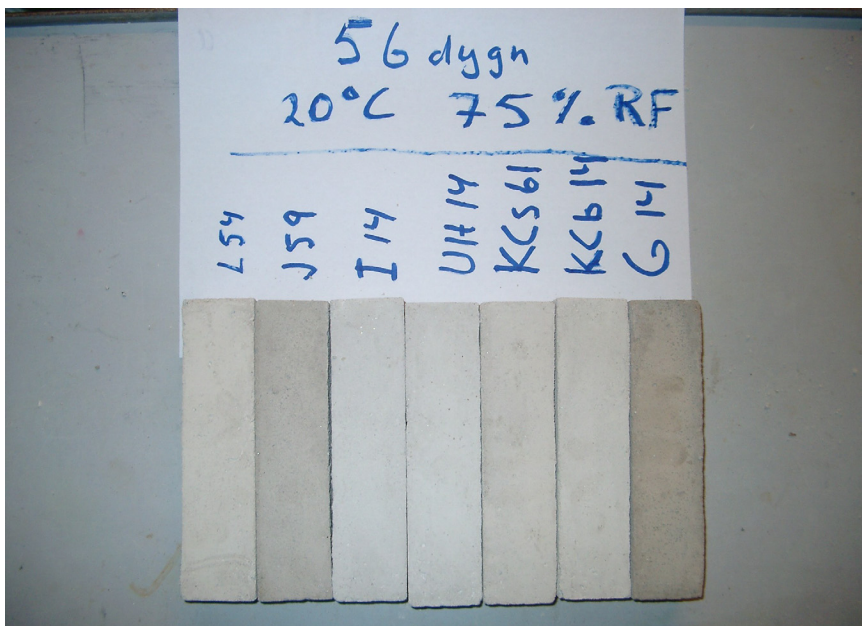


Bild 6.10. Samma klimat som ovan, fast vid 56 dygn. Här framgår nyansskillnaden tydligare och mer verklighetstroget (Ludvigsson, 2004).

7. Slutsatser

Provningarna visar att låghållfasta D-bruk är ett bra alternativ till det vanligen använda B-bruket. Nyttan av den högre hållfastheten B-bruket uppvisar kommer ej till användning i murning av lecablock. Murade lecablock med D-bruk får högre hållfasthet jämfört med hållfastheten hos prismaprov av samma brukstyp. D-bruket ger tillräcklig hållfasthet även vid tidig ålder. Jämfört med B-bruk som skiljer sig hållfastheten marginellt från D-bruket vid sådan murning. Oavsett provade klimat uppvisar ett murverk murat med D-bruk hållfasthetsvärden över 1,6 MPa redan vi 7 dygn.

Arbetskurvan för tryckproven på D-bruken visar att de kan ta upp betydligt större deformationer än B-bruket efter brottlast. Det innebär att D-bruket har större energiupptagande förmåga (deformationsarbete) vilket också visar sig i murverk.

Arbetskurvan visar också hur deformationen för D-bruket ger en gynnsammare sprickfördelning, med mindre stora sprickor. Det leder till ett minskat behov av att armera ett murverk som ger såväl arbetstekniska och tekniska fördelar som ekonomiska.

Inverkan av låg temperatur (+4°C) på hållfastheten på D-bruk är betydligt större vid provning av provprismor än vid provning med murblock. Inverkan vid provning på murblock är i själva verket likvärdigt med B-bruket. Liknande bestämmelser som gäller för B-bruk bör alltså kunna tillämpas vid murning med D-bruk.

Jämförs de olika D-bruken framgår att känsligheten för temperatur och RF varierar kraftigt. Speciellt vid låg temperatur och mättad RF är ett bruk med hydrauliskt kalk som bindemedel, speciellt Jurakalk, mer känsligt än ett D-bruk baserat på kalkcement (KC).

I BKR anges D-bruk som en bruksklass och kvalitetsklass. Hållfastheten varierar betydligt beroende på bindemedel, t.ex. uppvisar D-bruket med hydrauliska kalken Lafarge Chaux Blanc lägre hållfasthet än vad både Jurakalk och Kalkcement ger. Dock utjämnas skillnaderna för bruken provade i ett murverk.

Inverkan av RF kan påverka hållfasthetsutvecklingen mer än vad temperaturen gör. Detta gäller för såväl B-bruk som D-bruk.

Krympningen ger troligen inte upphov till lika allvarlig sprickbildning hos D-bruket. Dock är krympningen större för ett D-bruk, men den sker under det plastiska stadiet och vid tidig ålder. Därefter är krympningen relativt lika mellan D-bruk och B-bruk. Detta innebär att B-bruket, som har sin största krympning i senare ålder, får större risk allvarlig sprickbildning.

8. Diskussion

D-bruk är en bruksklass eller brukskvalitet definierat i BKR. Då avses ofta hydrauliskt kalkbruk. Dock bör man iaktta försiktighet beroende på vilken vilket bindemedel som används i bruket. Denna provning visar att det färska brukets egenskaper som beror på olika lufthalter och tillredningsbehov är olika beroende på bindemedel. Jurabruket gav höga lufthalter trots minimal blandtid, medan Lafargebruken och i viss mån också KC-bruket uppvisade motsatsen med låg lufthalt trots lång blandtid. Lufthalten är betydelsefull både ur hållfasthetssynpunkt, där lägre lufthalt ger högre hållfasthet, vilket provningen visade. Även ur beständighetsynpunkt där t.ex. frostsäkerhet erfordras. Lufthalten påverkar också karbonatiseringsmöjligheten för bruket, vilket gör att lufthalten är speciellt viktig för låghållfasta bruk som innehåller kalk. Även variationer på vattenbindetalet (vbt) beroende på vilket bindemedel som används för att få samma konsistens för de olika bruken i provningen. De cementbaserade bruken har i allmänhet högre vbt än bruken med hydrauliskt kalk som bindemedel, och då speciellt Jurakalken.

Kan D-bruk vara en bra klassificering på bruk med så många olika bindemedel? Det färska brukets egenskaper varierar och i sin tur inverkar på det hårdnade bruket. Det krävs alltså god kunskap om bruket och provningar för varje bindemedel som används. Det måste tilläggas att variationer på hållfasthet i bruksprismaproven jämnas ut och får mindre betydelse när D-bruk används i ett murverk, vilket murpelartestet visade. Detta bör vara en viktig slutsats i sammanhanget, som jag kommer till i slutet av diskussionen.

Tryckhållfastheten och då särskilt den tidiga hållfastheten för ett låghållfast murbruk begränsar möjligheten att använda bruket enligt BKR. Vid framförallt kritiska klimat då temperaturen är låg ca 5°C. Bruksprismaprovningsvärdena visar värden på lägst hållfasthet vid klimatet 4°C och i fuktmättat tillstånd. Jura- och Lafargebruken har här tryckhållfastheter kring 0.20 MPa, medan KC-bruket har 0.54 MPa. Referensbruken, B-bruket ligger kring 1.56 MPa. Det finns alltså en tydlig skillnad mellan den hydrauliska kalken och den cementbaserade KC-bruket. Under sådana förutsättningar verkar den hydrauliska kalken få ett senare hårdnande. Men att temperaturen skulle vara den faktor som är avgörande för den tidiga hållfastheten visar inte provningen. Vid motsvarande förhållande fast vid 20°C är tryckhållfastheten bara marginellt högre. Dock ökar Jurabrukets hållfasthet mer, vilket innebär att Jura är känsligare vid låga temperaturer. Tillsammans med temperaturen, men dock mer avgörande är den relativa fuktigheten, RF som möjliggör en första uttorkningen av bruket.

BKR anger två temperaturgränser som begränsar murning av D-bruk där medeltemperaturen på 5°C under den inledande 14 dygnsperioden måste säkerställas eller 10°C under de 6 första dygnen. Att skillnaden mellan hållfastheten skulle variera så mycket beroende på dessa temperaturgränser som skulle göra denna text motiverad, visar inte provningen vid 7 dygn.

Tryckhållfastheten vid 28 dygn ger lägre värden än de riktvärden för D-bruk (2.0 MPa) som BKR hänvisar till vid lagringstemperaturen 20°C och fuktmättat (100 % RF). Provningsvärdena gav följande tryckhållfasthetsvärden i motsvarande klimat och ålder:

Jurabruk:	1.08 MPa
Lafargebruk:	0.64 MPa

KC(sh)bruk: 0.83 MPa
B-bruk (Gullex): 6.7 MPa

Dessa lägre värden jämfört med BKR:s riktvärden, kan delvis bero på att provprismornas tryckyta (40x40mm²) är större än de av riktvärdet tryckta provprismor (25x25mm²). Viktigt är också hur mycket vatten som sugts bort med läskpapper i formen där provningen för riktvärdena har fler läskpapper använts och därmed högre uppsugning av vatten. Härmed blir mitt fall värsta tänkbara fallet, vilket är bra.

Att BKR hänvisar till gamla SBN godkännanderegler för tryckprovningen, upplevs både förlegat och missvisande. Detta eftersom både Europeanormen och övriga cementprovningar använder sig av provningsmetoder värden som bygger på provning av 40x40x160 prismor.

Bruksprismaprovningsvisade också att fuktiga klimat verkar positivt för KC- och B-bruket (bruk med cementinnehåll). Generellt har Jurabruket högst hållfasthet av de provade D-bruken, tätt följt av KC-bruket, medan Lafarge ligger på en lägre nivå.

Det hårdnade brukets egenskaper i litteraturen beskrivs ofta utifrån tryckhållfastheten. Detta understryker också denna provning, där framför allt böjdraghållfastheten och i viss mån också elasticitetsmodulen är proportionella mot tryckhållfastheten. Böjdraghållfastheten ligger kring 45 % av tryckhållfastheten för D-bruken medan det jämförande B-bruket ligger kring 35 %. Proportionaliteten för e-modulen skiftar beroende på klimat. Från det fuktmättade klimatet vid 4°C ligger e-modulen i intervallet 65-150 ggr större än tryckhållfastheten. De lägsta värdena tillhör de hydrauliska kalkbruken. I mer ideala klimat med högre temperatur och lägre fuktighet ligger intervallet mellan 130-200 ggr. Här har däremot Jurabruket de högsta värdena. B-bruket har ett liknande värde på 230 ggr.

Elasticitetsmodulen ligger drygt en tiopotens lägre än vad litteraturen anger. Dels har inte bruket sluthårdnat och dels kan provutrustning ge visst konstant fel, vilket kan vara några av orsakerna. Murbruk är inte ett elastiskt material, utan mer elastoplastiskt, därför kan dessa värden bara ge en viss uppfattning om dess elastiska egenskaper. Provningskurvan visar att arbetskurvan för D-bruken har betydligt mer flacka kurvor som inte sjunker så snabbt i bärighet efter brott som B-bruket gör. Detta gör att D-bruket kan ta upp laster som är relativt större än B-bruket, även efter brott. Det tyder på en omlagring, och fler mindre deformationer jämfört med B-brukets mindre, men mer koncentrerade deformationer. Därför är det viktigt att inte bara bestämma brukens brotthållfasthet utan desto större betydelse har hela arbetskurvan när ett bruk mekaniska egenskaper analyseras. Detta visar sig i murpelarproven av lecablock som jag återkommer till nedan i diskussionen. Deformationernas storlek för alla bruk ligger i intervallet ca 2-10 %. B-bruket befinner sig i nedre delen, och D-bruket i övre delen i intervallet.

Krympningen består både av en plastisk krympning innan bruket tillstyvnat, och den påföljande uttorkningskrympningen när bruket styvnat till. Självklart sker en uttorkning även i det plastiska stadiet, men både storlek konsekvens av krympningen skiljer sig beroende på när det sker och vilken brukstyp som avses. D-bruken har sin största krympningsandel de första 4 timmarna efter applicering av bruket, medan B-bruket först efter ett dygn går in i sin största krympfas. Storleksmässigt har D-bruken

2-3 % större plastisk krympning, men eftersom denna sker så tidigt hos D-bruket medför denna inga deformationer eller spricker utan enbart en omlagring av bruket. Däremot uttorkningskrympningen när bruket tillstuvnat och uppnått en viss hållfasthet kan medföra värre skada på ett bruk eftersom brukets hållfasthet motverkar omlagring och plastisk rörelse (högre hållfasthet för cementbaserade bruk). B-brukets största krympandel återfinns i detta stadium, då hållfastheten blivit större än D-brukets. Detta skulle troligtvis medföra en större sprickrisk med allvarligare konsekvenser. Dock är den absoluta uttorkningskrympningen i storlek fram till 56 dygn relativt lika mellan D- och B-bruken (ca 1 %).

I ett murverk av låghållfast mursten, exempelvis lecablock, utjämnas skillnaderna av tryckhållfastheten mellan D- och B-bruken. Detta visar provningen av murpelarna där tryckhållfastheten hos blocken begränsar B-brukets högre hållfasthet. Dessutom ökar D-brukens lägre tryckhållfastheter väsentligt. Detta sammantaget ger små hållfasthetsskillnader mellan de olika brukstyperna. Det gäller även vid tidig ålder för bruket, dock med något större hållfasthetsskillnader. Brukens deformationer från prismaproven är i stort detsamma. Det medför att trots nästan samma tryckhållfasthet har D-bruken ca 4-10 % enheter (4-6 ggr) större deformationsmöjlighet vid tidig ålder, och ca 1-7 % enheter (2-7 ggr) större deformationsmöjlighet efter 28 dygn. Intervallen beror på vilket D-bruk eller klimat som avses. Detta skulle innebära att nu gällande strama regler för D-bruket i BKR inte behövs i samma utsträckning. Det finns alltså inget motiv enligt dessa murpelarförsök att begränsa användningen för D-bruket både i vad det gäller klimat (temperatur), och vad det gäller användningsområde jämfört med B-bruket.

Man kan då fråga sig hur relevant en provprismaprovningsmetod både ifråga om att bestämma brukets hållfasthet och utifrån dessa värden klassificera bruket efter bruksklasserna A, B, C eller D. Nya entydiga provningsmetoder för varje användningsområde skulle istället vara bättre. Att bara prova brotthållfastheten utifrån uniforma provprismor och bruksammansättningar och utifrån dessa värden bestämma bruksklass kan ifrågasättas. Det räcker inte att bara analysera brotthållfastheten vid en analys av ett bruks mekaniska egenskaper. Arbetskurvan är av minst lika stor betydelse. Detta visade sig i de utjämnade hållfasthetsvärdena i murpelarproven. De låghållfasta egenskapernas fördelar, som framförallt visar sig i arbetskurvan efter brottet vid bruksprismaproven var troligtvis orsaken till de små hållfasthetsskillnaderna både mellan D-bruken och mellan D- och B-bruket. Hur kan BKR endast tillåta att D-bruk används i ”övriga väggar” när B-bruk inte begränsas utan kan också användas i källarväggar trots att enligt denna provning deras hållfasthet marginellt skiljer sig i ett murverk. Är inte D-bruk ett bättre alternativ på många fler användningsområden än som det är idag, där t.ex. bättre deformationsegenskaper erfordras och dessutom behövs ingen armering vilket både ger arbetstekniska och tekniska fördelar samt ekonomiska fördelar. Det går även att se hur klimatet inverkar mindre på D-bruken i ett murverk av lecablock som är. Är BKR:s reglering relevant med avseende på temperaturen, kanske om man vill vara på absolut säkra sidan. Men provningen av mer verklighetsnära murpelarna visar på små variationer av hållfastheten som beror på klimatet vilket inte bör ignoreras i detta sammanhang.

9. Förslag till fortsatt arbete

Under arbetets gång gavs olika uppslag och inspiration till fortsatt arbete som belyser ämnet murbruk och dess mekaniska egenskaper från olika infallsvinklar. Här följer några förslag, där behovet av mer forskning också är stort:

- Det finns idag inte mycket ny forskning inom mur- och putsbruk som på ett vetenskapligt sätt ger analysmetoder och beskriver färska och hårdnade brukets egenskaper, i motsats till materialet betong som är ett betydligt mer utvecklat materialområde. Här finns möjligheter till fortsatt forskning, inte minst vad det gäller det färska brukets egenskaper.
- Litteratur som behandlar och sammanställer den kunskap som finns idag är en bristvara, och oftast när det finns är den direkt hämtad från gamla källor som gör både språk och definitioner omoderna. Här behövs en mer sammanställd kunskap och en förnyad begreppsapparat rörande mur- och putsbruk.
- Utifrån provningen finns här förslag på fortsatt arbete som berör möjligheter att påskynda karbonatiseringen och mäta dess inverkan och grad i ett bruk.
- Provningsen berörde murning av lecablock, men vad händer med egenskaperna hos exempelvis ett murverk av tegel eller andra murmaterial som muras med låghållfasta bruk.
- En analys av det kemiska innehållet kopplat till de undersökta mekaniska egenskaper för att därmed förstå orsaker och sammanhang till varför olika typer av bruk uppvisar egenskaper och förändringar. Härvid skulle en termografisk analys kunna vara till stor hjälp.
- Metoder att fastställa färskt bruks egenskaper och hur dessa påverkar det hårdnade brukets egenskaper.
- Utveckla standardiserade provningsmetoder för olika användningsområden för att klassificera bruken som ger bättre samstämmighet med verkligheten än vad provning av endast bruksprisman gör.
- Utveckla en hydraulisk kalk med optimala egenskaper genom att blanda fram ett bindemedel istället för att försöka bränna kalk som är dyrt och besvärligt. Vilket cement, vilken kalk, vilken puzzolan och blandningsförhållanden.

10. Referenser

10.1. Litteraturförteckning

(AB Svensk byggtjänst, 1998): *HusAMA98, Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten*. AB Svensk byggtjänst.

(Avén Red., 1977): *Material, produkter och arbetsteknik, Handbok Bygg 3: uppl.* Liber Förlag Stockholm.

(Berntsson, 2003): *Kalk – bindemedel i puts och murbruk*, Historik och egenskaper, Leif Berntsson, Göteborg

(Boverket, 2003): *Boverkets konstruktions regler, BKR, byggnadsverkslagen och byggnadsverkförordningen*. Boverket.

(Burström, 2001): *Byggnads material. Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Studentlitteratur.

(Cajdert, 1996): *Murverkskonstruktioner, en handbok i anslutning till BKR, Byggvägledning 5*. Boverket.

(Granholm Red.1953 3: e uppl.): *Mureri*. Klara Civiltryckeri AB, Stockholm.

(Hidemark, Holmström, 1984): *Kalkputs 2, historia och teknik - redovisning av kunskaper och forskningsbehov, Rapport*. Riksantikvarieämbetet och statens historiska museer.

(Malinowski, 1998) *Renovering och restaurering av putsade fasader, rapport HACTH 1998:1*. Chalmers tekniska högskola

(Millhagen Red. 1998): *Hantverket i gamla hus*. Byggförlaget.

(Molnár, 2004): *Report TVBK-1028, In plane tension behavior of masonry*. Lund Institute of Technology, Lund University

(Molnár, 2002): *Report TVBK-1018 licentiate thesis, In plane tension behavior of masonry*. Lund Institute of Technology, Lund University.

(Raä, 1999): *Gammal kalkputs - analys och utvärdering*. Riksantikvarieämbetet.

(RILEM Technical Committee, 1999): *Historic mortars: Characteristics and tests, International Workshop at the Advanced Concrete and Masonry Centre*. University of Paisley, Scotland

(Sandström Malinowski Red., 2000): *Kalk och hantverk för byggnadsvård och nybyggnad*. Riksantikvarieämbetet.

(Sandström, 1989): *Bindemedelstyp och bindemedelshalt hos mur och putsbruk, Nordtestprojekt nr 711-87, Arbetsrapport SP-AR 1989:25*. SP Borås

(Saretok, Duhrkop m.fl., 1966): *Bruk – murning - putsning*. Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

(Sjöstrand Red., 1990): *Murverkshandboken MUR 90*. Sveriges tegelindustriförening STIF, AB Svensk byggtjänst.

(SS EN 196-1, 1994) *Testmetoder av cement – Del 1 Hållfasthetsbestämning*. Svensk Standard.

(SS EN 1052-1, 1998) *Murverk – Del 1 Bestämning av tryckhållfasthet*. Svensk Standard.

(SS ENV 459-1, 1994) *Byggkalk - Del 1 Definitioner, specifikationer och bestämningskriterier*. Svensk Standard.

(SS ENV 459-2, 1994) *Byggkalk – Del 2 Provning*. Svensk Standard.

(Statens planverk, 1976): *SBN Godkännanderegler 1976:1, Murbruk och murlim*. Statens planverk, Liber förlag

(Tepfers, 1999): *Byggnadsmaterial Allmän kurs, Publikation P-95:1*. Inst. För byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola

(Tepfers, 1991): *P-91:1, Anvisningar till laborationer byggnadsmaterial, allmän kurs*. Chalmers tekniska högskola.

10.2. Internet

www.boverket.se

www.malarkalk.se

www.maxit.se

www.mur.se

10.3. Intervju, studiebesök

Berndtsson, Leif den 2004-01-19 Intervju

Malinowski, Ewa den 2004-06-07 Intervju

Maxit AB, Malmö den 2003-11-21 Studiebesök

Studiebesök Maxit AB, Göteborg den 2004-03-19 Studiebesök

(Blank, 2005): Kommentarer till rapporten av Rolf Blank, Maxit AB

Bilagor

Bilaga A Egenskaper - bindemedel

Bilaga B Bruk

Sammansättning, vbt, lufthalt, konsistens, blandtid etc.

Bilaga C Översikt

Provprismor

Krympprismor

Murpelare

Bilaga D Sammanställning

Tryckhållfasthet

Böjdraghållfasthet

Arbetskurvor

Elasticitetsmodul

Uttorkningskrympning

Bilaga E Provresultat

Förklaringar

Tryckprov, böjdragprov, karbonatisering, arbetskurvor och spridning

Murpelare

Plastisk krympning

Bilaga F Klimat

Bilaga G Utökad litteraturstudie

Bilaga A Egenskaper – bindemedel

	LaFarge Chaux Blanc kalk	Jurakalk
<u>Tillverkare</u>	Syndicat Francais De L'Industrie Cimentiere	Lev. Målarkalk AB, Nyvång Urspr. Wildegg i Schweiz
<u>Tillverkningsdatum</u>	2003-11-25	
<u>Fysikala och kemiska egenskaper</u>		
<i>Kemisk teknisk produktbenämning</i>	Naturlig hydraulisk kalk	Naturlig hydraulisk kalk
<i>Sammansättning eller produktbeskrivning</i>	Hydraulisk naturkalk framställs av kiselhaltig naturkalksten som upphettas till en temperatur av ca. 1200°C. Den består huvudsakligen av kalk, silikat, kalciumaluminat, samt spår av andra grundämnen. Den fria kalken ca. 20%, binds i den färdiga produkten och blir till kalciumkarbonat.	Kalciumhydroxid >50% halt
<i>Färg</i>	Ljusgrått/vitt	Brungrått
<i>pH-värde i vattenlösning</i>	Basiskt: 12-13	12.8
<i>Smälttemperatur</i>	>1000°C	>1000°C
<i>Kompaktdensitet (kg/m³)</i> <i>uppmätt enl. varudekl</i>	2624 (18°C) 2600 (20°C)	2910 (19°C) 1100 ("densitet" 20°C)
<i>Skenbar densitet (kg/m³)</i>	650 (20°C)	
<i>Vattenlöslighet (g/l)</i>	1.5 (20°C)	CaOH ₂ : 0.2 (0°C)
<i>Kornstorleksfördelning</i>	Finkornig < 5µm i storleksordningen 20 till 30 vikt%	

	<u>Släckt murkalk E</u>	<u>Snabbhårdnande SH-cement (Skövde)</u>
Tillverkare	Lev.Optiroc AB, Solna	Cementa AB
Tillverkningsdatum	2002-12-18	
Fysikala och kemiska egenskaper		
<i>Kemisk teknisk produktbenämning</i>	Icke hydrauliskt bindemedel, 60-100 vikt%, CaOH ₂	Hydrauliskt bindemedel
<i>Produktbeskrivning</i>	Får ej användas i kall och fuktig väderlek, men ingående tillsatsmedel säkerställer god frostbeständighet i det hårdnade bruket (E-bruk).	Ett snabbhårdnande portlandscement med mycket snabb hållfasthetsutveckling.
<i>Färg</i>	Vitaktig	Grå
<i>pH-värde i vattenlösning</i>	12.8	
<i>Kompaktdensitet (kg/m³)</i> <i>uppmätt enl.varudekl</i>	2200	3150 (20°C)
<i>Specifik yta (m²/kg)</i>		500
<i>Lufthalt</i>	10-20 %	
<i>Förpackning (kg/förpackning)</i>	10	25
<i>Bindetid (minuter)</i>		100 ± 30min

	<u>Byggcement (Skövde)</u>	<u>Injektering 30</u>	<u>Ultrafin 12</u>
<u>Tillverkare</u>	Cementa AB,	Cementa AB, Degerhamn	Cementa AB, Degerhamn
<u>Tillverkningsdatum</u>			Utskrivn. dat 2004-02-06
<u>Fysikala och kemiska egenskaper</u>			
<i>Kemisk teknisk produktbenämning</i>	Hydrauliskt bindemedel	Hydrauliskt bindemedel	Hydrauliskt bindemedel
<i>Sammansättning och produktbeskrivning</i>	Portlandscement med ordinär hållfasthetsutveckling.	Portlandscement med goda inträngnings-egenskaper som åstadkoms genom finmalning av lämpligt klinker för en anpassad kornkurva för injektering. Goda flytegenskaper kan åstadkommas även vid låga vct.	Portlandscement med extremt goda inträngningsegenskaper som åstadkoms genom extrem finmalning
<i>Färg</i>	Grå	Grå	Grå
<i>Kompaktdensitet (kg/m³) uppmätt enl.varudekl</i>	- 3080	- 3150	- 3150
<i>Specifik yta (m²/kg)</i>	450	1300	2200
<i>Förpackning (kg/förpackning)</i>	25	20	20
<i>Bindetid (minuter)</i>	150 ± 30	100 ± 30	100 ± 30

Bilaga B Bruk

Sammansättning, vbt, lufthalt, konsistens, blandtid etc.

SAMMANSÄTTNING BRUK: Jura

Blandning

Provkroppens nummer:

DELMATERIAL		Densitet (kg/m3)	SATSRECEPT (g/sats)				VOLYM MATERIAL (ml)			
			J4-J42		J43-J81		0122-1	0122-2	0130-1	0130-2
			0122-1 (vält 5min)	0122-2 vält7min	0130-1 vält8min	0130-2 vält10min				
Byggcement	Skövde	3080								
Cement SH	Skövde	3150								
Luftkalk		2240	400	400	400	400	178.6	178.6	178.6	178.6
Jurakalk		2910	2200	2200	2200	2200	756.0	756.0	756.0	756.0
La Farge		2624								
Grus (0-4)		2665	17400	17400	17400	17400	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1
Vatten		1000	2900	2999	2999	3079	2900.0	2999.3	2999.0	3079.0
LP-medel		1000	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Summa			22901	23001	23000	23080	10365.0	10464.3	10464.0	10544.0
vbt		6	1.12	1.15	1.15	1.18				
Volym	(ml)		12547	12751	12634	12771				

		0122-1	0122-2	0130-1	0130-2
Utbredning	cm	17.2	17.7	17.3	17.8
Lufthalt från densitet					
Vikt kärl	g	85.5	85.5	85.5	85.5
Volym kärl	ml	323.8	323.8	323.8	323.8
Vikt kärl+bruk	g	676.5	669.6	675.0	670.7
Vikt bruk	g	591.0	584.1	589.5	585.2
Densitet	kg/m3	1825	1804	1821	1807
Lufthalt	%	17.4%	17.9%	17.2%	17.4%
Lufthalt från tryckmetod		14.3%	17.7%		17.1%
Lufthalt volymetriskt					
Volym bruk eföre	ml	205	208	205	120
Volym bruk efter	ml	185	188	180	109
Lufthalt	%	9.8%	9.6%	12.2%	9.2%

SAMMANSÄTTNING BRUK: Lafarge

Blandning

Provkroppnummer:

L4-L42

L43-L81

L82-L120

DELMATERIAL	Densitet (kg/m ³)	SATSRECEPT (g/sats)							VOLYM MATERIAL (ml)						
		0120-1 vält 4min	0120-2 vält 9min	0126-1 vält13min	0126-2	0126-3 vält17min	0126-4 vält20min	ny 0120-2 0129-1 vält22min	0120-1	0120-2	0126-1	0126-2	0126-3	0126-4	0129-1
Byggcement Skövde	3080														
Cement SH Skövde	3150														
Luftkalk	2240	200	200	400	400	400	400	400	89.3	89.3	178.6	178.6	178.6	178.6	178.6
Jurakalk	2910														
La Farge	2624	1100	1100	2200	2200	2200	2200	2200	419.2	419.2	838.4	838.4	838.4	838.4	838.4
Grus (0-4)	2665	8700	8700	17400	17400	17400	17400	17400	3264.5	3264.5	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1
Vatten	1000	1450	1610	3220	3220	3220	3220	3220	1450.0	1610.0	3220.0	3220.0	3220.0	3220.0	3220.0
LP-medel	1000	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Summa		11451	11611	23221	23221	23221	23221	23221	5223.7	5383.7	10767.4	10767.4	10767.4	10767.4	10767.4
vbt	6	1.12	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24							
Volym (ml)			5890	12173	12353	12363	12361	12402							

	0120-1	0120-2	0126-1	0126-2	0126-3	0126-4	0129-1
Utbredning cm	16.5	17.6	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7
Lufthalt från densitet							
Vikt kärl g		85.5	85.5	85.5	85.5	85.5	85.5
Volym kärl ml		323.8	323.8	323.8	323.8	323.8	323.8
Vikt kärl+bruk g		723.8	703.2	694.2	693.7	693.8	691.8
Vikt bruk g		638.3	617.7	608.7	608.2	608.3	606.3
Densitet kg/m ³		1971	1908	1880	1878	1879	1872
Lufthalt %		8.6%	11.5%	12.8%	12.9%	12.9%	13.2%
Lufthalt från tryckmetod		10.2%				13.2%	13.3%

SAMMANSÄTTNING AV BRUK: KC-sh

Blandning KC-sh

Provkropp nummer:

DELMATERIAL			KCs 5-43				KCs 44-82					
			SATSRECEPT (g/sats)					VOLYM MATERIAL (ml)				
		Densitet (kg/m ³)	0121-1* vält 4min	0121-2 vält 4min	0127-1 vält 12min	0121-3 vält 9 min	0127-2 vält 14min	0121-1*	0121-2	0127-1	0121-3	0127-2
Byggcement	Skövde	3080										
Cement SH	Skövde	3150	653	653	653	653	653	207.4	207.3	207.3	207.3	207.3
Luftkalk		2240	1960	1960	1960	1960	1960	875.0	875.0	875.0	875.0	875.0
Jurakalk		2910										
La Farge		2624										
Grus (0-4)		2665	17400	17400	17400	17400	17400	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1
Vatten		1000	3373	3489	3489	3489	3489	3373.3	3489.0	3489.0	3489.0	3489.0
LP-medel		1000	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Summa			23388	23503	23503	23503	23503	10986.1	11101.7	11101.7	11101.7	11101.7
vbt		6	1.29	1.34	1.34	1.34	1.34					
Volym	(ml)		12057	12222	12808	12989	12886					

*= samma recept fast större sats

		0121-1*	0121-2	0127-1	0121-3	0127-2
Utbredning	cm	13.0	17.8	17.8	17.8	17.8
Lufthalt från densitet						
Vikt kärl	g	85.5	85.5	85.5	85.5	85.5
Volym kärl	ml	323.8	323.8	323.8	323.8	323.8
Vikt kärl+bruk	g	713.6	708.2	679.7	671.4	676.1
Vikt bruk	g	628.1	622.7	594.2	585.9	590.6
Densitet	kg/m ³	1940	1923	1835	1809	1824
Lufthalt	%	8.9%	9.2%	13.3%	14.5%	13.8%
Lufthalt från tryckmetod					14.2%	14.6%

SAMMANSÄTTNING BRUK: B-bruk, Gullex**Gullex**

Provkropp nummer:

G1-G39

DELMATERIAL	Densitet (kg/m ³)	SATSRECEPT (g/sats)		VOLYM MATERIAL (ml)	
		0203-1 vält 7min	0203-2 vält10min	0203-1	0203-2
Gullex B	3080	20900	20900	6785.7	6785.7
Vatten	1000	2717	2997	2717.0	2997.0
LP-medel	1000				
Summa		23617	23897	9502.7	9782.7
vbt	6	0.13	0.14		
Volym (ml)		13367	13104		

		0203-1	0203-2
Utbredning	cm	16.5	17.7
Lufthalt från densitet			
Vikt kärl	g	85.5	85.5
Volym kärl	ml	323.8	323.8
Vikt kärl+bruk	g	657.6	676.0
Vikt bruk	g	572.1	590.5
Densitet	kg/m ³	1767	1824
Lufthalt	%	28.9%	25.3%
Lufthalt från tryckmetod			15.5%
Lufthalt volymetriskt			
Volym bruk eföre	ml	205	208
Volym bruk efter	ml	185	188
Lufthalt	%	9.8%	9.6%

SAMMANSÄTTNING BRUK: KC-bygg

Blandning KC-bygg

Provkropp nummer:

KCb 2 - 40

DELMATERIAL		Densitet (kg/m ³)	SATSRECEPT (g/sats)				VOLYM MATERIAL (ml)			
			0202-1* vält 4min	0202-2 vält 4min	0202-3 vält7min	0202-4 vält12 min	0202-1*	0202-2	0202-3	0202-4
Byggcement	Skövde	3080	653	653	653	653	212.0	212.0	212.0	212.0
Cement SH	Skövde	3150								
Luftkalk		2240	1960	1960	1960	1960	875.0	875.0	875.0	875.0
Jurakalk		2910								
La Farge		2624								
Grus (0-4)		2665	17400	17400	17400	17400	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1
Vatten		1000	3230	3300	3349	3489	3229.6	3300.0	3349.0	3489.0
LP-medel		1000	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Summa			23244	23314	23363	23503	10635.0	10705.4	10754.4	10894.4
vbt		6	1.24	1.26	1.28	1.34				
Volym	(ml)		11952	11989	12585	13187				

*= samma recept fast större sats

		0202-1*	0202-2	0202-3	0202-4
Utbredning	cm	16.5	17.2	17.7	17.8
Lufthalt från densitet					
Vikt kärl	g	85.5	85.5	85.5	85.5
Volym kärl	ml	323.8	323.8	323.8	323.8
Vikt kärl+bruk	g	715.2	715.2	686.6	662.6
Vikt bruk	g	629.7	629.7	601.1	577.1
Densitet	kg/m ³	1945	1945	1856	1782
Lufthalt	%	11.0%	10.7%	14.5%	17.4%
Lufthalt från tryckmetod					15.8%

SAMMANSÄTTNING BRUK: KC-injektering

Blandning KC-injekt

Provkropp nummer:

I1-I39

DELMATERIAL	Densitet (kg/m ³)	SATSRECEPT (g/sats)				VOLYM MATERIAL (ml)			
		0204-1 vält 7min	0204-2 vält 12min	0204-3 vält15min	0204-4 vält 18 min	0204-1	0204-2	0204-3	0204-4
Injekteringsbruk 30	3150	653	653	653	653	207.4	207.3	207.3	207.3
Luftkalk	2240	1960	1960	1960	1960	875.0	875.0	875.0	875.0
Jurakalk	2910								
La Farge	2624								
Grus (0-4)	2665	17400	17400	17400	17400	6529.1	6529.1	6529.1	6529.1
Vatten	1000	3608	3608	3608	3608	3608.0	3608.0	3608.0	3608.0
LP-medel	1000	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Summa		23623	23622	23622	23622	11220.8	11220.7	11220.7	11220.7
vbt	6	1.38	1.38	1.38	1.38				
Volym (ml)		12209	12689	13106	13358				

		0204-1	0204-2	0204-3	0204-4
Utbredning	cm	18.0	18.0	18.0	17.9
Lufthalt från densitet					
Vikt kärl	g	85.5	85.5	85.5	85.5
Volym kärl	ml	323.8	323.8	323.8	323.8
Vikt kärl+bruk	g	712.0	688.3	669.1	658.1
Vikt bruk	g	626.5	602.8	583.6	572.6
Densitet	kg/m ³	1935	1862	1802	1768
Lufthalt	%	8.1%	11.6%	14.4%	16.0%
Lufthalt från tryckmetod					16.0%

SAMMANSÄTTNING BRUK: KC-ultrafin

Blandning KC-Ultrafin 12

Provkropp nummer:

Ult1-39

DELMATERIAL	Densitet (kg/m3)	SATSRECEPT (g/sats)				VOLYM MATERIAL (ml)		
		0211-1 vält 18min	0211-2 vält 22min	0211-3 vält24min	0204-4	0211-1	0211-2	0211-3
Cement Ultrafin 12	3150	653	653	653		207.4	207.3	207.3
Luftkalk E	2240	1960	1960	1960		875.0	875.0	875.0
Jurakalk	2910							
La Farge	2624							
Grus (0-4)	2665	17400	17400	17400		6529.1	6529.1	6529.1
Vatten	1000	3610	3610	3610		3610.0	3610.0	3610.0
LP-medel	1000	1.3	1.3	1.3		1.3	1.3	1.3
Summa		23625	23624	23624		11222.8	11222.7	11222.7
vbt		6	1.38	1.38	1.38			
Volym (ml)			12893	13043	13159			

		0211-1	0211-2	0211-3	0204-4
Utbredning	cm	18.2	18.0	18.0	
Lufthalt från densitet					
Vikt kärl	g	85.5	85.5	85.5	
Volym kärl	ml	323.8	323.8	323.8	
Vikt kärl+bruk	g	678.8	672.0	666.8	
Vikt bruk	g	593.3	586.5	581.3	
Densitet	kg/m3	1832	1811	1795	
Lufthalt	%	13.0%	14.0%	14.7%	
Lufthalt från tryckmetod				14.8%	

Bilaga C Översikt

Provprismor

<u>Jura</u>										
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C	
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF	Blanding 1: J4-J42, 22/1-2004 Blanding 2: J43-J81, 30/1-2004 Provgjutning: J1-J3, 15/1-2004
7 dygn	J4	J6	J48	J16	J18	J28	J31	J33	J37	
	J5	J7		J17	J19		J32	J34	J84	
	J8	J9								
	J85	J86	J87	J88	J89	J90	J91	J92	J93	
28 dygn	J12	J35 ^{^^}	J54	J20	J24	J29	J74	J10 ^{^^}	J42	
	J13	J51	J55	J21	J25	J30	J75	J38	J79	
	J14	J52		J22	J26		J76	J39		
	J15	J53		J23	J27			J40		
		J58						J41		
56 dygn	J43	J36 ^{^^}	J56	J60	J63	J67	J70	J11 ^{^^}	J80	
	J44	J47	J57	J61	J64	J68	J71	J69	J81	
	J45	J49		J62	J65		J72	J77		
		J50			J66			J78		
Övriga lämnade										Med arbetskurva och e-modul
	J46	J59	J1					J3		^{^^} =byte mellan 4-20 °C efter 7 dygn
	J82	J83	J2							^{^^^} =byte mellan 4-20 °C efter 28 dygn

LaFarge Chaux Blanc										
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C	
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF	L4-L42: Gjutning 1, 20/1-2004 L43-L81: Gjutning 2, 26/1-2004 L82-L129: Gjutning 3, 29/1-2004
7dygn	L4*	L7*	L10*	L13*	L15*	L17*	L28*	L41*	L30*	
	L82	L87	L55	L14*	L16*	L106	L29*	L42*	L119	
	L83	L88		L85	L96		L109	L111		Provgjutning: L1-L3, 15/1-2004
	L84	L89		L86	L97		L110	L112		
	L121	L122	L123	L124	L125	L126	L127	L128	L129	
28 dygn	L5*	L8*	L11*	L20*	L25*	L18*	L33*	L37*	L31*	
	L92	L47	L56	L21*	L26*	L107	L34*	L38*	L80	
	L93	L48	L57	L22*	L102	L108	L115	L60 ^{^^}	L120	
	L94	L49		L98	L103		L116	L73		
	L95	L113 ^{^^}		L99	L104		L117	L74		
				L100	L105		L118	L75		
				L101				L90 ^{^^}		
56 dygn	L6*	L9*	L12*	L23*	L27*	L19*	L35*	L39*	L32*	
	L43	L51	L58	L24*	L64	L68	L36*	L40*	L81	
	L44	L52	L59	L61	L65	L69	L70	L50 ^{^^^}		
	L45	L53		L62	L66		L71	L77		
		L76 ^{^^^}		L63	L67		L72	L78		Med arbetskurva och e-modul
		L114 ^{^^}						L79		*=låg lufthalt ca 9%, se bruksblandningar
								L91 ^{^^}		^{^^} =byte mellan 4-20 °C efter 7 dygn
										^{^^^} =byte mellan 4-20 °C efter 28 dygn
Övriga lämnade			L2*							
	L46	L54	L1*						L3*	

KC-sh (med sh cement)										
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C	
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF	
										Blandning 1: KCs 5-43, 21/1-2004
										Blandning 1: KCs 44-82, 27/1-2004
7 dygn	KCs 5	KCs 8	KCs 11	KCs 14	KCs 16	KCs 26	KCs 29	KCs 31	KCs 33	Provgjutning: KCs1-4, 15/1-2004
	KCs 6	KCs 9		KCs 15	KCs 17		KCs 30	KCs 32		
	KCs 7	KCs 10								
	KCs 83	KCs 84	KCs 85	KCs 86	KCs 87	KCs 88	KCs 89	KCs 90	KCs 91	
28 dygn	KCs 44	KCs 50	KCs 12	KCs 18	KCs 22	KCs 27	KCs 36	KCs 40	KCs 34	
	KCs 45	KCs 51	KCs 82 [^]	KCs 19	KCs 23	KCs 69	KCs 37	KCs 41	KCs 80	
	KCs 46	KCs 52		KCs 20	KCs 24		KCs 38	KCs 42		
	KCs 47	KCs 53		KCs 21	KCs 25		KCs 39	KCs 43		
		KCs 75 [^]		KCs 62	KCs 65		KCs 72	KCs 48 [^]		
					KCs 66			KCs 77		
56 dygn	KCs 54	KCs 58	KCs 13	KCs 63	KCs 67	KCs 28	KCs 73	KCs 49 [^]	KCs 35	
	KCs 55	KCs 59		KCs 64	KCs 68	KCs 70	KCs 74	KCs 78	KCs 81	
	KCs 56	KCs 60						KCs 79		
		Ks 76 [^]								
Övriga lämnade										Med arbetskurva och e-modul
	KCs 57	KCs 61	KCs 1							[^] =byte mellan 4-20 °C efter 7 dygn
			KCs 2							^{^^} =byte mellan 4-20 °C efter 28 dygn
			KCs 3							

Gullex (B-bruk)											
											Gjutning 1: G1-39, 3/2-2004
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C		Gjutning 2: G40-48, 10/2-2004
CO₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja		
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF		
7 dygn	G1	G2	G3	G16	G17	G18	G28	G29	G30		
	G40	G41	G42	G43	G44	G45	G46	G47	G48		
28 dygn	G4	G7	G10	G19	G21	G23	G31	G33	G35		
	G5	G8	G11	G20	G22	G24	G32	G34	G36		
	G6										
56 dygn	G13	G9	G12	G25	G26	G27	G37	G38	G39		
		G14	G15								
											Med arbetskurva och e-modul
KC-bygg (med byggcement)											
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C		
CO₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja		
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF		Gjutning 1: KCb 2-40, 2/2-2004
7dygn	KCb 2	KCb 3	KCb 4	KCb 17	KCb 18	KCb 19	KCb 29	KCb 30	KCb 31		Provgjutning: KCb 1, 15/1-2004
28 dygn	KCb 5	KCb 8	KCb 11	KCb 20	KCb 22	KCb 24	KCb 32	KCb 34	KCb 36		
	KCb 6	KCb 9	KCb 12	KCb 21	KCb 28	KCb 25	KCb 33	KCb 35	KCb 37		
	KCb 7	KCb 10									
56 dygn	KCb 13	KCb 14	KCb 15	KCb 26	KCb 23	KCb 27	KCb 38	KCb 39	KCb 40		
			KCb 16								
			KCb 1								

KC-injekt (med injekteringsbruk 30)										
										Gjutning 1: I1-I39, 4/2-2004
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C	
CO₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF	
7 dygn	I1 I2	I3 I4	I5 I6	I16	I17	I18	I28	I29	I30	
28 dygn	I7 I8	I9 I10	I11 I12	I19 I20	I21 I22	I23 I24	I31 I32	I33 I34	I35 I36	
56 dygn	I13	I14	I15	I25	I26	I27	I37	I38	I39	

KC-Ultrafin (med ultrafin 12)										
										Gjutning 1: Ult1-39, 11/2-2004
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C	
CO₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF	
7 dygn	Ult 1 Ult 2	Ult 3 Ult 4	Ult 5 Ult 6	Ult 16	Ult 17	Ult 18	Ult 28	Ult 29	Ult 30	
28 dygn	Ult 7 Ult 8	Ult 9 Ult 10	Ult 11 Ult 12	Ult 19 ult 20	Ult 21 Ult 22	Ult 23 Ult 24	Ult 31 Ult 32	Ult 33 Ult 34	Ult 35 Ult 36	
56 dygn	Ult 13	Ult 14	Ult 15	Ult 25	Ult 26	Ult 27	Ult 37	Ult 38	Ult 39	
										Med arbetskurva och e-modul

Krympprismor

Varje bruksid representerar en specifik provprisma där bokstäverna anger brukstyp och siffran anger prismanummer för varje brukstyp									
LaFarge Chaux Blanc									
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja
	LAF 1	LAF 2	LAF 3	LAF 4	LAF 5	LAF 6	LAF 7	LAF 8	LAF 9
	LAF 10	LAF 11		LAF 12	LAF 13		LAF 14	LAF 15	
LAF 1-9: Gjutning 1, 5/2-2004									
LAF 10-15: Gjutning 2, 12/2-2004									
Viktminskning redovisad									
KC-sh (med sh-cement)									
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja
	KSH 1	KSH 2	KSH 3	KSH 4	KSH 5	KSH 6	KSH 7	KSH 8	KSH 9
	KSH 10	KSH 11		KSH 12	KSH 13		KSH 14	KSH 15	
Gjutning 1: KSH 1-9, 5/2-2004									
Gjutning 2: KSH 10-15, 12/2-2004									
Viktminskning redovisad									
Jura									
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja
	Jura 1	Jura 2	Jura 3	Jura 4	Jura 5	Jura 6			
	Jura 7	Jura 8		Jura 9	Jura 10				Jura 11
Gjutning 1: Jura 1-6, 5/2-2004									
Gjutning 2: Jura 7-11, 12/2-2004									
Viktminskning redovisad									
Gullex (B-bruk)									
Temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	10 °C	10 °C	10 °C	4 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	75% RF	50% RF	100% RF	75% RF	58% RF	100% RF	75% RF	83% RF
CO ₂	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja
	Gullex 1	Gullex 2	Gullex 3	Gullex 4	Gullex 5	Gullex 6	Gullex 7	Gullex 8	Gullex 9
Gjutning 1: Gullex1-9, 5/2-2004									

Murpelare

Varje bruksid representerar en specifik murpelare där bokstäverna anger siffran anger pelarnummer för varje brukstyp				
<u>LaFarge Chaux Blanc</u>				
Temperatur:	20 °C	20 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet:	100% RF	50% RF	100% RF	83% RF
CO2:	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>
7dygn	LAF 4	LAF 1	LAF 2	LAF 3
28 dygn	LAF 6	LAF 5	LAF 8	LAF 7
<u>KC-sh (med sh cement)</u>				
Temperatur	20 °C	20 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	50% RF	100% RF	83% RF
CO2:	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>
7 dygn	KCs 4	KCs 3	KCs 2	KCs 1
28 dygn	KCs 6 KCs 7	KCs 5	KCs 9 KCs 10	KCs 8
<u>Jura</u>				
Temperatur	20 °C	20 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	50% RF	100% RF	83% RF
CO2:	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>
11 dygn	Jura 1 (fel) Jura 2 (fel)	Jura 6	Jura 3 Jura 4	Jura 5
28 dygn	Jura 8 Jura 9	Jura 7	Jura 10 Jura 11	Jura 12
<u>Gullex B (0-bruk)</u>				
Temperatur	20 °C	20 °C	4 °C	4 °C
Rel.fuktighet	100% RF	50% RF	100% RF	83% RF
CO2:	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>	<u>Nej</u>	<u>Ja</u>
7 dygn	Gullex 2	Gullex 1	Gullex 4	Gullex 3
27 dygn	Gullex 5 Gullex 6	Gullex 7 Gullex 10	Gullex 8 Gullex 9	

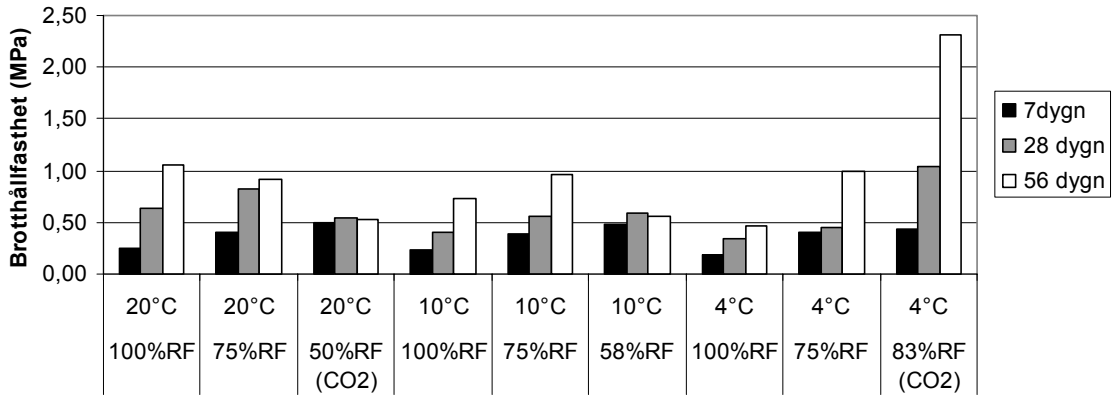
Bilaga D Sammanställning

Tryckhållfasthet

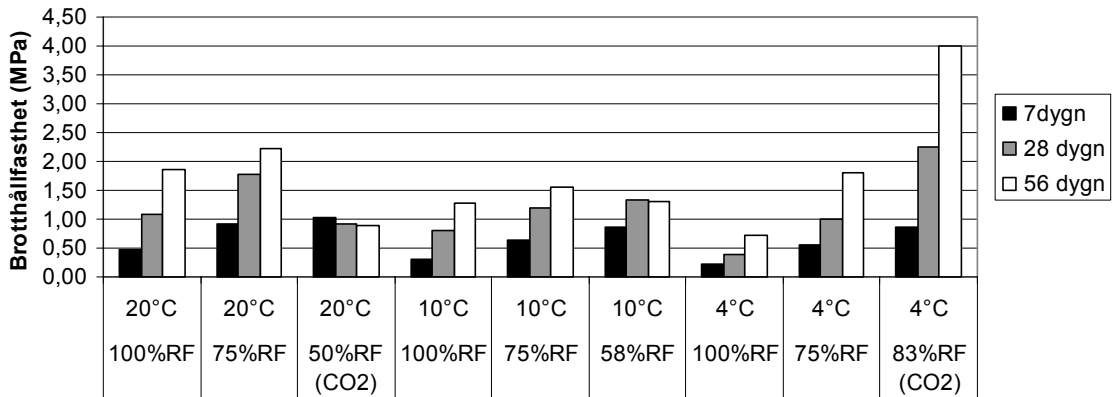
	Temp:20			Temp:10			Temp:4		
	100%RF	75%RF	50%RF	100%RF	75%RF	58%RF	100%RF	75%RF	83%RF
LaFarge									
7dygn	0,14	0,19	0,35	0,15	0,23	0,30	0,11	0,19	0,26
28 dygn	0,34	0,34	0,36	0,24	0,28	0,41	0,21	0,29	0,86
56 dygn	0,50	0,45	0,38	0,38	0,47	0,40	0,32	0,52	1,35
Jura									
7dygn	0,23	0,37	0,52	0,17	0,27	0,45	0,10	0,23	0,56
28 dygn	0,53	0,73	0,49	0,39	0,53	0,91	0,22	0,58	1,46
56 dygn	0,86	0,91	0,51	0,54	0,71	0,67	0,37	0,90	1,79
KC-sh									
7dygn	0,27	0,28	0,39	0,31	0,35	0,49	0,29	0,34	0,39
28 dygn	0,41	0,43	0,42	0,41	0,44	0,68	0,43	0,50	1,09
56 dygn	0,47	0,45	0,44	0,55	0,57	0,50	0,48	0,52	1,35
Gullex B									
7dygn	1,59	1,21	0,97	1,04	1,08	0,80	0,56	0,64	0,61
28 dygn	2,10	2,04	0,97	1,74	1,57	1,23	1,39	1,49	1,46
56 dygn	2,68	2,17	1,16	2,04	2,49	1,53	1,74	2,13	1,87
KC-bygg									
7dygn	0,26	0,26	0,34	0,33	0,35	0,30	0,23	0,31	0,34
28 dygn	0,38	0,40	0,29	0,37	0,46	0,41	0,41	0,51	0,99
56 dygn	0,43	0,39	0,31	0,42	0,63	0,35	0,50	0,64	1,30
KC-injekt									
7dygn	0,20	0,20	0,31	0,22	0,22	0,24	0,16	0,22	0,24
28 dygn	0,30	0,29	0,29	0,26	0,31	0,34	0,26	0,31	0,70
56 dygn	0,34	0,30	0,32	0,35	0,43	0,41	0,37	0,47	0,89
KC-ultrafin									
7dygn	0,20	0,19	0,33	0,23	0,24	0,31	0,20	0,23	0,28
28 dygn	0,30	0,29	0,30	0,33	0,42	0,40	0,31	0,40	0,73
56 dygn	0,36	0,30	0,39	0,38	0,43	0,42	0,36	0,52	0,65

Tryckhållfasthet i diagramform

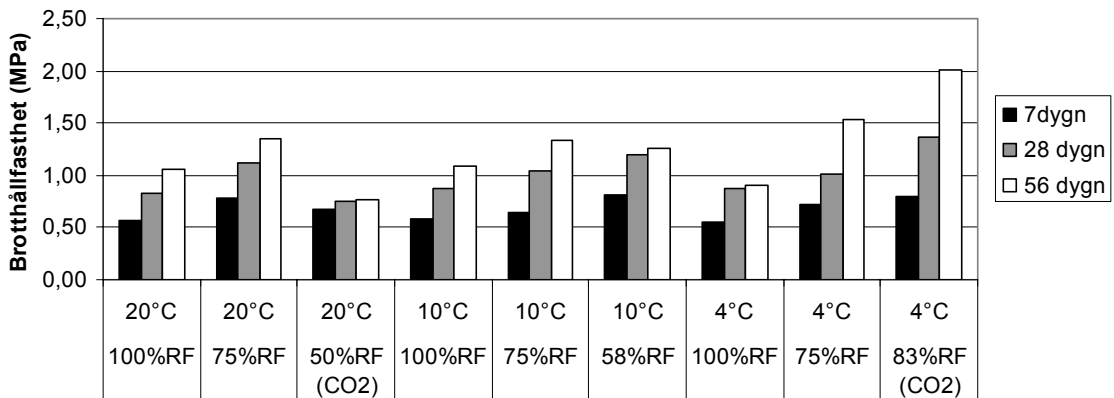
Tryckhållfasthetstillväxt hos LaFarge bruk



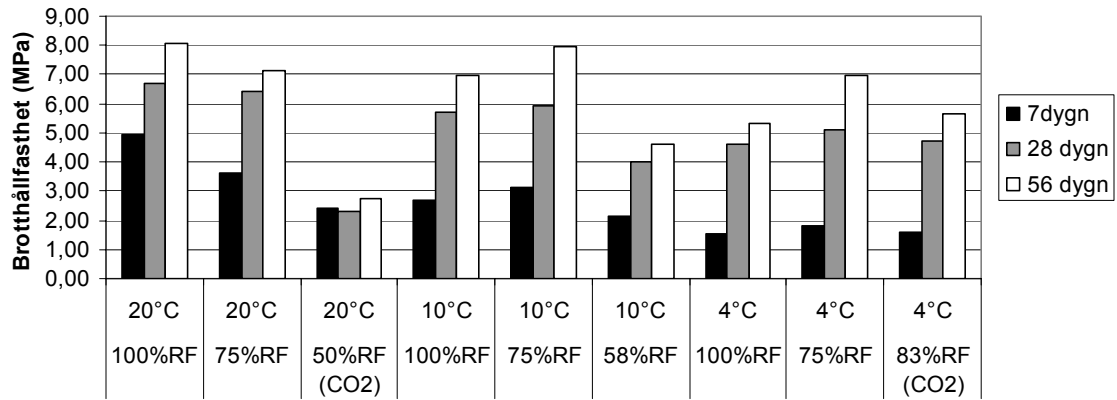
Tryckhållfasthetstillväxt hos Jurabruk



Tryckhållfasthetstillväxt hos KC-sh bruk



Tryckhållfasthetstillväxt hos Gullex B-bruk

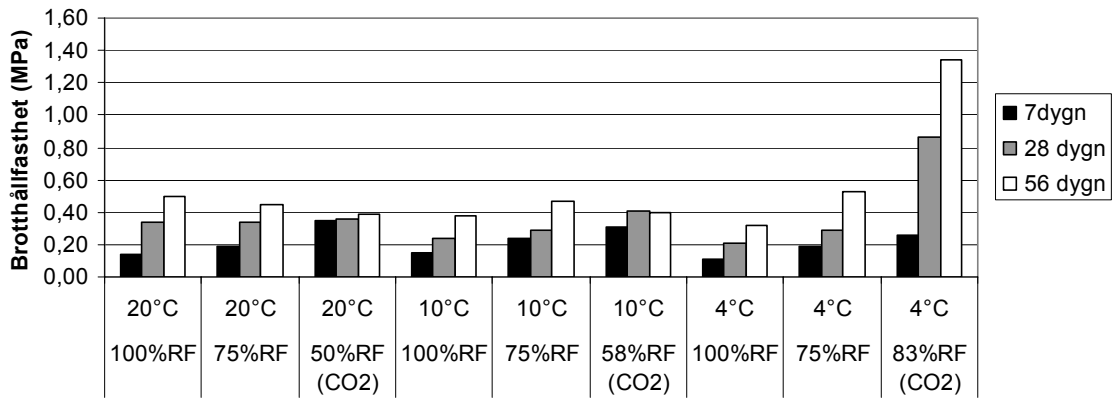


Böjdraghållfasthet

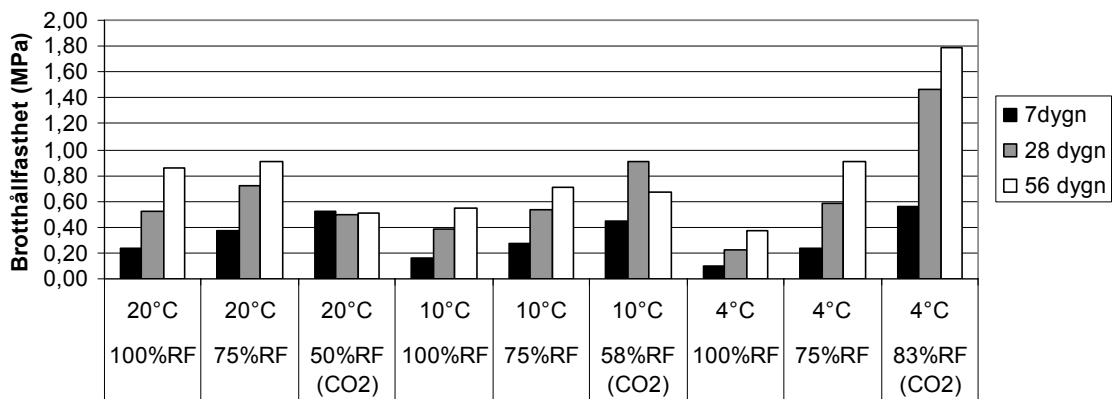
	Temp:20			Temp:10			Temp:4		
	100%RF	75%RF	50%RF	100%RF	75%RF	58%RF	100%RF	75%RF	83%RF
LaFarge									
7dygn	0,14	0,19	0,35	0,15	0,23	0,30	0,11	0,19	0,26
28 dygn	0,34	0,34	0,36	0,24	0,28	0,41	0,21	0,29	0,86
56 dygn	0,50	0,45	0,38	0,38	0,47	0,40	0,32	0,52	1,35
Jura									
7dygn	0,23	0,37	0,52	0,17	0,27	0,45	0,10	0,23	0,56
28 dygn	0,53	0,73	0,49	0,39	0,53	0,91	0,22	0,58	1,46
56 dygn	0,86	0,91	0,51	0,54	0,71	0,67	0,37	0,90	1,79
KC-sh									
7dygn	0,27	0,28	0,39	0,31	0,35	0,49	0,29	0,34	0,39
28 dygn	0,41	0,43	0,42	0,41	0,44	0,68	0,43	0,50	1,09
56 dygn	0,47	0,45	0,44	0,55	0,57	0,50	0,48	0,52	1,35
Gullex B									
7dygn	1,59	1,21	0,97	1,04	1,08	0,80	0,56	0,64	0,61
28 dygn	2,10	2,04	0,97	1,74	1,57	1,23	1,39	1,49	1,46
56 dygn	2,68	2,17	1,16	2,04	2,49	1,53	1,74	2,13	1,87
KC-bygg									
7dygn	0,26	0,26	0,34	0,33	0,35	0,30	0,23	0,31	0,34
28 dygn	0,38	0,40	0,29	0,37	0,46	0,41	0,41	0,51	0,99
56 dygn	0,43	0,39	0,31	0,42	0,63	0,35	0,50	0,64	1,30
KC-injekt									
7dygn	0,20	0,20	0,31	0,22	0,22	0,24	0,16	0,22	0,24
28 dygn	0,30	0,29	0,29	0,26	0,31	0,34	0,26	0,31	0,70
56 dygn	0,34	0,30	0,32	0,35	0,43	0,41	0,37	0,47	0,89
KC-ultrafin									
7dygn	0,20	0,19	0,33	0,23	0,24	0,31	0,20	0,23	0,28
28 dygn	0,30	0,29	0,30	0,33	0,42	0,40	0,31	0,40	0,73
56 dygn	0,36	0,30	0,39	0,38	0,43	0,42	0,36	0,52	0,65

Böjdraghållfasthet i diagramform

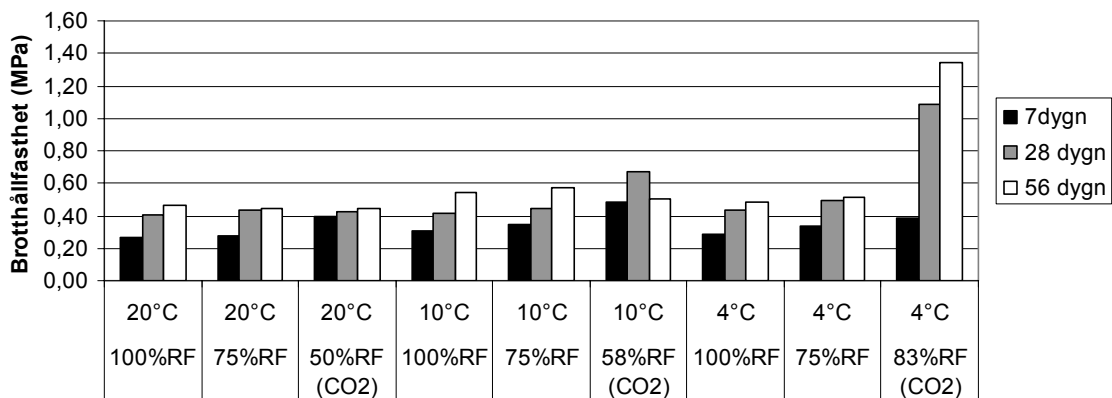
Böj-drag hållfasthet tillväxt hos LaFarge bruk



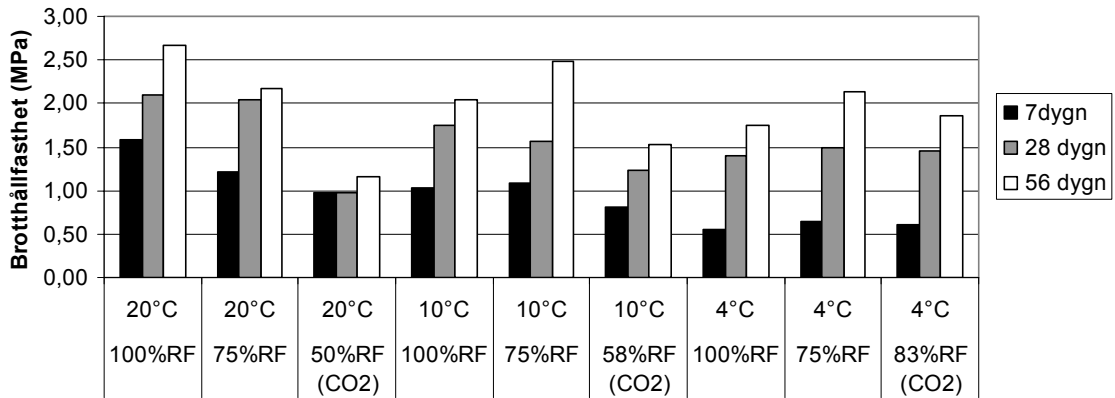
Böj-drag hållfasthet tillväxt hos Jura bruk



Böj-drag hållfasthet tillväxt hos KC-sh bruk

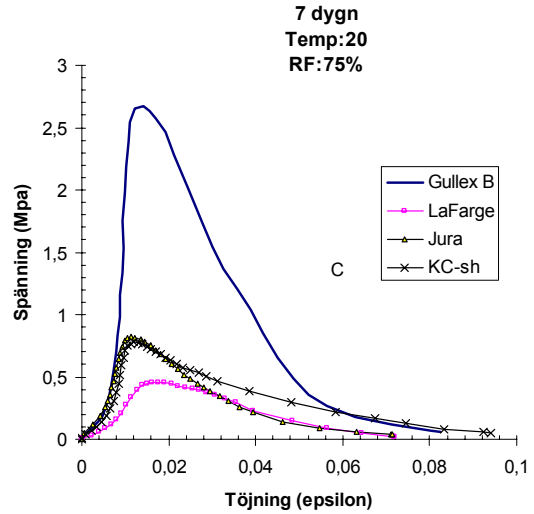
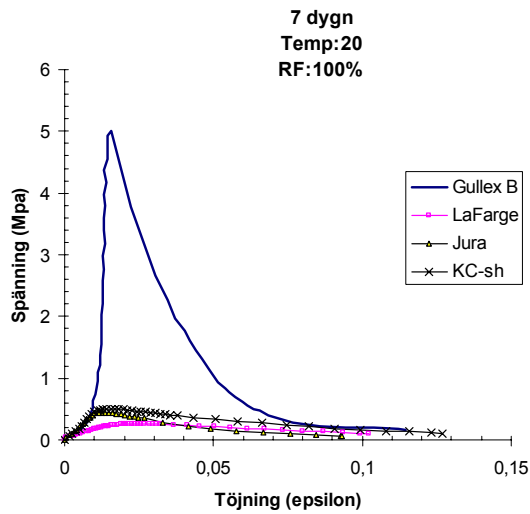


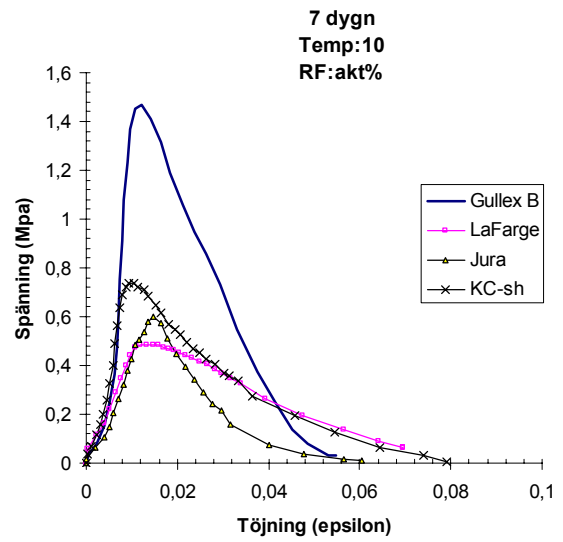
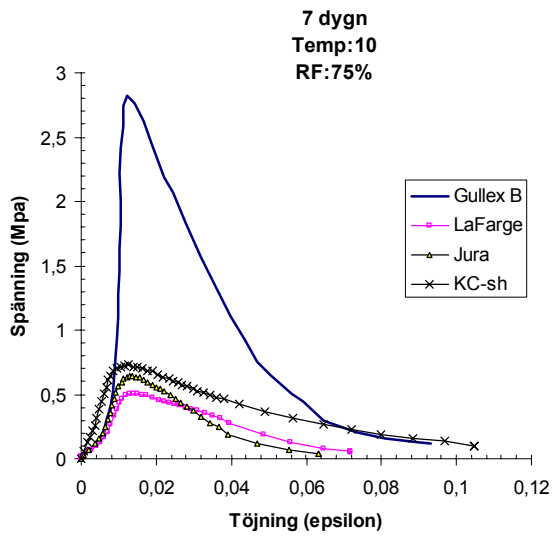
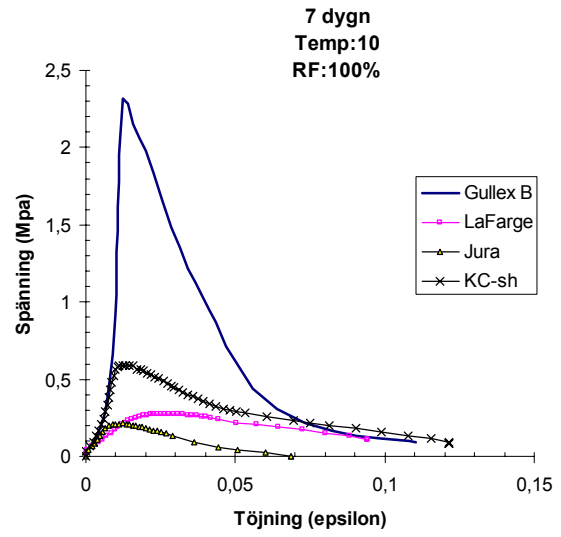
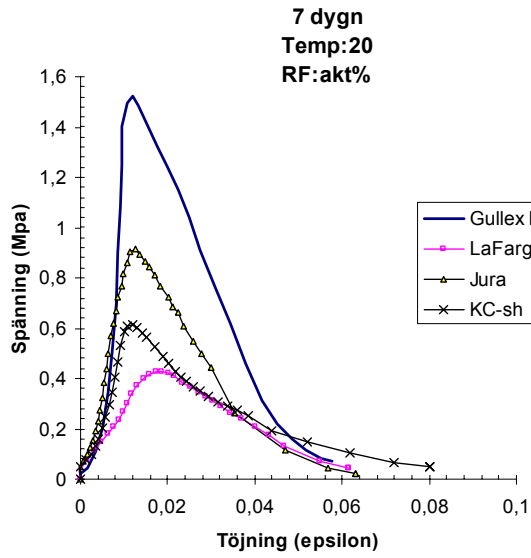
Böj-drag hållfasthet tillväxt hos Gullex B-bruk

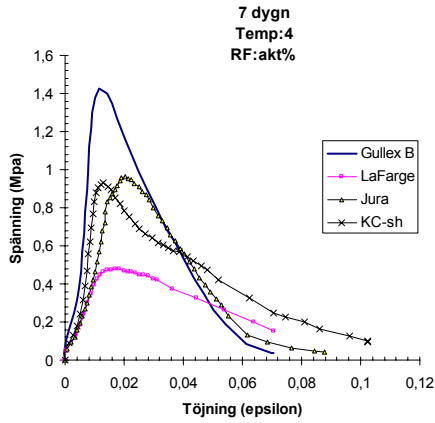
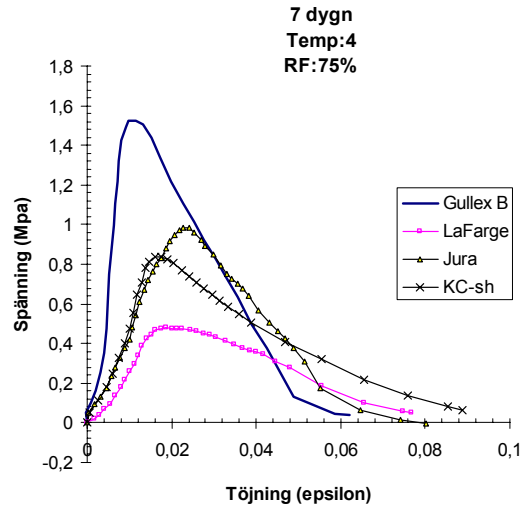
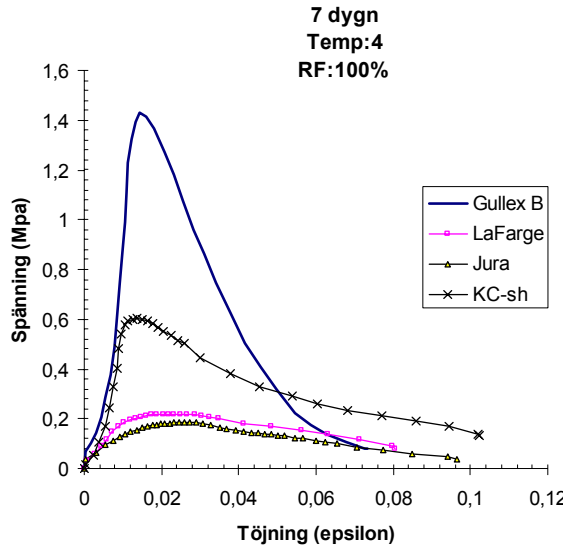


Arbetskurvor (tryck)

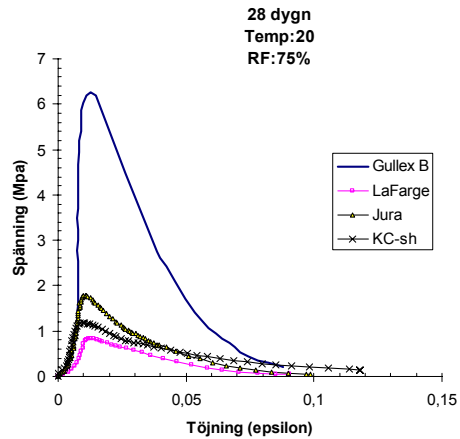
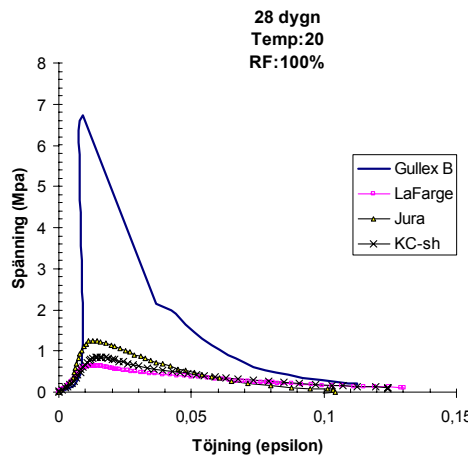
7 dygns prov

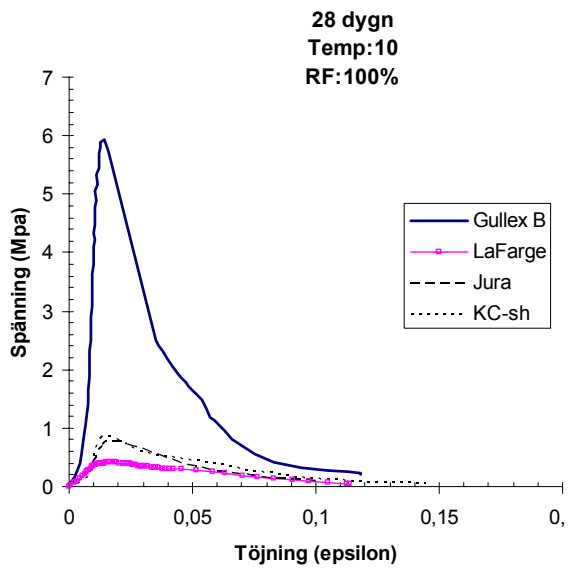
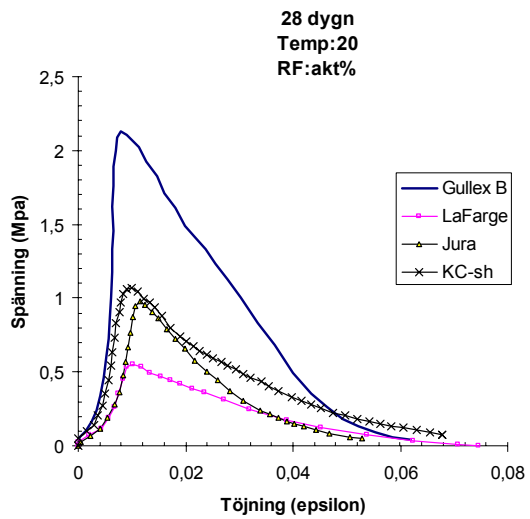


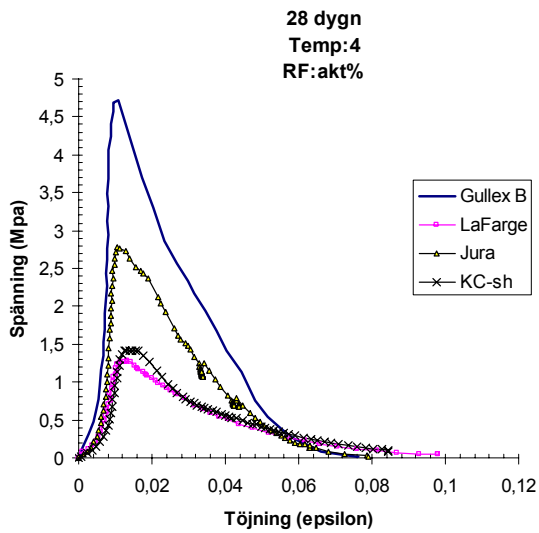
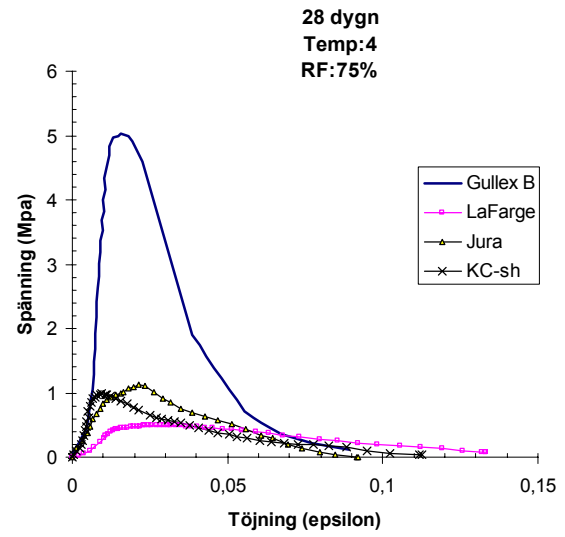
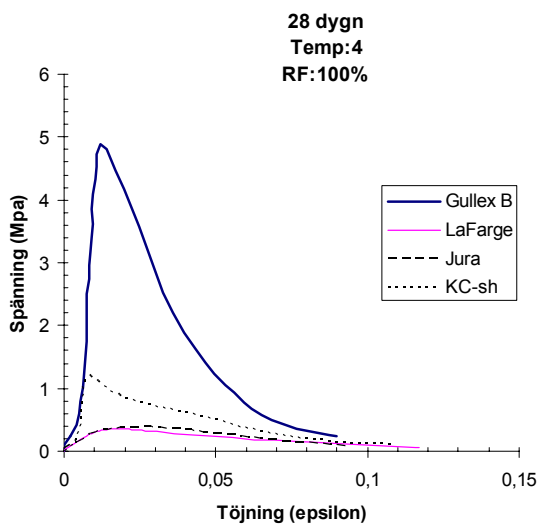
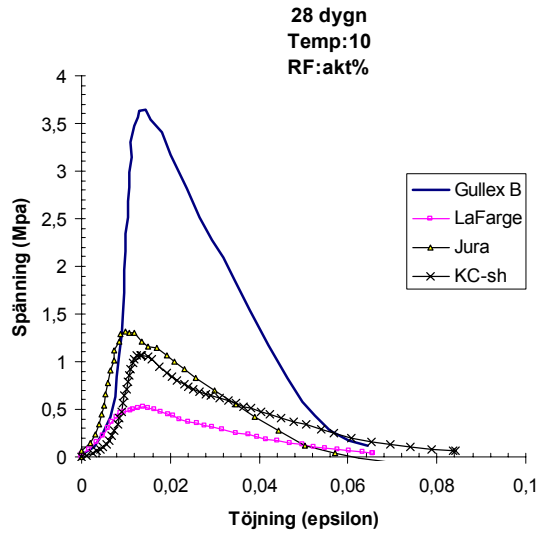
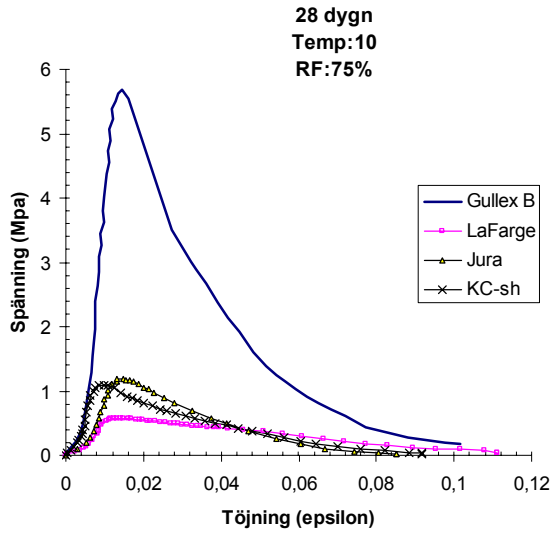




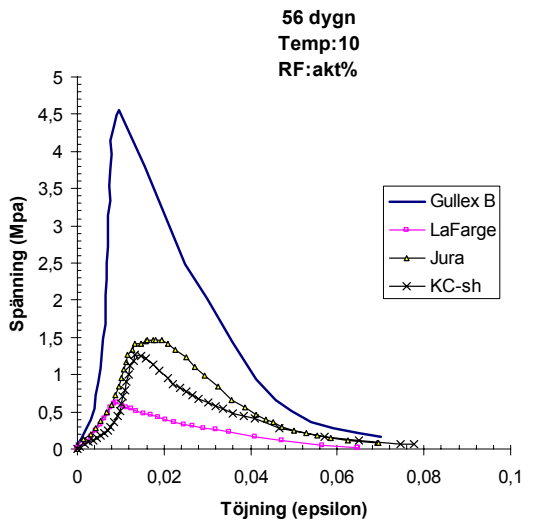
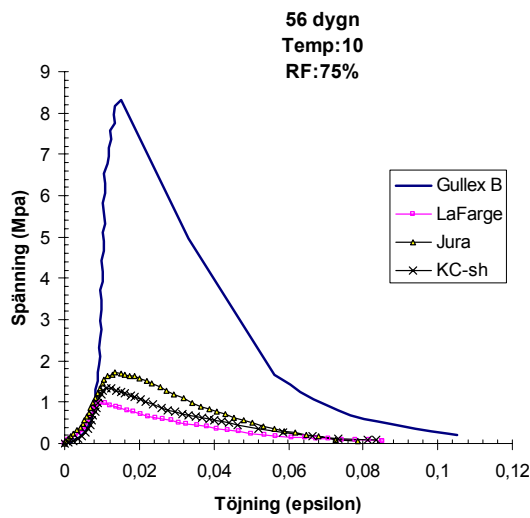
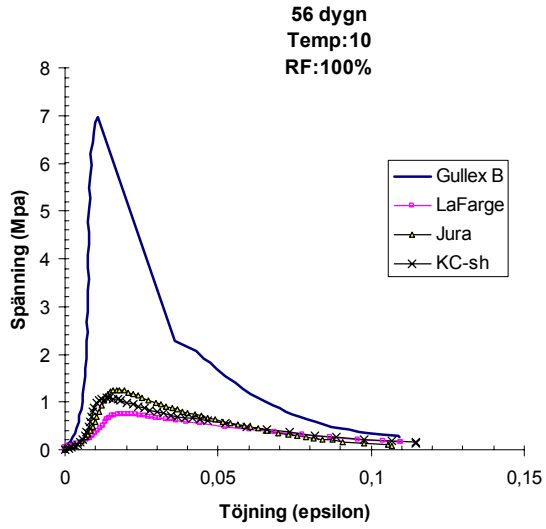
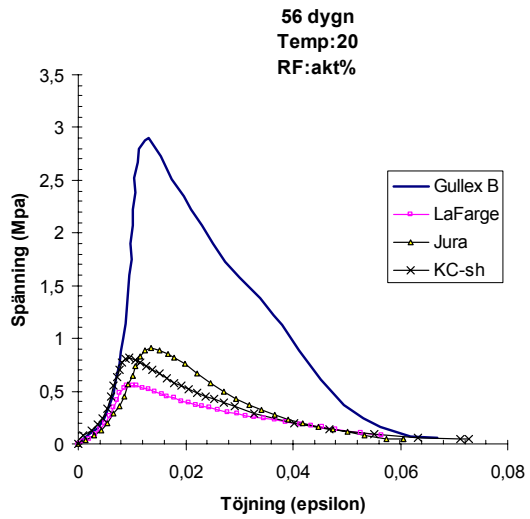
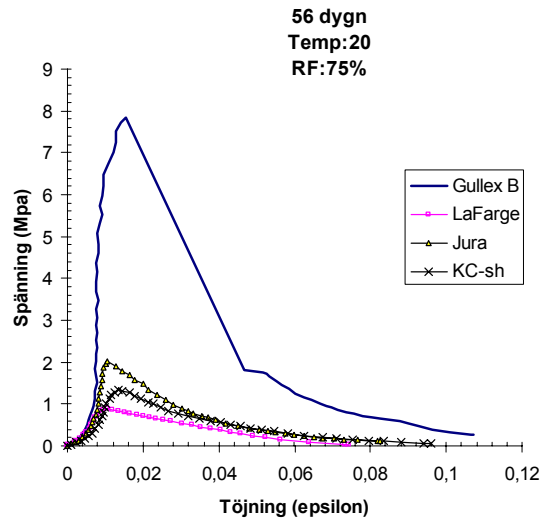
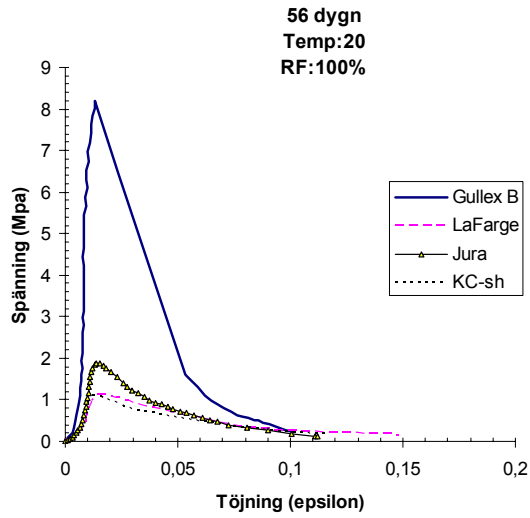
28 dygns prov

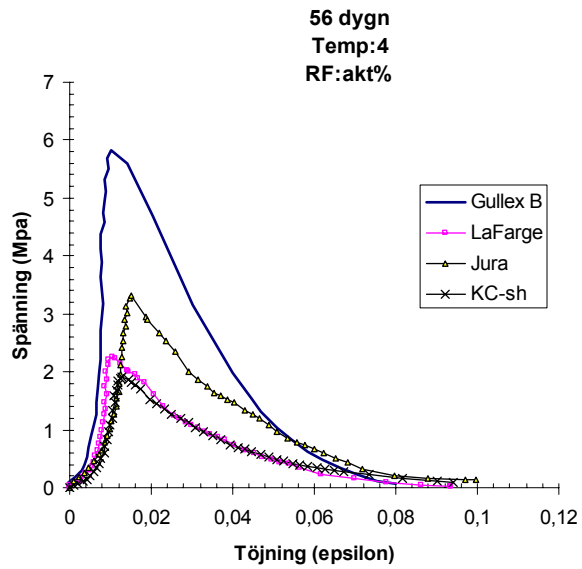
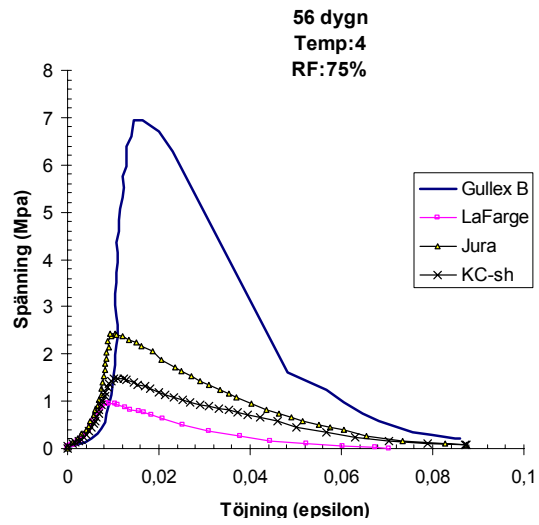
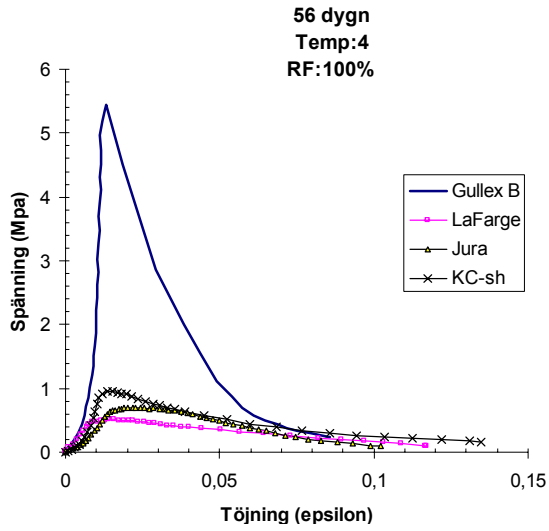






56 dygnsprov





Arbetskurvor redovisade med avseende på inverkan av temperatur

Finns att tillgå på bifogad CD

Arbetskurvor redovisade med avseende på inverkan av RF

Finns att tillgå på bifogad CD

Elasticitetsmodul

Medelvärden från arbetskurvan i MPa (se provresultat)

	4 grader, 100%RF			4 grader, 75%RF		
	7dygn	28 dygn	56 dygn	7dygn	28 dygn	56 dygn
Jura	9	22	53	77	85	365
Lafarge	19	26	55	46	41	154
KC-sh	80	150	129	68	244*	227
KC-bygg		71	82		114	141
KC-injekt		42	66		104	152
KC-ultra		55	93		139	200
Gullex B	215	869	1262	290	1011	1227

	10 grader, 100%RF			10 grader, 75%RF		
	7dygn	28 dygn	56 dygn	7dygn	28 dygn	56 dygn
Jura	24	75	146	82	169	168
Lafarge	13	39	86	68	61	170
KC-sh	84	229	211	94	228	237
KC-bygg		80	87		135	174
KC-injekt		58	94		118	139
KC-ultra		79	124		135	215
Gullex B	732	859	2320	863	1033	2017

	20 grader, 100%RF			20 grader, 75%RF		
	7dygn	28 dygn	56 dygn	7dygn	28 dygn	56 dygn
Jura	55	206	321	172	378	486
Lafarge	14	90	194	51	129	141
KC-sh	81	133	178	143	168	241
KC-bygg		105	112		224	156
KC-injekt		44	52		114	108
KC-ultra		74	104		115	130
Gullex B	1628	15312*	2015	1340	*	1844

	4 grader, 83%RF		
	7dygn	28 dygn	56 dygn
Jura	69	398	684
Lafarge	43	142	624
KC-sh	112	268	407
KC-bygg		174	338
KC-injekt		151	183
KC-ultra		221	253
Gullex B	266	1007	2015

	10 grader, 58%RF		
	7dygn	28 dygn	56 dygn
Jura	72	170	151

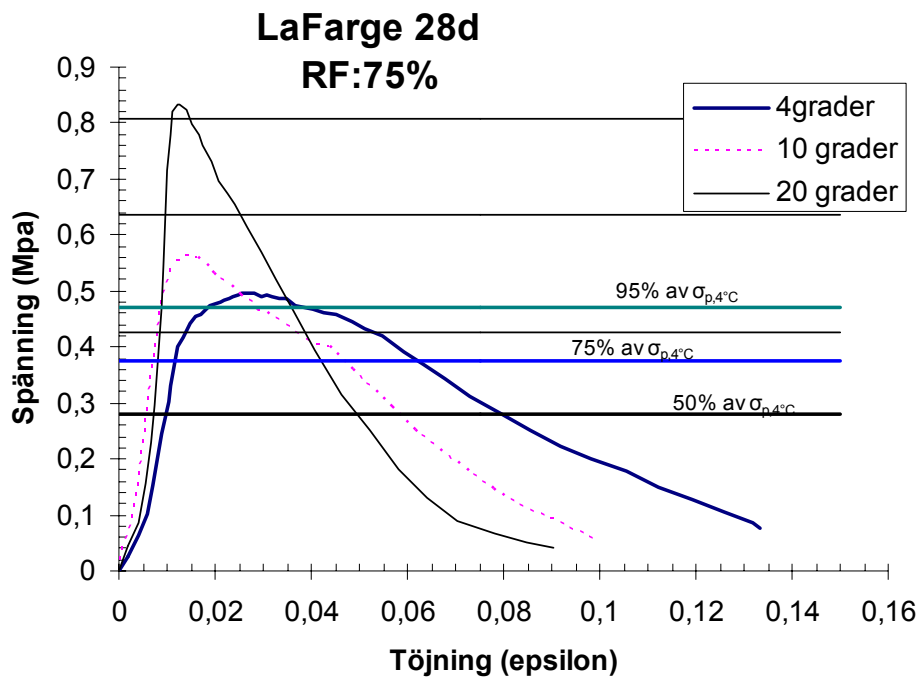
Lafarge	40	83	90
KC-sh	127	198	239
KC-bygg		77	119
KC-injekt		142	146
KC-ultra		101	152
Gullex B	378	994*	1077

20grader, 50%RF

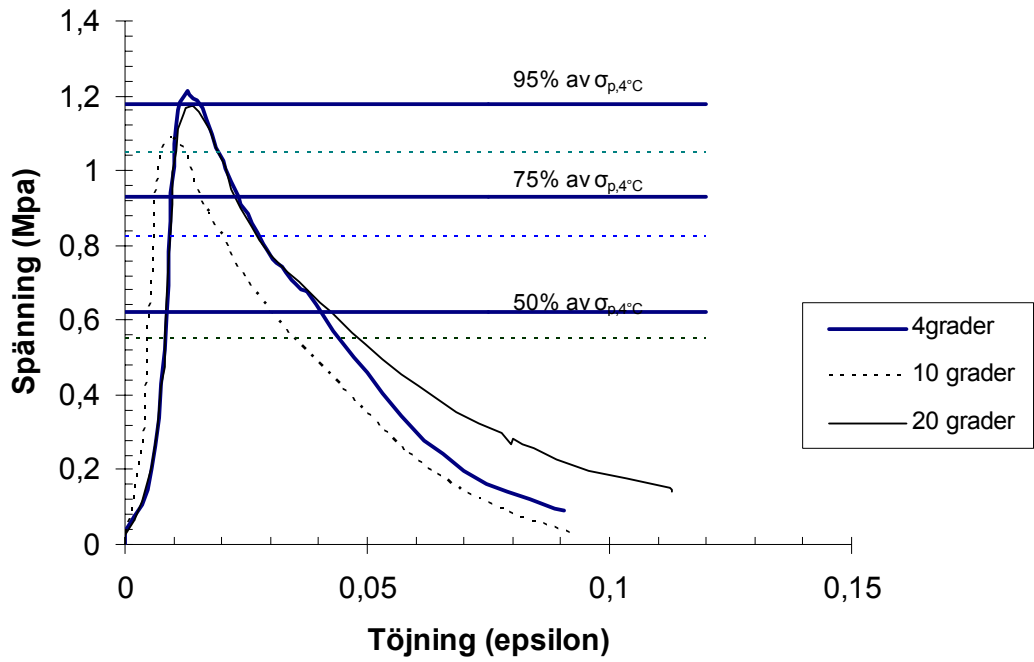
	7dygn	28 dygn	56 dygn
Jura	121	188	140
Lafarge	31	74	79
KC-sh	97	260*	148
KC-bygg		64	49
KC-injekt		44	52
KC-ultra		50	104
Gullex B	376	1260*	829

*=värden med reservation pga. fel eller för stor avvikelse

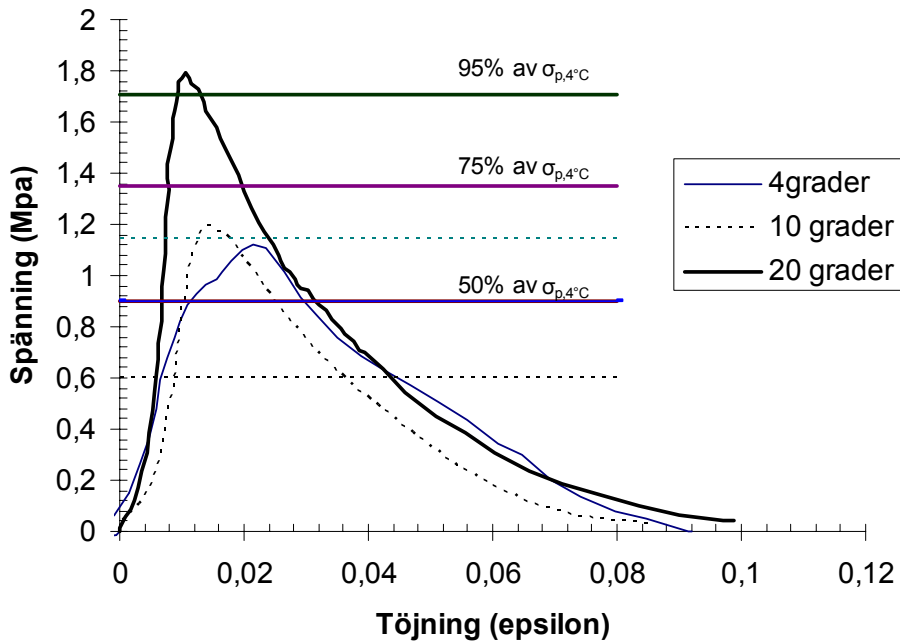
Deformationer



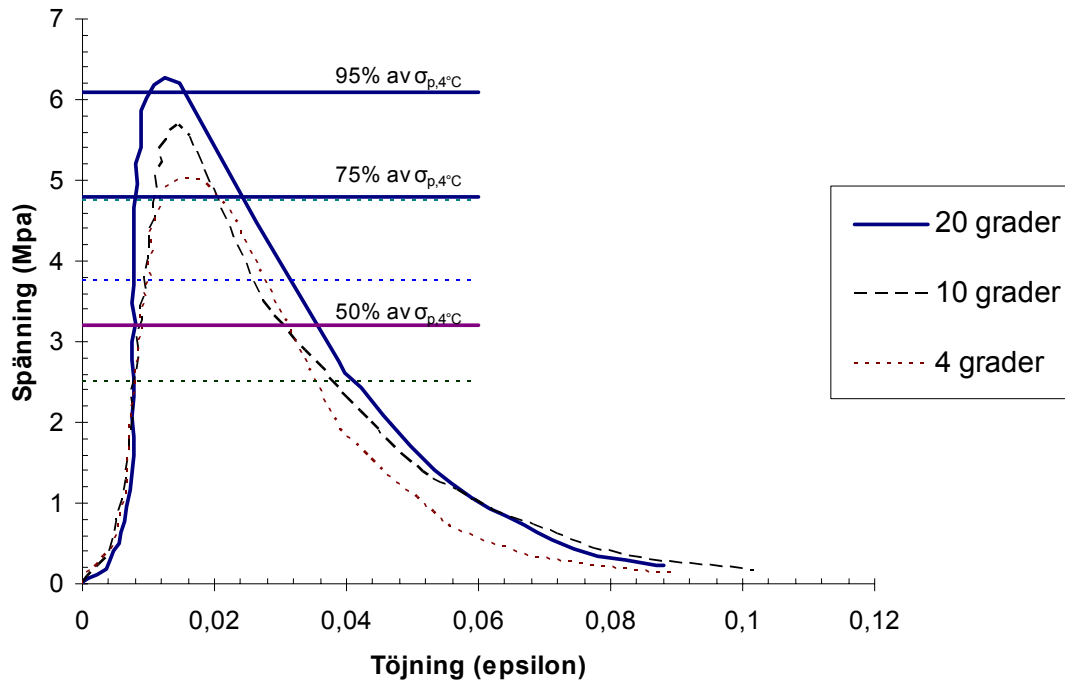
KC-sh 28d
RF:75%



Jura 28d
RF:75%



Gullex B 28d
RF: 75%



Brottsdeformation beräknat ur E-modulen (epsilon)

Temperatur:	20			10			4		
RF:	100%	75%	50%	100%	75%	58%	100%	75%	83%
CO2:	ej CO2	ej CO2	CO2	ej CO2	ej CO2	CO2	ej CO2	ej CO2	CO2
LaFarge									
7dygn	0,0180	0,0080	0,0158	0,0178	0,0057	0,0120	0,0099	0,0086	0,0099
28 dygn	0,0072	0,0064	0,0073	0,0104	0,0091	0,0071	0,0130	0,0110	0,0073
56 dygn	0,0055	0,0065	0,0067	0,0085	0,0056	0,0062	0,0084	0,0064	0,0037
Jura									
7dygn	0,0088	0,0053	0,0086	0,0133	0,0078	0,0121	0,0236	0,0071	0,0123
28 dygn	0,0052	0,0047	0,0048	0,0106	0,0071	0,0079	0,0178	0,0117	0,0057
56 dygn	0,0058	0,0046	0,0064	0,0087	0,0093	0,0086	0,0134	0,0049	0,0058
KC-sh									
7dygn	0,0071	0,0054	0,0070	0,0070	0,0069	0,0064	0,0068	0,0107	0,0072
28 dygn	0,0063	0,0066		0,0038	0,0046	0,0060	0,0058		0,0051
56 dygn	0,0060	0,0056	0,0052	0,0052	0,0056	0,0053	0,0070	0,0068	0,0049
Gullex B									
7dygn	0,0030	0,0027	0,0064	0,0037	0,0036	0,0056	0,0073	0,0062	0,0060
28 dygn				0,0067	0,0057		0,0053	0,0050	0,0047

56 dygn 0,0040 0,0039 0,0033 0,0030 0,0040 0,0043 0,0042 0,0057 0,0028

**KC-
bygg**

7dygn

28 dygn 0,0069 0,0050 0,0068 0,0094 0,0071 0,0082 0,0094 0,0087 0,0064

56 dygn 0,0077 0,0069 0,0076 0,0097 0,0070 0,0064 0,0102 0,0075 0,0063

**KC-
injekt**

7dygn

28 dygn 0,0128 0,0067 0,0094 0,0095 0,0065 0,0052 0,0100 0,0069 0,0063

56 dygn 0,0134 0,0065 0,0078 0,0074 0,0063 0,0051 0,0091 0,0059 0,0068

KC-ultrafin

7dygn

28 dygn 0,0083 0,0061 0,0095 0,0078 0,0068 0,0064 0,0084 0,0062 0,0053

56 dygn 0,0069 0,0060 0,0057 0,0065 0,0056 0,0053 0,0070 0,0054 0,0056

Uttorkningskrämpning

**Sammanställning uttorkningskrämpning i ‰ rel. 5dygn är
nollvärde**

6

dygn	Temperatur:	20°C				10°C			4°C		
		<u>100%</u>	<u>75%</u>	<u>50%</u>	<u>100%</u>	<u>75%</u>	<u>58%</u>	<u>100%</u>	<u>75%</u>	<u>83%</u>	
	<u>RF:</u>										
	<u>LaFarge</u>	0,20	2,88	1,07	0,31	5,11	2,55	0,19	4,04	2,19	
	<u>Jura</u>	0,08	0,07	0,53	0,18	0,53	0,43	-	-	0,65	
	<u>KC-sh</u>	0,04	0,30	0,42	0,18	0,05	0,47	0,12	0,24	0,22	
	<u>Gullex</u>										
	<u>B</u>	-0,02	0,01	0,26	0,04	0,01	0,10	0,06	0,06	0,21	

8 dygn

	<u>LaFarge</u>	0,26	3,35	1,24	0,40	1,30	3,18	0,73	5,77	3,54
	<u>Jura</u>	0,09	0,14	0,70	0,19	0,59	0,57	-	-	0,76
	<u>KC-sh</u>	0,05	0,38	0,82	0,63	0,37	0,84	0,13	0,34	0,34
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	0,01	0,04	0,57	0,06	0,05	0,22	0,08	0,07	0,21

14 dygn

	<u>LaFarge</u>	0,34	3,97	1,30	0,56	6,07	3,51	0,99	6,60	4,28
	<u>Jura</u>	0,13	0,78	0,73	0,25	0,70	0,96	-	-	0,97
	<u>KC-sh</u>	0,14	0,74	0,94	0,30	1,22	1,96	0,21	0,55	0,51
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	0,04	0,15	0,73	0,07	0,12	0,60	0,14	0,14	0,32

28 dygn

	<u>LaFarge</u>	0,59	4,49	1,30	0,68	6,54	3,48	0,95	7,50	4,66
	<u>Jura</u>	0,16	1,38	0,74	0,27	1,26	0,92	-	-	1,08
	<u>KC-sh</u>	0,17	2,12	0,92	0,33	1,60	2,07	0,21	0,87	1,06

	<u>Gullex</u>									
56 dygn	<u>B</u>	0,08	0,52	0,78	0,01	0,12	0,71	0,05	0,23	0,54
	<u>LaFarge</u>	0,63	4,53	1,33	0,84	6,81	3,58	1,01	7,92	4,66
	<u>Jura</u>	0,21	1,55	0,77	0,28	1,69	1,02	-	-	1,03
	<u>KC-sh</u>	0,18	2,25	0,96	0,39	2,65	2,11	0,24	2,04	2,03
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	0,20	0,65	0,83	0,11	0,43	0,81	0,07	0,58	0,54

Sammanställning viktförändring (-minskning) för krympprismor ovan vid olika tidpunkter relaterat till utgångsvikten vid 5 dygn i ‰

6 dygn	Temperatur:	20°C			10°C			4°C		
	RF:	100%	75%	50%	100%	75%	58%	100%	75%	83%
	<u>LaFarge</u>	0,28	20,83	-	0,12	28,58	-	0,22	5,85	-
	<u>Jura</u>	0,18	26,35	-	0,11	29,44	-	-	-	12,50
	<u>KC-sh</u>	0,21	42,53	-	-	-	57,19	0,15	7,49	-
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 dygn										
	<u>LaFarge</u>	0,73	41,03	-	0,26	32,90	-	-0,02	19,48	-
	<u>Jura</u>	0,73	52,83	-	0,09	35,52	-	-	-	37,97
	<u>KC-sh</u>	0,78	53,74	-	0,25	-	102,30	-0,09	19,37	-
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14 dygn										
	<u>LaFarge</u>	1,83	97,92	-	0,51	40,01	-	-0,02	30,40	-
	<u>Jura</u>	1,79	70,78	-	0,48	46,43	-	-	-	69,51
	<u>KC-sh</u>	1,86	106,04	-	0,67	-	121,27	-0,06	28,38	-
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28 dygn										
	<u>LaFarge</u>	4,56	104,14	-	1,52	104,77	-	0,18	75,50	-
	<u>Jura</u>	4,44	76,47	-	1,61	76,17	-	-	-	69,03
	<u>KC-sh</u>	4,49	115,61	-	1,96	-	120,52	0,13	80,44	-
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56 dygn										
	<u>LaFarge</u>	9,72	105,50	-	3,71	108,60	-	0,30	105,38	-
	<u>Jura</u>	9,39	77,96	-	3,98	81,13	-	-	-	64,51
	<u>KC-sh</u>	9,53	117,96	-	5,20	-	113,87	0,30	111,97	-
	<u>Gullex</u>									
	<u>B</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Karbonatiseringsdjup (huvudförsök)

7 dygn	20°C	10°C	4°C
<i>LaFarge</i>	0.1 0.3	0.3 0.2	0.3 0.2
<i>Jura</i>	0.4 0.5	1.0 0.5	2.0 1.0
<i>KC-sh</i>	0.1	0.9 0	0.2 0
<i>Gullex B</i>	1.0 9.0 1.3	1.3 0	10.0 0
28dygn			
<i>Fafarge</i>	1.8 1.8	1.4 0.1 0.1	3.8 3.3 2.5
<i>Jura</i>	1.0 1.0	2.8	10.1 0.7
<i>KC-sh</i>	8.0 0.8	1.0 1.0 0.5	3.8
<i>GullexB</i>	1.5 1.5	1.5 1.5	3.7 3.8
56 dygn			
<i>Fafarge</i>	0.1 0.2 0.2	0.0 0.1 0.1	0.5 0.8
<i>Jura</i>	0.4 0.3	0.5 0.7	8.0 9.0
<i>KC-sh</i>	0.2	1.0 0.3	6.0 2.5
<i>Gullex B</i>	1.4 0.9		

Karbonatiseringsdjup (extra materialsammansättningar)

7 dygn	20°C	10°C	4°C
<i>KC-sh</i>	0.1	0.9 0	0.2 0
<i>KC-bygg</i>	0.3, 0.2	0	0
<i>KC-injekt</i>	0.2 0.3	0.1	<0.1
<i>KC-ultra</i>	0.2, 0.1	<0.1	0
28dygn			
<i>KC-sh</i>	8.0 0.8	1.0 1.0 0.5	3.8
<i>KC-bygg</i>	0.3, 0.2	0.1 0.1	1.7, 1.8
<i>KC-injekt</i>	0.1, 0.1	0.1, 0.2	1.2, 1.2
<i>KC-ultra</i>	<0.1	0	2.6, 3.1
56 dygn			
<i>KC-sh</i>	0.2	1.0 0.3	6.0 2.5
<i>KC-bygg</i>	1, 0.6	0.5	1.8
<i>KC-injekt</i>	0	0	1.3, 7
<i>KC-ultra</i>	0.1	0	2.5, 4.5

Bilaga E Provresultat

Tryckprov, böjdragprov, karbonatisering, arbetskurvor och spridning

Inledande förklaringar till tryckprovredovisningen

σ_{medel}	Medel tryck hållfasthet	Tryck standard avvikelse del av medelvärde	Tryck standard avvikelse del av medelvärde	Tryck intervallets största värde	Tryck intervallets minsta värde	Böjdrag standard avvikelse del av medelvärde	Böjdrag intervallets största värde	Böjdrag intervallets minsta värde
Std avv	Tryck Standard avvikelse					Böjdrag standard avvikelse		
95% Conf	Tryck intervallet storlek					Böjdrag intervallets storlek		

Medeltryckhållfastheten:

Medelvärdet beräknat på samtliga provresultat med samma klimatförutsättningar och lagringstid

Standardavvikelsen är beräknad enligt följande formel:

$$\text{Stdavv} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2}{n^2}}$$

där x = brotthållfasthetsvärden
n = antal värden

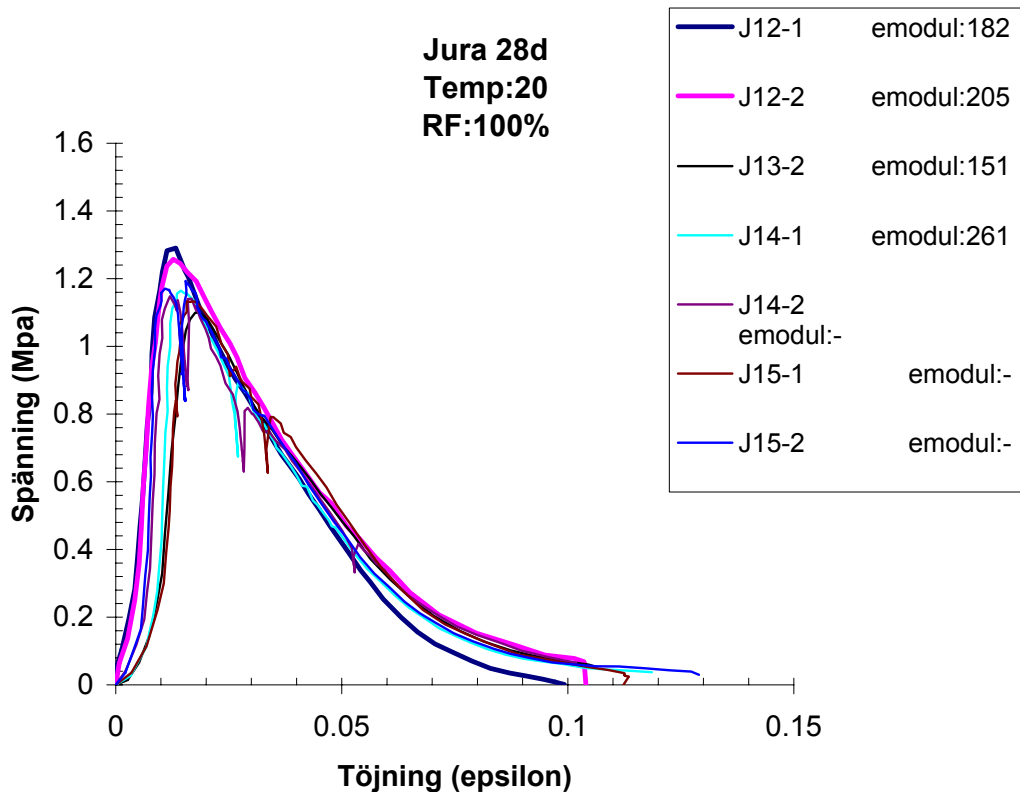
Intervallet:

95 % Conf = 95 % Konfidens intervall

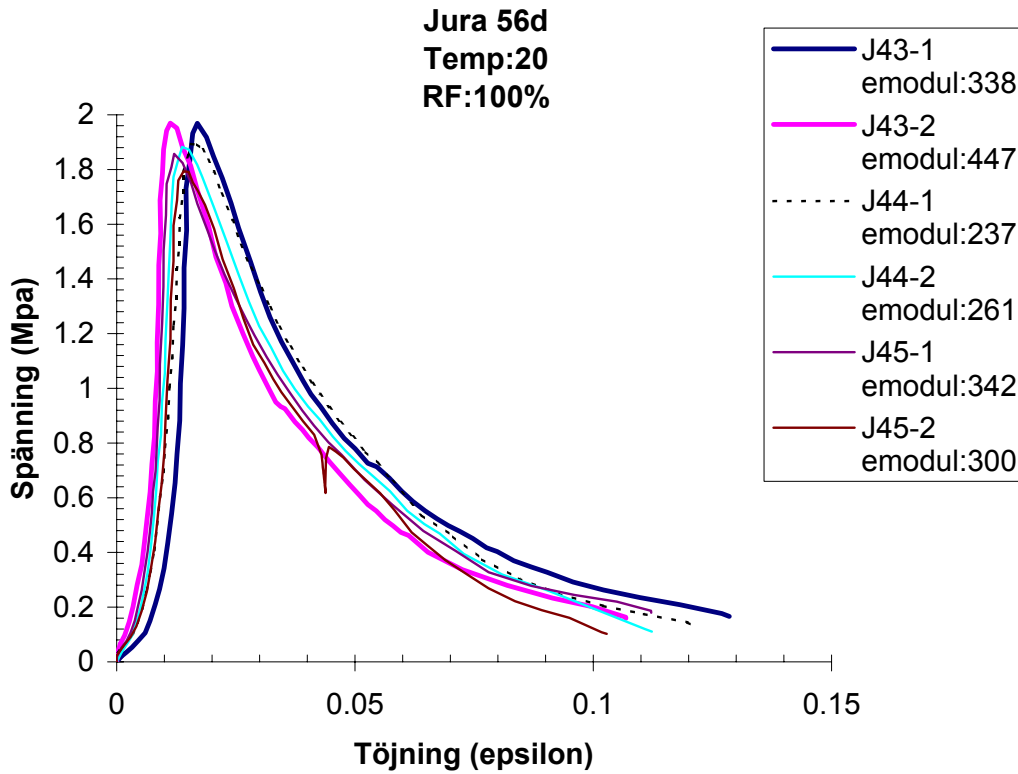
Bruk: Jura
Temperatur:20°C
RF:100%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J4	0.442	0.507	0.217		1795	1277			0
J5	0.432	0.486	0.22		1776	1772			0
J8	0.479	0.553	0.231		1785	1778			0
J85	0.545	0.440	0.258		1775	1769			0
σ_{medel}	0.485		0.232						
Std avv	0.044	9.1	0.016	6.9					
95% Conf	0.030	0.52	0.46	0.016	0.25	0.22			

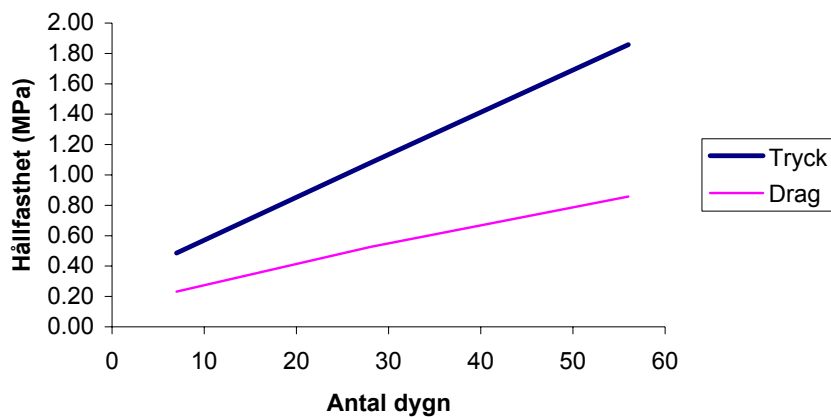
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J12	fel utr.	fel utr.	0.579		1775		1769		0
J13	1.087	1.086	0.54		1778		1770		0
J14	1.165	1.141	0.482		1791		1783		0
J15	0.831	1.162	0.501		1783		1772		0
σ_{medel}	1.079		0.526						
Std avv	0.115	10.7	0.024	4.6					
95% Conf	0.092	1.17	0.99	0.024	0.55	0.50			



56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest	
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J43	1.933	1.933	0.897	1786			1766	0
J44	1.860	1.838	0.855	1780			1765	0
J45	1.823	1.760	0.82	1772			1753	0
σ_{medel}	1.858		0.857					
Std avv	0.061	3.3	0.031	3.7				
95% Conf	0.049	1.91	1.81	0.036	0.89	0.82		



Hållfasthetsutveckling

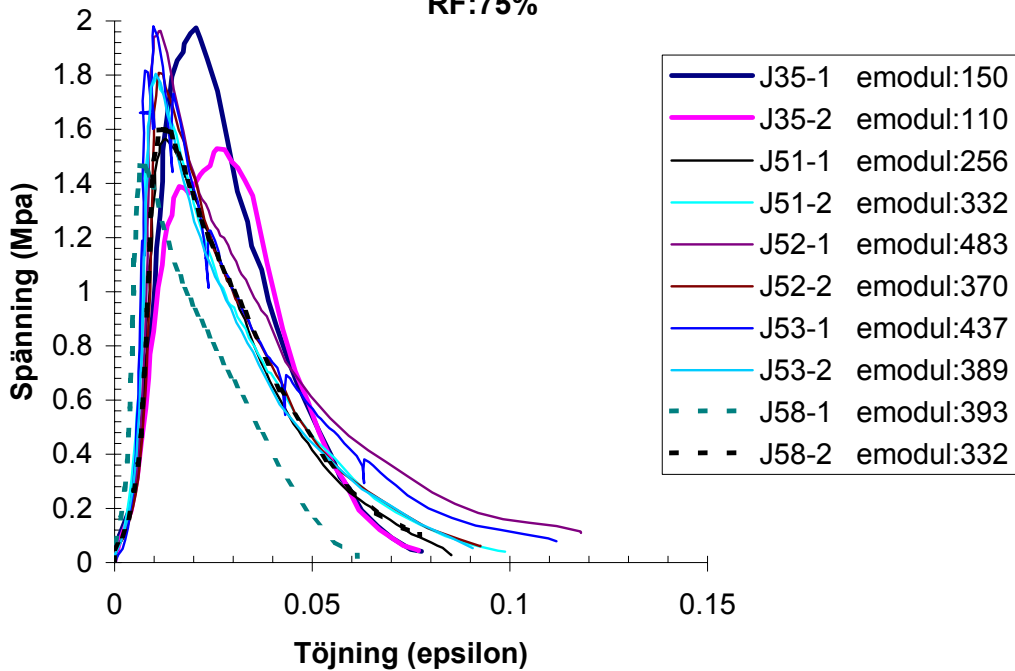


Bruk: Jura
Temperatur:20°C
RF:75%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
J6	0.818	0.858	0.327	1805	1693			0	
J7	0.958	1.005	0.39	1773	1643			0	
J9	0.951	0.982	0.358	1770	1649			0	
J86	0.804	0.919	0.399	1674	1544			0	
σ_{medel}	0.912		0.369						
Std avv	0.071	7.8	0.018	4.8					
95% Conf	0.049	0.96	0.86	0.017	0.39	0.35			

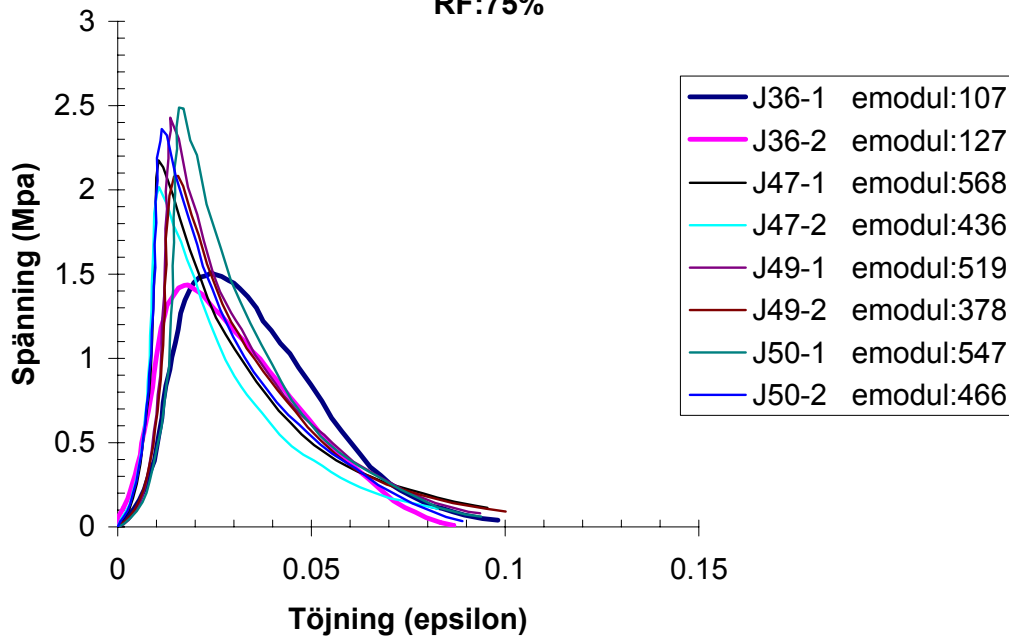
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
J35(4 till20 grad vid)	1.935	1.538	0.908	1806	1705	1681		0	
J51	1.539	1.758	0.741	1784	1753	1670		0	
J52	1.925	1.779	0.718	1784	1758	1673		0	
J53	1.943	1.784	0.717	1764	1725	1657		0	
J58(gjuteni10grad)	1.440	1.571	0.74	1771	1679	1643		0	
σ_{medel}	1.79		0.73						
$\sigma_{medel,byte klin}$	1.74		0.91						
Std avv	0.133	7.4	0.011	1.5					
95% Conf	0.106	1.89	1.68	0.013	0.74	0.71			

Jura 28d
Temp:20
RF:75%

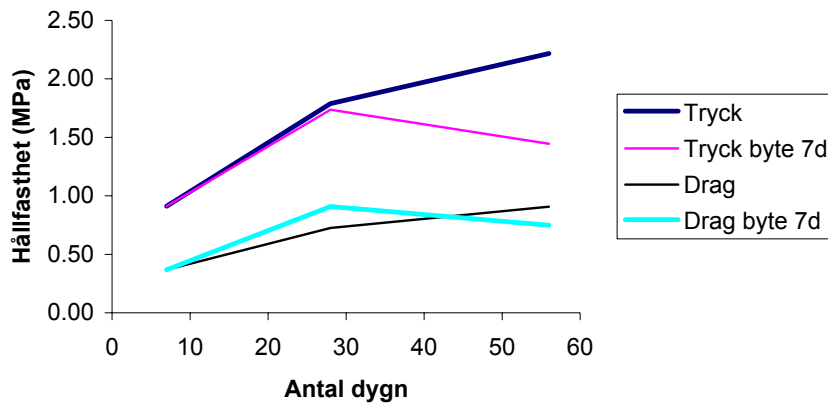


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J36(4 till 20grad vid)	1.479	1.412	0.748	1796	1758	1678	1658	0
J47	2.138	1.979	0.84	1775	1749	1666	1653	0
J49	2.381	2.045	0.96	1780	1758	1674	1660	0
J50	2.443	2.319	0.921	1759	1746	1657	1645	0
σ_{medel}	2.217		0.907					
$\sigma_{medel,byte\ 7dk}$	1.445		0.748					
Std avv	0.174	7.8	0.050	5.5				
95% Conf	0.139	2.36	2.08	0.057	0.96	0.85		

Jura 56d
Temp:20
RF:75%



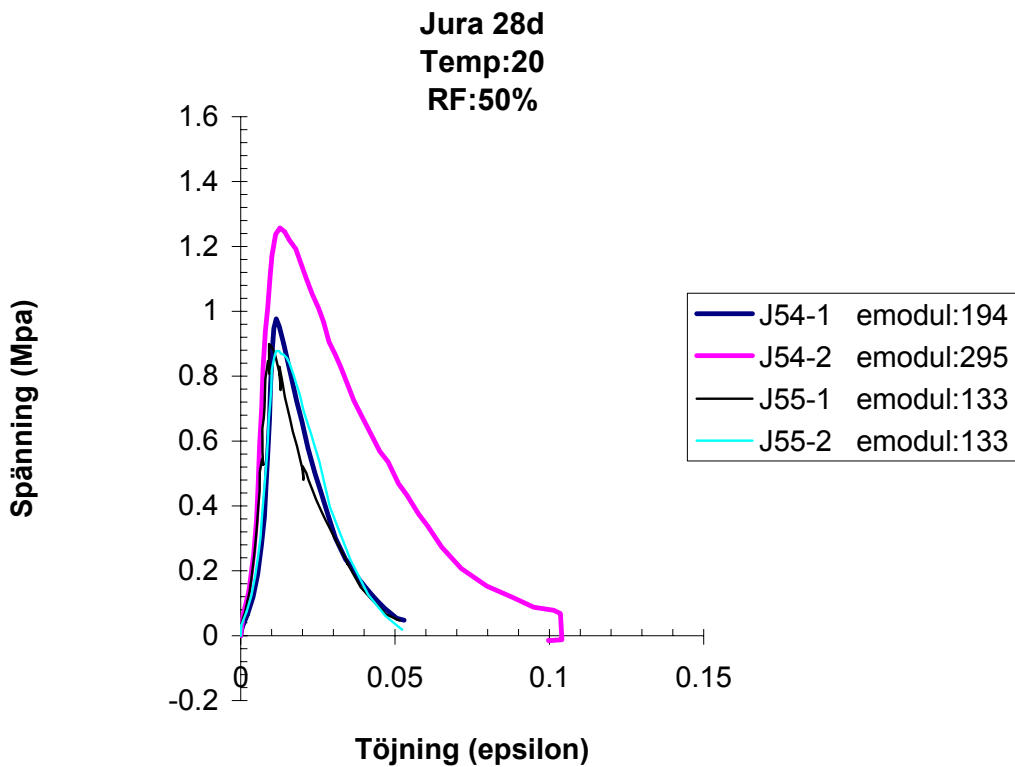
Hållfasthetsutveckling



Bruk: Jura
Temperatur:20°C
RF:50%

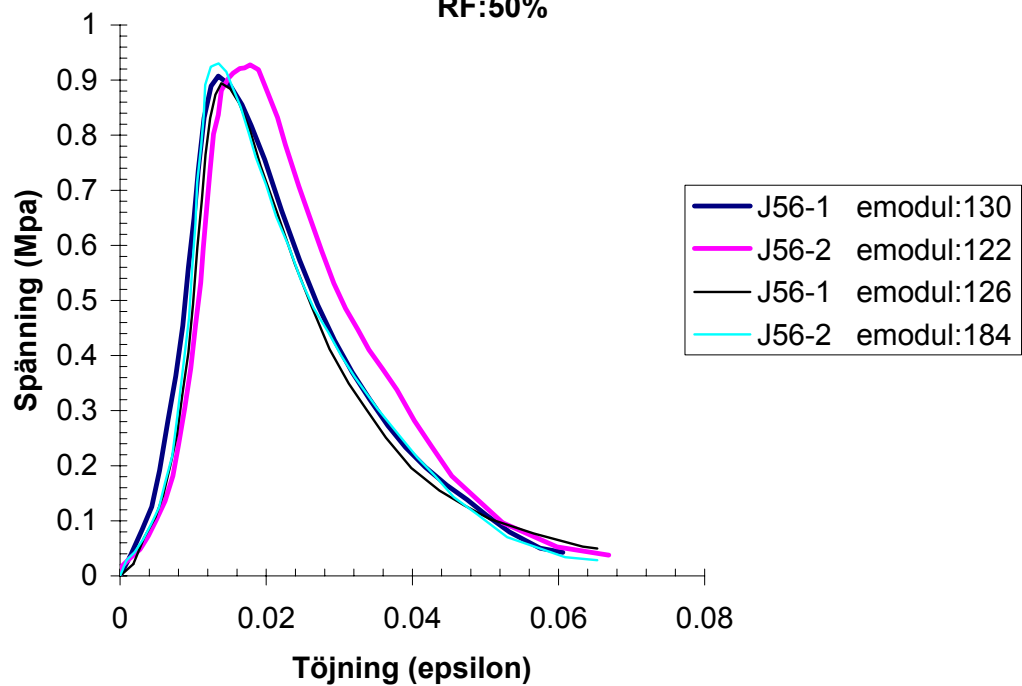
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J48	1.155	1.094	bruten		1768	1635			0.4
J87	1.019	0.899	0.521		1764	1620			0.5
σ_{medel}	1.042		0.521						
Std avv	0.095	9.2							
95% Conf	0.094	1.14	0.95						

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J54	0.962	0.977	0.468		1761	1632	1636		1
J55	0.831	0.860	0.519		1775	1640	1644		1
σ_{medel}	0.91		0.49						
Std avv	0.063	6.9	0.025	5.2					
95% Conf	0.062	0.97	0.85	0.035	0.55	0.48			

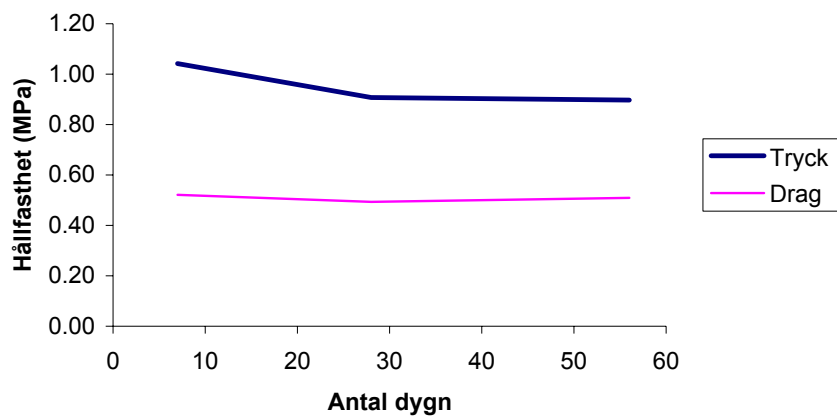


56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J56	0.890	0.908	0.498		1754	1627	1631	1631	0.4
J57	0.878	0.911	0.521		1764	1631	1635	1635	0.3
σ_{medel}	0.90		0.51						
Std avv	0.013	1.5	0.012	2.3					
95% Conf	0.013	0.91	0.88	0.016	0.54	0.51			

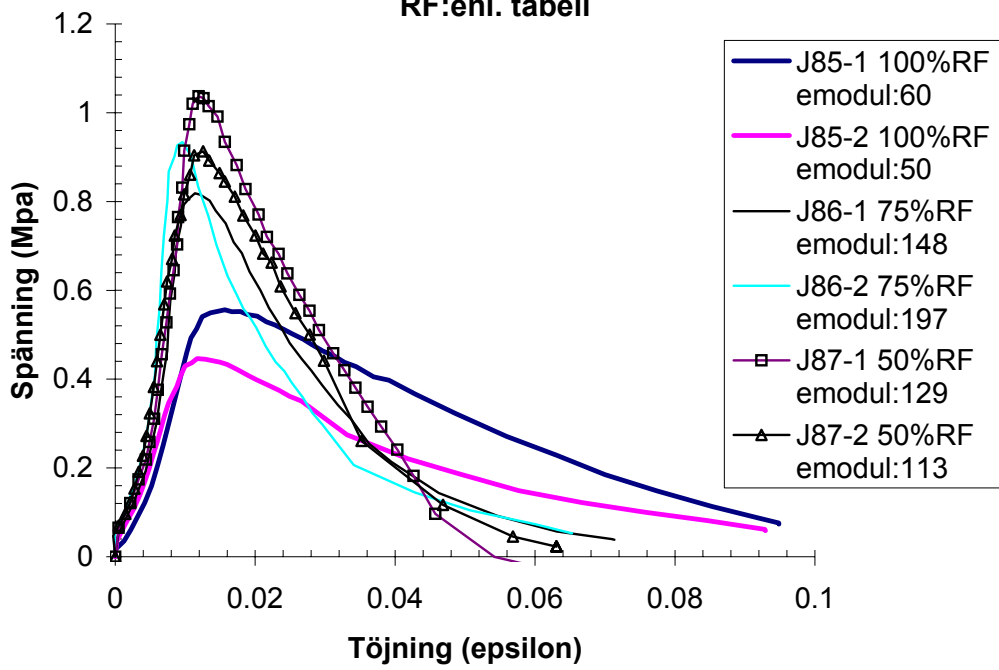
Jura 56d
Temp:20
RF:50%



Hållfasthetsutveckling



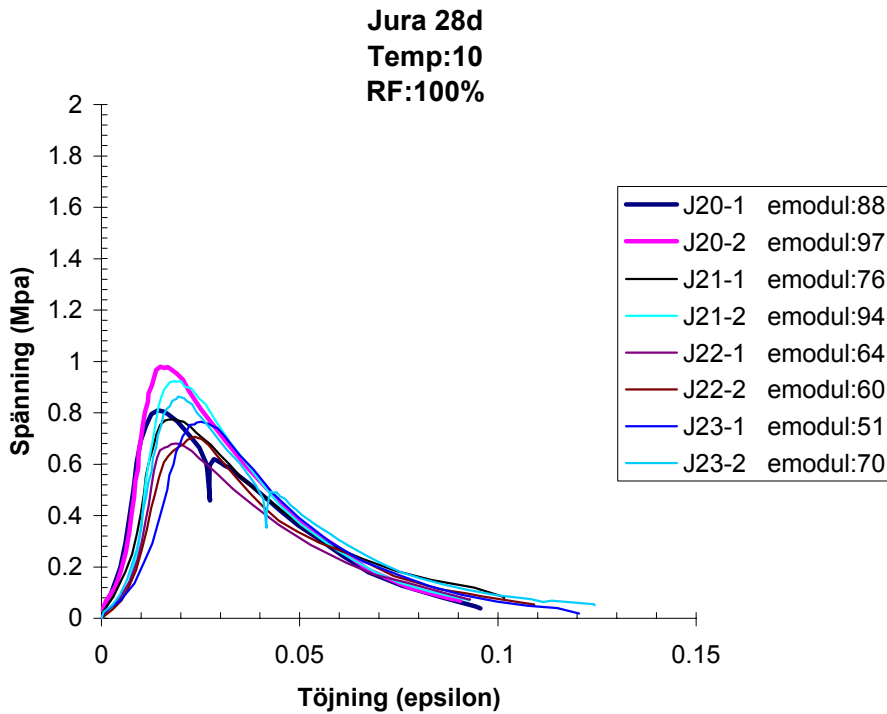
Jura 7d
Temp:20
RF:enl. tabell



Bruk: Jura
Temperatur: 10°C
RF: 100%

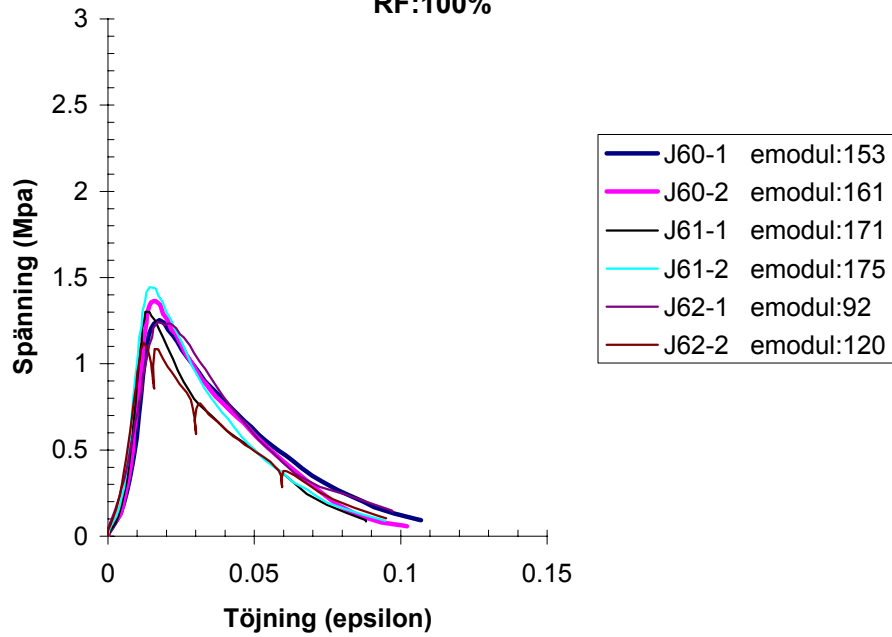
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J16	0.325	0.370	0.176		1791	1785			0
J17	0.330	0.393	0.179		1783	1770			0
J88	0.211	0.288	0.14		1692	1691			0
σ_{medel}	0.319		0.165						
Std avv	0.059	18.4	0.018	10.7					
95% Conf	0.047	0.37	0.27	0.020	0.19	0.14			

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J20	0.795	0.960	0.378		1790		1778		0
J21	0.759	0.906	bruten		1767		1758		0
J22	0.667	0.696	bruten		1799		1777		0
J23	0.752	0.848	0.402		1790		1782		0
σ_{medel}	0.798		0.390						
Std avv	0.094	11.8	0.012	3.1					
95% Conf	0.065	0.863	0.732	0.014	0.404	0.376			

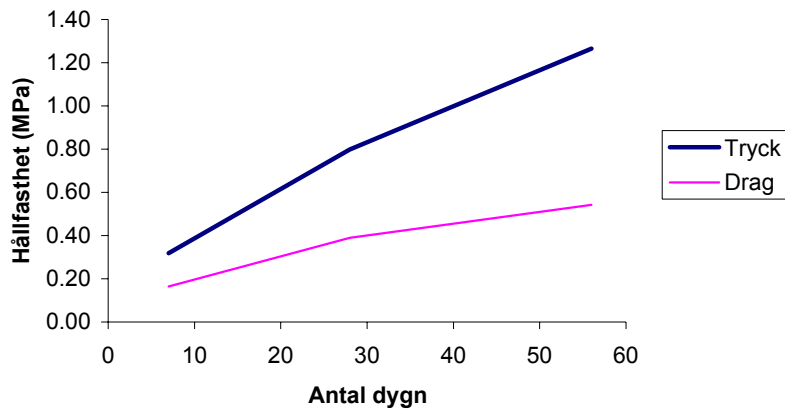


56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J60	1.228	1.339	0.541		1775			1753	
J61	1.277	1.420	0.567		1771			1752	
J62	1.221	1.104	0.52		1775			1750	
σ_{medel}	1.265		0.543						
Std avv	0.099	7.8	0.019	3.5					
95% Conf	0.079	1.344	1.185	0.022	0.564	0.521			

Jura 56d
Temp:10
RF:100%



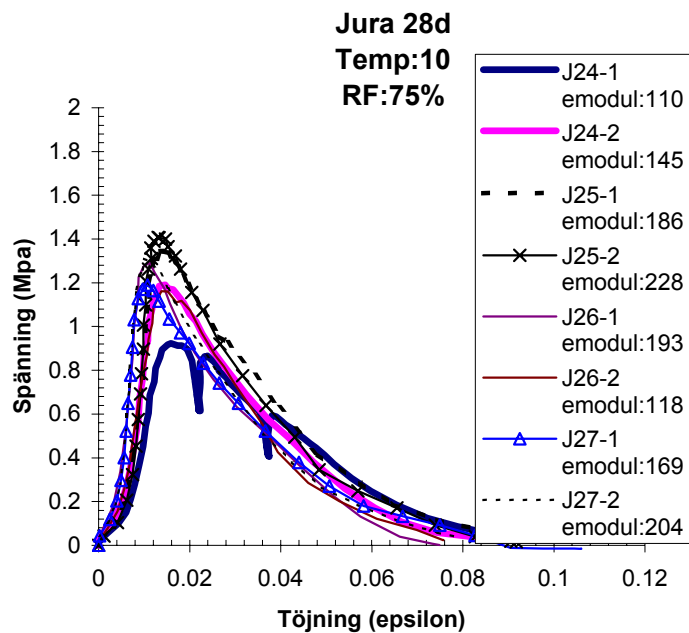
Hållfasthetsutveckling



Bruk: Jura
Temperatur:10°C
RF:75%

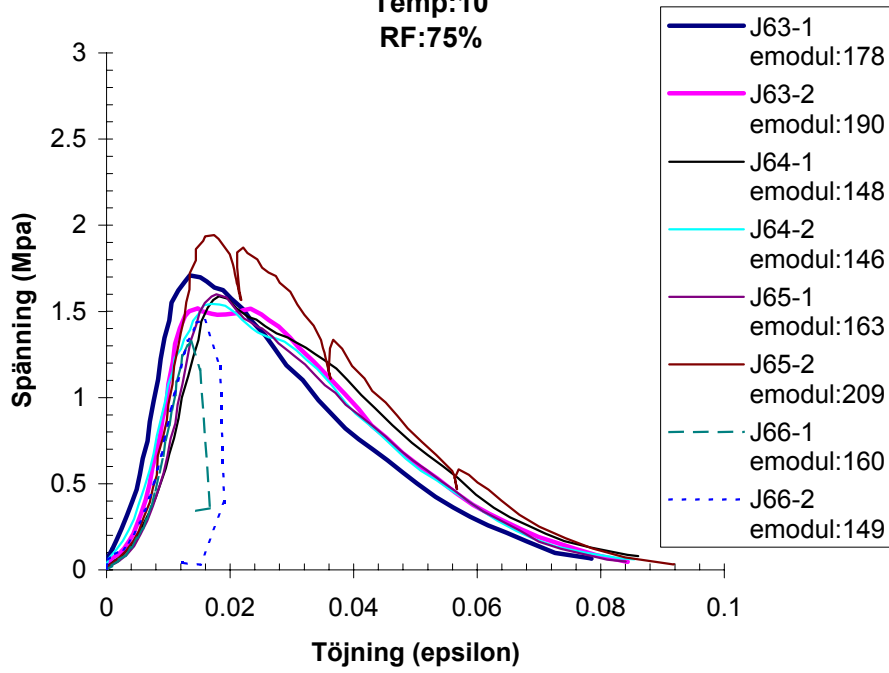
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
J18	0.572	0.614	0.26	1778	1703						0
J19	0.656	0.658	0.301	1781	1694						0
J89	0.632	0.695	0.259	1688	1559						0
σ_{medel}	0.638		0.273								
Std avv	0.039	6.1	0.020	7.2							
95% Conf	0.031	0.669	0.607	0.022	0.295	0.251					

28 dygn		Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
J24	0.908	1.171	0.444	1818	1780	1718		0	
J25	1.324	1.381	0.537	1793	1733	1718		0	
J26	1.268	1.138	0.602	1773	1761	1662		0	
J27	1.168	1.283	0.546	1768	1755	1665		0	
σ_{medel}	1.205		0.532						
Std avv	0.137	11.4	0.057	10.7					
95% Conf	0.095	1.300	1.110	0.056	0.588	0.477			

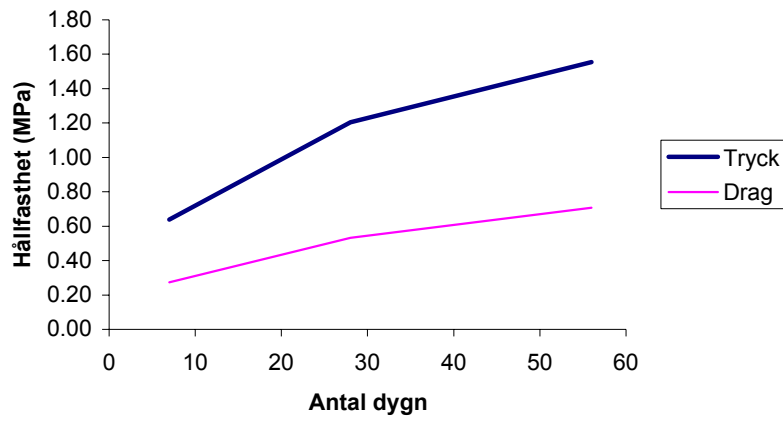


56 dygn		Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
J63	1.678	1.491	0.77	1800	1783	1717	1661	0	
J64	1.558	1.516	0.723	1820	1795	1720	1677	0	
J65	1.568	1.907	0.75	1811	1770	1703	1672	0	
J66	1.298	1.424	0.585	1786	1771	1656	1645	0	
σ_{medel}	1.56		0.71						
Std avv	0.169	10.9	0.072	10.2					
95% Conf	0.117	1.672	1.438	0.071	0.778	0.636			

Jura 56d
Temp:10
RF:75%



Hållfasthetsutveckling

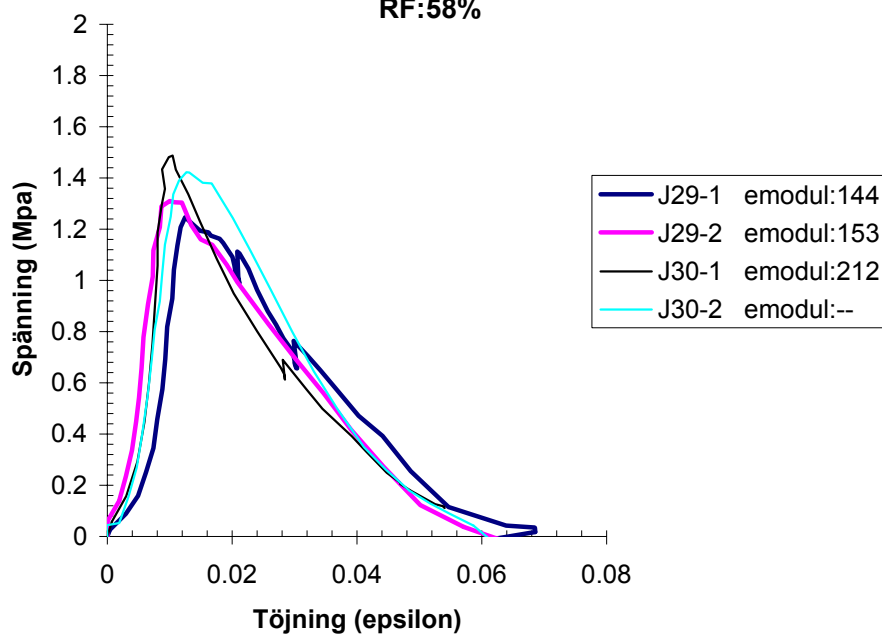


Bruk: Jura
Temperatur: 10°C
RF: akt%

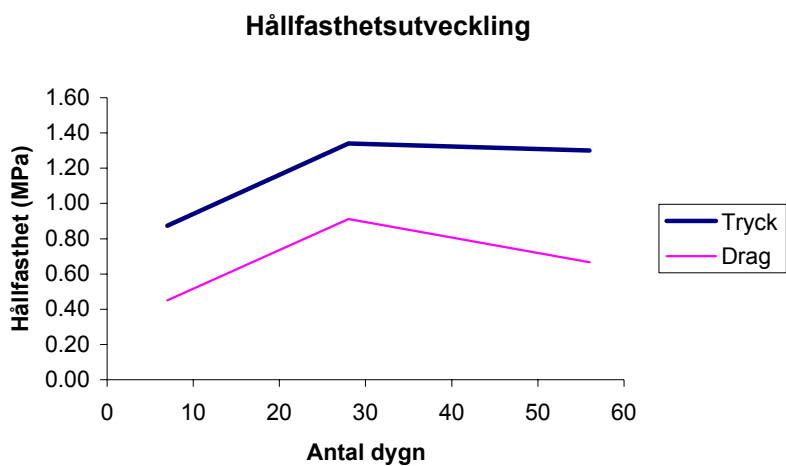
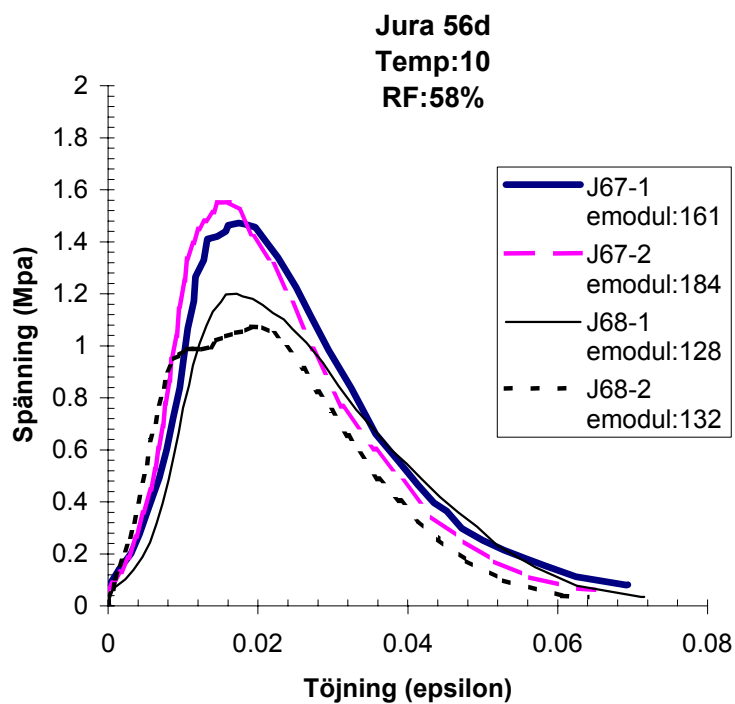
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J28	1.117	1.181	0.562		1785	1645			1
J90	0.603	0.592	0.338		1678	1537			0.5 (till 1)
σ_{medel}	0.873		0.450						
Std avv	0.277	31.7	0.112	24.9					
95% Conf	0.271	1.144	0.602	0.155	0.605	0.295			

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J29	1.215	1.287	0.915		1783	1645	1636		2.8
J30	1.458	1.400	0.907		1783	1643	1635		
σ_{medel}	1.34		0.91						
Std avv	0.095	7.1	0.004	0.4					
95% Conf	0.093	1.433	1.247	0.006	0.917	0.905			

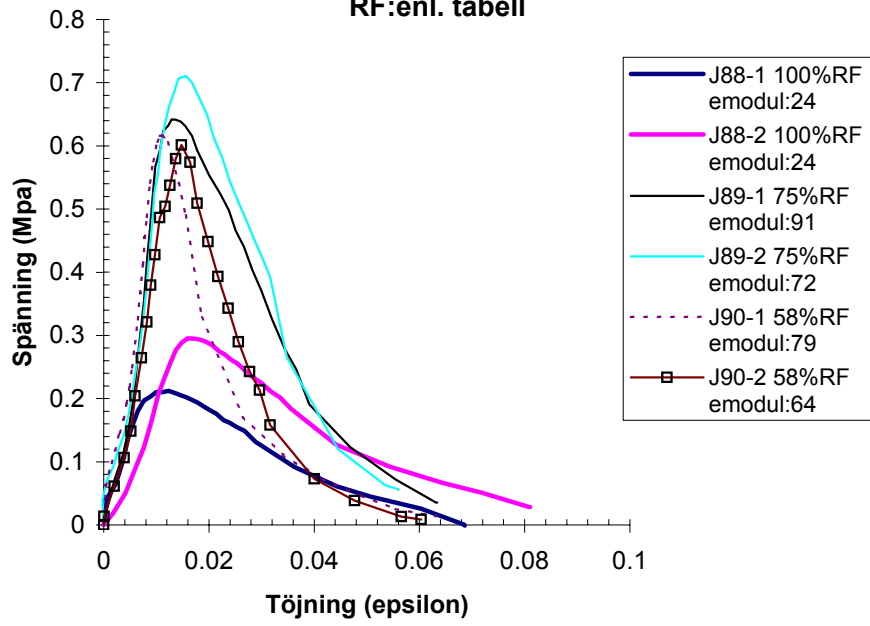
Jura 28d
Temp: 10
RF: 58%



56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalin test
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avr}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J67	1.447	1.522	0.675	1793	1666	1628	1631	0.5 3sid rest 0
J68	1.181	1.050	0.659	1791	1655	1621	1623	0.7 3sid rest 0
σ_{medel}	1.30		0.67					
Std avv	0.192	14.8	0.008	1.2				
95% Conf	0.188	1.49	1.11	0.011	0.68	0.66		



Jura 7d
Temp:10
RF:enl. tabell

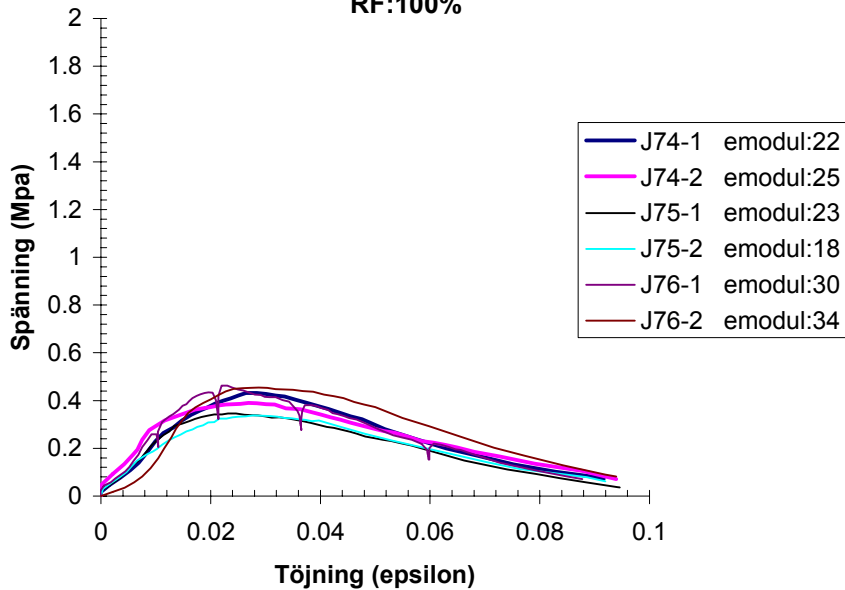


Bruk: Jura
Temperatur: 4°C
RF: 100%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J31	0.213	0.197	0.099		1795	1789			Ej CO2
J32	0.218	0.246	0.098		1795	1789			Ej CO2
J91	0.181	0.223	0.107		1819	1816			Ej CO2
σ_{medel}	0.213		0.101						
Std avv	0.020	9.5	0.004	4.0					
95% Conf	0.016	0.23	0.20	0.005	0.11	0.10			

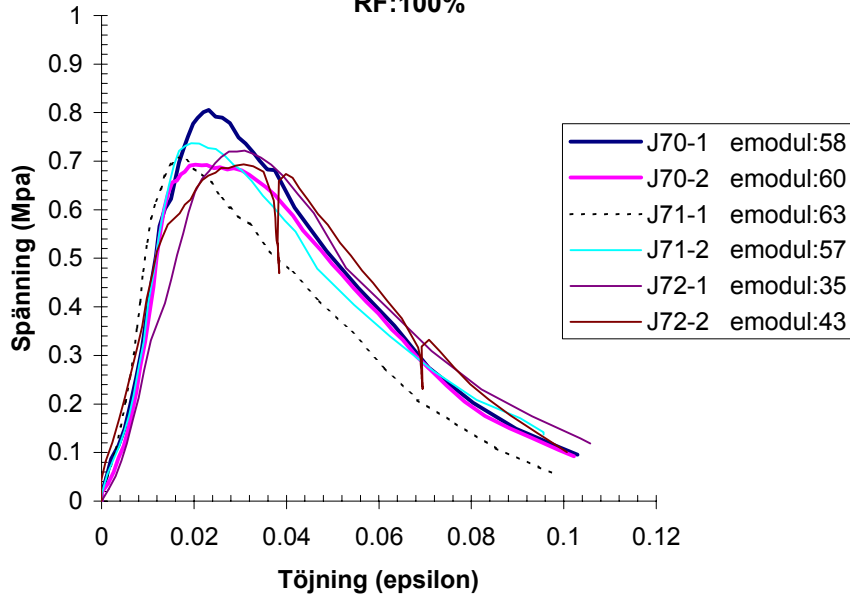
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J74	0.425	0.382	0.228		1842		1835		Ej CO2
J75	0.336	0.330	0.203		1766		1763		Ej CO2
J76	0.427	0.447	0.24		1817		1811		Ej CO2
σ_{medel}	0.391		0.224						
Std avv	0.045	11.6	0.015	6.9					
95% Conf	0.036	0.43	0.35	0.017	0.24	0.21			

Jura 28d
Temp: 4
RF: 100%

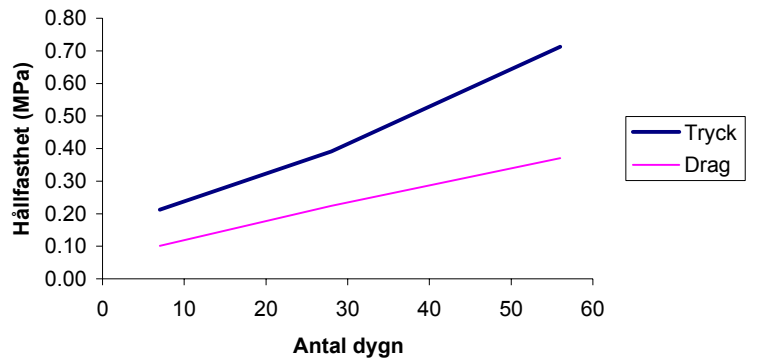


56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J70	0.789	0.677	0.38		1825			1817	Ej CO2
J71	0.693	0.725	0.335		1822			1807	Ej CO2
J72	0.709	0.683	0.398		1816			1805	Ej CO2
σ_{medel}	0.713		0.371						
Std avv	0.038	5.3	0.026	7.1					
95% Conf	0.030	0.74	0.68	0.030	0.40	0.34			

Jura 56d
Temp:4
RF:100%



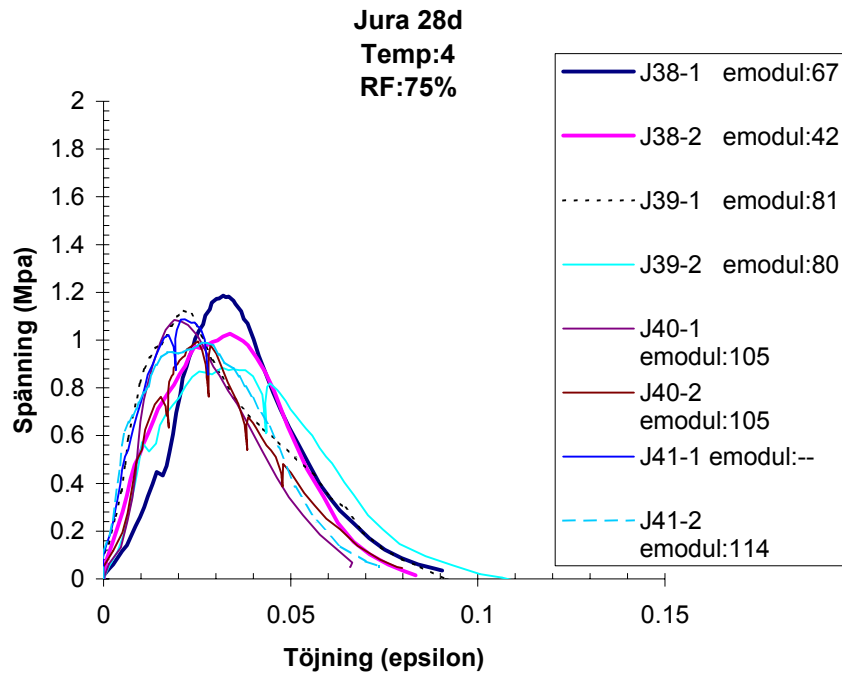
Hållfasthetsutveckling



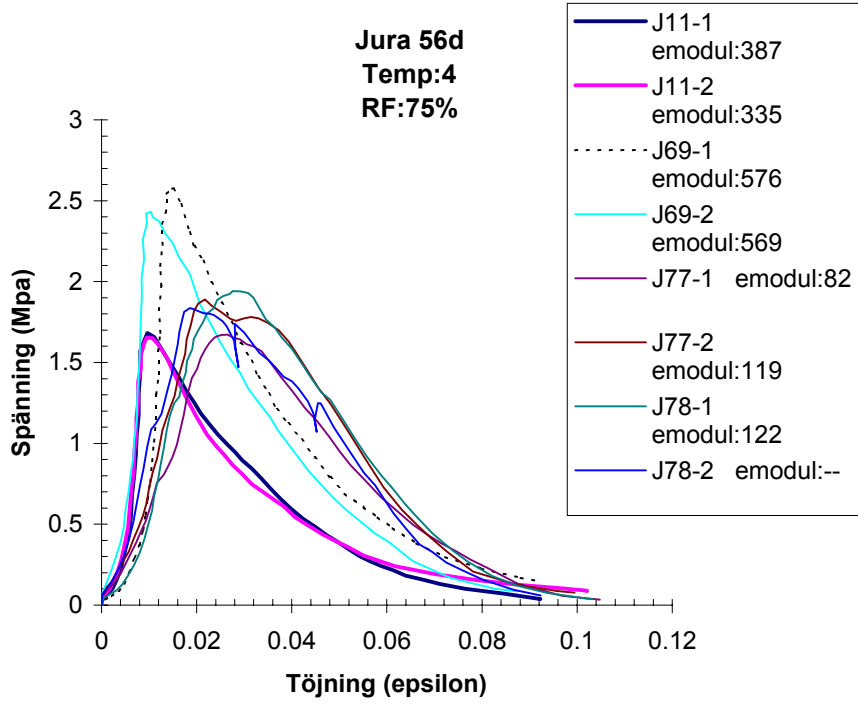
Bruk: Jura
Temperatur:4°C
RF:75%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}			
J33	0.333	0.337	0.189	1833	1769			Ej CO2		
J34	0.314	0.321	0.157	1805	1767			Ej CO2		
J92	1.031	0.966	0.347	1817	1674			Ej CO2		
σ_{medel}	0.550		0.231							
Std avv	0.318	57.7	0.083	36.0						
95% Conf	0.254	0.80	0.30	0.094	0.32	0.14				

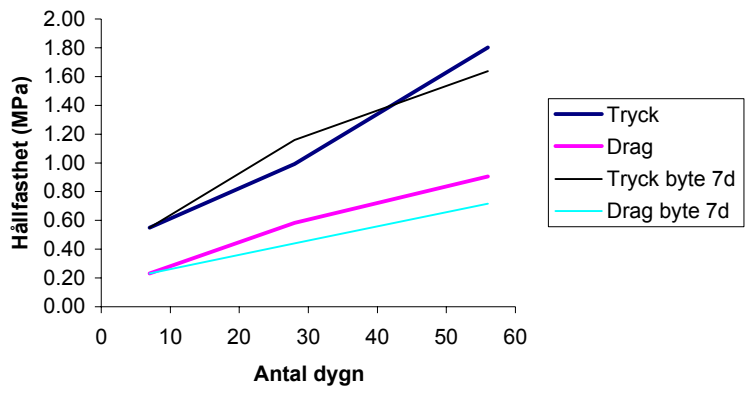
Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J10(20 till 4 grad v	1.151	1.166	0.44	1764	1656	1677		Ej CO2
J38	1.165	1.007	0.552	1825	1724	1689		Ej CO2
J39	1.104	0.863	0.575	1840	1744	1703		Ej CO2
J40	1.064	0.759	0.607	1844	1757	1711		Ej CO2
J41	1.003	0.973	0.599	1835	1729	1699		Ej CO2
σ_{medel}	0.99		0.58					
$\sigma_{medel,byte7}$	1.16		0.44					
Std avv	0.122	12.3	0.022	3.7				
95% Conf	0.085	1.08	0.91	0.60	0.56			



Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J11(20 till 4grad vi	1.653	1.622	0.716	1762	1648	1671	1644	Ej CO2
J69(gjuten i 10 gra	2.530	2.387	1.032	1777	1716	1692	1646	Ej CO2
J77	1.641	1.858	0.889	1798	1763	1718	1653	Ej CO2
J78	1.907	1.800	0.92	1823	1764	1715	1670	Ej CO2
σ_{medel}	1.80		0.90					
$\sigma_{medel,byte7}$	1.64		0.72					
Std avv	0.100	5.6	0.015	1.7				
95% Conf	0.098	1.90	1.70	0.93	0.88			



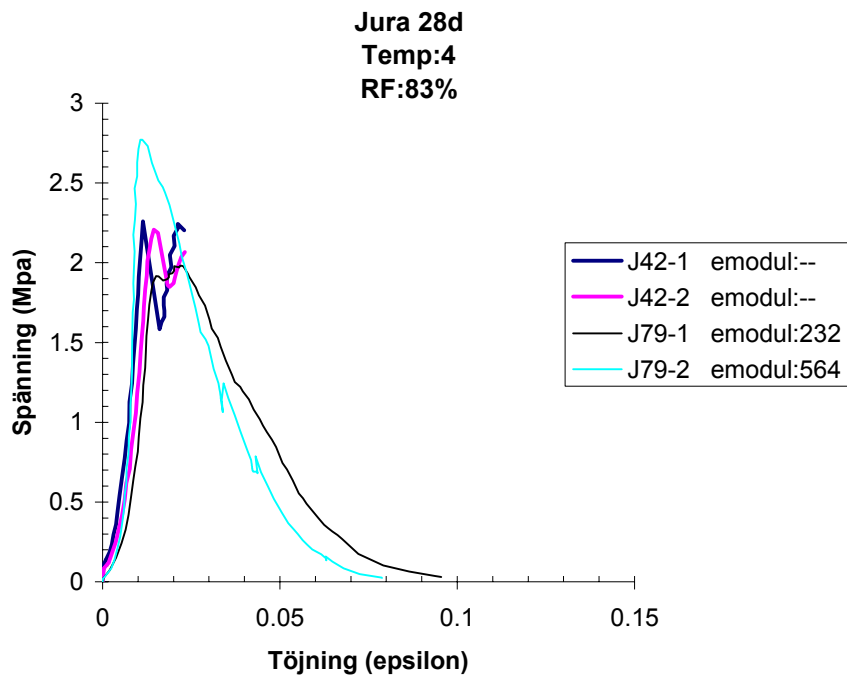
Hållfasthetsutveckling



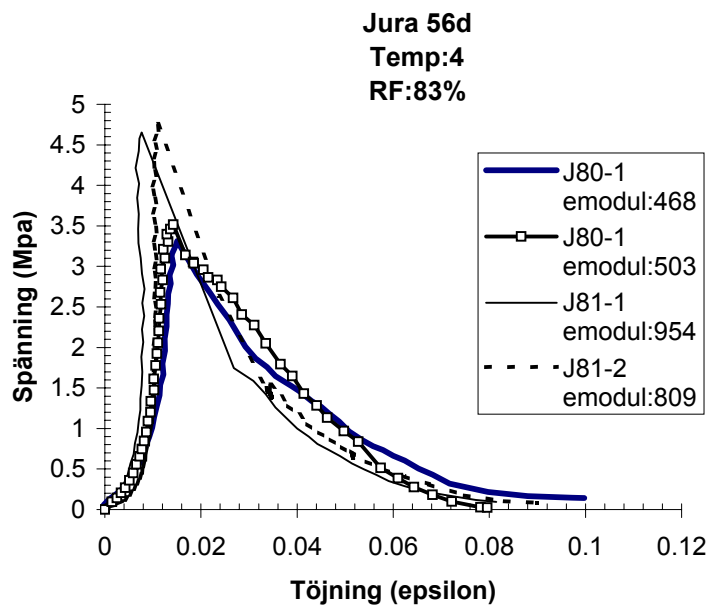
Bruk: Jura
Temperatur:4°C
RF:akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J37	0.724	0.768	0.5	1819	1677			2
J84(avform efter 5	1.187	1.141	0.56	1784	1661			1
J93	0.941	0.970	0.618	1830	1692			
σ_{medel}	0.851		0.559					
Std avv	0.106	12.5	0.030	5.4				
95% Conf	0.104	0.95	0.75	0.042	0.60	0.52		

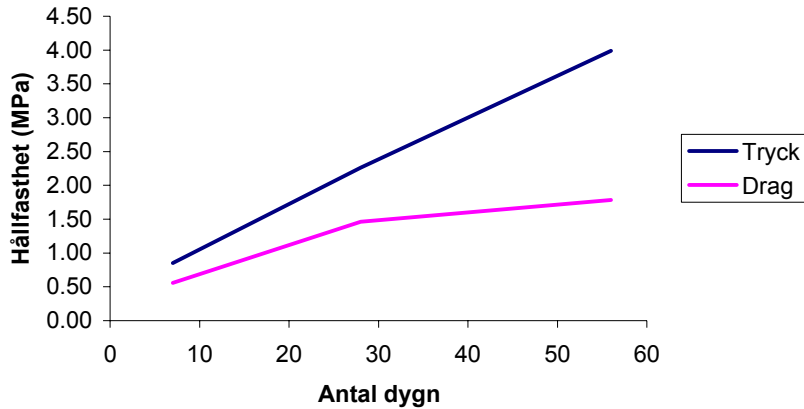
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J42	2.203	2.166	1.26		1825	1686	1692		10.07
J79	1.949	2.721	1.665		1813	1733	1678		0.65, (0.8 ovan)
σ_{medel}	2.26		1.46						
Std avv	0.283	12.5	0.203	13.8					
95% Conf	0.278	2.54	1.98	0.281	1.74	1.18			



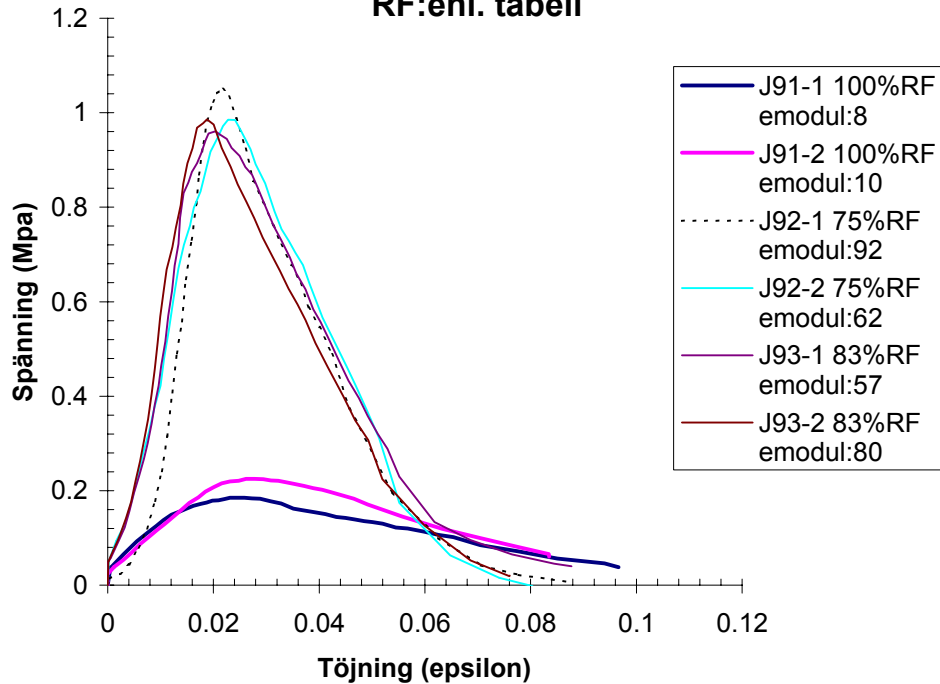
56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
J80	3.255	3.454	1.69		1792	1716	1662	1668	ca 8mm svgt rödgräns
J81	4.572	4.674	1.882		1793	1710	1663	1670	ca 9mm svgt rödgräns
σ_{medel}	3.99		1.79						
Std avv	0.639	16.0	0.096	5.4					
95% Conf	0.626	4.62	3.36	0.133	1.92	1.65			



Hållfasthetsutveckling



Jura 7d Temp:4 RF:enl. tabell



Lämnade (ej provade)

Klimat

Anmärknin	Gjutn da	T (°C)	RF (%)	CO ₂	Bruks-id
Utan papp	15-jan	20	50	ja	J1
	15-jan	20	50	ja	J2
	15-jan	4 akt		ja	J3
	30-jan	20	100	n	J46
gjuten i 10	30-jan	20	75	n	J59
	30-jan	4	100	n	J73
avform 5d	05-feb	20	100	n	J82
avform 5d	05-feb	20	75	n	J83

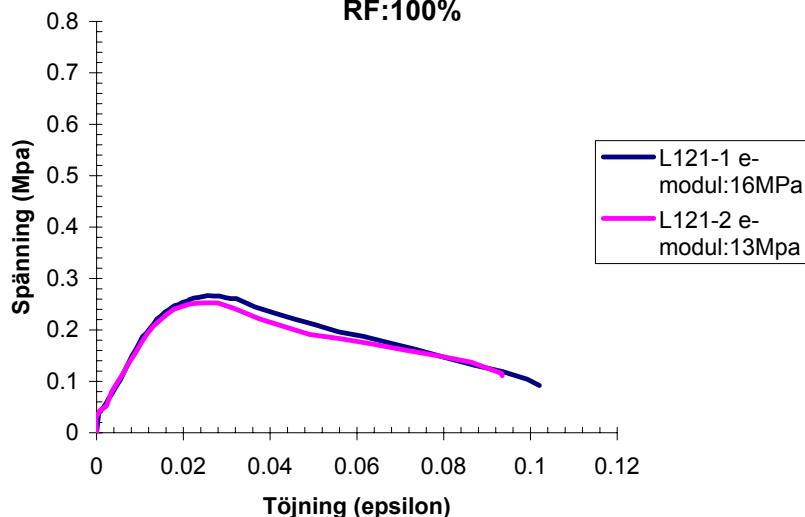
Vikt

Avformni	7dygn (g)	28 dygn	56 dygr	84 dygn(g)	Ålder (dygr)
	388.6	365.6	366.23	366.1	366.08 lämnas
	402.4	380.2	381.04	381.1	380.89 lämnas
	409.7	384.9	388.22	389	390.15 lämnas
	454.1			448.9	lämnas
	447.5	423.44	415.53	412.9	lämnas
	458.6			457	lämnas
	460.44			453.9	lämnas
	454.37			421.7	lämnas

Bruk: LaFarge
Temperatur:20°C
RF:100%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)				Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
					1	7						
L4*			0.358	0.163	1900	1891		ej CO2				
L82	0.238	0.242	0.14		1893	1889		ej CO2				
L83	0.260	0.258	0.138		1876	1871		ej CO2				
L84	0.256	0.251	0.159		1866	1861		ej CO2				
L121	0.260	0.246	0.1		1909	1905		ej CO2				
σ_{medel}	0.251			0.14								
$\sigma_{medel, fel luffth}$	0.358			0.163								
Std avv	0.008	3.1		0.021	15.3							
95% Conf	0.005	0.26	0.25	0.021	0.16	0.12						

LaFarge 7d
Temp:20
RF:100%

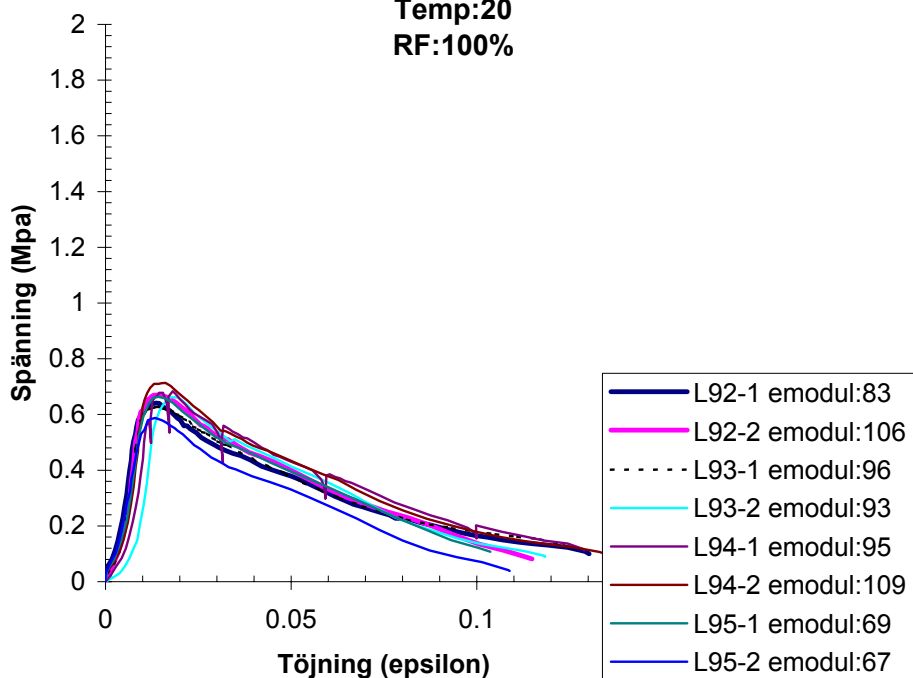


28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)				Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
L5*	0.638	0.640	0.316		1895	1888	1875	0				
L92	0.631	0.660	0.34		1837		1831	0				
L93	0.618	0.651	0.32		1842		1835	0				
L94	0.667	0.698	0.362		1859		1850	0				
L95	0.651	0.575	0.341		1857		1848	0				
σ_{medel}	0.644			0.34075								
$\sigma_{medel, fel luffth}$	0.639			0.316								
Std avv	0.034	5.3		0.015	4.4							
95% Conf	0.024	0.67	0.62	0.015	0.36	0.33						

LaFarge 28d

Temp:20

RF:100%

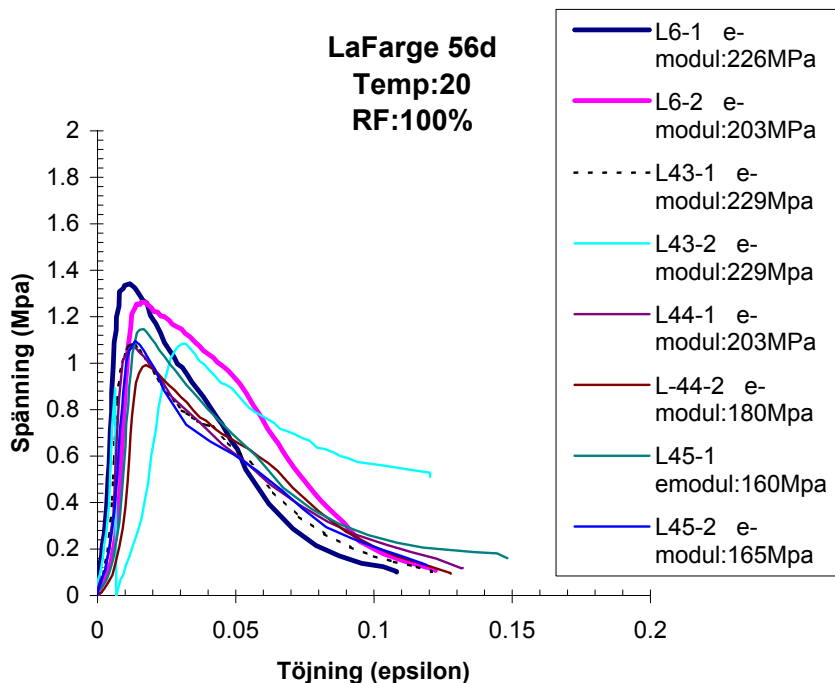


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
				1	7			
L6*	1.320	1.243	0.58	1886	1878	1851	0	
L43	1.062	1.066	0.485	1878		1861	0	
L44	1.050	0.977	0.486	1865		1848	0	
L45	1.128	1.073	0.53	1879		1860	0	
σ_{medel}	1.059		0.500					
$\sigma_{medel, fel lufth}$	1.281		0.58					
Std avv	0.044	4.2	0.021	4.2				
95% Conf	0.036	1.09	1.02	0.52	0.48			

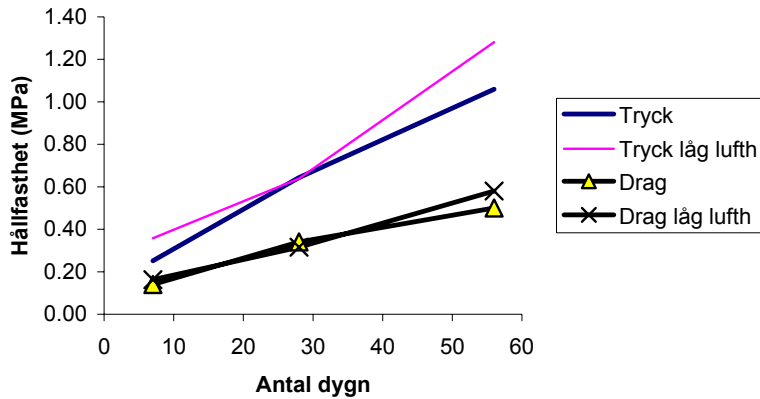
LaFarge 56d

Temp:20

RF:100%



Hållfasthetsutveckling



Bruk: LaFarge

Temperatur: 20°C

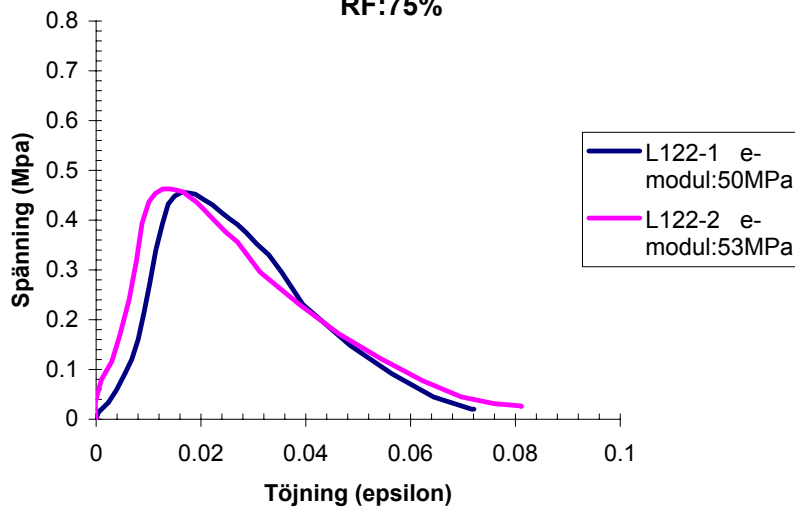
RF: 75%

Bruks-id	7dygn Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m ³)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
L7*	0.570	0.578	0.192	1936	1746					ej CO2	
L87	0.398	0.391	0.196	1862	1719					ej CO2	
L88	0.381	0.394	0.176	1863	1760					ej CO2	
L89	0.394	0.412	0.18	1855	1777					ej CO2	
L122	0.447	0.454	0.2	1918	1720					ej CO2	
σ_{medel}	0.409		0.188								
$\sigma_{medel, fel lufth}$	0.574		0.192								
Std avv	0.025	6.2	0.010	5.4							
95% Conf	0.018	0.43	0.39	0.010	0.20	0.18					

LaFarge 7d

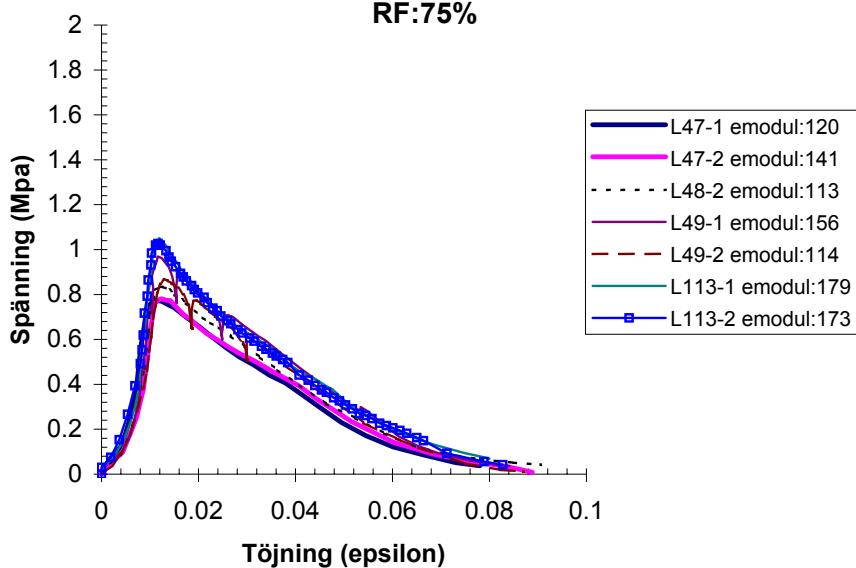
Temp: 20

RF: 75%



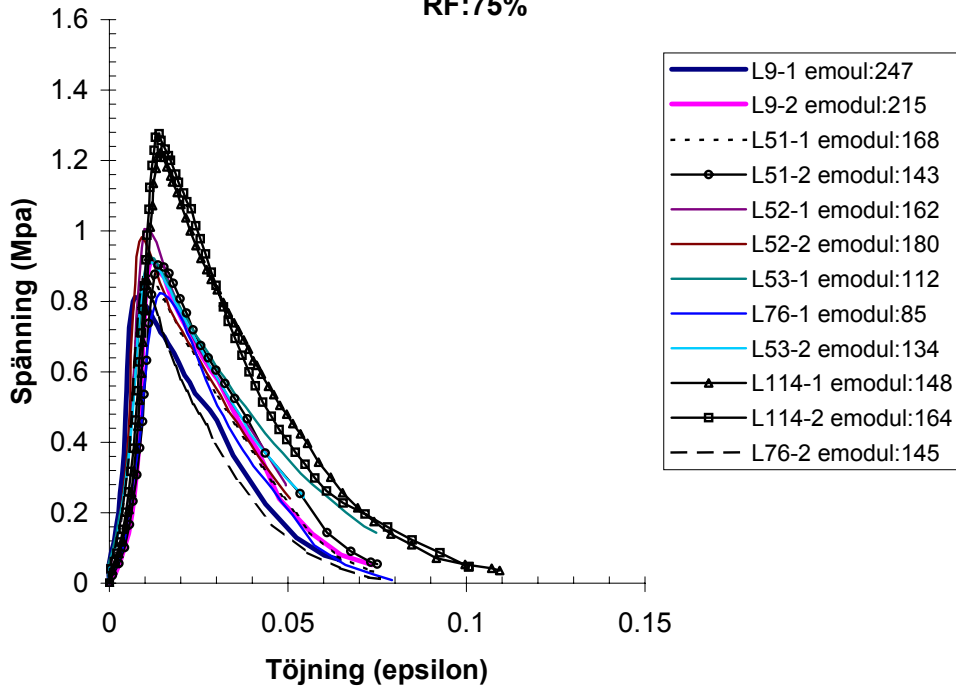
28 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
L8*	0.631	0.611	0.288	1922	1732	1735					ej CO2
L47	0.758	0.766	0.289	1890	1729	1719					ej CO2
L48	0.822	0.818	0.362	1863	1711	1694					ej CO2
L49	0.950	0.849	0.354	1876	1760	1710					ej CO2
L113**(från 4°Cvid	1.032	1.011	0.537	1879	1818	1693					ej CO2
σ_{medel}	0.83		0.34								
$\sigma_{medel, fel lufth}$	0.62		0.29								
$\sigma_{medel, byte klir}$	1.02		0.54								
Std avv	0.063	7.7	0.033	9.8							
95% Conf	0.051	0.88	0.78	0.037	0.37	0.30					

LaFarge 28d
Temp:20
RF:75%

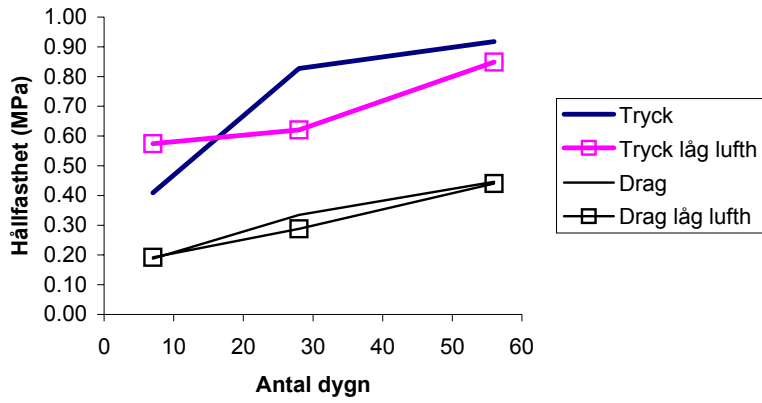


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
L9*	0.796	0.902	0.44	1917	1734	1737	1730				ej CO2
L51	0.861	0.889	0.418	1870	1727	1703	1694				ej CO2
L52	0.988	0.962	0.481	1869	1782	1703	1692				ej CO2
L53	0.908	0.896	0.44	1850	1761	1684	1673				ej CO2
L76**28d(4°C)	0.806	0.849	0.374	1882	1871	1860	1686				ej CO2
L114**7d(4°C)	1.200	1.252	0.49	1884	1832	1704	1690				ej CO2
σ_{medel}	0.92		0.45								
$\sigma_{medel, fel lufth}$	0.85		0.44								
$\sigma_{medel, byte 28c}$	0.83		0.37								
$\sigma_{medel, byte 7d}$	1.23		0.49								
Std avv	0.044	4.8	0.026	5.8							
95% Conf	0.035	0.95	0.88	0.030	0.48	0.42					

LaFarge 56d
Temp:20
RF:75%



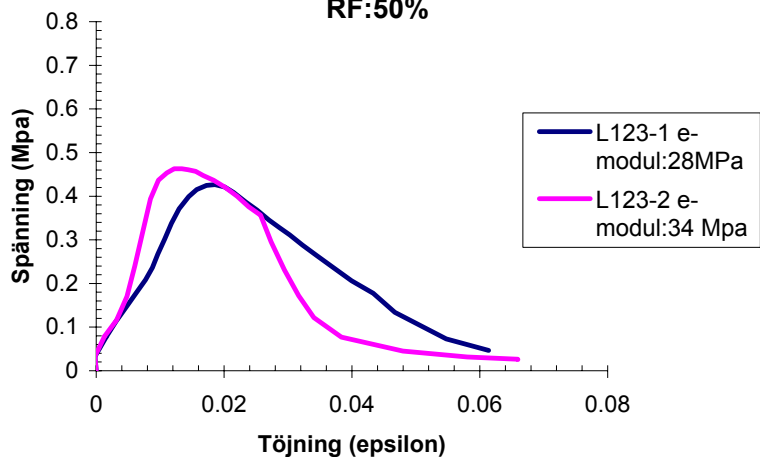
Hållfasthetsutveckling



Bruk: LaFarge
Temperatur:20°C
RF:50%

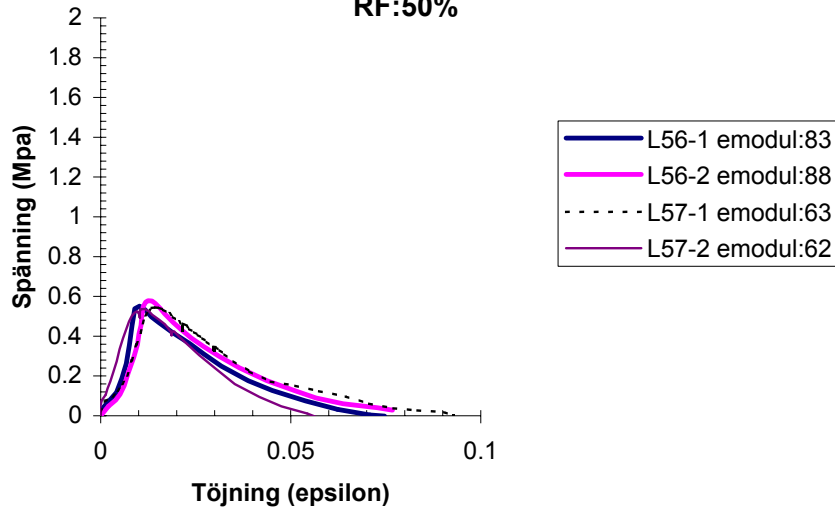
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)				Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}					
L10*	sönder	0.559	0.329	1915	1722							
L55	0.568	0.555	0.365	1864	1691					0.3		
L123	0.417	0.417	0.328	1902	1712					<0.1		
σ_{medel}	0.490		0.347									
$\sigma_{medel, fel lufth}$	0.559		0.329									
Std avv	0.071	14.4	0.018	5.3								
95% Conf	0.062	0.55	0.43	0.026	0.37	0.32						

LaFarge 7d
Temp:20
RF:50%



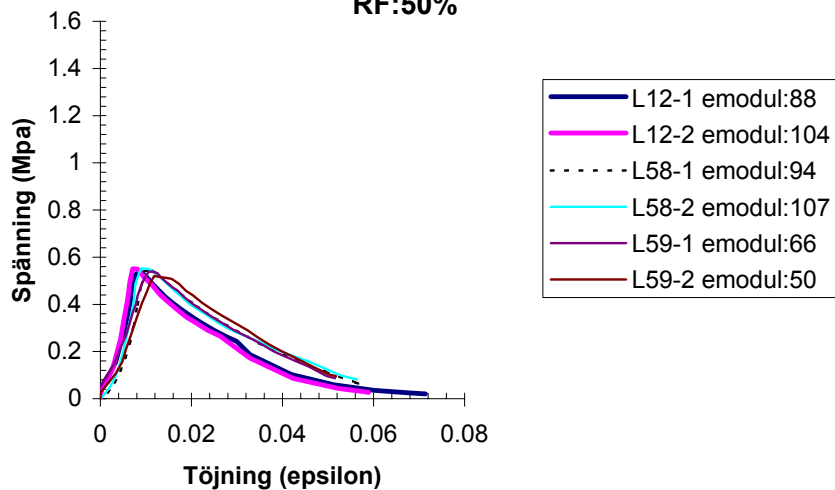
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)				Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}					
L11*	0.575	0.555	0.358	1880	1688	1698						
L56	0.543	0.566	0.389	1853	1676	1686					1.8	
L57	0.537	0.528	0.328	1848	1674	1685					1.8	
σ_{medel}	0.54		0.36									
$\sigma_{medel, fel lufth}$	0.57		0.36									
Std avv	0.014	2.6	0.031	8.5								
95% Conf	0.014	0.56	0.53	0.042	0.40	0.32						

LaFarge 28d
Temp:20
RF:50%

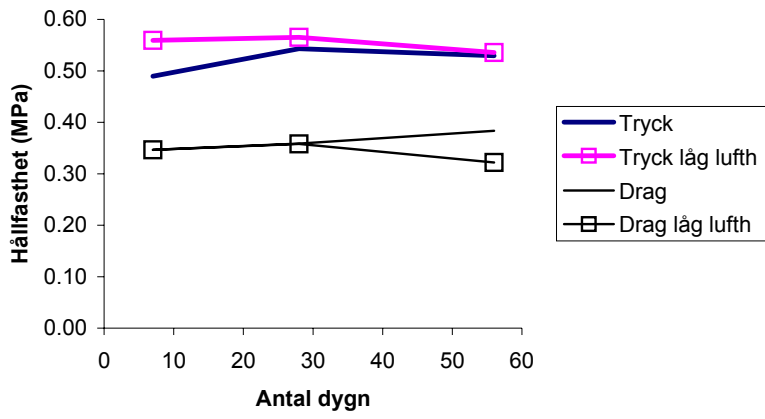


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofta
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L12*	0.528	0.543	0.322	1888	1700	1710	1712	0.1
L58	0.535	0.543	0.34	1857	1681	1692	1695	0.2
L59	0.529	0.511	0.427	1850	1676	1687	1690	0.2
σ_{medel}	0.53		0.38					
$\sigma_{medel, fel luft}$	0.54		0.32					
Std avv	0.012	2.2	0.044	11.3				
95% Conf	0.012	0.54	0.52	0.44	0.32			

LaFarge 56d
Temp:20
RF:50%



Hållfasthetsutveckling

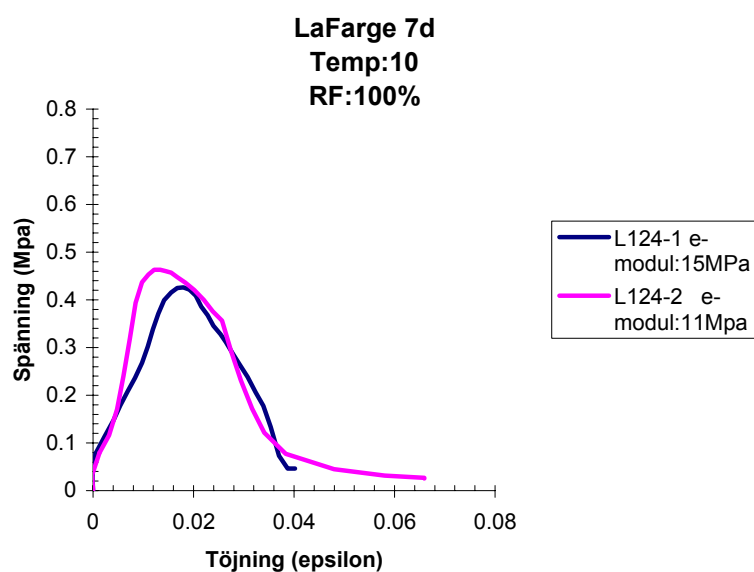


Bruk: LaFarge

Temperatur:10°C

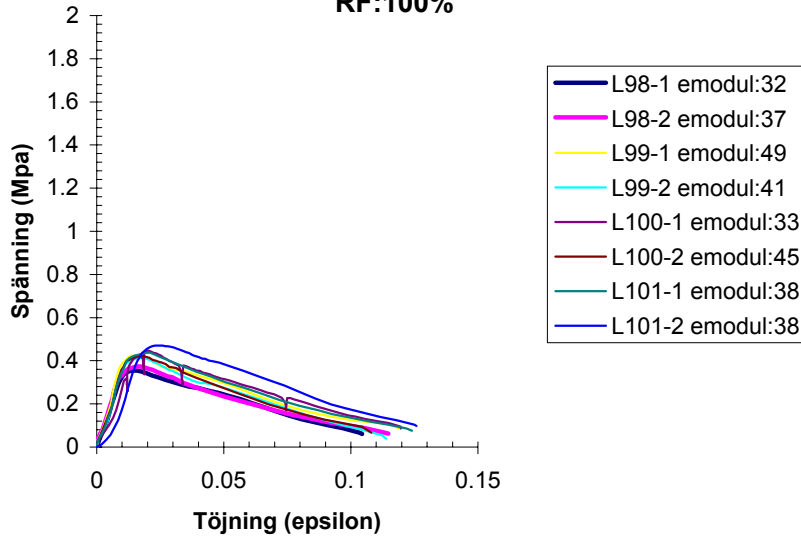
RF:100%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenoftalintest			
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
L13*	0.424	0.415	0.19	1973	1954		0
L14*	0.350	0.367	sönder	1932	1935		0
L85	0.217	0.226	0.16	1858	1853		0
L86	0.220	0.230	0.16	1868	1862		0
L124	0.269	0.226	0.14	1931	1927		0
σ_{medel}	0.231		0.153				
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.389		0.190				
Std avv	0.017	7.5	0.009	6.1			
95% Conf	0.014	0.24	0.22	0.011	0.16	0.14	



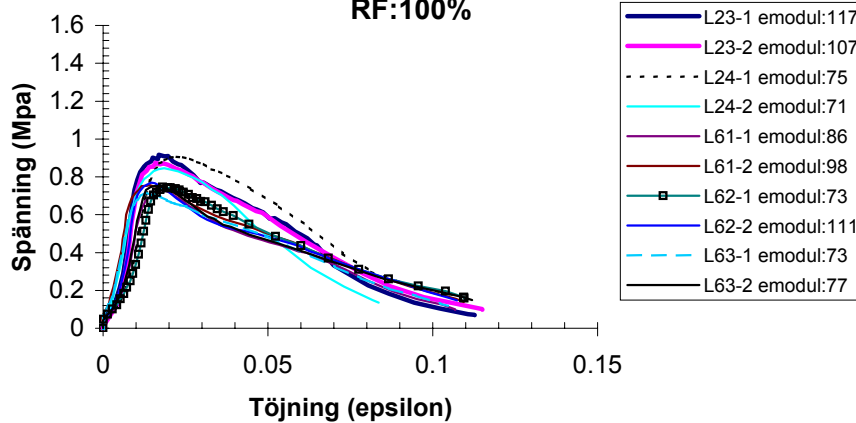
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenoftalintest			
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
L20*	0.518	0.535	0.28	1915		1911	ej CO2
L21*	0.529	0.541	0.338	1921		1922	ej CO2
L22*	0.559	0.585	0.34	1940		1918	ej CO2
L98	0.347	0.365	0.22	1878		1864	ej CO2
L99	0.416	0.405	sönder	1887		1887	ej CO2
L100	0.413	0.417	0.225	1856		1857	ej CO2
L101	0.430	0.455	0.275	1867		1843	ej CO2
σ_{medel}	0.406		0.240				
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.544		0.319				
Std avv	0.032	8.0	0.025	10.3			
95% Conf	0.022	0.43	0.38	0.028	0.27	0.21	

LaFarge 28d
Temp:10
RF:100%

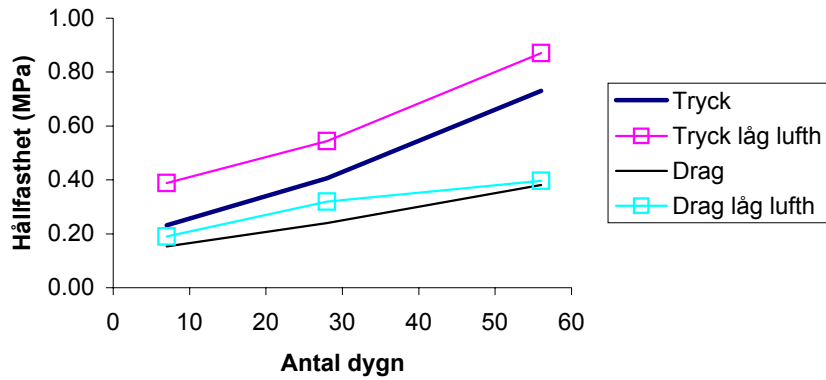


Bruks-id	56 dygn Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m ³)			Fenofalintest	
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L61	0.717	0.737	0.41	1882			1877	ej CO2
L62	0.734	0.755	0.36	1866			1861	ej CO2
L63	0.706	0.737	0.375	1863			1846	ej CO2
L23*	0.902	0.860	0.325	1917			1912	ej CO2
L24*	0.892	0.829	0.468	1932			1899	ej CO2
σ_{medel}	0.731		0.382					
$\sigma_{medel, fel iuf}$	0.871		0.397					
Std avv	0.016	2.1	0.021	5.5				
95% Conf	0.012	0.74	0.72	0.024	0.41	0.36		

LaFarge 56d
Temp:10
RF:100%



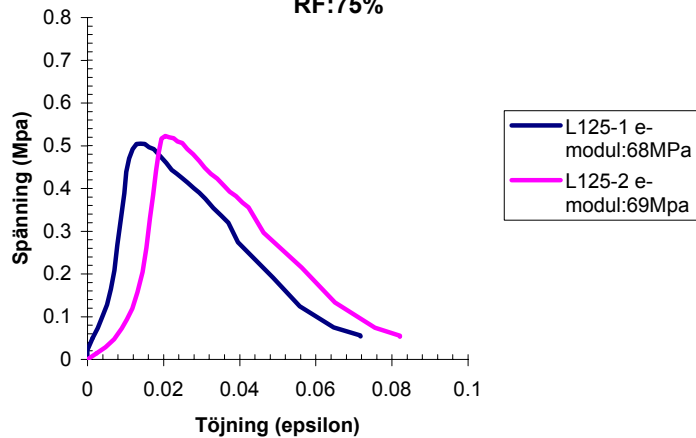
Hållfasthetsutveckling



Bruk: LaFarge
Temperatur: 10°C
RF: 75%

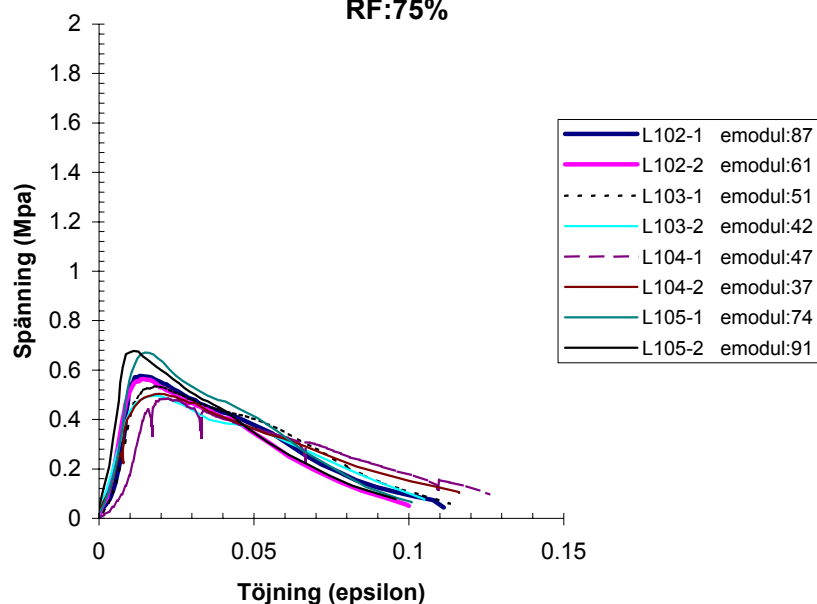
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
L15*	0.421	0.346	0.259	1947				ej CO2	
L16*	0.328	0.332	0.21	1899	1885			ej CO2	
L96	0.321	0.319	0.167	1875	1830			ej CO2	
L97	0.330	0.348	0.189	1876	1811			ej CO2	
L125	0.497	0.516	0.245	1927	1739			ej CO2	
σ_{medel}	0.388		0.235						
$\sigma_{medel, fel luf}$	0.357		0.200						
Std avv	0.084	21.6	0.033	14.0					
95% Conf	0.067	0.46	0.32	0.037	0.27	0.20			

LaFarge 7d
Temp: 10
RF: 75%



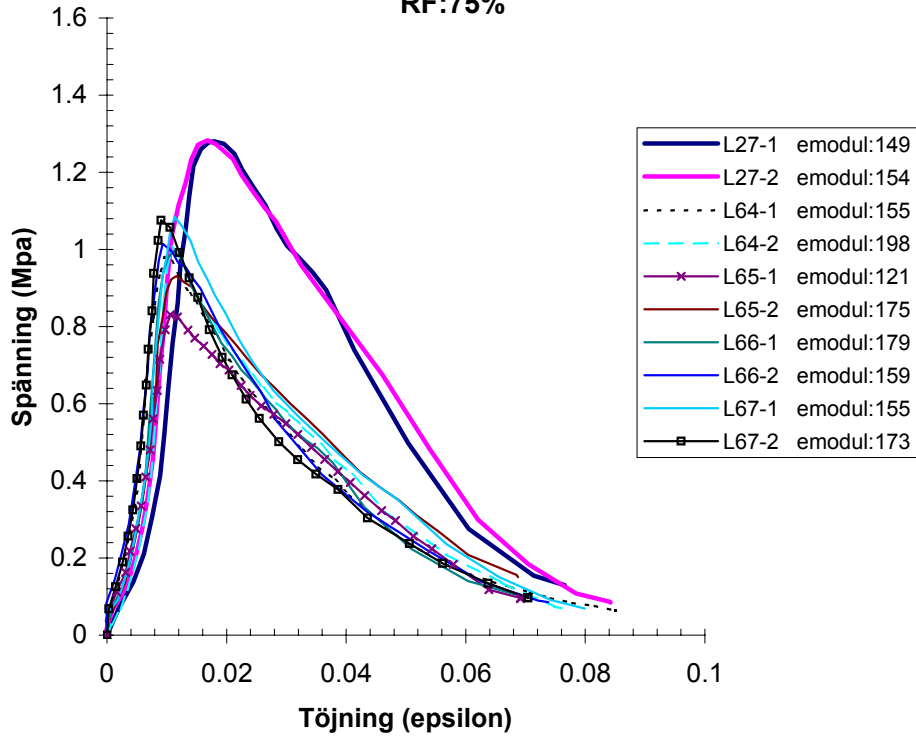
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L25*	0.589	0.576	0.325	1950	1915	1919		ej CO2
L26*	0.609	0.589	0.367	1948	1926	1907		ej CO2
L102	0.566	0.553	0.303	1880	1813	1776		ej CO2
L103	0.523	0.489	0.27	1890	1876	1797		ej CO2
L104	0.474	0.497	0.265	1885	1878	1867		ej CO2
L105	0.658	0.666	0.295	1867	1746	1729		ej CO2
σ_{medel}	0.55		0.28					
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.59		0.35					
Std avv	0.069	12.5	0.016	5.7				
95% Conf	0.048	0.60	0.51	0.016	0.30	0.27		

LaFarge 28d
Temp:10
RF:75%

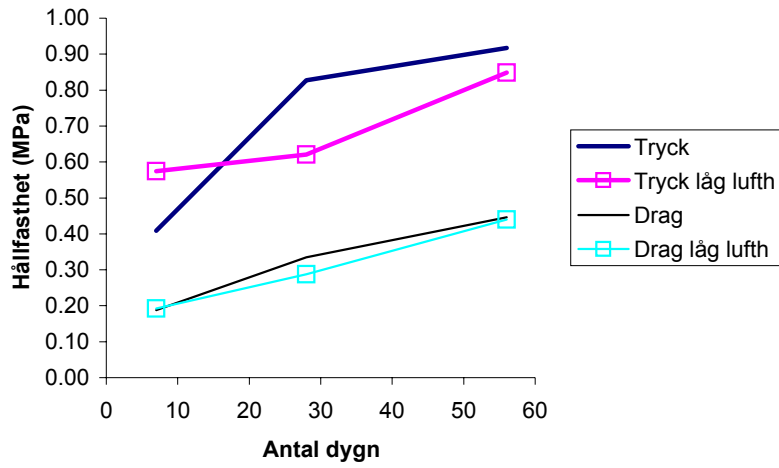


56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L27*	1.258	1.259	0.54	1938	1872		1763	ej CO2
L64	0.964	0.988	0.44	1872	1813	1701	1688	ej CO2
L65 (avflag kant)	0.814	0.914	0.42	1858	1748	1689	1673	ej CO2
L66	0.976	0.998	0.46	1886	1849	1718	1699	ej CO2
L67	0.965	1.056	0.542	1871	1840	1742	1688	ej CO2
σ_{medel}	0.96		0.47					
$\sigma_{medel, fel lut}$	1.26		0.54					
Std avv	0.066	6.9	0.046	10.0				
95% Conf	0.046	1.01	0.91	0.045	0.51	0.42		

LaFarge 56d
Temp:10
RF:75%



Hållfasthetsutveckling



Bruk: LaFarge

Temperatur:10°C

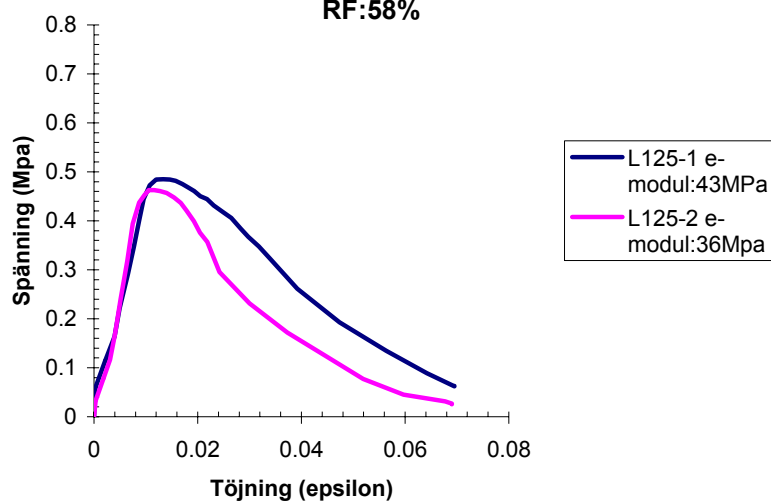
RF:akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
L17*	0.570	0.580	0.32	1872	1709		0.3
L106	0.477	0.485	0.269	1846	1704		0.2
L126	0.475	0.481	0.34	1921	1726		0
σ_{medel}	0.479		0.305				
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.575		0.320				
Std avv	0.004	0.8	0.036	11.7			
95% Conf	0.004	0.48	0.48	0.049	0.35	0.26	

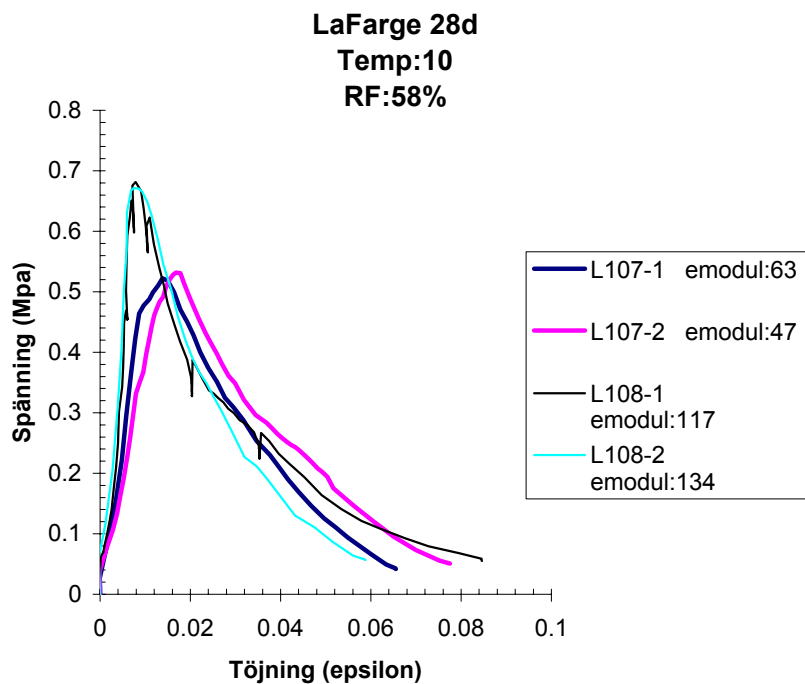
LaFarge 7d

Temp:10

RF:58%

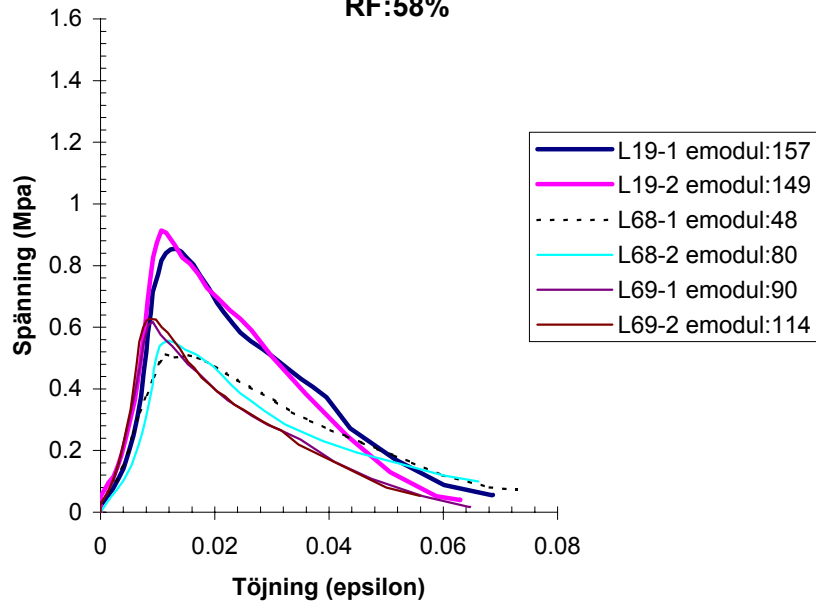


28 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L18*	0.831	0.871	0.559	1900	1718	1706		1.4
L107	0.510	0.518	0.44	1860	1677	1671		0.1(2 sid:0)
L108	0.668	0.659	0.371	1870	1702	1682		0.1
σ_{medel}	0.59		0.41					
$\sigma_{medel, fel iuf}$	0.85		0.56					
Std avv	0.075	12.7	0.035	8.5				
95% Conf	0.073	0.66	0.52	0.048	0.45	0.36		

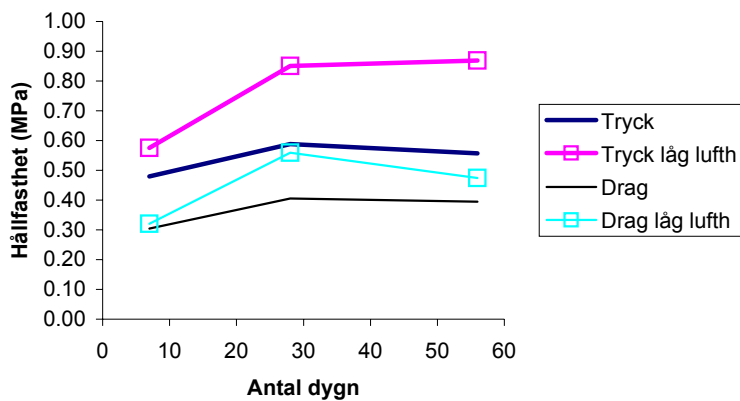


56 dygn		Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
L19*	0.839	0.900	0.474	1921	1773	1726	1729	0	
L68	0.503	0.546	0.38	1901	1709	1706	1712	0.1	
L69	0.563	0.614	0.41	1887	1686	1686	1691	0.1	
σ_{medel}	0.56		0.40						
$\sigma_{medel, fel luf}$	0.87		0.47						
Std avv	0.039	7.1	0.015	3.8					
95% Conf	0.039	0.60	0.52	0.021	0.42	0.37			

LaFarge 56d
Temp:10
RF:58%



Hållfasthetsutveckling

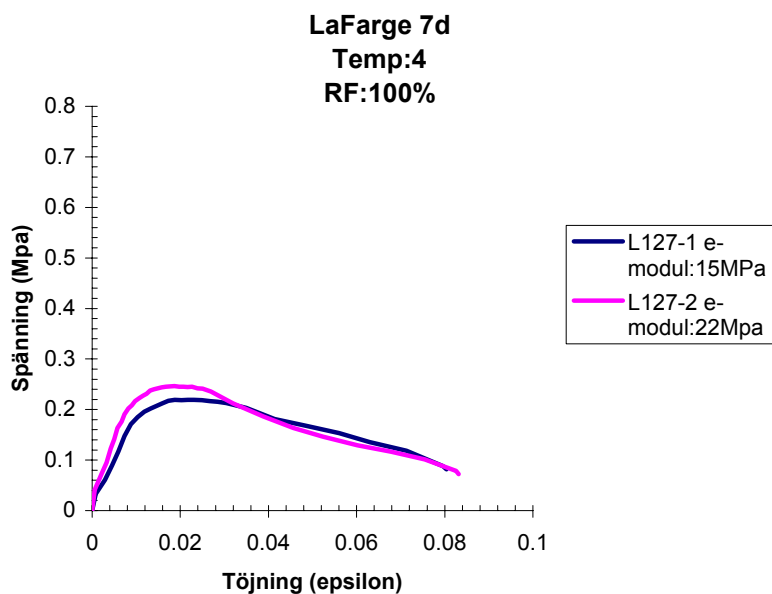


Bruk: LaFarge

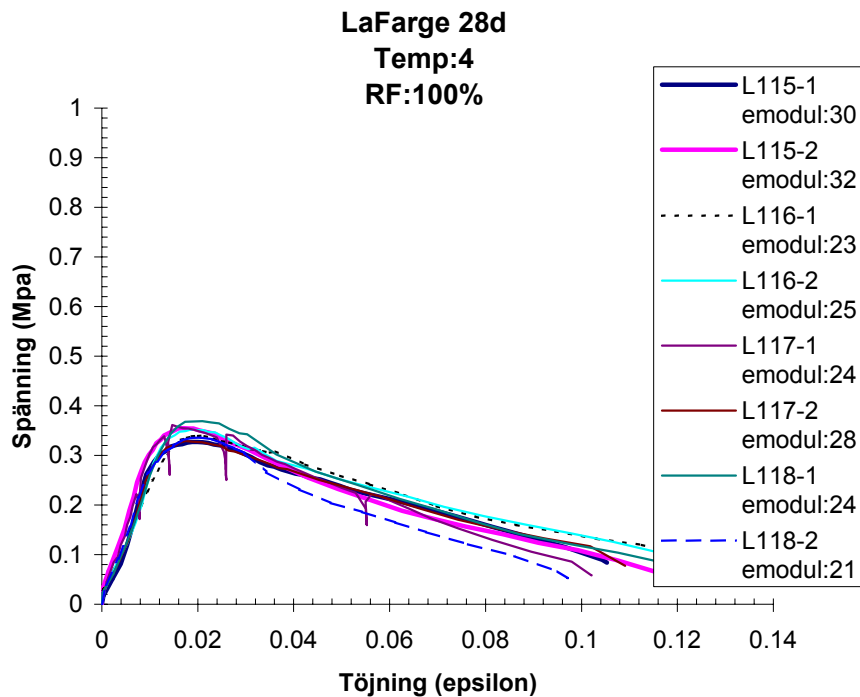
Temperatur:4°C

RF:100%

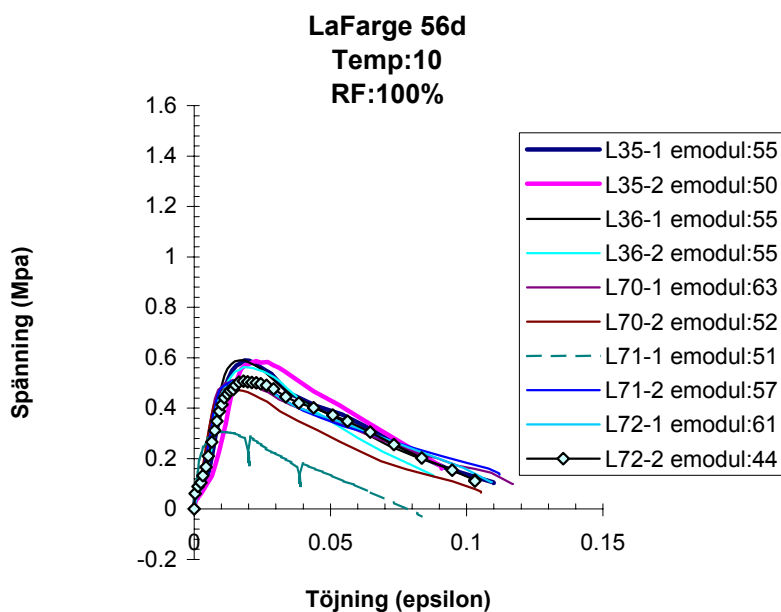
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
L28*	0.271	0.276	0.173	1875	1872			ej CO2	
L29*	0.255	0.258	0.186	1891	1887			ej CO2	
L109	0.170	0.167	0.11	1887	1883			ej CO2	
L110	0.169	0.171	0.115	1902	1899			ej CO2	
L127	0.217	0.239	0.09	1933	1932			ej CO2	
σ_{medel}	0.189		0.105						
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.265		0.180						
Std avv	0.029	15.2	0.011	10.3					
95% Conf	0.023	0.21	0.17	0.012	0.12	0.09			



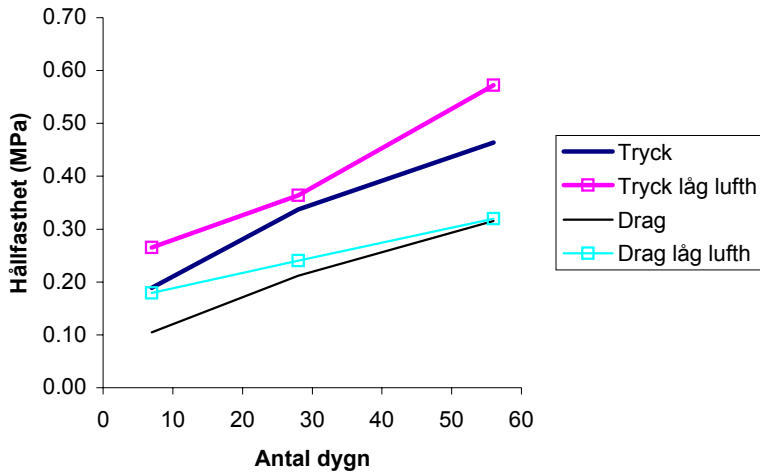
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
L33*	0.366	0.369	0.261	1901			1898	ej CO2	
L34*	0.362	0.359	0.22	1893			1888	ej CO2	
L115	0.320	0.351	0.205	1908			1904	ej CO2	
L116	0.333	0.345	0.202	1899			1895	ej CO2	
L117	0.329	0.325	0.22	1875			1872	ej CO2	
L118	0.364	0.331	0.221	1890			1888	ej CO2	
σ_{medel}	0.337		0.212						
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.364		0.241						
Std avv	0.014	4.1	0.009	4.0					
95% Conf	0.010	0.35	0.33	0.008	0.22	0.20			



Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
L35*	0.581	0.578	0.32		1906			1900 ej CO2
L36*	0.581	0.550	0.32		1894			1888 ej CO2
L70	0.500	0.471	0.318		1901			1894 ej CO2
L71	0.303	0.501	0.31		1888			1876 ej CO2
L72	0.500	0.507	0.318		1899			1893 ej CO2
σ_{medel}	0.464		0.315					
$\sigma_{medel, fel lut}$	0.573		0.320					
Std avv	0.073	15.7	0.004	1.2				
95% Conf	0.058	0.52	0.41	0.004	0.32	0.31		



Hållfasthetsutveckling



Bruk: LaFarge

Temperatur: 4°C

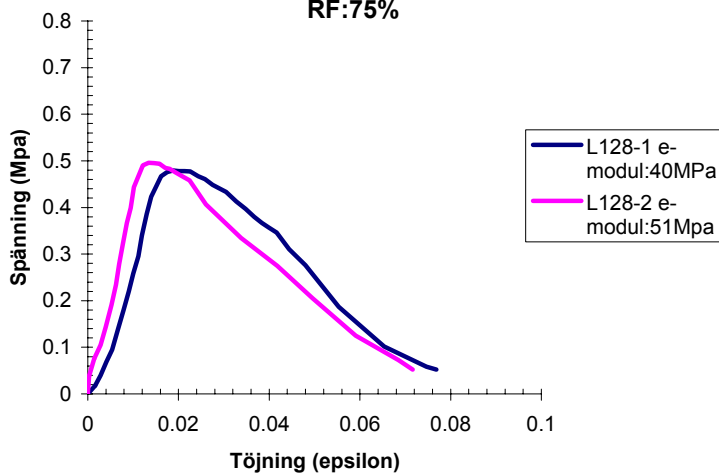
RF: 75%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}			
L41*	0.345	0.345	0.2	1883	1851			0		
L42*	0.371	0.367	0.24	1862	1840			0		
L111	0.360	0.336	0.2	1892	1811			0		
L112	0.365	0.369	0.118	1889	1793			0		
L128	0.470	0.486	0.242	1928	1743			0		
σ_{medel}	0.398		0.187							
$\sigma_{medel, fel luf}$	0.357		0.220							
Std avv	0.058	14.6	0.051	27.6						
95% Conf	0.046	0.44	0.35	0.058	0.24	0.13				

LaFarge 7d

Temp: 4

RF: 75%

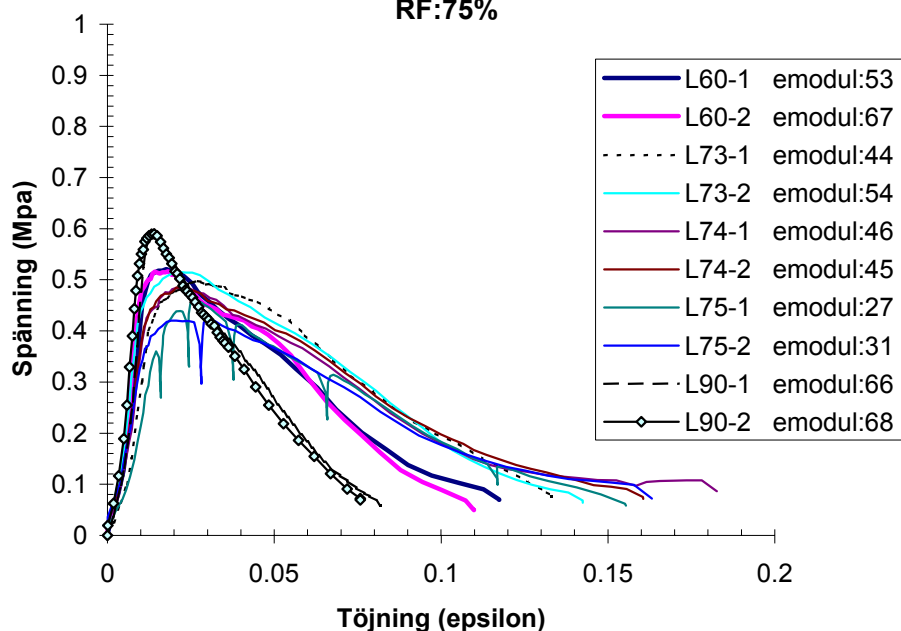


Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L37*	0.653	0.669	0.366		1868	1807	1735		ej CO2
L38*	0.670	0.668	0.36		1861	1762	1723		ej CO2
L60(20 till4grad vid	0.513	0.510	0.27		1876	1810	1778		ej CO2
L73	0.490	0.506	0.318		1894	1877	1829		ej CO2
L74	0.479	0.476	0.267		1915	1891	1850		ej CO2
L75	0.351	0.413	0.281		1890	1877	1860		ej CO2
L90(20 till4grad vid	0.580	0.580	0.265		1863	1707	1698		ej CO2
σ_{medel}	0.45		0.29						
$\sigma_{medel, fel luf}$	0.66		0.36						
$\sigma_{medel, byte7}$	0.54		0.27						
Std avv	0.054	11.9	0.022	7.5					
95% Conf	0.043	0.50	0.41	0.024	0.31	0.26			

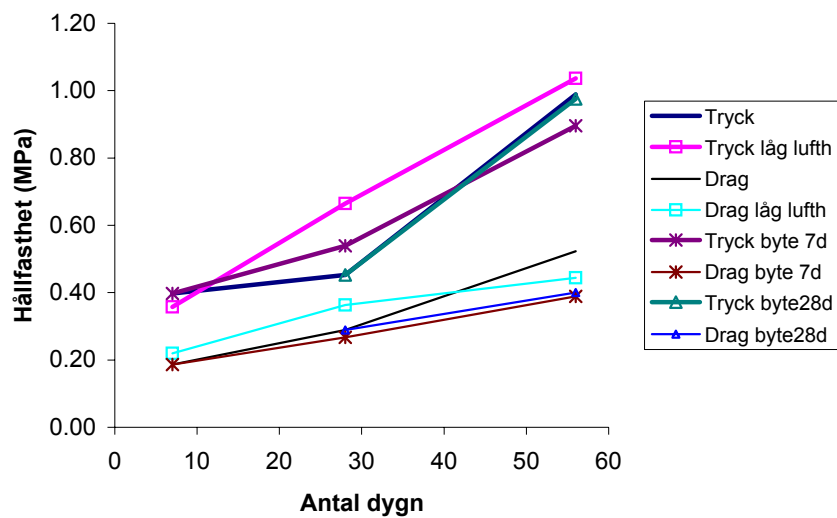
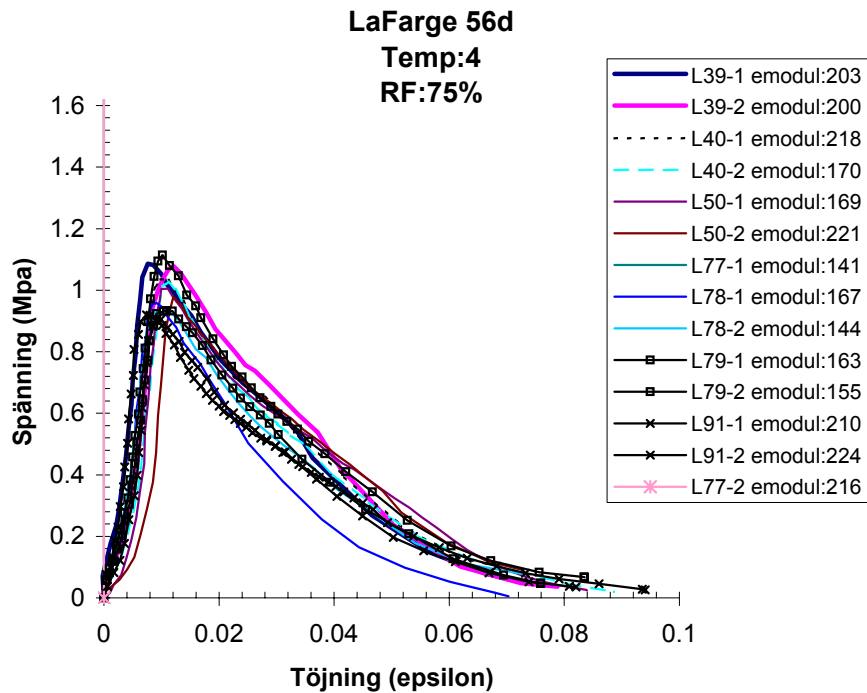
LaFarge 28d

Temp:4

RF:75%



Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L39*	1.065	1.058	0.468		1872	1818	1749		1694 ej CO2
L40*	1.017	1.007	0.42		1863	1823	1744		1685 ej CO2
L50(20 till4grad vid	0.988	0.963	0.4		1877	1741	1712		1708 ej CO2
L77	1.027	1.051	0.51		1873	1849	1844		1686 ej CO2
L78	0.938	0.907	0.52		1875	1854	1776		1686 ej CO2
L79	1.094	0.917	0.54		1886	1873	1828		1704 ej CO2
L91(byte20 till4grad	0.901	0.890	0.389		1881	1745	1720		1703 ej CO2
σ_{medel}	0.99		0.52						
$\sigma_{medel, fel luf}$	1.04		0.44						
$\sigma_{medel, byte7}$	0.90		0.39						
$\sigma_{medel, byte2}$	0.98		0.40						
Std avv	0.072	7.2	0.012	2.4					
95% Conf	0.057	1.05	0.93	0.014	0.54	0.51			



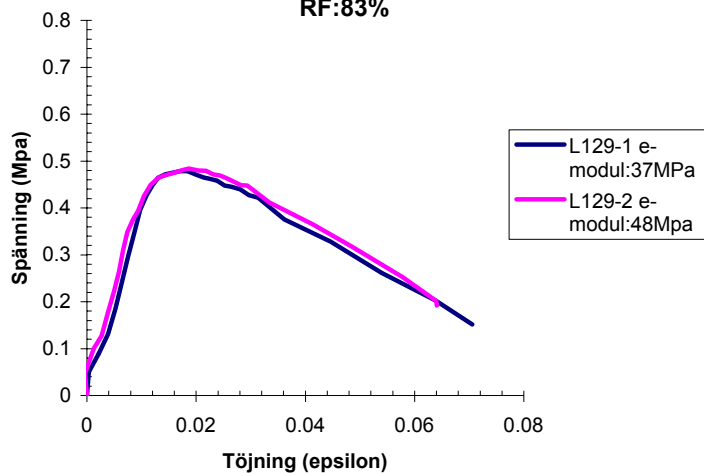
Bruk: LaFarge
Temperatur: 4°C
RF: akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L30*	0.438	0.460	0.28	1883	1771		2 (0.3)	
L119	0.380	0.385	0.252	1885	1808		0.2	
L129	0.470	0.473	0.26	1913	1793		0	
σ_{medel}	0.427		0.256					
$\sigma_{medel, fel luf}$	0.449		0.280					
Std avv	0.044	10.4	0.004	1.6				
95% Conf	0.044	0.47	0.38	0.006	0.26	0.25		

LaFarge 7d

Temp:4

RF:83%

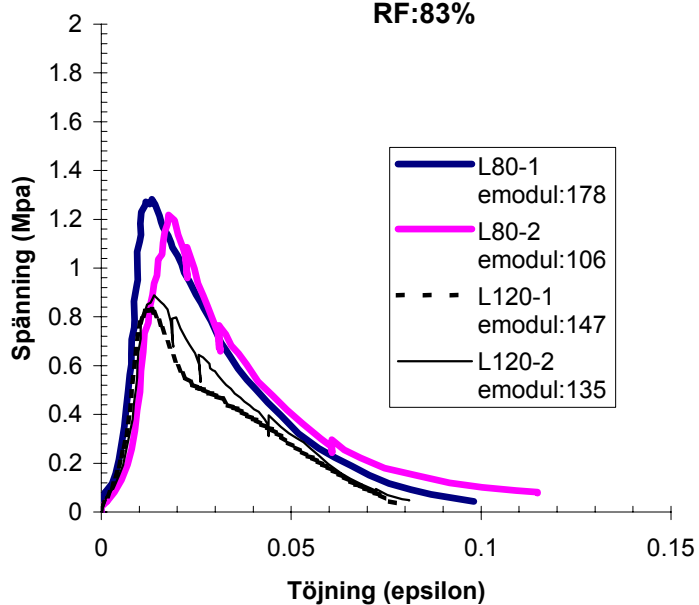


28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofaltintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
L31*	1.065	1.058	1	1884	1774		1707	3.8 (0.7)
L80	1.259	1.197	1.168	1888	1754		1724	3.3(1.7 under)
L120	0.816	0.872	0.56	1885	1789		1709	2.5 (0.5) 2 sid:0
σ_{medel}	1.04		0.86					
$\sigma_{medel, fel lul}$	1.06		1.00					
Std avv	0.194	18.7	0.304	35.2				
95% Conf	0.190	1.23	0.85	0.421	1.29	0.44		

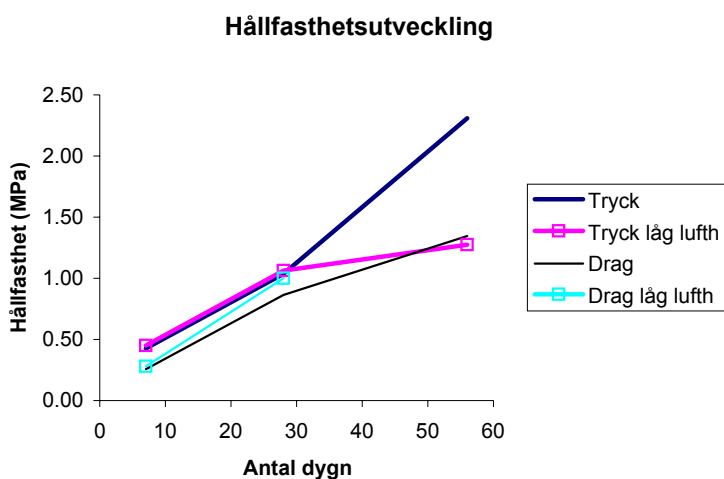
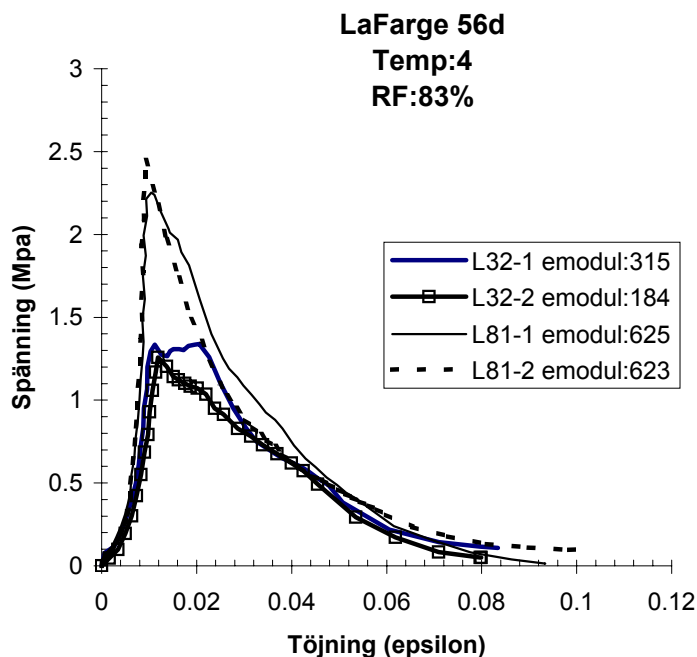
LaFarge 28d

Temp:4

RF:83%



56 dygn		Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenofalintest	
Bruks-id		σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}					
L32*		1.315	1.234	bruten	1874	1782	1698	1708		0.8(0)			
L81		2.213	2.405	1.345	1887	1757	1722	1733			0.5		
σ_{medel}		2.31		1.35									
$\sigma_{medel, fel luf$		1.27											
Std avv		0.523	22.6										
95% Conf		0.512	2.82	1.80									



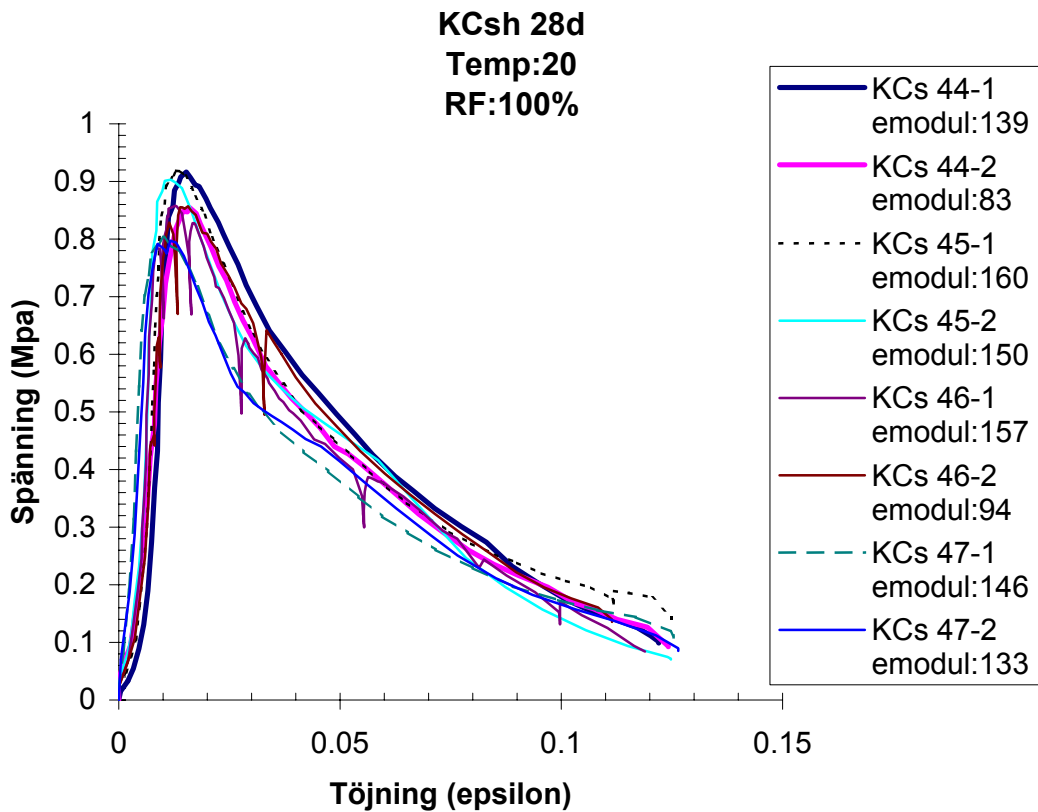
Lämnade (ej provade)

		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
utan papper	15-jan 20 50 Ja	L1	485.5	444.2	447.55 (35d)	448.07	448.15
	15-jan 20 50 Ja	L2	489.3	445.9	449.09 (35d)	449.72	449.82
	15-jan 4 akt ja	L3	491.1	458.4	449.78 (35d)	451.29	453.92
	26-jan 20 100 n	L46	482.6				
	26-jan 20 75 n	L54	471.6	441.5	430.14	427.49	

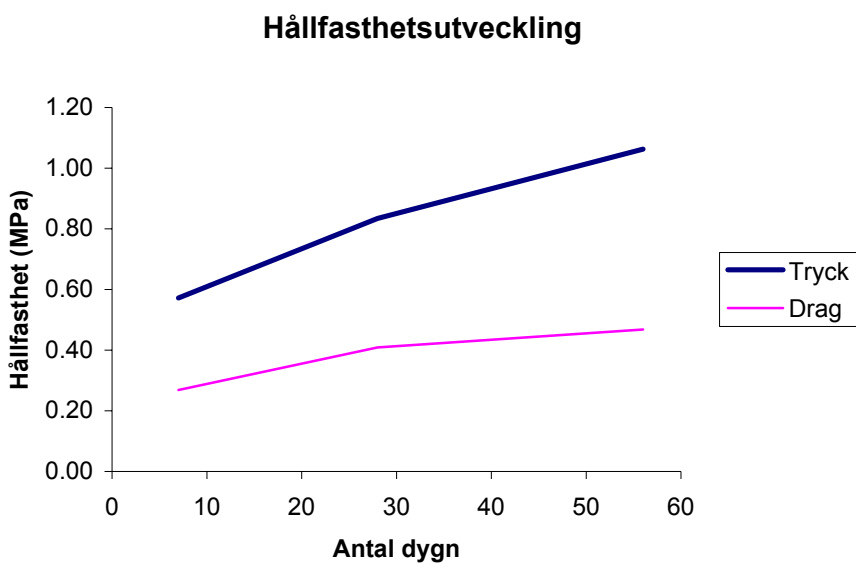
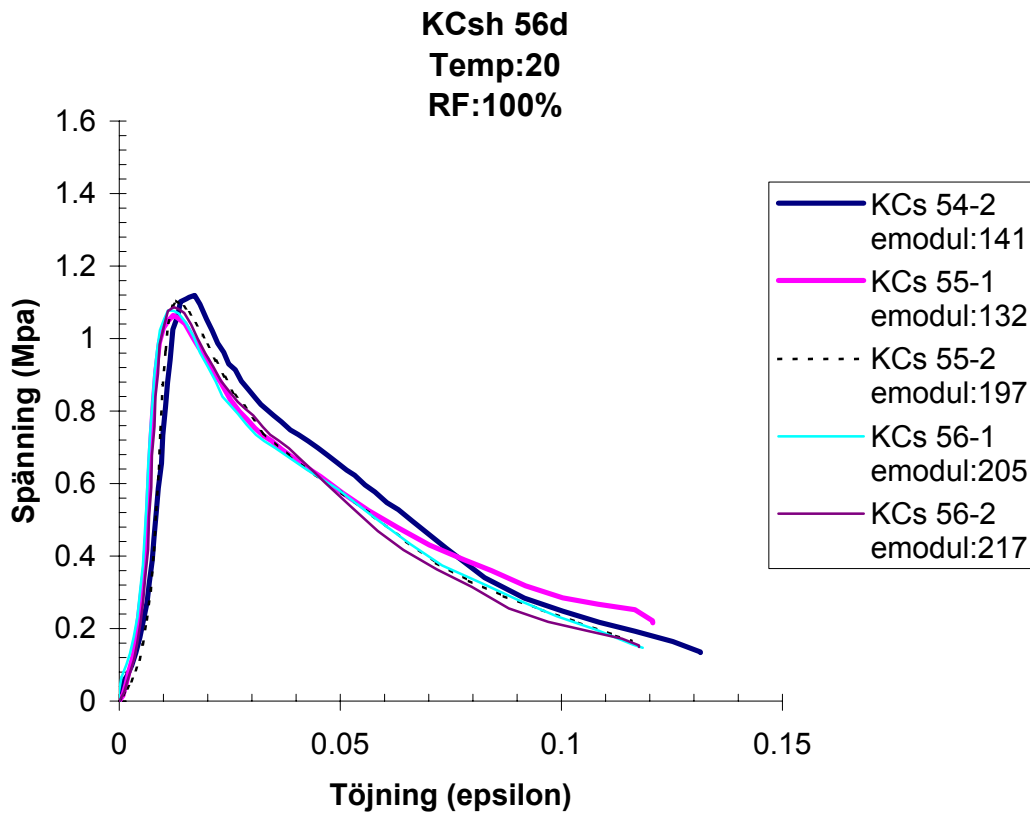
Bruk: KC-sh
Temperatur:20°C
RF:100%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
KC s 5	0.609	0.603	0.256	1803	1798			ej CO2	
KC s 6	0.584	0.586	0.271	1797	1793			ej CO2	
KC s 7	0.640	0.608	0.3	1807	1802			ej CO2	
KC s 83	0.454	0.493	0.248	1812	1808			ej CO2	
σ_{medel}	0.572		0.269						
Std avv	0.060	10.5	0.020	7.4					
95% Conf	0.042	0.61	0.53	0.019	0.29	0.25			

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
KC s 44	0.897	0.839	0.393	1825		1818		ej CO2	
KC s 45	0.903	0.883	0.42	1819		1813		ej CO2	
KC s 46	0.771	0.810	0.403	1830		1821		ej CO2	
KC s 47	0.790	0.783	0.419	1814		1807		ej CO2	
σ_{medel}	0.835		0.409						
Std avv	0.050	6.0	0.011	2.8					
95% Conf	0.035	0.87	0.80	0.011	0.42	0.40			



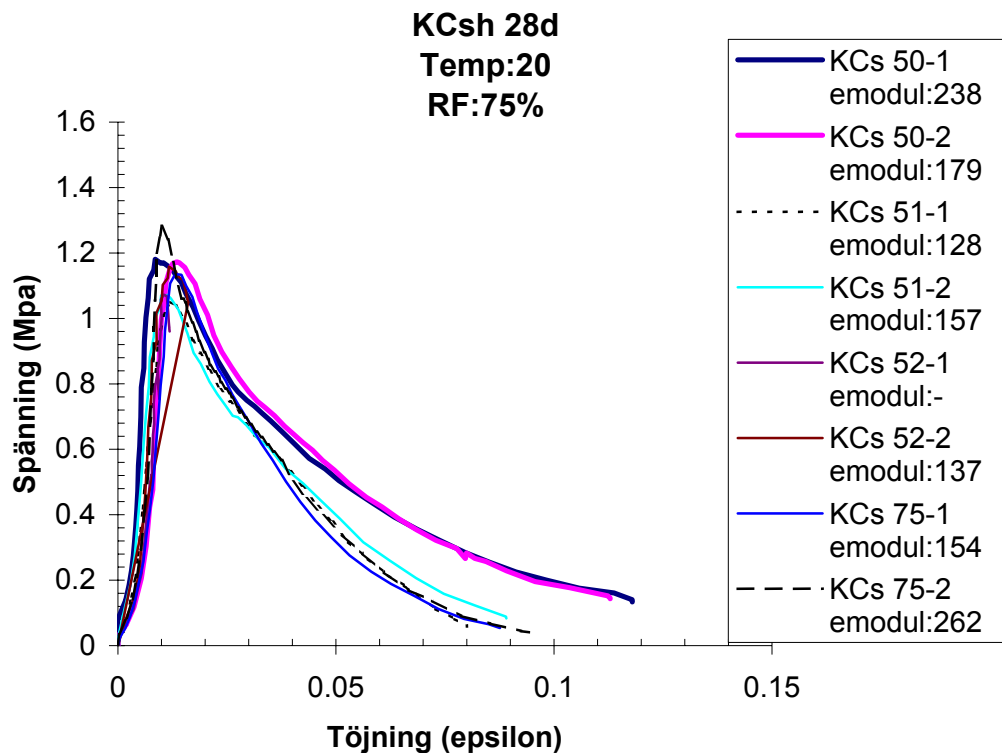
56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
KC s 54	1.033	1.098	0.482				1784 ej CO2
KC s 55	1.044	1.081	0.474				1794 ej CO2
KC s 56	1.054	1.066	0.449				1783 ej CO2
σ_{medel}	1.063		0.468				
Std avv	0.022	2.1	0.014	3.0			
95% Conf	0.018	1.08	1.05	0.016	0.48	0.45	



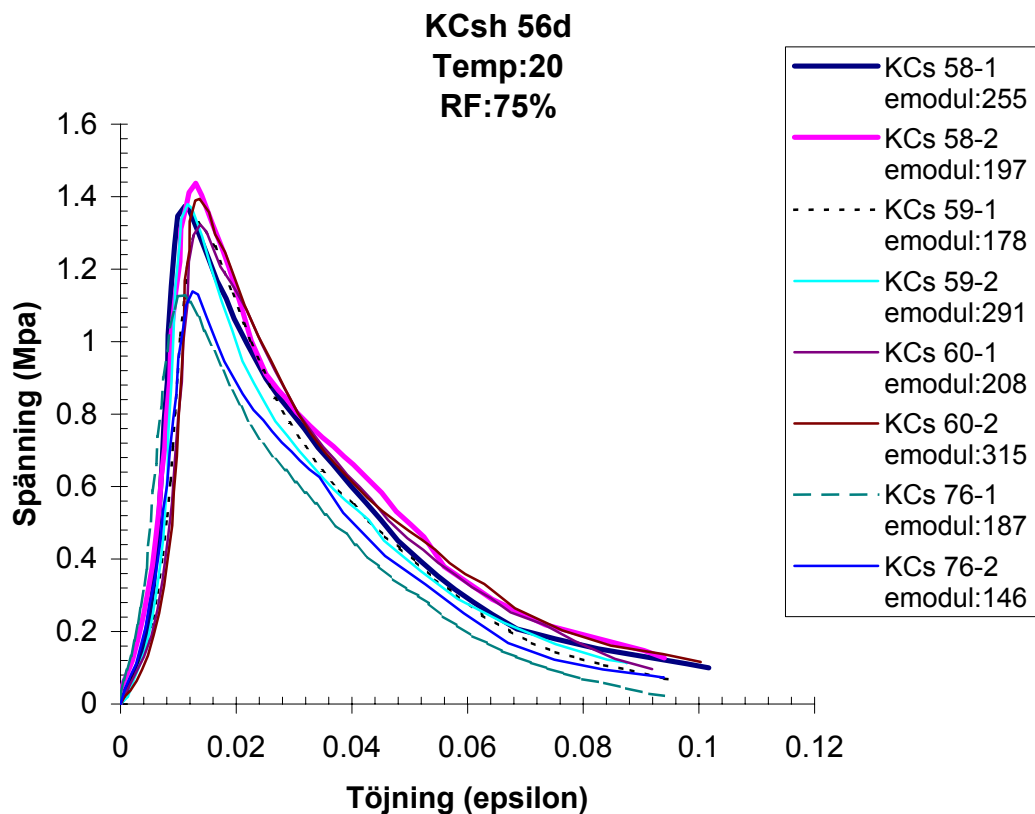
Bruk: KC-sh
Temperatur:20°C
RF:75%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)	Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 8	0.777	0.716	0.263	1785	1627			ej CO2
KC s 9	0.812	0.746	0.222	1801	1645			ej CO2
KC s 10	0.802	0.812	0.29	1801	1637			ej CO2
KC s 84	0.773	0.773	0.343	1806	1616			ej CO2
σ_{medel}	0.776		0.280					
Std avv	0.031	4.0	0.044	15.7				
95% Conf	0.022	0.80	0.75	0.043	0.32	0.24		

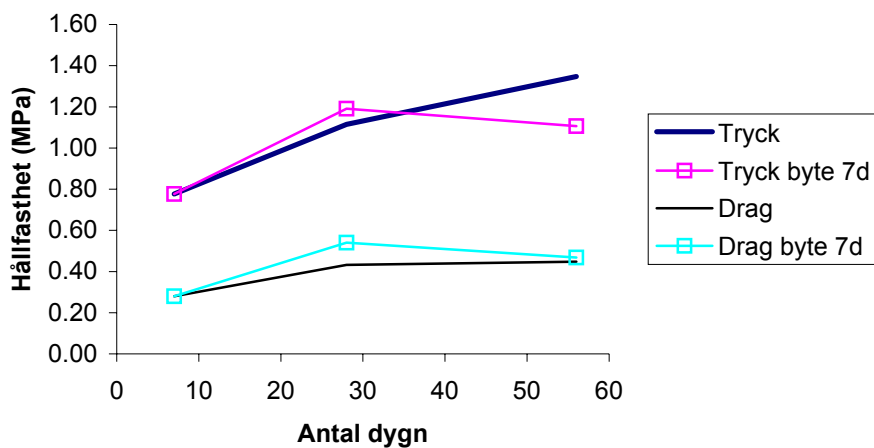
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)	Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 50	1.162	1.150	0.439	1833	1803	1684		ej CO2
KC s 51	1.033	1.050	0.471	1829	1776	1675		ej CO2
KC s 52	1.051	1.137	0.4	1804	1759	1666		ej CO2
KC s 53	1.168	1.168	0.42	1823	1776	1679		ej CO2
KC s 75(4till 20 grac	1.127	1.255	0.54	1846	1806	1678		ej CO2
σ_{medel}	1.12		0.43					
$\sigma_{medel,byte klin}$	1.19		0.54					
Std avv	0.055	5.0	0.026	6.0				
95% Conf	0.038	1.15	1.08	0.026	0.46	0.41		



56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 58	1.348	1.410	0.455	1797		1655	1631	0
KC s 59	1.302	1.356	0.441	1800		1681	1632	0
KC s 60	1.299	1.369	0.448	1796		1663	1629	0
KC s 76(4till 20grad)	1.106	1.107	0.468	1839	1773	1670	1657	0
σ_{medel}	1.35		0.45					
$\sigma_{medel,byte 7dk}$	1.11		0.47					
Std avv	0.038	2.8	0.006	1.3				
95% Conf	0.031	1.38	1.32	0.006	0.45	0.44		



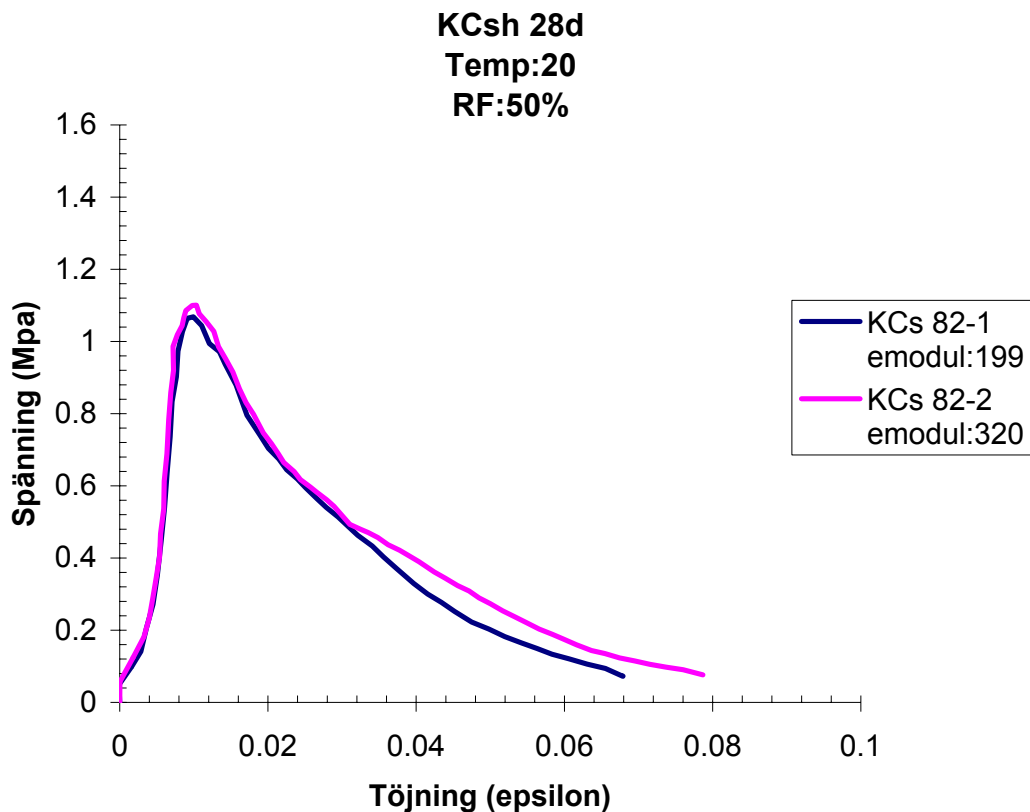
Hållfasthetsutveckling



Bruk: KC-sh
Temperatur:20°C
RF:50%

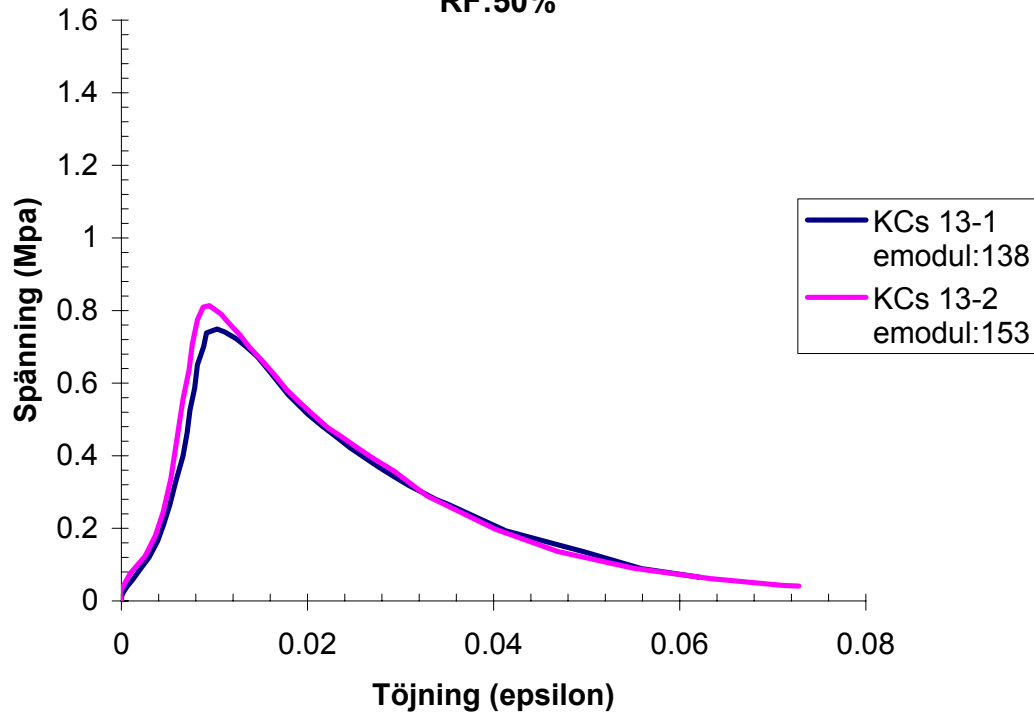
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 11	0.742	0.768	0.405	1776	1604			
KC s 85	0.618	0.601	0.38	1807	1618		0.1	
σ_{medel}	0.682		0.393					
Std avv	0.073	10.7	0.013	3.2				
95% Conf	0.072	0.75	0.61	0.017	0.41	0.38		

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 12	0.779	0.712	0.42	1770	1601	1614	8	
KC s 82 (gjutn i 4 by	1.049	1.081	0.563	1845	1815	1674	svg röd 0.8 övr.0.1	
σ_{medel}	0.75		0.42					
$\sigma_{medel,byte7d}$	1.06		0.56					
Std avv	0.034	4.5						
95% Conf	0.047	0.79	0.70					

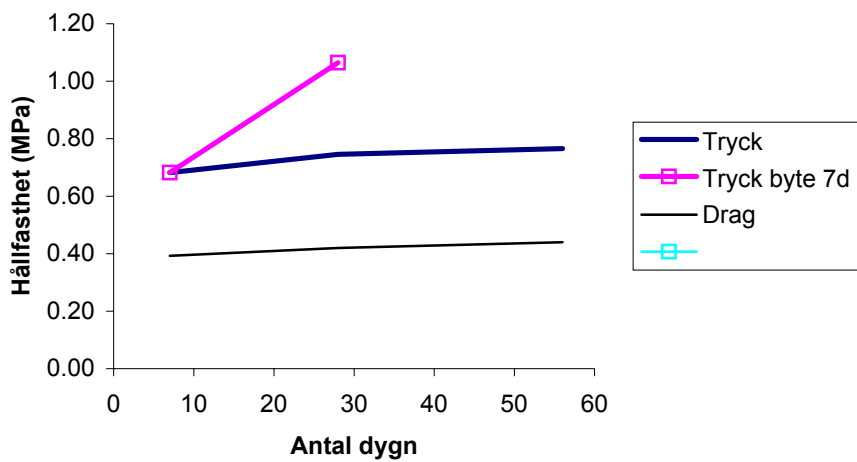


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofthalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
KC s 13	0.733	0.798	0.44	1789	1615	1633	0.2
σ_{medel}	0.77		0.44				
Std avv	0.032	4.2					
95% Conf	0.045	0.81	0.72				

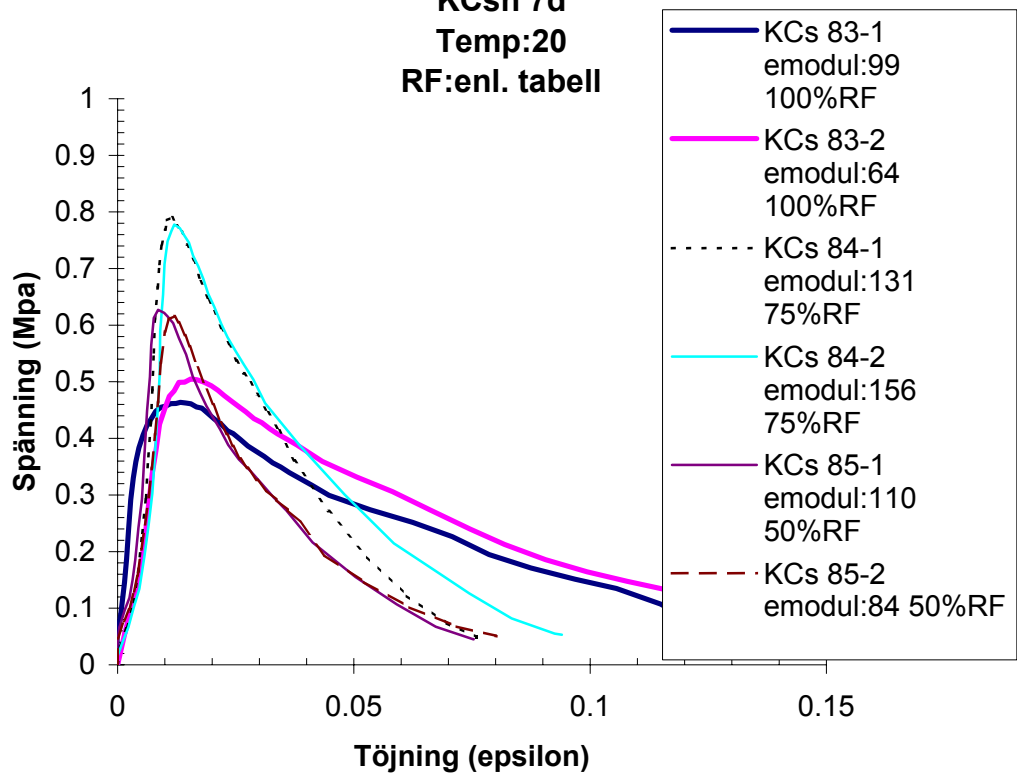
KCsh 56d
Temp:20
RF:50%



Hållfasthetsutveckling



KCsh 7d
Temp:20
RF:enl. tabell

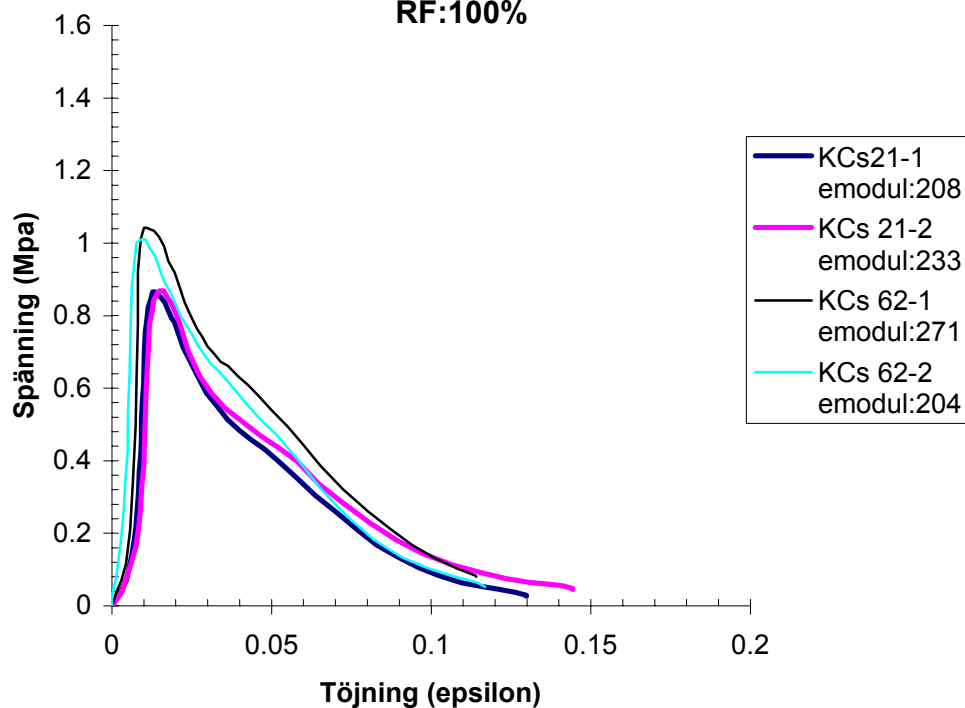


Bruk: KC-sh
Temperatur:10°C
RF:100%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 14	0.569	0.568	0.277	1830	1828			ej CO2
KC s 15	0.614	0.584	0.292	1811	1803			ej CO2
KC s 86	0.580	0.604	0.36	1824	1822			ej CO2
σ_{medel}	0.587		0.310					
Std avv	0.017	2.9	0.036	11.7				
95% Conf	0.014	0.60	0.57	0.041	0.35	0.27		

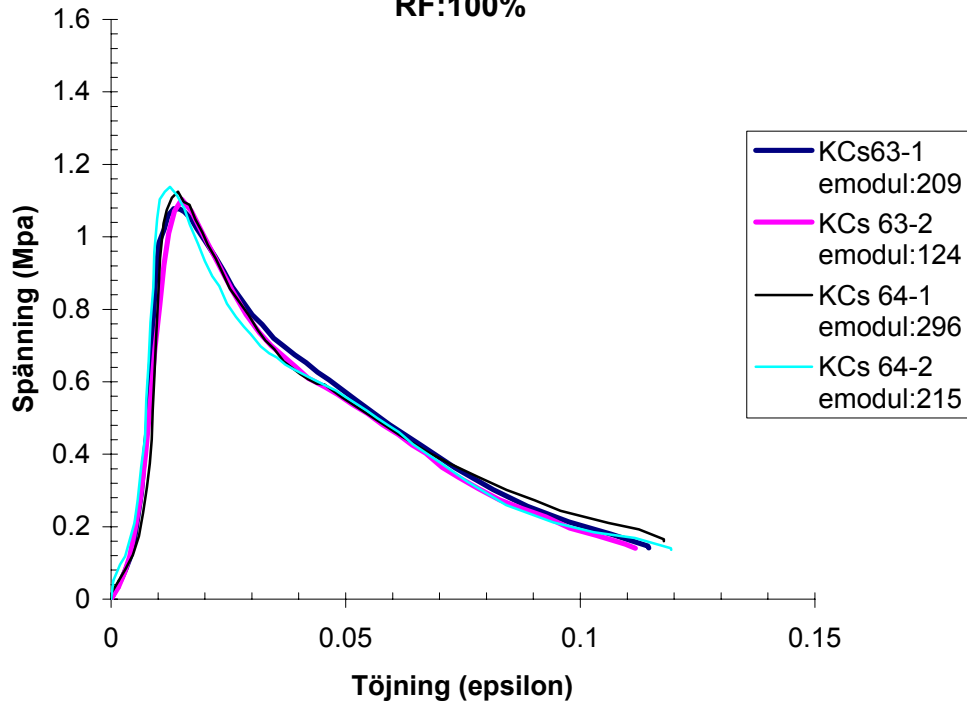
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 18	0.810	0.777	0.342	1804		1800		ej CO2
KC s 19	0.920	0.845	0.385	1792		1793		ej CO2
KC s 20	0.827	0.820	0.42	1793		1792		ej CO2
KC s 21	fel utr.	fel utr.	0.408	1781		1771		ej CO2
KC s 62	1.021	0.991	0.508	1826		1809		ej CO2
σ_{medel}	0.876		0.413					
Std avv	0.084	9.6	0.055	13.2				
95% Conf	0.058	0.93	0.82	0.048	0.46	0.36		

KCsh 28d
Temp:10
RF:100%

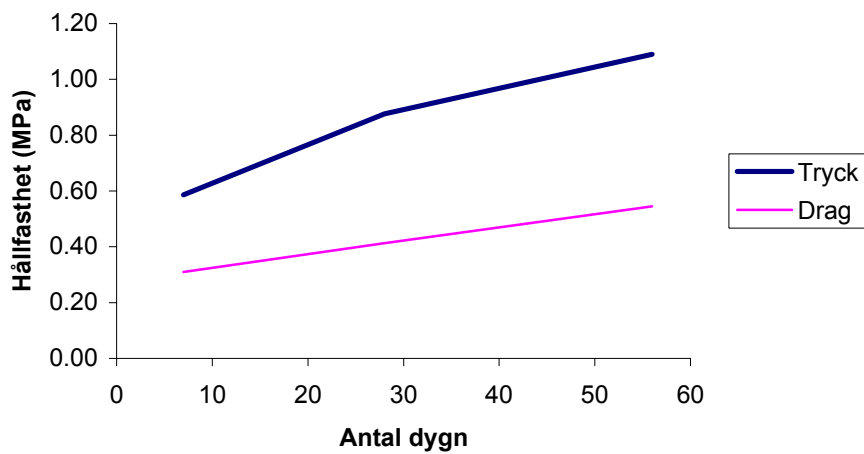


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
KC s 63	1.061	1.079	0.525	1811		1812	1800 ej CO2
KC s 64	1.104	1.116	0.565	1816		1814	1813 ej CO2
σ_{medel}	1.090		0.545				
Std avv	0.022	2.0	0.020	3.7			
95% Conf	0.021	1.11	1.07	0.028	0.57	0.52	

KCsh 56d
Temp:10
RF:100%



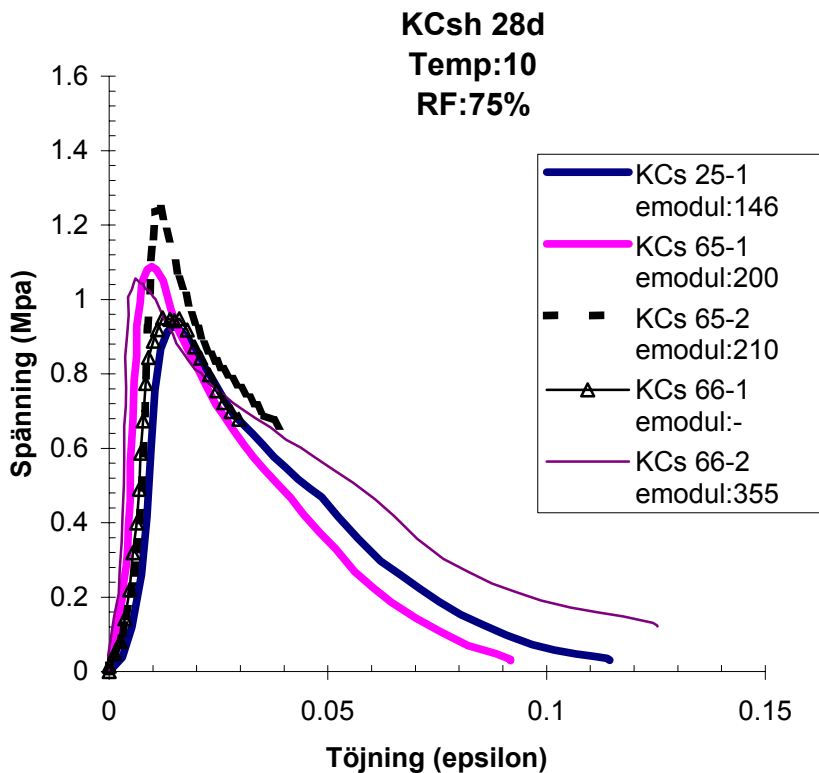
Hållfasthetsutveckling



Bruk: KC-sh
Temperatur:10°C
RF:75%

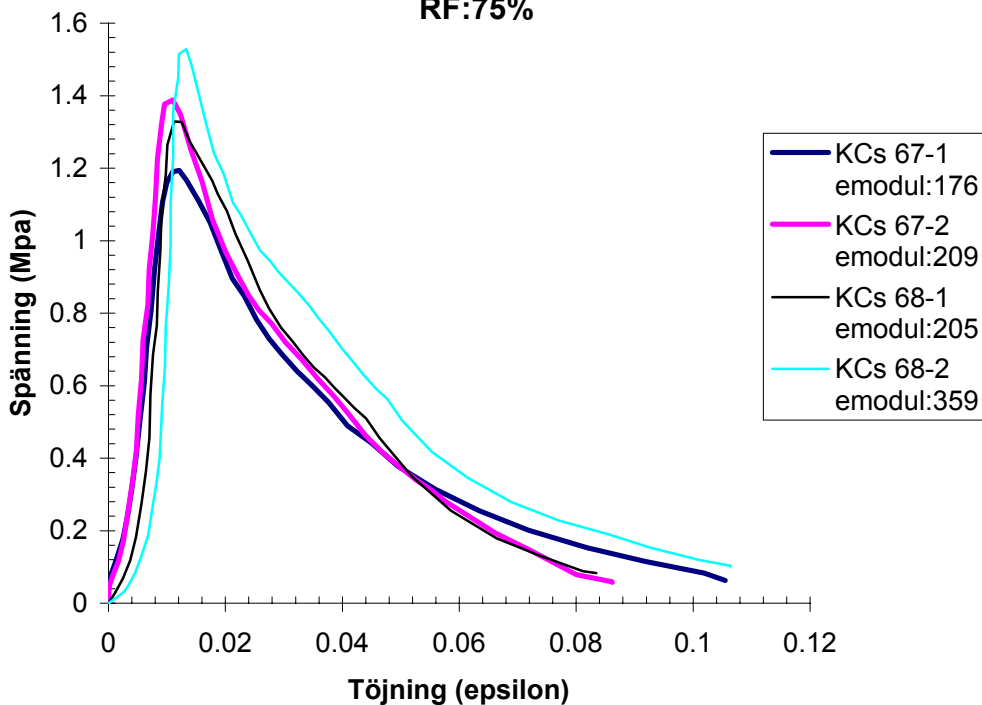
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 16	0.643	0.646	0.342	1792	1786			ej CO2
KC s 17	0.615	0.607	0.338	1821	1804			ej CO2
KC s 87	0.717	0.665	0.358	1819	1691			ej CO2
σ_{medel}	0.649		0.346					
Std avv	0.036	5.6	0.009	2.5				
95% Conf	0.029	0.68	0.62	0.010	0.36	0.34		

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC s 22	1.144	1.073	0.442	1793	1778	1645		
KC s 23	1.172	1.057	0.428	1795	1763	1661		
KC s 24	0.833	0.851	0.429	1800	1769	1786		
KC s 25	fel utr.	fel utr.	0.39	1811	1711	1711		
KC s 65	1.070	1.221	0.518	1808	1776	1657		
KC s 66	0.933	1.040	0.435	1826	1792	1764		
σ_{medel}	1.039		0.440					
Std avv	0.124	11.9	0.038	8.7				
95% Conf	0.077	1.12	0.96	0.031	0.47	0.41		

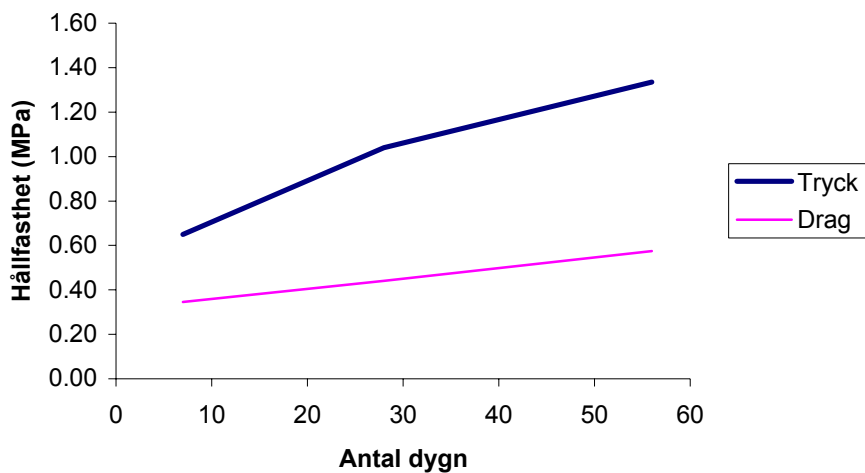


56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofaltintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
KC s 67	1.174	1.363	0.554	1823	1696	1653	1644
KC s 68	1.302	1.503	0.595	1851	1724	1682	1669
σ_{medel}	1.34		0.57				
Std avv	0.118	8.8	0.021	3.6			
95% Conf	0.116	1.45	1.22	0.028	0.60	0.55	

KCsh 56d
Temp:10
RF:75%



Hållfasthetsutveckling

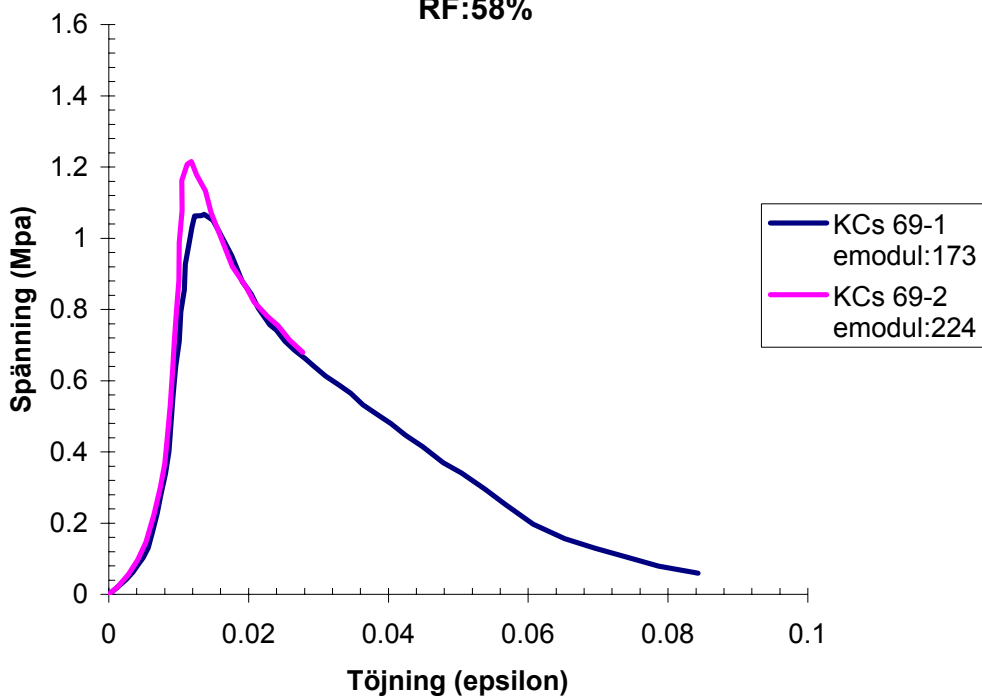


Bruk: KC-sh
Temperatur:10°C
RF:akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf} ρ_{7d} ρ_{28d} ρ_{56d}
KC s 26	0.926	0.906	bruten	1802 1637
KC s 88	0.722	0.722	0.487	1821 1622
σ_{medel}	0.819		0.487	
Std avv	0.097	11.9		
95% Conf	0.095	0.91	0.72	

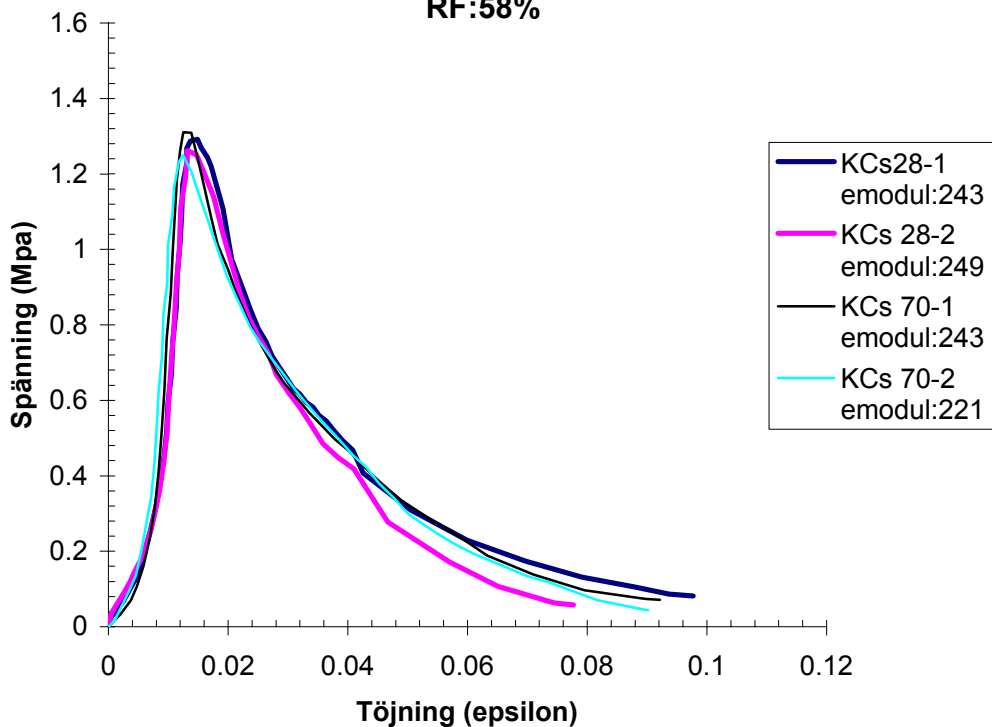
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf} ρ_{7d} ρ_{28d} ρ_{56d}
KC s 27	1.237	1.215	0.708	1788 1667 1612
KC s 69	1.046	1.190	0.597	1830 1673 1644
KC s 71 (gjuten i 4g)	1.311	1.187	0.72	1825 1737 1639
σ_{medel}	1.20		0.68	
Std avv	0.079	6.6	0.055	8.2
95% Conf	0.064	1.26	1.13	0.063 0.74 0.61

KCsh 28d
Temp:10
RF:58%

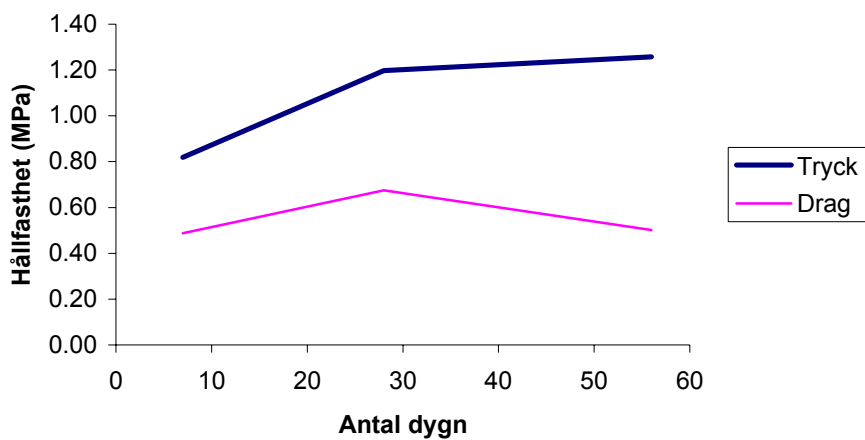


Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
KC s 28(bruten)	1.271	1.243	0.484	1742	1616	1568	1571
KC s 70	1.287	1.228	0.52	1823	1689	1638	1645
σ_{medel}	1.26		0.50				
Std avv	0.023	1.8	0.018	3.6			
95% Conf	0.023	1.28	1.23	0.025	0.53	0.48	

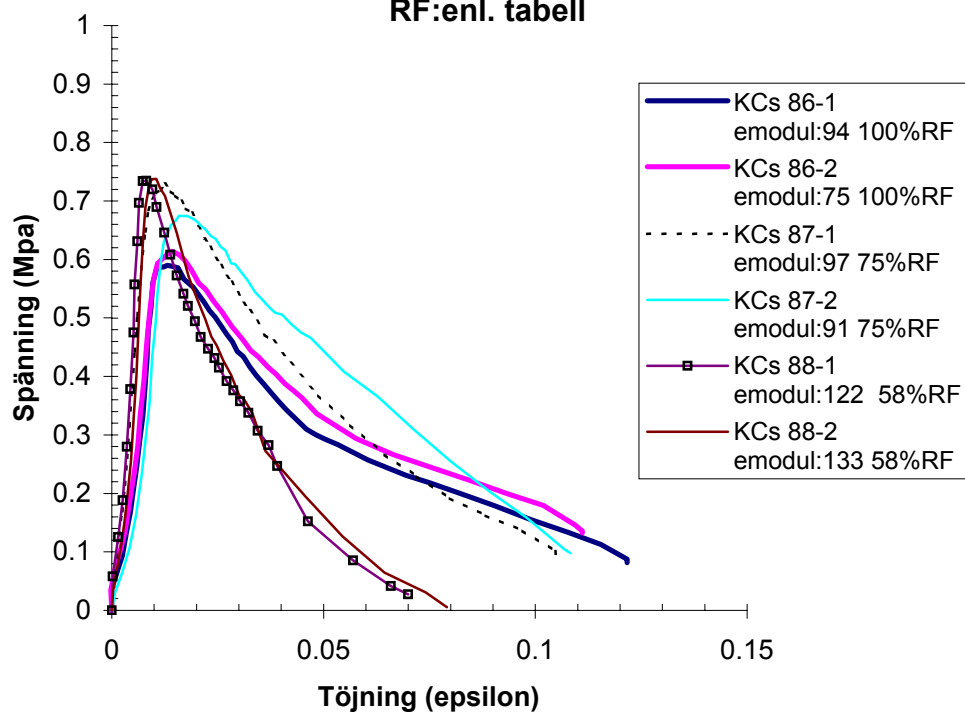
KCsh 56d
Temp:10
RF:58%



Hållfasthetsutveckling



KCsh 7d
Temp:10
RF:enl. tabell



Bruk: LaFarge

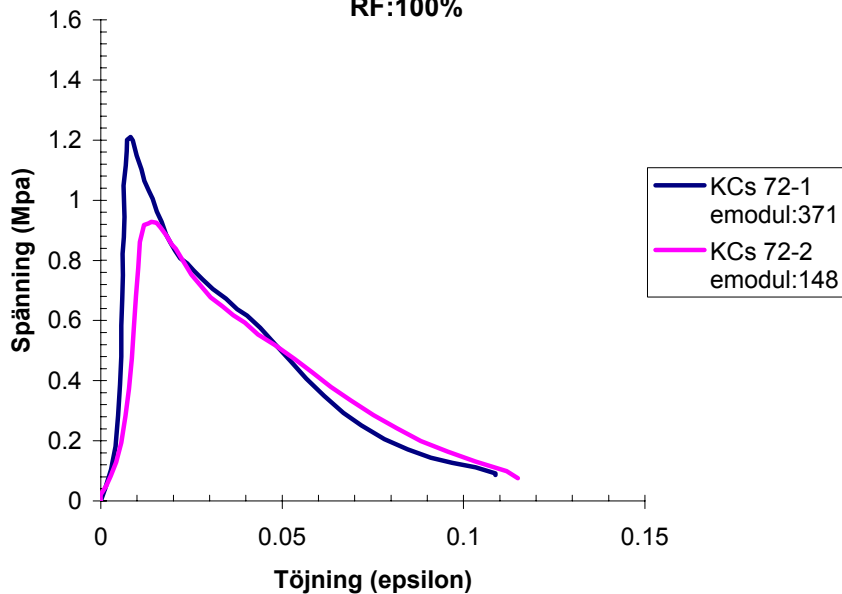
Temperatur: 4°C

RF: 100%

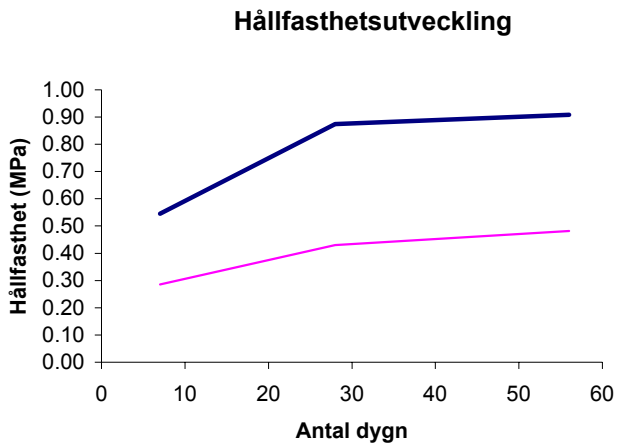
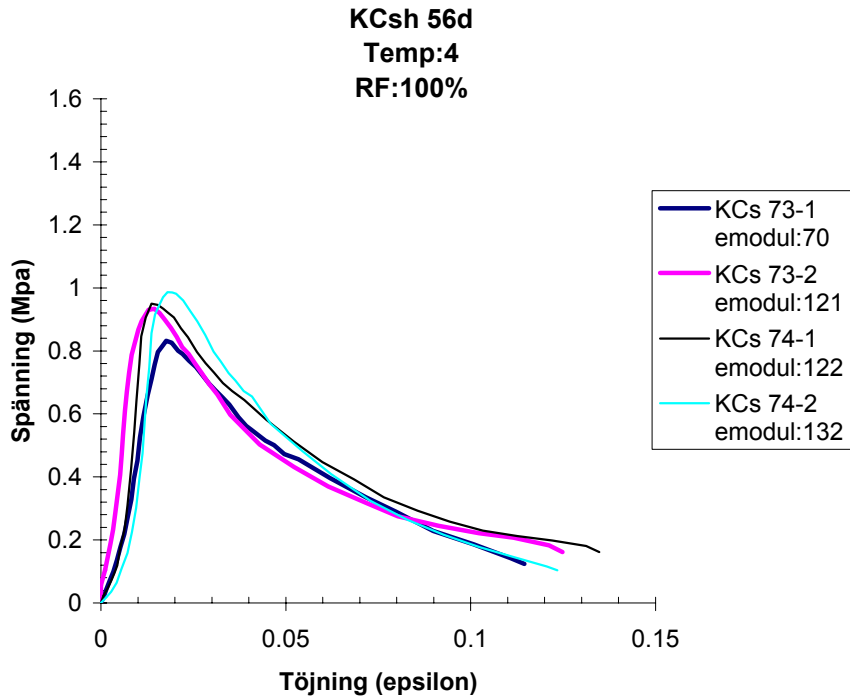
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
KC s 29	0.525	0.528	0.261	1790	1788		
KC s 30	0.532	0.508	0.248	1801	1798		
KC s 89	0.583	0.592	0.348	1806	1805		
σ_{medel}	0.545		0.286				
Std avv	0.031	5.7	0.044	15.5			
95% Conf	0.025	0.57	0.52	0.050	0.34	0.24	

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
KC s 36	0.746	0.818	0.462	1796		1793	
KC s 37	0.816	0.802	0.367	1792		1789	
KC s 38	0.856	sönder	0.44	1805		1800	
KC s 39	0.862	sönder	0.443	1806		1802	
KC s 72	1.187	0.908	0.44	1842		1842	
σ_{medel}	0.874		0.430				
Std avv	0.126	14.4	0.033	7.6			
95% Conf	0.088	0.96	0.79	0.029	0.46	0.40	

KCsh 28d
Temp: 10
RF: 100%



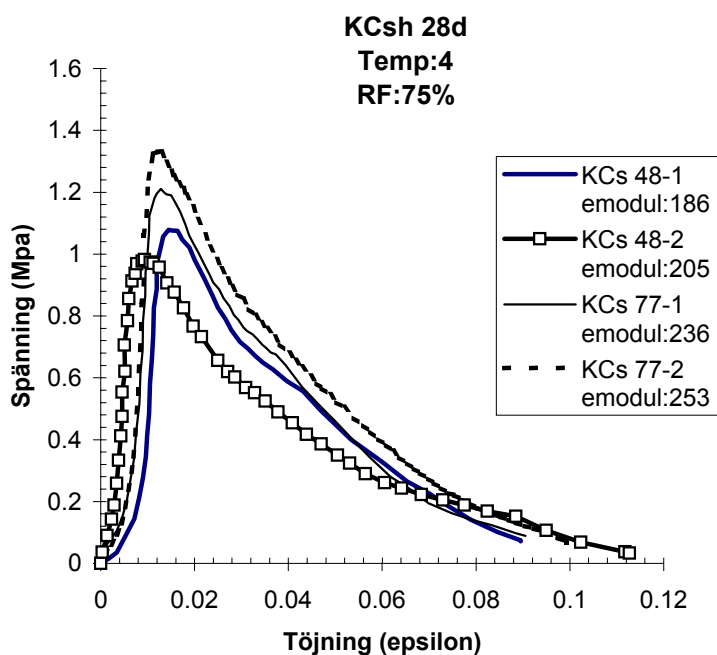
56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
KC s 73	0.816	0.917	0.498	1835		1831	1829
KC s 74	0.933	0.967	0.465	1829		1826	1824
σ_{medel}	0.908		0.482				
Std avv	0.056	6.2	0.017	3.4			
95% Conf	0.055	0.96	0.85	0.023	0.50	0.46	



Bruk: KC-sh
Temperatur:4°C
RF:75%

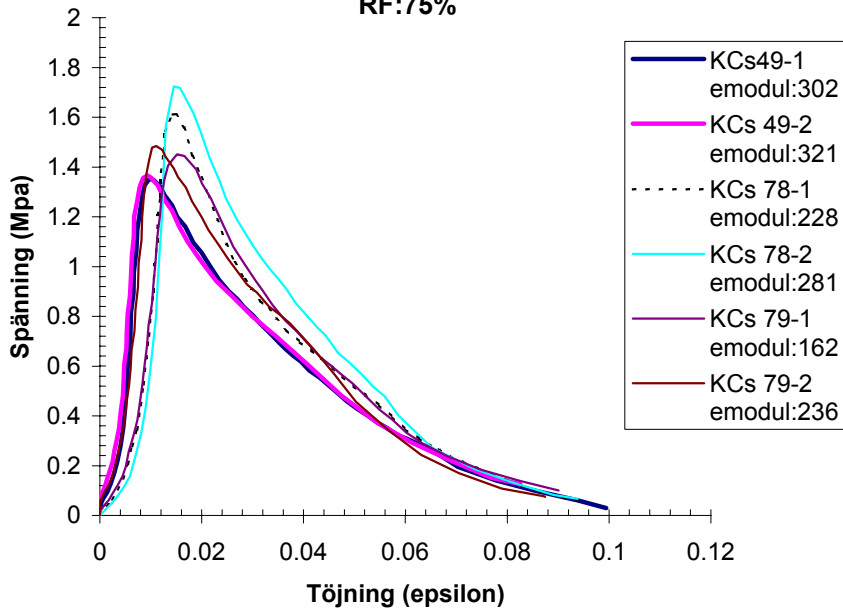
7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
KC s 31	0.666	0.659	0.34	1789	1744			ej CO2	
KC s 32	0.681	0.684	0.329	1801	1759			ej CO2	
KC s 90	0.820	0.839	0.35	1813	1643			ej CO2	
σ_{medel}	0.725		0.340						
Std avv	0.075	10.3	0.009	2.5					
95% Conf	0.060	0.78	0.66	0.010	0.35	0.33			

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
	Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	
KC s 40	0.888	0.897	0.457	1797	1746	1715	ej CO2
KC s 41	1.001	1.074	0.497	1812	1781	1740	ej CO2
KC s 42	0.894	sönder	0.493	1810	1785	1765	ej CO2
KC s 43	0.866	sönder	0.471	1809	1781	1721	ej CO2
KC s 48(20 till 4grat)	1.059	0.957	0.475	1839	1807	1696	ej CO2
KC s 77	1.177	1.308	0.571	1851	1806	1706	ej CO2
σ_{medel}	1.01		0.50				
$\sigma_{medel,byte7}$	1.01		0.48				
Std avv	0.151	14.9	0.039	7.9			
95% Conf	0.105	1.12	0.91	0.035	0.53	0.46	

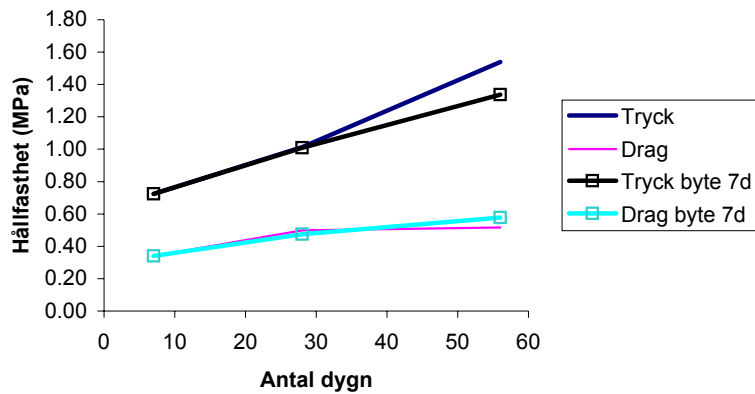


56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest	
	Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}		ρ_{28d}
KC s 49(byte 20 till	1.330	1.343	0.578	1829	1790	1686	1664	ej CO2
KC s 78	1.584	1.689	0.541	1843	1780	1690	1665	ej CO2
KC s 79	1.425	1.456	0.493	1837	1770	1691	1657	ej CO2
σ_{medel}	1.54		0.52					
$\sigma_{medel,byte7}$	1.34		0.58					
Std avv	0.106	6.9	0.024	4.6				
95% Conf	0.103	1.64	1.44	0.033	0.55	0.48		

KCsh 56d
Temp:4
RF:75%



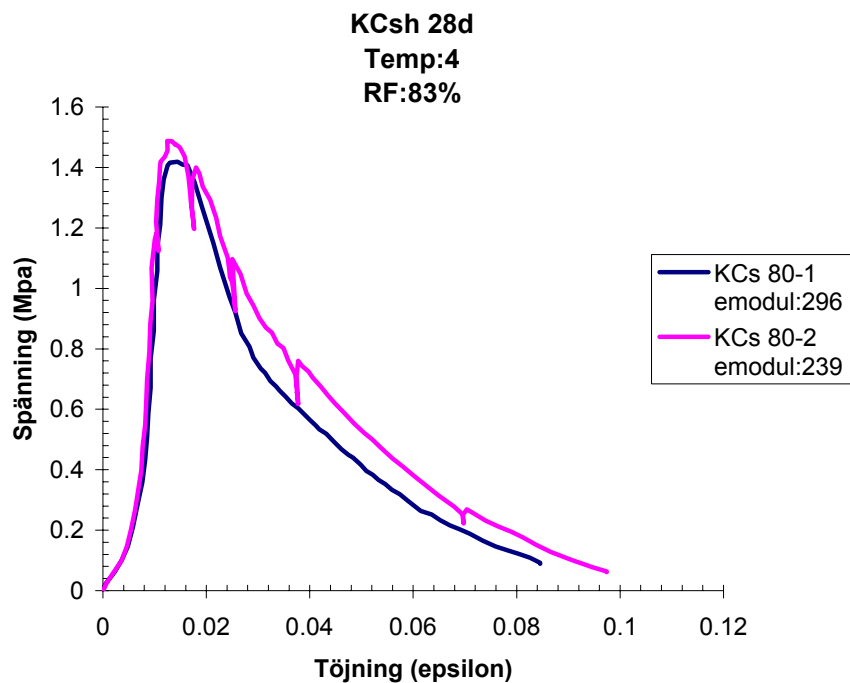
Hållfasthetsutveckling



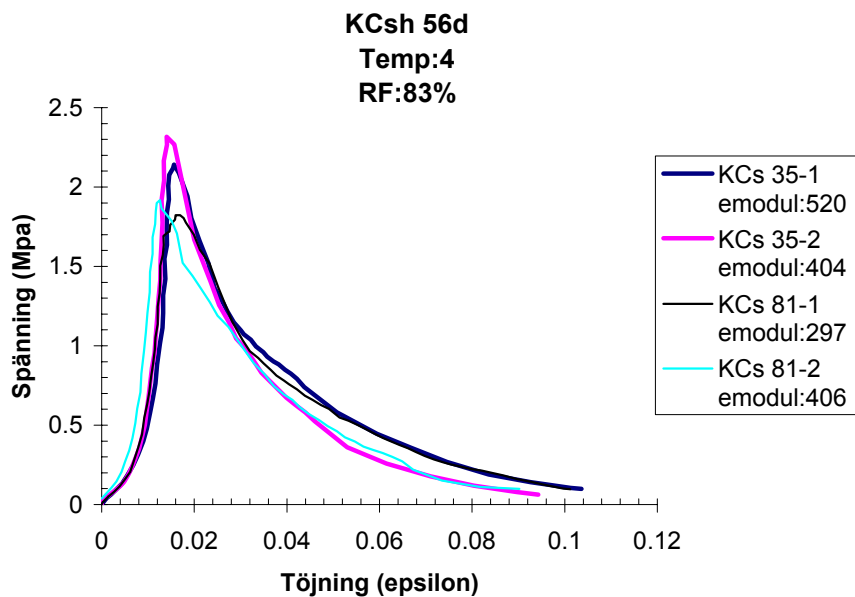
Bruk: KC-sh
Temperatur:4°C
RF:akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}			
Bruks-id										
KC s 33	0.758	0.720	0.339	1815	1676			0.2		
KC s 91		0.915	0.816	0.439	1806	1656		0		
σ_{medel}	0.802			0.389						
Std avv	0.074	9.2		0.050	12.9					
95% Conf	0.072	0.87	0.73	0.069	0.46	0.32				

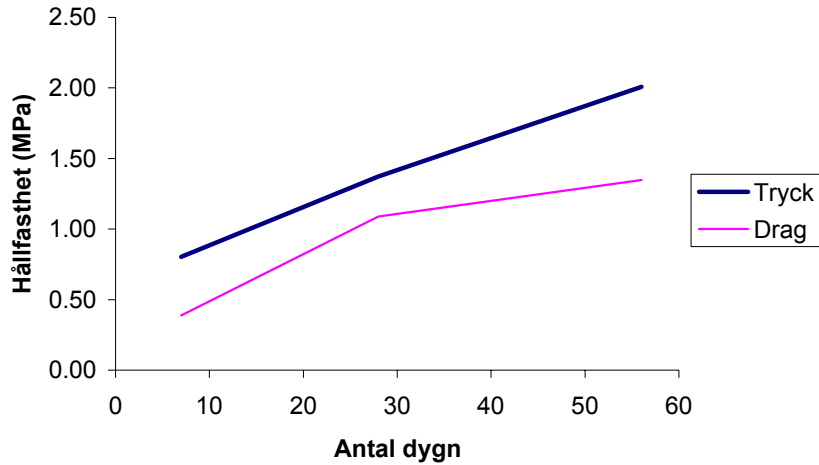
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
	KC s 34	1.349	1.287	0.98	1804	1657	1652	3.8
	KC s 80	1.392	1.460	1.199	1835	1718	1677	2.3-3.5
	σ_{medel}	1.37		1.09				
	Std avv	0.063	4.6	0.109	10.1			
	95% Conf	0.062	1.43	1.31	0.152	1.24	0.94	



56 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest	
	Bruks-id	σ_{p1}	σ_{p2}	σ_{bd}	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}		ρ_{56d}
	KC s 35	2.104	2.261	1.339	1800	1653	1653	1660	6
	KC s 81	1.786	1.882	1.355	1829	1718	1671	1680	2.5
	σ_{medel}	2.01		1.35					
	Std avv	0.186	9.3	0.008	0.6				
	95% Conf	0.182	2.19	1.83	0.011	1.36	1.34		



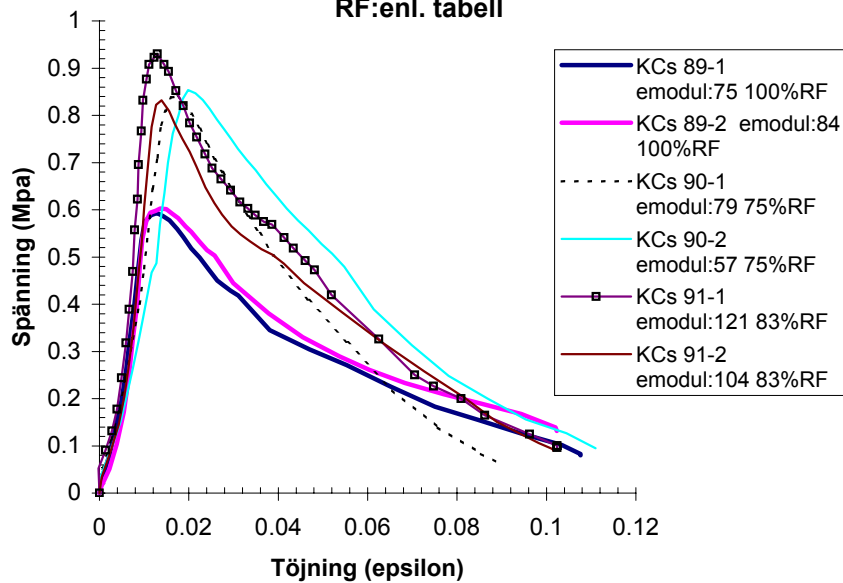
Hållfasthetsutveckling



Lämnade (ej provade)

utan papp	15-jan	20	50 ja	KC s 1	479.4	435.3	439.29	440.48	440.91
	15-jan	20	50 ja	KC s 2	475.7	431.2	435.18	436.45	437.07
	15-jan	20	50 ja	KC s 3	429.2	390.5	394.05	394.42	394.47
	15-jan	4 akt	ja	KC s 4	480.2	448.6	440.63	441.63	444.05
	27-jan	20	100 n	KC s 57	460.9			458.45	lämnad
	27-jan	20	75 n	KC s 61	458.9		425.2	417.29	lämnad

KCsh 7d Temp:4 RF:enl. tabell



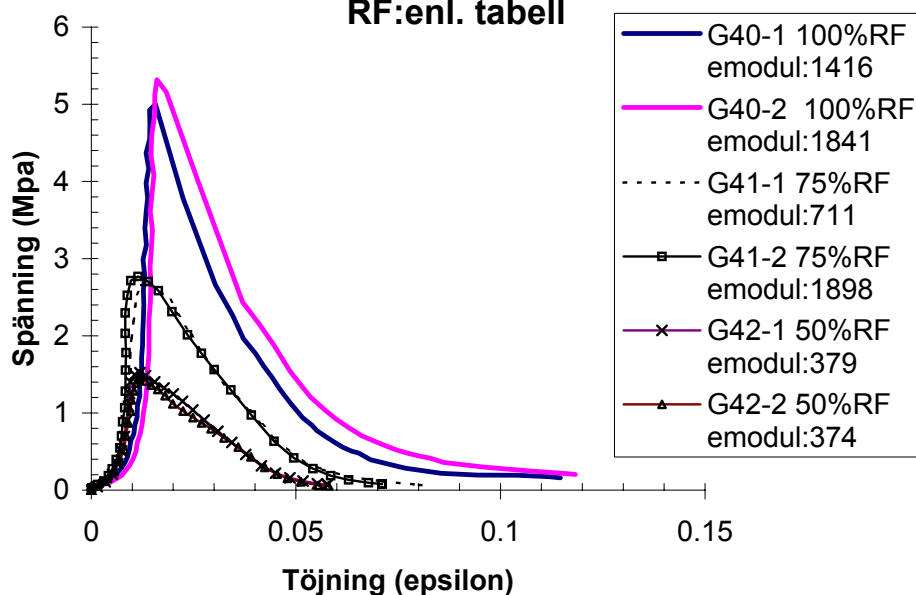
Bruk: Gullex B

Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
G1 100%RF	4.842	4.867	1.54	1848	1842			ej CO2	
G40 100%RF	4.910	5.217	1.64	1843	1840			ej CO2	
G2 75%RF	4.984	4.626	1.618	1818	1756			ej CO2	
G41 75%RF	2.626	2.270	0.804	1820	1697			ej CO2	
G3 50%RF	3.446	3.331	1.397	1822	1696			1.9	
G42 50%RF	1.496	1.414	0.542	1817	1679			1.3	
$\sigma_{medel100\%RF}$	4.96		1.59						
$\sigma_{medel75\%RF}$	3.63		1.21						
$\sigma_{medel50\%RF}$	2.42		0.97						
Std avv 100%RF	0.151	3.0	0.050	3.1					
95% Conf 100%RF	0.148	5.11	4.81	0.069	1.66	1.52			
Std avv 75%RF	1.192	32.9	0.407	33.6					
95% Conf 75%RF	1.168	4.79	2.46	0.564	1.78	0.65			
Std avv 50%RF	0.968	40.0	0.428	44.1					
95% Conf 50%RF	0.948	3.37	1.47	0.592	1.56	0.38			

Gullex B 7d Temp:20 RF:enl. tabell

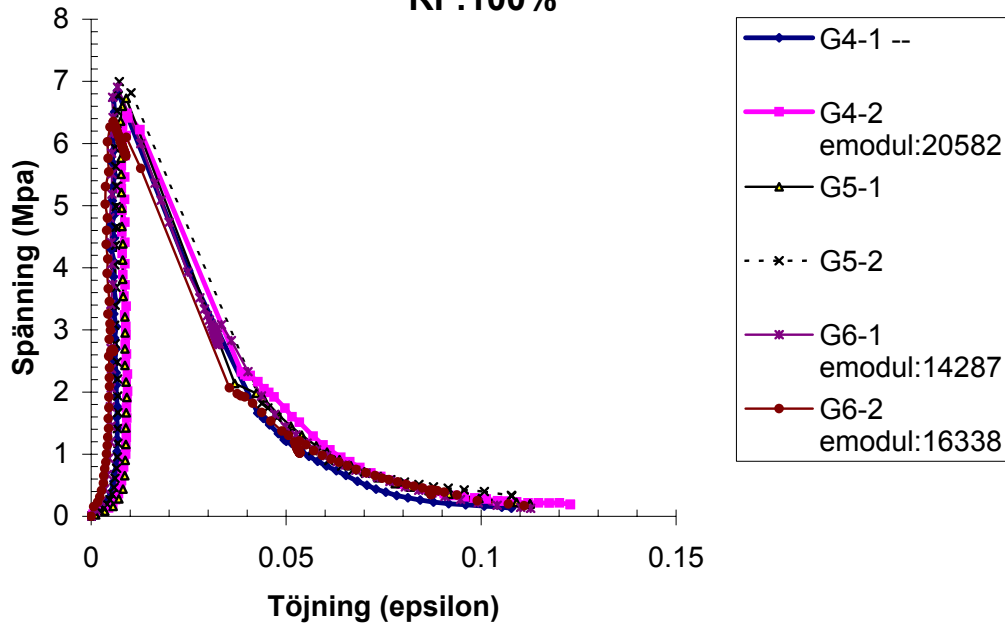


Temperatur:20°C

RF: 100%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)		Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
G4	6.724	6.368	2.08	1828		1817		ej CO2	
G5	6.608	6.691	2.16	1838		1828		ej CO2	
G6	6.782	6.242	2.063	1832		1820		ej CO2	
σ_{medel}	6.705		2.101						
Std avv	0.197	2.9	0.042	2.0					
95% Conf	0.158	6.86	6.55	0.048	2.15	2.05			

Gullex B 28d
Temp:20
RF:100%



Temperatur:20°C

RF: 75%

28 dygn

Bruks-id

G7

G8

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa)

σ_{p2} (Mpa)

Böj-drag (Mpa)

σ_{bd} (MPa)

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf}

ρ_{7d}

ρ_{28d}

ρ_{56d}

Fenoftalintest

6.419

0.391

0.383

6.1

6.80

6.04

2.036

0.106

0.147

1.93

2.142

6.04

5.2

2.18

1.89

1847

1847

2.18

1776

1785

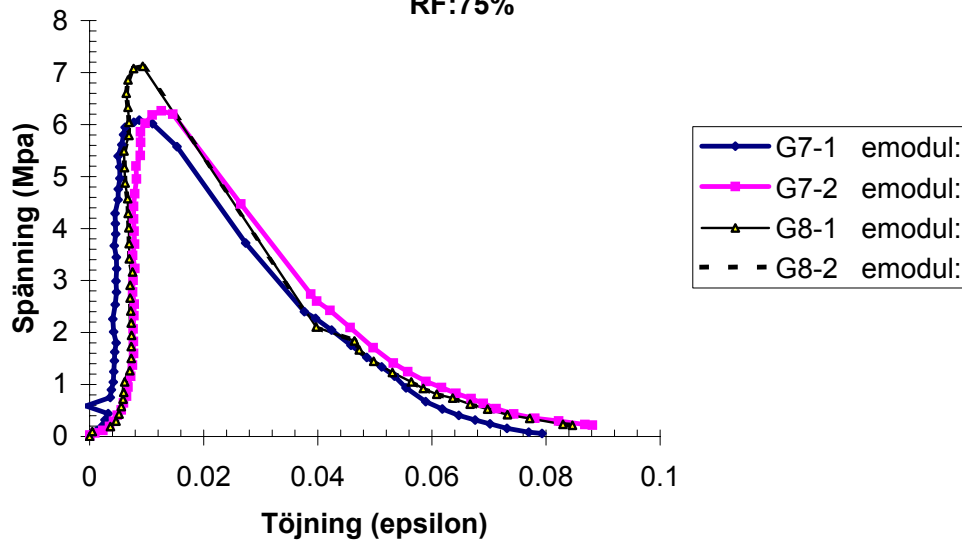
1.89

1752

1758

1.89

Gullex B 28d
Temp:20
RF:75%



Temperatur:20°C

RF: 50%

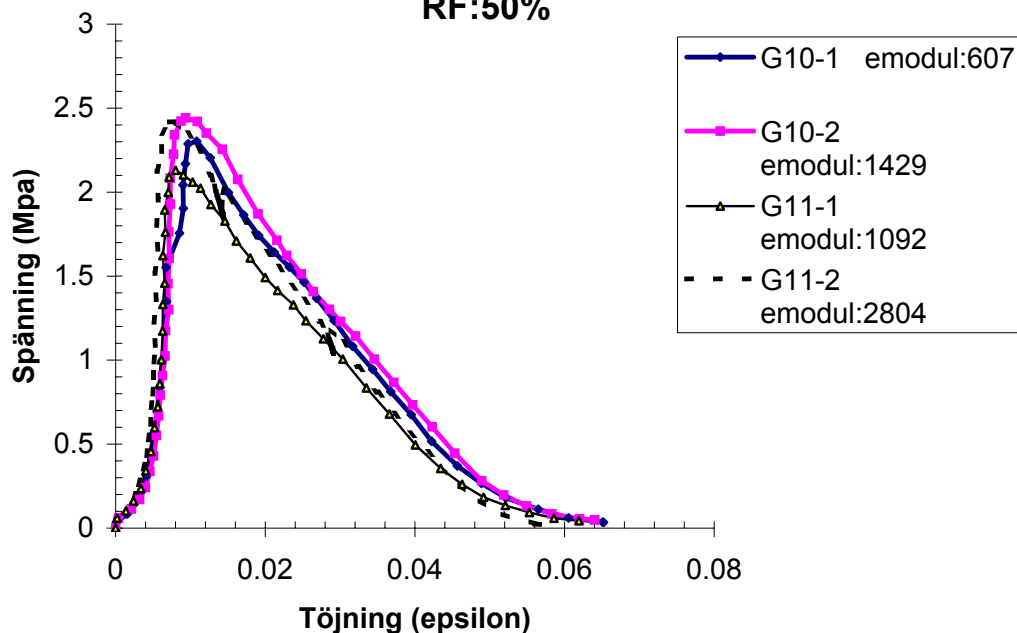
28 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
G10	2.259	2.400	1.002	1845	1713	1716		1.5	
G11	2.093	2.375	0.945	1827	1694	1696		1.5	
σ_{medel}	2.281		0.974						
Std avv	0.121	5.3	0.028	2.9					
95% Conf	0.119	2.40	2.16	0.039	1.01	0.93			

Gullex B 28d

Temp:20

RF:50%



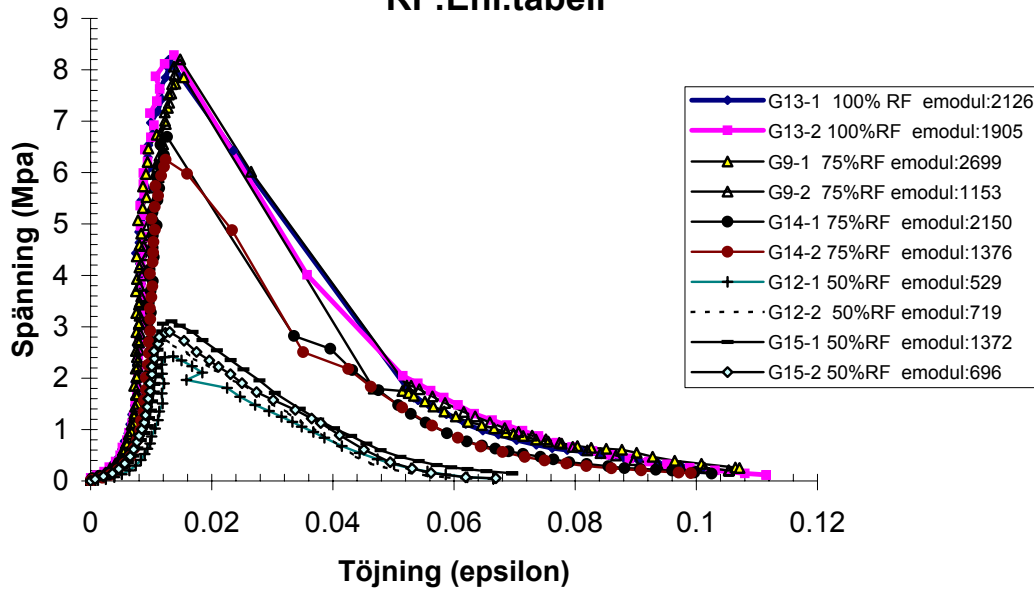
Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

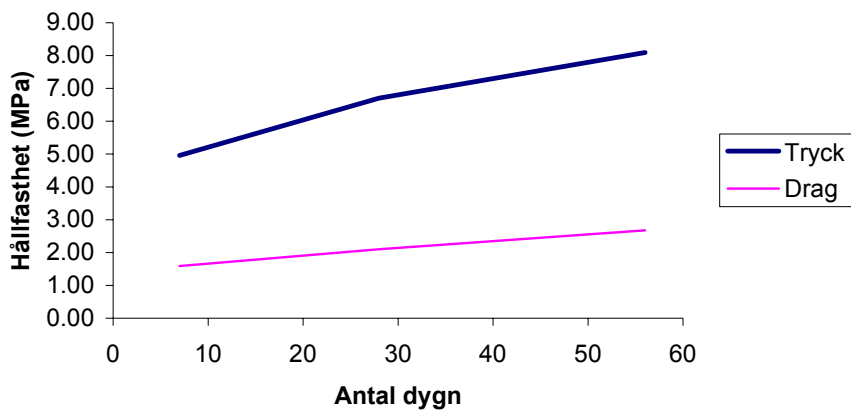
56 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
G13 100%RF	8.046	8.138	2.677	1837			1806	ej CO2	
G9 75%RF	7.715	8.054	2.301	1844	1787	1755	1746	ej CO2	
G14 75%RF	6.690	6.138	2.04	1840	1764	1743	1736	ej CO2	
G12 50%RF	2.381	2.708	1.04	1815	1685	1687	1688	1.4	
G15 50%RF	3.049	2.845	1.285	1864	1735	1736	1738	0.9	
$\sigma_{medel100\%RF}$	8.09		2.68						
$\sigma_{medel75\%RF}$	7.15		2.17						
$\sigma_{medel50\%RF}$	2.75		1.16						
Std avv 100%RF	0.046	0.6							
95% Conf 100%RF	0.064	8.16	8.03						
Std avv 75%RF	0.770	10.8	0.130	6.0					
95% Conf 75%RF	0.755	7.90	6.39	0.181	2.35	1.99			
Std avv 50%RF	0.243	8.9	0.123	10.5					
95% Conf 50%RF	0.238	2.98	2.51	0.170	1.33	0.99			

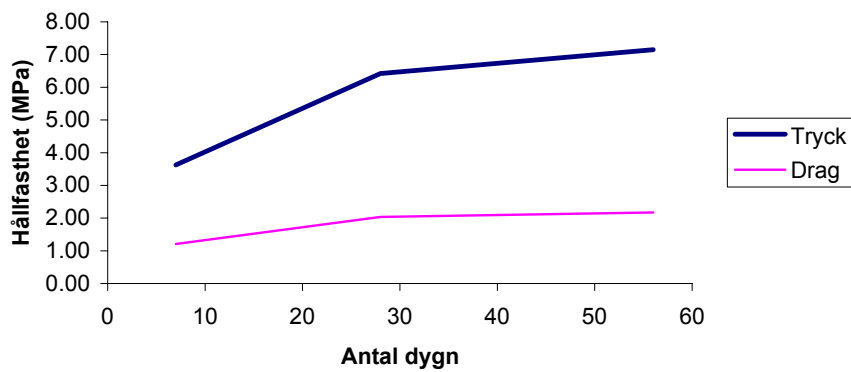
Gullex B 56d
Temp:20
RF:Enl.tabell



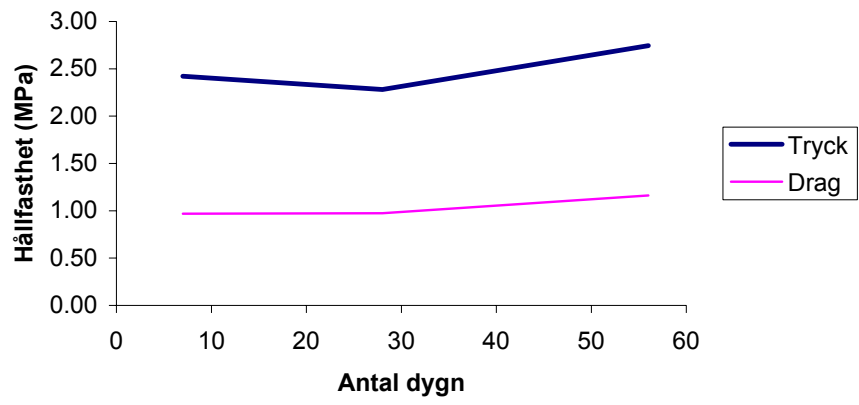
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



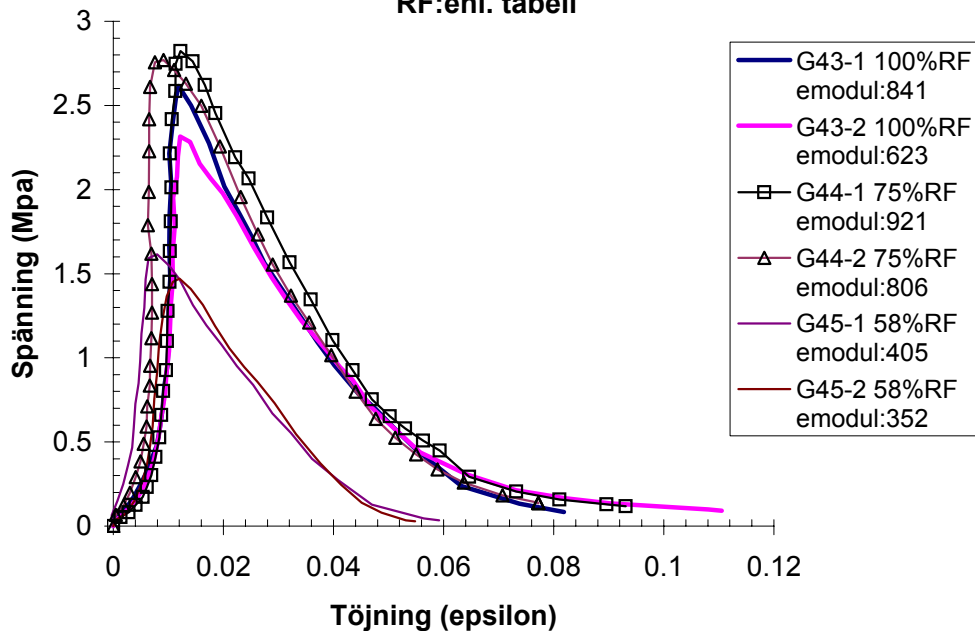
Hållfasthetsutveckling 50%RF



Bruk: Gullex B
Temperatur:10°C
RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
Bruks-id							
G28 100%RF	2.930	3.030	1.132	1866	1858		ej CO2
G43 100%RF	2.565	2.271	0.945	1822	1819		ej CO2
G17 75%RF	3.442	3.495	1.201	1828	1779		ej CO2
G44 75%RF	2.774	2.722	0.961	1813	1738		ej CO2
G18 akt%RF	2.688	2.819	0.964	1823	1723		1.3
G45 akt%RF	1.583	1.442	0.64	1820	1679		0
$\sigma_{medel100\%RF}$	2.70		1.04				
$\sigma_{medel75\%RF}$	3.11		1.08				
$\sigma_{medel akt\%RF}$	2.13		0.80				
Std avv 100%RF	0.302	11.2	0.094	9.0			
95% Conf 100%RF	0.296	2.99	2.40	0.130	1.17	0.91	
Std avv 75%RF	0.361	11.6	0.120	11.1			
95% Conf 75%RF	0.354	3.46	2.75	0.166	1.25	0.91	
Std avv akt%RF	0.624	29.3	0.162	20.2			
95% Conf akt%RF	0.612	2.74	1.52	0.225	1.03	0.58	

Gullex B 7d
Temp:10
RF:enl. tabell



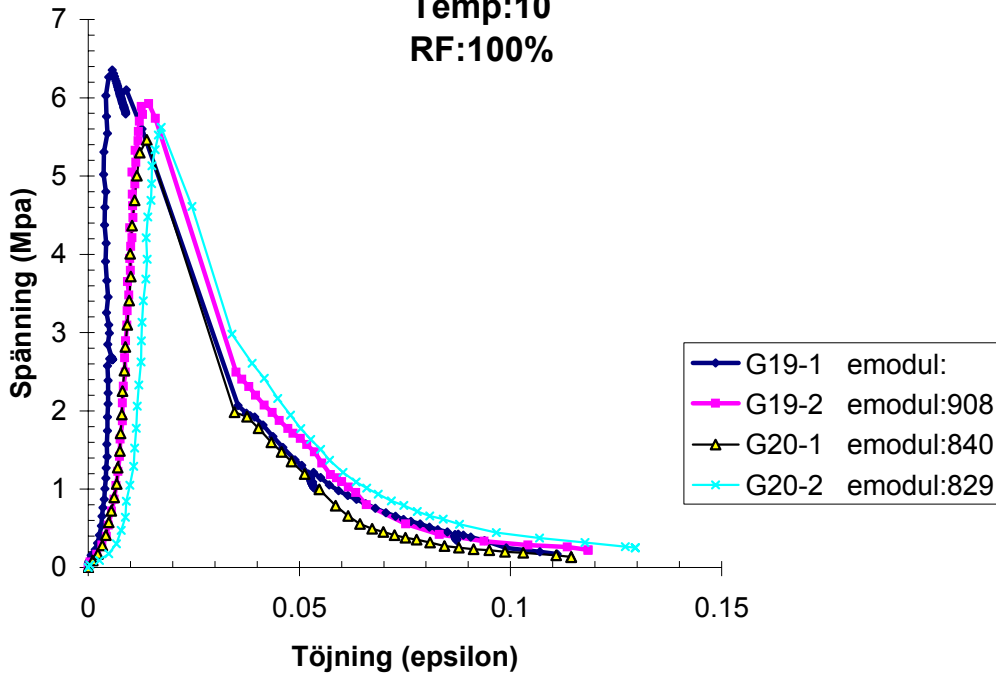
Temperatur:10°C
RF: 100%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
Bruks-id							
G19	6.205	5.818	1.727	1830		1816	ej CO2
G20	5.365	5.522	1.757	1829		1800	ej CO2
σ_{medel}	5.728		1.742				
Std avv	0.320	5.6	0.015	0.9			
95% Conf	0.313	6.04	5.41	0.021	1.76	1.72	

Gullex B 28d

Temp:10

RF:100%



Temperatur:10°C

RF: 75%

28 dygn

Bruks-id

G21

G22

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa) σ_{p2} (Mpa) σ_{bd} (MPa)

Böj-drag (Mpa)

Densitet (kg/m3)

Fenofalintest

ρ_{avf} ρ_{7d} ρ_{28d} ρ_{56d}

5.640	5.573	1.465	1823	1779	1774	ej CO2
6.297	6.236	1.682	1852	1841	1813	

5.936

1.574

0.331

6.9

0.325

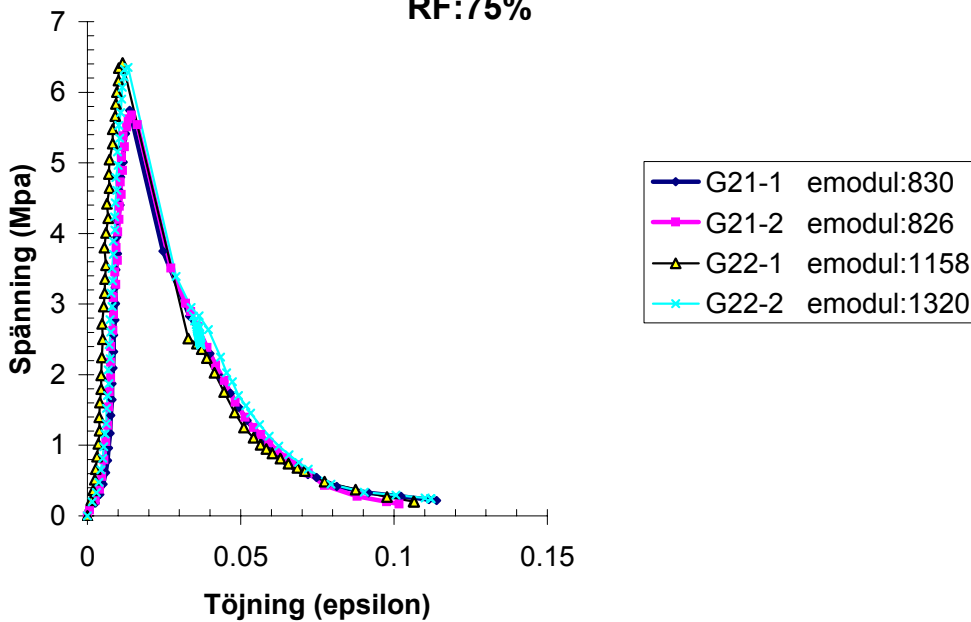
1.72

1.42

Gullex B 28d

Temp:10

RF:75%



Temperatur:10°C

RF: akt%

28 dygn

Bruks-id

Tryckhållfasthet (Mpa)

Böj-drag (Mpa)

Densitet (kg/m3)

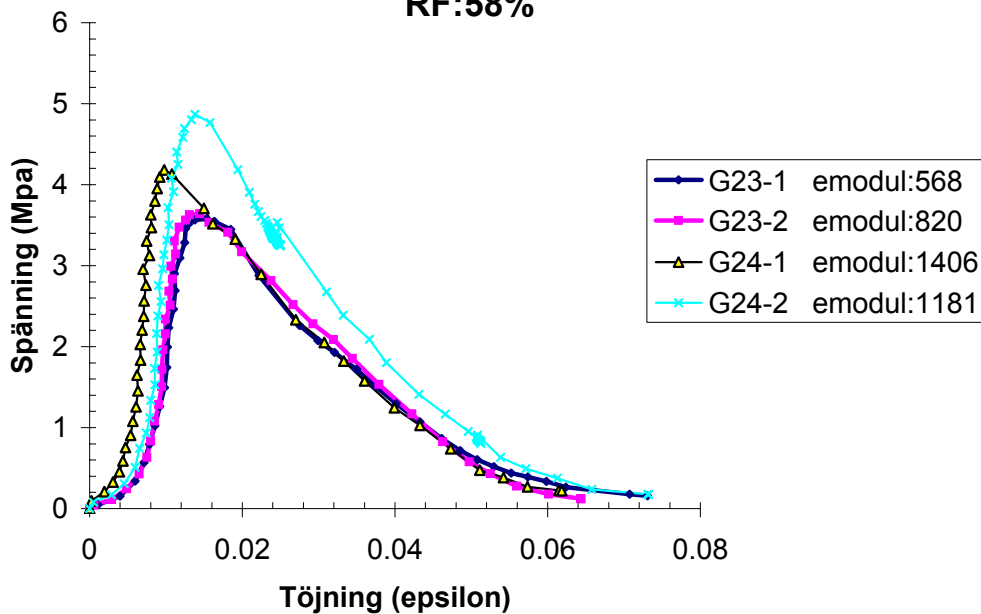
Fenoftalintest

	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
G23	3.511	3.576	1.001	1837	1721	1707		1.5
G24	4.106	4.781	1.46	1833	1732	1708		1.5-2.5
σ_{medel}	3.993		1.231					
Std avv	0.510	12.8	0.230	18.7				
95% Conf	0.500	4.49	3.49	0.318	1.55	0.91		

Gullex B 28d

Temp:10

RF:58%



Temperatur:10°C

RF:100%, 75%, akt%

56 dygn

Bruks-id

Tryckhållfasthet (Mpa)

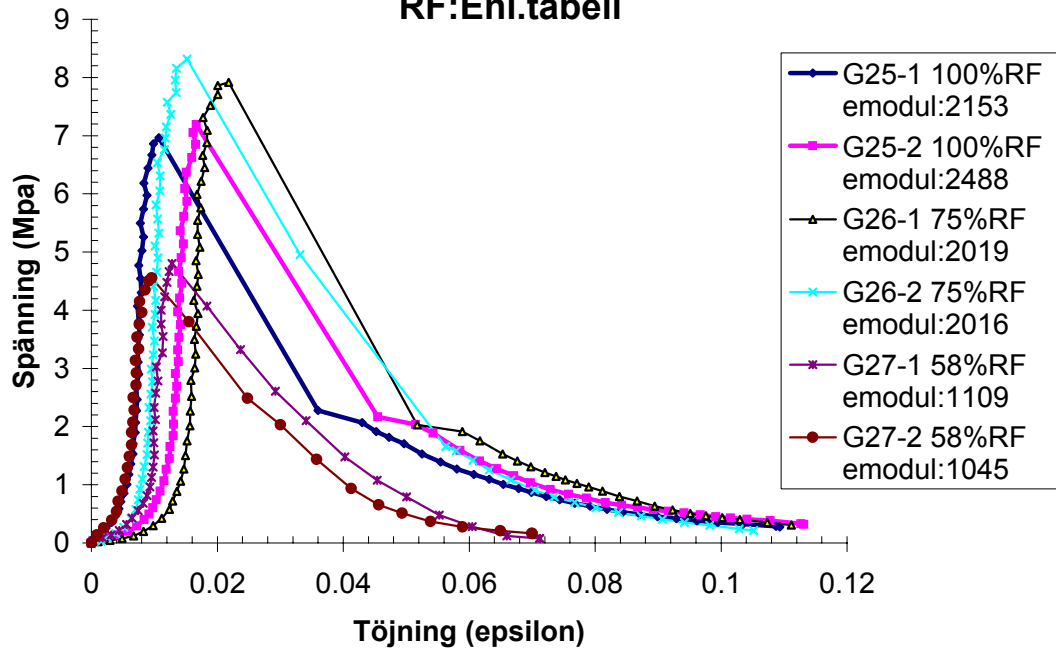
Böj-drag (Mpa)

Densitet (kg/m3)

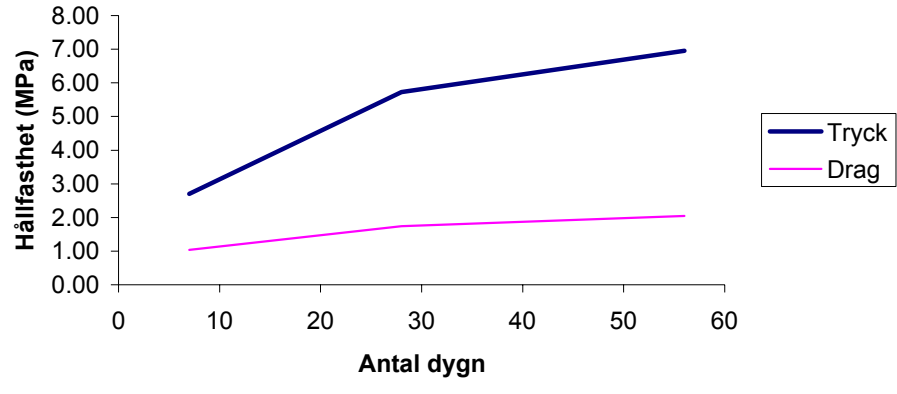
Fenoftalintest

	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
G25 100%RF	6.843	7.064	2.044	1844			1819	ej CO2
G26 75%RF	7.774	8.169	2.491	1830	1816	1787	1738	ej CO2
G27 akt%RF	4.719	4.474	1.53	1859	1760	1733	1735	
$\sigma_{medel100\%RF}$	6.95		2.04					
$\sigma_{medel75\%RF}$	7.97		2.49					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	4.60		1.53					
Std avv 100%RF	0.110	1.6						
95% Conf 100%RF	0.153	7.11	6.80					
Std avv 75%RF	0.197	2.5						
95% Conf 75%RF	0.274	8.25	7.70					
Std avv akt%RF	0.122	2.7						
95% Conf akt%RF	0.120	4.72	4.48					

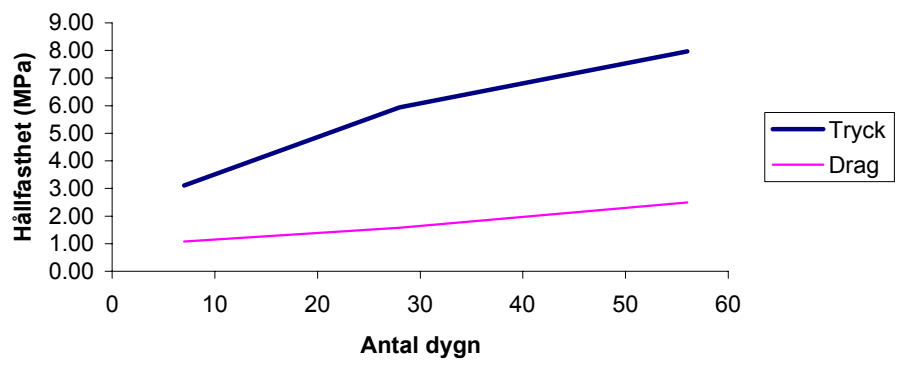
Gullex B 56d
Temp:10
RF:Enl.tabell



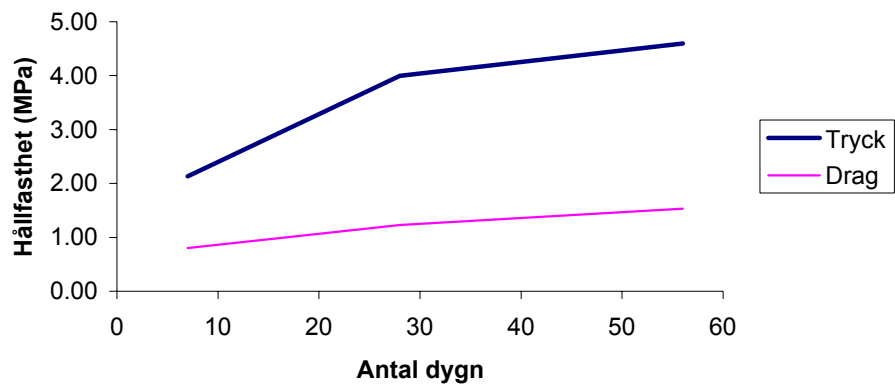
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



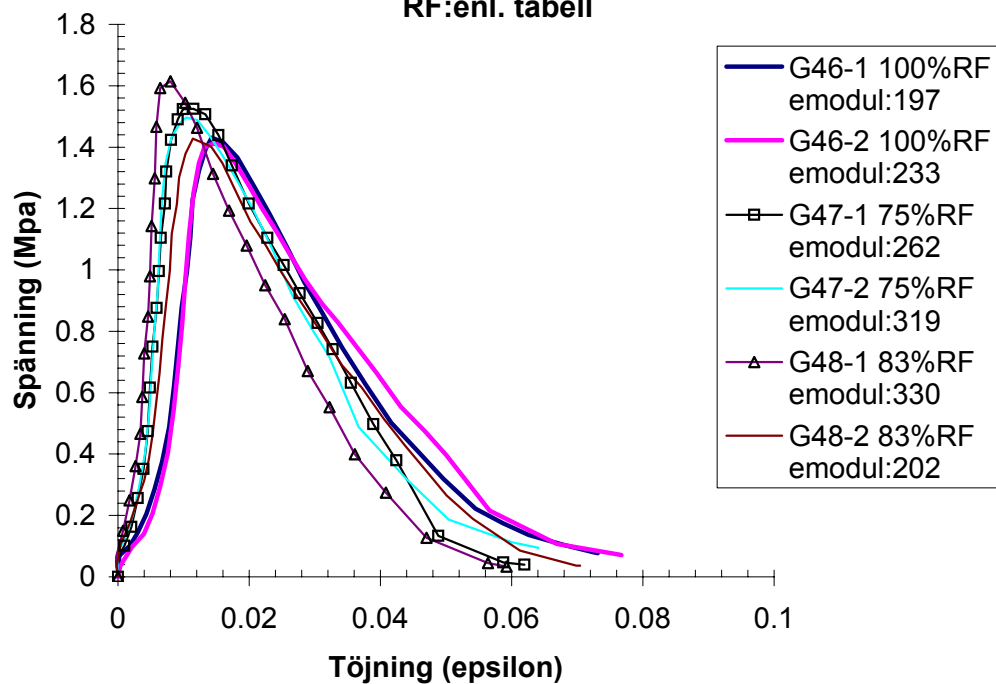
Hållfasthetsutveckling akt%RF



Bruk: Gullex B
Temperatur:4°C
RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf} ρ_{7d} ρ_{28d} ρ_{56d}
G16 100%RF	1.789	1.674	0.559	1885 1878 ej CO2
G46 100%RF	1.405	1.384	bruten	1796 1794 ej CO2
G29 75%RF	2.097	2.087	0.726	1875 1840 ej CO2
G47 75%RF	1.496	1.472	0.55	1815 1692 ej CO2
G30 akt%RF	1.727	1.692	0.664	1857 1798 10
G48 akt%RF	1.522	1.400	0.56	1824 1726 1
$\sigma_{medel100\%RF}$	1.56		0.56	
$\sigma_{medel75\%RF}$	1.79		0.64	
$\sigma_{medel akt\%RF}$	1.59		0.61	
Std avv 100%RF	0.173	11.1		
95% Conf 100%RF	0.170	1.73	1.39	
Std avv 75%RF	0.304	17.0	0.088	13.8
95% Conf 75%RF	0.298	2.09	1.49	0.76 0.52
Std avv akt%RF	0.132	8.3	0.052	8.5
95% Conf akt%RF	0.129	1.71	1.46	0.68 0.54

Gullex B 7d
Temp:4
RF:enl. tabell



Temperatur:4°C

RF:100%, 75%, akt %

56 dygn

Bruks-id

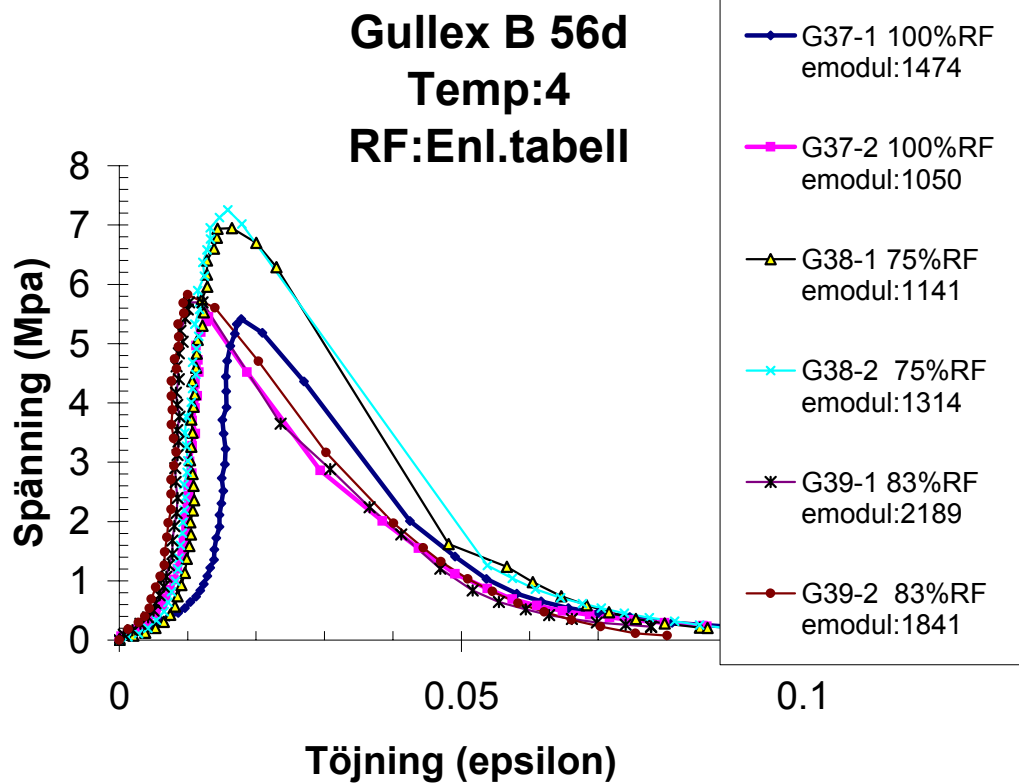
Tryckhållfasthet (Mpa)

Böj-drag (Mpa)

Densitet (kg/m3)

Fenofalintest

	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
G37 100%RF	5.315	5.352	1.74	1864			1858	ej CO2
G38 75%RF	6.819	7.126	2.131	1886	1862	1809	1784	ej CO2
G39 akt%RF	5.591	5.720	1.867	1881	1821	1783	1788	
$\sigma_{medel100\%RF}$	5.33		1.74					
$\sigma_{medel75\%RF}$	6.97		2.13					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	5.66		1.87					
Std avv 100%RF	0.018	0.3						
95% Conf 100%RF	0.026	5.36	5.31					
Std avv 75%RF	0.153	2.2						
95% Conf 75%RF	0.212	7.18	6.76					
Std avv akt%RF	0.064	1.1						
95% Conf akt%RF	0.089	5.75	5.57					



Temperatur:4°C

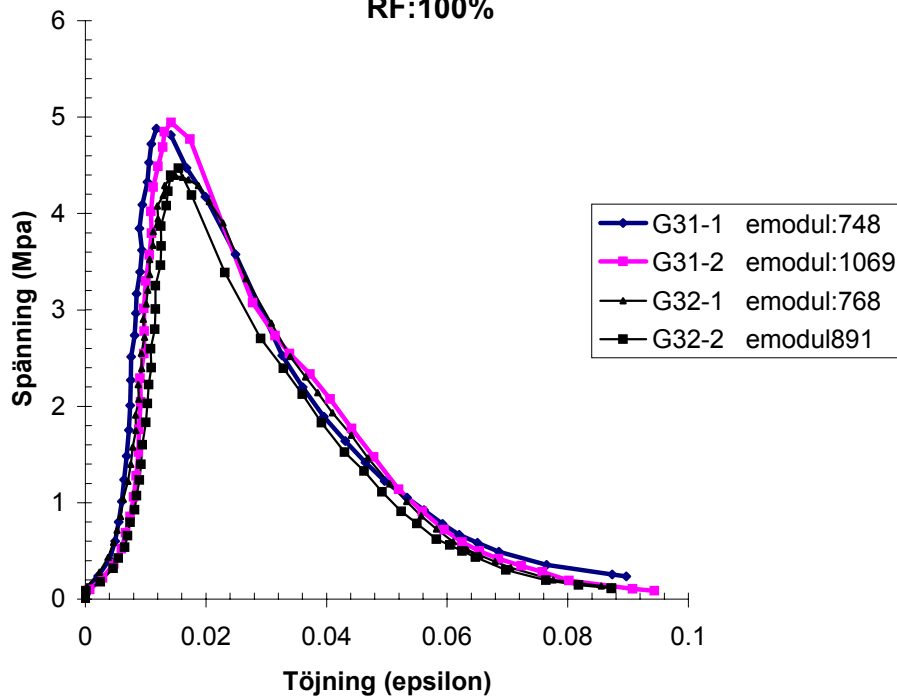
RF: 100%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenofalintest				
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
G31	4.793	4.855	1.515	1891		1886		ej CO2
G32	4.307	4.386	1.27	1868		1865		ej CO2
σ_{medel}	4.585		1.393					
Std avv	0.241	5.3	0.123	8.8				
95% Conf	0.237	4.82	4.35	0.170	1.56	1.22		

Gullex B 28d

Temp:4

RF:100%



Temperatur:4°C

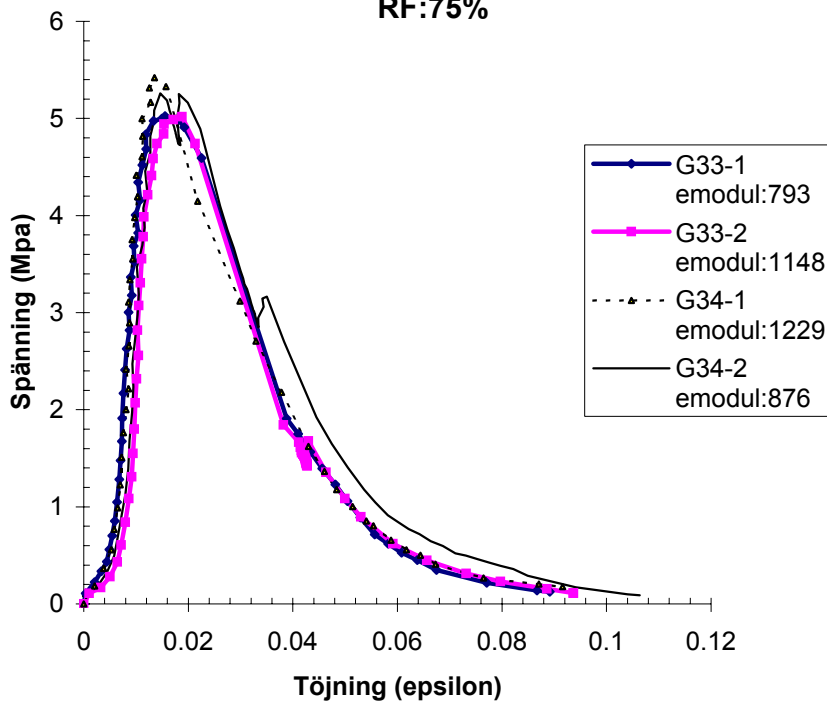
RF: 75%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
G33	4.935	4.928	1.462	1872	1823	1787		ej CO2
G34	5.325	5.151	1.518	1874	1833	1791		ej CO2
σ_{medel}	5.085		1.490					
Std avv	0.165	3.3	0.028	1.9				
95% Conf	0.162	5.25	4.92	0.039	1.53	1.45		

Gullex B 28d

Temp:4

RF:75%



Temperatur:4°C

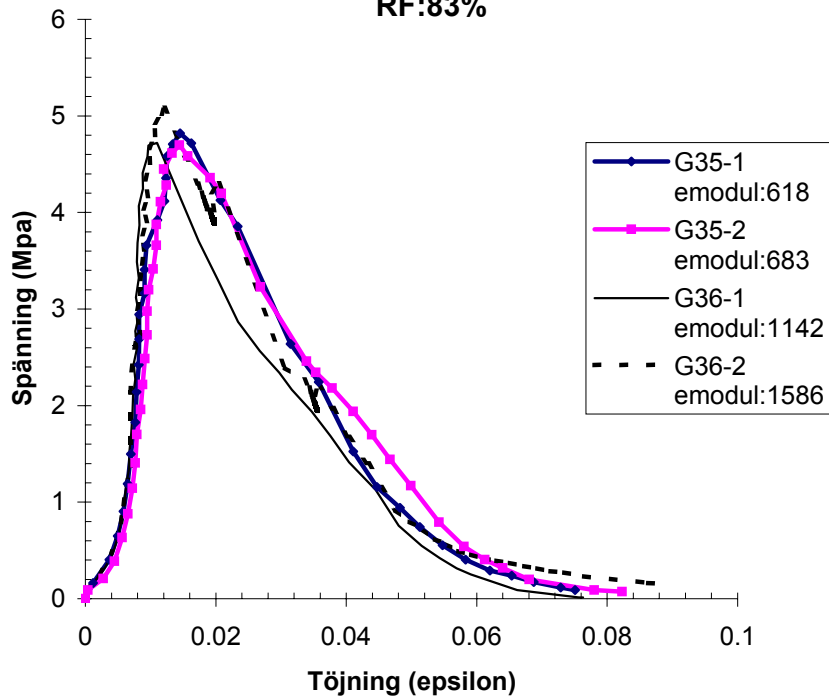
RF: akt%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)	Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)	Fenofalintest			
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
G35	4.731	4.614	1.4	1885	1815	1784	2.3(under)4.5(över)3.7(sida)
G36	4.632	4.990	1.525	1883	1812	1783	2.4(under)4.8(över)3.8(sida)
σ_{medel}	4.742		1.463				
Std avv	0.150	3.2	0.063	4.3			
95% Conf	0.147	4.89	4.59	0.087	1.55	1.38	

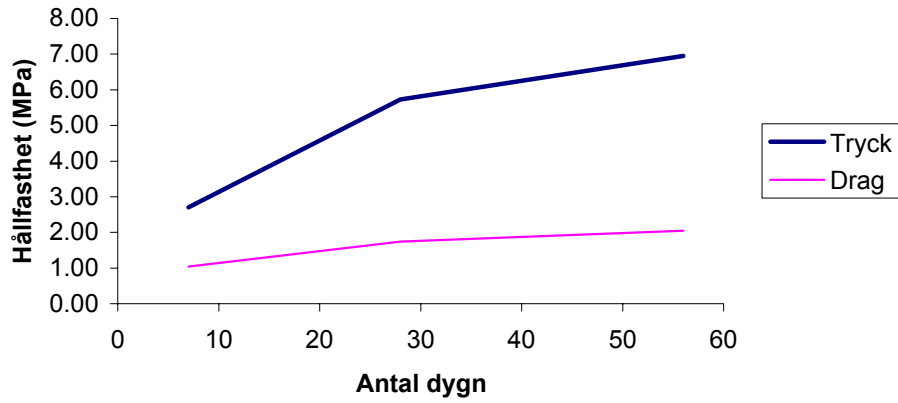
Gullex B 28d

Temp:4

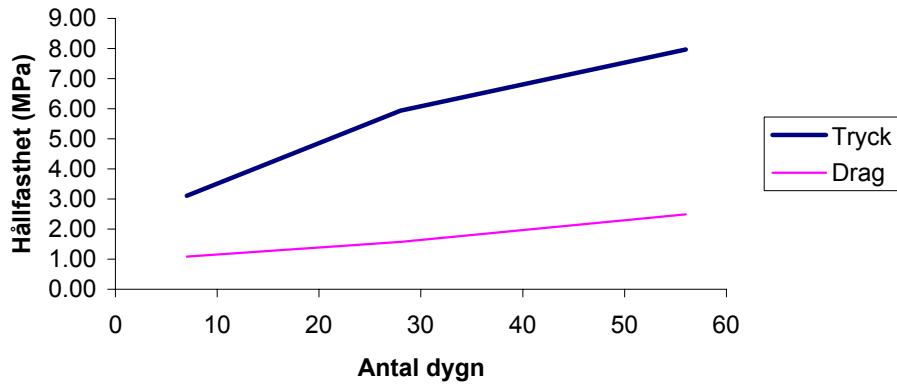
RF:83%



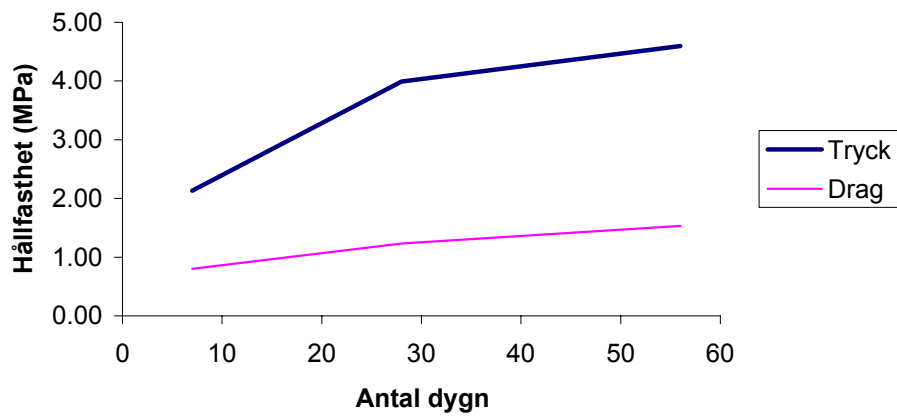
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling 50%RF



Bruk: KC-bygg

Temperatur: 20°C

RF: 100%, 75%, 50%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m ³)			Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
Bruks-id							
KC b 2 100%RF	0.463	0.490	0.258	1827	1824		ej CO2
KC b 3 75%RF	0.540	0.553	0.26	1768	1708		ej CO2
KC b 4 50%RF	0.603	0.580	0.336	1775	1608		0.3
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.48		0.26				
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.55		0.26				
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.59		0.34				
Std avv 100%RF	0.013	2.8					
95% Conf 100%RF	0.018	0.49	0.46				
Std avv 75%RF	0.013	2.4					
95% Conf 75%RF	0.018	0.56	0.53				
Std avv 50%RF	0.012	1.9					
95% Conf 50%RF	0.016	0.61	0.58				

Temperatur: 20°C

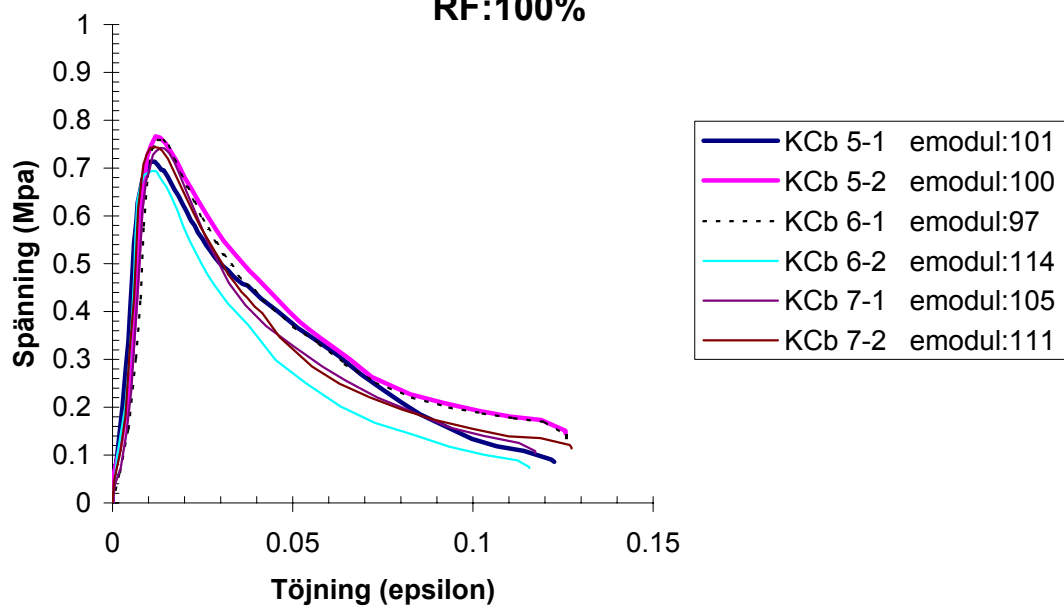
RF: 100%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m ³)			Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	
Bruks-id							
KC b 5	0.701	0.753	0.37	1780		1769	ej CO2
KC b 6	0.743	0.679	0.395	1773		1767	ej CO2
KC b 7	0.731	0.729	0.365	1769		1761	ej CO2
σ_{medel}	0.722		0.377				
Std avv	0.025	3.5	0.013	3.5			
95% Conf	0.020	0.74	0.70	0.015	0.39	0.36	

KC-bygg 28d

Temp: 20

RF: 100%



Temperatur:20°C

RF: 75%

28 dygn

Bruks-id

KC b 8

KC b 9

KC b 10

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa)

σ_{p2} (Mpa)

Böj-drag (Mpa)

σ_{bd} (MPa)

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf}

ρ_{7d}

ρ_{28d}

ρ_{56d}

Fenofalintest

ej CO2

ej CO2

ej CO2

1.120

0.403

0.059

5.3

0.030

7.4

0.047

1.17

1.07

0.034

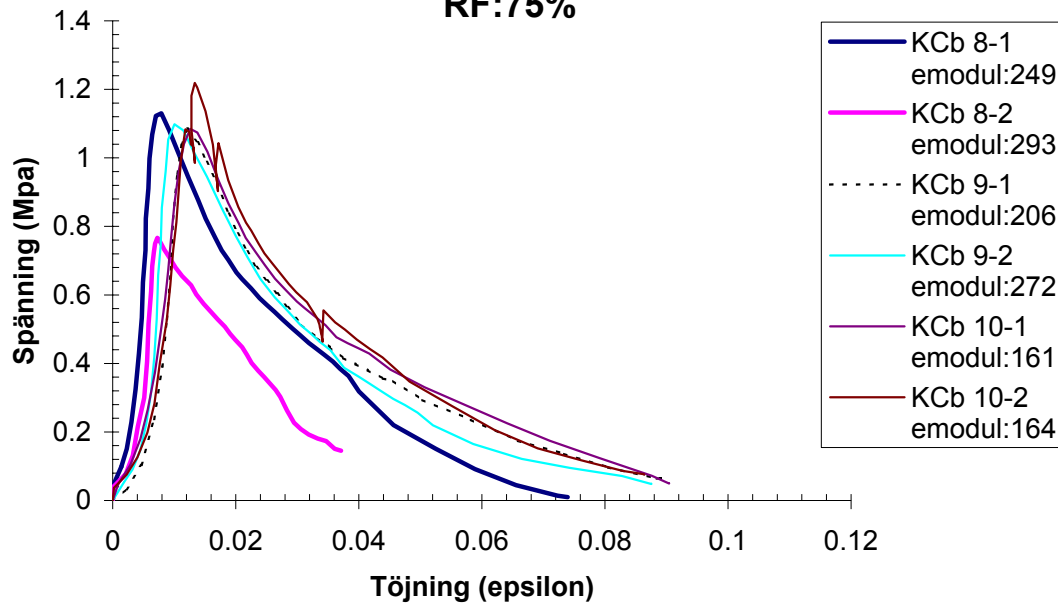
0.44

0.37

KC-bygg 28d

Temp:20

RF:75%



Temperatur:20°C

RF: 50%

28 dygn

Bruks-id

KC b 11

KC b 12

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa)

σ_{p2} (Mpa)

Böj-drag (Mpa)

σ_{bd} (MPa)

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf}

ρ_{7d}

ρ_{28d}

ρ_{56d}

Fenofalintest

0.421

0.492

0.26

1771

1608

1619

0.3

0.431

0.401

0.318

1760

1595

1606

0.2

0.436

0.289

0.034

7.8

0.029

10.0

0.033

0.47

0.40

0.040

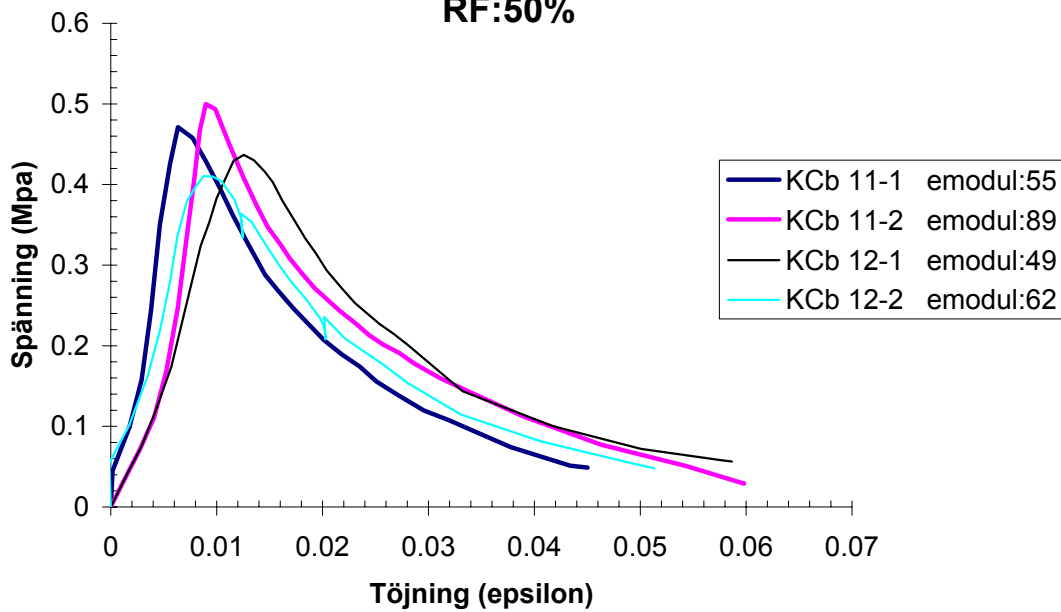
0.33

0.25

KC-bygg 28d

Temp:20

RF:50%



Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

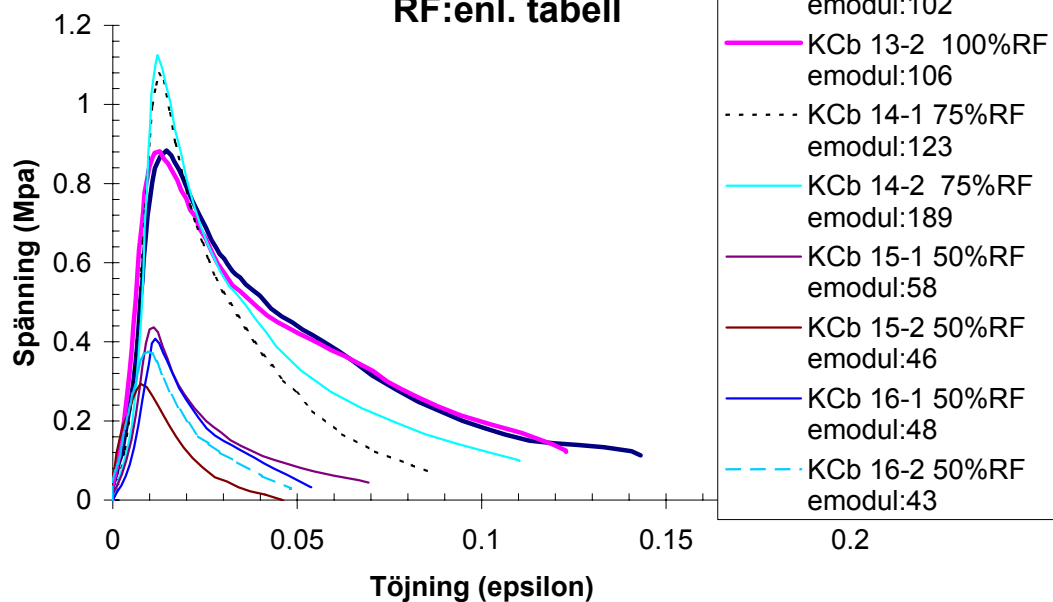
56 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}		
KC b 13 100%RF	0.868	0.864	0.433	1758		0	1724	ej CO2	
KC b 14 75%RF	1.058	1.101	0.386	1766	1691	1614	1608	ej CO2	
KC b 15 50%RF	0.427	0.288	0.3	1755	1593	1605	1607	1	
KC b 16 50%RF	0.398	0.369	0.313	1769	1609	1620	1622	0.6	
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.87		0.43						
$\sigma_{medel75\%RF}$	1.08		0.39						
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.37		0.31						
Std avv 100%RF	0.021	2.5							
95% Conf 100%RF	0.030	0.90	0.84						
Std avv 75%RF	0.021	2.0							
95% Conf 75%RF	0.030	1.11	1.05						
Std avv 50%RF	0.052	14.0	0.007	2.1					
95% Conf 50%RF	0.051	0.42	0.32	0.013	0.32	0.29			

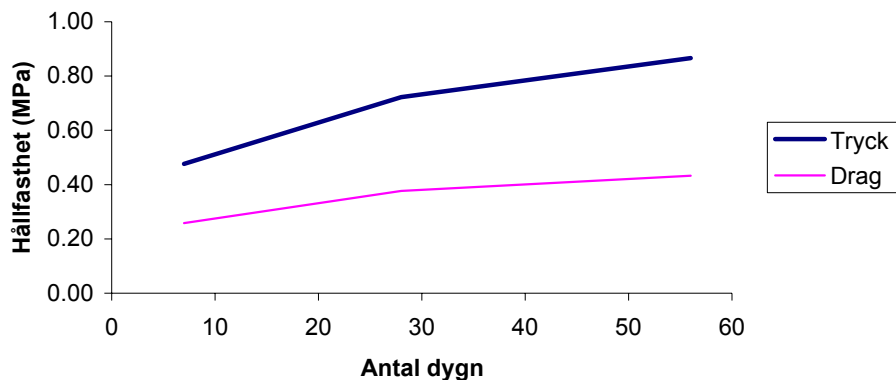
KC-bygg 56d

Temp:20

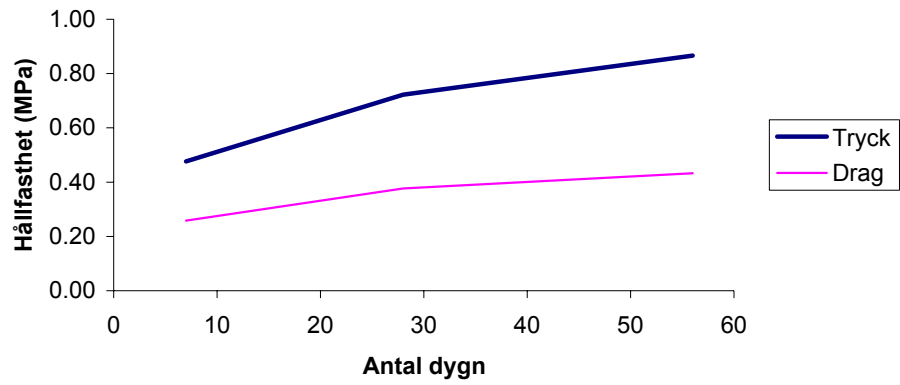
RF:enl. tabell



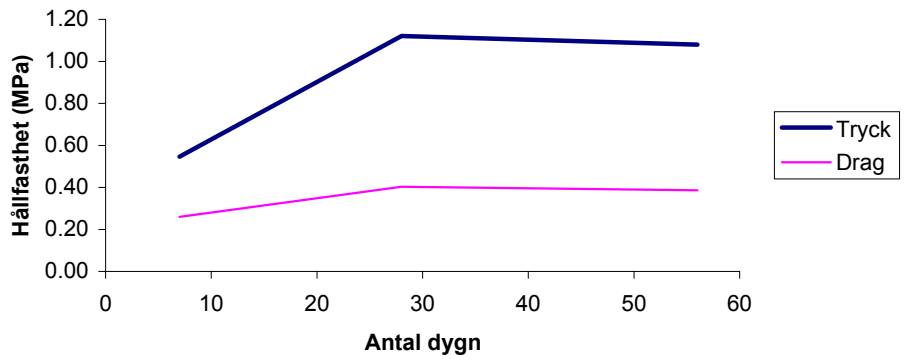
Hållfasthetsutveckling 100%RF



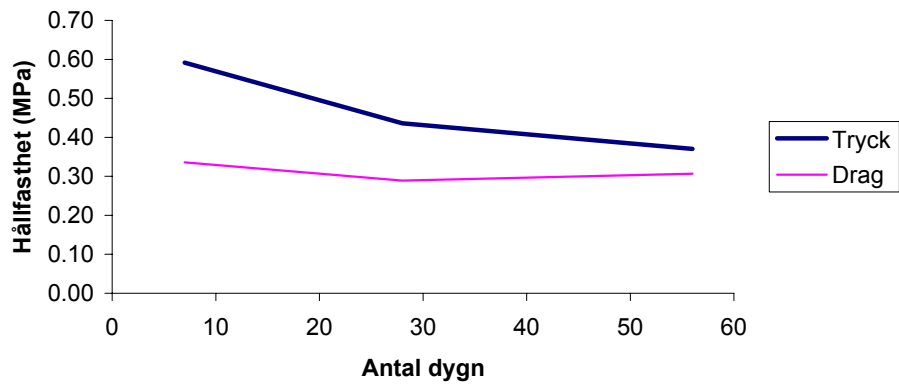
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling 50%RF



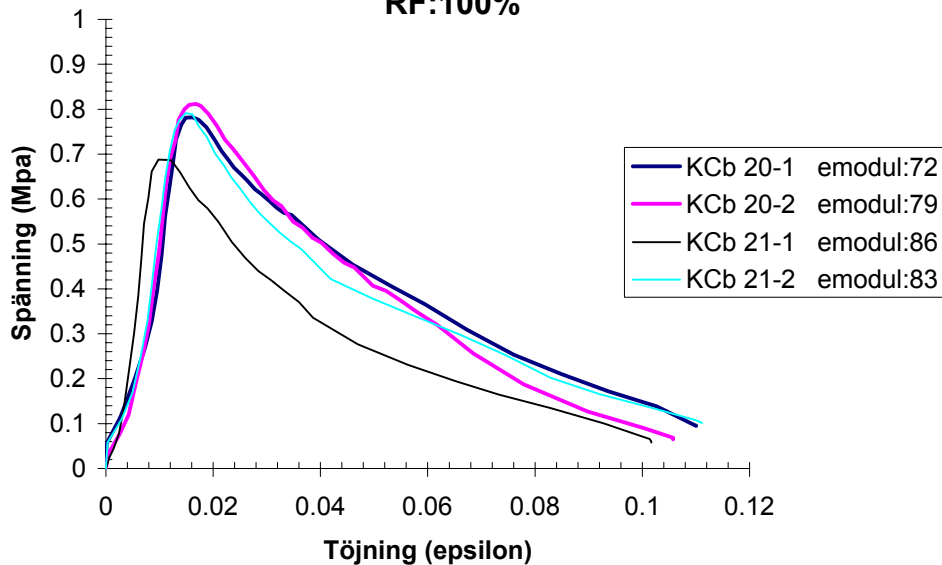
Bruk: KC-bygg
Temperatur: 10°C
RF: 100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofaltintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
Bruks-id									
KC b 17 100%RF	0.531	0.549	0.328		1776	1767			ej CO2
KC b 18 75%RF	0.568	0.612	0.348		1787	1781			ej CO2
KC b 19 akt%RF	0.877	0.865	0.3		1777	1602			
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.54		0.33						
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.59		0.35						
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.87		0.30						
Std avv 100%RF	0.009	1.7							
95% Conf 100%RF	0.013	0.55	0.53						
Std avv 75%RF	0.022	3.7							
95% Conf 75%RF	0.030	0.62	0.56						
Std avv akt%RF	0.006	0.7							
95% Conf akt%RF	0.008	0.88	0.86						

Temperatur: 10°C
RF: 100%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofaltintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)		ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
Bruks-id									
KC b 20	0.771	0.796	0.385		1758	1717			ej CO2
KC b 21	0.674	0.776	0.362		1765	1763			ej CO2
σ_{medel}	0.754		0.374						
Std avv	0.047	6.3	0.012	3.1					
95% Conf	0.046	0.80	0.71	0.016	0.39	0.36			

KC-bygg 28d
Temp: 10
RF: 100%



Temperatur:10°C

RF: 75%

28 dygn

Bruks-id

KC b 22

KC b 28

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa) σ_{p2} (Mpa) σ_{bd} (MPa)

0.996 1.126 0.455

0.913 0.777 bruten

0.953

0.127

0.124

Böj-drag (Mpa)

σ_{bd} (MPa)

0.455

bruten

0.455

13.3

0.83

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf} ρ_{7d} ρ_{28d} ρ_{56d}

1771 1702 1639

1785 1732 1672

Fenofalintest

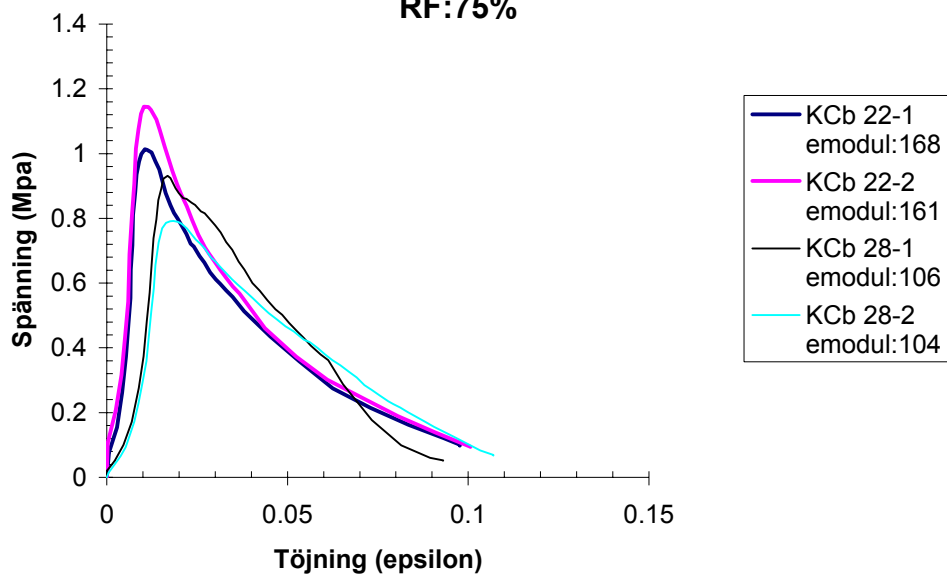
ej CO2

ej CO2

KC-bygg 28d

Temp:10

RF:75%



Temperatur:10°C

RF: akt%

28 dygn

Bruks-id

KC b 24

KC b 25

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa) σ_{p2} (Mpa) σ_{bd} (MPa)

0.720 0.620 0.42

0.562 0.631 0.403

0.633

0.057

0.056

Böj-drag (Mpa)

σ_{bd} (MPa)

0.42

0.403

0.412

0.009

0.012

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf} ρ_{7d} ρ_{28d} ρ_{56d}

1776 1603 1597

1814 1624 1620

Fenofalintest

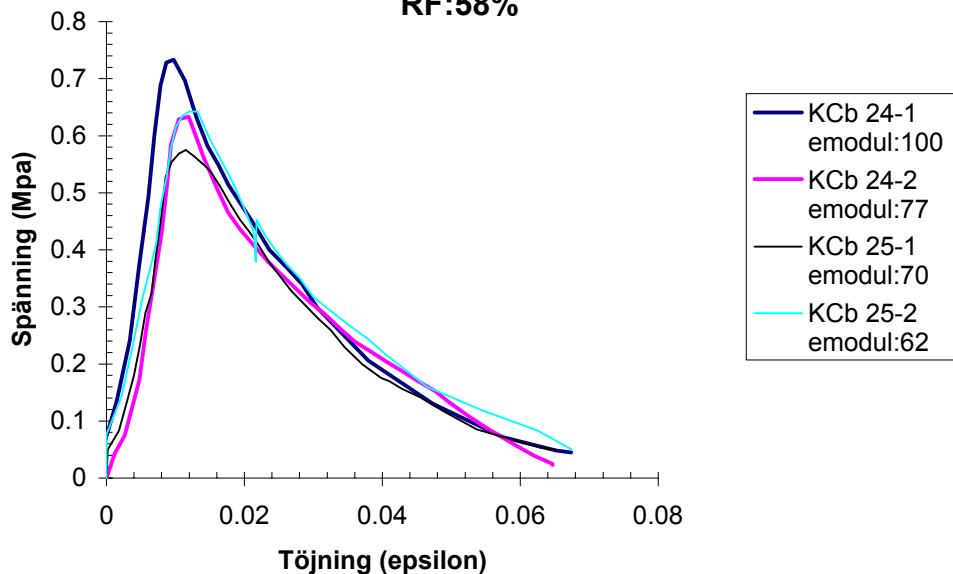
0.1

0.1

KC-bygg 28d

Temp:10

RF:58%



Temperatur:10°C

RF:100%, 75%, akt%

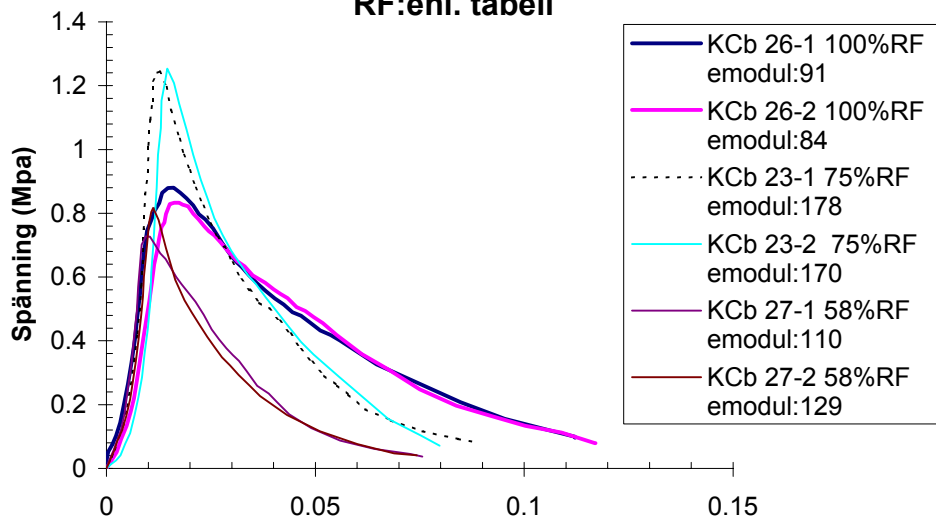
56 dygn

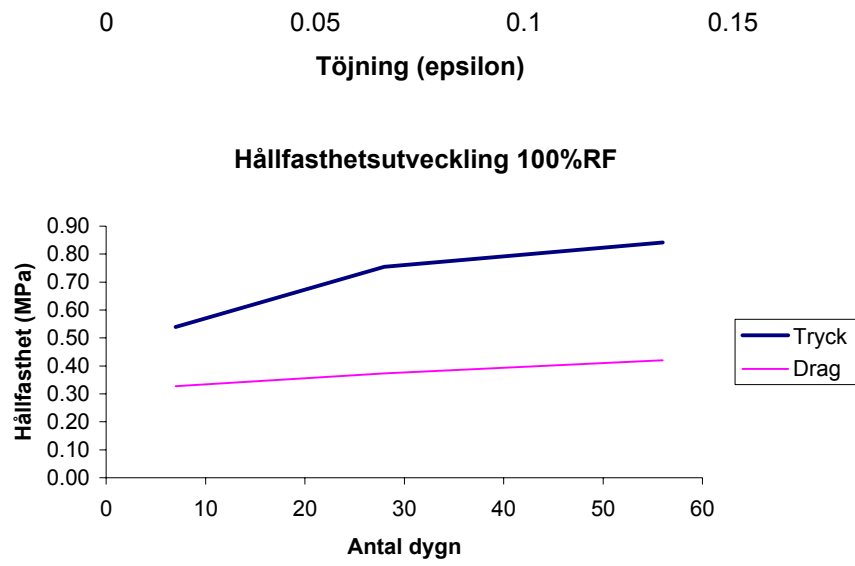
Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC b 26 100%RF	0.864	0.820	0.42	1779			1734	ej CO2
KC b 23 75%RF	1.221	1.231	0.627	1772	1758	1674	1606	ej CO2
KC b 27 akt%RF	0.716	0.804	0.348	1766	1580	1571	1578	0.5
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.84		0.42					
$\sigma_{medel75\%RF}$	1.23		0.63					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.76		0.35					
Std avv 100%RF	0.022	2.6						
95% Conf 100%RF	0.030	0.87	0.81					
Std avv 75%RF	0.005	0.4						
95% Conf 75%RF	0.006	1.23	1.22					
Std avv akt%RF	0.044	5.8						
95% Conf akt%RF	0.061	0.82	0.70					

KC-bygg 56d

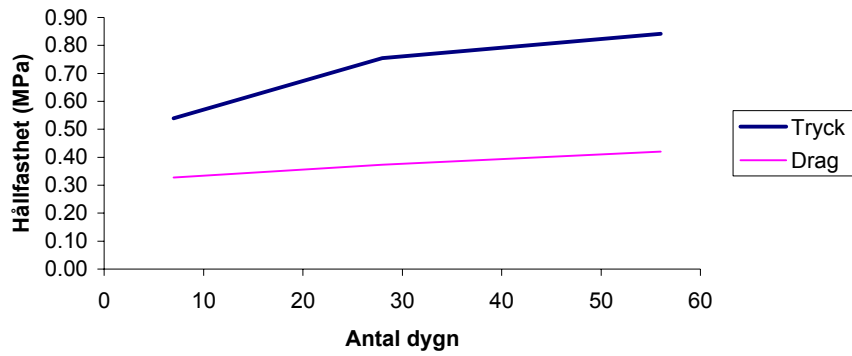
Temp:10

RF:enl. tabell

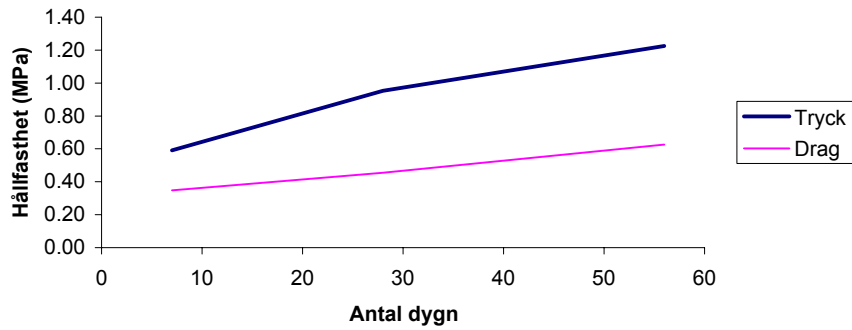




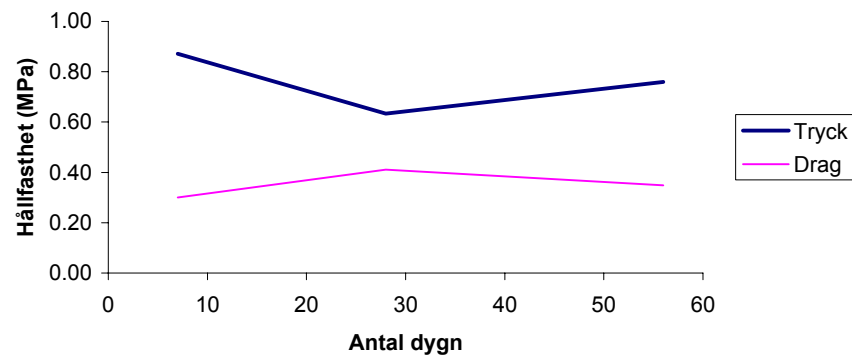
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling akt%RF



Bruk: KC-bygg

Temperatur:4°C

RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC b 29 100%RF	0.386	0.372	0.229	1773	1771			ej CO2
KC b 30 75%RF	0.544	0.562	0.308	1799	1718			ej CO2
KC b 31 akt%RF	0.492	0.532	0.339	1807	1750			
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.38		0.23					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.55		0.31					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.51		0.34					
Std avv 100%RF	0.007	1.8						
95% Conf 100%RF	0.010	0.39	0.37					
Std avv 75%RF	0.009	1.7						
95% Conf 75%RF	0.013	0.57	0.54					
Std avv akt%RF	0.020	3.9						
95% Conf akt%RF	0.027	0.54	0.48					

Temperatur:4°C

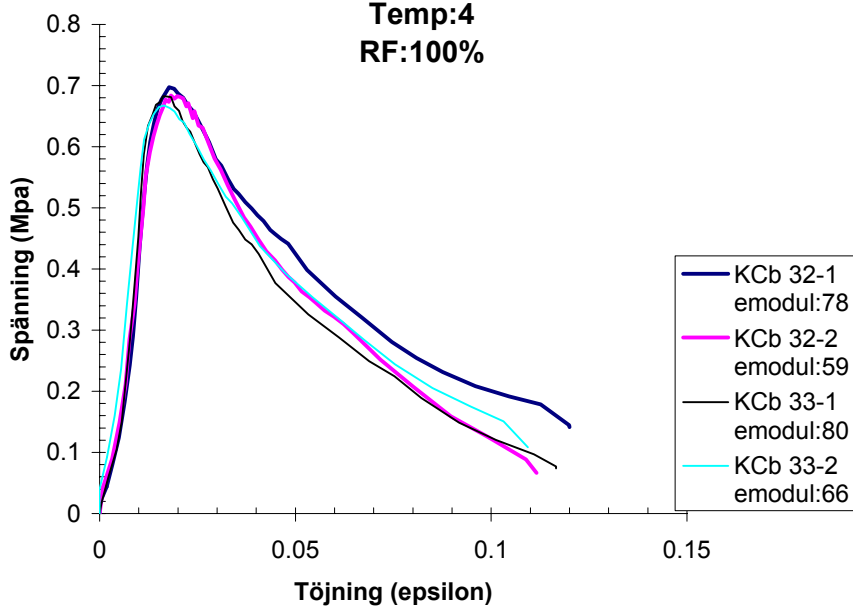
RF: 100%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
KC b 32	0.687	0.671	0.401	1804		1801		ej CO2
KC b 33	0.668	0.655	0.42	1786		1782		ej CO2
σ_{medel}	0.670		0.411					
Std avv	0.011	1.7	0.010	2.3				
95% Conf	0.011	0.68	0.66	0.013	0.42	0.40		

KC-bygg 28d

Temp:4

RF:100%



Temperatur:4°C

RF: 75%

28 dygn

Bruks-id

KC b 34

KC b 35

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa) σ_{p2} (Mpa) σ_{bd} (MPa)

1.041 1.051

0.541

0.916 0.970

0.478

0.994

0.510

0.055

5.5

0.031

6.2

0.054

1.05

0.94

0.044

0.55

0.47

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf}

ρ_{7d}

ρ_{28d}

ρ_{56d}

1808

1754

1656

1811

1689

1647

Fenofalintest

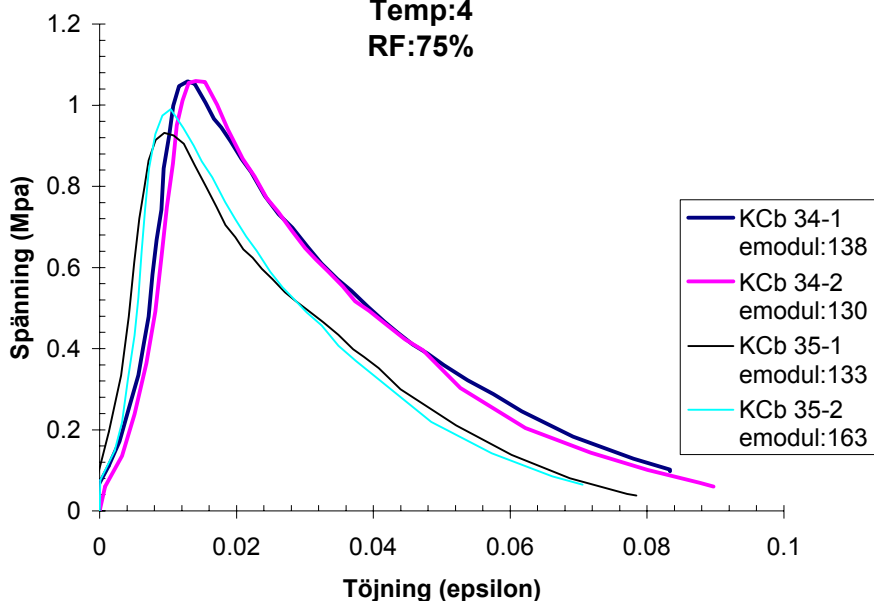
ej CO2

ej CO2

KC-bygg 28d

Temp:4

RF:75%



Temperatur:4°C

RF: akt%

28 dygn

Bruks-id

KC b 36

KC b 37

σ_{medel}

Std avv

95% Conf

Tryckhållfasthet (Mpa)

σ_{p1} (Mpa) σ_{p2} (Mpa) σ_{bd} (MPa)

1.153 1.101

0.953

1.243 0.927

1.017

1.106

0.985

0.115

10.4

0.032

3.2

0.113

1.22

0.99

0.044

1.03

0.94

Densitet (kg/m3)

ρ_{avf}

ρ_{7d}

ρ_{28d}

ρ_{56d}

1785

1730

1630

1797

1736

1641

Fenofalintest

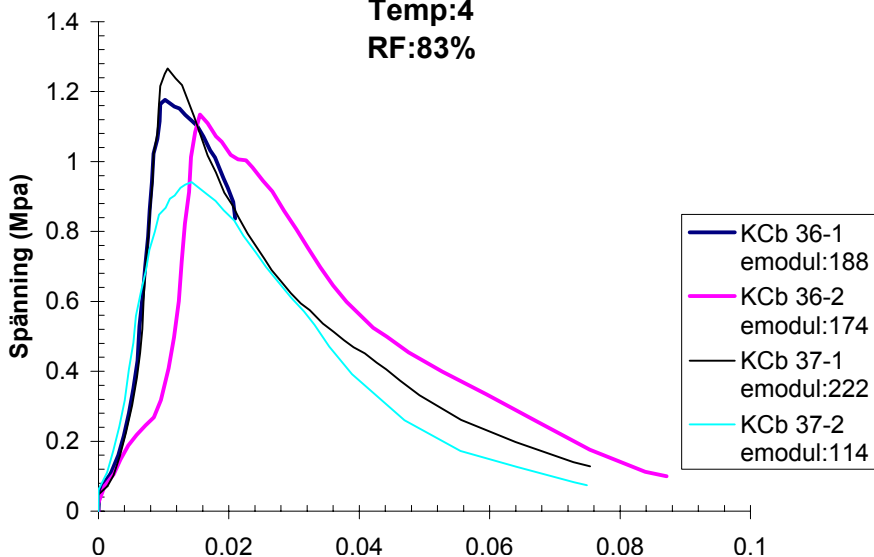
1.7

1.8

KC-bygg 28d

Temp:4

RF:83%



Temperatur:4°C

RF:100%, 75%, akt %

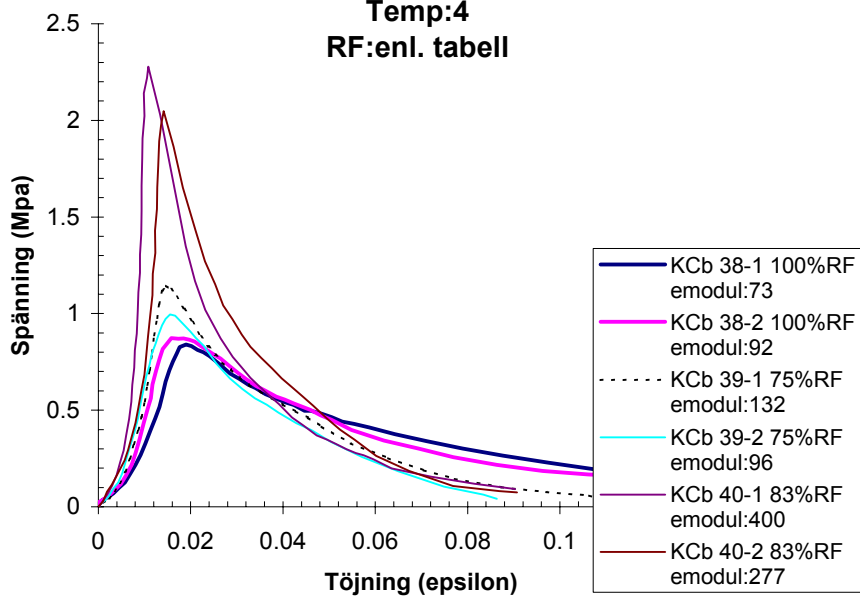
56 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
KC b 38 100%RF	0.822	0.854	0.499	1787			1780			ej CO2	
KC b 39 75%RF	1.122	0.979	0.641	1792	1685	1637	1623			ej CO2	
KC b 40 akt%RF	2.237	2.010	1.298	1798	1729	1650	1659			1.8	
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.84		0.50								
$\sigma_{medel75\%RF}$	1.05		0.64								
$\sigma_{medel akt\%RF}$	2.12		1.30								
Std avv 100%RF	0.016	1.9									
95% Conf 100%RF	0.022	0.86	0.82								
Std avv 75%RF	0.071	6.8									
95% Conf 75%RF	0.099	1.15	0.95								
Std avv akt%RF	0.114	5.3									
95% Conf akt%RF	0.157	2.28	1.97								

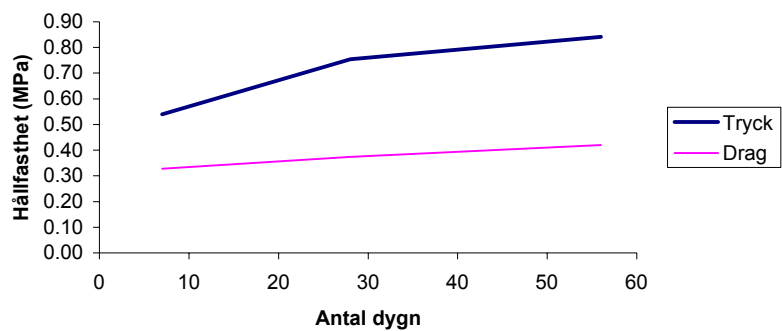
KC-bygg 56d

Temp:4

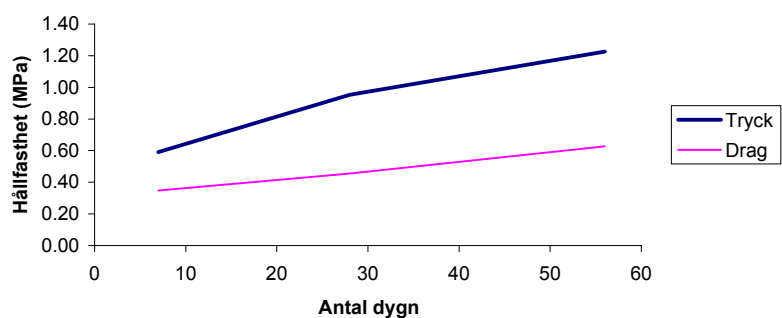
RF:enl. tabell



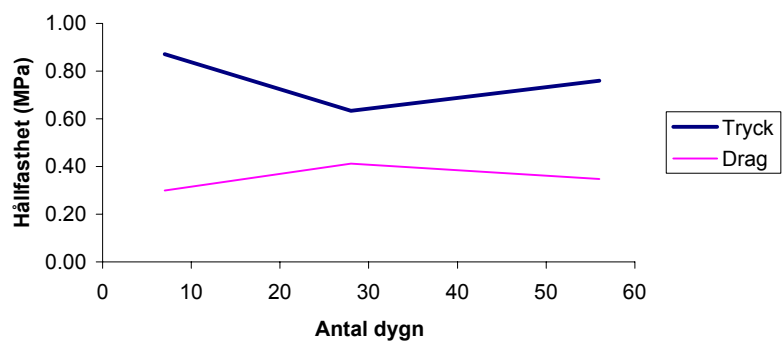
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling 50%RF



Lämnad (ej provad)

Anmärkning	Klimat			Bruks-id	Vikt					
	Gjutn datl T (°C)	RF (%)	CO ₂		Avformr	7dygn	28 dygr	56 dygn	84 dygn	Ålder (dygn)
	15-jan	20	50 ja	KC b 1	456.6	413.9	417.57(418.32	418.45	lämnas

Bruk: KC-Injektering

Temperatur:20°C

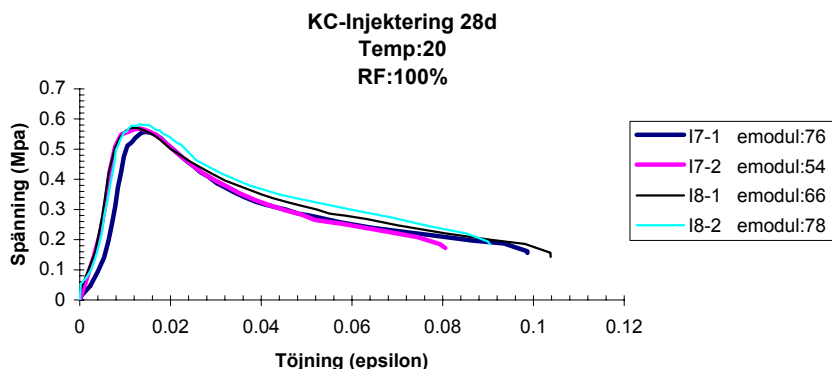
RF:100%, 75%, 50%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)	Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I1 100%RF	0.335	0.334	0.18	1753	1748			ej CO2
I2 100%RF	0.361	0.355	0.21	1748	1744			ej CO2
I3 75%RF	0.427	0.425	0.189	1738	1644			ej CO2
I4 75%RF	0.430	0.439	0.22	1745	1673			ej CO2
I5 50%RF	0.481	0.516	0.302	1728	1546			0.2
I6 50%RF	0.487	0.471	0.325	1760	1574			0.3
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.35		0.20					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.43		0.20					
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.49		0.31					
Std avv 100%RF	0.012	3.5	0.015	7.7				
95% Conf 100%RF	0.012	0.36	0.33	0.021	0.22	0.17		
Std avv 75%RF	0.005	1.2	0.015	7.6				
95% Conf 75%RF	0.005	0.44	0.43	0.021	0.23	0.18		
Std avv 50%RF	0.016	3.4	0.012	3.7				
95% Conf 50%RF	0.016	0.50	0.47	0.016	0.33	0.30		

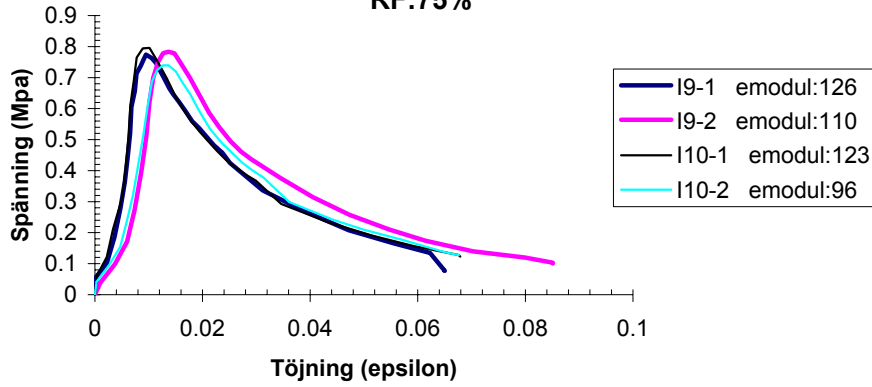
Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

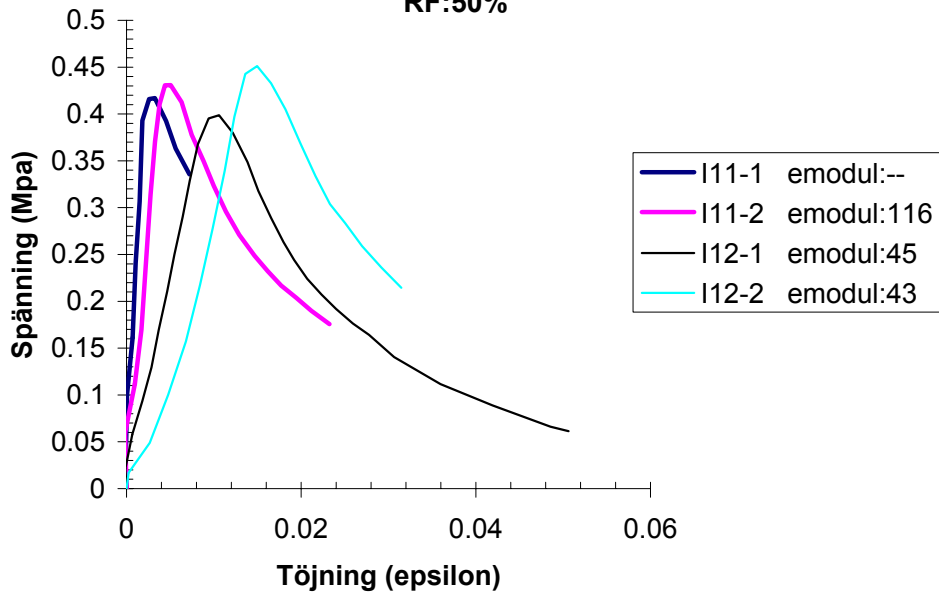
28dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)	Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I7 100%RF	0.557	0.560	0.303	1752		1743		ej CO2
I8 100%RF	0.574	0.567	0.291	1763		1754		ej CO2
I9 75%RF	0.761	0.767	0.308	1755	1688	1578		ej CO2
I10 75%RF	0.779	0.727	0.273	1749	1656	1571		ej CO2
I11 50%RF	0.409	0.426	0.272	1745	1560	1573		0-0.1
I12 50%RF	0.374	0.445	0.308	1746	1564	1576		0-0.1
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.56		0.30					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.76		0.29					
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.41		0.29					
Std avv 100%RF	0.007	1.2	0.006	2.0				
95% Conf 100%RF	0.007	0.57	0.56	0.008	0.31	0.29		
Std avv 75%RF	0.019	2.6	0.018	6.0				
95% Conf 75%RF	0.019	0.78	0.74	0.024	0.31	0.27		
Std avv 50%RF	0.026	6.3	0.018	6.2				
95% Conf 50%RF	0.026	0.44	0.39	0.025	0.31	0.27		



KC-Injektering 28d
Temp:20
RF:75%



KC-Injektering 28d
Temp:20
RF:50%



Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

56 dygn

Bruks-id

Tryckhållfasthet (Mpa)

Böj-drag (Mpa)

Densitet (kg/m3)

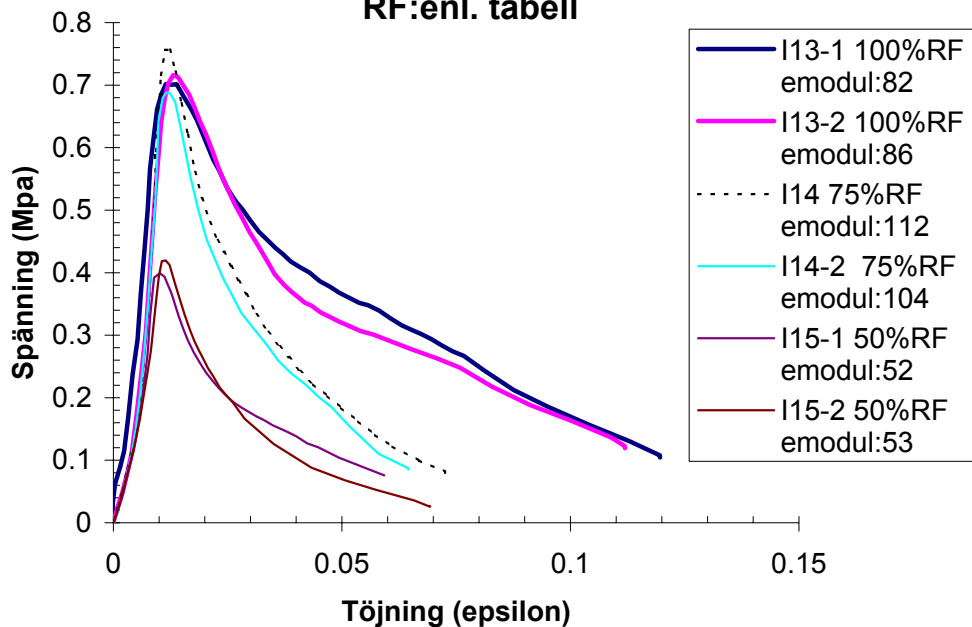
Fenofalintest

	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I13 100%RF	0.691	0.703	0.34	1738			1712	ej CO2
I14 75%RF	0.740	0.673	0.301	1749	1653	1568	1559	ej CO2
I15 50%RF	0.393	0.413	0.322	1742	1559	1571	1574	0
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.70		0.34					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.71		0.30					
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.40		0.32					
Std avv 100%RF	0.006	0.9						
95% Conf 100%RF	0.009	0.71	0.69					
Std avv 75%RF	0.034	4.8						
95% Conf 75%RF	0.047	0.75	0.66					
Std avv akt%RF	0.010	2.5						
95% Conf akt%RF	0.014	0.42	0.39					

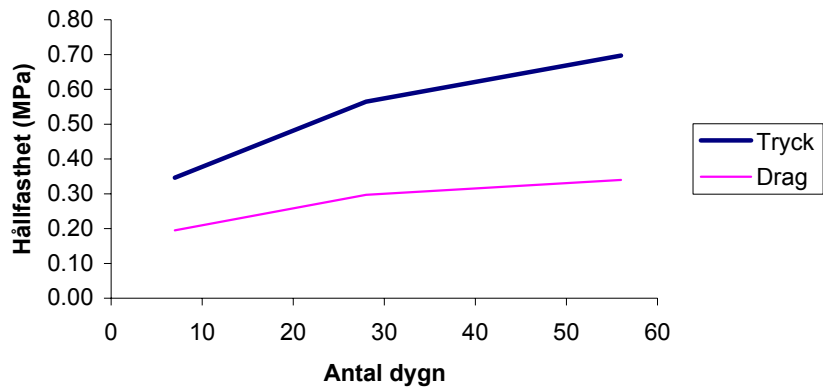
KC-injektering 56d

Temp:20

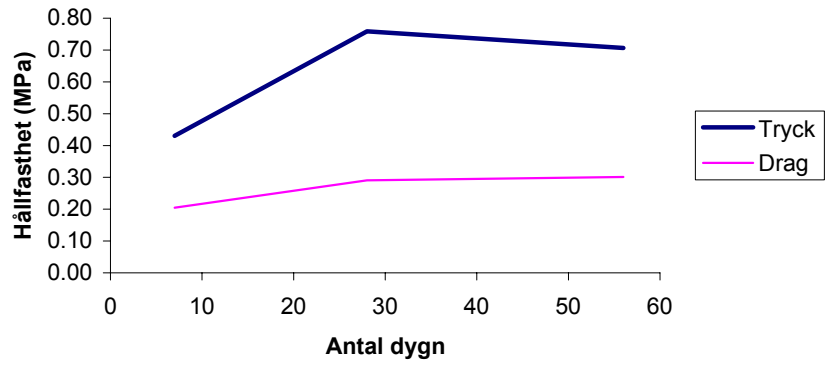
RF:enl. tabell



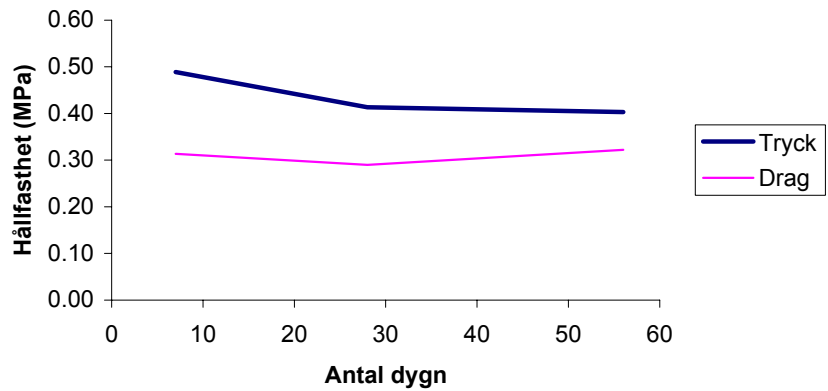
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling 50%RF



Bruk: KC-Injektering

Temperatur:10°C

RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I16 100%RF	0.358	0.335	0.217	1750	1739			ej CO2
I17 75%RF	0.360	0.353	0.221	1754	1742			ej CO2
I18 akt%RF	0.516	0.544	0.242	1732	1572			0.1
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.35		0.22					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.36		0.22					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.53		0.24					
Std avv 100%RF	0.011	3.3						
95% Conf 100%RF	0.016	0.36	0.33					
Std avv 75%RF	0.004	1.0						
95% Conf 75%RF	0.005	0.36	0.35					
Std avv akt%RF	0.014	2.7						
95% Conf akt%RF	0.020	0.55	0.51					

Temperatur:10°C

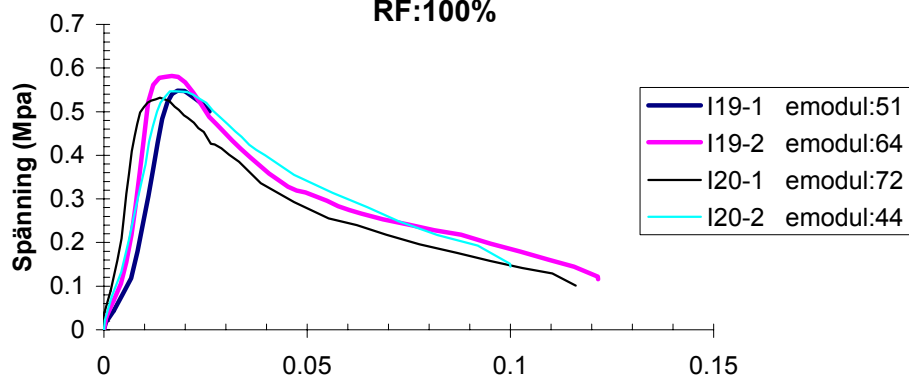
RF: 100%, 75%, akt%

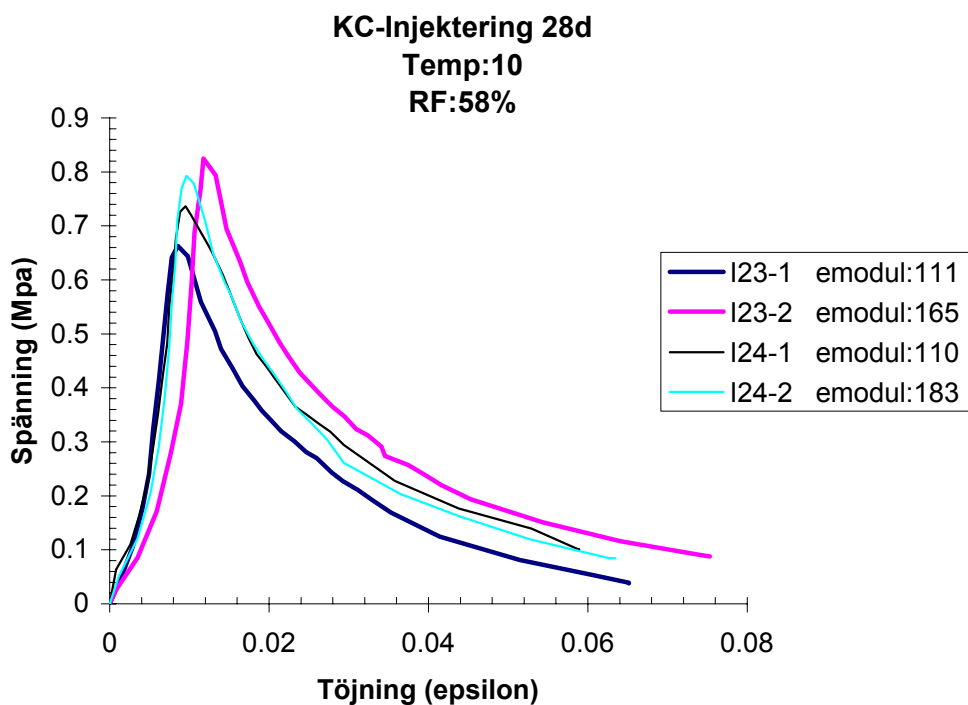
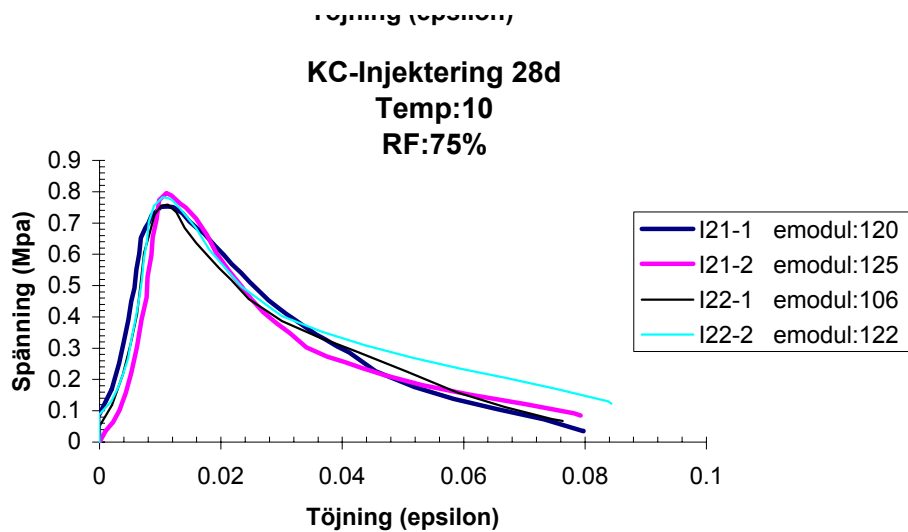
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I19 100%RF	0.584	0.573	0.268	1825		1803		ej CO2
I20 100%RF	0.518	0.535	0.261	1737		1725		ej CO2
I21 75%RF	0.752	0.783	0.338	1752	1692	1581		ej CO2
I22 75%RF	0.743	0.769	0.28	1753	1595	1585		ej CO2
I23 akt%RF	0.650	0.810	0.316	1726	1561	1536		0-0.1
I24 akt%RF	0.724	0.777	0.37	1737	1579	1547		0-0.2
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.552		0.265					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.762		0.309					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.740		0.343					
Std avv 100%RF	0.027	4.9	0.004	1.3				
95% Conf 100%RF	0.026	0.58	0.53	0.005	0.27	0.26		
Std avv 75%RF	0.016	2.1	0.029	9.4				
95% Conf 75%RF	0.015	0.78	0.75	0.040	0.35	0.27		
Std avv akt%RF	0.061	8.2	0.027	7.9				
95% Conf akt%RF	0.059	0.80	0.68	0.037	0.38	0.31		

KC-Injektering 28d

Temp:10

RF:100%



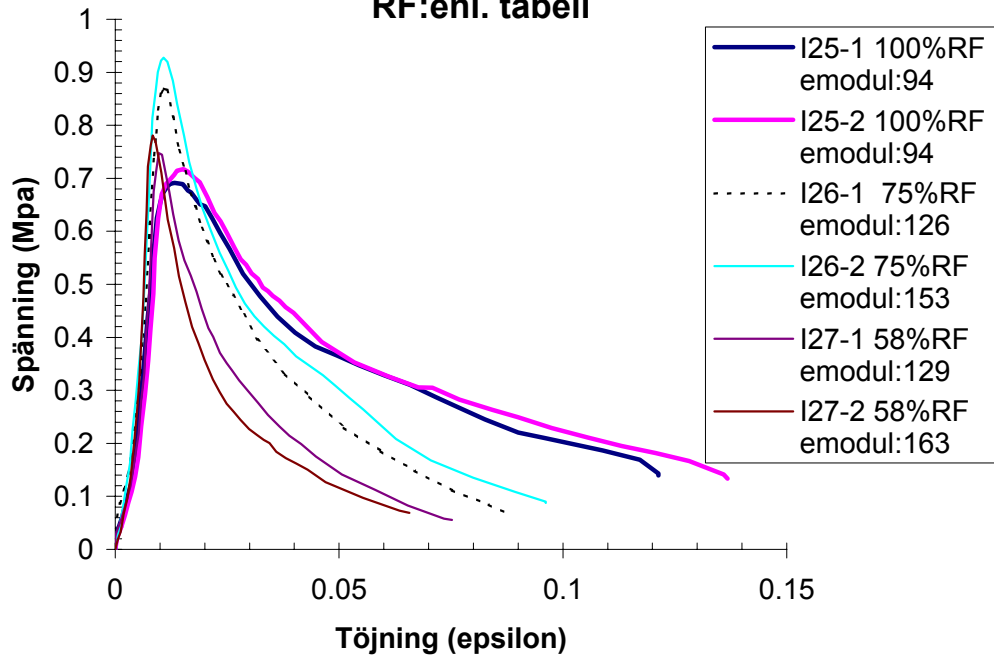


Temperatur:10°C

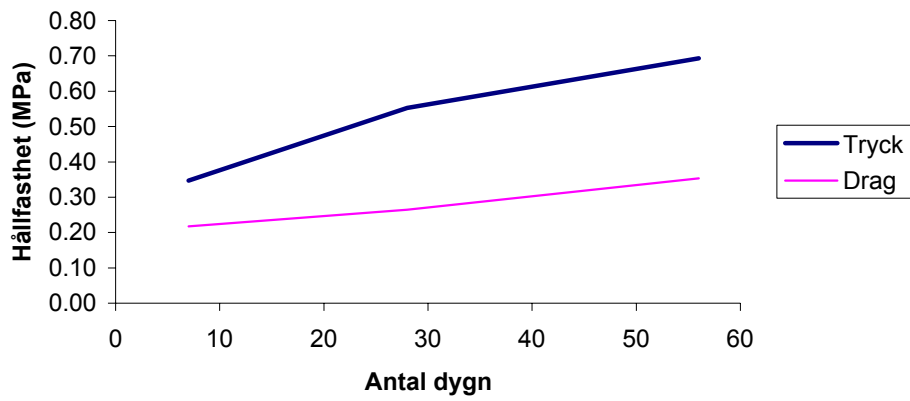
RF:100%, 75%, akt%

56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Bøj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (Mpa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
G25 100%RF	0.681	0.706	0.353	1755			1716	ej CO2
G26 75%RF	0.856	0.909	0.428	1765	1724	1585	1576	ej CO2
G27 akt%RF	0.734	0.767	0.407	1746	1590	1555	1566	0
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.69		0.35					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.88		0.43					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.75		0.41					
Std avv 100%RF	0.012	1.8						
95% Conf 100%RF	0.017	0.71	0.68					
Std avv 75%RF	0.027	3.0						
95% Conf 75%RF	0.037	0.92	0.85					
Std avv akt%RF	0.017	2.2						
95% Conf akt%RF	0.023	0.77	0.73					

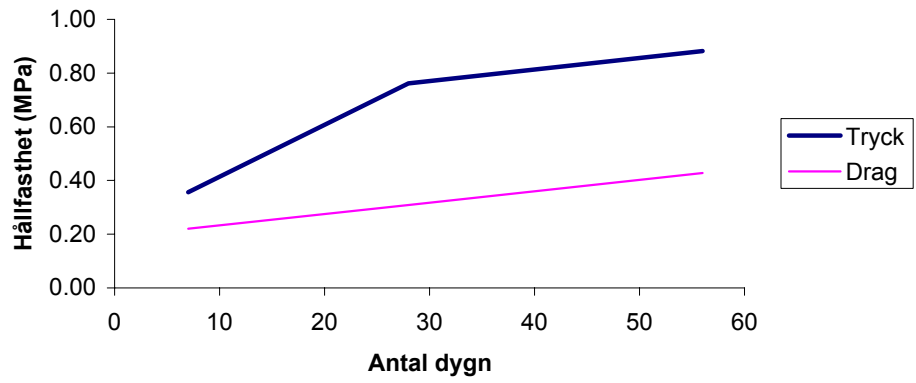
KC-injektering 56d
Temp:10
RF:enl. tabell



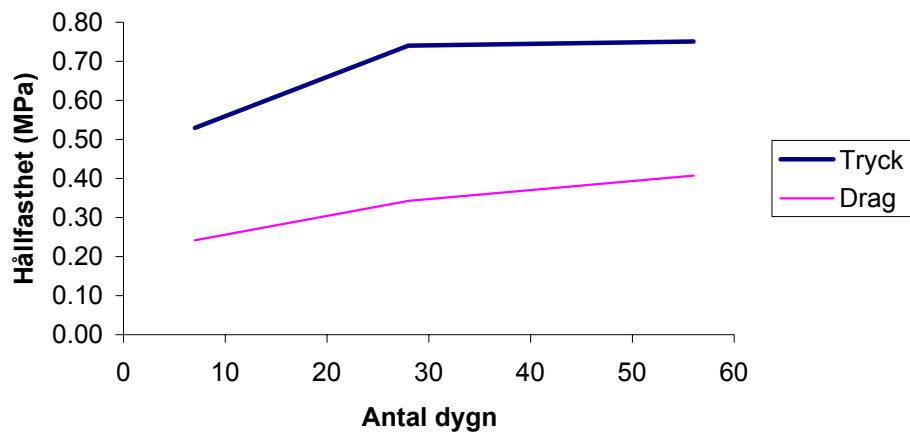
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling akt%RF



Bruk: KC-Injektering

Temperatur:4°C

RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I28 100%RF	0.242	0.252	0.162	1765	1762			ej CO2
I29 75%RF	0.302	0.318	0.218	1790	1760			ej CO2
I30 akt%RF	0.342	0.344	0.24	1766	1697			<0.1
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.25		0.16					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.31		0.22					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.34		0.24					
Std avv 100%RF	0.005	2.1	0.000	0.0				
95% Conf 100%RF	0.007	0.25	0.24					
Std avv 75%RF	0.008	2.5						
95% Conf 75%RF	0.011	0.32	0.30					
Std avv akt%RF	0.001	0.3						
95% Conf akt%RF	0.001	0.34	0.34					

Temperatur:4°C

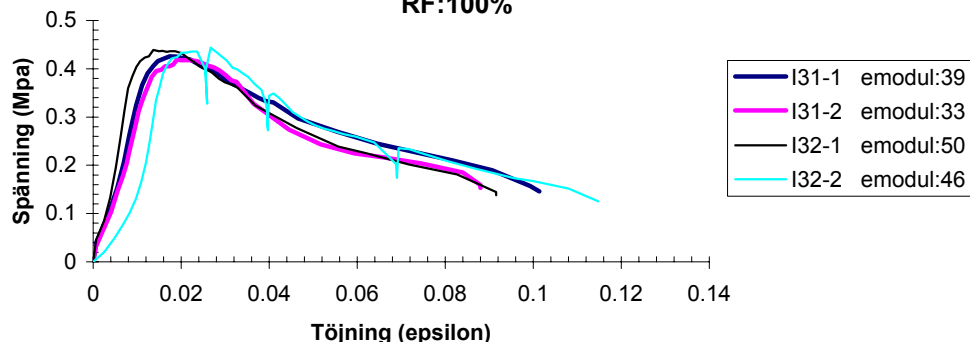
RF: 100%, 75%, akt%

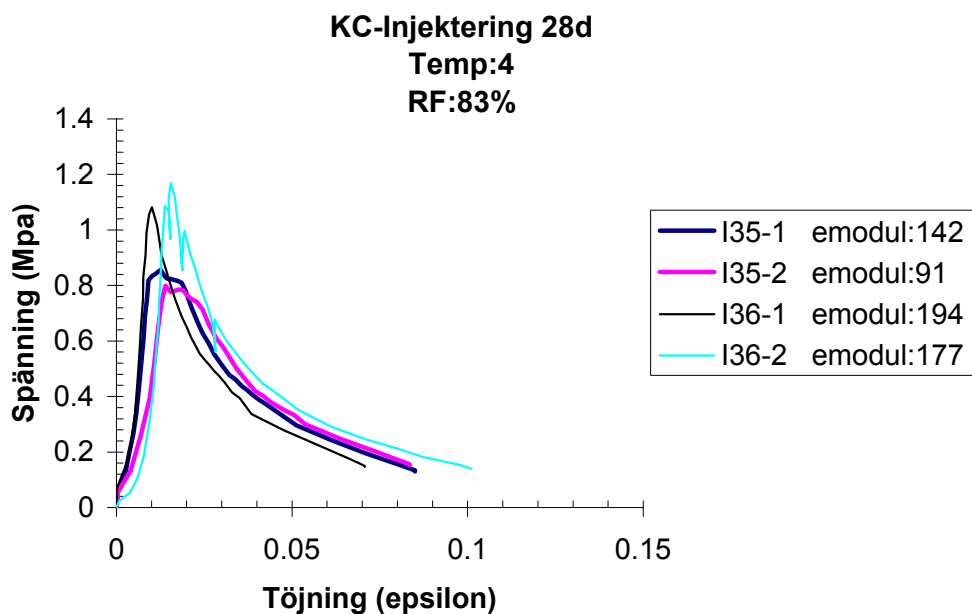
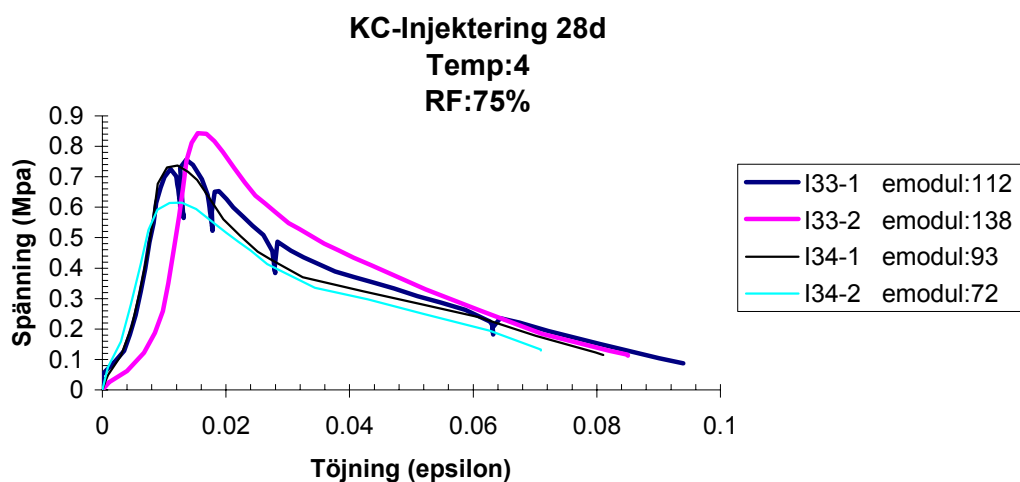
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
I31 100%RF	0.415	0.411	0.249	1748		1744		ej CO2
I32 100%RF	0.426	0.430	0.268	1774		1769		ej CO2
I33 75%RF	0.727	0.827	0.32	1771	1733	1606		ej CO2
I34 75%RF	0.723	0.601	0.305	1775	1751	1626		ej CO2
I35 akt%RF	0.839	0.771	0.687	1764	1682	1594		1.2
I36 akt%RF	1.064	1.150	0.718	1774	1702	1602		1.2
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.421		0.259					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.719		0.313					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.956		0.703					
Std avv 100%RF	0.007	1.8	0.010	3.7				
95% Conf 100%RF	0.007	0.43	0.41	0.013	0.27	0.25		
Std avv 75%RF	0.080	11.1	0.008	2.4				
95% Conf 75%RF	0.078	0.80	0.64	0.010	0.32	0.30		
Std avv akt%RF	0.156	16.3	0.015	2.2				
95% Conf akt%RF	0.153	1.11	0.80	0.021	0.72	0.68		

KC-Injektering 28d

Temp:4

RF:100%



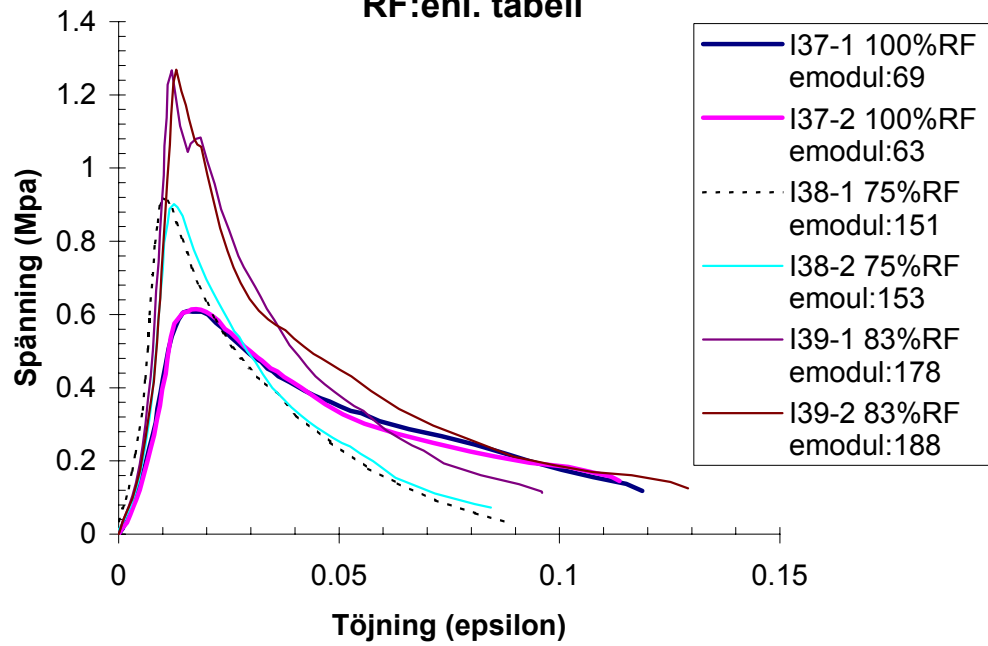


Temperatur:4°C

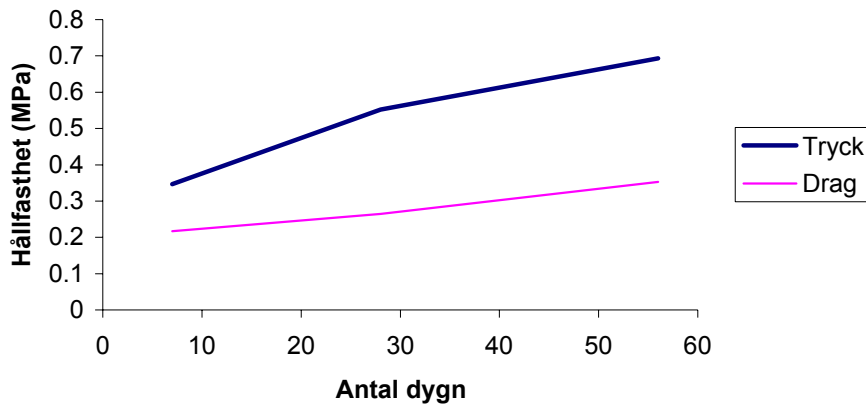
RF:100%, 75%, akt %

56 dygn Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenoftalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
I37 100%RF	0.600	0.603	0.374	1790			1784
I38 75%RF	0.901	0.884	0.465	1781	1742	1615	1590
I39 akt%RF	1.243	1.243	0.885	1786	1728	1615	1627
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.60		0.37				
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.89		0.47				
$\sigma_{medel akt\%RF}$	1.24		0.89				
Std avv 100%RF	0.002	0.3					
95% Conf 100%RF	0.002	0.60	0.60				
Std avv 75%RF	0.009	1.0					
95% Conf 75%RF	0.012	0.90	0.88				
Std avv akt%RF	0.000	0.0					
95% Conf akt%RF	0.000	1.24	1.24				

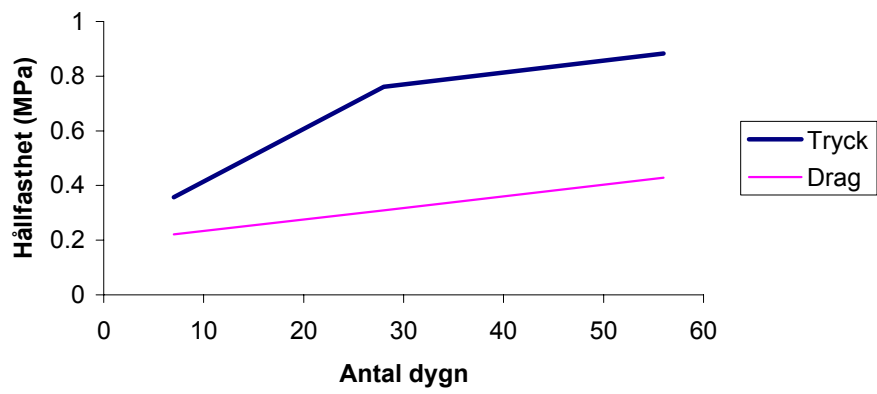
KC-injektering 56d
Temp:4
RF:enl. tabell



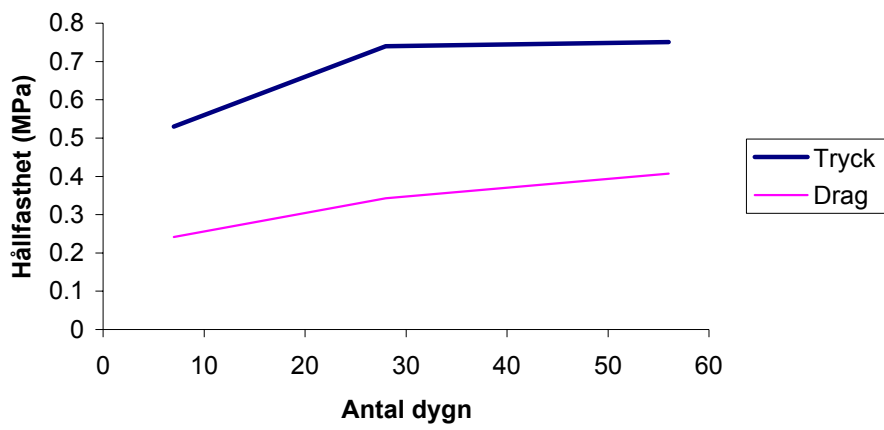
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling 50%RF



Bruk: KC-Injektering

Temperatur:20°C

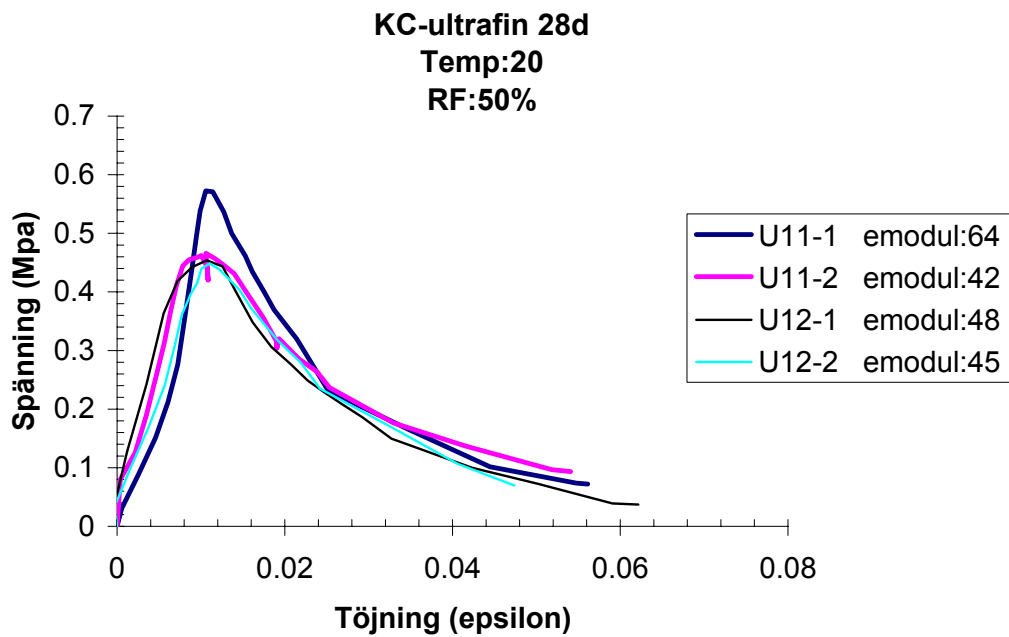
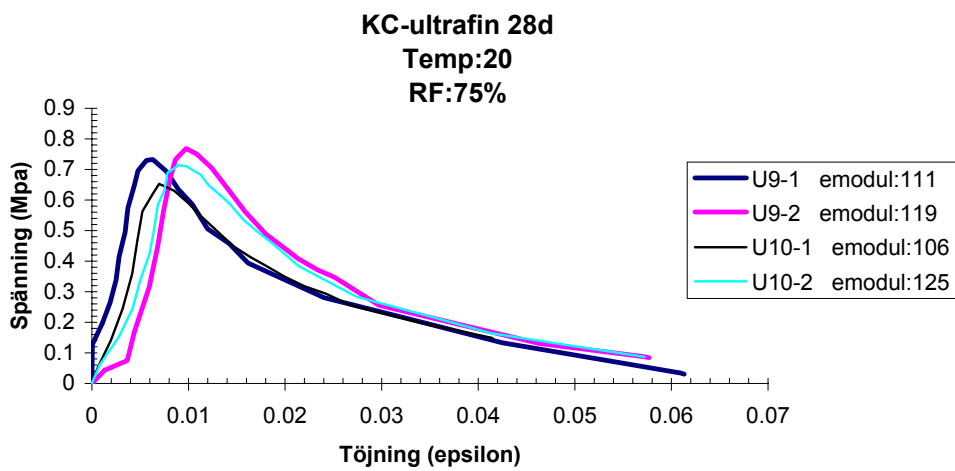
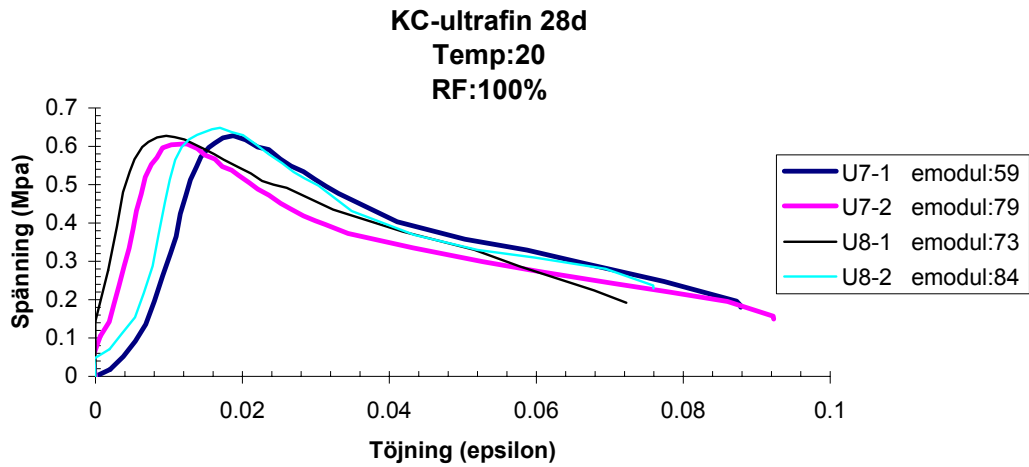
RF:100%, 75%, 50%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Bøj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
Bruks-id							
Ult1 100%RF	0.373	0.420	0.199	1766	1762		ej CO2
Ult2 100%RF	0.390	0.386	0.198	1764	1760		ej CO2
Ult3 75%RF	0.441	0.464	0.182	1756	1609		ej CO2
Ult4 75%RF	0.428	0.417	0.2	1781	1692		ej CO2
Ult5 50%RF	0.491	0.533	0.328	1771	1575		0.2
Ult6 50%RF	0.562	0.483	0.338	1783	1589		0.1
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.39		0.20				
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.44		0.19				
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.52		0.33				
Std avv 100%RF	0.017	4.4	0.001	0.3			
95% Conf 100%RF	0.017	0.41	0.38	0.001	0.20	0.20	
Std avv 75%RF	0.017	4.0	0.009	4.7			
95% Conf 75%RF	0.017	0.45	0.42	0.012	0.20	0.18	
Std avv 50%RF	0.032	6.2	0.005	1.5			
95% Conf 50%RF	0.031	0.55	0.49	0.007	0.34	0.33	

Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

28dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Bøj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)			Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}
Bruks-id							
Ult7 100%RF	0.618	0.597	0.318	1784		1774	ej CO2
Ult8 100%RF	0.615	0.638	0.285	1784		1774	ej CO2
Ult9 75%RF	0.721	0.752	0.308	1800	1652	1607	ej CO2
Ult10 75%RF	0.643	0.700	0.265	1767	1597	1567	ej CO2
Ult11 50%RF	0.562	0.452	0.298	1758	1564	1577	<0.1
Ult12 50%RF	0.442	0.442	0.305	1756	1564	1576	<0.1
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.62		0.30				
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.70		0.29				
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.47		0.30				
Std avv 100%RF	0.015	2.4	0.017	5.5			
95% Conf 100%RF	0.014	0.63	0.60	0.023	0.32	0.28	
Std avv 75%RF	0.040	5.6	0.022	7.5			
95% Conf 75%RF	0.039	0.74	0.66	0.030	0.32	0.26	
Std avv 50%RF	0.051	10.7	0.004	1.2			
95% Conf 50%RF	0.050	0.52	0.42	0.005	0.31	0.30	



Temperatur:20°C

RF:100%, 75%, 50%

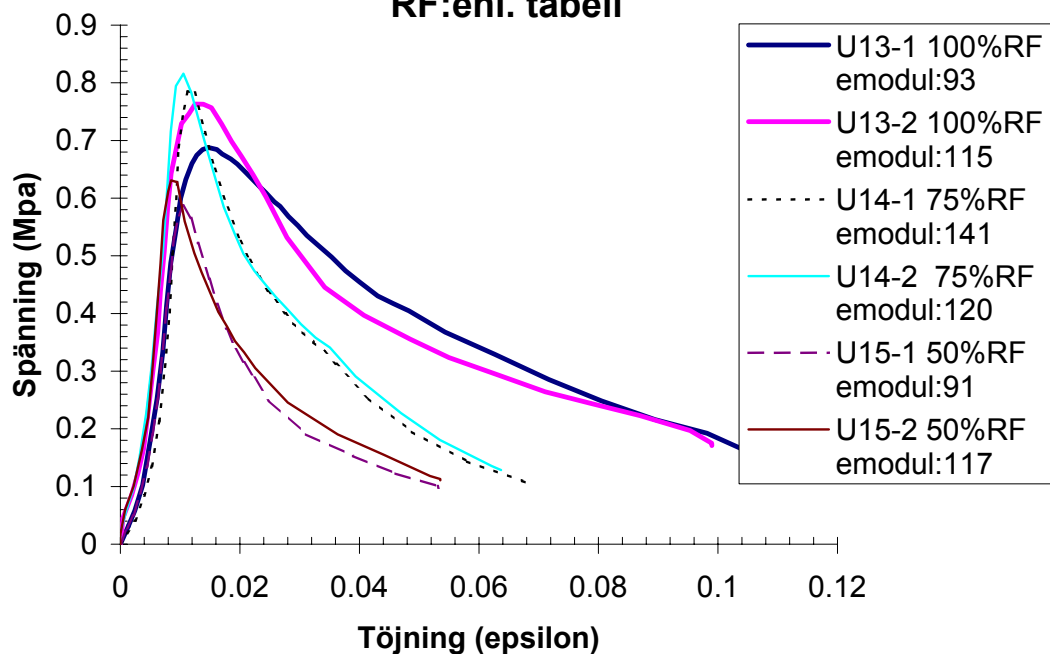
56 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenofalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
U1t13 100%RF	0.677	0.749	0.359	1776			1749	ej CO2
U1t14 75%RF	0.771	0.802	0.297	1778	1613	1589	1584	ej CO2
U1t15 50%RF	0.574	0.620	0.385	1766	1576	1589	1593	0.1
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.71		0.36					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.79		0.30					
$\sigma_{medel50\%RF}$	0.60		0.39					
Std avv 100%RF	0.036	5.0						
95% Conf 100%RF	0.049	0.76	0.66					
Std avv 75%RF	0.016	2.0						
95% Conf 75%RF	0.022	0.81	0.76					
Std avv 50%RF	0.023	3.9						
95% Conf 50%RF	0.032	0.63	0.56					

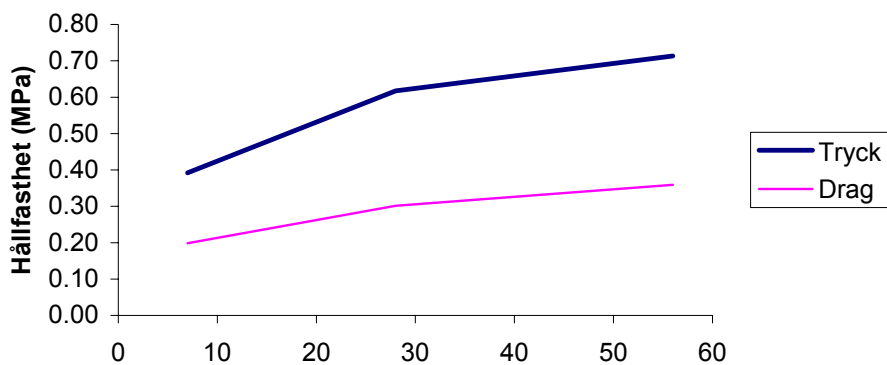
KC-ultrafin 56d

Temp:20

RF:enl. tabell



Hållfasthetsutveckling 100%RF



Bruk: KC-Injektering

Temperatur:10°C

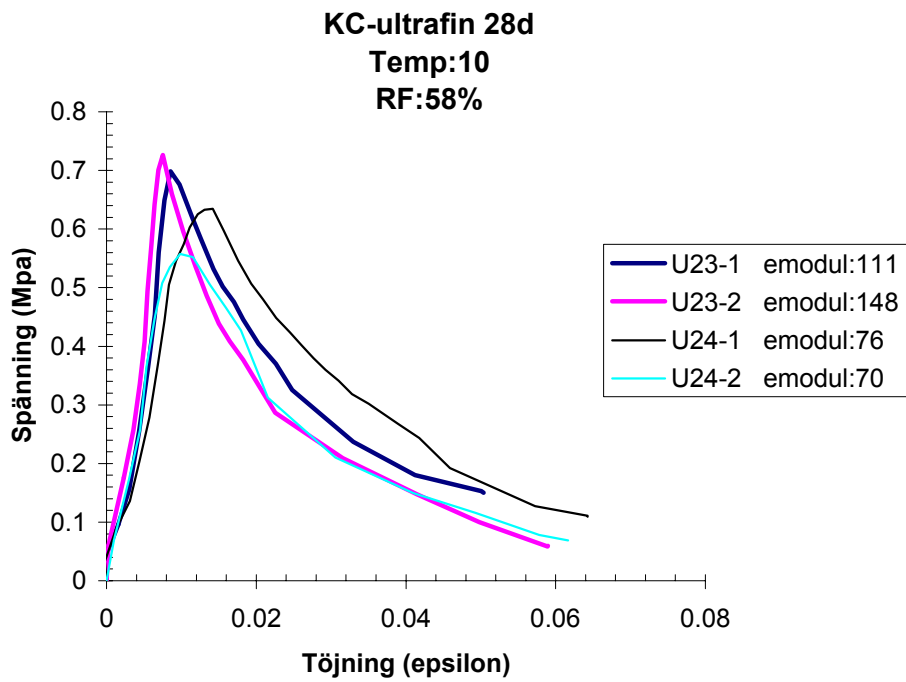
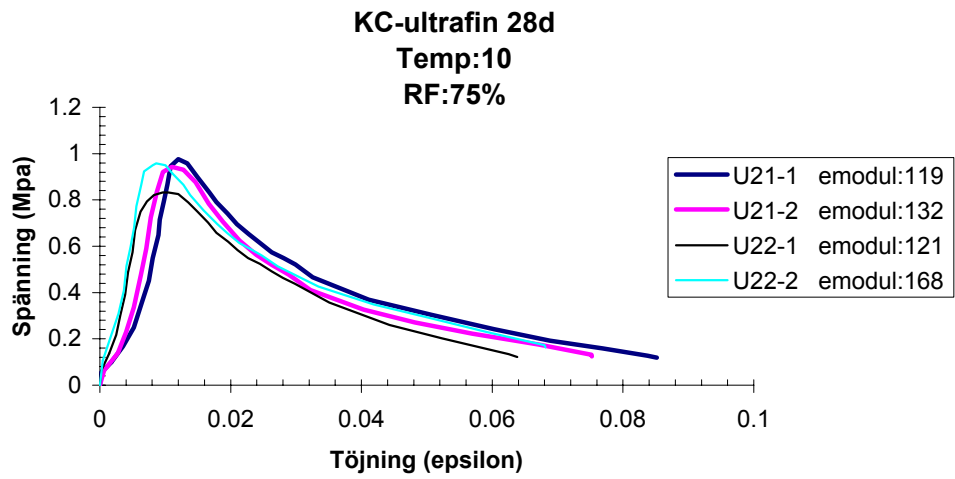
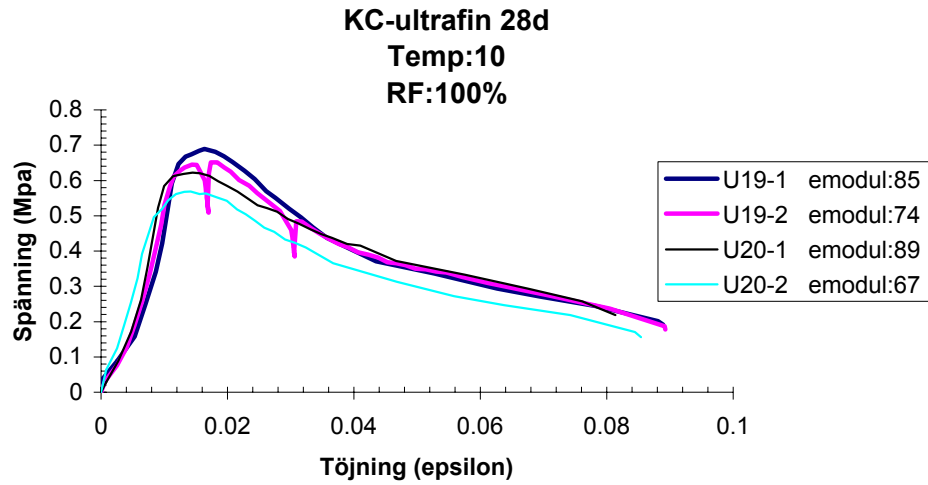
RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
Ult16 100%RF	0.396	0.399	0.23	1770	1760			ej CO2			
Ult17 75%RF	0.411	0.399	0.24	1766	1762			ej CO2			
Ult18 akt%RF	0.709	0.716	0.31	1771	1588			<0.1			
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.40		0.23								
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.41		0.24								
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.71		0.31								
Std avv 100%RF	0.002	0.4									
95% Conf 100%RF	0.002	0.40	0.40								
Std avv 75%RF	0.006	1.5									
95% Conf 75%RF	0.008	0.41	0.40								
Std avv akt%RF	0.003	0.5									
95% Conf akt%RF	0.005	0.72	0.71								

Temperatur:10°C

RF: 100%, 75%, akt%

28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
Ult19 100%RF	0.680	0.631	0.3	1774		1775		ej CO2			
Ult20 100%RF	0.611	0.555	0.355	1805		1778		ej CO2			
Ult21 75%RF	0.982	0.926	0.42	1796	1663	1611		ej CO2			
Ult22 75%RF	0.816	0.940	0.416	1791	1791	1613		ej CO2			
Ult23 akt%RF	0.684	0.715	0.428	1763	1564	1564		0			
Ult24 akt%RF	0.622	0.549	0.38	1781	1593	1590		0			
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.619		0.328								
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.916		0.418								
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.642		0.404								
Std avv 100%RF	0.045	7.2	0.027	8.4							
95% Conf 100%RF	0.044	0.66	0.58	0.038	0.37	0.29					
Std avv 75%RF	0.061	6.7	0.002	0.5							
95% Conf 75%RF	0.060	0.98	0.86	0.003	0.42	0.42					
Std avv akt%RF	0.063	9.9	0.024	5.9							
95% Conf akt%RF	0.062	0.70	0.58	0.033	0.44	0.37					



Temperatur:10°C

RF:100%, 75%, akt%

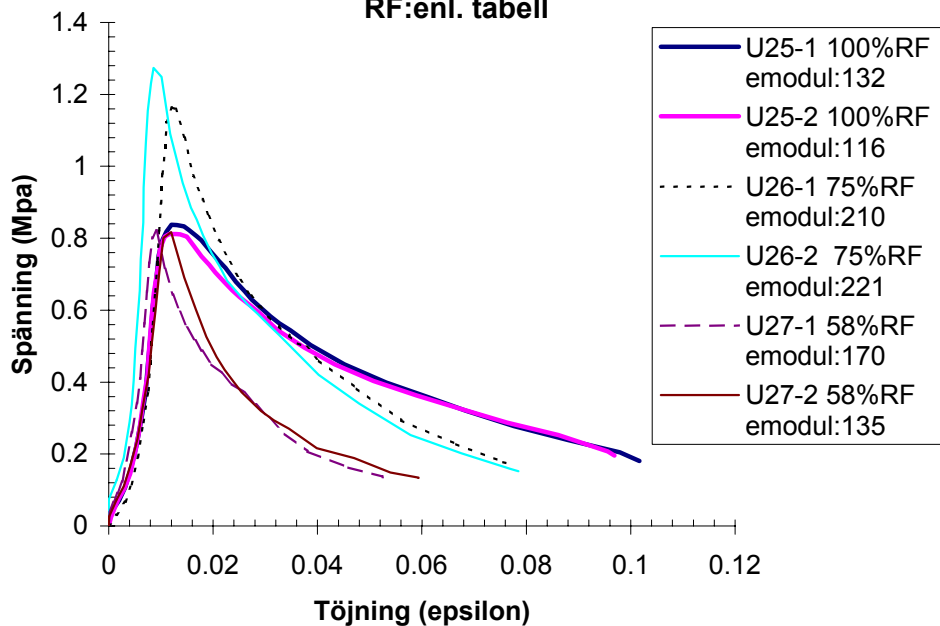
56 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)			Böj-drag (Mpa)			Densitet (kg/m3)				Fenofthalintest
	σ_{p1} (Mpa)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}				
Ult25 100%RF	0.820	0.796	0.38	1777			1748			ej CO2	
Ult26 75%RF	1.140	1.252	0.433	1788	1784	1633	1600			ej CO2	
Ult27 akt%RF	0.806	0.804	0.415	1775	1587	1579	1588			0	
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.81		0.38								
$\sigma_{medel75\%RF}$	1.20		0.43								
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.80		0.42								
Std avv 100%RF	0.012	1.5									
95% Conf 100%RF	0.017	0.83	0.79								
Std avv 75%RF	0.056	4.7									
95% Conf 75%RF	0.078	1.27	1.12								
Std avv akt%RF	0.001	0.1									
95% Conf akt%RF	0.001	0.81	0.80								

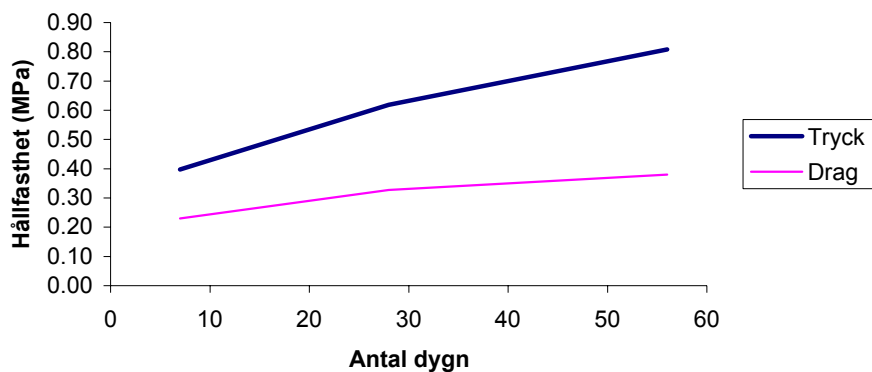
KC-ultrafin 56d

Temp:10

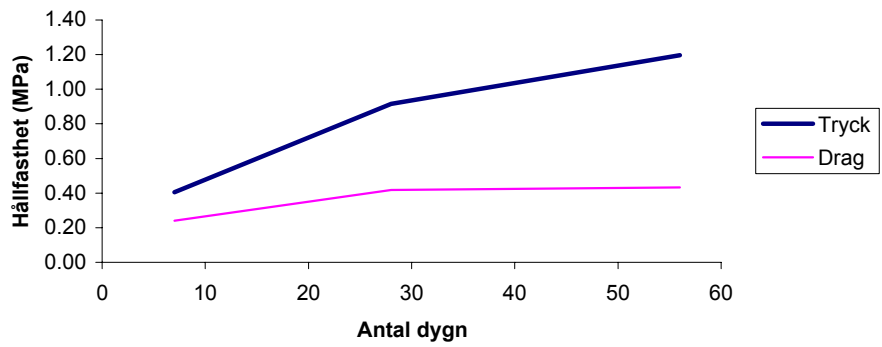
RF:enl. tabell



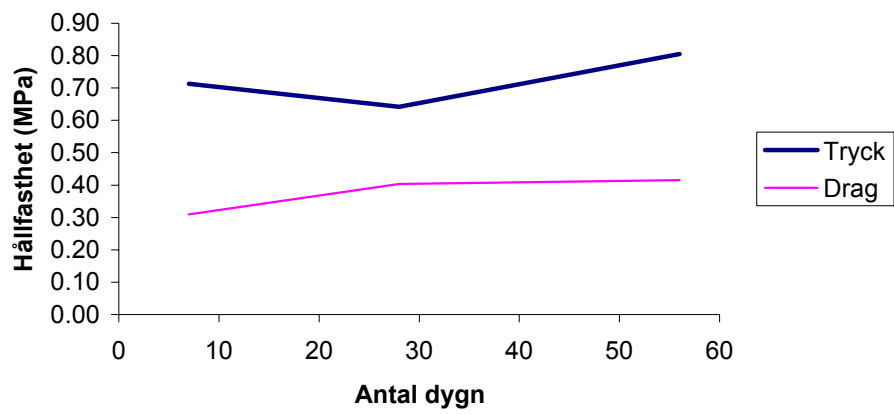
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF



Hållfasthetsutveckling akt%RF



Bruk: KC-ultrafin

Temperatur:4°C

RF:100%, 75%, akt%

7dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (M)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
Ult28 100%RF	0.294	0.313	0.195	1809	1802			ej CO2
Ult29 75%RF	0.447	0.453	0.228	1792	1674			ej CO2
Ult30 akt%RF	0.383	0.395	0.281	1794	1748			0
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.30		0.20					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.45		0.23					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	0.39		0.28					
Std avv 100%RF	0.010	3.2						
95% Conf 100%RF	0.013	0.32	0.29					
Std avv 75%RF	0.003	0.6						
95% Conf 75%RF	0.004	0.45	0.45					
Std avv akt%RF	0.006	1.5						
95% Conf akt%RF	0.008	0.40	0.38					

Temperatur:4°C

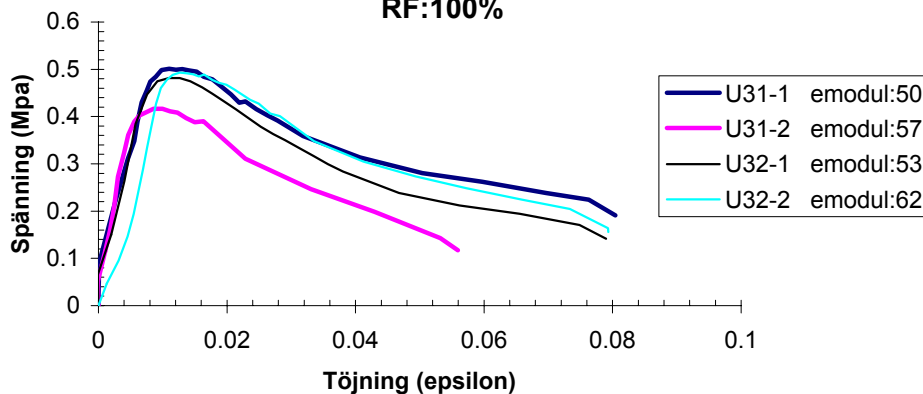
RF: 100%, 75%, akt%

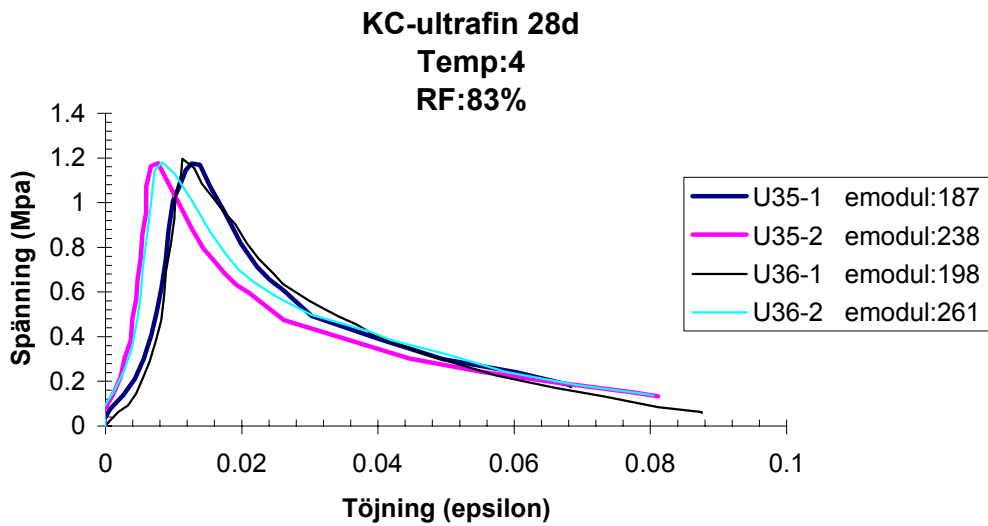
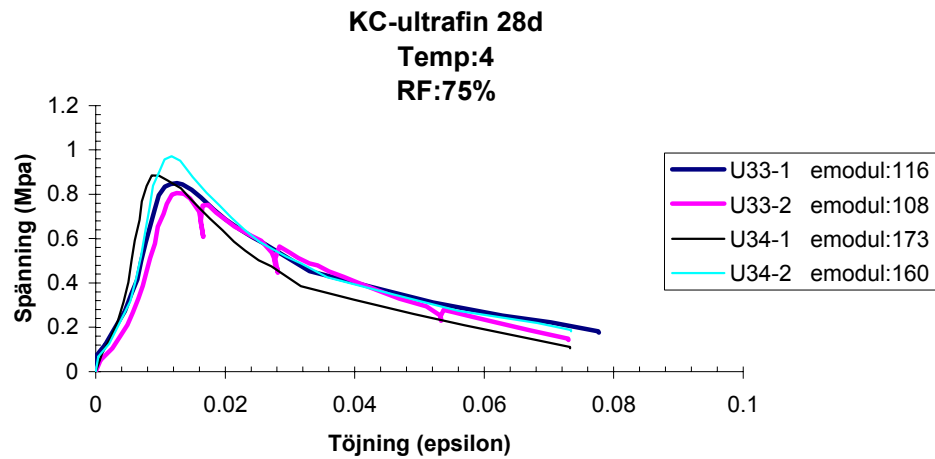
28 dygn	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m3)				Fenoftalintest
Bruks-id	σ_{p1} (M)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
Ult31 100%RF	0.489	0.408	0.301	1801		1797		ej CO2
Ult32 100%RF	0.470	0.486	0.309	1810		1808		ej CO2
Ult33 75%RF	0.831	0.792	0.365	1800	1697	1613		ej CO2
Ult34 75%RF	0.866	0.954	0.442	1803	1721	1617		ej CO2
Ult35 akt%RF	1.157	1.157	0.723	1796	1726	1613		2 sid1mm,2sid 3.1mm
Ult36 akt%RF	1.173	1.157	0.74	1783	1731	1606		2sid 0mm 2sid 2.6mm
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.463		0.305					
$\sigma_{medel75\%RF}$	0.861		0.404					
$\sigma_{medel akt\%RF}$	1.161		0.732					
Std avv 100%RF	0.033	7.0	0.004	1.3				
95% Conf 100%RF	0.032	0.50	0.43	0.006	0.31	0.30		
Std avv 75%RF	0.060	6.9	0.039	9.5				
95% Conf 75%RF	0.059	0.92	0.80	0.053	0.46	0.35		
Std avv akt%RF	0.007	0.6	0.008	1.2				
95% Conf akt%RF	0.007	1.17	1.15	0.012	0.74	0.72		

KC-ultrafin 28d

Temp:4

RF:100%





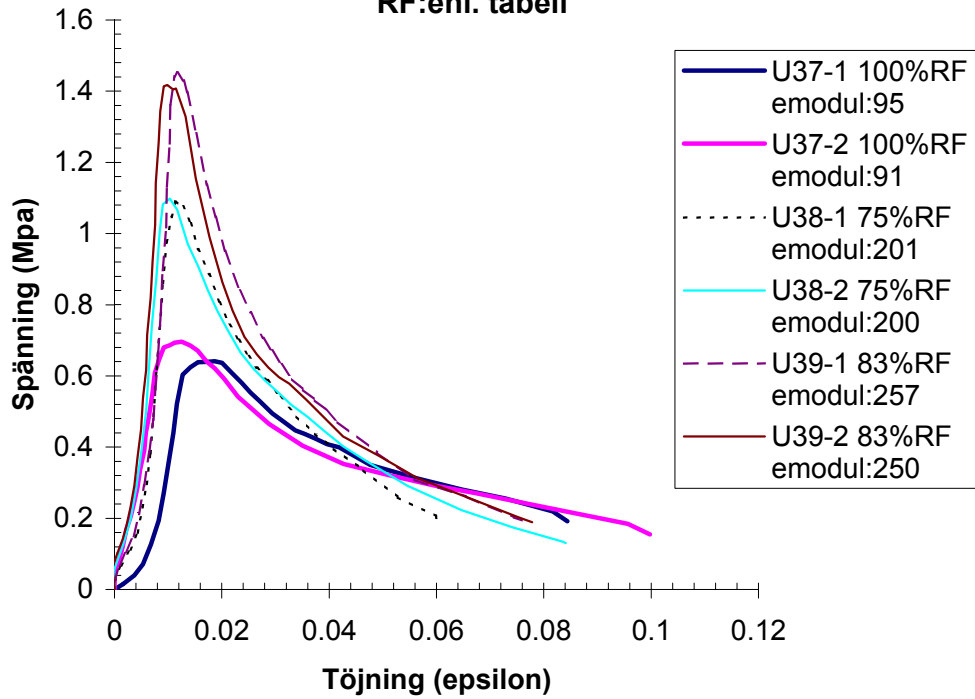
Temperatur:4°C

RF:100%, 75%, akt %

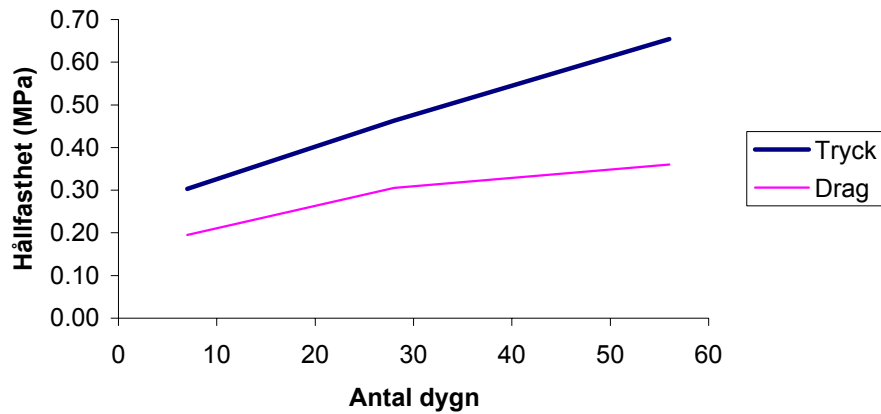
56 dygn

Bruks-id	Tryckhållfasthet (Mpa)		Böj-drag (Mpa)	Densitet (kg/m ³)				Fenoftalintest
	σ_{p1} (M)	σ_{p2} (Mpa)	σ_{bd} (MPa)	ρ_{avf}	ρ_{7d}	ρ_{28d}	ρ_{56d}	
Ult37 100%RF	0.628	0.681	0.36	1798			1791	ej CO2
Ult38 75%RF	1.070	1.076	0.52	1795	1723	1612	1603	ej CO2
Ult39 akt%RF	1.425	1.394	0.654	1793	1752	1614	1629	4.5 2sid,
$\sigma_{medel100\%RF}$	0.65		0.36					2.5 2sid,
$\sigma_{medel75\%RF}$	1.07		0.52					1 1sid
$\sigma_{medel akt\%RF}$	1.41		0.65					
Std avv 100%RF	0.027	4.1						
95% Conf 100%RF	0.037	0.69	0.62					
Std avv 75%RF	0.003	0.3						
95% Conf 75%RF	0.004	1.08	1.07					
Std avv akt%RF	0.015	1.1						
95% Conf akt%RF	0.021	1.43	1.39					

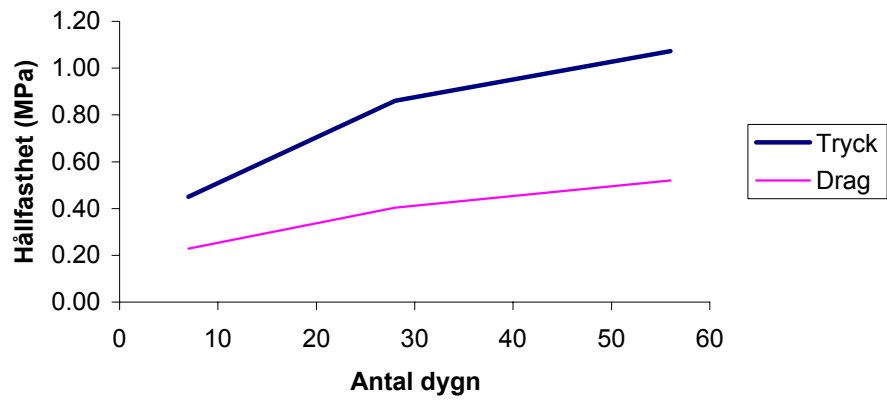
KC-ultrafin 56d
Temp:4
RF:enl. tabell



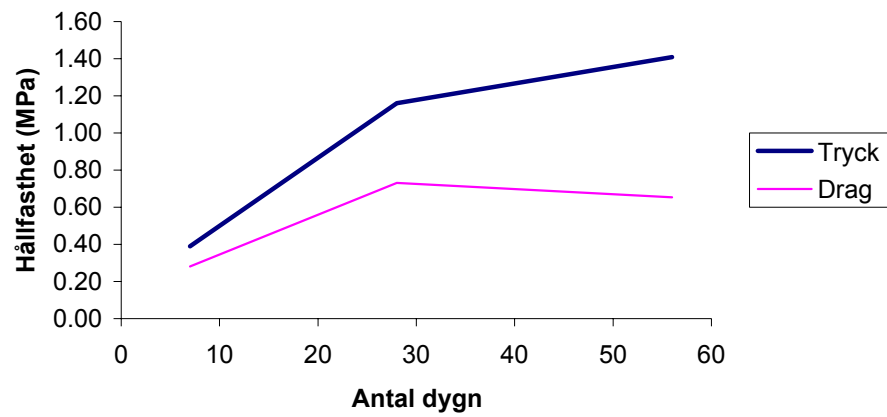
Hållfasthetsutveckling 100%RF



Hållfasthetsutveckling 75%RF

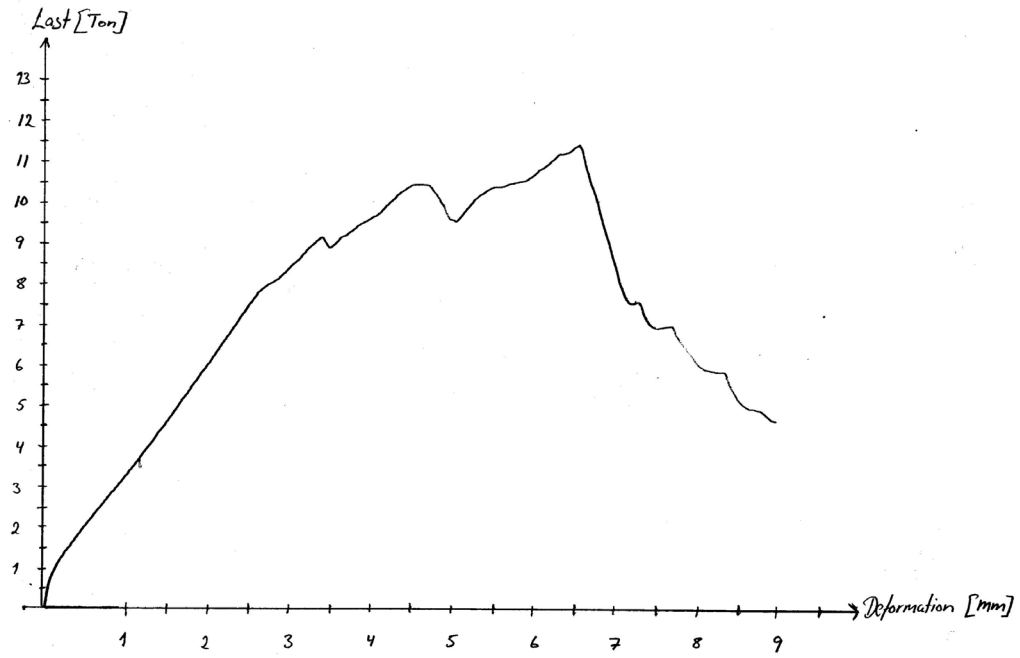


Hållfasthetsutveckling 50%RF

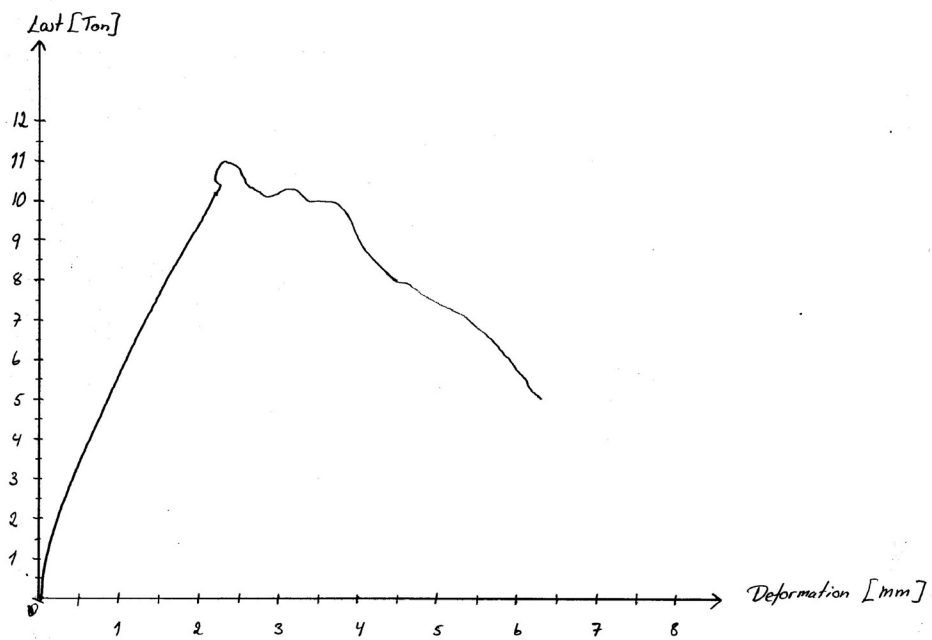


Murpelare

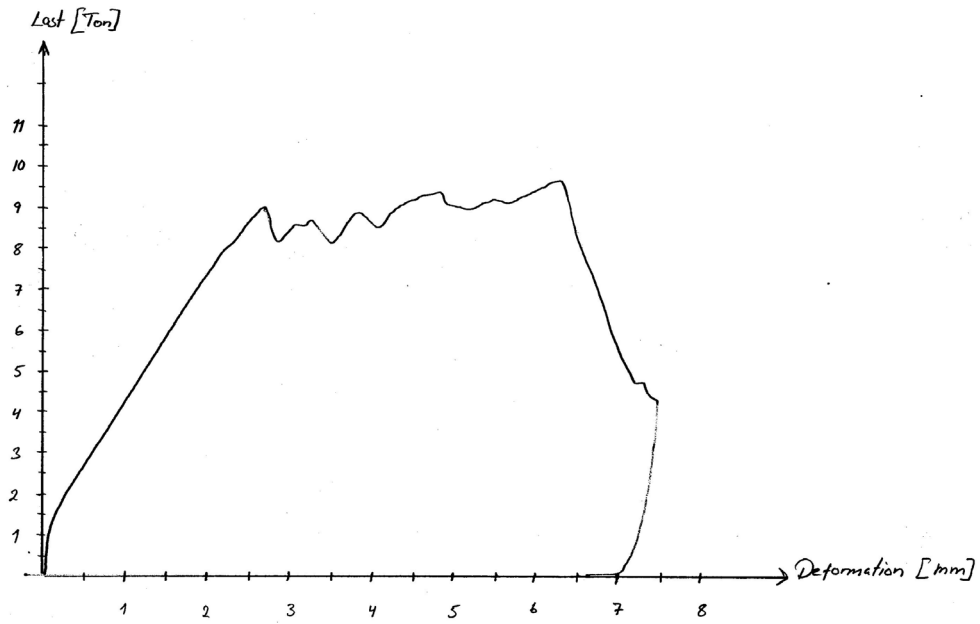
LAF4 Temperatur:20 RF:100%



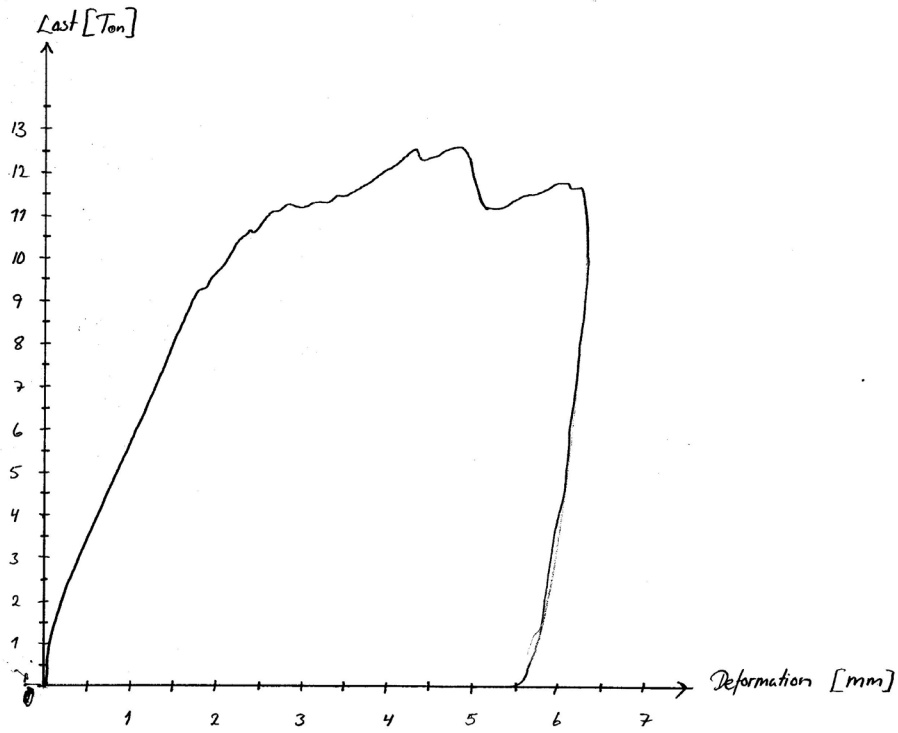
LAF1 Temperatur:20 RF:50%



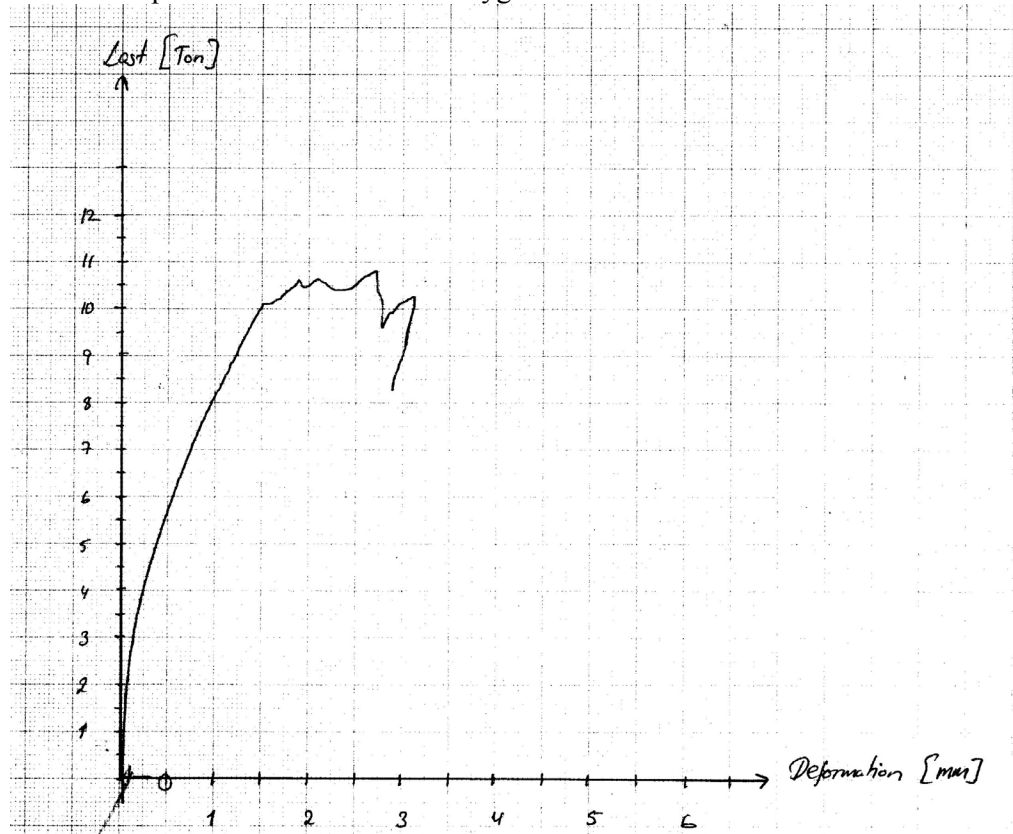
LAF2 Temperatur: 4 RF:100% 7dygn



LAF3 Temperatur: 4 RF: 83% 7dygn



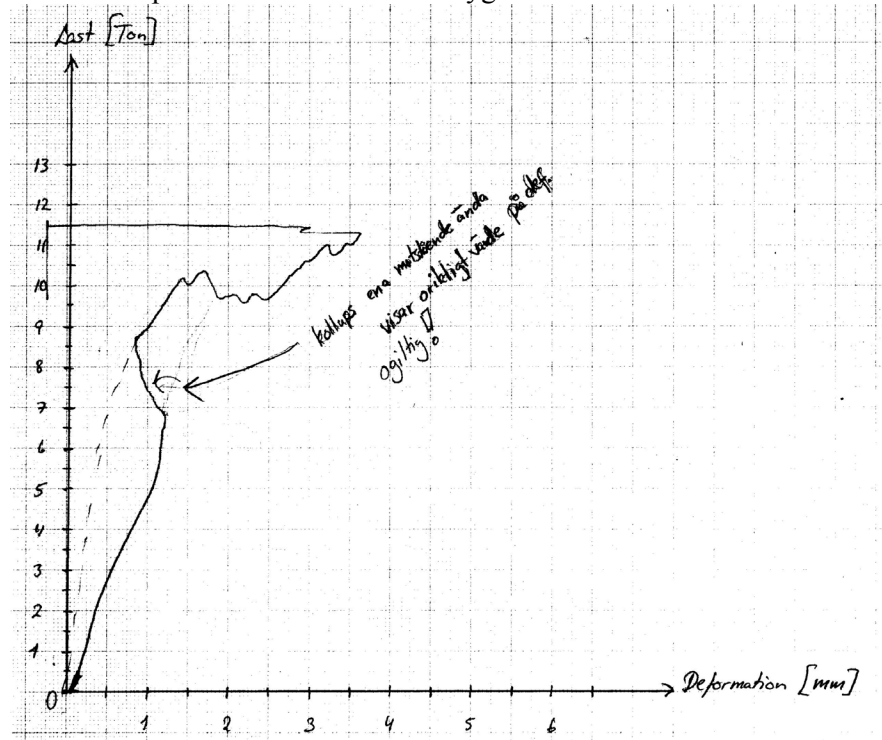
LAF6 Temperatur: 20 RF:100% 28dygn



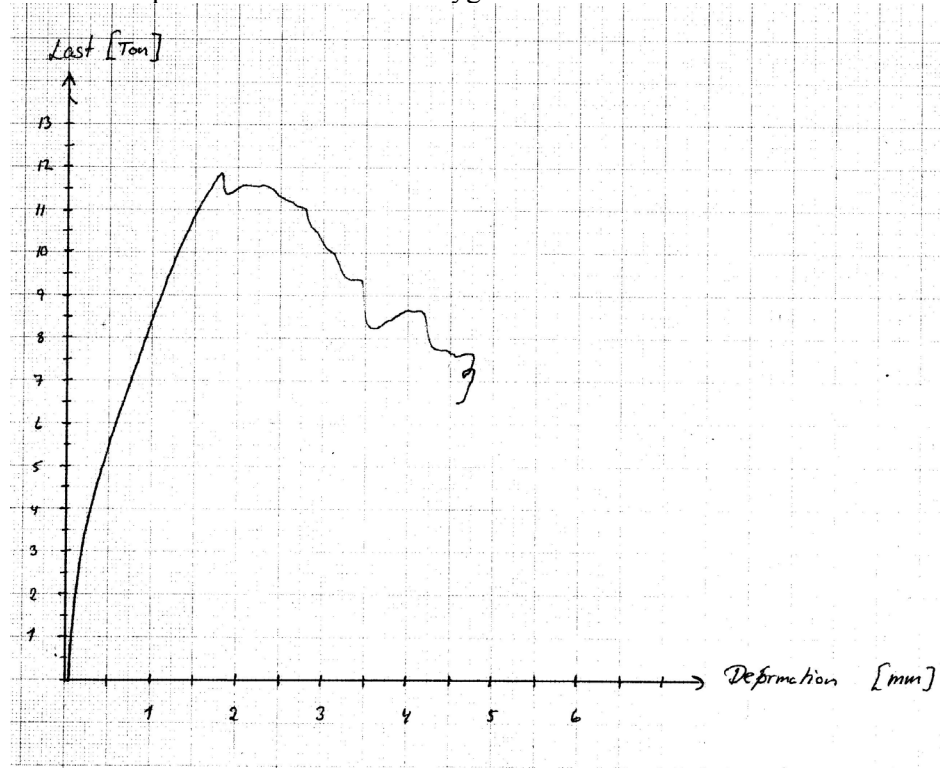
LAF5 Temperatur: 20 RF:50% 28dygn



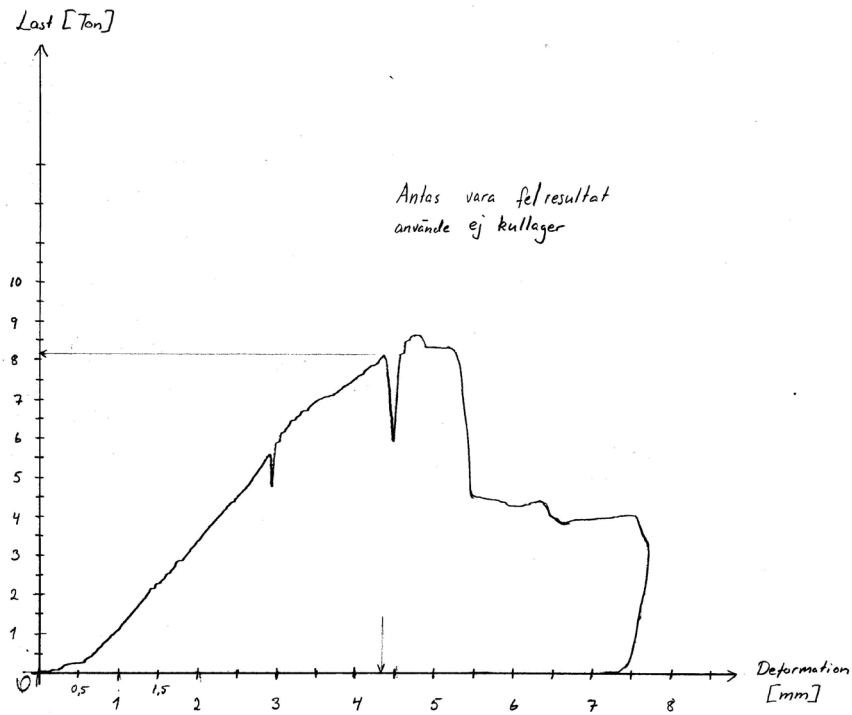
LAF8 Temperatur: 4 RF:100% 28dygn



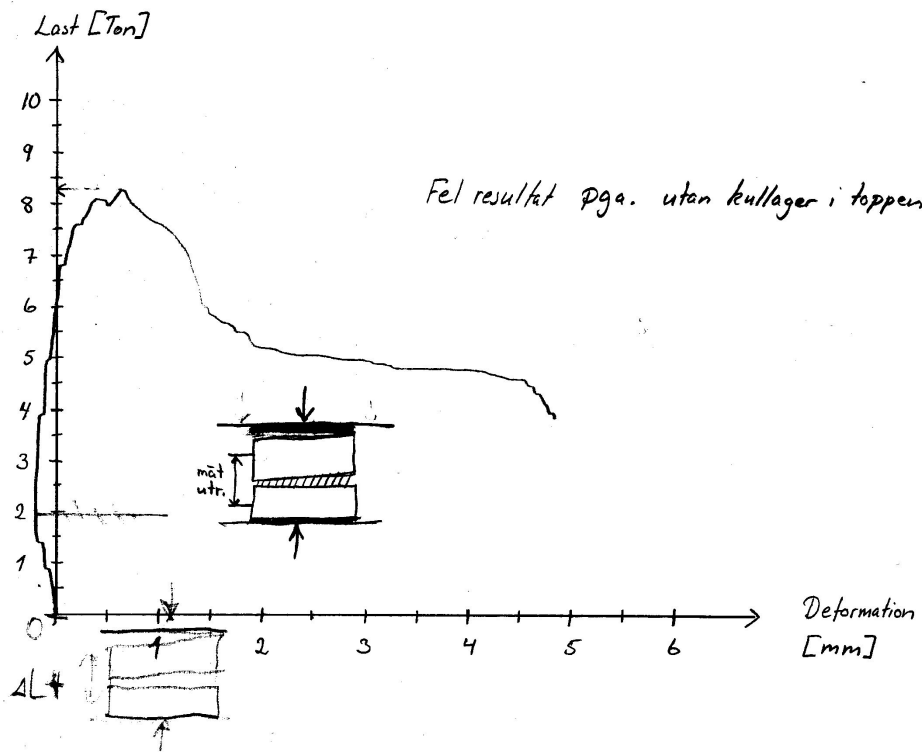
LAF7 Temperatur: 4 RF:83% 28dygn



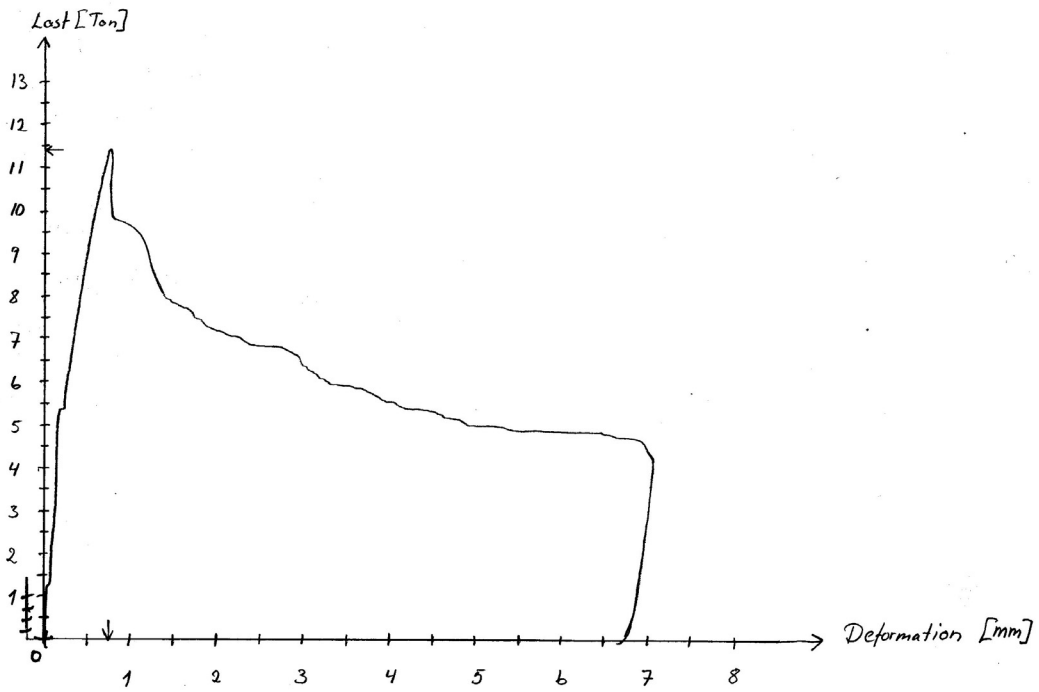
Jura 1 Temperatur: 20 RF:100% 7dygn



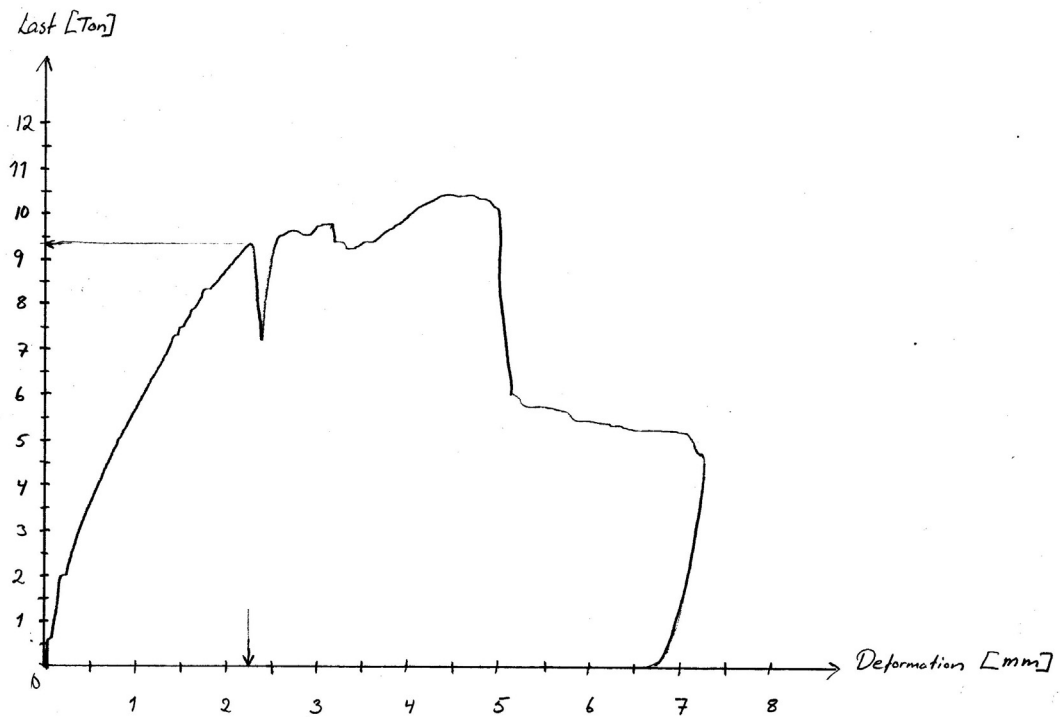
Jura 2 Temperatur: 20 RF:100% 7dygn



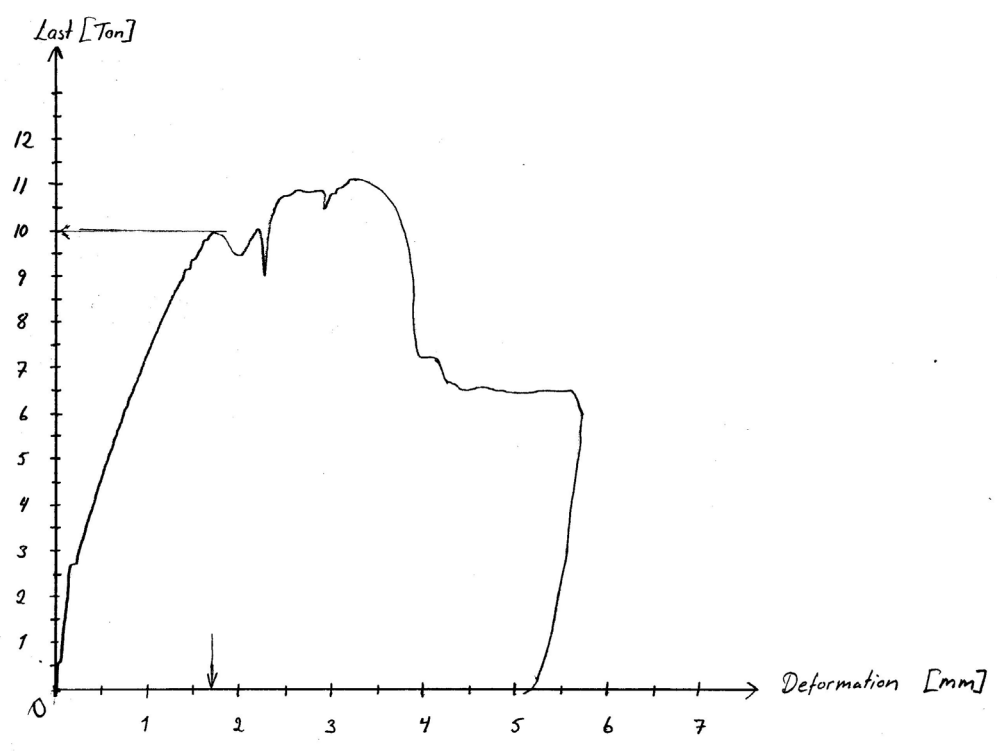
Jura 6 Temperatur: 20 RF:50% 11dygn (7dygn)



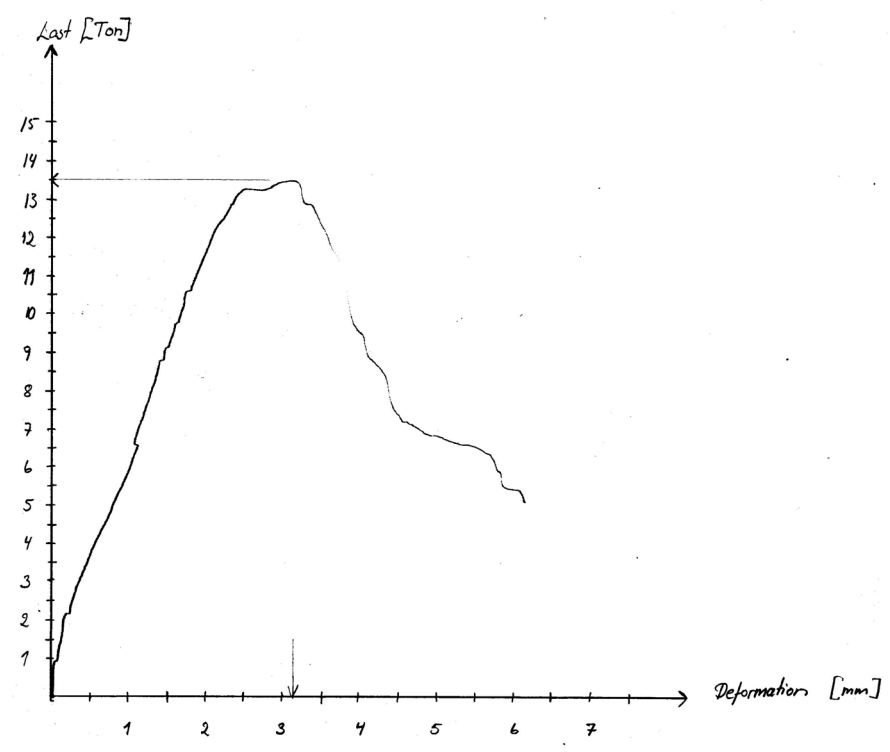
Jura 3 Temperatur: 4 RF:100% 11dygn (7dygn)



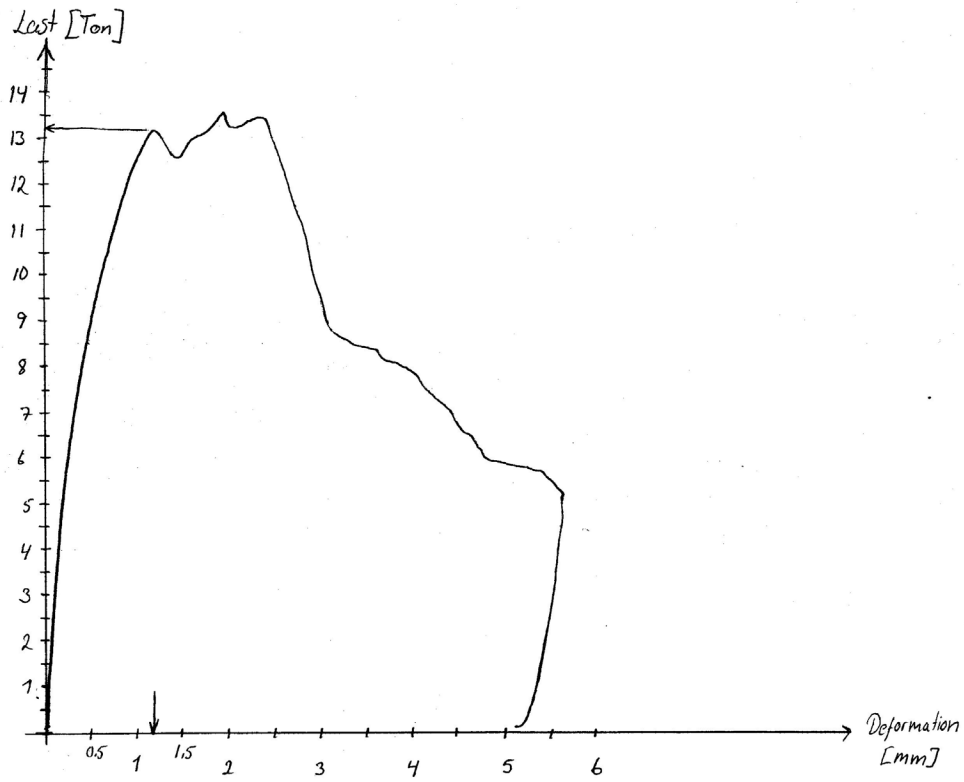
Jura 4 Temperatur: 4 RF:100% 11dygn (7dygn)



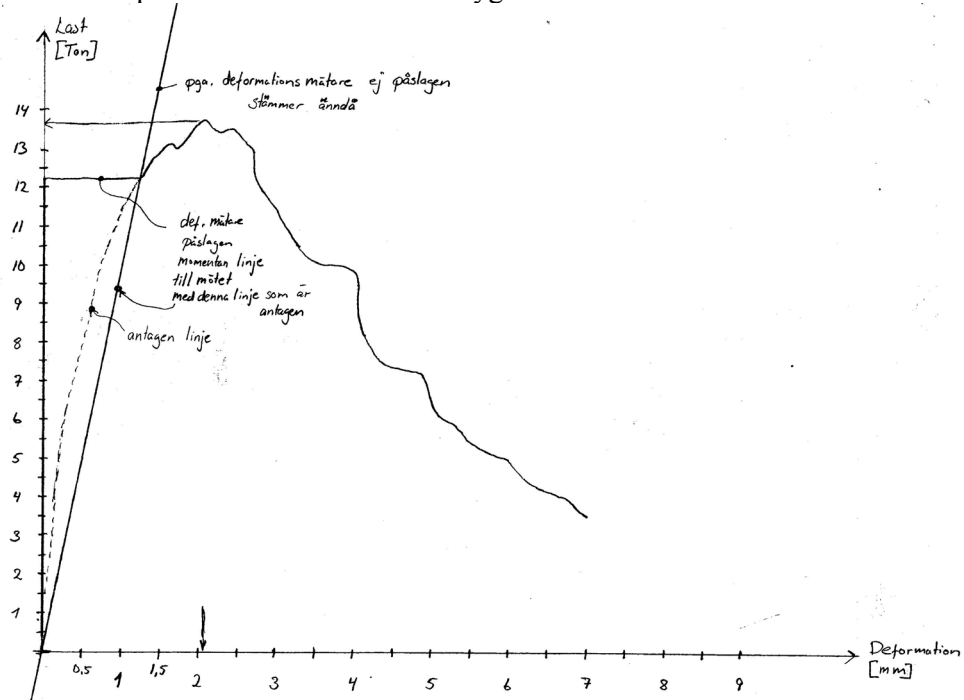
Jura 5 Temperatur: 4 RF:83% 11dygn (7dygn)



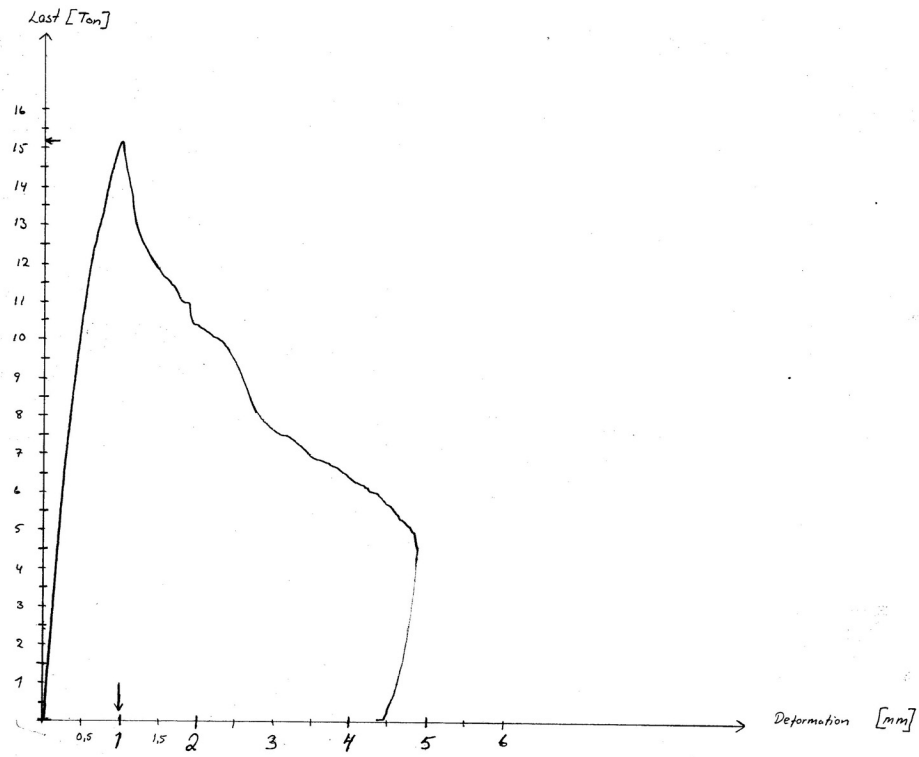
Jura 8 Temperatur: 20 RF:100 % 28dygn



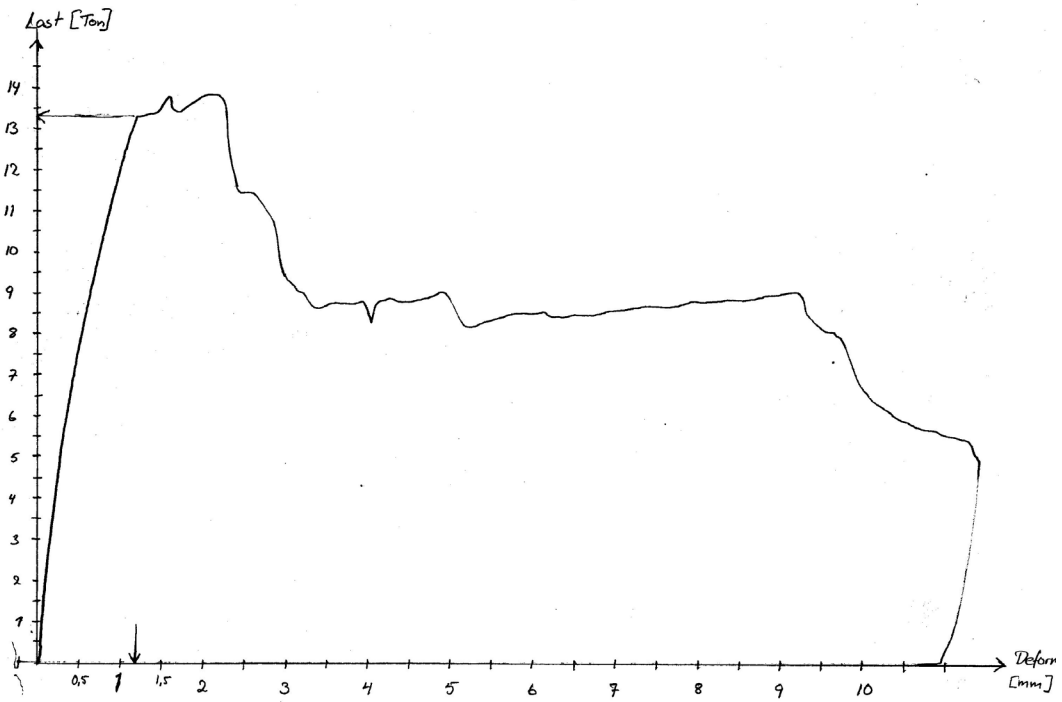
Jura 9 Temperatur: 20 RF:100 % 28dygn



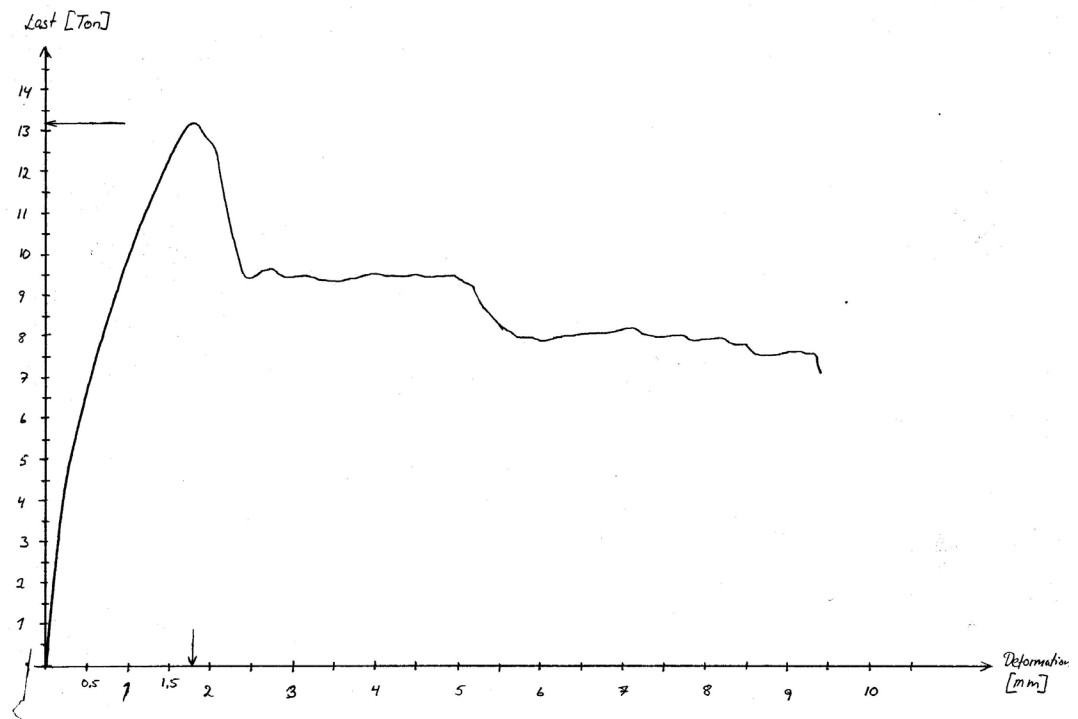
Jura 7 Temperatur: 20 RF:50% 28dygn



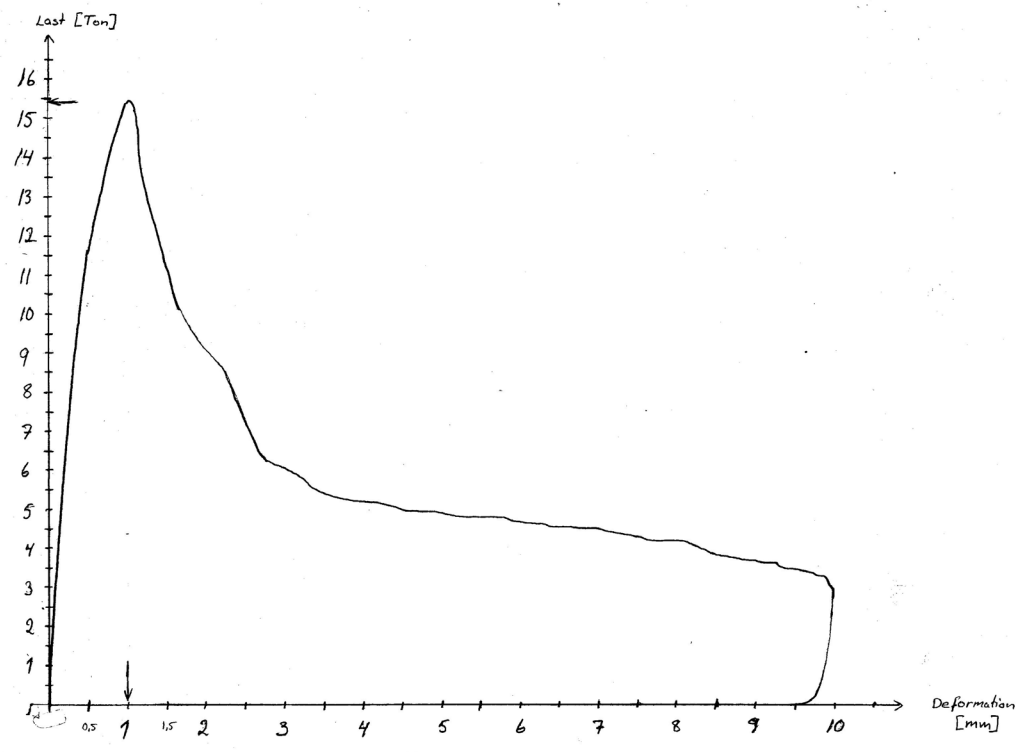
Jura 10 Temperatur: 4 RF:100 % 28dygn



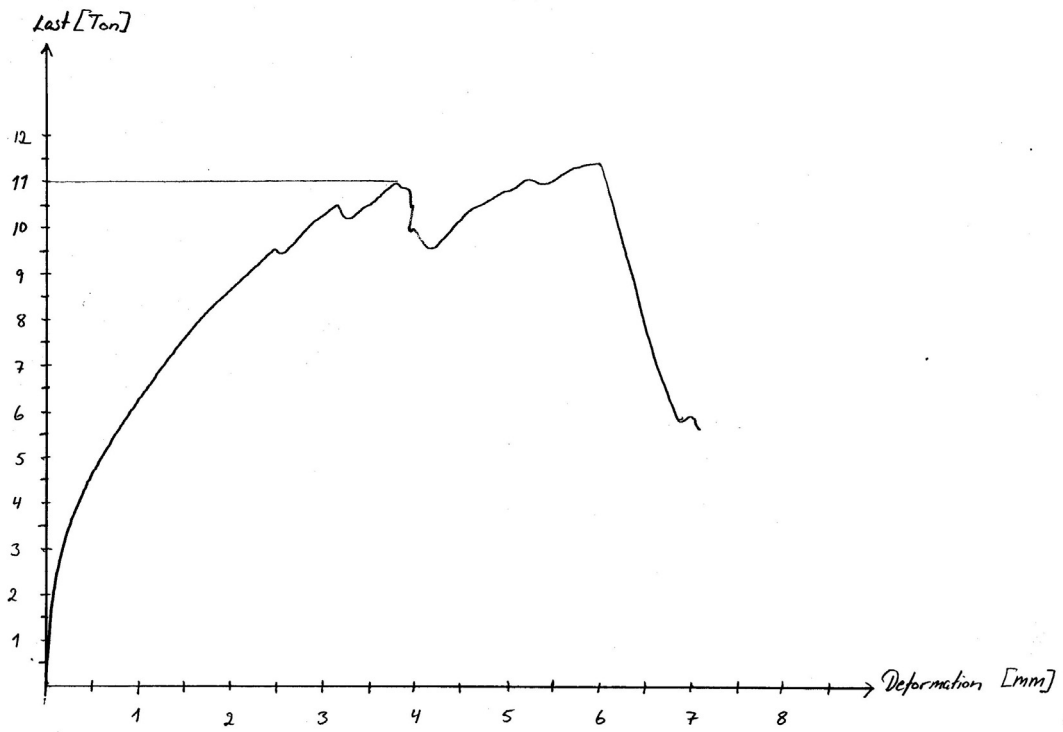
Jura 11 Temperatur: 4 RF:100 % 28dygn



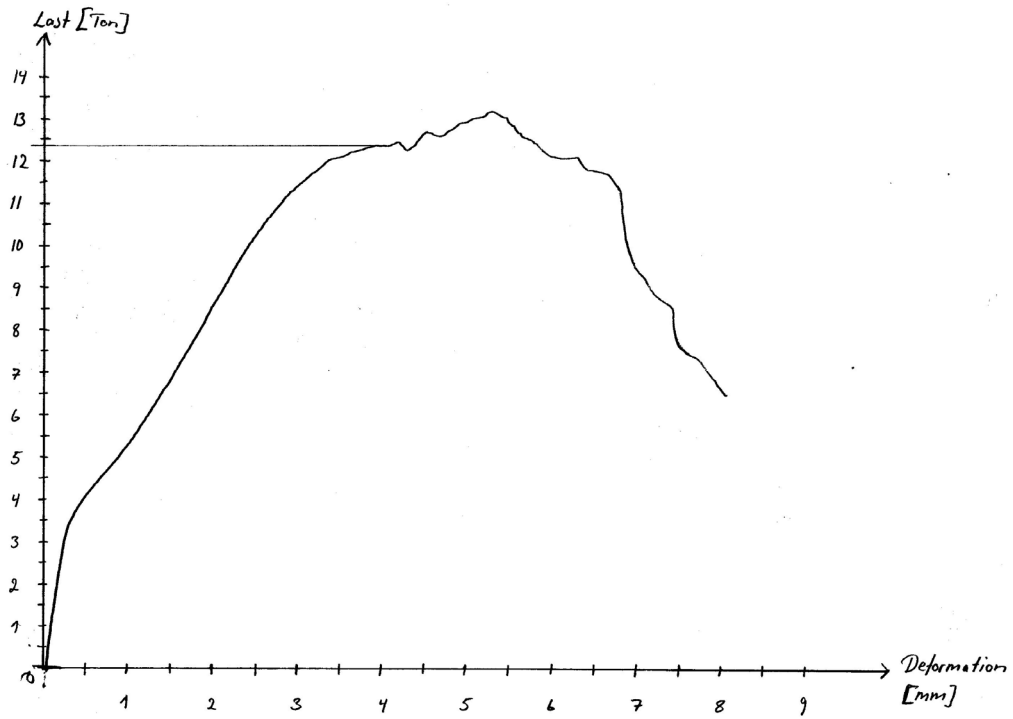
Jura 12 Temperatur: 4 RF:83 % 28dygn



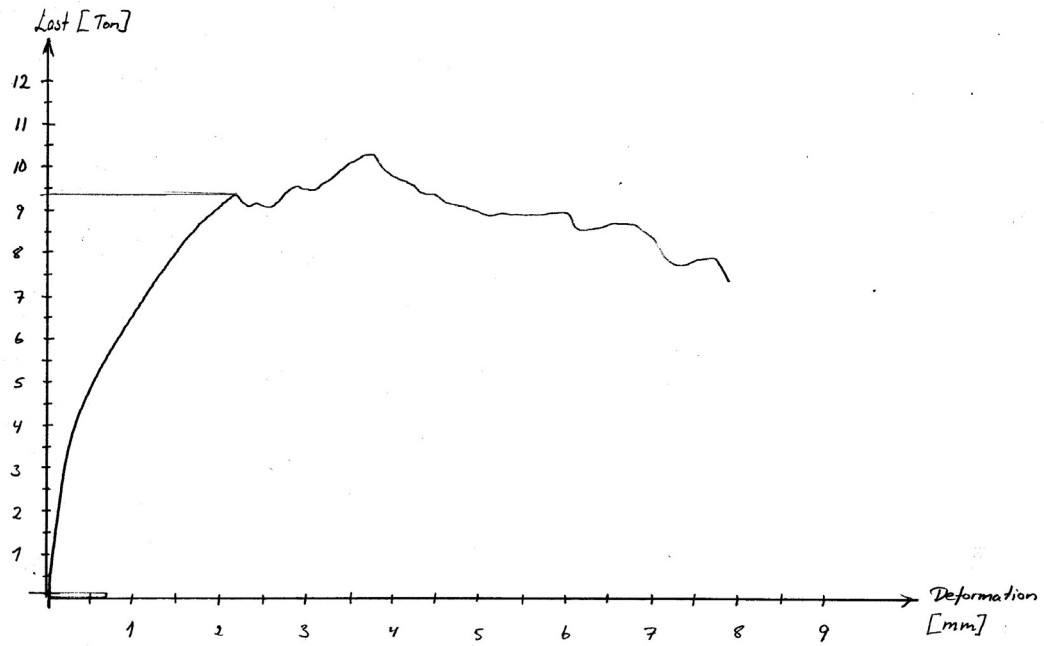
KC-sh 4 Temperatur: 20 RF:100 % 8dygn



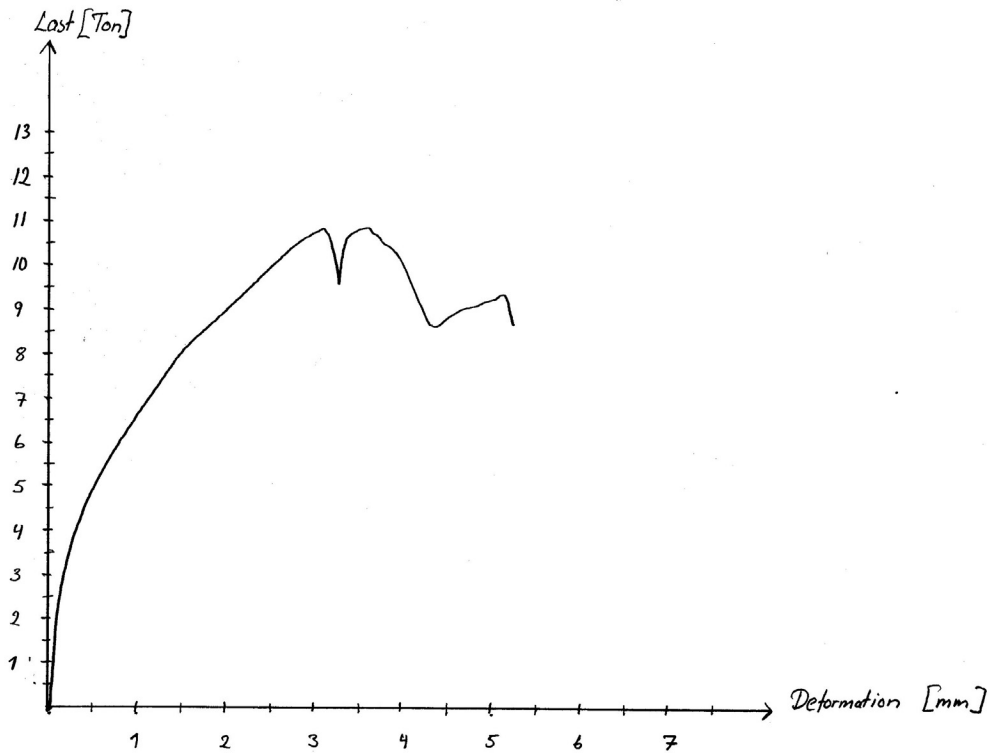
KC-sh 3 Temperatur: 20 RF:50 % 8dygn



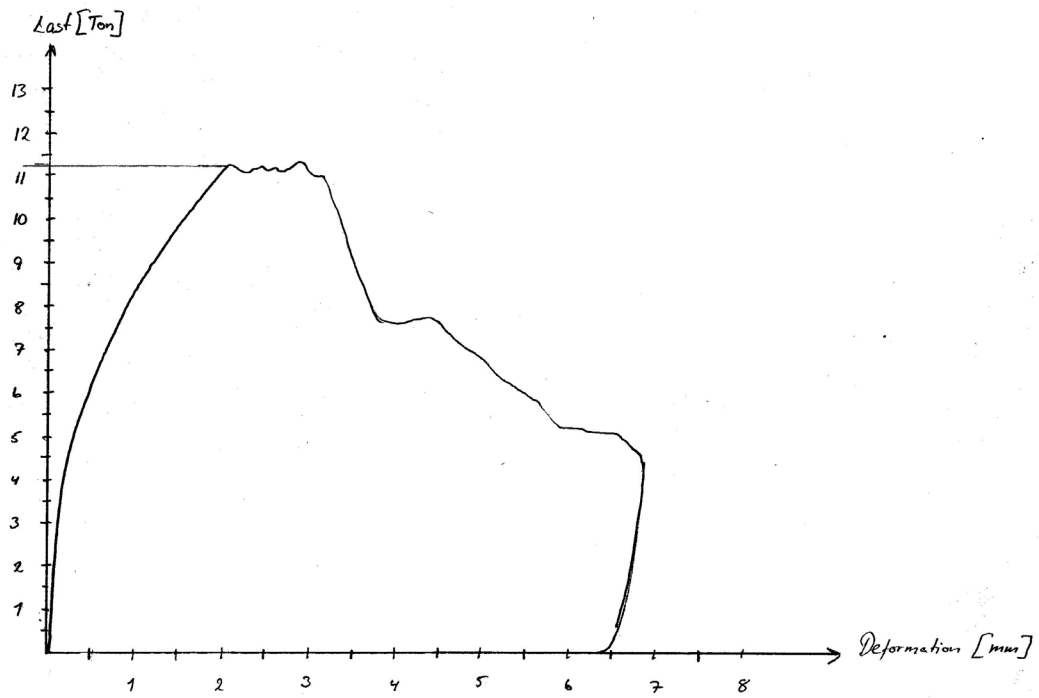
KC-sh 2 Temperatur: 4 RF:100 % 8dygn



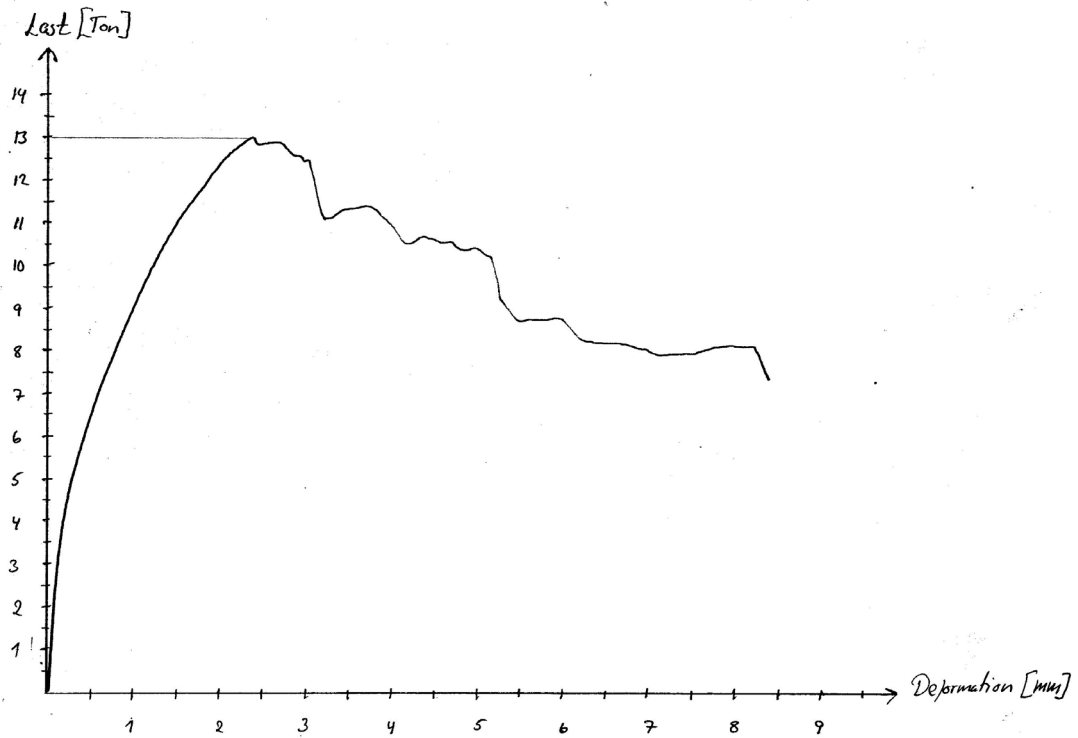
KC-sh 1 Temperatur: 4 RF:83 % 8dygn



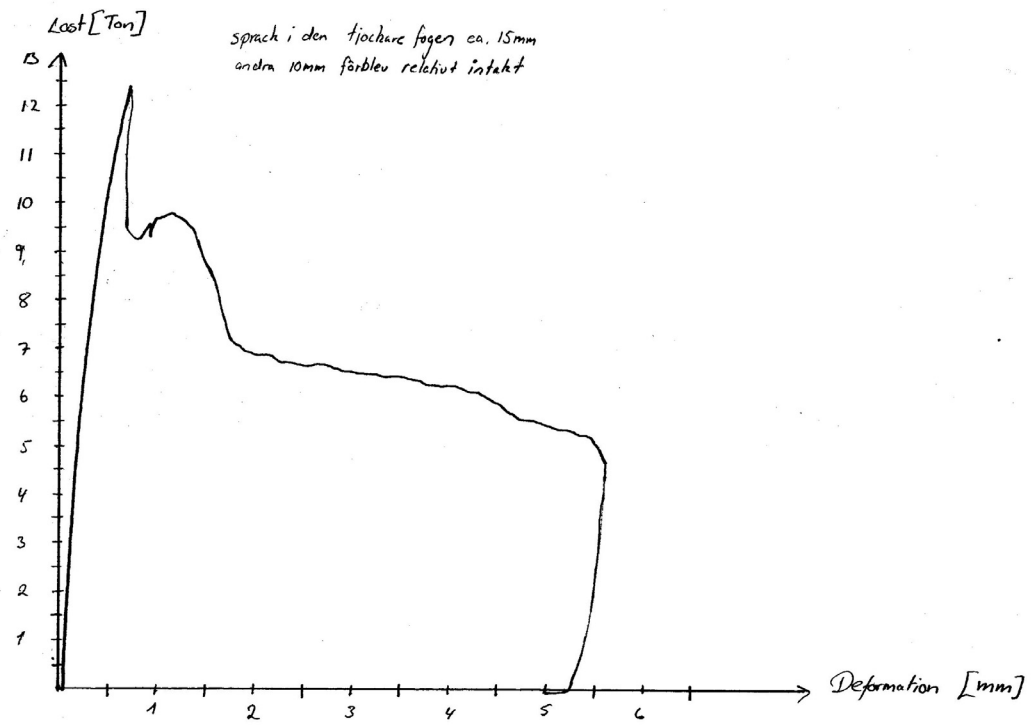
KC-sh 6 Temperatur: 20 RF:100 % 28dygn



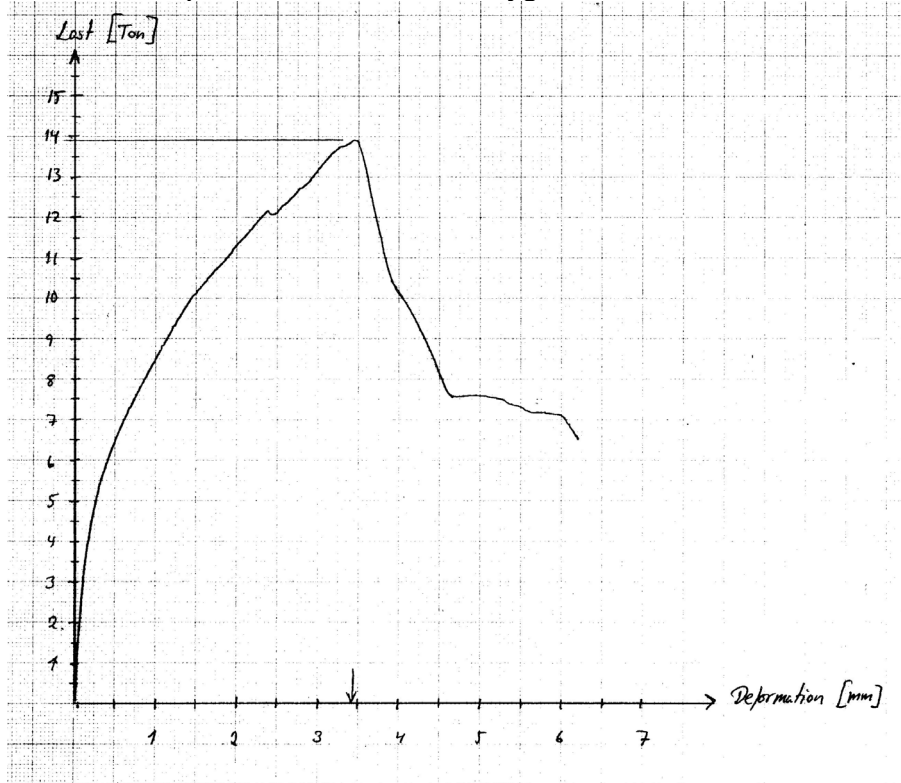
KC-sh 7 Temperatur: 20 RF:100 % 28dygn



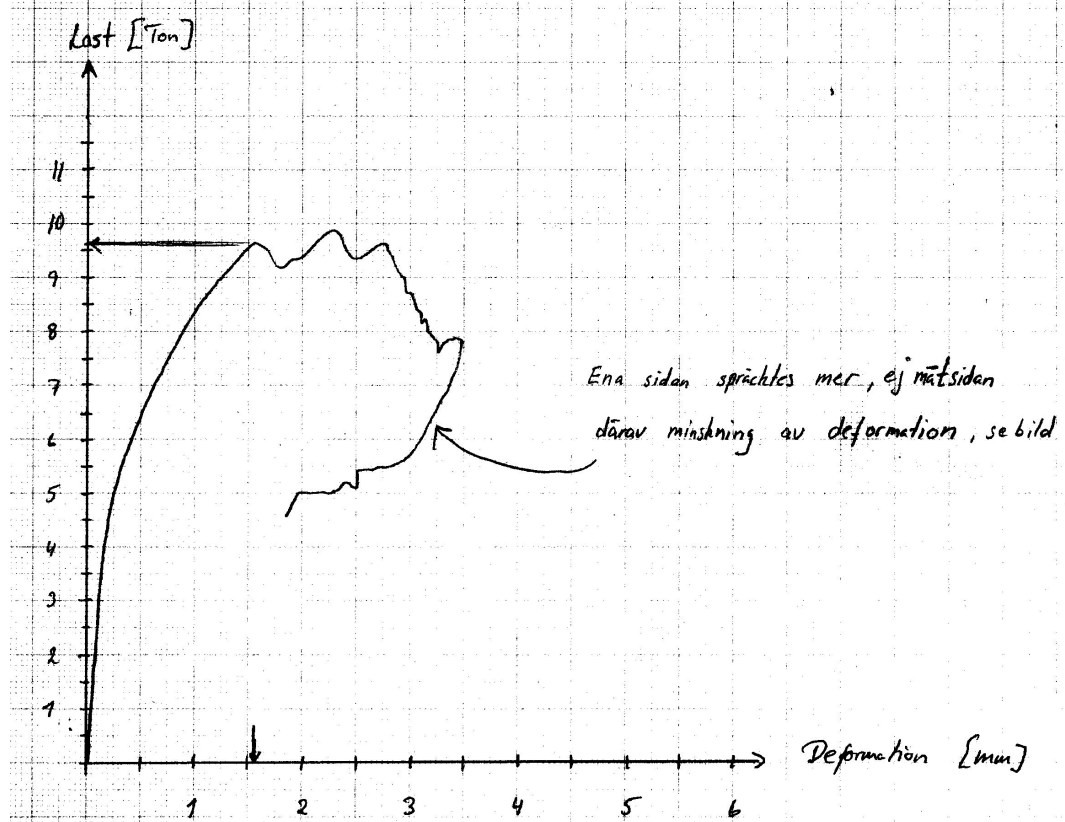
KC-sh 5 Temperatur: 20 RF:50 % 28dygn



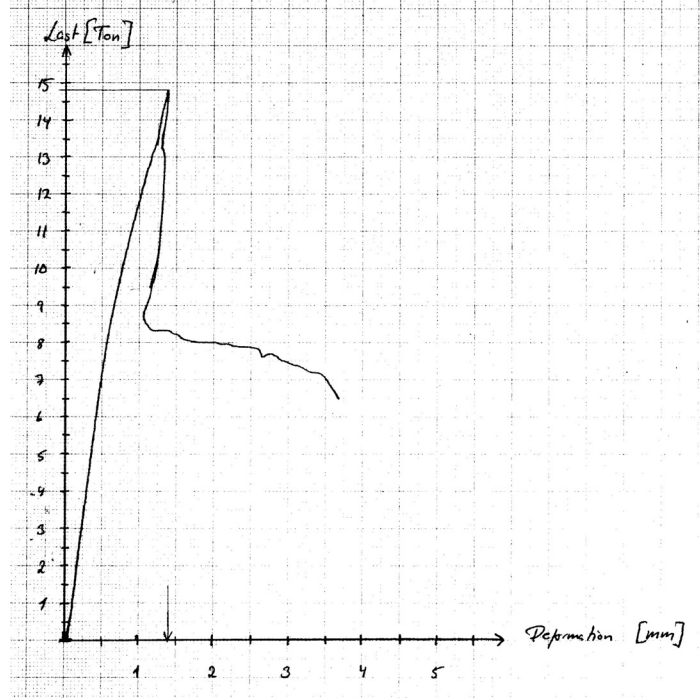
KC-sh 9 Temperatur: 4 RF:100 % 28dygn



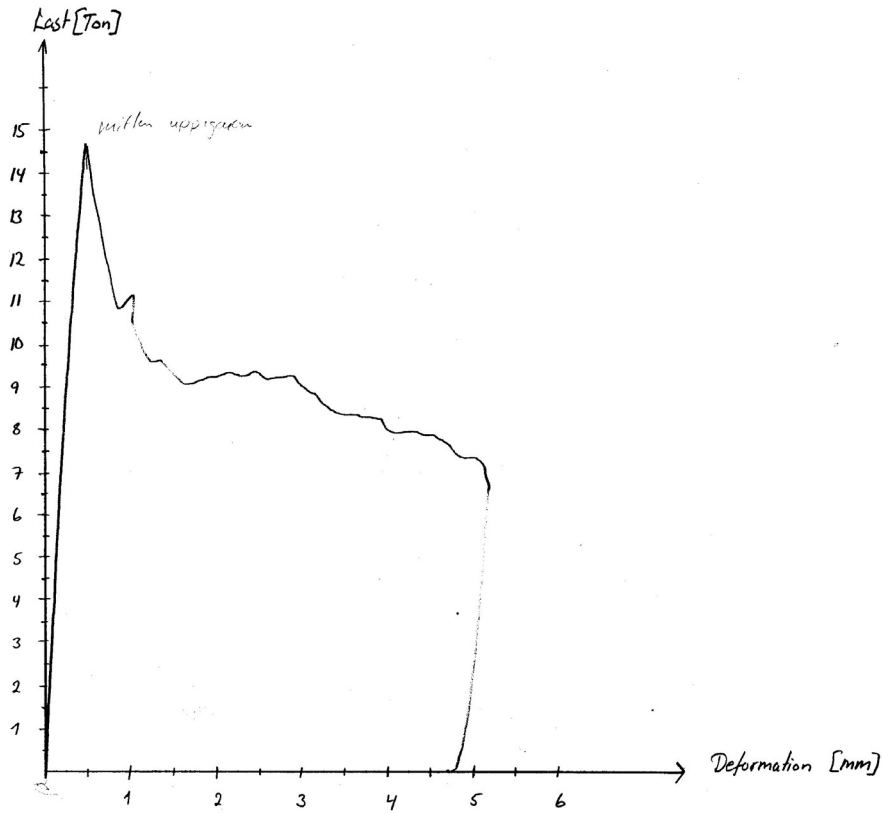
KC-sh 10 Temperatur: 4 RF:100 % 28dygn



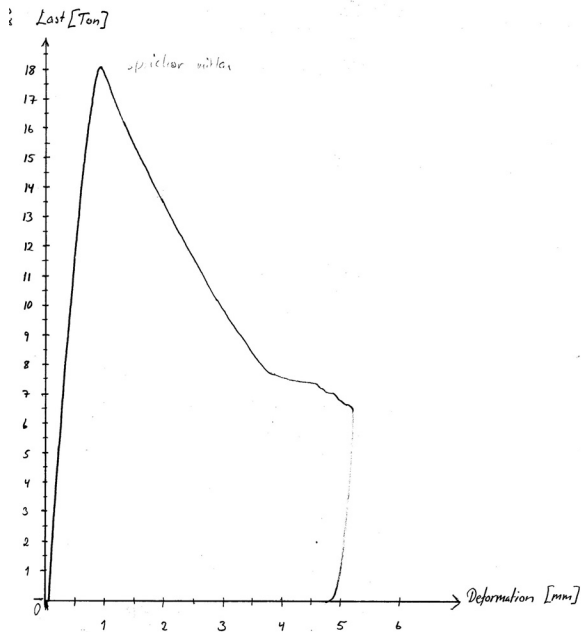
KC-sh 8 Temperatur: 4 RF:83 % 28dygn



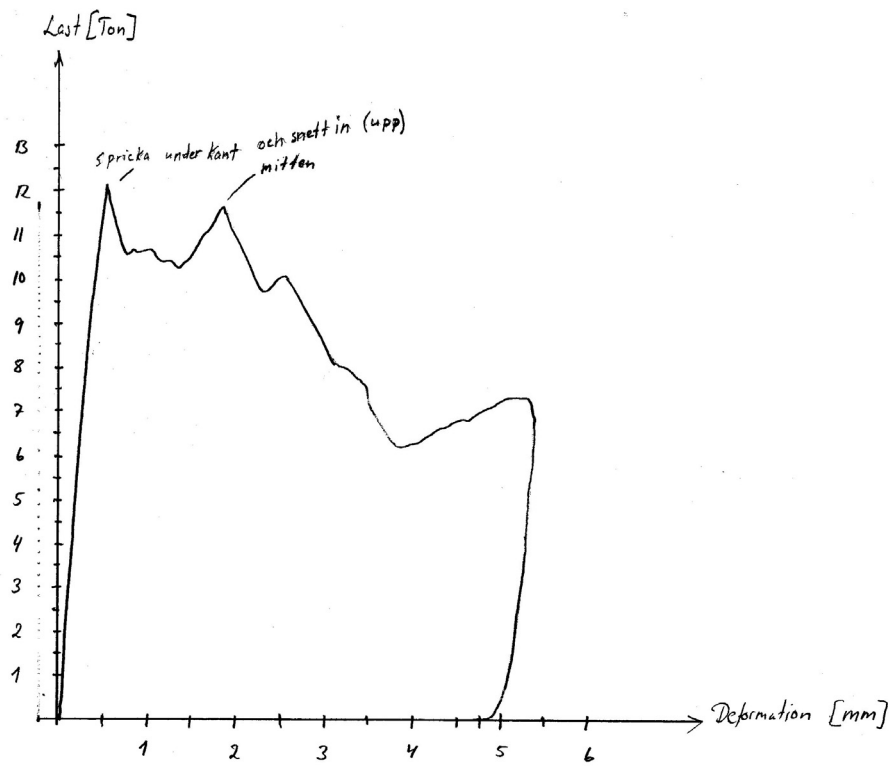
Gullex 2 Temperatur: 20 RF:100 % 7dygn



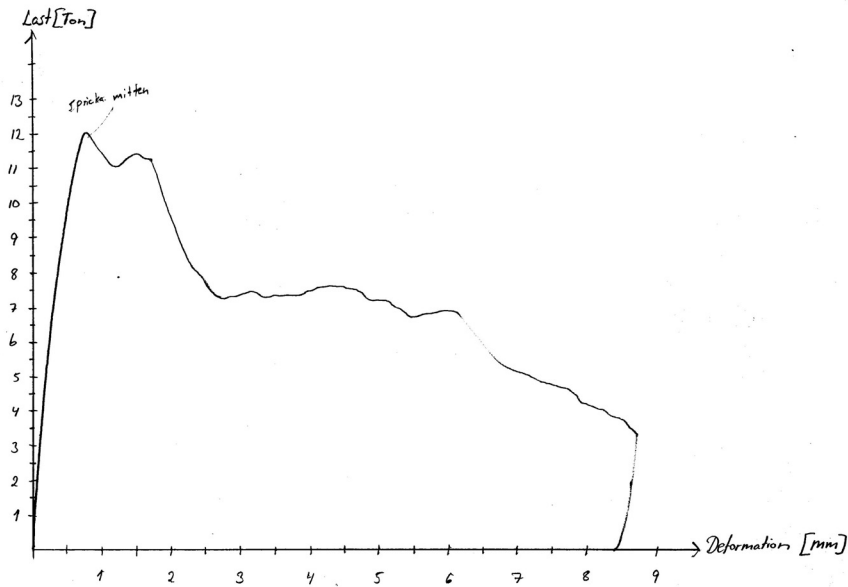
Gullex 1 Temperatur: 20 RF:100 % 7dygn



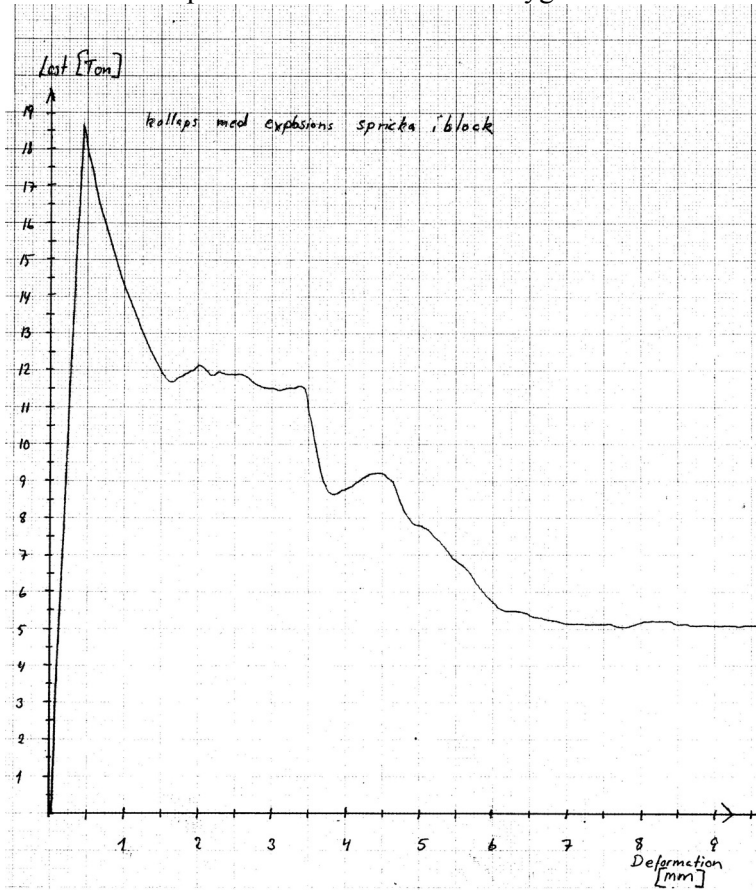
Gullex 4 Temperatur: 4 RF:100 % 7dygn



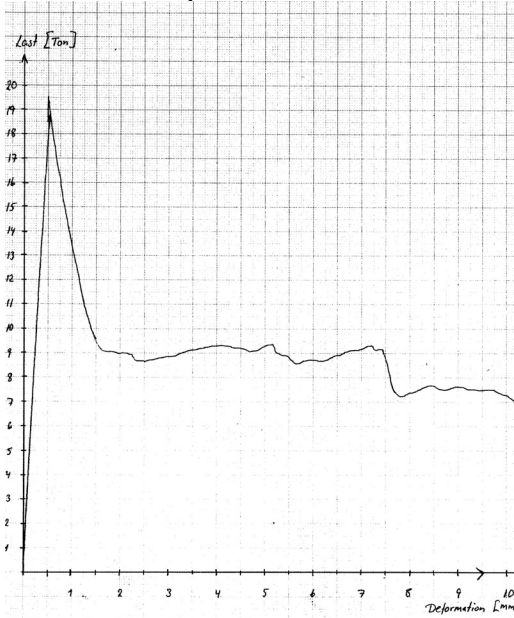
Gullex 3 Temperatur: 4 RF:83 % 7dygn



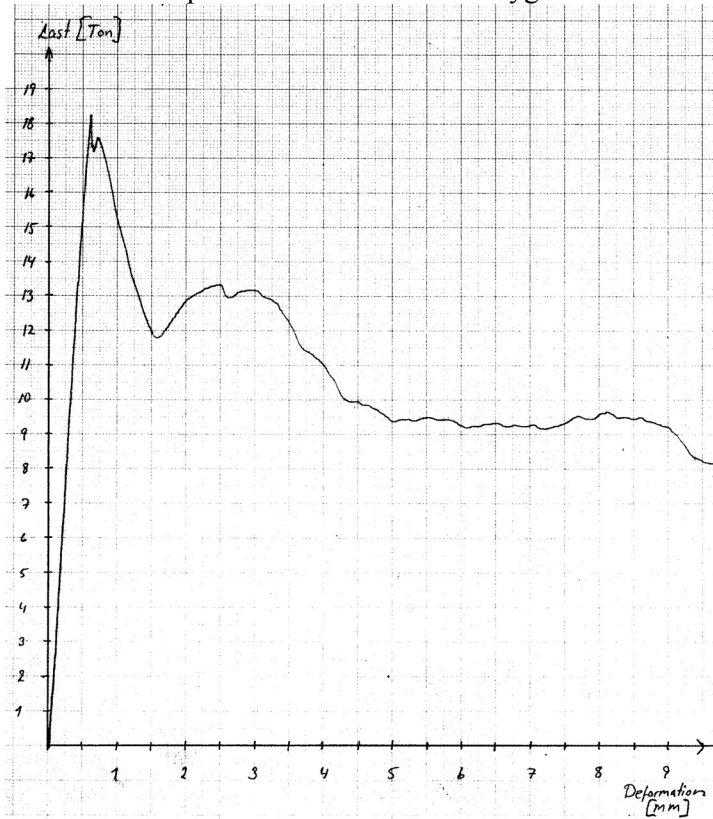
Gullex 5 Temperatur: 20 RF:100 % 27dygn



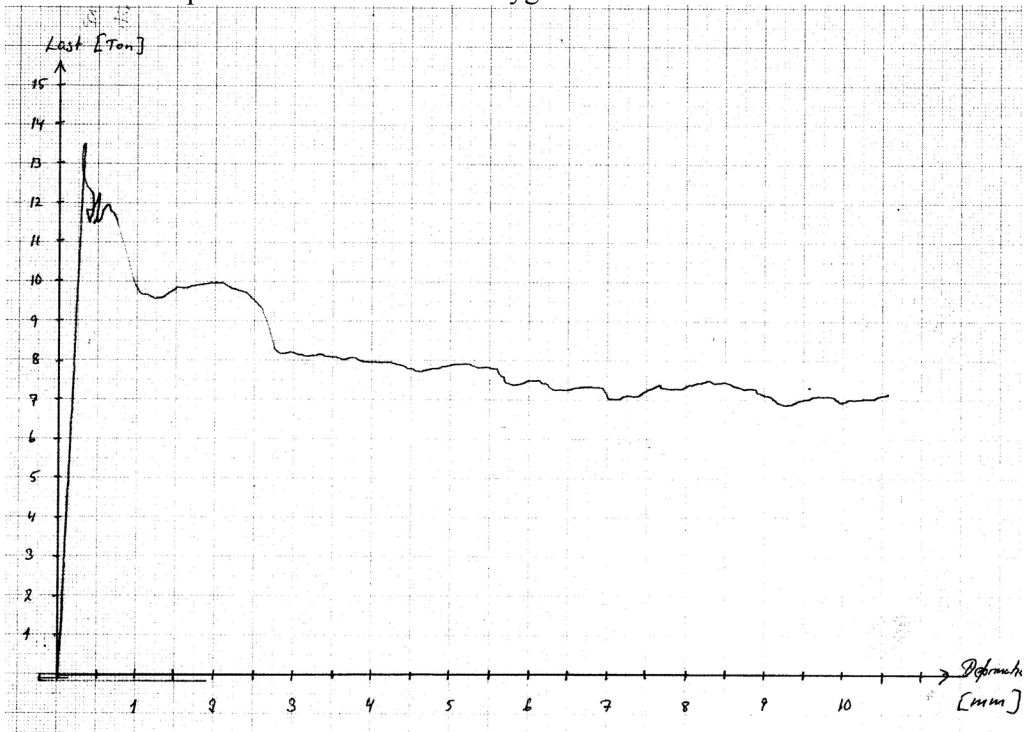
Gullex 6 Temperatur: 20 RF:100 % 27dygn



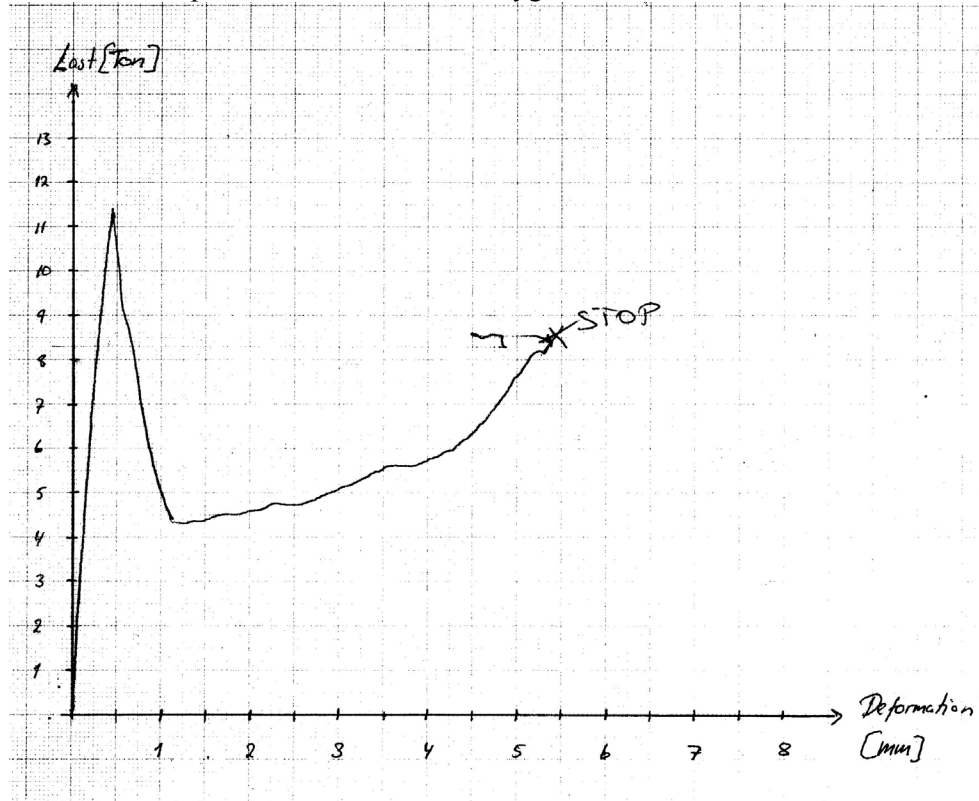
Gullex 7 Temperatur: 20 RF:50 % 27dygn



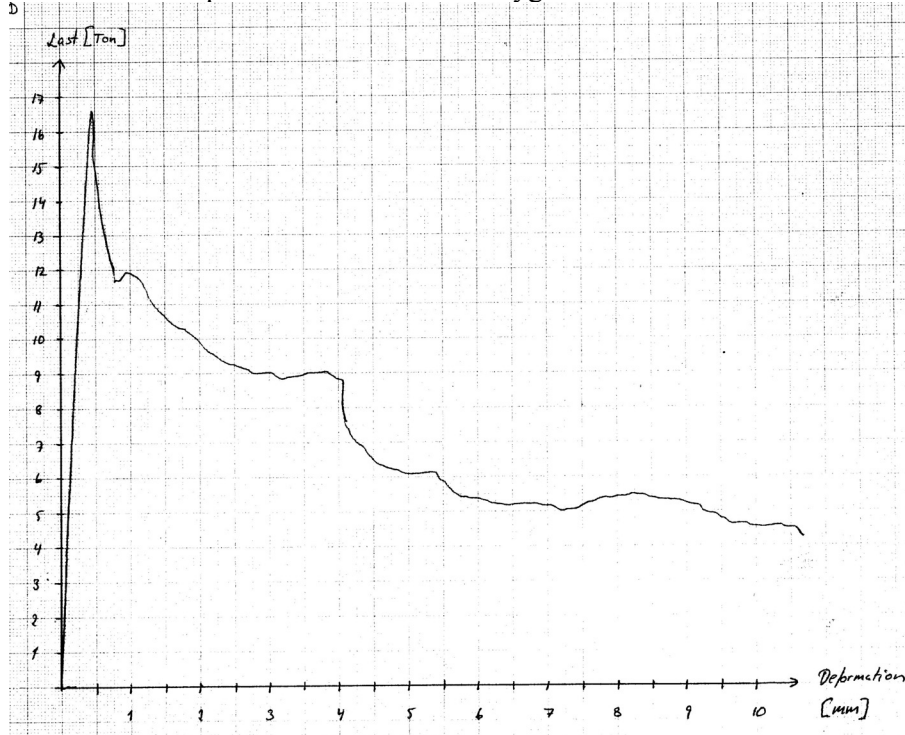
Gullex 8 Temperatur: 4 RF:100 % 27dygn



Gullex 9 Temperatur: 4 RF:100 % 27dygn



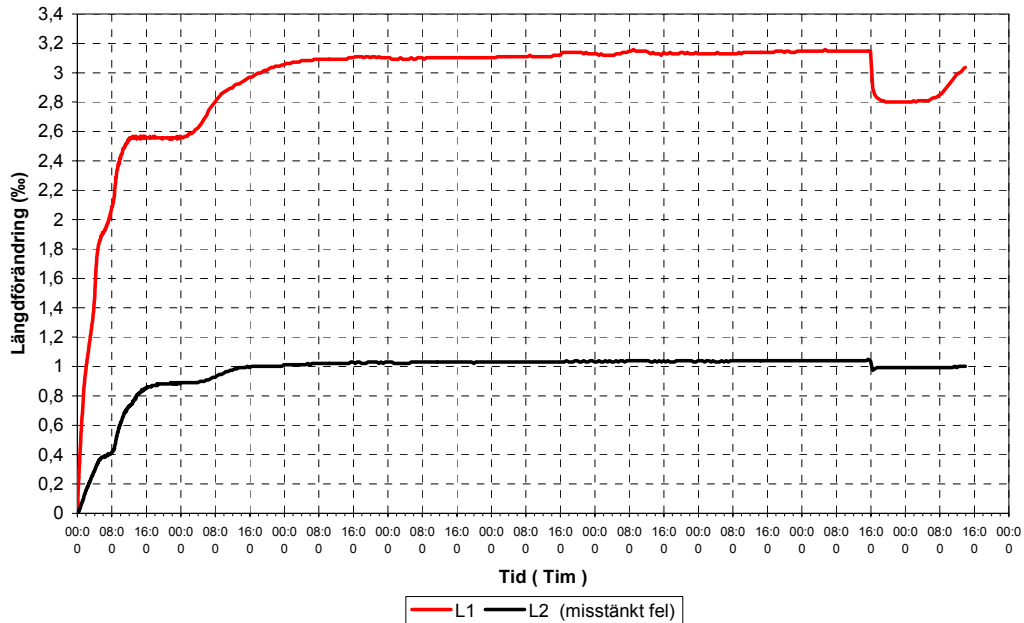
Gullex 10 Temperatur: 4 RF:50 % 27dygn



Plastisk krympning

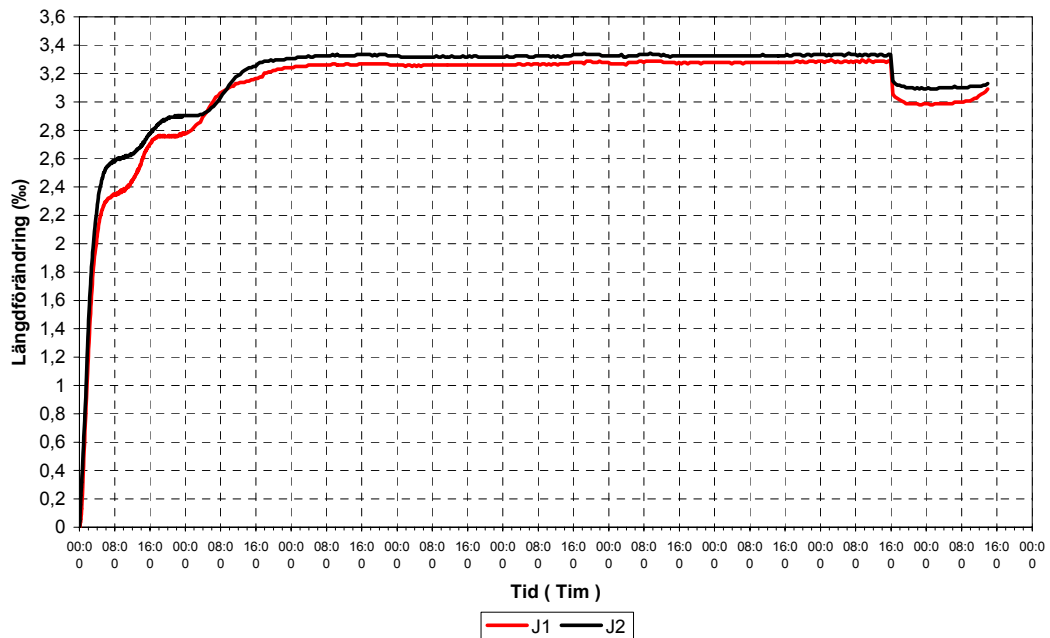
Prov Nr: l1
Provdatum: 2004-06-15 19:34:22
Provmärkning: po
Signatur: po
Formlängd: 150 mm

Längdmätning Delta L, L1 och L2



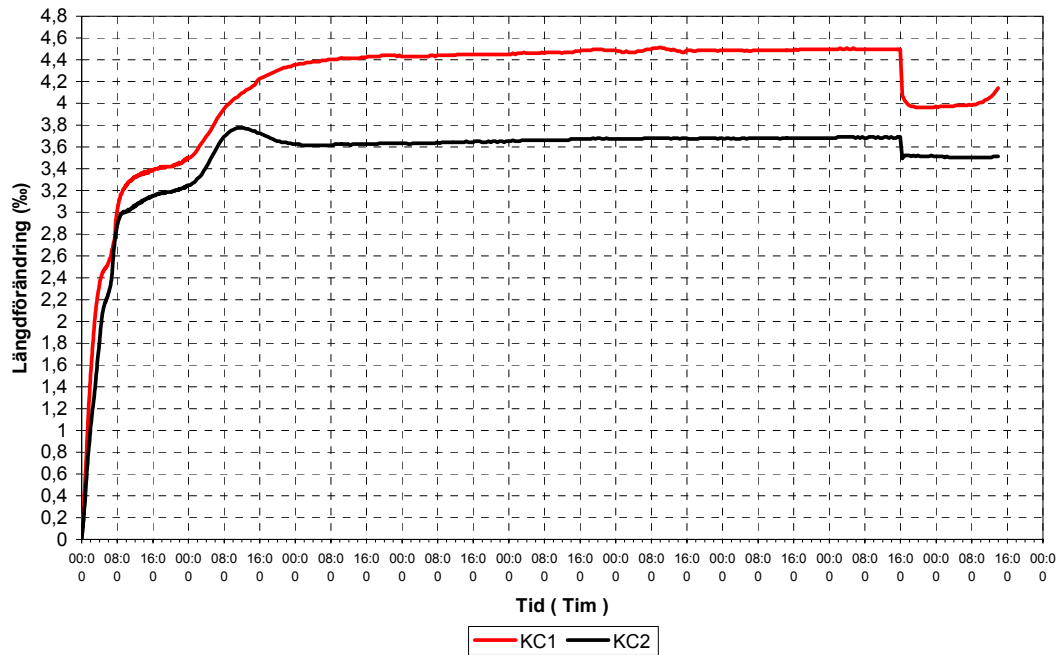
Längdmätning Delta L, J1 och J2

Prov Nr: j1
Provdatum: 2004-06-15 19:31:37
Provmärkning: po
Signatur: po
Formlängd: 150 mm



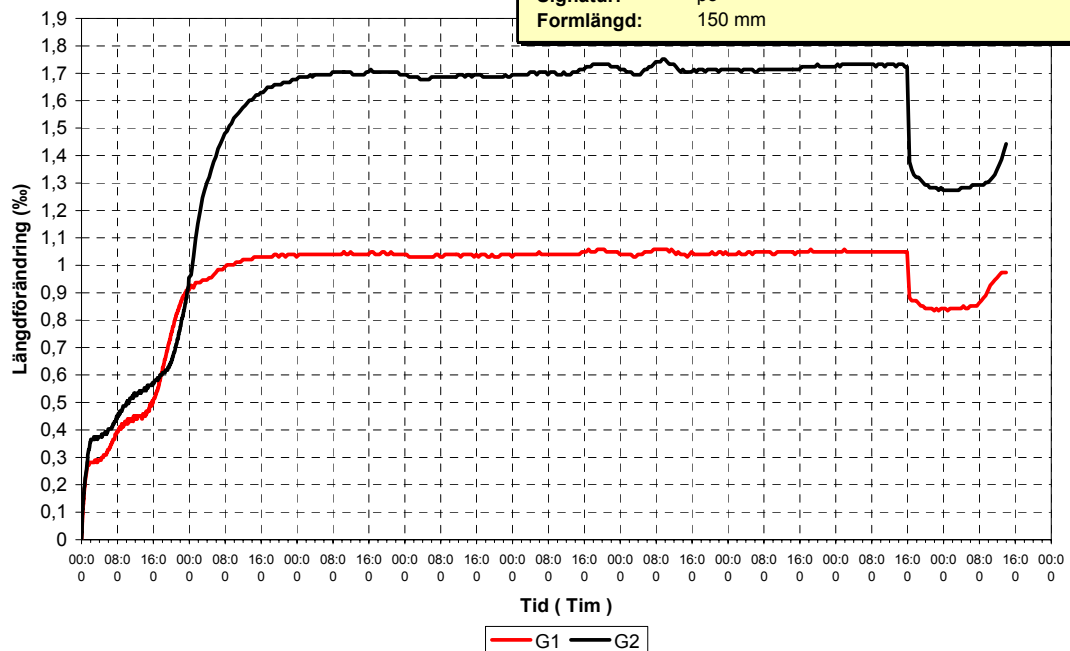
Längdmätning Delta L, KC1 och KC2

Prov Nr: kc1
Provdatum: 2004-06-15 19:30:09
Provmärkning: po
Signatur: po
Formlängd: 150 mm

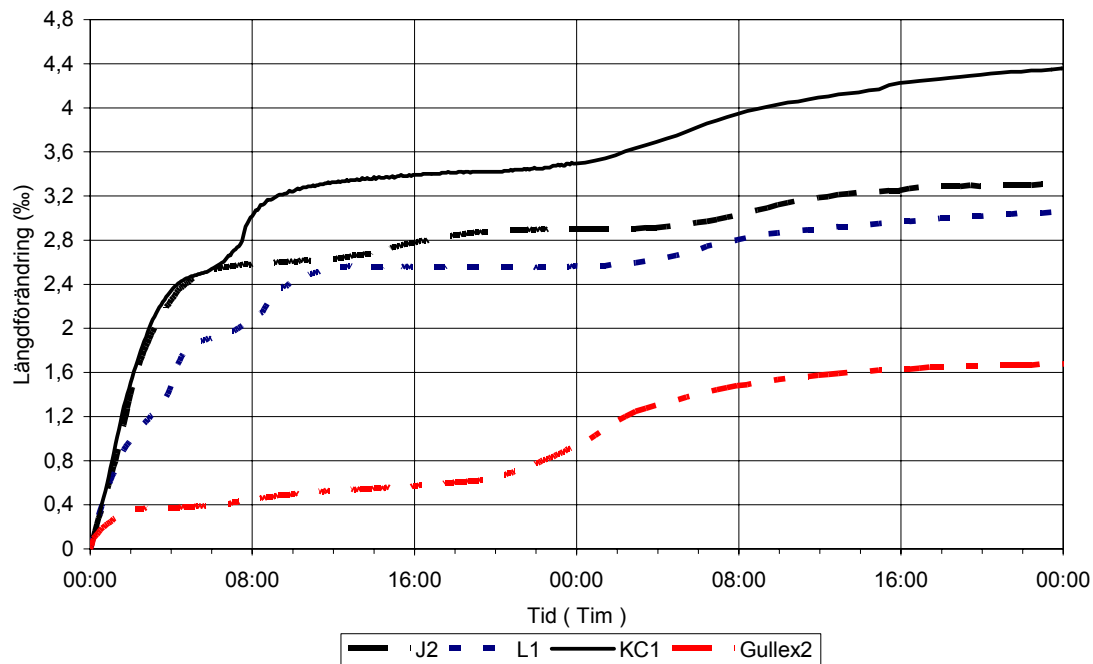


Längdmätning Delta L, G1 och G2

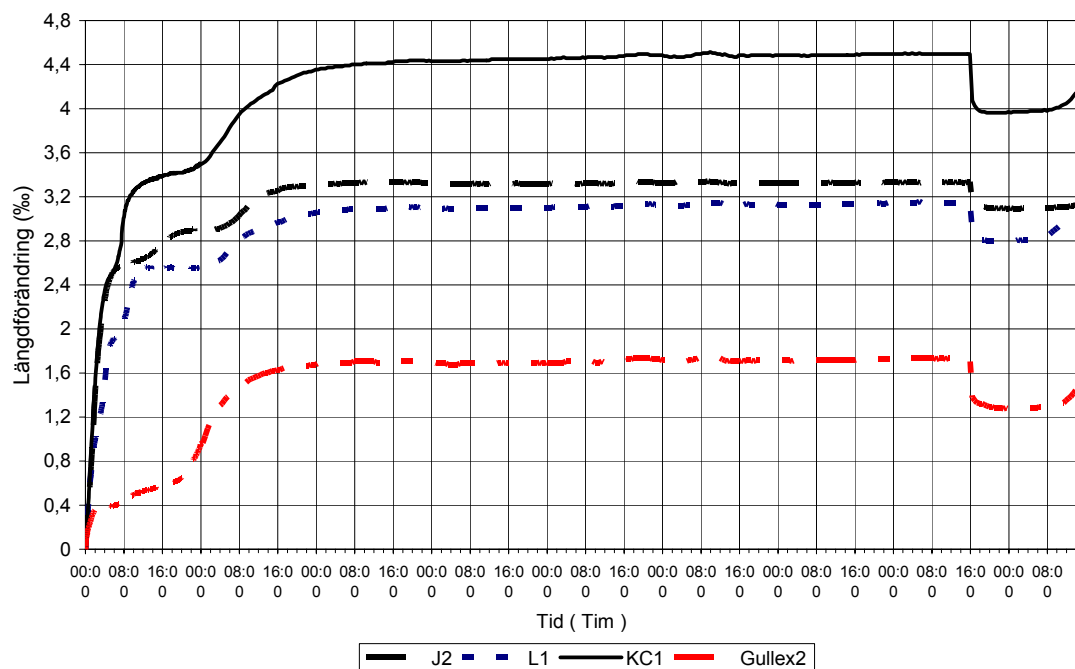
Prov Nr: g1
Provdatum: 2004-06-15 19:28:35
Provmärkning: po
Signatur: po
Formlängd: 150 mm



Plastisk krympning vid 20grader och 50% RF enl. Delta L metod, Sammanställning

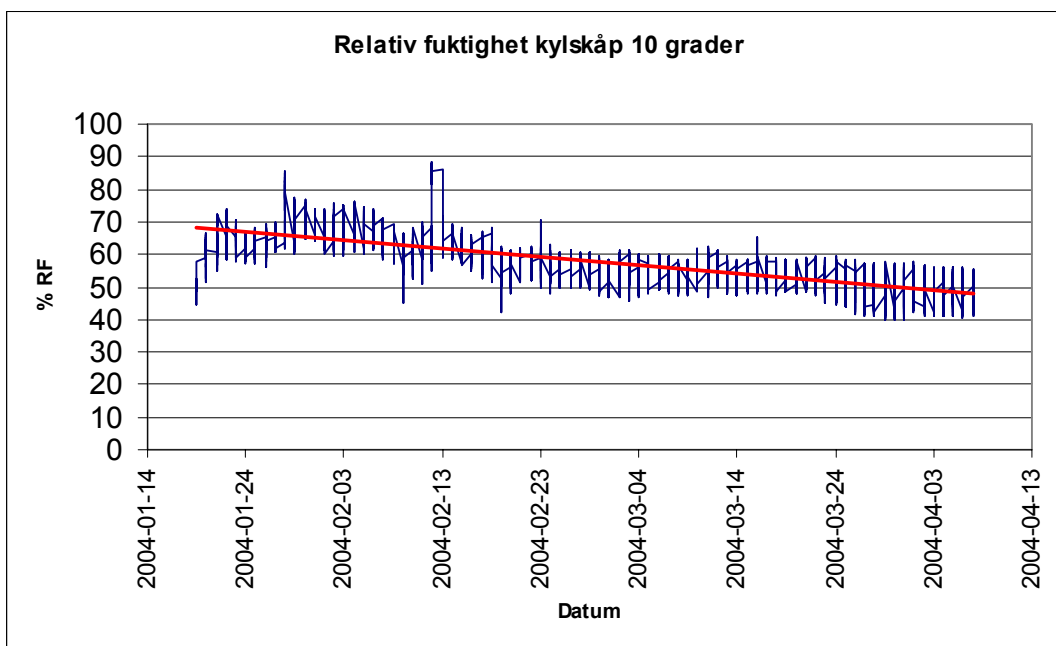
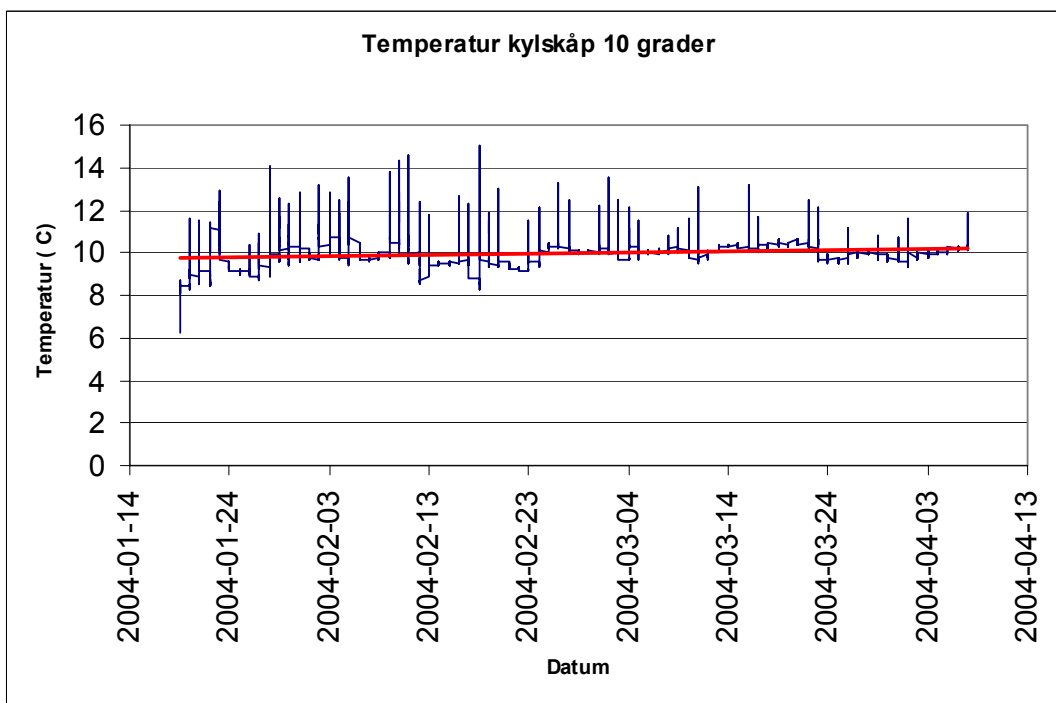


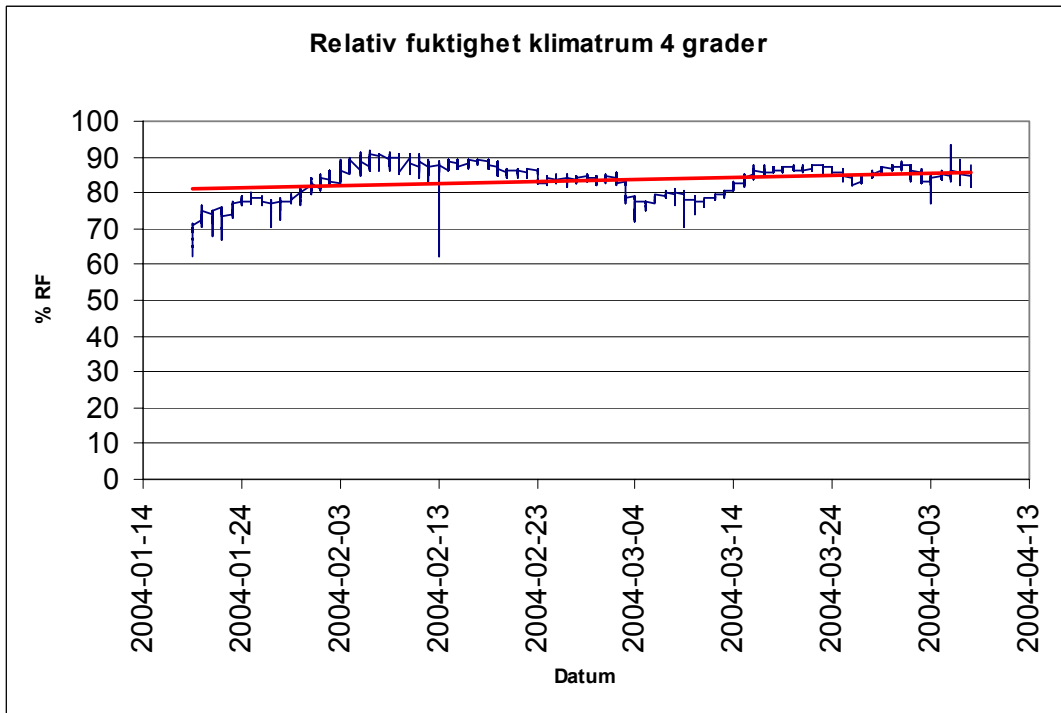
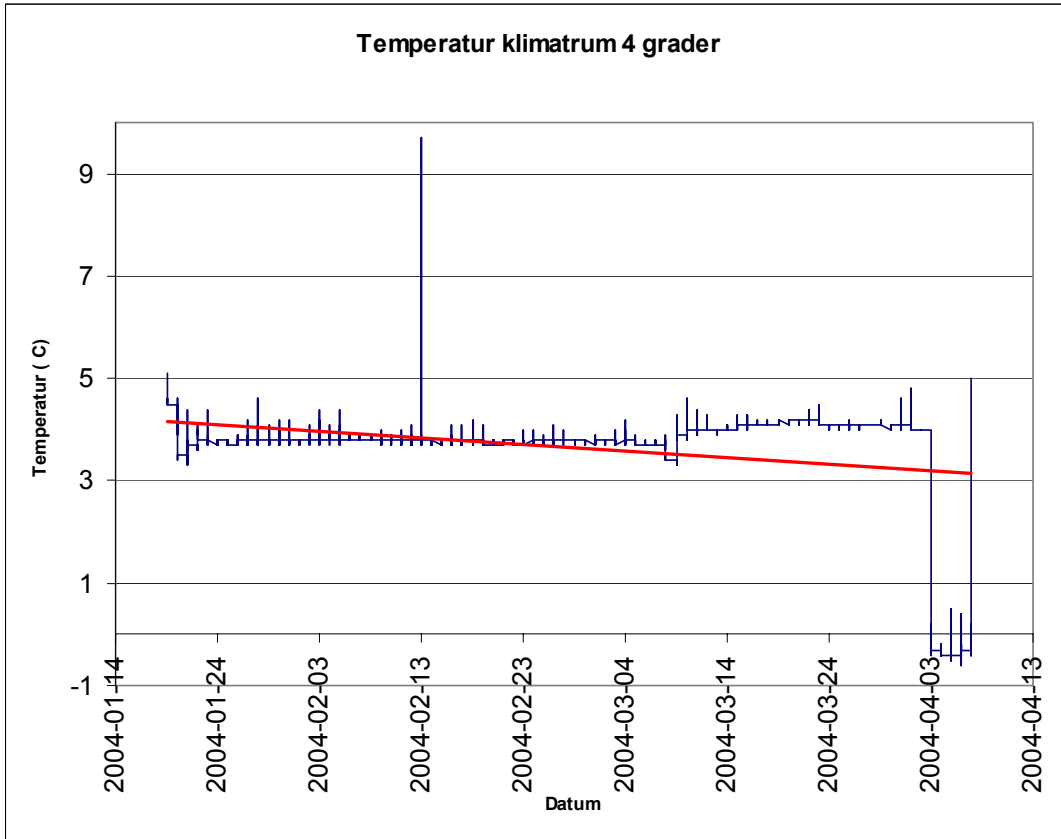
Plastisk krympning vid 20grader och 50% RF enl. Delta L metod, Sammanställning



Bilaga F Klimat

Temperatur- och RF-kurvor för kylskåp (10°C), och klimatrum (4°C)





Bilaga G Utökad litteraturstudie

G.1. Bindemedel, sammansättning, funktion

G.1.1 Kalk

Bildande, typer och förekomst

Råmaterialet till kalk är kalksten som är en sedimentär bergart och som innehåller kalciumkarbonat, dessutom kan kalkstenen innehålla magnesiumkarbonat, aluminiumoxid och järnoxid. I Sverige förekommer kalksten som är sedimenterat under fyra olika geologiska perioder:

- kalksten från urberget
- kalksten från ordovicium
- kalksten från silur
- kalciumkarbonat från kritformationer

Ortocerkalksten från ordovicium, varierar i färg mellan gråbrun till smutsröd beroende på oxidationsgraden hos de ingående förorenande järnföreningarna. Denna kalksten kan också förekomma tillsammans med alunskiffer (Närke, Öland) som också tjänstgör som bränsle vid kalkbränning.

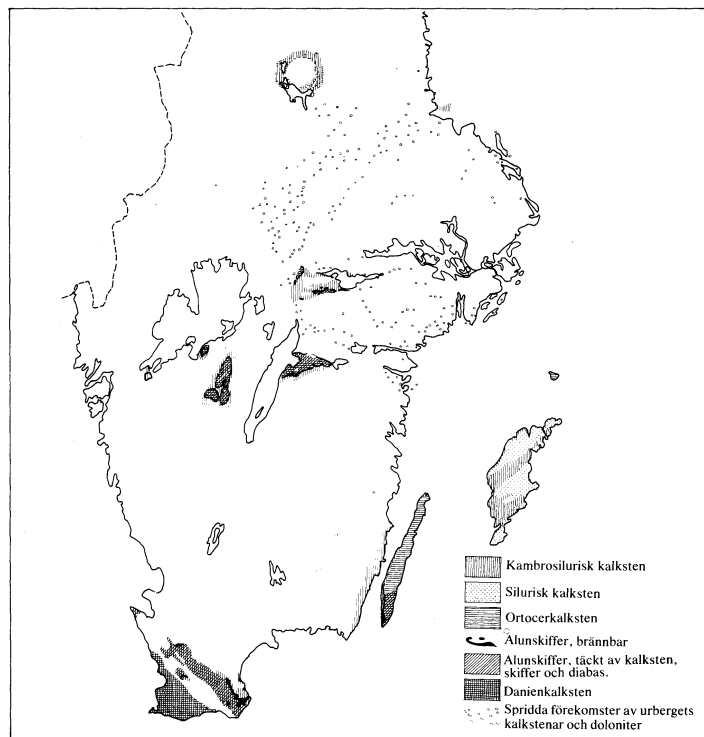
Ortocerkalksten innehåller ca 80 % CaCO_3 .

Silurkalksten finns huvudsakligen på Gotland och är synnerligen ren (96-98 % CaCO_3) och används för kalk- och cementtillverkning i Slite.

Den rena kalkstenen (Skåne) (kritkalk, marmorkalk,

calcitkalk) används framförallt till kalktillverkning (luftkalk), medan den mer förorenade (ortocerkalksten) ger vid bränning hydraulisk kalk (Tepfers, 1999).

Kalciumkarbonat som mineral är vanligast som calcit, men förekommer även som aragonit och vaterit Jämtland samt i Skåne (kritakalksten). Förutsättningarna för att kalkstenen skall ge bra kalk efter bränningen varierar kraftigt mellan olika åldersnivåer



Figur G.1 Kalkstensförekomster i södra och mellersta Sverige

eller lägen inom naturformationen (Hidemark, Holmström 1984). Exempelvis kunde kalksten från nordöstra Gotland ge bra kalk, men tillsynes likadan kalksten från Katthammarsvik på Gotland, gav dålig kalk efter bränningen. Där skillnader i innehållet i kalksten inverkar i hög grad på vilken kalkkvalitet som fås efter bränningen.

Näringsgeografin är en andra aspekt som i hög grad har styrts av den koncentration av bestämda geografiska områden där kalksten fanns att bryta. Även transportsystem och byggnadstradition som t.ex. vad husen byggdes i, hur höga etc. har påverkat var och hur kalknäringen etablerade sig. Områden där ingen kalksten fanns (Norrland, Halland, Blekinge) tvingades till import. Man kan märka en ökad import på 15-1700-talet av både kunskap och material t.ex. från Gotland, Livland. Exporten var särskilt betydande för Skåne, Gotland och Öland, men där hela östersjöregionen var handelsplatsen under denna tid.

I naturen förekommer krita, marmor och kalksten. Samtliga dessa stenar används som utgångsmaterial för kalkframställning. Man skiljer kalksten åt som kristallin, metamorf samt sedimentär bildad beroende på i vilken miljö den åldrats i. Följande indelning av sedimentära typer av kalksten efter deras bildande kan också göras (Berntsson, 2003):

- Kemiska sediment – liten grupp av kalksten som inbegriper utfällning av kalciumkarbonat (CaCO_3) löst i vatten, dvs. befinner sig kalciumkarbonatet som lösligt kalciumvätekarbonat [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$].
- Organiska sediment – största gruppen av sedimentära kalkstenar som bildats av rester från levande djur och växter som innehåller kalkskal, kalkskellett, koraller mm. från havet.
- Klastiska sediment (metamorf) – bildas genom omlagringar, nedbrytning och omvandling av de två ovan nämnda typer. Exempel på dessa är marmor, travetin, krita.

Kalktyper

Kalken som användbart bindemedel till puts och bruk förekommer dels som bränd eller *osläckt* kalk (kalciumoxid), och dels som *släckt* kalk (kalciumhydroxid). Det förekommer även två huvudtyper av kalk i den praktiska användningen, dels lufthårdnande kalk och dels hydraulisk kalk.

Lufthårdnande kalk (luftkalk) - består huvudsakligen av kalciumkarbonat och erhålles efter bränning av ren kalksten.

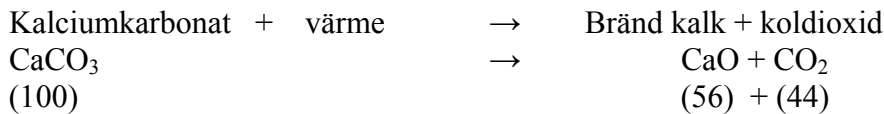
Hydraulisk kalk – Förutom innehållet av kalciumkarbonat innehåller den främst silikater, aluminater och järnoxider (sammanlagt ca 15-20 %) beroende på råmaterialet och vad man bränner kalken tillsammans med.

Bränning

Upphettnings av ren kalksten så kalciumkarbonatet övergår till kalciumoxid och koldioxid kallas bränning och sker när kalkstenen blir glödande. Temperaturen ligger kring 700-1100°C. Vid bränningen bildas hålrum och kapillärer efter koldioxiden dit vatten snabbt tränger in vid den s.k. släckningen. Porositeten är stor hos bränd kalk mellan 35-55 %, beroende på en ökande bränningsgrad, dvs. under den tid själva bränningen pågår, men

för den skull inte högre temperatur men där längre bränningstid medför ökad porositet. Men den yttre krympningen är relativt liten. Densiteten för mineralet kalcit är 2710 kg/m³.

Reaktioner vid kalkbränning med tillhörande molvikter



Samband G.1 (Berntsson, 2003)

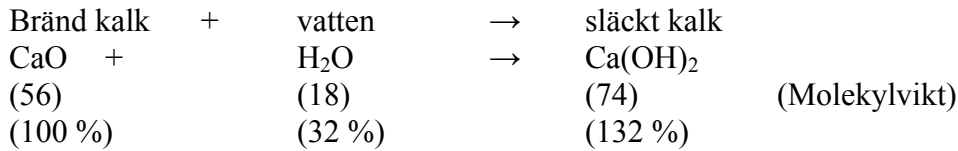
Den medeltida kalkbränningen gjordes troligen i milor, dvs. man varvade bränsle och kalksten i en grop eller ugn. Bränslet var oftast ved men kan i oljeskifferområden även ha varit skiffer.

Bränningstiden och bränningstemperaturen samt kalkstenens egenskaper avgör egenskaperna hos den brända och den släckta kalken. Vid en lång bränning (ca en vecka) vid relativt låg temperatur fås ett porösare hårdnat kalkbruk som karbonatiserar lättare (Hidemark, Holmström 1984). I dag på Gotland drivs kalkugnar som det har gjorts under hela 1900-talet där kalksten bränns i en enkel fältugn som tar ca 14 ton råsten. Under tre dygn sker bränningen med ved som bränns underifrån tills det att all sten är rödglödgd och röken ofärgad.

Pulverkalken idag bränns i roterande ugnar eller schaktugnar med noggrann temperaturkontroll. Allt för att undvika att kalkstenen blir ofullständigt bränd eller lika viktigt att den inte blir s.k. dödbränd då temperaturen är för hög (Avén Red., 1977). Från stora brott där man krossar kalkstenen förs stenen till anläggningar där den osorterad upphettas i ugnar.

Släckning

Med släckning menas den brända kalciumoxidens reaktion med vatten. Resultatet, kalkhydratet, blir ett pulver eller deg beroende på mängden vatten i släckningen. Därav förekommer både *våtsläckt* (deg) och *torrsläckt* kalk (pulver). Den våtsläckta släcks med ett överskott på vatten medan torrsläckt släcks med exakt så mycket vatten släckningen kräver. Kompaktdensiteten förändras vid släckning från ca 3350 kg/m³ för CaO till 2240 kg/m³ för Ca(OH)₂. Även kornstorleken minskar då den sönderfaller till ca 2µm vid släckningen. Släckningen frigör även en stor energimängd t.ex. 1 g CaO ger 1170 joule (Berntsson, 2003). Våtsläckning ger i regel finkornigare kristaller än med torr släckning, särskilt utpräglat blir detta om släckningen sker långsamt (Hidemark, Holmström 1984). Långsam släckning kan ske då den brända kalken läggs i en grav i marken där den får reagera på markfukt och grundvatten, s.k. *gravsläckt* kalk. Våtsläckt kalk blir mer smidig och lättarbetad närmast tixotropa egenskaper tillskillnad mot torrsläckt som kan förbli ganska ”kort” tillsammans med vatten om den lagras länge (Hidemark, Holmström 1984). Släckningen sker enligt följande samband:



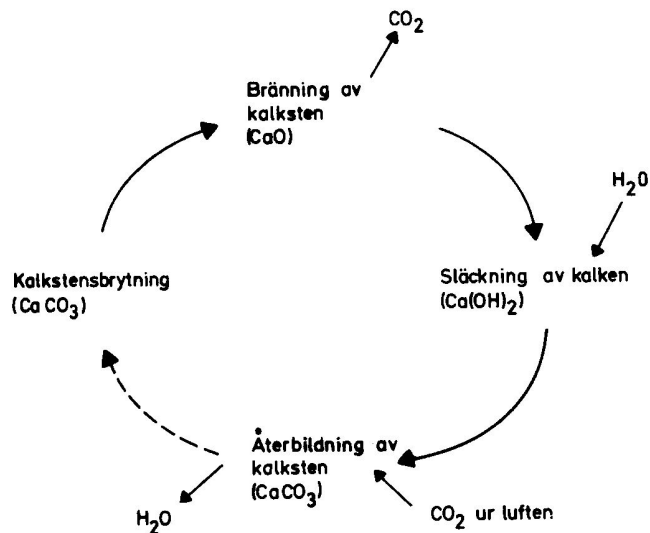
Samband G.2 (Berntsson, 2003)

Dagens fabrikstillverkade kalk släcks direkt efter bränningen maskinellt. Man avpassar vattenmängden så att den blir nära den teoretiska (vattenöverskott på 10 %) och resultatet blir ett torrt pulver, kalciumhydroxid. Efter släckningen vindsiktas kalken och de grövre partiklarna mals. Den släckta kalken skall minst innehålla 80 % kalciumhydroxid (Avén Red.,1977). Koldioxidhalten får uppgå till högst 5 % vilket skulle motsvara maximalt ca 11 % CaCO₃, enligt samband G.1.

AMS Gotlandskalk släcks med överskott av vatten i stora plåtkar, där den brända kalken röres ut som en välling. Graven där den gravsläckta kalken släcks och lagras i mellan 0.5-10 år, består av sand. Åldern påverkar inte nämnvärt vattenhalten. Dock avskiljs ca 5-10 % fritt vatten under transporter vilket det inte gör hos kalker med låg vattenhalt som t.ex. för stukasläckt kalk, som också förekommer hos Gotlandskalken. Denna släckta kalk ger lägre vattenhalt och därmed möjlighet till fetare blandningar än kalk släckta enligt andra släckningsmetoder. Med *stukasläckt* kalk, menas kalk som släckt genom att den släckta kalken övertäcks med sand varefter sanden långsamt bevattnas. I litteraturen talas det om långa släcknings- och lagringstider där 7 år är ett minimum då alla svårläckta partiklar eller klumpar av osläckt kalk hinner bli omvandlade (Hidemark, Holmström 1984).

Släckningsmetoderna långt tillbaka i tiden är okända, men från 1700-talets litteratur talas det om lagring och gravsläckning, men också om att kalken användes direkt efter släckningen. Man har också funnit medeltida kalkgravar med användbar kalkdeg vid flera kyrkor.

Figur G.2 beskriver kalkens väg från brytning till färdig karbonatiserad byggnadsdel, vilket innebär en återgång till ursprunglig kalksten som vid brytningen.



Figur G.2 Kretsloppet för kalk, från brytning till återbildning vid användande av kalkbruk. (Burström, 2001)

Hårdnandet

Hårdnandet är en långsam process där den släckta kalken omvandlas vid kontakt med luftens koldioxid till kalciumkarbonat, vilket ofta benämns som karbonatisering.

Beroende på hur lätt koldioxiden kan nå in till den okarbonatiserade kalciumdioxiden beror på hur lång tid ett kalkbruk hårdnar. Här kan faktorer som brukets porositet och fuktighet samt konstruktionens vägg tjocklek, ytbeläggning och murstenstyp påverka karbonatiseringsförloppet.

Luftkalkbruket hårdnar i två steg. Först försvinner överskottsvattnet genom att sugas upp av murbruket eller avdunsta. Vid uttorkningen faller löst kalciumhydroxid ut som kristaller och binder kalken. Denna torkade massa av sandkorn sammankittade av kalciumhydroxidkristaller, dvs. bindemedlet är fortfarande vattenlösligt och ömtåligt och kan således tvättas ur, innehåller porer som uppstått av att vattnet försvunnit.

Tryckhållfastheten genom enbart uttorkning kan uppgå till ca 0.1-0.3 MPa (Tepfers, 1999). Denna hållfasthet uppnås även då fet lera torkar ut.

Andra steget i hårdnandet är när den torkade kalkbruket av kalciumhydroxid och sand reagerar kemiskt med koldioxid. Bindemedlet omvandlas då till kalciumkarbonat dvs. kalksten som också var ursprungsprodukten. Detta är ofta en långsam process som kan ta flera år beroende på hur lätt koldioxiden kan tränga in i bruket.

Undersökningar på VTT i Finland visar att ett eventuellt tredje steg i kalkbrukets hårdnande äger rum. Detta tredje steg innebär en omkristallisation av karbonatet (Hidemark, Holmström 1984). Detta skulle ge följande steg i hårdnandet

1. Torkning
2. Karbonatisering
3. Omkristallisation

Det visade sig under karbonatiseringsskedet att kristallerna hade i huvudsak långsträckt form i bildandet av ett sprött skelett tillsammans med sandkornen. Under inverkan av vatten förändrade kristallerna till en mer samlad och kompakt form, där själva skelettet blev kraftigare. Orsaken antogs vara att resultatet av de bruksprover som lagrades i hög luftfuktighet (90 % RF) som fick högre sluthållfasthet än de som var lagrade i lägre fuktighet (70 % RF). Det hade stor betydelse hur bruksproven hade tillverkats och lagrats, där ett sugande underlag gav ovan resultat, medan där icke sugande underlag resulterade i att styrkeförhållandet blev det omvända och totalt sett lägre. Samtliga prov var karbonatiserade. Detta skulle innebära att en växling mellan uttorkning och genomfuktning skulle vara positivt under och efter karbonatiseringstiden.

Hindersson visade i sina försök från 50-60-talet att karbonatiseringshastigheten har stor betydelse på sluthållfastheten. Provkroppar med sammansättning K1:8 fick mer än dubbelt så hög hållfasthet vid en hastig jämfört med långsam karbonatisering, där en hastig karbonatisering åstadkoms med en förhöjd CO₂-halt (Hidemark, Holmström 1984).

Porvolymen hos hårdnat bruk är beroende av det färska brukets luftporhalt och vattenhalt. Porstrukturen, hur fördelningen mellan stora och små porer ser ut samt hur dessa är sammanbundna är avgörande för brukets fuktegenskaper, luftgenomsläpplighet och hållfasthet. Porstrukturen påverkas av luftporhalten, proportionen mellan bindemedel och sand, sandens form och korngradering, kalkens egenskaper, underlagets sugning,

uttorkningshastigheten, temperaturen när kristallerna växer påverkas av luftporernas storlek och av kalciumkristallens form. Det krävs att temperaturen inte är för låg ($>4^{\circ}\text{C}$), eller att det är ett för fuktigt eller torrt klimat. Koldioxiden skall vara löst i vatten när den reagerar med kalciumhydroxiden. Kalciumhydroxiden måste gå igenom vattenfas för att omvandlas till kalciumkarbonat där dessutom vatten nybildas. Ett allt för fuktigt klimat där porerna fylls hindrar dock koldioxiden att tränga in i bruket så karbonatisering kan ske. De fördelaktigaste betingelserna för att karbonatisering sker i praktiken bäst i området kring 50-60 % RF och temperaturen mellan $10-15^{\circ}\text{C}$ (Berntsson, 2003). Andra källor hävdar att optimal luftfuktighet ligger mellan 65-75 % RF (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

G.1.2 Hydrauliskt kalk

Bränning och släckning

Hydraulisk kalk som är ett mellanting mellan kalk och cement framställs oftast genom bränning av lerhaltig kalksten eller kalkmargel. Detta gäller även för portlandscement men med skillnaden att materialet inte sintrar då hydraulisk kalk bränns. Bränningstemperaturen ligger kring 900°C och strax där över. Förutom att CO_2 frigörs vid bränningen och att Kalciumoxid bildas, bildas även ytterliggare hydraulisk reaktiva produkter som aluminater, kiseldioxid och järnoxider. Förhållandet mellan kalk och dessa ämnen bestämmer egenskaperna hos den hydrauliska kalken som kännetecknas eller indelas som svagt, normalt och starkt hydrauliska. Följande gränser brukar anges

Luftkalk $M < 0.18$

Svagt hydraulisk kalk $0.18 < M < 0.33$

Starkt hydraulisk kalk $M > 0.33$

Där M, Hydraulisk kalkmodul =
$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{AlO}_3 + \text{FeO}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}$$

Samband G.3 (Tepfers, 1999)

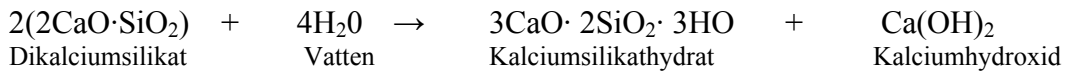
Hydraulisk kalk har ofta bränts tillsammans med oljehaltig skiffer som ofta förekom vid aluntillverkning. Skiffern inblandades då i den brända kalken som gav bruk som angrep portlandscement.

Släckningen sker på liknande sätt som för luftkalken och behövs oftast inte malas om inte kalkhalten är låg och en stor del kalciumoxiden är kemiskt uppbunden. Det är bara luftkalk som kan våtsläckas. Hydraulisk kalk skall minst innehålla 60 % kalciumhydroxid och 6 % kiseldioxid. Koldioxidhalten får högst vara 5 % (Avén Red., 1977). Andra källor anger en högre kiselhalt ca 10-15 % (Malinowski, 1998). Detta kan innebära att kiselhalten kan skifta relativt mycket.

Hårdnandet

Kalciumhydroxiden det hydrauliska bruket reagerar på samma sätt som luftkalken gör, men till skillnad från luftkalken fortsätter den hydrauliska kalken att omvandlas kemiskt av det tillsatta vattnet och bildar kalciumaluminiumsilikater. Gelbildningen är dock inte lika utpräglad som portlandscement. Efter omvandlingen till kalciumkarbonat kan

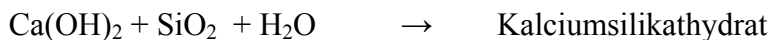
bindemedlet betecknas som vattenfast. För hydrauliska kalker där kalciumhydroxiden reagerar med kiseldioxiden bildas nya ämnen med långa sammanhängande polymer, och innan kalciumhydroxiden har karbonatiserat då den är löslig i vatten kan en omlagring göras såsom att läka sprickor genom lämplig bevattning (Berntsson, 2003). Den viktigaste förekommande kalciumsilikatet reagerar enligt följande samband:



Samband G.4 (Berntsson, 2003)

Den nybildade kalciumhydroxiden kommer att karbonatisera liksom så småningom även kalciumsilikathydratet. Gelbildningen enligt ovan sker relativt snabbt (timmar, dagar) medan karbonatiseringen sker långsamt (veckor, månader). Strukturen vid gelbildningen liknas vid ett rymdnät där styrkan ökas med större täthet och finmaskigare vilket erfås med större del av hydrauliska beståndsdelar. Kapillärerna ligger i storleksordningen 10^{-6} m för luftkalk. För hydraulisk kalk är storleken kring 10^{-9} m. Kapillärstorleken styr deformationer som bildas av kapillärkrafterna. Vid förändrat fuktinnehåll uppstår längdändringar (krympning och svällning). Större kapillärer ger mindre spänningar vilket ger fördel åt kalkbindemedlet i avseende på sprickbildning och beständighet (Berntsson, 2003). Hydraulisk kalk skall hållas fuktigt från början så de hydrauliska reaktionerna och bindningarna utvecklas optimalt. En uttorkning i tidigt stadium går inte att fullt återställa med en senare uppfuktning (Berntsson, 2003).

Kalk med puzzolan är en reaktion mellan kalk och silikater och aluminater som fungerar som bindemedel utan föregående bränning. Denna kunskap nyttjades av romarna för tillverkning av s.k. romersk betong för sina akvedukter hamnar etc. Puzzolan kan vara mald pimpsten, bränt tegel, flygaska och kiselstoff. Namnet puzzolan kommer från romartidens Puteoli, en plats utanför Neapel där vulkanisk aska hämtades och som visade sig vara reaktiv bränd och släckt kalk. I princip är den viktigaste reaktionen följande:



Samband G.5 (Berntsson, 2003)

G.1.3 Cement (portlandscement)

Såväl låghållfasta som mer hållfasta murbruks bindemedel kan bestå av någon del cement. Vanligast är KC-bruket där luftkalk och cement blandas för att ge ett bruk som påminner om ett bruk med den hydrauliska kalkens egenskaper. Cementen tillverkas genom upphettning av mald lerhaltig kalksten eller en blandning av kalksten och lera tills den sintrar, dvs. nästan smälter vid ca 1400°C. De sintrade kornen mals till ett fint pulver som vid kontakt med vatten reagerar intensivt och omvandlas till konstgjord sten, kalciumaluminiumsilikat, detta benämns som hydratation. Den efter bränningen nybildade cementklinkern består av olika mineral (kalciumsilikater, -aluminater och järnhaltiga föreningar) som i sin tur reagerar med det tillsatta vattnet. Flera olika kemiska reaktioner inträffar, den viktigaste vid tidig hållfasthetsutveckling är:



Samband G.6 (Burström, 2001)

När cementpastan reagerar med vattnet bildas en extremt finporös cementgel som omger cementkornens yta. Eftersom gelen är porös och innehåller vatten kommer dess volym att vara större (storleksordningen 10^{-9}

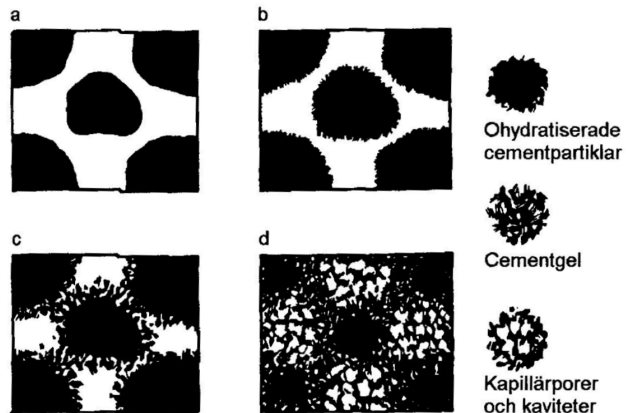
m), än den volym av cementkornet som reagerat. När reaktionen mellan cement och vatten fortgår fylls alltmer porutrymmet mellan cementkornen ut av cementgel. Detta medför samtidigt att cementpastan blir alltmer tätare och starkare. Efter några månader återstår fortfarande kärnor av ohydratiserat cement. Cementgelen förmår inte fylla allt porutrymme utan lämnar hålrum, kapillärporer, som är grövre än gelporerna. Ju större vattenhalt, desto större blir mängden kapillärporer, samtidigt som permeabiliteten på cementpastan ökar kraftigt. Det blir även en minskning av hållfasthet, beständighet samt en ökad krympning av en ökad mängd av kapillärporer p.g.a. ett vattenöverskott. Det tillsätts även små mängder gips för att reglera bindningstiden för portlandscement. Genom att variera cementets kemiska sammansättning och malningsfinhet kan flera olika portlandscement framställas:

- Långsamhårdnande (LH) - lägre aluminat- och kalkhalt
- Normalhårdnande (Bygg, standard)
- Snabbhårdnande (SH) – mer finmalning

G.1.4 Ballast

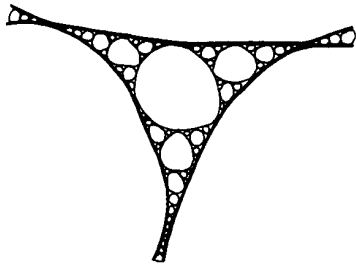
Från äldre tiders murning och putsning har undersökningar visat att oftast har sanden kommit från den lokala platsen. Man skiljde mellan sjösand och gropsand, där gropsanden var att föredra. Antagligen för att den innehöll mer finkornigt material och var fri från havssalter, dock kunde den innehålla humusämnen som kan påvisas genom prov med NaOH. Humusämnen kan försämra brukens kvalitet och hämma brukets hårdnande (Tepfers, 1991) och därmed kan få försämrade hållfasthet. Även sanden kunde ersättas av t.ex. krossat tegel visar puts från 1600-talet. Sedan 1950-talet har ofta krossad kalksten tillsammans med natursand utgjort ballasten för putsbruk vilket gav en ljusare puts, samt att kalkstenen (dolomit) påskyndade hårdnandet och gav ett hållbarare slutresultat. Sand av t.ex. täljsten, skiffer eller sten med hög glimmerhalt är inte lämpligt som ballastmaterial för bruk. Lämpliga material är gnejs, granit, kalksten och kvarts.

Sandens kornform påverkar i hög grad arbetbarheten samt brukets mekaniska egenskaper. Skarpkantat, särskilt krossat sten försämrar smidigheten och där långa flisiga korn skapar



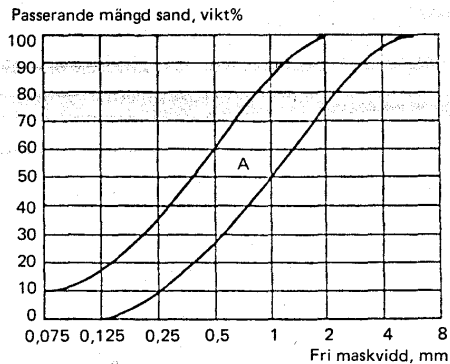
Figur G.3 Strukturutveckling hos cementpastan. a) Direkt efter blandning, b) Efter några minuter, c) Vid bindning, d) Efter några månader (Burström, 2001)

oregelbundna hålrum som försämrar hållfastheten. Bästa kornform är runda och släta korn som fyller hålrum och glider lätt. Det krävs även en jämn kornfördelning av alla kornstorlekar som bildar ett kompakt skellett och som kan limmas ihop av minsta möjliga mängd bindemedel. Då ökar hållfastheten, och krympningen och risken för sprickbildning. Vid brukets uttorkning minskar krympningen eftersom sandkornen stöder varandra med mindre hålrum och bindemedel som krymper mellan kornen. Ett större överskott hos en viss fraktion kräver i regel mycket bindemedel och vatten. Vid feta bruk mer än 1:3 har sandkornen sällan kontakt med varandra då fungerar sanden mer som utfyllnad och bindemedlet får därmed större betydelse för brukets olika egenskaper (Hidemark, Holmström, 1984). Idealiserad kornfördelning kan illustreras som figuren nedan.

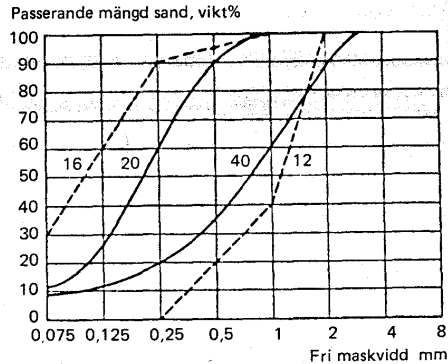


Figur G.4 Idealballast fyller ut hålrummen maximalt (Burström, 2001).

Ytterligare krav på sand är att kornens sammanlagda specifika yta bör vara minsta möjliga. Eftersom detta innebär en reduktion av bindemedelslim som fungerar som glidskikt mellan kornen, där de mindre korn har större yta i förhållande till sin volym. Därför är det viktigt att fillerhalten (filler <0.075mm) viktigt att den inte blir för stor. Bli fillerhalten för stor pressas sandskelettet isär vilket hålrumsvolymer ökar. Det har dock visat sig att en viss fillerhalt medför att man kan reducera bindemedelshalten (Saretok, Duhrkop m.fl.1966). Stora sandkorn i en sand innebär mindre hålrumspåcent för samma vikt, dessutom reduceras sandens sammanlagda yta vilket innebär att stora korn är en fördel. Dock bör inte större korn som användas till puts- eller murbruk överskrida 1/3-1/2 av puts- eller fogtjockleken (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). BKR anger 1/3 av puts- eller fogtjockleken (Cajdert, 1996). I BKR anges för normala fogtjocklekar (< 15mm) sandens siktcurva enligt figur G.4 nedan, där ingen fraktion överstiger 35 % av den totala vikten. Speciella ballastmaterial kan användas om speciella egenskaper eftersträvas t.ex. bättre värmeisolering, beständighet mot kemikalier eller värme. I sådana fall kan exempelvis ballast av sågspån, perlit, cellplastkuler, lättklinker eller tegelkross användas (Burström, 2001).



Figur G.5 Gränskurvor för mursand till ca 15 mm fogar (Avén Red., 1977)



Figur G.6 Samband mellan sandens kornfördelning och hållfasthet hos bruk. Siffrorna på korngrederingskurvorna anger tryckhållfastheten hos KC50/50/650 framställt med sand motsvarande kurvan (Avén Red., 1977)

G.1.5 Tillsatsmedel

I dagens fabrikstillverkade bruk ingår oftast en eller flera tillsatsmedel som är ofta av samma typ som för betong. De flesta produkter är sammansättningen i detalj hemlig, men ofta väldigt små mängder som är svåra att tillsätta på arbetsplatsen tillsätts mer eller mindre i bruket. Överdoserings kan få allvariga konsekvenser, men väl använt skall tillsatserna syfta till att förbättra en eller flera egenskaper hos bruk (Burström, 2001).

Luftporbildande medel – Förekommer i praktiskt taget alla fabrikstillverkade bruk och blandas direkt in i bindemedlet. Det organiska skumbildande medlet tillsätts i små mängder och har som avsikt att fördela en stor mängd små luftbubblor i det färska bruket. I det färska bruket fungerar luftporbildaren som glidmedel och förbättrar smidigheten och arbetbarheten vilket är fördelaktigt. Luftbubblorna gör att vattenhalten kan minskas, vilket minskar krympspänningarna av det bortförda vattnet, samt att E-modulen sänks. I det hårdnade bruket bildar hålrummen efter bubblornas porer som förbättrar frostbeständigheten. Men en hög porhalt ger lägre hållfasthet vilket man bör vara uppmärksam på. Vidare fördelar med luftporbildare kan vara att underlätta karbonatiseringen, eftersom bruket blir mer poröst. Trots ett mer poröst bruk, kan med hjälp av lufttillsatsen ge ett mer regntätare bruk, p.g.a. att sprickrisken minskar (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Men till en viss gräns, annars kan det bli motsatt riktning om 18-20 % gränsen överskrids. I BBK maximeras lufthalten för murbruk till 25 %.

Plastiseringsmedel – Ingår ofta i de fabrikstillverkade bruk, där man förbättrar brukets smidighet utan att öka luft- eller vattenhalten. Här finns två typer (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966):

- *Ytaktiva ämnen*, som verkar dispergerande eller ytspänningsnedsättande. Det innebär att olika bindemedel- och ballastkorn får lika laddning och därmed stöts ifrån varandra vilket ger ett homogent bruk samtidigt som vebe-talet som beskriver konsistens, kan reduceras. Eller att materialen lättare kan komma i kontakt med varandra varigenom smidigheten förbättras.

- *Gelbildande ämnen*, vattenlösliga cellulosa derivat som gör att bruket verkar fetare och minskar vattenseparationen.

Acceleratorer – Används vid låga temperaturer för cementhaltigt bruk för att härdningen skall påskyndas. Består ofta av kalciumklorid, men detta kan medföra risk för saltutslag och korrosion (Burström, 2001).

Retardatorer – Ger motsatt effekt jämfört med ovanstående. Används vid cementhaltiga bruk där långa transporter av färdigt bruk fodras eller arbete vid höga temperaturer (Burström, 2001).

Frostskyddsmedel – Det vanligaste medlet är etanol. Vid en tillsats av 1 liter denaturerad sprit per 100 liter bruk fås en frysnedsettning med 2-3°C. Det är ej skadligt för kalkrika bruk och används i vintertid för att undvika frostsador speciellt under brukets tidiga ålder. Det finns även salter med frostskyddande verkan, men dessa har biverkningar som t.ex. minskad hållfasthet, saltutslag, hygroskopiska fogar eller puts. Dessutom finns det risk för korrosion för metaller som har kontakt med det hårdnande bruket (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Vattenavvisande medel – hindrar vatten att kapillärt sugas in i bruket, men tillåter samtidigt vattenånga att transporteras genom bruket. Består i huvudsak av silikon- och stearatbaserade medel. Dagens medel har mycket god alkalibeständighet och bibehåller sin funktion under lång tid, tillskillnad mot de tidiga vattenavvisande medlen som kom på 1950-talet (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

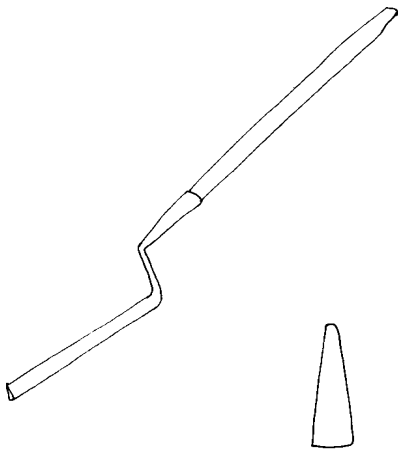
Pigment – Pigment används framförallt till färgsättning av ytputs eller fogbruk. Pigment som används tillsammans med kalk eller cement måste vara alkalibeständiga dvs. ”cement- kalkäkta”. Vidare skall pigmentet vara ljusbeständigt med god färgningsförmåga eftersom pigmenthaltens övre gräns ligger kring 5 -8 % av bindemedelsvikten (vid högre pigmenthalt skulle innebära för stort vattenbehov, och därmed risk för krympsprickor och en hållfasthetsförsämring), (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966). Pigment skall inte innehålla några vattenlösliga salter som kan ge saltutslag. Pigment är huvudsakligen metalloxider. Exempel på pigment är järnoxidgult, rödockra, manganblått, kromoxidgrönt, järnoxidbrunt, titanvitt, krita (vitt).

Gamla tiders tillsatser – har varit av olika slag, dels organiska som fisk, djurdelar, öl, vin, ägg etc. och dels oorganiska såsom lera, krossat tegel, alun, vedaska, masugnslagg etc. Syftet har ibland varit uttalat men oftast ganska oklart. De organiska ämnena har ansetts ge hydrauliska egenskaper, men t.ex. krossat tegel och lera är detta osäkert om denna effekt uppnåddes (Hidemark, Holmström, 1984). Leran kan fungera effektivt som smidighetsförbättrande medel, men om detta var avsikten vet man inte. Det är oklart om hur de organiska ämnens verkliga funktion, men tillsatser av gelatin och limämnen som finns t.ex. i öl kan fungera som skumbildare. Även äggviteämnen som finns i djurdelar är ju utgångsmaterialet för några av dagens tillsatser (Hidemark, Holmström, 1984).

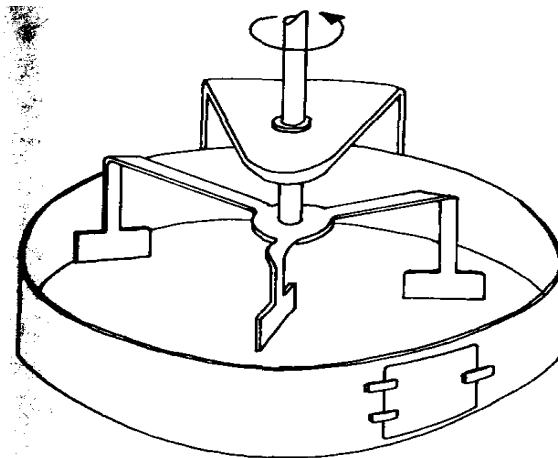
G.1.6 Tillredning

Dagens brukstillverkning görs med maskinblandare. I allmänhet är det fabriksstillverkade torrbruket dominerande där alla ingredienser utom vatten ingår och transporteras säckvis eller i torrbrukscontainrar. Vid restaureringar och mindre arbeten blandas bruket på platsen i en frifallsblandare eller en motströmsblandare. Proportioneringen sker ofta med hjälp av volymmått vilket inte är att föredra. Vid tillredning av kalkbruk innan andra världskriget utgick man från en kalkvälling av viss konsistens och tillsatte därefter sand tills man fick lämplig arbetbarhet. Det kunde därmed variera en hel del, men det har visat sig för kalkbruk att proportionen bindemedel och sand inte är så känsligt för tryckhållfastheten som det är för det cementhaltiga bruket (Hidemark, Holmström, 1984). Gamla tidens blandning med piska var, även om det inte var så intensivt som dagens blandningsutrusning, en utmärkt metod att arbeta in sanden i kalkdegen samtidigt som luft ”slogs” in i bruket. Brukspiskan såg ut som en ishockey klubba där nedre delen var av järn med ett rektangulärt tvärsnitt. Brukspiska är speciellt lämplig för kalkbruk och möjliggör feta blandningar men är inte speciellt lämplig för dagens cement baserade bruk (Hidemark, Holmström, 1984).

I tvångs- respektive frifallsblandarna bör bindemedel och ballast torrbländas innan vatten tillsätts, blandningstiden räknas från då alla delmaterial är sammanförda. Blandningstiden för dessa blandare ligger kring 7-10 minuter. Finns även andra blandare t.ex. aktivator som under hög hastighet blandar samman alla delmaterialen samtidigt (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).



Figur G.7 En s.k. piska för bearbetning av kalkbruk. Slaganss sektion var triangelformad nedtill medgav en största stötyta vid nedslaget och upptill en egg för återdragandet av piskan ur bruksmassan (Hidemark, Holmström, 1984)



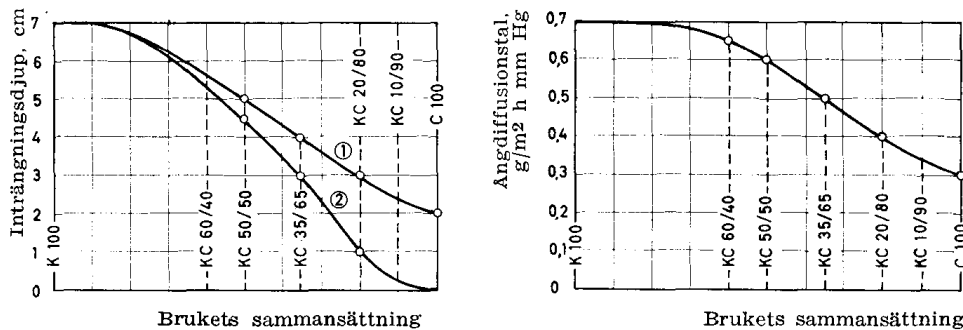
Figur G.8 Tvångsblandare (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966)

G.2. Ytterliggare egenskaper

G.2.1 Hårdnat bruk

Fuktegenskaper

Vattentätheten är brukets eller putsens förmåga att motstå vattentryck eller att vara tätt mot slagregn. En ökad cementhalt förbättrar vattentätheten avsevärt till en viss gräns, medan bruk med låg cementhalt har cementet liten inverkan. av en för hög cementhalt uppstår krympsprickor vilket leder till kraftigt minskad vattentäthet. Även en snabb uttorkning som gör att puts blir porös hämmar tätheten mot vatten. Vattentätheten beror även mycket på sandens korngradering samt hur väl blandat bruket är. Tillsatser av luft verkar inte negativt på vattentätheten om den inte lufthalten blir för hög max ca 18-20 %. Bruk med hårda tåtkrav bör lufthalten vara under 15 %. Tillsatser som hydrofoberingsmedel eller porfyllnadsmedel kan användas för att ytterliggare förbättra vattentätheten (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966).



Figur G.9 och G.10 Slagregnsinträngning och ångdiffusion genom olika putstyper vid en putstjocklek på 10 mm. Kurva 1 avser maskinblandat, kurva 2 aktiverat bruk (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

Diffusionstätheten förbättras med ökad bindemedelhalt och cementhalt samt minskar när bruk blir porösare. Dock är detta inte så tydligt fenomen som hos vattentätheten. Även här har korngraderingen i sanden betydelse. Det är viktigt att iaktta diffusionstätheten vid puts eller liknande ytbehandlingar eftersom denna egenskap påverkar mycket väggens uttorkning. Diffusionsmotståndet får aldrig bli för stort att uttorkning hindras (Saretok, Duhrkop m.fl. 1966). *Permeabiliteten* som uttrycker samma egenskap fast inverterad form dvs. genomsläppligheten i materialet, som styr hur lätt materialet släpper igenom eller diffunderar igenom fuktig luft. Det kan vara av stort värde att veta hur täta bruken är, vilket kan bero på mer än bara materialet, men ett K-bruk har mellan 2-7 gånger större permeabilitet jämfört med ett rent C-bruk, medan ett KC-bruk ligger någonstans däremellan (se ovan figur). Porstruktur, fukt och temperaturförhållanden kring materialet påverkar i hög grad permeabiliteten, t.ex. kan högre temperatur och större fukthalt öka genomsläppligheten (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

I stort finns två principer att skydda sig mot fukt i putsen, antingen regnrocksprincipen eller läskapperprincipen, vattenavvisande eller absorberande. Oavsett princip måste inifrån kommande puts kunna torka ut utåt. Detta försvåras av den senare, då höga fukthalter samt vattenlösliga salter finns eller kommer in i väggen. En puts blir ju aldrig fri från sprickor eller felaktigheter vilket gör den täta putsen sämre och skyddar mindre

från slagregn, även om laboratorietester påvisar motsatsen där man ofta inte tar hänsyn till det praktiska fallet. Gammalt bruk och puts byggde på att kalkbruket som är mer grovporöst absorberade utifrån kommande vattnet, men diffunderade bort det lätt när väl uttorkning kunde ske vilket är säkert ur fuktsynpunkt. Att påföra tät puts på absorberande puts eller underlag är olämpligt.

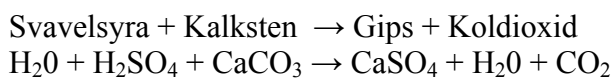
Kalkbruk/-puts är mer porös än dagens KC-bruk/-puts, men båda är mer finporösa (tätare) än tegel men porösare än t.ex. gasbetong (Hidemark, Holmström, 1984).

Korrosionsskydd och beständighet

I samband med armerade murverk eller puts är det betydelsefullt att skydda armering från korrosion. Ett högt pH-värde samt ett tätt bruk utan sprickor är då lämpligt. Enligt Saretog uppfylls detta krav bäst med cementrika och kalkfattiga bruk.

Beständighet mot saltkristallisation fodrar lämplig porstruktur och mekanisk styrka. Orsaken till saltvittringsskador är inte beroende av brukens/putsens egenskaper, utan beror på t.ex. onormal tillförsel av fukt och på uttorkningsförhållanden. Däremot beror det på putsens egenskaper var skadan sker. Putsens porstruktur i förhållande till underlaget och i förhållande till omgivande klimat avgör om putsen offeras eller murverket. Dock vet man lite om hur porstrukturen skall se ut, men oftast ger cementhaltiga bruk en vittring på underlaget medan kalkbruk offerar sig själv.

Kalkbruks beständighet mot surt regn (svavelsurt) beror på porstruktur, hållfasthet och karbonathalt. Kalciumkarbonat som kommer i kontakt med svavelsyrabemängt regn omvandlas till kalciumsulfat, dvs. gips som är svagare och mer vattenlösligare med större volym än kalciumkarbonatet. Bruk med hög karbonathalt, vid hög bindemedelshalt eller karbonatinblandning kräver större mängd surt regn än ett magert bruk med mindre hållfasthet. Följande reaktion sker med surt regn:



Samband G.7 Surt regn orsakar en kemisk reaktion (Saretok, Duhrkop m.fl., 1966).

G.3. Ytterligare provningsmetoder

G.3.1 Fukttekniska egenskaper

Vattentätheten kan bestämmas genom trattmetoden, där en bruksskiva utsätts för trycket från en vattenpelare med en viss höjd (100mm). Härvid kan bruksskivans vattengenomsläpplighet mätas. Man kan också simulera slagregn, där man utsätter en provvägg för konstgjort slagregn samtidigt som väggen påverkas av ett övertryck (vanligtvis 75 mm VP). Slagregntätheten anges sedan som viktökningen eller inträngningen efter en vis tid.

Kapillärsugningen simuleras genom att ytor kommer i kontakt med vatten, och där men som funktion av tiden väger mängden vatten bruksprovet suger upp. Exempelvis kan minutsugningen mätas som är en standardmetod för mursten. Mursten värms då upp i 105°C tills den är helt torr, för att därefter placeras i ett vattenbad som når 3mm upp på murstenen. Därefter vägs stenen och en viktökning som är lika med kapillärsugningen fås. Även mer fältmässiga metoder som bygger på samma princip kan ge bra upplysning om brukens olika kapillärsugförmåga.

Permeabiliteten mäts ofta i g vattenånga som passerar 1m² av materialet under en timme, då tryckfallet är 1mm HG. Tjockleken på materialprovet kan också anges. I princip finns det två olika sätt att mäta permeabiliteten, antingen då provkroppen placeras mellan olika klimatparametrar som i ett koppförsök, där man väger hur mycket vatten diffunderar igenom bruksprovet under en viss tid. Koppen som är väl tillsluten innehåller en saltlösning så att man får en konstant fuktighet Ett högre ångtryck är här drivkraften. Under utjämnade klimatparametrar kan även permeabiliteten mätas t.ex. genom att påföra ett konstant tryck kvävgas igenom ett bruksprov från ett munstycke, under det man mäter flödet, se figur G.11 nedan. Permeabiliteten beräknas därefter enligt Darcy's lag nedan (RILEM Technical Committee, 1999).

$$k_g = \frac{2\mu P_1 Q_1}{(P_1^2 - P_2^2) G a^2} \quad [1]$$

Where:

- k_g gas permeability
[D; 1D = 0.9869x10⁻¹² m²]
- μ gas viscosity
[cp; 1cp = 1x10⁻³ N s m⁻²]
- P_1 injection pressure
[atm]
- P_2 outlet pressure [atm]
- Q_1 gas flow rate at injection
pressure [cm³ s⁻¹]
- G a dimensionless geometric
factor
- a radius of the seal area⁶

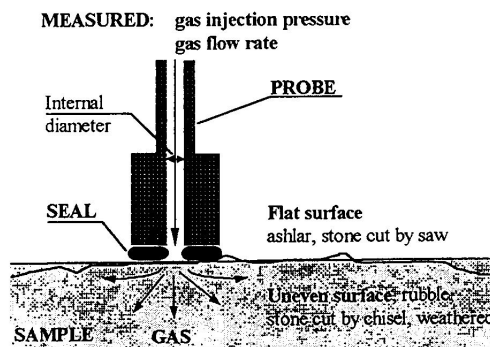


Figure 1: Portable probe steady state gas permeameter; principles of its operation.

Figur G.11. Princip för permeabilitets mätning med en mobilt munstycke där man under konstant kvävgastryck mäter flödet genom bruksprovet (RILEM Technical Committee, 1999)

Frostprovning sker ofta i samband med olika fukttekniska provningar där bruksprovet befuktas och utsätts för ett antal frysning- och upptyningscykler. Kontroll sker här efter om bruket spricker, faller sönder eller klarar belastningen men faller sönder efter utmattningsbrott.

G.3.2 Bindemedelanalys

Bruket egenskaper i färskt och hårdnat tillstånd beror bland annat på mängden bindemedel i bruket och bindemedlets sammansättning där framförallt halten kalciumoxid (CaO) och kiseldioxid (SiO₂) avses. Moderna lufthårdnande kalker innehåller ca 70 viktprocent CaO och ca 2 viktprocent SiO₂ (Raä, 1999). Hydrauliska kalker innehåller ca 60 viktprocent CaO och 5-20 viktprocent SiO₂ där de högre halterna kan bero på cementinblandning. Vissa ballastmaterial kan i enstaka fall innehålla syralösliga komponenter (lerhaltigt, vittrat material kan ge lösligt kisel eller skånsk kalkhaltig ballast) som kan medföra fel i följande provningsmetod, men oftast är detta inte fallet. Vid en termogravimetrisk analys (TGA, DTG, DTA, DSC) kan en bindemedelsanalys göras, där man vanligen mäter CaO, SiO₂, glödningsförlust samt en olöslig rest. Beräkningen baseras på att de syralösliga komponenterna i ballasten respektive bindemedlet är känt. Analysen kan i annat fall göras för varje komponent i bruket för att fastställa den lösliga andelen som korresponderar med de olika oxider och karbonatinnehållet i sanden eller bindemedlet. De vanligaste som SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO och SO₃ kan genom serier av iterationer approximativt bestämmas både för delmaterialen samt bruket (RILEM Technical Committee, 1999). För gamla bruk kan detta medföra problem av förklarliga skäl eftersom man inte vet vilka delmaterial bruket består av. Analysen av den hydrauliska modulen beräknas och kompletteras med mikroskopiska analyser för att verifiera den kemiska provningen.

Genom upplösning av det hårdnade bruket i t.ex. salpetersyra eller och därefter uppvärms till 105°C kan den olösliga resten bestämmas som korresponderar med kiselinnehållet, pozzolana, flygaska etc. (RILEM Technical Committee, 1999). Genom upphettning med TGA till konstant vikt vid olika temperaturer kan glödningsförlusten bestämmas. Bestämning av fritt och bundet vatten kan bestämmas t.ex. då viktminskningen vid 600°C är fastställd. Då kan ett halvkvantitativt mått på brukets hydrauliska bindning eftersom vattnet som är bundet i CSH-gelen avgår då (Hidemark, Holmström, 1984). Koldioxiden bildar kalciumkarbonat över temperaturen 840°C (840-1000°C, CaCO₃ CaO → CaO + CO₂). Karbonatiseringsgraden av bruket kan då bestämmas, samt i viss mån bindemedelstypen. Fördelen med en kemisk analys är att kraven på provkropparnas form är mindre, men även behovet provmängden är mindre. Nackdelen är att många felkällor kan påverka resultatet, t.ex. lösliga mineral i ballasten som kisel, brist på kunskap om vilka bindemedel som använts.

En annan metod att bestämma bindemedelstyp / -egenskap och kristallbildningar (speciellt där sulfater ingår) kan vara med hjälp av röntgen (RILEM Technical Committee, 1999).

G.3.3 Tillsatsmedelanalys

Proteininnehållet undersöks med en metod som kallas Kjelldahlanalys eller varianter på denna (Raä, 1999). Proteiner användes ibland i gamla bruk i form av slaktavfall som skulle ge en luftporrbildande effekt. Denna provningsmetod kombineras lämpligen med mikroskopiska metoder.

G.3.4 Fältprovning

Genom fältprovning kan man översiktligt bedöma hållfastheten genom att undersöka hårdheten genom att rista med ett vasst instrument eller genom att lösgöra provstycken från underlaget. Vidhäftningsskador kan undersökas genom att identifiera putsen eller fogens brottytor, läge och utseende på murverket (Malinowski, 1998).

G.3.5 Mikroskopiska provningsmetoder

Kvalitativa analyser föregår alltid en kvantitativanalys för att visa om denna behövs samt var en kvantitativ analys fodras. Exempel på sådana analyser är:

- Visuellt undersökning eller med ögat eller lupp undersöka färgen, material, olika lager och karaktär på bruket samt känna dess hårdhet, sprödhet etc. med något spetsigt föremål.
- Röntgen – som ovan nämnt undersöka och karaktärisera bindemedelstyp, kristaller etc.
- Optiskt mikroskåp i polariserat ljus – mineralogisk och petrografisk identifikation av ballasten
- Optiskt mikroskåp i reflekterande ljus – identifiera hydrauliska bindemedel i de ohydratiserade klinkerpartiklarna och mineralkorn.
- Svepelektronmikroskåp (SEM) – Karaktärisera karbonat- och hydratprodukterna i form, karaktär och struktur.

Kvantitativa analyser tolkar och kvantifierar genom ovan nämnda mikroskopiska metoder med hjälp av datoriserad bildanalys och punkträkning (RILEM Technical Committee, 1999). En punkträkning kan exempelvis innebära att räkna antal luftporer, ballastkorn hydratiserad pasta och ej hydratiserad pasta (Sandström, 1989). För att kunna genomföra en mikroskopisk undersökning av ett bruk krävs ett tunnslip av ett hårdnad bruk. Dessa tillverkas genom att såga ut ett provstycke som limmas på ett arbetsglas med epoxy. Torkning och evakuering av luften i provstycket samt tillslutning med epoxyplast följer sedan. Provets underyta planslipas för att därefter objektsglaslet limmas med ofärgad epoxy. Provets överyta slipas ner till 25µm, där tjockleken beror på kvartskornens ljus i ett polariserat ljus. Därefter täcks ytan med ett täckglas på det färdigslipade tunnslipet (Sandström, 1989). Ballastens storleksfördelning kan göras genom en datoriserad bildanalys. Detta innebär att utifrån den tvådimensionella bilden mäts Feretdiametern som ger en två dimensionell storleksfördelning. Med hjälp av stereologiska metoder kan en storleksfördelning räknas om till tre dimensioner (Sandström Malinowski Red., 2000).

