

Uttorkning av prefabricerade bjälklag

Refik Salievski



Uttorkning av prefabricerade bjälklag

Drying out of prefabricated slabs

Refik Salievski

ISRN: LUTVDG/TVBM--03/5052--SE (1-93)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118
221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

Förord

Examensarbetet har utförts i samverkan med Skanska Prefab AB i Malmö, som är en av Sveriges ledande leverantörer av prefabricerade betongelement.

Testerna har utförts på avdelningen för Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola (LTH) under perioden augusti-december 2002.

Ett stort tack till mina handledare Sara MacDonald på Skanska Prefab AB och Niklas Johansson på avdelningen för Byggnadsmaterial, samt examinator professor Göran Fagerlund för deras professionella vägledning och råd.

En eloge sänds även till alla berörda på anläggningen som levererat provbitarna för deras engagemang och noggranna förberedelse.

På avdelningen Byggnadsmaterial (LTH) fanns Stefan Backe tillråds för förberedelse och uppställning av provbitarna alltid med god samarbetsvilja.

Lund i januari 2003

Refik Salievski

Innehållsförteckning

I. SAMMANFATTNING	5
II. SUMMARY	6
III. TECKENFÖRKLARING.....	7
1. INLEDNING.....	8
1.1. BAKGRUND	8
1.2. SYFTE.....	8
1.3. METOD.....	9
1.4. FRÅGESTÄLLNINGAR.....	9
1.5. AVGRÄNSNINGAR.....	10
2. PREFABRICERADE BETONGBJÄLKLAG	11
2.1. BJÄLKLAGSTYPER	11
2.2. BETONGTYPER	11
2.3. TEKNISKA SPECIFIKATIONER	12
2.4. TILLVERKNING	12
2.4.1. Allmänt.....	12
2.5. GOLVAVJÄMNING.....	14
3. UTTORKNING AV BETONG	15
3.1. BYGGFUKT/UTTORKNING.....	15
3.2. INRE SJÄLVUTTORKNING	18
3.2.1. Fenomenet	18
3.2.2. Inverkan av självuttorkning på betongens RF	19
3.2.3. Beräkningar av byggfukt.....	21
3.3. DIFFUSION.....	23
3.4. FAKTORER SOM PÅVERKAR UTTORKNINGEN	23
3.5. TORKAS 2.0	24
4. FUKTMÄTNING I BETONG	26
4.1. MANUAL, FUKTMÄTNING I BETONG	26
4.2. BORRHÅLSMÄTNING	26
4.3. UTTAGET PROV	27
4.4. YTFUKTSMÄTNING	27
5. BESKRIVNING AV UTTORKNINGSFÖRSÖK.....	28
5.1. FÖRSÖKSBEKRIVNING.....	28
5.2. BETONGRECEPT.....	28
5.3. UTTAGNING OCH FÖRBEREDELSE AV PROVKROPPAR.....	29
5.3.1. Förberedelse på fabrik.....	29
5.3.2. Förberedelse, preparation och RF-mätning utförda vid LTH	31
5.4. UTTORKNINGSKLIMAT	36
5.4.1. Klimat 1.....	36
5.4.2. Klimat 2.....	37

5.4.3.	Klimat 3	38
5.4.4.	Klimat 4	39
5.4.5.	Klimat 5	40
5.4.6.	Klimat 6	41
5.4.7.	Klimat 7	42
5.4.8.	Klimat 8	43
6.	RESULTAT AV UTTORKNINGSFÖRSÖK.....	44
6.1.	UTTORKNING AV HÅLDÄCKSBJÄLKLAG (HD/F)	44
6.2.	UTTORKNING AV HOMOGEN BJÄLKLAGSPLATTA (D/F)	47
7.	UTVÄRDERING AV UTFÖRDA UTTORKNINGSFÖRSÖK	49
7.1.	SJÄLVUTTORKNING	49
7.2.	JÄMFÖRELSE AV UTTORKNINGSTIDER MELLAN HD/F OCH D/F	49
7.3.	OMGIVANDE KLIMATS PÅVERKAN PÅ UTTORKNINGEN	51
7.4.	YTFUKT I BETONGEN	52
7.5.	AVJÄMNINGSMASSANS INVERKAN PÅ FORTSATT UTTORKNINGEN	52
8.	JÄMFÖRELSE MED TORKAS 2.0	53
9.	SLUTSATSER.....	58
10.	KÄLLFÖRTECKNING	59
BILAGOR.....		61
1.	TIDSSCHEMA ÖVER AKTIVITETER	61
2.	AVLÄSTA VÄRDEN PÅ RF SAMT JUSTERING AV MÄTVÄRDE FRÅN +5°C TILL +20°C.....	65
3.	RF I BETONGEN DOM FUNKTION AV TIDEN EFTER TILLVERKNING.....	75
4.	KALIBRERINGSDIAGRAM FÖR RF-GIVARE	84
5.	REGISTRERING AV RF OCH TEMPERATUR I KLIMATRUM.....	88
6.	RESULTAT AV UTTORKNINGSBERÄKNINGAR MED TORKAS 2.0	91

I. Sammanfattning

I examensarbetet undersöks uttorkningstiderna för två olika prefabricerade bjälklagstyper, håldäck (HD/F) och homogena däck (D/F). Bjälklagstyperna används ofta i kombination med varandra, men gjuts med skilda betongtyper. HD/F gjuts i jordfuktig betong och D/F i självkompakterande betong.

En provkropp ur respektive bjälklagstyp lagrades i åtta olika klimat avsedda att återspegla verkligheten. Varje klimat är uppdelat i 4 stadium som speglar bjälklagens väg från avformning till att golvet läggs på. Dessa stadier är:

- A. fabriken lagergård
- B. byggets lagergård
- C. elementet ligger under tak (montage)
- D. avjämningsmassa läggs på

Stadium A och B är 2 veckor långa medan längden på C och D styrs av uppmätt RF-förlopp i bjälklagen.

Uttorkningsförloppet hos provbitarna har bestämts genom mätning av RF i borrhål samt genom ytfuktsmätningar via uttaget prov. På håldäcksprovbitarna mättes även RF i kanalen genom att en givare placerades centriskt i hålet.

Resultatet av uttorkningsförsöken visar att självuttorkningen är en viktig del i uttorkningsförloppet. Detta framgår tydligt i uttorkningskurvorna som även visar att självuttorkningen är större för HD/F än D/F. Självuttorkningen för HD/F är ca 10% RF och 5% för D/F d.v.s. skillnaden är ca 5%-enheter. Denna skillnad i självuttorkning bibehålls mellan HD/F och D/F under hela mätserien.

Skillnader i uttorkningskurvorna mellan de olika klimaterna syns tydligt. För de provkroppar som utsattes för simulerat regn avstannar uttorkningen i princip helt under regnandet. Detta innebär också att provkropparna är så täta att de inte sugit åt sig vatten eller att denna process är långsam. Uttorkningskurvan påverkas också av lagringstemperaturen. Oavsett vilket klimat provkropparna lagrats i blir beteendet i stadium C detsamma. Här torkar provkropparna snabbt och ställer in sig kring ungefär samma RF. Tendenserna är samma för både HD/F och D/F. Slututtorkningen hamnar ungefär på samma nivå för alla klimaterna, ca 82% RF för HD/F och ca 87% för D/F. Kritisk RF för trä och träbaserade material är ungefär 75-80% RF medan den för limmade golvbeläggningar är 85-90% RF, [21].

Uttorkningsförsöken visar att det är D/F som är dimensionerande ur fuktsynpunkt mycket tack vare den lägre självuttorkningen.

Jämförande beräkningar av uttorkningsförloppet hos D/F och platsgjutna bjälklag har gjorts med beräkningsprogrammet TorkaS 2.0 [20]. Beräkningen visar att TorkaS underskattar verkliga uttorkningsförlopp.

II. Summary

The purpose of this Master's thesis is to find the drying out times for two different types of prefabricated concrete slabs, hollow core (HD/F) and homogeneous slab (D/F). These slabs are often used together in the same structure. The slabs are also cast with different types of concrete. HD/F by very dry earth-moist concrete and D/F by fluid self compacting concrete.

One test sample of each slab type was placed in one of eight different climatic conditions representing real moisture conditions. Each climatic condition is divided into 4 stages which reflects the slabs path from it leaves the factory until the floor is laid. These stages are:

- A. factory stockyard
- B. building stockyard
- C. indoor placed (beneath roof)
- D. levelling mass is applicated

Stage A and B are 2 weeks long. The length of stages C and D depend on the measured relative humidity (RH) in the slabs which in turn depends on the surrounding climatic conditions.

The drying out for the test samples was determined by RH measurement inside the specimens and RH measurements on samples taken out from the surface of the specimens. On the hollow core samples a sensor was placed in the centre of the hole.

The result of the moisture measurements show that the self-drying caused by cement hydration is an important part of the total drying-out process. This can clearly be seen on the drying curves. These also show that the self drying is larger for HD/F than for D/F. The self-drying is about 10% RH for HD/F and about 5% for D/F. This difference in self drying is retained throughout the entire test time.

Differences in the drying curves between the different climatic conditions are clearly seen. For the test samples that was exposed to simulated rain, drying of the interior of the specimen almost stopped as long as the concrete was exposed to water. This also means that the samples are so tight that no water suction is possible or that the process is very slow. The drying is also affected by the storage temperature. Irrespective of which climatic condition the samples were stored in the behaviour in environment C (+20°C, 60% RH) is the same. Here the samples dry out fast and gather around the same RH at the end of the tests. The tendencies are the same for both HD/F and D/F. The final RH after 8 weeks in this measurement series is almost the same for the different climatic conditions, about 82% RH for HD/F and about 87% for D/F. The critical RH for wood and woodbased materials is about 75-80% RH and for glued floors about 85-90% RH.

Comparative calculations have been done for the drying out process for D/F and in situ concrete slabs with the computer program TorkaS 2.0 [20]. The calculation shows that TorkaS underestimates real drying.

III. Teckenförklaring

α	Hydratationsgrad	
α_c	Hydratationsgraden för cement	
α_s	Reaktionsgraden för silikastoft	
C	Cementhalt	kg/m ³
D/F	Homogen bjälklagsplatta	
HD/F	Håldäcksbjälklag	
RBK	Rådet för byggkompetens	
RF (RH)	Relativ Fuktighet (Relative Humidity)	%
S _i	Silikastoft	kg/m ³
V _{ct}	Vattencementtalet	
V _{bt}	Vattenbindemedelstalet	
W	Mängden blandningsvatten	kg/m ³
W _B	Totala byggfukten	kg/m ³
W _{e, total}	Total mängd fritt vatten i betongen	kg/m ³
W ₀	Vattenmängd tillförd vid tillverkning (blandningsvatten)	kg/m ³
ΔW	Vattenmängd tillförd under härdningen (härdningsvatten)	kg/m ³
W _n	Kemiskt bundet vatten	kg/m ³
W _∞	Vattenmängd vid jämvikt med yttre klimat	kg/m ³
W _{kritiskt}	Jämviktfukthalten vid den kritiska RF	kg/m ³

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Fuktproblemen har under senare tid uppmärksammats alltmer. Redan i början av 1970-talet myntades begreppet ”sjuka hus” som innebär att innemiljön i en byggnad är så dålig att hälsoproblem uppstår för de som bor eller vistas i bygganden.

Det finns ett behov av att ha så korta byggtider som möjligt. I värsta fall kan detta göra att betongbjälklagen inte hinner torka ut tillräckligt. Golv som limmas på betongen kan brytas ned av fukt och alkali och därmed emittera illaluktande ämnen. I de fall där man istället för att limma en plastmatta har trä (reglar) i direkt kontakt med betongen kan man få mögelbildning hos trä och golvmaterial. För att byggtiden ska kunna planeras är det därför av stort intresse att ha kunskap om när golvläggning kan ske utan att det uppstår fuktskador.

En av betongelementindustrins stora volymprodukter är håldäck som borde kunna ge möjlighet till torrt och effektivt byggande.

Relativt omfattande studier har gjorts kring uttorkningen av platsgjuten betong, men håldäck tillverkas med en annan teknik och med en annan typ av betong än konventionella bjälklag. Det är därför inte självklart att uttorkningsegenskaperna för håldäck är desamma som för platsgjutna bjälklag med samma vattencementtal.

Större studier av håldäcksbjälklagens fuktegenskaper saknas och därför är uttorkningsförloppet relativt okänt. En mindre studie har dock utförts vid Chalmers tekniska högskola som examensarbete [23].

I bjälklag kombineras ofta håldäckselement med homogena bjälklagsplattor. Eftersom homogena bjälklagsplattor ofta tillverkas med självkompakterande betong och håldäckselement med jordfuktig betong är det intressant att jämföra uttorkningstiderna för de olika bjälklagselementen.

1.2. Syfte

Syftet med examensarbetet är att genom experimentella studier finna uttorkningstiden för håldäcksbjälklag (jordfuktig betong) och homogena däckelement (självkompakterande betong). Hänsyn tas till inverkan av avjämningsmassa och klimat.

Framtagna uttorkningstider jämförs med uttorkningstider för platsgjutna bjälklag.

1.3. Metod

Med hjälp av Vaisala givare mättes uttorkningsförloppet för de två bjälklagstyperna HD/F och D/F. Givarna placerades på det ekvivalenta djupet som är 20% av bjälklagshöjden mätt från ovansidan. Förutom i denna punkt placerades även en givare centriskt i kanalen på HD/F bjälklaget. Åtta provbitar ur respektive bjälklagstyp placerades i olika klimat avsedda att återspegla verkligheten.

Jämförande beräkningar av uttorkningsförloppet hos D/F och platsgjutna bjälklag har gjorts med beräkningsprogrammet TorkaS 2.0 [20].

1.4. Frågeställningar

Uttorkningstiden för håldäck och däckelement med avjämningsmassa studeras och jämförs med kritiska RF för träbaserade golvmaterial och lim för golvmattor.

I examensarbetet utreds/diskuteras dessutom följande frågeställningar:

Är självuttorkningen tillräcklig

Självuttorkningen för betong med lågt vct är hög och därmed uppnås önskad RF främst genom ett val av tillräcklig vct. För betong med lågt vct binds större delen av blandningsvattnet kemiskt vid cementets hydratisering. Om ytterliggare RF-sänkning erfordras efter självuttorkningen så går denna mycket långsamt.

Frågan är alltså om självuttorkningen i håldäck/däckelement räcker för att ge ett tillräckligt lågt RF-värde.

Temperaturens inverkan på uttorkningen

Låg temperatur ger en fördröjd och i vissa fall avstannad självuttorkning. Om samma uttorkningsgrad som vid normal temperatur uppnås om temperaturen återigen höjs är oklart.

Vid låga temperaturer med risk för frysning och innan betongen hydratiserats nämnvärt rekommenderas att man undviker vattentillförsel på betongen. Frågan är om hydratationsgraden som uppnåtts vid avformningen av håldäcksbjälklag respektive homogena däckelement är tillräcklig för att vattentillförsel tex. på grund av regn ska kunna tillåtas.

Den fråga som måste klargöras är hur produkterna påverkas i uttorkningsavseendet av lagring vid låg temperatur och regn.

Avjämningsmassans inverkan

Avjämningsmassan tillför fukt till betongen. Frågan som måste besvaras är hur detta påverkar uttorkningstiden.

Uttorkningstid för bjälklaget

Skillnaden i uttorkningstid mellan de olika bjälklagstyperna håldäck och homogena däckelement bör klargöras.

Skillnader mellan prefabricerad och platsgjuten betong

Skillnaden i uttorkningstid och uttorkningsprofil mellan platsgjuten betong och prefabricerad betong måste klargöras.

1.5. Avgränsningar

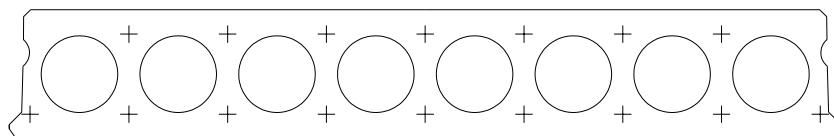
Uttorkningsförsöken har utförts för två olika bjälklagstyper håldäckselement (HD/F) och homogen bjälklagsplatta (D/F). Provbitar ur ett och samma bjälklag från respektive bjälklagstyp har placerats i 8 klimat. Bjälklagselementen som provbitarna är uttagna ifrån är tillverkade i samma fabrik.

2. Prefabricerade betongbjälklag

I examensarbetet har uttorkningsförsök för två olika bjälklagstyper i betong utförts. I följande kapitel beskrivs de två bjälklagstyperna.

2.1. Bjälklagstyper

Bjälklagstyperna som undersökt i detta examensarbete är håldäcksbjälklag (HD/F) och homogen bjälklagsplatta (D/F). De är identiska till utseendet med den stora skillnaden att håldäcksbjälklaget som namnet antyder har stora genomgående hål i längdriktningen (figur 1). Tack vare dessa hål reduceras vikten väsentligt samtidigt som tillverkningskostnaderna hålls nere utan att bärförmågan försämras.



Figur 1 Bild över tvärsektion för håldäck.

Båda bjälklagstyperna är förspända, men den homogena bjälklagsplattan kan också tillverkas som slakarmerad. Den homogena bjälklagsplattan är dyrare att tillverka än håldäcket och används oftast enbart som passbitar där man inte kan använda håldäcket t.ex. på grund av geometrin.

2.2. Betongtyper

Eftersom håldäcksbjälklaget gjuts på en bana med en vagn som formar håldäcket (se kapitel 2.4 Tillverkning) kan normal betong inte användas utan en jordfuktig betong används istället. Tack vare den jordfuktiga betongens låga vattenhalt kan håldäcken avformas direkt utan att betongen sätter sig.

Den självkompakterande betongen som används i den homogena bjälklagsplattan är motsatsen till den jordfuktiga. Konsistensen är flytande och medför att ingen vibrering är nödvändig vilket även är skonsamt för betongarbetarna.

2.3. Tekniska specifikationer

	Håldäcksbjälklag (HD/F, h=185mm)	Homogen bjälklagsplatta (D/F, h=185mm)
Avspänningshållfasthet	35 MPa	35 MPa
Betongtyp	Jordfuktig betong	Självkompakterande
Betongkvalitet	K50	K60
Cementtyp	Snabbt hårdnande (SH) portlandcement	Byggcement
Cementhalt	382 kg/m ³	448 kg/m ³
Livslängdsklass	L1	L1
Miljöklass	A1, B1	A1, B1
Montagehållfasthet	35 MPa	42 MPa
Spännvidd	5-9 m	Passbitar
Vattenhalt	144 kg/m ³	178 kg/m ³
Vattencementtal	0,38	0,4
Vikt	283 kg/m ²	444 kg/m ²

2.4. Tillverkning

2.4.1. Allmänt

Elementen tillverkas i fabrik. I fabriken finns en dator med inprogrammerade betongrecept där man enkelt väljer det betongrecept som krävs för den typ av element som ska tillverkas. Betongen blandas automatiskt i en blandarstation som finns belägen någonstans i anläggningen. Justeringar kan göras i receptet med hänsyn till t.ex. fukthalt i ballast, omgivande förhållanden mm. Den blandade betongen transporteras automatiskt i banor till gjutbädden.

Håldäck (HD/F)

HD/F bjälklagen gjuts på banor (figur 2) där en formolja läggs på banan. Banans längd är 105m och möjlighet till uppvärmning finns genom en värmebädd t.ex. under vintertid när det är kallt i gjuthallen.

Innan gjutning skrapas banan och formolja appliceras. Därefter spänns de förspända wirarna. Över banan rullar en vagn med ett munstycke som formar själva bjälklaget. Det tar ca 3 timmar för vagnen att gjuta hela banans längd.



Figur 2 Figuren visar vagnen som rullar längs banan och gjuter håldäcket.

I munstycket finns skruvar i trummor (figur 3) som trycker undan betongen i hål. Vagnen lägger även ut ett tunt skikt med vatten över formoljan framför sig, detta för att ytan mot formsidan ska bli jämn.

Efter gjutning täcks hela bjälklaget med en presenning för att undvika uttorkning. Morgonen efter kapas bitar ut och kontrollmäts. Därefter skäggas bitarna vilket innebär att kanten mot formen skrapas för att få bort överflödigt betong. Slutligen borras dräneringshål in till kanalen så att eventuellt vatten som samlas i håldäcket under byggtiden kan dräneras ut.



Figur 3 Munstycke som formar hålen i håldäcket.

Homogen bjälklagsplatta (D/F)

Man startar med att bygga upp formen där all armering och ingjutningsgods placeras. När formen är färdigställd sprutas dess insida med formolja för att underlätta avformningen. Därefter hålls betongen i formen.

När hela formen är fylld behandlas exponerade sidor enligt önskemål, t.ex. slät, borstad etc.

När elementet uppnått tillräcklig avformningshållfasthet rivs formen och elementet märks och placeras på lagergården.

2.5. Golvavjämning

Håldäcken blir överhöjda på grund av att de förspänns med linor i botten. Mellan två håldäck skapas även fogar. Överhöjningen och fogarna skapar ett ojämnt golv. Avjämningsmassan används för att man ska få ett jämnt golv, men även för att jämna ut fuktförhållandena vid ytan eftersom avjämningsmassan suger åt sig fukt från limmet vid mattläggning. Utjämnningen av fukten i ytan är speciellt viktig vid användning av tät betong t.ex. av den typ som används i prefabplattor.

En avjämningsmassa ska enligt HusAMA98 [19] uppfylla följande:

- krav för typgodkännande
- kraven under rubriken *Provning av avjämningsmassor* [19]
- tåla en fuktbelastning av 95% relativ fuktighet i fortvarighetstillstånd

Förutom kraven i HusAMA98 [19] kan det tillkomma extra krav från tillverkaren av massan angående t.ex. omgivningens RF och temperatur vid applicering av avjämningsmassan.

Uppfylls kraven i Hus AMA98 [19] och tillverkarens krav brukar följande tumregel kunna följas för uttorkning av avjämningsmassan. Med någorlunda rimliga torkförhållanden tar det ca 7 dagar per cm för avjämningsmassan att torka till en relativ fuktighet som är mattläggningsbar. Torktiden för avjämningsmassan är dock beroende av många olika faktorer såsom tjockleken, omgivande temperatur och RF, ventilation samt RF i underlaget.

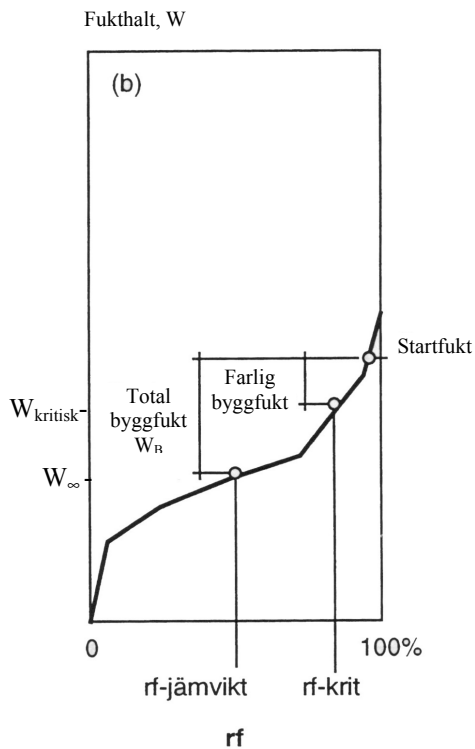
Det som i slutändan bestämmer hur lång tid det tar innan konstruktionen kan förses med golvbeläggningen är vilket material golvbeläggningen består av. Ett trägolv gör att bjälklaget måste torka ut betydligt längre än vid t.ex. golvbeläggning med klinker som inte är fuktkänsligt.

3. Uttorkning av betong

I detta kapitel beskrivs en del viktiga begrepp/faktorer som påverkar uttorkningsförloppet för betongkonstruktioner. Här beskrivs även datorprogrammet TorkaS 2.0 [20] som används för bedömning av uttorkningstiden för betong.

3.1. Byggfukt/Uttorkning

Total byggfukt är den mängd fukt som byggs in i materialet vid tillverkning och som sedan ska avgå för att konstruktionen skall hamna i jämviktstillstånd med omgivningen. Farlig byggfukt är den byggfukt som kan medföra skador och denna är normalt mindre än den totala byggfukten. Nedan illustreras byggfukten i ett hygroskopiskt material.



Figur 4 Principskiss över total och farlig byggfukt hos ett hygroskopiskt material som betong. [14]

Byggfukten i ett betonggolv kan delas upp i tre olika delar:

- betongfukt
- ytfukt
- limfukt

Betongfukten är den fysikaliskt bundna fukten medan ytfukt är den fukt som tillförs via yttre förhållanden t.ex. regn och snö. Limfukt tillförs i samband med golvläggningen där betongen suger in fukt från t.ex. lim eller spackel.

Total byggfukt hos betong kan räknas ut genom följande formel [5]:

$$W_B = W_0 + \Delta W - W_n - W_\infty \quad (\text{kg/m}^3) \text{ där}$$

W_B = total byggfukt

W_0 = den vattenmängd som tillförs vid tillverkning (blandningsvatten)

ΔW = den vattenmängd som tillförs under härdningen (härdningsvatten)

W_n = kemiskt bundet vatten

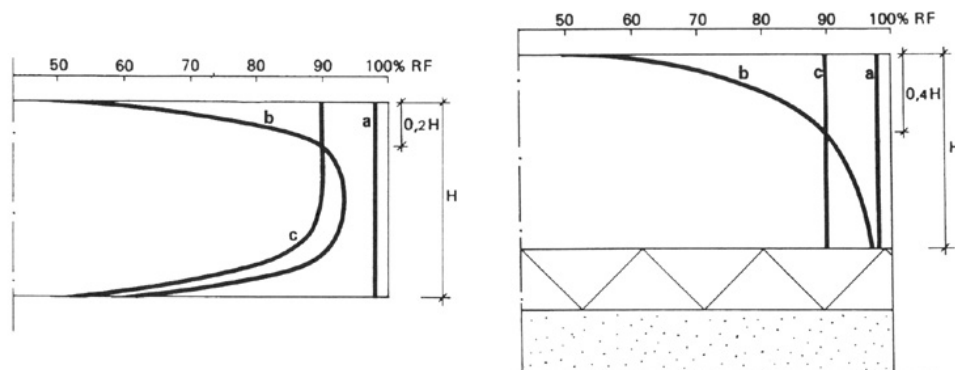
W_∞ = vattenmängden vid jämvikt med yttre klimat

Det är inte alltid så att det är den totala uttorkningen som är relevant. Istället vill man veta hur stor mängd fukt man ska torka ut för att man t.ex. ska kunna limma en plastmatta eller lägga ett uppreglat golv utan att få fuktskador. Då kan W_∞ bytas ut mot $W_{kritiskt}$, där $W_{kritiskt}$ är jämviktsfukthalten vid den kritiska RF för det aktuella golvmaterial. I detta fall är inte W_B den totala byggfukten utan den så kallade farliga byggfukten (figur 4).

Olika uttorkningsförhållanden såsom enkel- och dubbelsidig uttorkning ger olika fuktprofiler för konstruktionen. Figur 5 visar den principiella fuktfördelningen före och efter torkning samt efter golvläggning under ett 100% tät material. Den vänstra bilden visar fuktfördelningen för ett bjälklag som kan torka dubbelsidigt medan bilden till höger visar enkelsidig uttorkning för en platta på mark med underliggande cellplast.

- a) före uttorkning
- b) efter uttorkning
- c) omfördelning av fukt efter golvläggning

Av figuren framgår att RF före golvläggning på ett djupet av 20% av plattjockleken resp. 40% av golvjockleken motsvarar de RF som erhålls under golvmaterialet när fuktfördelningen skett. Detta djup kallas ekvivalent djup och är de djup på vilket RF skall mätas vid fuktkontroll.



Figur 5 Fuktfördelning för ett mellanbjälklag samt platta på mark. [16]

Vid bedömning av uttorkning bör man ta hänsyn till följande fakta :

- betongkonstruktionens tjocklek
- torkklimatet
- betongreceptet
- produktionsmetoden
- antalet uttorkningsriktningar

3.2. Inre självuttorkning

3.2.1. Fenomenet

Självuttorkning innebär att även om betongmassan förhindras torka ut genom vattenavgång utåt kommer en inre torkning att ske. Självuttorkning beror på det vattnet får reducerad volym när det binds kemiskt till cementet. Därför uppstår en volym luftfyllda porer i betong som lagras utan att ha tillgång till vatten utifrån. Den mängd luftfyllda porer som skapas kan beräknas med följande uttryck.

$$L_{\text{självuttorkning}} = 0,0625 * \alpha * C$$

α = hydratationsgraden

C = cementhalt (kg/m^3)

Det innebär att ju högre cementhalten är och ju högre hydratationsgraden är, desto större blir självuttorkning.

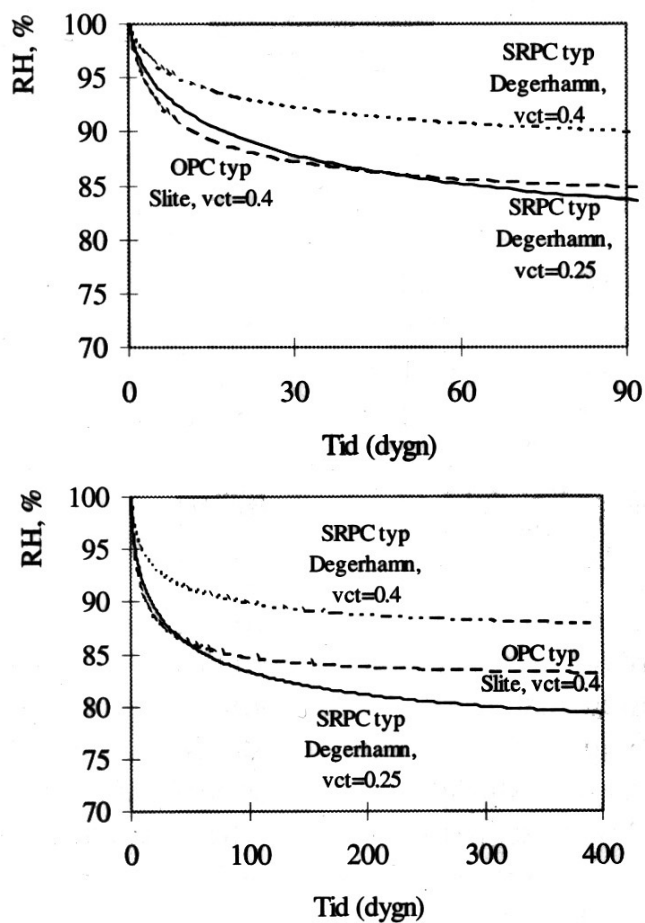
Hydratationsgraden α beror i första hand på tiden, men beror också på temperaturen. Ju längre tid och ju högre temperatur, desto högre α och desto större självuttorkning.

Hos normalbetong (vct > 0.5) märks inte självuttorkningen. Den kan t.ex. inte mätas vid RF-mätning i betongen. Däremot är det positivt t.ex. under vinterbetongarbete eftersom det gör den unga betongen frostbeständig.

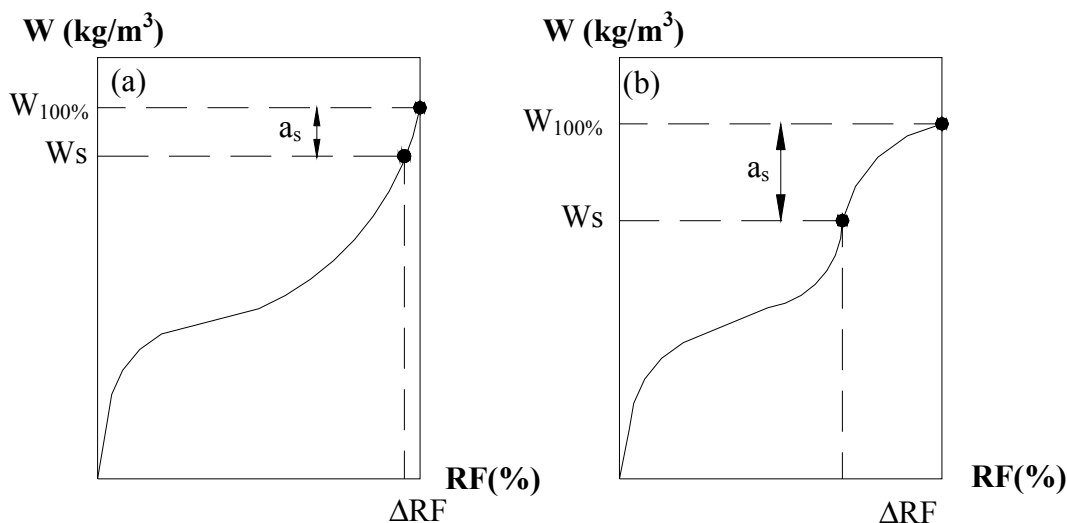
Hos betong med lågt vct kommer däremot självuttorkningen att ge en minskning av inre RF

3.2.2. Inverkan av självuttorkning på betongens RF

Figur 6 visar beräkningar av självuttorkningens inverkan på inre RF hos tre olika betongtyper. Här ser man att två betongtyper med en vct-skilnad på 0.15 i princip ger samma självuttorknings förlopp. Vid högre vct (>0.5) är inverkan på inre RF av självuttorkning mycket liten. Orsaken till att RF minskar hos betong med lågt vct den betydligt flackare desorptionsisotermen hos betong med lågt vct, se figur 7.



Figur 6 Beräknade RH-ändringar på grund av ren självuttorkning för tre betongtyper. [8]



Figur 7 Desorptionsisoterm för betong. (a) normal betong och (b) snabb resp. självutorkande betong.

Mängden luftfyllda porer som skapas av självutorkningen är 25% av kemiskt bundet vatten i cementet. Dvs.

$$a_s = 0,25 \times W_m = 0,0625 \times \alpha_c \times C \quad \text{där}$$

a_s = mängden luftfyllda porer som skapas vid cementreaktionen.

Exempel:

Normal betong: $v_{ct}=0,7$ $C=250 \text{ kg/m}^3$ $\alpha_c=0,8$
 $a_s = 0,0625 \times 0,8 \times 250 = 12,5 \text{ (l/m}^3\text{)}$

Högpresterande betong: $v_{ct}=0,35$ $C=450 \text{ kg/m}^3$ $\alpha_c=0,55$
 $a_s = 0,0625 \times 0,55 \times 450 = 15,5 \text{ (l/m}^3\text{)}$

Eftersom hydratationsgraden minskar med minskat v_{ct} blir skillnaden i mängden kemiskt bundet vatten och vattencementtalets påverkan på självutorkningen inte så stor. Anledningen till att hydratationsgraden minskar med tiden är att efter ett par dagars reaktion mellan vattnet och cementkornen har cementpastan blivit så tät att fukten har svårt att nå cementkornens oreagerade del. Denna process sker snabbare för en betong med lägre v_{ct} .

Effekten på inre RF är däremot mycket stor vilket kan ses i figur 7 som visar att utseendet hos desorptionsisotermen är olika hos de olika betongtyperna. För båda betongtyperna innebär självutorkning att vattenhalten minskar från W_{100} (fullständig vattenmättad) till W_s . Hos normalbetong innebär detta en mycket liten minskning, ΔRF av inre RF. För högpresterande betong är denna minskning i RF stor vilken kan ses i den flacka isotermen.

3.2.3. Beräkningar av byggfukt

Det kemiskt bundna vattnet kan räknas ut genom följande formel [8]:

$$W_n = 0,25 \times \alpha_c \times C - 0,34 \times \alpha_s \times S_i \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{där}$$

W_n = kemiskt bundna vattnet (kg/m^3)

C = cementhalt (kg/m^3)

α_c = hydratationsgraden för cementet

S_i = silikastoft (kg/m^3)

α_s = reaktionsgraden för silikan

Totala mängden fritt vatten W_e i en betong som membranhärdats (ingen tillgång till vatten utifrån):

$$W_{e, \text{total}} = W - W_n \quad (\text{kg/m}^3) \quad \text{där}$$

W = mängden blandningsvatten

Håldäck (HD/F)

$$C = 382 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha_c \approx 0,65$$

$$W = 144 \text{ kg/m}^3$$

$$S_i = 0$$

$$V_{ct} = 144/382=0,38$$

$$W_n = 0,25 \times 0,65 \times 382 = 62,1 \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$W_{85\%} = 0,19 \times 382 = 72,6 \quad (\text{kg/m}^3) \quad 0,19 \text{ fås ur figur 8}$$

$$W_{e, \text{total}} = 144 - 62,1 = 81,9 \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$W_{\text{farlig}} = W_{e, \text{total}} - W_{85\%} = 81,9 - 72,6 = 9,3 \quad (\text{kg/m}^3)$$

Homogen bjälklagsplatta (D/F)

$$C = 448 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha_c \approx 0,7$$

$$W = 178 \text{ kg/m}^3$$

$$S_i = 0$$

$$V_{ct} = 178/448=0,4$$

$$W_n = 0,25 \times 0,7 \times 448 = 78,4 \quad (\text{kg/m}^3)$$

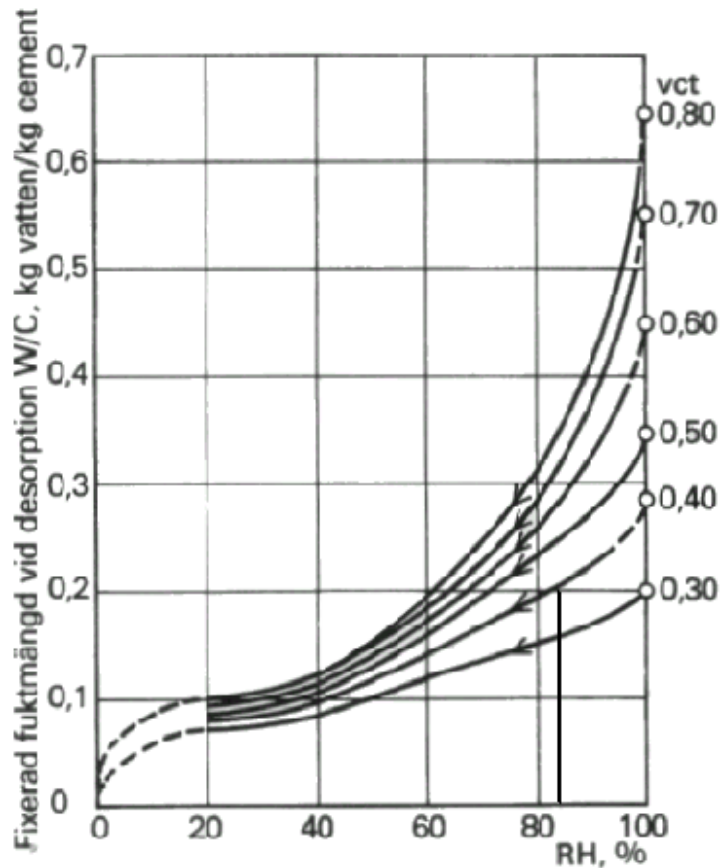
$$W_{85\%} = 0,2 \times 448 = 89,6 \quad (\text{kg/m}^3) \quad 0,2 \text{ fås ur figur 8}$$

$$W_{e, \text{total}} = 178 - 78,4 = 99,6 \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$W_{\text{farlig}} = W_{e, \text{total}} - W_{85\%} = 99,6 - 89,6 = 10,0 \quad (\text{kg/m}^3)$$

Slutsats

Den totala mängden fritt vatten är 18 kg/m^3 högre i D/F-bjälklagen än i HD/F-bjälklagen. Ur uttorkningssynpunkt är det emellertid den farliga byggfukten som är mest intressant och för bjälklag representeras denna normalt av kritiska RF för golvläm, vilket är 85-90%. Den farliga byggfukten som fås med hjälp av desorptionsisotermen i figur 8 blir skillnaden för uttorkning till 85% RF endast $0,7 \text{ kg/m}^3$.



Figur 8 Desorptionsstermer för betong. [5]

3.3. Diffusion

Diffusion innebär att lösta ämnen som t.ex. vattenmolekyler rör sig från ett område med högre koncentration till ett område med lägre koncentration. Ett exempel är om ånghalten är högre inomhus än utomhus uppstår en potentialskillnad över ytterväggen och fukttransporten sker inifrån och ut. Transportmekanismen beskrevs första gången av Adolf Fick och benämns Fick's lag.

$$q = -\delta_{[c]} \cdot d[c]/dx \quad \text{där}$$

$$q = \text{flödet [mol/(m}^2\text{/s)]}$$

$$[c] = \text{koncentrationen av det lösta ämnet [mol/m}^3\text{]}$$

$$\delta_{[c]} = \text{diffusionskoefficienten [m}^2\text{/s]}$$

Även vattentransport kan beskrivas av Fick's lag. $[c]$ utgörs i detta fall av en storhet som beskriver koncentrationen av vatten och $\delta_{[c]}$ är i detta fall fukttransportkoefficienten. Koncentrationen av vatten eller "potentialer" kan beskrivas på 4 olika sätt: [9]

1. ånghalt
2. ångtryck
3. relativ fuktighet (RF)
4. vattenhalt

3.4. Faktorer som påverkar uttorkningen

Betongens uttorkningstid påverkas av ett flertal olika faktorer. Av dessa är vattenbindemedelstalet (vbt) den viktigaste eftersom vid lägre vbt får betongen en inre självuttorkning (se avsnitt 3.2) och ofta en mycket låg fukttransportkoefficient. Faktorer som påverkar uttorkningstiden är [15]:

- cementtyp
- typ och mängd av tillsatsmaterial
- vattenbindemedelstalet (vbt)
- torkklimat, härdningförhållanden
- konstruktionstyp
- konstruktionstjocklek
- produktionsmetod
- antalet uttorkningsriktningar (enkel- eller dubbelsidig)
- krav på RF på normenligt djup vid matläggning

3.5. TorkaS 2.0

TorkaS 2.0 [20] är ett datorprogram framtaget för att bedöma uttorkningstiden för plattgjutna betongkonstruktioner. TorkaS 2.0 bakomliggande beräkningsrutiner är rent teoretiska men resultaten från datorprogrammet har verifierats mot uppmätt RF hos vissa så kallade typfall (se nedan). Mätningarna har utförts på ekvivalent mätdjup. Resultatet av undersökningen redovisas i [21].

TorkaS är inte anpassat till håldäck och har inte heller kalibrerats mot mätningar på håldäck.

Typfall a "Normalfall"

Regn 2 veckor + förhindrad uttorkning (100% men ingen nederbörd) 2 veckor+ styrd torkning (18°C, RF=60%)

Typfall b "Mycket torrt"

Styrd torkning redan efter 1 dygn.

Typfall c "Måttligt torrt"

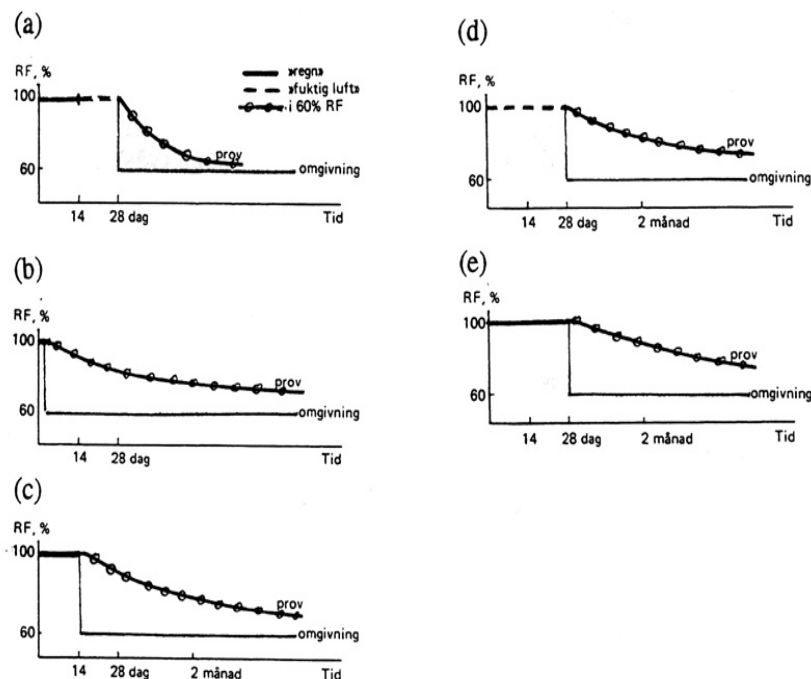
Regn 2 veckor + styrd torkning

Typfall d "Torrt"

Förhindrad uttorkning 4 veckor + styrd torkning

Typfall e "Mycket fuktigt"

Regn 4 veckor + styrd torkning



Figur 9 Undersökta typfall av fuktbelastning efter gjutning. [14]

TorkaS 2.0 har tre huvudmenyer:

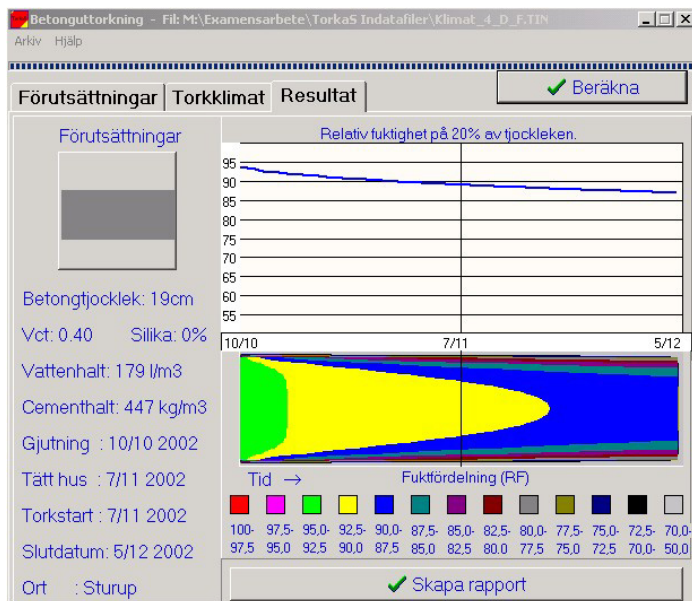
1. förutsättningar
2. torkklimat
3. resultat

Under förutsättningar väljs:

- konstruktionstyp, platta på mark eller mellanbjälklag
- ort, klimatdata från 10 svenska orter finns lagrade
- gjutdatum
- tätt hus, konstruktionen utsätts ej för nederbörd
- styrd torkning, byggnaden är så tät att uttorkningsklimatet kan styras
- slut, golvläggning eller golvavjämning kan ske

Under menyn torkklimat anges aktuella klimatuppgifter före och efter så kallat styrd torkning. Klimatet för den styrda torkningen anges som RF och temperaturen. Dagar då det regnar eller membranhärdas kan tas bort eller läggas till.

Under menyn resultat beräknas uttorkningsförloppet vid det ekvivalenta djupet samt RF-fördelningen i betongen som funktion av tiden (figur 10). En rapport kan skapas för utskrift.



Figur 10 Exempel på utseende för resultatmeny. [22]

4. Fuktmätning i betong

4.1. Manual, Fuktmätning i betong

Sveriges Byggindustrier har utarbetat en manual för fuktmätning i betong [22] som granskats och godkänts av Rådet för Byggkompetens, RBK.

Innan ett fuktkänsligt material läggs på betongen ska denna manual följas för fuktmätning i betong. Detta för att säkerställa att fuktnivån i betongen understiger den kritiska gränsen för det material som läggs på betongen.

Eftersom det finns flera olika metoder att mäta fuktnivån i betong och ett flertal företag som mäter fuktnivån togs denna manual fram för att få ett likartat resultat oavsett vem som utfört mätningarna och vilken metod de använt.

4.2. Borrhålsmätning

Borrhålsmätning går till enligt följande.

Konstruktionen kontrolleras mot ritning.

Borrhålets placering väljs så att felkällorna minimeras samt så att borrarning kan ske utan vattentillförsel. Hålets djup ska vara det ekvivalenta djupet och detta kontrolleras efter borrarning.

När hålet borrats upp ska dammjölet dammsugas/blåsas bort. Därefter placeras ett plaströr i borrhålet för att säkerställa att mätningen sker i hålets botten. För att förhindra oönskad fuktvandring tätas plaströret både i underkant och överkant.

Vid borrarning sker en värmeutveckling som kan påverka mätresultatet. Därför ska borrarning och tätning ske minst tre dagar innan första mätning utförs.

Själva mätningen kan utföras på två olika sätt:

1. kvarsittande givare
2. givare som stoppas ner i borrhålet vid mätning

I detta examensarbete har metod 2 använts med givare av fabrikatet Vaisala. Givaren ska sitta i minst 48 timmar innan avläsning kan ske samt att det ska gå minst 1 vecka innan ny mätning på samma håll kan utföras.

4.3. Uttaget prov

Vid mätning på uttaget prov borrar man sig ner till ekvivalent djup och därefter bilas fragment från detta djup upp. De placeras omedelbart i ett provrör som försluts. Mätningen sker vid +20°C i ett temperaturstabil klimatrum.

Provet ska stå i provröret i minst 72 timmar innan givaren kan monteras. Därefter kan mätning utföras efter 48 timmar.

4.4. Ytfuktmätning

Ytfukten hos en betongplatta eller en avjämningsmassa genomförs på så sätt att flisor huggs på ytan. Flisorna hanteras därefter på samma sätt som uttaget prov på ekvivalent djup.

Ytfuktmätningarna i detta examensarbete utfördes två gånger. Den första i samband med att avjämningsmassan lades på och den andra i mätseriens slut. Prover från avjämningsmassan bilades ut och placeras i provrör varefter rester av avjämningsmassan rensades bort och prover från betongytan togs ut på samma sätt (figur 11).



Figur 11 Bild på D/F provbitar efter slutytfukt i betong och avjämningsmassa tagits.

5. Beskrivning av uttorkningsförsök

5.1. Försöksbeskrivning

Avsikten med uttorkningsförsöken är att få fram en indikation på hur uttorkningsförloppet ser ut för ett håldäck (HD/F) och för en homogen bjälklagsplatta (D/F). Orsaken är att det saknas större uttorkningsstudier av dessa bjälklagstyper. Bjälklagen gjuts visserligen under kontrollerade former, men man vet inte riktigt hur elementen påverkas av yttre förhållanden som regn och temperaturvariationer under lagringen.

För att uttorkningsförloppet på bästa sätt ska återspegla verkligheten har 8 olika klimat valts. Varje klimat är uppdelat i 4 stadier som beskriver bjälklagens väg ut från fabriken tills dess att golvet läggs på. En provbit ur varje bjälklagstyp placerades i ett klimatrums. Bitarna för de respektive bjälklagstyperna är hämtade ur ett och samma betongelement. Klimaten motsvarar följande:

1. Kall regnig vinter
2. Kall vinter utan nederbörd alternativ takskyddad lagergård
3. Varm regnig sommar
4. Varm sommar utan nederbörd alternativt takskyddad lagergård
5. Som klimat 1 med skillnaden att elementen direktlevereras till byggarbetsplats
6. Som klimat 3 med skillnaden att elementen direktlevereras till byggarbetsplats
7. Kombinerat regn och membranhärdning tills elementet ligger under tak
8. Varm sommar med en initiell torr period följt av en regnig

5.2. Betongrecept

De båda studerade bjälklagen var tillverkade av betong med följande recept.

	Håldäcksbjälklag (HD/F)	Homogen bjälklagsplatta (D/F)
Betongtyp	Jordfuktig betong	Självkompakterande
Cementtyp	Snabbt härdnande (SH) portlandcement	Byggcement
Cementhalt	382 kg/m ³	448 kg/m ³
Vattenhalt	144 kg/m ³	178 kg/m ³
Vattencementtal	0,38	0,4

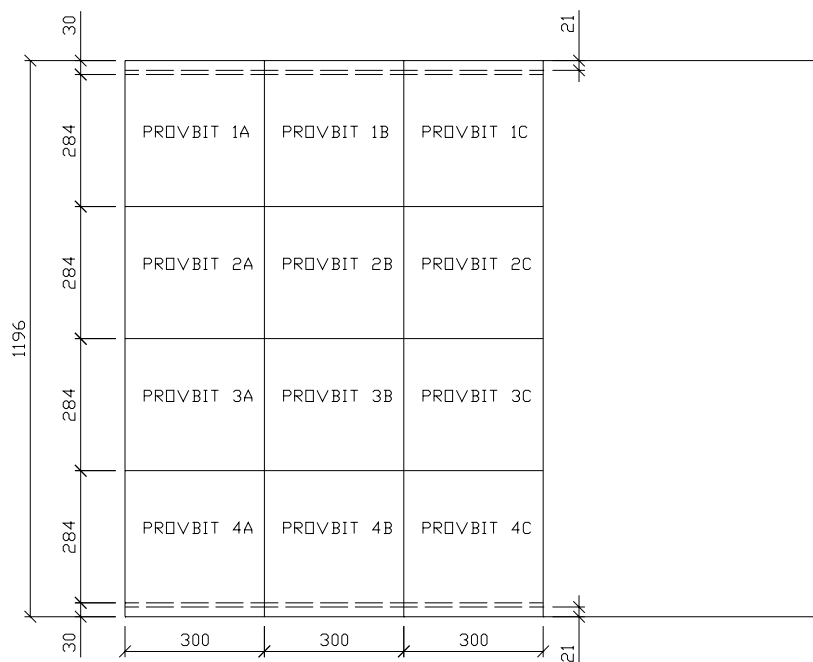
5.3. Uttagning och förberedelser av provkroppar

5.3.1. Förberedelse på fabrik

För att mätresultaten ska bli så exakta som möjligt måste den ursprungliga fukthalten i bjälklagen bibehållas tills mätningarna startar. Därför var det viktigt att provbitarna sågades ut så fort som möjligt efter avformning och att provbitarna fuktisolerades direkt efter sågning.

Håldäck (HD/F)

12 provbitar (varav 4 är reservprover) sågades ut ur ett HD/F 120/19-2 bjälklag direkt efter tillverkning (figur 12). Varje provbit innehöll 2 kanaler (figur 15) och hade en längd av 300mm. Detta medför att proven får dimensionen 284x185x300mm.

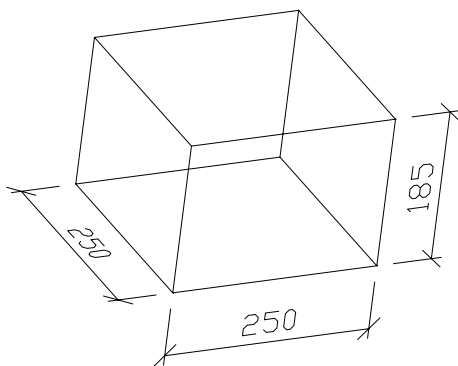
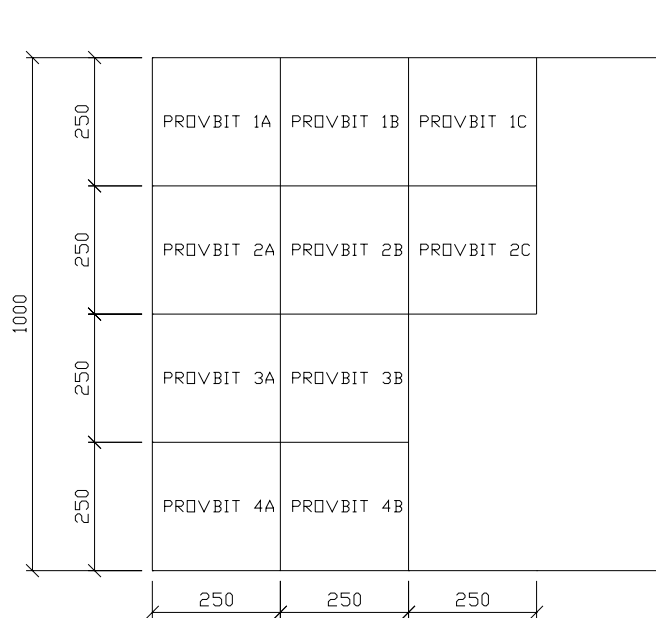


Figur 12 Bild på provbitarnas plats i HD/F bjälklaget samt dimension.

Fuktisoleringen skedde genom att kanalerna tätades med plastlock (sådana som normalt används för att täta kanalerna) och att hela provbiten lindades in i plast. Plasten förslöts noga med tejp så att ingen fukt kunde tränga ut.

Homogen bjälklagsplatta (D/F)

10 provbitar (varav 2 är reservprover) gjuts enligt D/F 19 bjälklag. Dimensionen på proven är 250x185x250mm (figur 13). Eftersom D/F bjälklaget ofta används i kombination med HD/F används samma höjd för D/F provbitarna som för HD/F.



Figur 13 D/F provbitarnas dimension.

5.3.2. Förberedelse, preparation och RF-mätning utförda vid LTH

Håldäck (HD/F)

Provbitarna anlände till LTH 2 dagar efter gjutning. Här förbereddes provbitarna genom att inplastningen och plastlocken togs bort. Därefter valdes de 8 bäst lämpade bitarna ut.

Två mätpunkter valdes ut enligt [22], se figur 15. Den ena placerades på ett avstånd från överytan som motsvarar 20% av bjälklagets höjd. Punkten kallas bjälklagets ekvivalenta djup. Den RF som uppmäts antas motsvara den RF som erhålls under ett helt tätt golvmaterial när fuktomfördelningen skett (figur 5). Den andra mätpunkten placerades i håldäckskanalen. Givaren i kanalen ger ett slags medelvärde av RF i den omgivande betongytan inuti kanalen.

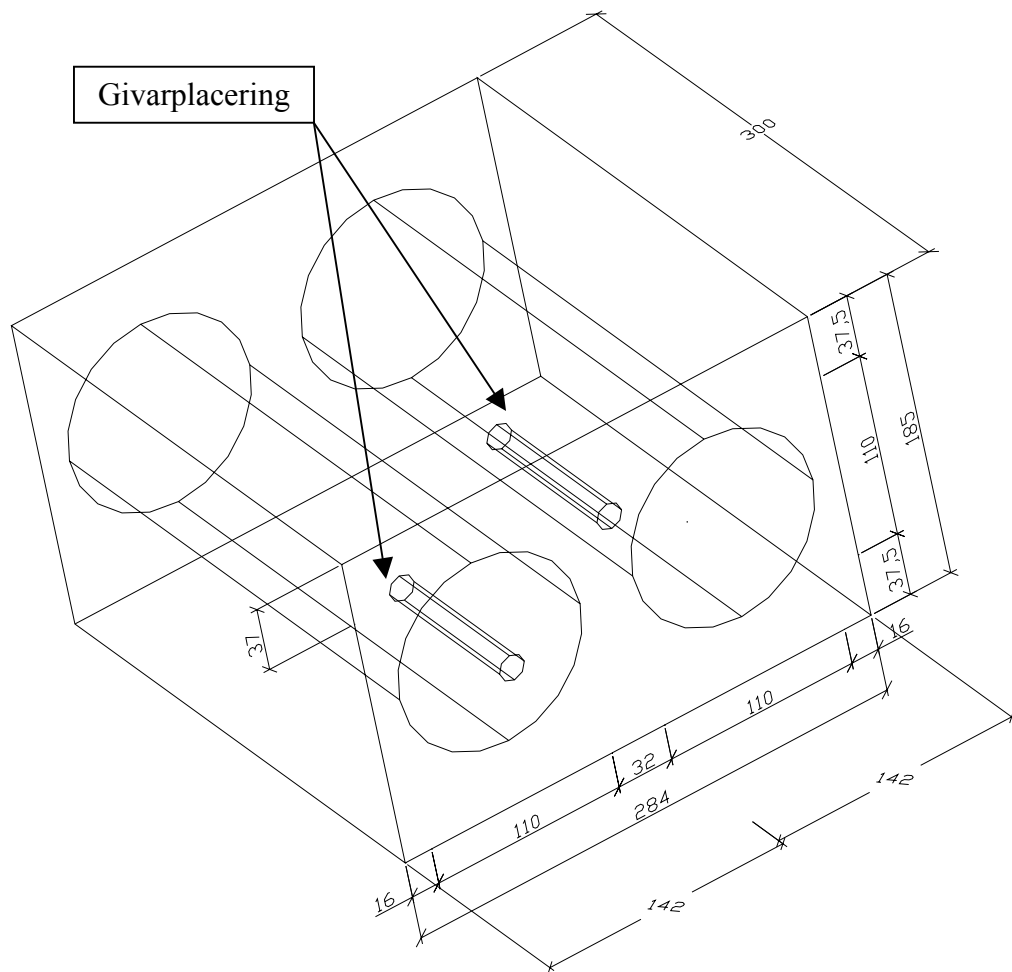
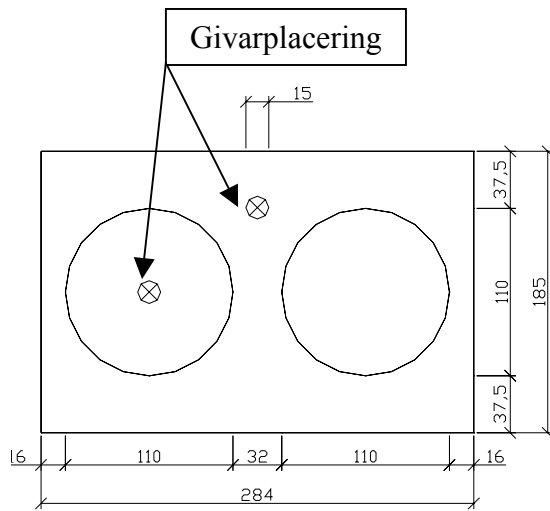
Platsen för borrhålet där givaren skulle sitta markerades ut (0,2*h) och ett 90mm djupt hål borrades upp (figur 15 och 17). Sedan blåstes hålet rent från bormjöl.



Figur 14 Bild på HD/F provbitar i kallt klimat.

Mätcyllindern i vilken givaren placerades (figur 16) trycktes ner i borrhålet och försågs med ett tätningskitt längst ned varefter mätcyllindern trycktes ner i hålet. Vid betongytan intill mätcyllindern, tätades med tätningskittet för att minska risken för luftläckage. Givaren trycktes sedan ner i mätcyllindern. Den andra givaren placerades centriskt i kanalen (figur 15 och 17).

Givarna kalibrerades före mätningarna. Detta gjordes genom att de placerades i en fuktgenerator som genererade följande klimat 75, 85, 90 och 95% RF, temperatur +5°C och +20°C. Därefter lästes givaren av. Med dessa två data dvs. det givna värdet och det som lästes av kunde kalibreringsdiagram ritas upp (bilaga 4).



Figur 15 Kanal- och givarplacering

Tätheten hos mätcyllindern kontrollerades med hjälp av en sugpropp (figur 16) som stoppades ner i mätcyllindern och fick sitta där i ca 30sek efter att man tryckt ut all luft ur blåsan. Om blåsan sög upp luft och ballongen därvid växte motsvarar detta läckage.



Figur 16 Sugpropp och mätcylinder.

På kortsidan där kanalerna stod öppna limmades plexiglasskivor fast med tätande silikonmassa. De två resterande sidorna tätades med 0.2mm tjock polyetenfolie. Ovansidan och undersidan var obelagd (figur 17) för att provbitarna skulle få möjlighet att torka dubbelsidigt.

Provbitarna som utsatts för klimat 1, 3, 5, 6, 7 och 8 (6x2=12 prover) tillfördes ”fukt” i form av vatten som hälldes på ovansidan av bjälklaget. För att vattnet skulle stanna kvar och upptas av bjälklaget ”monterades” plexiglasväggar på ovankant av elementen. Vid kontaktytan mellan plexiglasvägg och betong tätades med silikonmassa för att säkerställa att inget vatten kunde tränga igenom (figur 14 och 20).

I klimat 7 skulle provbitarna membranförhärda. Dessa prover försågs därför efter 2 veckor med plastfolie på ovan- respektive undersida (figur 17). Membranförhärkning innebär att provbiten varken tillförs eller bortförs fukt.



Figur 17 Provbit som membranförhärdat.

Ytprover togs i samband med att bjälklaget försågs med avjämningsmassan. Detta för att mäta RF i själva ytan. Genom att använda en diamantborr med en diameter på 100mm och borra ner den ca 15mm fick man ett cirkulärt spår. I detta spår kördes sedan en meiselhammare och ytprover på djupet 0-15mm togs upp, se på provbitens övre högra hörn i figur 18. I de fall provbitarna hade en plexiglasskiva på ovansidan togs skivan bort och provbitarna försågs med en träform för avjämningsmassan (figur 18). Slutliga ytprover togs på både avjämningsmassan och betongen.



Figur 18 Provbit med uttagen ytfukt och träform för avjämningsmassa.

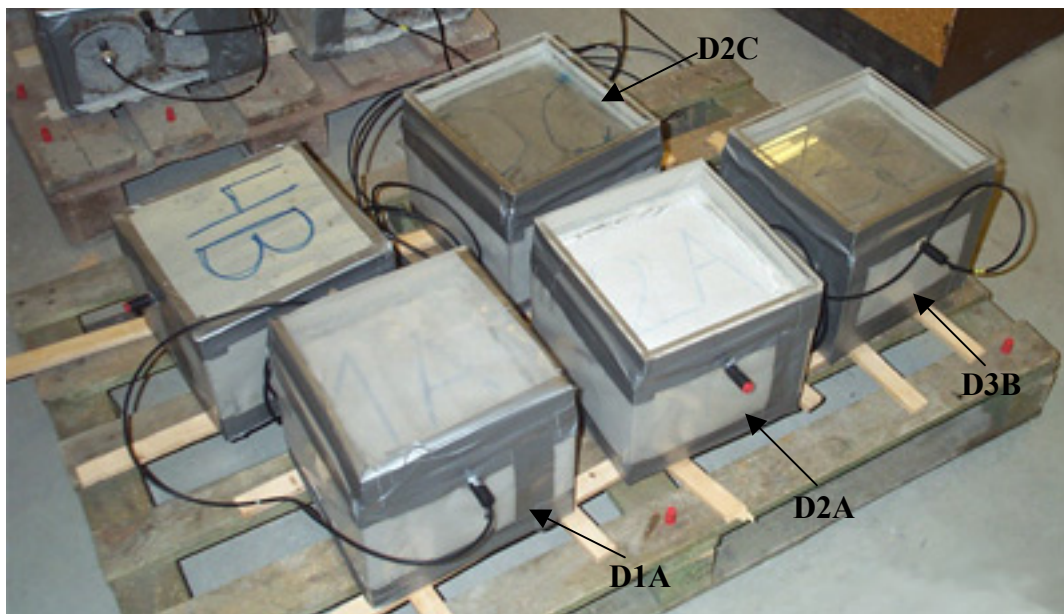
Avjämningsmassan som användes är Optirocs finavjämning ABS 148 med primer MD16 som förbehandling. Primern penslades på i ett tunnt skikt som sedan fick torka i ca 4 timmar. Efter det att primern torkat låg en tunn film över provbiten som en bekräftelse på att en primer applicerats och torkat ut. Därefter blandades avjämningsmassan och hälldes i formen (figur 19).



Figur 19 Avjämningsmassa hälls i träform.

Homogen bjälklagsplatta (D/F)

Förberedelse och fuktisolering av D/F provbitarna utfördes på samma sätt som för HD/F. Samtliga av provbitarnas sidor förutom ovan och undersidan försågs med plastfolie. På så vis gavs möjlighet till dubbelsidig uttorkning.



Figur 20 Bild på D/F provbitar i varmt klimat.

I figur 20 visas 5 D/F provbitar som torkar ut i olika klimat.

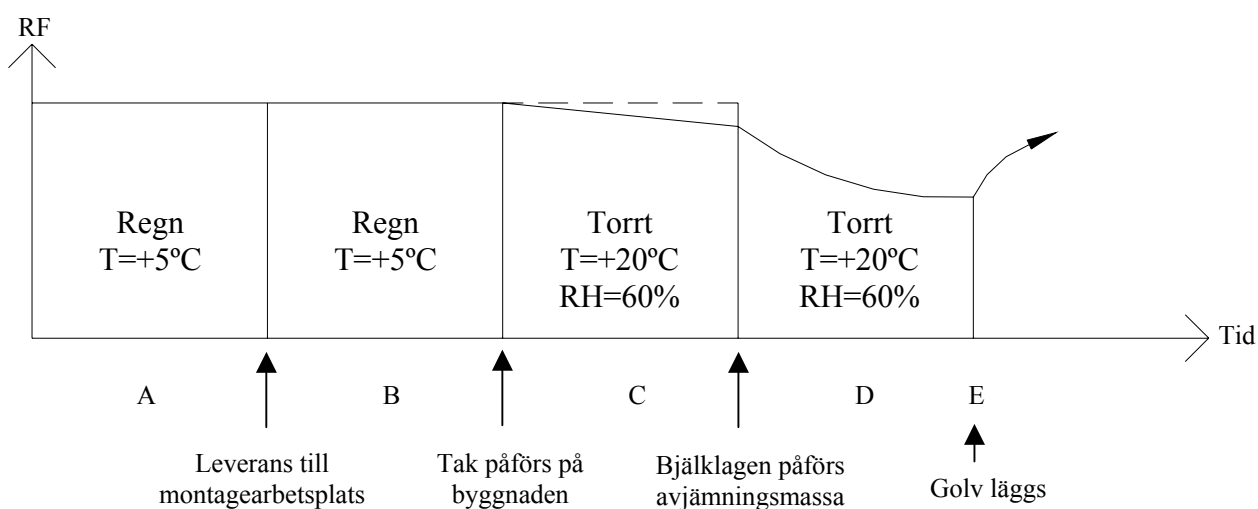
- D1A = klimat 7
- D2A = klimat 6
- D2C = klimat 8
- D3B = klimat 3
- D4B = klimat 4

5.4. Uttorkningsklimat

Provbitarna utsattes för 8 olika klimatförhållanden avsedda att återspegla verkligheten. Varje klimat är uppdelat i 4 stadier där varje stadium representerar ett steg i elementets exponering efter tillverkning. RF i figurerna beskriver ej verkliga RF utan representerar en allmän fuktnivå i betongen.

5.4.1. Klimat 1

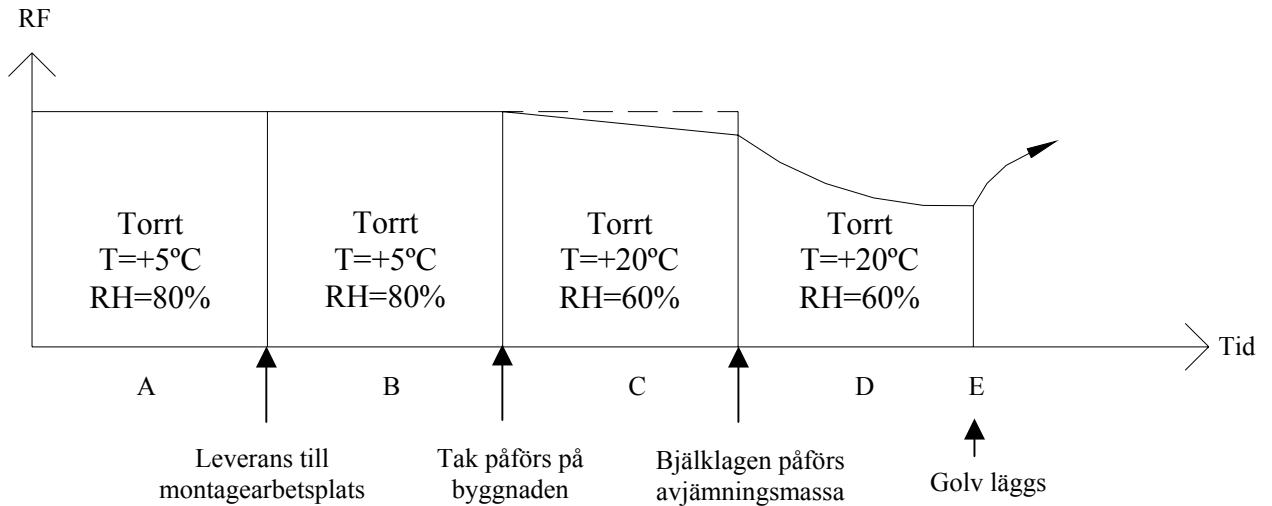
Motsvarar en kall och regnig vinter.



- Efter tillverkning placeras elementet på lagergården oskyddat där det utsätts för regn i 2 veckor.
- Elementet har levererats till byggarbetsplatsen men även här ligger det oskyddat och utsätts för regn i 2 veckor.
- Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.2. Klimat 2

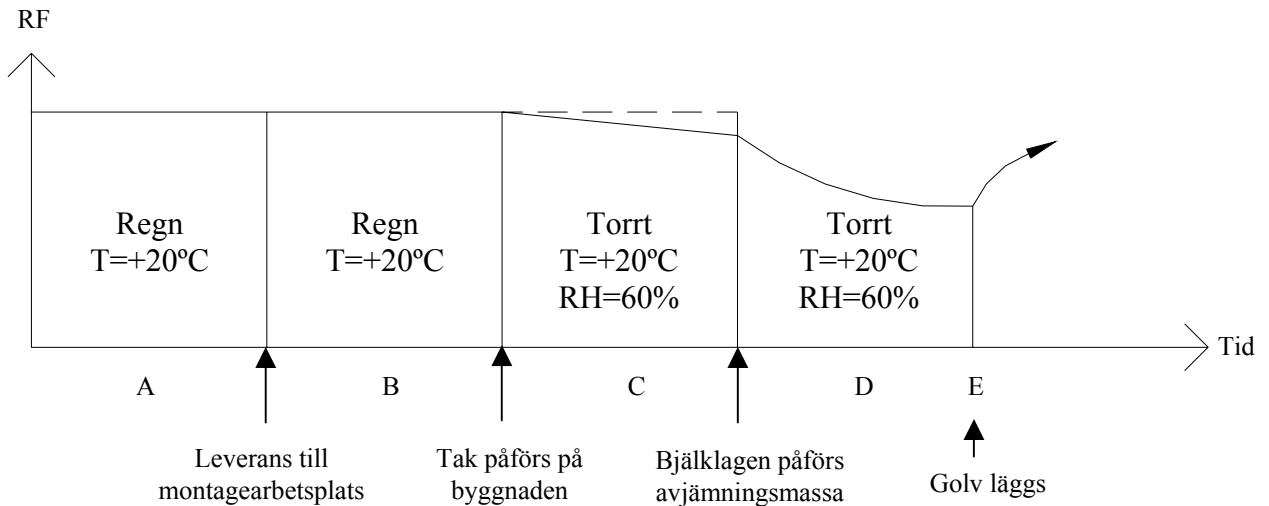
Motsvarar en kall vinter utan nederbörd, dvs. som klimat 1 fast utan regn.



- Efter tillverkning placeras elementet på lagergården i 2 veckor. Fallet motsvarar lagring på en öppen lagergård under torra förhållanden men kan också representera fallet då lagergården har tak.
- Elementet har levererats till byggarbetsplatsen där det lagras under torra förhållanden eller på en takskyddad lagergård i 2 veckor.
- Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.3. Klimat 3

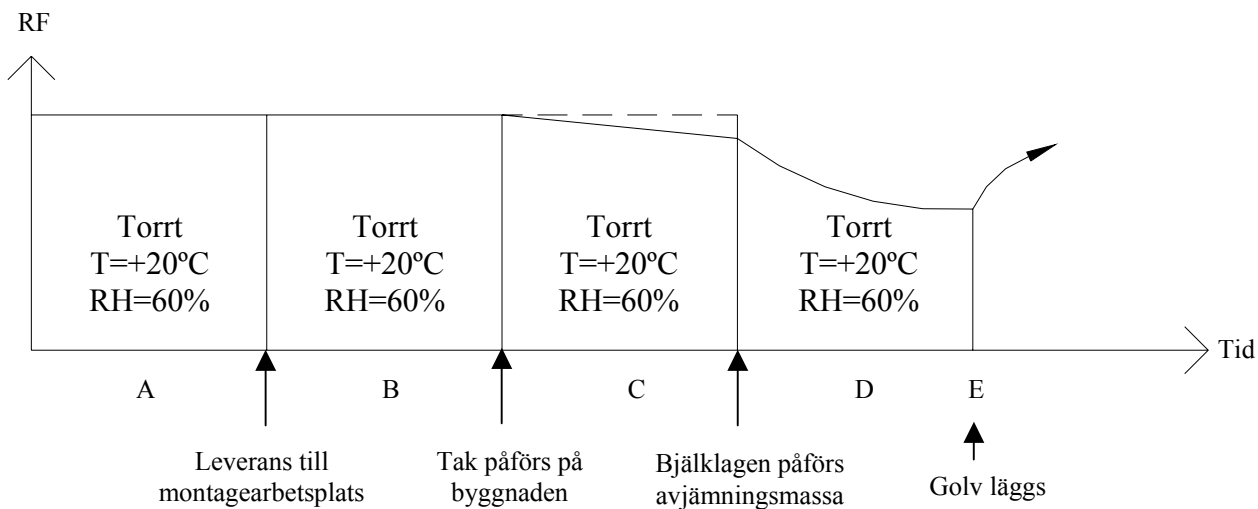
Motsvarar en varm, regnig sommar.



- Efter tillverkning placeras elementet på lagergården oskyddat där det utsätts för regn i 2 veckor.
- Elementet har levererats till byggarbetsplatsen men även här ligger det oskyddat och utsätts för regn i 2 veckor.
- Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.4. Klimat 4

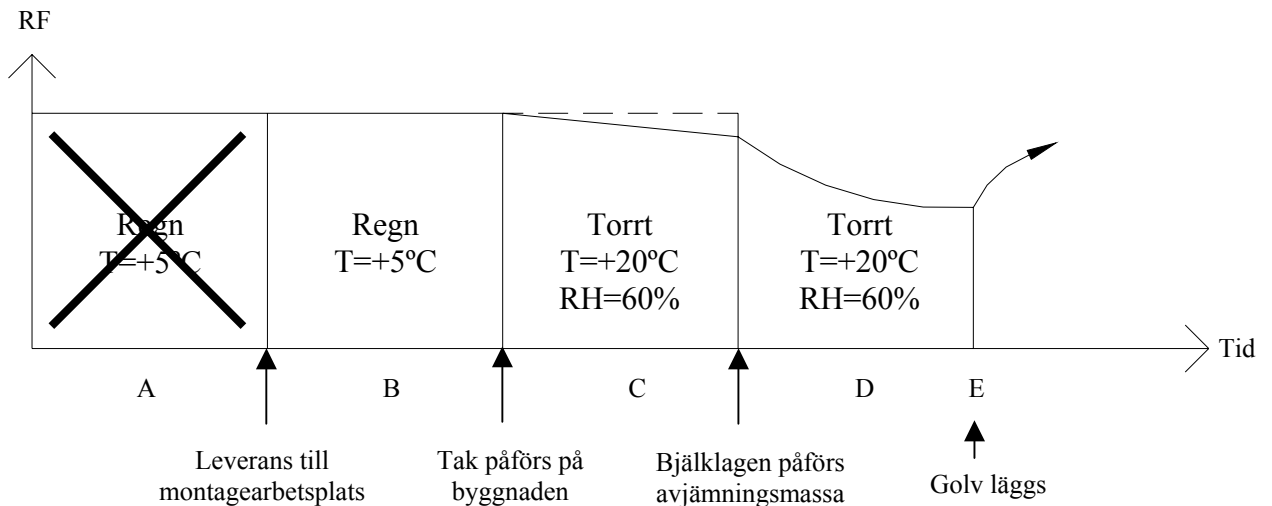
Motsvarar en varm sommar utan nederbörd, dvs. som klimat 3 fast utan regn.



- Efter tillverkning placeras elementet på lagergården i 2 veckor. Fallet motsvarar lagring på en öppen lagergård under torra förhållanden men kan också representera fallet då lagergården har tak.
- Elementet har levererats till byggarbetsplatsen där det lagras under torra förhållanden eller på en takskyddad lagergård i 2 veckor.
- Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.5. Klimat 5

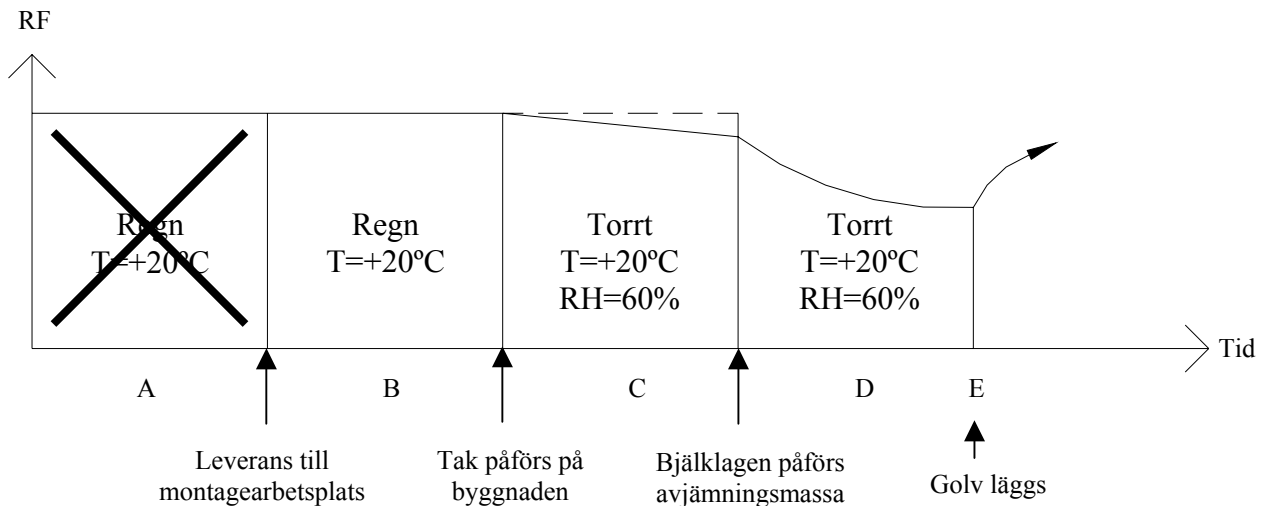
Som klimat 1 fast elementet levereras direkt till byggarbetsplatsen när det ska monteras så kallad "Just In Time" leverans.



- B. Elementet har levererats direkt till byggarbetsplatsen. Här ligger det oskyddat och utsätts för regn i 2 veckor.
- C. Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- D. Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. "inneklimatet" i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- E. Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.6. Klimat 6

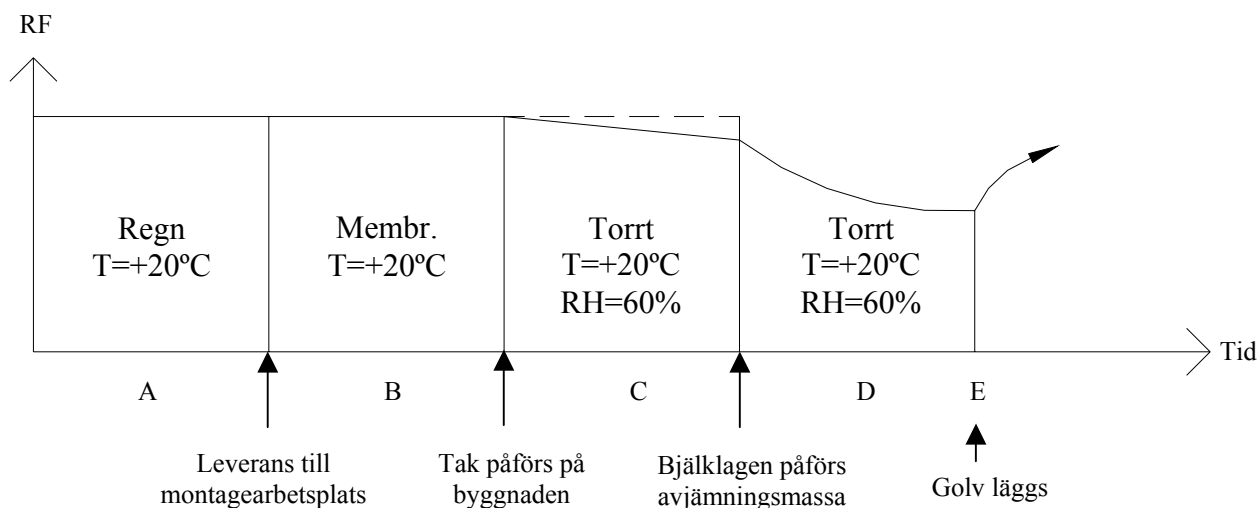
Som klimat 3 men direktleverans (Just In Time).



- B. Elementet har levererats direkt till byggarbetsplatsen. Här ligger det oskyddat och utsätts för regn i 2 veckor.
- C. Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- D. Här påförs avjämningsmassan och initiiellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- E. Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.7. Klimat 7

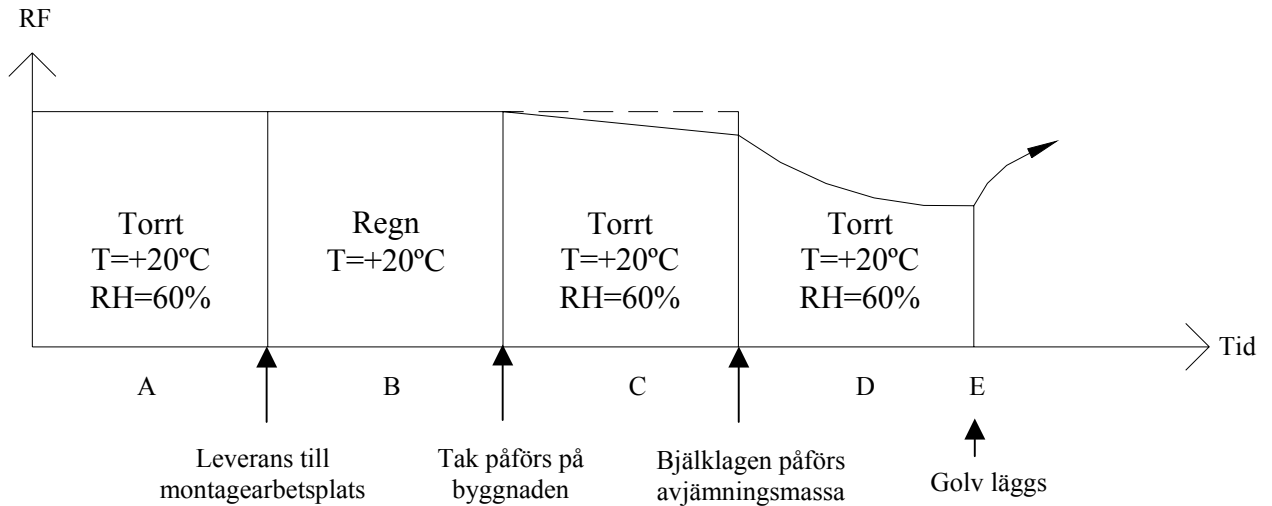
Kombinerat regn och membranhärdning fram tills elementet ligger under tak. Detta klimat simuleras för att resultaten ska kunna jämföras med en studie kring byggfukt i platsgjutna bjälklag [21].



- Efter tillverkning placeras elementet på lagergården oskyddat där det utsätts för regn i 2 veckor.
- Elementet membranhärdar i 2 veckor, dvs. elementen varken tillförs eller bortför fukt.
- Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

5.4.8. Klimat 8

Motsvarar en varm sommar med en initiell torr period följt av en regnig.



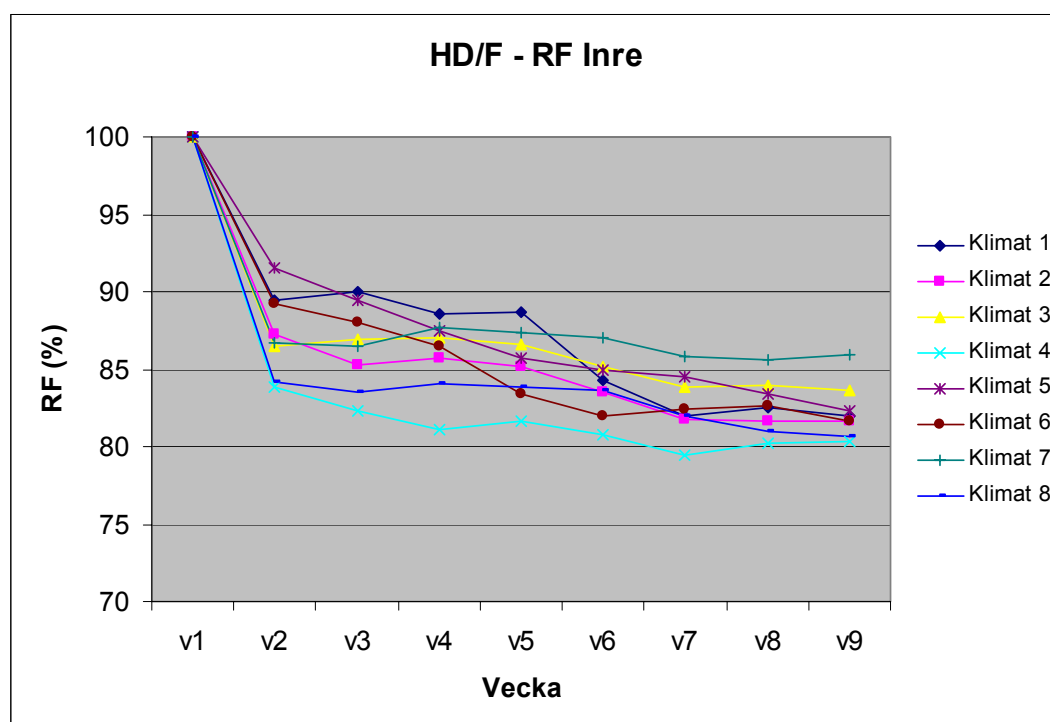
- Efter tillverkning placeras elementet på lagergården i 2 veckor. Fallet motsvarar lagring på en öppen lagergård under torra förhållanden men kan också representera fallet då lagergården har tak.
- Elementet har levererats till byggarbetsplatsen men även här ligger det oskyddat och utsätts för regn i 2 veckor.
- Från och med detta stadium ligger elementet under tak. I detta stadium bibehåller elementet i stort sett all fukt och ingen fukt (regn/snö) tillförs. Tiden tills avjämningsmassan läggs är RF styrd.
- Här påförs avjämningsmassan och initieellt ökar fukthalten något för att sedan börja torka ut i takt med att elementet ställer sig i fuktjämvikt med omgivningen d.v.s. ”inneklimatet” i byggnaden. Tiden tills golvet läggs på är RF styrd.
- Här läggs golvet och elementet tillåts inte längre att torka dubbelsidigt och fukten i elementet omfördelas.

6. Resultat av uttorkningsförsök

I detta kapitel redovisas verkligt uppmätta RF för aktuella temperaturer. I klimat 1,2 och 5 ändras klimatet i ett steg på +5°C till +20°C. Detta medför att en RF-ökning sker på grund av desorptionsisotermens temperaturberoende. Uppmätta RF-värde vid +5°C justeras till det värde som gäller vid +20°C. Detta görs i bilaga 2 och 3.

6.1. Uttorkning av håldäcksbjälklag (HD/F)

I figuren nedan har uttorkningsförloppet för HD/F sammanställts. Skillnader mellan de olika klimatet syns tydligt. Mätresultatet är från givaren placerad på det ekvivalenta djupet (RF_{inre}).

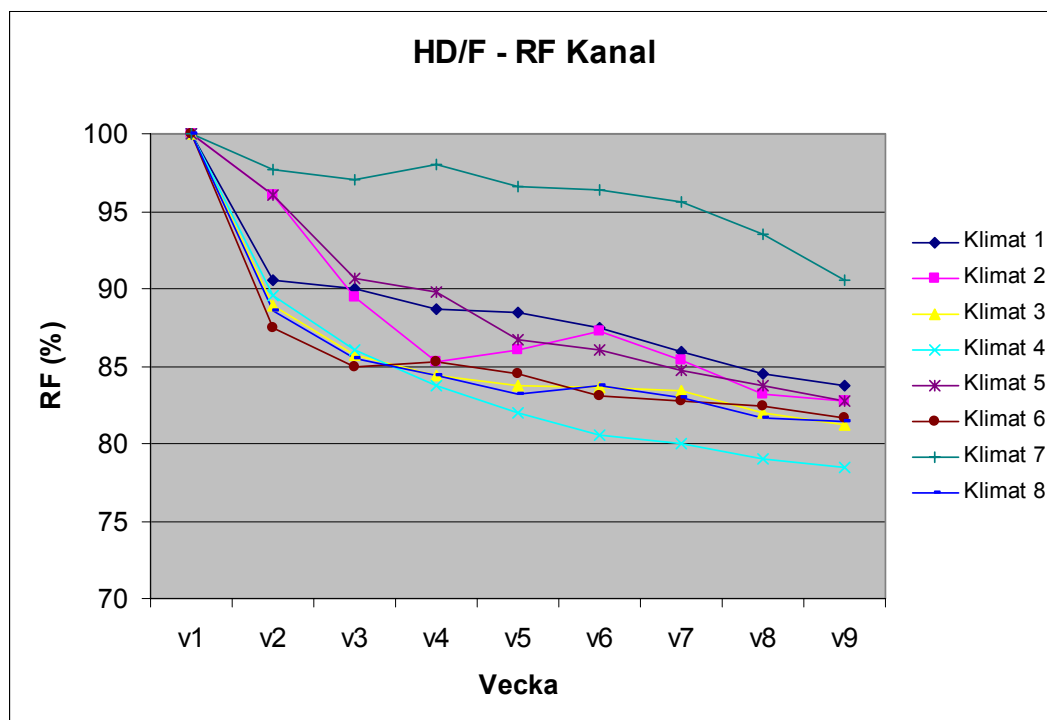


Figur 21 Sammanställning av uppmätt RF på ekvivalent djup för alla klimat.

Figur 22 visar en sammanställning av uppmätt RF i kanalen. Det uppmätta RF motsvarar ett slags medelvärde för betongen hos den omgivande betongytan.

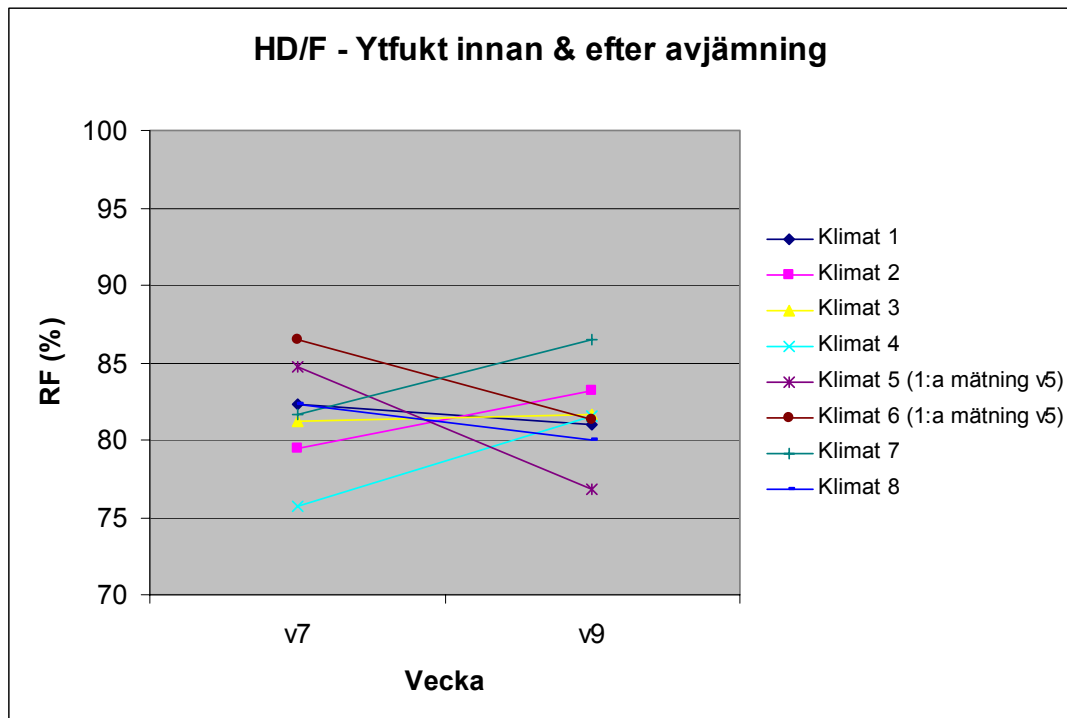
Provbitten som lagrats i klimat 7 fick ett vattenläckage in i kanalen. Detta upptäcktes efter 2 dagar och åtgärdades. Därför ligger uttorkningskurvan för detta prov högre än de övriga klimaten. I figur 22 kan man se att det efter ca 6 veckor börjar det torka snabbt: RF sjunker 5%-enheter på 2 veckor.

Mätpunkterna ligger något mer utspridda i figur 22 jämfört med figur 21 men i mätseriens slutfas ser kurvorna likadana ut och de samlar sig kring samma RF efter 8 veckors torkning.



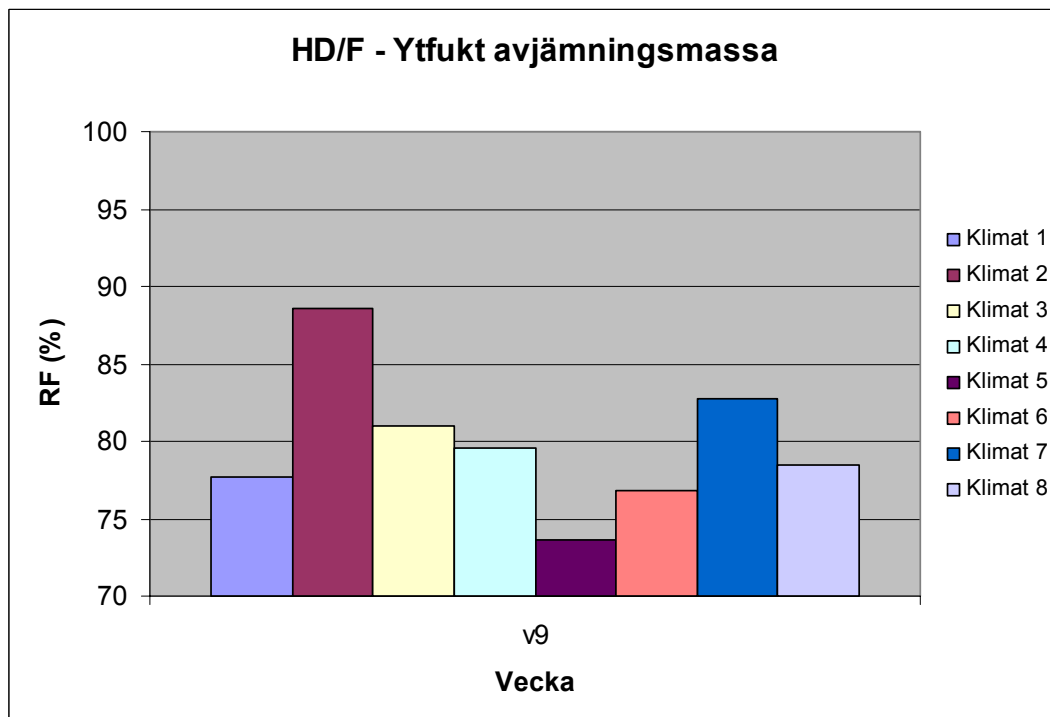
Figur 22 Sammanställning av uppmätt RF i kanalen för alla klimat.

Figur 23 visar uppmätt RF hos uttagna betongfragment från ytan av betongproverna dels innan avjämningsmassa läggs på, dels i mätseriens slut. För klimat 5 och 6 som motsvarar direktleverans till byggarbetsplats är tidsskillnaden mellan de två punkterna 4 veckor, dvs. 2 veckor längre än för de övriga klimaten.



Figur 23 Sammanställning av uppmätt RF i betongens yta före och efter det att avjämningsmassa lagts på.

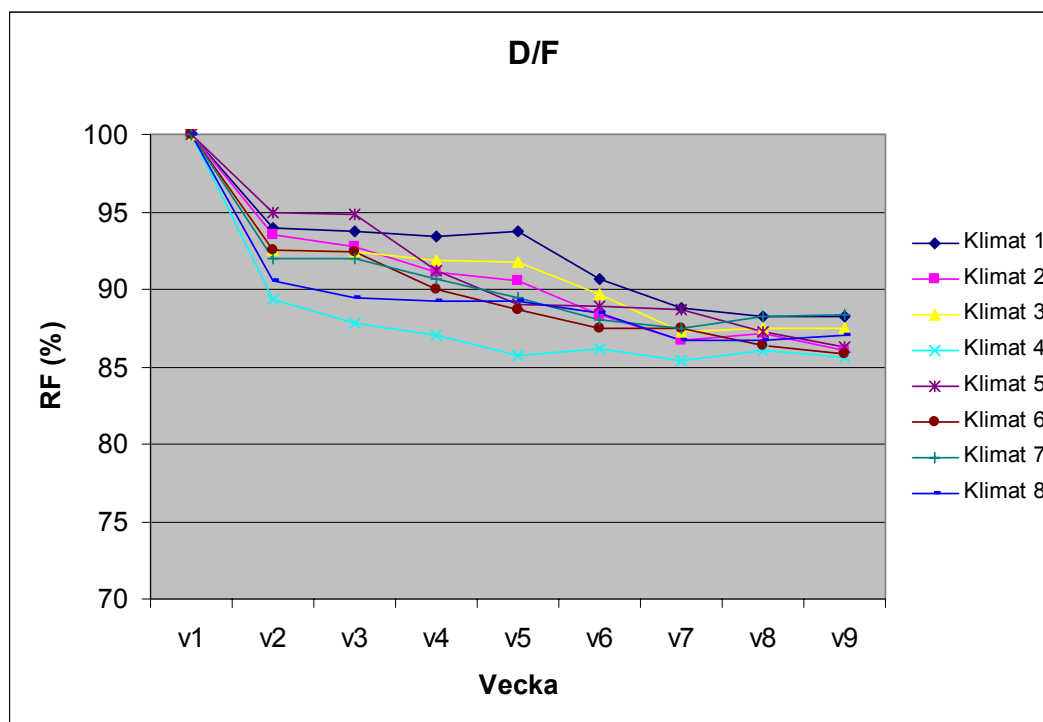
Figur 24 visar en sammanställning av uppmätt RF hos avjämningsmassans yta. Ytproverna för avjämningsmassan är tagna i samband med mätseriens slut. Klimat 5 och 6 ger något lägre yt-RF av den anledning att proverna fått torka ut 2 extra veckor jämfört med de övriga klimatet.



Figur 24 Sammanställning av uppmätt RF hos avjämningsmassan yta vid uttorkningstidens slut.

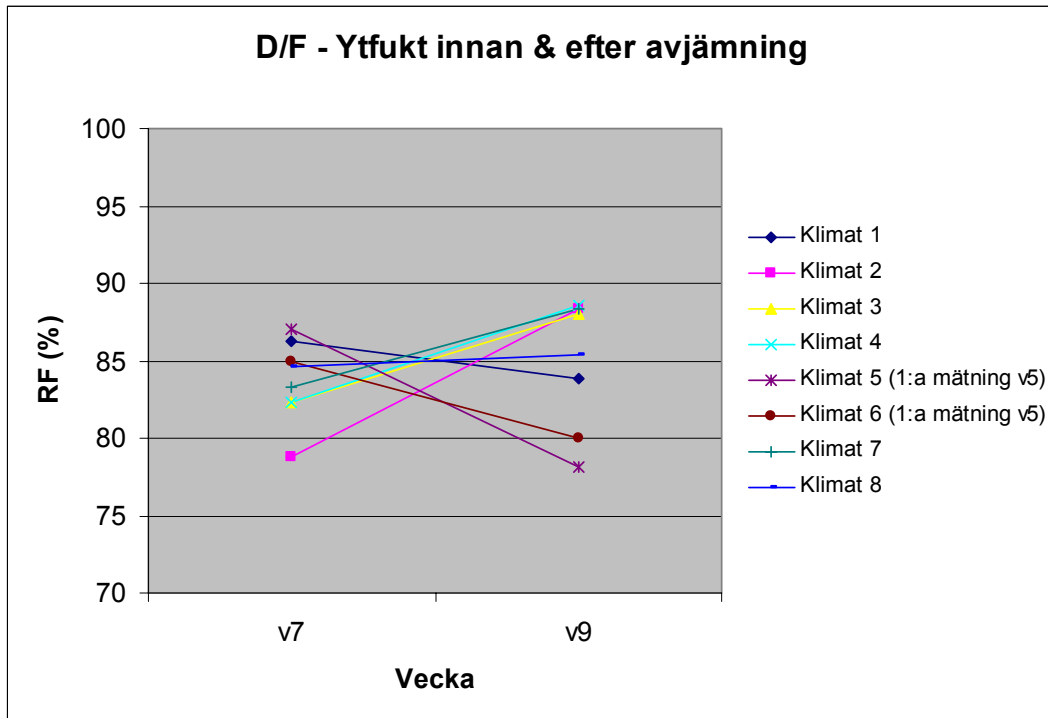
6.2. Uttorkning av homogen bjälklagsplatta (D/F)

Figur 25 visar en sammanställning av uttorkningsförloppet på ekvivalent djup för de olika klimaten. Uttorkningskurvorna för de olika klimaten samlar sig till ungefär samma RF-värde vid mätseriens slut.



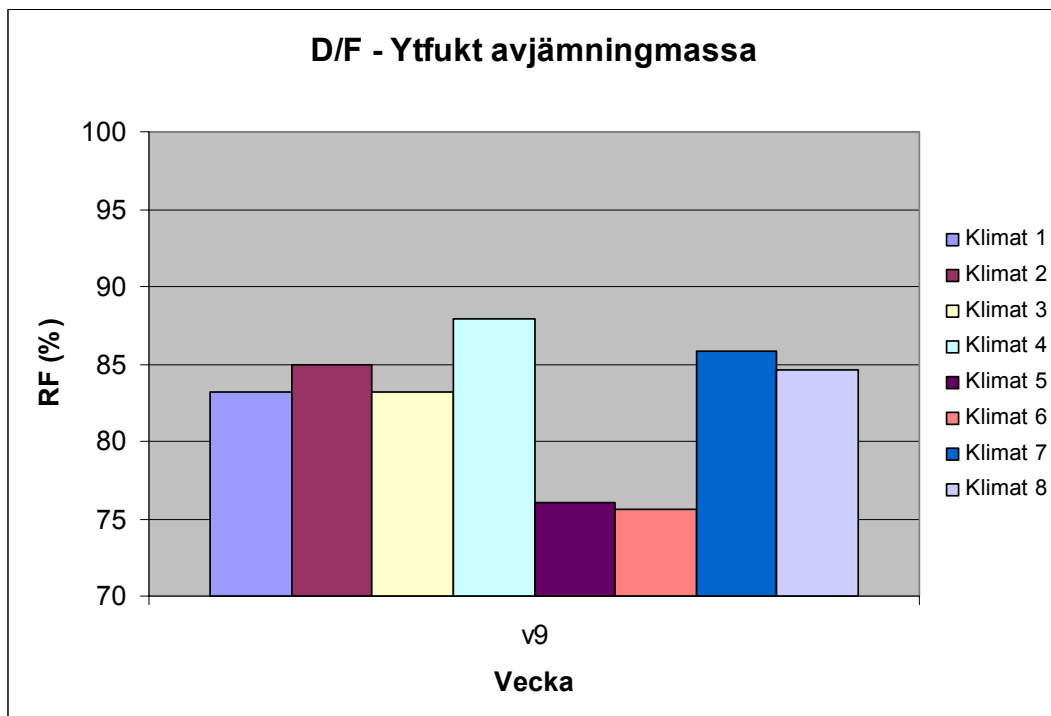
Figur 25 Sammanställning av uppmätt RF på ekvivalent djup för alla klimat.

Figur 26 visar uppmätt RF hos betongfragment från ytan av betongproverna dels före avjämningsmassa läggs på, dels i mätseriens slut. Liksom för HD/F motsvarar klimat 5 och 6 direktleverans till byggarbetsplats. Torktiden är alltså 2 veckor längre än för de övriga klimaten. I figur 27 syns att RF för avjämningsmassan vid klimat 5 och 6 är mycket lägre än för de övriga klimaten.



Figur 26 Sammanställning av uppmätt RF i betongens yta innan och efter det att avjämningsmassan lagts på.

Figur 27 visar en sammanställning av uppmätt RF hos avjämningsmassans yta. Ytproverna för avjämningsmassan är tagna i samband med mätseriernas slut. Här syns tydligt vad tidsskillnaden mellan klimat 5 och 6 och de övriga klimaten inneburit. Avjämningsmassan fick torka 2 extra veckor i klimat 5 och 6. Figur 27 visar att dessa klimat givit betydligt lägre yt-RF.



Figur 27 Sammanställning av ytfukten hos avjämningsmassan vid uttorkningstidens slut.

7. Utvärdering av utförda uttorkningsförsök

7.1. Självuttorkning

Vid låga vct är den inre självuttorkningen en viktig del av uttorkningsförloppet. I detta examensarbete har självuttorkningen ej mätts men genom att extrapolera bakåt i tiden i diagrammen (figur 21 och 25) för HD/F och D/F fås en indikation på hur stor den kan vara. De klimat som kan ge en god uppfattning om självuttorkningens storlek är de som inte ges möjlighet till uttorkning utåt under stadier A och B dvs. klimat 1,3,7

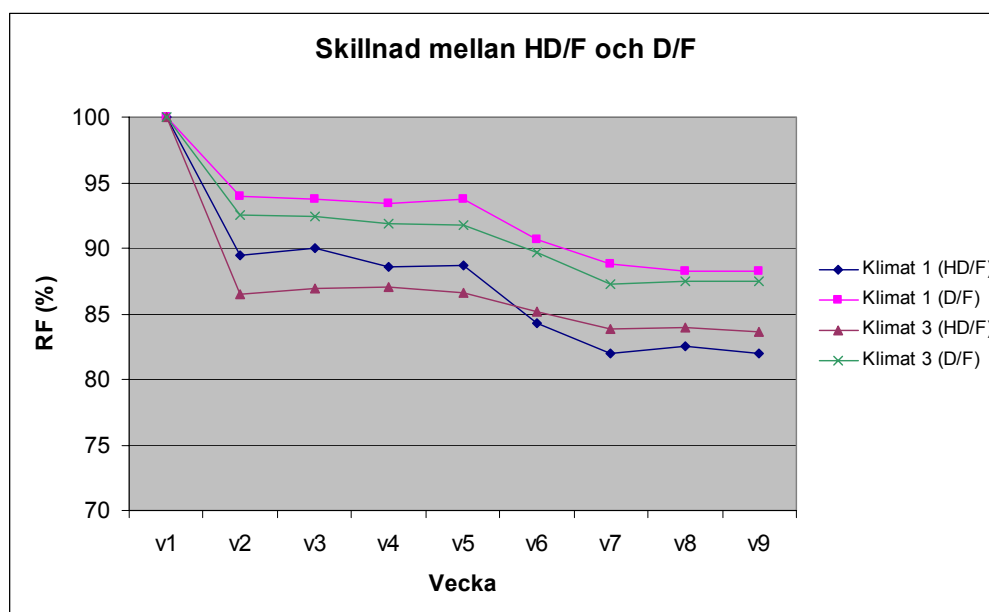
För HD/F framgår av figur 22 att självuttorkningen kan uppskattas motsvara ca 10% i RF medan den för D/F (figur 25) är något lägre, nämligen ca 5% i RF.

Det förefaller alltså som om HD/F-elementen har något större självuttorkning än D/F-elementen. Detta är överraskande med tanke på att vct är ungefär lika låga. Möjligen kan de olika cementtyperna spela en viss roll. Detta är dock oklart.

7.2. Jämförelser av uttorkningstider mellan HD/F och D/F

Uttorkningsförloppet för håldäcket och den homogena bjälklagsplattan har likartat beteende för de olika klimatförhållandena. Dock finns det tydliga tecken på vad som har påverkat uttorkningen.

Att självuttorkningen är en viktig del i uttorkningsförlopp togs upp i tidigare kapitel. De genomförda försöken bekräftar att självuttorkningen är en stor del av uttorkningen. Den motsvarar ca halva uttorkningen både för HD/F och D/F (figur 28).



Figur 28 Uttorkningsförlopp för HD/F och D/F för klimat 1 och 3.

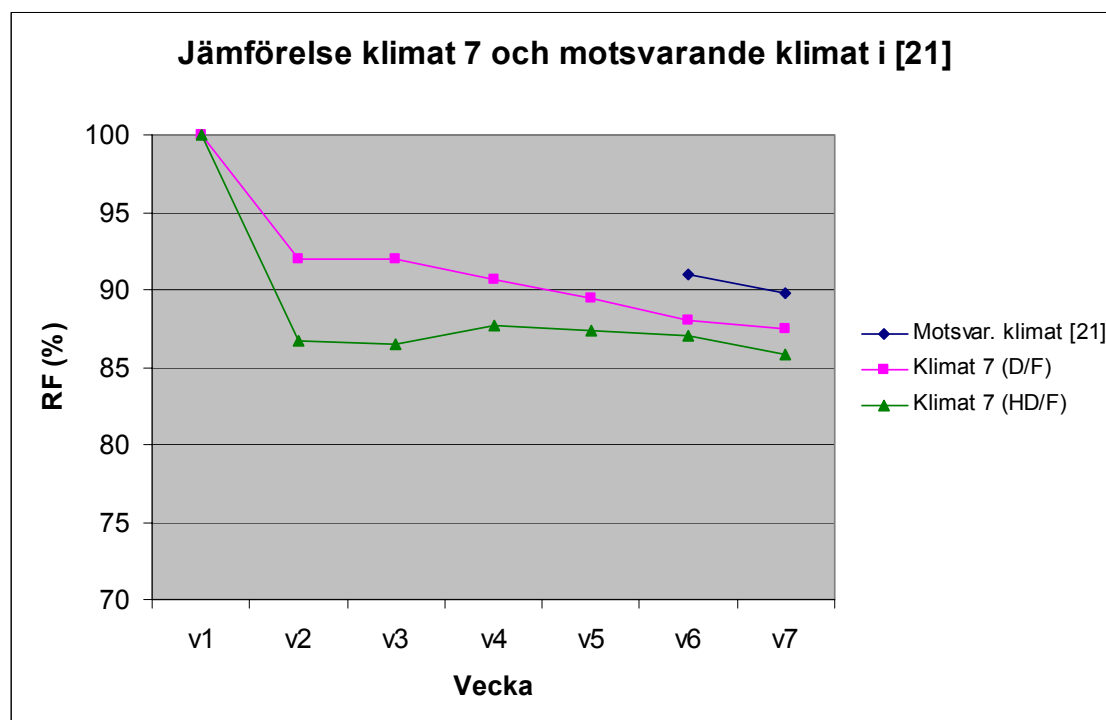
Skillnaden i RF mellan HD/F och D/F är under hela mättiden är ungefär lika stor som skillnaden i självtorkning, nämligen ca 5% lägre för HD/F (figur 28).

Uttorkningskurvorna för de båda klimaterna i figur 28 samlas kring 82% RF för HD/F och 87% för D/F.

Ur uttorkningssynpunkt är man intresserad att veta hur lång tid man ska vänta innan man kan lägga golvet (se kapitel 3 Uttorkning av betong). I tabellen nedan anges den ungefärliga tiden efter gjutning när provkropparna i försöket når $W_{kritisk}=90\%$.

Klimat	HD/F (Vecka)	D/F (Vecka)
1	4-5	5-6
2	1-2	4-5
3	0-1	4-5
4	0-1	0-1
5	2-3	3-4
6	0-1	3
7	0-1	3-4
8	0-1	1-2

I en studie kring uttorkning av byggfukt i betong [21] finns uttorkningstider uppmätta för ett klimat motsvarande klimat 7. Undersökningen avser uttorkning hos platsgjuten betong men på grund av skillnader i lagringstemperatur och plattjocklek är uttorkningsförloppet inte fullt jämförbart med uttorkningen för HD/F och D/F i klimat 7. En jämförelse mellan denna undersökning och nu genomförda undersökning visas i figur 29.

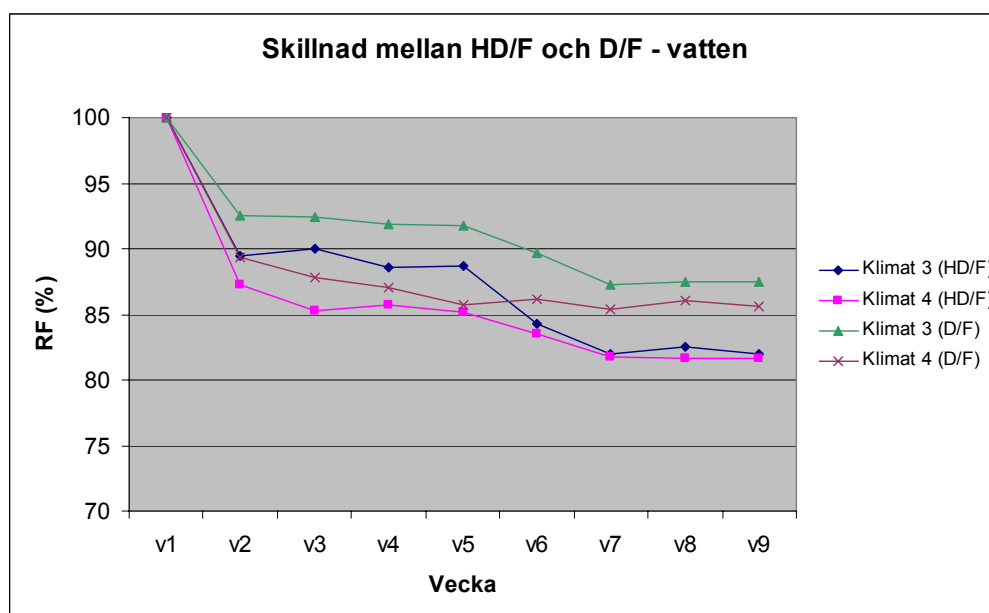


Figur 29 En jämförelse mellan uttorkning i klimat 7 och mätningar i motsvarande klimatet redovisade i [21].

7.3. Omgivande klimats påverkan på uttorkningen

Temperaturens inverkan på uttorkningsförloppet framgår av figur 28. Skillnaden mellan klimat 1 och 3 är att provkropparna i klimat 1 har fått torka ut i +5°C i 4 veckor och därefter +20°C medan de i klimat 3 fått torka ut i +20°C under hela mätserien. De fyra första veckorna ligger uppmätt RF i klimat 1 högre än i klimat 3 men när provkroppen flyttas till det varma klimatet verkar den torka snabbare och stabiliseras kring kurvan för klimat 3. Tendenserna är desamma för övriga klimat. D/F provbitarna betedde sig på samma sätt som HD/F proverna.

Inverkan av tillförsel av vatten till överytan av betongen kan ses i figur 30. I klimat 3 har regn i fyra veckor simulerats genom ett vattenbad på provbitens ovansida, medan klimat 4 är exakt samma klimat fast utan vatten på ytan. Uttorkningskurvan för klimat 3 är i stort sett horisontell fram till och med vecka 4 dvs. ingen uttorkning har skett. Detta innebär även att provbitarna är så pass täta att vattnet inte trängt ner i provkroppen till ekvivalent djup.



Figur 30 Uttorkningsförlopp för HD/F och D/F för klimat 3 och 4.

7.4. Ytfukt i betongen

Ytfukten i betongen mättes innan provkropparna försågs med avjämningsmassa samt i mätseriens slut.

Resultatet från ytfuktsmätningarna i betongen (figur 23 och 26) visar samma tendenser för HD/F och D/F. I alla klimat förutom 1, 5 och 6 fås en ökning i ytfukthalt efter det att avjämningsmassa lagts på. I klimat 5 och 6 är dock tidskillanden mellan första mätning och andra 4 veckor medan den för de övriga klimat endast är 2 veckor. Detta tyder på att under de första 2 veckorna ökar RF i betongen på grund av den vattenmängd som tillförs när avjämningsmassan läggs på. Men efter 2 veckor har avjämningsmassan torkat ut (kapitel 7.5) och då fortsätter betongen torka ut.

Skillnaden i ytfukt mellan de olika klimaten är större för HD/F än D/F. Det intressanta är att fukten vid slutet av försöken för klimat 2,3,4,7 och 8 för D/F hamnar på näst intill samma värde, nämligen ca 88% RF.

7.5. Avjämningsmassans inverkan på fortsatt uttorkningen

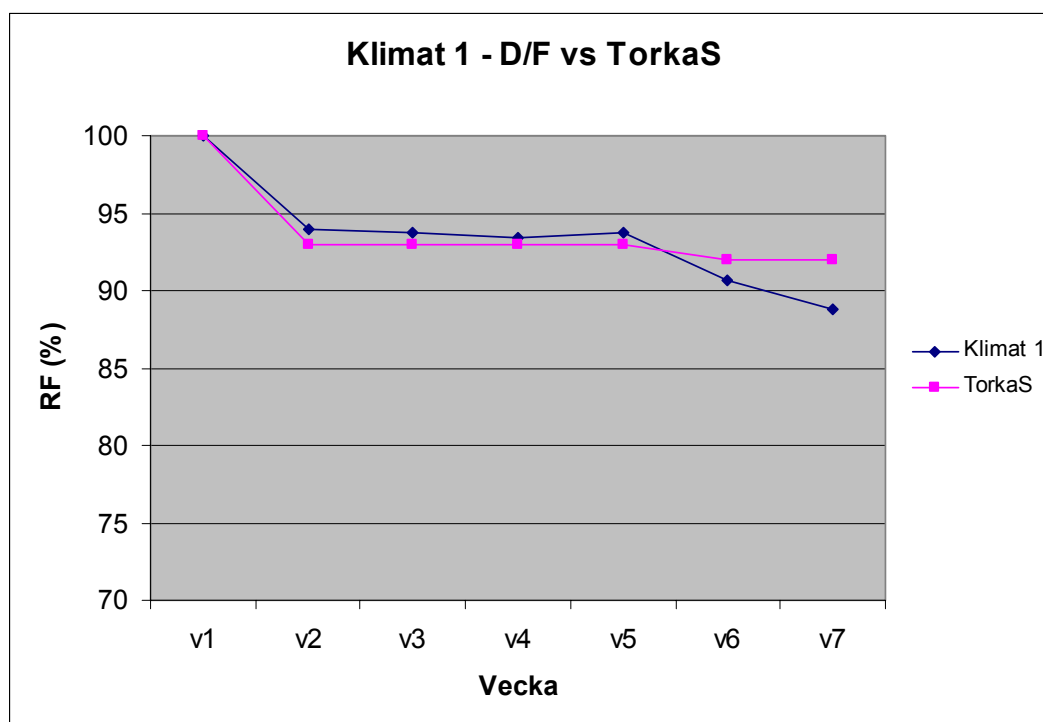
Både figur 21 och 25 visar att uttorkningskurvan hos betongen på ekvivalent djup planar ut när avjämningsmassan läggs på. Avståndet från ovankant till givaren placerad på det ekvivalenta djupet ökar till 57mm. Fukten i betongen har därför en längre väg att gå. Uttorkning av betongen kan ske först när avjämningsmassan torkat till en lägre nivå än betongen.

Mätningarna i avjämningsmassan för klimat 5 och 6 visar att dessa är torrare än de övriga klimaten. Detta på grund av att avjämningsmassan fick torka ut i 2 extra veckor jämfört med övriga klimat. Uttorkningskurvorna (figur 21 och figur 25) för klimat 5 och 6 visar att betongen börjar torka igen på ekvivalent djup efter 2 veckor med avjämningsmassa. Detta tyder på att avjämningsmassan torkat ut så pass att betongen tillåts torka ut igen genom avjämningsmassan.

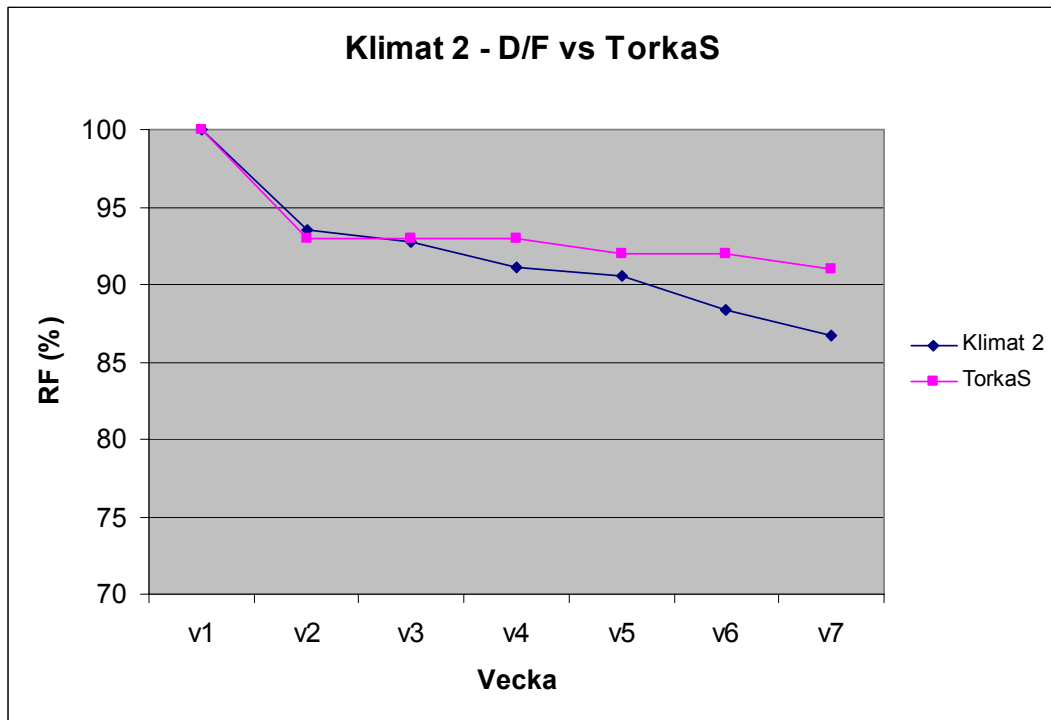
Enligt resultaten i detta examensarbete verkar den tumregel som beskrivs i kapitel 2.4 Golvavjämning vara tillämpbar.

8. Jämförelser med TorkaS 2.0

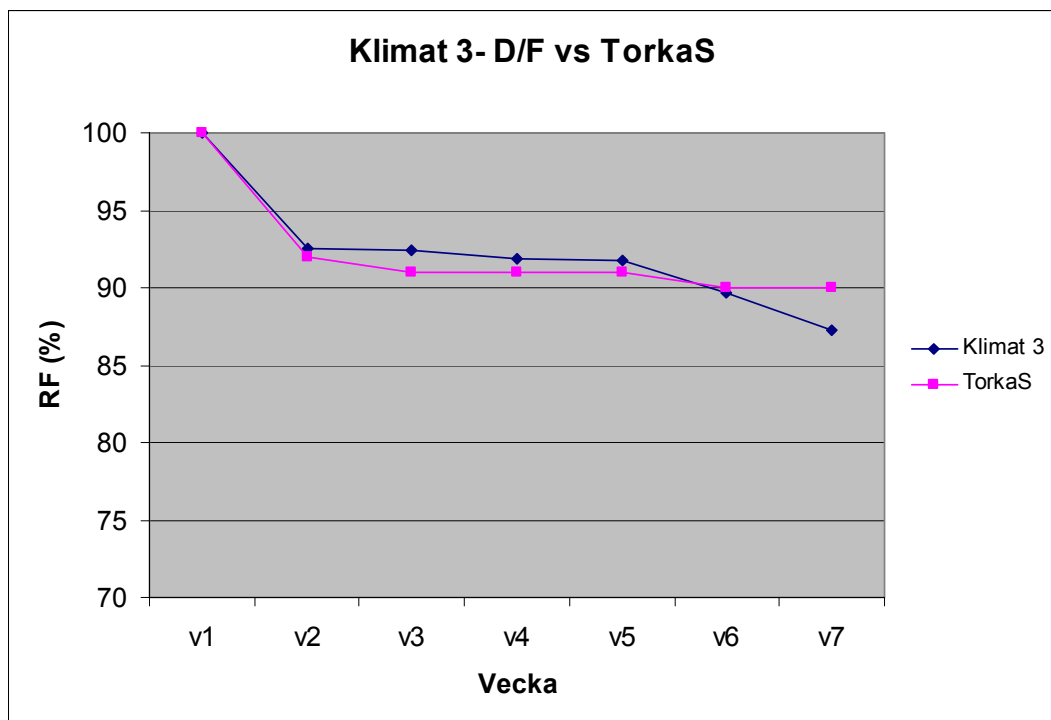
Jämförande beräkningar av uttorkningsförloppet hos D/F har gjorts med beräkningsprogrammet TorkaS 2.0 [20]. TorkaS är framtaget för att användas för platsgjuten betong men borde även gå att använda för D/F. Resultatet från uträkningarna i TorkaS finns i bilaga 6. Figuren nedan visar en sammanställning av resultaten. Det visar sig dock att mätresultaten i denna studie ligger lägre än TorkaS. Det allmänna utseendet hos uttorkningskurvorna är annars lika.



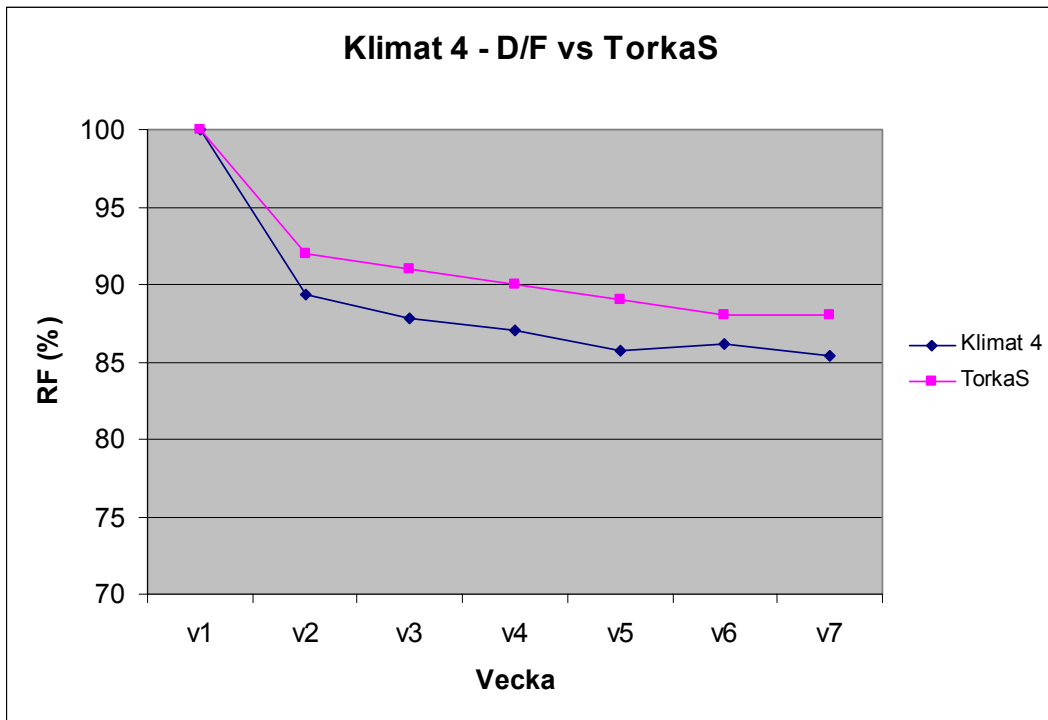
Figur 31 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 1, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



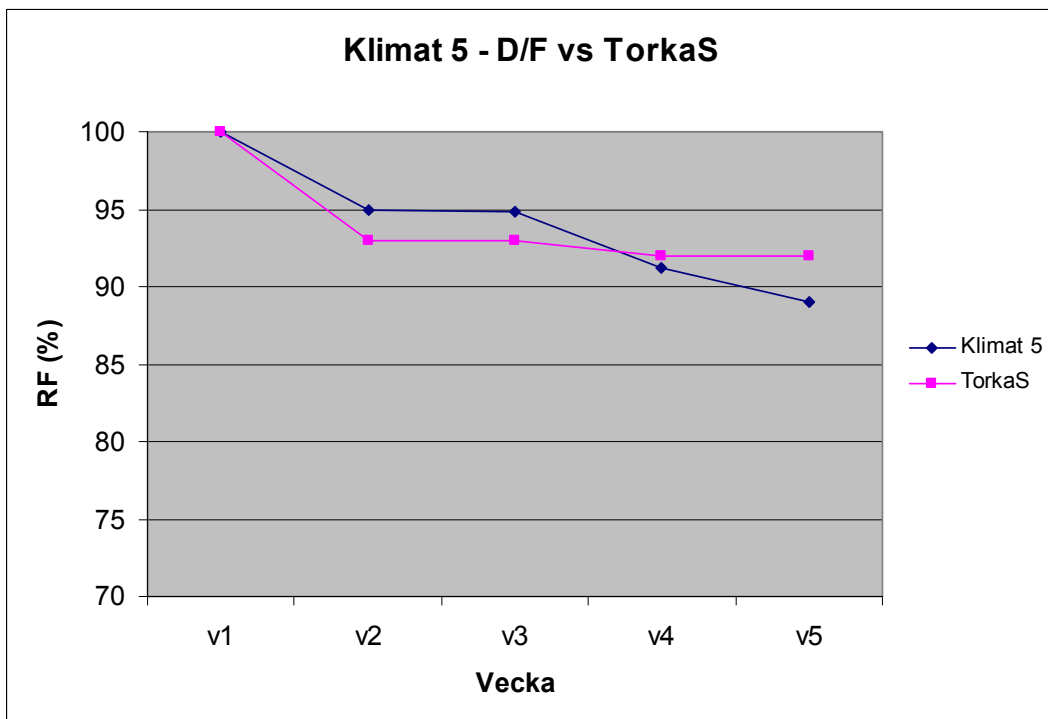
Figur 32 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 2, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



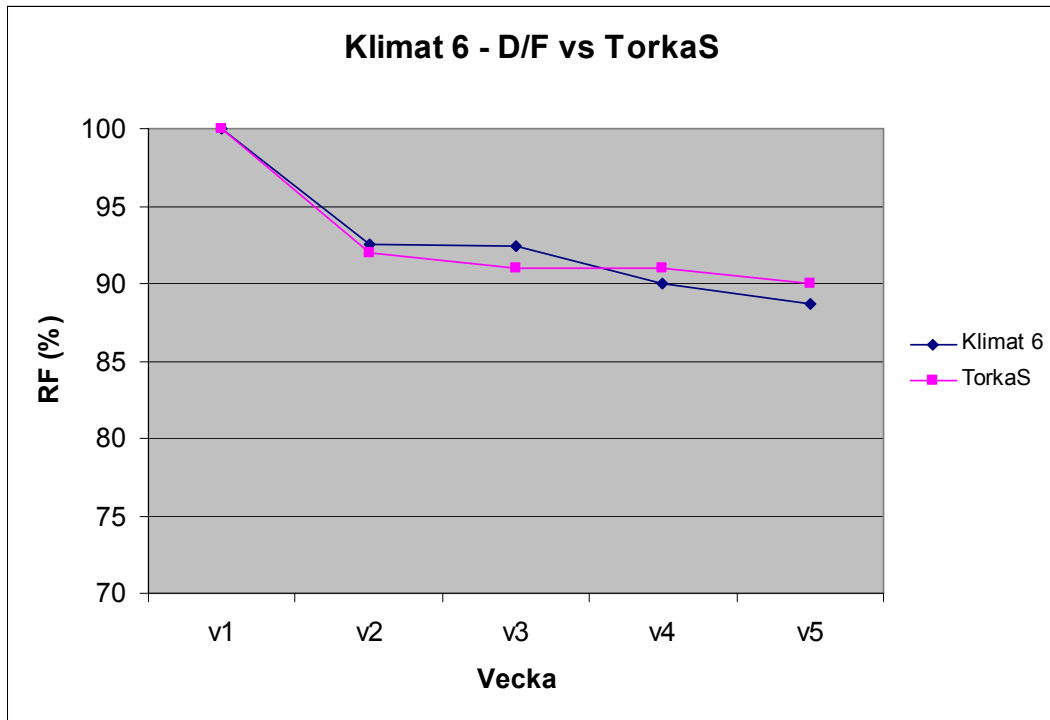
Figur 33 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 3, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



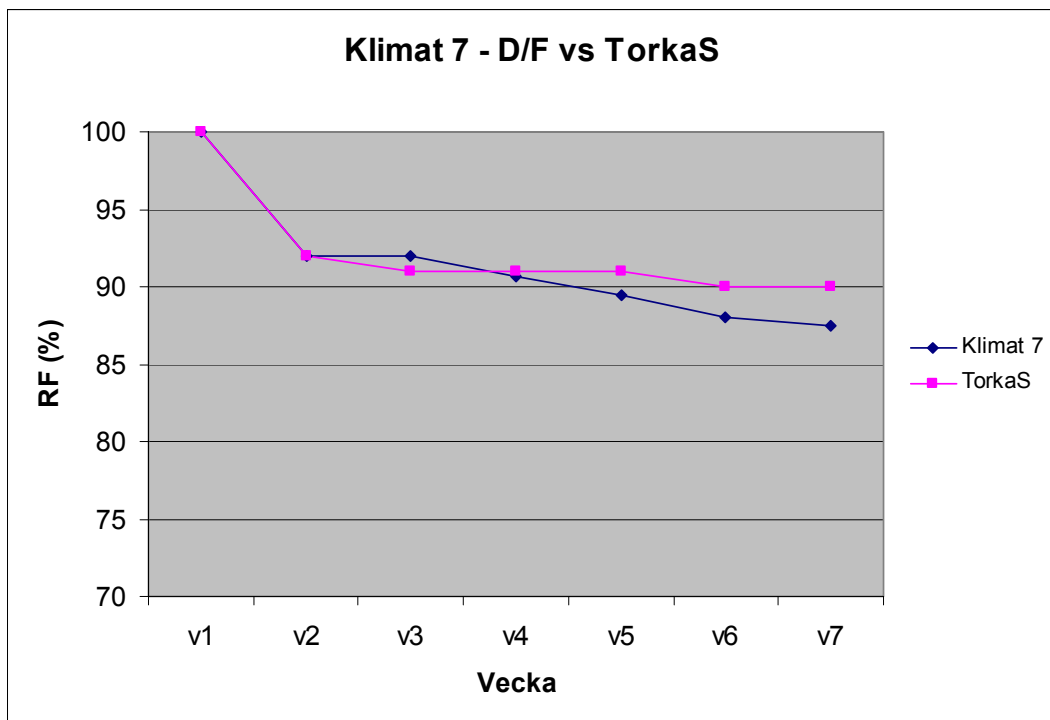
Figur 34 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 4, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



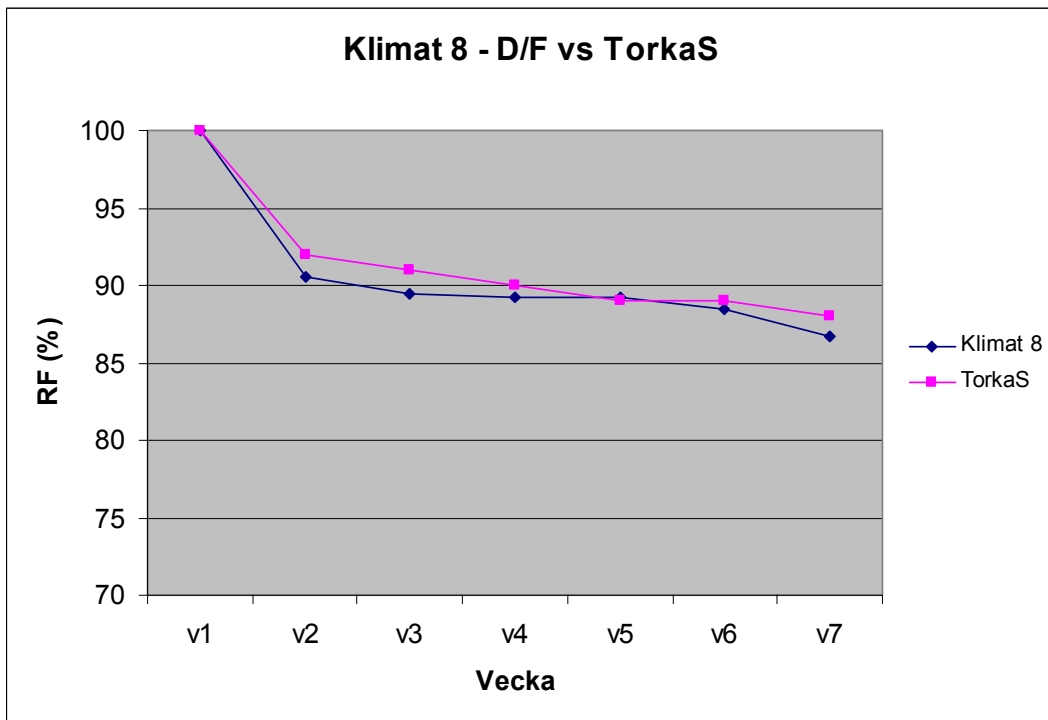
Figur 35 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 5, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



Figur 36 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 6, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



Figur 37 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 7, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].



Figur 38 Jämförelse av mätt uttorkningsförlopp för Klimat 8, D/F och beräknat uttorkningsförlopp enligt TorkaS [20].

9. Slutsatser

Som förväntat finns tydliga tecken på skillnader i uttorkningsförloppet för olika klimat och bjälklagstyper. Det allmänna utseendet på uttorkningskurvorna skiljer sig inte mycket mellan HD/F och D/F. Däremot skiljer sig storleken på självuttorkningen. För HD/F-plattor kan självuttorkningen ensam vara tillräckligt stor för golvläggning medan D/F-plattor måste få torka utåt innan golvläggning kan ske.

Uttorkningsförsöken visar att det är D/F som är dimensionerande ur fuktsynpunkt i de fall där HD/F och D/F används i samma bjälklag. Framförallt är det skillnaden i självuttorkning som avgör. Denna skillnad som är ca 5% i RF kvarstår under de 8 veckor långa uttorkningsförsöken.

De faktorer som påverkat utseendet på uttorkningsförloppet för de olika klimaterna är:

- vatteninverkan (regn)
- temperatur
- avjämningsmassan

När provkropparna utsattes för simulerat regn genom ett vattenbad på ovansidan avstannade uttorkningen under denna period nästan helt. Liknande tendens fanns under de sista veckorna efter det att avjämningsmassan lagts på. Klimat 5 och 6 som motsvarar direktleverans till bygge visade dock att 2 veckor efter det att avjämningsmassan lagts på, började betongen att torka ut igen om de yttre uttorkningsförhållandena bibehölls.

De provkroppar som lagrats i det kalla klimatet (+5°C) och de som utsatts för regn låg generellt högre än de som de som lagrats i varmt och torrt klimat (+20°C, 60% RF). När provkropparna, efter att ha lagrats kallt alternativt utsatts för regn, lagrats torrt igen (60% RF) sker en snabb uttorkning. Den relativa fuktigheten 8 veckor efter gjutning blir då ungefär samma som den som uppmäts i andra mer gynnsamma klimat. Skillnaden mellan de olika klimaterna vid mätseriens slut är alltså inte stor. Detta tyder på att lagringstemperaturen har liten inverkan på den relativa fuktigheten då betongelementen kommit under tak och värme.

Försöken visar att erforderlig uttorkningstid för att nå 90% RF i HD/F bjälklagen är ca 4-5 veckor för det mest ogynnsamma klimatet. För D/F är erforderlig uttorkningstid i motsvarande klimat ca 5-6 veckor. I övriga klimat torkar HD/F betydligt snabbare än D/F.

Simuleringarna som gjordes i TorkaS 2.0 [20] visar sig stämma ganska bra med mätningarna gjorda i denna studie. Medelvärde på RF på det ekvivalenta djupet beräknat med TorkaS 2.0 blir dock 2-4% högre än mätningarna.

10. Källförteckning

- [1] Betonghandbok. Material, utgåva 2, Svensk byggtjänst 1994.
Kapitel 5 Tillsatsmedel, Kajsa Byfors
- [2] Betonghandbok. Material, utgåva 2, Svensk byggtjänst 1994.
Kapitel 6 Tillsatsmaterial, Sven-Erik Johansson och Redaktionsgruppen
- [3] Betonghandbok. Material, utgåva 2, Svensk byggtjänst 1994.
Kapitel 8 Betongmassa, Arne Johansson, Nils Petersons
- [4] Betonghandbok. Material, utgåva 2, Svensk byggtjänst 1994.
Kapitel 10 Struktur och strukturutveckling, Göran Fagerlund
- [5] Betonghandbok. Material, utgåva 2, Svensk byggtjänst 1994.
Kapitel 14 Fukt och betong, Lars-Olof Nilsson
- [6] Betonghandbok. Arbetsutförande, utgåva 2, Svensk byggtjänst 1992.
Kapitel 15 Härdning av betong, Göran Möller
- [7] Betonghandbok. Högpresterande betong, Material och utförande, Svensk Byggtjänst 2000.
Kapitel 1 Inledning, Per Fidjestøl
- [8] Betonghandbok. Högpresterande betong, Material och utförande, Svensk Byggtjänst 2000.
Kapitel 11 Fuktegenskaper, Lars-Olof Nilsson, Göran Hedenblad och Kristina Norling-Mjörnell
- [9] Kompendium FK Byggnadsmaterial FK, Avd. Byggnadsmaterial LTH, Göran Fagerlund, 2001. Kapitel 10 Fukt och porer.
- [10] Kompendium FK Byggnadsmaterial FK, Avd. Byggnadsmaterial LTH, Göran Fagerlund, 2001. Kapitel 17 Materialprovning, färsk betong och cement.
- [11] Kompendium FK Byggnadsmaterial FK, Avd. Byggnadsmaterial LTH, Göran Fagerlund, 2001. Kapitel 19 Cement och andra oorganiska bindemedel.
- [12] Kompendium FK Byggnadsmaterial FK, Avd. Byggnadsmaterial LTH, Göran Fagerlund, 2001. Kapitel 21 Cementpastans och betongens strukturella uppbyggnad.
- [13] Kompendium FK Byggnadsmaterial FK, Avd. Byggnadsmaterial LTH, Göran Fagerlund, 2001. Kapitel 29 Kritiska Fukttillstånd.
- [14] Kompendium FK Byggnadsmaterial FK, Avd. Byggnadsmaterial LTH, Göran Fagerlund, 2001. Kapitel 30 Byggfukt. Erforderliga uttorkningstider.

- [15] Betong för sunda golv – Fuktdimensionering, materialval, produktion. Betongrapport nr 6, Svenska betongföreningen, 1997
- [16] Sunt byggande ger friska golv, Bo Malmberg, 2002
- [17] Teknisk Pärm, Skanska Prefab AB, 2002
- [18] Bygga med prefab, Betongelementföreningen. Kapitel Bjälklag och Tak, 2000
- [19] HusAMA98, Svensk byggtjänst, kapitel MHJ, 1998
- [20] TorkaS 2.0, Göran Hedenblad och Jesper Arfvidsson, 2002
- [21] Uttorkning av byggfukt i betong, Göran Hedenblad 1995.
- [22] RBK Manual, Fuktmätning i betong. Flik 2 och 3, Ted Rapp, 2001.
- [23] Uttorkningsförlopp i HDF-bjälklag, Stefan Graad, James Johansson och Martin Blixt, Chalmers tekniska högskola, 1999

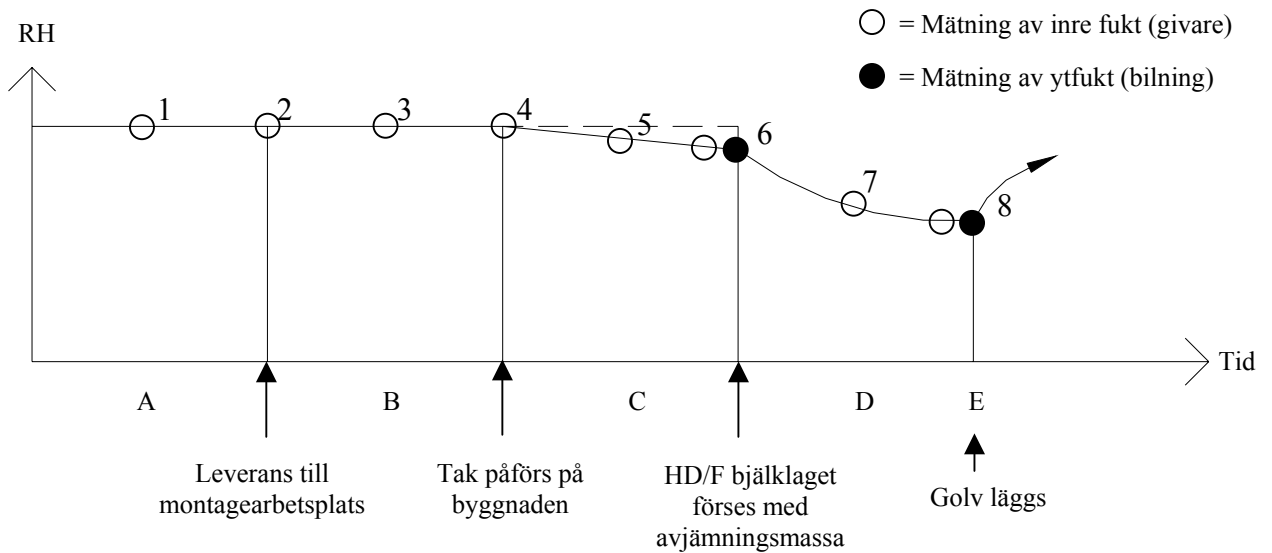
Bilagor

1. Tidsschema över aktiviteter

Tidsschema över aktiviteter

Håldäck (HD/F)

Gjutningsdatum för HD/F bjälklaget var 2 oktober 2002. Provbitarna levererades till LTH 4 oktober 2002.



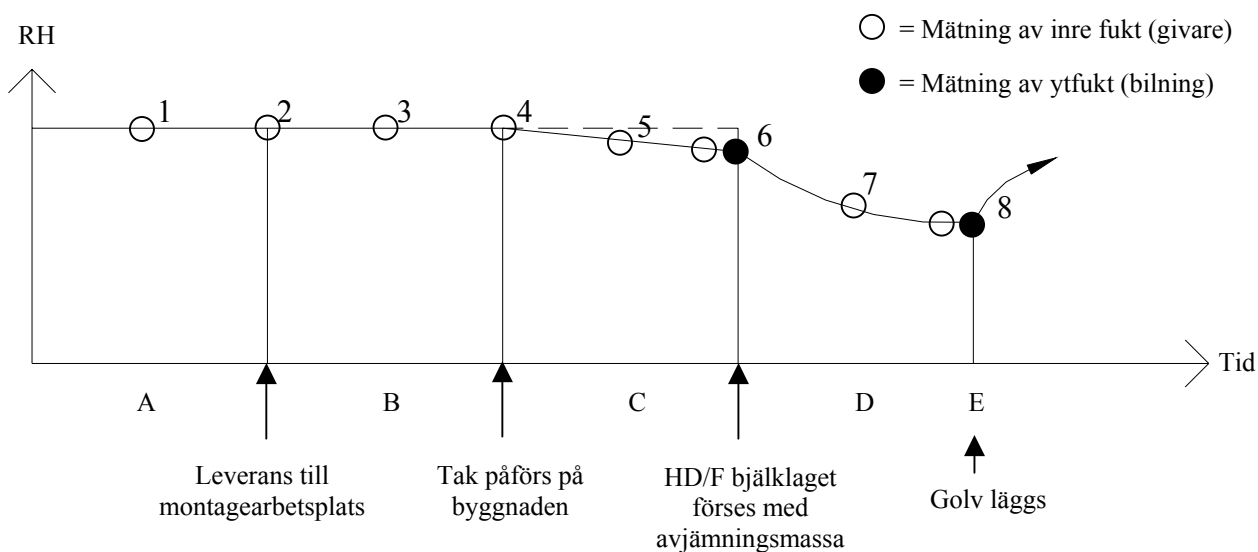
Mätning nr.	Datum (vecka)	Typ av mätning
1	v42	Inre fukt
2	v43	Inre fukt
3	v44	Inre fukt
4	v45	Inre fukt
5	v46	Inre fukt
6	RF styrd, v47	Inre fukt samt ytfukt
7	v48	Inre fukt
8	RF styrd, v49	Inre fukt samt ytfukt

OBS! Klimat 5-6 direktleverans dvs. 2veckor kortare tid.

Provbit	Klimat	Aktivitet
1A	4	v47 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
1B	7	Bort med vatten och membran läggs på v43. Bort med membranet v45. v47 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
1C	3	Torrt från och med v45. v47 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
2A	1	Torrt och flytt till varmt klimatrums v45. v47 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
2B	8	Regn mellan v43 och v45 därefter torrt. v47 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
4A	2	Flytt till varmt klimatrums v45. v47 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
4B	5	Torrt och flytt till varmt klimatrums v43. v45 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.
4C	6	Torrt från och med v43. v45 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v49.

Homogen bjälklagsplatta (D/F)

Gjutningsdatum för D/F bjälklaget var 9 oktober 2002 Provbitarna levererades till LTH 11 oktober 2002.



Mätning nr.	Datum (vecka)	Typ av mätning
1	v43	Inre fukt
2	v44	Inre fukt
3	v45	Inre fukt
4	v46	Inre fukt
5	v47	Inre fukt
6	RF styrd, v48	Inre fukt samt ytfukt
7	v49	Inre fukt
8	RF styrd, v50	Inre fukt samt ytfukt

OBS! Klimat 5-6 direktleverans dvs. 2veckor kortare tid.

Provbit	Klimat	Aktivitet
1A	7	Bort med vatten och membran läggs på v44. Bort med membranet v46. v48 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
1B	1	Torrt och flytt till varmt klimatrum v46. v48 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
1C	2	Flytt till varmt klimatrum v46. v48 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
2A	6	Torrt från och med v44. v46 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
2C	8	Regn mellan v44 och v46 därefter torrt. v48 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
3B	3	Torrt från och med v46. v48 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
4A	5	Torrt och flytt till varmt klimatrum v44. v46 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.
4B	4	v48 togs ytfukt från betongen samt avjämningsmassan läggs på. Ytfuktsprover tas för betong och avjämningsmassa v50.

2. Avlästa värden på RF samt justering av mätvärde från +5°C till +20°C

Mätning av Relativ Fuktighet v43

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)	Justerat för 20°C
22/10	D3B	3	18	18,4	88,5	92,5	
	D1A	7	23	18,4	86,9	92,0	
	D2C	8	16	19,1	85,9	90,6	
	1A	4	22	19,1	K=81,5	86,0	
	1A	4	33	19,1	I=80,4	82,3	
	1C	3	28	18,5	I=82,9	86,9	
	1C	3	24	18,8	K=80,2	85,7	
	4C	6	32	18,5	I=86,5	88,0	
	4C	6	25	18,8	K=81,7	85,0	
	D1B	1	12	3,7	86,0	94,0	95,0
	4A	2	21	4,5	I=80,4	85,3	89,3
	4A	2	30	4,4	K=85,2	89,5	91,8
24/10	D2A	6	18	18,4	88,6	92,5	
	D4B	4	23	19,2	84,1	89,3	
	1B	7	22	19,0	K=92,2	97,0	
	1B	7	33	18,5	I=84,8	86,5	
	2B	8	32	18,5	I=82,0	83,5	
	2B	8	25	18,9	K=81,5	85,5	
	D4A	5	10	3,8	83,3	95,0	95,7
	D1C	2	12	3,8	85,1	93,5	94,5
	2A	1	21	3,8	K=83,9	90,0	92,3
	2A	1	30	4,1	I=84,8	90,0	92,2
	4B	5	27	4,0	I=82,8	89,4	92,0
	4B	5	31	4,0	K=86,1	90,7	92,8

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Justerat värde är en omräkning av uppmätt RF-värde vid +5°C till det värde som skulle gälla om provet snabbt flyttas till +20°C.

Mätning av Relativ Fuktighet v44

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)	Justerat för 20°C
28/10	D3B	3	18	18,5	88,3	92,4	
	D1A	7	23	18,5	86,7	92,0	
	D2C	8	16	19,2	84,8	89,4	
	1A	4	22	19,4	K=79,2	83,7	
	1A	4	33	19,3	I=79,3	81,1	
	1C	3	28	18,7	I=83,1	87,0	
	1C	3	24	19,1	K=78,6	84,4	
	4C	6	32	19,4	I=85,1	86,5	
	4C	6	25	19,3	K=81,4	85,3	
	4A	2	21	4,0	I=80,6	85,7	89,7
	4A	2	30	3,9	K=84,3	88,7	91,6
	D1B	1	10	3,6	82,9	93,7	94,7
	D1C	2	12	3,6	84,7	92,8	94,1
31/10	D2A	6	18	18,5	88,2	92,4	
	D4B	4	23	19,4	82,8	87,8	
	4B	5	27	19,6	I=81,9	87,5	
	4B	5	31	19,4	K=85,7	89,8	
	1B	7	28	19,5	I=83,8	87,7	
	1B	7	24	19,1	K=92,0	98,0	
	2B	8	32	18,7	I=83,0	84,1	
	2B	8	25	19,1	K=80,6	84,4	
	D4A	5	12	3,2	86,9	94,8	95,5
	2A	1	30	3,8	K=84,3	88,7	91,6
	2A	1	21	3,6	I=83,7	88,6	91,6

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Justerat värde är en omräkning av uppmätt RF-värde vid +5°C till det värde som skulle gälla om provet snabbt flyttas till +20°C.

Mätning av Relativ Fuktighet v45

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)	Justerat för 20°C
4/11	D3B	3	18	18,7	87,9	91,9	
	D1A	7	23	19,5	85,8	90,7	
	D2C	8	16	18,7	84,7	89,2	
	1C	3	24	19,2	K=78,1	83,7	
	1C	3	28	18,9	I=82,8	86,6	
	1A	4	31	19,6	K=78,1	82,0	
	1A	4	27	19,6	I=75,3	81,7	
	4C	6	25	19,4	K=80,4	84,5	
	4C	6	32	19,5	I=82,1	83,4	
	D1B	1	10	3,7	82,6	93,4	94,5
	4A	2	21	4,0	I=80,2	85,2	89,4
	4A	2	30	4,3	K=81,8	86,0	89,9
	7/11	D2A	6	18	19,4	86,3	90,0
D4B		4	16	19,5	82,5	87,0	
D4A		5	12	19,2	84,2	91,2	
4B		5	27	19,6	I=79,8	85,7	
4B		5	31	19,7	K=82,5	86,7	
1B		7	24	19,5	K=90,4	96,6	
1B		7	28	19,6	I=83,6	87,4	
2B		8	32	18,7	I=82,5	83,8	
2B		8	25	19,2	K=79,4	83,2	
2A		1	21	3,6	I=83,5	88,7	91,7
2A		1	30	3,8	K=83,9	88,5	91,4
D1C		2	10	4,0	80,1	91,1	92,9
		4B	Ytfukt	V1		79,2	84,7
	4C	Ytfukt	V2		103,3	86,5	

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Justerat värde är en omräkning av uppmätt RF-värde vid +5°C till det värde som skulle gälla om provet snabbt flyttas till +20°C.

Mätning av Relativ Fuktighet v46

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)	Justerat för 20°C
12/11	D3B	3	18	18,7	87,6	91,8	
	D1A	7	23	19,5	84,5	89,5	
	D2C	8	16	18,6	84,7	89,2	
	1C	3	28	19,5	I=81,1	85,2	
	1C	3	24	19,5	K=78,1	83,6	
	1A	4	27	19,5	I=74,5	80,8	
	1A	4	31	19,5	K=76,9	80,5	
	4A	2	30	19,2	K=83,8	87,3	
	4A	2	21	19,3	I=79,3	83,5	
	4C	6	25	19,3	K=79,1	83,1	
	4C	6	32	19,3	I=80,9	82,0	
	D1B	1	10	8,9	82,9	93,7	94,4
14/11	D2A	6	18	19,4	84,8	88,7	
	D4B	4	23	19,4	80,9	85,7	
	D4A	5	16	19,3	84,3	89,0	
	2A	1	32	19,5	I=83,1	84,3	
	2A	1	25	19,4	K=83,6	87,5	
	4B	5	28	19,4	I=81,1	85,0	
	4B	5	24	19,4	K=80,2	86,0	
	2B	8	27	19,5	I=77,9	83,6	
	2B	8	31	19,5	K=79,8	83,7	
	1B	7	21	19,3	I=82,6	87,0	
	1B	7	30	19,3	K=92,5	96,4	
	D1C	2	10	6,5	79,7	90,6	92,2
	D4A	Ytfukt	V2		103,8	87,0	
	D2A	Ytfukt	V1		79,5	85,0	

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Justerat värde är en omräkning av uppmätt RF-värde vid +5°C till det värde som skulle gälla om provet snabbt flyttas till +20°C.

Mätning av Relativ Fuktighet v47

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)
18/11	D3B	3	18	19,4	85,8	89,7
	D1A	7	23	19,4	83,0	88,0
	D2C	8	16	19,4	83,9	88,5
	D1B	1	10	19,3	81,0	90,7
	1C	3	28	19,5	I=79,9	83,8
	1C	3	24	19,4	K=77,6	83,4
	1A	4	27	19,5	I=73,9	79,4
	1A	4	31	19,4	K=76,1	80,0
	4A	2	21	19,3	I=77,5	81,8
	4A	2	30	19,1	K=81,8	85,4
	4C	6	32	19,3	I=81,4	82,4
	4C	6	25	19,2	K=79,0	82,7
20/11	D2A	6	23	19,3	82,7	87,5
	D4B	4	18	19,4	82,3	86,2
	D4A	5	10	19,2	79,1	88,9
	D1C	2	16	19,3	83,9	88,4
	2A	1	32	19,4	I=80,9	82,0
	2A	1	25	19,4	K=81,9	85,9
	4B	5	28	19,5	I=80,6	84,5
	4B	5	24	19,5	K=79,0	84,7
	2B	8	31	19,5	K=79,0	83,0
	2B	8	27	19,5	I=76,2	82,0
	1B	7	21	19,3	I=81,4	85,8
	1B	7	30	19,3	K=91,6	95,6
	1A	Ytfukt	V1		71,6	75,7
	1C	Ytfukt	V5		77,3	81,2
	4A	Ytfukt	V5		75,6	79,4
	2A	Ytfukt	V6		79,2	82,3
	2B	Ytfukt	V6		79,1	82,3
	1B	Ytfukt	V4		86,7	81,7

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Mätning av Relativ Fuktighet v48

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)
25/11	D3B	3	23	19,4	82,2	87,2
	D1A	7	18	19,5	83,5	87,5
	D2C	8	16	19,4	82,4	86,7
	D1B	1	10	19,4	79,0	88,8
	1C	3	28	19,5	I=80,1	84,0
	1C	3	24	19,5	K=76,4	82,0
	1A	4	27	19,4	I=74,7	80,2
	1A	4	31	19,5	K=75,1	79,0
	4C	6	21	19,3	I=78,4	82,6
	4C	6	30	19,3	K=78,9	82,4
	4A	2	32	19,3	I=80,4	81,6
	4A	2	25	19,3	K=79,4	83,2
28/11	D2A	6	23	19,4	82,5	87,5
	D4B	4	18	19,4	81,3	85,4
	D4A	5	10	19,3	78,2	88,7
	D1C	2	16	19,4	82,2	86,7
	4B	5	28	19,6	I=79,6	83,4
	4B	5	24	19,5	K=78,0	83,7
	2A	1	27	19,5	I=76,9	82,5
	2A	1	31	19,6	K=80,5	84,5
	1B	7	30	19,3	K=89,5	93,5
	1B	7	21	19,3	I=81,4	85,6
	2B	8	32	19,4	I=79,8	81,0
	2B	8	25	19,4	K=78,0	81,7
	D3B	Ytfukt	V3		80,9	82,3
	D1A	Ytfukt	V5		79,0	83,3
	D2C	Ytfukt	V2		101,2	84,6
	D1B	Ytfukt	V6		82,4	86,3
	D4B	Ytfukt	21		68,1	82,3
	D1C	Ytfukt	25		75,1	78,8

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Mätning av Relativ Fuktighet v49

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)
2/12	D3B	3	23	19,3	82,6	87,5
	D1A	7	18	19,3	84,2	88,2
	D2C	8	16	19,2	82,2	86,7
	D1B	1	10	19,2	78,4	88,2
	1C	3	28	19,5	I=79,9	83,6
	1C	3	24	19,4	K=75,8	81,2
	1A	4	27	19,4	I=74,8	80,3
	1A	4	31	19,5	K=74,6	78,5
	4C	6	21	19,3	I=77,5	81,6
	4C	6	30	19,2	K=78,2	81,7
	4A	2	32	19,3	I=80,5	81,7
	4A	2	25	19,2	K=78,9	82,7
5/12	D2A	6	23	19,6	81,4	86,4
	D4B	4	18	19,5	82,0	86,0
	D4A	5	10	19,5	77,6	87,3
	D1C	2	16	19,4	82,7	87,1
	4B	5	28	19,7	I=78,6	82,3
	4B	5	24	19,7	K=77,0	82,7
	2A	1	27	19,6	I=76,4	82,0
	2A	1	31	19,8	K=79,7	83,7
	1B	7	21	19,5	I=81,6	85,9
	1B	7	30	19,4	K=86,4	90,6
	2B	8	32	19,6	I=79,6	80,7
	2B	8	25	19,5	K=77,7	81,4
	1C	Ytfukt	24		76,0	81,6
	4A+A	Ytfukt	30		84,8	88,6
	4C+A	Ytfukt	V4		82,4	76,8
	4A	Ytfukt	V6		79,8	83,2
	1C+A	Ytfukt	V3		79,6	81,0
	1A+A	Ytfukt	V1		74,8	79,6
	1A	Ytfukt	V5		77,5	81,5
	4C	Ytfukt	V2		98,2	81,3
	4B	Ytfukt	25		74,8	76,8
	4B+A	Ytfukt	V5		70,6	73,6
	2A	Ytfukt	30		77,8	81,0
	2A+A	Ytfukt	24		74,4	77,7
	1B	Ytfukt	V2		103,0	86,5
	1B+A	Ytfukt	V4		87,7	82,7
	2B	Ytfukt	25		76,2	80,0
	2B+A	Ytfukt	21		74,3	78,5

I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

Ändelsen ”+A” under kolumnen provbit innebär ytfukt hos avjämningsmassan.

Mätning av Relativ Fuktighet v50

Datum	Provbit	Klimat	Givare	T Provbit (°C)	RF givare (%)	RF kalibrerat (%)
9/12	D1B	1	10	19,6	78,4	88,2
	D1C	2	32	19,7	84,4	86,0
	D3B	3	23	19,6	82,5	87,5
	D4B	4	28	19,7	81,7	85,6
	D4A	5	31	19,7	82,0	86,3
	D2A	6	27	19,7	79,8	85,8
	D1A	7	18	19,6	84,3	88,3
	D2C	8	16	19,6	82,5	87,0
	D1B	Ytfukt	25		80,0	83,8
	D1B+A	Ytfukt	V6		79,8	83,2
	D1C	Ytfukt	V5		83,3	88,3
	D1C+A	Ytfukt	V3		83,1	85,0
	D3B	Ytfukt	V2		104,5	88,0
	D3B+A	Ytfukt	V5		78,9	83,2
	D4B	Ytfukt	24		82,8	88,6
	D4B+A	Ytfukt	V3		85,7	87,9
	D4A	Ytfukt	21		74,0	78,1
	D4A+A	Ytfukt	V1		71,9	76,0
	D2A	Ytfukt	V1		75,2	80,0
	D2A+A	Ytfukt	V4		81,5	75,6
	D1A	Ytfukt	V6		84,2	88,3
	D1A+A	Ytfukt	V2		102,5	85,8
	D2C	Ytfukt	V4		89,5	85,4
	D2C+A	Ytfukt	30		81,1	84,6

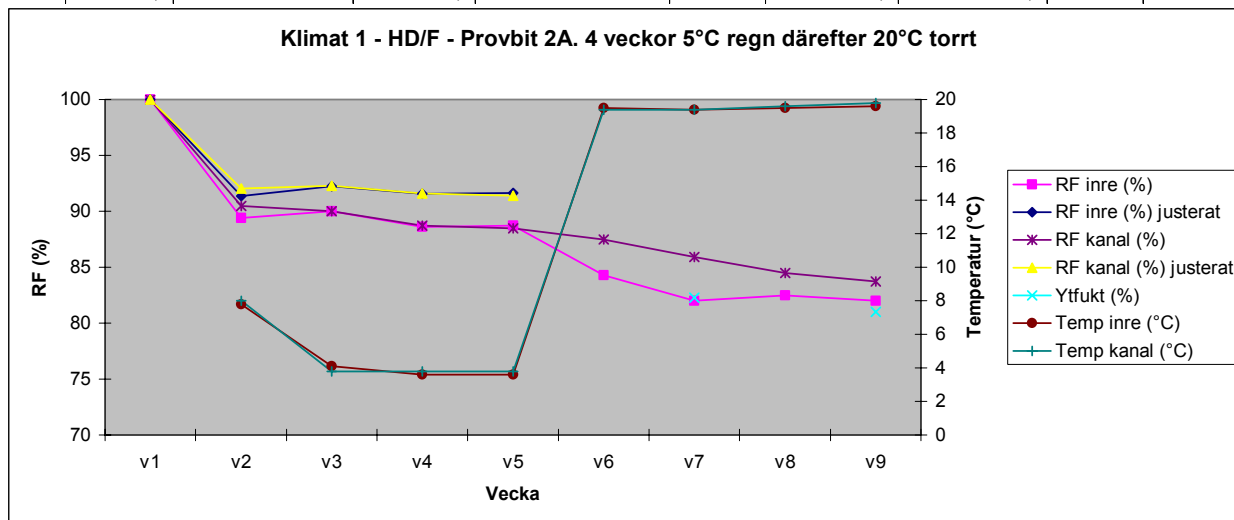
I = mätning från givare placerad i betongen.

K = mätning från givare placerad centriskt i kanalen.

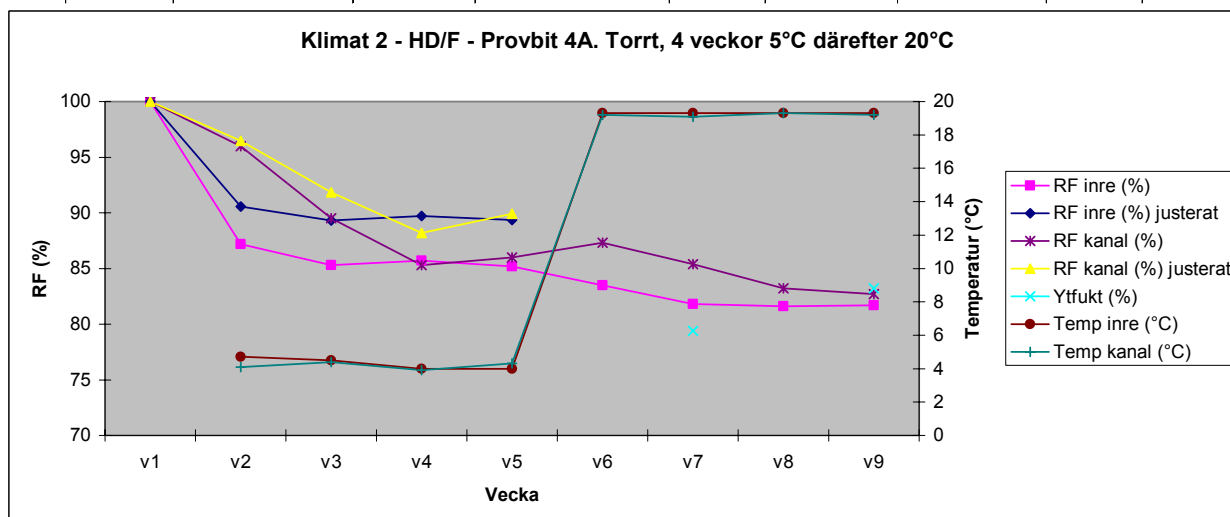
Ändelsen +A under kolumnen provbit innebär ytfukt hos avjämningsmassan.

3. RF i betongen dom funktion av tiden efter tillverkning

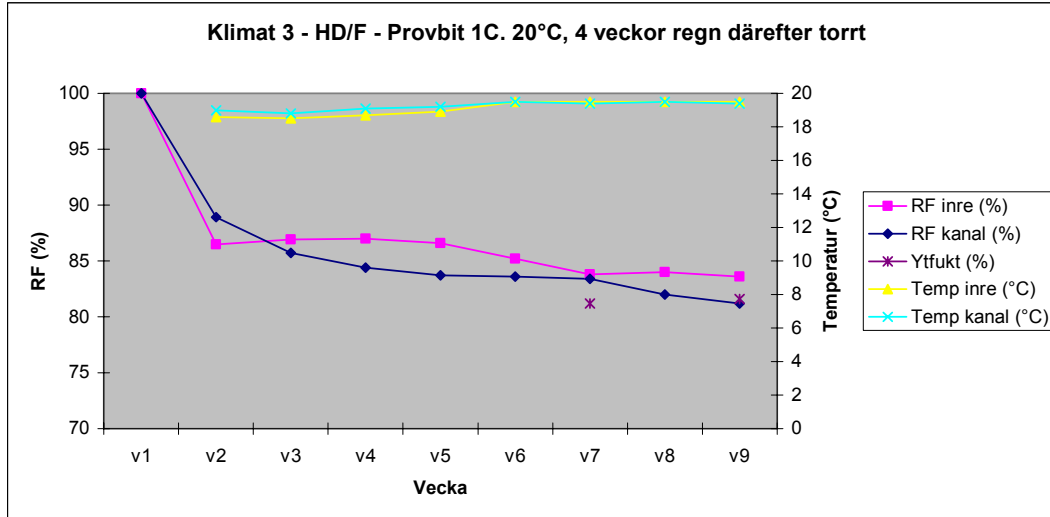
Vecka	RF inre (%)	RF inre (%) justerat	RF kanal (%)	RF kanal (%) justerat	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)	RF+ (Inre)	RF+ (Kanal)
v1	100,0	100,0	100,0	100,0					
v2	89,4	91,4	90,5	92,1		7,8	8	1,952	1,56
v3	90,0	92,2	90,0	92,3		4,1	3,8	2,226	2,268
v4	88,6	91,6	88,7	91,6		3,6	3,8	2,952	2,916
v5	88,7	91,7	88,5	91,4		3,6	3,8	2,952	2,916
v6	84,3		87,5			19,5	19,4		
v7	82,0		85,9		82,3	19,4	19,4		
v8	82,5		84,5			19,5	19,6		
v9	82,0		83,7		81	19,6	19,8		



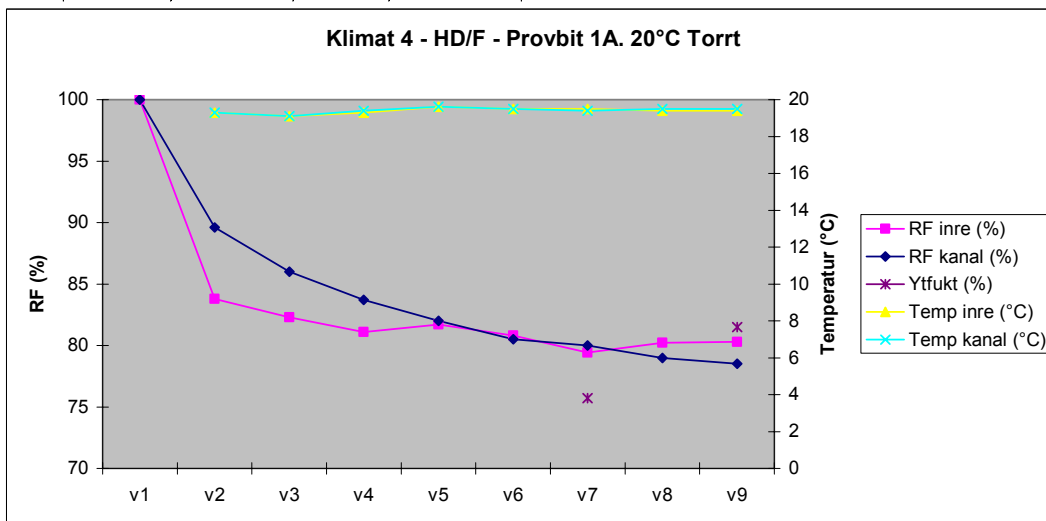
Vecka	RF inre (%)	RF inre (%) justerat	RF kanal (%)	RF kanal (%) justerat	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)	RF+ (Inre)	RF+ (Kanal)
v1	100,0	100,0	100,0	100,0					
v2	87,2	90,6	96,0	96,5		4,7	4,1	3,366	0,477
v3	85,3	89,3	89,5	91,8		4,5	4,4	4,03	2,34
v4	85,7	89,7	85,3	88,2		4	3,9	4	2,898
v5	85,2	89,4	86,0	89,9		4	4,3	4,16	3,925
v6	83,5		87,3			19,3	19,2		
v7	81,8		85,4		79,4	19,3	19,1		
v8	81,6		83,2			19,3	19,3		
v9	81,7		82,7		83,2	19,3	19,2		



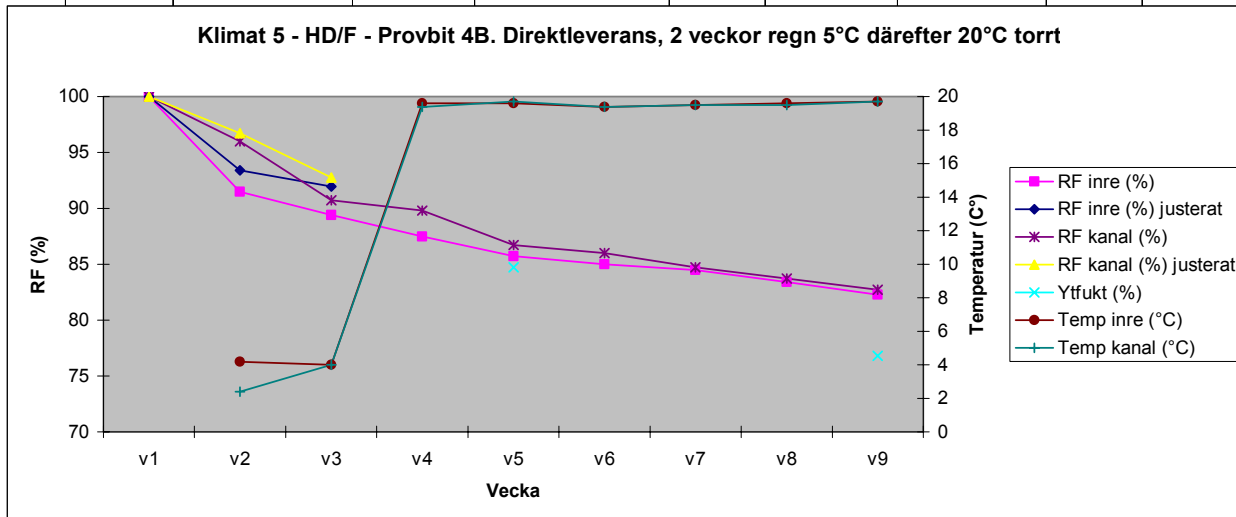
Vecka	RF inre (%)	RF kanal (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)
v1	100,0	100,0			
v2	86,5	88,9		18,6	19
v3	86,9	85,7		18,5	18,8
v4	87,0	84,4		18,7	19,1
v5	86,6	83,7		18,9	19,2
v6	85,2	83,6		19,5	19,5
v7	83,8	83,4	81,2	19,5	19,4
v8	84,0	82,0		19,5	19,5
v9	83,6	81,2	81,6	19,5	19,4



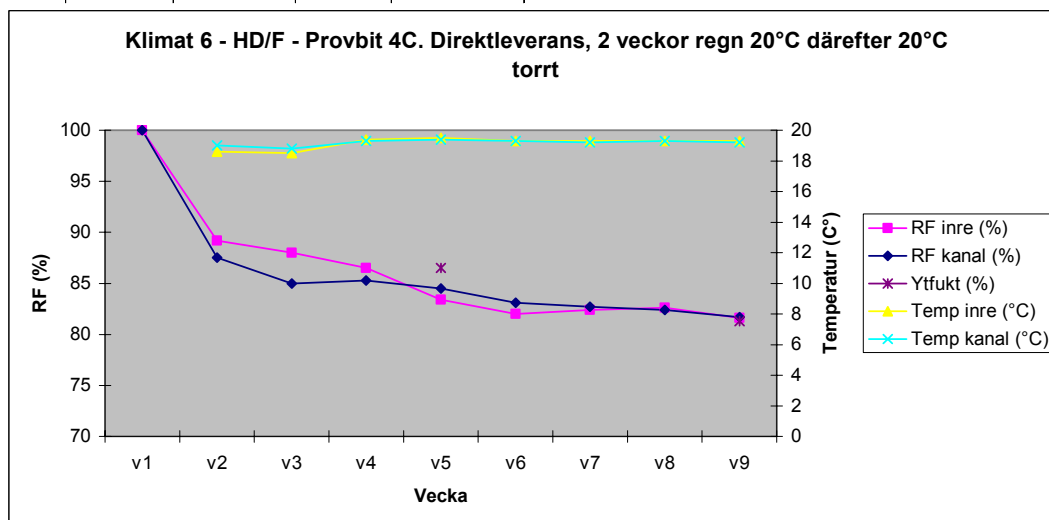
Vecka	RF inre (%)	RF kanal (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)
v1	100,0	100,0			
v2	83,8	89,6		19,3	19,3
v3	82,3	86,0		19,1	19,1
v4	81,1	83,7		19,3	19,4
v5	81,7	82,0		19,6	19,6
v6	80,8	80,5		19,5	19,5
v7	79,4	80,0	75,7	19,5	19,4
v8	80,2	79,0		19,4	19,5
v9	80,3	78,5	81,5	19,4	19,5



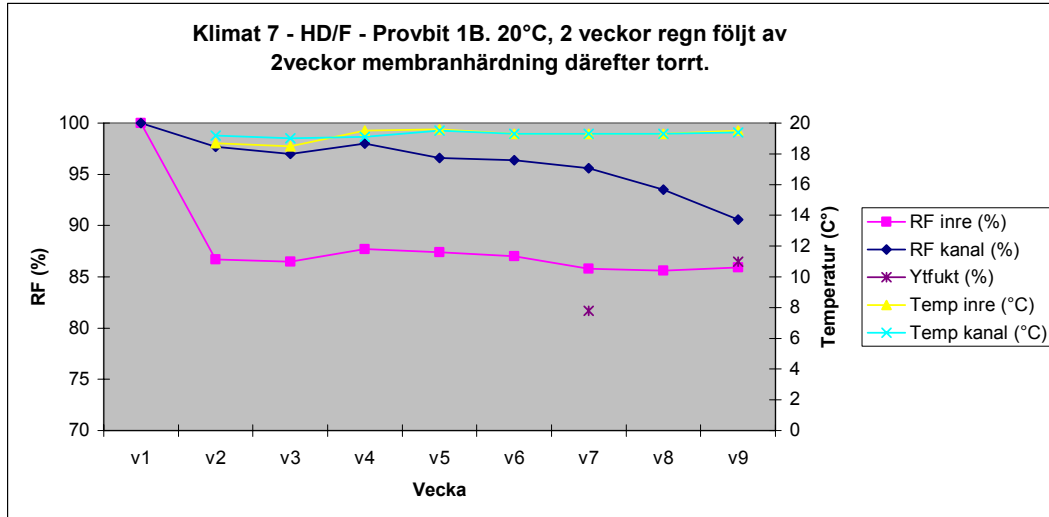
Vecka	RF inre (%)	RF inre (%) justerat	RF kanal (%)	RF kanal (%) justerat	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)	RF+ (Inre)	RF+ (Kanal)
v1	100,0	100,0	100,0	100,0					
v2	91,5	93,4	96,0	96,7		4,2	2,4	1,896	0,704
v3	89,4	92,0	90,7	92,8		4	4	2,56	2,08
v4	87,5		89,8			19,6	19,4		
v5	85,7		86,7		84,7	19,6	19,7		
v6	85,0		86,0			19,4	19,4		
v7	84,5		84,7			19,5	19,5		
v8	83,4		83,7			19,6	19,5		
v9	82,3		82,7		76,8	19,7	19,7		



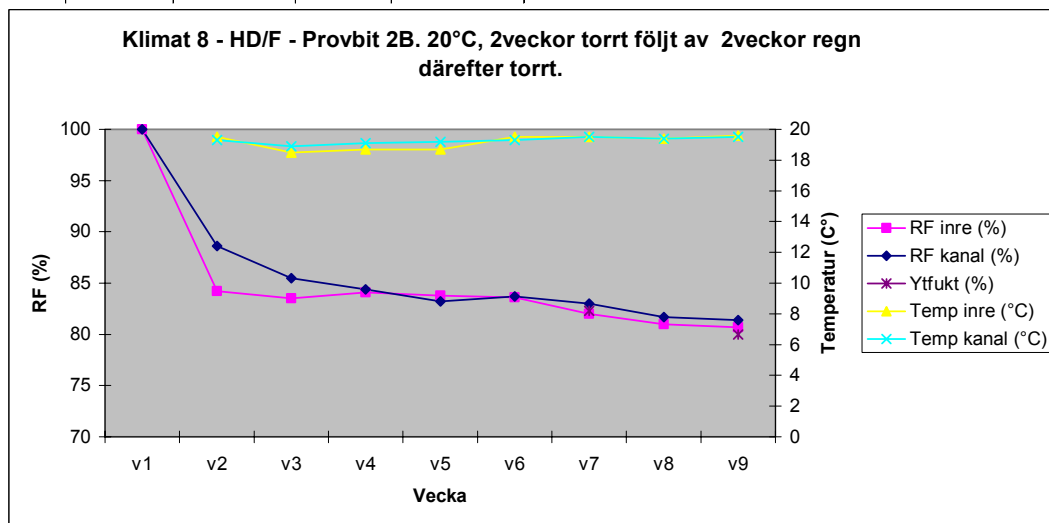
Vecka	RF inre (%)	RF kanal (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)
v1	100,0	100,0			
v2	89,2	87,5		18,6	19
v3	88,0	85,0		18,5	18,8
v4	86,5	85,3		19,4	19,3
v5	83,4	84,5	86,5	19,5	19,4
v6	82,0	83,1		19,3	19,3
v7	82,4	82,7		19,3	19,2
v8	82,6	82,4		19,3	19,3
v9	81,6	81,7	81,3	19,3	19,2



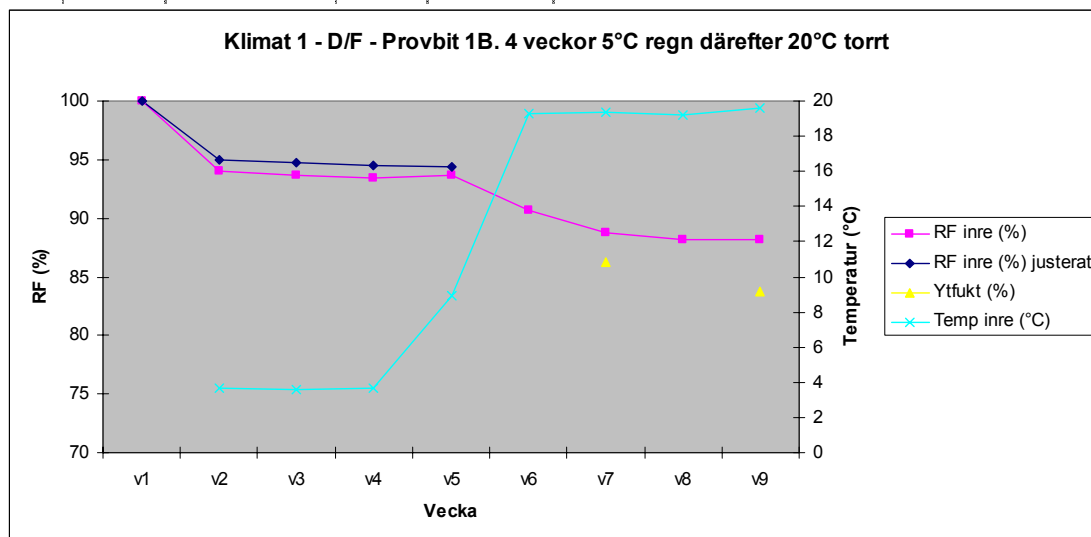
Vecka	RF inre (%)	RF kanal (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)
v1	100,0	100,0			
v2	86,7	97,7		18,7	19,2
v3	86,5	97,0		18,5	19
v4	87,7	98,0		19,5	19,1
v5	87,4	96,6		19,6	19,5
v6	87,0	96,4		19,3	19,3
v7	85,8	95,6	81,7	19,3	19,3
v8	85,6	93,5		19,3	19,3
v9	85,9	90,6	86,5	19,5	19,4



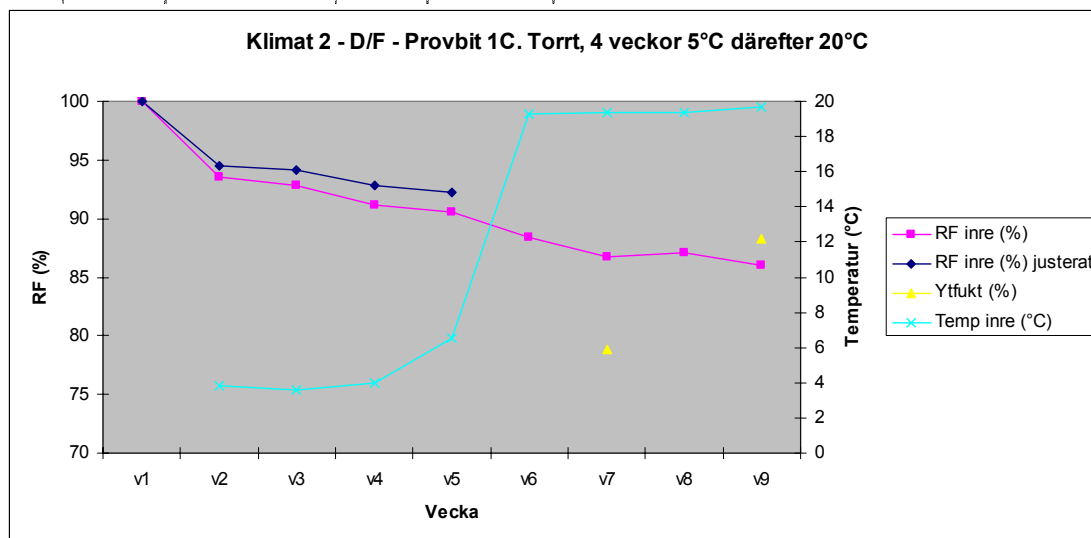
Vecka	RF inre (%)	RF kanal (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	Temp kanal (°C)
v1	100,0	100,0			
v2	84,2	88,6		19,5	19,3
v3	83,5	85,5		18,5	18,9
v4	84,1	84,4		18,7	19,1
v5	83,8	83,2		18,7	19,2
v6	83,6	83,7		19,5	19,3
v7	82,0	83,0	82,3	19,5	19,5
v8	81,0	81,7		19,4	19,4
v9	80,7	81,4	80	19,6	19,5



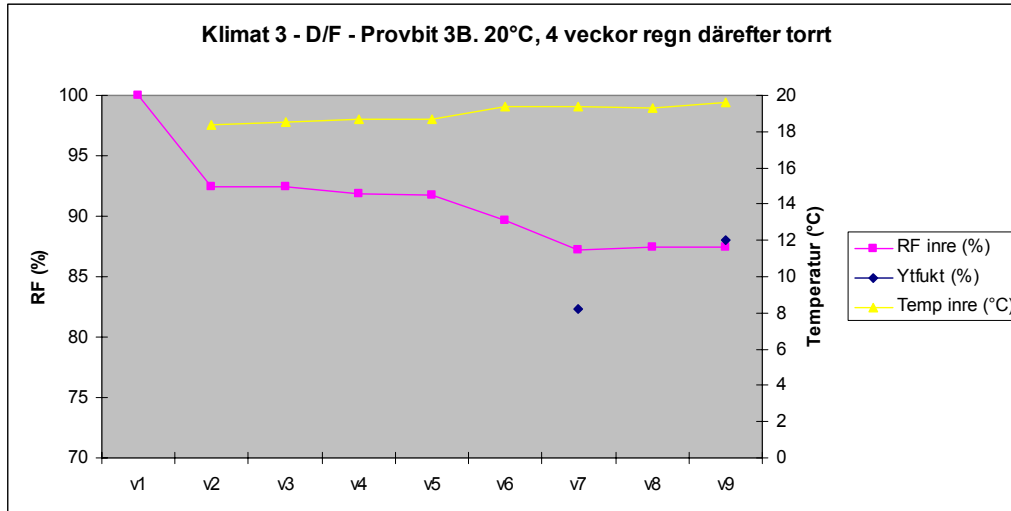
Vecka	RF inre (%)	RF inre (%) justerat	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	RF+ (Justerat för 20°C)
v1	100,0	100,0			
v2	94,0	95,0		3,7	0,978
v3	93,7	94,7		3,6	0,984
v4	93,4	94,5		3,7	1,141
v5	93,7	94,4		8,9	0,666
v6	90,7			19,3	
v7	88,8		86,3	19,4	
v8	88,2			19,2	
v9	88,2		83,8	19,6	



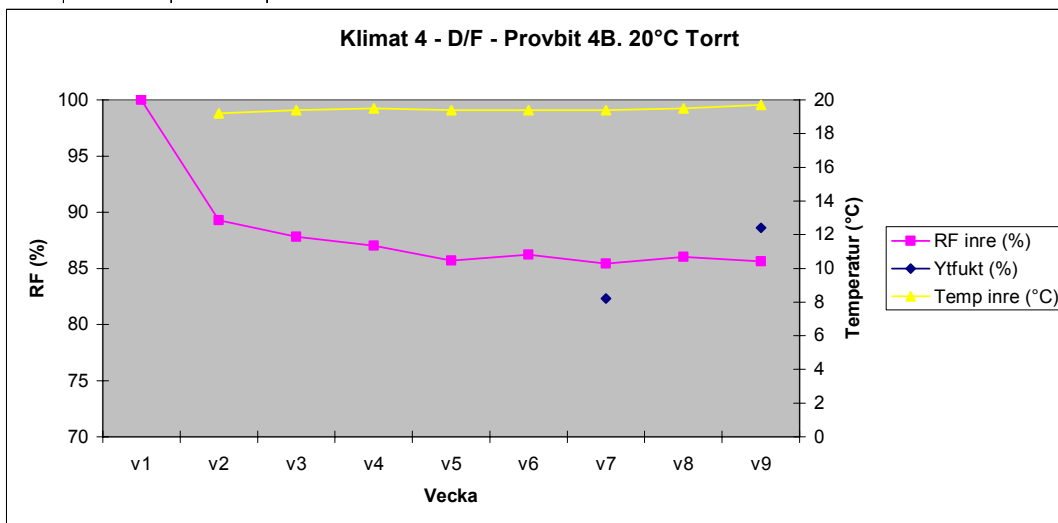
Vecka	RF inre (%)	RF inre (%) justerat	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	RF+ (Justerat för 20°C)
v1	100,0	100,0			
v2	93,5	94,5		3,8	0,972
v3	92,8	94,1		3,6	1,312
v4	91,1	92,9		4,0	1,76
v5	90,6	92,2		6,5	1,62
v6	88,4			19,3	
v7	86,7		78,8	19,4	
v8	87,1			19,4	
v9	86,0		88,3	19,7	



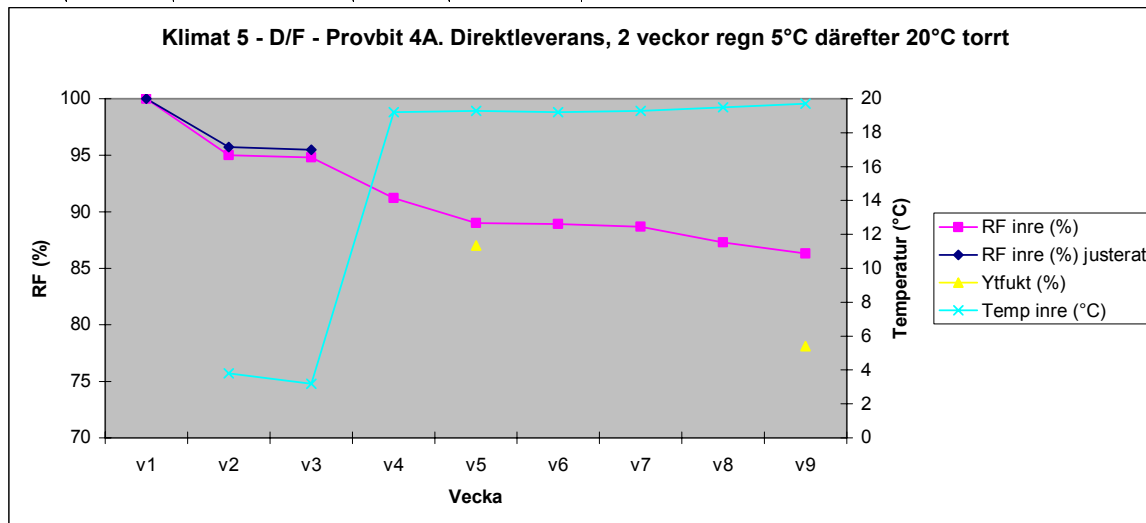
Vecka	RF inre (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)
v1	100,0		
v2	92,5		18,4
v3	92,4		18,5
v4	91,9		18,7
v5	91,8		18,7
v6	89,7		19,4
v7	87,2	82,3	19,4
v8	87,5		19,3
v9	87,5	88	19,6



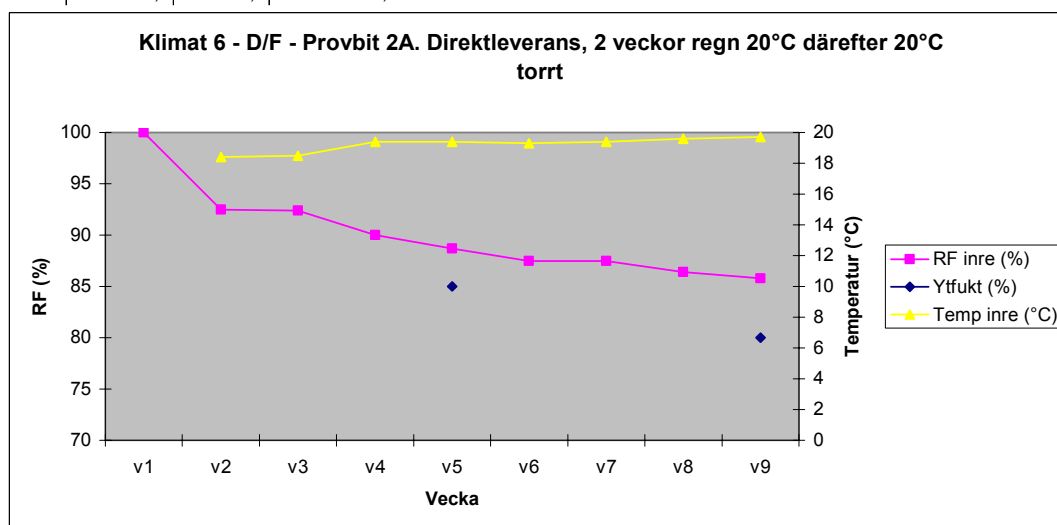
Vecka	RF inre (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)
v1	100,0		
v2	89,3		19,2
v3	87,8		19,4
v4	87,0		19,5
v5	85,7		19,4
v6	86,2		19,4
v7	85,4	82,3	19,4
v8	86,0		19,5
v9	85,6	88,6	19,7



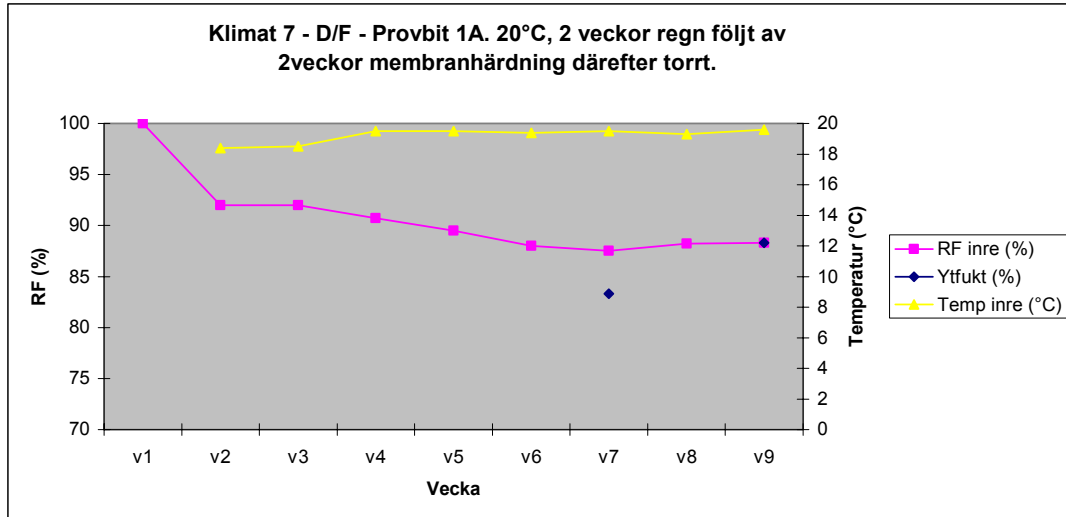
Vecka	RF inre (%)	RF inre (%) justerat	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)	RF+ (Justerat för 20°C)
v1	100,0	100,0			
v2	95,0	95,7		3,8	0,729
v3	94,8	95,5		3,2	0,672
v4	91,2			19,2	
v5	89,0		87,0	19,3	
v6	88,9			19,2	
v7	88,7			19,3	
v8	87,3			19,5	
v9	86,3		78,1	19,7	



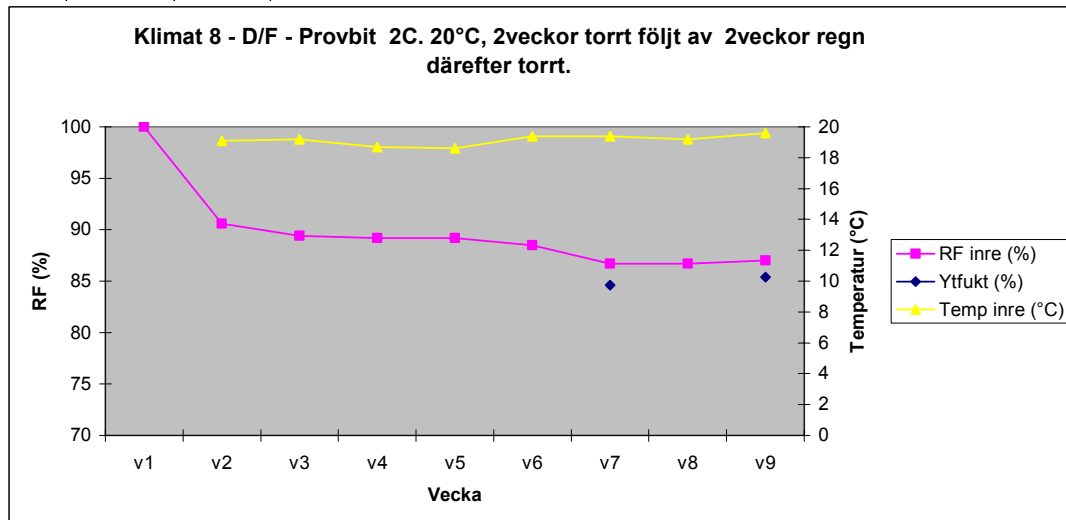
Vecka	RF inre (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)
v1	100,0		
v2	92,5		18,4
v3	92,4		18,5
v4	90,0		19,4
v5	88,7	85,0	19,4
v6	87,5		19,3
v7	87,5		19,4
v8	86,4		19,6
v9	85,8	80,0	19,7



Vecka	RF inre (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)
v1	100,0		
v2	92,0		18,4
v3	92,0		18,5
v4	90,7		19,5
v5	89,5		19,5
v6	88,0		19,4
v7	87,5	83,3	19,5
v8	88,2		19,3
v9	88,3	88,3	19,6

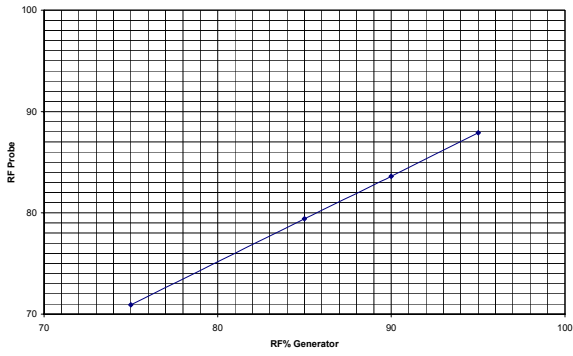


Vecka	RF inre (%)	Ytfukt (%)	Temp inre (°C)
v1	100,0		
v2	90,6		19,1
v3	89,4		19,2
v4	89,2		18,7
v5	89,2		18,6
v6	88,5		19,4
v7	86,7	84,6	19,4
v8	86,7		19,2
v9	87,0	85,4	19,6

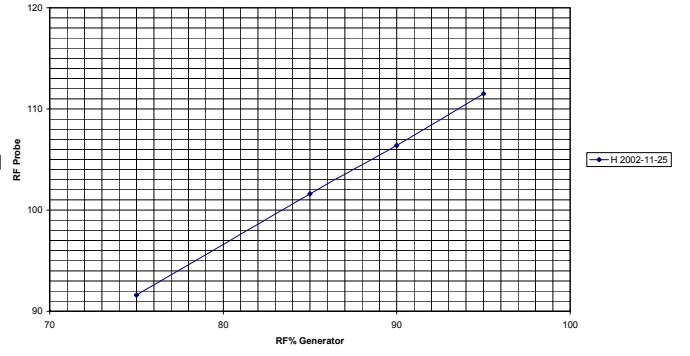


4. Kalibreringsdiagram för RF-givare

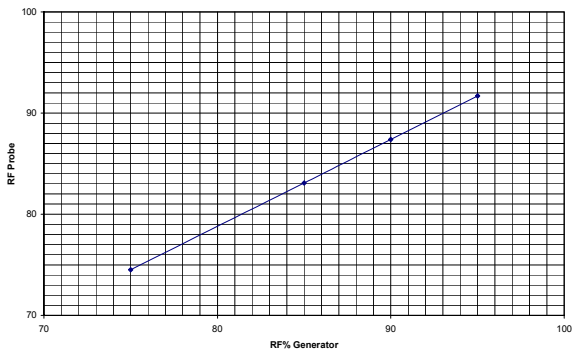
RF-Kalibreringskurva för VAISALA HMP44L vid +20°C
Givare Nr: V1



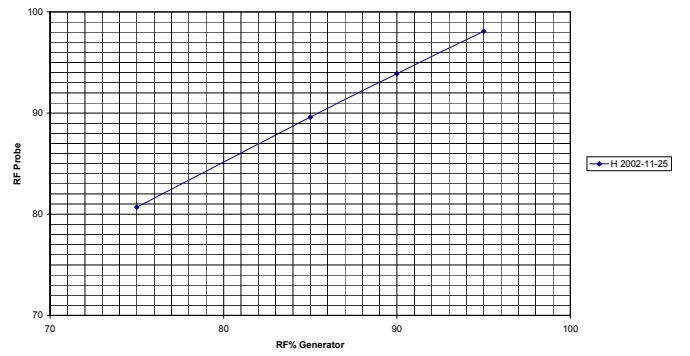
RF-Kalibreringskurva för VAISALA HMP44L vid +20°C
Givare Nr: V2



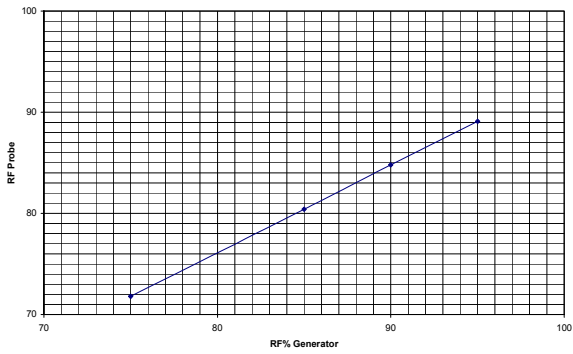
RF-Kalibreringskurva för VAISALA HMP44L vid +20°C
Givare Nr: V3



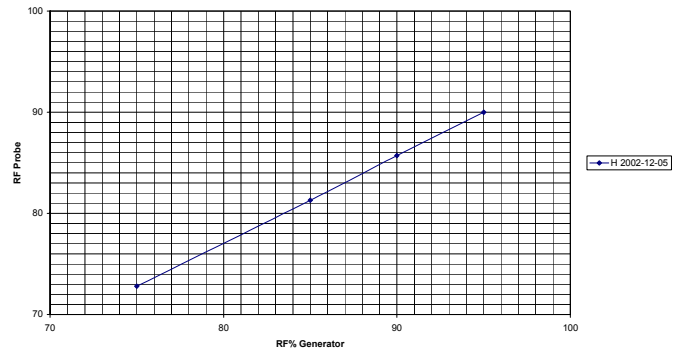
RF-Kalibreringskurva för VAISALA HMP44L vid +20°C
Givare Nr: V4



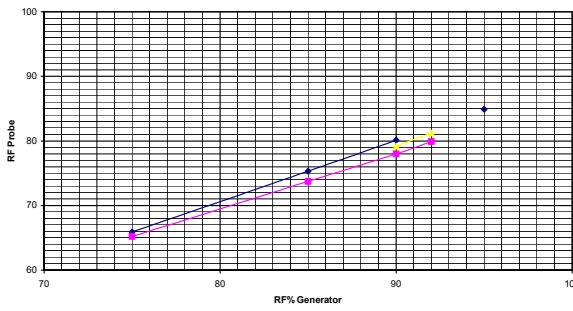
RF-Kalibreringskurva för VAISALA HMP44L vid +20°C
Givare Nr: V5



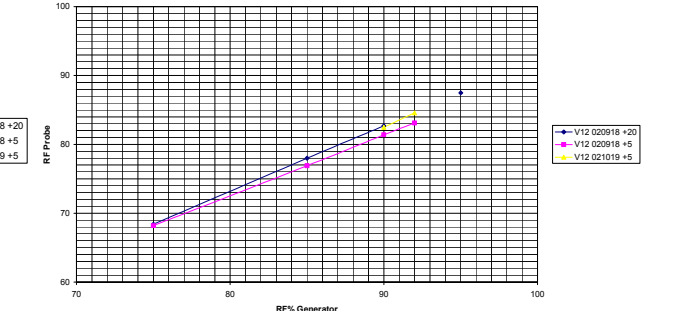
RF-Kalibreringskurva för VAISALA HMP44L vid +20°C
Givare Nr: V6



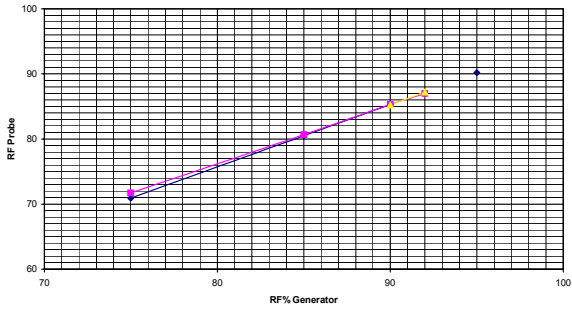
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V10



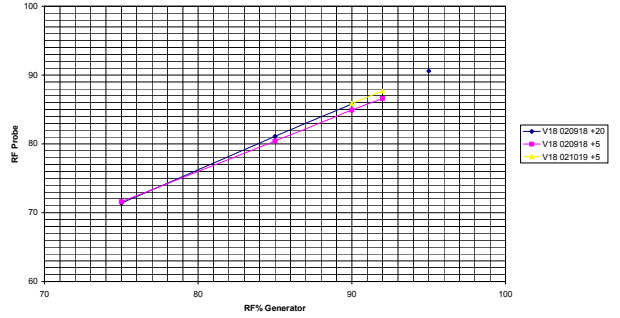
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V12



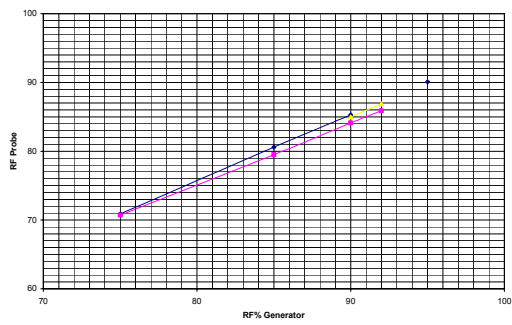
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V16



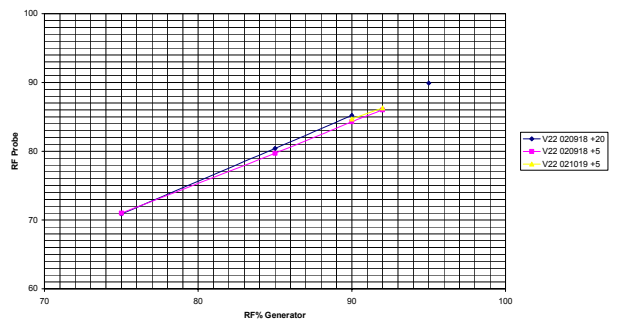
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V18



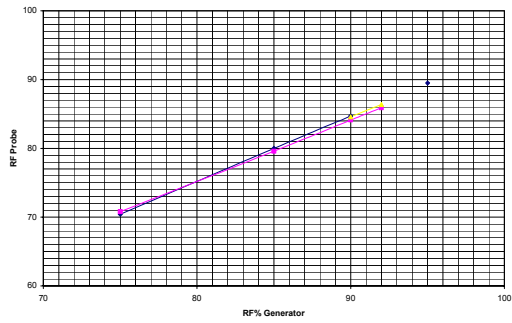
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V21



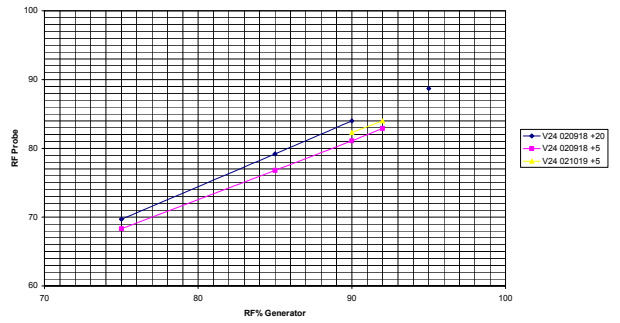
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V22



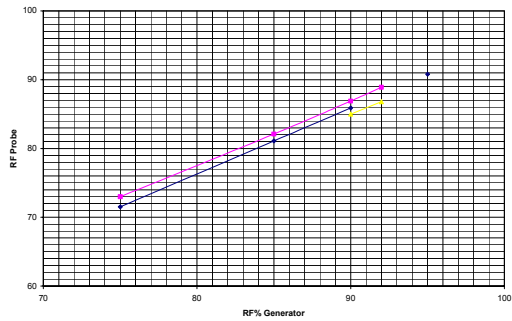
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V23



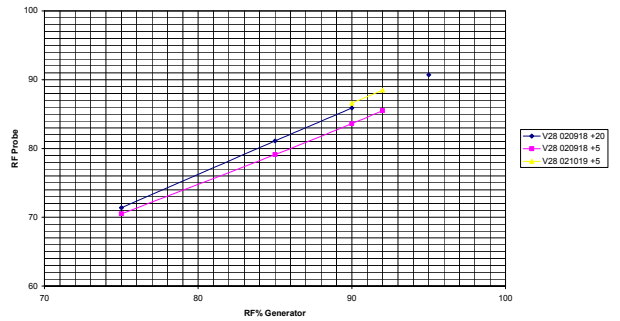
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V24



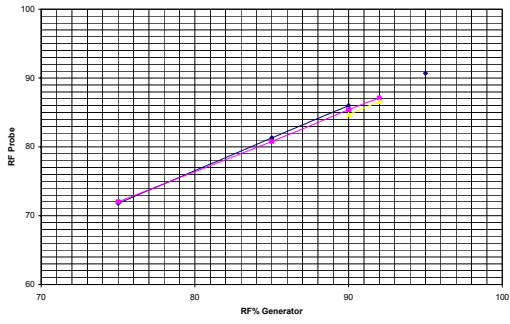
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V25



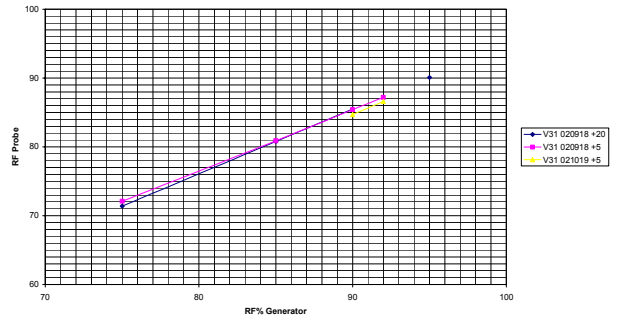
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2 V28



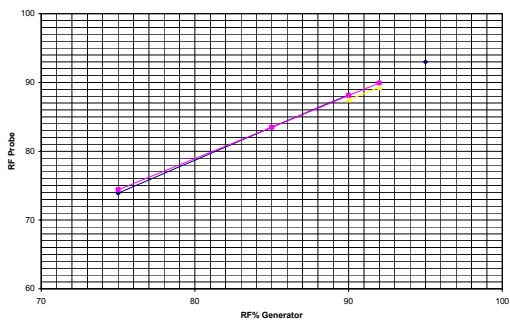
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2-V30



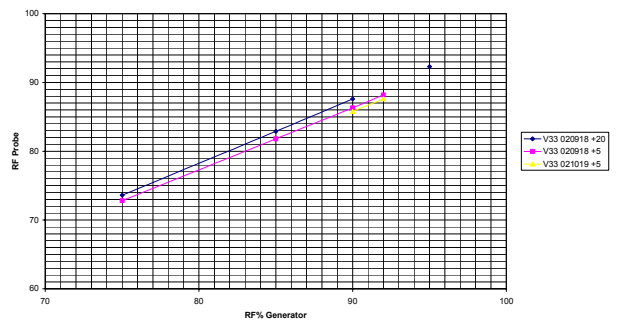
RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2-V31



RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2-V32



RF-kalibreringskurva för probe VAISALA HMP44L
Instrument: HMI41-2-V33



5. Registrering av RF och temperatur i klimatrum

Dygnsmedelvärde av temperatur och RF-variation i klimatrum +5°C

Datum	T medel	RF medel		Datum	T medel	RF medel
02-okt	9,4	71,4		06-nov	3,9	84,3
03-okt	9,4	71,4		07-nov	4,0	80,8
04-okt	9,4	71,4		08-nov	4,0	81,4
05-okt	7,7	84,6		09-nov	5,4	84,1
06-okt	7,8	82,7		10-nov	14,5	90,8
07-okt	7,9	81,9		11-nov	15,4	84,6
08-okt	7,8	79,8		12-nov	9,4	81,3
09-okt	7,8	83,3		13-nov	7,8	81,8
10-okt	7,8	82,1		14-nov	7,2	82,1
11-okt	6,8	82,3		15-nov	6,8	82,9
12-okt	4,4	79,0		16-nov	6,8	82,3
13-okt	4,6	79,9		17-nov	6,7	81,8
14-okt	4,8	80,7		18-nov	6,5	82,6
15-okt	7,4	82,2		19-nov	6,5	81,3
16-okt	8,5	81,3		20-nov	6,4	83,1
17-okt	8,7	82,3		21-nov	6,4	82,1
18-okt	9,1	82,5		22-nov		
19-okt	8,4	80,1		23-nov		
20-okt	8,2	80,1		24-nov		
21-okt	7,3	80,8		25-nov		
22-okt	4,5	78,3		26-nov		
23-okt	4,3	80,2		27-nov		
24-okt	4,3	81,8		28-nov		
25-okt	4,1	82,2		29-nov		
26-okt	3,9	80,4		30-nov		
27-okt	4,1	81,3		01-dec		
28-okt	3,9	82,4		02-dec		
29-okt	4,0	82,1		03-dec		
30-okt	4,0	81,6		04-dec		
31-okt	4,2	81,9		05-dec		
01-nov	4,0	82,4		06-dec		
02-nov	4,0	81,6		07-dec		
03-nov	4,0	82,0		08-dec		
04-nov	3,9	82,6		09-dec		
05-nov	3,9	81,9				

Dygnsmedelvärde av temperatur och RF-variation i klimatrum +20°C

Datum	T medel	RF medel		Datum	T medel	RF medel
02-okt	19,8	62,3		06-nov	19,9	61,4
03-okt	19,8	62,3		07-nov	19,5	60,9
04-okt	19,8	62,3		08-nov	19,7	62,6
05-okt	19,4	63,7		09-nov	19,6	64,8
06-okt	19,4	63,6		10-nov	20,0	65,7
07-okt	19,4	62,9		11-nov	19,6	61,9
08-okt	19,4	63,6		12-nov	19,5	61,6
09-okt	19,5	63,6		13-nov	19,5	61,8
10-okt	19,6	64,5		14-nov	19,5	61,5
11-okt	19,5	63,6		15-nov	19,5	61,4
12-okt	19,6	63,3		16-nov	19,6	61,9
13-okt	19,4	63,4		17-nov	19,5	62,3
14-okt	19,5	64,3		18-nov	19,7	62,4
15-okt	19,4	63,9		19-nov	19,6	63,0
16-okt	19,4	64,2		20-nov	19,6	62,0
17-okt	19,4	62,5		21-nov	19,6	61,8
18-okt	19,2	63,8		22-nov	19,6	62,4
19-okt	19,4	64,8		23-nov	19,4	62,9
20-okt	19,4	63,5		24-nov	19,4	62,9
21-okt	19,4	64,6		25-nov	19,6	62,3
22-okt	19,2	62,9		26-nov	19,4	62,4
23-okt	19,4	65,2		27-nov	19,6	63,1
24-okt	19,3	63,9		28-nov	19,7	63,8
25-okt	19,4	61,4		29-nov	19,6	62,9
26-okt	19,2	62,0		30-nov	19,6	62,2
27-okt	19,4	63,1		01-dec	19,6	63,1
28-okt	19,4	63,9		02-dec	19,6	62,2
29-okt	19,4	63,0		03-dec	19,6	62,1
30-okt	19,4	63,3		04-dec	19,6	61,7
31-okt	19,4	63,1		05-dec	19,7	62,4
01-nov	19,5	63,7		06-dec	19,8	62,3
02-nov	19,5	62,2		07-dec	19,8	62,5
03-nov	19,5	62,5		08-dec	19,9	62,7
04-nov	20,1	60,6		09-dec	19,8	62,0
05-nov	20,1	59,2				

6. Resultat av uttorkningsberäkningar med TorKaS 2.0

Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 1 Namn: Refik Salevski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

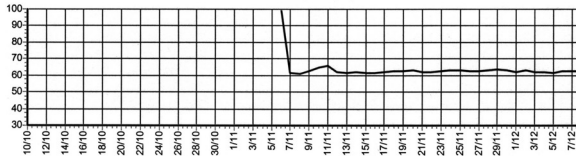
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 6/11 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 9/12 2002
Ort : Sturup



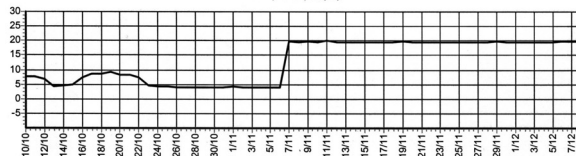
Betongtjocklek: 19 cm
Vct: 0,40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 179 l/m³
Cementhalt: 448 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

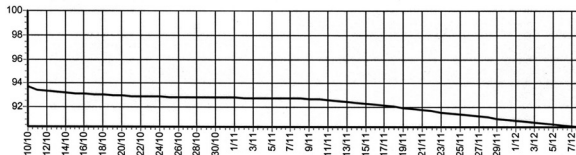


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 2 Namn: Refik Salevski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

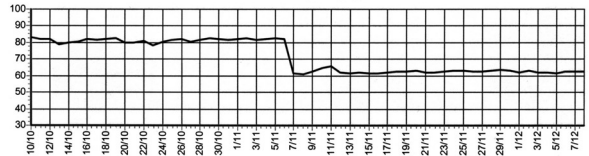
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 6/11 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 9/12 2002
Ort : Sturup



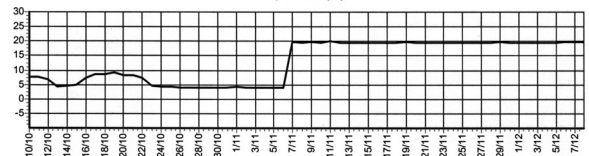
Betongtjocklek: 19 cm
Vct: 0,40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 179 l/m³
Cementhalt: 448 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

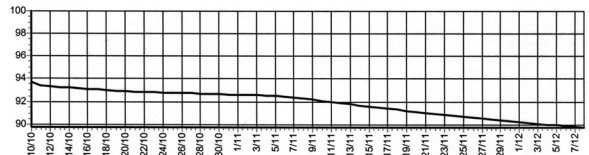


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 3 Namn: Refik Salevski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

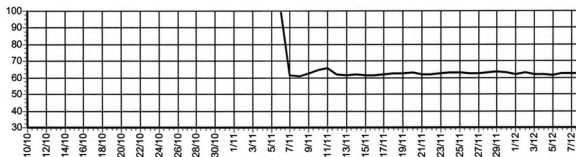
Gjutning 9/10 2002
Tätt hus 6/11 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 9/12 2002
Ort : Sturup



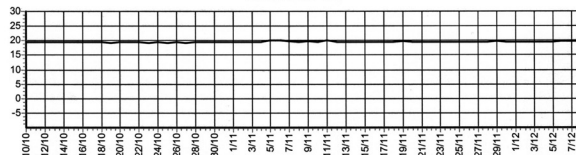
Betongtjocklek: 19 cm
Vct: 0,40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 179 l/m³
Cementhalt: 448 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

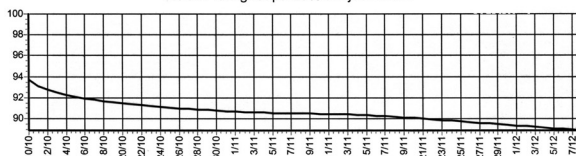


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 4 Namn: Refik Salevski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

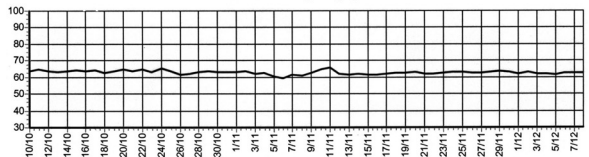
Gjutning : 9/10 2002
Tätt hus : 6/11 2002
Torkstart : 6/11 2002
Slutdatum : 9/12 2002
Ort : Sturup



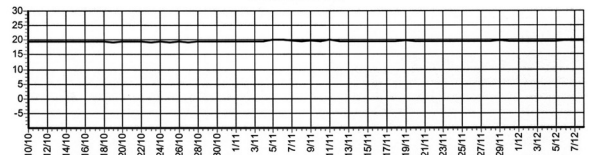
Betongtjocklek: 19 cm
Vct: 0,40
Silika: 0 %
Vattenhalt: 179 l/m³
Cementhalt: 448 kg/m³

Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

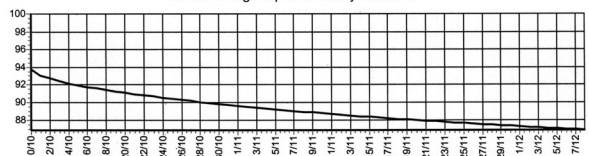


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 5 Namn: Refik Salievski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

Gjutning : 9/10 2002

Betongtjocklek: 19 cm

Tätt hus : 23/10 2002

Vct: 0,40

Torkstart : 23/10 2002

Silika: 0 %

Slutdatum : 20/11 2002

Vattenhalt: 179 l/m3

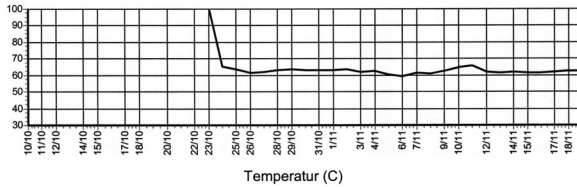
Ort : Sturup

Cementhalt: 448 kg/m3

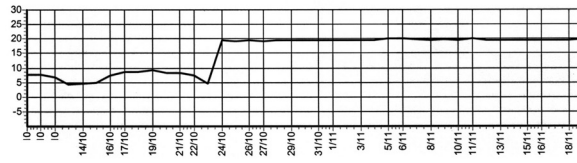


Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

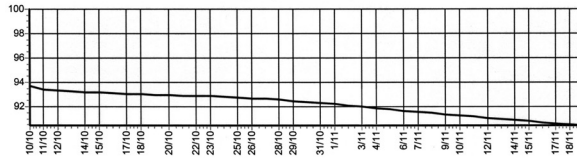


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 6 Namn: Refik Salievski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

Gjutning : 9/10 2002

Betongtjocklek: 19 cm

Tätt hus : 23/10 2002

Vct: 0,40

Torkstart : 23/10 2002

Silika: 0 %

Slutdatum : 20/11 2002

Vattenhalt: 179 l/m3

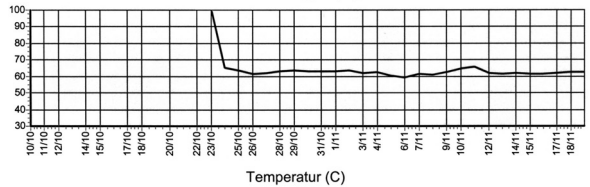
Ort : Sturup

Cementhalt: 448 kg/m3

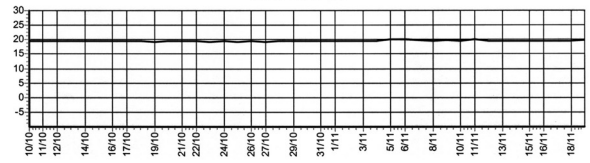


Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

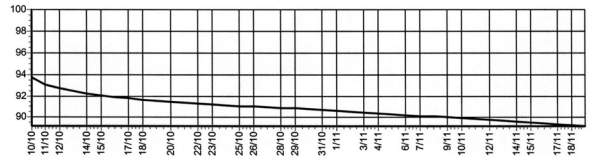


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 7 Namn: Refik Salievski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

Gjutning : 9/10 2002

Betongtjocklek: 19 cm

Tätt hus : 6/11 2002

Vct: 0,40

Torkstart : 6/11 2002

Silika: 0 %

Slutdatum : 9/12 2002

Vattenhalt: 79 l/m3

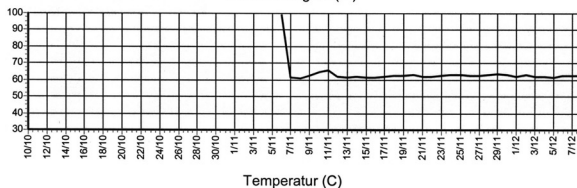
Ort : Sturup

Cementhalt: 448 kg/m3

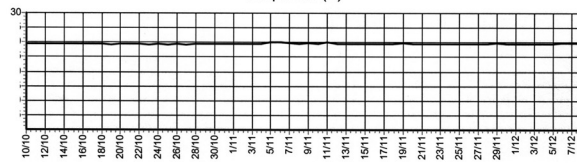


Torkklimat

Relativ fuktighet (%)

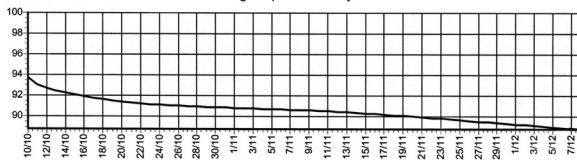


Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.



Resultat från uttorkningsberäkning med TorkaS, 2.0

Projekt: D/F Klimat 8 Namn: Refik Salievski Företag: Examensarbete 2002-12-12

Förutsättningar

Mellanbjälklag öppet både uppåt och nedåt

Gjutning : 9/10 2002

Betongtjocklek: 19 cm

Tätt hus : 6/11 2002

Vct: 0,40

Torkstart : 6/11 2002

Silika: 0 %

Slutdatum : 9/12 2002

Vattenhalt: 179 l/m3

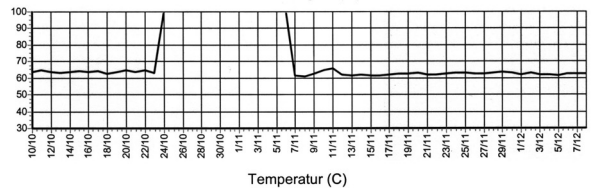
Ort : Sturup

Cementhalt: 448 kg/m3

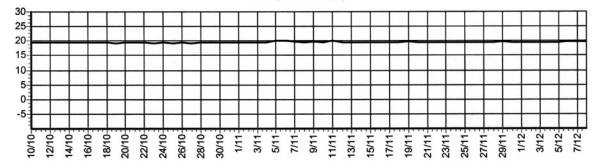


Torkklimat

Relativ fuktighet (%)



Temperatur (C)



Resultat från beräkning

Relativ fuktighet på 20% av tjockleken.

