



LUND UNIVERSITY

Golvvärme i betonggolv : temperaturfördelningsberäkningar : analys av fuktbalans

Nilsson, Lars-Olof; Andersson, Ann-Charlotte

1981

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Nilsson, L-O., & Andersson, A-C. (1981). *Golvvärme i betonggolv : temperaturfördelningsberäkningar : analys av fuktbalans*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7002). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

GOLVVÄRME I BETONGGOLV

— TEMPERATURFÖRDELNINGSBERÄKNINGAR

— ANALYS AV FUKTBALANSEN

LARS-OLOF NILSSON

ANN-CHARLOTTE ANDERSSON



TEKNISKA HÖGSKOLAN
I LUND

Byggnadsmateriallära
Husbyggnadsteknik

GOLVVÄRME I BETONGGOLV

Temperaturfördelningsberäkningar

Analys av fuktbalansen

Uppdragsgivare: Wirsbo Bruks AB, Virsbo

ISSN 0348-7911

Lund i oktober 1981

Lars-Olof Nilsson
Ann-Charlotte Andersson

CODEN: LUTVDG/(TVBM-7002)/1-45/(1981)

Postadress:
Box 725
220 07 LUND

Gatuadress:
John Ericssons väg 1

Telefon:
046-10 74 15

INNEHÅLL

1	BAKGRUND
2	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR
3	BERÄKNING AV TEMPERATURFÄLTET
3.1	ALLMÄNT
3.2	METOD 1: DIFFERENSMETOD
3.3	METOD 2: FREKVENSPRESPONS
3.4	RANDVILLKOR
3.5	BERÄKNINGSLTERNATIV - MATERIAL & KONSTRUKTIONER
3.6	BERÄKNINGSRESULTAT
3.6.1	<u>Terminologi</u>
3.6.2	<u>Beräkningar med metod 1</u>
3.6.3	<u>Beräkningar med metod 2</u>
3.6.3.1	Med golvvärme
3.6.3.2	Utan golvvärme
4	FUKTBALANS
4.1	KONSTRUKTIONENS FUNKTIONSSÄTT
4.2	MODELL
4.3	BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR OCH -ALTERNATIV
4.4	BERÄKNINGSRESULTAT
4.5	UTVÄRDERING
4.5.1	<u>Golvvärme alltid påkopplad</u>
4.5.2	<u>Golvvärme avstängd 4 mån per år</u>
4.5.3	<u>Golvvärme avstängd under längre tid</u>
4.5.4	<u>Dimensionering</u>
5	SAMMANFATTNING
	REFERENSER
	BILAGOR

GOLVVÄRME I BETONGGOLV. Temperaturfördelningsberäkningar och analys av fuktbalansen

1 BAKGRUND

Den konstruktion som hittills varit aktuell för betonggolv med golvvärme har varit försedd med underliggande värmeisolering av styren-cellplast, kompletterad med en ångspärr av PE-folie eller dylikt. Denna konstruktion har, ur fuktsynpunkt, två nackdelar. För det första kan inte uttorkningen av byggfukt ske nedåt i någon större omfattning och torktiden är av storleksordningen dubbelt så stor som om mineralull, utan ångspärr, kunde användas istället. För det andra kommer kvarvarande byggfukt att vara instängd mellan två mycket täta skikt om golvbeläggningen blir en PVC-matta. Detta skulle också undvikas om mineralullsisolering, utan ångspärr, kunde användas istället.

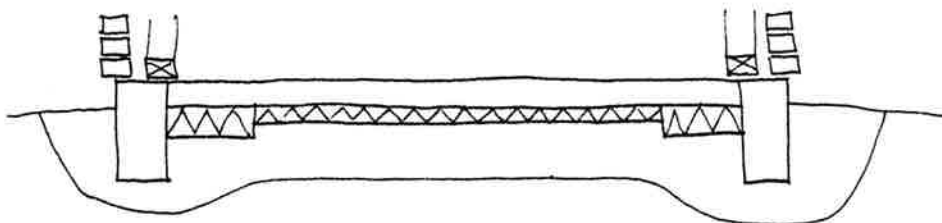
Båda dessa nackdelar kan naturligtvis elimineras om byggfukten verkligen torkas bort i erforderlig omfattning, men risken är många gånger stor att så inte sker. I sådana fall skulle en konstruktion som tillät fortsatt uttorkning av byggfukt nedåt, sedan en tät golvbeläggning applicerats, vara en klar fördel.

Genom att eventuellt slopa ångspärr och välja en mindre ångtät värmeisolering uppnås dessa fördelar men man riskerar istället att i vissa fall få ett stort fukttillskott från marken. Denna rapport redovisar ett försök att bedöma under vilka förhållanden denna risk föreligger. Detta har genomförts med hjälp av beräkningar av temperaturfördelningen i olika fall, utförda av tekn dr Ann-Charlotte Andersson, och därefter en fuktteknisk analys av de olika fallen, av tekn dr Lars-Olof Nilsson.

Nedan redovisas först förutsättningarna för de utförda beräkningarna, därefter beräkning av temperaturförhållandena och sist den fukttekniska analysen. Avslutningsvis sammanfattas den praktiska tillämpningen av de erhållna resultaten.

2 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Utgångsfallet för analysen är en betongplatta på mark med underliggande värmeisolering och värmeisolerad kantbalk.



Förutsättningarna har valts, ur fuktsynpunkt, på säkra sidan och är, tillsammans med en del förenklingar följande:

- Värmekapaciteten hos betongplattan försummas; är liten i förhållande till marken.
- Temperaturgradienten inom betongplattan försummas.
- Värmeledningsförmågan hos undergrunden har valts så låg som möjligt, som för lera, vilket ger störst värmekudde och bör vara ogynnsammaste fall ur fuktsynpunkt.
- Inget strömmande grundvatten som kyler ner undergrunden.
- Relativa fuktigheten i marken 100 %.
- Klimatförhållanden som i Skåne.
- Betongens temperatur har satts till $+30^{\circ}\text{C}$ där golvvärmen är påkopplad och $+20^{\circ}\text{C}$ i övriga fall.
- Endast tvådimensionellt fall har studerats.

De variabler som i första hand beaktats är följande:

- Plattbredd 10, 15, 20 och 50 m.
- Golvvärme i enbart halva resp en fjärdedel av byggnaden.
- Golvvärme avstängd 4 månader per år.
- Golvvärme avstängd 4 månader per år på del av ytan.
- Golvvärme avstängd under lång tid efter att ha varit påkopplad under flera år.
- Isoleringstjocklek 4 resp 8 cm; alltid 8 cm i randfältet.
- Isoleringstyp; mineralull resp styrencellplast.

3 BERÄKNING AV TEMPERATURFÄLTET

3.1 ALLMÄNT

De konstruktioner som betraktas är tvådimensionella, dvs att deras utsträckning vinkelrätt mot det betraktade planet är oändlig. Temperaturfältet är också icke-stationärt eftersom omgivningstemperaturerna varierar i tiden.

Beräkningarna görs genom att konstruktionen delas in i rektangulära element (kallas också celler). För varje element ställer man upp värmebalansen, eventuellt under ett tidssteg. Detta ger ett ekvations-system med temperaturerna i cellerna som de obekanta.

Två olika metoder har använts för att beräkna temperaturfältet. Dessa beskrivs kortfattat i fortsättningen. Det bör poängteras att vid exakt samma förutsättningar (materialegenskaper, randvillkor och elementindelning) ger metoderna samma resultat, förutsatt att beräkningarna konvergerat i båda fallen. Tillämpningsområdena är dock något olika.

3.2 METOD 1: DIFFERENSMETOD MED ÄNDLIGA TIDSSTEG

Det finns ett antal differensmetoder som skiljer sig något från varandra. I huvudsak är beräkningsgången dock alltid följande: Man börjar med att ansätta en temperaturfördelning i konstruktionen. Tidsaxeln delas in i tidssteg, vilka för vissa metoder måste vara begränsade för att beräkningarna skall vara stabila och konvergera. Under varje tidssteg transporteras värme mellan de olika elementen och mellan elementen och ränderna. Ur värmebalansen för varje element under ett tidssteg fås nya temperaturer vid tidsstegets slut.

Man kan, med en sådan här metod, enkelt låta materialegenskaperna variera med temperaturen. Omgivningstemperaturerna kan ha godtycklig variation i tiden.

Nackdelen med en sådan här metod är främst att beräkningstiderna kan bli mycket långa. Ofta krävs korta tidssteg, av storleksordningen 1 timme. Beräkningarna kan behöva göras för flera år om man vill undersöka ett cykliskt förlopp, eftersom begynnelse-temperaturfördelningen i allmänhet inte är ett känt jämviktsläge.

3.3 METOD 2: FREKVENSRRESPONSEN FÖR ETT TVÄDIMENSIONELLT OMRÅDE

I denna metod förutsätts att alla randvillkor har harmoniska variationer i tiden, dvs de kan skrivas som sinus- och cosinusfunktioner. Vidare förutsätts att alla materialegenskaper är konstanta.

Antag att omgivningstemperaturerna varierar enligt

$$\vartheta = \vartheta_{\text{medel}} + \sum_{i=1}^N \hat{\vartheta}_i \cdot \sin(\omega_i t + \phi_i)$$

ϑ_{medel} = medeltemperaturen under perioden T

$\hat{\vartheta}_i$ = temperaturamplituden för frekvenskomponent nr i av temperaturen

ω_i = vinkelhastigheten för frekvenskomponent nr i , $\omega = \frac{2\pi}{T}$

ϕ_i = fasförskjutningen relativt en grundsvängning för frekvenskomponent nr i .

Eftersom systemet är linjärt, dvs materialegenskaperna oberoende av temperaturen, kan inverkan av varje frekvenskomponent analyseras för sig, liksom medeltemperaturen, och resultaten adderas. Metoden beskrivs i detalj av Johannesson (1981).

Med alla omgivningstemperaturer varierande enligt ovan, kan man för varje element i det tvådimensionella området beräkna en temperaturamplitud och en fasförskjutning relativt en grundsvängning, för en viss frekvens. Detta innebär att man för varje element kan beräkna temperaturen vid varje tidpunkt med ett uttryck som ovan, där elementets medeltemperatur, amplituder och fasförskjutningar för olika frekvenser ingår.

Eftersom temperaturen är harmoniskt varierande kan man inte ansätta en temperaturfördelning och räkna ett förlopp från den. Det man beräknar är ett jämviktsläge, där temperaturen i varje del av konstruktionen varierar periodiskt.

Fördelen med denna metod, gentemot föregående, är att beräkningstiderna blir korta. Det är enkelt att beräkna amplituder och fas-

förskjutningar på liknande sätt som man beräknar en stationär temperaturfördelning. Då man endast önskar känna jämviktsläget är metoden mycket lämplig.

Vissa fall kan, som ovan nämnts, emellertid inte studeras med denna metod. Förlopp som inte är periodiska och där materialegenskaperna varierar med temperaturen måste behandlas med annan metod, t ex metod 1.

3.4 RANDVILLKOR

Enligt mätningar, utförda av avdelningen för Byggnadsmateriallära, är temperaturen vid undersidan av en betongplatta ca 30 °C, då golvvärme är påkopplad. Utan golvvärme antas temperaturen här vara ca 20 °C. Dessa temperaturer används som randvillkor för det underliggande isoleringsskiktets ovansida. Temperaturfältet i själva plattan beräknas alltså inte.

För uteklimatet har valts temperaturer för Malmö, normalåret 1931-60. Lägen på orter med lägre utetemperatur är mindre farliga ur fuktsynpunkt, eftersom temperaturskillnaden över isoleringsskiktet blir större.

I det valda uttrycket för utetemperaturen försummas dygnsvariationerna. Detta kan göras utan alltför stora fel, eftersom inverkan av en temperaturvariation med så kort periodtid är mycket liten redan på ett ganska kort avstånd från plattans kant.

Det uttryck som används för utetemperaturen är

$$t_u = 8.35 + 8.85 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{360} \cdot (t - 120)\right)$$

där t är tiden i dygn från årets början.

Utetemperaturens maximum och minimum inträffar enligt detta uttryck i slutet av juli respektive slutet av januari.

En ytterligare förenkling vid beräkningen av temperaturfältet är

att konstruktionen skärs av i jämnhöjd med markytan. Temperaturfältet i ytterväggen beräknas inte. Vid den rand som uppstår här (se FIG 1) sätts temperaturen till medelvärdet av utetemperaturen och temperaturen under plattan.

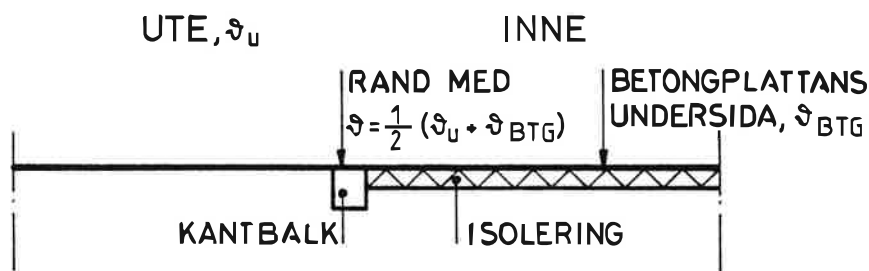


FIG 1. Randvillkor vid konstruktionens ovansida.

Vid övriga ränder antas total isolering, dvs att inget värme flöde passerar dessa ränder. Ett annat möjligt randvillkor är att på ett visst djup i marken ansätta en temperatur. Om man på ett visst djup har strömmande grundvatten kan man anta att detta håller årsmedeltemperatur. Detta bör dock vara ett mindre farligt randvillkor än totalisolering, eftersom temperaturskillnaden över isoleringen långt in från plattans kanter bör bli större då man har årsmedeltemperatur i marken.

I vissa fall har golvvärmen antagits vara avstängd under fyra månader, från och med den 16 maj till och med den 15 september.

För att kunna använda metod 2 för beräkning av temperaturfältet har detta randvillkor approximerats med en Fourierserie.

Om tiden väljs till noll den 15 januari, temperaturen vid plattans undersida antas vara 20°C då golvvärmen är avstängd och 30°C då den är på fås Fourierserien

$$\vartheta(t) = 26.67 + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{20}{\pi \cdot i} \sin\left(\frac{2\pi}{3} \cdot i\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{360} \cdot i \cdot t\right)$$

där t är tiden i dygn.

Den första termen i Fourierserien, 26.67°C är årsmedeltemperaturen, vilket lätt kan kontrolleras.

I FIG 2 visas en jämförelse mellan det antagna randvillkoret och Fourierserien med 10 termer medtagna.

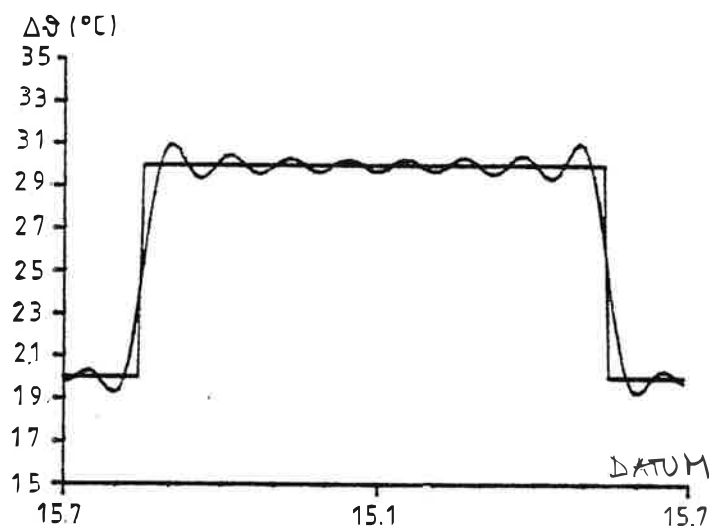


FIG 2. Randvillkor vid avstängning av golvvärmen sommartid, jämfört med en Fourierserie med 10 termer.

3.5 BERÄKNINGSLTERNATIV - MATERIAL OCH KONSTRUKTIONER

De fall som modellerats ser alltid i princip ut som i FIG 3. Ingående material är lättklinkerbetong (kantbalken), värmeisoleringsmaterial, jord och dräneringsskikt. De materialegenskaper som behövs är värmeledningsförmågan, λ och produkten av densitet och specifik värmekapacitet, $\rho \cdot c$. De egenskaper som använts i beräkningarna är följande

VÄRMEISOLERING	$\lambda = 0.042 \text{ W/mK}$	$\rho \cdot c = 35 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3\text{K}$
LÄTTKLINKERBETONG	$\lambda = 0.25 \text{ W/mK}$	$\rho \cdot c = 716 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3\text{K}$
DRÄNERINGSSKIKT	$\lambda = 1.1 \text{ W/mK}$	$\rho \cdot c = 1220 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3\text{K}$
JORD I	$\lambda = 1.4 \text{ W/mK}$	$\rho \cdot c = 2400 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3\text{K}$
JORD II	$\lambda = 1.9 \text{ W/mK}$	$\rho \cdot c = 2300 \cdot 10^3 \text{ J/m}^3\text{K}$

Jord I motsvarar en lera med ganska högt fukttinnehåll. Jord II kan motsvara mo. Endast en beräkning har gjorts med jord II, eftersom jord I ur fuktsynpunkt bör ge farligare förhållanden.

Värmeisoleringens $\rho \cdot c$ är mycket litet och kan utan vidare försummas. Detta innebär att beräkningen i själva värmeisoleringsskiktet kan göras stationärt i varje tidssteg, vilket är en stor fördel vid beräkning med metod 1. Ytterligare en förenkling kan göras: värmeisoleringsskiktet kan ersättas med en värmeöverföringskoefficient vid dräneringsskiktets ovansida. Det fel denna förenkling ger är mycket litet.

I beräkningarna har byggnadens bredd, b , varierats. Beräkningar har gjorts för $b = 10, 15, 20$ och 50 m. Värmeisoleringsskiktets tjocklek har också varierats. Enligt SBN 1980 skall ett yttre randfält med 1 m bredd ha en värmeisolering som med jord I motsvarar 8 cm av isoleringsmaterial. Ur värmeteknisk synpunkt krävs ingen ytterligare värmeisolering då jordarten är jord I. Då detta uppenbarligen kräver ångspärr, har det inte ansetts intressant att göra beräkningar för fallet utan värmeisolering i det inre av byggnaden. Två alternativ av värmeisolering har studerats:

1. 8 cm isolering under hela byggnaden.
2. 8 cm isolering under ett 1 m brett yttre randfält och 4 cm isolering under resten av byggnaden.

I FIG 3 finns en symmetrilinje vid byggnadens halva bredd. I de flesta fall antas förhållandena m a p golvvärme vara likadana i hela byggnaden varför man kan räkna med symmetri. I vissa fall måste man emellertid räkna på en dubbelt så bred modell som i FIG 3, nämligen då golvvärme antas finnas endast i en del av byggnaden. Ett par fall med golvvärme i halva och i en fjärdedel av byggnaden har studerats.

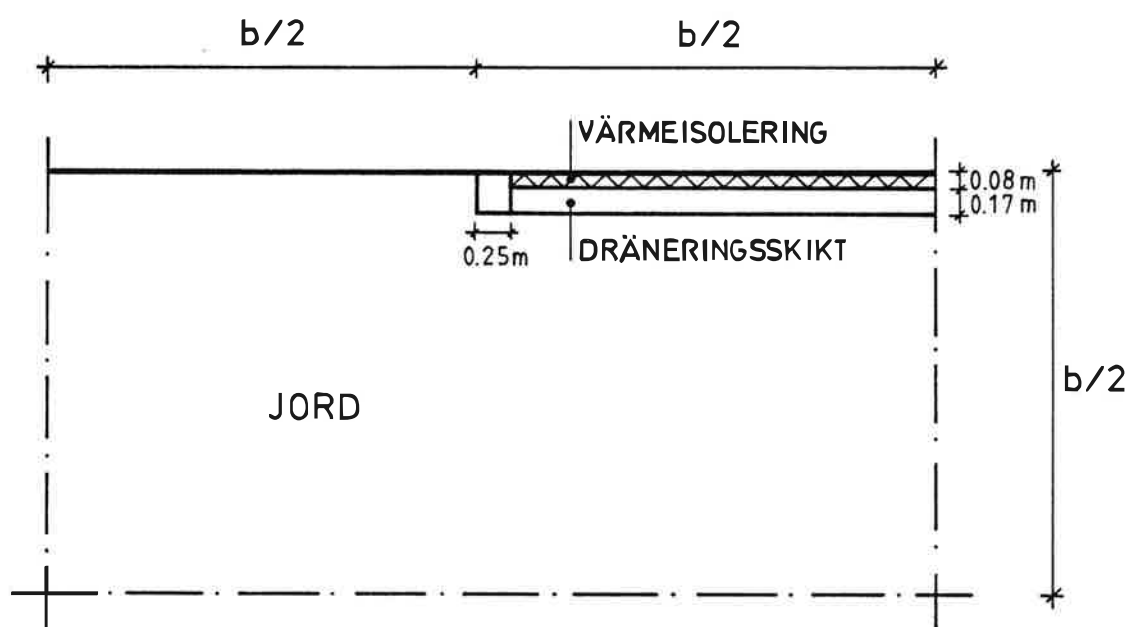


FIG 3. Principiell modell för temperaturfältsberäkningar.

3.6 BERÄKNINGSRESULTAT

3.6.1 Terminologi

I tabellen nedan anges de beteckningar som i fortsättningen används för att känneteckna olika beräkningsfall. Fallen skiljer sig åt i fråga om byggnadens bredd, isoleringstjocklek under plattan, ev avstängning av golvvärme sommartid samt golvvärmens utsträckning i byggnaden.

TABELL 3.1

Fall	Byggnadens bredd	Isolering	Golvvärme
1a 1b	10 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	Hela året, 1/1 av plattbredden
2a 2b	15 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	
3a 3b	20 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	
4a	50 m	8 cm	
11a 11b	10 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	15/9 - 15/5, 1/1 av plattbredden
12a 12b	15 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	
13a	20 m	8 cm	
111a 111b	10 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	15/9 - 15/5, 1/2 av plattbr.
111c 111d	10 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	hela året, 1/2 av plattbredden
111e 111f	10 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	hela året, 1/4 av plattbredden
112a 112b	15 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	15/9 - 15/5, 1/2 av plattbr.
112c 112d	15 m	8 cm 8 cm i yttre randfält, 4 f.ö.	hela året, 1/2 av plattbredden

3.6.2 Beräkningar med metod 1

Eftersom metod 1 är mycket tidskrävande har endast ett fåtal beräkningar gjorts med denna metod. Metoden är aktuell endast då golvvärmen är avstängd under någon period av året. I övriga fall ger metod 2 direkt samma jämviktsförhållanden som metod 1.

I BILAGA 1/1 visas resultatet av en beräkning för fall 11a. Diagrammet visar temperaturskillnaden över isoleringsskiktet som funktion av tiden på olika avstånd från ytterväggens insida (x). Beräkningen börjar den 15/5 då golvvärmen stängs av. Startvärden är från en beräkning med metod 2 för fall 1a, d v s då golvvärmen är på hela året. Beräkningen fortgår i tre år. Efter denna tid är jämviktsläget praktiskt taget uppnått.

I BILAGA 1/2 är sista året av denna beräkning jämförd med en beräkning med metod 2 med Fourierserien som randvillkor. Överensstämmelsen anses vara tillräckligt god för att metod 2 skall kunna användas i fortsättningen.

BILAGA 1/3 visar en beräkning av fallet att golvvärmen förblir avstängd en längre tid. Alla övriga förutsättningar är som för fall 11a.

3.6.3 Beräkningar med metod 2

3.6.3.1 Beräkningar med golvvärme

Alla de fall som finns i ovanstående tabell har studerats med metod 2. I BILAGA 2/1-2/13 visas temperaturskillnaden över isoleringsskiktet som funktion av tiden för alla dessa fall. x avser avståndet i m från ena ytterväggens insida. Då symmetri inte råder, d v s då golvvärme endast finns i en del av byggnaden anger x avståndet från vänstra ytterväggens insida och golvvärme finns i högra delen av byggnaden.

Om inget annat anges är jordarten jord I.

I BILAGA 3/1 visas för fall 1a hur temperaturdifferensen över isoleringsskiktet varierar med avståndet från ytterväggens insida vid några olika tidpunkter på året.

Årsmedelvärdet av temperaturskillnaden över isoleringsskiktet har beräknats nära plattmitt för de olika fallen och ges i nedanstående tabell. För fallen med golvvärme på 1/4 av plattbredden ges temperaturskillnaden även nära denna punkt.

TABELL 3.2

ÅRSMEDELTEMPERATURSKILLNAD $\Delta\vartheta$ OCH SOMMARMEDELTEMPERATURSKILLNAD ($\Delta\vartheta_{\text{MIN}}$) ÖVER ISOLERINGSSKIKTET NÄRA PLATTANS MITT. GOLVVÄRME HELA ELLER DEL AV ÅRET.

Fall	x (m)	x/b'	$\Delta\vartheta$ medel ($^{\circ}\text{C}$)	$\cong\Delta\vartheta_{\text{MIN}}$	$\Delta\vartheta_{\text{MAX}}$
1a	4.5	0.47	5.36		
1b	4.5	0.47	3.11		
2a	6.5	0.45	3.72		
2b	6.5	0.45	2.20		
3a	9.25	0.47	2.96		
3b	9.25	0.47	1.56		
4a	23.75	0.48	1.14		
11a	4.5	0.47	4.64	0.6	6.7
11b	4.5	0.47	2.69	-0.4	4.2
12a	6.5	0.45	3.16	-1.0	5.2
12b	6.5	0.45	1.66	-1.2	3.1
13a	9.25	0.47	2.90	-1.0	4.9
111a	4.5	0.47	1.06		
111b	4.5	0.47	-0.34		
111c	4.5	0.47	0.14		
111d	4.5	0.47	-1.11		
111e	4.5	0.47	3.03		
"	7.0	0.74	1.38		
111f	4.5	0.47	1.19		
"	7.0	0.74	-0.01		
112a	6.5	0.45	0.43		
112b	6.5	0.45	-0.27		
112c	6.5	0.45	-0.32		
112d	6.5	0.45	-0.92		

b' = plattbredden (=byggnadens bredd -0.50m)

3.6.3.2 Beräkningar utan golvvärme

Golvvärme på hela året ger en större temperaturskillnad över isoleringen och därmed mindre risk för fuktskador än fallet utan golvvärme. Fallen 1a - 4a kan enkelt räknas om till motsvarande fall med 20°C under betongplattan i stället för 30°C. Detta har gjorts och i nedanstående tabell visas årsmedelvärdet av temperaturskillnaden över isoleringsskiktet nära plattans mitt.

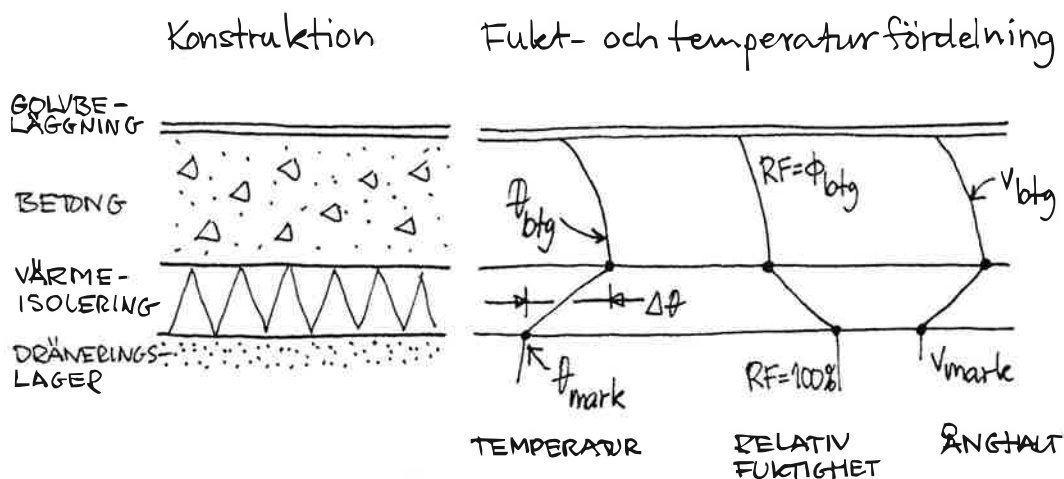
ÅRSMEDELTEMPERATURSKILLNAD ÖVER ISOLERINGSSKIKTET NÄRA PLATTANS MITT. UTAN GOLVVÄRME.

Fall	x	x/b'	$\Delta\theta$ medel
1a	4.5	0.47	2.88
1b	4.5	0.47	1.68
2a	6.5	0.45	2.00
2b	6.5	0.45	1.27
3a	9.25	0.47	1.59
3b	9.25	0.47	0.84
4a	23.75	0.48	0.61

4 FUKTBALANS

4.1 KONSTRUKTIONENS FUNKTIONSSÄTT

En betongplatta på mark med underliggande värmeisolering fungerar på följande sätt ur fuktsynpunkt.



Relativa fuktigheten i betongen är i närheten av 100 % efter gjutning. Innan golvbeläggningsen applicerats sker den största delen av uttorkningen uppåt, men uttorkningen nedåt är av betydande storleksordning om värmeisoleringen inte är för tät. Alldeles speciellt gäller detta om betongplattan är försedd med golvvärme och denna är inkopplad under uttorkningsskedet. Efter det att en tät golvbeläggning, t ex en PVC-matta, applicerats fås inte längre någon nämnvärd uttorkning uppåt, utan eventuell kvarvarande byggfukt måste torka bort neråt. Även med en så tät värmeisolering som styrencellplast sker då den huvudsakliga uttorkningen nedåt.

Orsaken till den nedåtriktade fuktströmmen, trots att RF i marken är 100 %, är temperaturskillnaden över värmeisoleringen och den därav följande ånghaltsskillnaden. Även om en del av byggfukten i betongen torkat bort så att RF är t ex 90 %, är ånghalten i betongen större än ånghalten i marken, om marktemperaturen är några grader lägre. Vid en betongtemperatur av $+20^{\circ}\text{C}$ fås ånghalten i betongen till

$$v_{btg} = \phi_{btg} \cdot v_m (+20^{\circ}\text{C}) = 0.9 \cdot 17.3 = 15.5 \text{ g/m}^3$$

Vid en marktemperatur av t ex $+17^{\circ}\text{C}$, dvs. en temperaturskillnad över

värmeisoleringen av $\Delta\vartheta = +3^{\circ}\text{C}$, fås ånghalten i marken till

$$v_{\text{mark}} = \phi_{\text{mark}} \cdot v_m(+17^{\circ}\text{C}) = 1.0 \cdot 14.5 = 14.5 \text{ g/m}^3$$

Anghalten i betongen är större än i marken och fuktfördetningen nedåt fortsätter så länge som detta gäller, vilket är fallet när RF i betongen är större än

$$\phi_{\text{btg}} = \frac{v_m(+17^{\circ}\text{C})}{v_m(+20^{\circ}\text{C})} = \frac{14.5}{17.3} = 0.84 = 84 \%$$

4.2 MODELL

Gränsvärdet enligt ovan kan ses som en ekvivalent relativ fuktighet ϕ_{ekv} i marken, om man betraktar förloppet isotermt, dvs. vid konstant temperatur. Den ekvivalenta relativa fuktigheten ges alltså generellt av

$$\phi_{\text{ekv}} = \frac{v_m(\vartheta_{\text{mark}})}{v_m(\vartheta_{\text{btg}})} \quad (4.1)$$

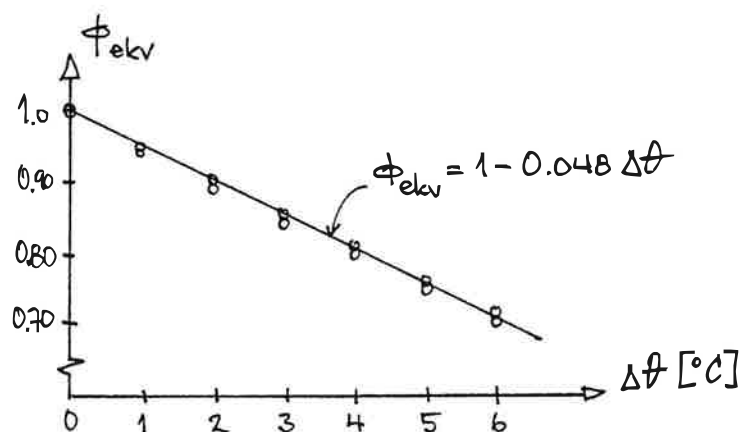
I nedanstående tabell redovisas ånghalter, ånghaltsskillnader och ekvivalenta RF vid olika temperaturskillnader mellan betong och mark både utan golvvärme och med golvvärme.

$\Delta\vartheta (^{\circ}\text{C})$	$\vartheta_{\text{btg}} = +20^{\circ}\text{C} (v_{\text{btg}} = 17.3 \text{ g/m}^3)$			$\vartheta_{\text{btg}} = +30^{\circ}\text{C} (v_{\text{btg}} = 30.2 \text{ g/m}^3)$		
	v_{mark}	ϕ_{ekv}	Δv	v_{mark}	ϕ_{ekv}	Δv
-1	18.3	1.06	-1.0			
0	17.3	1.00	0	30.2	1.00	0
+1	16.3	0.94	1.0	28.6	0.95	1.6
+2	15.3	0.89	1.9	27.1	0.90	3.1
+3	14.5	0.84	2.8	25.6	0.85	4.6
+4	13.6	0.79	3.6	24.3	0.80	6.0
+5	12.8	0.74	4.4	22.9	0.76	7.3
+6	12.1	0.70	5.2	21.7	0.72	8.5

Av värdena i tabellen framgår att den ekvivalenta relativa fuktigheten är mycket litet beroende av betongtemperatur, dvs. oberoende av om golvvärmen är påkopplad eller ej. Den kan därför uttryckas som en funktion i enbart temperaturskillnaden

$$\phi_{ekv} \cong 1 - 0.048 \Delta\vartheta \quad (4.2)$$

eller approximativt kan man säga att varje grads temperaturskillnad ger en sänkning av ϕ_{ekv} med ca 5 % RF; $\Delta\vartheta = 1^\circ\text{C}$ ger 95 %, 2°C ger 90 % osv.



Ånghaltsskillnaden är däremot starkt beroende av betongtemperaturen. Approximativt gäller

$$\Delta v^{+20^\circ\text{C}} \cong 0.86 \Delta\vartheta \quad (4.3)$$

$$\Delta v^{+30^\circ\text{C}} \cong 1.42 \Delta\vartheta \quad (4.4)$$

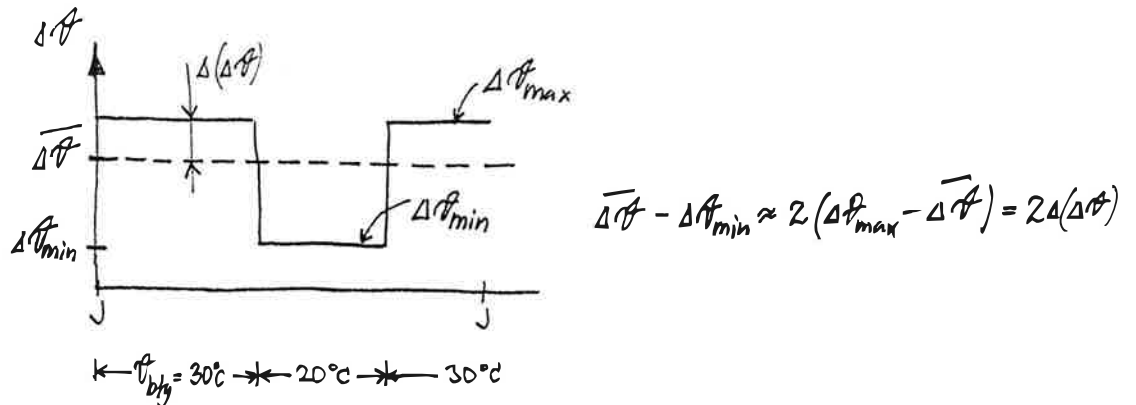
dvs. samma temperaturskillnad ger ca 65 % större ånghaltsskillnad vid $+30^\circ\text{C}$ som vid $+20^\circ\text{C}$. Detta innebär att årsmedelvärdet av ekvivalent RF som ges enligt ovan av årsmedeltemperaturskillnaden $\overline{\Delta\vartheta}$:

$$\overline{\phi}_{ekv} \cong \phi_{ekv}(\overline{\Delta\vartheta}) \quad (4.5)$$

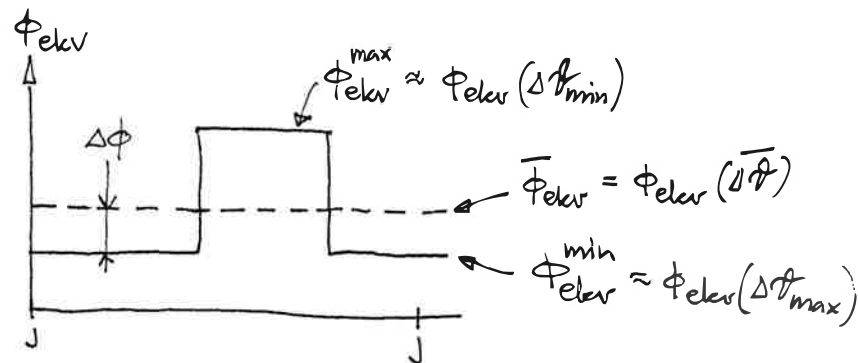
inte blir detsamma som årsmedelvärdet av betongens relativa fuktighet $\overline{\phi}_{btg}^\infty$ sedan byggfukten torkat och betongens fuktighet bestäms av variationerna i temperaturskillnad och värmeisoleringens täthet.

För det fall att golvvärmen stängs av 4 mån per år kan temperatur-

skillnaden under året grovt förenklas till



Göres motsvarande förenklingar för ekvivalenta relativa fuktigheten fås



En grov uppskattning av årsmedelvärdet av betongens relativa fuktighet efter lång tid kan göras på följande sätt. Fuktblödet Q genom en värmeisolerings med ångmotstånd z blir vid en ånghaltsskillnad av Δv på tiden Δt

$$Q = \frac{\Delta v}{z} \cdot \Delta t = \frac{(\phi_{btg} - \phi_{ekv})v_m}{z} \cdot \Delta t$$

Om skillnaden mellan årsmedelvärdet av ϕ_{ekv} och årsmedelvärdet av ϕ_{btg} kallas $\Delta\phi_{btg}$, dvs.

$$\Delta\phi_{btg} = \overline{\phi_{ekv}} - \overline{\phi_{btg}} = \phi_{ekv}^{\min} + \Delta\phi - \overline{\phi_{btg}} = \phi_{ekv}^{\max} - 2\Delta\phi - \overline{\phi_{btg}}$$

fås ett uppåtriktat fuktblöde, under fyra månader, till ungefär

$$Q_{UPP} = \frac{(\phi_{btg} - \phi_{ekv}^{\max})v_m(+20^{\circ}\text{C})}{z} \approx \frac{(\Delta\phi_{btg} + 2\Delta\phi)v_m(+20^{\circ}\text{C})}{z} \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s})$$

och ett nedåtriktat fuktflöde, under åtta månader, till

$$Q_{\text{NER}} = - \frac{(\phi_{\text{btg}} - \phi_{\text{ekv}}^{\text{min}}) v_m (+30^\circ\text{C})}{z} = \frac{(\Delta\phi_{\text{btg}} - \Delta\phi) v_m (+30^\circ\text{C})}{z} \quad (\text{kg/m}^2 \cdot \text{s})$$

Dessa båda, under fyra resp åtta månader, blir lika stora då

$$(\Delta\phi_{\text{btg}} + 2\Delta\phi) 17.3 = -(\Delta\phi_{\text{btg}} - \Delta\phi) 60.8$$

vilket ger

$$\Delta\phi_{\text{btg}} \cong \frac{26.2}{78.1} \Delta\phi \cong \Delta\phi/3 \quad (4.6)$$

På grund av det större fuktflödet nedåt än uppåt, vid samma temperaturskillnad, blir alltså årsmedelvärdet av betongens fuktighet något lägre än årsmedelvärdet av ekvivalent RF. Avvikelsen är ca en tredjedel av skillnaden mellan årsmedelvärdet av ekvivalent RF och minsta ekvivalenta RF under året. Vid t ex $\bar{\phi}_{\text{ekv}} = 90\%$ och genomsnittlig $\phi_{\text{ekv}}^{\text{min}} = 85\%$ under uppvärmningsperioden blir $\bar{\phi}_{\text{btg}} \cong 88\%$.

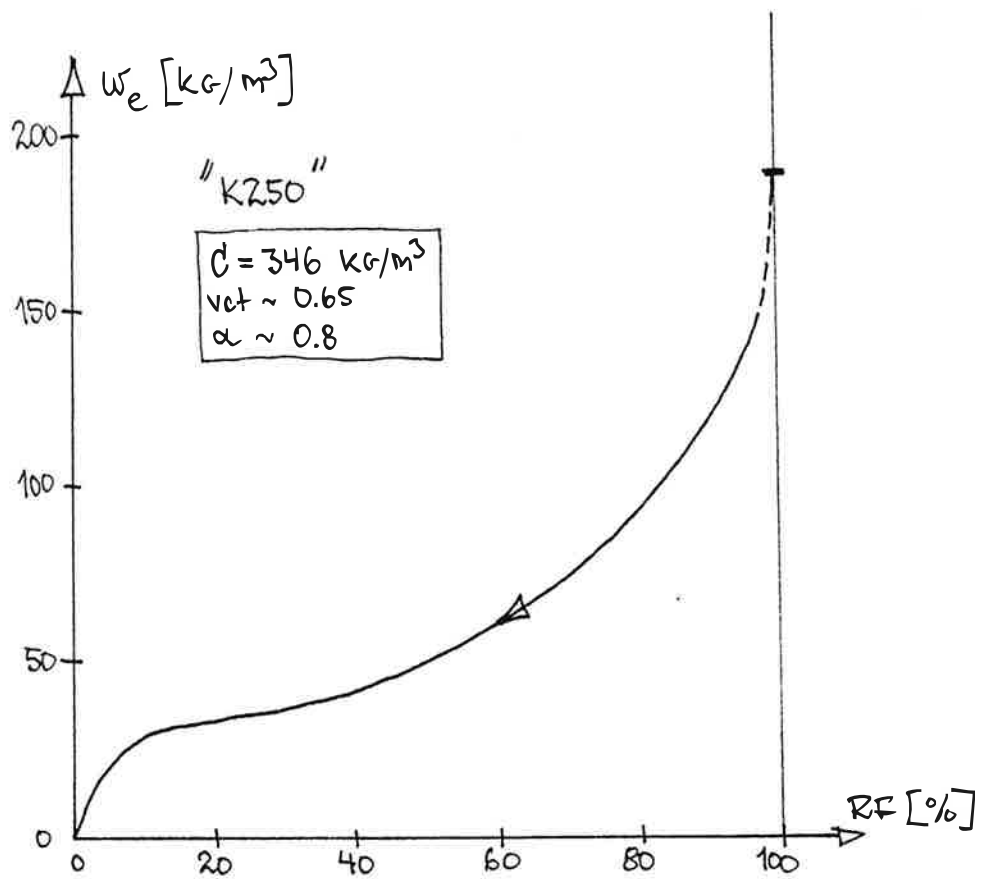
4.3 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR OCH -ALTERNATIV

Beräkningarna av fuktförloppet har gjorts med en modell enligt Nilsson (1980) med följande förutsättningar och variabler:

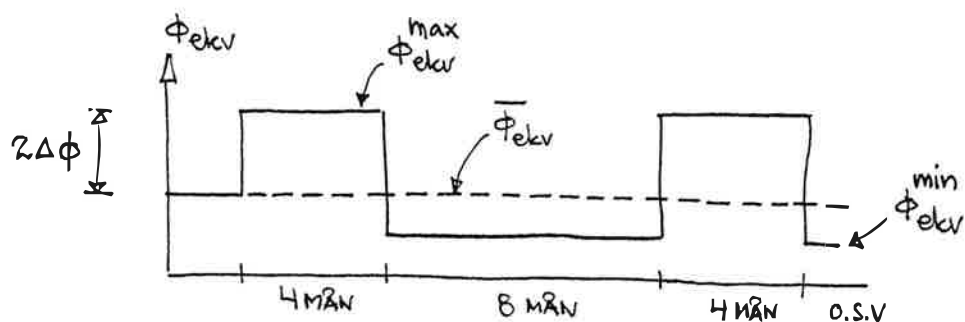
- Betong K250, tjocklek 0.06 resp 0.10 m
- Golvbeläggning PVC-matta, $z = 1000 \cdot 10^3$ s/m
- Värmeisolering, mineralull (markskiva) $z \cong 10 \cdot 10^3$ s/m
styrencellplast $z \cong 100 \cdot 10^3$ s/m
- Rumsfuktighet 50 % RF
- Markfuktighet ϕ_{ekv} vid ψ_{btg} (isotermt).

Desorptionsisotermen för den aktuella betongkvaliteten åskådliggöres i figuren på följande sida.

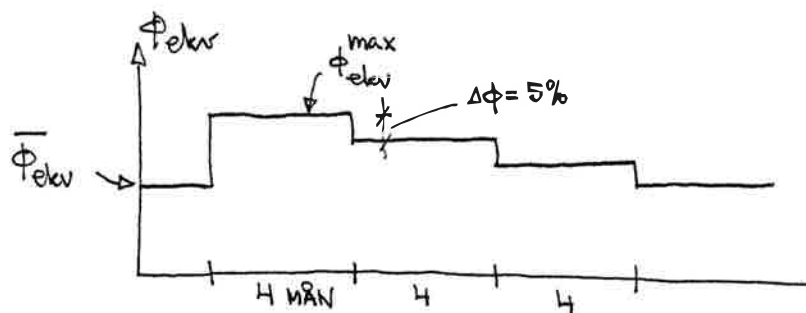
Den fukthistoria som har använts i olika fall är av två principiellt olika typer. För fallet med golvvärme avstängd fyra månader per år har begynnelsefukthalten motsvarat ϕ_{ekv} och historien under året varit följande:



Desorptionsisoterm för den i beräkningarna behandlade betongkvaliteten.



I fallet att golvvärmen stängs av under lång tid efter att ha varit inkopplad kontinuerligt under flera år, har begynnelse fukthalten motsvarat $\bar{\phi}_{ekv}$, egentligen något för högt, och fukthistorien sådan att den motsvarar en ökning av temperaturskillnaden med ca 1°C per 4 mån, jfr bilaga 1/3!

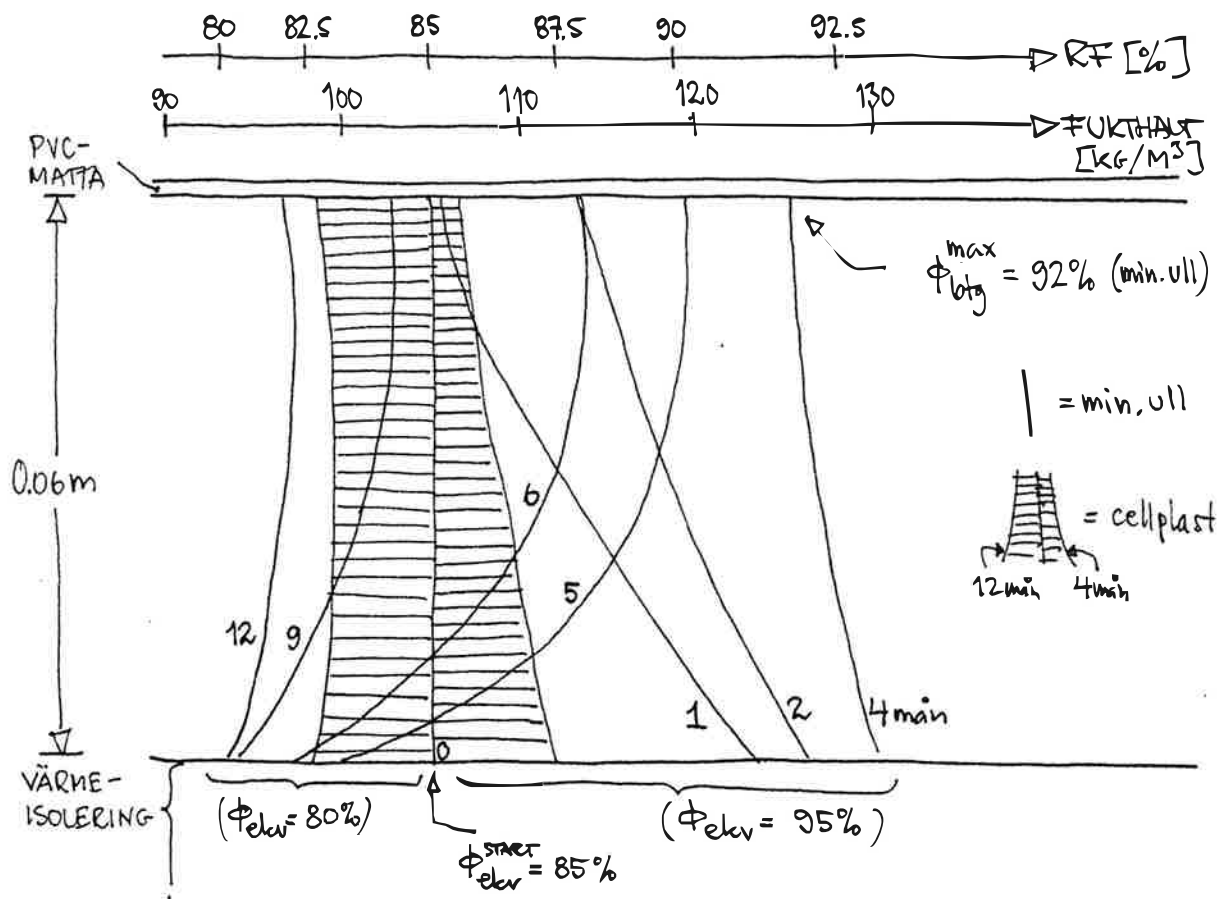


Beräkningar har utförts med $\bar{\phi}_{ekv} = 90, 85, 80 \%$ RF och $\phi_{ekv}^{\max} = "105"$, 100, 95, 90 % RF för 0.06 m tjock betongplatta med värmeisolering av mineralull och cellplast. Några få beräkningar har gjorts med tjockare betongplatta, 0.10 m.

4.4 BERÄKNINGSRESULTAT

Resultatet av de utförda beräkningarna sammanfattas i TABELL 4.1 och TABELL 4.2 som genomsnittlig relativ fuktighet i betongplattan ϕ_{btg} i slutet av respektive fyramånaders period.

Bakom varje enskilt siffervärde ligger en datorberäkning av förloppet under åtta månader. Ett exempel på erhållna fuktfördelningar i ett hus ges i nedanstående figur för fallet $\phi_{ekv}/\phi^{\max}/\phi^{\min}$ 85/95%/80, jfr TABELL 4.1.



TABELL 4.1

GOLVVÄRME AVSTÄNGD 4 MÅN PER ÅR

Sammanställning av beräkningsresultat

	(start) (4 mån) (8 mån) $\bar{\phi}_{\text{ekv}} / \phi^{\text{max}} / \phi^{\text{min}}$	$\bar{\phi}_{\text{btg}}$ (%) i slutet av resp 4 mån.period				
		6 M	6 C	10 M	10 C	Ekv.(4.6) $\cong \phi_{\text{btg}}^{\infty}$
90	"105"	99				-
	"105" 82.5	-				87.5
	100 (4 mån)	97	91.5	95	90.5	-
	100 85 (4;8)	88,85.5	89,87.5			88
	95	93.5	90.5			-
	95 87.5	87			89	
88	95	93				
85	"105"	99	89			-
	"105" 75	84,79	85.5,83			82
	100	96	87.5	93	87	-
	100 77.5	84,80	85,83			82.5
	95	92	86.5			-
	95 80	84,81	84.5,83			83
	90	88	85.5			-
	90 82.5	84,82	84,83			84
80	"105"	99	85.5			-
	"105" 67.5	-	-			76
	100	95	84(82)	90.5	82.5	-
	100 70	80.5,74.5	-			77
	95	90.5	-			-
	95 72.5	79.5,75	-			78
	90	85.5	-			-
	90 75	79,76.5	-			79

TABELL 4.2

GOLVVÄRME AVSTÄNGD LANG TID EFTER NÅGRA ÅR

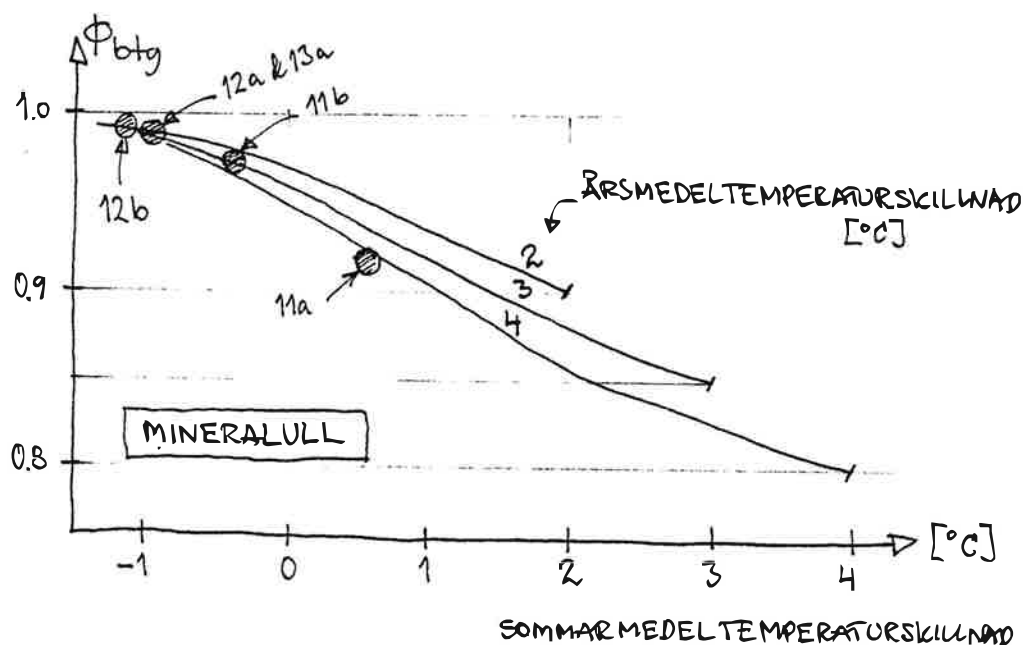
Sammanställning av beräkningsresultat

	(start) (4 mån) (4 mån) $\phi_{\rho kv} / \phi^{\max} / \phi / \phi$	ϕ_{btg} (%) i slutet av resp 4 mån period			
		6M	6C	10M	10C
85	"105"	99 KONDENS	89		
	100	99	91.5		
	90	-	≈91		
	100	96	87.5	93	87
80	95	≈95.5	88.5		
	90	-	≈89		
	95	92	86.5		
	90	≈91	-		
85	90	88	85.5		
	85	≈86	84.5		
	"105"	99 KONDENS	85.5		
	100	99	90		
80	90	-	90		
	100	95	84	90.5	82.5
	95	95	86.5		
	90	-	87		-
85	85	-	86.5		
	95	90.5	<84		-
90	85.5	<84			

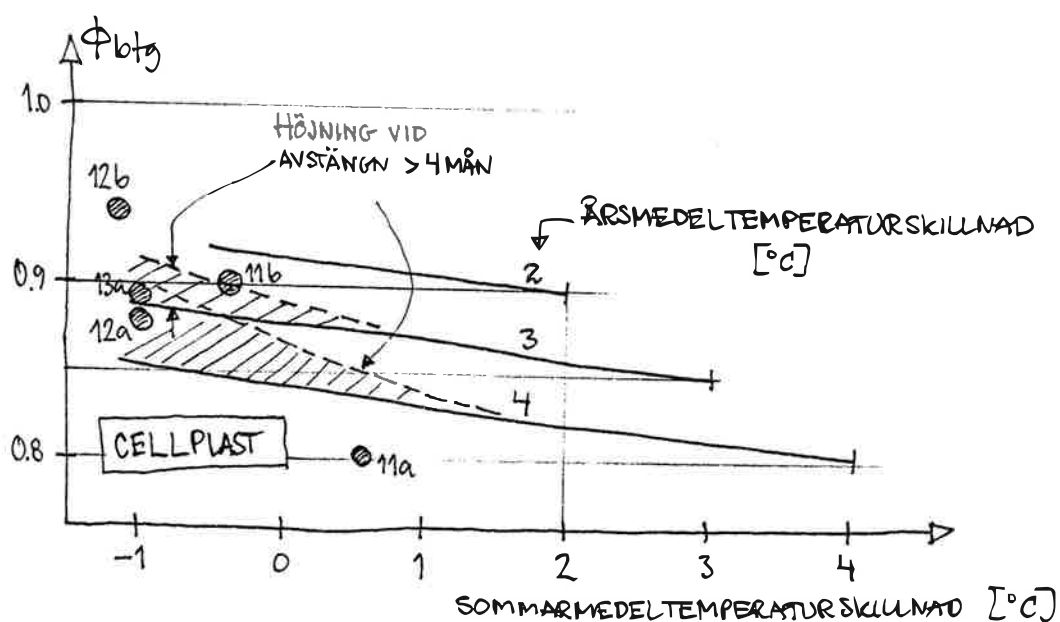
6 Tjocklek hos betongplatta (cm)

M Mineralull

Resultaten för fallet att golvvärmen avstänges fyra månader per år, TABELL 4.1, är sammanställda för plattjockleken 0.06 m och mineralullsisolering i nedanstående figur.



I figuren har också markerats temperaturförhållandena för fallen 11 - 13 i TABELL 3.1, så att det framgår vilket maximalt fuktillstånd dessa fall skulle ge upphov till. För motsvarande fall med cellplastisolering gäller nedanstående figur



I denna figur har också markerats resultatet för fallet att golvvärmen förblir avstängd under lång tid och temperaturskillnaden ökar med max 1°C per 4 månader.

4.5 UTVÄRDERING

Nedan kopplas beräkningarna av temperaturfältet ihop med analysen av fuktbalansen för de olika fallen. Eftersom de valda förutsättningarna avsiktligt är extrema, med bland annat så svåra markfuktförhållanden som möjligt, göres utvärderingen inte enbart genom att jämföra absolutvärdena av resultaten med de gränsvärden som är acceptabla, utan en jämförelse göres också med fallet utan golvvärme. Utvärderingen utgår ifrån kritiska fukttillstånd RF_{KRIT} för golvlim till PVC-mattor av 90 alternativt 85 %.

4.5.1 Golvvärme alltid påkopplad

Resultaten, uttryckta som fukttillstånd i betongplattan, sammanfattas för de olika fallen 1 - 4 enligt TABELL 3.1 i nedanstående TABELL 4.3.

TABELL 4.3 Fukttillstånd i plattmitt om golvvärme alltid påkopplad

Fall	Bredd (m)	Isol (cm)	Relativ fuktighet (%) i plattmitt	
			Utan golvvärme	Golvvärme
1a	10	8	86	74
1b		8+4	92	85
2a	15	8	90	82
2b		8+4	94	89
3a	20	8	92	86
3b		8+4	96	93
4a	50	8	97	95

Med de valda förutsättningarna skulle ett kritiskt fukttillstånd av 85 % RF inte alls klaras, och 90 % RF i bara två fall, utan golvvärme. Med gynnsammare markfuktförhållanden, t ex med strömmande grundvatten på 5 cm djup, kan vi klara oändligt stora plattor vid detta kritiska fukttillstånd. Om golvvärme användes blir betongplattorna avsevärt torrare och plattor upp till 20 m och 8 cm värmeisolering klarar gräns-

värdet $RF_{KRIT} = 90 \%$; allt under förutsättning att golvvärmen ständigt är påkopplad.

För fallen 111 och 112 med golvvärme i bara en del av byggnaden gäller i samtliga fall att en ångspärr alltid krävs inom området närmast den del som är försedd med golvvärme; utbredningen ges av temperaturfördelningen.

4.5.2 Golvvärmen avstängd 4 månader per år

Då golvvärmen stängs av fås momentant en stor ändring av temperaturskillnaden, men denna utjämnas på kort tid och effekten på fukttransporten bör kunna uppskattas relativt väl på så sätt som ovan gjorts. För de olika fallen 11 - 13 sammanfattas resultatet i nedanstående tabell.

TABELL 4.4 Fukttillstånd i plattmitt 4 månader efter att golvvärmen avstängts.

Fall	Bredd (m)	Isol (cm)	Relativ fuktighet (%) i plattmitt		
			Golvvärme 12 mån/år	Golvvärme 8 mån/år	
				Min.u11	Cellplast
11a	10	8	74	91	80
11b		8+4	85	97	90
12a	15	8	82	99	88
12b		8+4	89	99	84
13a	20	8	86	99	99

En kritisk relativ fuktighet av 90 % uppfyller inte någon av konstruktionerna med mineralull. Med minst 8 cm cellplast klarar sig dock konstruktioner med plattbredd upp till 15 m om $RF_{KRIT} = 90 \%$. Med $RF_{KRIT} = 85 \%$ får dock plattbredden inte vara större än 10 m:

4.5.3 Golvvärmens avstängd under längre tid

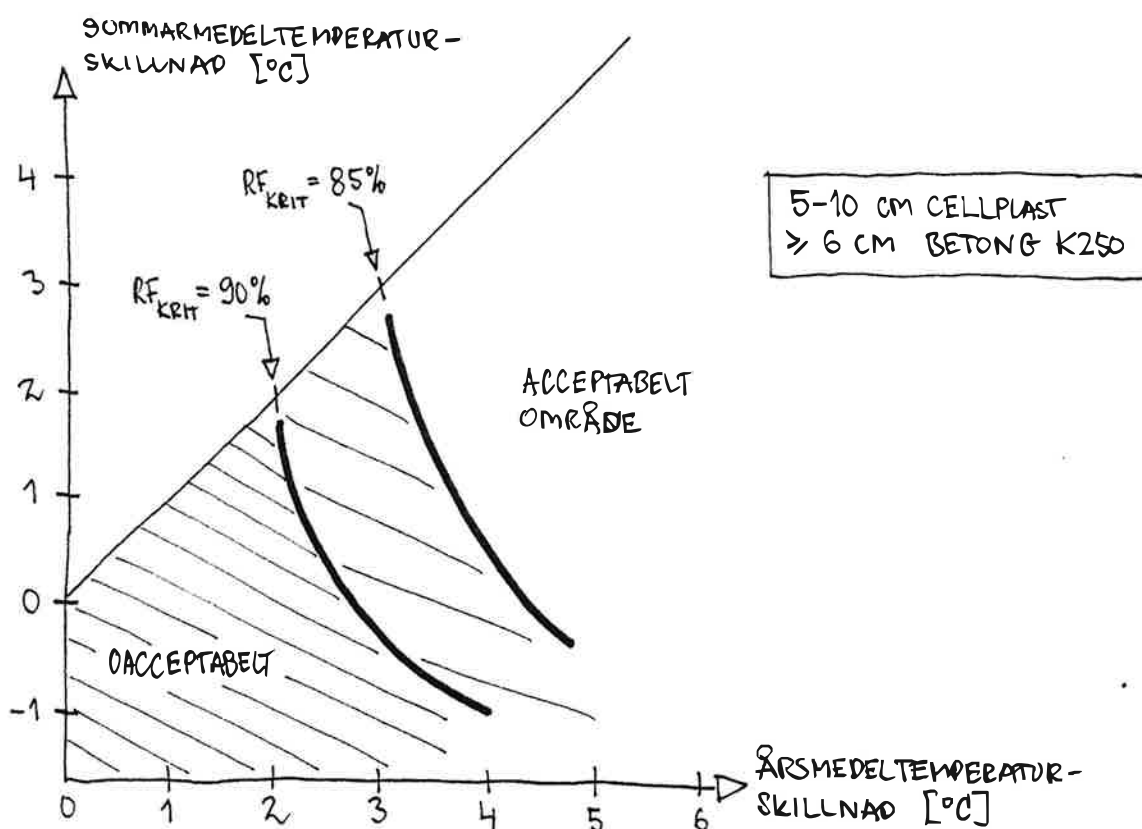
Om golvvärmens avstänges under en längre tidsperiod kommer den stora fuktbelastningen underifrån att vara stor under längre tid än fyra månader. Av TABELL 4.2 framgår att för att klara en $RF_{KRIT} = 90\%$ vid mineralullsisolering krävs en årsmedeltemperaturskillnad av minst 4°C och sommarmedeltemperaturskillnaden måste vara större än 3°C . Detta uppnås inte av någon av de behandlade konstruktionerna med de valda förutsättningarna.

Med cellplast som värmeisolering klaras $RF_{KRIT} = 90\%$ om årsmedeltemperaturskillnaden är större än 3°C och sommarmedeltemperaturskillnaden större än -1°C . Detta uppnås vid plattbredd upp till 15 m och 8 cm tjock cellplastisolering; i övriga fall inte. Om $RF_{KRIT} = 85\%$ klarar sig bara 10 m:s plattbredd och minst 8 cm cellplastisolering.

4.5.4 Dimensionering

Det dimensionerande fallet, ur markfuktsynpunkt, för konstruktioner med golvvärme i betongplatta på mark är att golvvärmen stängs av under en längre tid efter att ha varit inkopplad under ett antal år så att värme-kudden har byggts upp tillfullo. De behandlade fallen är extrema ur markfukt- och temperatursynpunkt och de flesta praktiska fall får gynnsammare förhållanden.

För det fall att man kan bedöma eller beräkna temperaturförhållandena vid kallare omgivningsklimat och lägre marktemperaturer, kan en dimensionering tänkas ske genom att dimensioneringsnomogram anvisas för någon eller några tänkbara golvkonstruktioner. Exempel på ett sådant nomogram visas i nedanstående figur.



Omvänt kan man naturligtvis istället beräkna för vilket klimat och markförhållanden en given konstruktion är lämplig och eventuellt ange olika konstruktioner för olika klimat- och markförhållanden.

5 SAMMANFATTNING

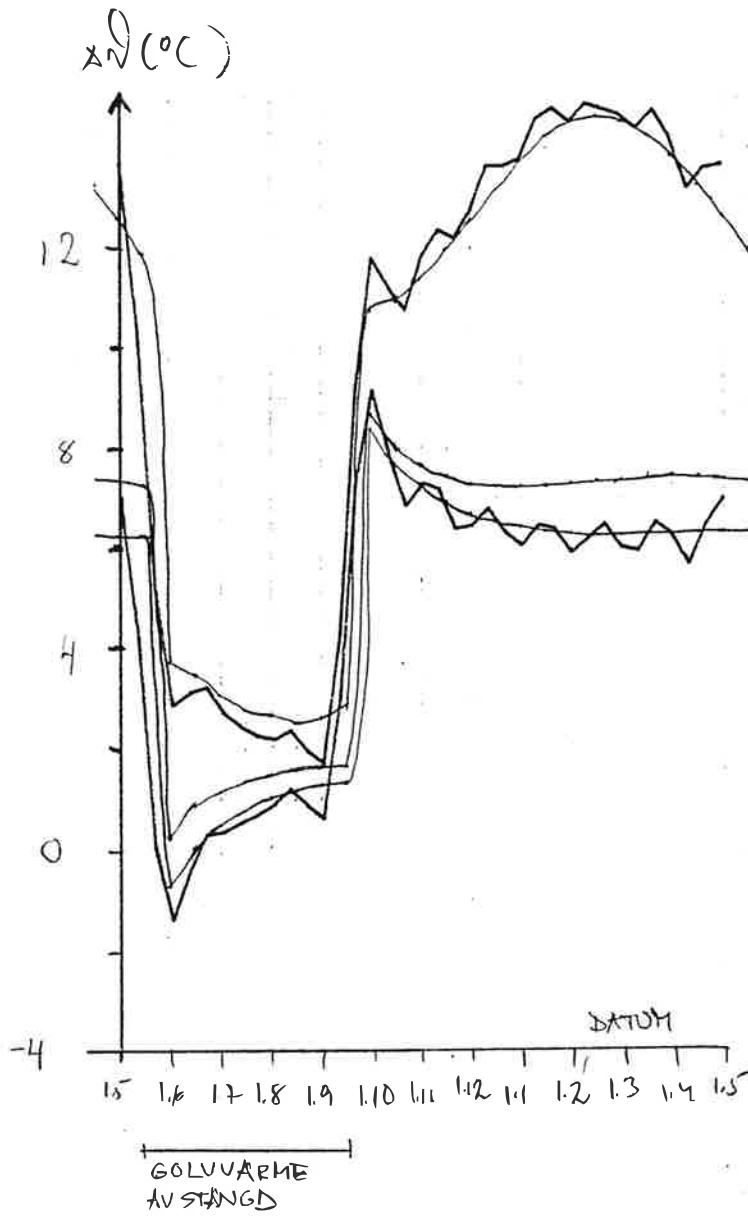
Den praktiska tillämpningen av de utförda beräkningarna kan sammanfattas i följande punkter:

- Den gynnsamma effekten på uttorkning av byggfukt, som erhålles av mineralullsisolering och slopande av ångspärr, kan inte utnyttjas vid golvvärme annat än möjligen i undantagsfall. Fukttillförseln underifrån riskeras bli alltför stor om golvvärmen stängs av mer än 3 - 4 månader för ett ordinarie småhus.
- Med cellplastisolering kan ångspärren slopas för plattbredder under 15 m, men effekten på erforderlig torktid för byggfukt är liten.
- Byggnader med golvvärme i bara en del av byggnaden fordrar alltid en ångspärr i området närmast golvvärmen.

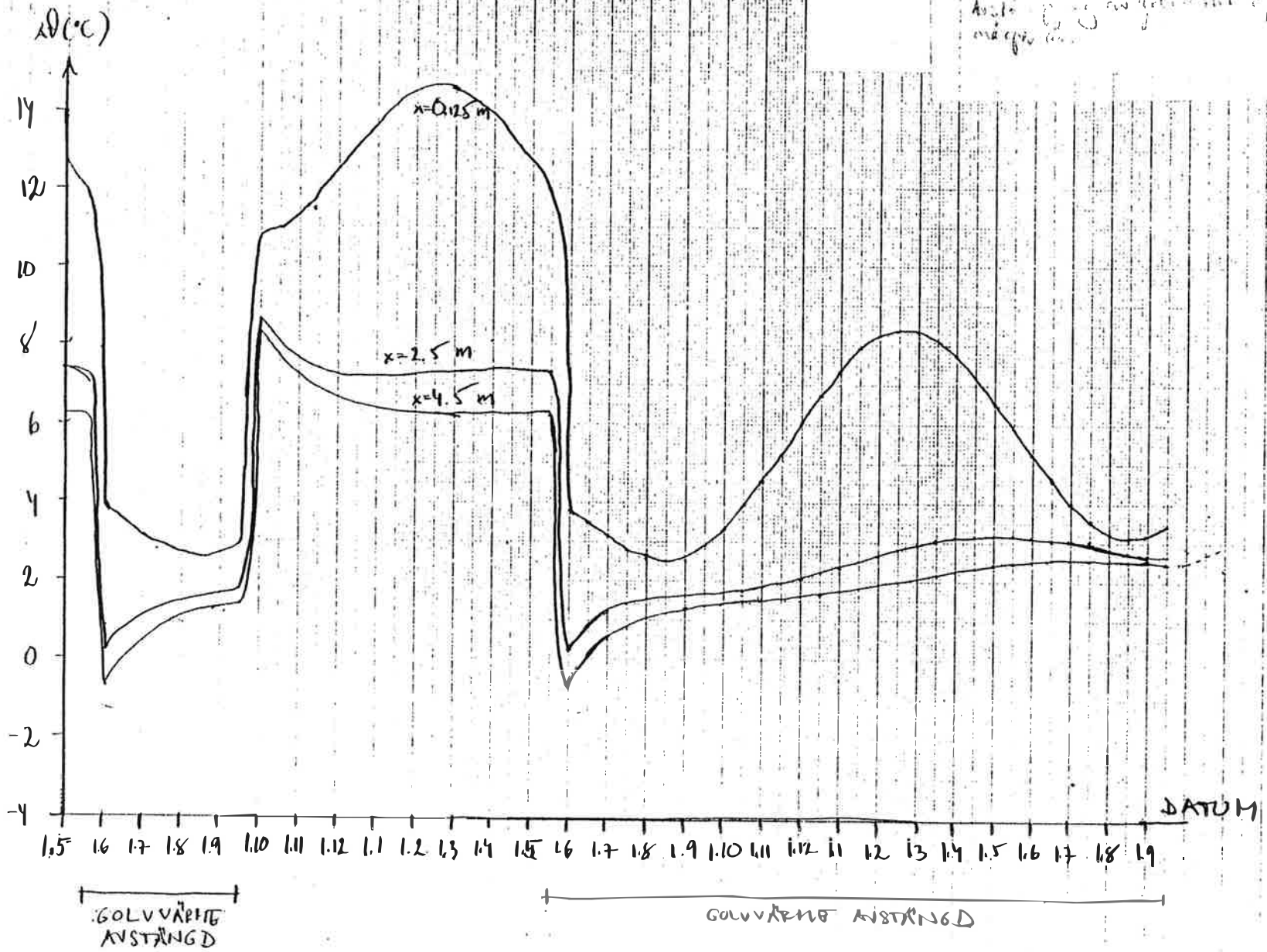
Det ovanstående gäller för de här valda förutsättningarna. Med andra, ur fuktsynpunkt gynnsammare, klimat- och markförhållanden kan slutsatserna bli annorlunda i vissa fall.

REFERENSER

- Johannesson, G (1981) Active heat capacity.
TVBH - 1003, LTH, Lund.
- Nilsson, L-O (1980) Hygroscopic moisture in concrete - drying, measurements & related material properties.
TVBM - 1003, LTH, Lund.
- Nilsson, L-O (1977) Fuktproblem vid betonggolv.
TVBM - 3002, LTH, Lund.
- Nilsson, L-O (1980) Värme i betonggolv. Pilotförsök. Preliminär rapport.
(Wirsbo Bruks AB, Virsbo) BML LTH, Lund.
Intern rapport.

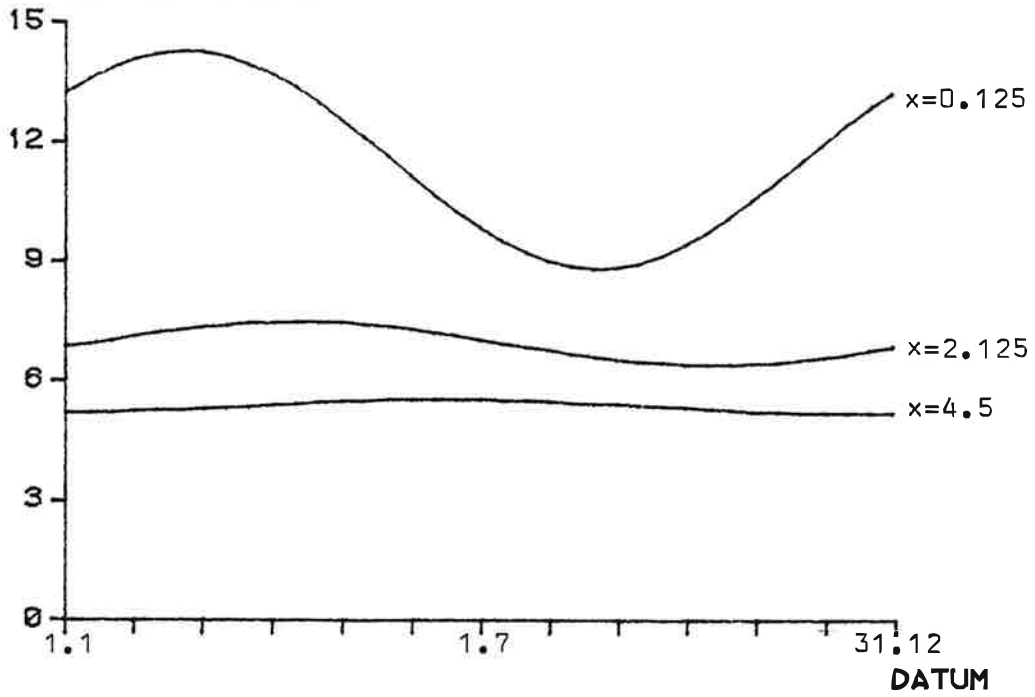


Test av
Avslutning av golv och öppen
mått för...



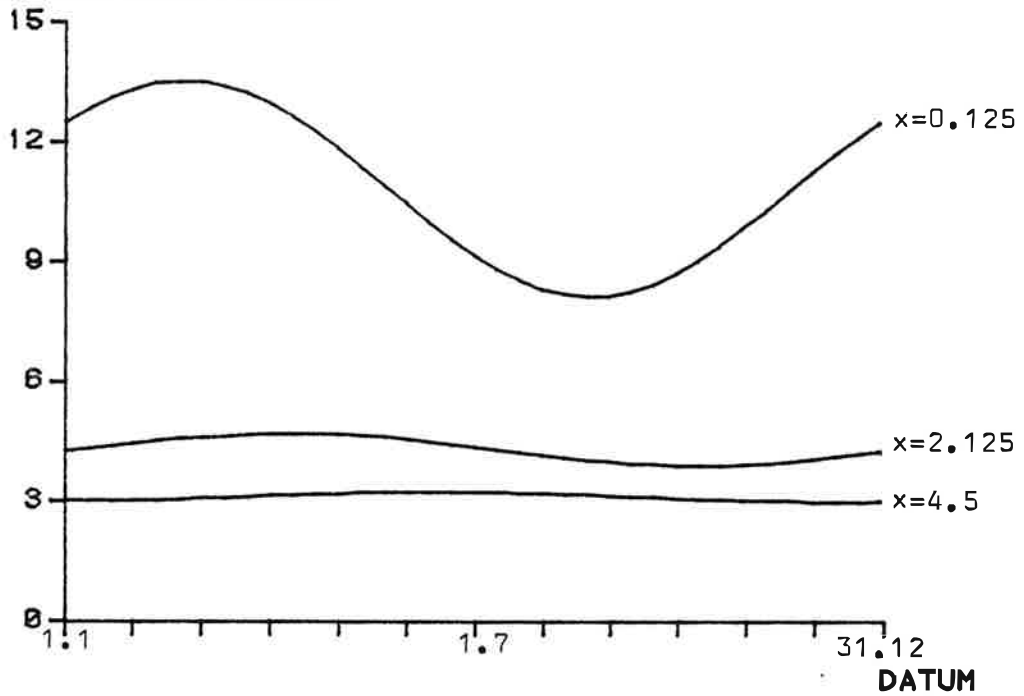
FALL 1A

TEMPERATURDIFFERENS



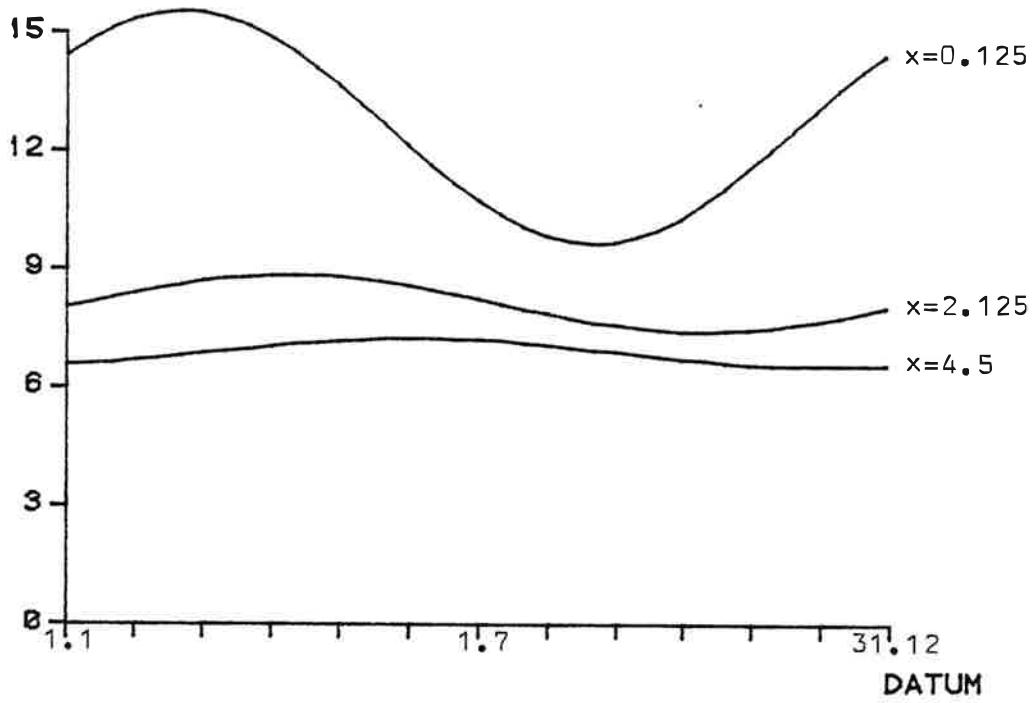
FALL 1B

TEMPERATURDIFFERENS



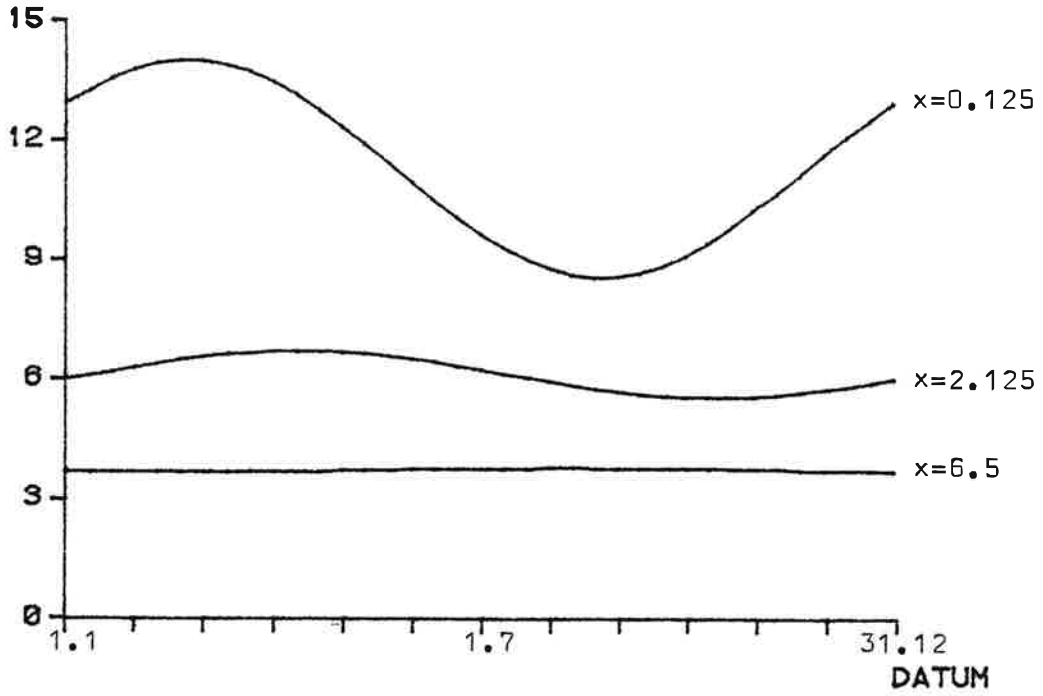
TEMPERATURDIFFERENS

FALL 1A MED JORD II



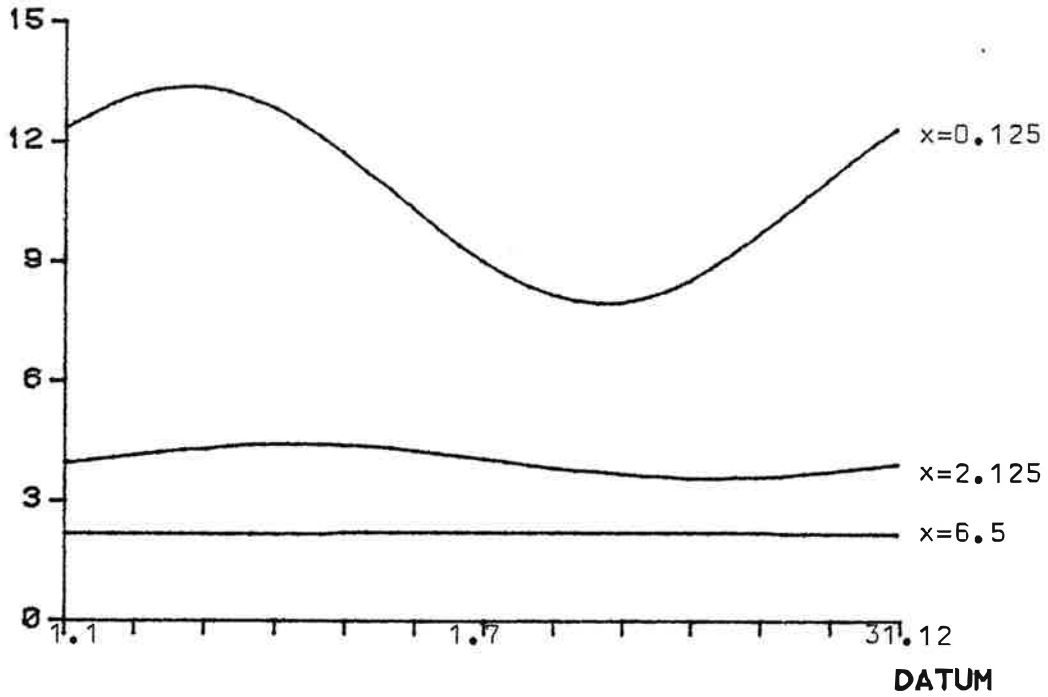
FALL 2A

TEMPERATURDIFFERENS



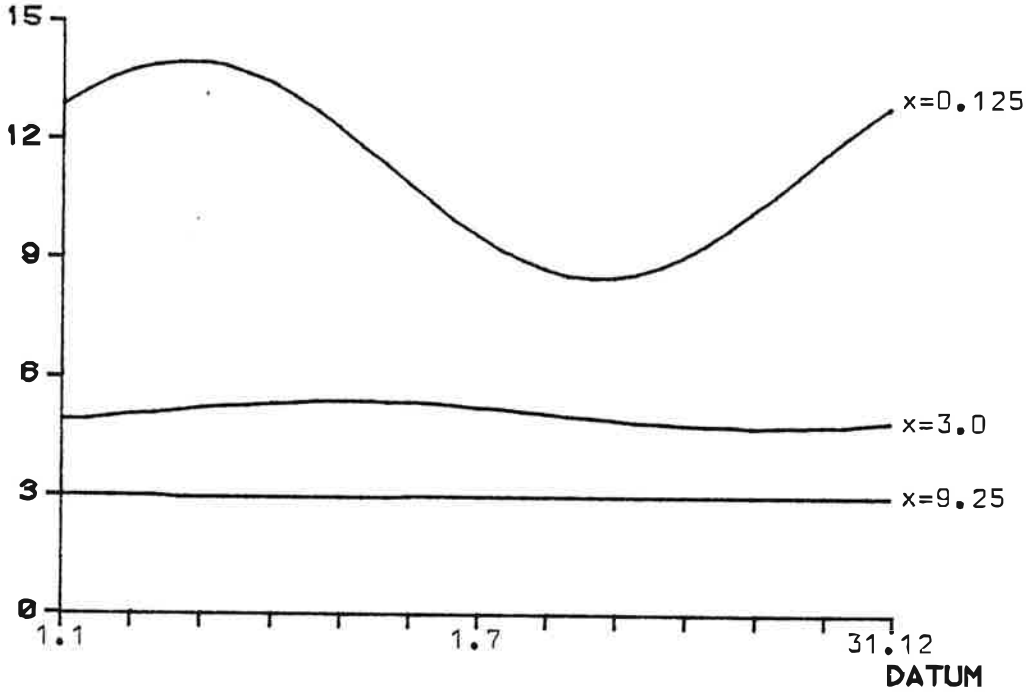
FALL 2B

TEMPERATURDIFFERENS



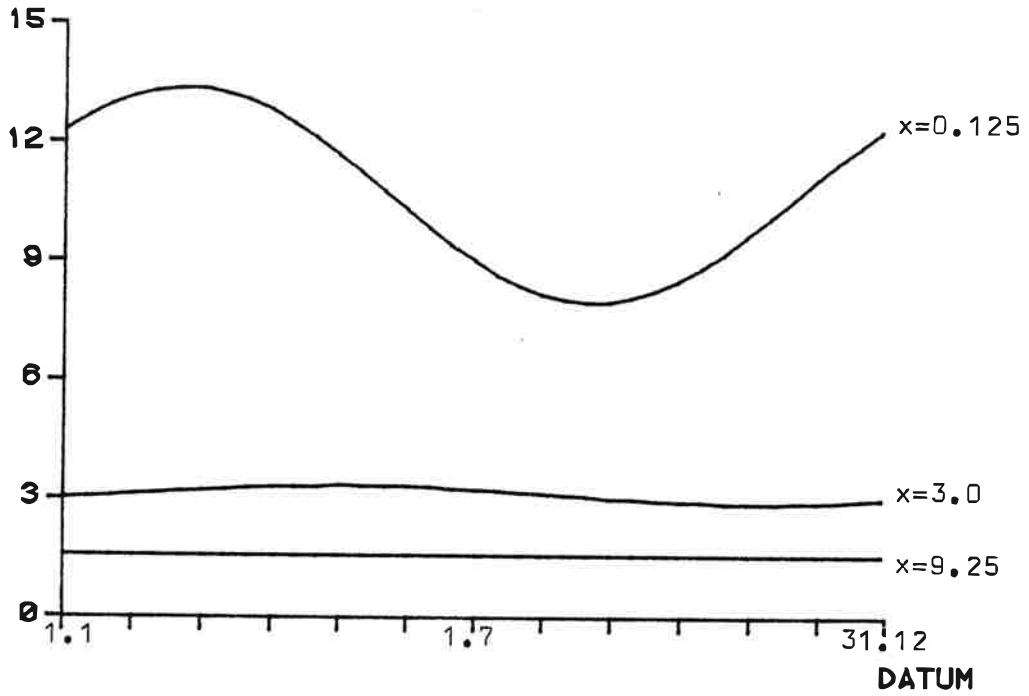
FALL 3A

TEMPERATURDIFFERENS



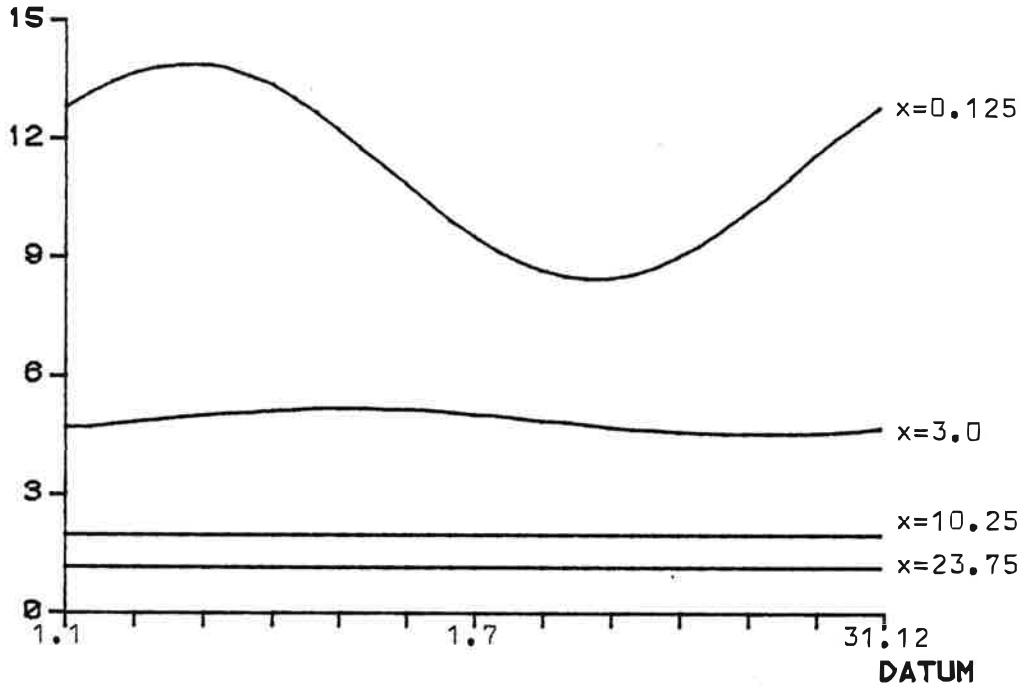
FALL 3B

TEMPERATURDIFFERENS



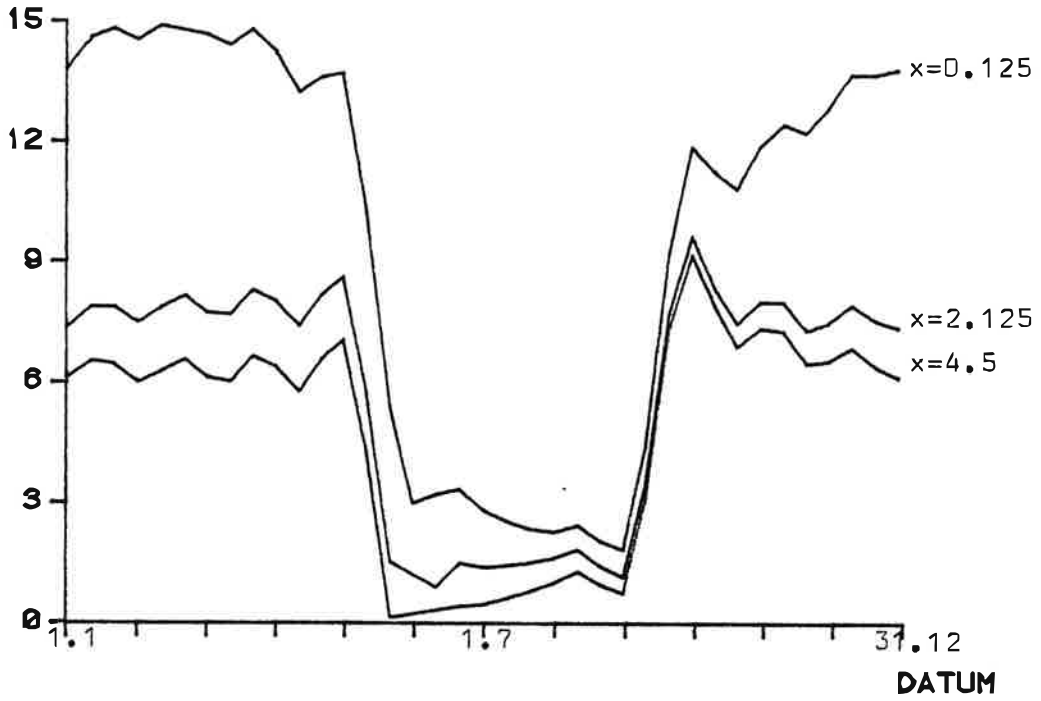
FALL 4A

TEMPERATURDIFFERENS



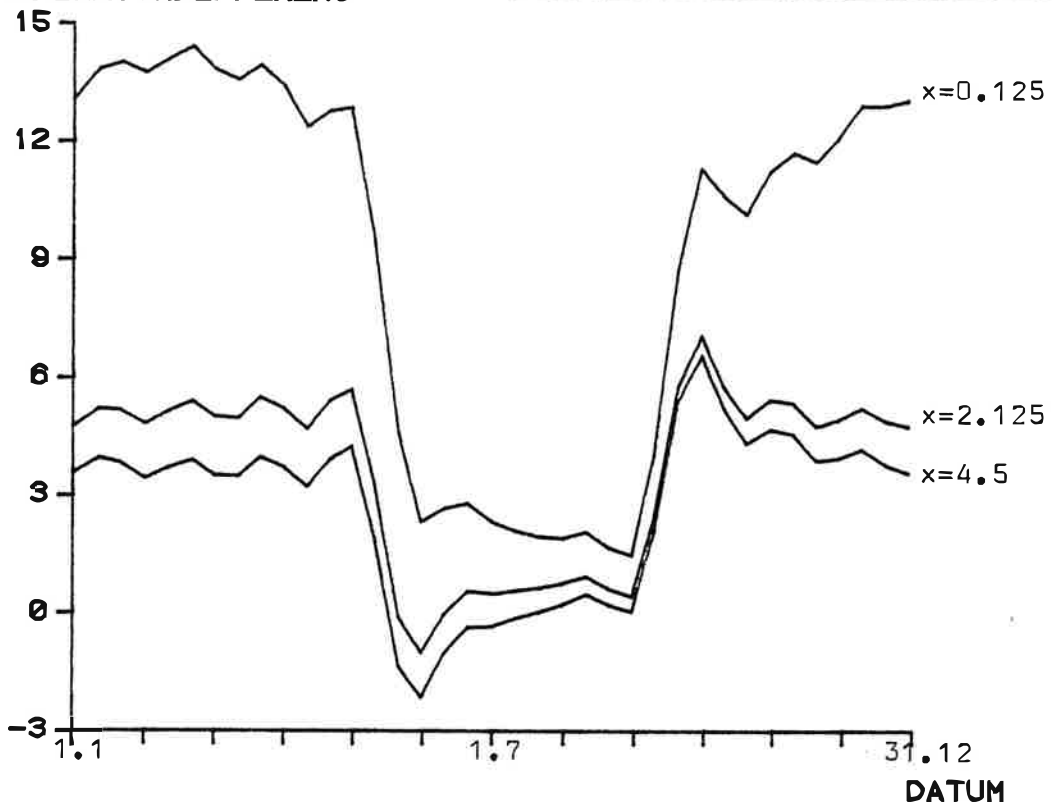
FALL 11A

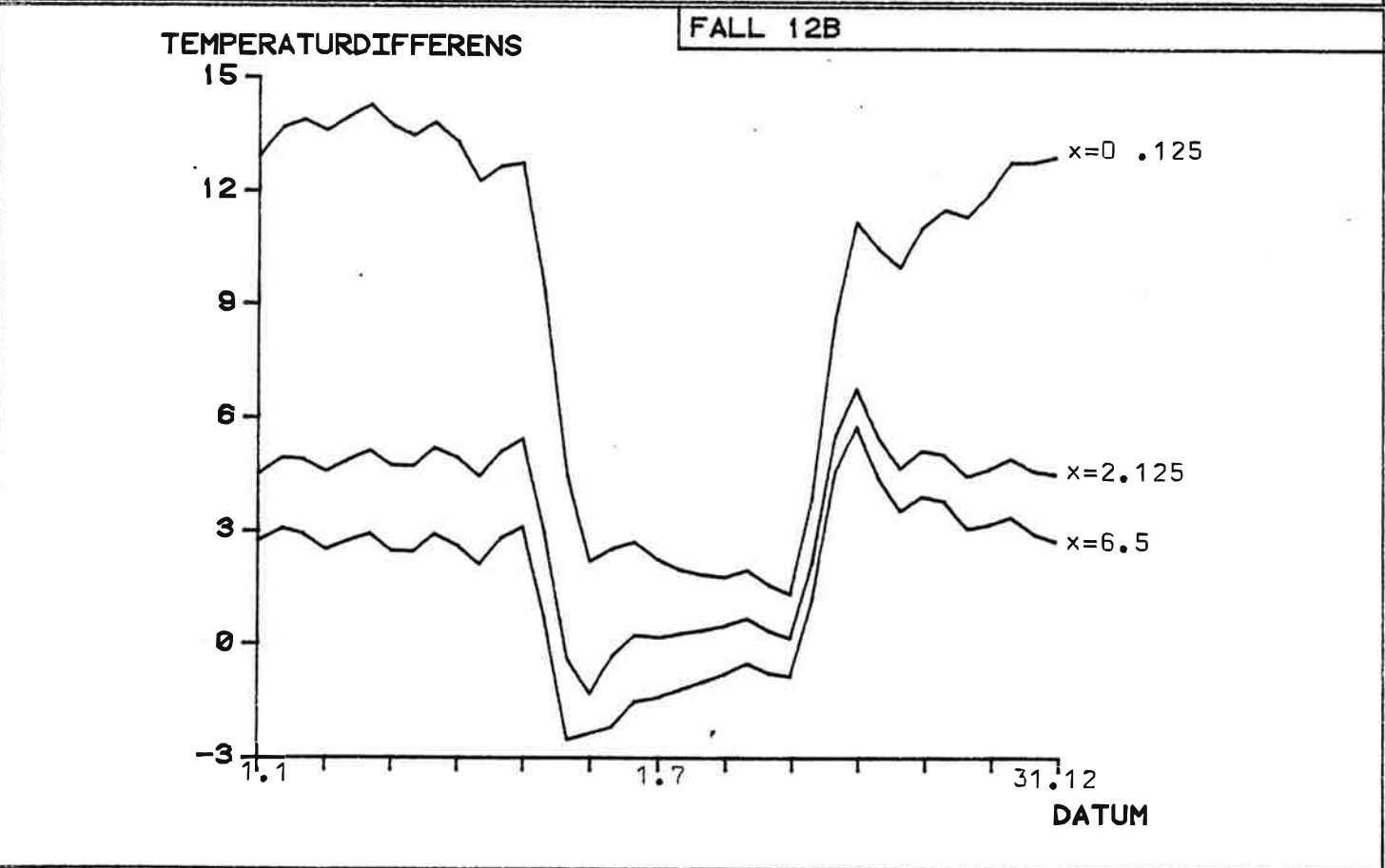
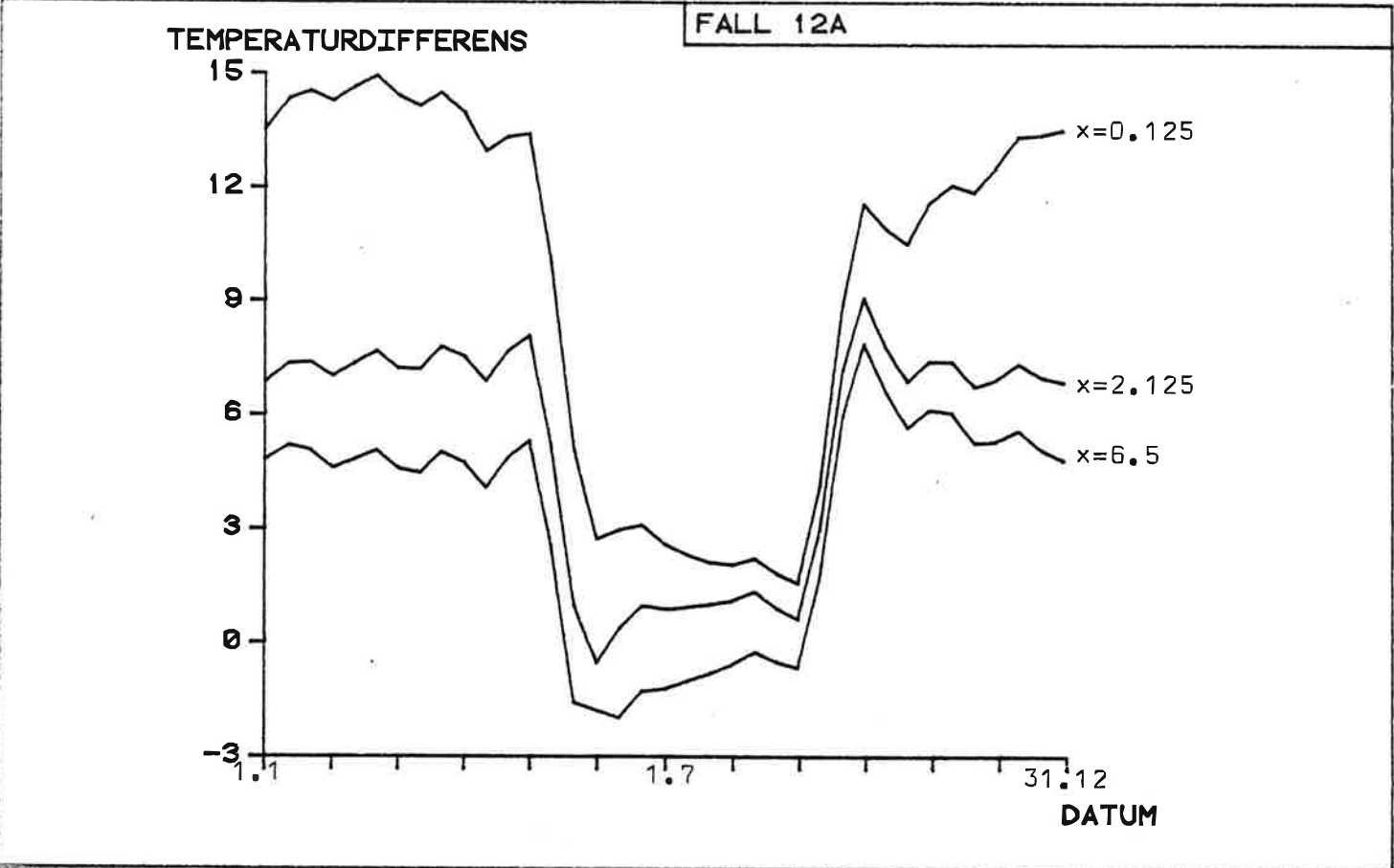
TEMPERATURDIFFERENS



FALL 11B

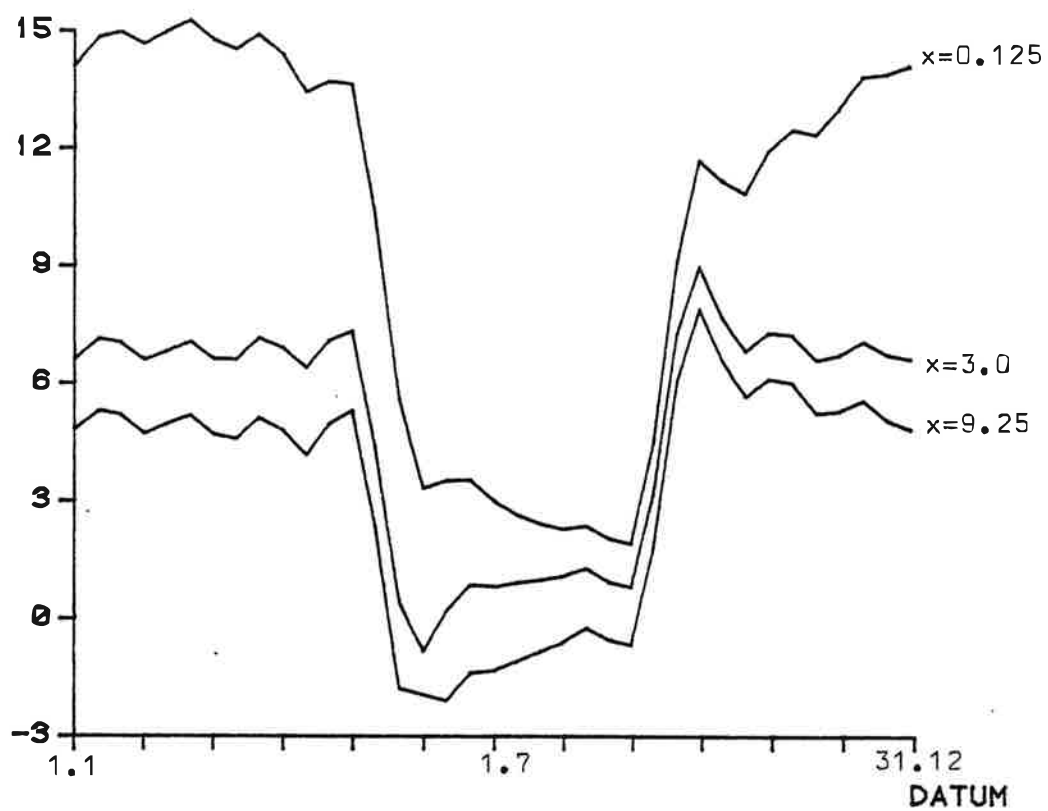
TEMPERATURDIFFERENS





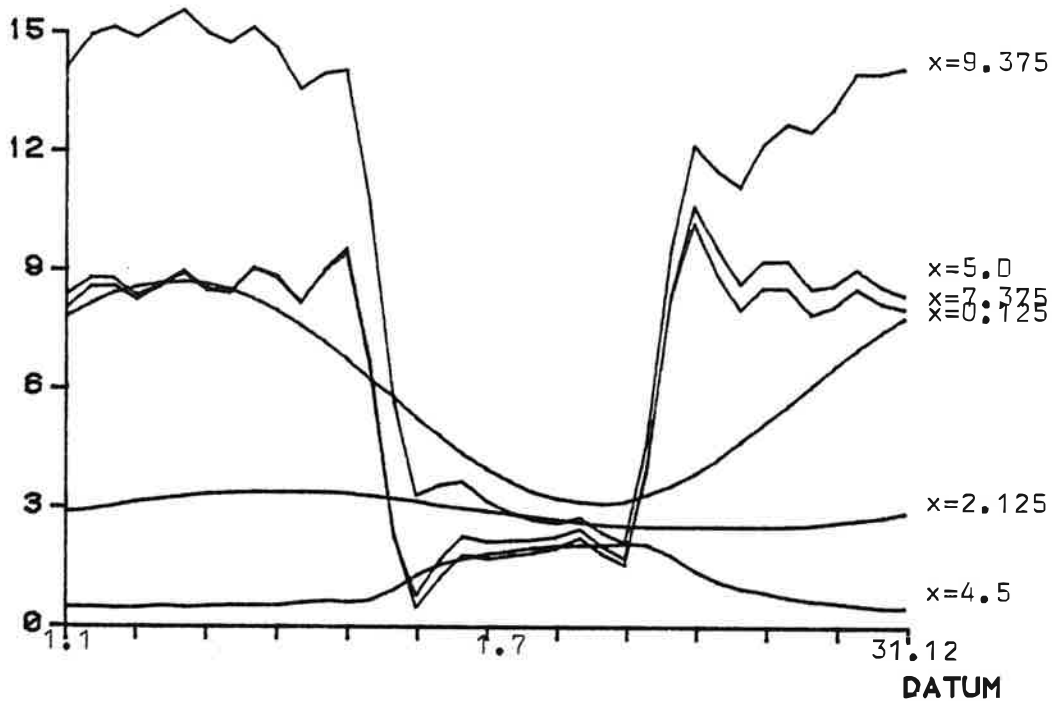
TEMPERATURDIFFERENS

FALL 13A



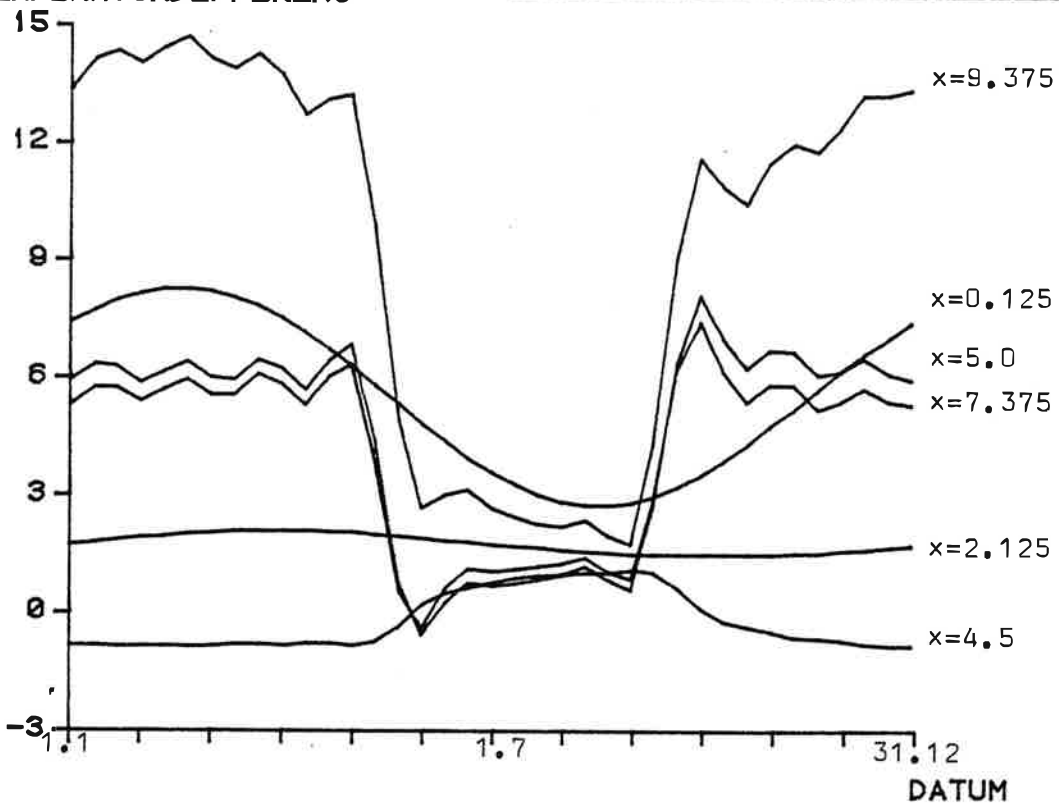
TEMPERATURDIFFERENS

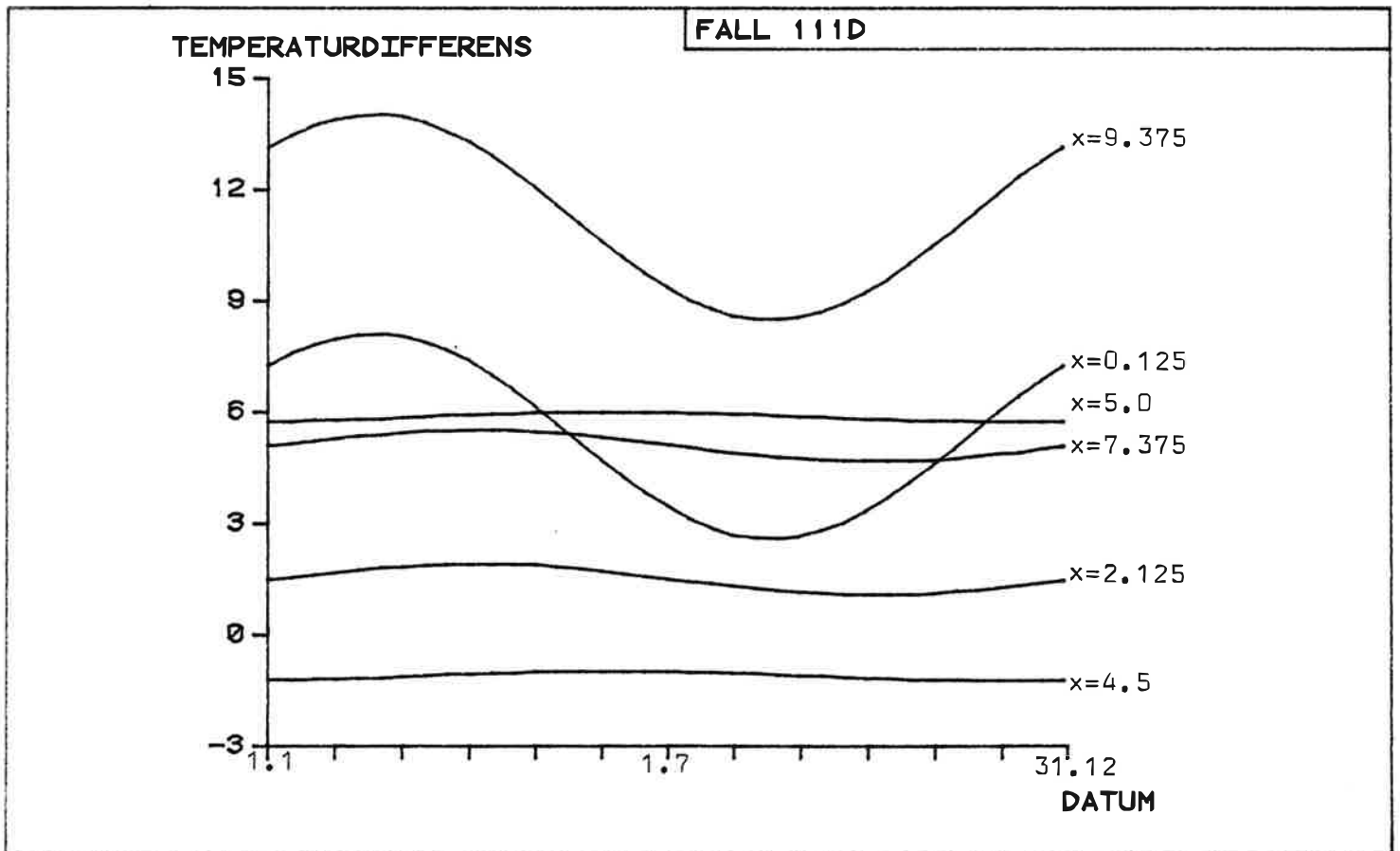
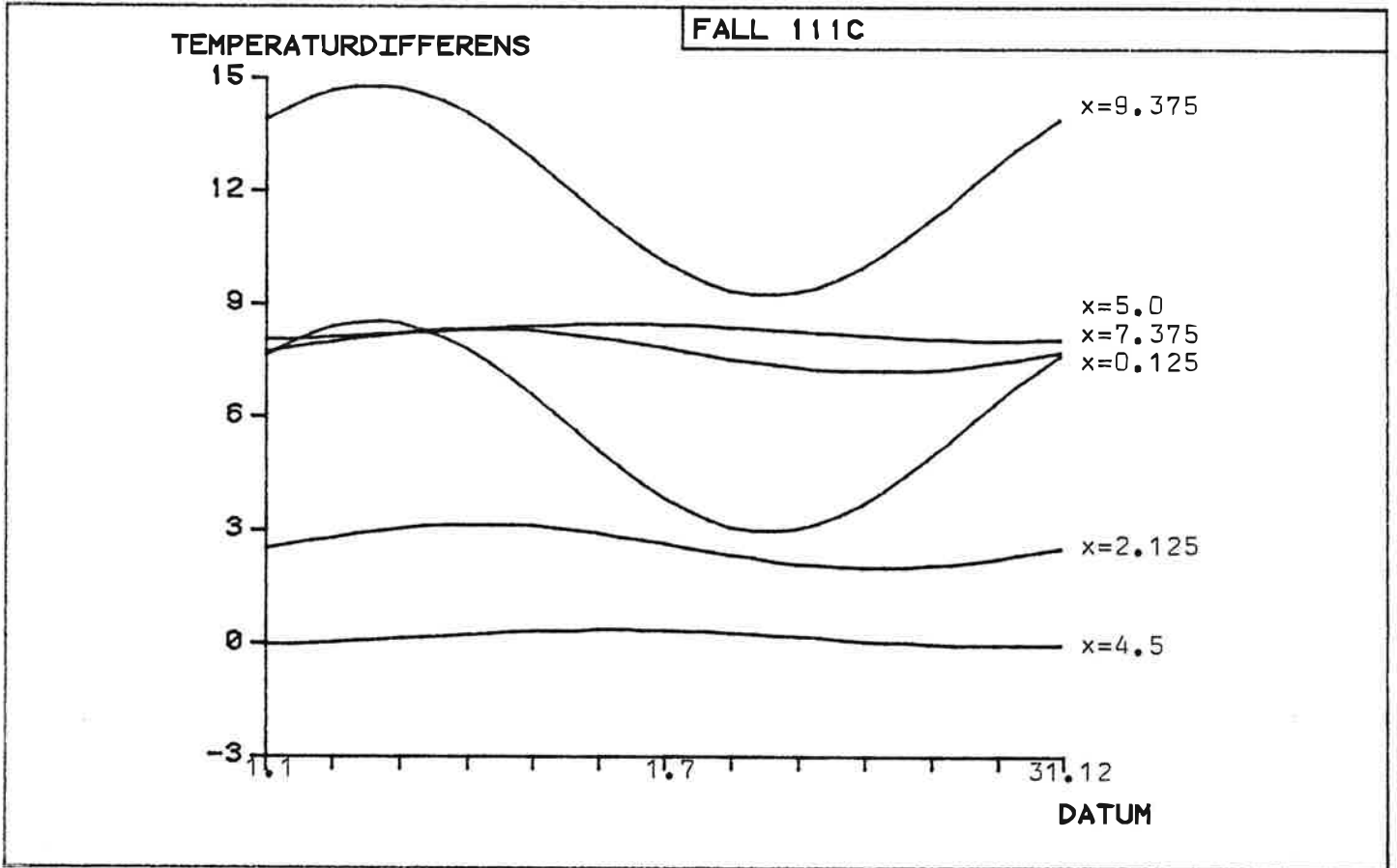
FALL 111A



TEMPERATURDIFFERENS

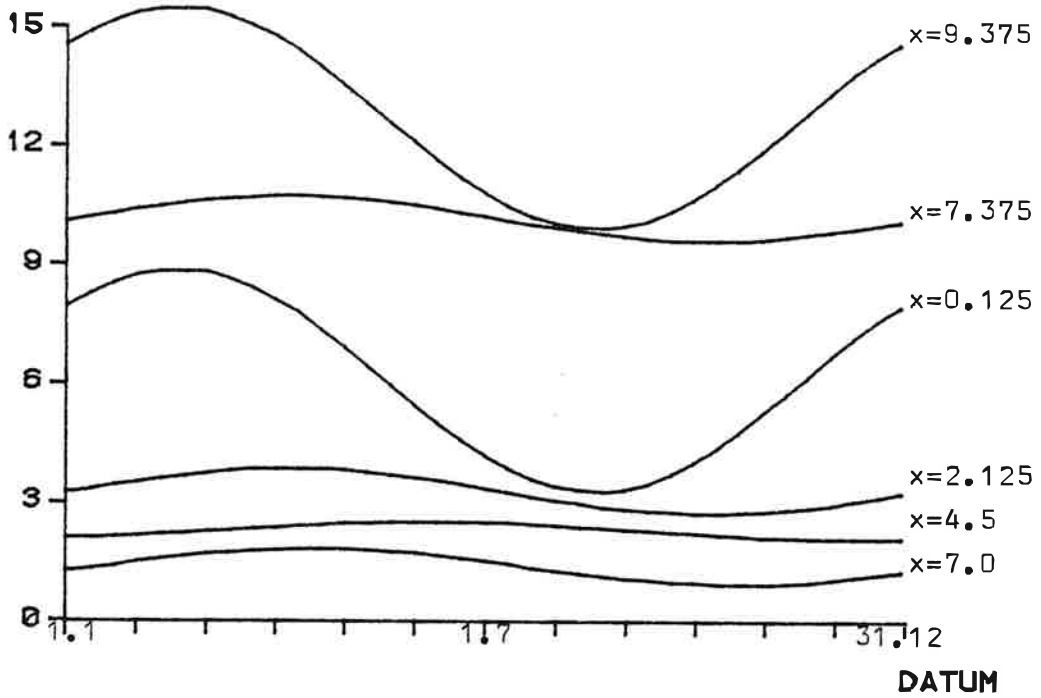
FALL 111B





TEMPERATURDIFFERENS

FALL 111E



TEMPERATURDIFFERENS

FALL 111F

