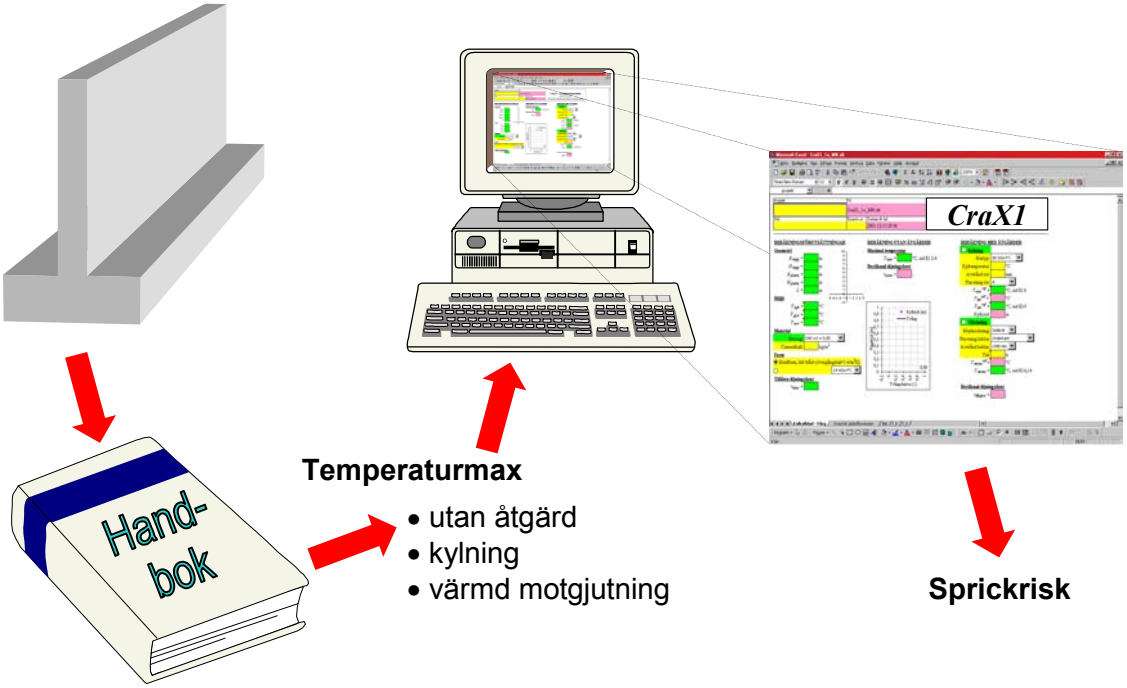
2001:14

LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

TEKNISK RAPPORT

TEMPERATURSPRICKOR I BETONGKONSTRUKTIONER

Handbok med diagram för sprickriskbedömning inklusive åtgärder för några vanliga typfall



DEL E

TEMPERATURDIAGRAM FÖR FALLET VÄGG PÅ PLATTA

Jan-Erik Jonasson, Kjell Wallin, Mats Emborg, Annika Gram
Iad Saleh, Martin Nilsson, Mårten Larson och Hans Hedlund

Institutionen för Väg- och vattenbyggnad
Avdelningen för Konstruktionsteknik

01:14 • ISSN: 1402 - 1536 • ISRN: LTU - TR - - 01/14 - - SE

Teknisk rapport 2001:14

Temperatursprickor i betongkonstruktioner

- Handbok med diagram för sprickriskbedömning inklusive åtgärder för några vanliga typfall

DEL E

Temperaturdiagram för fallet vägg på platta

av

Jan-Erik Jonasson, Kjell Wallin, Mats Emborg, Annika Gram, Iad Saleh, Martin Nilsson, Mårten Larson och Hans Hedlund

Avdelningen för Konstruktionsteknik

Institutionen för Väg-och Vattenbyggnad
LuleåTekniska Universitet
971 87 LULEÅ

Oktober 2003

TEMPERATURSPRICKOR I BETONGKONSTRUKTIONER. HANDBOK MED DIAGRAM FÖR SPRICKRISKBEDÖMNING INKLUSIVE ÅTGÄRDER FÖR NÅGRA VANLIGA TYPFALL

Del E. Temperaturdiagram för fallet vägg på platta

Förord

Denna rapport är framtagen i ett SBUF-projekt med Kjell Wallin, Peab som projektledare. Projektet har genomförts i nära samarbete mellan Peab Sverige AB och Luleå tekniska universitet. Arbetet har inneburit att ett stort antal datorberäkningar har genomförts för bestämning av temperaturer för typfallet vägg-på-platta. Ett Excel-ark benämnt CraX1 har utvecklats för att beräkna sprickrisker baserade på dessa temperaturer. Excel-arket har i ett antal kontrollpunkter kalibrerats mot resultat beräknade med datorprogrammet ConTeSt Pro. Excel-arket CraX1 tillsammans med redovisade temperaturdiagram bildar beräkningsmetoden CraX1 – Handboksmetoden.

Del E innehåller de framtagna temperaturdiagrammen för fallet vägg-på-platta. Temperaturen redovisas för de tre situationerna: 1) Utan åtgärder, 2) Kylning av väggen och 3) Värmning av plattan. Detta utgör ett komplett underlag för att med hjälp av Excel-arket Crax1 genomföra en sprickriskbedömning för fallet vägg-på-platta och i förkommande fall bedöma omfattningen av erforderliga sprickbegränsande åtgärder.

Det studerade typfallet avser således en nygjuten betongvägg på en tidigare gjuten betongplatta, och randvillkoren för den sammansatta konstruktionen vägg-på-platta beskrivs med begreppen fri translation och fri rotation. Den sprickrisk som studeras är genomgående sprickor i väggen efter att väggens temperaturmaximum uppnåtts, dvs det som brukar benämnas genomgående sprickor under kontraktionsfasen.

Vi tror att CraX1-Handboksmetoden har en funktion att fylla i samband med projektering, produktionsplanering, utförande och uppföljning av betongkonstruktioner. De föreslagna åtgärderna är styrda till vissa typbeteenden, men vi tror att dessa begränsningar ska vara till hjälp vid den praktiska utformningen av betonggjutningen och den efterföljande härdningsstyrningen.

Vi hoppas att den redovisade metodiken ska uppfattas som attraktiv att använda, och att den därför kommer till nytta för olika aktörer inom betongbyggandet. Vid tillämpning av CraX1 – Handboksmetoden gäller dock att alla slutsatser och andra konsekvenser av genomförda beräkningar helt sker under användarens ansvar.

Delen D ger bakgrund och beskrivning av det valda typfallet vägg-på-platta samt beskrivning av villkoren kring de sprickbegränsande åtgärder som studeras. I delen E redovisas de diagram, figurer och tabeller som behövs för att genomföra sprickriskanalyser med Excel-arket CraX1.

Förutom SBUF, Peab och Luleå tekniska universitet har ett stort antal företag gett ekonomiskt bidrag till projektet enligt följande: Betongindustri, Bloco, Bloms Ingenjörsbyrå, Cementa, Centerlöf och Holmberg, ELU Konsult, Jacobsson och Widmark, Färdig Betong, KFS

Anläggningskonstruktörer, Scandiaconsult, Swerock, Tyréns Byggkonsult, VBB och Västerbottens Byggbetong. Ett stort tack riktas till projektets samtliga bidragsgivare.

Projektet har haft en referensgrupp bestående av följande personer:

Katarina Kieski, Banverket
Björn Bodin, Bloco
Hans Janing, Bloms Ingenjörsbyrå
Arne Retelius, Cementa
Bengt Andersson, Centerlöf & Holmberg

Stig Bernander, Congeo
Ali Farhang, ELU Konsult
Bengt Lysedal, ELU Konsult
Tomas Kutti, Färdig Betong
Ola Johansson, Färdig Betong

Håkan Bond, Jacobsson & Widmark
Hans Klingenberg, KFS Anl. Konstr.
Jan Byfors, NCC
Bengt Ström, NCC
Mikael Hallgren, Scandiaconsult

Jan Olofsson, Skanska Teknik
Kyösti Tuutti, Skanska Teknik
Tom Ekman, Swerock
Christer Carlsson, Tyréns Byggkonsult
Anna Jacobsson, Tyréns Byggkonsult

Bo Westerberg, Tyréns Byggkonsult
Jesper Niland, VBB Anläggning
Robert Ronnebrant, Vägverket
Ken Ryberg, Vägverket
Thomas Österberg, Vägverket Produktion

Volmar Karlsson. Västerbottens Byggbetong

Under 2001 och 2002 har förhandsupplaga respektive remissupplaga av handboken tryckts i ett begränsat antal.

Stockholm och Luleå, oktober 2003

Jan-Erik Jonasson
Iad Saleh

Kjell Wallin
Martin Nilsson

Mats Emborg
Mårten Larson

Annika Gram
Hans Hedlund

Innehållsförteckning

		sid
Kapitel E1.	Diagram över högsta medeltemperaturen för ett väggtvärsnitt utan åtgärder med övergångstalet mot luft lika med 5 W/m^{2}K	E1:1
Kapitel E2.	Diagram över högsta medeltemperaturen med olika kylrörs-alternativ för väggtvärsnitt med övergångstalet mot luft lika med 5 W/m^{2}K	E2:1
Kapitel E3.	Diagram över medeltemperaturer för plattor med ingjutna värmekablar	E3:1
Kapitel E4.	Diagram över högsta medeltemperaturen för väggtvärsnitt utan åtgärder med andra övergångstal mot luft än 5 W/m^{2}K	E4:1
Kapitel E5.	CraX1 – Handboksmetoden	E5:1

Kapitel E1 – Diagram över högsta medeltemperaturen för ett väggtvärsnitt utan åtgärder med övergångstalet mot luft lika med 5 W/m^{2}K

Beteckningar och begrepp använda i avsnitt E1, se även figurer på sid E1:2

Vägg 400 m	betecknar en vägg med bredd ($B_{vägg}$) = 400 mm. Övriga angiva bredder är 600, 800 1000, 1200, 1400 respektive 1800 mm.
Övergångstalet 5 W/m^{2}K	avser värmeövergångstalet från betongytan till omgivande luft vid användning av 22 mm träform och med lätt blåst (vindhastighet ca 5 m/s). Redovisning av maximala medeltemperaturer för andra övergångstal, se vidare avsnitt E4.
Cemenhalt 340 kg/m^3	avser betongens cementhalt. Övriga angivna cementhalter är 360, 380, 400, 420 respektive 440 kg/m^3.
T_{max}	avser den maximala medeltemperaturen för ett väggtvärsnitt beräknat för endimensionellt värmeflöde vinkelrät mot väggens yta.
T_{gjut}	avser betongmassans temperatur "färdig i formen" efter transport, övrig hantering och bearbetning av betongen.
T_{luft}	avser luftens temperatur beskriven som dygnsmedelvärde.

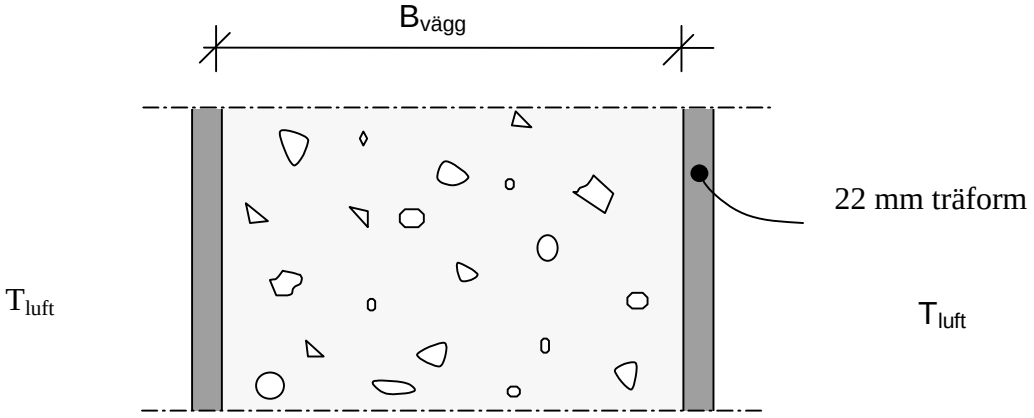


Fig. E1.1 Studerat väggtvärsnitt

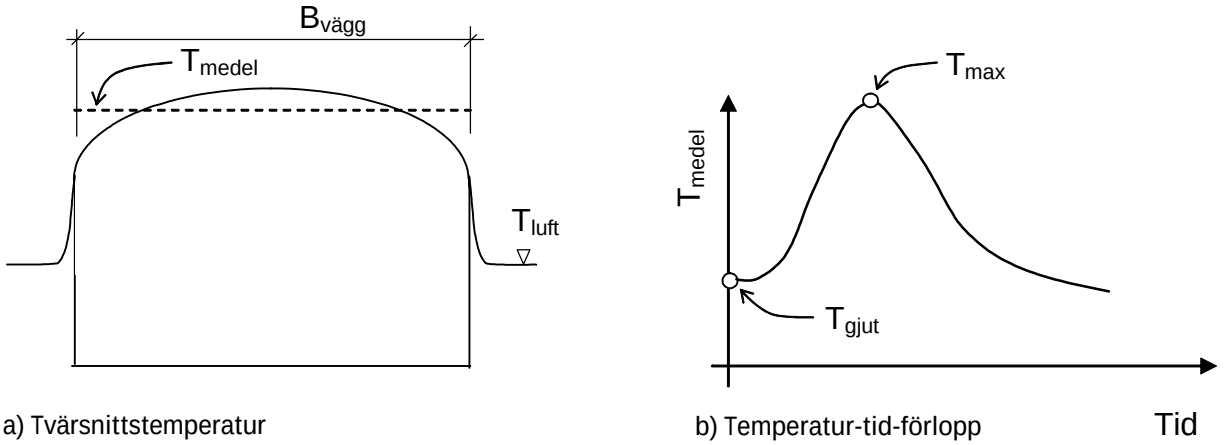


Fig. E1.2 Definition av redovisade betongtemperaturer

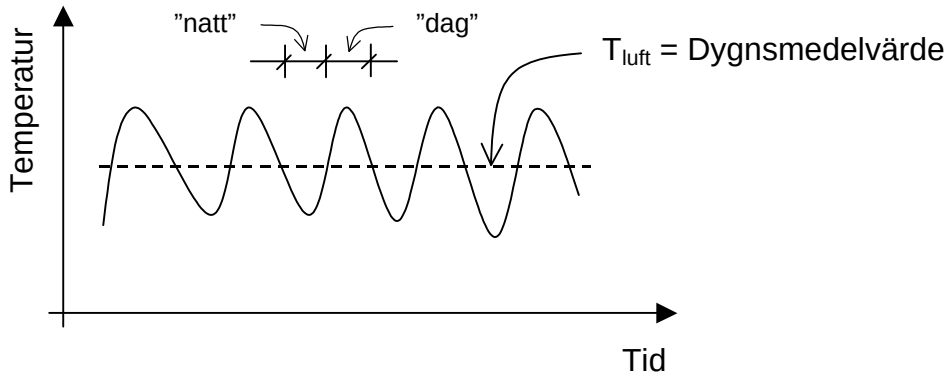
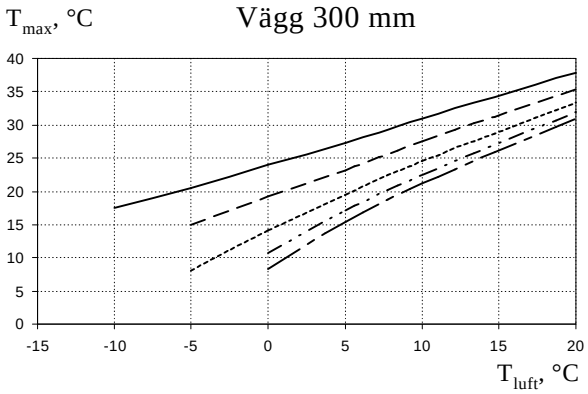
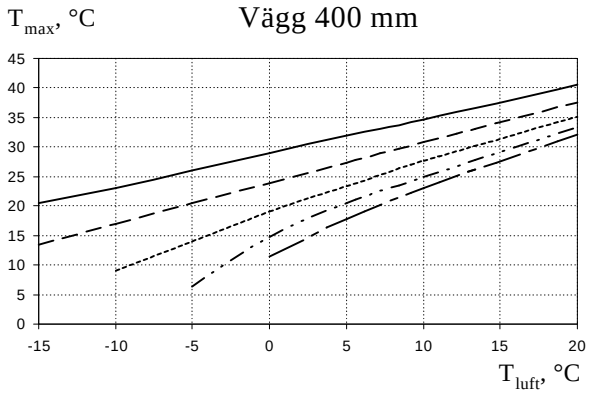


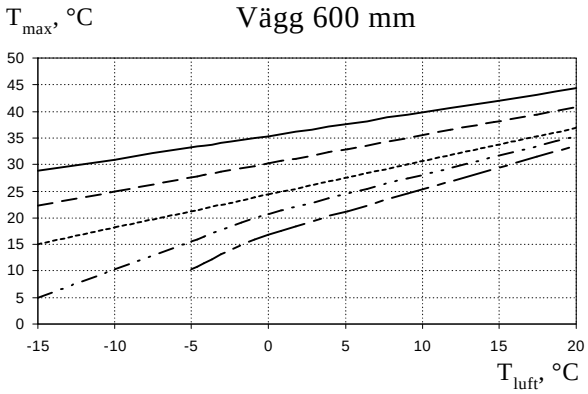
Fig. E1.3 Lufttemperatur avser dygnsmedelvärdet

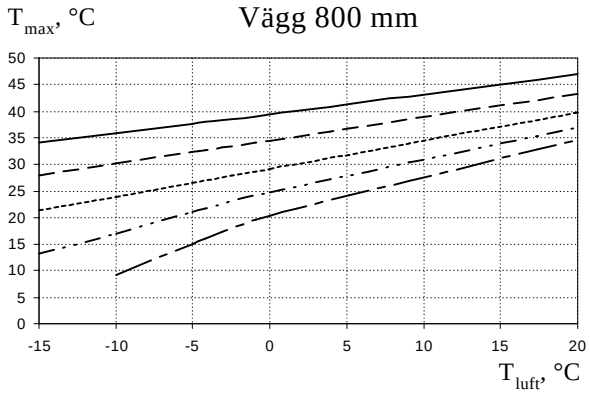
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C
T_{gjut} 5°C

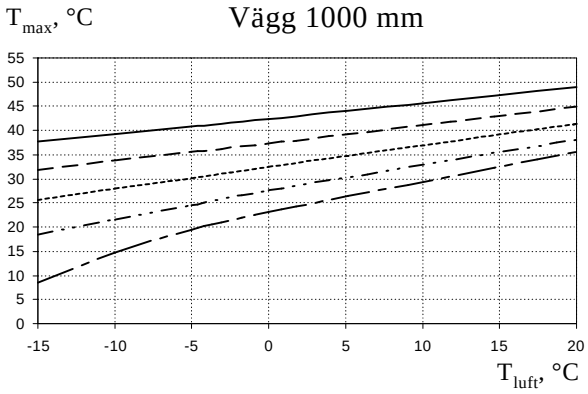
Cementhalt 340 kg/m^3
Övergångstal 5 W/m^{2}K

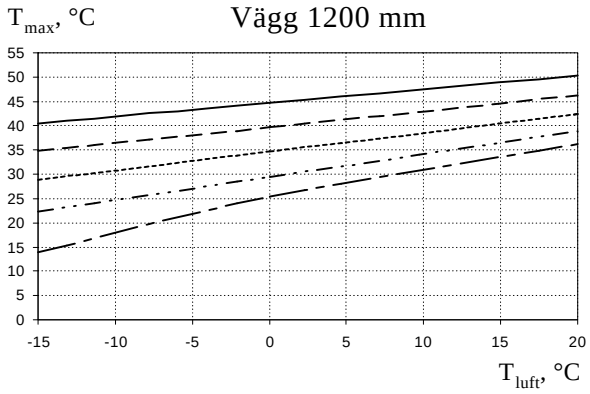


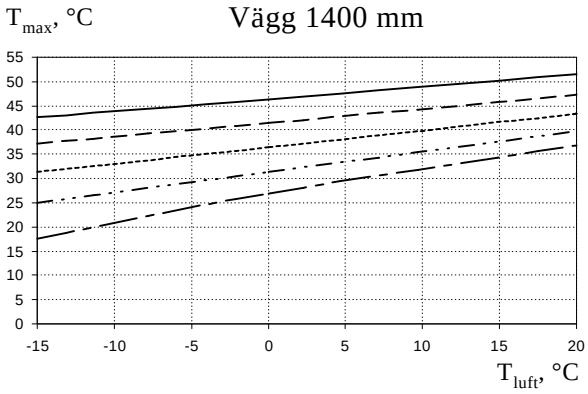


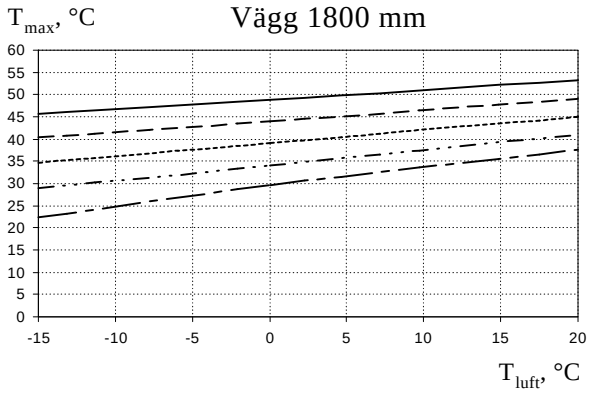






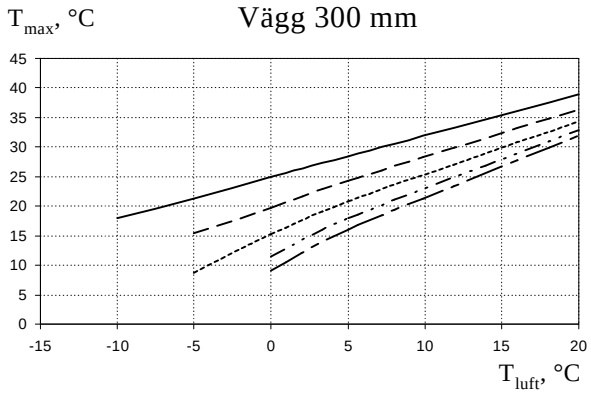


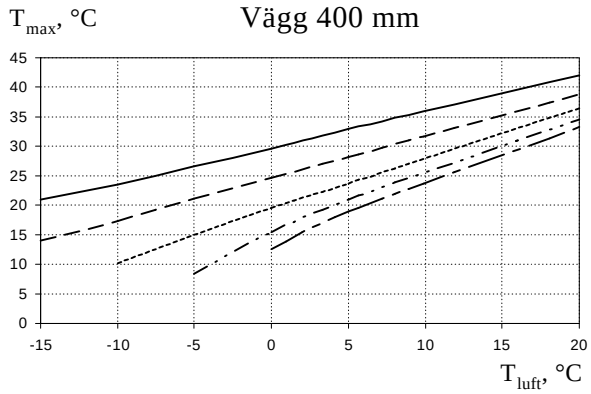


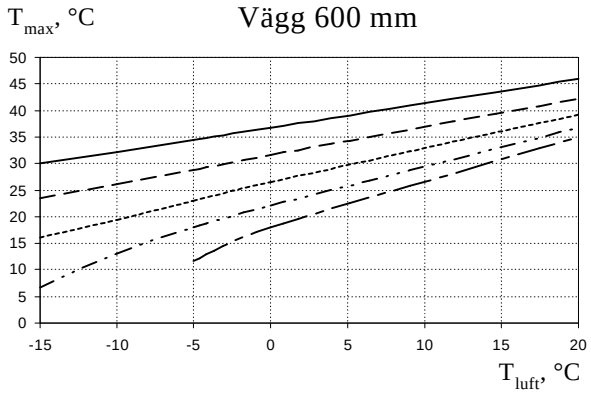


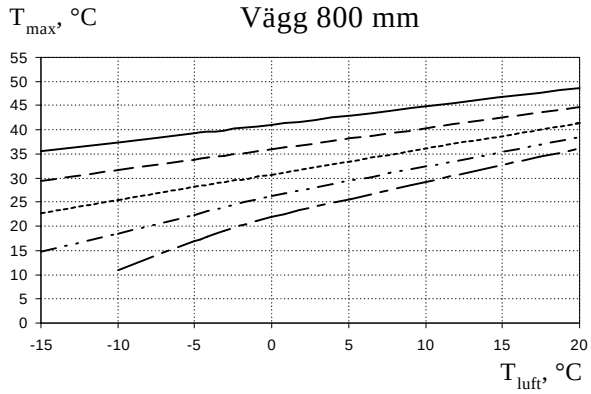
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C
T_{gjut} 5°C

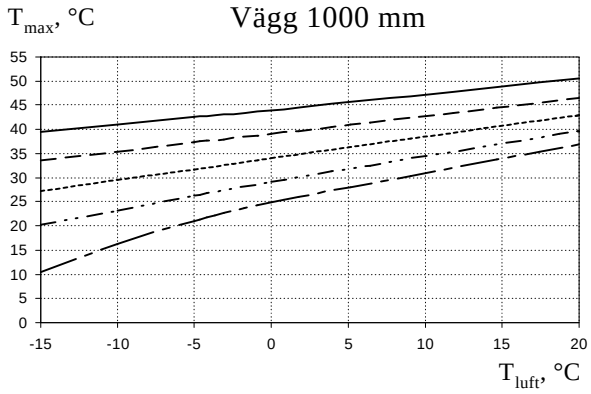
Cementhalt 360 kg/m^3
Övergångstal 5 W/m^{2}K

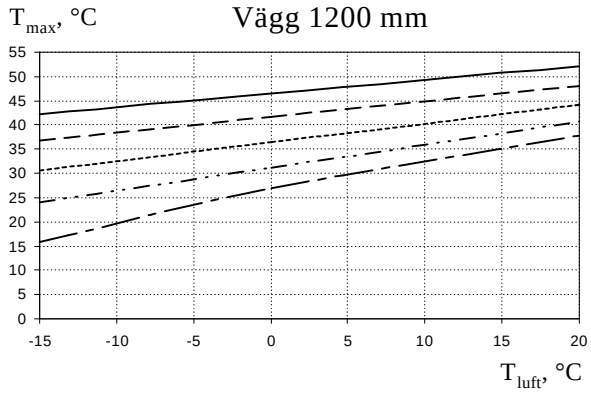


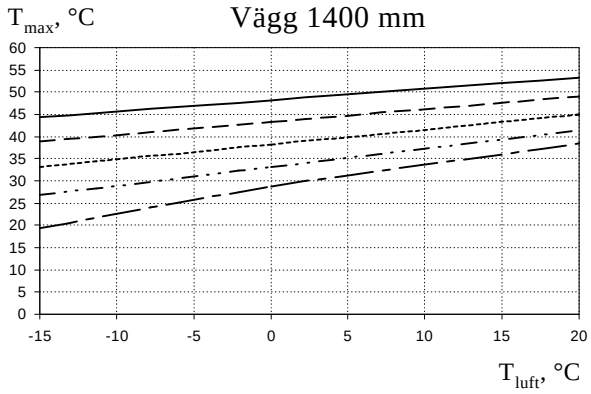


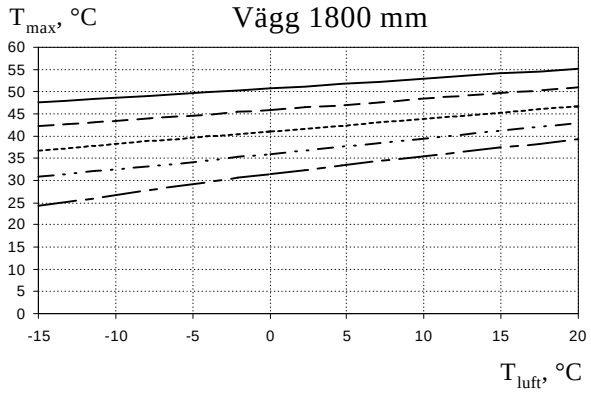






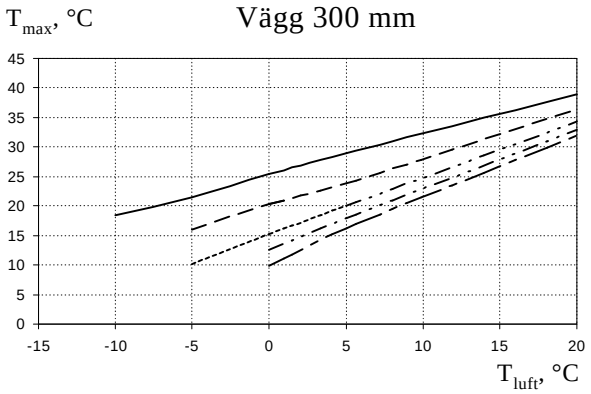


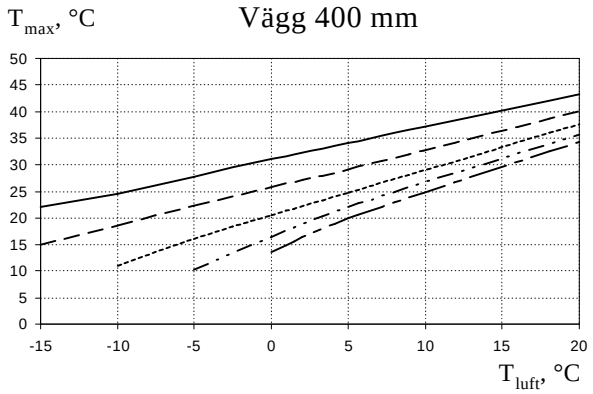


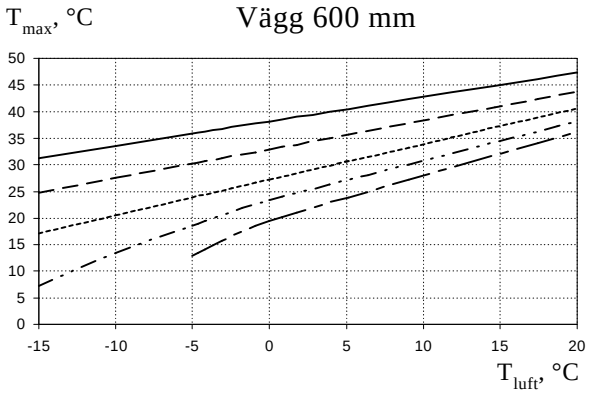


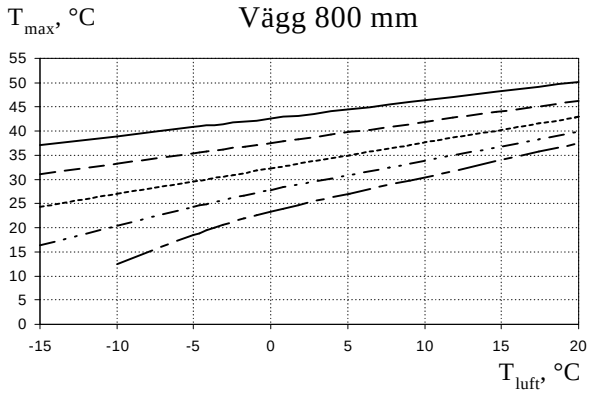
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C
T_{gjut} 5°C

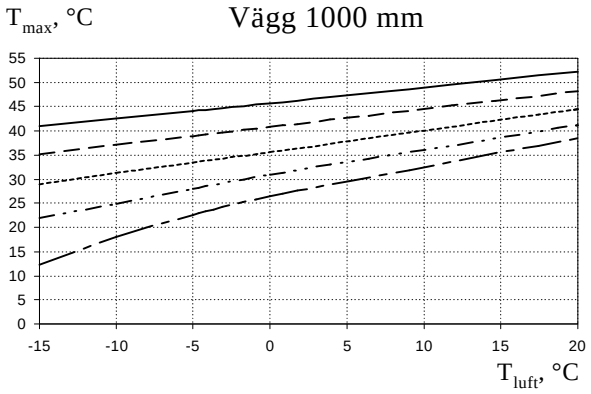
Cementhalt 380 kg/m^3
Övergångstal 5 W/m^{2}K

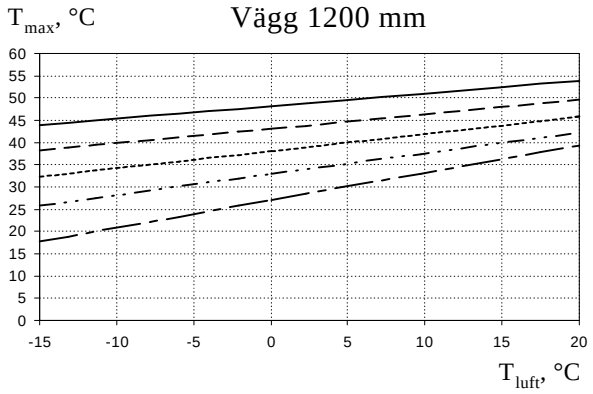


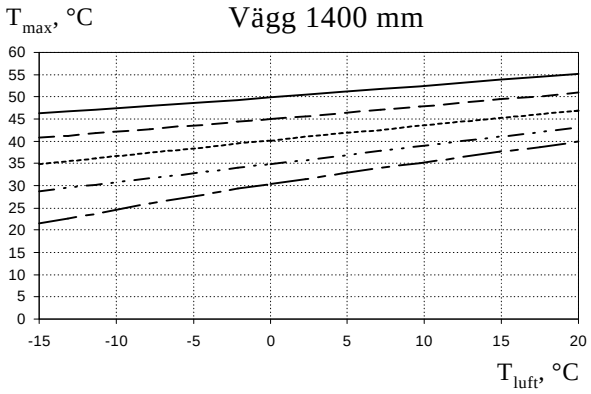


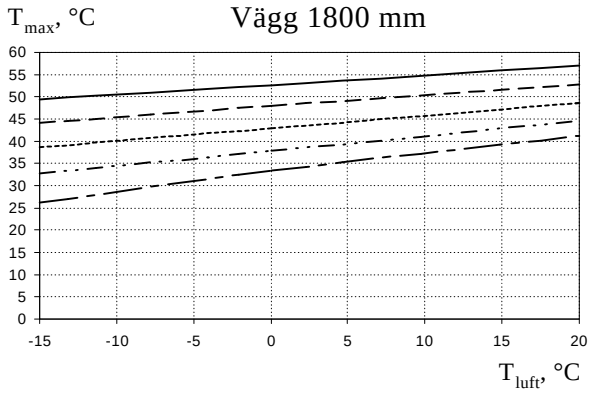






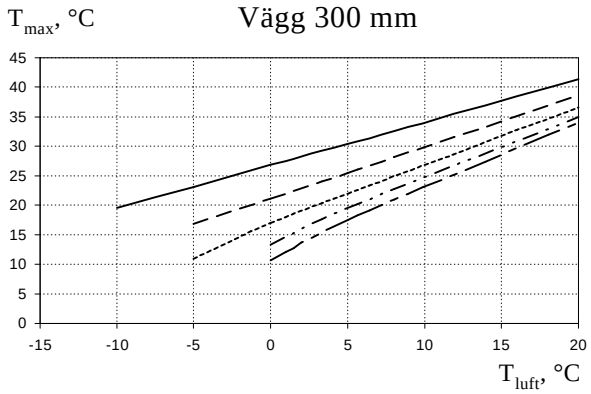


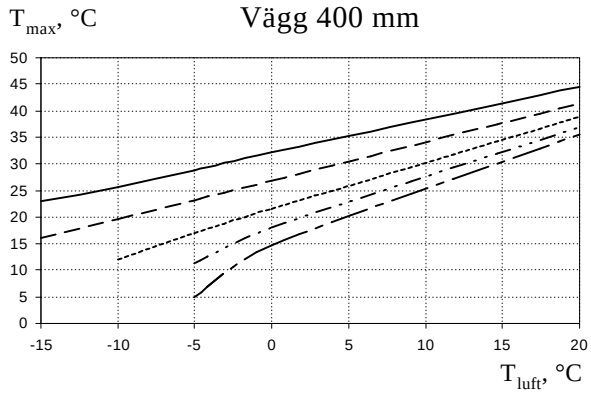


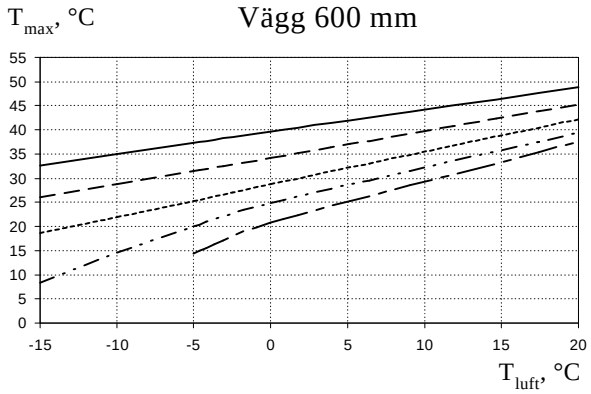


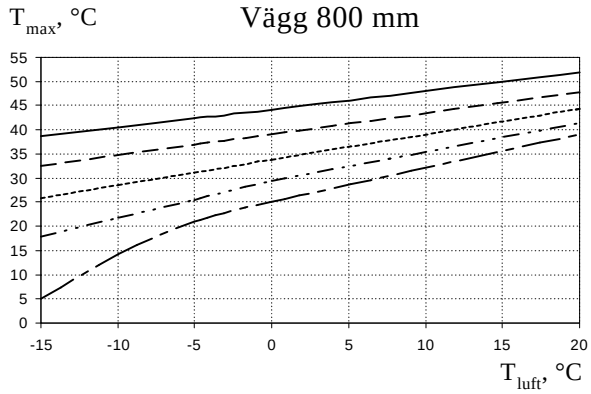
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C
T_{gjut} 5°C

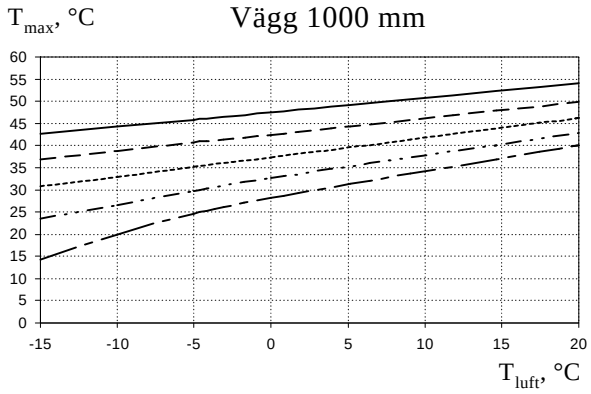
Cementhalt 400 kg/m^3
Övergångstal 5 W/m^{2}K

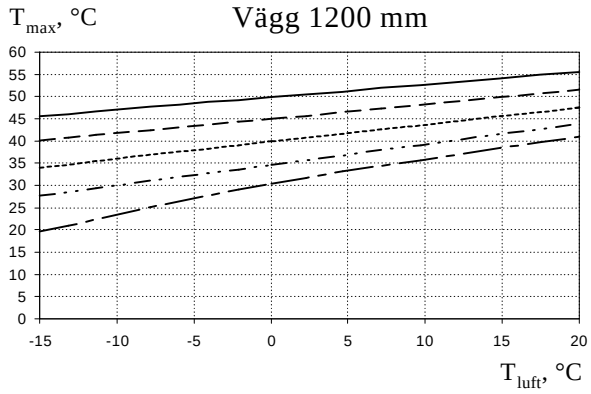


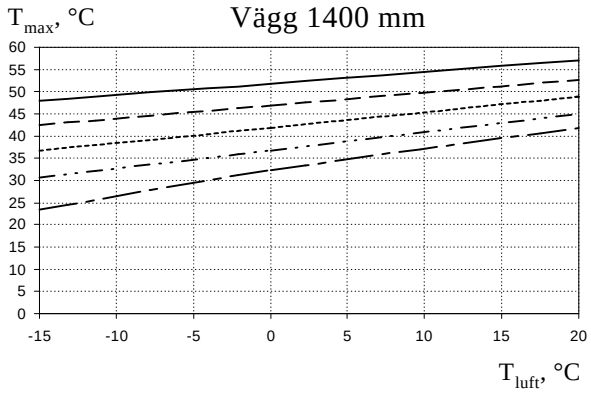


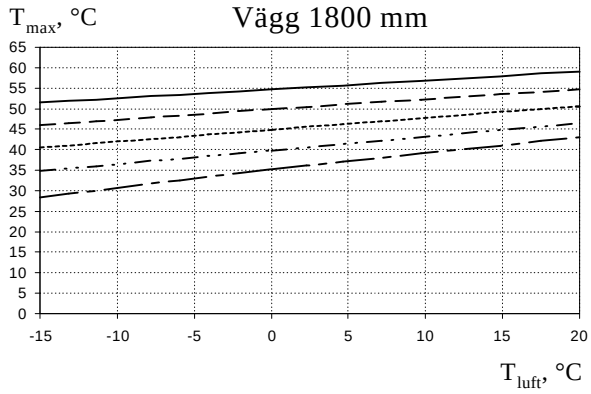






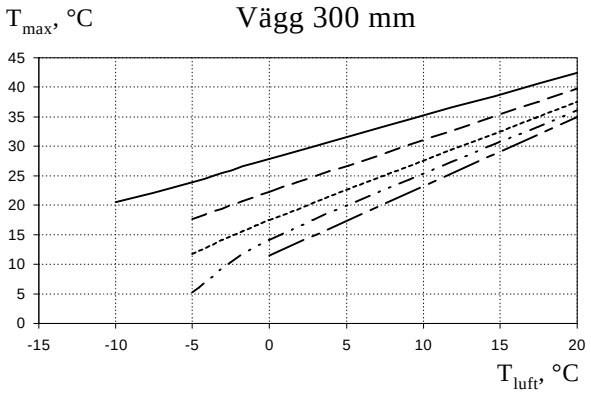


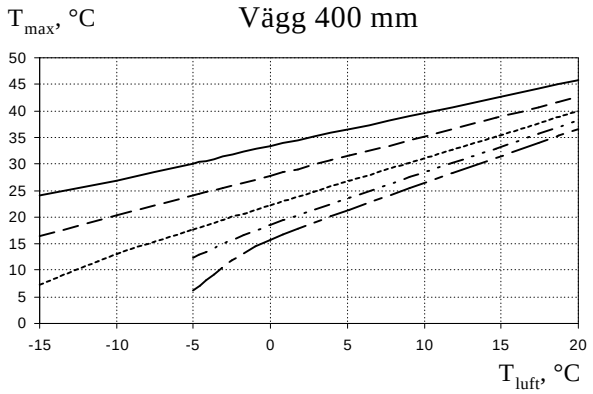


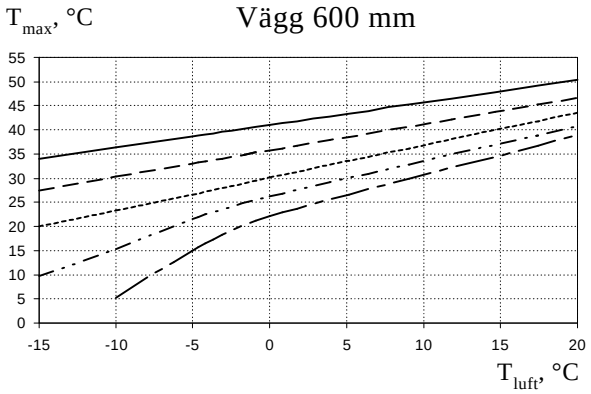


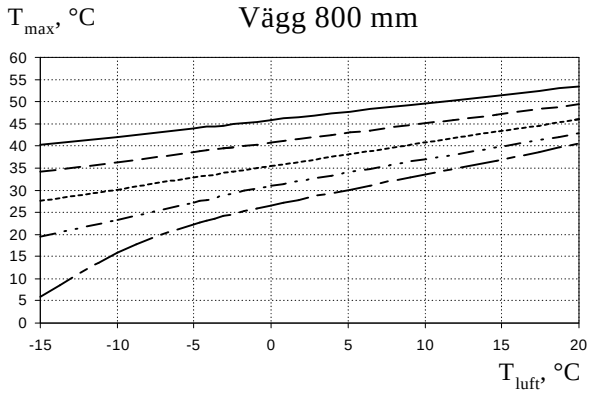
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C
T_{gjut} 5°C

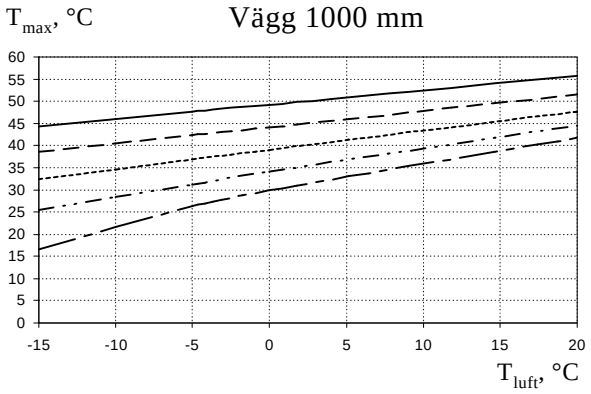
Cementhalt 420 kg/m^3
Övergångstal 5 W/m^{2}K

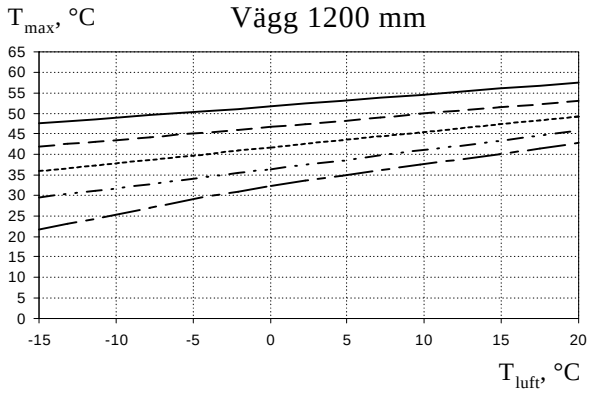


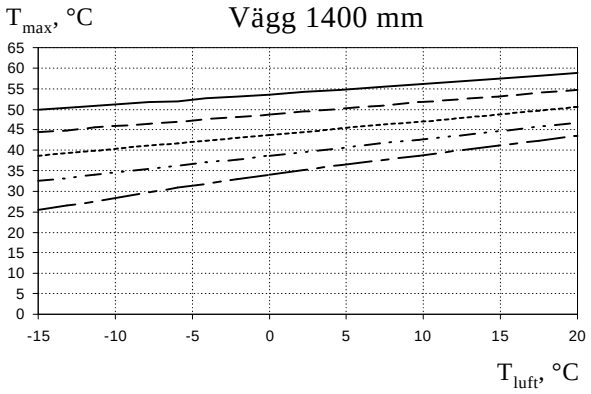


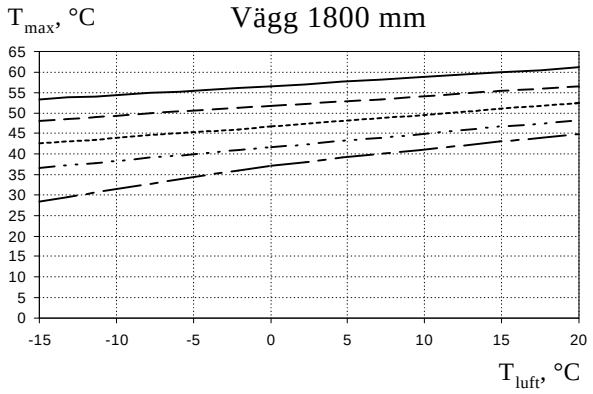






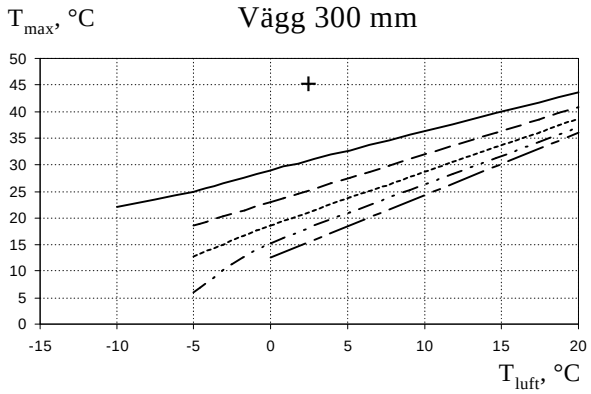


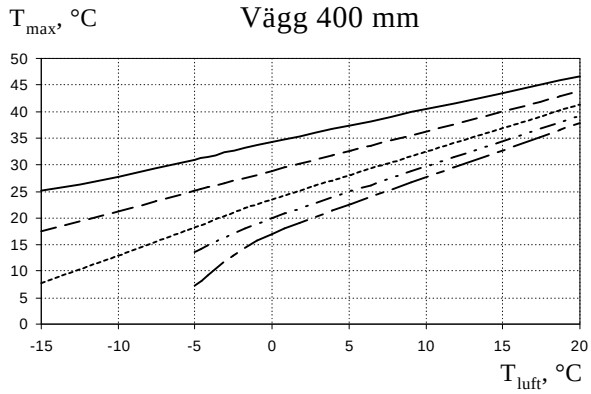


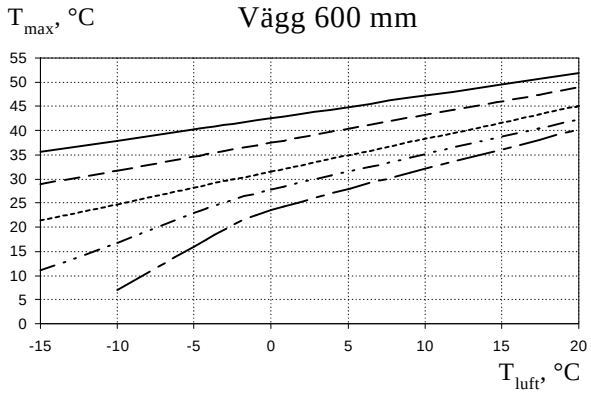


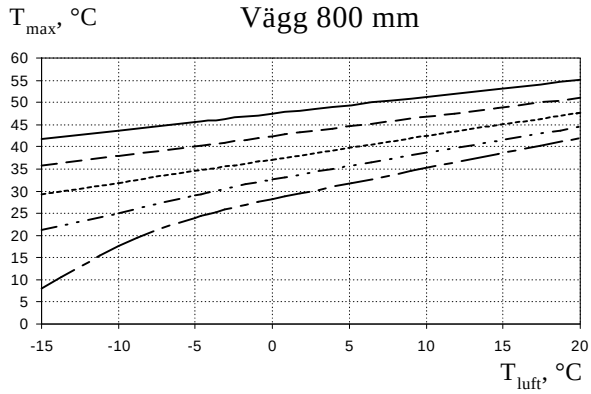
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C
T_{gjut} 5°C

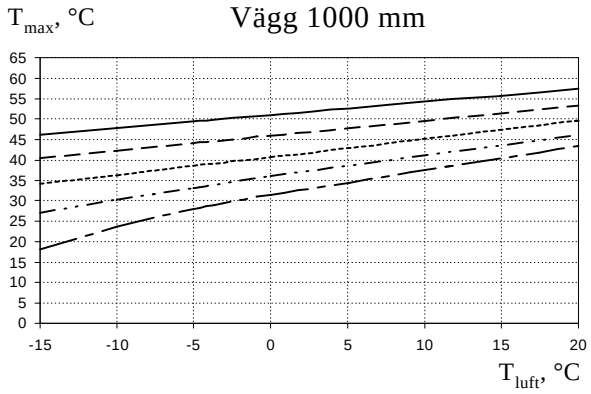
Cementhalt 440 kg/m^3
Övergångstal 5 W/m^{2}K

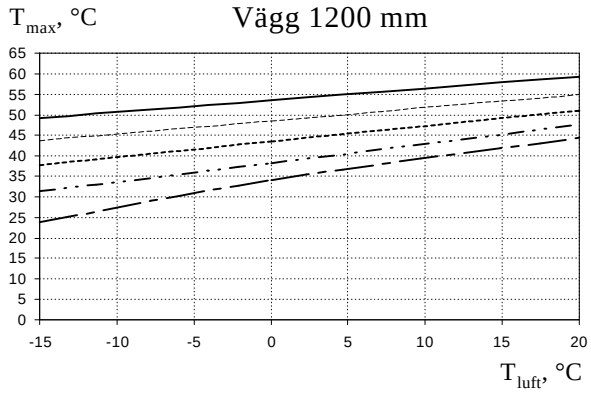


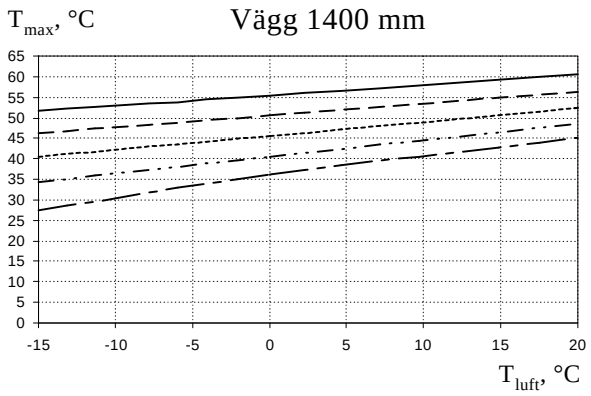












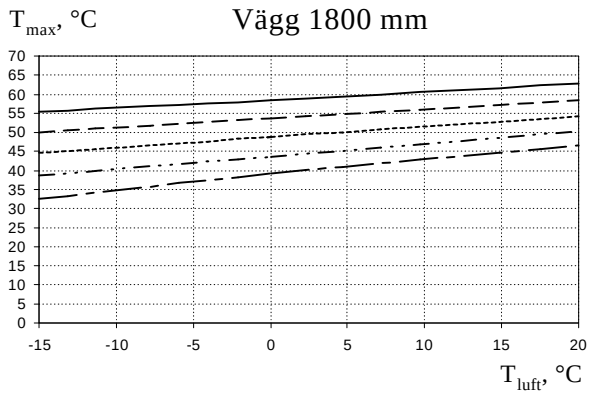


Diagram över betong-, vatten-, och lufttemperaturer på några orter i Sverige

Tabell E1.1: Förteckning av figurer visande betong-, vatten- och lufttemperaturer för några orter i Sverige

Figur	Ort
E1.4	Göteborg, medel[1]
E1.5	Stockholm, år 2000
E1.6	Stensele,normal[2]
E1.7	Falun, normal[2]
E1.8	Jönköping, normal[2]
E1.9	Luleå, normal[2]
E1.10	Stockholm, normal[2]
E1.11	Malmö, normal[2]

1. Enligt uppgifter i Betonghandboken - Arbetsutförande, 1982
2. Ortens medeltemperatur enligt SMHI:s referensnormaler för tiden 1961-90.

Göteborg, medeltemperatur

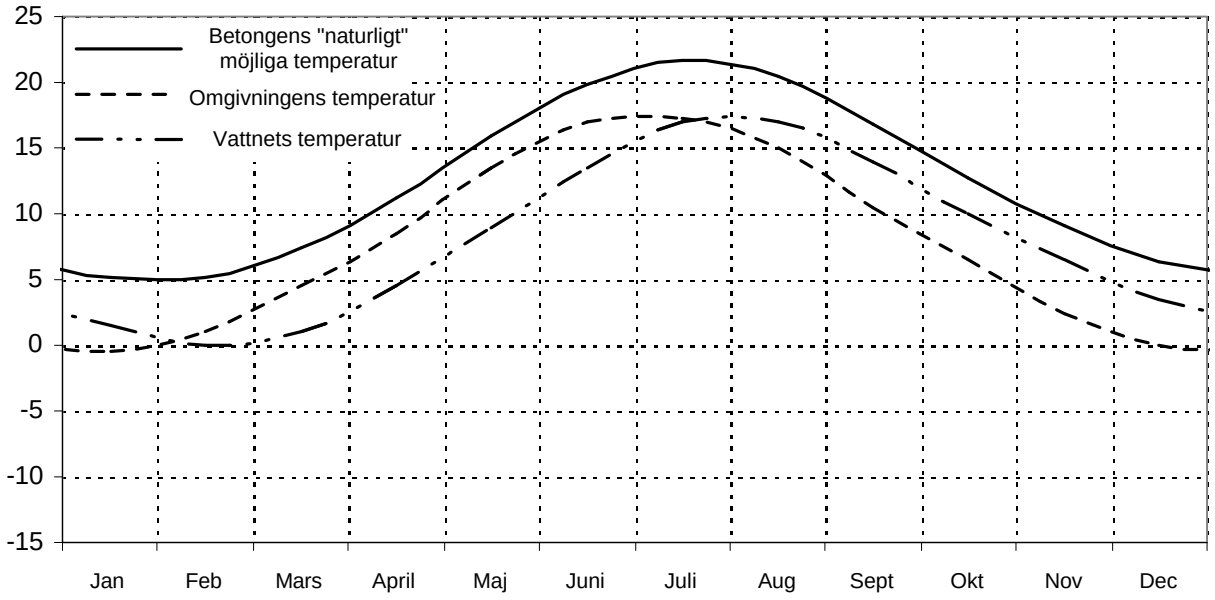


Fig. E1.4 Diagrammet visar luftens medeltemperatur i Göteborg. Den genomsnittliga vattentemperaturen är mätt i Göta Älv och betongens temperatur är den förväntade leveranstemperaturen under rådande förhållanden enligt Betonghandbok - Arbetsutförande, andra upplagan, 1982.

Stockholm år 2000, uppmätt temperatur

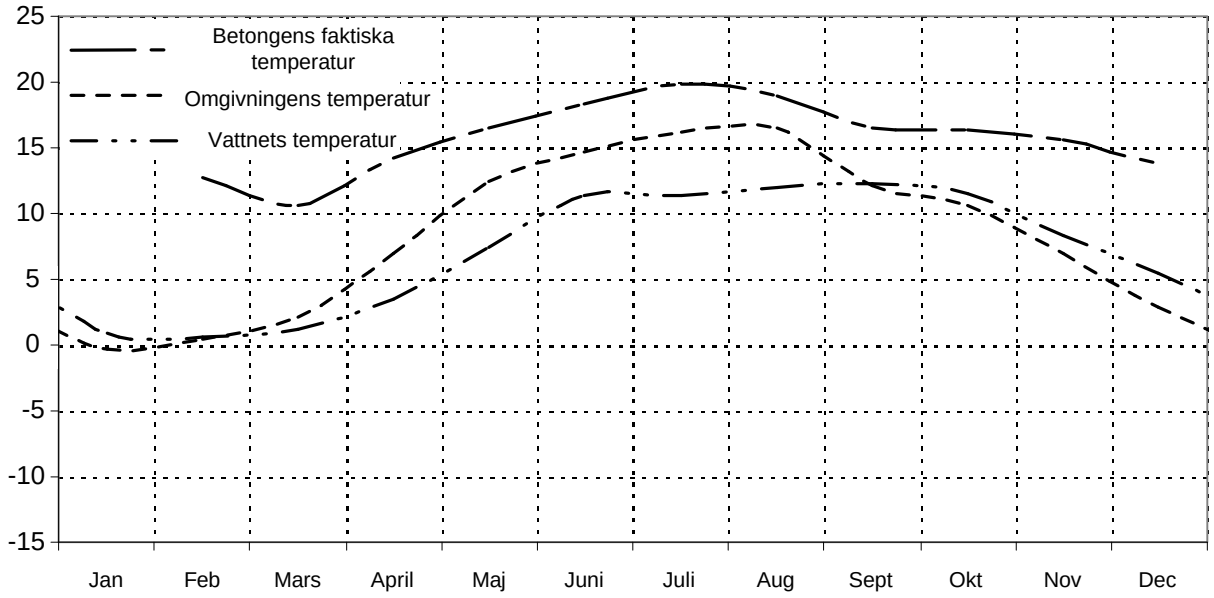


Fig. E1.5 Den heldragna kurvan är den uppmätta betongtemperaturen på Swerocks samtliga fabriker i Stockholm år 2000. Här ses tydligt att varmvatten tillsatts på på höstkanten från och med oktober och på vårkanten till och med mitten av april.

Stensele, normal

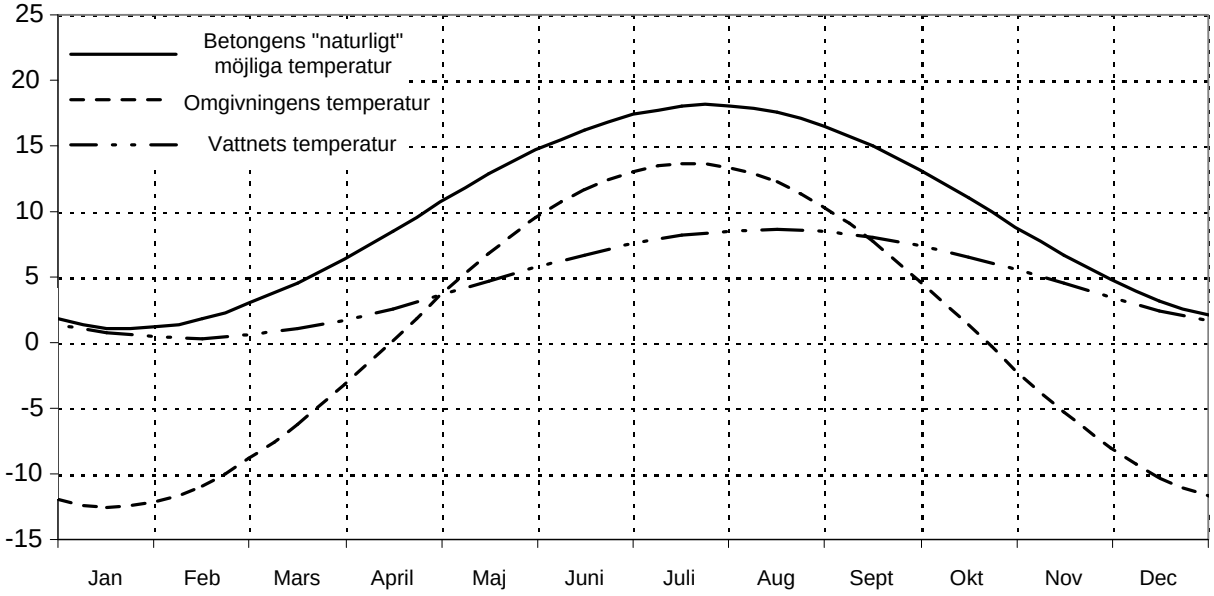


Fig. E1.6 Här ses betongtemperaturens årstidsvariation för Stensele beroende av vatten- och utomhustemperaturen. Omgivningstemperaturens maximum inträder i mitten av året, och vattentemperaturen har sitt högsta värde något senare på året. Betongtemperaturen beror av båda dessa temeraturer och ligger alltid högre än dessa med ett högsta värde mellan omgivningstemperaturens och vattnets maximala läge.

Falun, normal

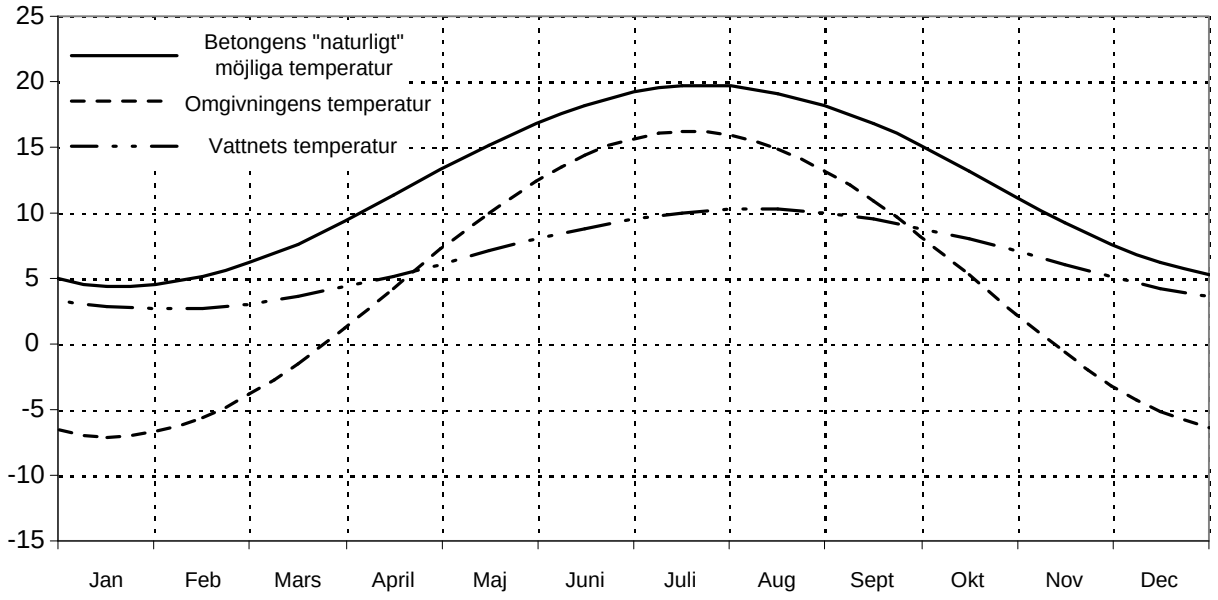


Fig. E1.7 Här ses betongtemperaturens årstidsvariation för Falun beroende av vatten- och utomhustemperaturen. Omgivningstemperaturens maximum inträder i mitten av året, och vattentemperaturen har sitt högsta värde något senare på året. Betongtemperaturen beror av båda dessa temeraturer och ligger alltid högre än dessa med ett högsta värde mellan omgivningstemperaturens och vattnets maximala läge.

Jönköping, normal

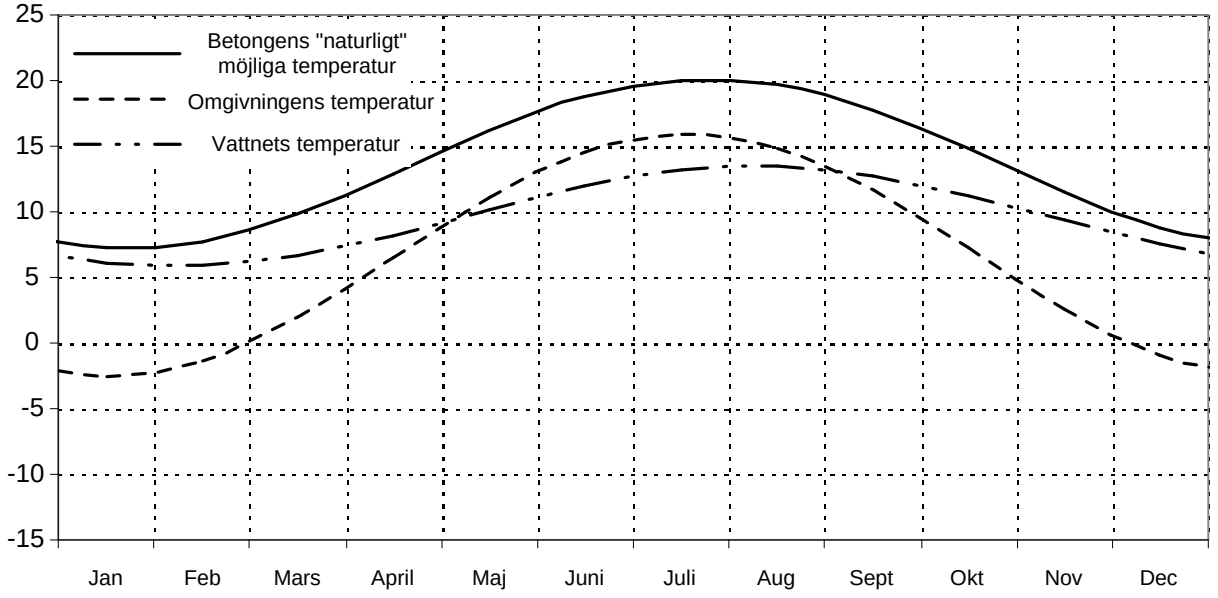


Fig. E1.8 Här ses betongtemperaturens årstidsvariation för Jönköping beroende av vatten- och utomhustemperaturen. Omgivningstemperaturens maximum inträder i mitten av året, och vattentemperaturen har sitt högsta värde något senare på året. Betongtemperaturen beror av båda dessa temeraturer och ligger alltid högre än dessa med ett högsta värde mellan omgivningstemperaturens och vattnets maximala läge.

Luleå, normal:

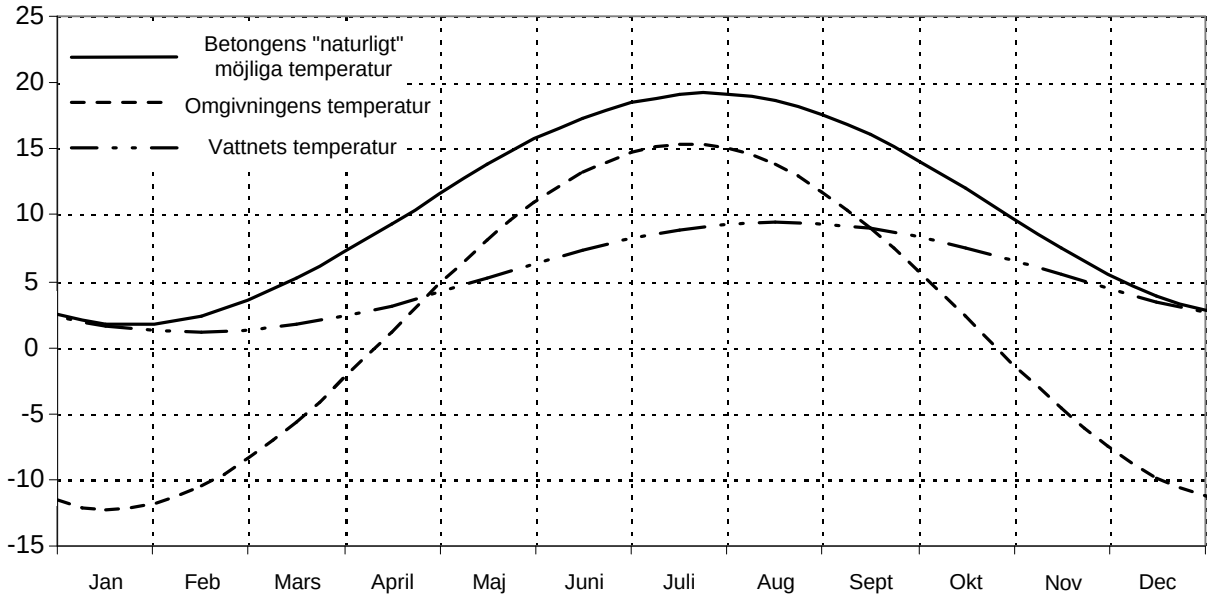


Fig. E1.9 Här ses betongtemperaturens årstidsvariation för Luleå beroende av vatten- och utomhustemperaturen. Omgivningstemperaturens maximum inträder i mitten av året, och vattentemperaturen har sitt högsta värde något senare på året. Betongtemperaturen beror av båda dessa temeraturer och ligger alltid högre än dessa med ett högsta värde mellan omgivningstemperaturens och vattnets maximala läge.

Stockholm, normal:

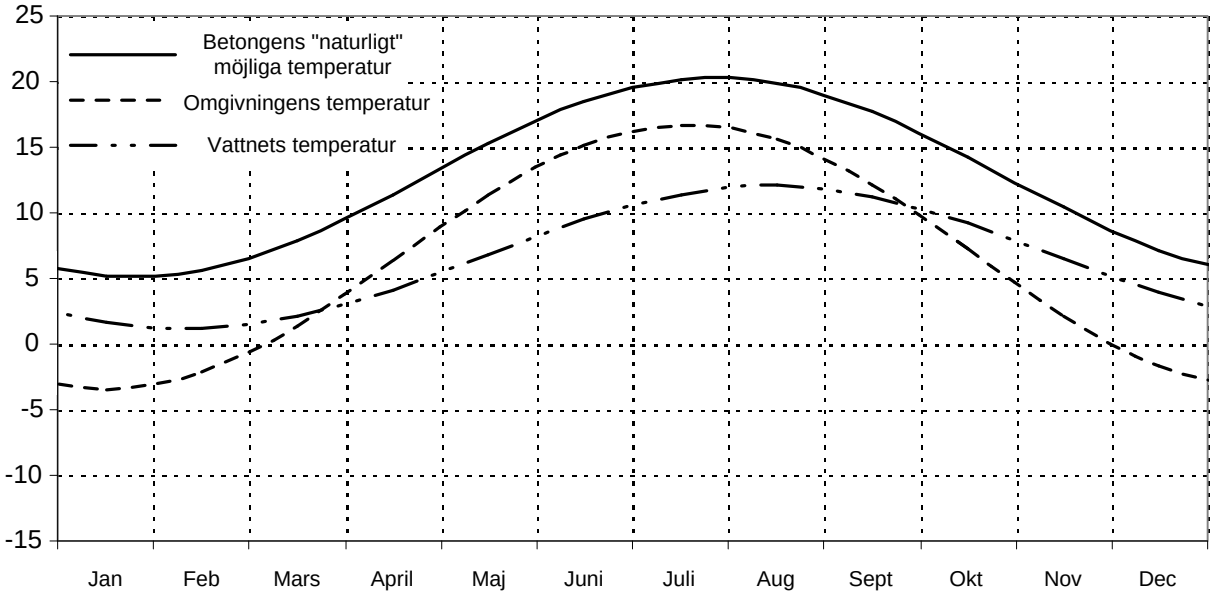


Fig. E1.10 Här ses betongtemperaturens årstidsvariation för Stockholm beroende av vatten- och utomhustemperaturen. Omgivningstemperaturens maximum inträder i mitten av året, och vattentemperaturen har sitt högsta värde något senare på året. Betongtemperaturen beror av båda dessa temeraturer och ligger alltid högre än dessa med ett högsta värde mellan omgivningstemperaturens och vattnets maximala läge.

Malmö, normal

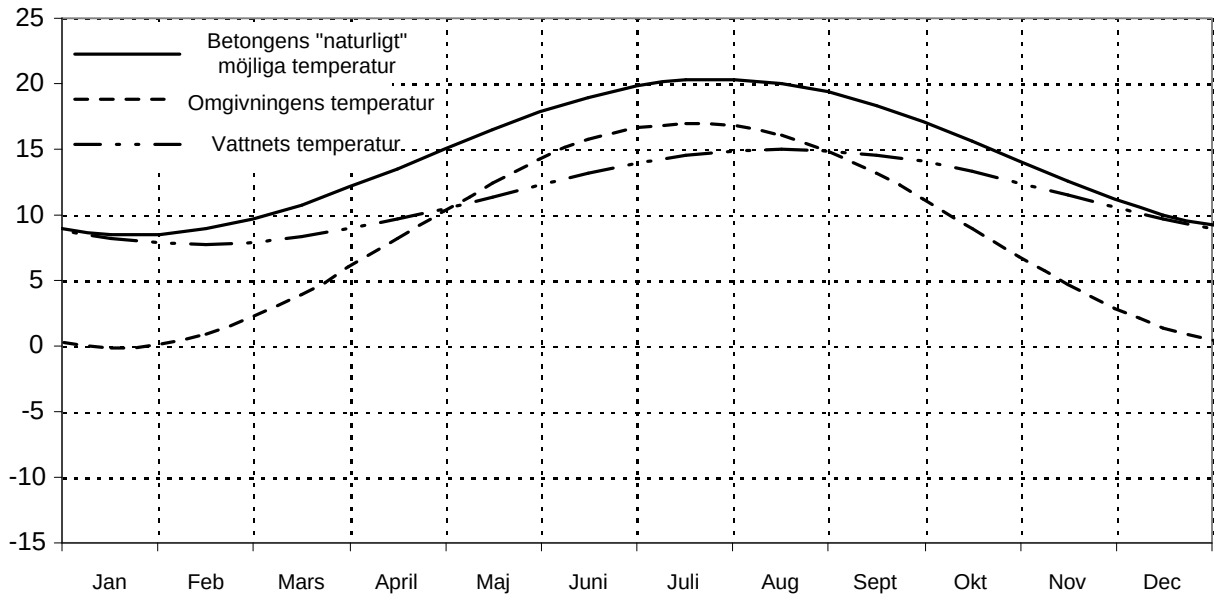


Fig. E1.11 Här ses betongtemperaturens årstidsvariation för Malmö beroende av vatten- och utomhustemperaturen. Omgivningstemperaturens maximum inträder i mitten av året, och vattentemperaturen har sitt högsta värde något senare på året. Betongtemperaturen beror av båda dessa temeraturer och ligger alltid högre än dessa med ett högsta värde mellan omgivningstemperaturens och vattnets maximala läge.

Kapitel E2 – Diagram över högsta medeltemperaturen med olika kylrörsalternativ för väggtvärsnitt med övergångstalet mot luft lika med 5 W/m^{2}K

Beteckningar och begrepp använda i avsnitt E2, se även figurer på sid E2:2

Vägg 400 mm	betecknar en vägg med bredd ($B_{vägg}$) = 400 mm. Övriga angivna bredder är 600, 800 1000, 1200, 1400 respektive 1800 mm.
Övergångstalet 5 W/m^{2}K	avser värmeövergångstalet från betongytan till omgivande luft vid användning av 22 mm träform och med lätt blåst (vindhastighet ca 5 m/s).
Övergångstal för kylrör	avser värmeövergångstalet från betongen via kylröret till kylvattnet. Siffervärdet 80 W/m^{2}K avser ett plaströr med ca 30 mm diameter, och värdet 900 W/m^{2}K avser ett stålrör med 25 mm diameter.
Kyltemperatur 5 °C	avser kylvattensystemets medeltemperatur. Övriga studerade kylvattentemperaturer är 12 och 20 °C.
s-avstånd 400 mm	avser centrum-centrum-avstånd för kylrören, se figurerna på sidorna E2:3 – 7. Övriga studerade s-avstånd är 500 och 600 mm.
Kylrörsplacering A	avser kylrör som kan monteras på befintlig armering, se figurerna på sidorna E2:3 – 7.
Kylrörsplacering B	avser kylrör med särskild iordningställd montering, se figurerna på sidorna E2:3 – 7.
T_{max}	avser den maximala medeltemperaturen för en väggs betongtvärsnitt med hänsyn tagen till bortförandet av värme i kylrören. Beräkningen är genomförd för betong med cementhalten 400 kg/m^3, och en mer beskrivande beteckning är T_{kyl}^{ref}. (*skrivs om i Frame)* Motsvarande maximala medeltemperatur utan kylning måste också gälla för cementhalten 400 kg/m^3, vilket avläses från sidan E1:6 och här betecknas T_{max}^{ref} (*skrivs om i Frame)*. Den aktuella kylsinsatsen beskrivs nu med T_{max}^{ref} - T_{kyl}^{ref} , och denna kylinsats anses vara representativ även för andra cementhalter än 400 kg/m^3.

T_{gjut}	avser betongmassans temperatur "färdig i formen" efter transport, övrig hantering och bearbetning av betongen.
T_{luft}	avser luftens temperatur beskriven som dygnsmedelvärde.

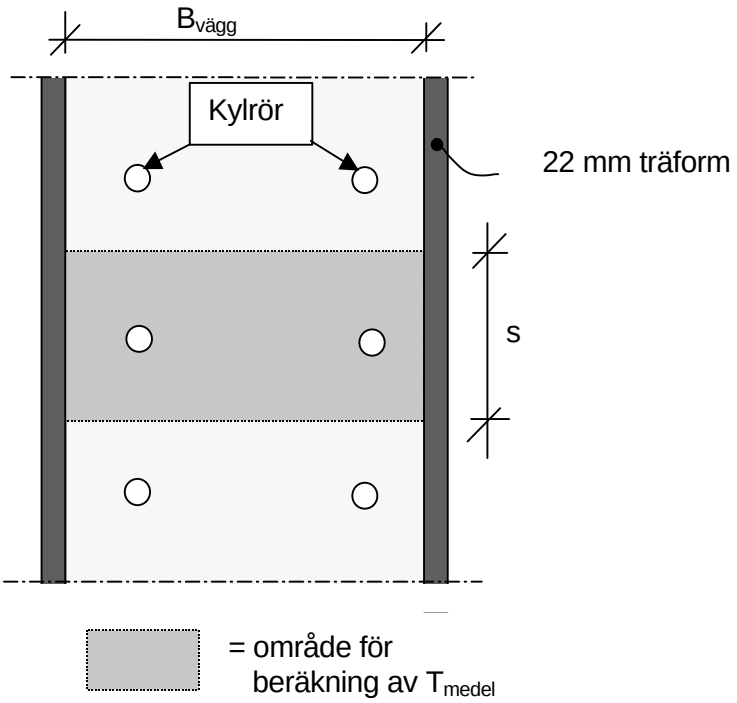
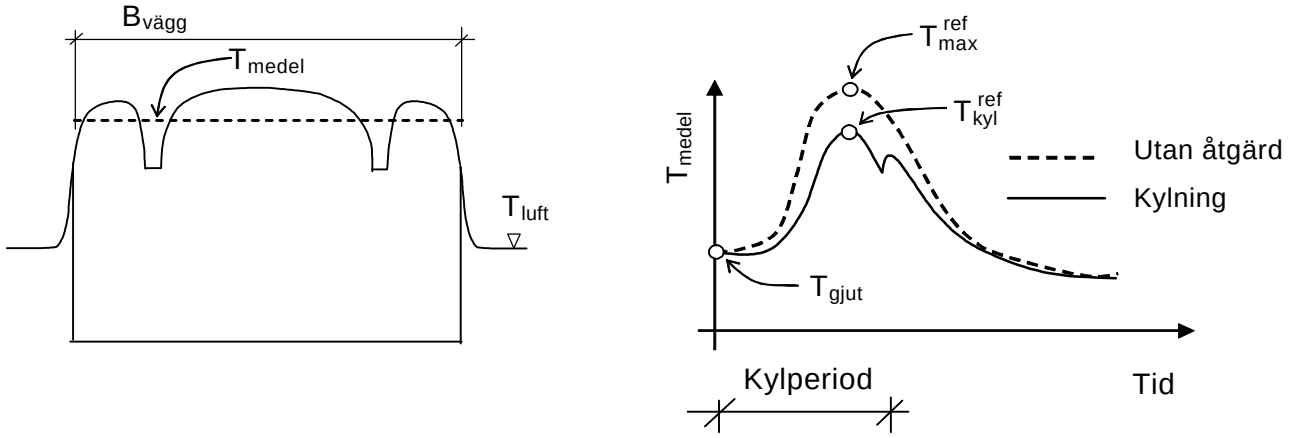


Fig. E2.1 Vertikalt snitt i väggen med markering av området för beräkning av medeltemperaturen vid kylning.

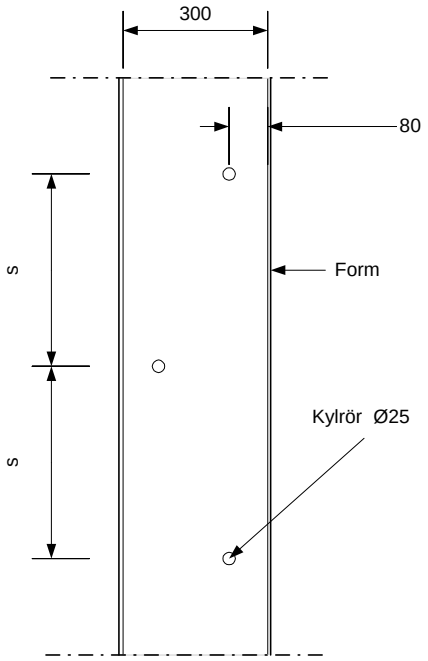


a) Temperaturen längs en linje som korsar två kylrör

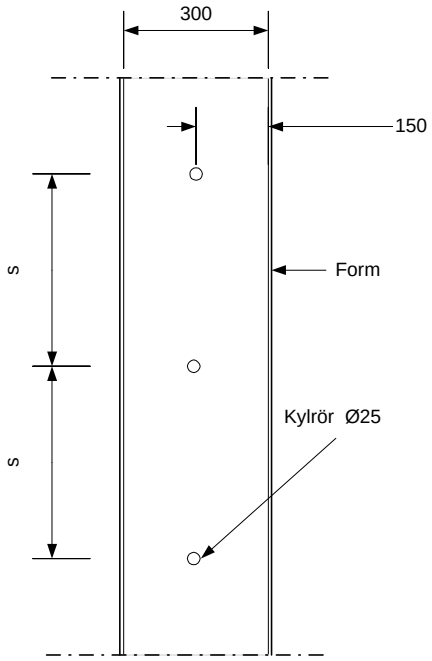
b) Temperatur-tid-förlopp

Fig. E2.2 Illustration av betongtemperaturer. Referenstemperaturerna i delfigur b avser beräkningar för cementhalten 400 kg/m^3.

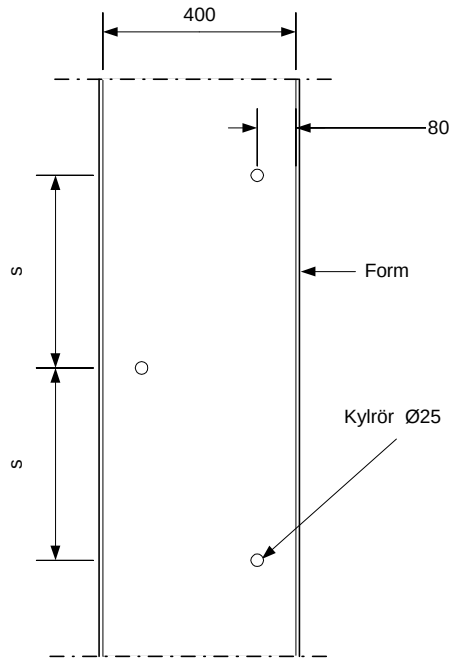
Kylrörsplacering A



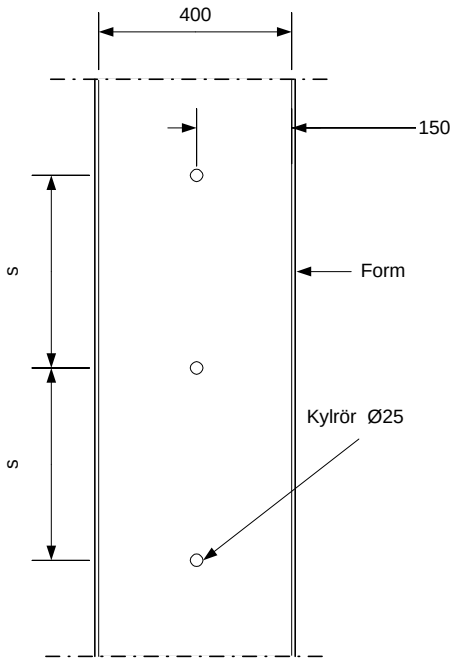
Kylrörsplacering B



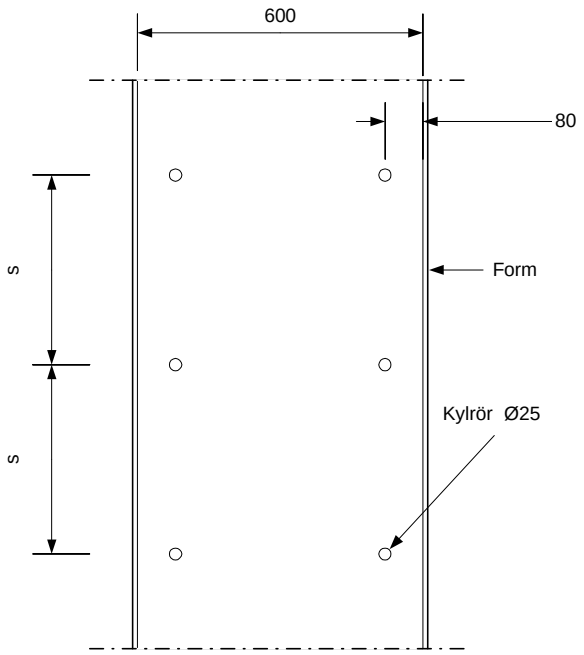
Kylrörsplacering A



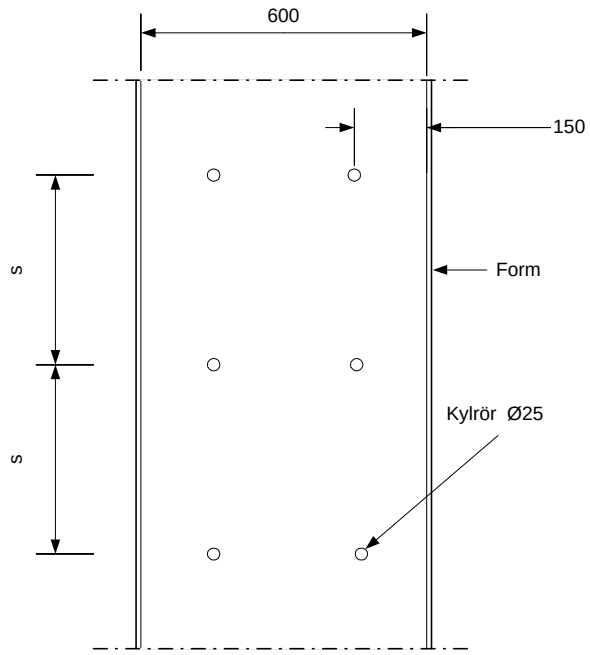
Kylrörsplacering B



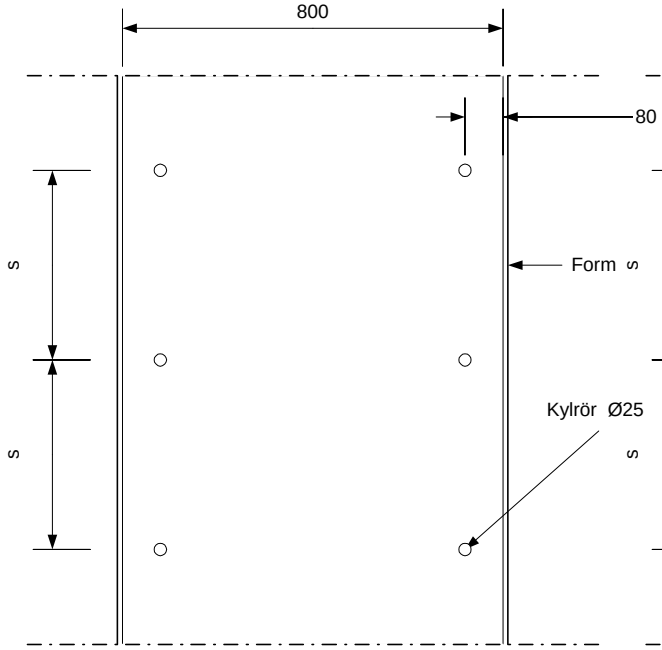
Kylrörsplacering A



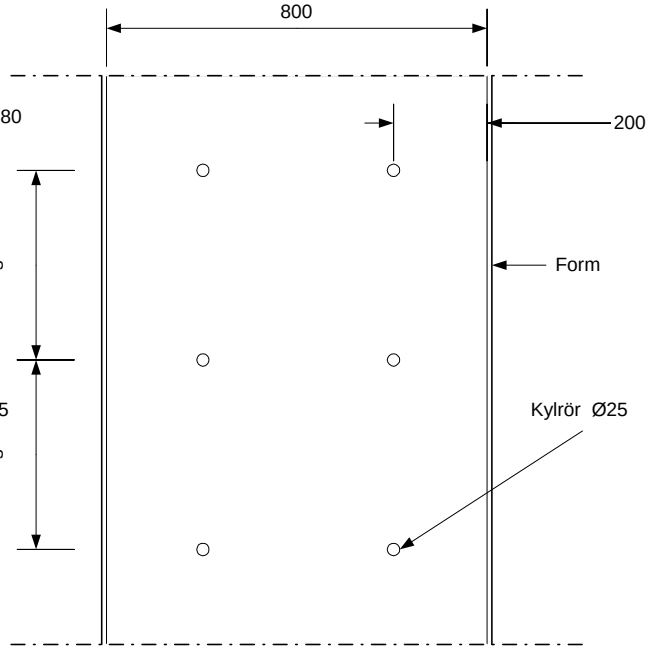
Kylrörsplacering B



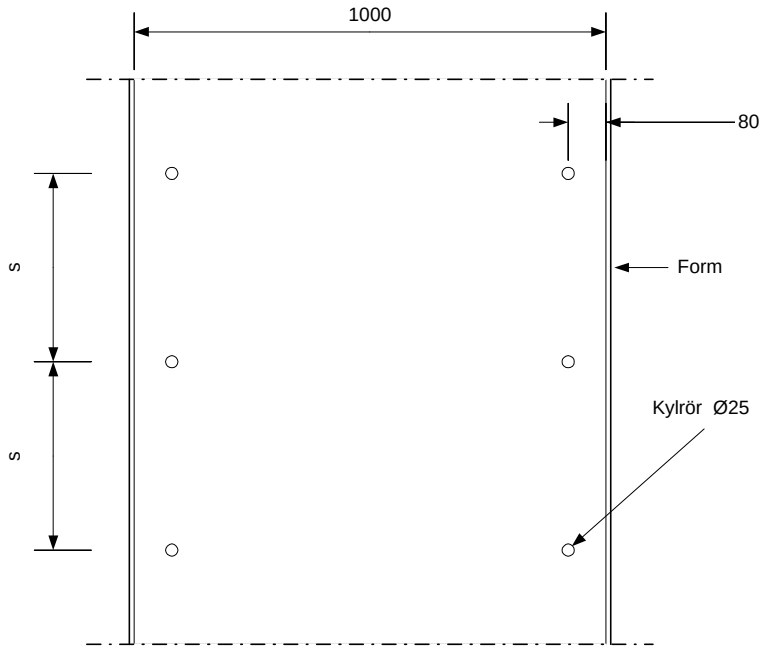
Kylrörsplacering A



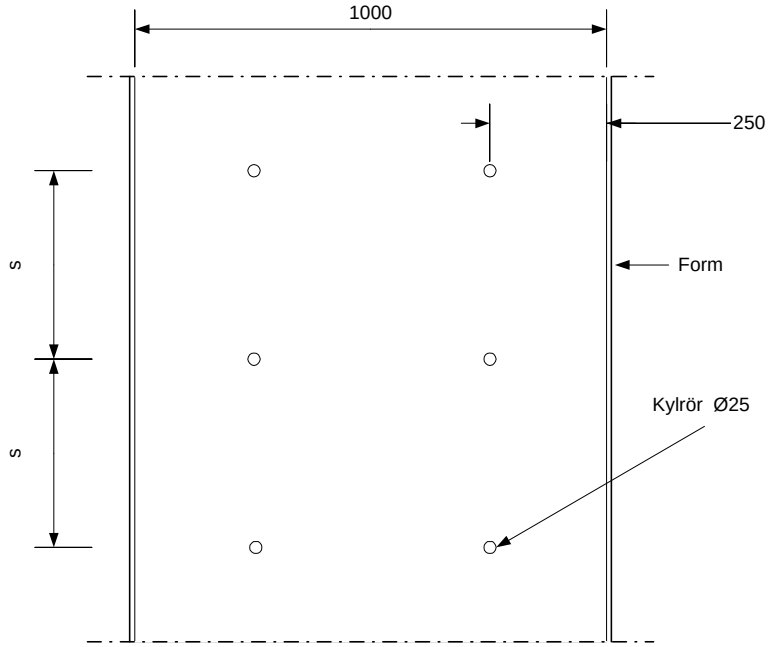
Kylrörsplacering B



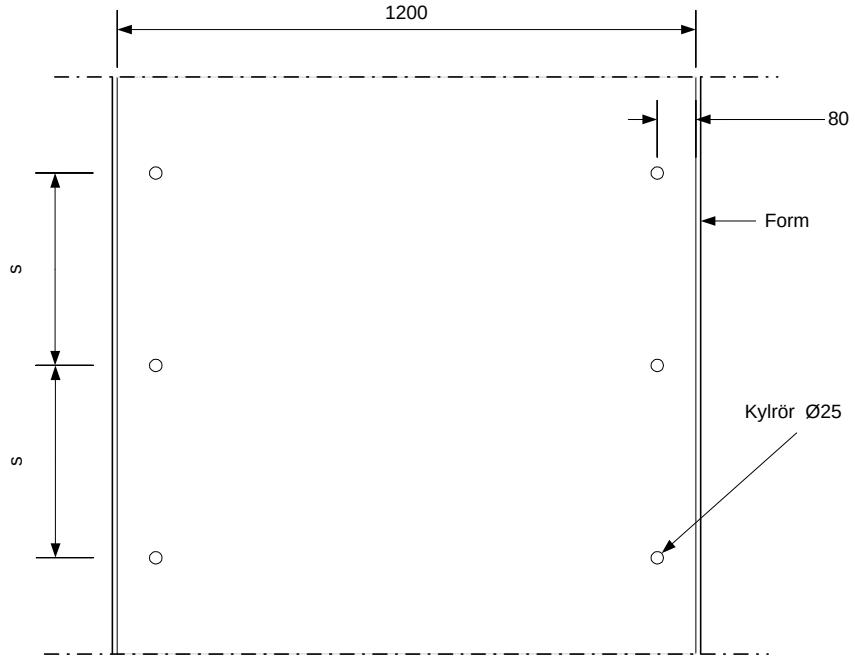
Kylrörsplacering A



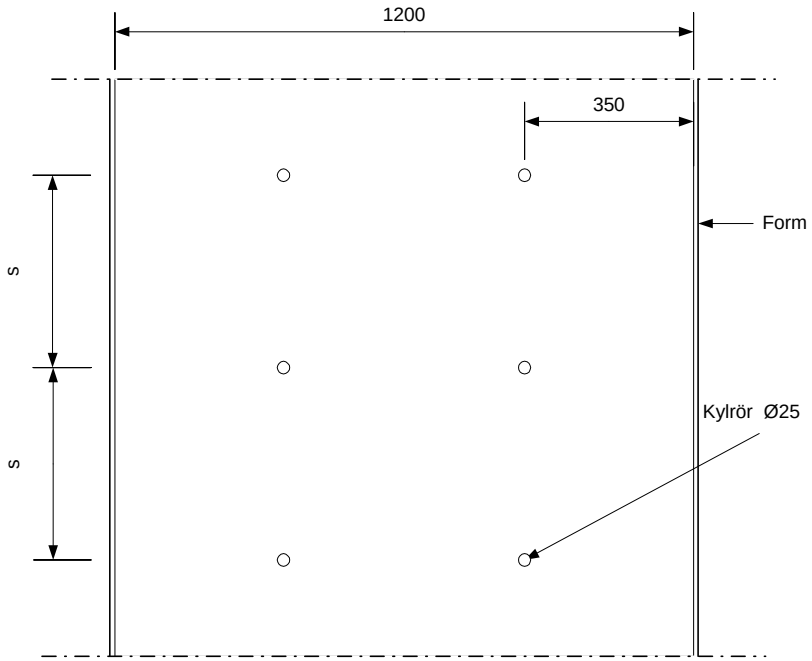
Kylrörsplacering B



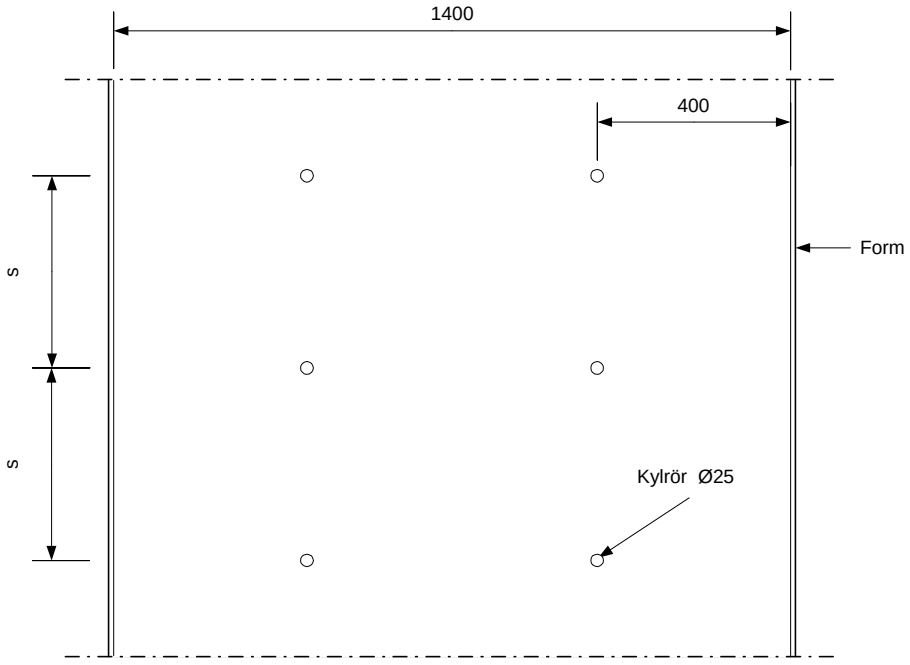
Kylrörsplacering A



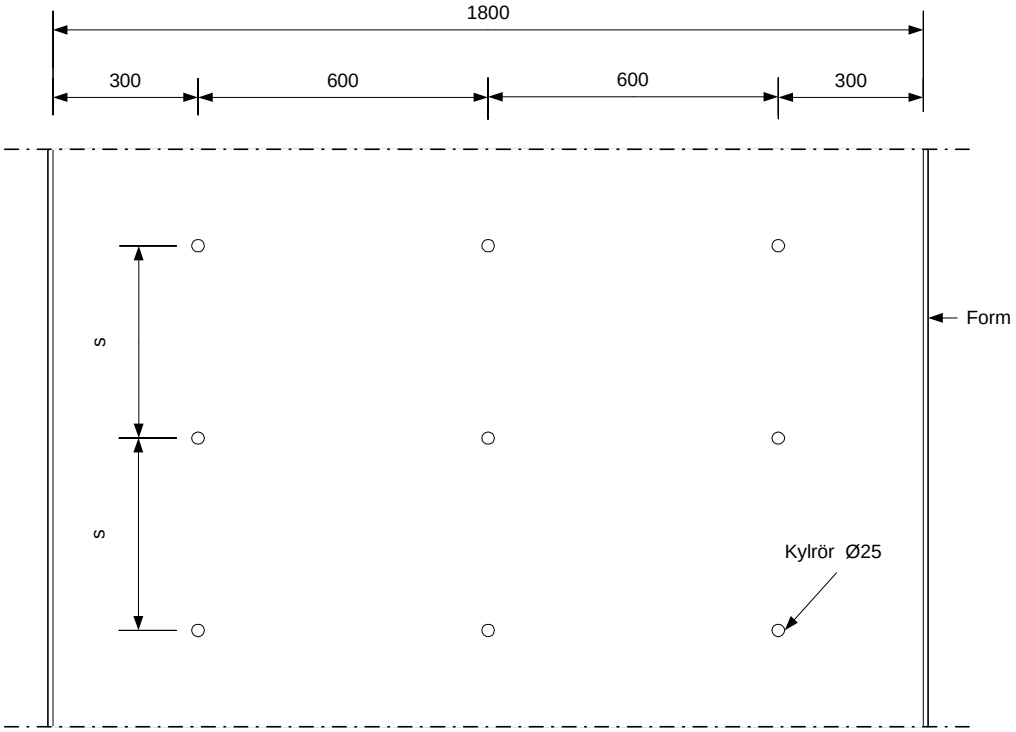
Kylrörsplacering B



Kylrörsplacering B



Kylrörsplacering B

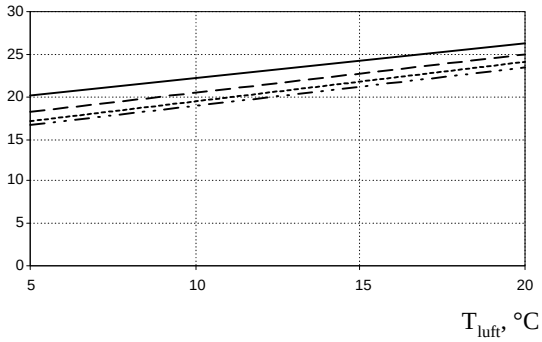


Dessa sidor finns i oreducerad form i den tryckta versionen av del D, som kan beställas från CBI via kjell.wallin@cbi.se

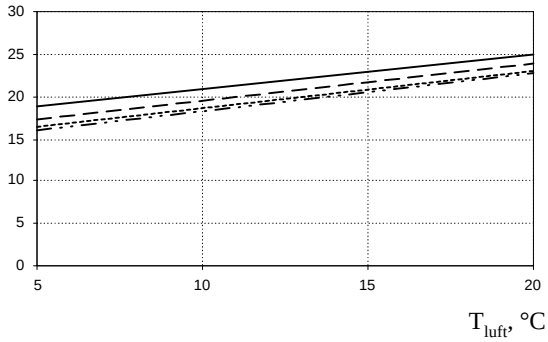
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C

Övergångstal kylrör 900 W/m^{2}K
Kyltemperatur 12 °C
s-avstånd kylrör 400 mm

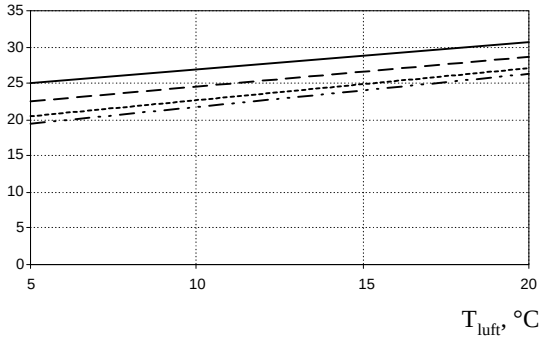
T_{max}, °C Vägg 300 mm, kylrörsplacering A



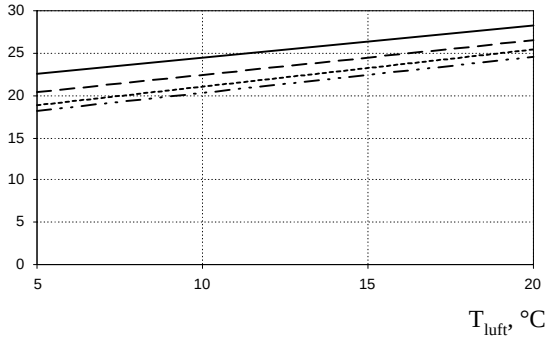
T_{max}, °C Vägg 300 mm, kylrörsplacering B



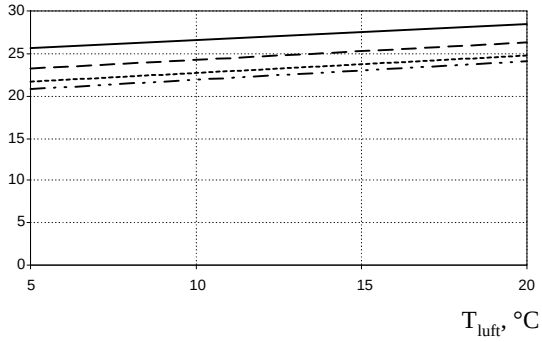
T_{max}, °C Vägg 400 mm, kylrörsplacering A



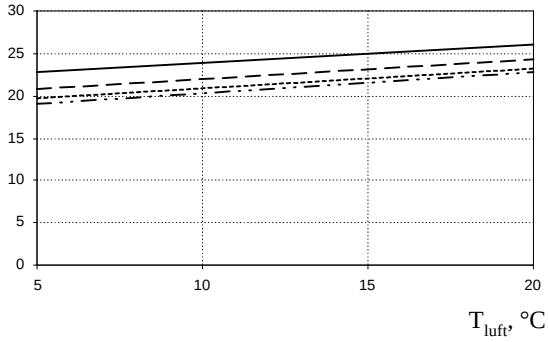
T_{max}, °C Vägg 400 mm, kylrörsplacering B



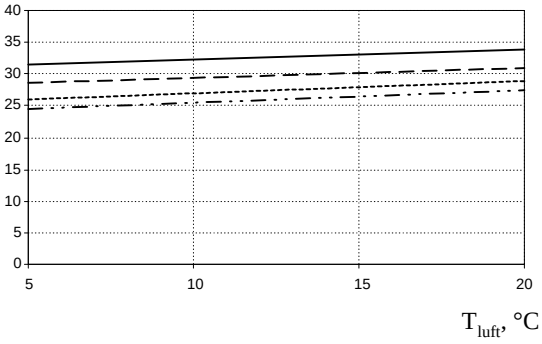
T_{max}, °C Vägg 600 mm, kylrörsplacering A



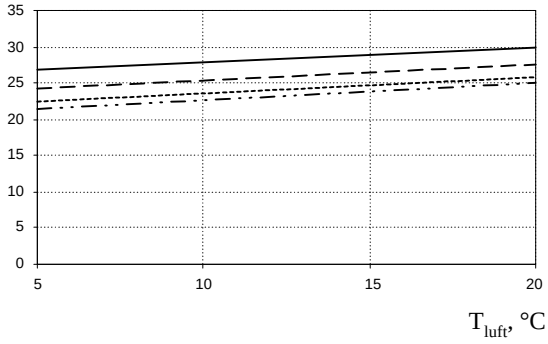
T_{max}, °C Vägg 600 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 800 mm, kylrörsplacering A



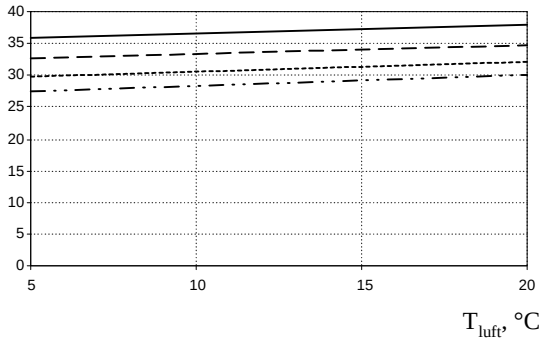
T_{max}, °C Vägg 800 mm, kylrörsplacering B



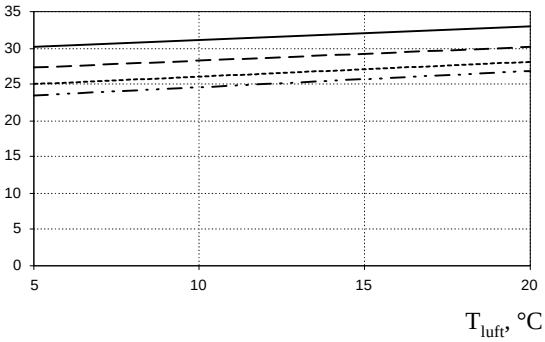
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C

Övergångstal kylrör 900 W/m^{2}K
Kyltemperatur 12 °C
s-avstånd kylrör 400 mm

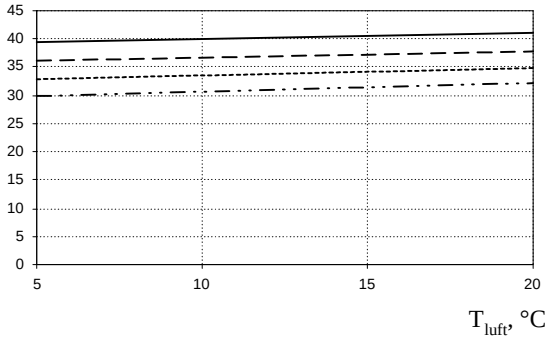
T_{max}, °C Vägg 1000 mm, kylrörsplacering A



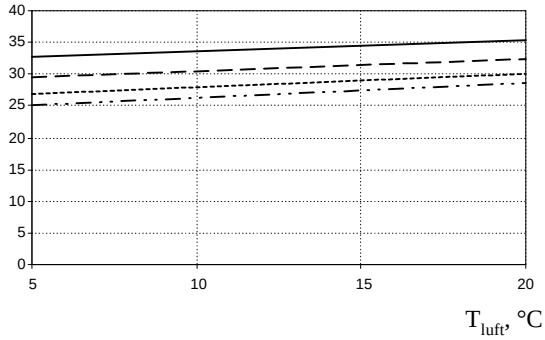
T_{max}, °C Vägg 1000 mm, kylrörsplacering B



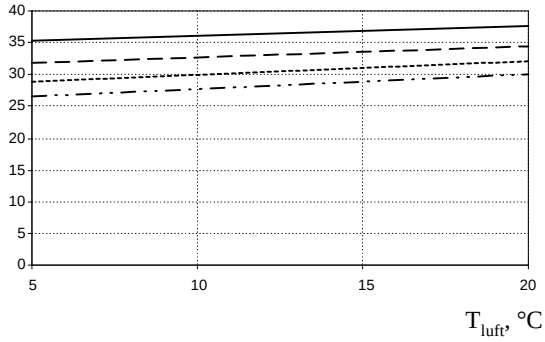
T_{max}, °C Vägg 1200 mm, kylrörsplacering A



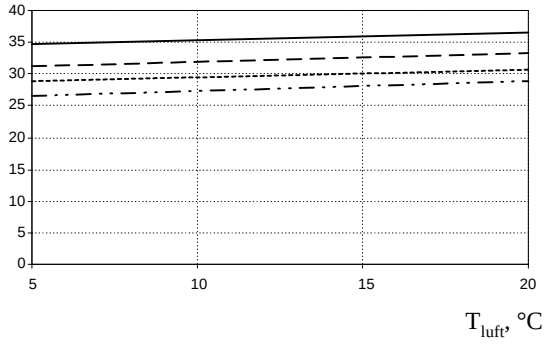
T_{max}, °C Vägg 1200 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 1400 mm, kylrörsplacering B



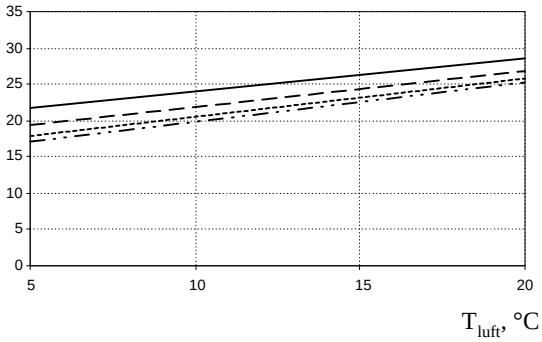
T_{max}, °C Vägg 1800 mm, kylrörsplacering B



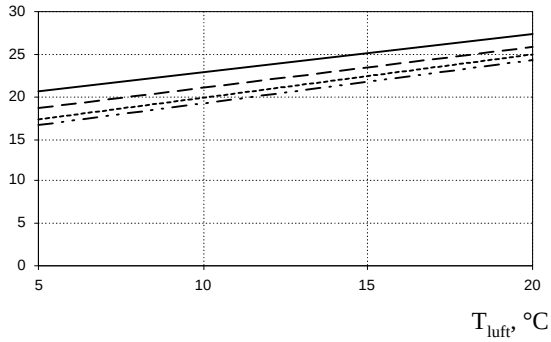
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C

Övergångstal kylrör 900 W/m^{2}K
Kyltemperatur 12 °C
s-avstånd kylrör 500 mm

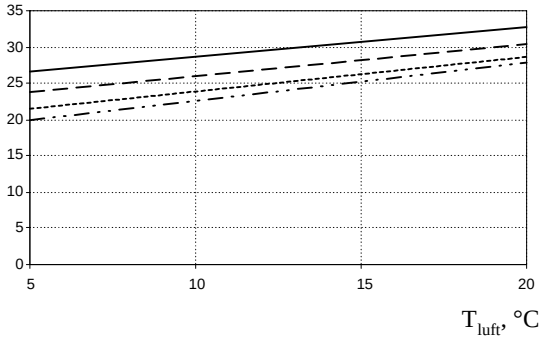
T_{max}, °C Vägg 300 mm, kylrörsplacering A



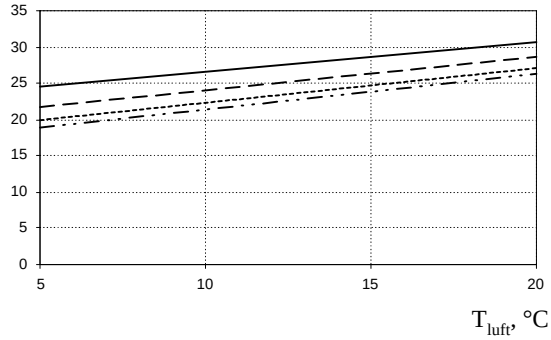
T_{max}, °C Vägg 300 mm, kylrörsplacering B



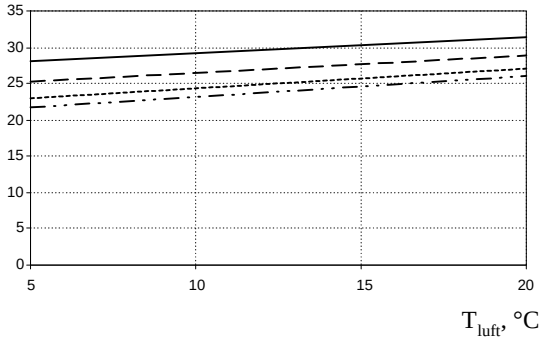
T_{max}, °C Vägg 400 mm, kylrörsplacering A



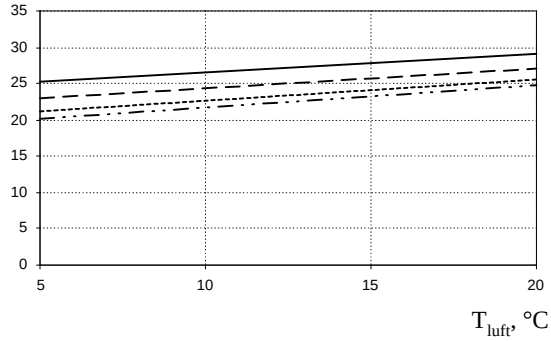
T_{max}, °C Vägg 400 mm, kylrörsplacering B



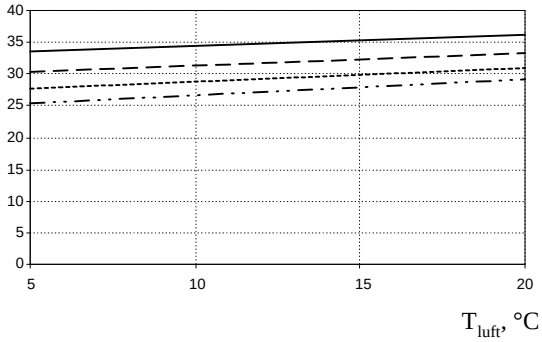
T_{max}, °C Vägg 600 mm, kylrörsplacering A



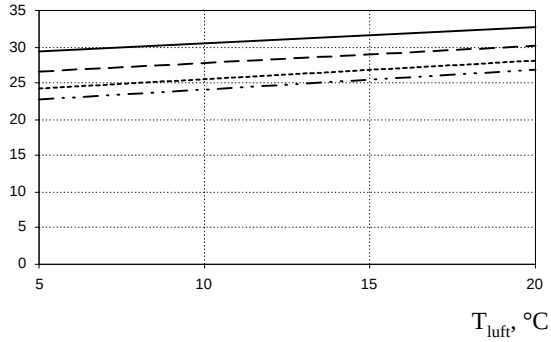
T_{max}, °C Vägg 600 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 800 mm, kylrörsplacering A



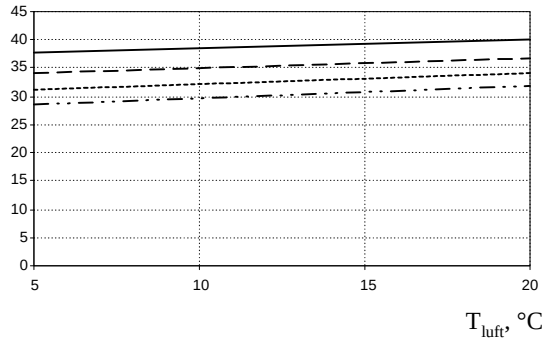
T_{max}, °C Vägg 800 mm, kylrörsplacering B



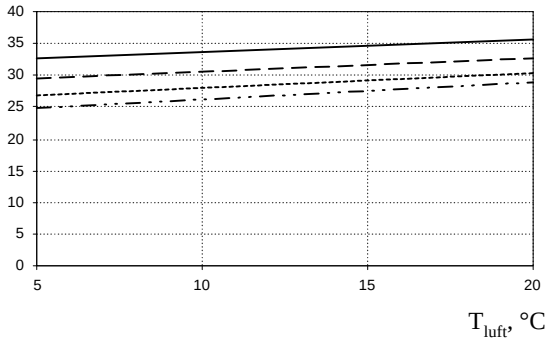
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C

Övergångstal kylrör 900 W/m^{2}K
Kyltemperatur 12 °C
s-avstånd kylrör 500 mm

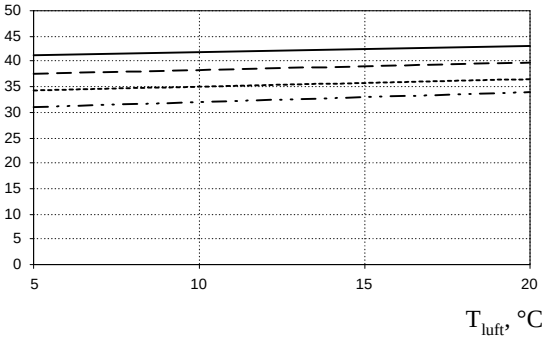
T_{max}, °C Vägg 1000 mm, kylrörsplacering A



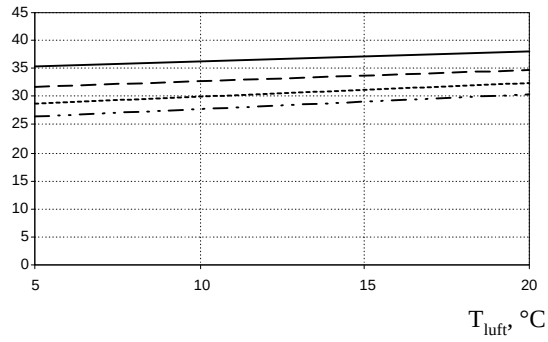
T_{max}, °C Vägg 1000 mm, kylrörsplacering B



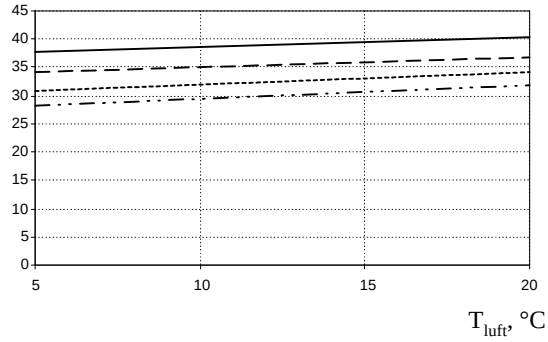
T_{max}, °C Vägg 1200 mm, kylrörsplacering A



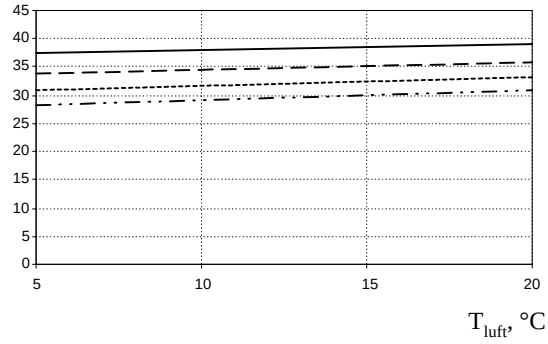
T_{max}, °C Vägg 1200 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 1400 mm, kylrörsplacering B



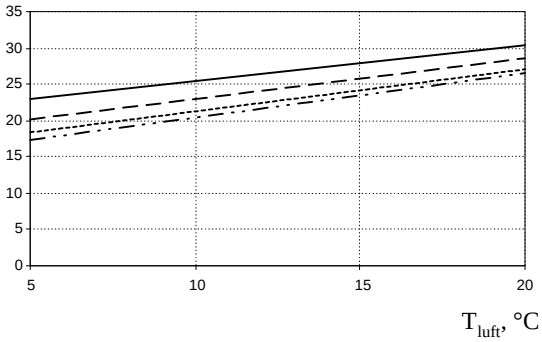
T_{max}, °C Vägg 1800 mm, kylrörsplacering B



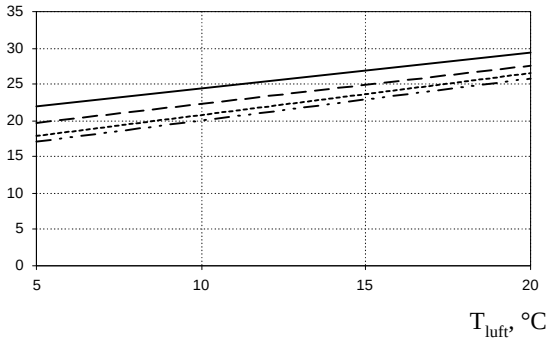
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C

Övergångstal kylrör 900 W/m²K
Kyltemperatur 12 °C
s-avstånd kylrör 600 mm

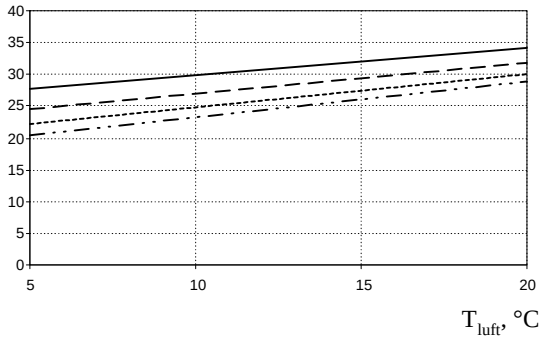
T_{max}, °C Vägg 300 mm, kylrörsplacering A



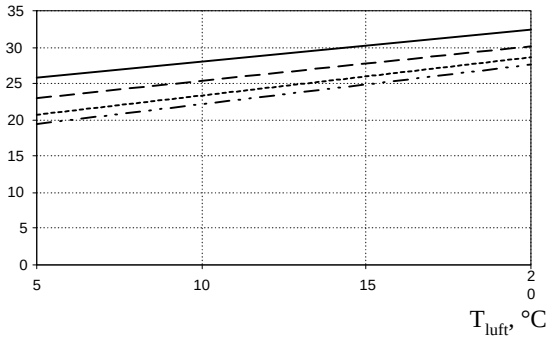
T_{max}, °C Vägg 300 mm, kylrörsplacering B



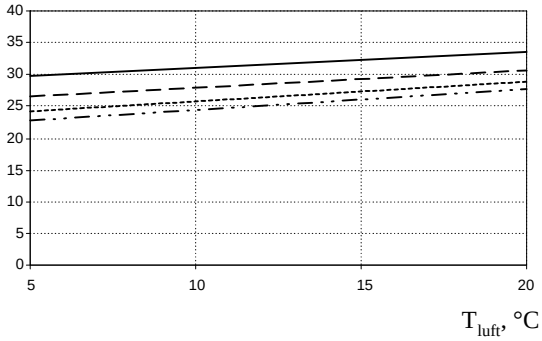
T_{max}, °C Vägg 400 mm, kylrörsplacering A



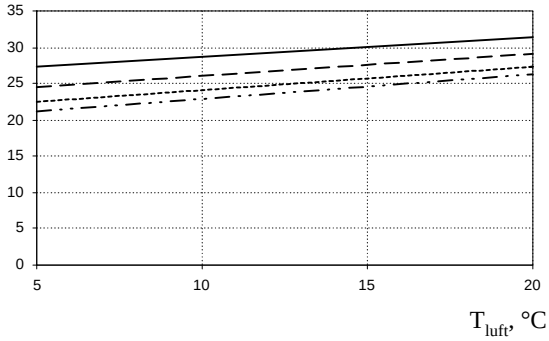
T_{max}, °C Vägg 400 mm, kylrörsplacering B



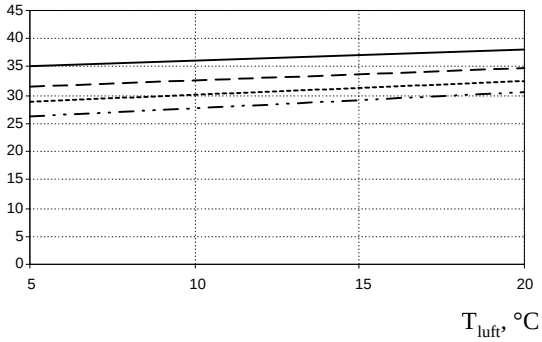
T_{max}, °C Vägg 600 mm, kylrörsplacering A



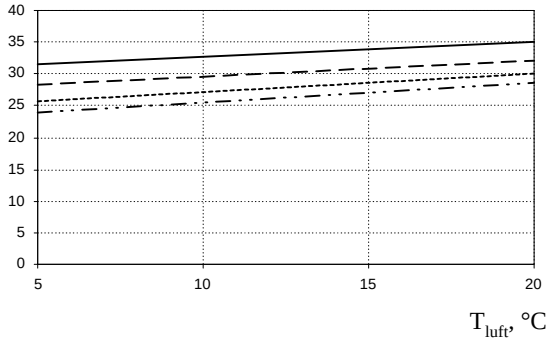
T_{max}, °C Vägg 600 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 800 mm, kylrörsplacering A



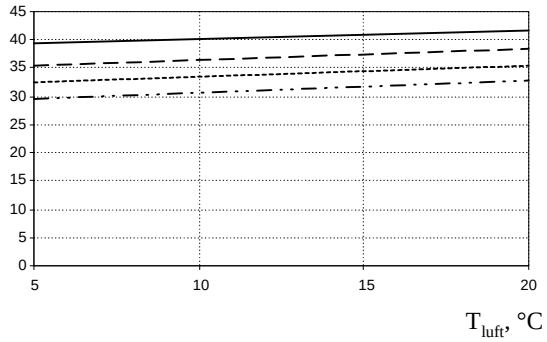
T_{max}, °C Vägg 800 mm, kylrörsplacering B



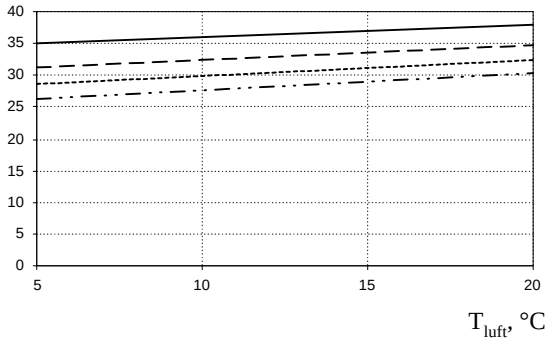
T_{gjut} 25°C
T_{gjut} 20°C
T_{gjut} 15°C
T_{gjut} 10°C

Övergångstal kylrör 900 W/m^{2}K
Kyltemperatur 12 °C
s-avstånd kylrör 600 mm

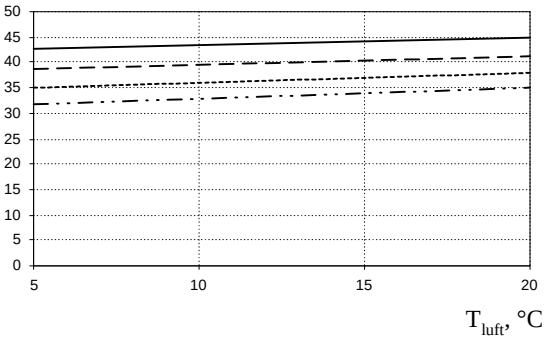
T_{max}, °C Vägg 1000 mm, kylrörsplacering A



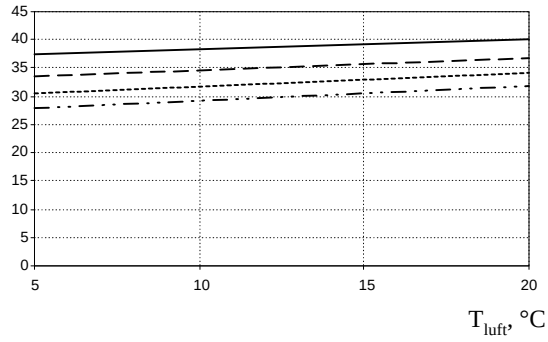
T_{max}, °C Vägg 1000 mm, kylrörsplacering B



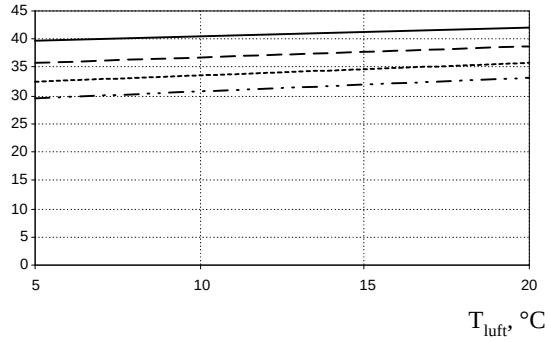
T_{max}, °C Vägg 1200 mm, kylrörsplacering A



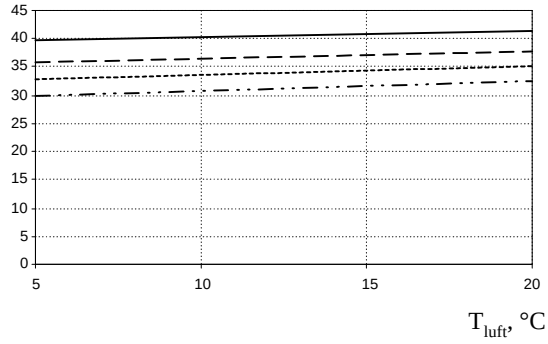
T_{max}, °C Vägg 1200 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 1400 mm, kylrörsplacering B



T_{max}, °C Vägg 1800 mm, kylrörsplacering B



Dessa sidor finns i oreducerad form i den tryckta versionen av del D, som kan beställas från CBI via kjell.wallin@cbi.se

Kapitel E3 – Diagram över medeltemperaturen för plattor med ingjutna värmekablar

Beteckningar och begrepp använda i avsnitt E3, se även figurer på sid E3:2

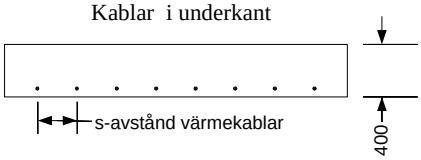
Plattjocklek 400 mm	betecknar en platta med höjden (H_{platta}) = 400 mm. Övriga angivna plattjocklekar är 600, 800, 1000, 1200 respektive 1400 mm.
Lufttemperaturen -15°C	avser luftens temperatur uttryckt som dygnsmedelvärde. Övriga angivna lufttemperaturer är -10°C, -5°C, 0°C, 5°C, 10°C, 15°C respektive 20°C.
Isolerat/Oisolerat	beskriver om beräkningen har utförts med eller utan markisolering mellan plattan och marken.
Underkant	avser placering av värmekablar i plattans underkant. För andra kabelplaceringar används beteckningarna under- och överkant, 1/3 punkt respektive 1-2-3, se vidare skissen över studerade kabelplaceringar på sid E3:2.
Betongtäckning	avser täckning med högvärdig isolering av betongens överyta under *hela tiden som värmekablarna är påslagna*, vilket omfattar erforderlig förvärmningstid samt att värmekablarna är påslagna mellan 18 och 24 timmar efter gjutstart för väggen. *Därefter måste täckningen tas bort* för att plattan ska svalna och därmed krympa tillräckligt snabbt. I beräkningarna har täckningen under värmningsfasen beskrivits med övergångstalet 3 W/m^2°C. Övergångstal för några vanliga täckmaterial redovisas i tabell E3.1.
T_{platta}	avser medeltemperaturen för plattan.

Tabell E3.1: Värmeövergångstal från betongytan till luft för några vanliga täckmaterial

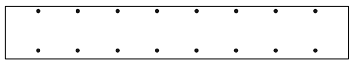
Täckmaterial	1 m/s	2 m/s	3 m/s	5 m/s	8 m/s	10 m/s	15 m/s
Fri yta	9.4	13.1	16.9	25.3	35.7	42.0	55.8
Presenning	7.2	9.3	11	14.1	16.9	18.1	20.3
10 mm expanderad	2.6	2.8	3.0	3.2	3.3	3.3	3.4
Isolerad presenning	2.6	2.8	3.0	3.2	3.3	3.3	3.4
20 mm cellplast	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7
40 mm cellplast	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
50 mm cellplast	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
80 mm cellplast	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
100 mm cellplast	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
120 mm cellplast	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

400mm:

Kablar i underkant

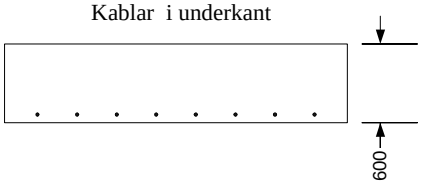


Kablar i under- och överkant

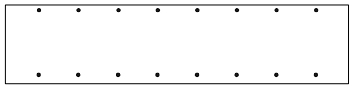


600mm:

Kablar i underkant

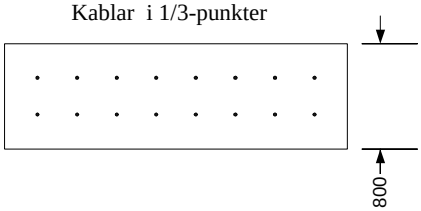


Kablar i under- och överkant

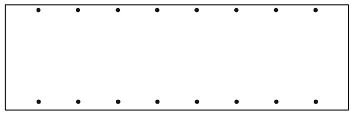


800mm:

Kablar i 1/3-punkter

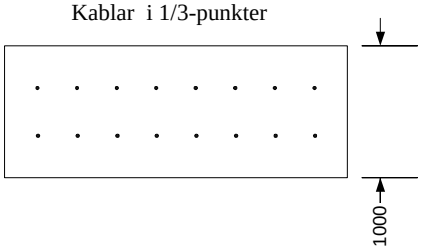


Kablar i under- och överkant

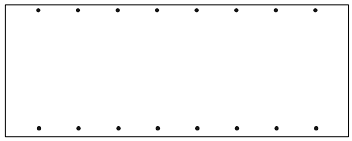


1000mm:

Kablar i 1/3-punkter

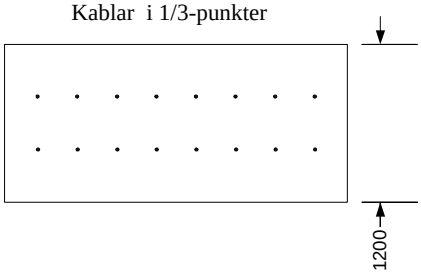


Kablar i under- och överkant

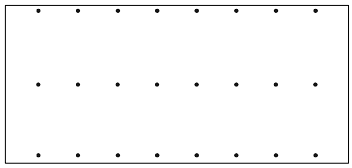


1200mm:

Kablar i 1/3-punkter

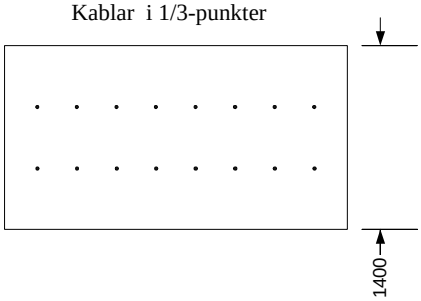


Kablar i under- och överkant, mitten (1-2-3)

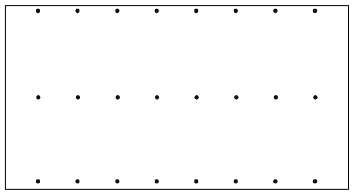


1400mm:

Kablar i 1/3-punkter

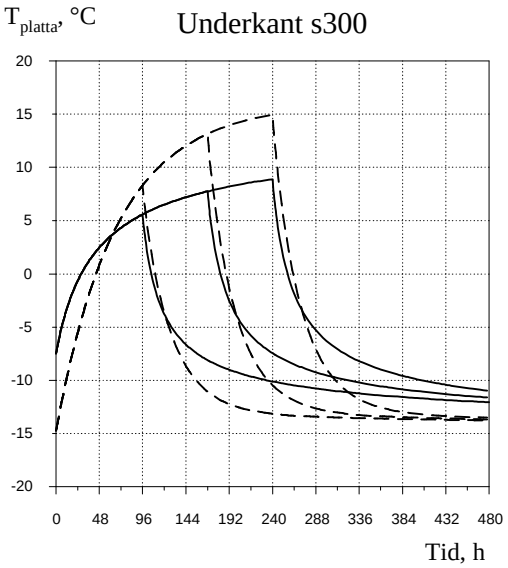


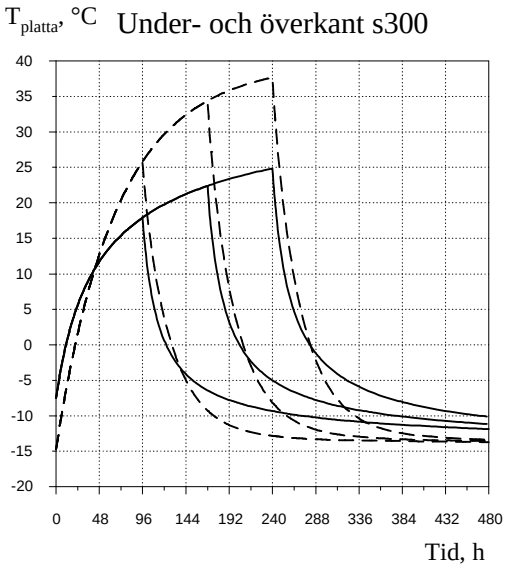
Kablar i under- och överkant, mitten (1-2-3)

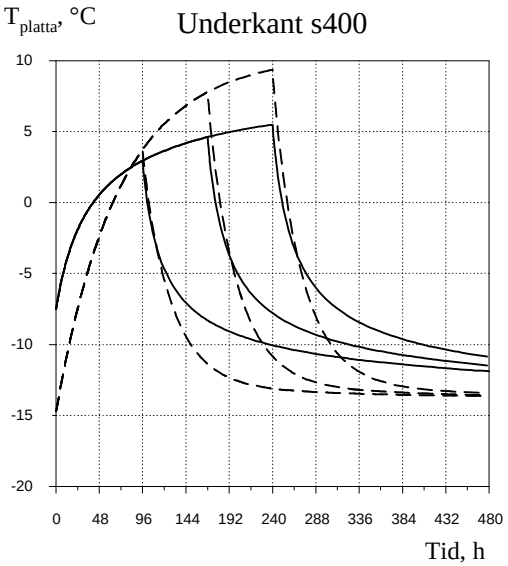


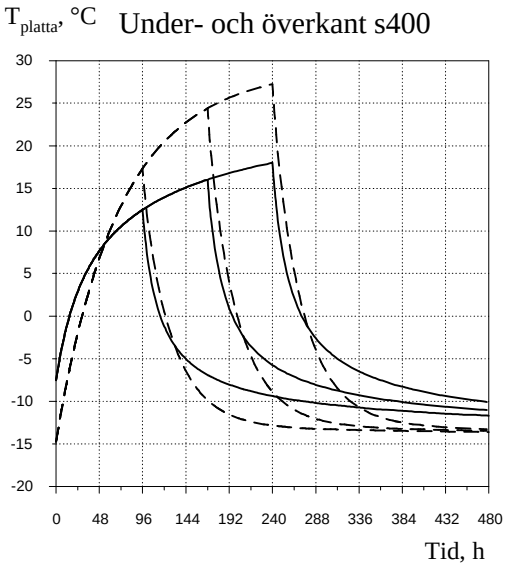
– – – Isolerat
—— Oisolerat

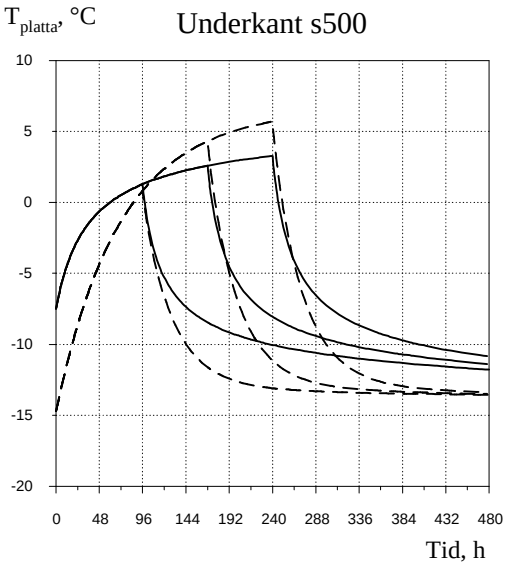
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur -15 °C

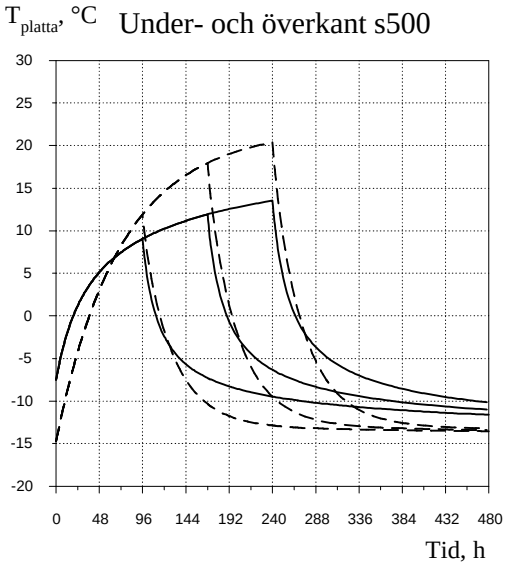






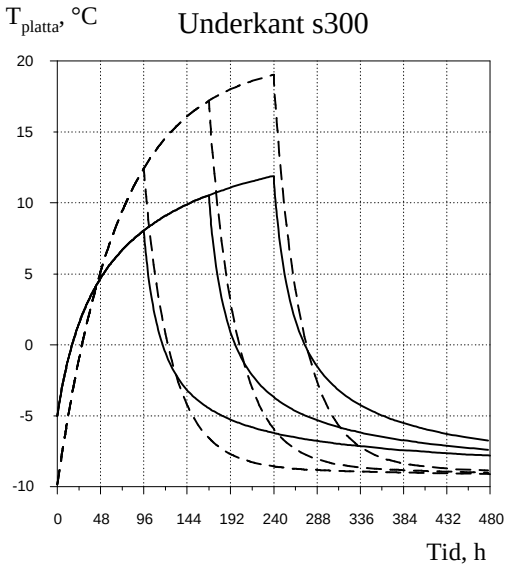


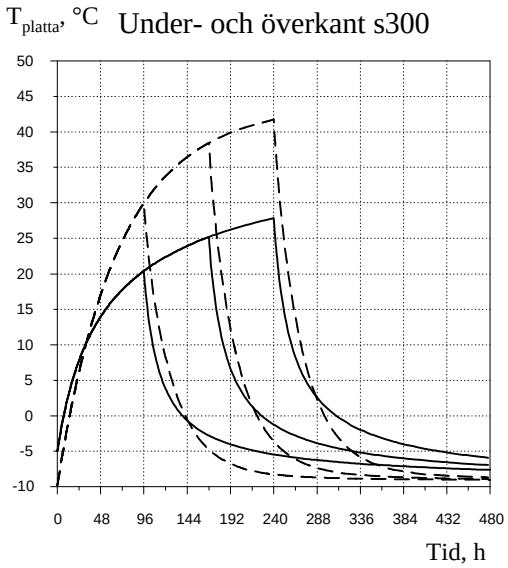


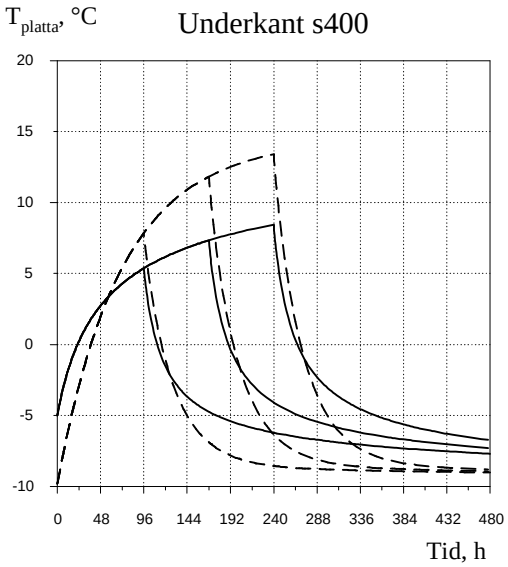


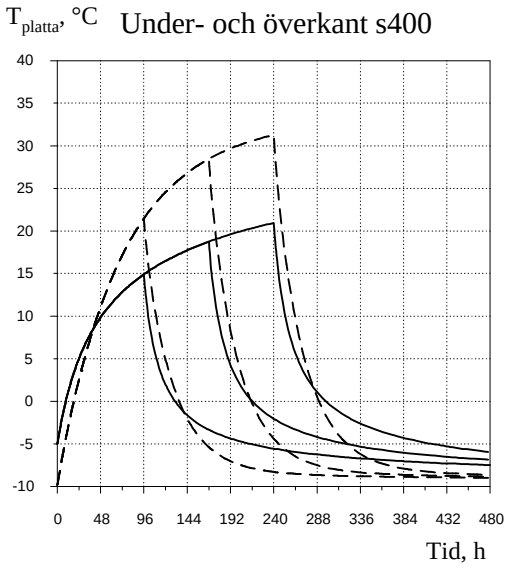
– – – Isolerat
—— Oisolerat

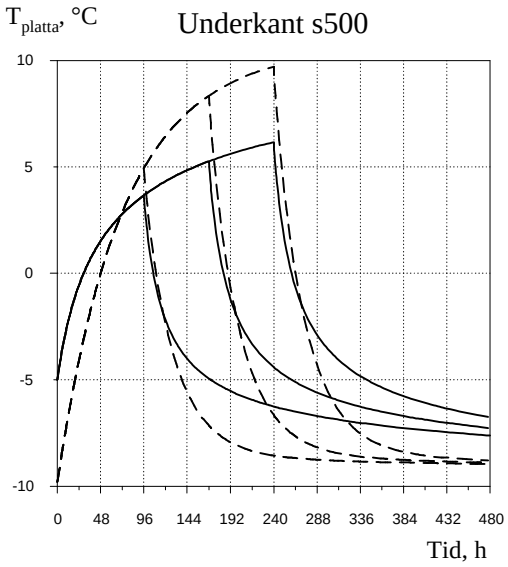
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur -10 °C

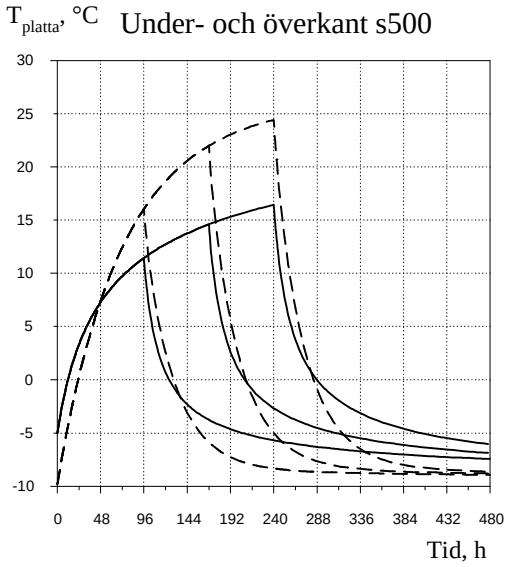






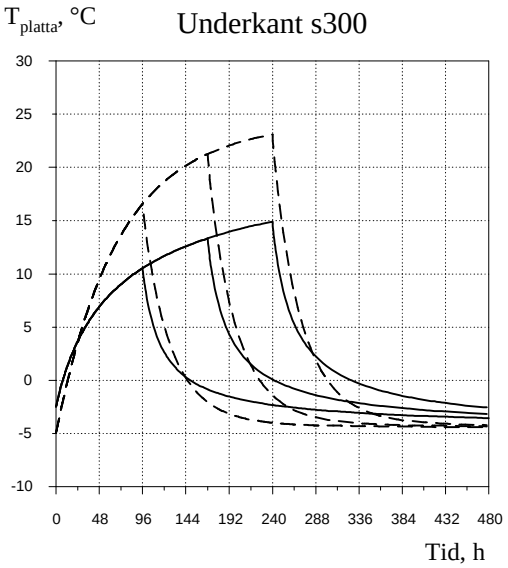


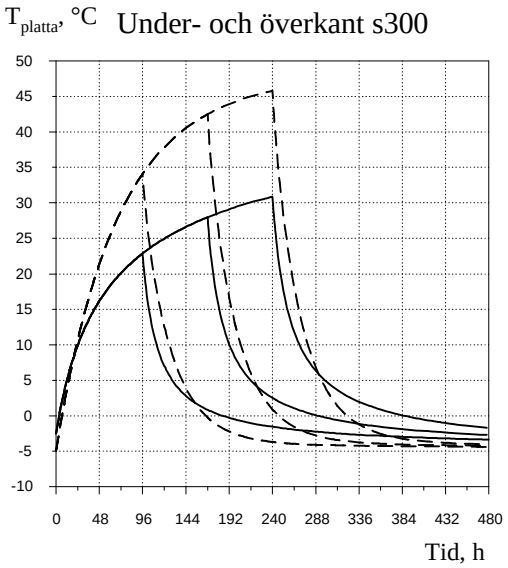


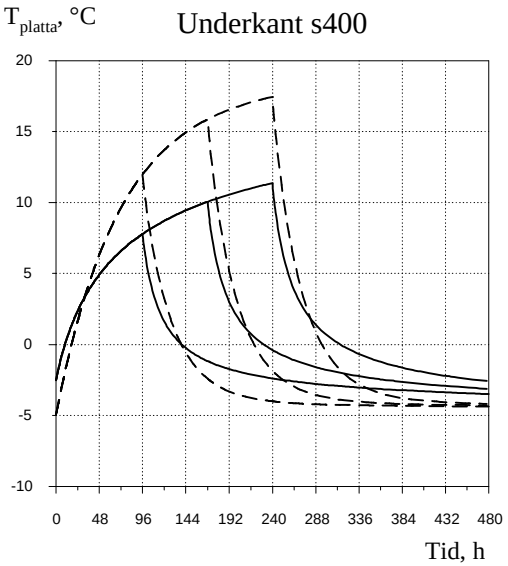


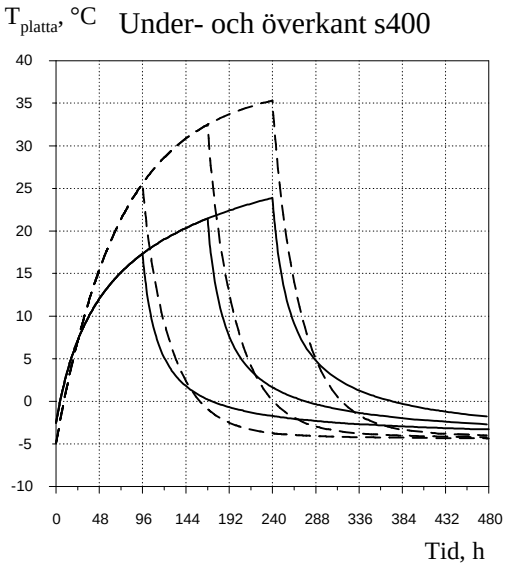
– – – Isolerat
—— Oisolerat

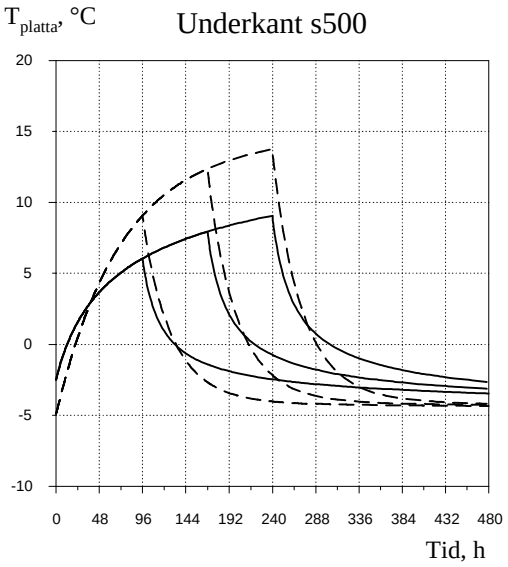
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur -5 °C

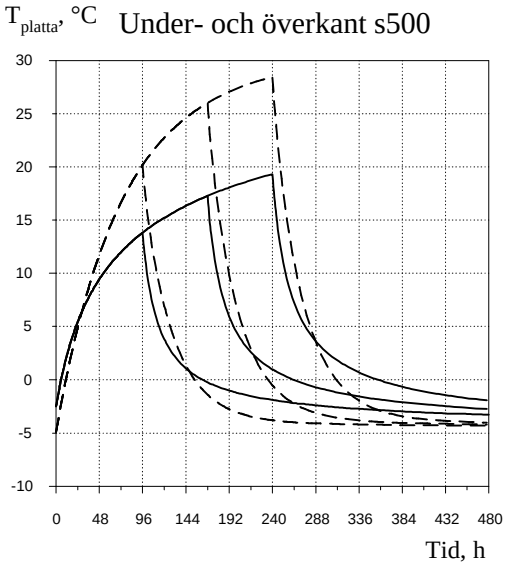






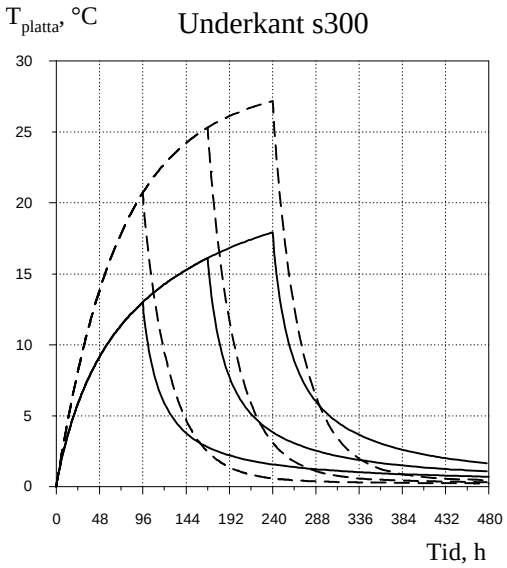


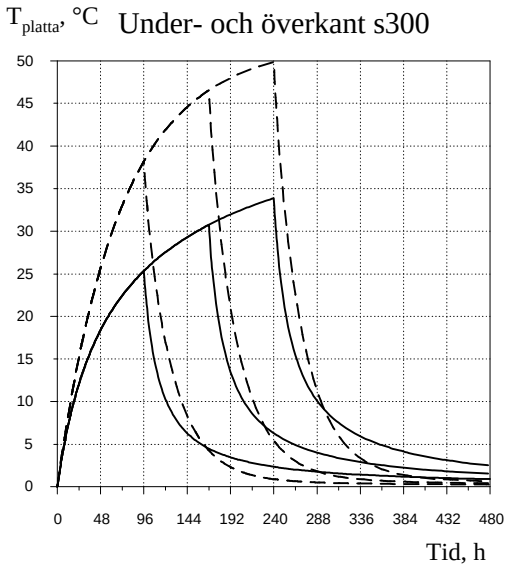


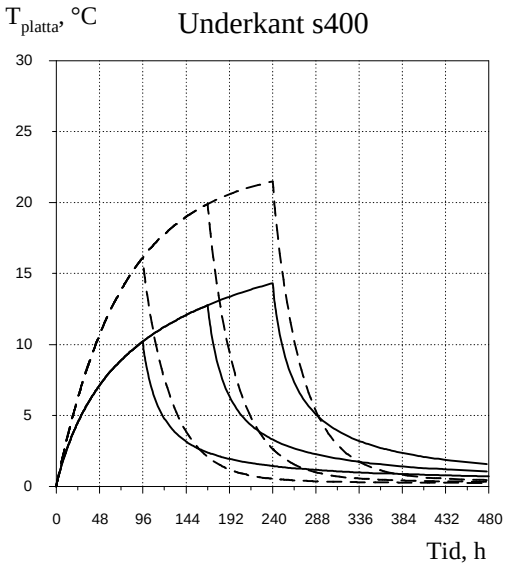


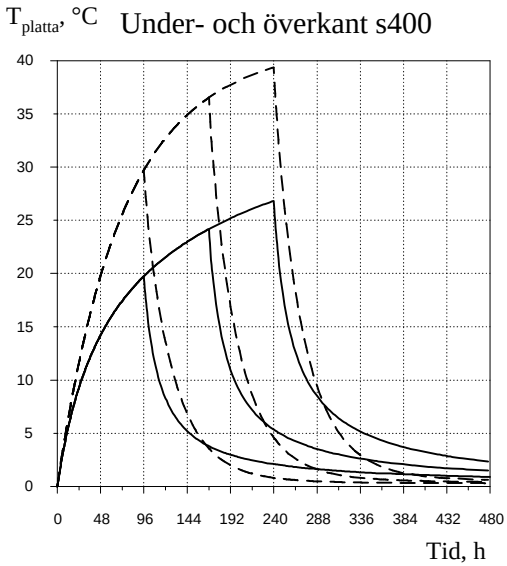
– – – Isolerat
—— Oisolerat

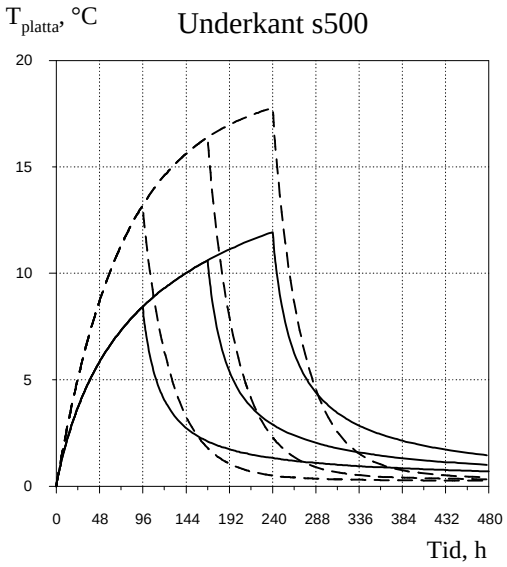
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur 0 °C

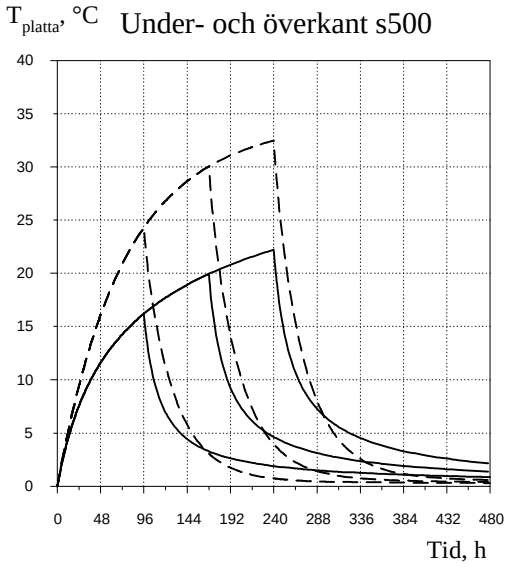






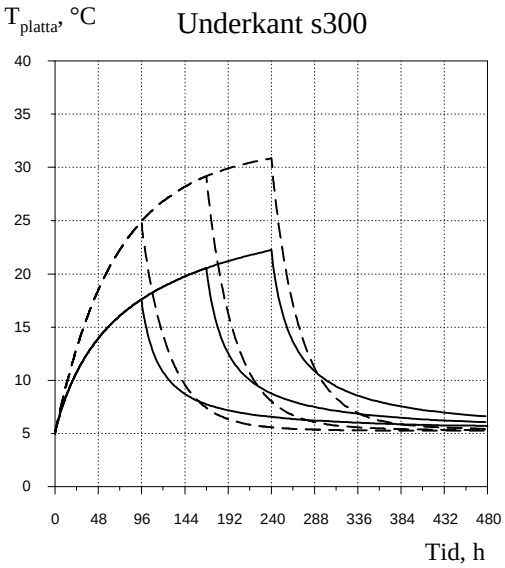


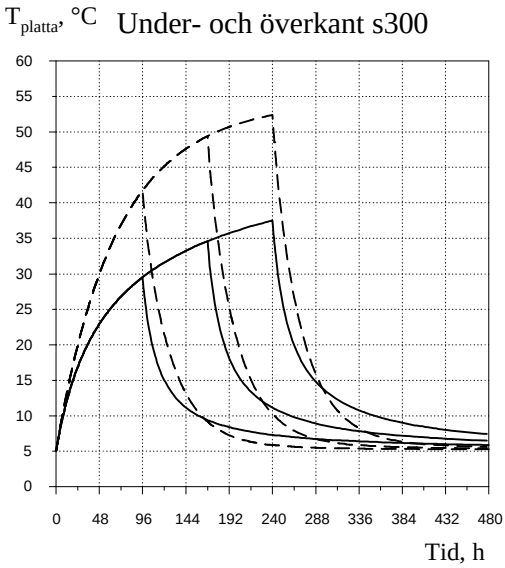


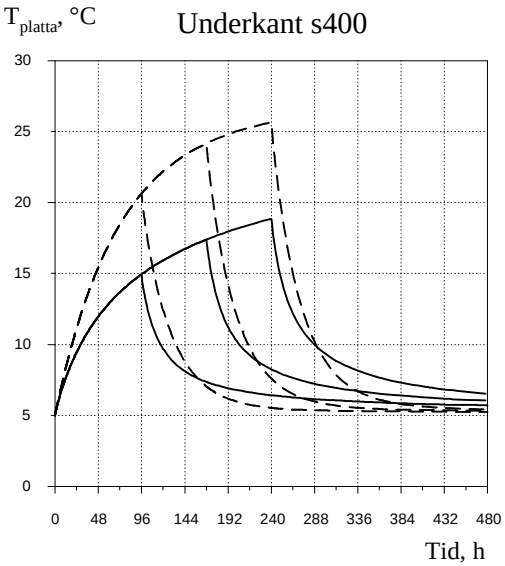


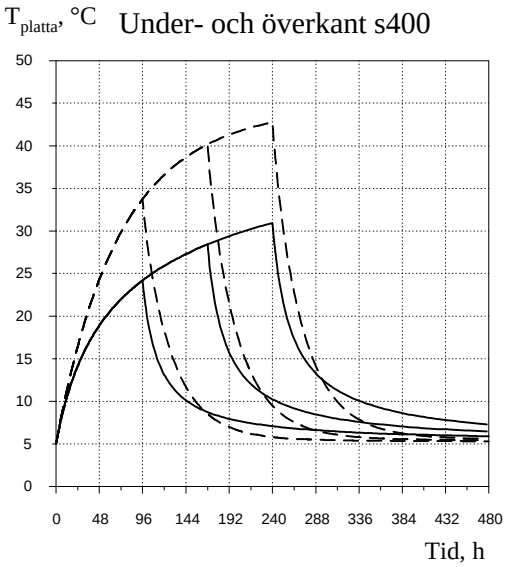
– – – Isolerat
—— Oisolerat

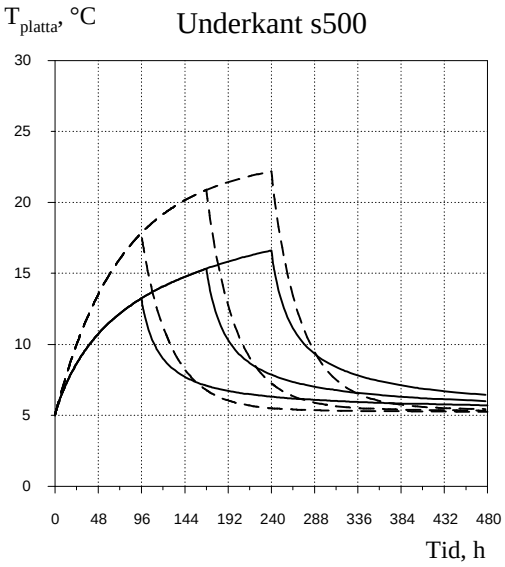
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur 5 °C

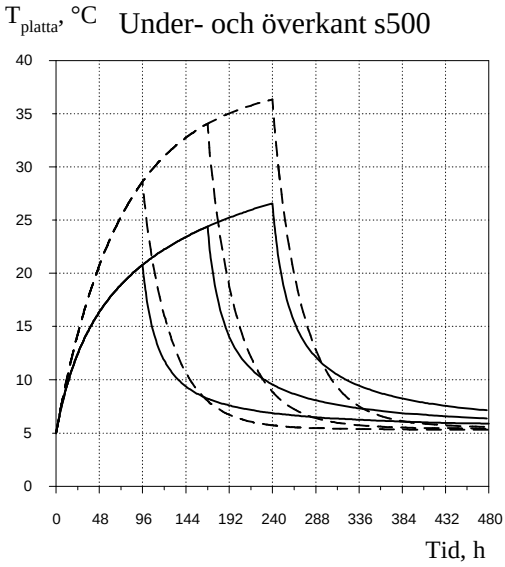






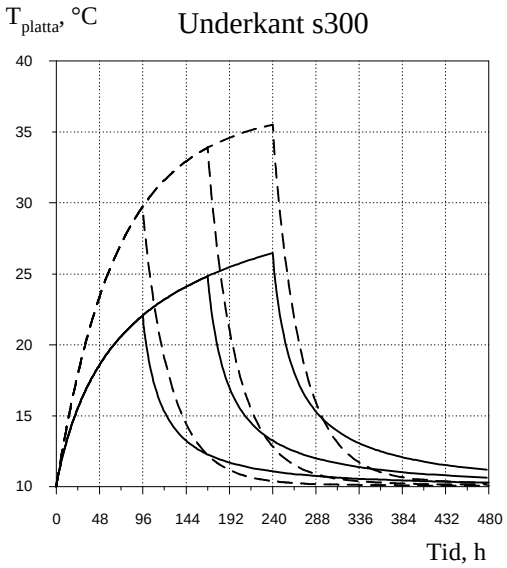


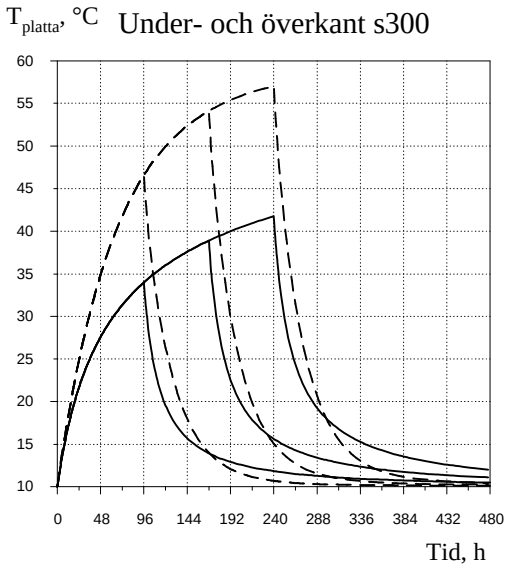


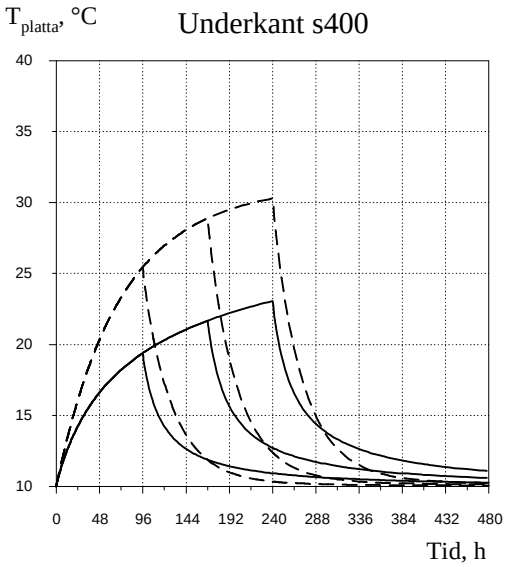


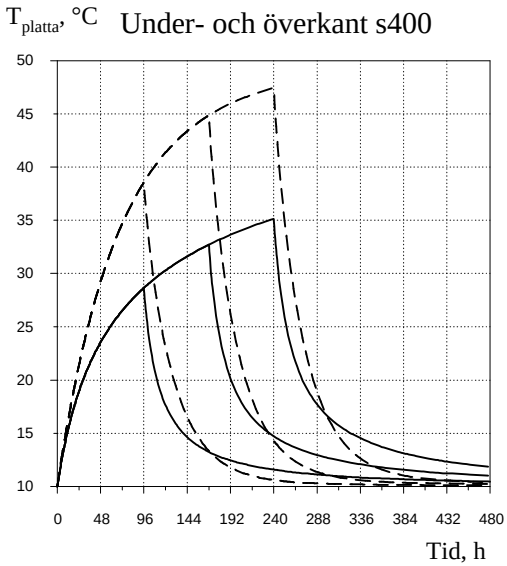
– – – Isolerat
—— Oisolerat

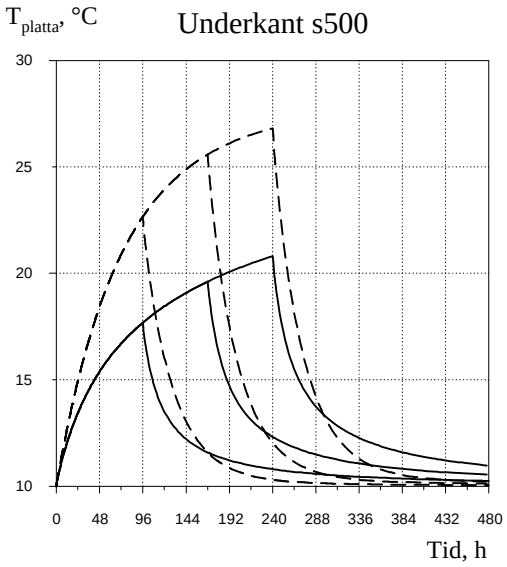
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur 10 °C

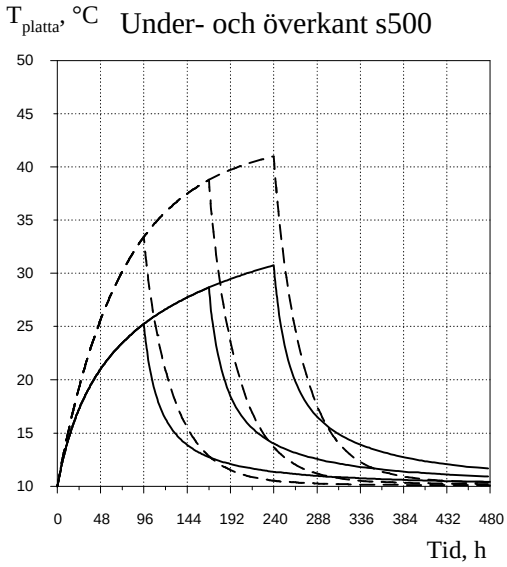






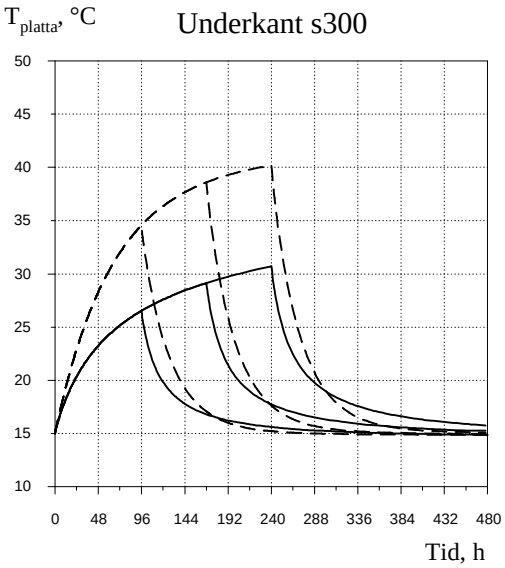


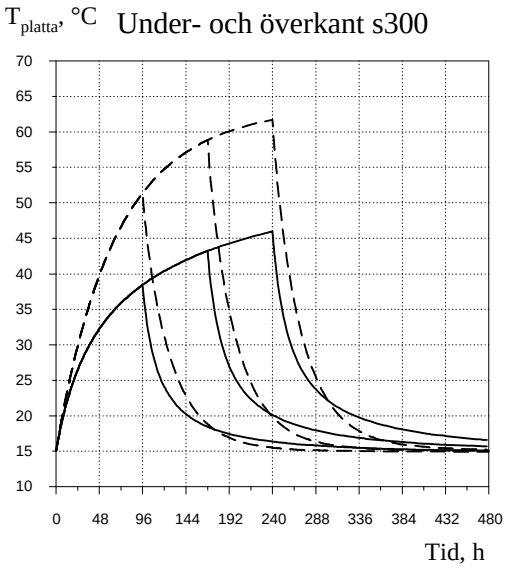


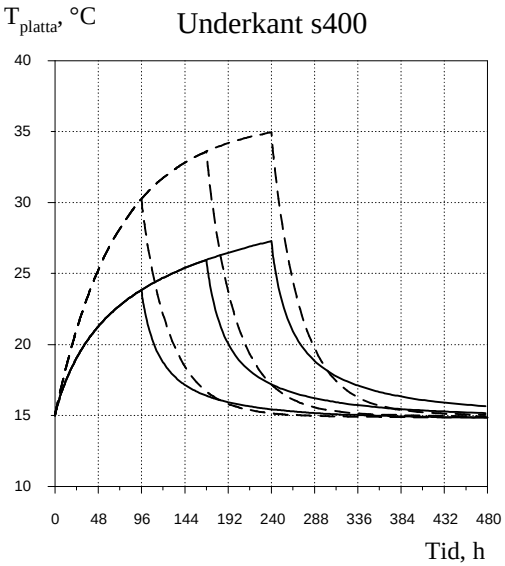


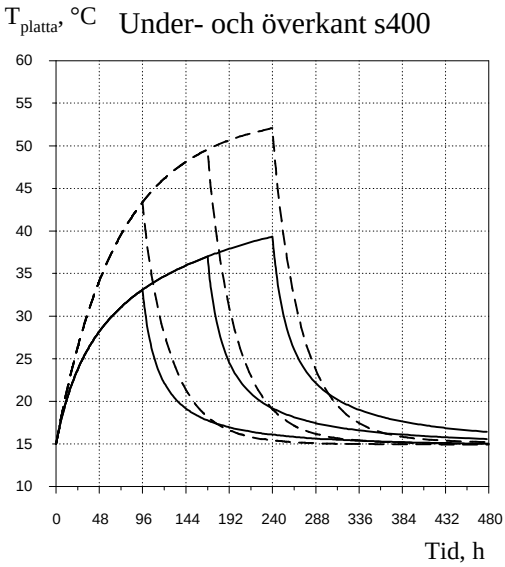
– – – Isolerat
—— Oisolerat

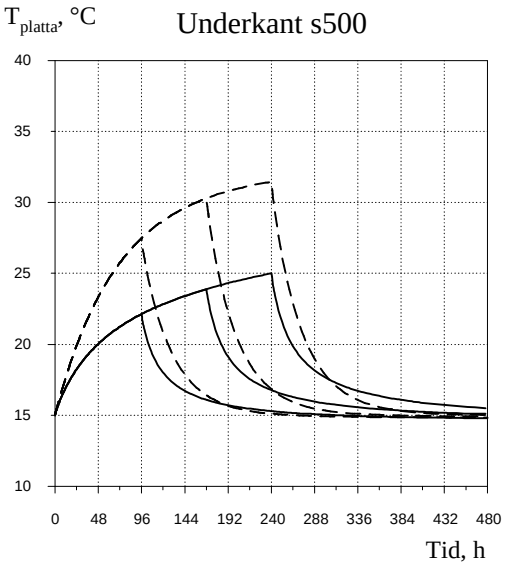
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur 15 °C

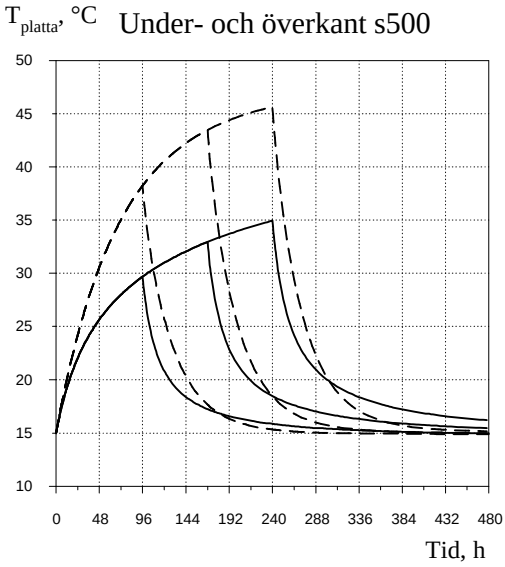






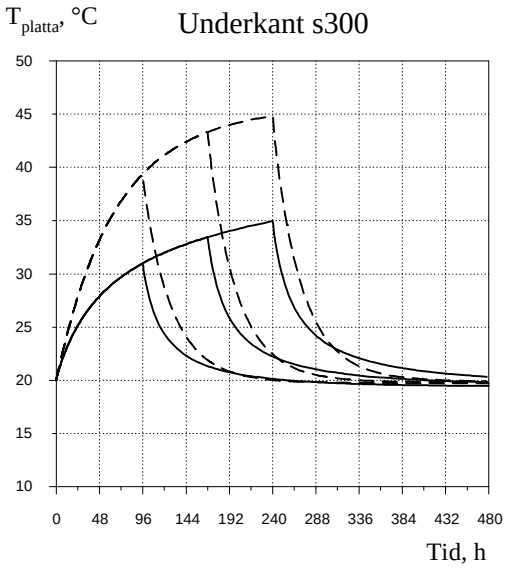


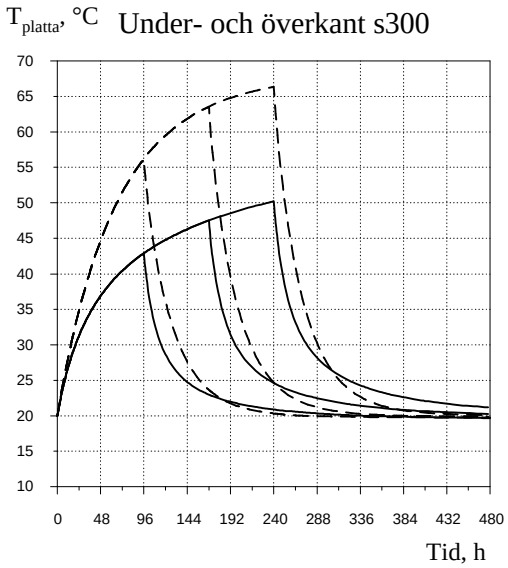


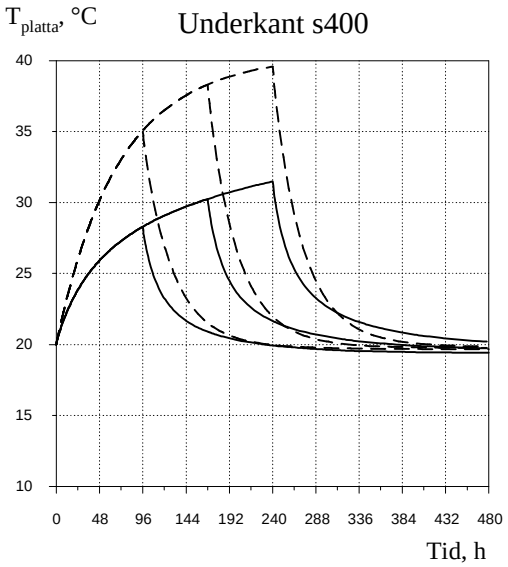


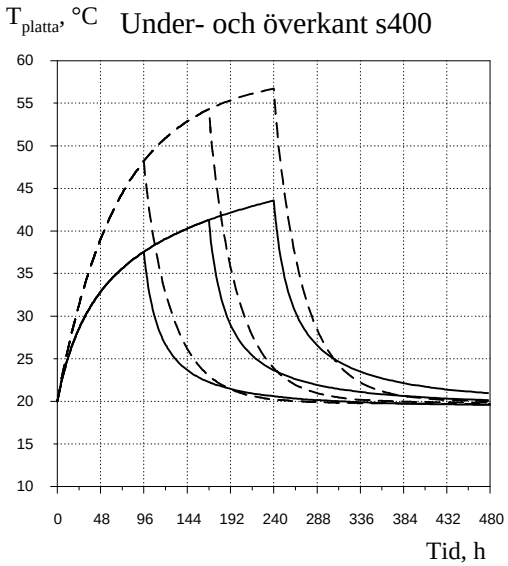
– – – Isolerat
—— Oisolerat

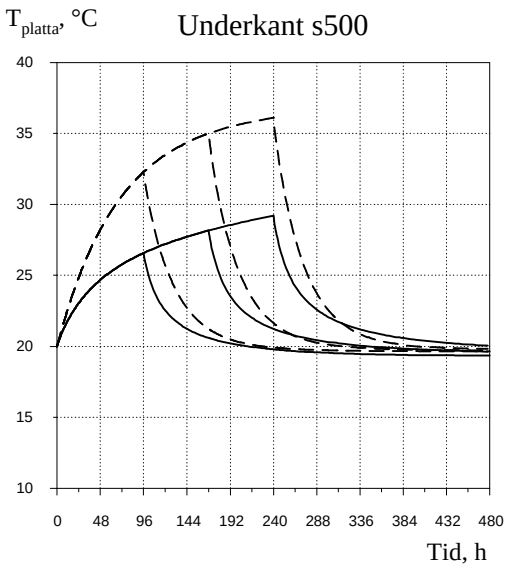
Plattjocklek 400 mm
Lufttemperatur 20 °C

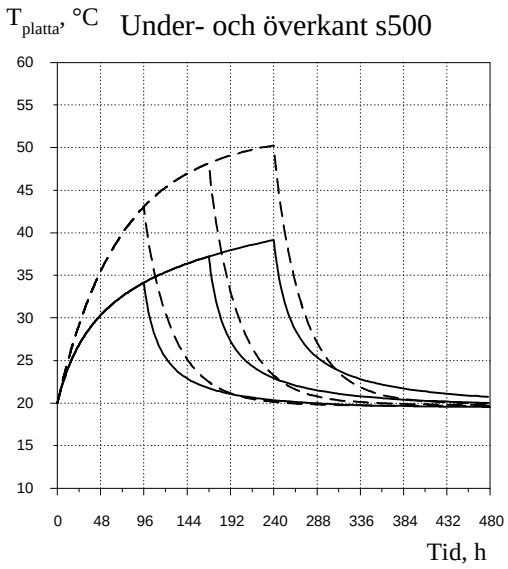






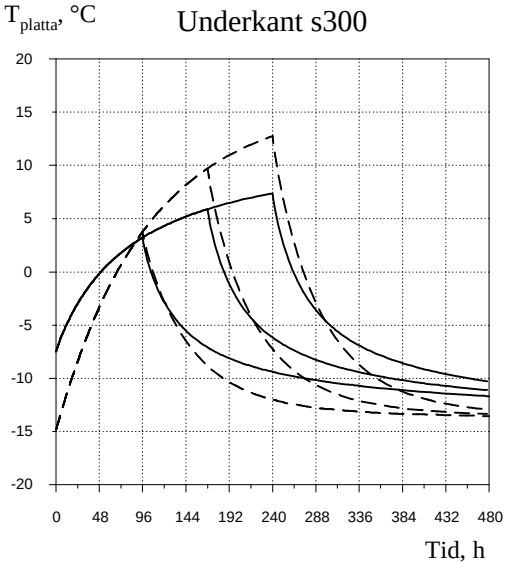


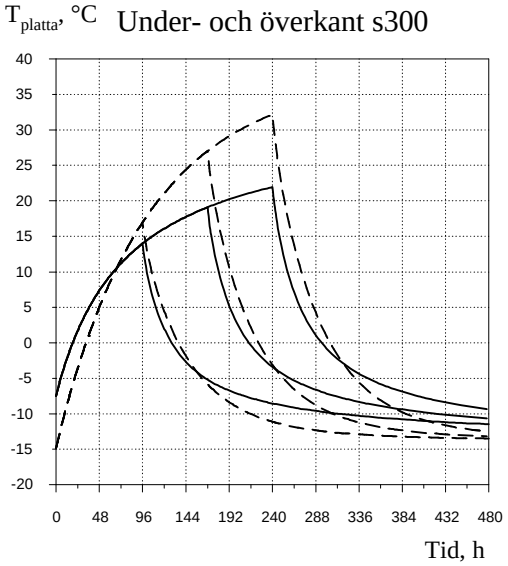


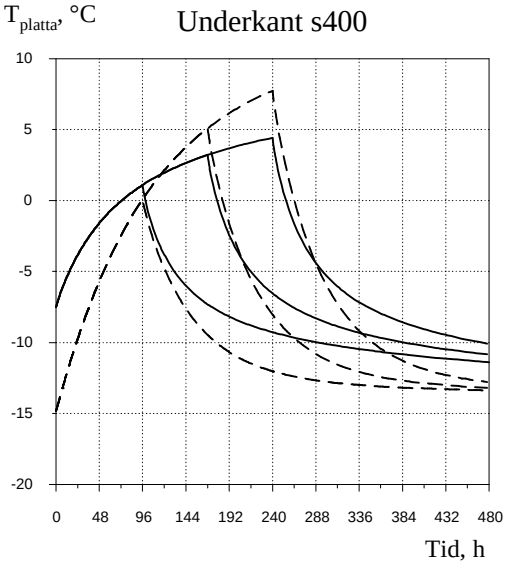


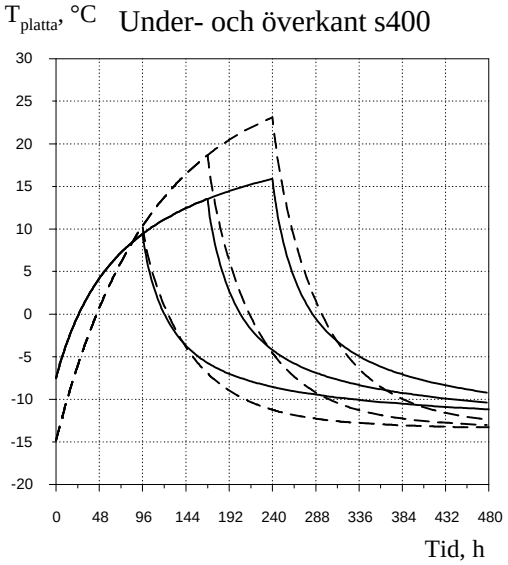
– – – Isolerat
—— Oisolerat

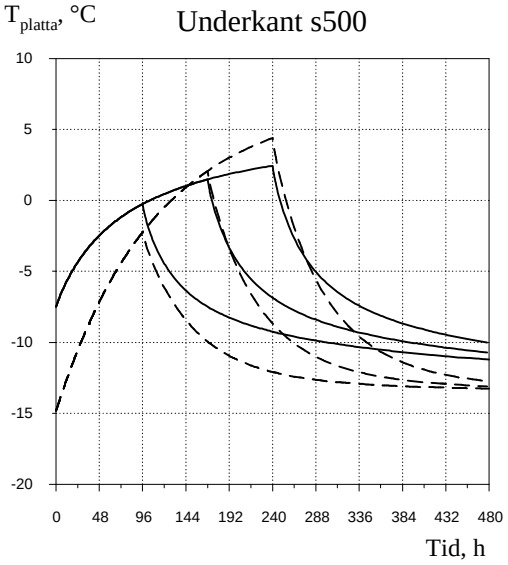
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur -15 °C

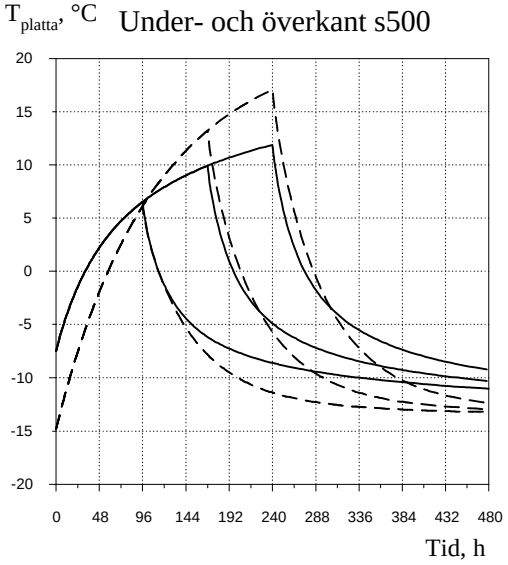






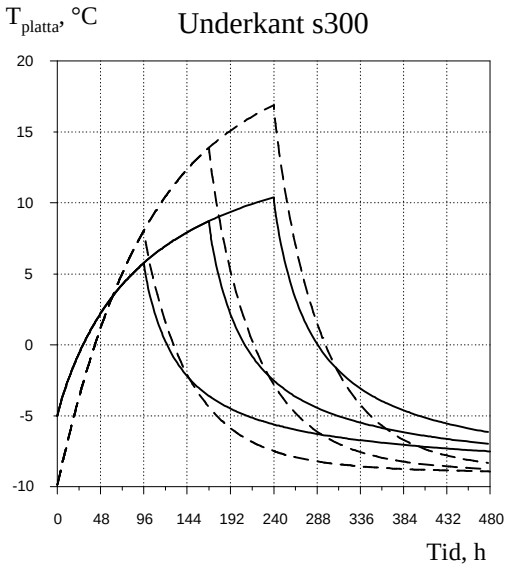


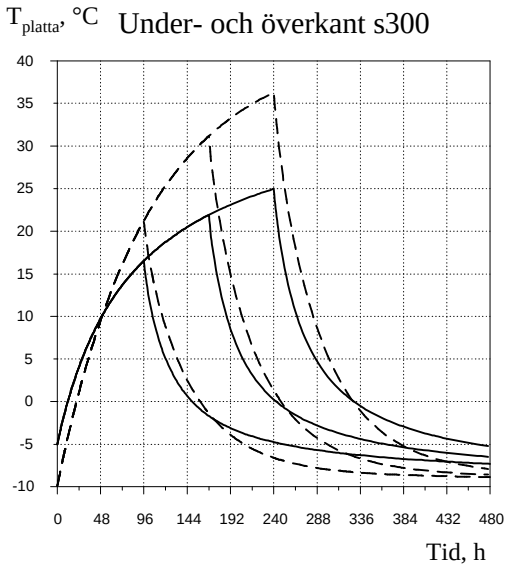


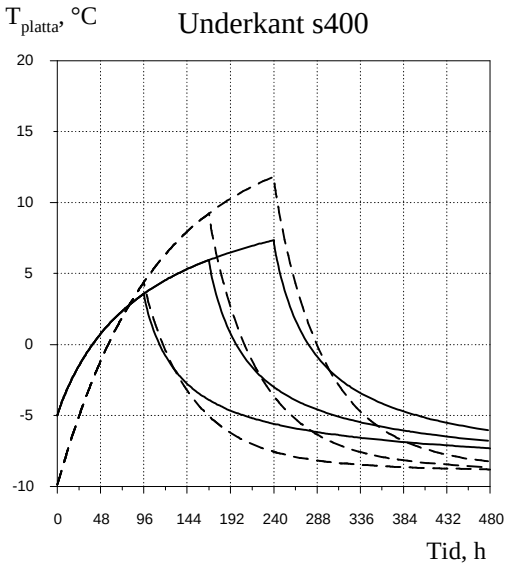


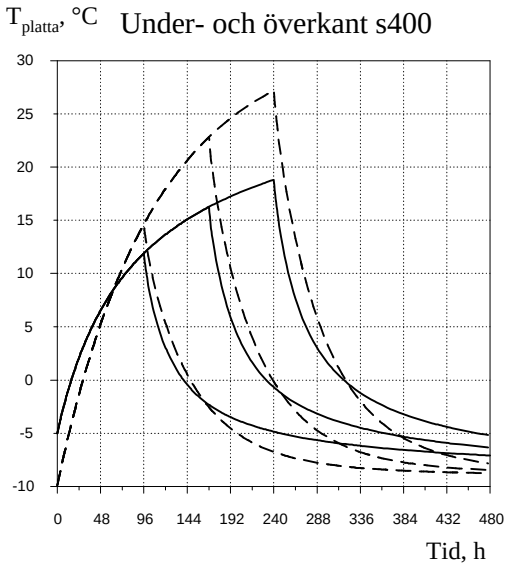
– – – Isolerat
—— Oisolerat

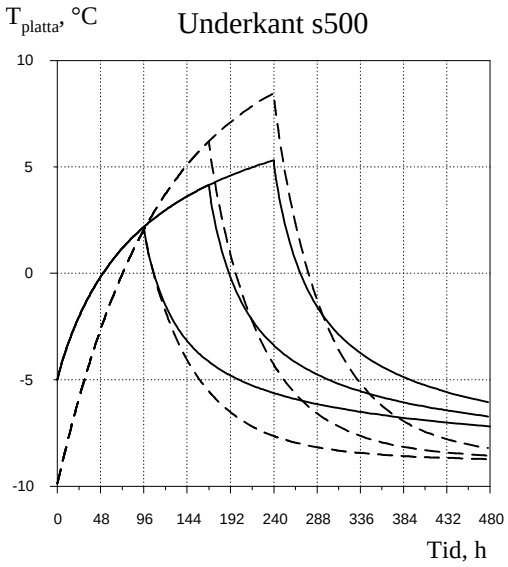
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur -10 °C

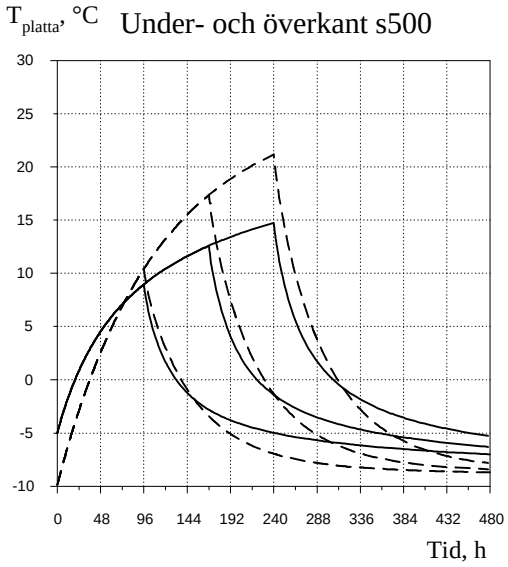






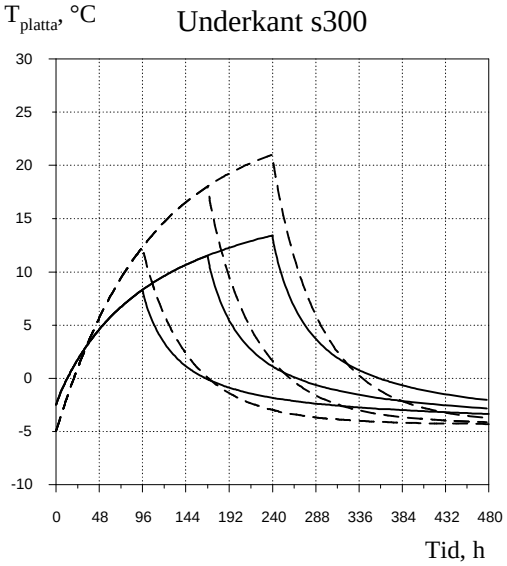


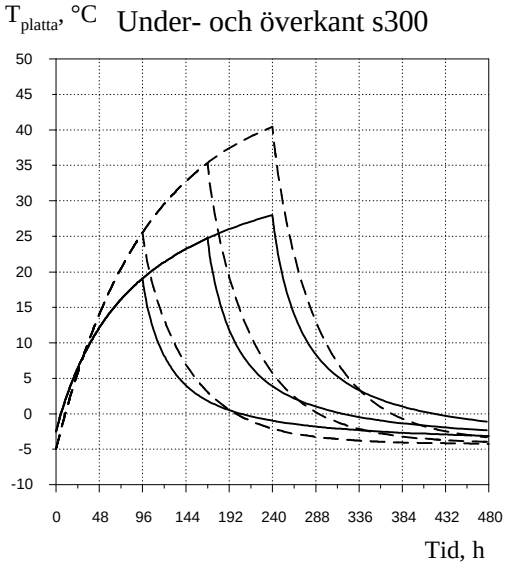


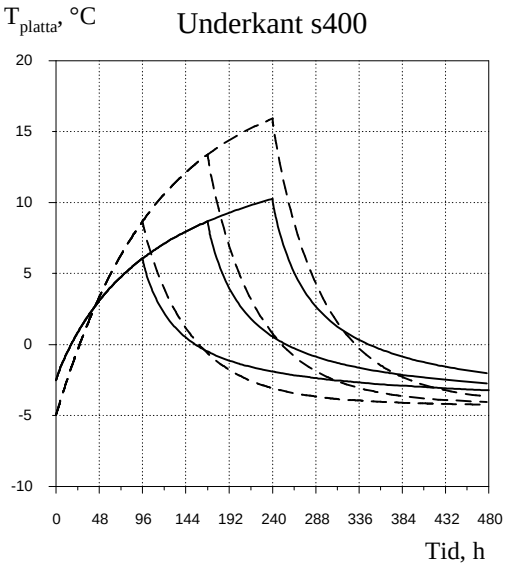


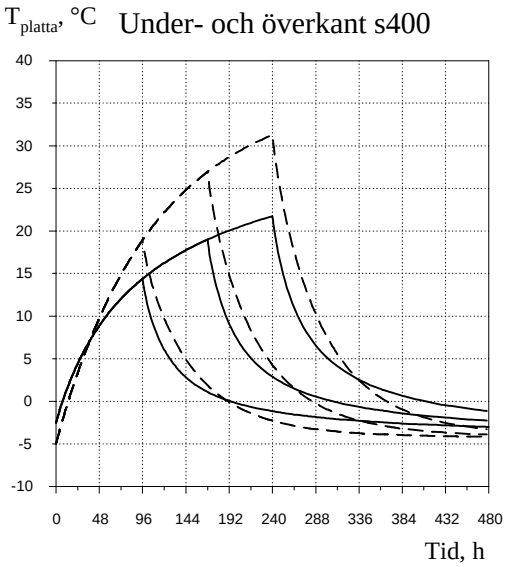
– – – Isolerat
—— Oisolerat

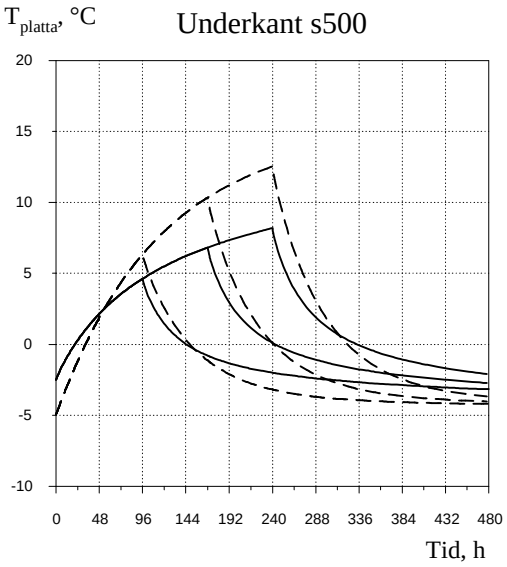
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur -5 °C

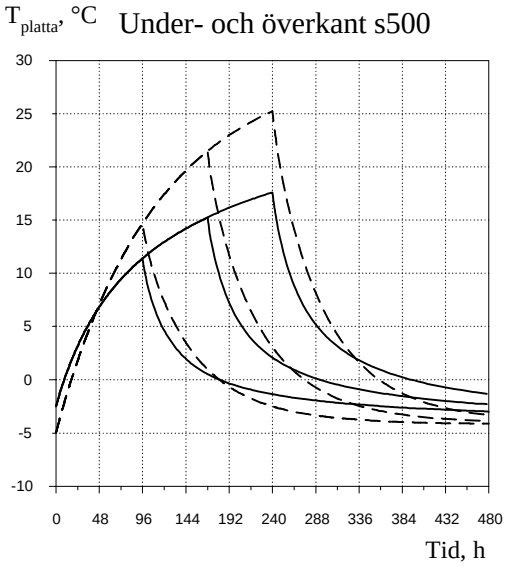






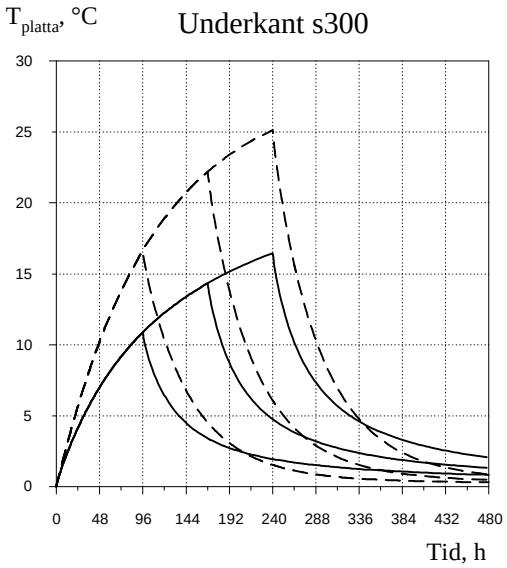


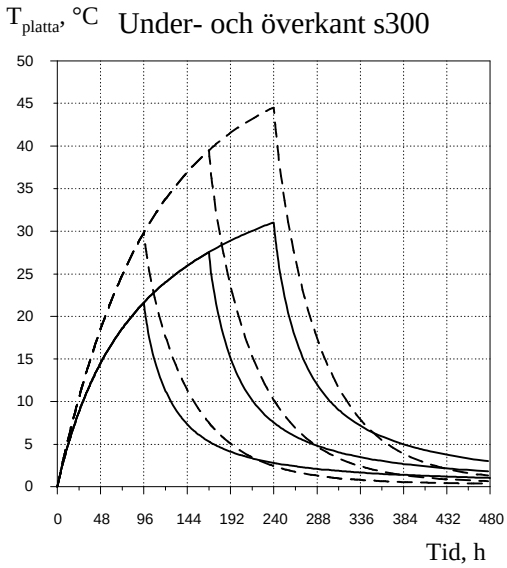


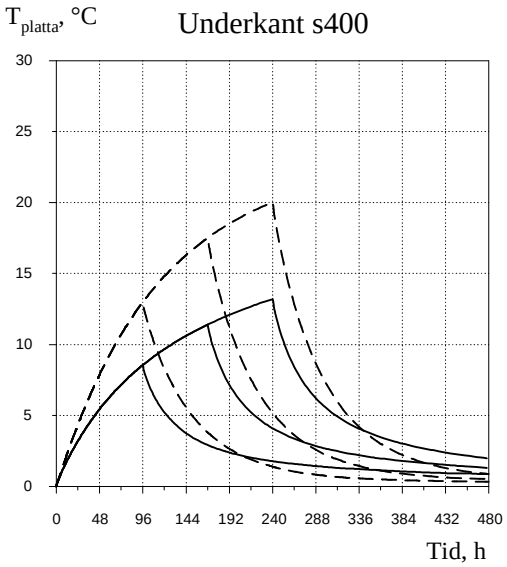


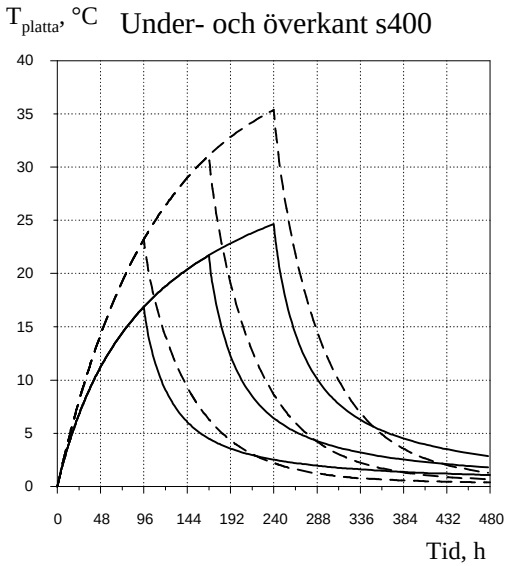
– – – Isolerat
—— Oisolerat

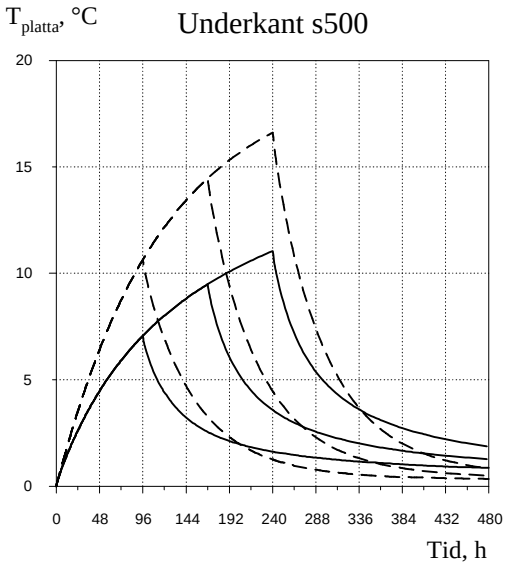
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur 0 °C

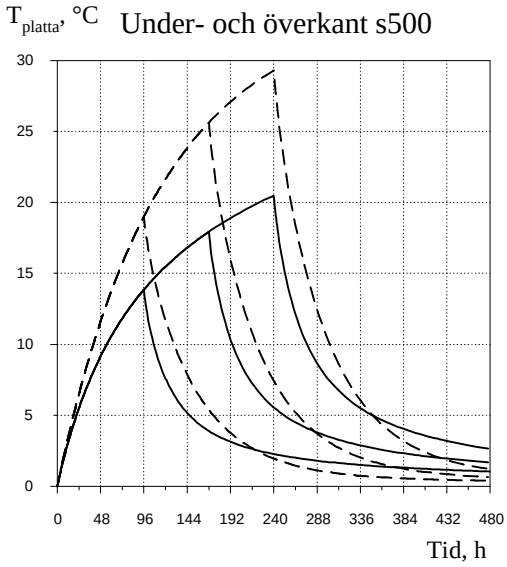






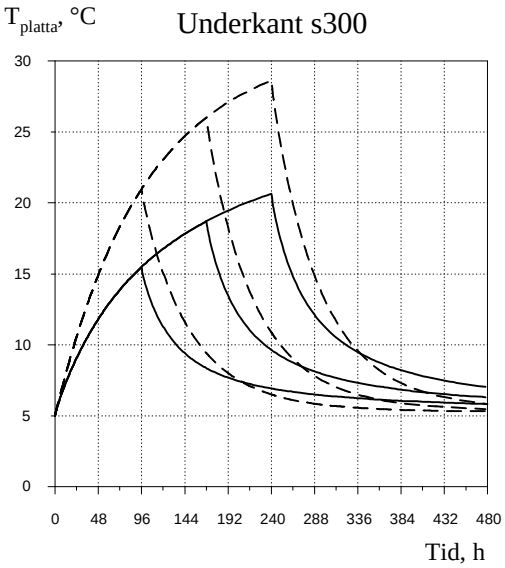


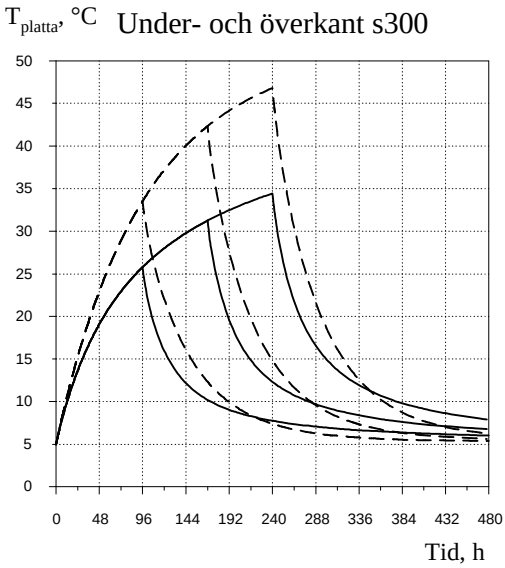


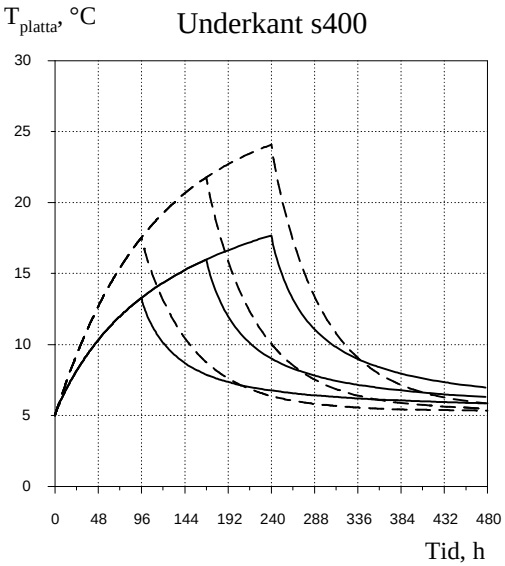


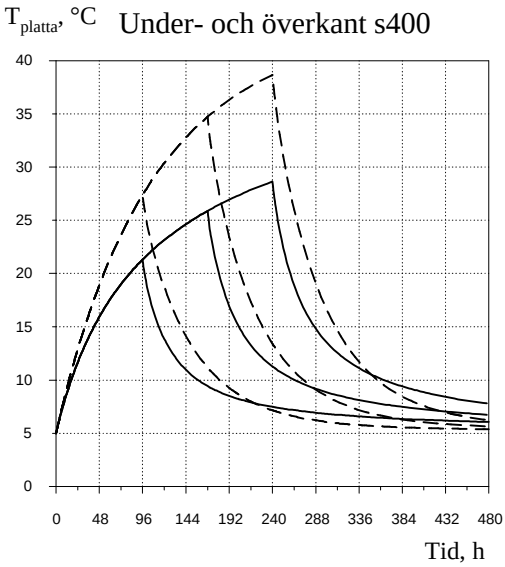
– – – Isolerat
—— Oisolerat

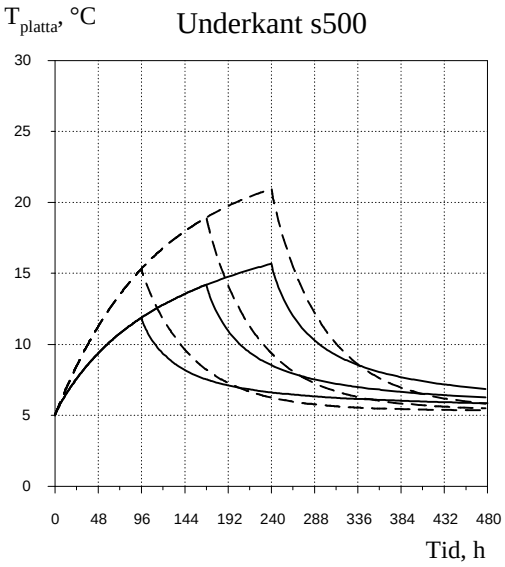
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur 5 °C

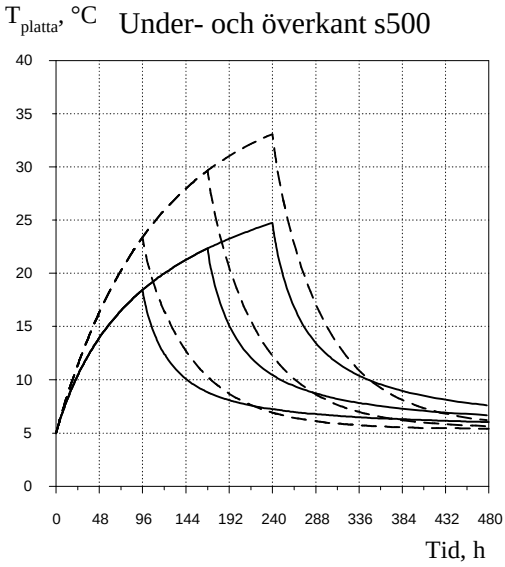






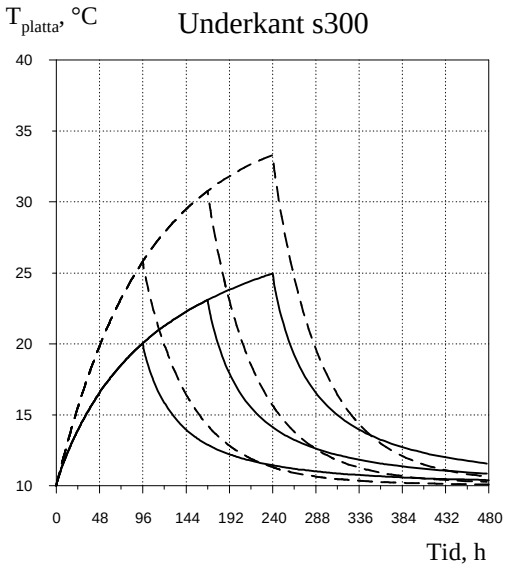


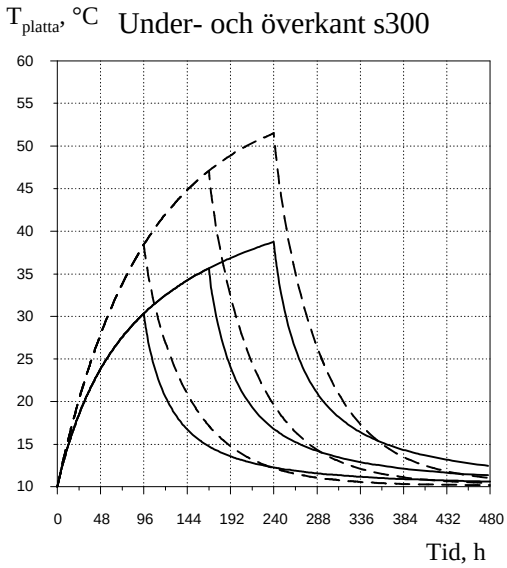


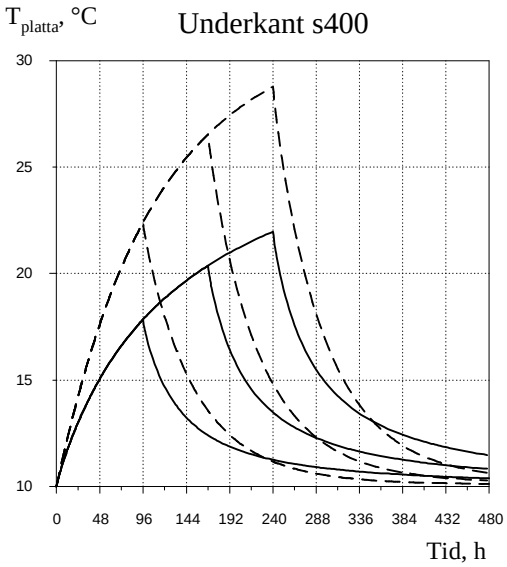


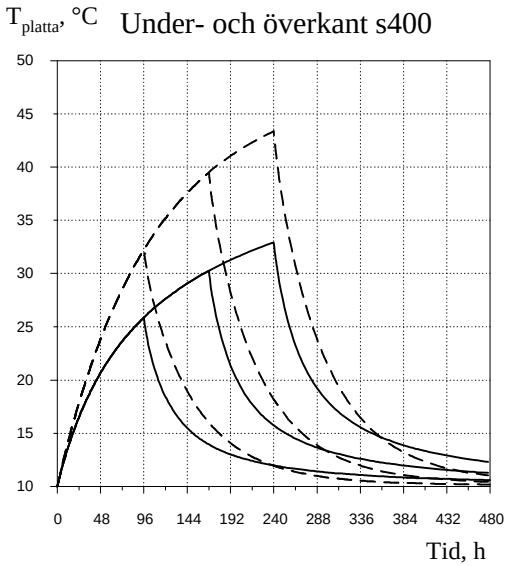
– – – Isolerat
—— Oisolerat

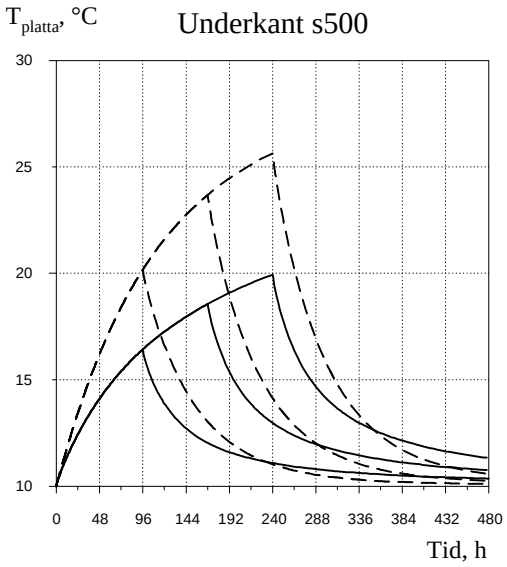
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur 10 °C

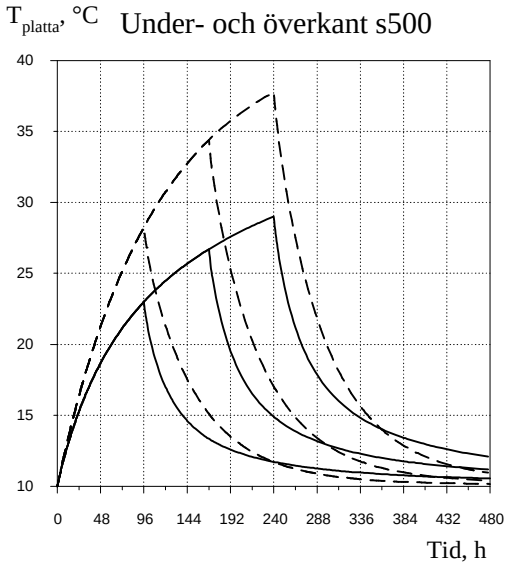






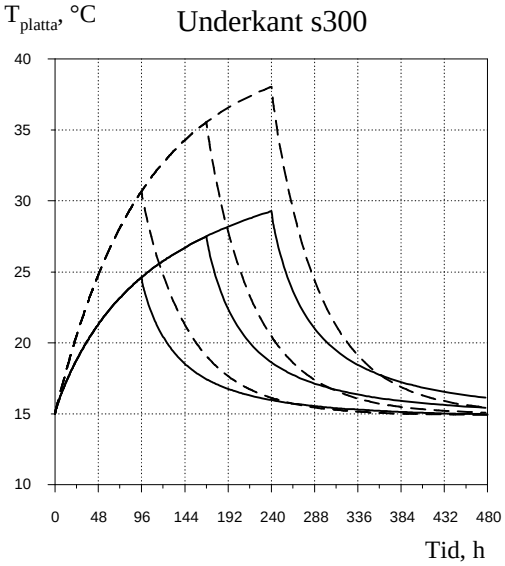


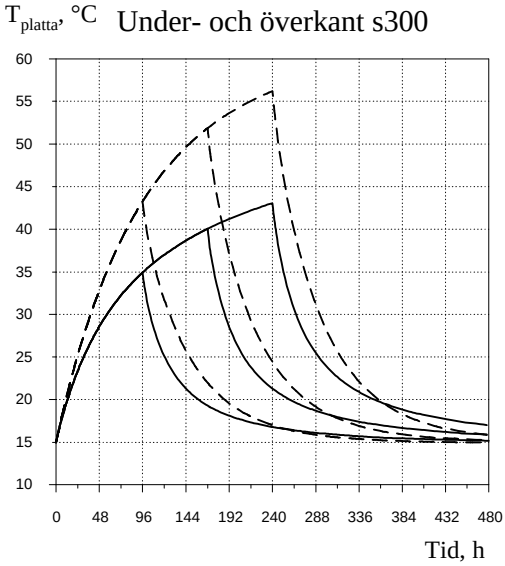


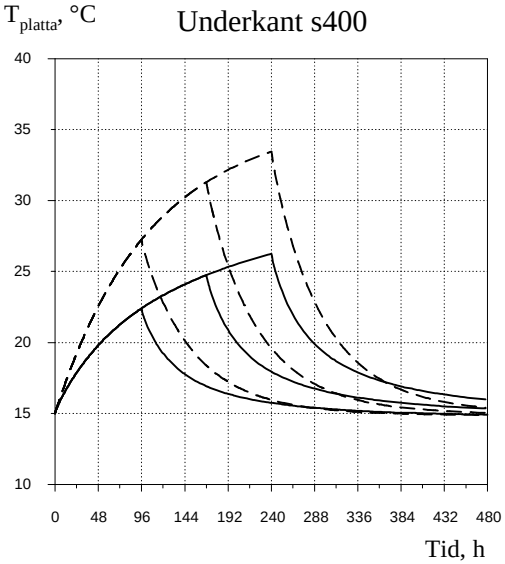


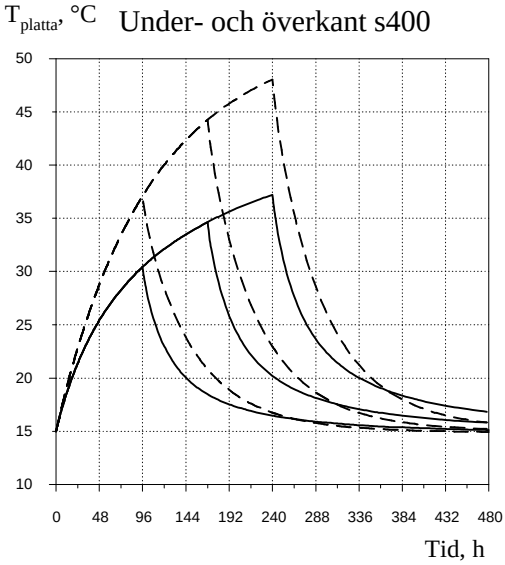
– – – Isolerat
—— Oisolerat

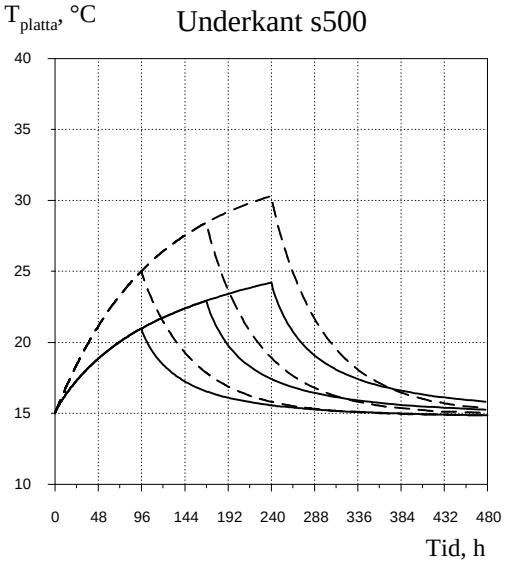
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur 15 °C

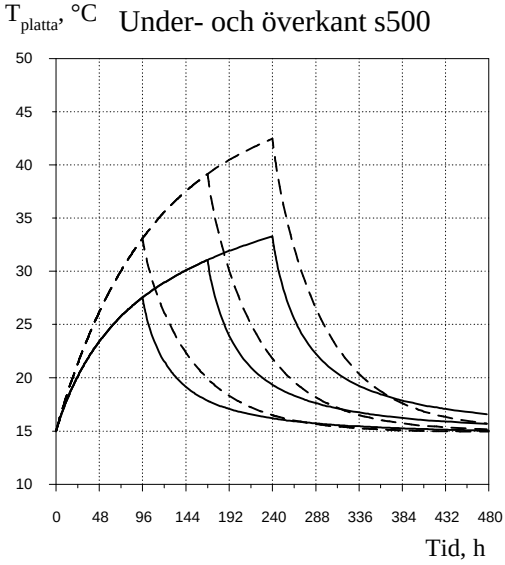






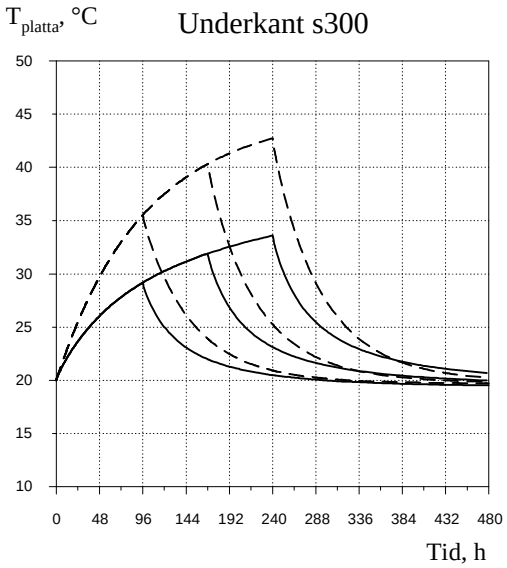


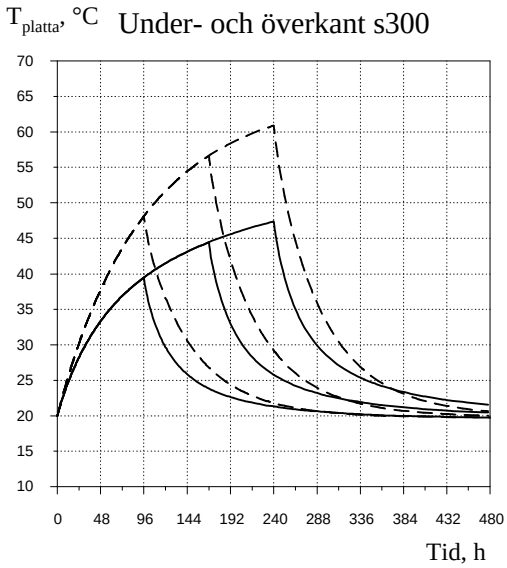


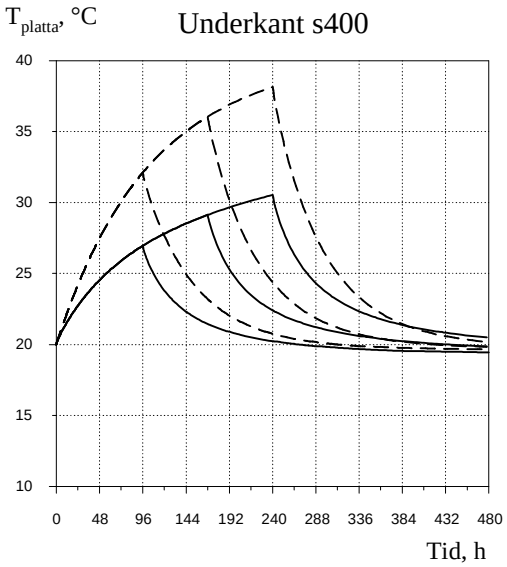


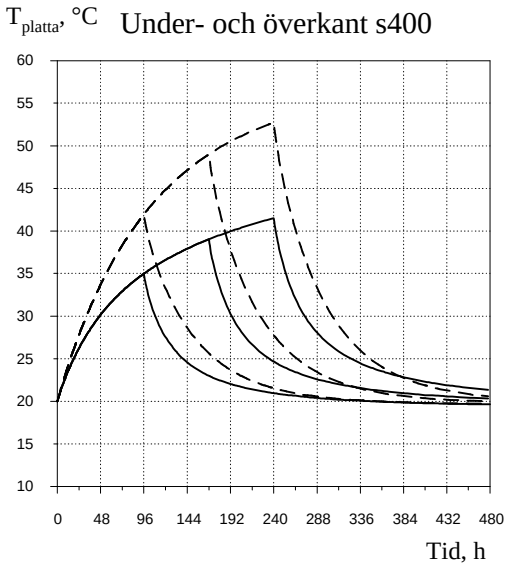
– – – Isolerat
—— Oisolerat

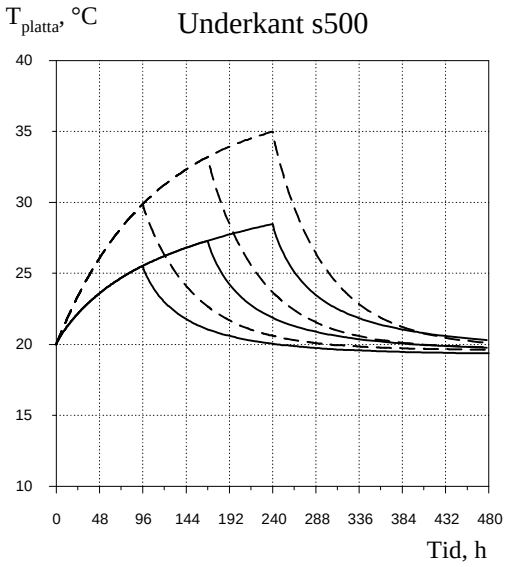
Plattjocklek 600 mm
Lufttemperatur 20 °C

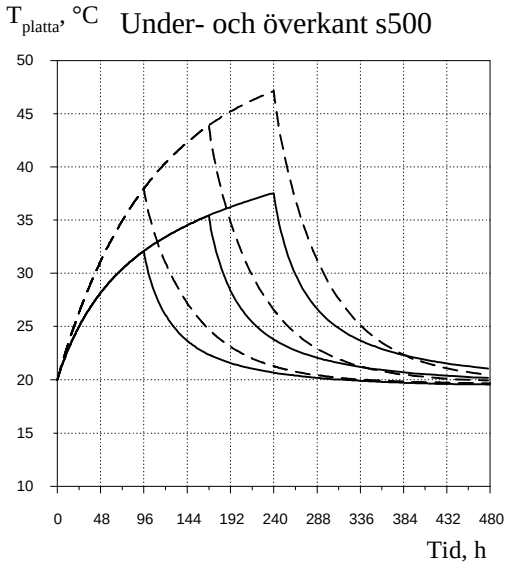






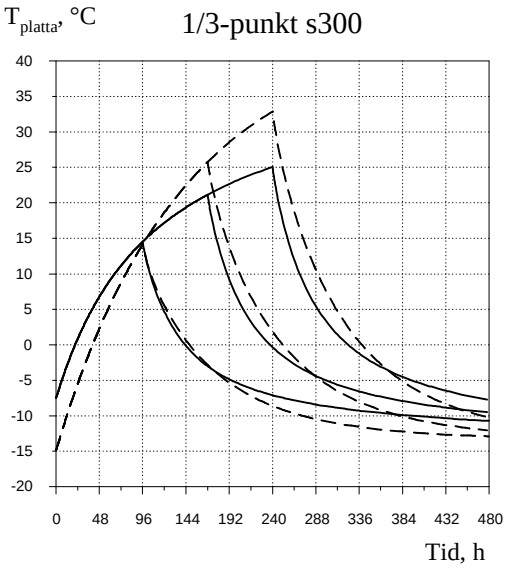


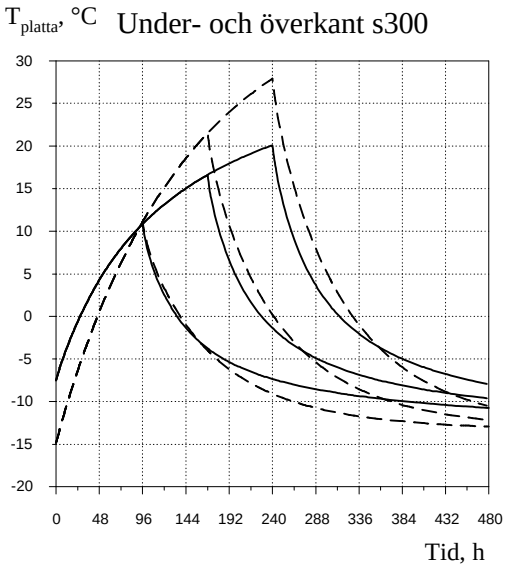


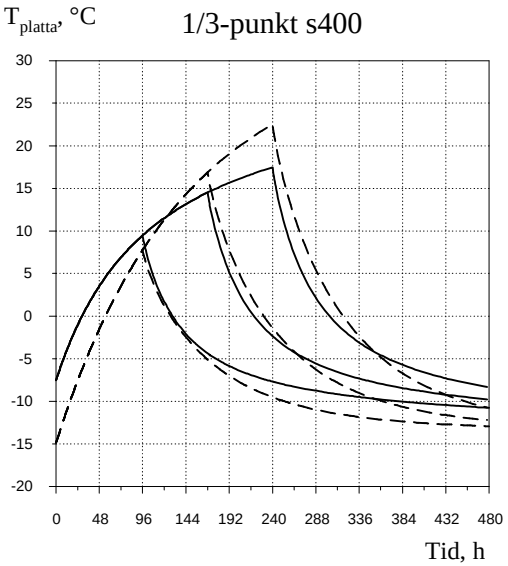


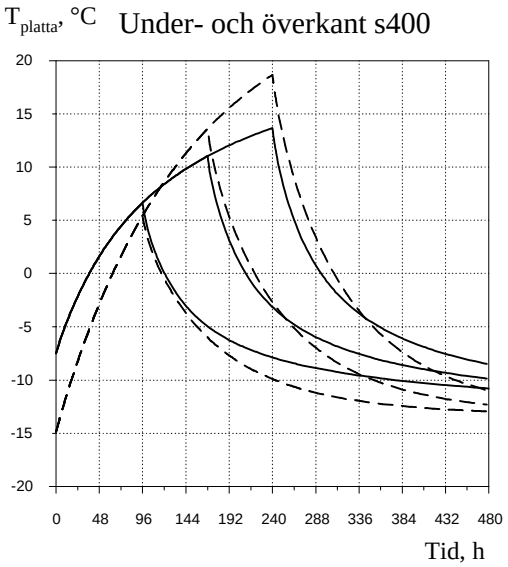
– – – Isolerat
—— Oisolerat

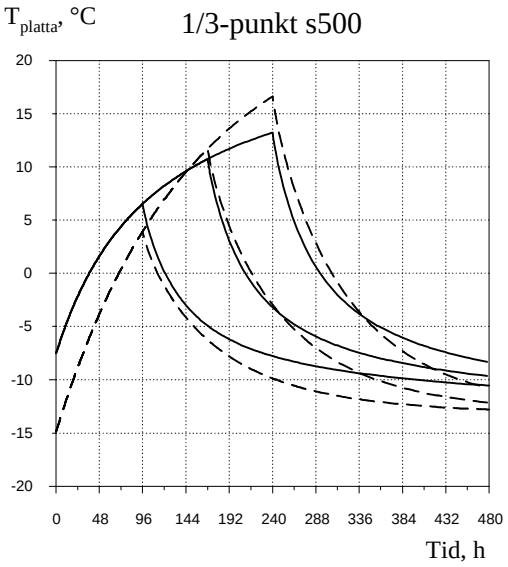
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur -15 °C

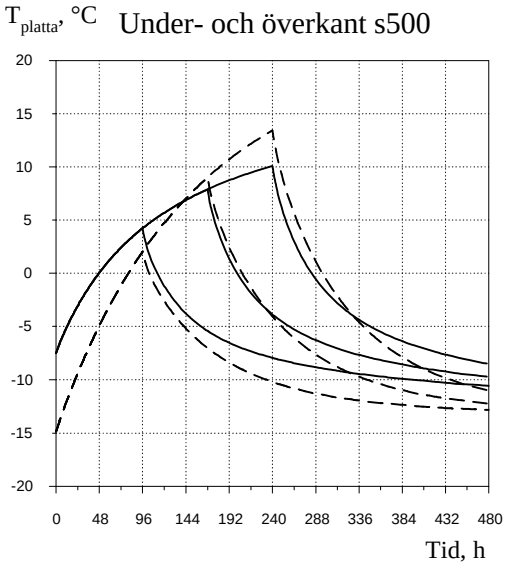






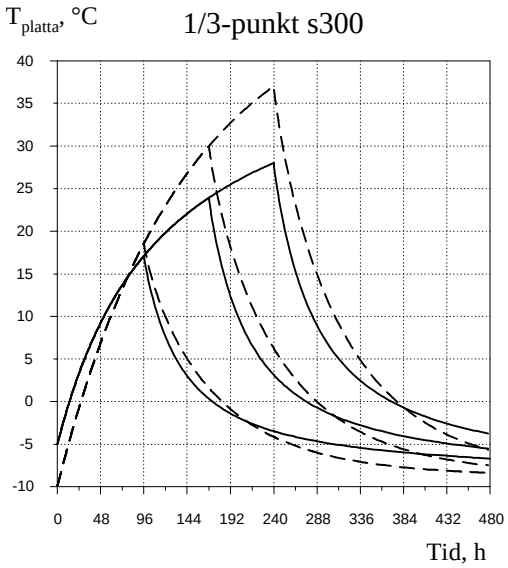


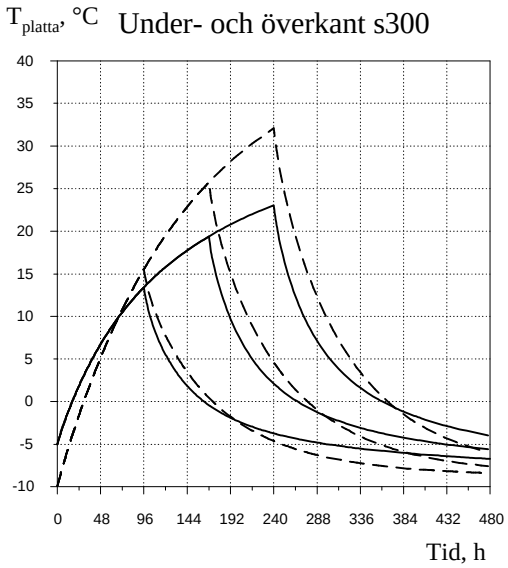


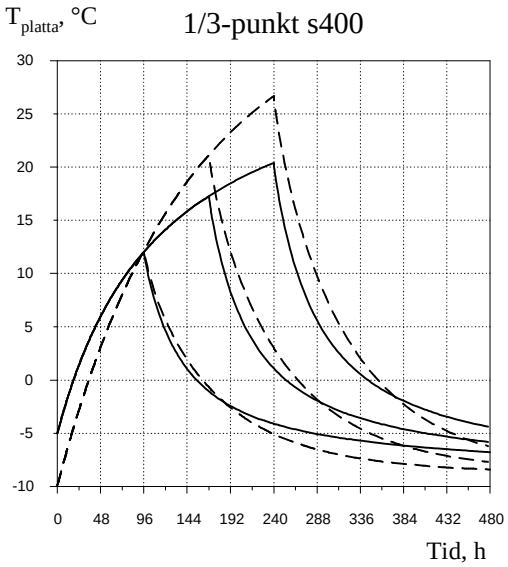


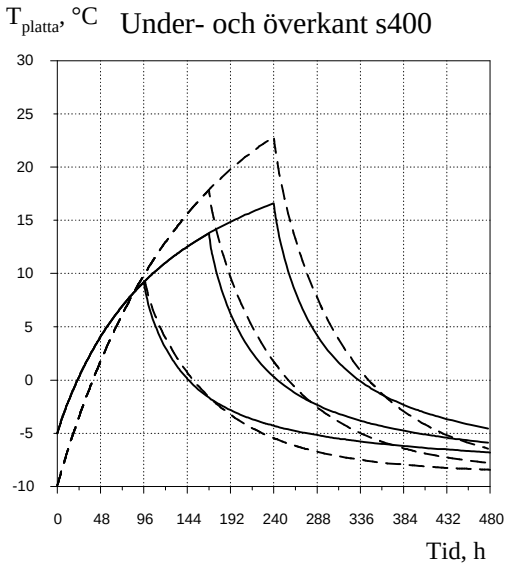
– – – Isolerat
—— Oisolerat

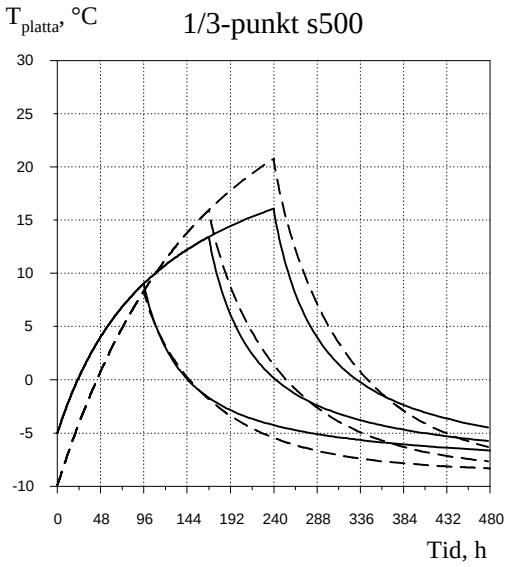
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur -10 °C

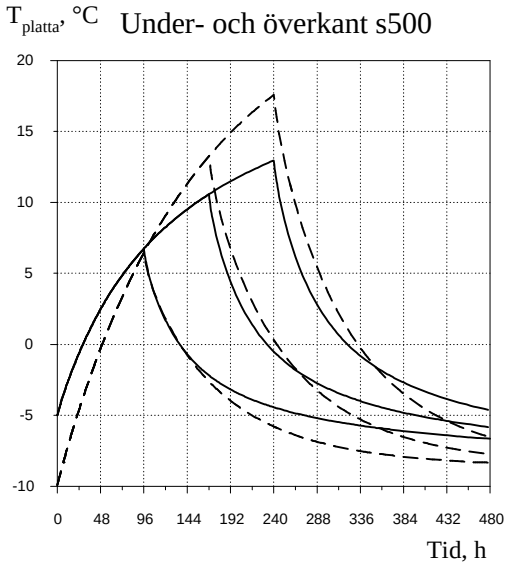






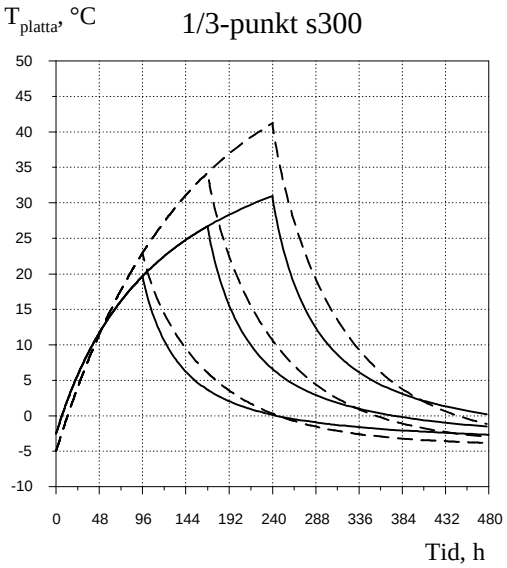


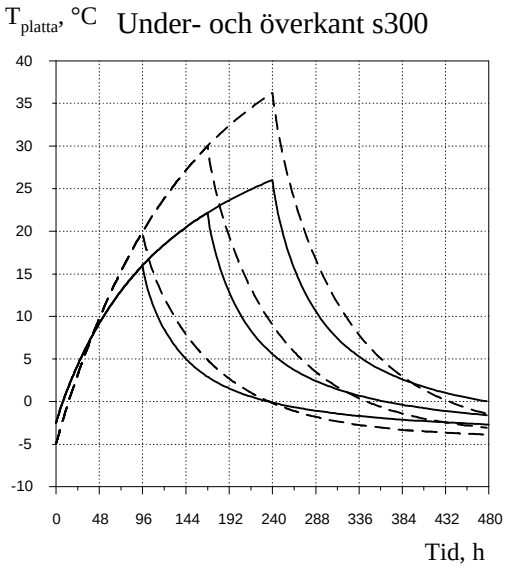


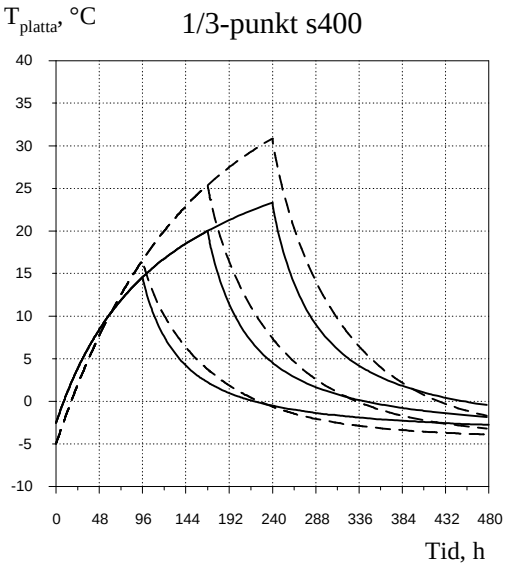


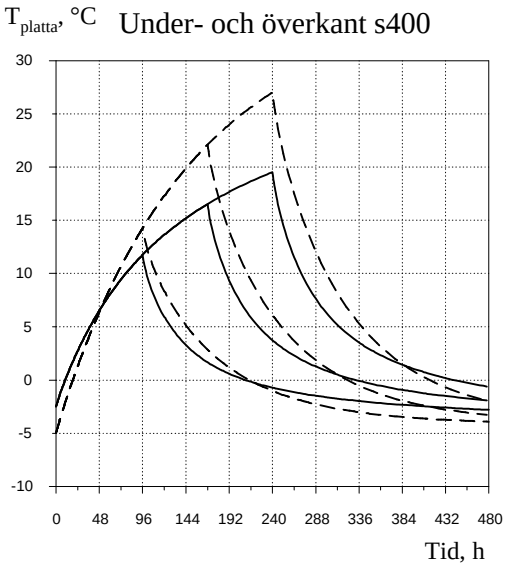
– – – Isolerat
—— Oisolerat

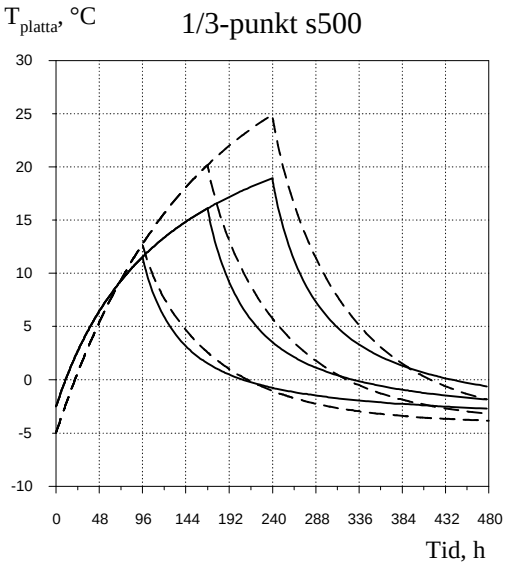
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur -5 °C

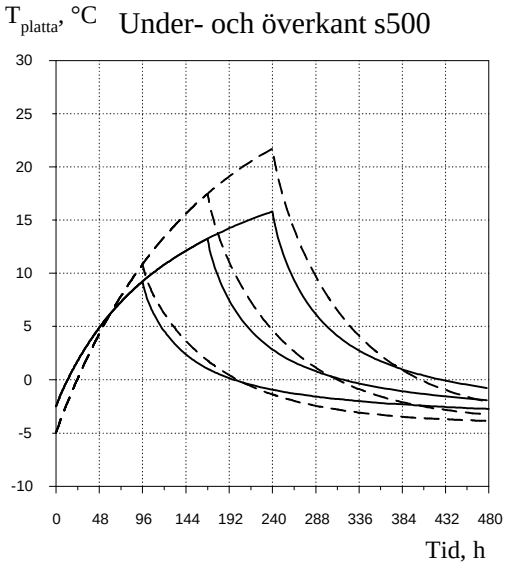






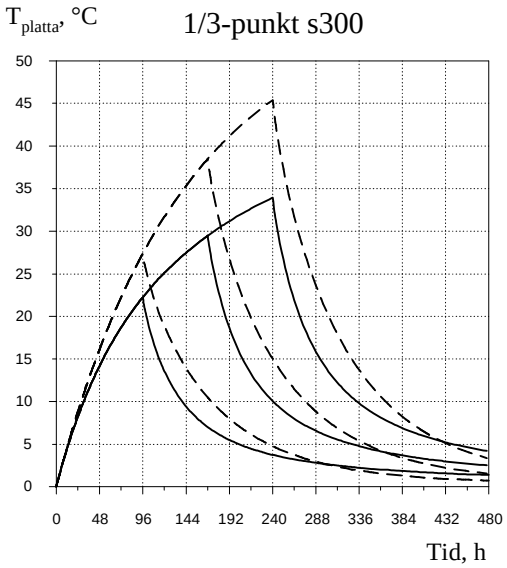


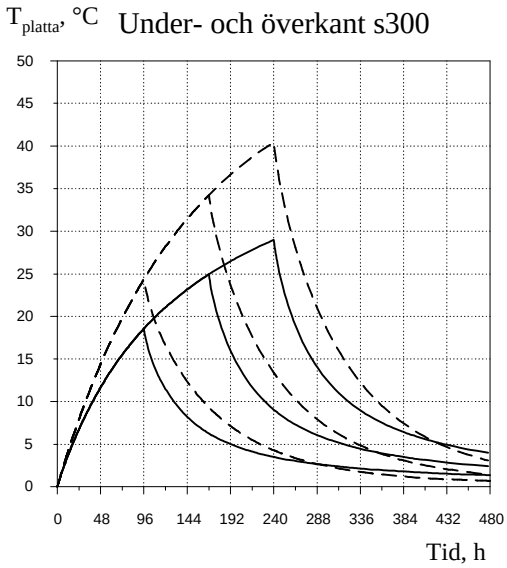


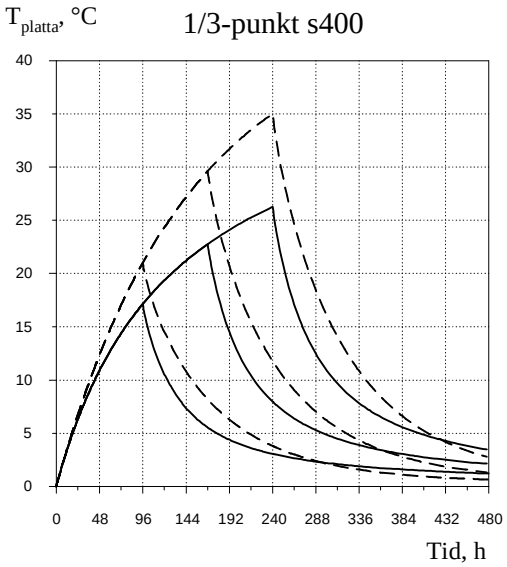


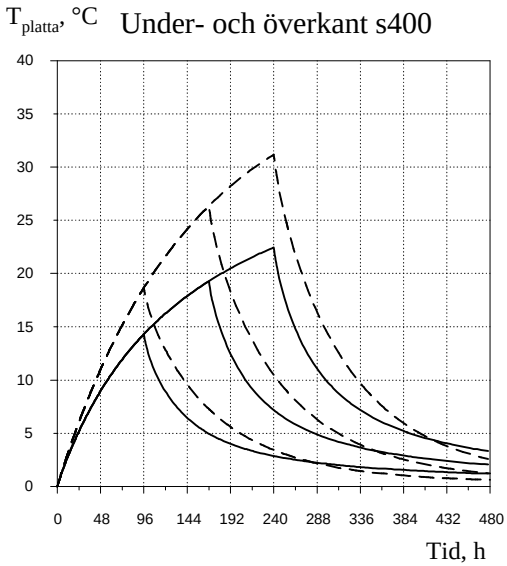
– – – Isolerat
—— Oisolerat

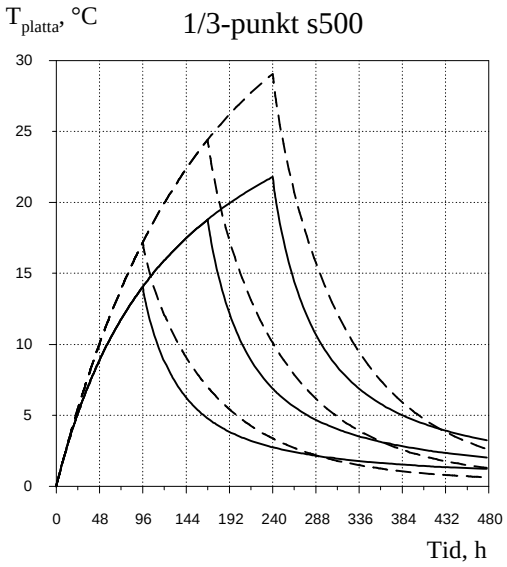
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur 0 °C

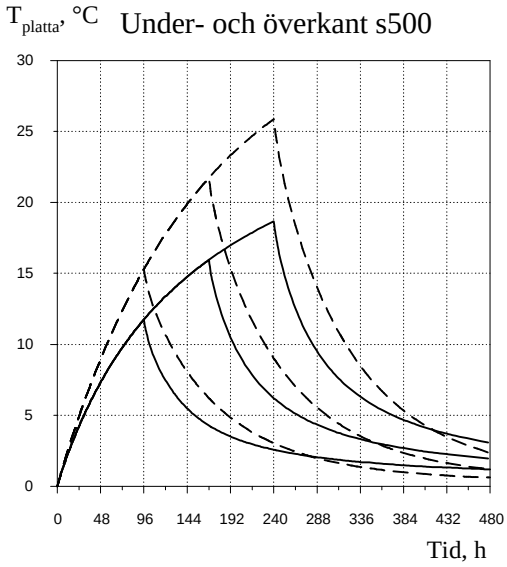






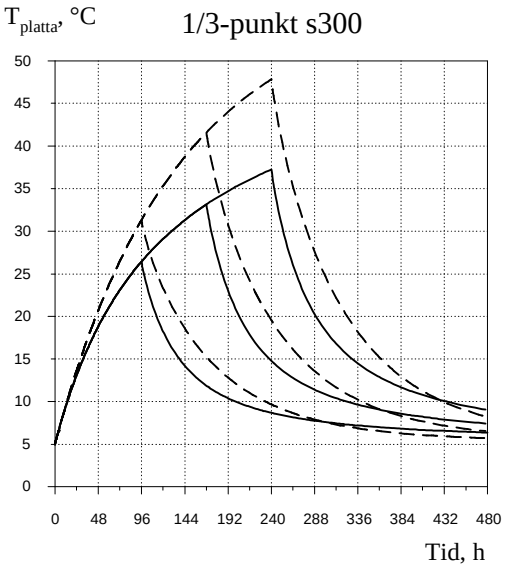


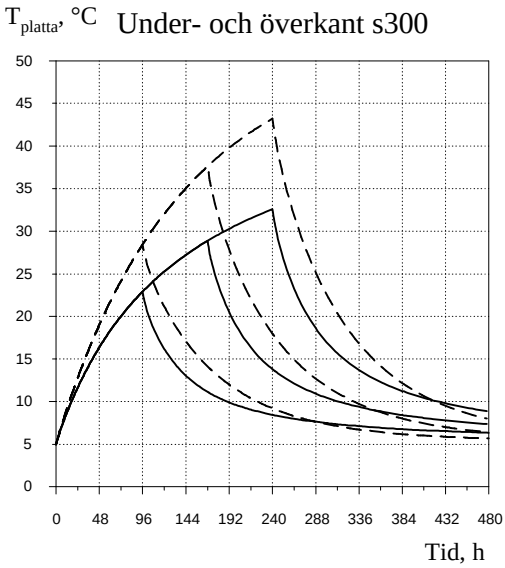


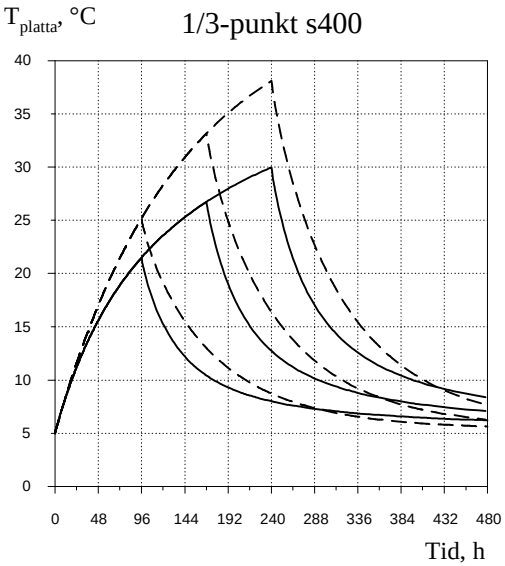


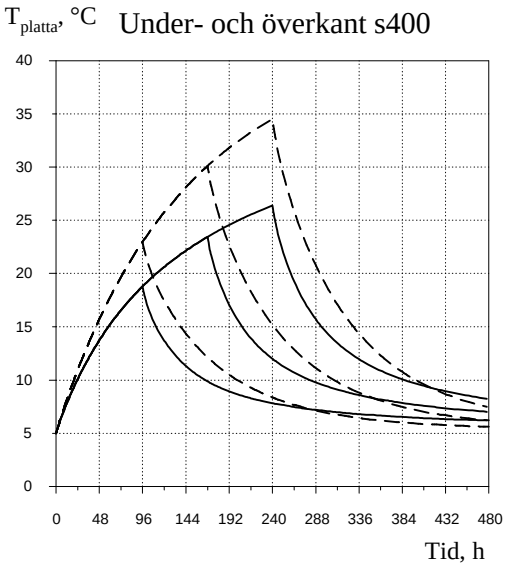
– – – Isolerat
—— Oisolerat

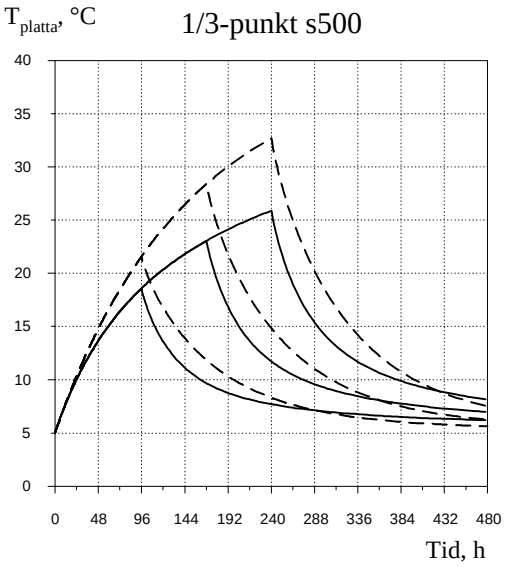
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur 5 °C

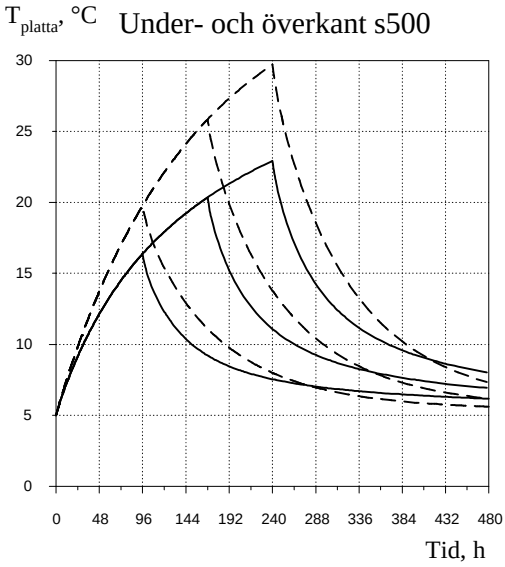






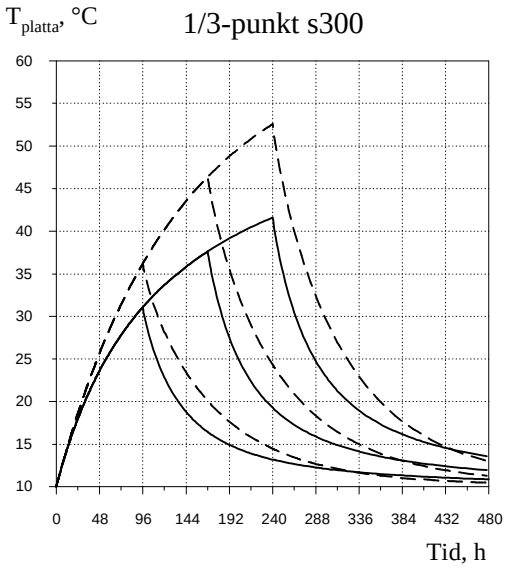


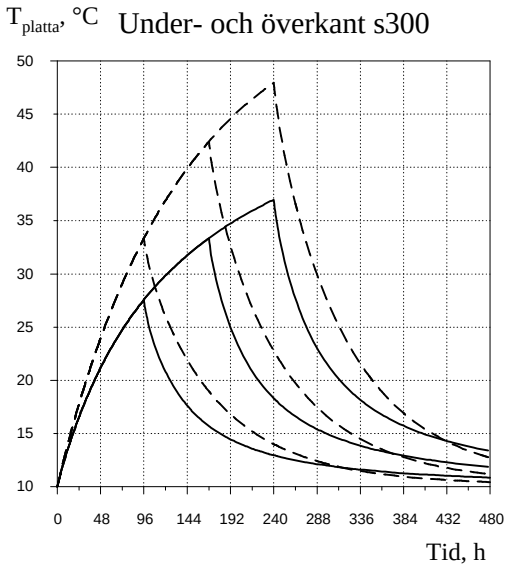


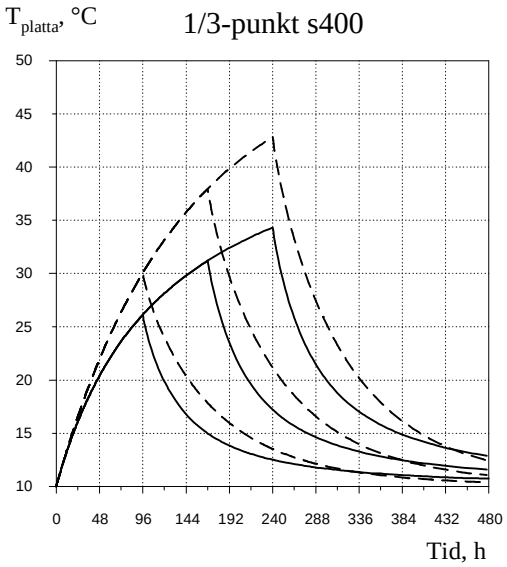


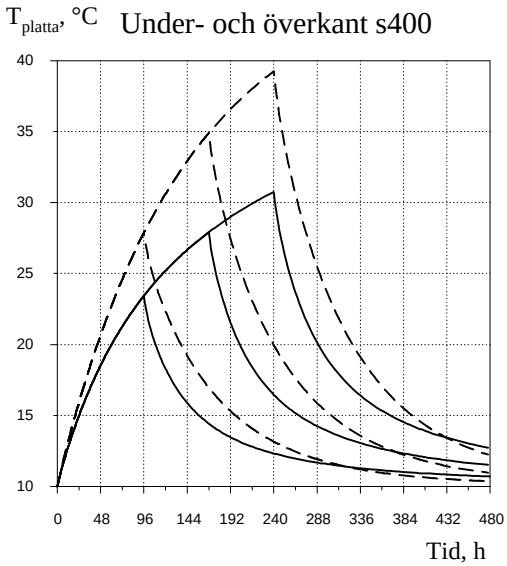
– – – Isolerat
—— Oisolerat

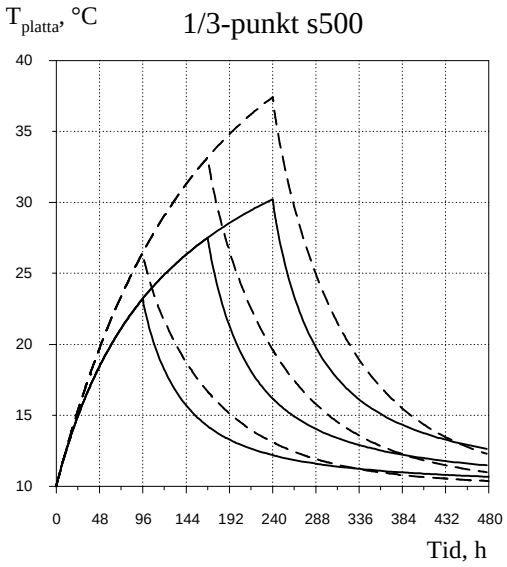
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur 10 °C

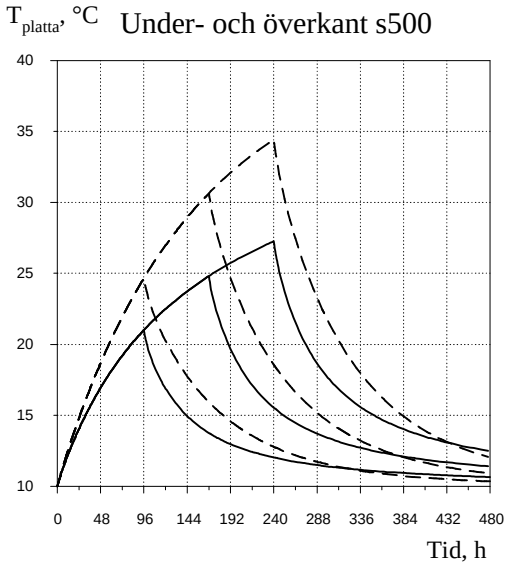






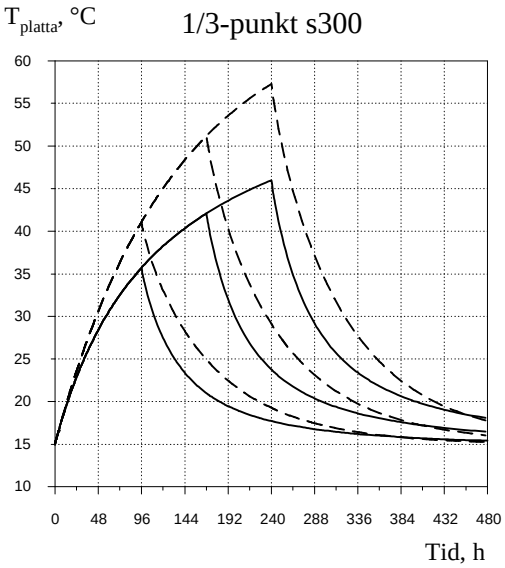


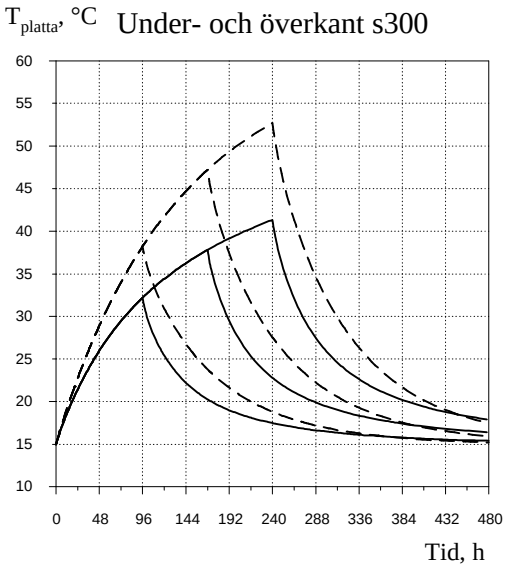


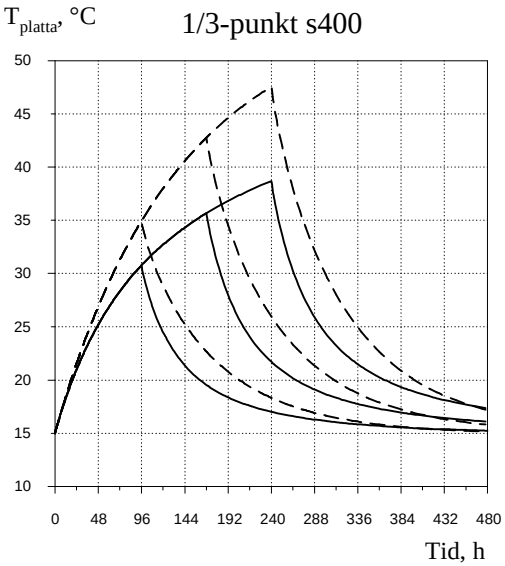


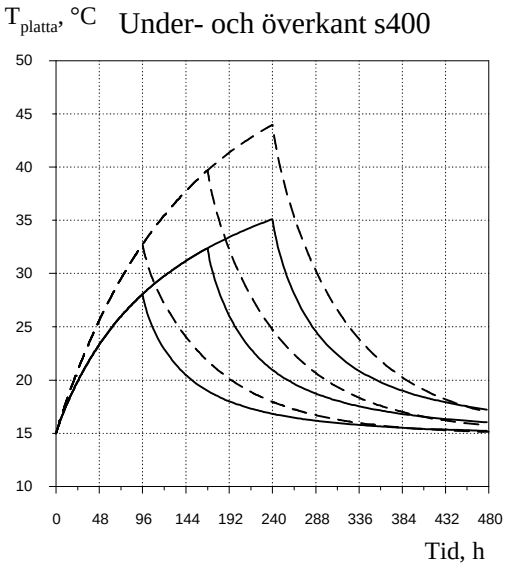
– – – Isolerat
—— Oisolerat

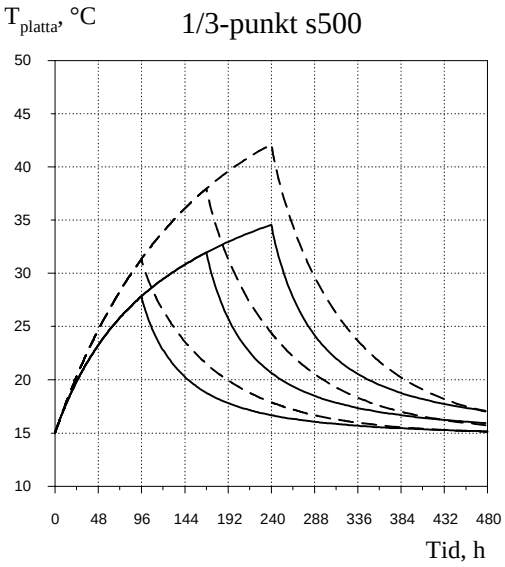
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur 15 °C

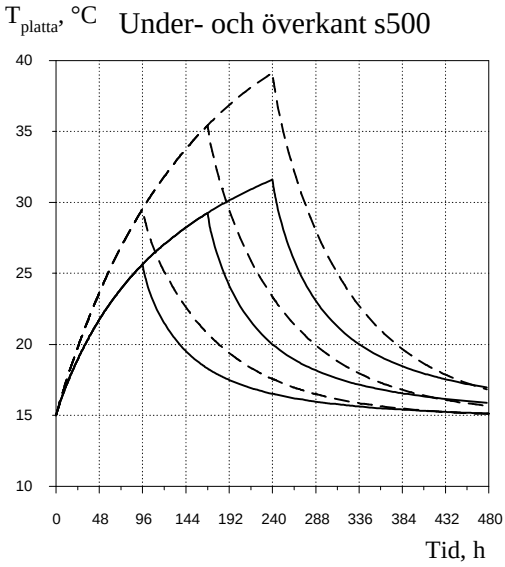






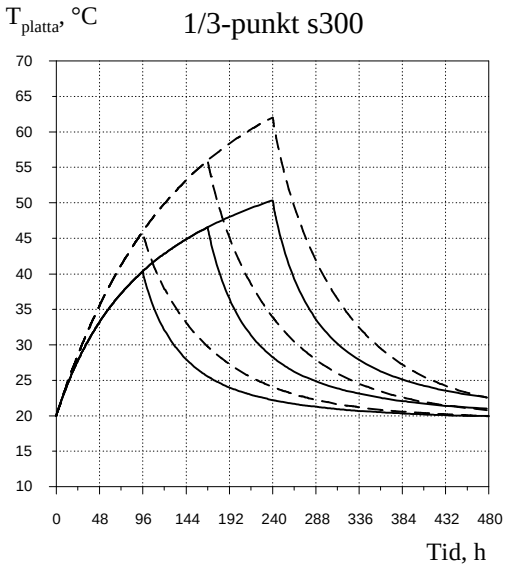


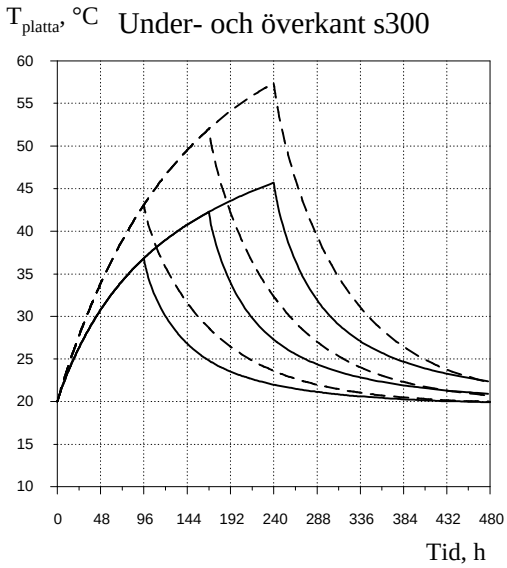


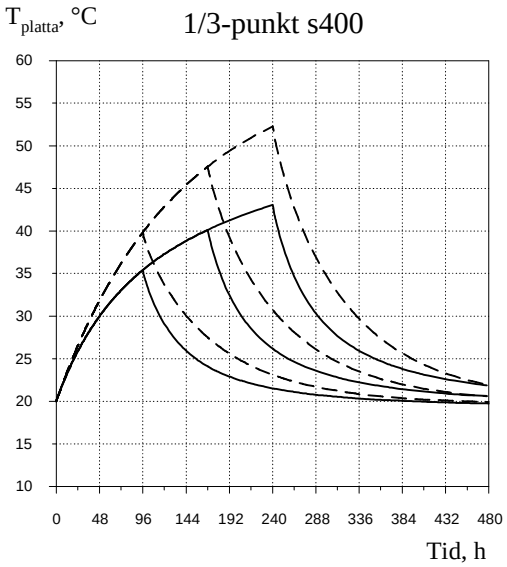


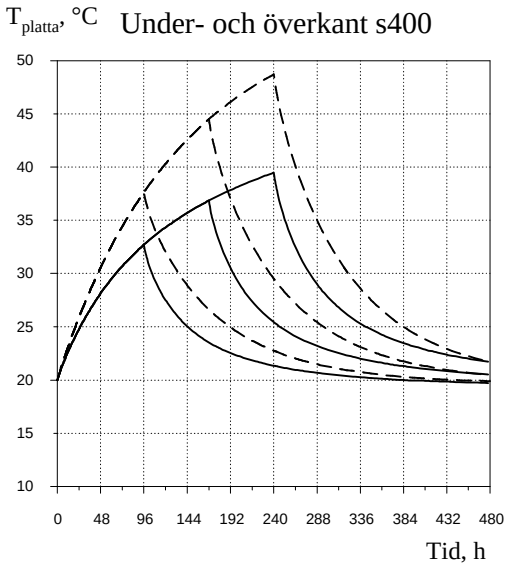
– – – Isolerat
—— Oisolerat

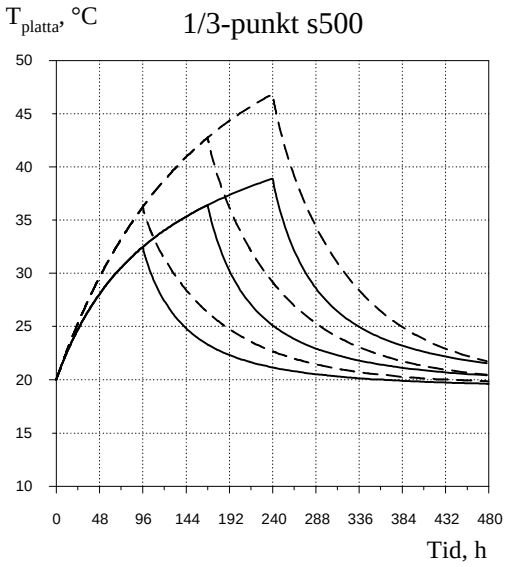
Plattjocklek 800 mm
Lufttemperatur 20 °C

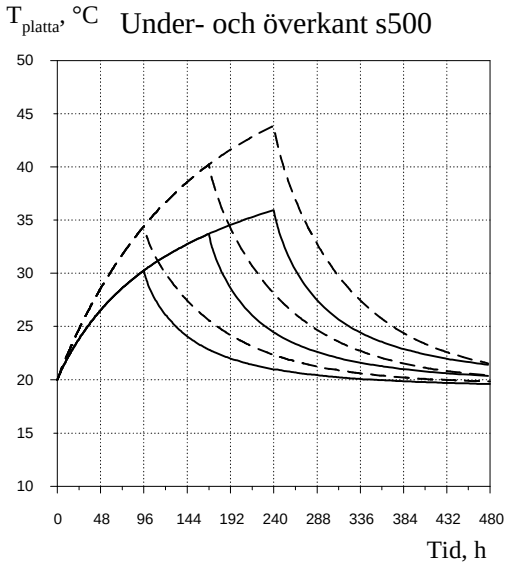






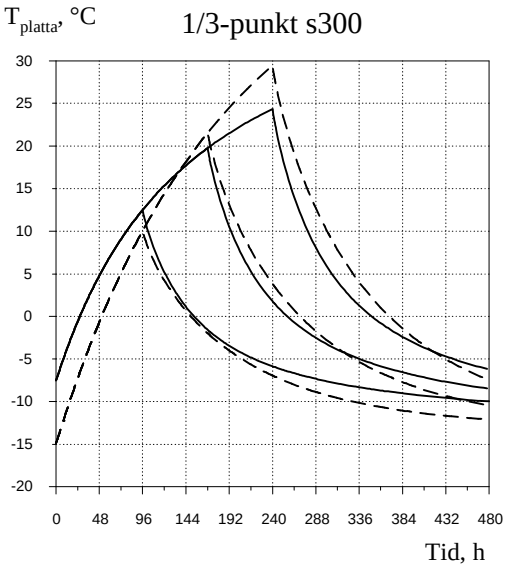


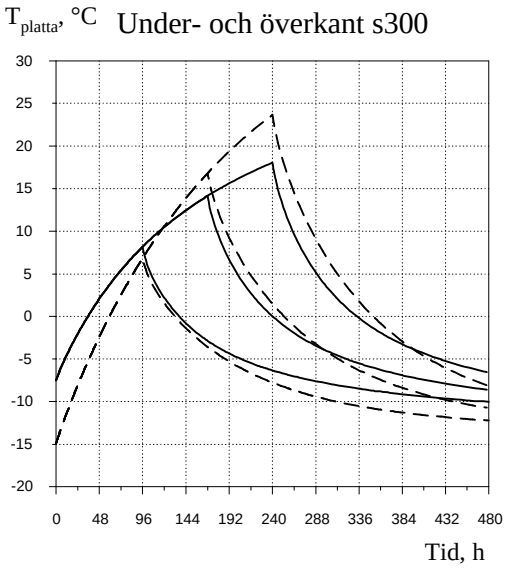


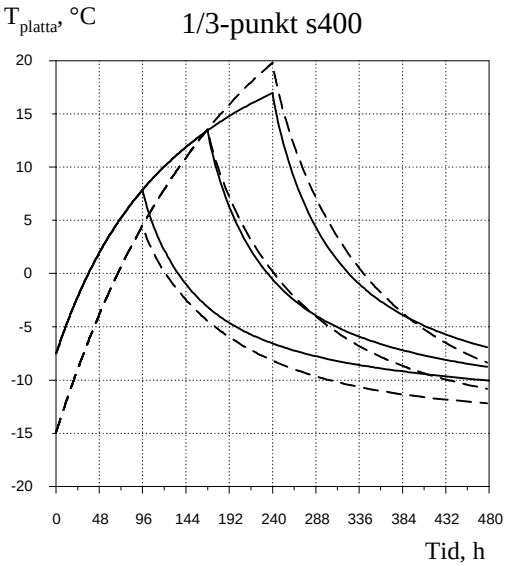


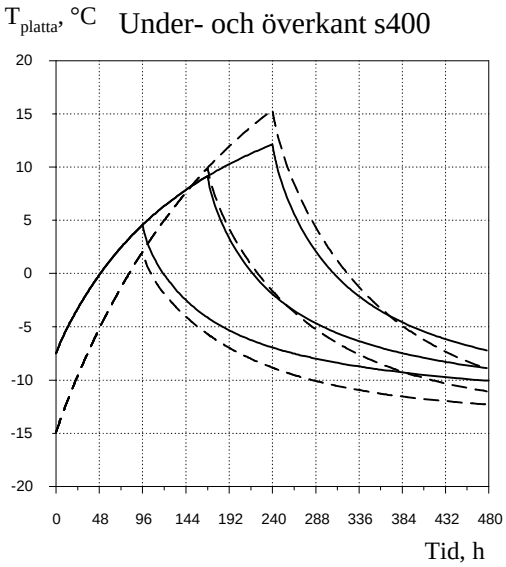
– – – Isolerat
—— Oisolerat

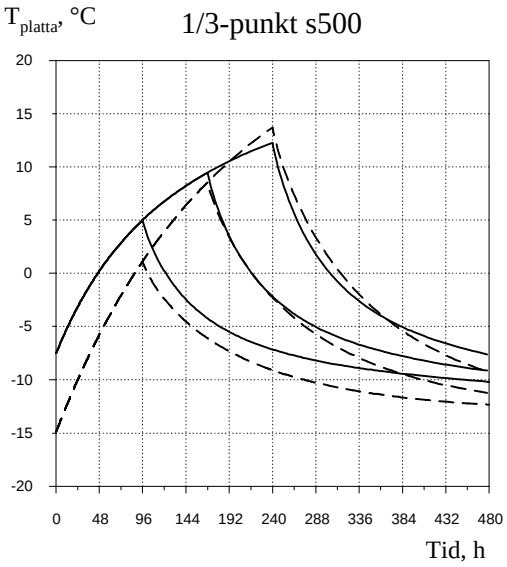
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur -15 °C

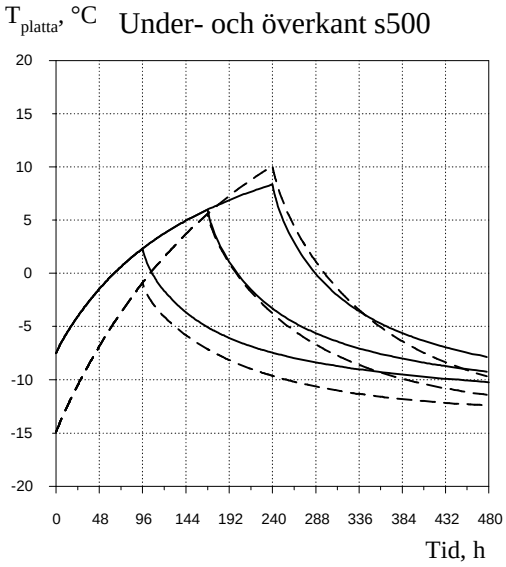






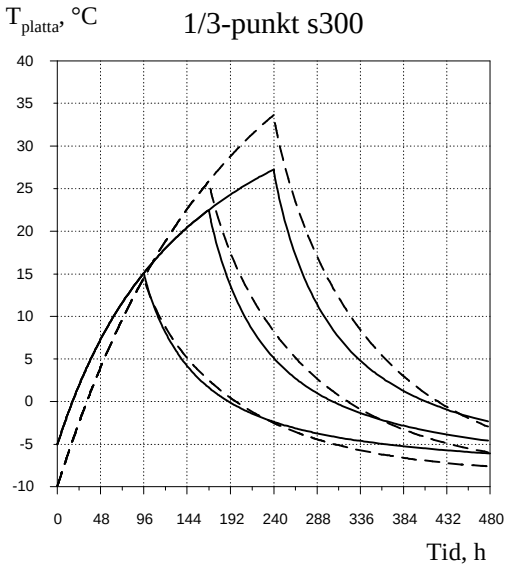


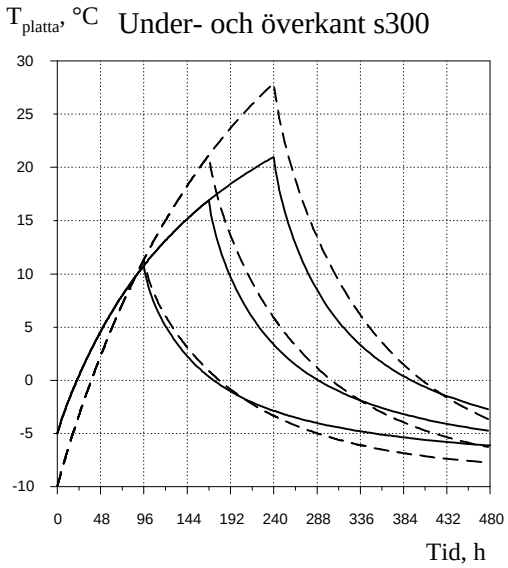


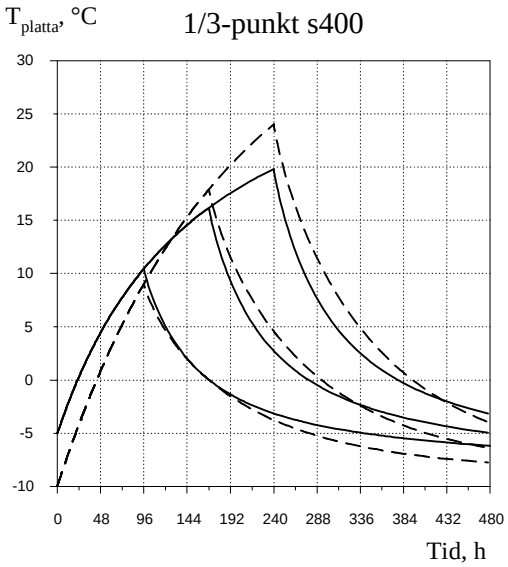


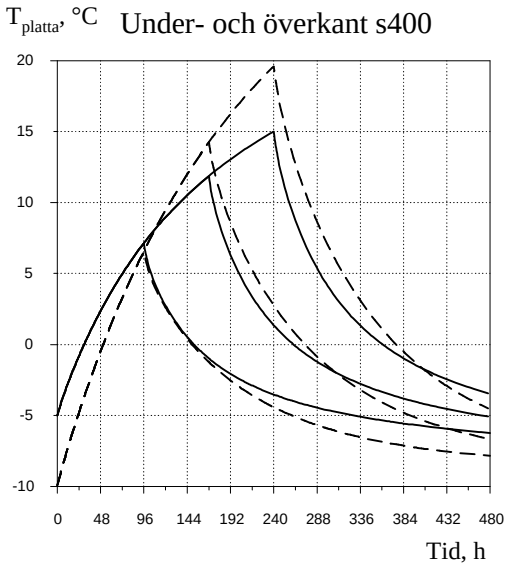
– – – Isolerat
—— Oisolerat

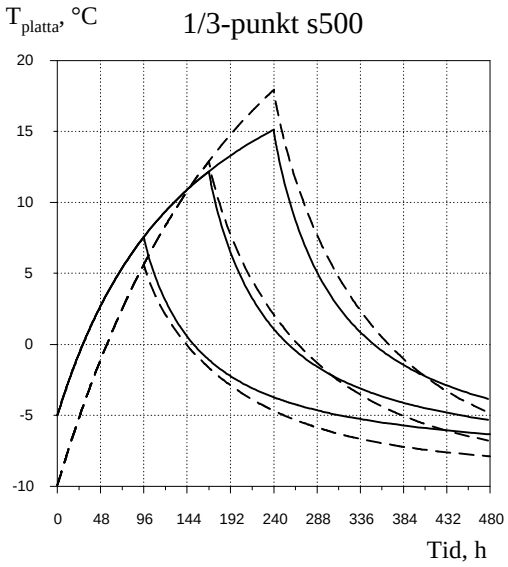
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur -10 °C

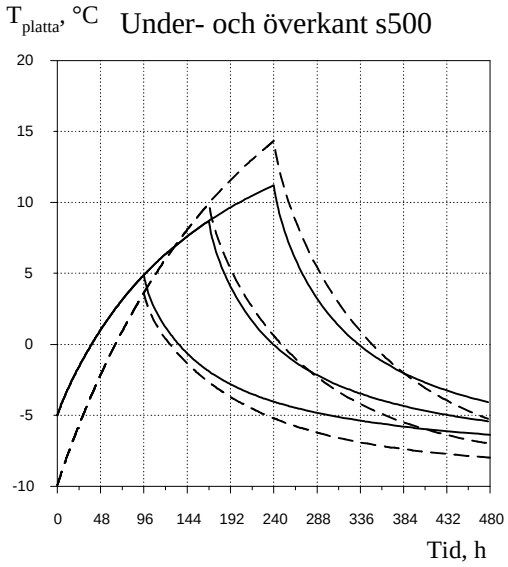






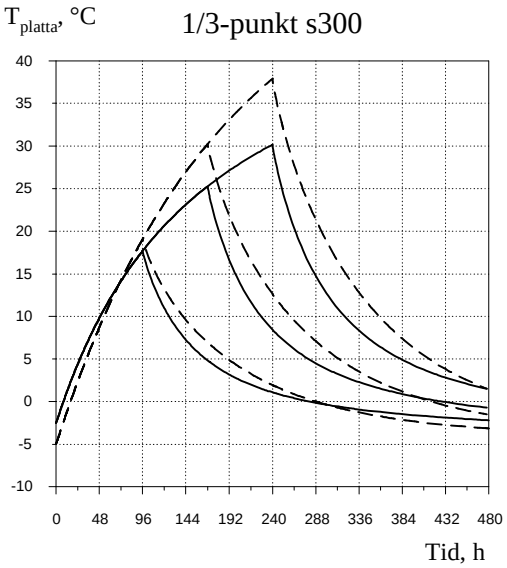


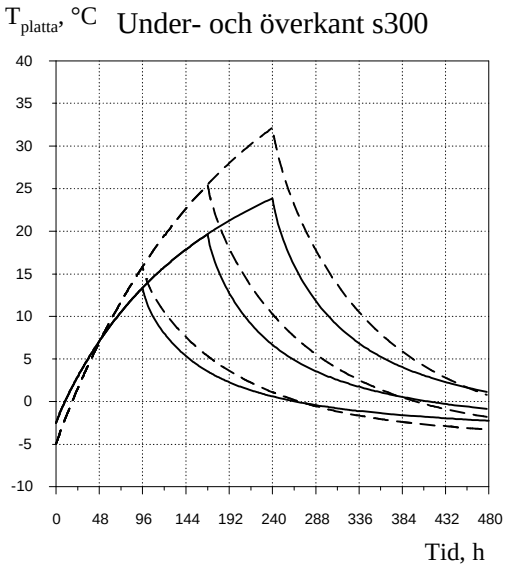


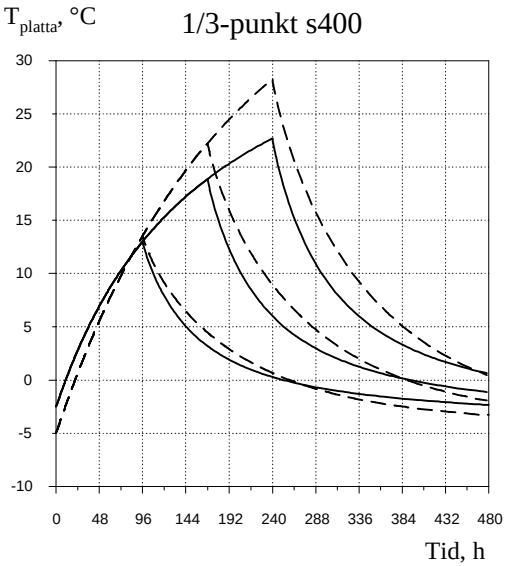


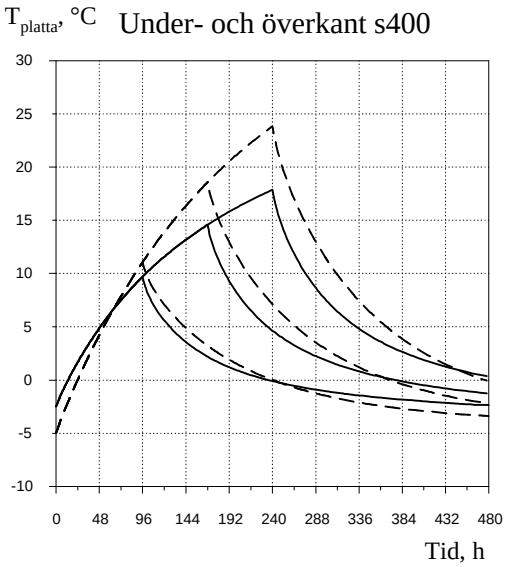
– – – Isolerat
—— Oisolerat

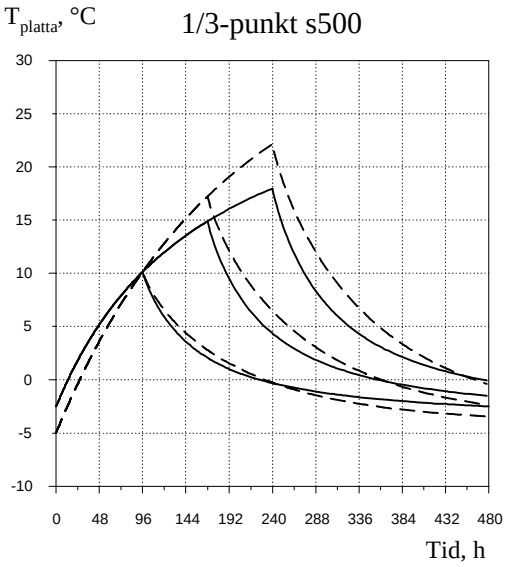
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur -5 °C

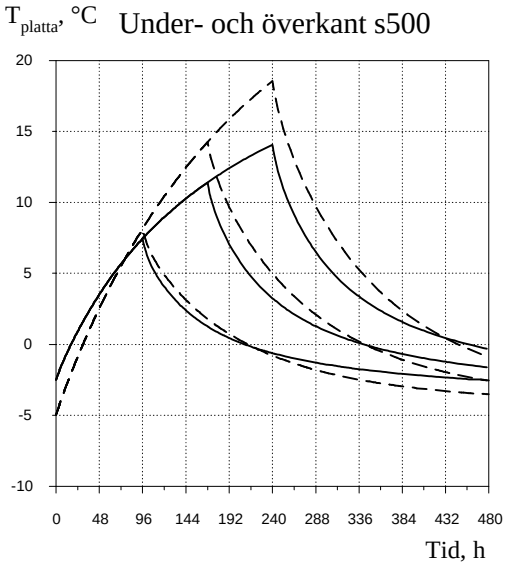






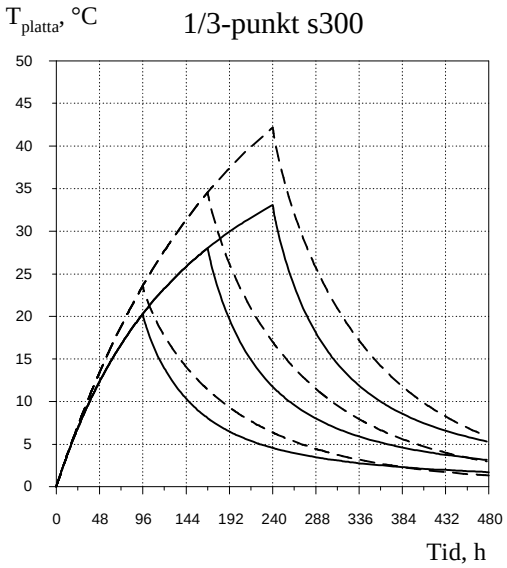


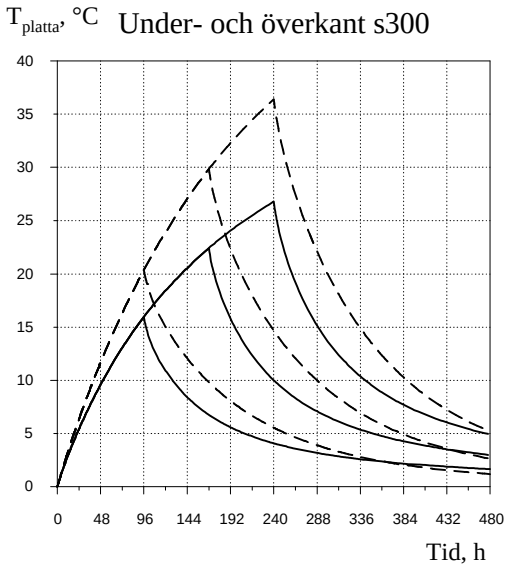


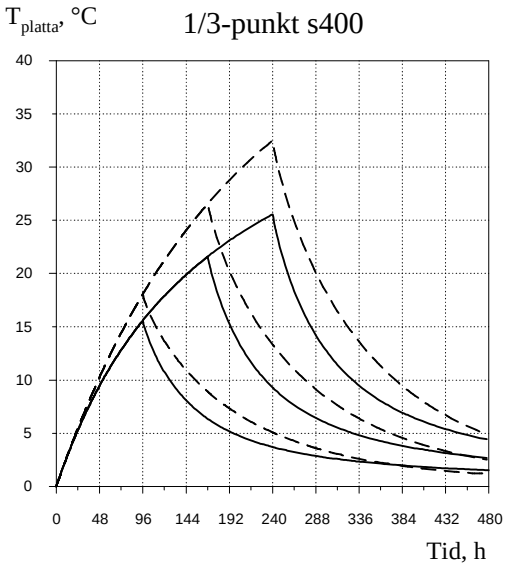


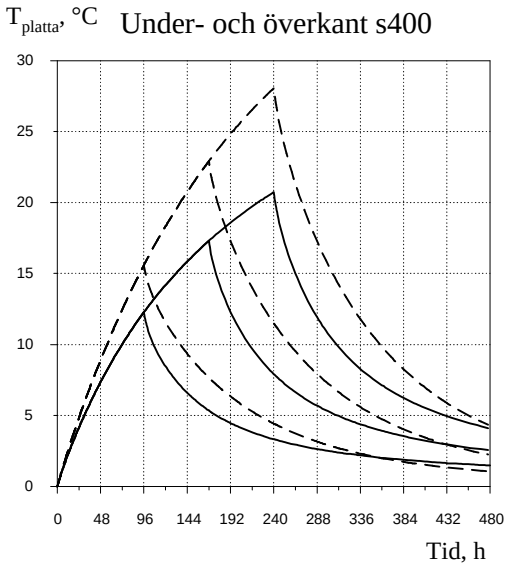
– – – Isolerat
—— Oisolerat

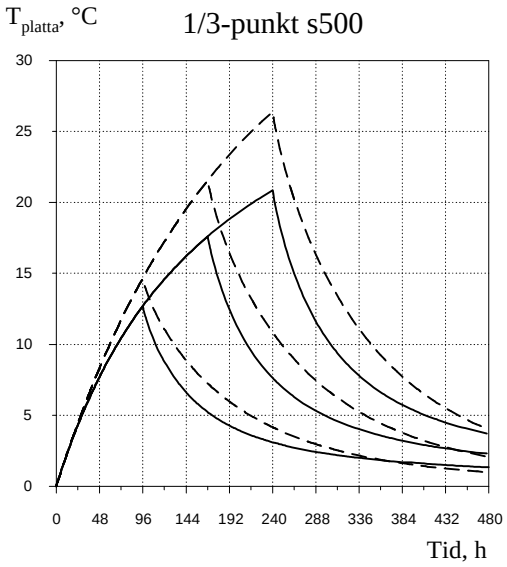
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur 0 °C

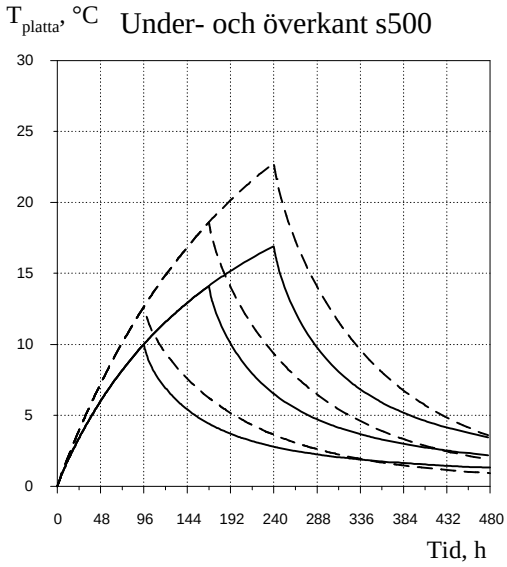






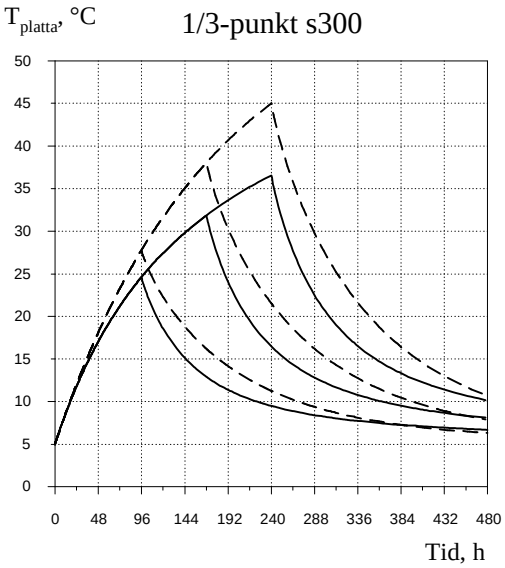


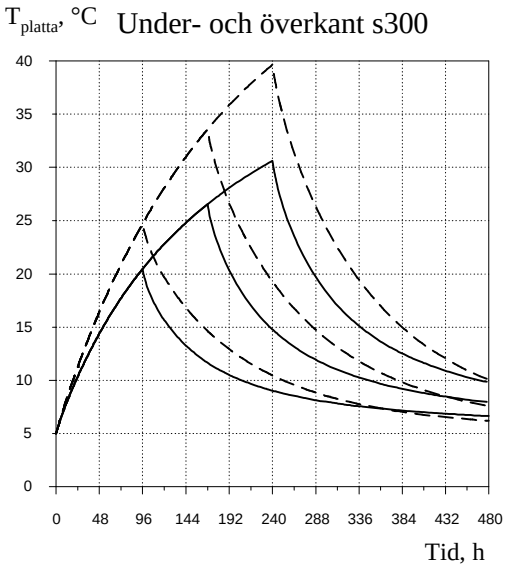


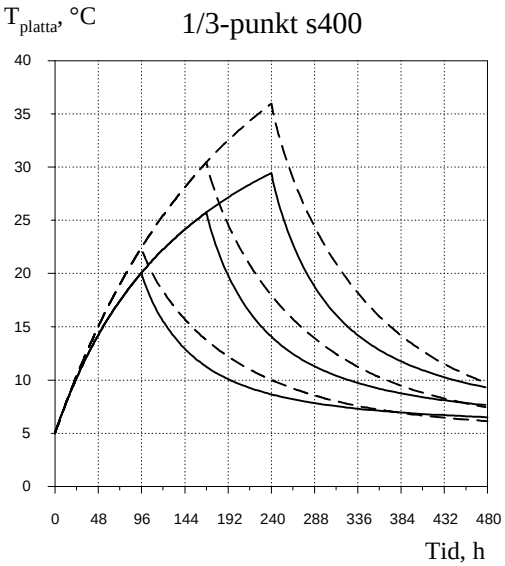


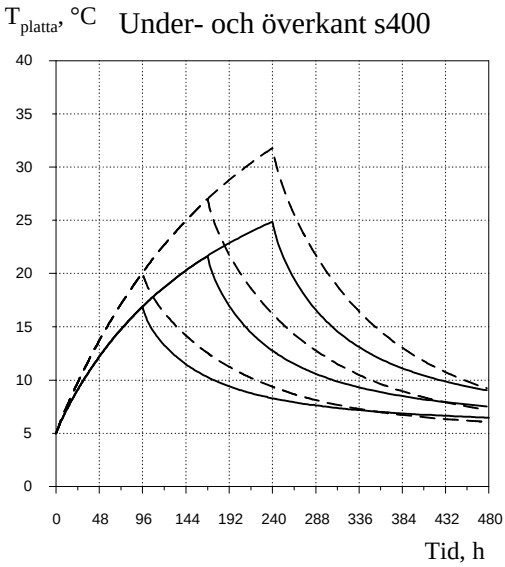
– – – Isolerat
—— Oisolerat

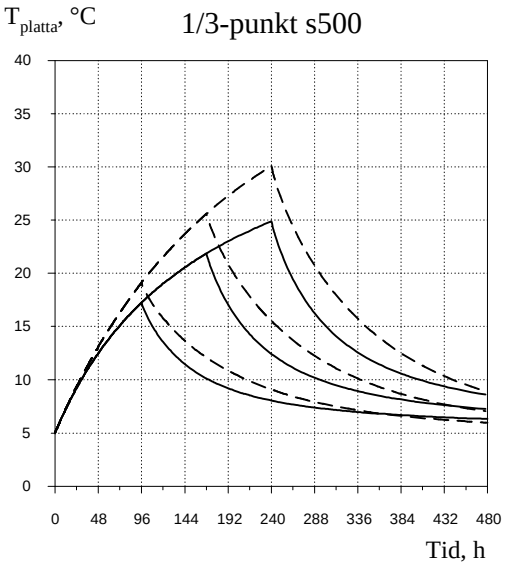
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur 5 °C

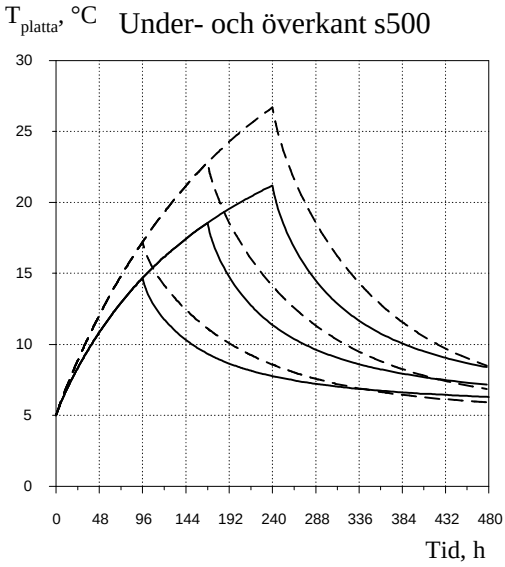






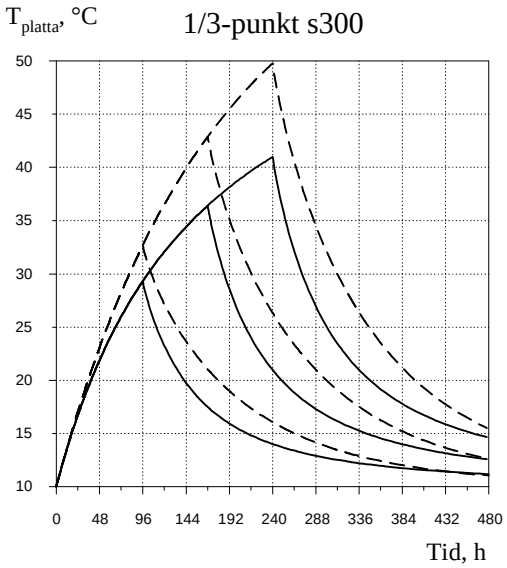


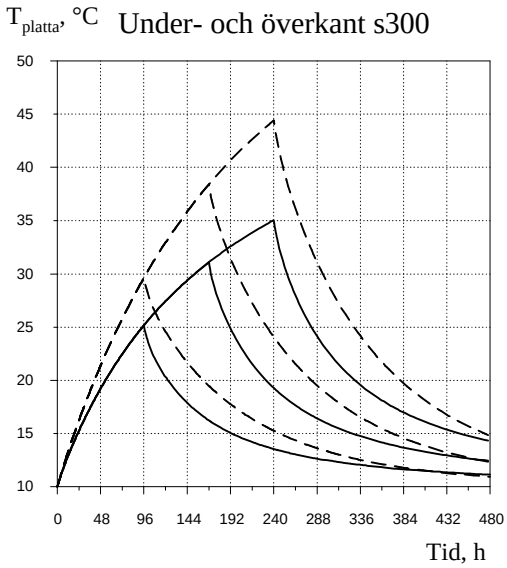


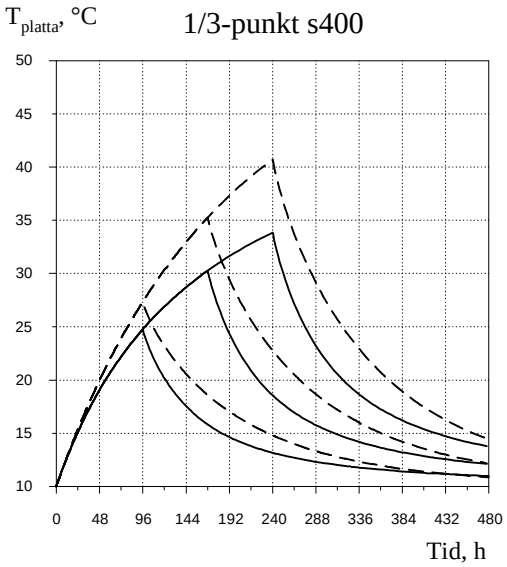


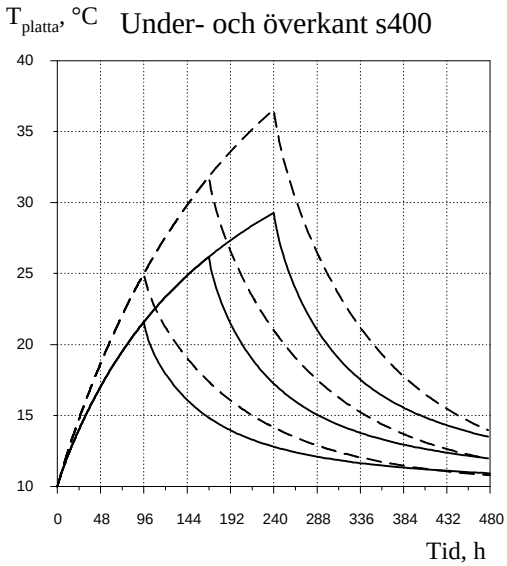
– – – Isolerat
—— Oisolerat

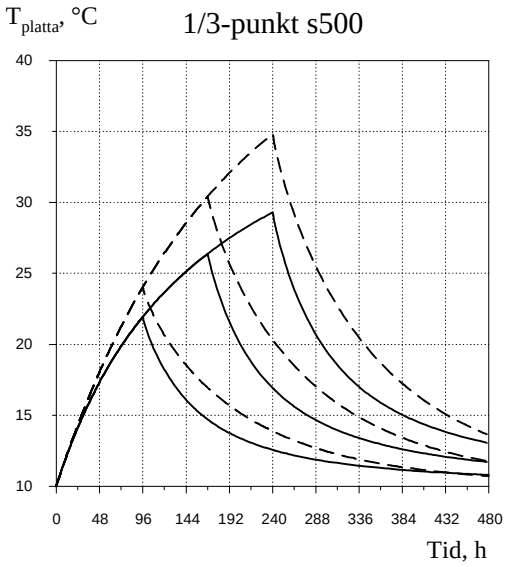
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur 10 °C

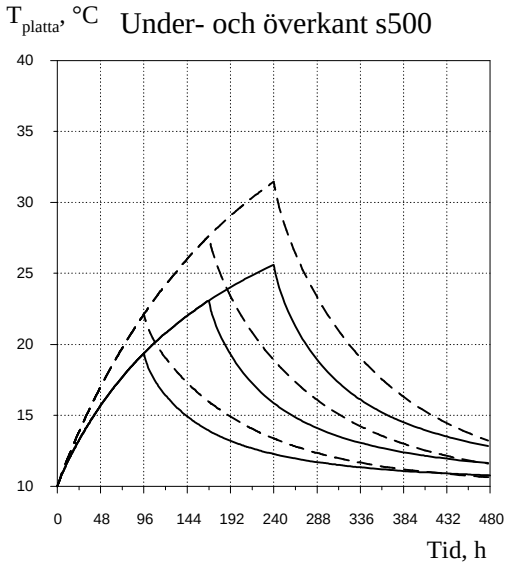






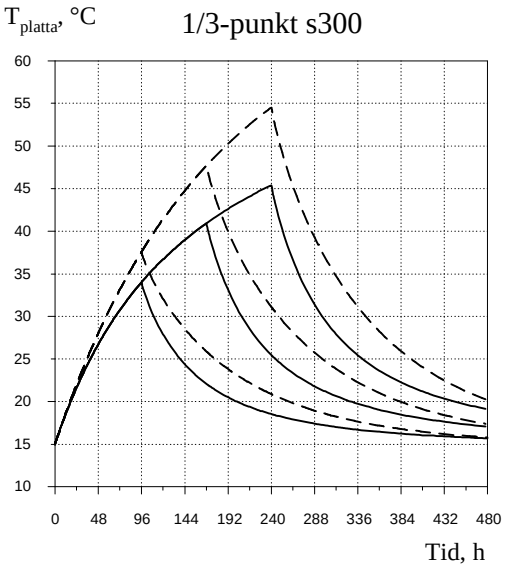


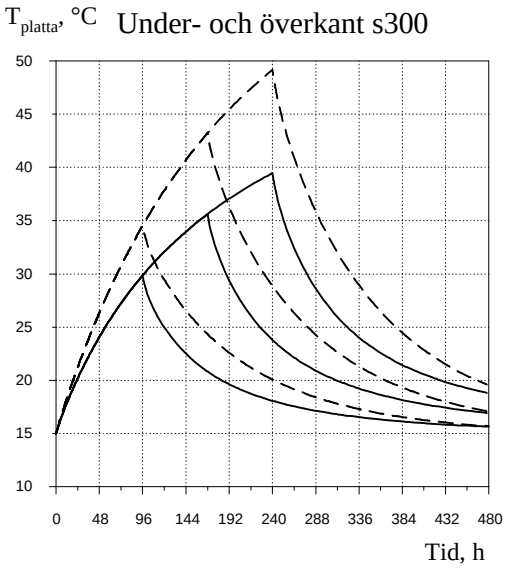


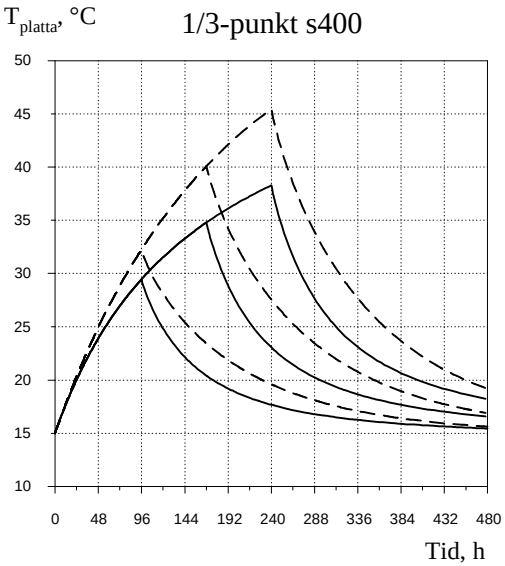


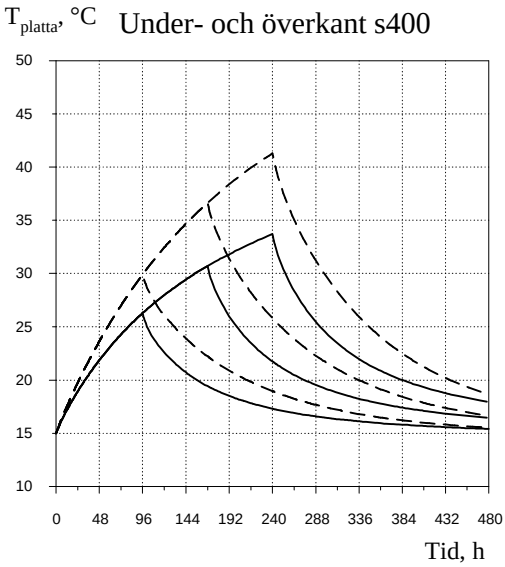
– – – Isolerat
—— Oisolerat

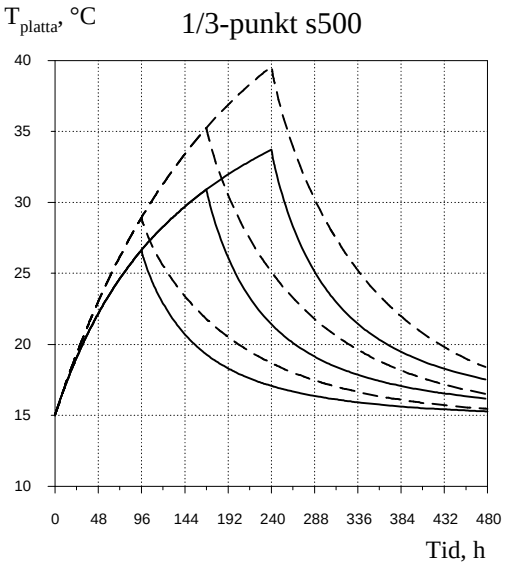
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur 15 °C

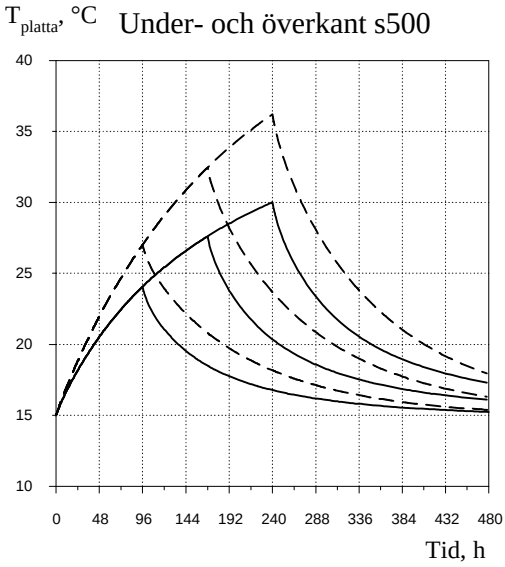






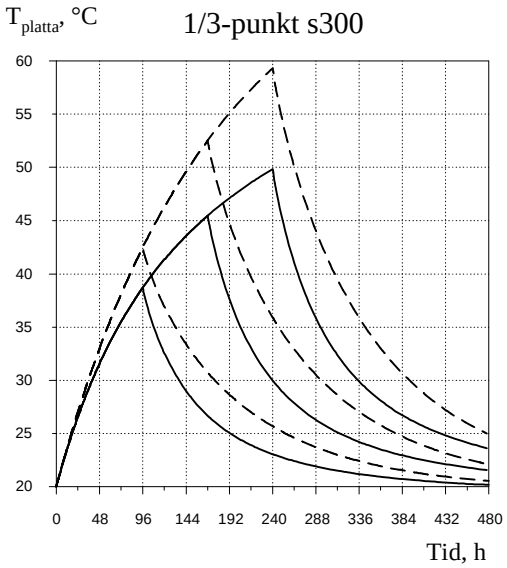


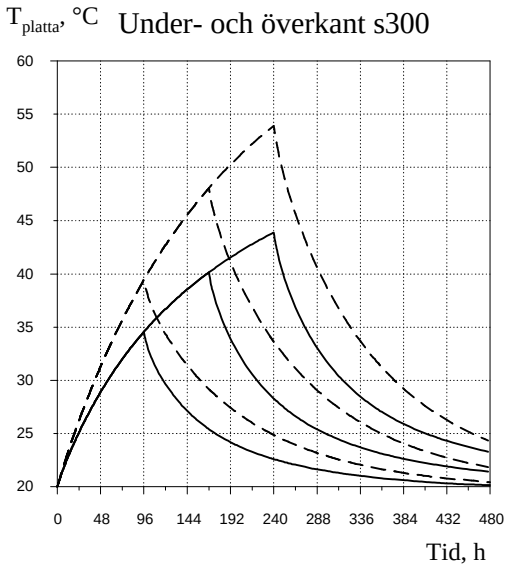


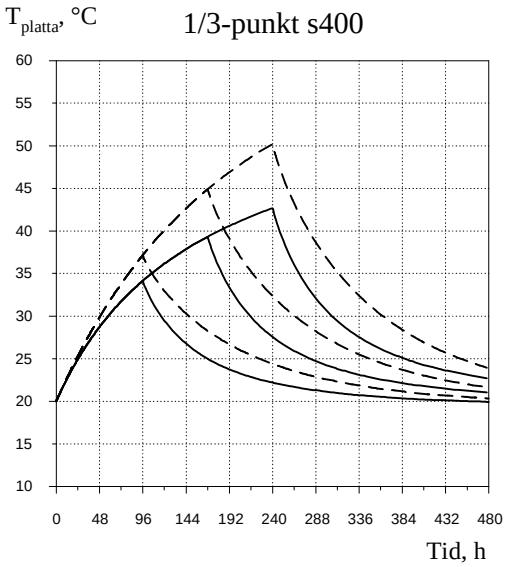


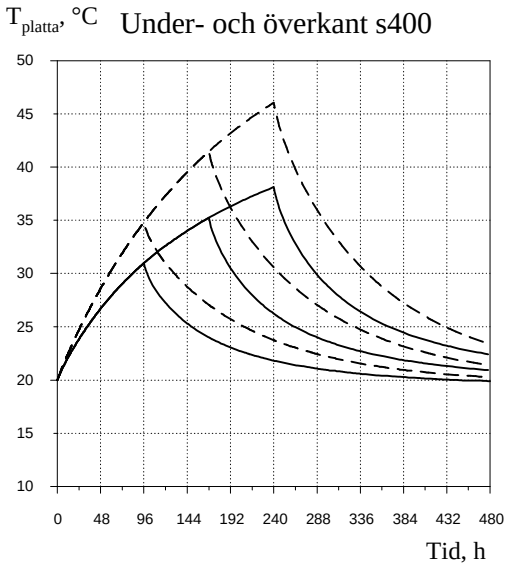
– – – Isolerat
—— Oisolerat

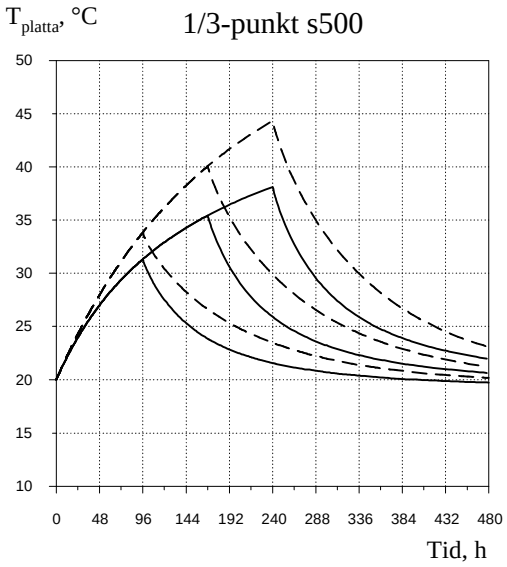
Plattjocklek 1000 mm
Lufttemperatur 20 °C

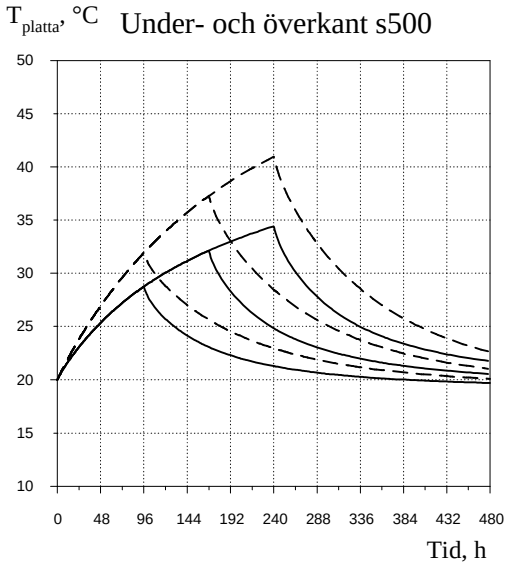












Dessa sidor finns i oreducerad form i den tryckta versionen av del D, som kan beställas från CBI via kjell.wallin@cbi.se

Dessa sidor finns i oreducerad form i den tryckta versionen av del D, som kan beställas från CBI via kjell.wallin@cbi.se

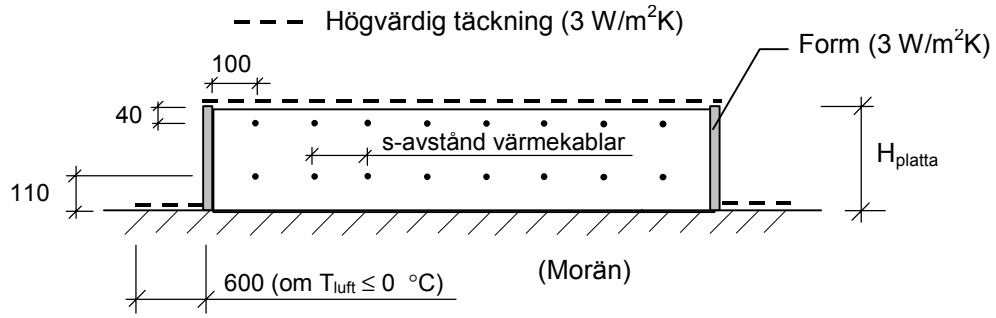


Fig. E3.1 Beräkningsvillkor vid värmning av platta med värmekablar (30 W/m) för fallet utan markisolering.

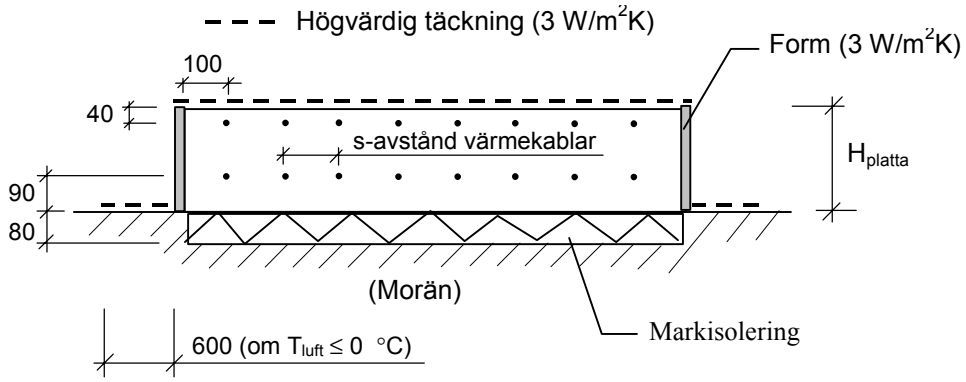


Fig. E3.2 Beräkningsvillkor vid värmning av platta med värmekablar (30 W/m) för fallet med markisolering mellan platta och mark.

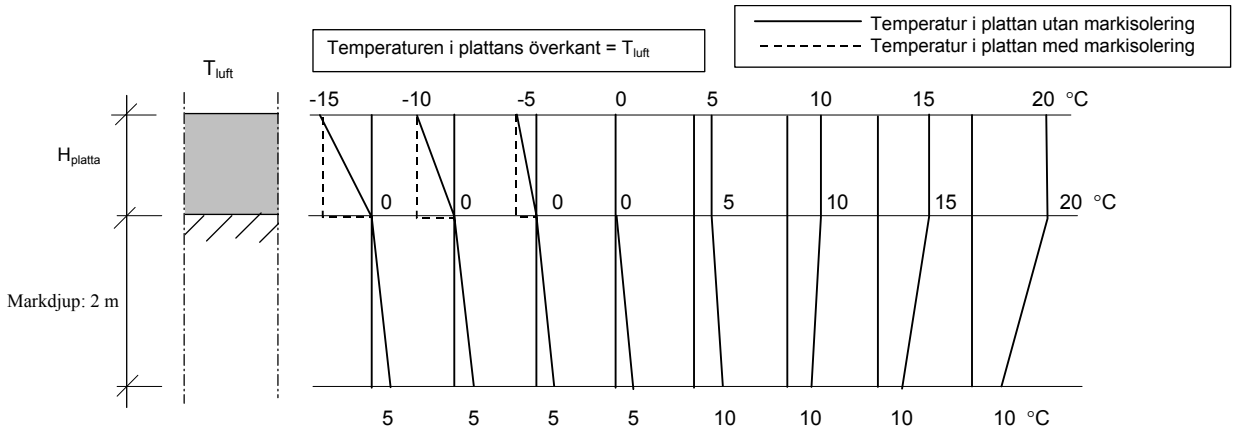
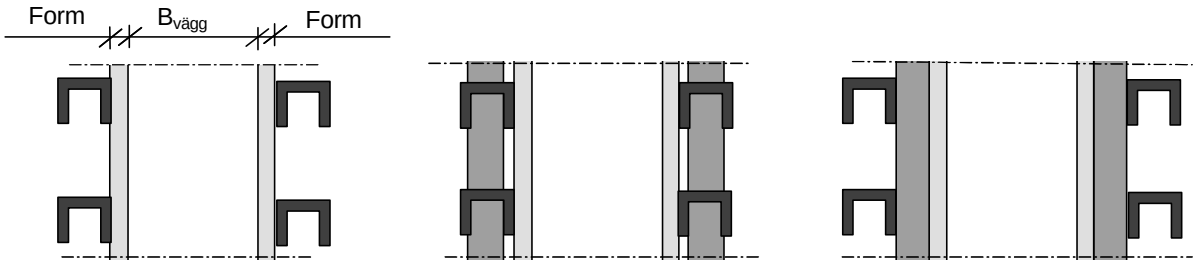


Fig. E3.3 Antagna temperaturer i platta och mark vid start av plattvärmning. Mellan redovisade temperaturer antas att temperaturen varierar linjärt.

Kapitel E4 – Diagram över högsta medeltemperaturen för väggtvärsnitt utan åtgärder med andra övergångstal mot luft än 5 W/m^{2}K

Beteckningar och begrepp använda i avsnitt E4, se även figurer på sid E1:2

Vägg 400 mm	betecknar en vägg med bredd ($B_{vägg}$) = 400 mm. Övriga angivna bredder är 600, 800 1000, 1200, 1400 respektive 1800 mm.
Övergångstalet	beskriver villkoret för värmeövergången från betongytan till omgivande luft. Ett antal övergångstal för olika formtyper redovisas i tabell E4.1-3. Begreppen normal- respektive välisolerad form illustreras i figur E4.1.
Cemenhalt 340 kg/m^3	avser betongens cementhalt. Övriga angivna cementhalter är 360, 380, 400, 420 respektive 440 kg/m3.
T_{max}	avser den maximala medeltemperaturen för ett väggtvärsnitt beräknat för endimensionellt värmeflöde vinkelrät mot väggens yta.
T_{gjut}	avser betongmassans temperatur "färdig i formen" efter transport, övrig hantering och bearbetning av betongen.
T_{luft}	avser luftens temperatur beskriven som dygnsmedelvärde.



a) Oisolerad form b) Normalisolerad form c) Välisolerad form

Fig. E4.1 Väggformar med olika isoleringssätt

Tabell E4.1: Värmeövergångstal från betongen till luft för oisolerade formar

Typ av form	Värmeövergångstal (W/m^{2}K) för vindhastigheten						
	1 m/s	2 m/s	3 m/s	5 m/s	8 m/s	10 m/s	15 m/s
3 mm stål	9.5	13.5	17.4	26.6	38.4	45.7	62.6
12 mm trä	5.3	6.3	7.0	8.1	9.0	9.3	9.8
16 mm trä	4.6	5.3	5.8	6.6	7.1	7.3	7.7
18 mm trä	4.3	4.9	5.4	6.0	6.5	6.6	6.9
22 mm trä	3.8	4.3	4.7	5.1	5.5	5.6	5.8
25 mm trä	3.5	4.0	4.2	4.6	4.9	5.0	5.1
38 mm trä	2.7	2.9	3.0	3.2	3.4	3.4	3.5
45 mm trä	2.3	2.5	2.6	2.8	2.9	2.9	3.0
62 mm trä	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2

Tabell E4.2: Värmeövergångstal från betongytan till luft för normalisolerade* formar

Typ av form	Värmeövergångstal (W/m^{2}K) för vindhastigheten						
	1 m/s	2 m/s	3 m/s	5 m/s	8 m/s	10 m/s	15 m/s
3 mm stål	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.6	2.7
12 mm trä	1.8	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2
16 mm trä	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1
18 mm trä	1.7	1.8	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0
22 mm trä	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.9	1.9
25 mm trä	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
38 mm trä	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6
45 mm trä	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
62 mm trä	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

*) Isolering mellan formbalkarna, se figur E4.1b.

Tabell E4.3: Värmeövergångstal från betongytan till luft för välisolerade** formar

Typ av form	Värmeövergångstal (W/m^{2}K) för vindhastigheten						
	1 m/s	2 m/s	3 m/s	5 m/s	8 m/s	10 m/s	15 m/s
3 mm stål	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
12 mm trä	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
16 mm trä	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0
18 mm trä	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0
22 mm trä	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
25 mm trä	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
38 mm trä	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
45 mm trä	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
62 mm trä	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

**) Obruten isolering utan köldbryggor via formbalkarna, se figur E4.1c.

Dessa sidor finns i oreducerad form i den tryckta versionen av del D, som kan beställas från CBI via kjell.wallin@cbi.se

Dessa sidor finns i oreducerad form i den tryckta versionen av del D, som kan beställas från CBI via kjell.wallin@cbi.se

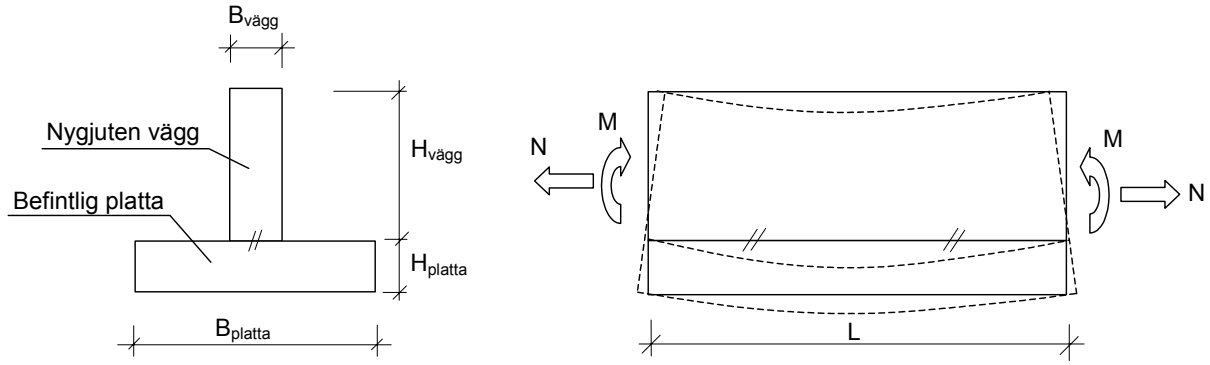
Kapitel E5. CraX1 – Handboksmetoden

Sprickrisker uttryckt som största töjningskvot beräknas med hjälp av Excel-arket kallat CraX1 (Crack risk analyses with an Excel spread sheet, version 1) utifrån temperaturvärden redovisade i kapitel E1 – E4. Detta arbetssätt benämnes CraX1 – Handboksmetoden. Den studerade konstruktionen är en nygjuten vägg på tidigare gjuten platta, se figur E5.1, och omfattar risken för genomgående sprickor i den nygjutna väggen. Detta typfall kan appliceras på många gjutsituationer såsom plattrambroar, tunnlar, stödmurar, ramben och liknande konstruktioner.

Följande begrepp och beteckningar används, se även kapitel E1 – E4:

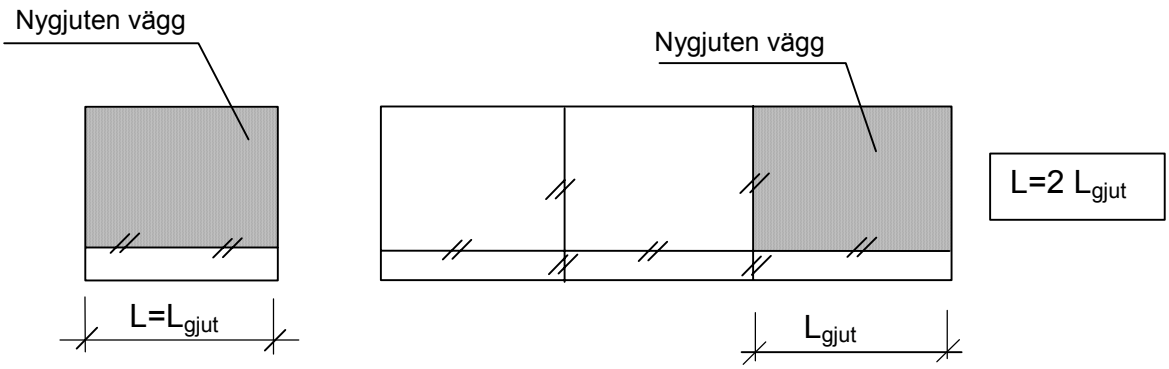
$B_{vägg}$	Väggens bredd, m
$H_{vägg}$	Väggens höjd, m
B_{platta}	Plattans bredd, m
H_{platta}	Plattans höjd, m
L	Fri gjutlängd, m. Vid gjutning av en enskild monolit blir fri gjutlängd lika med faktisk gjutlängd ($L=L_{gjut}$), se figur E5.2a. Vid gjutetapper med stumfogar mot tidigare gjutna väggar och plattor blir fri gjutlängd lika med dubbla faktiska gjutlängden($L=2\ L_{gjut}$), se figur E5.2b.
T_{mot}	Motgjuten konstruktions temperatur vid tidpunkten för gjutning av väggen, vilket för typfallet vägg på platta avser plattans medeltemperatur, °C
M	Yttre moment, se figur E5.1, vilket illustrerar konstruktionens rotationstvång. I CraX1 – Handboksmetoden förutsätts fri rotation, vilket formellt innebär att M = 0. Denna situation uppträder för konstruktioner grundlagda på friktionsmaterial eller packad fyllning. Grundläggning direkt på berg omfattas inte av CraX1 – Handboksmetoden.
N	Yttre normalkraft, se figur E1.1, vilket illustrerar konstruktionens translationstvång. I CraX1 – Handboks-metoden förutsätts fri transtation, vilket formellt innebär att N = 0. Denna situation uppträder för konstruktioner grundlagda på friktionsmaterial eller packad fyllning. Grundläggning direkt på berg omfattas inte av CraX1 – Handboksmetoden.
Betong C25/30, C28/35 alt. betong C30/37 vct = 0.50-0.55	Betongklass och vct-krav. De övriga alternativen är C30/37 alt. C32/40 vct = 0.45 respektive C32/40 alt. C35/45 vct=0.40.

η_{max}	Tillåten töjningskvot, som utgör det krav som beräkningen ska uppfylla. T ex för anläggningskonstruktioner med Vägverket som byggherre styrs detta av normsystemet Bro2002.
η_{utan}	Maximal töjningskvot enligt CraX1 – Handboksmetoden utan att sprickbegränsande åtgärder vidtas.
$\eta_{åtgärd}$	Maximal töjningskvot enligt CraX1 – Handboksmetoden inklusive effekterna av sprickbegränsande åtgärder.
T_{max}^{max}	Maximal härdningstemperatur för väggen utan att sprick-begränsande åtgärder vidtas. T_{max}^{max} beräknas i Excel-arket CraX1 med hjälp av en regressionsformel.
T_{max}^{ref}	Maximal medeltemperatur för väggen utan att sprick-begränsande åtgärder vidtas, vilket beräknats för C = 400 kg/m^3, se sid E1:6.
T_{kyl}^{ref}	Maximal medeltemperatur för väggen inklusive effekterna av vald kylinsats, vilket beräknats för C = 400 kg/m^3, se kap E2.
$T_{värme}$	Plattans medeltemperatur inklusive verkan av vald värmning vid tidpunkten för gjutning av väggen, °C. Observera att ingjutna värmekablar ska vara påslagna ytterligare 24 timmar.
Kylhöjd	avser det läge i väggen räknat från plattan som ska omfattas av kylningen. Om samtidig värmning har angetts, förutsätts att värmningen gäller enligt angivna parametrar. Om ingen kylning erfordras anges kylhöjden = 0 m.



a) Tvärsektion b) Sidovy

Figur E5.1 Typfallet vägg på platta



a) Enskild monolit b) Stumfog mot tidigare gjuten väggar

Figur E5.2 Illustration av L = fri gjutlängd vid gjutning av vägg på platta.

Färglagt eller svartvitt kalkylblad

All inmatning från användaren måste ske på det färglagda kalkylbladet ***Kalkylblad – Färg***. Alla resultat redovisas också på detta blad, varför ***Kalkylblad - Färg*** är allt som erfordras för en fullständig information om aktuell Excel-beräkning.

Som alternativ till informationen i färg innehåller kalkylbladet ”***Svartvit utskriftskopia***” exakt samma information att t ex användas i det fall användaren önskar en svartvit utskrift.

Färgkodningen på kalkylbladet ”Kalkylblad – Färg” i Excel-arket CraX1 har följande betydelse:

Grön färg	markerar de celler, där användaren måste skriva in ett värde för att beräkningen i arket ska kunna göras
Gul färg	markerar de celler som har för problemställningen och dess lösning relevanta och nödvändiga uppgifter, men som inte direkt används i Excel-beräkningen. Samtliga dessa uppgifter måste fyllas i av användaren, men ingen automatisk kontroll sker av att detta verkligen blir gjort. Vissa av uppgifterna ingår dock som en del av informationen för den automatiska sidhänvisningen till temperaturdiagrammen, vilket ger en viss indirekt kontroll av uppgifternas riktighet.
Röd färg	markerar de celler som endast ger resultat producerade av processer i Excel-arket. Dessa celler är låsta för användaren.

Sidhänvisning till temperaturdiagrammen

I Excel-arket CraX1 visas strax till höger om cellen för avlästa temperaturer (T_{max}, T_{max}^{ref}, T_{kyl}^{ref} och $T_{värme}$) de sidor som är aktuella för avläsning av respektive temperatur. Om endast en sida gäller visas bara denna sidas nummer. Om det krävs en inter- eller ibland kanske en extrapolering hänvisas till samtliga sidor som är aktuella. Det kan bli två, fyra eller åtta

sidnummer som redovisas. Det är upp till respektive användare att avgöra hur en inter- eller extrapolering ska genomföras. Denna hänvisningshjälp avser också att vara ett hjälpmedel för den som ska granska uppgifterna på arket.

Ansvar vid tillämpning av CraX1 - Handboksmetoden

Crax1 – Handboksmetoden är ett hjälpmedel bestående av Excel-arket CraX1 och Teknisk Rapport 2001:14 från Luleå tekniska universitet – del D och E från september 2003. Med detta hjälpmedel kan temperaturbelastning och tillhörande spänningsnivå för definierade typsituationer bedömas. Ansvaret för alla användningssätt och ansvaret för alla slutsatser dragna av erhållna resultat från CraX1 – Handboksmetoden ligger på användaren.

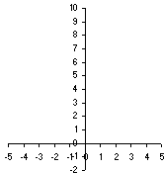
Projekt	Fil	
	CraX1 3.0 okt_03.xlt	
Del	Konstr av	Datum & tid
		2003-10-14 06:15

CraX1 - Handboksmetoden
Version 3.0, oktober 2003
(Fri rotation, fri translation inkl resilienser och glidning i gjutfog)

BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Geometri

$B_{vägg}$ = m
$H_{vägg}$ = m
B_{platta} = m
H_{platta} = m
L = m



Miljö

T_{luft} = °C
T_{gjut} = °C
T_{mot} = °C

Material

Betong: C30/37 alt. C32/40, vct=0,45
Cementhalt: kg/m^3

Form OBS! Formrivning tidigast efter 4 dygn

◉ Brädform, lätt blåst (övergångstal≈5 W/m^2°C)
○ 1 W/m²°C

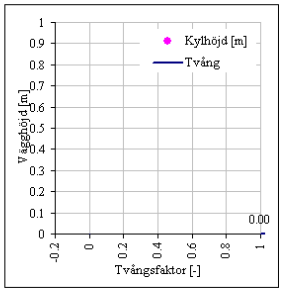
BERÄKNING UTAN ÅTGÄRDER

Maximal temperatur

T_{max} = °C

Beräknad töjningskvot

η_{utan} = -



Tillåten töjningskvot

η_{max} = -

Maximal härdningstemperatur

T_{max}^{max} < °C

BERÄKNING MED ÅTGÄRDER

☐ **Kylning**

T_{max}^{ref} = °C, sid E1:6
Rörtyp: 900 W/m²°C
Kyltemperatur: °C
s-avstånd rör: mm
Placering rör: A
T_{kyl}^{erf} = °C
T_{kyl}^{ref} = °C
Kylhöjd: m

☐ **Värmning**

Markisolering: Isolerat
Placering kablar: Underkant
s-avstånd kablar: mm
Förvärmningstid: h
$T_{värme}^{erf}$ = °C
$T_{värme}$ = °C

Beräknad töjningskvot

$\eta_{åtgärd}$ = -

Ansvaret för alla användningssätt och ansvaret för alla slutsatser dragna av erhållna resultat från CraX1 - Handboksmetoden ligger på användaren.

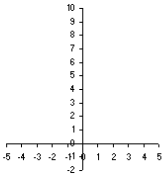
Projekt	Fil	
	CraX1 3.0 okt_03.xlt	
Del	Konstr av	Datum & tid
		2003-10-14 06:15

CraX1 - Handboksmetoden
Version 3.0, oktober 2003
(Fri rotation, fri translation inkl resilienser och glidning i gjutfog)

BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Geometri

$B_{vägg}$ =
$H_{vägg}$ =
B_{platta} =
H_{platta} =
L =



Miljö

T_{luft} =
T_{gjut} =
T_{mot} = 0 °C

Material

Betong:
Cementhalt:

Form OBS! Formrivning tidigast efter 4 dygn

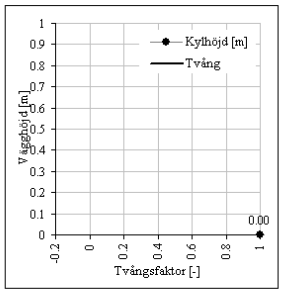
BERÄKNING UTAN ÅTGÄRDER

Maximal temperatur

T_{max} =

Beräknad töjningskvot

η_{utan} =



Tillåten töjningskvot

η_{max} =

Maximal härdningstemperatur

T_{max}^{max} <

BERÄKNING MED ÅTGÄRDER

☐ **Kylning**

T_{max}^{ref} =
Rörtyp:
Kyltemperatur:
s-avstånd rör:
Placering rör:
T_{kyl}^{erf} =
T_{kyl}^{ref} =
Kylhöjd:

☐ **Värmning**

Markisolering:
Placering kablar:
s-avstånd kablar:
Förvärmningstid:
$T_{värme}^{erf}$ =
$T_{värme}$ =

Beräknad töjningskvot

$\eta_{åtgärd}$ =

Ansvaret för alla användningssätt och ansvaret för alla slutsatser dragna av erhållna resultat från CraX1 - Handboksmetoden ligger på användaren.