

Rapport

R26:1971

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

**Yttemperaturer och
värmeförluster vid
betongbjälklag
i fasadvägg**

Bo Adamson

Byggforskningen

Yttertemperaturer och värmeförluster vid betongbjälklag i fasadvägg

Värmeisolering eller värmekabel?

Bo Adamson

I rapporten diskuteras val av åtgärder för värmeisolering av betongbjälklag vid uppläggning i olika typer av yttervägg. En jämförelse görs mellan värmekabel och olika utföranden av konventionell värmeisolering med hänsyn till kondensationsrisk, hygienisk olägenhet av låg golvtemperatur och värmeförluster samt därav betingade ekonomiska synpunkter. Värmeförluster genom yttervägg har beräknats och diagram visas som gör det möjligt att beräkna årsvärmeförlusten vid olika typer av bjälklagsgenomföring samt vid användande av värmekabel som inkopplas när utetemperaturer underskrider ett valt värde.

Temperaturer på ytterväggs utsida har även beräknats. Dessa kan vara av betydelse när det gäller att avgöra risk för mönsterbildning på fasaden på grund av rimfrost.

Betongbjälklagets genomföring har studerats vid tre olika sorters yttervägg (FIG. 1–3). Vid beräkning av värmeströmningen har snittet genom vägg och bjälklag uppdelats i rektangulära celler med varierande sidlängder. Minsta sidlängden var 1 mm vid begränsningslinjerna mot rummet. Endimensionell värmeströmning genom vägg respektive bjälklag antogs äga rum 1,25 m ovanför golv och under tak samt 5 m in på bjälklaget

räknat från ytterväggs insida. Utomhus har antagits lufttemperaturen -20°C och en värmeövergång $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ (motsvarande $m_u = 0,073 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C h/kcal}$) och lufttemperaturen inomhus $+20^{\circ}\text{C}$. Beräkningarna kan lätt korrigeras att gälla andra utetemperaturer än -20°C . Värmeövergången på insidan diskuteras med utgångspunkt från dels andras försök dels egna mätningar. Det visar sig att vid ytterväggs nedre del och på golvet intill yttervägg blir α_i ca $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (motsvarande $m_i = 0,33 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C h/kcal}$) och vid ytterväggs övre del och vid taket intill yttervägg blir $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$ (motsvarande $m_i = 0,17 \text{ m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C h/kcal}$). Värdet på α_i varierar längs ytterväggs insida samt längs tak och golv.

För de tre väggalternativen i FIG. 1–3 har olika former av isolering av bjälklaget studerats liksom även inverkan av värmekabel. Som exempel visas för väggalternativet enligt FIG. 1 i FIG. 4–6 yttertemperaturen på väggs nedre del och på golvet för oisolerat bjälklag utan värmekabel, dito med värmekabel 10 W/m respektive bjälklag med horisontell värmeisolering på golv och tak. I rapporten ges 22 diagram liknande FIG. 4–6 avseende olika konstruktionsalternativ.

Beräkningarna visar att konstruktio-

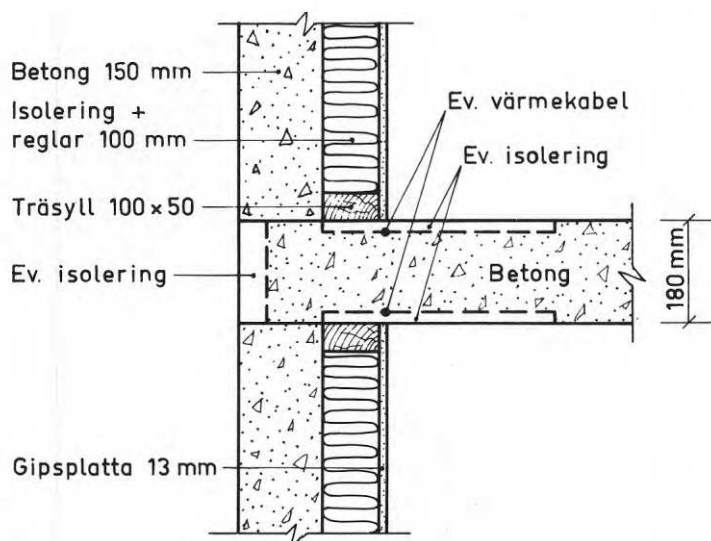


FIG. 1. Konstruktionsalternativ vid yttervägg med bärande betong. Konstruktionen ofullständig bl.a. med avseende på fuktskydd.

Bygghforskningen Sammanfattningar

R26:1971

Nyckelord:

betongbjälklag, isolering, värmekabel
ytterväggar, bjälklagsgenomföring,
värmeförlust
värmeförlust, betongbjälklag, yttervägg
innetemperatur (rum), golv, ytterväggs insida

Rapport R26:1971 avser anslag C 351:4 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

UDK 699.86
69.022.3
69.025.22
SfB (21)
(23)

Sammanfattning av:

Adamson, B, 1971, *Yttertemperaturer och värmeförluster vid betongbjälklag i fasadvägg. Värmeisolering eller värmekabel?* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R26:1971, 76 s., ill. 14 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Abonnemangsgrupp:

(k) konstruktion

ner med oisolerad bjälklagsgenomböring samt med värmekablar ger stora temperaturskillnader, medan den kantisolerade bjälklagsgenomböring

ger mycket små skillnader. Det kan nämnas att oisolerade bjälklag utan värmekabel bör kunna användas i zon III och IV (Svensk Byggnorm 1967 fi-

gur 33:12) om relativa fuktigheten inomhus under den kallaste perioden inte överstiger 40 %.

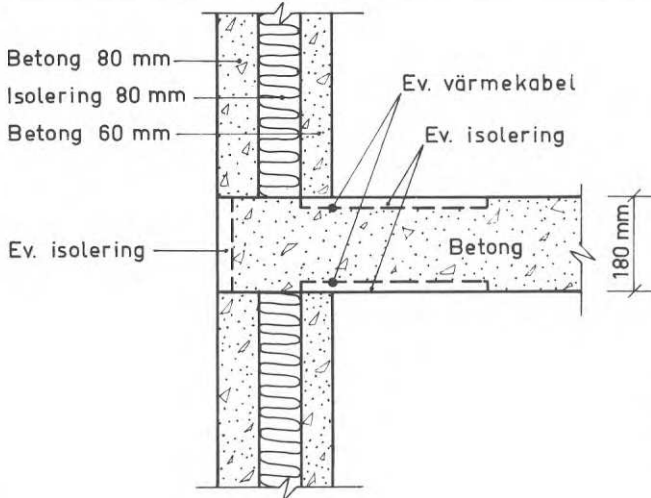


FIG. 2. Konstruktionsalternativ vid yttervägg av sandwichtyp med ut- och invändig betong. Konstruktionen ofullständig bl.a. med avseende på fuktskydd.

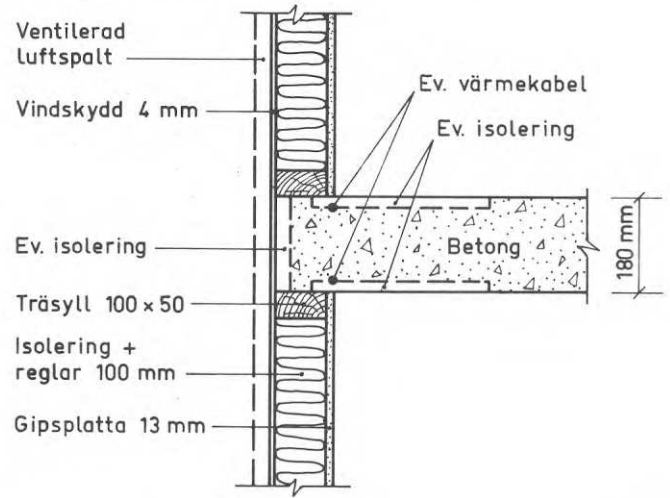


FIG. 3. Konstruktionsalternativ vid yttervägg med regelstomme och luftat yttre fasadmateriäl. Konstruktionen ofullständig bl.a. med avseende på fuktskydd.

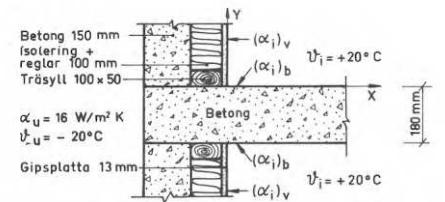
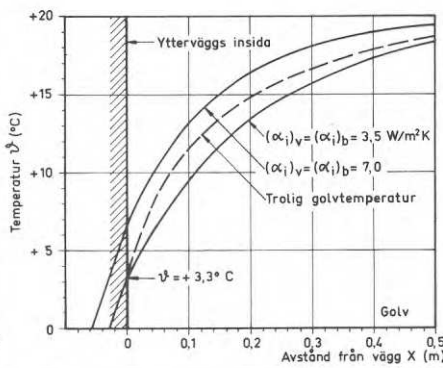
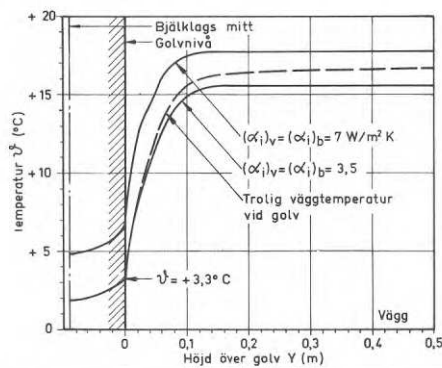


FIG. 4. Yttertemperatur på ytterväggens nedre del (till vänster) och på golvet (till höger) för oisolerat bjälklag.

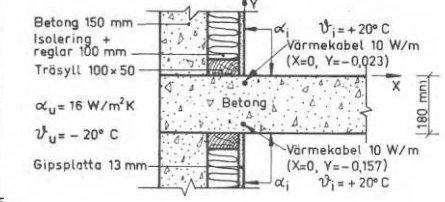
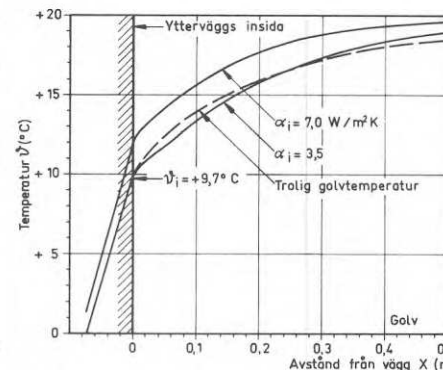
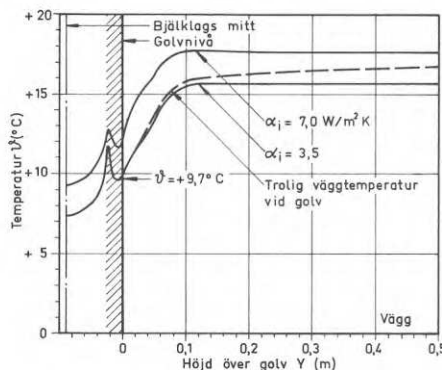


FIG. 5. Yttertemperatur på ytterväggens nedre del (till vänster) och på golvet (till höger) för oisolerat bjälklag med värmekabel 10 W/m.

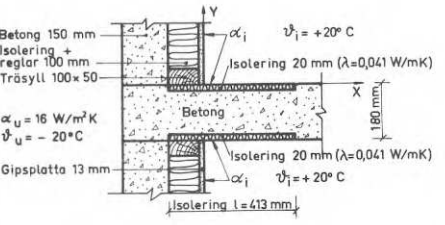
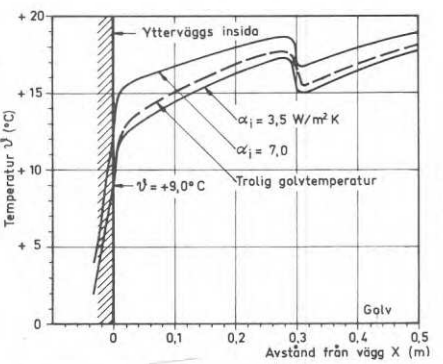
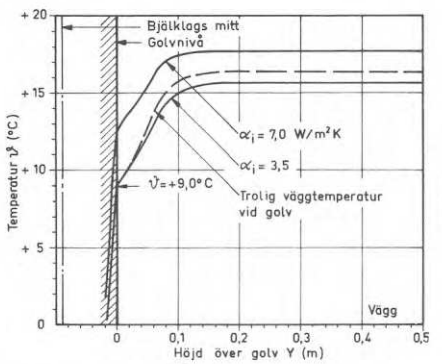


FIG. 6. Yttertemperatur på ytterväggens nedre del (till vänster) och på golvet (till höger) för bjälklag med isolering på golv och tak inom en randzon.

Surface temperatures and heat losses at concrete floor slabs in external walls

Heat insulation or heating cable?

Bo Adamson

This report discusses the choice of measures for thermal insulation of concrete floor slabs seated in different types of external walls. A comparison is done between heating cables and different types of conventional thermal insulation with regard to the risk of condensation, the hygienic inconvenience due to low floor temperatures, heat losses and the economic considerations relating to these. The heat losses through external walls have been calculated, and diagrams are presented which enable the calculation of the annual heat loss for different types of floor seating and in conjunction with the use of heating cables which are switched on when the outdoor air temperature drops below a selected value.

The temperatures at the outside of external walls have also been calculated. These may be of significance in deciding whether there is a risk of the facade becoming disfigured due to the formation of hoar frost.

The seating of concrete floor slabs has been studied in conjunction with three different types of external wall (FIGS. 1-3). In calculating the heat flow, the section through the wall and the floor was divided into rectangular cells of varying side length. The least side length was 1 mm at the boundaries with the room. It was assumed that there was unidimensional heat flow through the wall and the floor slab at points 1.25 m above the floor and below the ceiling and 5 m inside the floor slab measured

from the inside of the external wall. The outdoor air temperature was assumed to be -20°C , the heat transfer coefficient $\alpha_u=16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (corresponding to $m_u=0.073 \text{ m}^{\circ}\text{C h/kcal}$) and the indoor air temperature $+20^{\circ}\text{C}$. The calculations can easily be corrected to be applicable to other outdoor temperatures than -20°C . The heat transfer at the inside is discussed on the basis of both the results of tests performed by other workers and readings obtained by the author. It is found that at the lower portion of the external wall and on the floor next to the external wall, α_i is approximately $3.5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (corresponding to $m_i=0.33 \text{ m}^{\circ}\text{C h/kcal}$), and at the upper portion of the external wall and on the ceiling next to the external wall, $\alpha_i=7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (corresponding to $m_i=0.17 \text{ m}^{\circ}\text{C h/kcal}$). The value of α_i varies along the inside of the external wall and also along the ceiling and floor.

For the three alternative wall constructions shown in FIGS. 1-3, different ways of insulating the floor slab and also the influence of heating cables, have been studied. As an example, FIGS. 4-6 show, for the wall construction in FIG. 1, the surface temperature at the lower portion of the wall and on the floor for an uninsulated floor slab without heating cables, the same data for a floor slab with heating cables rated at 10 W/m , and also for a floor slab with horizontal thermal insulation on the floor and ceiling. The report includes 22 diagrams similar to FIGS. 4-6 rela-

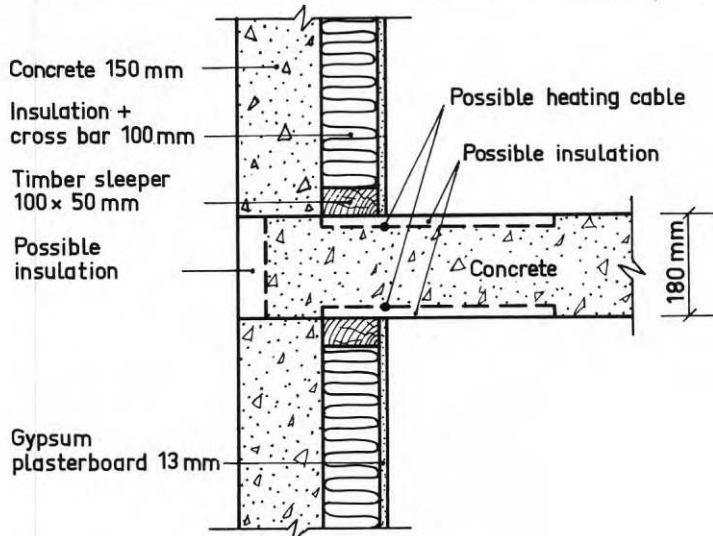


FIG. 1. Design at external wall of load-bearing concrete. The design is defective, inter alia with regard to the moisture barrier.

National Swedish Building Research Summaries

R26:1971

Key words:

concrete floor slab, insulation, heating cable

external walls, floor slab seating, heat loss

heat loss, concrete floor slab, external wall

internal temperature (room), floor, inside of external wall

Report R26:1971 has been supported by Grant C 351:4 from the National Swedish Council for Building Research to the Department of Building Science, Lund Institute of Technology, Lund.

UDC 699.86
69.022.3
69.025.22
SfB (21)
(23)

Summary of:

Adamson, B, 1971, *Ytemperaturer och värmeförluster vid betongbjälklag i fasadvägg. Värmeisolering eller värmekabel?* Surface temperatures and heat losses at concrete floor slabs in external walls. Heat insulation or heating cable? (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R26:1971, 76 p., ill. 14 Sw. Kr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

ting to different methods of construction.

The calculations show that structures using uninsulated floor slab seating and with heating cables have large tempera-

ture differences, while those in which the edges of the seating are insulated have very small differences. It should be noted that uninsulated floor slabs without heating cables can be used in

Zones III and IV (as in the Swedish code of standards, Svensk Byggnorm 1967, Fig. 33:12) if the relative humidity indoors during the coldest period does not exceed 40%.

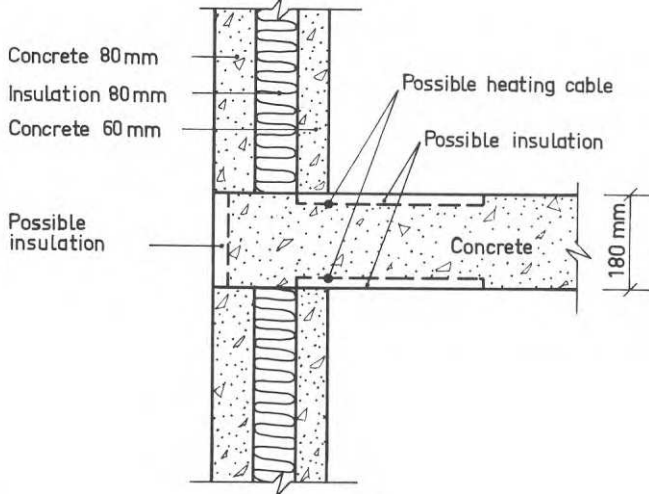


FIG. 2. Design at external wall of sandwich type with concrete leaves at the inside and outside. The design is defective, inter alia with regard to the moisture barrier.

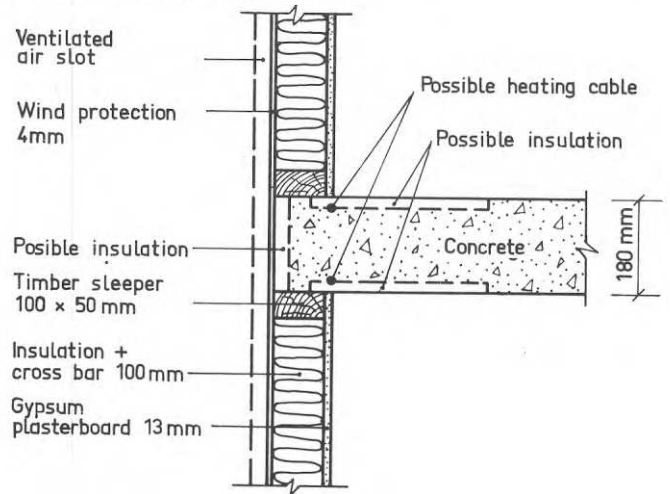


FIG. 3. Design at external wall in skeleton construction, with ventilated external facade. The design is defective, inter alia with regard to the moisture barrier.

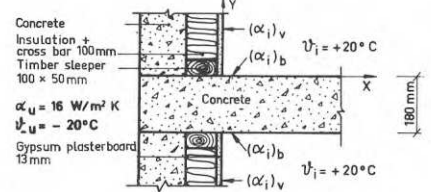
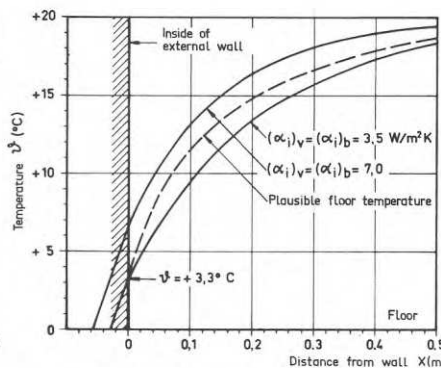
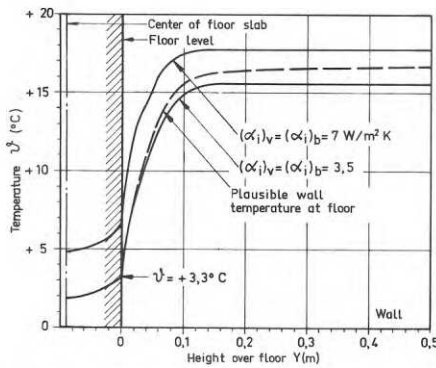


FIG. 4. Surface temperature at lower portion of external wall (at left) and on floor (at right) for an uninsulated floor slab.

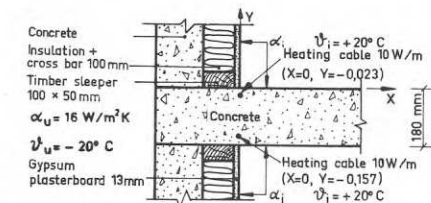
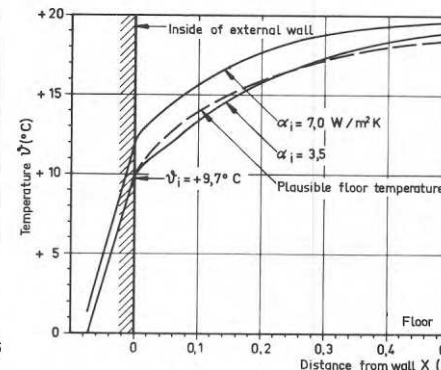
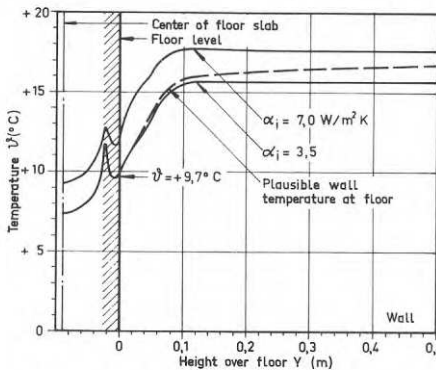


FIG. 5. Surface temperature at lower portion of external wall (at left) and on floor (at right) for an uninsulated floor slab with heating cable rated 10 W/m.

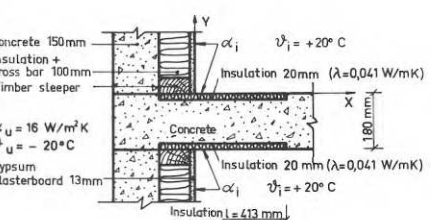
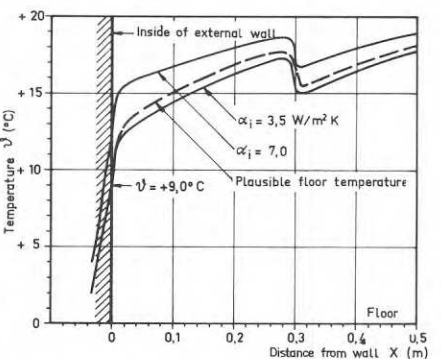
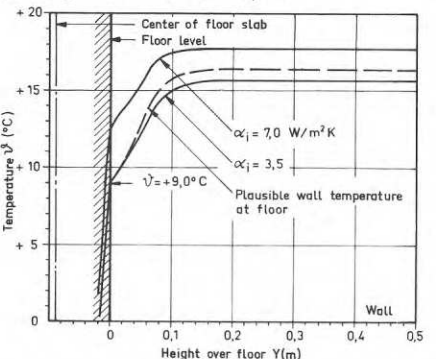


FIG. 6. Surface temperature at lower portion of external wall (at left) and on floor (at right) for a floor slab with insulation on the floor and ceiling along an edge zone.

Rapport R26:1971

YTTEMPERATURER OCH VÄRMEFÖRLUSTER VID
BETONGBJÄLKLÄG I FASADVÄGG

Värmeisolering eller värmekabel?

SURFACE TEMPERATURES AND HEAT LOSSES AT
CONCRETE FLOOR SLABS IN EXTERNAL WALLS

Heat insulation or heating cable?

av Bo Adamson

Denna rapport avser anslag C 351:4 från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola, Lund. Författare är professor Bo Adamson, LTH. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

INNEHÅLL

CAPTIONS	4
LIST of TABLES	6
SYMBOLS	7
BETECKNINGAR.....	9
1 PROBLEMET	11
2 BERÄKNINGSMETODIK	14
3 VAL AV α -VÄRDEN VID BERÄKNING AV YTTEMPERATUREN I ETT RUM	16
3.1 Värmeöverföring till en yta	16
3.2 Mätning av α -värden	20
4 STUDIUM AV KONSTRUKTION ENLIGT FIG.1	24
4.1 Oisolerad konstruktion	24
4.2 Horisontellt isolerat bjälklag	27
4.3 Isolerad bjälklagskant	28
4.4 Värmekablar	28
4.5 Yttemperatur på fasadytan	29
4.6 Värmeförluster	30
5 STUDIUM AV KONSTRUKTION ENLIGT FIG.2	33
5.1 Oisolerad konstruktion	33
5.2 Horisontellt isolerat bjälklag	33
5.3 Isolerad bjälklagskant	34
5.4 Värmekablar	34
5.5 Yttemperaturer på fasadytan	34
5.6 Värmeförluster	34
6 STUDIUM AV KONSTRUKTION ENLIGT FIG.3	37
6.1 Oisolerad konstruktion	37
6.2 Horisontellt isolerat bjälklag	37
6.3 Isolerad bjälklagskant	37
6.4 Värmekablar	38
6.5 Yttemperatur på fasadytan	38
6.6 Värmeförluster	38
7 KONSTRUKTIONSVÄL	41
7.1 Val med hänsyn till funktionskrav	41
7.2 Ekonomiska synpunkter på konstruktionsval	44
8 DIAGRAM	53
9 LITTERATUR	76

CAPTIONS

- FIG. 1 Design at external wall of load-bearing concrete. The design is defective, inter alia with regard to the moisture barrier.
- FIG. 2 Design at external wall of sandwich type with concrete leaves at the inside and outside. The design is defective, inter alia with regard to the moisture barrier.
- FIG. 3 Design at external wall in skeleton construction, with ventilated external facade. The design is defective, inter alia with regard to the moisture barrier.
- FIG. 4 Cells in temperature equilibrium in calculating temperature differences.
- FIG. 5 Siting of measurement points.
- FIG. 6 The angle factor φ at the corner.
- FIG. 7 Surface temperature ϑ at the outside of the wall ($z =$ height above centre of floor slab, $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ and $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$).
Design as shown in FIG. 1.
- a) Uninsulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 2).
 - b) Horizontally insulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 4).
 - c) Edge-insulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 7).
 - d) Heating cables rated 10 W/m (see drawing in DIAGRAM 8).
 - e) Heating cables rated 15 W/m (see drawing in DIAGRAM 9).
- FIG. 8 Surface temperature ϑ at the outside of the wall ($z =$ height above centre of floor slab, $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ and $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$).
Design as shown in FIG. 2.
- a) Uninsulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 11).

- b) Horizontally insulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 12).
- c) Edge-insulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 14).
- d) Heating cables rated 10 W/m (see drawing in DIAGRAM 15).
- e) Heating cables rated 15 W/m (see drawing in DIAGRAM 16).

FIG. 9 Surface temperature ϑ at the outside of the wall ($z =$ height above the centre of the floor slab, $\alpha_u = 16$ W/m²K, $\alpha_i = 7$ W/m²K). Design as shown in FIG 3.

- a) Uninsulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 17).
- b) Horizontally insulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 18).
- c) Edge-insulated floor slab seating (see drawing in DIAGRAM 20).
- d) Heating cables rated 10 W/m (see drawing in DIAGRAM 21).
- e) Heating cables rated 15 W/m (see drawing in DIAGRAM 22).

FIG. 10 Heat consumption coefficient Q_g (°Ch). Average for 1931-60 (for Gällivare, Sweden, for 1931-56 exclusive of 1949 and 1950).

FIG. 11 Illustration of Q_g .

LIST of TABLES

- TABLE 1. Heat conductivity for various materials.
- TABLE 2. The co-ordinates x, y and z of the measurement points (see FIG. 5), surface temperature ϑ_y , coefficient of radiant heat transfer α_s and coefficient of convective heat transfer α_k .
- TABLE 3. Heat loss Φ per metre of facade for one storey. Design as shown in FIG. 1. Difference in temperature between inside and outside $\Delta\vartheta = 40^\circ\text{C}$.

$$\Phi = \Phi'_X + \Phi''_X + \Phi'_Y + \Phi''_Y (+P)$$
- TABLE 4. Heat loss Φ per metre of facade for one storey. Design as shown in FIG. 2. Difference in temperature between inside and outside $\Delta\vartheta = 40^\circ\text{C}$.

$$\Phi = \Phi'_X + \Phi''_X + \Phi'_Y + \Phi''_Y (+P)$$
- TABLE 5. Heat loss Φ per metre of facade for one storey. Design as shown in FIG. 3. Difference in temperature between inside and outside $\Delta\vartheta = 40^\circ\text{C}$.

$$\Phi = \Phi'_X + \Phi''_X + \Phi'_Y + \Phi''_Y$$
- TABLE 6. Highest relative humidity of room air at a temperature of $+20^\circ\text{C}$ in order that surface condensation should not occur more than five days annually.
- TABLE 7. Number of days annually with a diurnal mean temperature $\leq \vartheta$. Average for the years 1931-60 (for Gällivare, Sweden, for 1931-56 exclusive of 1949 and 1950).
- TABLE 8. Summary of construction data for the cases shown in DIAGRAMS 1-22.

SYMBOLS

A	area
C	radiation constant of a gray body
C_s	radiation constant of a black body = 10^8 x Stefan - Boltzmann constant
Gr	Grashof number (p. 17)
K_i	cost of insulation per meter of facade wall (one storey)
K_k	costs of electrical cables per meter of facade wall (one storey)
K_v	annual heating cost per meter of facade wall (one storey)
K_A	yearly costs per meter facade wall (one storey)
N	number of days when electrical cables are on
Nu	Nusselt number (p. 17)
P	power of cables
Pr	Prandtl number (p. 17)
Q	heatconsumption koefficient
T	temperature
X,Y,Z	coordinates of length
a	thermal diffusivity (= $\lambda / \rho c$)
c	specific heat capacity
g	acceleration due to gravity
k_e	price of energy
k_v	price of heat
m_i	thermal resistanse from the inside of part of the structure to the room air
r_i	interest due to investment in additional heat insulation
r_k	interest due to investment in electrical cable
t	time

Φ	rate of heat flow, rate of heat flow per meter of facade wall (one storey)
Φ_k	rate of heat flow due to natural convection
Φ_s	rate of heat flow due to radiation
Θ	temperature difference
α	surface coefficient of heat transfer
α_i	α for the inside of part of the structure
$(\alpha_i)_b$	α_i for floors and ceilings
$(\alpha_i)_v$	α_i for facade walls
α_k	α for natural convection
α_s	α for radiation
α_u	α for the outside of part of the structure
β	coefficient of thermal expansion
φ	view factor (angle factor)
ν	kinematic viscosity
ϑ	temperature, surface temperature at $\vartheta_u = -20^\circ\text{C}$ and $\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$
ϑ'	surface temperature at $\vartheta_u \neq -20^\circ\text{C}$ and $\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$
ϑ_i	indoor air temperature
ϑ_u	outdoor air temperature
$(\vartheta_u)_n$	$\vartheta_u \leq (\vartheta_u)_n$ n days a year
$\Delta\vartheta$	temperature differens
λ	heat conductivity

BETECKNINGAR

A	area	m^2
C	strålningskonstant	$W/m^2 K^4$
C_s	strålningskonstant för svart yta	"
Gr	Grashofs tal (se sidan 17)	
K_i	isoleringskostnad per längdmeter fasad (ett våningsplan)	kr/m
K_k	kabelkostnad per längdmeter fasad (ett våningsplan)	"
K_v	årlig värmekostnad (eller vinst) på längdmeter fasad (ett våningsplan)	kr/m, år
K_A	årskostnad per längdmeter fasad (ett våningsplan)	"
N	antal dygn med kabel i drift	dygn
Nu	Nusselts tal (se sidan 17)	
P	kabeleffekt	kW
Pr	Prandtls tal (se sidan 17)	
Q	värmeförbrukningskoefficient	$^{\circ}Ch$
T	temperatur	K
X,Y,Z	längdkoordinat	m
a	värmediffusivitet (= $\lambda / \rho c$)	m^2/s
c	specifikt värme	J/kgK, (Ws/kgK)
g	jordaccelerationen	m/s^2
k_e	energipris	kr/kWh
k_v	värmepris	"
m_i	värmemotstånd på konstruktions insida	$m^2 K/W$
r_i	förräntning av tilläggsisolering	
r_k	förräntning av kabel	
t	tid	h

Φ	värmefflöde, värmefflöde per längdmeter fasad (ett våningsplan)	W el. W/m
Φ_k	värmefflöde på grund av konvektion	W
Φ_s	värmefflöde på grund av strålning	"
Θ	temperaturdifferens	$^{\circ}\text{C}$ el. K
α	värmeövergångsförmåga	W/m ² K
α_i	värmeövergångsförmåga vid konstruktions insida	"
(α_i) _b	värmeövergångsförmåga vid bjälklagsyta	"
(α_i) _v	värmeövergångsförmåga vid väggs insida	"
α_k	värmeövergångsförmåga på grund av konvektion	"
α_s	värmeövergångsförmåga på grund av strålning	"
α_u	värmeövergångsförmåga vid konstruktions utsida	"
β	termiska utvidgningstalet	1/K
φ	vinkelkoefficient	
ν	kinematisk viskositet	m ² /s
ϑ	temperatur, yttemperatur vid $\vartheta_u = -20^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_i = +20^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$
ϑ'	yttemperatur vid $\vartheta_u \neq -20^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_i = +20^{\circ}\text{C}$	"
ϑ_i	innetemperatur	"
ϑ_u	utetemperatur	"
(ϑ_u) _n	utetemperatur som ej underskrides mer än n dygn per år	"
$\Delta\vartheta$	temperaturdifferens	$^{\circ}\text{C}$ el. K
λ	värmeledningsförmåga	W/mK

1 PROBLEMET

Anslutningen mellan bjälklag och yttervägg ger ofta upphov till byggnadstekniska problem. Av olika skäl önskar man ofta föra ett betongbjälklag ända ut i fasaden. Sålunda kan bjälklaget vara upplagt på en yttre bärande betongvägg som FIG.1 visar, eller på en bärande sandwichvägg med utvändig och invändig betong enligt FIG. 2, eller också kan ytterväggen vara av utfackningstyp och uppburen av bjälklaget som FIG.3 visar. Vid dessa och liknande konstruktionsalternativ är man tvungen att vidtaga speciella åtgärder för att inte ytterväggens insida och bjälklagets yta skall få för låg yttemperatur under vintern. Låga yttemperaturer kan nämligen resultera i ytkondens och fuktskador. Det är därvid att observera att under en byggnads livslängd kan förhållandena inomhus ändras. Även om vi idag under vintern ofta inte har högre relativa fuktigheter än 20-30% inomhus, så kan man tänka sig att man i framtiden av någon anledning befuktar luften upp till säg 50% relativ fuktighet. Det är anledning att tro att kontor i vissa lokaler kan komma att kräva 50% relativ fuktighet, medan behovet av befuktning i bostäder är mera avlägset i tiden. Vid en relativ fuktighet av 50% och rumstemperaturen $+20^{\circ}\text{C}$ sker ytkondensation redan vid $+9^{\circ}\text{C}$ dvs. om en yta i rummet har temperaturen $+9^{\circ}\text{C}$.

Även om ytkondens ej skulle inträffa kan låga yttemperaturer ge upphov till nedsmutsning. Vid en bjälklagsgenomföring ut i fasad kan en sådan nedsmutsning bli högst påtaglig och resultera i höga underhållskostnader.

Av hygieniska skäl är det även motiverat att undvika låga yttemperaturer. Detta gäller framför allt golv, som är den enda ytan i ett rum med vilken kroppen är i kontakt under lång tid.

I föreliggande undersökning skall de tre konstruktionsalternativen i FIG.1, 2 och 3 studeras och olika möjligheter att undvika låga yttemperaturer närmare belysas. Man kan naturligtvis finna många andra konstruktionsalternativ utöver de här studerade och många andra konstruktionsförslag än de här visade.

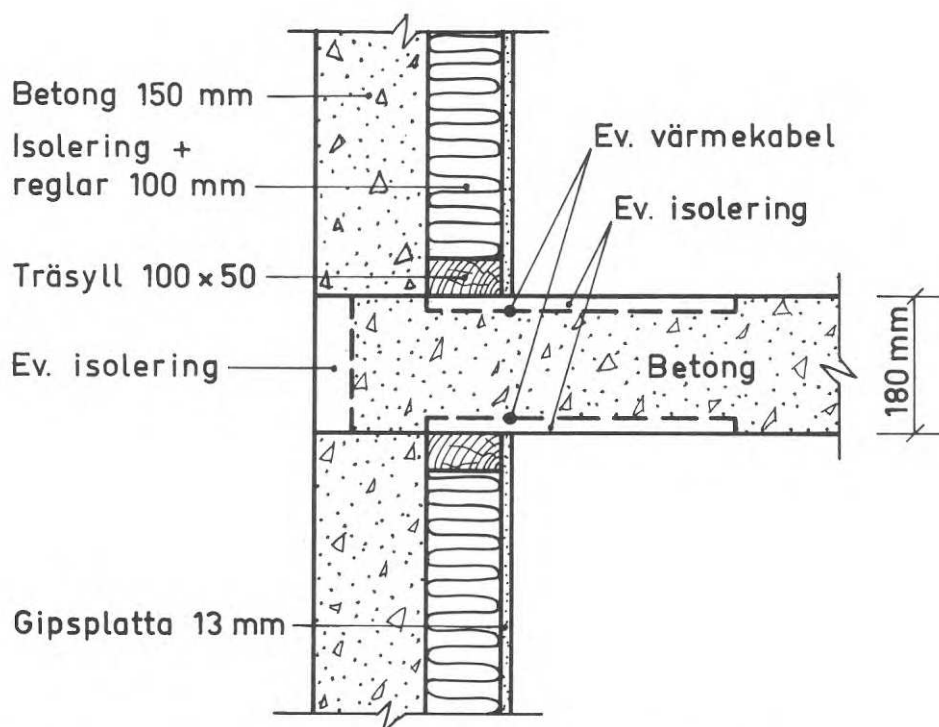


FIG. 1 Konstruktionsalternativ vid yttervägg med bärande betong. Konstruktionen ofullständig bl. a. med avseende på fuktskydd.

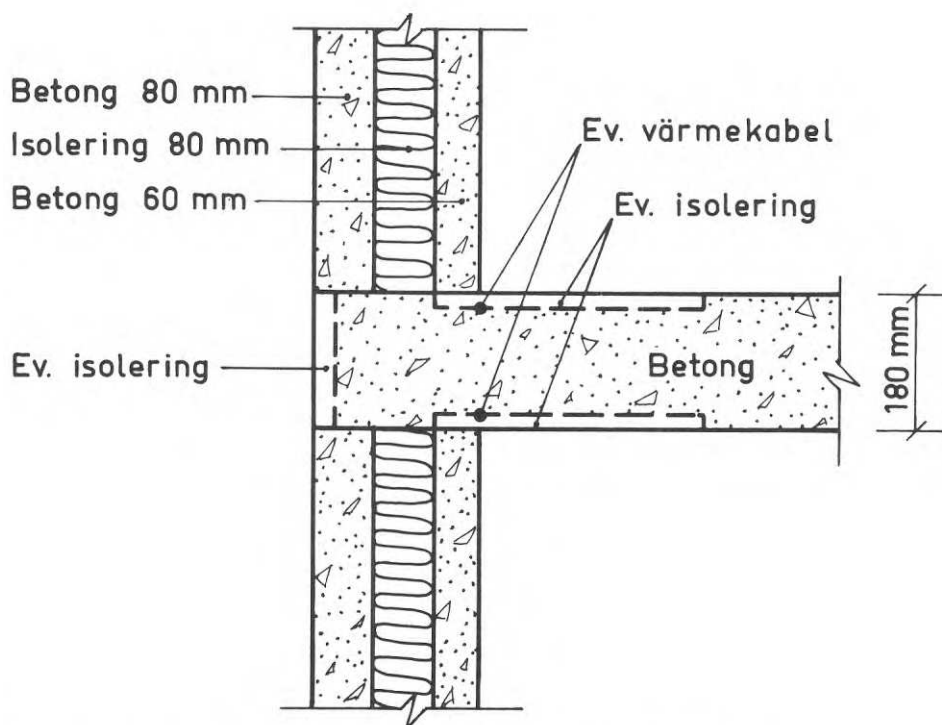


FIG. 2 Konstruktionsalternativ vid yttervägg av sandwichtyp med ut- och invändig betong. Konstruktionen ofullständig bl. a. med avseende på fuktskydd.

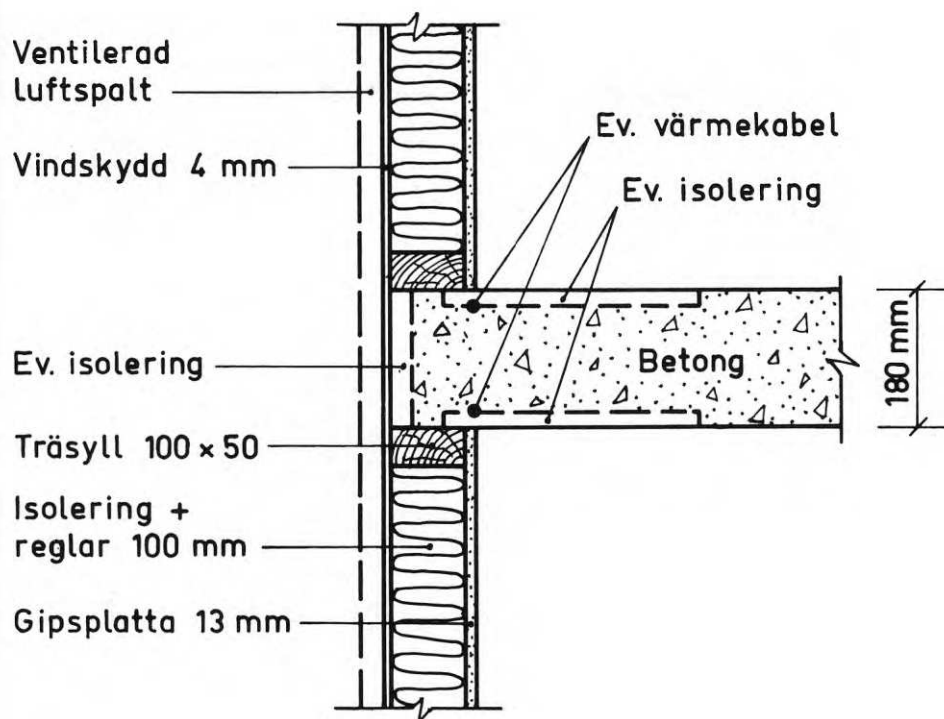


FIG. 3. Konstruktionsalternativ vid yttervägg med regelstomme och luftat yttre fasadmateriäl. Konstruktionen ofullständig bl. a. med avseende på fuktskydd.

Meningen har ej varit att täcka alla alternativ utan endast att ge synpunkter och kanske idéer i det dagliga konstruktionsarbetet.

2 BERÄKNINGSMETODIK

Om man bortser från temperaturens tidsvariation, så är beräkningen av temperaturen i en godtycklig punkt inom konstruktionen ett tvådimensionellt stationärt värmeströmningsproblem. Sådana problem kan endast i undantagsfall lösas analytiskt. Man är oftast hänvisad till differensräkningsförfaranden där konstruktionen delas in i rutnät med varje ruta representerande en cell med temperaturen ϑ_n i mitten. Cellen är i temperaturjämvikt med de fyra omgivande cellerna enligt FIG.4. Man erhåller således för varje cell ett jämviktsvillkor.

$$\frac{\lambda y}{\Delta y}(\vartheta_2 - \vartheta_0) + \frac{\lambda y}{\Delta y}(\vartheta_4 - \vartheta_0) + \frac{\lambda x}{\Delta x}(\vartheta_1 - \vartheta_0) + \frac{\lambda x}{\Delta x}(\vartheta_3 - \vartheta_0) = 0 \quad (1)$$

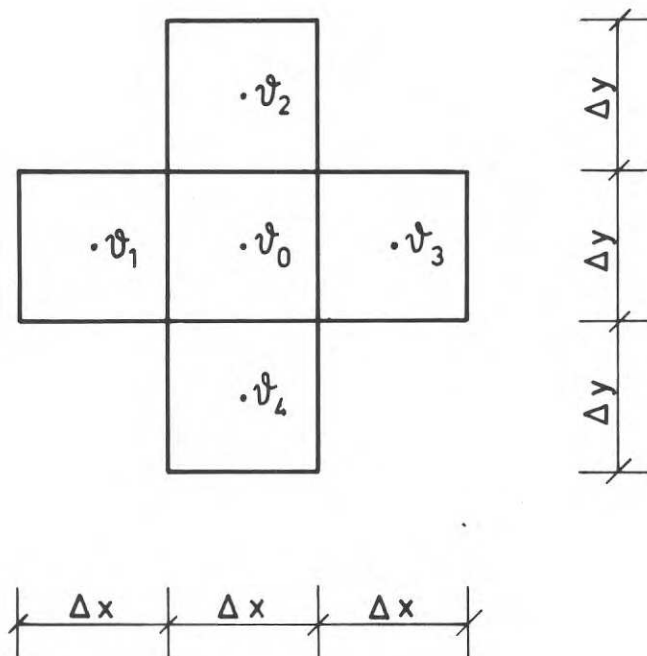


FIG.4. Celler i temperaturjämvikt vid differensräkning.

Det finns flera datorprogram för lösning av sådana problem. I denna undersökning har utnyttjats ett program utarbetat av Brodén (1969). Detta medger uppdelning med olika rutstorlek i x- och y-led och med ca 3600 celler totalt. Beräkningstiden på CD 3600 är i detta fall ca 3 minuter per beräkningsfall. Materialdata framgår av TAB.1 och av diagrammen i kapitel 8.

TAB.1. Värmeledningsförmåga för olika material.

Material	λ	
	W/mK	kcal/h·m·°C
Betong	1,745	1,50
Trä	0,140	0,12
Kork, cellplast, mineralull	0,0407	0,035
Polyuretan	0,0290	0,025
Isolering + reglar	0,0476	0,041
Trällsskiva	0,0814	0,07
Vindskydd	0,186	0,16
Gipsplatta	0,216	0,186

3 VAL AV α -VÄRDEN VID BERÄKNING AV YTTEMPERATURER I ETT RUM

3.1 Värmeöverföring till en yta

Värmeövergången till en yta i ett rum beskrives ofta genom den inre värmeövergångsförmågan α_i eller inre värmeövergångsmotståndet m_i så att värmeflödet blir

$$\Phi = \alpha_i A (\vartheta_r - \vartheta_y)$$

eller

$$\Phi = \frac{A (\vartheta_r - \vartheta_y)}{m_i}$$

där ϑ_r = rumsluftens temperatur (K eller °C)
 ϑ_y = ytans temperatur (K eller °C)
 A = ytans storlek (m²)

Vid beräkning av värmegenomgången genom konstruktioner (dess k-värde) sättes ofta $m_i = 0,15^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}/\text{kcal}$ dvs.
 $m_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ eller $\alpha_i = 7,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

När det gäller att studera yttemperaturer i ett rum måste man emellertid göra en noggrannare analys av värmeövergången till ytan A. Värmeflödet består av en strålningsdel α_s och en konvektiv del α_k - vi bortser från kondensation och avdunstning. Strålningsdelen kan skrivas

$$\Phi_s = A \sum_n \frac{C_o C_n}{C_s} \varphi_n \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

där A = den mottagande ytans storlek (m²)
 C_o = ytan A:s strålningskonstant (W/m²K⁴)
 C_s = en svart ytas strålningskonstant
 (= 5,68 W/m²K⁴)
 C_n = den n:te avgivande ytans strålningskonstant
 φ_n = " " " " vinkelkoefficient

T_n = den n:te avgivande ytans temperatur (K)

T_o = den mottagande ytans temperatur (K)

När de omgivande ytorna tillsammans bildar ett halvrum sett från ytan A blir

$$\sum_n \varphi_n = 1$$

I litteraturen finns diagram för beräkning av vinkelkoefficienten φ - se t. ex. Gebhart (1961) och VVS-handboken (1963).

För att exemplifiera ovanstående kan man i ett rum anta att samtliga ytor utom ytan A har rumstemperatur T_r och strålningstalet C . Då blir

$$\Phi_s = \frac{C_o C}{C_s} A \left[\left(\frac{T_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right] \quad (3)$$

Med $C_o = C = 5,3 \text{ W/m}^2 \text{K}^4$ och $\frac{T_r + T_o}{2} = 293 \text{ K} (= 20^\circ \text{C})$ blir då

$$\Phi_s = 5 (\vartheta_r - \vartheta_o) \cdot A$$

där ϑ är temperaturen i Celsiusgrader.

Den konvektiva delen av värmeflödet kan skrivas

$$\Phi_k = \alpha_k (\vartheta_r - \vartheta_y) \cdot A \quad (4)$$

Den konvektiva genomsnittliga värmeövergångsförmågan $\bar{\alpha}_k$ har studerats för bl. a. vertikala uppvärmda skivor. Man kan då representera försöksvärdena genom dimensionslösa storheter och skriva sambandet

$$Nu = K \cdot (Gr Pr)^n$$

där Nu = Nusselts tal = $\frac{\bar{\alpha}_k \cdot L}{\lambda}$

$$Gr = \text{Grashofs tal} = \frac{g \beta \Theta L^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \text{Prandtls tal} = \nu / a$$

med

L = skivans längd

λ = luftens (eller annat mediums) värmeledningsförmåga
(W/mK)

g = jordaccelerationen (= $9,8 \text{ m/s}^2$)

β = termiska utvidgningstalet (1/K)

Θ = temperaturskillnad mellan skiva och luft vid $x=0$

ν = luftens kinematiska viskositet (m^2/s)

a = luftens värmediffusivitet (m^2/s)

För luft med temperaturen $+20^\circ\text{C}$ kan man skriva

$$\text{Gr Pr} = 1,05 \cdot 10^8 \cdot \Theta \cdot L^3$$

Enligt Gebhart (1961) gäller för $10^4 < \text{Gr Pr} < 10^8$, då luftströmningen är huvudsakligen laminär

$$\text{Nu} = 0,59 \cdot (\text{Gr Pr})^{1/4} \quad (5)$$

och för $\text{Gr Pr} > 10^8$, då luftströmningen huvudsakligen är turbulent

$$\text{Nu} = 0,13 \cdot (\text{Gr Pr})^{1/3} \quad (6)$$

För ytterväggar i rum kan man sätta $\Theta \approx 3^\circ\text{C}$. Då blir luftströmningen laminär för

$$L \leq \sqrt[3]{\frac{1}{1,05 \cdot 3}} = 0,68 \text{ m}$$

Då blir med $\lambda = 0,0258 \text{ W/mK}$

$$\alpha_k = \lambda \cdot 0,59 \cdot 10^2 \cdot \sqrt[4]{1,05} \cdot \sqrt[4]{\frac{\Theta}{L}} = 1,53 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Theta}{L}}$$

För $\Theta = 3^\circ\text{C}$ och $L = 0,1 \text{ m}$ (räknat från tak) blir $\bar{\alpha}_k = 3,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

För $L = 0,4 \text{ m}$ blir $\bar{\alpha}_k = 2,5$ och för $L = 0,68 \text{ m}$ blir $\bar{\alpha}_k = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Inom det turbulenta området blir

$$\bar{\alpha}_k = \lambda \cdot 0,13 \cdot 10^2 \cdot \sqrt[3]{1,05} \cdot \sqrt[3]{\Theta} = 1,58 \cdot \sqrt[3]{\Theta} \quad (7)$$

vilket för $\Theta = 3^{\circ}\text{C}$ ger $\bar{\alpha}_k \approx 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

I de ovan angivna genomsnittliga $\bar{\alpha}_k$ -värdena avser Θ skillnaden mellan lufttemperaturen vid skivans kant och skivans yttemperatur (eller tvärtom).

För rum utan ventilation har Min m. fl. (1956) funnit att vid tak- eller golvvärme blir det genomsnittliga $\bar{\alpha}_k$ -värdet för väggar

$$\bar{\alpha}_k = 1,78 \cdot \Theta^{0,32} \quad (8)$$

För $\Theta = 3^{\circ}\text{C}$ blir då $\bar{\alpha}_k = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Man kan således förvänta sig ett konvektivt α -värde som på ytterväggens halva höjd är $2-2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ och som ökar uppåt mot taket där man kan vänta sig ca $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Dessa värden gäller oventilerade rum med samma lufttemperatur i rummets höjdded. Detta är under praktiska förhållanden en omöjlig förutsättning. Ofta är under sådana förhållanden temperaturskillnaden 2 à 3 grader mellan luft i tak- och golvnivå. Om man definierar α_k ur sambandet

$$\Phi_k = \alpha_k A \cdot (\bar{\vartheta}_r - \vartheta_y)$$

där $\bar{\vartheta}_r$ är lufttemperaturen mitt i rummet så kommer α_k -värdet vid tak att vara ca $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ medan det vid golv kommer att vara ca $2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

För golv och tak anger Min m. fl. (1956) att vid värmeavgivning från varmt golv blir

$$\bar{\alpha}_k = 2,4 \cdot \Theta^{0,31} \cdot D^{-0,08} \quad (9)$$

där $D = 4 A/O$ med $A =$ ytans area och $O =$ dess omkrets. För en kvadratisk yta med sidan a blir då $D = a$.

Vid värmeavgivning från varmt tak blir

$$\bar{\alpha}_k = 0,2 \cdot \theta^{0,25} \cdot D^{-0,24} \quad (10)$$

För en kall golvyta $3 \times 3 \text{ m}^2$ med $\theta = 3^\circ\text{C}$ gäller ekv. (10)

$$\bar{\alpha}_k = 0,2 \cdot \frac{3^{0,25}}{3^{0,24}} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

och för en kall takyta $3 \times 3 \text{ m}^2$ med $\theta = 3^\circ\text{C}$ gäller ekv. (9)

$$\bar{\alpha}_k = 2,4 \cdot \frac{3^{0,31}}{3^{0,08}} = 3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Om ett rum har stora luft rörelser på grund av stor ventilation kommer temperaturskillnaderna hos rumsluften att vara små. Konvektionen blir då delvis påtvingad och lufthastigheterna längs tak, väggar och golv blir då större än vid ren egenkonvektion. Som följd härav blir också värmeöverföringen mellan luft och yta bättre och således α_k -värdena större än som ovan angivits.

3.2 Mätning av α -värden

I en villa, vars golvbjälklag på sin undersida och takbjälklag på sin översida har uteluftens temperatur, har i ett hörnrum registrerats värme flöden och temperaturer. Mätningar har skett varje timme under en mätperiod av 60 timmar i slutet av januari månad, då sol- och himmelsstrålningen är obetydlig. Vid varje tidpunkt har för varje mätpunkt registrerats yttemperaturer på konstruktionens in- och utsida, lufttemperatur 5 cm från konstruktionens insida samt värme flödet.

Vidare har utetemperaturen samt rumsluftens temperaturvariation i rummets mitt registrerats vid varje tidpunkt. Mätningarnas huvudsyfte var att bestämma konstruktionsdelarnas k-värde men mätningarna kan även utnyttjas för uppskattning av α -värden.

I FIG.5 visas en del av mätpunkternas placering och i TAB.2

ges deras koordinater. För golvet har en del mätpunkter ej medtagits eftersom de påverkades av radiatoren, vars påkoppling var termostatstyrd. Rumsluften temperaturvarierade i höjdlid i rummets mitt och var 5 cm under tak = $+20,2^{\circ}\text{C}$, 5 cm ovan golv = $+17,4^{\circ}\text{C}$ och genomsnittligen över hela höjden = $+19,5^{\circ}\text{C}$. Uteluftens temperatur var under mätperioden -2°C . I TAB.2 visas också yttemperaturerna ϑ_y på konstruktionens insida - även dessa som medelvärden under mätperioden.

Ur uppmätta värmeflöden har den sammanlagda värmeöverföringen genom strålning och konvektion bestämts så att

$$\Theta = A (\bar{\vartheta}_r - \vartheta_y)$$

där $\bar{\vartheta}_r = 19,5^{\circ}\text{C}$. Med uppgifter om yttemperaturerna i rummet har för varje mätpunkt beräknats det från omgivningen instrålade värmeflödet Θ_s/A , varur α_s bestämts

$$\alpha_s = \frac{\Phi_s}{A (\bar{\vartheta}_r - \vartheta_y)}$$

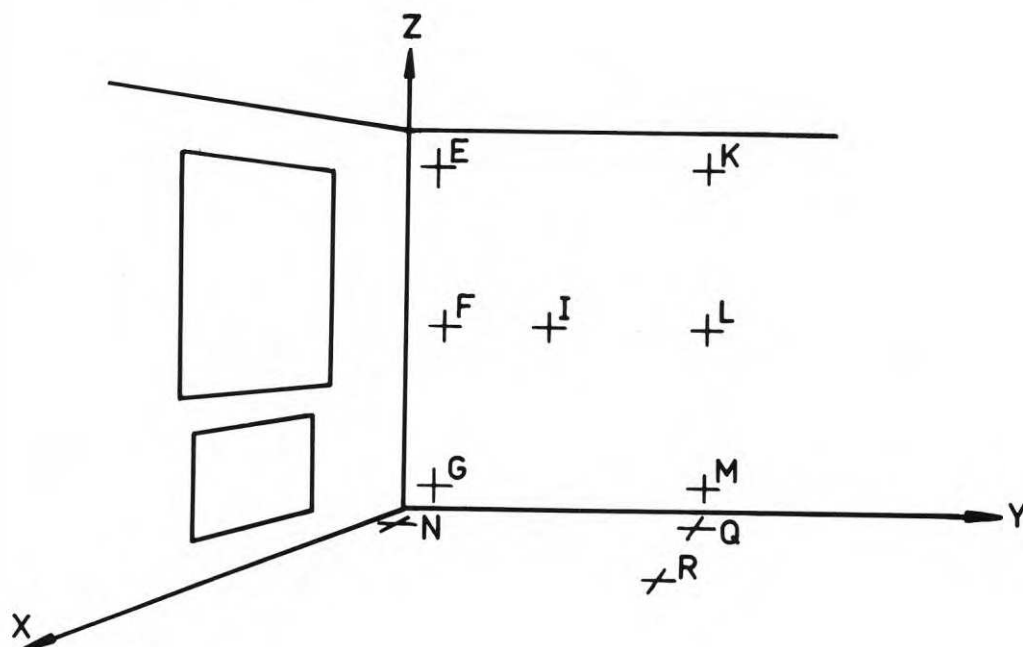


FIG. 5 Mätpunkternas placering.

TAB. 2 Mätpunkternas koordinater x , y och z (se FIG. 5), yttemperatur ϑ_y , strålningsvärmeöverföringsförmåga α_s och konvektiv värmeöverföringsförmåga α_k .

Mät- punkt	x (m)	y (m)	z (m)	ϑ_y (°C)	α_s (W/m ² K)	α_k (W/m ² K)
E	0	0,20	2,25	18,1	1,0	3,4
F	0	0,20	1,20	17,9	0,9	2,6
G	0	0,20	0,15	17,1	1,7	1,2
I	0	0,95	1,20	18,1	1,2	2,4
K	0	2,00	2,25	18,5	0,7	4,8
L	0	2,00	1,20	18,1	1,5	2,5
M	0	2,00	0,15	17,3	2,1	1,6
N	0,20	0,20	0	16,9	2,0	0,5
Q	0,20	2,00	0	17,0	2,8	-0,9
R	2,00	2,00	0	17,4	3,7	-2,2

Därvid har fönster och radiator betraktats som yttervägg, dvs. den extra köldstrålningen från fönstret antas kompenseras av radiatorn. Den konvektiva värmeövergångsförmågan blir då

$$\alpha_k = \alpha - \alpha_s$$

I TAB. 2 visas α_s och α_k för de olika mätpunkterna. Man ser att för mätpunkterna E och K på ytterväggens övre del blir $\alpha_k = 3,4$ resp. $4,8$ W/m²K, vilket väl överensstämmer med resonemanget i förra avsnittet. På ytterväggens halva höjd ger mätpunkterna F, I och L $\alpha_k \approx 2,5$ W/m²K och vid golvnivå erhålles vid mätpunkterna G och M $\alpha_k \approx 1,4$ W/m²K, allt i god överensstämmelse med resonemanget i föregående avsnitt.

Vid golvet mätpunkter N, Q och R erhöles α_k -värden som är kring eller lägre än 0. Eftersom i inget fall golvtemperaturen varit högre än lufttemperaturen, så skulle man ej få α_k mindre än 0. Det är emellertid troligt att luftströmmen längs ytterväg-

gen kan värmas upp av golvytan och således den konvektiva värmeövergången vara negativ intill ytan. Det är också möjligt att

α_s stämts för högt. Det verkar rimligt att anta att α_k varierar från ca $\alpha_k = 1$ vid väggen till $\alpha_k = -1$ mitt på golvet.

Vid taket är på analogt sätt $\alpha_k = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ och ungefär samma längre in i rummet. Det skall ännu en gång påpekas att rummet hade mycket liten ventilation.

4 STUDIUM AV KONSTRUKTION ENLIGT FIG. 1

4.1 Oisolerad konstruktion

För konstruktionen enligt FIG. 1 utan extra värmeisolering eller värmekablar har temperaturfältet datorberäknats. Därvid har förutsatts materialdata enligt TAB. 2, utetemperaturen $\vartheta_u = -20^\circ\text{C}$ och rumstemperaturen $\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$. På väggens utsida har satts $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ motsvarande $m_u = 0,063 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($= 0,073^\circ\text{C, m}^2, \text{ h/kcal}$).

Beräkningarna har utförts med två olika α -värden på konstruktionens insida, nämligen $\alpha_i = 3,5$ och $\alpha_i = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ samt för ett fall med $\alpha_i = 7,0$ för väggens insida och $\alpha_i = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ för bjälklaget.

Man ser av DIAGRAM 1 (diagrammen är samlade i kapitel 8) att man har en kraftig yttemperatursänkning i hörnet mellan golv och vägg. Temperaturen där blir för $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ så låg som $\vartheta = +3,3^\circ\text{C}$. Om väggens och bjälklagets värmeöverföring sättes till $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ blir yttemperaturen inne i hörnet $\vartheta = +6,7^\circ\text{C}$. Om väggen har $(\alpha_i)_v = 7,0$ och bjälklaget $(\alpha_i)_b = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, så gäller för golvet ungefär samma temperaturkurva som när $(\alpha_i)_v = 3,5$. Hörntemperaturen ϑ blir $+4,0^\circ\text{C}$. För väggen gäller temperaturkurvan för $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 7,0$ ända ned till $Y = 0,05$, då den går över till att nära ansluta sig till $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 3,5$.

Man ser vidare av DIAGRAM 1 att man måste avlägsna sig 0,25 - 0,35 m från yttervägg innan yttemperaturen kommer upp till $+17^\circ\text{C}$. För väggen blir inverkan av bjälklagsgenomföringen begränsad till de nedersta 0,1 m av väggen.

Om man önskar veta yttemperaturen vid en annan utetemperatur än -20°C kan detta med god approximation - om $\vartheta_u < 0^\circ$ och $\vartheta_i = 20^\circ\text{C}$ -erhållas ur

$$\vartheta' = \vartheta_i - \frac{\vartheta_i - \vartheta'_u}{40} (20 - \vartheta) \quad (11)$$

där ϑ' = yttemperaturen vid uttemperaturen ϑ'_u , ϑ = yttemperaturen vid $\vartheta_u = -20^\circ\text{C}$ och ϑ_i = rumtemperaturen.

Aktuella α -värden för väggar och tak kan beräknas med utgångspunkt från yttemperaturerna i DIAGRAM 1. Det antas att rummet har god ventilation och således högre α_k -värden än vid oventilerat rum. Således sättes α_k för golv till 1-1,5 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

För hörnet mellan golv och vägg ($X = 0$ och $Y = 0$) uppfattar den mottagande ytan på golvet eller väggen endast halva halvrummet omfattande ytor med ungefär rumstemperatur medan nedersta delen av väggen har temperaturen ϑ dvs. samma som den mottagande ytan - se FIG.6. Då blir $\alpha_s = 4,9/2 = 2,5$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Konvektionen inne i hörnet är ganska liten och har satts till $\alpha_k = 1,0$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Då blir $\alpha = \alpha_s + \alpha_k = 3,5$ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. För hörnet mellan yttervägg och golv skulle således yttemperaturen enligt DIAGRAM 1 bli $\vartheta = +3,3^\circ\text{C}$, vilket ger ytkondens för rumsluft med temperaturen $+20^\circ\text{C}$ och relativa fuktigheten större än ca 35%. Man får således under normala inomhusklimatiska förhållanden ytkondens i hörnet vid uttemperaturen $\approx -20^\circ\text{C}$.

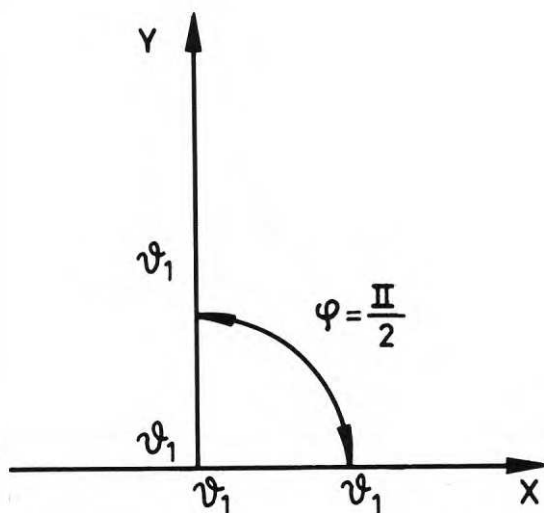


FIG.6 Vinkelkoefficient φ invid hörn.

Om man betraktar en punkt 5 cm in på golvet ($X = 0,05$) så blir $\alpha_s = \text{ca } 3,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, vilket ger $\alpha = 3,7 + 1,0 = 4,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ och yttemperaturen ca $+8,5^\circ\text{C}$. Ytkondensationen inträffar då för 20-gradig luft med relativa fuktigheten ca 45%. Så hög rumsfuktighet uppnås normalt ej utan befuktning. Ytkondensen vid hörnet vägg-golv är således lokalt begränsad. För $X = 0,40 \text{ m}$ är golvtemperaturen $17\text{-}18^\circ\text{C}$ och instrålningen från ytterväggen försumbar. Då blir $\alpha_s = \text{ca } 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, vilket tillsammans med $\alpha_k = 1,5$ ger $\alpha = 4,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. En zon på ca $0,3 \text{ m}$ från väggen får alltså yttemperatur som är lägre än 17°C och således mindre lämplig som vistelsezon. För $Y < 0$ (se DIAGRAM 1) sjunker α_s först på grund av det kalla golvet och $\alpha_s = 2$ vid $Y = 0,05 \text{ m}$. Med $\alpha_k = 1,2$ blir då $\alpha = 3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. För $Y = 0,10 \text{ m}$ blir $\alpha = 3 + 1,5 = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ och för $Y = 0,40 \text{ m}$ blir $\alpha = 3,2 + 2,3 = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vid hörn vägg-tak kan man räkna med samma α_s -värden som vid vägg-golv. Emellertid blir $\alpha_k = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$ både för väggens överdel och taket. Man kan då för både väggens överdel och taket sätta $\alpha = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kurvorna för $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan därför användas för vägg-tak i samtliga diagram.

Om man har olika α_i -värden för bjälklagets över- och undersida så blir temperaturkurvorna ej symmetriska kring bjälklagets mitt. Konsekvensen härav framgår av DIAGRAM 2, där yttemperaturen på ytterväggs insida, golv och tak visas för det fallet att $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ på ovansidan och $(\alpha_i)_v = (\alpha_i)_b = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ på undersidan av bjälklaget och tillhörande vägg. Om dessa yttemperaturkurvor jämföres med kurvorna i DIAGRAM 1, så finner man att temperaturen i hörnet golv-vägg blir $\vartheta = +4,5^\circ\text{C}$ i DIAGRAM 2 mot $\vartheta = +3,3^\circ\text{C}$ för $\alpha_i = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ på vägg, golv och tak i DIAGRAM 1. Temperaturen i hörnet tak-vägg blir $\vartheta = +6,0^\circ\text{C}$ mot $\vartheta = 6,6^\circ\text{C}$ för $\alpha_i = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ på vägg, golv och tak i DIAGRAM 1. Kurvorna för yttemperaturen på golv och tak i DIAGRAM 2 ligger mellan kurvorna i DIAGRAM 1 för $\alpha_i = 3,5$ resp. $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$ för vägg, golv och tak.

För att inte förutsäga för höga yttemperaturer kan man för några värden på X (vid golv) räkna ut tillhörande α_i -värden och

märka ut sannolika yttemperaturer med utgångspunkt från $\alpha_1 = 3,5$ resp. $\alpha_1 = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Således har i DIAGRAM 3:s högra del uttritats hur golvtemperaturen troligen varierar. I diagrammets vänstra del visas troliga yttemperaturer för ytterväggen vid golv, bestämda ur beräknade α_1 -värden för olika värden på Y.

4.2 Horisontellt isolerat bjälklag

En vanlig åtgärd för att undvika låga yttemperaturer i hörnet mellan yttervägg och golv resp. tak är att bjälklagets ovansida och undersida förses med en tunn värmeisolering. Denna bör då dragas in i väggen som visas av ritningen på DIAGRAM 4. Om värmeisoleringen göres av t.ex. kork eller en stabil polystyrenplast med $\lambda = 0,0406 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ($= 0,035 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$) och med tjockleken 20 mm samt bredden 413 mm, varav 113 mm in under vägg, så får man som DIAGRAM 4 visar en temperatur i hörnet vägg-golv som är $\vartheta = +9,0^\circ\text{C}$. På golvet kommer yttemperaturen att sänkas 3°C där värmeisoleringen slutar ($X = 0,3 \text{ m}$).

Om man önskar ytterligare höja yttemperaturen i hörnet vägg-golv kan man tänka sig använda polyuretanplast med $\lambda = 0,029 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ($= 0,025 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$). Då blir emellertid som DIAGRAM 5 visar hörntemperaturen inte högre än $\vartheta = +9,5^\circ\text{C}$. Förbättringen blir således obetydlig i förhållande till förra fallet.

Det kan erbjuda produkttekniska problem att föra in värmeisoleringen under regelväggen. Därför är man frestad att börja värmeisoleringen där ytterväggen slutar såsom ritningen i DIAGRAM 6 visar. Då kommer emellertid yttemperaturen i hörnet vägg-golv att sänkas i förhållande till fallet utan värmeisolering. Man får till och med minusgrader i själva hörnet. Temperaturen på själva väggen och framför allt golvet stiger snabbt, men de nedersta 10 mm av ytterväggen får yttemperaturer som är lägre än 4°C .

Om man skall undvika låga yttemperaturer i hörnet vägg-golv och låga yttemperaturer på väggens nedre del måste således den horisontella värmeisoleringen föras in i väggen såsom rit-

ningen i DIAGRAM 4 visar.

4.3 Isolerad bjälklagskant

En vanlig metod att höja yttemperaturerna vid bjälklaget är att värmeisolera bjälklagskanten på sätt som ritningen i DIAGRAM 7 visar. Värmeisoleringen utgöres ofta av en träullsplatta, som putsas utvändigt. Den maximala tjocklek som isoleringen kan ges är 50 mm eftersom betongväggen är bärande. Värmeledningsförmågan har satts till $\lambda = 0,081 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ($= 0,070 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$).

Av DIAGRAM 7 framgår att yttemperaturen i hörnet vägg-golv blir ca $+5^{\circ}\text{C}$. Golvet får en yttemperatur lägre än $+17^{\circ}\text{C}$ inom en zon på 0,3 m från ytterväggen.

Isoleringen av bjälklagskanten har således givit oväsentliga förbättringar i jämförelse med oisolerad konstruktion (DIAGRAM 3). Anledningen framgår klart av ritningen i DIAGRAM 7. Värmeflödet leds nämligen ut genom kontaktytan mellan betongbjälklaget och betongfasaden.

4.4 Värmekablar

En metod att höja yttemperaturerna vid en betongbjälklagsgenomföring är att tillföra värme med en elektrisk värmekabel. Som visas av ritningen i DIAGRAM 8 kan denna gjutas in i betongbjälklaget. Man kan spekulera över värmekabelns eller värmekablarnas placering. För att värmeavledningen till bjälklaget skall bli god måste kabeln vara kringgjuten med betong. Av praktiska skäl bör täckskiktet vara ca 20 mm och kablarnas centrum har därför placerats 23 mm från bjälklagsytan. Olika lägen i X-led har studerats och det har visat sig att en placering rakt under ytterväggens insida ger god temperaturfördelning på vägg och golv.

I DIAGRAM 8 visas ett fall med två värmekablar med vardera 10 W/m placerade i $X = 0$ och $Y = -0,023 \text{ m}$ resp. $Y = -0,157 \text{ m}$.

I hörnet vägg-golv är liksom tidigare $\alpha = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, vilket ger en yttemperatur i hörnet $\vartheta = \text{ca } +10^{\circ}\text{C}$.

Det är intressant att notera att för $X = 0,50$ m blir golvet så varmt som $18,5^{\circ}\text{C}$, vilket ger $\alpha_s = \text{ca } 1 \text{ W/m}^2\text{K}$ och således $\alpha = 1 + 1,5 = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Längre in på golvet blir α ännu lägre.

Yttemperaturen på golvet blir lägre än 17°C inom en zon omfattande $0,25$ m från vägg dvs. inom nästan lika stor zon som vid DIAGRAM 3.

Om man lägger in två värmekablar med vardera 15 W/m så blir yttemperaturerna, som DIAGRAM 9 visar betydligt högre. I hörnet vägg-golv erhålles ca $+13^{\circ}\text{C}$. Zonen med golvtemperatur lägre än 17°C är begränsad till ca $0,15$ - $0,20$ m från väggens insida.

Man kan också tänka sig en kombination av värmeisolering av bjälklagskanten samt värmekabel. I DIAGRAM 10 visas fallet med en kantisolering av 5 cm träullsplatta samt två värmekablar med vardera 10 W/m . Yttemperaturen i hörnet vägg-golv blir då ca $+11,5^{\circ}\text{C}$. Ytkondensation inträffar då vid 20 -gradig rumsluft med relativ fuktighet större än ca 55% om utemperaturen är -20°C . Den zon, inom vilken golvtemperaturen är lägre än 17°C är ca $0,2$ m bred, räknad från väggens insida.

Man kan konstatera att värmekablar ger goda möjligheter att styra yttemperaturen i ett rum.

4.5 Yttemperaturer på fasadytan

Under vintern inträffar det att rimfrost uppträder på fasader. Orsaken härtill kan vara att man har en så kraftig utstrålning på natten mot rymden att fasadytan får lägre temperatur än uteluften. Denna kan då kondensera på ytan och bilda rimfrost - jämför isbarksbildning på parkerade bilar under klara vinternätter. Om någon del av fasaden har mindre värmeisolering än övriga delar blir yttemperaturen på fasadytan högre och kondensation inträffar eventuellt ej på denna del av fasaden. Man får en mönsterbildning av rimfrost på fasaden. Graden och frekvensen av mönsterbildningen är naturligtvis beroende av "värmeläckans" storlek. Att helt undvika den torde vara svårt vid

normal byggnadsteknik.

I FIG.7 visas fasadtemperaturen för några av de studerade fallen. Man ser att kurvformen är lika för samtliga fall med undantag av den kantisolerade bjälklagsgenomföringen. Temperaturhöjningen för den horisontellt isolerade bjälklagsgenomföringen ca 3°C , för den oisolerade bjälklagsgenomföringen ca 4°C och för bjälklagsgenomföringen med värmekabel 10 W/m ca 5°C . Den kantisolerade bjälklagsgenomföringen har stora yttemperaturskillnader, vilket förmodligen ger en mönsterbildning vid rimfrost på fasaden.

4.6 Värmeförluster

Värmeflödet genom golv och tak samt ytterväggs insida har ävenledes uträknats i samband med datorberäkningen. Därvid har förutsatts att byggnaden är ca 10 m bred. Värmeförlusterna för bjälklaget är därvid koncentrerade till en zon med en meters bredd från ytterväggs insida. På ett avstånd av 2 à 3 m från ytterväggen är värmeflödena genom golv och tak helt försumbara. De beräknade värmeflödena är därför representativa för byggnader som är mer än 4 à 5 m breda. Rumshöjden är 2,5 m.

Ett problem vid fastställandet av verkliga värmeförluster utgörs α_i -värdena, som varierar längs innerytorna. Som tidigare visats i diagrammen, så har man vid väggarnas nedre del och vid golv ett väsentligt lägre α_i -värde än vid tak. Man kan därför våga antagandet att värmeförlusten för ett våningsplan kan beräknas med $\alpha_i = 3,5\text{ W/m}^2\text{K}$ för golv och ytterväggs nedre del samt $\alpha_i = 7,0\text{ W/m}^2\text{K}$ för tak och ytterväggs övre del.

Datorberäkningarna är i regel utförda med antingen $\alpha_i = 3,5$ eller $7,0\text{ W/m}^2\text{K}$, som då gäller för bjälklag och ytterväggs insida. Man frågar sig då om man ur den förra beräkningen ($\alpha_i = 3,5$) kan erhålla flödena för golv och väggs nedre del, medan den senare ger flödena för tak och väggs övre del. En av beräkningarna (se DIAGRAM 2) har emellertid som tidigare nämnts utförts med $\alpha_i = 3,5\text{ W/m}^2\text{K}$ vid golv och väggs nedre

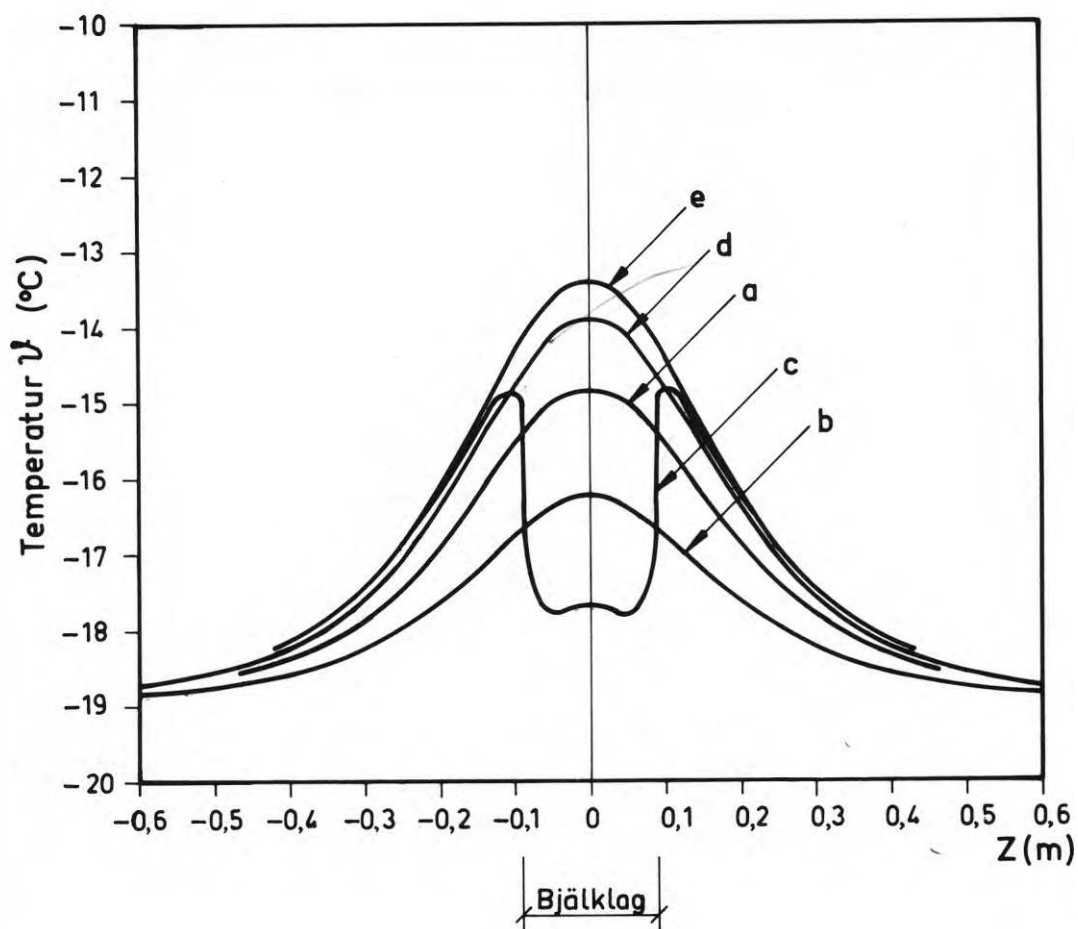


FIG. 7 Yttertemperatur θ på väggens ytersida ($z =$ höjd över bjälklagsmitt, $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ och $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Konstruktion enligt FIG. 1

- a) Oisolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 2).
- b) Horisontellt isolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 4).
- c) Kantisolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 7).
- d) Värmekablar 10 W/m (se ritning i DIAGRAM 8).
- e) Värmekablar 15 W/m (se ritning i DIAGRAM 9).

del och med $\alpha_i = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ vid tak och väggens övre del. Värmeförlusterna visas i TAB.3.

TAB.3. Värmeförlust Φ per längdmeter fasad för ett våningsplan. Konstruktionstyp enligt FIG.1. Temperaturdifferens in-ute $\Delta\vartheta = 40^\circ\text{C}$.

Konstruktion och övriga data enligt ritning i	golv		tak		väggs nedre del		väggs övre del		1) Φ (W/m)
	α_i	Φ_X	α_i	Φ_X	α_i	Φ_Y	α_i	Φ_Y	
DIAGRAM 2	3,5	10,0	7,0	17,3	3,5	20,5	7,0	22,3	70,1
DIAGRAM 3	"	12,7	"	14,4	"	20,7	"	22,2	70,0
DIAGRAM 4	"	9,1	"	9,6	"	20,4	"	21,8	60,9
DIAGRAM 5	"	8,7	"	9,1	"	20,4	"	21,7	59,9
DIAGRAM 6	"	9,5	"	9,8	"	21,5	"	23,1	63,9
DIAGRAM 7	"	11,6	"	13,0	"	20,3	"	21,7	66,6
DIAGRAM 8	"	8,0	"	9,0	"	19,8	"	21,2	58,0(+20)
DIAGRAM 9	"	5,6	"	6,3	"	19,4	"	20,7	52,0(+30)
DIAGRAM 10	"	6,6	"	7,3	"	19,4	"	20,7	54,0(+20)

$$1) \quad \Phi = \Phi'_X + \Phi''_X + \Phi'_Y + \Phi''_Y (+P)$$

Om man jämför dessa förluster med de som uträknats med antingen $\alpha_i = 3,5$ eller $7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (se DIAGRAM 3), så finner man av TAB.3 att den totala värmeförlusten Φ för ett våningsplan är praktiskt taget samma även om värmeförlusterna genom golv och tak skiljer sig. Man får vid förfarandet enligt DIAGRAM 3 en utjämning mellan värmeförlusterna genom golv och tak. Detta kan vara av vikt att hålla i minnet om man intresserar sig för de enskilda posterna i TAB.3 och i TAB.4 och 5 som visas längre fram.

Man ser av TAB.3 att kantisolering av bjälklaget inte har någon större effekt på värmeförlusterna. Detta är naturligt eftersom man ju har direktkontakt mellan väggens yttre betongskiva och betongbjälklaget. Konstruktionerna enligt DIAGRAM 8, 9 och 10 ger förhållandevis små värmeförluster, men då måste man observera att vid DIAGRAM 8 och 10 tillkommer 20 W/m för de båda elkablarna och vid DIAGRAM 9 tillkommer 30 W/m .

5 STUDIUM AV KONSTRUKTION ENLIGT FIG. 2

5.1 Oisolerad konstruktion

Konstruktionen enligt FIG. 2 är en bärande sandwichvägg med såväl invändig som utvändig betong. Med utetemperaturen $\vartheta_u = -20^\circ\text{C}$ och $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ har yttemperaturerna på insidan av en oisolerad konstruktion utan värmekablar uppritats i DIAGRAM 11. Liksom tidigare har α_i satts till dels $\alpha_i = 3,5$ dels $\alpha_i = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ vid datorberäkningarna, varefter väggtemperatur vid golv respektive golvtemperatur vid vägg har uppskattats på samma sätt som redovisats i kapitel 4.

Man ser av DIAGRAM 11 att vid hörnet mellan vägg och golv blir temperaturen $\vartheta = +6,3^\circ\text{C}$, vilket är högre än vad som erhöles vid konstruktion enligt DIAGRAM 3. Detta beror på temperaturutjämnning orsakad av den inre betongskivan i sandwichväggen. I gengäld kommer yttemperaturen på väggen inte att öka lika snabbt vid DIAGRAM 11 som vid DIAGRAM 3 när Y ökar.

5.2 Horisontellt isolerat bjälklag

Om man förutsätter att sandwichväggens yttre betongskiva är bärande kan som ritningen i DIAGRAM 12 visar en horisontell isolering av bjälklaget föras in under den inre betongskivan under förutsättning att isoleringsmaterialet har god hållfasthet. Om isoleringen har $\lambda = 0,041 \text{ W/mK}$ blir yttemperaturen i hörnet mellan vägg och golv så hög som $\vartheta = +11,2^\circ\text{C}$. Man får ett temperatursprång på ca 1 à 2°C där värmeisoleringen slutar.

Om den inre betongskivan är bärande så kan isoleringsmaterialet ej föras in under denna. I så fall får isoleringen som ritningen i DIAGRAM 13 visar sluta vid ytterväggens insida. Då blir emellertid temperaturen i hörnet mellan vägg och golv ej mer än $\vartheta = +4,0^\circ\text{C}$. Den inre betongskivan blir kall på en förhållandevis stor yta.

5.3 Isolerad bjälklagskant

Om både den yttre och inre betongskivan är bärande så kan man isolera bjälklagskanten. Med hänsyn till bärningen måste isolertjockleken begränsas till 30 mm. Utföres isoleringen av träullsplatta med $\lambda = 0,081 \text{ W/mK}$ så blir enligt DIAGRAM 14 temperaturen i hörnet mellan vägg och golv $\vartheta = +8,3^\circ\text{C}$. Förbättringen i förhållande till den oisolerade konstruktionen i DIAGRAM 11 blir 2°C .

5.4 Värmekablar

Yttemperaturen på vägg och bjälklag kan höjas genom inläggning av värmekablar. En lämplig applicering av dessa är i liv med väggens insida och ingjutna i bjälklaget med centrum 23 mm från bjälklagsytan. Vid effekten 10 W/m för varje kabel blir enligt DIAGRAM 15 ytemperaturen i hörnet mellan vägg och golv $\vartheta = +11,3^\circ\text{C}$ dvs samma som erhöles vid horisontellt isolerat bjälklag. Om kabeleffekten sättes till 15 W/m för varje kabel ökar hörntemperaturen till $\vartheta = +13,8^\circ\text{C}$.

5.5 Yttemperaturen på fasadytan

I FIG. 8 visas ytemperaturen på väggens utsida. Man ser att största temperaturvariationen erhålles för konstruktionen med 15 W/m värmekablar. Liksom vid konstruktionen enligt FIG. 1 får man vid kantisolerat bjälklag ett kraftigt temperaturfall där bjälklaget går ut i fasaden. Detta kan ge upphov till mönsterbildning på fasaden under vintern. Minsta temperaturvariationen erhålles vid horisontellt isolerat bjälklag.

5.6 Värmeförluster

Värmeförlusterna per längdmeter våningsplan vid en temperaturskillnad mellan inne och ute av 40°C visas i TAB. 4. Därvid har förutsatts att $\alpha_i = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ vid golv och väggens nedre halvdel och $\alpha_i = 7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ vid tak och väggens övre halvdel. Minst värmeförlust erhålles med den horisontellt isolerade konstruktionen

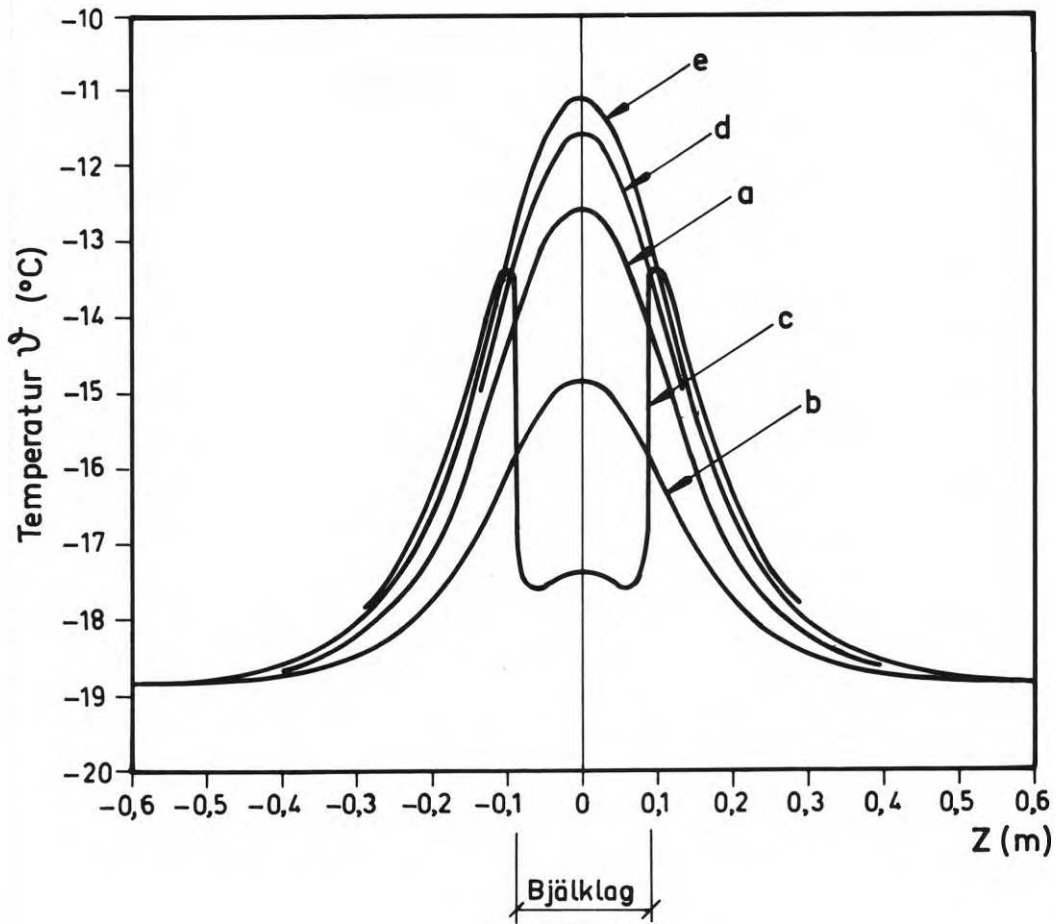


FIG. 8 Yttemperatur ϑ på väggens yttersida ($z =$ höjd över bjälklags mitt, $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ och $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Konstruktion enligt FIG. 2

- a) Oisolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 11).
- b) Horisontellt isolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 12).
- c) Kantisolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 14).
- d) Värmekablar 10 W/m (se ritning i DIAGRAM 15).
- e) Värmekablar 15 W/m (se ritning i DIAGRAM 16).

enligt DIAGRAM 12, om man tager i betraktande att till konstruktionerna med värmekabel - DIAGRAM 15 och 16 - skall läggas kabeleffekterna 20 resp. 30 W/m.

TAB.4 Värmeförlust Φ per längdmeter fasad för ett våningsplan.
Konstruktionstyp enligt FIG.2. Temperaturdifferens inne
- ute $\Delta\vartheta = 40^{\circ}\text{C}$

Konstruktion och övriga data enligt ritning i	golv		tak		väggens nedre del		väggs övre del		1) Φ (W/m)
	α_i	Φ'_X	α_i	Φ''_X	α_i	Φ'_Y	α_i	Φ''_Y	
DIAGRAM 11	3,5	10,4	7,0	11,2	3,5	26,4	7,0	29,2	77,2
DIAGRAM 12	"	8,7	"	9,1	"	23,4	"	25,2	66,4
DIAGRAM 13	"	7,5	"	7,2	"	27,5	"	31,0	73,2
DIAGRAM 14	"	8,9	"	9,4	"	25,2	"	27,7	71,2
DIAGRAM 15	"	6,4	"	6,7	"	24,2	"	26,6	63,9 (+20)
DIAGRAM 16	"	4,4	"	4,4	"	23,0	"	25,4	57,2 (+30)

1) $\Phi = \Phi'_X + \Phi''_X + \Phi'_Y + \Phi''_Y (+P)$

6 STUDIUM AV KONSTRUKTION ENLIGT FIG. 3

6.1 Oisolerad konstruktion

Konstruktionen i FIG. 3 användes normalt vid stomsystem med bärande tvärväggar. Den yttre beklädnaden utföres oftast luftad och därför har det antagits att uteluftens temperatur gäller för regelväggens utsida. Den yttre värmeövergångsförmågan har liksom tidigare satts till $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Regelväggens vindskydd har antagits bestå av en 4 mm skiva.

Yttemperaturerna för konstruktionen utan några extra åtgärder i form av värmeisolering eller elkablar visas i DIAGRAM 17. Temperaturen i hörnet mellan golv och vägg blir $\vartheta = +3,0^\circ\text{C}$. Temperaturkurvorna är mycket lika dem som visas för konstruktionstypen i FIG. 1 (DIAGRAM 3), vilket är naturligt eftersom de yttersta 150 mm betong av vägg och bjälklag har mycket litet värmemotstånd.

6.2 Horisontellt isolerat bjälklag

En horisontell värmeisolering av bjälklaget kan föras in ca 40 mm under regelväggen utan att man nämnvärt försämrar väggens upplag på bjälklaget. Vid 20 mm värmeisolering med $\lambda = 0,041 \text{ W/m K}$ höjs då, som DIAGRAM 18 visar, temperaturen i hörnet mellan golv och yttervägg till $\vartheta = 7,6^\circ\text{C}$. Höjningen i förhållande till DIAGRAM 17 är mycket måttlig. Liksom vid konstruktionstyperna enligt FIG. 1 och 2 får man ett språng i yttemperaturen där värmeisoleringen slutar.

Om man börjar värmeisoleringen omedelbart innanför ytterväggen så får man, som framgår av DIAGRAM 19, en mycket låg temperatur i hörnet mellan golv och yttervägg, nämligen $\vartheta = -1,6^\circ\text{C}$. Detta sätt att värmeisolera är således ej att rekommendera.

6.3 Isolerad bjälklagskant

Bjälklagskanten kan värmeisoleras med 30 mm isolering utan att väggens upplag på bjälklaget försämrars i nämnvärd grad. Med

$\lambda = 0,041 \text{ W/m K}$ för denna isolering höjs som DIAGRAM 20 visar temperaturen mellan vägg och golv till $\vartheta = +12,7^{\circ}\text{C}$. Isoleringen blir mycket god beroende på att kontakten mellan bjälklag och uteluft brutits effektivt. Normalt erbjuder detta sätt att isolera inga konstruktiva eller produktionstekniska problem.

6.4 Värmekablar

Liksom vid konstruktionstyperna enligt FIG.1 och 2 kan man utnyttja värmekablar för att höja yttemperaturerna. I DIAGRAM 21 och 22 visas yttemperaturerna vid ingjutna värmekablar med effekten 10 W/m resp. 15 W/m . Temperaturen i hörnet mellan golv och yttervägg höjs till $\vartheta = 9,4$ resp. $12,6^{\circ}\text{C}$.

6.5 Yttemperaturer på fasadytan

Yttemperaturen på ytterväggens utsida framgår av FIG.9. Konstruktionsalternativen med oisolerad bjälklagsgenomföring samt med värmekablar ger stora temperaturskillnader, medan den kantisolerade bjälklagsgenomföringen ger mycket små temperaturskillnader. Även i detta avseende är konstruktionen enligt DIAGRAM 20 en god lösning.

6.6 Värmeförluster

Värmeförlusterna per längdmeter fasad för ett våningsplan vid temperaturdifferens inne-ute $\Delta\vartheta = 40^{\circ}\text{C}$ visas i TAB.5. Den lägsta förlusten erhålles vid konstruktionen enligt DIAGRAM 20. För konstruktionerna enligt DIAGRAM 21 och 22 är inte värmekablarnas effekt medräknad i förlusterna. Denna effekt är 20 resp. 30 W/m .

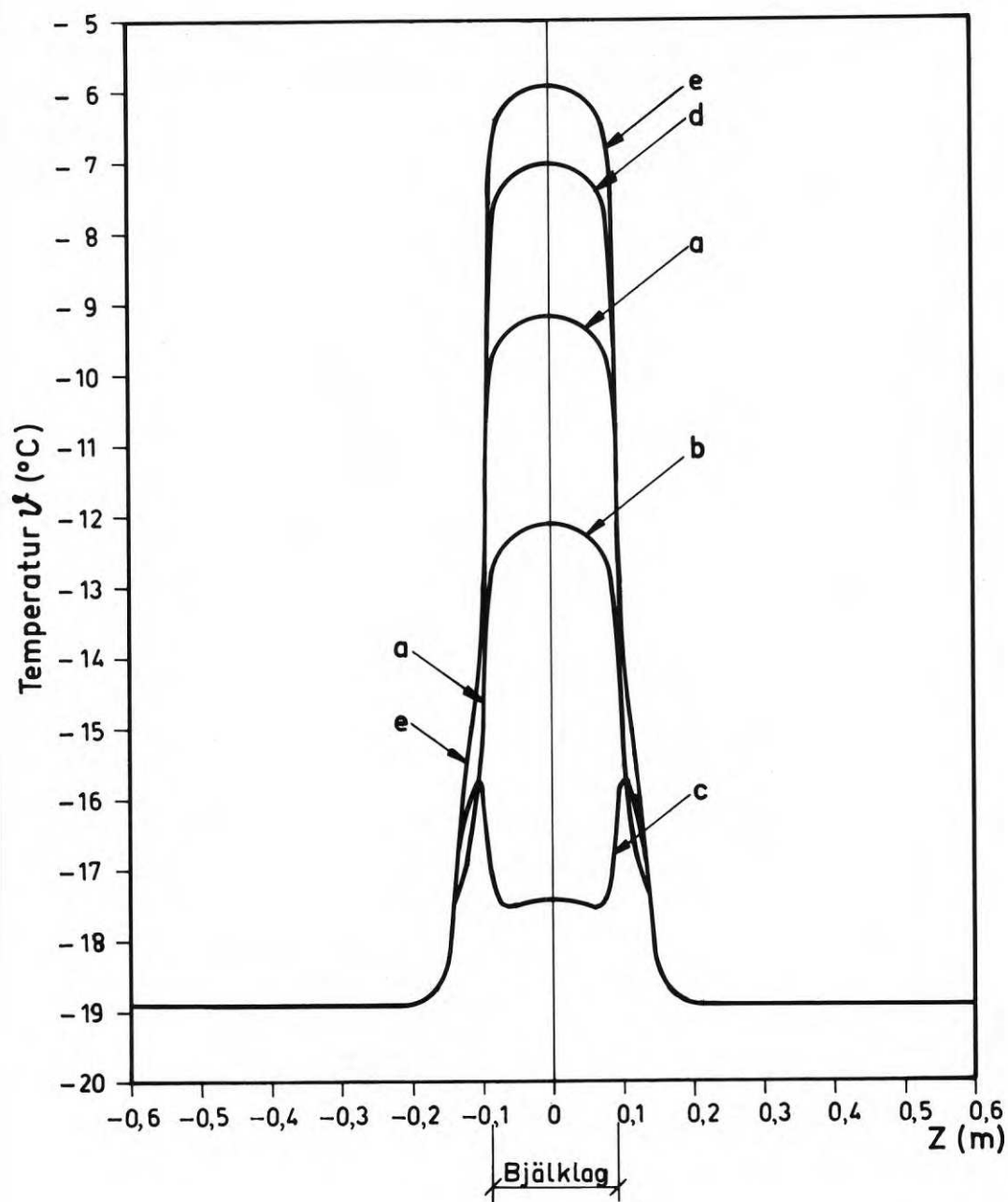


FIG. 9. Yttertemperatur ϑ på väggens ytersida (z = höjd över bjälklags mitt, $\alpha_u = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$ och $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Konstruktion enligt FIG. 3.

- a) Oisolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 17).
- b) Horisontellt isolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 18).
- c) Kantisolerad bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 20).
- d) Värmeledande bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 21).
- e) Värmeledande bjälklagsgenomföring (se ritning i DIAGRAM 22).

TAB. 5. Värmeförlust Φ per längdmeter fasad för ett våningsplan. Konstruktionstyp enligt FIG. 3. Temperaturdifferens inute $\Delta\vartheta = 40^{\circ}\text{C}$.

Konstruktion och övriga data enligt ritning i	golv		tak		väggs nedre del		väggs övre del		Φ ¹⁾ (W/m)
	α_i	Φ'_X	α_i	Φ''_X	α_i	Φ'_Y	α_i	Φ''_Y	
DIAGRAM 17	3,5	12,9	7,0	14,7	3,5	21,5	7,0	23,1	72,2
DIAGRAM 18	"	9,6	"	10,1	"	21,4	"	23,0	64,1
DIAGRAM 19	"	9,6	"	10,0	"	21,9	"	24,0	65,5
DIAGRAM 20	"	5,4	"	5,6	"	20,0	"	21,3	52,3
DIAGRAM 21	"	8,2	"	9,2	"	20,7	"	22,2	60,3
DIAGRAM 22	"	5,8	"	6,5	"	20,3	"	21,8	54,4

$$1) \Phi = \Phi'_X + \Phi''_X + \Phi'_Y + \Phi''_Y$$

TAB. 6 Högsta relativ fuktighet hos rumsluft med temperaturen $+20^{\circ}\text{C}$ för att ytkondens ej skall inträffa mer än fem dygn per år

Konstruktion enligt ritning i	Högsta relativ fuktighet (%) inomhus i						
	Gällivare	Östersund	Härnösand	Karlstad	Stockholm	Göteborg	Malmö
DIAGRAM 3	30	35	35	40	45	45	50
DIAGRAM 4	45	50	50	55	60	60	60
DIAGRAM 7	35	35	40	50	45	50	50
DIAGRAM 8	50	50	55	60	60	60	65
DIAGRAM 9	60	65	65	70	70	70	75
DIAGRAM 11	35	40	45	45	50	50	55
DIAGRAM 12	50	55	60	60	65	65	70
DIAGRAM 14	45	45	50	50	55	60	60
DIAGRAM 15	50	55	60	60	65	65	70
DIAGRAM 16	65	65	70	70	75	75	75
DIAGRAM 17	30	30	35	40	40	45	50
DIAGRAM 18	40	45	45	50	55	50	60
DIAGRAM 20	60	60	65	65	70	70	70
DIAGRAM 21	50	50	55	55	60	60	60
DIAGRAM 22	60	60	65	65	70	70	70

7 KONSTRUKTIONSVÄL

Valet mellan konstruktionsalternativ måste ske med hänsyn till såväl funktionella krav som ekonomi. Ett första villkor är då att konstruktionen kan fylla sin avsedda funktion. Om flera alternativ kan uppfylla funktionen så får en ekonomisk värdering bestämma valet.

7.1 Val med hänsyn till funktionskrav

Funktionskravet kan vara att ett eller flera av följande kriterier skall vara uppfyllda:

1. Yttemperaturen på rummets vägg- och bjälklagsytor får ej vara lika med eller underskrida ett angivet värde ϑ_1 mer än n_1 dygn per år för att inte konstruktionen skall skadas av ytkondens.
2. Yttemperaturen på rummets vägg- och bjälklagsytor får ej vara alltför ojämn eftersom konstruktionens insida då på grund av termodiffusion får en smutsbildning, som är ojämn och därför lättare observerbar.
3. Yttemperaturen på golvet inom vistelsezonen får ej vara lika med eller underskrida ett angivet värde ϑ_3 mer än n_3 dygn per år för att inte hygieniska olägenheter skall föreligga.

Av dessa krav är det första lättast att omsätta i siffror. Man inser att tillfälligt ytkondens inte kan skada en konstruktion och det gäller då att uppskatta ett lämpligt värde på n_1 . Om n_1 sättes till genomsnittligen fem dygn per år så kan i extremfall ytkondens inträffa 10 - 15 dygn per år, vilket torde vara maximalt antal dygn som kan accepteras. Ur TAB.7 kan man utläsa värdet på ϑ_1 . För Gällivare inträffar eller underskrides således $\vartheta_u = -24^{\circ}\text{C}$ under fem dygn per år. I TAB.6 har uträknats de högsta relativa fuktigheter som rumsluft av $+20^{\circ}\text{C}$ får hålla för att inte ytkondens skall inträffa mer än fem dygn per år för de olika konstruktionsalternativen. Man ser av tabellen att oisolerade konstruktioner enligt DIAGRAM 3, 11 och 17 kan användas i Malmö, Göteborg, Stockholm och Karlstad om rums- luften inte under den kallaste delen av vintern har högre relativ fuktig-

TAB. 7 Antal dygn per år med dygnsmedeltemperaturen $\leq \vartheta$
 Genomsnitt för åren 1931-60 (för Gällivare 1931-56 exklusive
 1949 och 1950).

ϑ	Gälli- vare	Öster- sund	Härnö- sand	Karlstad	Stock- holm	Göte- borg	Malmö
0	181	133	110	87	81	55	45
-1	168	117	95	73	66	43	34
-2	157	103	82	62	54	34	26
-3	145	90	70	52	43	27	20
-4	133	79	60	44	35	21	16
-5	121	68	52	37	26	16	11
-6	110	59	44	30	21	11	8
-7	101	48	38	25	16	8	6
-8	92	43	32	21	12	6	4
-9	82	37	27	17	9	5	3
-10	71	32	23	13	7	4	2
-11	63	27	19	10	5	3	2
-12	55	23	15	8	4	2	1
-13	48	19	13	6	2	1	1
-14	41	16	10	5	2	1	1
-15	35	13	8	3	1	1	
-16	30	11	6	3	1		
-17	25	9	5	2			
-18	21	7	3	1			
-19	18	6	2	1			
-20	14	5	2				
-21	11	4	1				
-22	9	3	1				
-23	7	2					
-24	5	2					
-25	3	1					
-26	3	1					
-27	2	1					
-28	1						
-29	1						

het än 40%.

Kravet 2 är mycket svårt att omsätta i siffervärden. Det finns veterligen inga undersökningar som försökt ange vilken nedsmutsningsgrad som kräver reparation. Ej heller finnes undersökningar rörande nedsmutsningens beroende av yttemperatur och olika nedsmutsad inomhusluft. Detta krav får således tills vidare stå som en påminnelse om erforderlig forskning.

Kravet 3 kräver uppgifter om dels vad som är vistelsezon på ett golv dels vilken som är den lägsta golvtemperatur som kan accepteras under genomsnittligen n_3 dygn per år. I "Sanitära krav på våra bostäder" utgiven av Kungl. medicinalstyrelsen 1966 anges:

"En acceptabel minimigräns för uppvärmning av boningsrum är i regel en temperatur av under dagen minst $+18^{\circ}\text{C}$ och under natten minst $+16^{\circ}\text{C}$. Dagen bör därvid räknas mellan kl. 7 och kl. 22. För åldringar, vissa långtidssjuka och personer med nedsatt vitalitet erfordras mången gång en eller annan grad högre medeltemperatur.

Inom ett boningsrum bör ej alltför stora temperaturavvikelser förekomma. Skillnaden i temperatur vid golv och vid huvudhöjd bör ej vara mer än 3°C . Detsamma gäller skillnaden mellan vägg- och lufttemperatur. Vid för landsdelen extremt kalla perioder kan dock denna temperaturskillnad få uppgå till 5°C ".

Vidare framhålles:

"Temperaturen i ett rum mätes mitt i rummet cirka 1,5 m över golvet, Mätning av vägg- och golvtemperatur göres lämpligen med kontaktermometer på vägg och golvytor. Mätning av lufttemperatur i boningsrum göres under flera dagar i följd och helst med självregistrerande termohygrograf".

Av publikationen framgår inte vad som skall betraktas som vistelsezon. Ej heller har man tagit hänsyn till skillnad mellan golv- och lufttemperatur, Angivna temperaturskillnader på 3 (5) $^{\circ}\text{C}$ avser uppenbarligen dels lufttemperaturer mitt i rummet mellan huvudhöjd och invid

golv dels mellan vägg- och lufttemperatur. Som visats tidigare i denna rapport varierar yttemperaturen på väggens insida betydligt. Löfstedt (1961) har gjort försök i klimatkammare och framhåller:

"Kalla rumsytor kan i och för sig vara en betydlig olägenhet genom det strålningsdrag de orsakar. En genomsnittlig ytunder-
dertemperatur på $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ för 33 m^2 väggyta skulle i klimatkammaren enligt den funna ekvationen motsvara de $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ gradient mellan huvud- och fothöjd ($150\text{ cm} - 5\text{ cm}$ över golvet) som anses som gränsvärde".

Man bör observera att Löfstedt här talar om genomsnittlig ytunder-
dertemperatur för väggyta vilket inte Medicinalstyrelsens publikation gör. Den senare förefaller i flera avseenden vara mogen för en omarbetning under hänsynstagande till hygienisk och byggnadsfysikalisk forskning.

Löfstedt(1970)anger att långvarigt uppehåll i rum med $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ på och omedelbart ovanför golvytan kan ge anledning till köldreaktioner som är att betrakta som hygienisk olägenhet. Om man anser att rummets vistelsezon upphör $0,3\text{ m}$ från en vägg så skulle man kanske våga följande formulering av krav 3: Yttemperaturen på golvet får ej - förutom en zon på $0,3\text{ m}$ från vägg - underskrida $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ mer än genomsnittligen fem dygn per år. Diagrammen är beräknade med $\vartheta_u = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Golvtemperaturerna ϑ' vid utetemperaturen (ϑ_u)₅ blir då enligt ekv.(16)

$$\vartheta' = 20 - \frac{20 - (\vartheta_u)_5}{40} (20 - \vartheta)$$

där ϑ = golvtemperaturen vid $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ute.

7.2 Ekonomiska synpunkter på konstruktionsval

Valet av konstruktionsalternativ kan ske med utgångspunkt från olika ekonomiska kriterier t. ex.

- a) lägsta anläggningskostnad
- b) lägsta årskostnad vid given ränta och avskrivningstid
- c) given förräntning på tilläggsinvestering.

Naturligtvis kan b) och c) sammanfattas i ett kriterium. De representerar dock olika sätt att resonera. Sålunda har man i byggnadstekniska sammanhang ofta beräknat årskostnader för byggnader med en ränta på 4-8% och en avskrivningstid av 60 år. Detta ger annuiteter på 4,4 - 8,1%. Man kan då säga att tilläggsinvesteringen ger en förräntning av investerat kapital på 4,4 - 8,1%. Om man i egenskap av industri, samhälle eller enskild har alternativa investeringsmöjligheter för tillgängligt kapital, så kan denna förräntning anses alltför låg. Man kan beroende på investeringsmöjligheterna önska en förräntning på 7-30%. Här nedan skall förräntningen användas som utgångspunkt för det ekonomiska resonemanget.

I detta avsnitt skall ges några exempel på ekonomisk värdering av de konstruktioner som visats i FIG. 1, 2 och 3. Eftersom de ekonomiska förutsättningarna ofta är olika från fall till fall kan man inte göra några generella slutsatser utan de anförda exemplen får visa hur en ekonomisk värdering kan genomföras.

Exempel 1

För en byggnad i Stockholm med konstruktion enligt FIG. 1 har man med hänsyn till funktionskraven funnit att konstruktionsalternativen enligt DIAGRAM 3 och DIAGRAM 4 är tillämpbara. Vid jämförelse mellan dessa båda alternativ finner man då att den årliga värmevinsten per längdmeter fasad för ett våningsplan blir

$$(K_v)_{4-3} = k_v \frac{\Phi_3 - \Phi_4}{40} \cdot Q \quad (\text{kr/m, år}) \quad (12)$$

där

k_v = värmepris (kr/kWh)

Φ_3, Φ_4 = värmeförlust (kW/m) vid $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$ enligt TAB.3 för konstruktion enligt DIAGRAM 3 resp. 4.

(Observera att Φ enligt TAB.3 är i W/m).

Q = värmeförbrukningskoefficient ($^\circ\text{C} \cdot \text{h}$) för uppvärmnings-säsongen.

Värmeförbrukningskoefficienten Q kan skrivas:

$$Q = \int_0^{t_0} (\vartheta_i - \vartheta_u) dt$$

där t_0 är antalet timmar då utetemperaturen ϑ_u är lägre än innetemperaturen ϑ_i . I FIG.10 kan Q avläsas för $\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$ - FIG.10 kommer att diskuteras längre fram.

I det aktuella fallet blir då kostnaden vid uppvärmning med olja ($k_v = 0,04 \text{ kr/kWh}$)

$$K_v = 0,04 \frac{(70,0 - 60,9) \cdot 10^{-3}}{40} \cdot 112000 = 1,02 \text{ kr/m, år}$$

Önskas en förräntning av 10% så får isoleringen i enlighet med ritningen i DIAGRAM 4 kosta $1,02/0,10 = 10,20 \text{ kr/m}$.

Räknat per m^2 värmeisolering med 20 mm tjocklek blir detta:

$$\frac{10,20}{2 \cdot 0,413} = \text{ca } 12 \text{ kr/m}^2$$

Om således isoleringskostnaden med de givna förutsättningarna underskrider 12 kr/m^2 så lönar det sig att välja konstruktionsalternativet enligt DIAGRAM 4 framför alternativet enligt DIAGRAM 3.

Exempel 2

Om byggnaden i exempel 1 i stället skulle byggas i Härnösand och om man måste räkna med befuktning av rumsluften till 50% relativ fuktighet, så är enligt TAB.6 endast konstruktioner enligt DIAGRAM 4, 8 och 9 användbara. Konstruktionen enligt DIAGRAM 9 omfattar elkablar med 15 W/m , vilket är onödigt enligt det ställda funktionskravet. Valet står således mellan värmeisolering enligt DIAGRAM 4 och elkablar med 10 W/m enligt DIAGRAM 8.

Konstruktionen enligt DIAGRAM 4 har årskostnaden (vissa ointressanta kostnader har exkluderats):

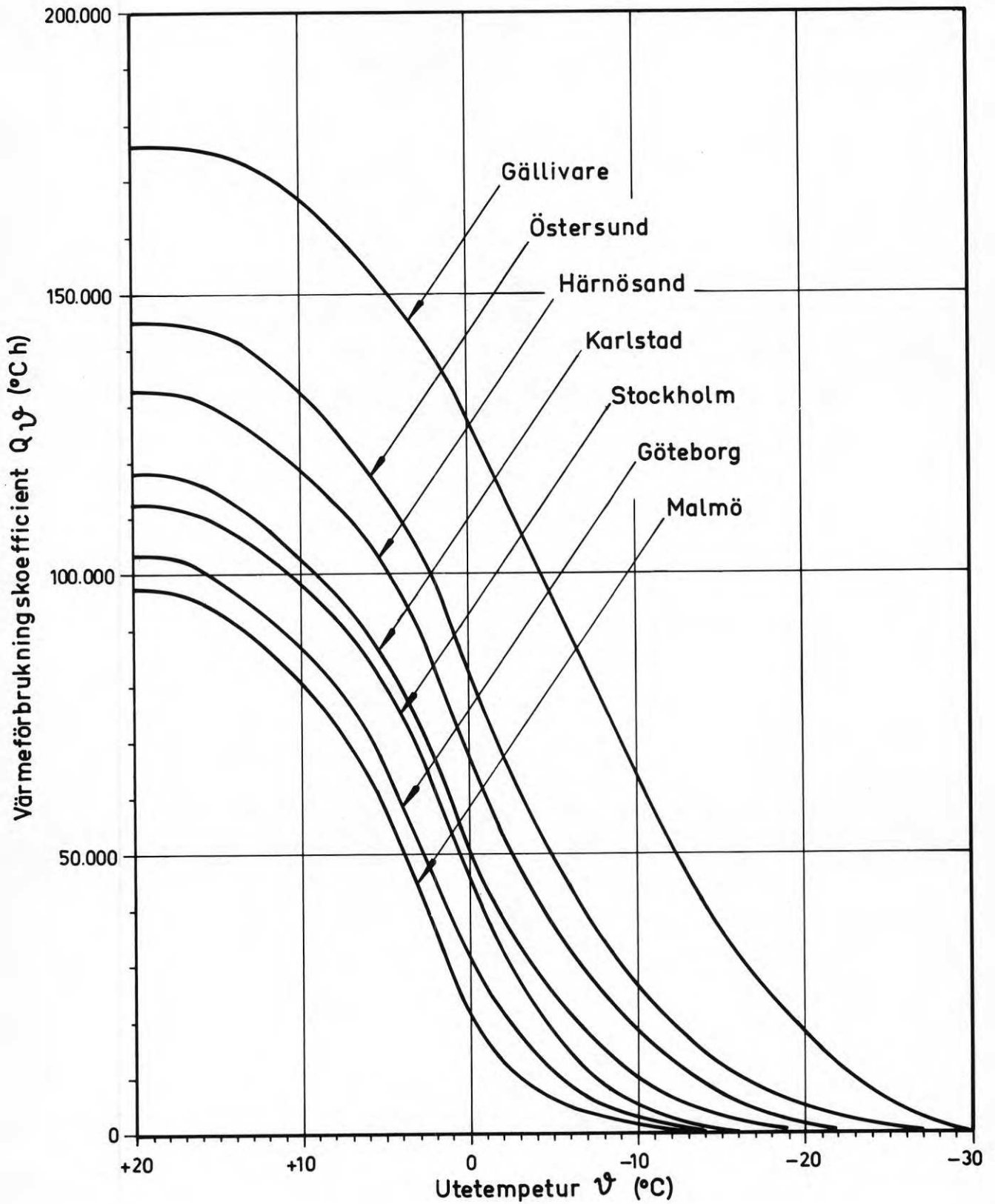


FIG. 10. Värmeförbrukningskoefficient Q_9 ($^{\circ}\text{Ch}$). Genomsnitt 1931-60 (för Gällivare 1931-56 exklusive 1949 och 1950).

$$(K_A)_4 = r_i (K_i)_4 + k_v \frac{\Phi_4}{40} \cdot Q \quad (13)$$

där

r_i = förräntningen för tilläggsisoleringen

$(K_i)_4$ = isoleringskostnaden för tilläggsisoleringen (kr/m)

k_v = värmepris (kr/kWh)

Φ_4 = värmeförlust (kW/m) vid $\Delta \vartheta = 40^\circ\text{C}$ för konstruktion enligt DIAGRAM 4 - se TAB. 3.

Q = värmeförbrukningskoefficient för hela uppvärmningssäsongen ($\vartheta_u \leq +20^\circ$).

Värmekablarna enligt DIAGRAM 8 är aktuella att ha i drift så länge yttemperaturen enligt DIAGRAM 3 är lägre än $\vartheta = 9,1^\circ\text{C}$, vilket ger ytkondens för rumsluft med 50% relativ fuktighet och $+20^\circ\text{C}$. Enligt ekvation (11) sker detta för konstruktionen enligt DIAGRAM 3 när

$$9,1 = 20 - \frac{20 - \vartheta'_u}{40} (20 - 3,3)$$

dvs när

$$\vartheta_u \leq -6,1^\circ\text{C}$$

Elkablarna behöver således vara påslagna endast när utetemperaturen är lägre än -6°C . Detta kan ske genom en termostat. Enligt TAB.7 är för Härnösand $\vartheta_u \leq -6^\circ$ 44 dygn per år. Underlaget för TAB.7 är utarbetat på basis av temperaturuppgifter i årsböcker från Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut.

Konstruktionen enligt DIAGRAM 8 har en årskostnad som under N dygn bestäms av DIAGRAM 8 och under resten av uppvärmningssäsongen av DIAGRAM 3. Då blir:

$$(K_A)_{8/3} = r_k K_k + k_e \cdot 24 \cdot N \cdot P + k_v \left[\frac{\Phi_8}{40} Q_\vartheta + \frac{\Phi_3}{40} (Q - Q_\vartheta) \right] \quad (14)$$

där

r_k = förräntningen för kabel

K_k = kostnaden för kablar i konstruktionen (kr/m)

k_e = energipris - genomsnitt för N dygn (kr/kWh)

N = antal dygn med kablar i drift

P = kabeleffekt (kW)

k_v = värmepris (kr/kWh)

Φ_8 = värmeförlust vid $\Delta\vartheta = 40^\circ\text{C}$ enligt TAB. 3 för konstruktion enligt DIAGRAM 8

Φ_3 = dito för konstruktion enligt DIAGRAM 3

Q_ϑ = värmeförbrukningskoefficient ($\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$) för dygn med utetemperatur $\leq \vartheta$ ($^\circ\text{C h}$)

Q = värmeförbrukningskoefficient ($\vartheta_i = +20^\circ\text{C}$) för dygn med utetemperatur $\leq +20^\circ\text{C}$ ($^\circ\text{C h}$).

I FIG. 10 visas Q_ϑ för några orter. För $\vartheta = +20^\circ\text{C}$ blir $Q_\vartheta = Q$. Man kan åskådliggöra Q_ϑ på två olika sätt. I FIG. 11 a har utetemperaturen uppritats som funktion av tidpunkten t under året. Då är Q_ϑ den streckade ytan dvs

$$Q_\vartheta = \int (20 - \vartheta_u) dt \quad \text{under tid då } \vartheta_u \leq \vartheta \quad (15)$$

Om man som i FIG. 11 b ritar upp ett diagram med antalet dygn n då utetemperaturen $\leq \vartheta$ på abskissan och ϑ på ordnatan, så blir

$$Q_\vartheta = 24 \cdot \int_0^{n_\vartheta} (20 - \vartheta(n)) dn \quad (16)$$

Det senare motsvarar det sätt på vilket Q_ϑ uträknats för uppritningen av FIG. 10

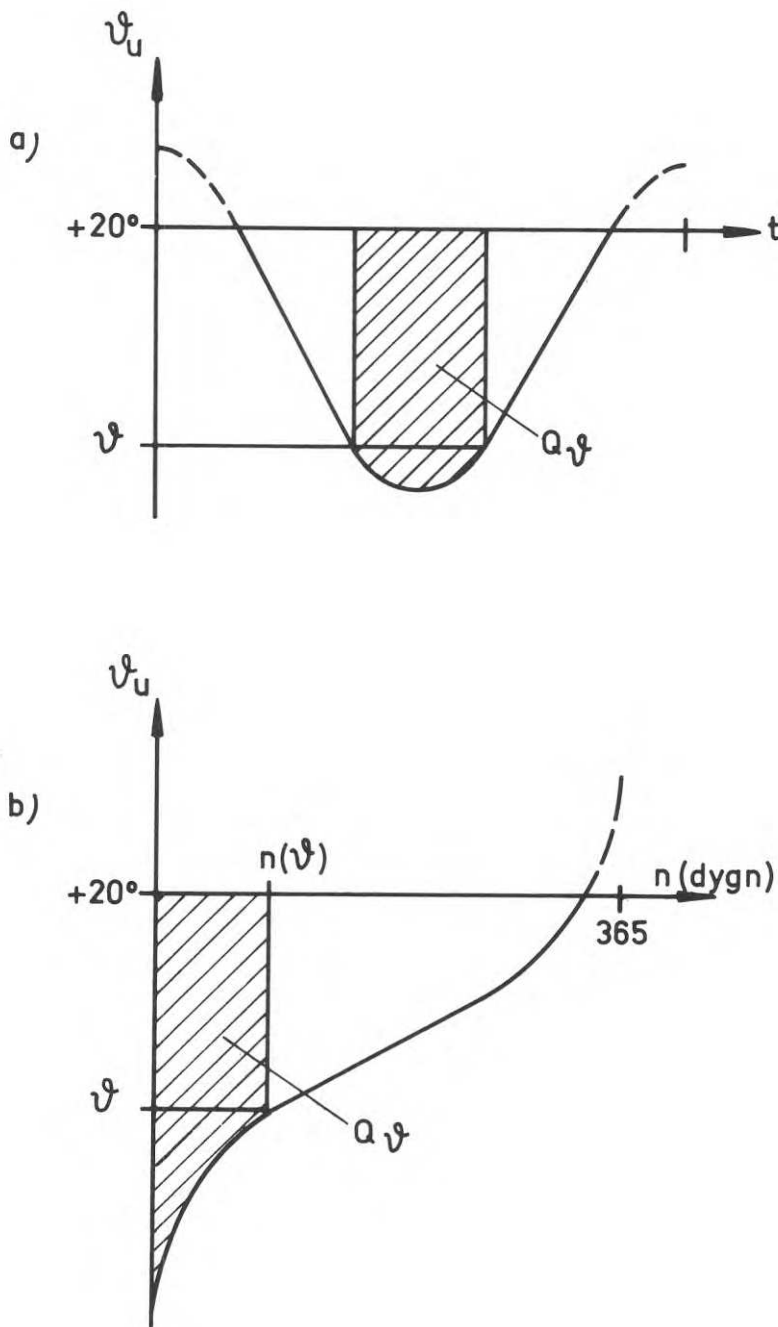
I det aktuella fallet blir med $r_k = 0,10$, $k_e = 0,08$ kr/kWh, $k_v = 0,04$ kr/kWh, $Q = 132000$ och $Q_\vartheta = -6 = 33000^\circ\text{C} \cdot \text{h}$, årskostnaden:

$$(K_A)_{8/3} = 0,10 \cdot K_k + 0,08 \cdot 24 \cdot 44 \cdot 0,020 +$$

$$+ 0,04 \cdot \left[\frac{58 \cdot 10^{-3}}{40} \cdot 33\,000 + \frac{70 \cdot 10^{-3}}{40} \cdot 99\,000 \right]$$

dvs

$$(K_A)_{8/3} = 0,10 K_k + 1,76 + 8,85 = 0,10 K_k + 10,61 \text{ kr/m, år}$$

FIG. 11. Åskådliggörande av Q_{ψ} .

Konstruktionen enligt DIAGRAM 4 har årskostnaden ($r_i = 0,10$)

$$(K_A)_4 = 0,10 \cdot K_i + 0,04 \frac{60 \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{40} \cdot 132000 =$$

$$0,10 K_i + 8,04 \text{ kr/m}$$

Elkabelalternativet (DIAGRAM 8) lönar sig således om

$$K_k < (K_i - 25,7) \text{ kr/m}$$

Produktionstekniska skäl kan ge mycket höga värden på K_i och medge användande av elkablar. Detta får dock bedömas vid varje aktuellt projekt.

Exempel 3

Med hänsyn till funktionskrav har man funnit att en byggnad i Göteborg med konstruktion enligt FIG. 3 kan lämnas oisolerad på sätt som DIAGRAM 17 visar. Man vill emellertid kontrollera om det är ekonomiskt att isolera konstruktionen med horisontell isolering enligt DIAGRAM 18 eller kantsolering enligt DIAGRAM 20. Värmevinsten för konstruktionen enligt DIAGRAM 18 i förhållande till DIAGRAM 17 blir då per längdmeter fasad för ett våningsplan

$$(K_v)_{18-17} = k_v \frac{\Phi_{17} - \Phi_{18}}{40} \cdot Q$$

Med $k_v = 0,04 \text{ kr/kWh}$, Φ_{17} och Φ_{18} enligt TAB. 5 samt $Q = 104000$ ($^\circ\text{C h}$) enligt FIG. 10 blir

$$(K_v)_{18-17} = 0,04 \frac{(72,2 - 64,1) \cdot 10^{-3}}{40} \cdot 104.000 = 0,84 \text{ kr/m, år}$$

Värmevinsten för konstruktion enligt DIAGRAM 20 i förhållande till DIAGRAM 17 blir på liknande sätt

$$(K_v)_{20-17} = 2,07 \text{ kr/m, år}$$

Med förräntningskravet $r = 0,10$ så får isoleringen enligt DIAGRAM 18 kosta 8,40 kr/m fasad dvs

$$\frac{8,40}{2 \cdot 0,343} = 12,20 \text{ kr/m}^2$$

Isoleringen enligt DIAGRAM 20 får med samma förräntningskrav kosta 20,70 kr/m fasad dvs

$$\frac{20,70}{0,18} = 115 \text{ kr/m}^2$$

Det torde vara ställt utom allt tvivel att det senare isoleringsalternativet är mest lönsamt.

8 DIAGRAM

Yttemperaturerna på bjälklag och insidan av yttervägg har upp-
 ritats för 22 beräkningsfall och redovisas i DIAGRAM 1 - 22
 (sid. 54 f).

I TAB. 8 nedan ges en sammanställning av de redovisade fallen.

TAB. 8 Sammanställning av konstruktionsdata för redovisade fall i DIAGRAM
 1 - 22

DIAGRAM	Konstruk- tion en- ligt FIG	Horisontell isolering			Kantisolering			Kabel effekt W/m
		λ W/mK	Tjock- lek mm	Utsträck- ning mm	λ W/mK	Tjock- lek mm	Utsträck- ning mm	
1	1	-	-	-	-	-	-	-
2	1	-	-	-	-	-	-	-
3	1	-	-	-	-	-	-	-
4	1	0,041	20	$-113 \leq X \leq 300$	-	-	-	-
5	1	0,029	"	"	-	-	-	-
6	1	0,041	"	$0 \leq X \leq 300$	-	-	-	-
7	1	-	-	-	0,081	50	$-180 \leq Y \leq 0$	-
8	1	-	-	-	-	-	-	10
9	1	-	-	-	-	-	-	15
10	1	-	-	-	0,081	50	$-180 \leq Y \leq 0$	10
11	2	-	-	-	-	-	-	-
12	2	0,041	20	$-60 \leq X \leq 300$	-	-	-	-
13	2	"	"	$0 \leq X \leq 300$	-	-	-	-
14	2	-	-	-	0,081	30	$-180 \leq Y \leq 0$	-
15	2	-	-	-	-	-	-	10
16	2	-	-	-	-	-	-	15
17	3	-	-	-	-	-	-	-
18	3	0,041	20	$-43 \leq X \leq 300$	-	-	-	-
19	3	"	"	$0 \leq X \leq 300$	-	-	-	-
20	3	-	-	-	0,041	30	$-180 \leq Y \leq 0$	-
21	3	-	-	-	-	-	-	10
22	3	-	-	-	-	-	-	15

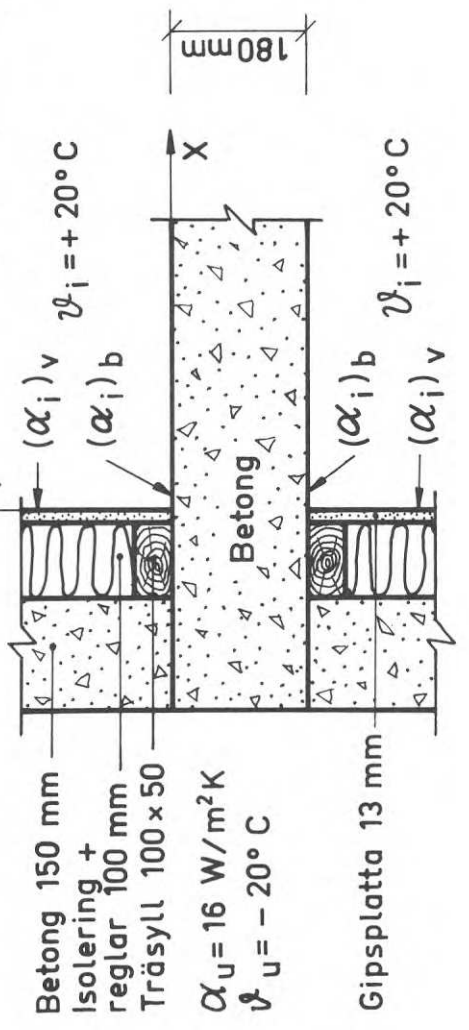
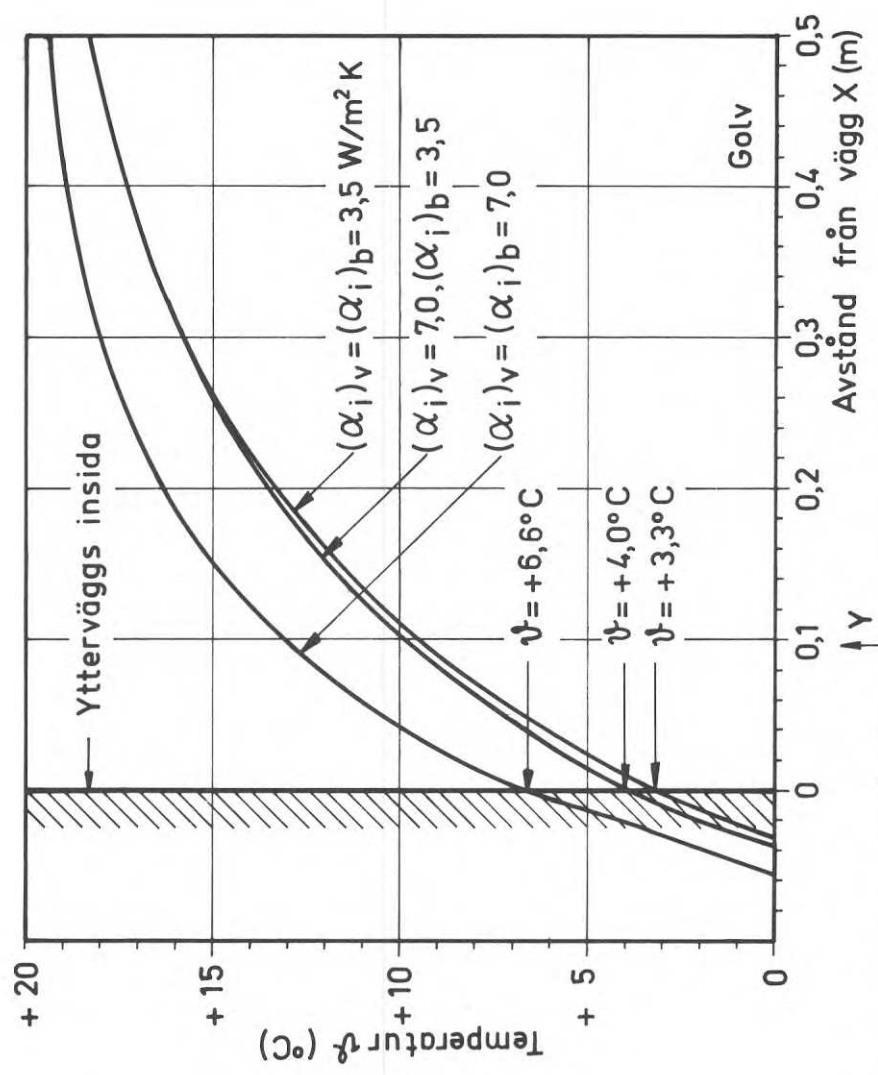
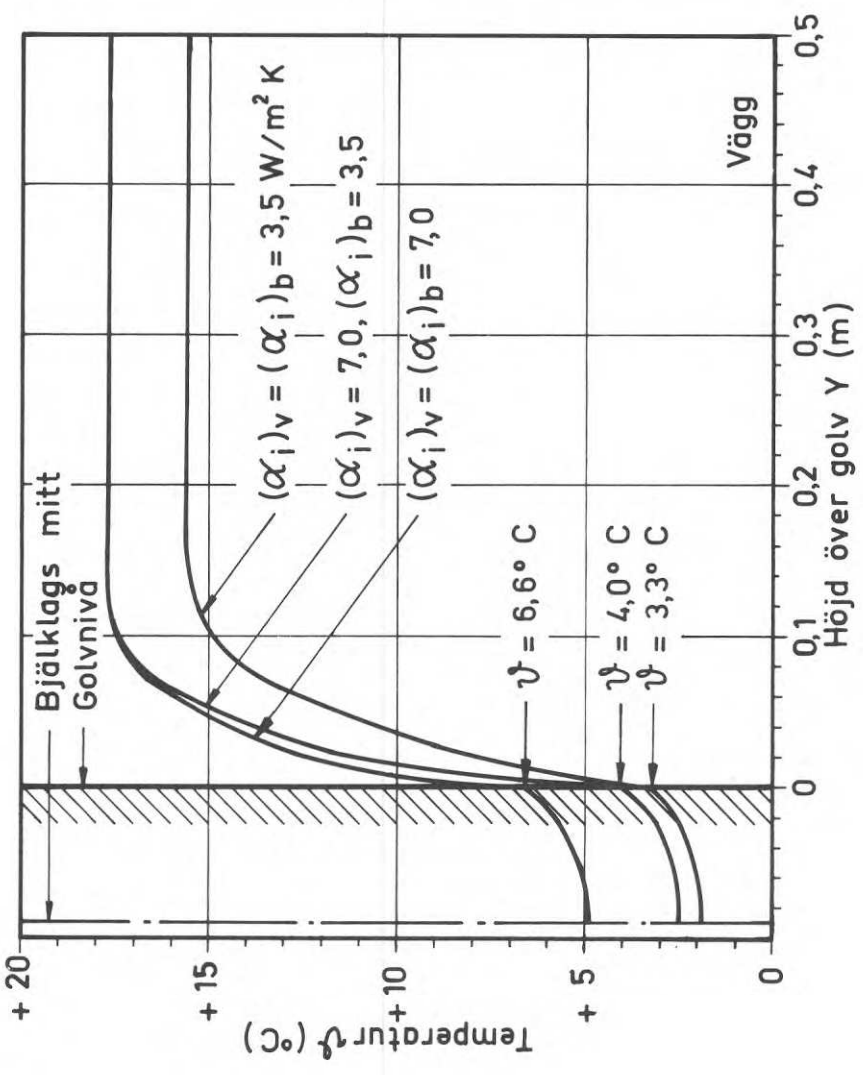


DIAGRAM 1

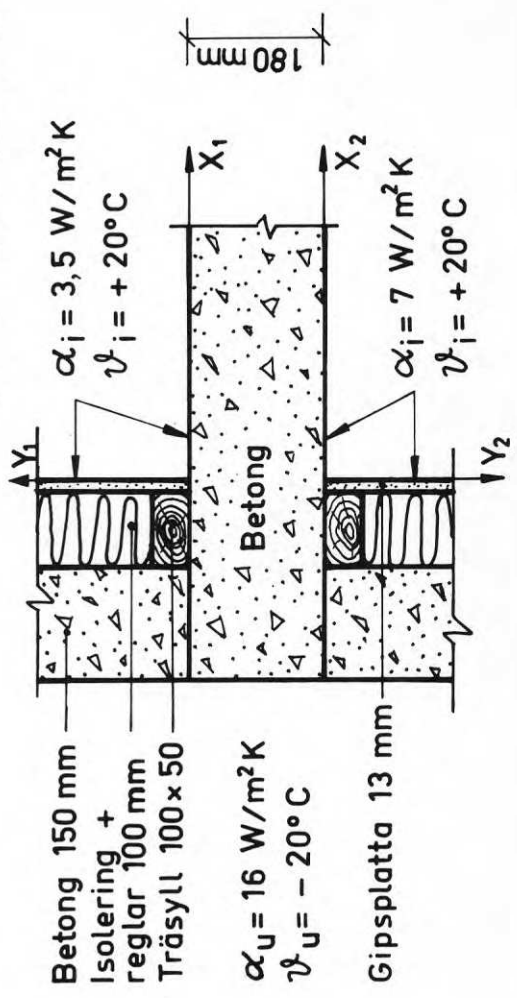
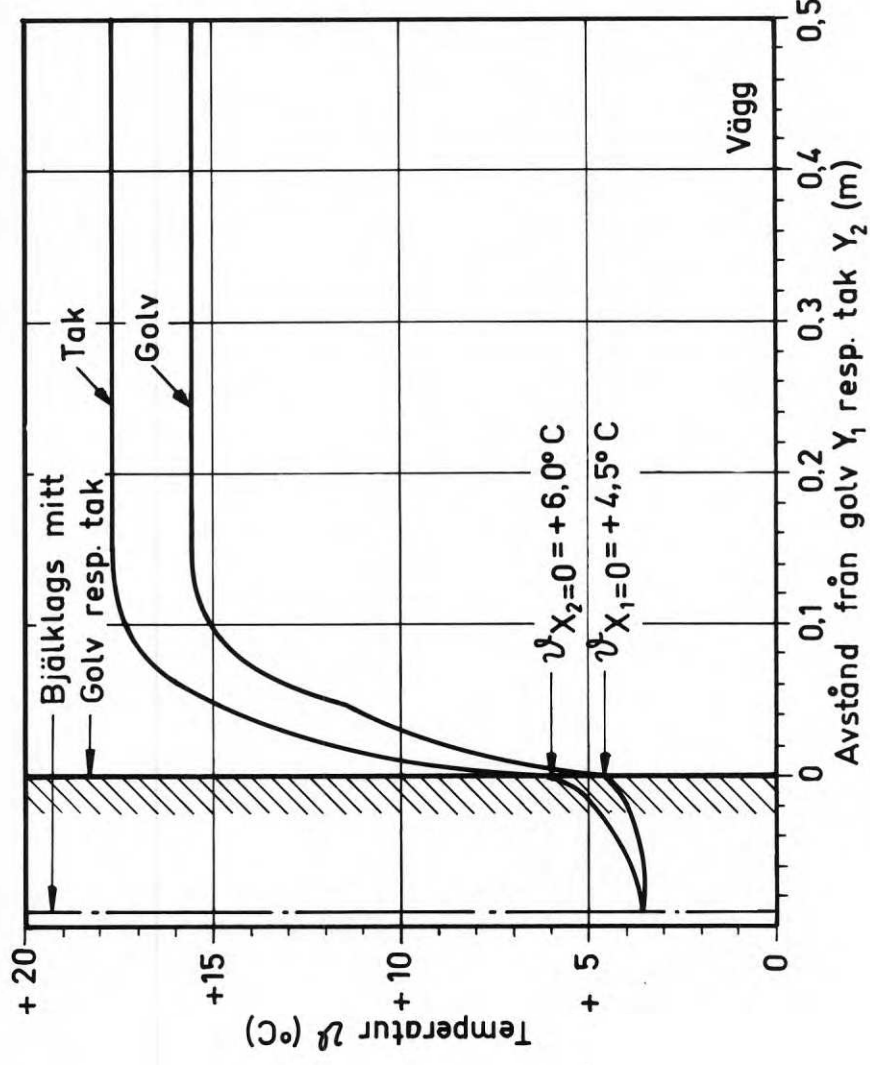
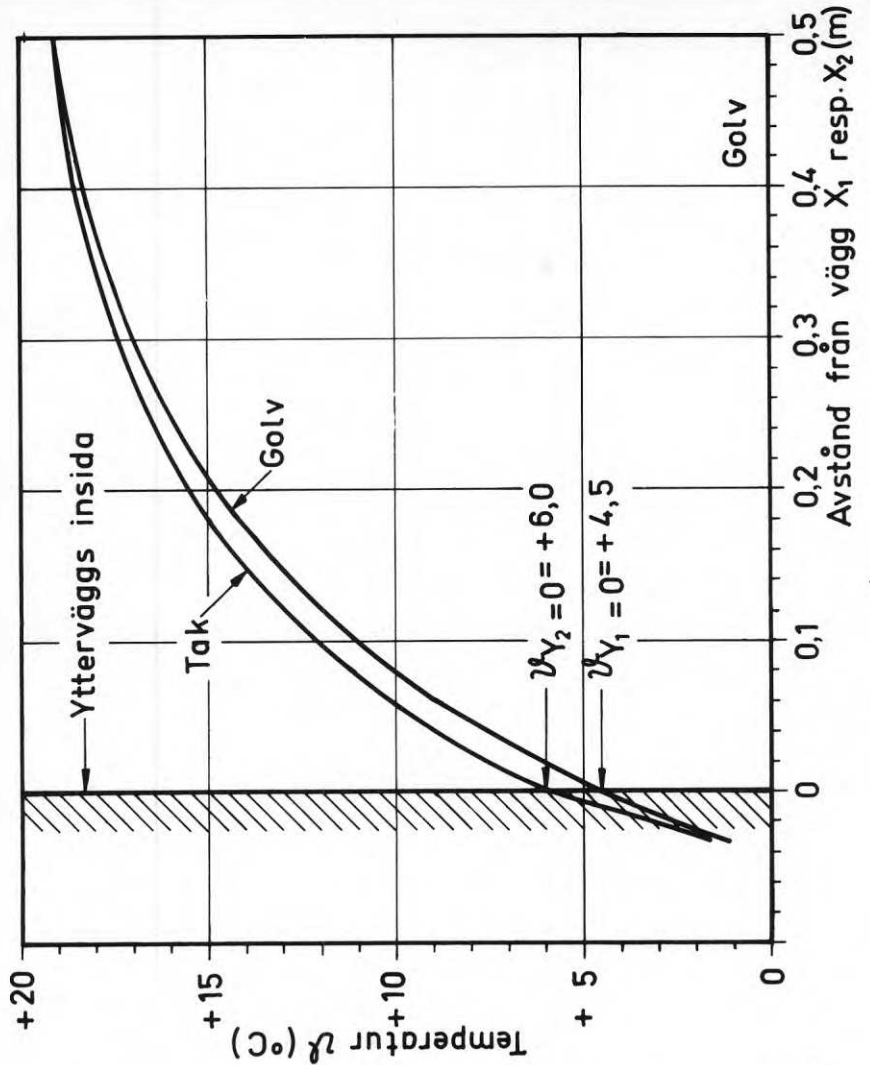


DIAGRAM 2

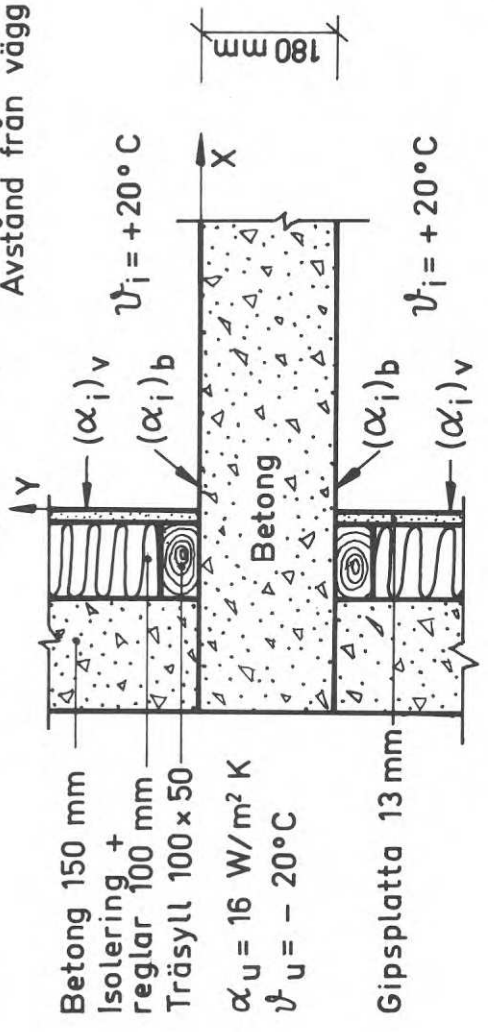
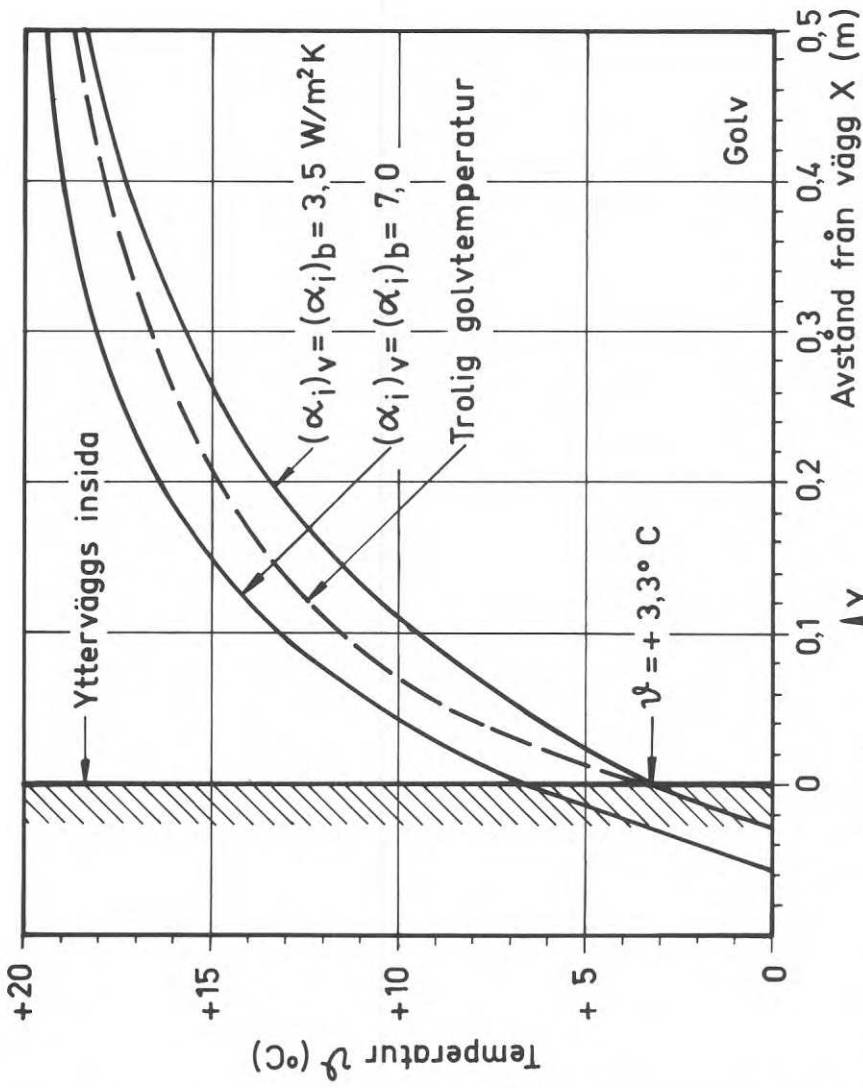
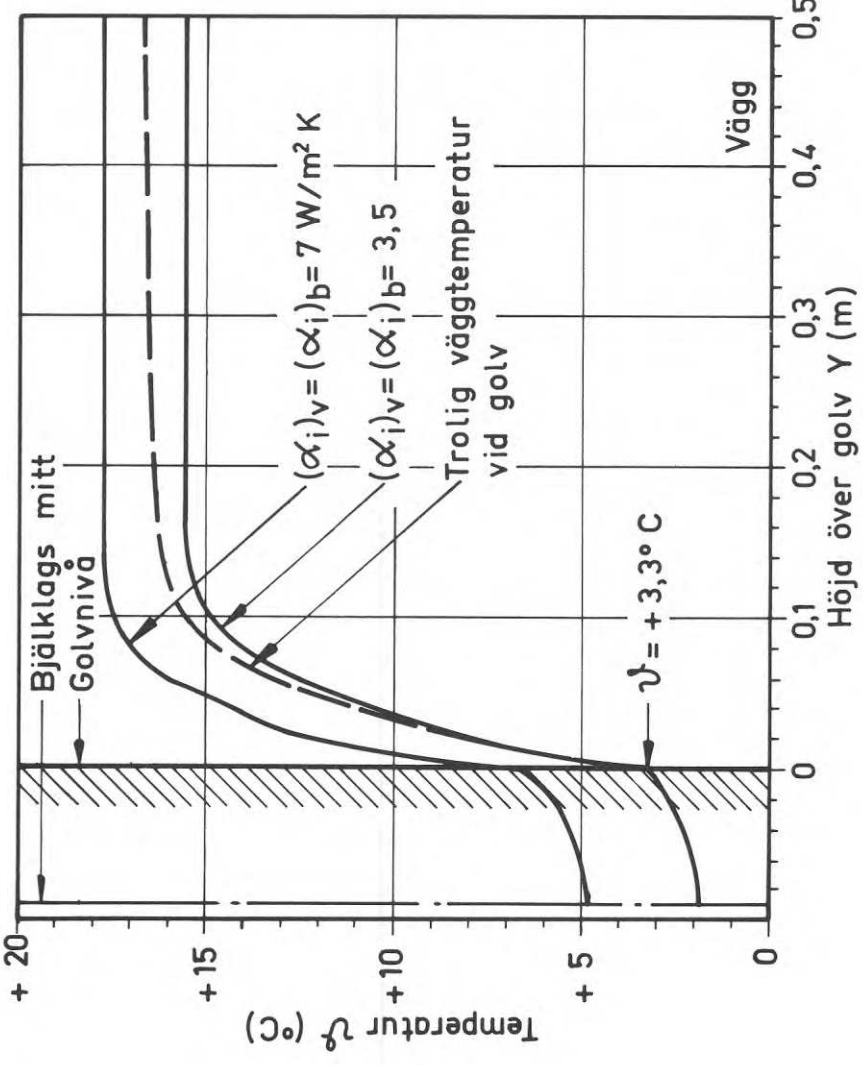


DIAGRAM 3

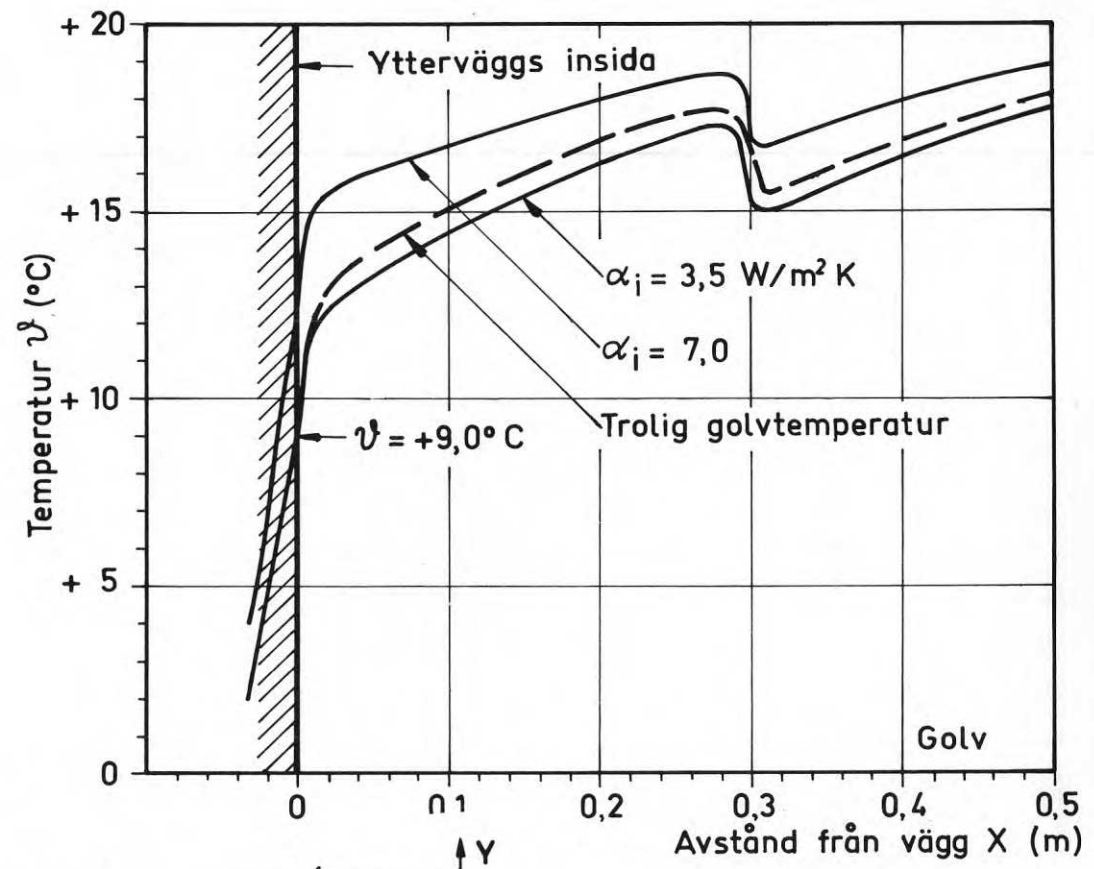
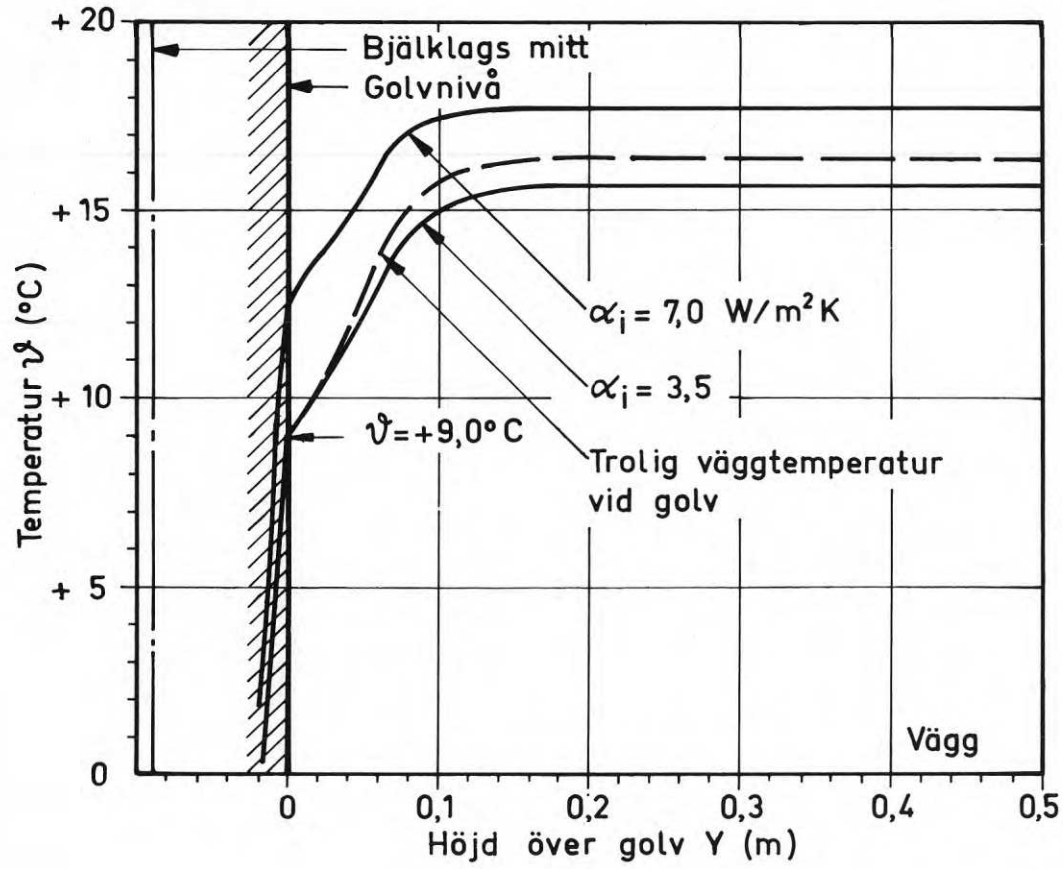
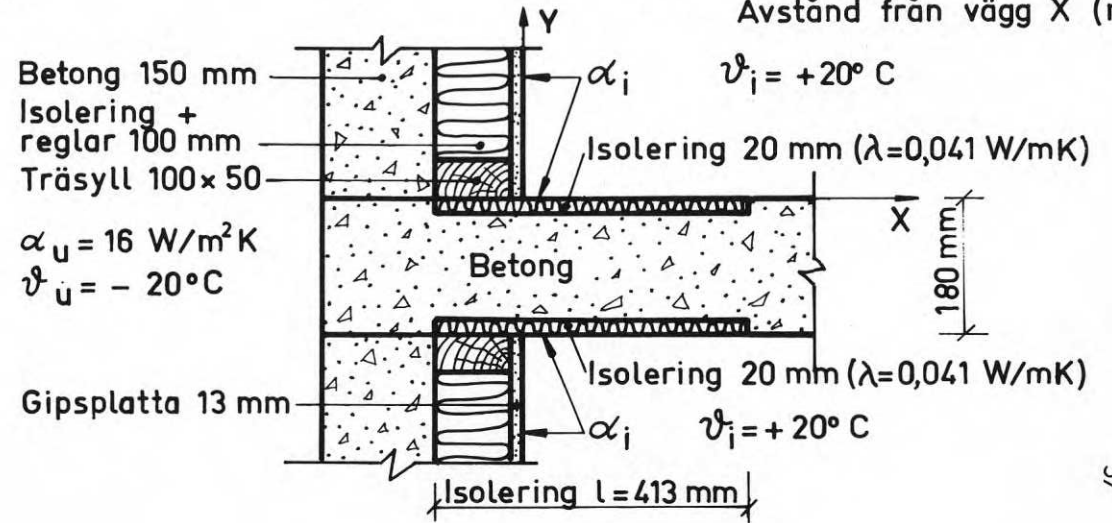


DIAGRAM 4



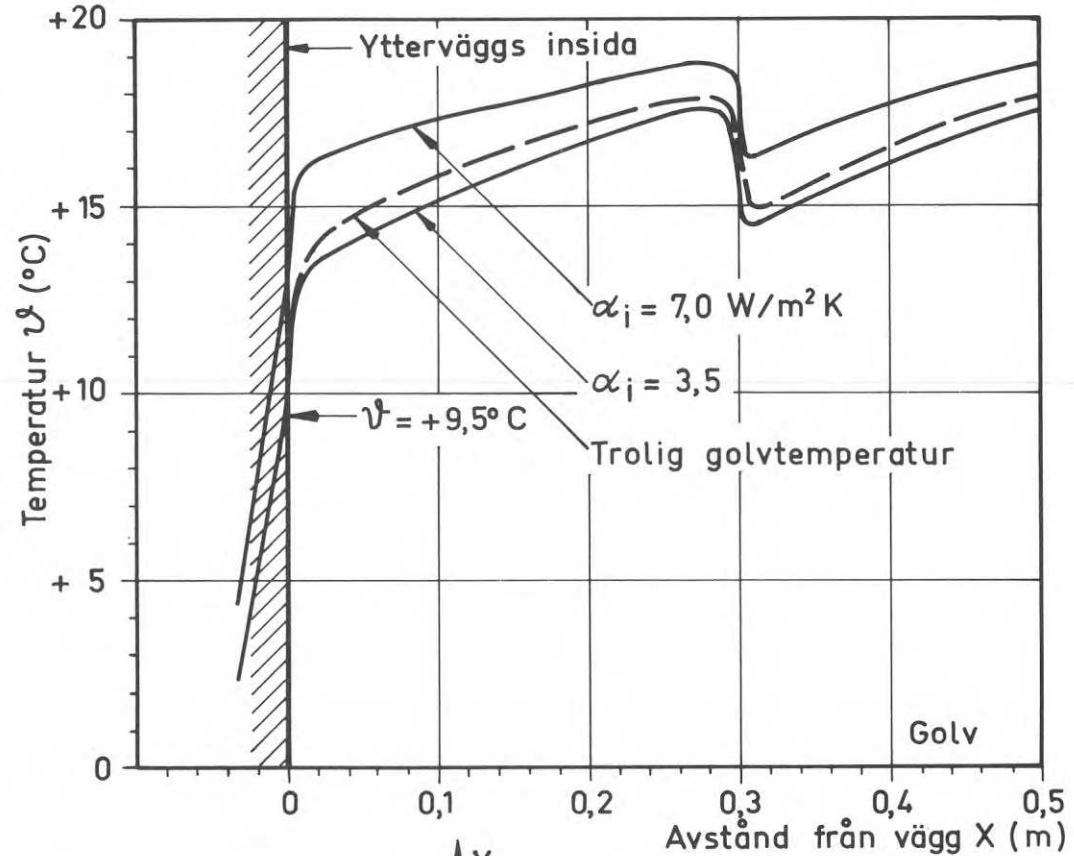
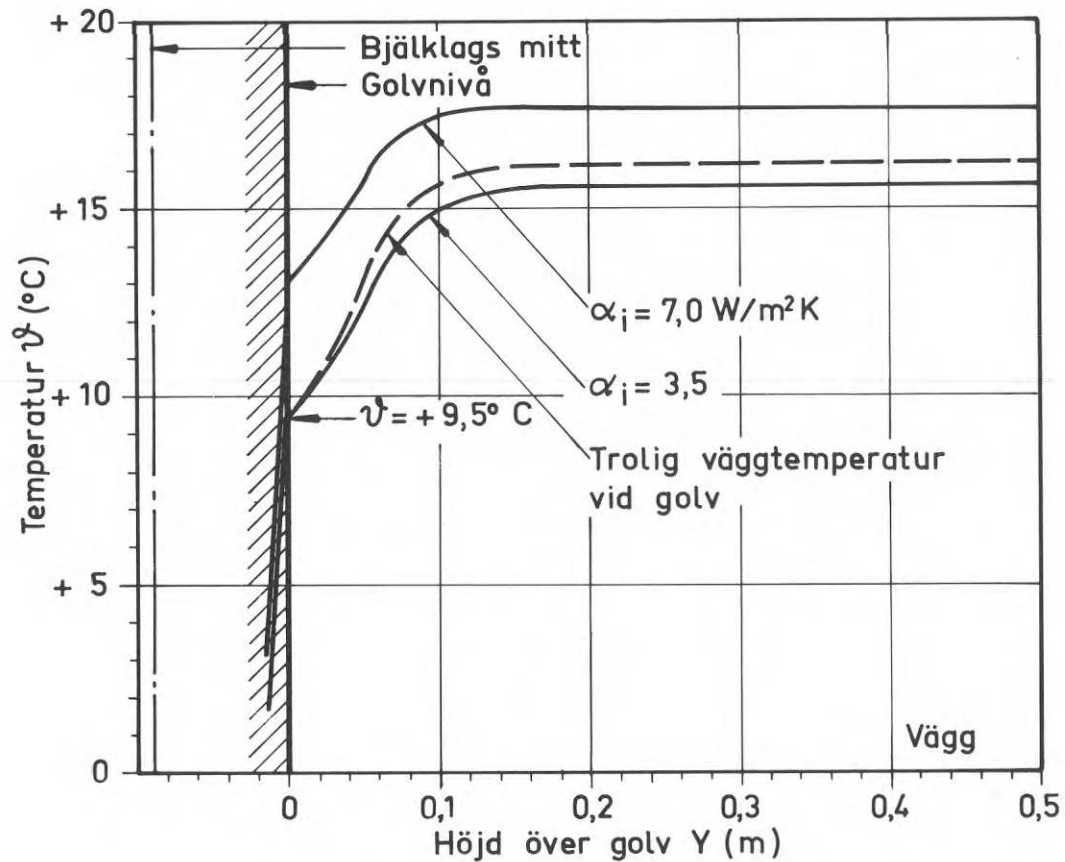
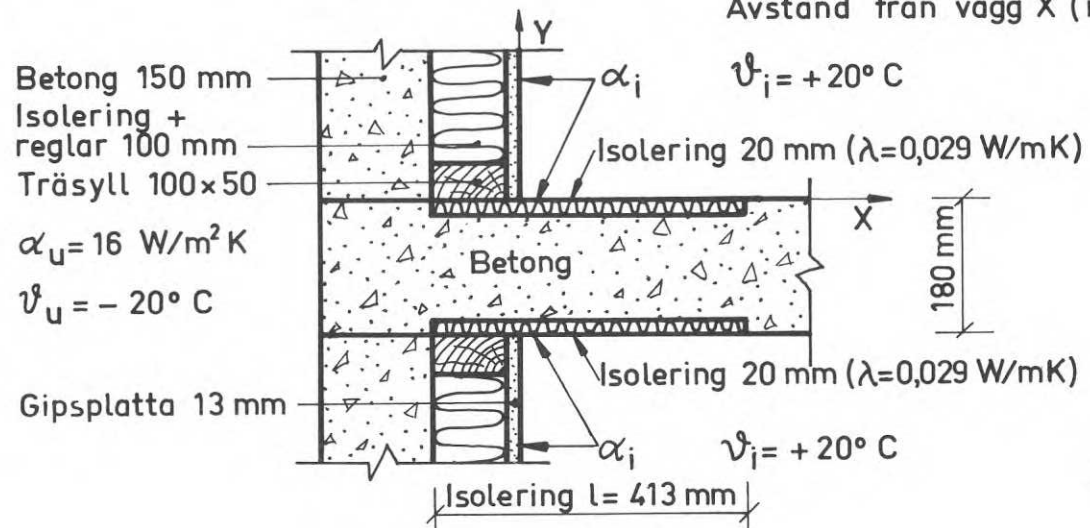


DIAGRAM 5



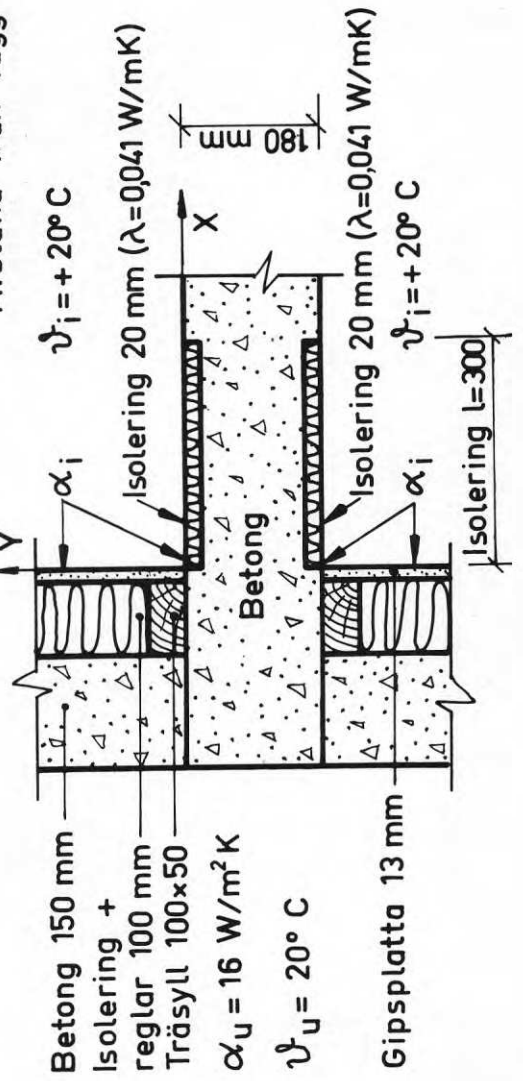
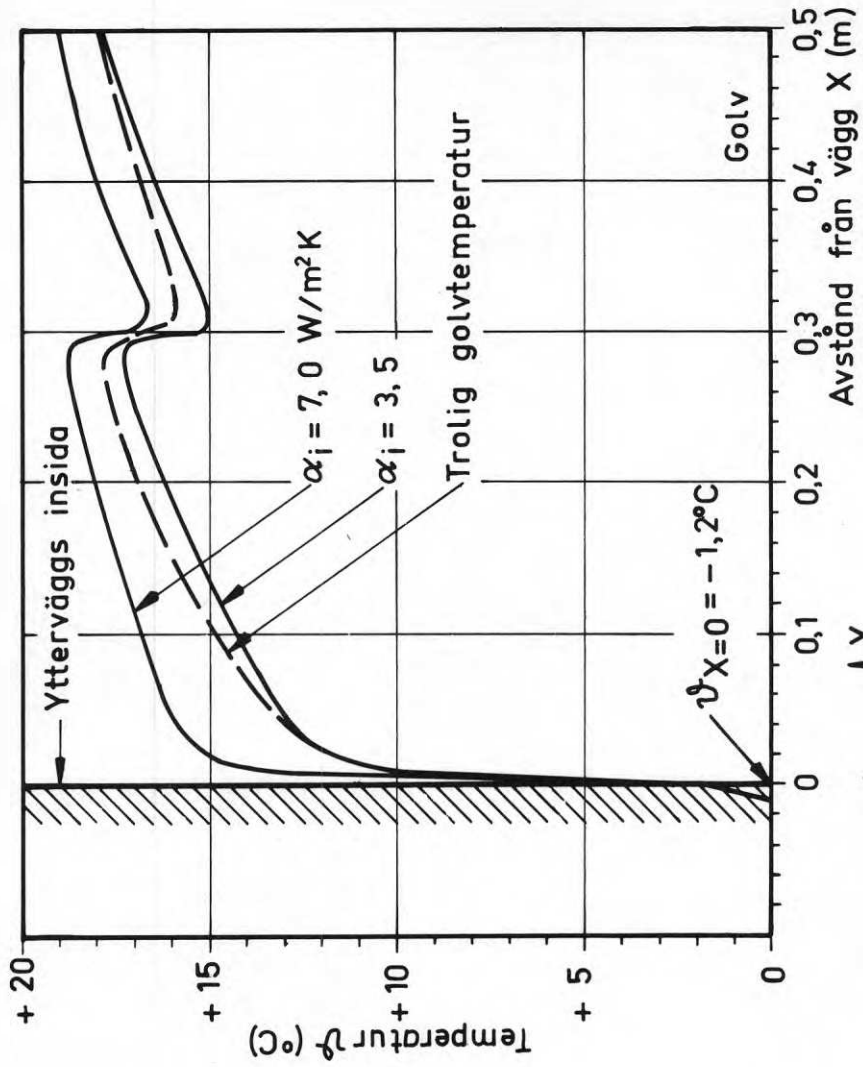
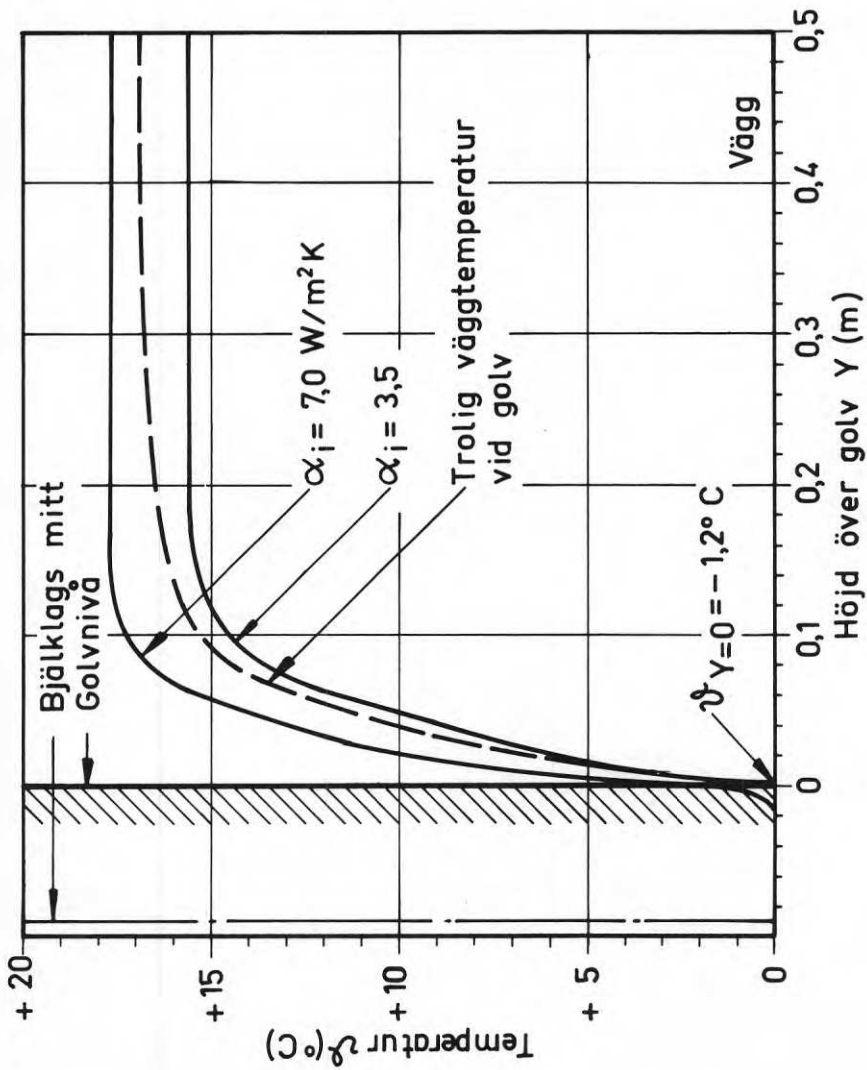


DIAGRAM 6

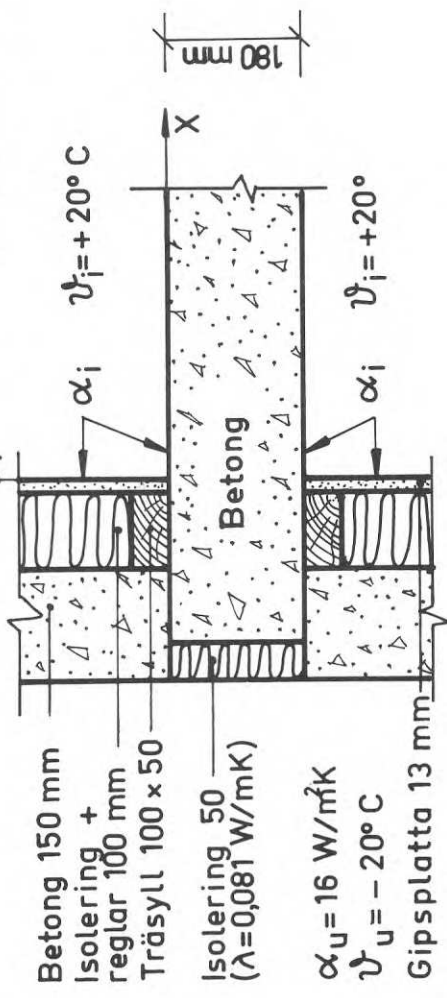
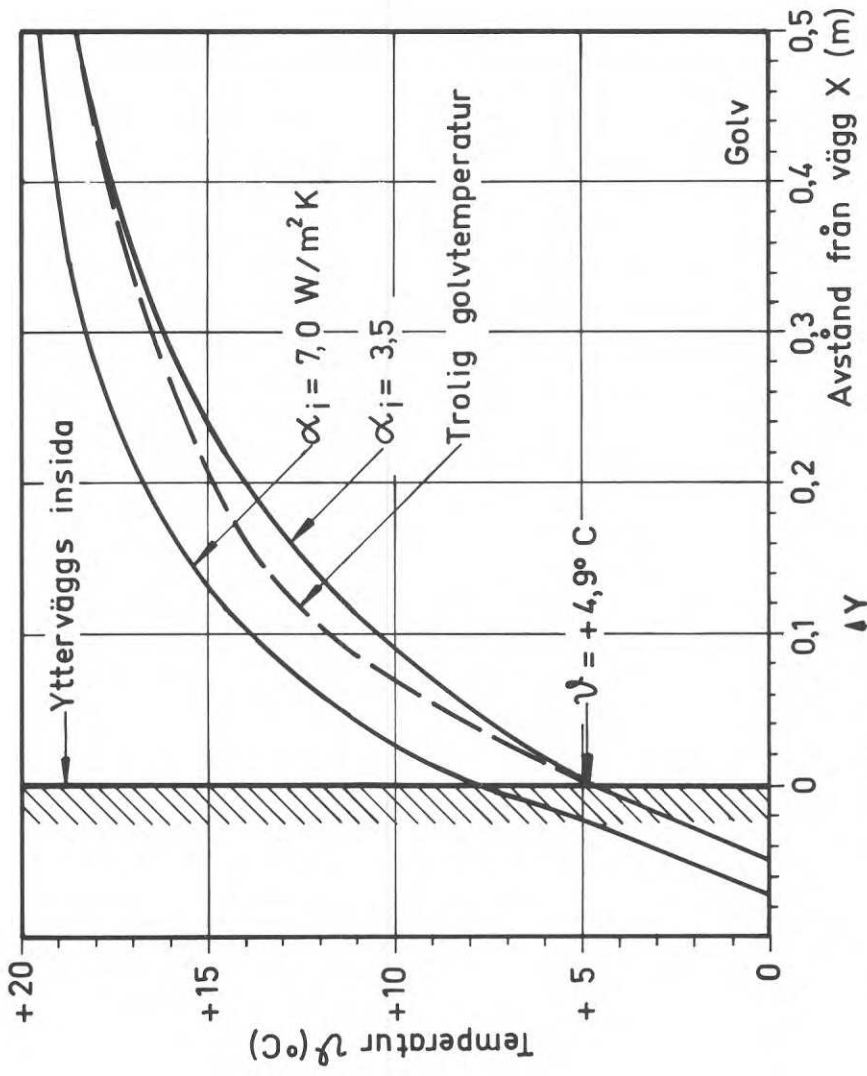
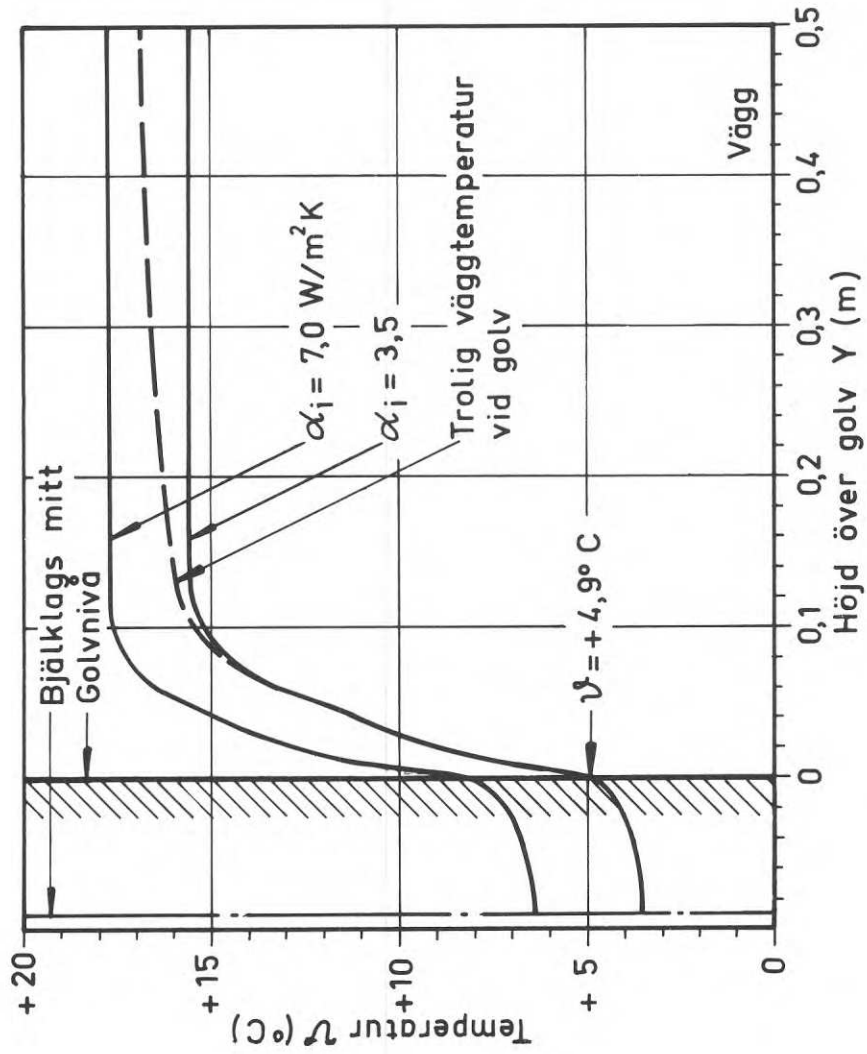


DIAGRAM 7

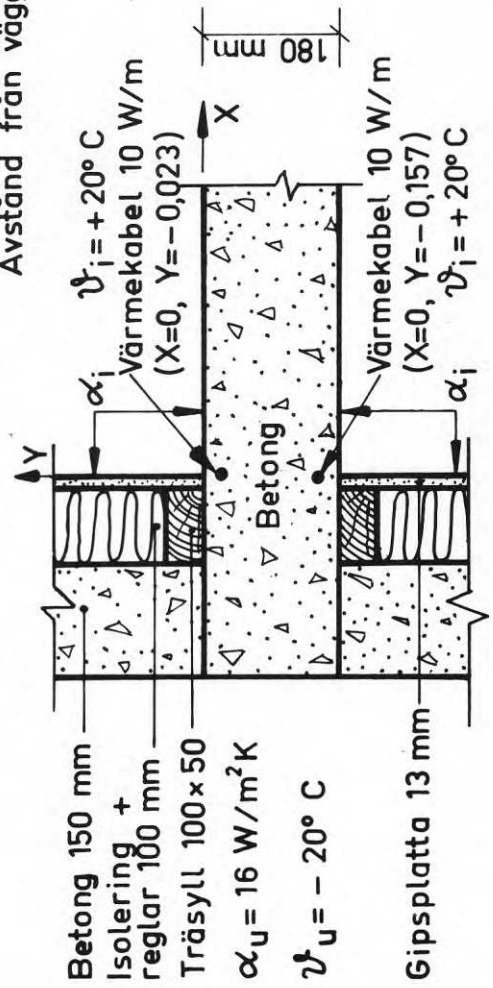
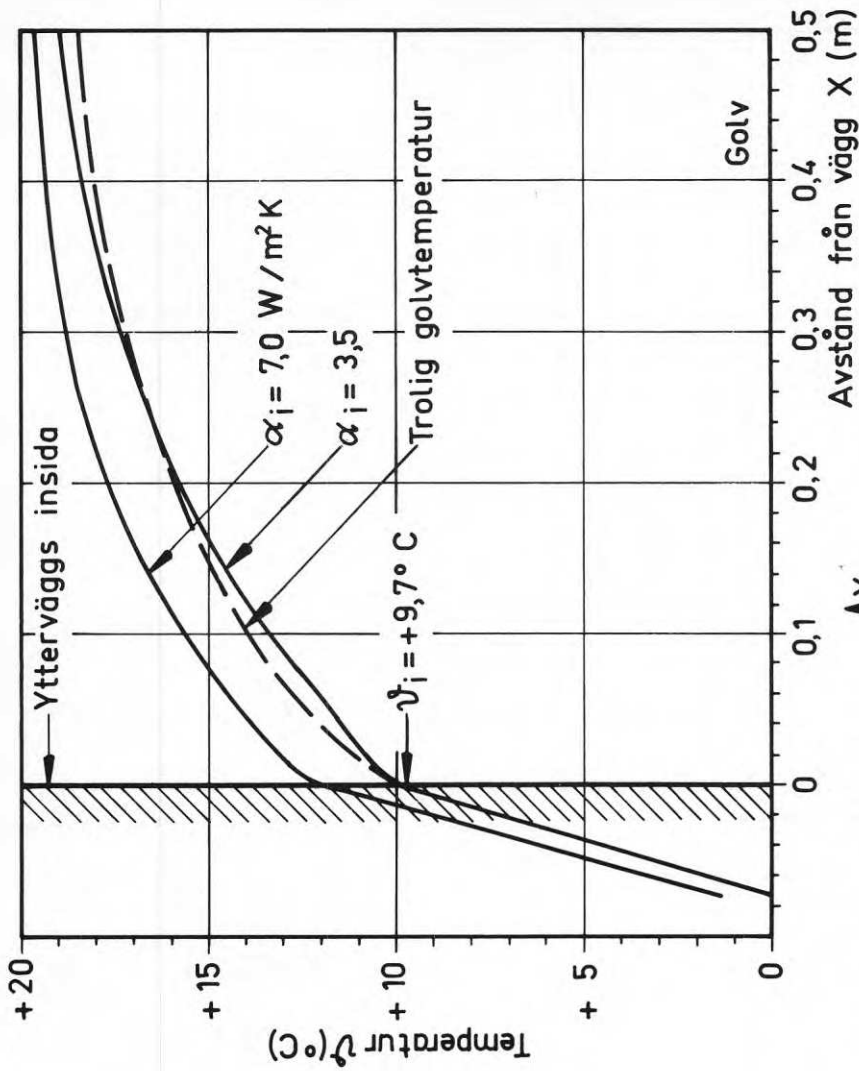
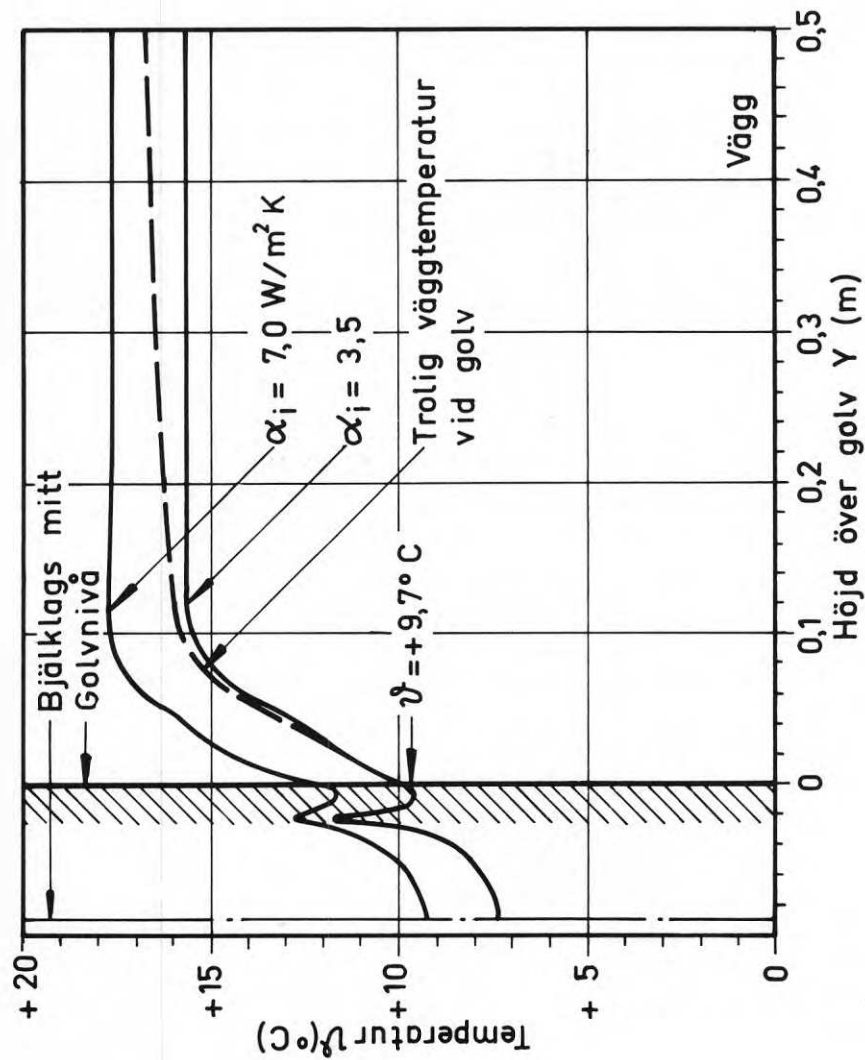


DIAGRAM 8

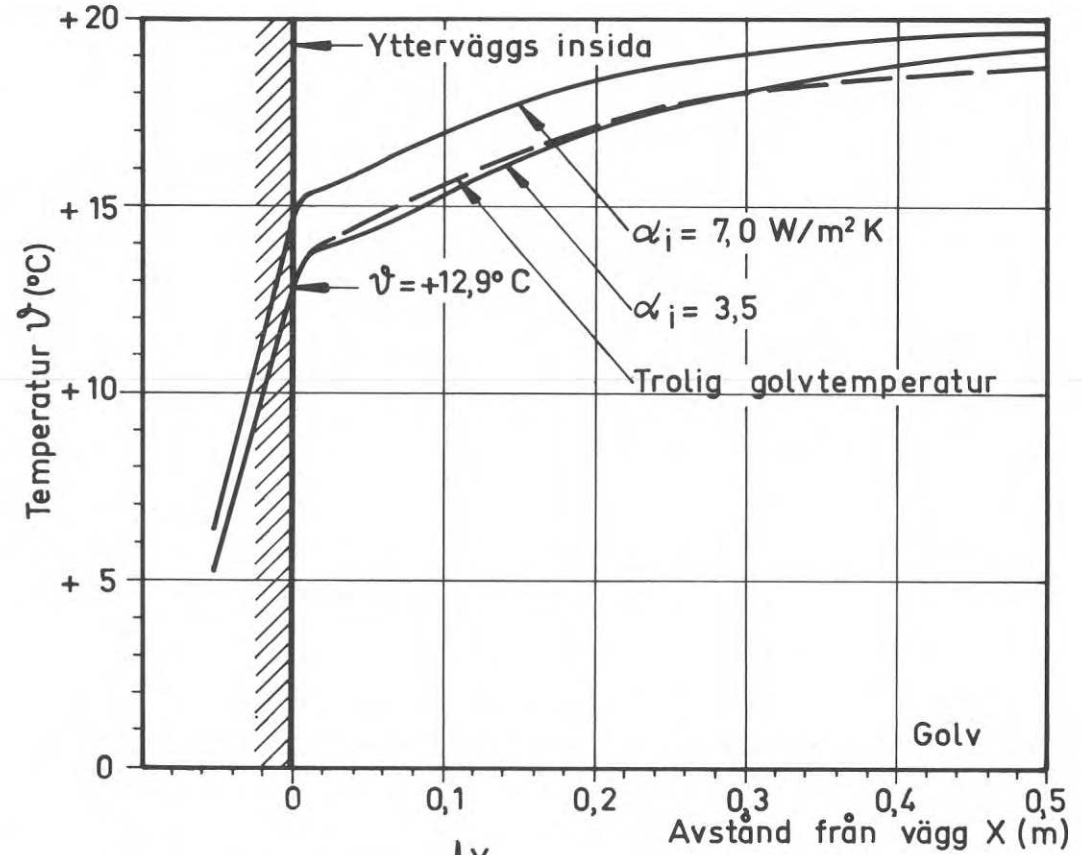
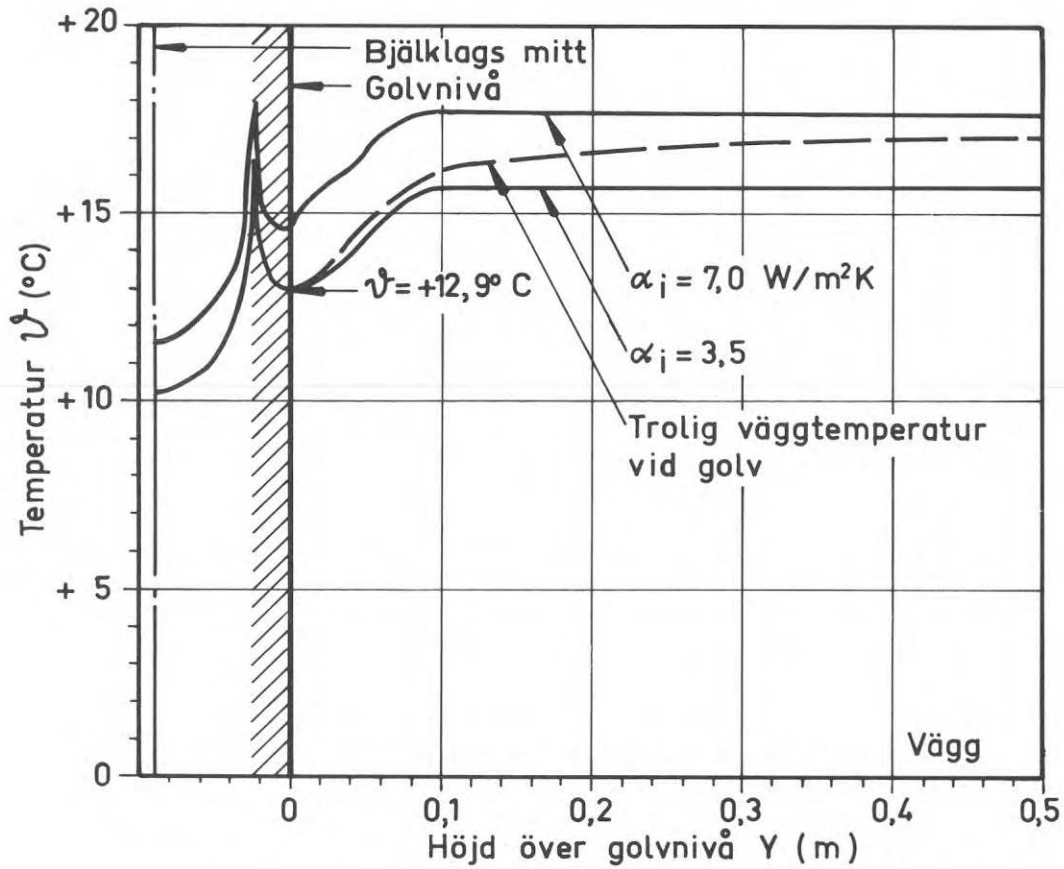
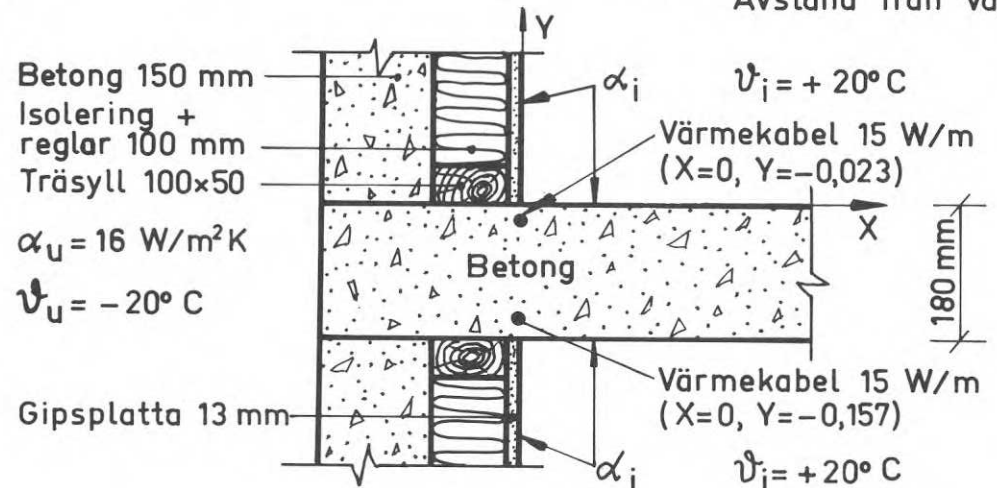


DIAGRAM 9



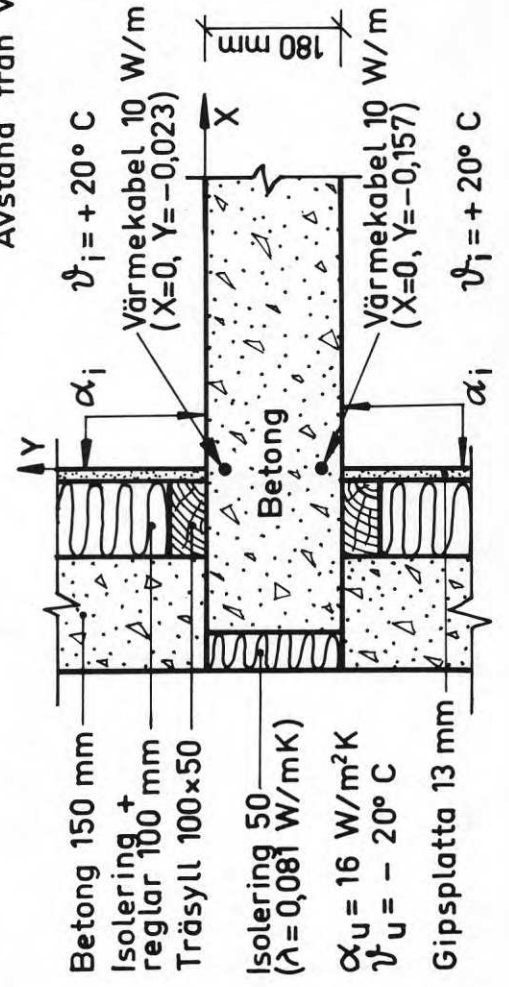
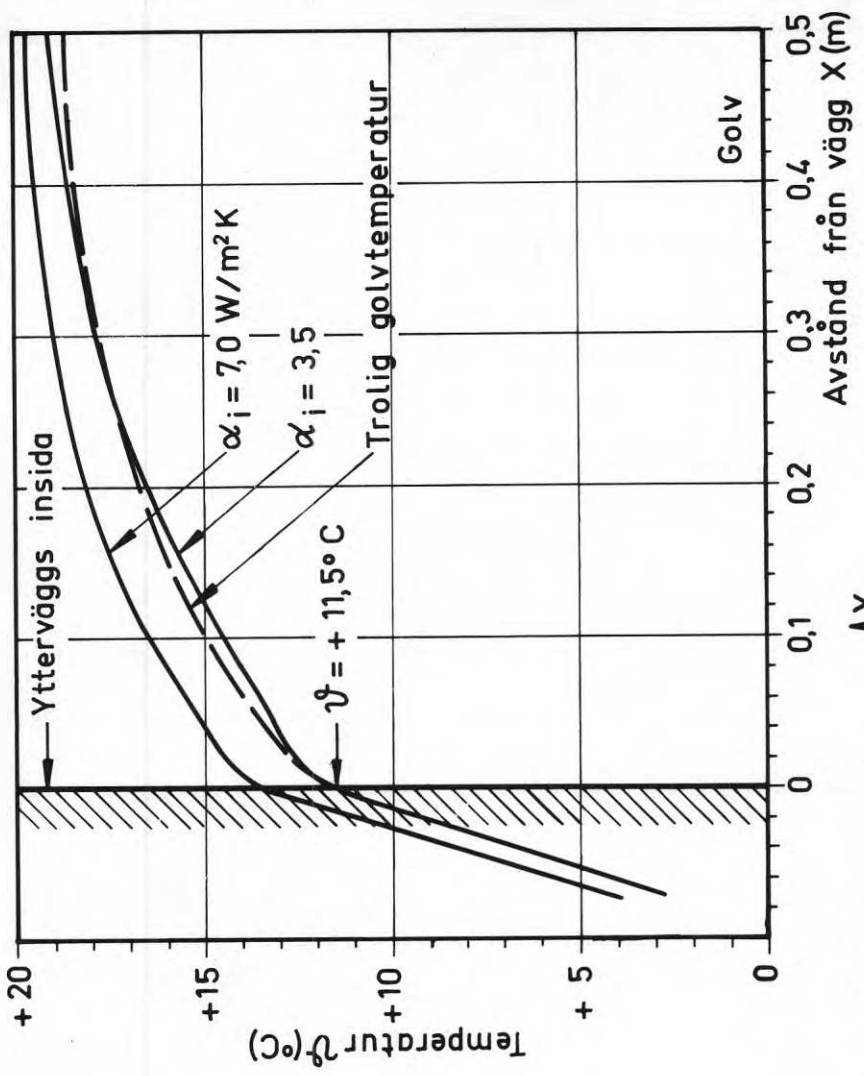
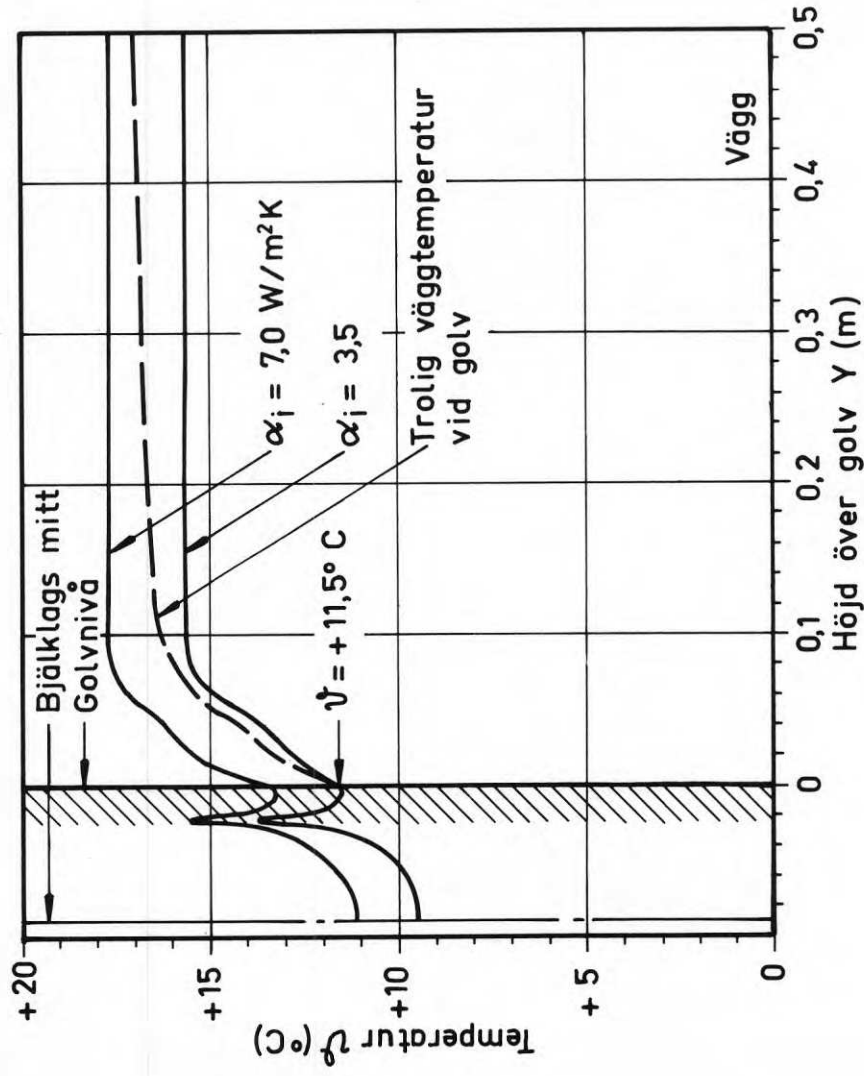


DIAGRAM 10

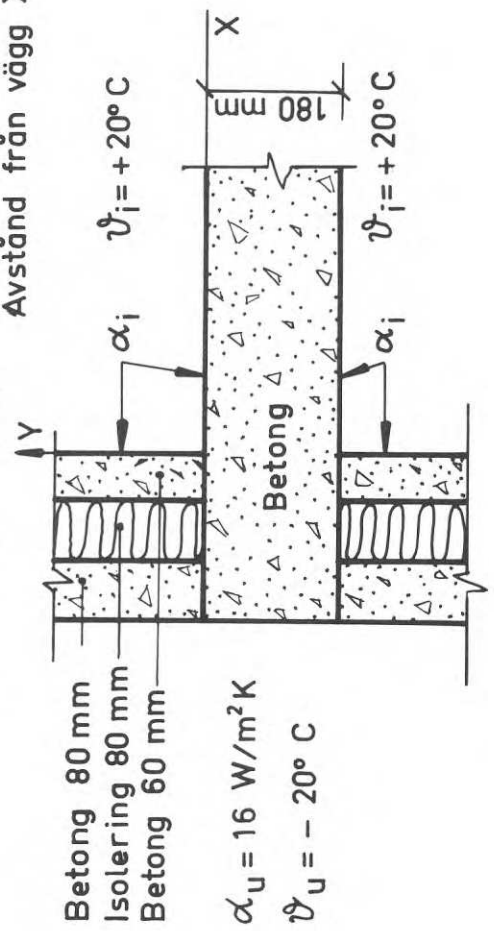
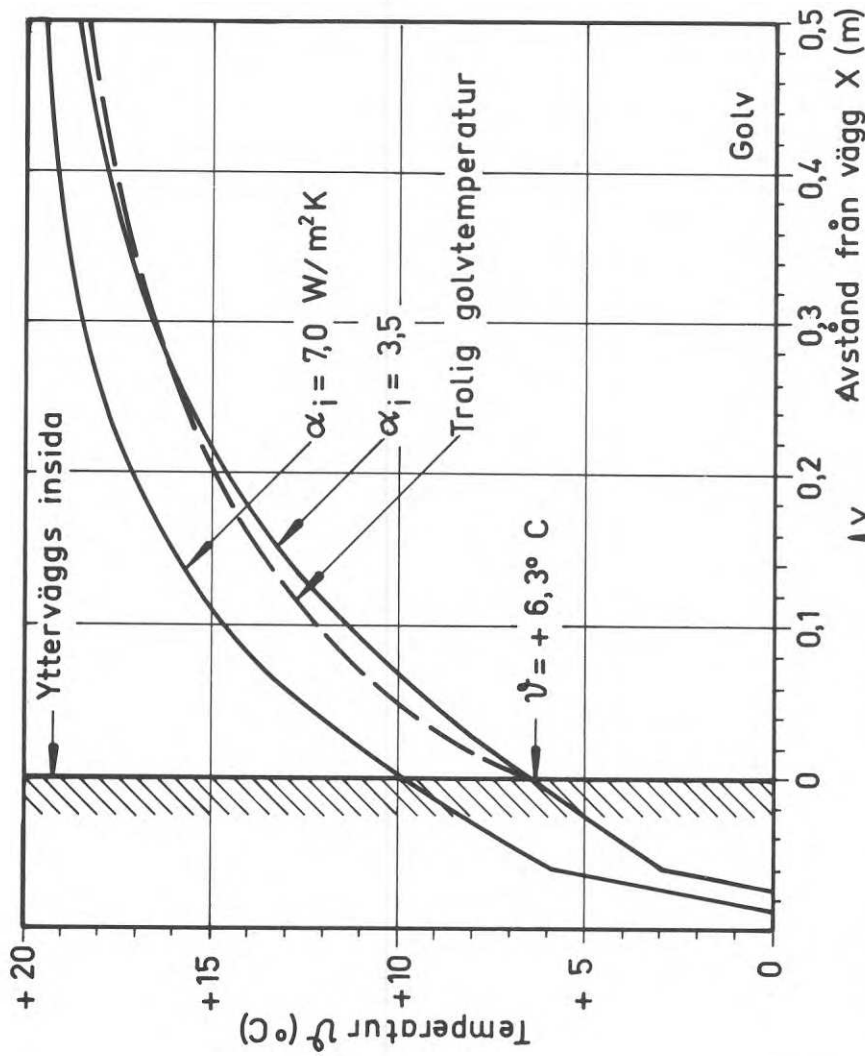
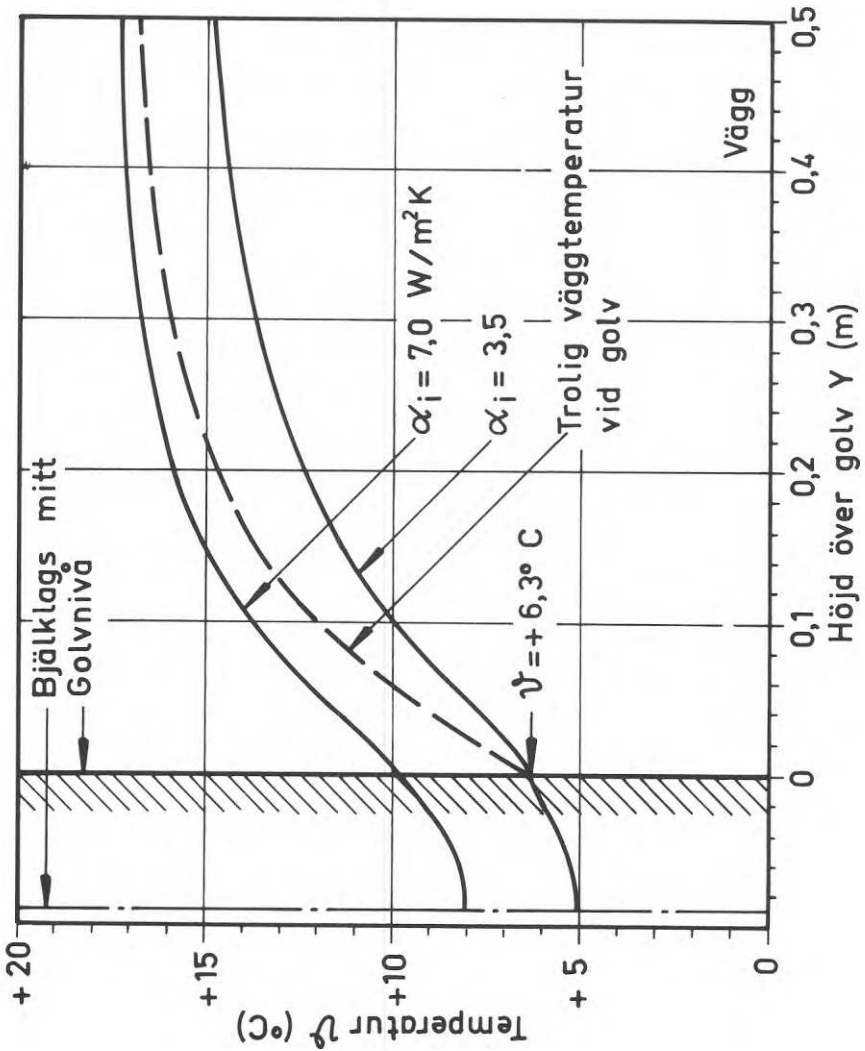


DIAGRAM 11

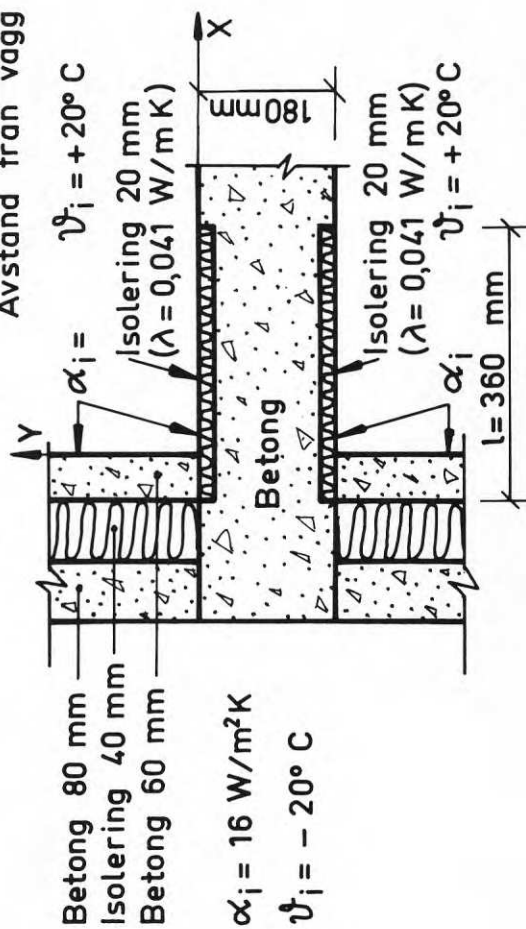
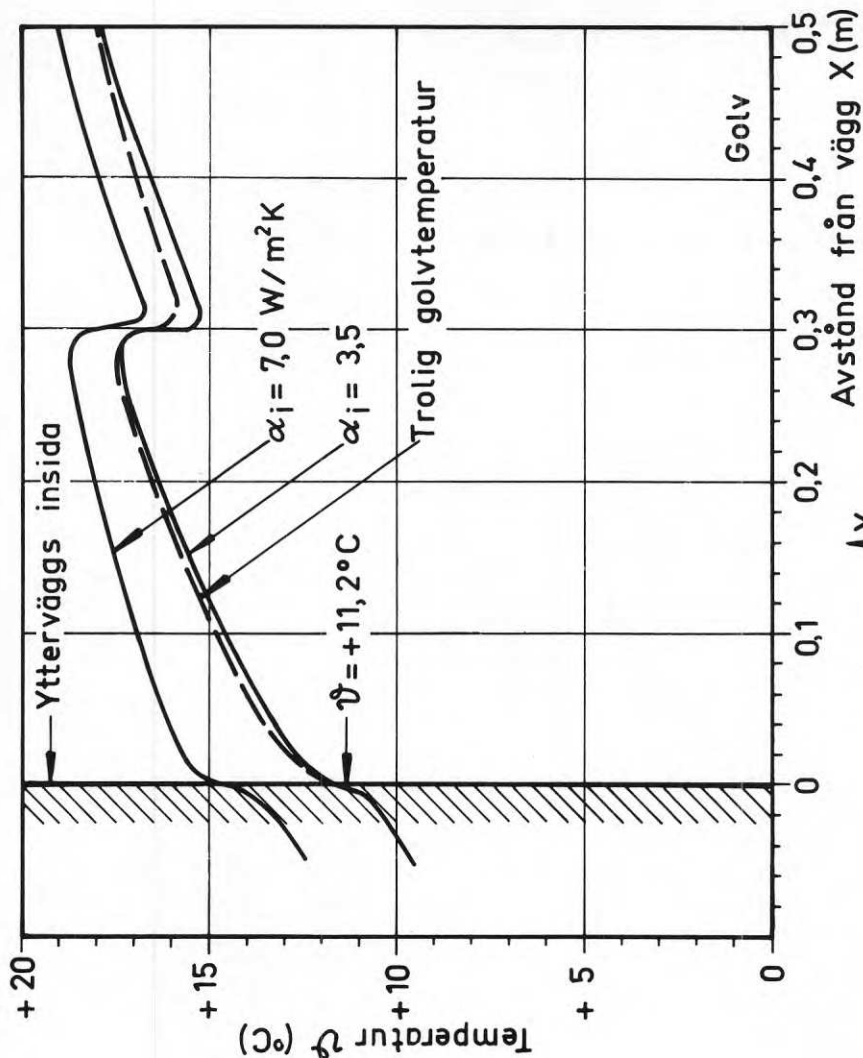
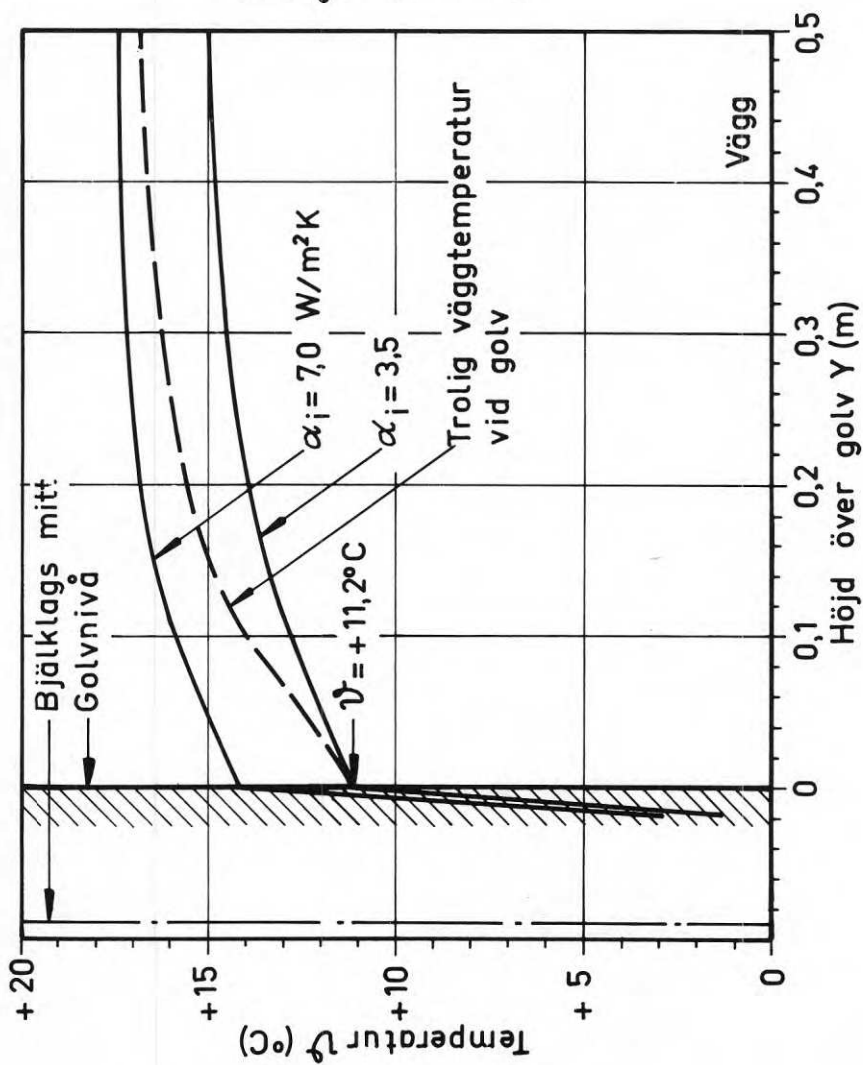


DIAGRAM 12

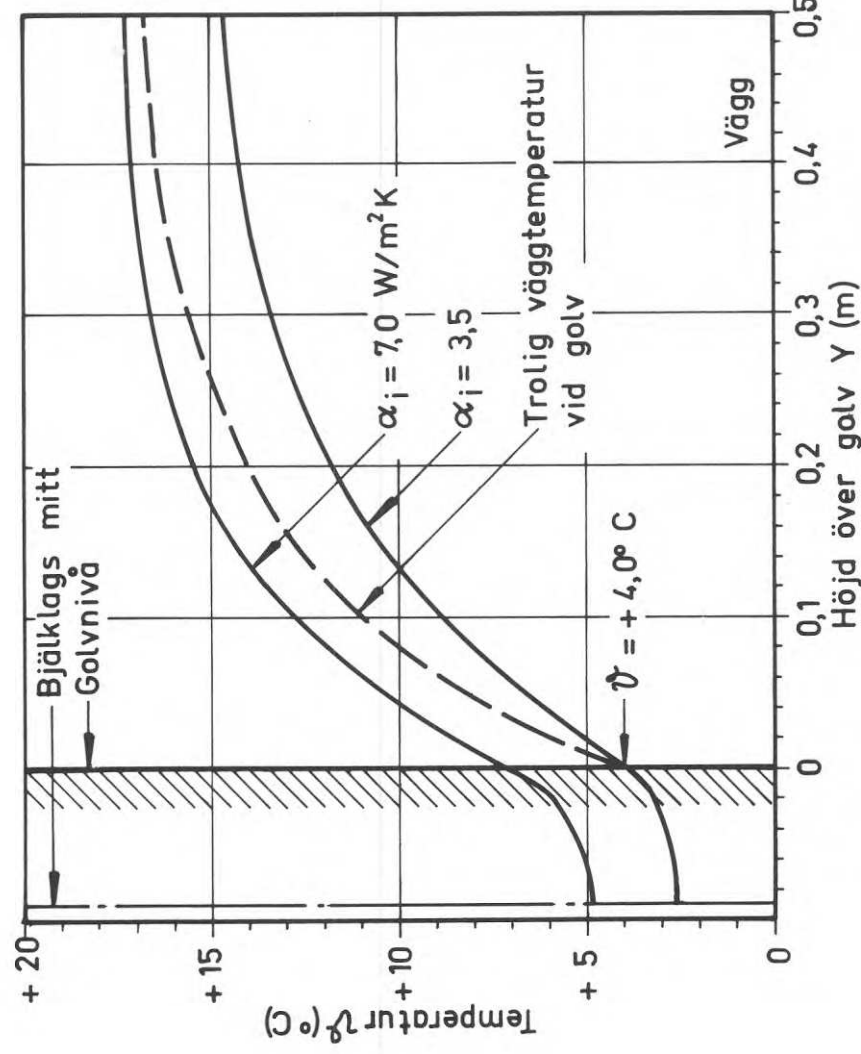
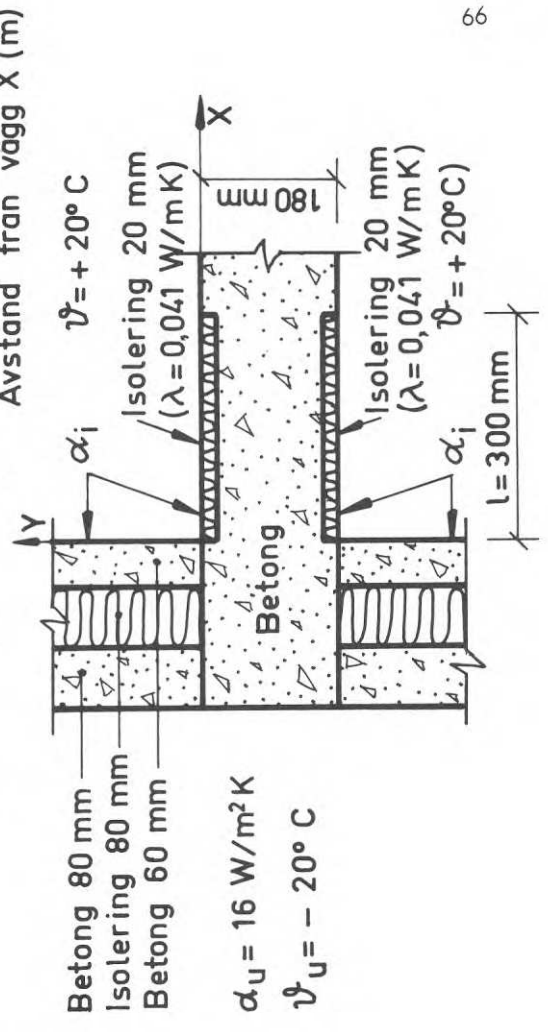
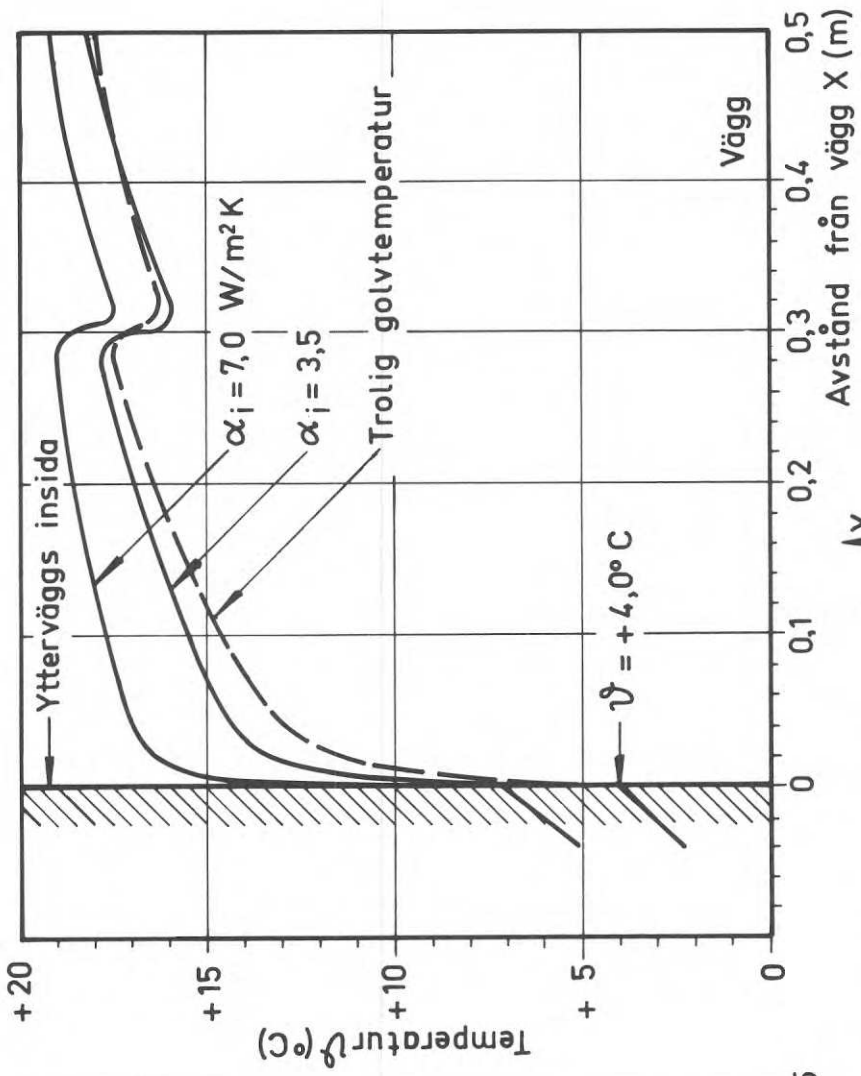


DIAGRAM 13

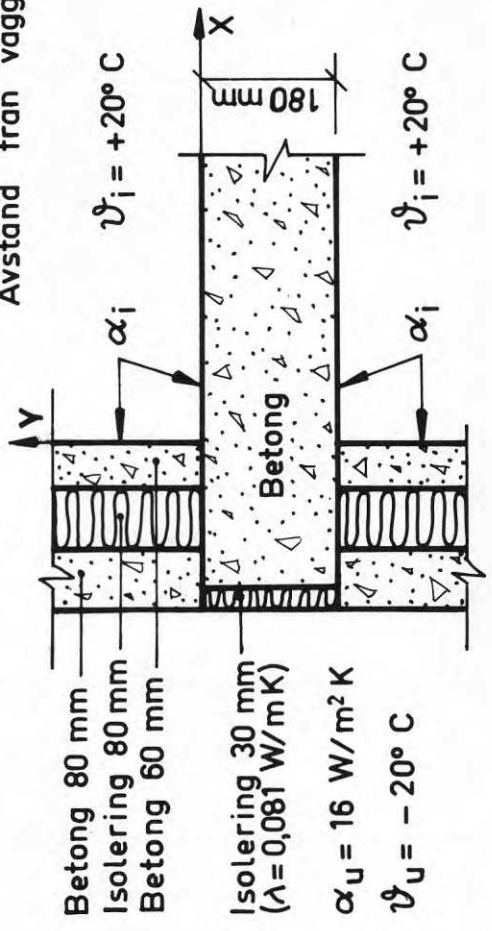
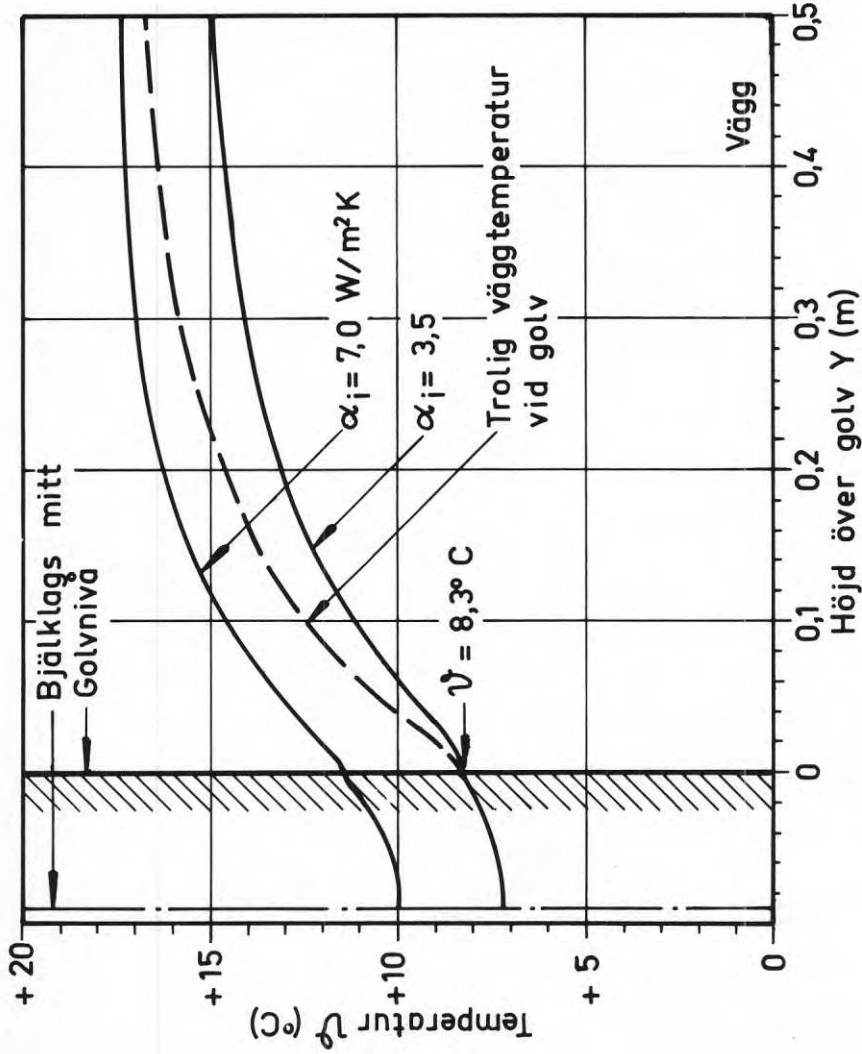
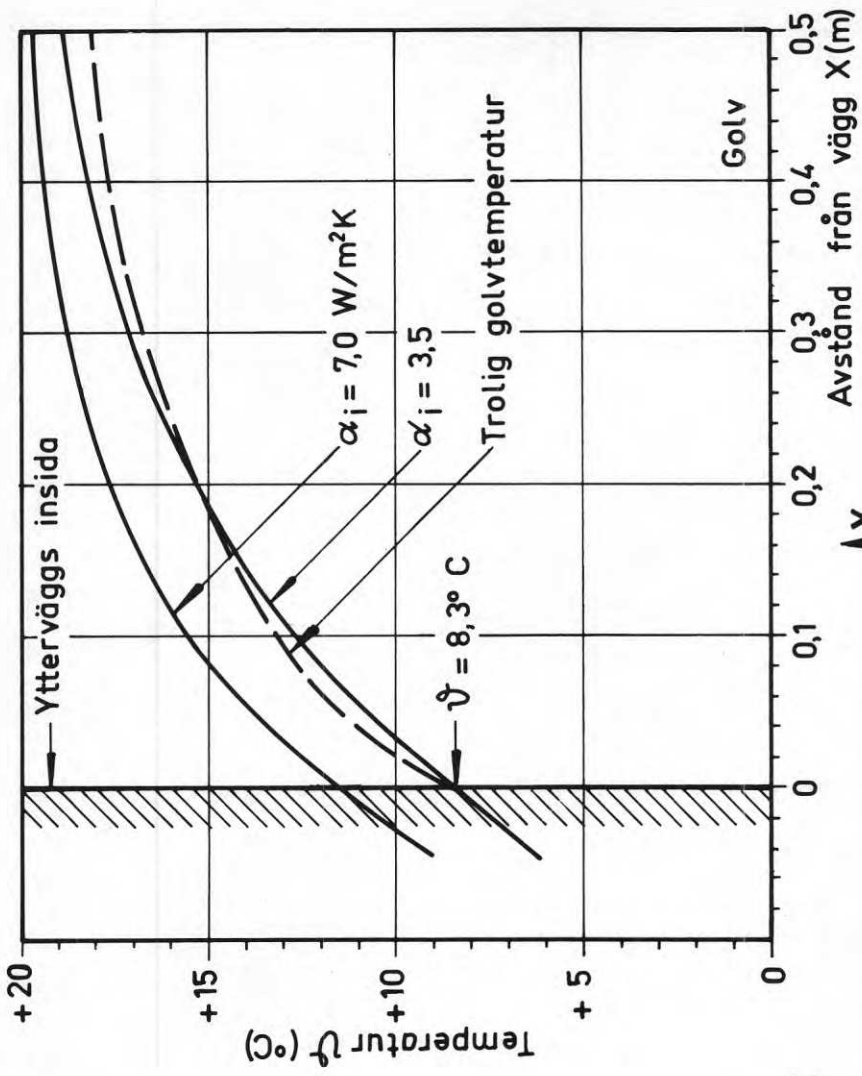


DIAGRAM 14

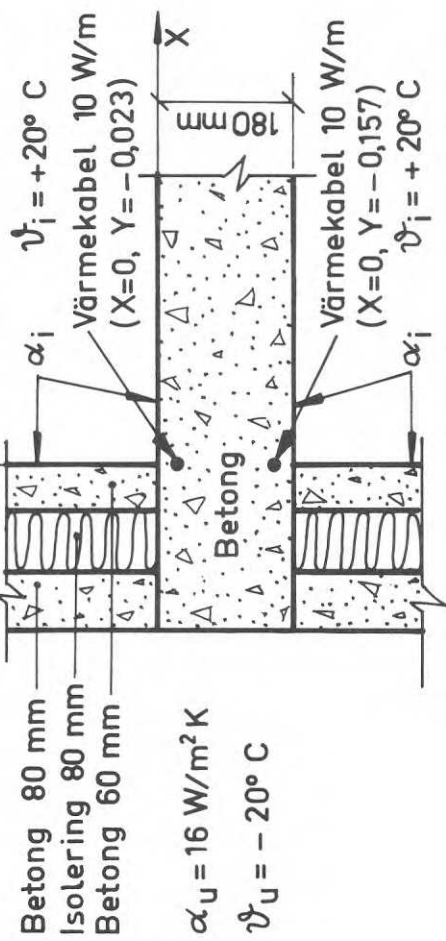
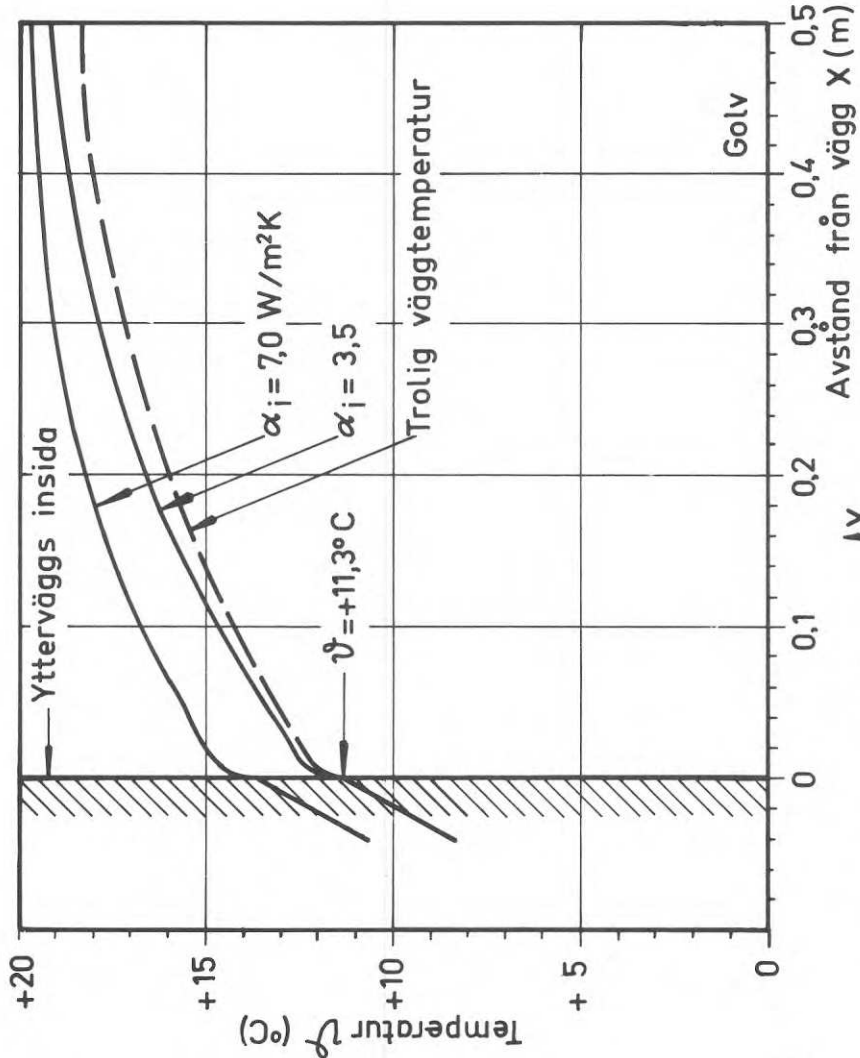
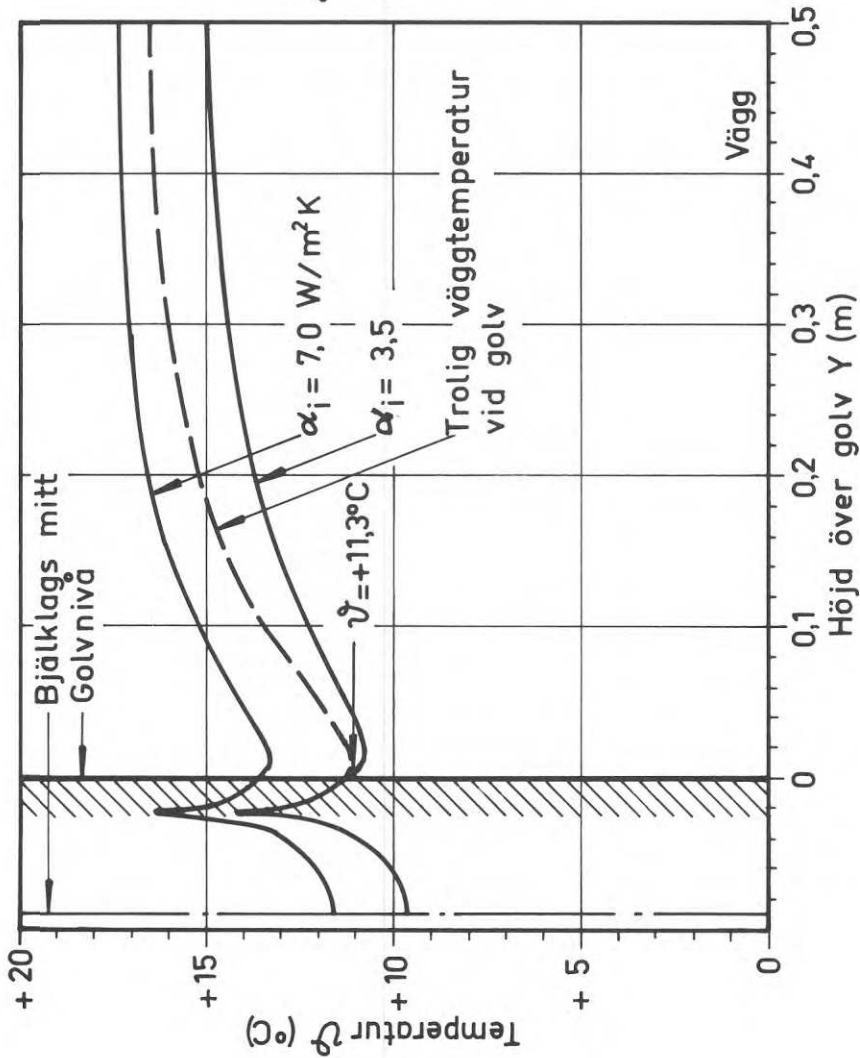


DIAGRAM 15

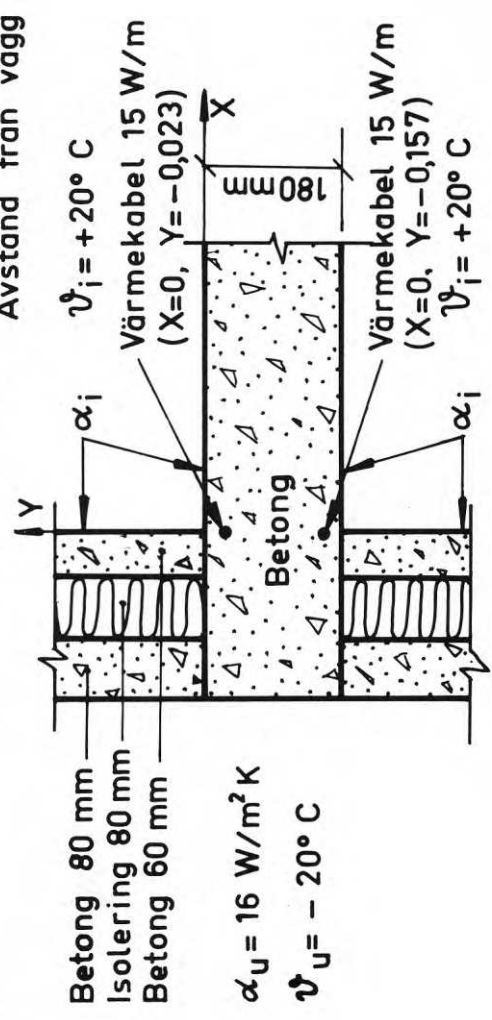
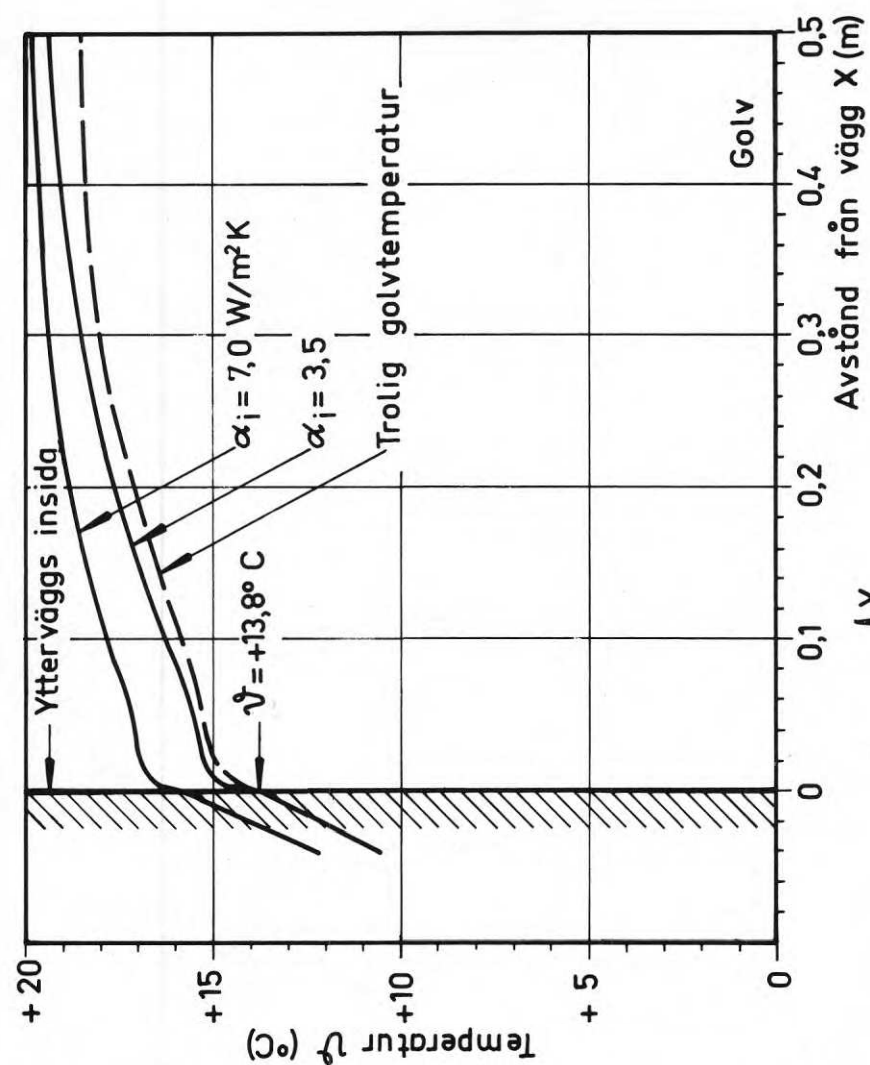
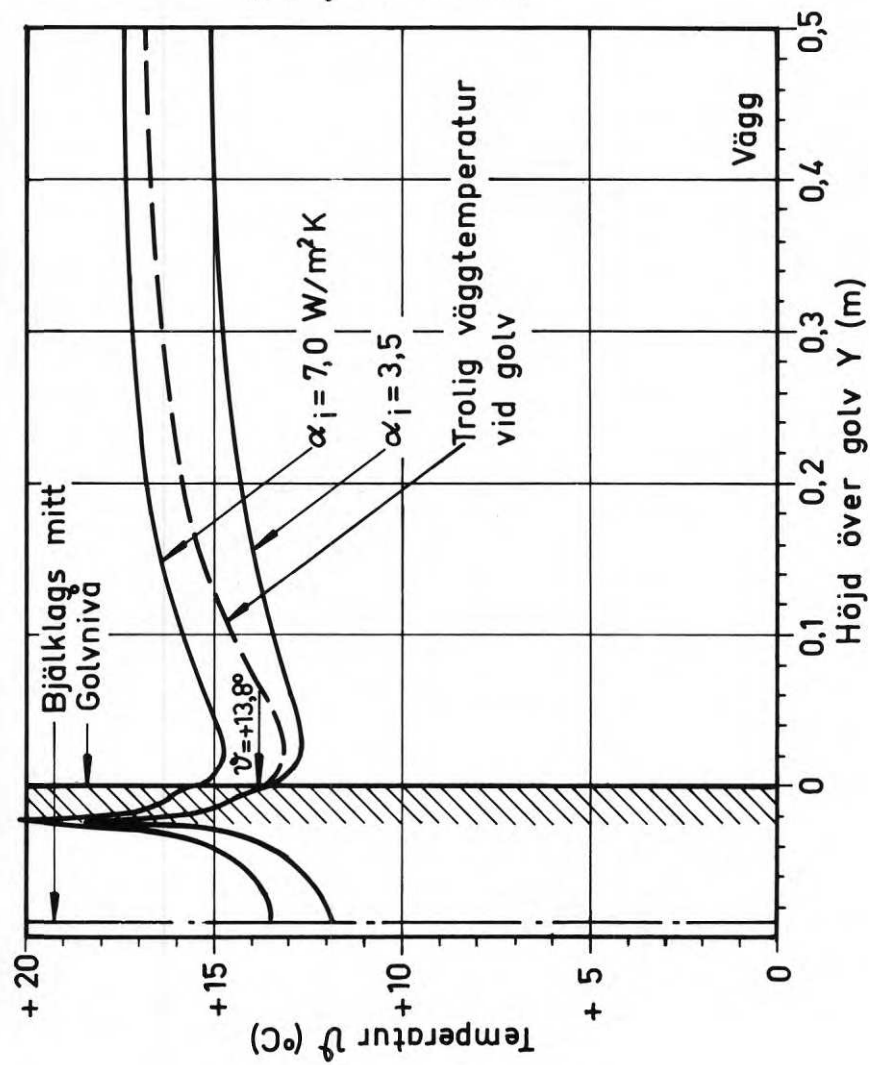


DIAGRAM 16

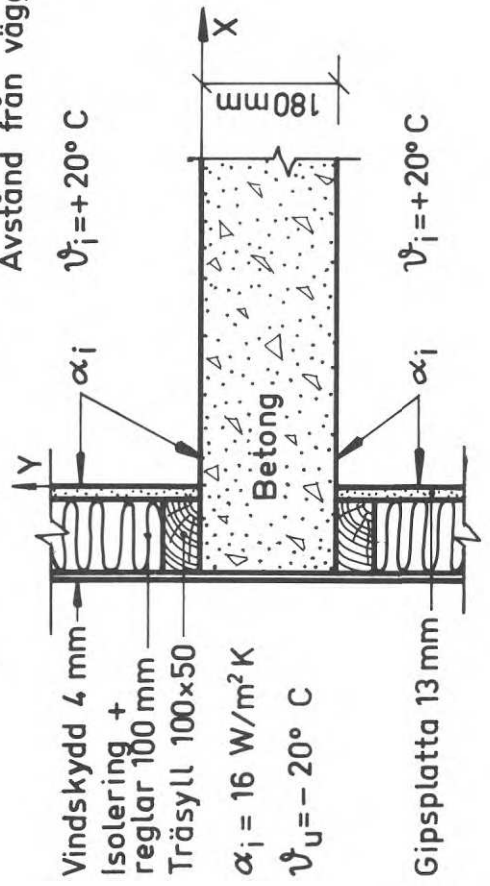
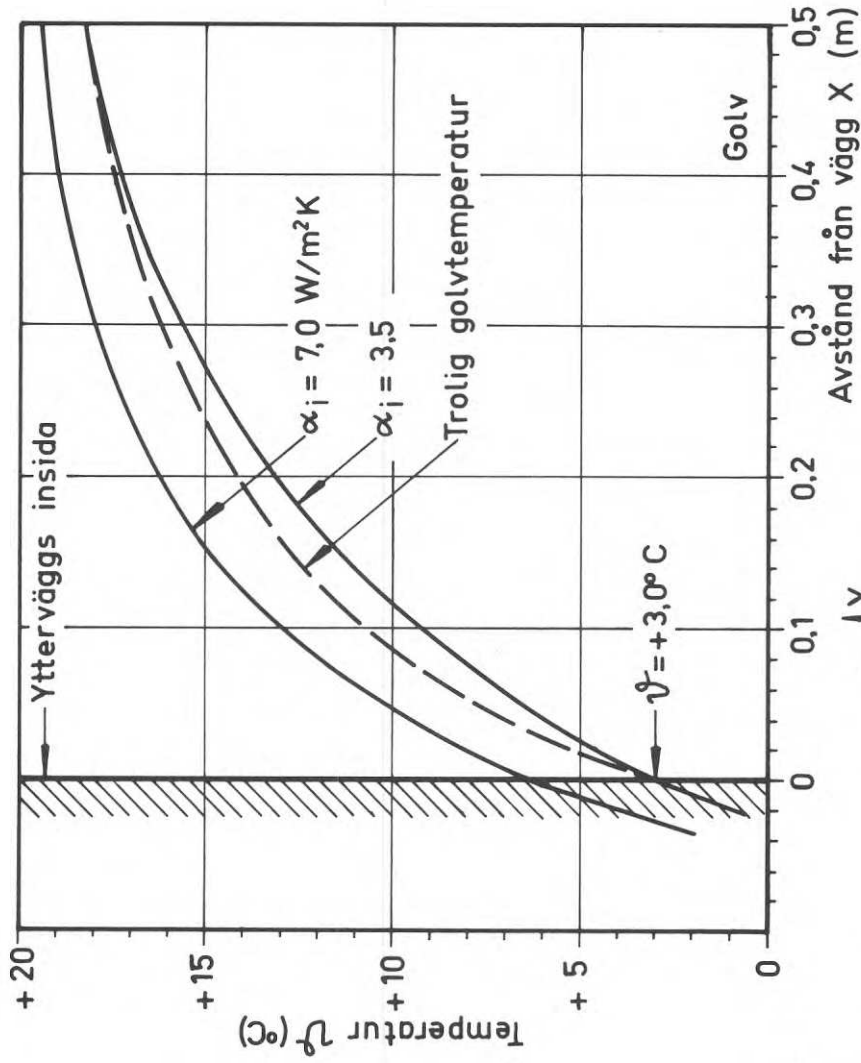
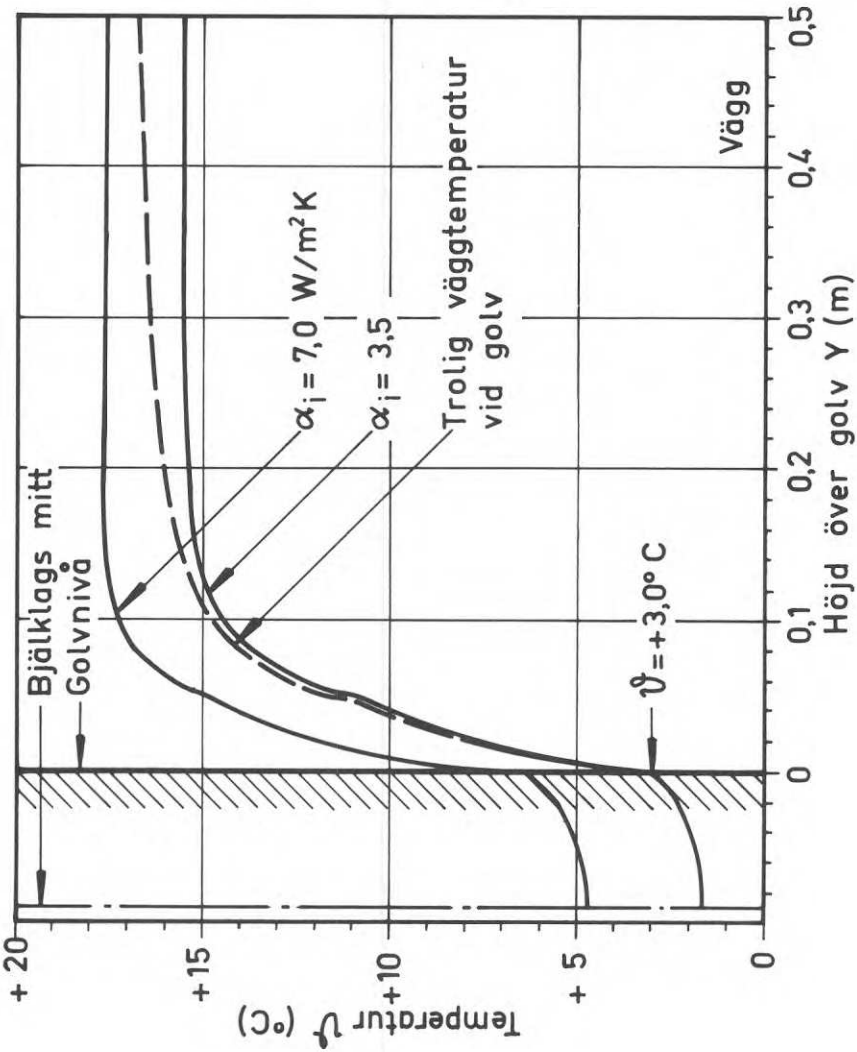


DIAGRAM 17

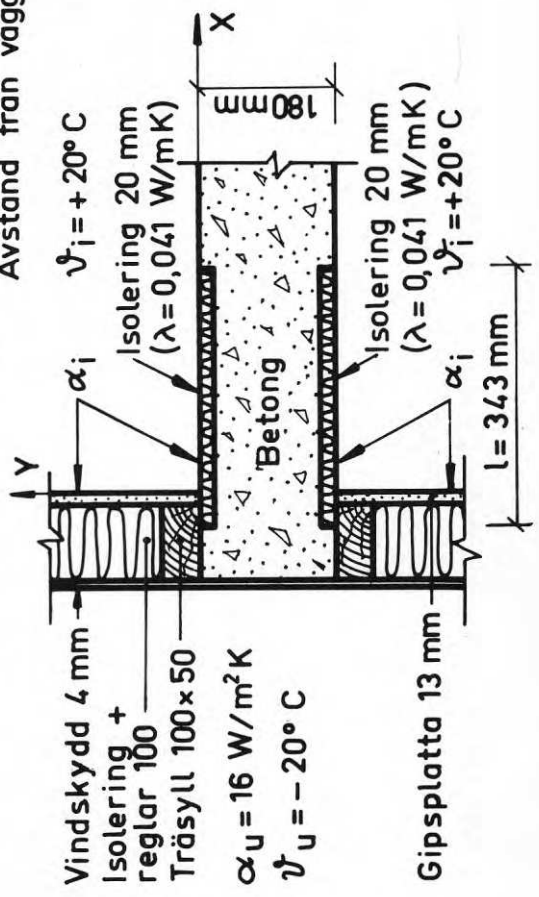
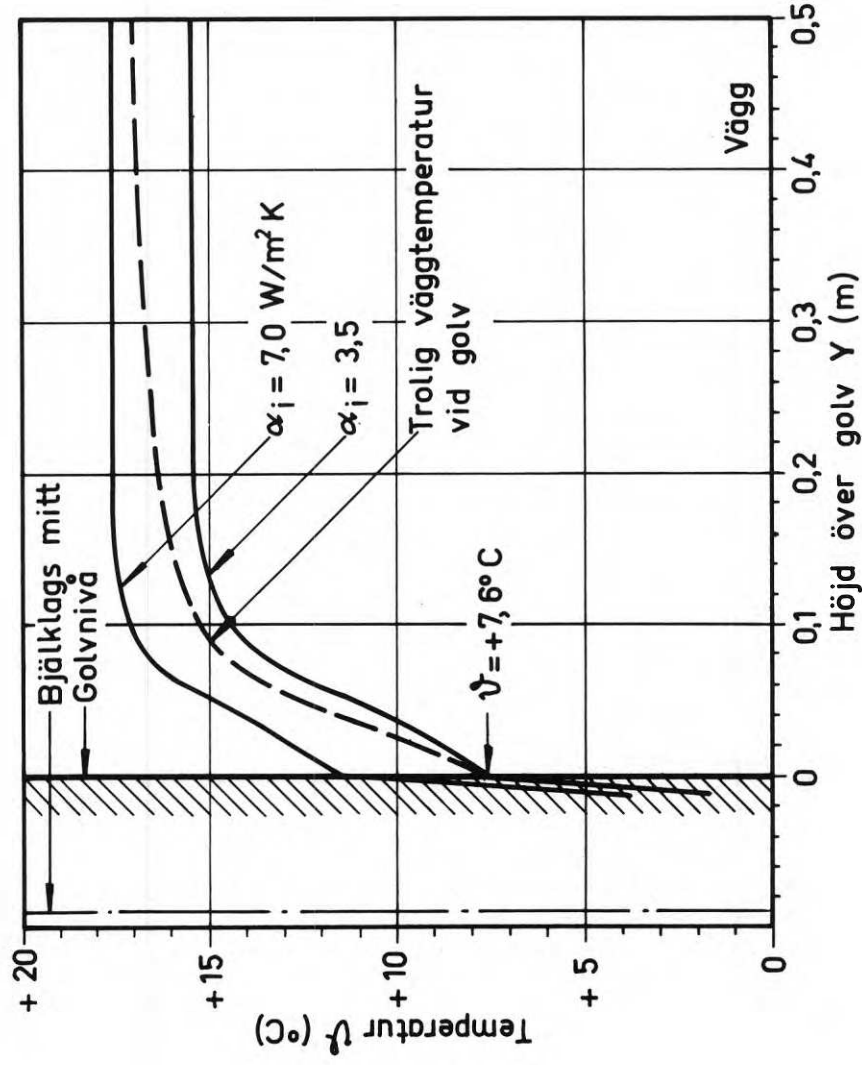
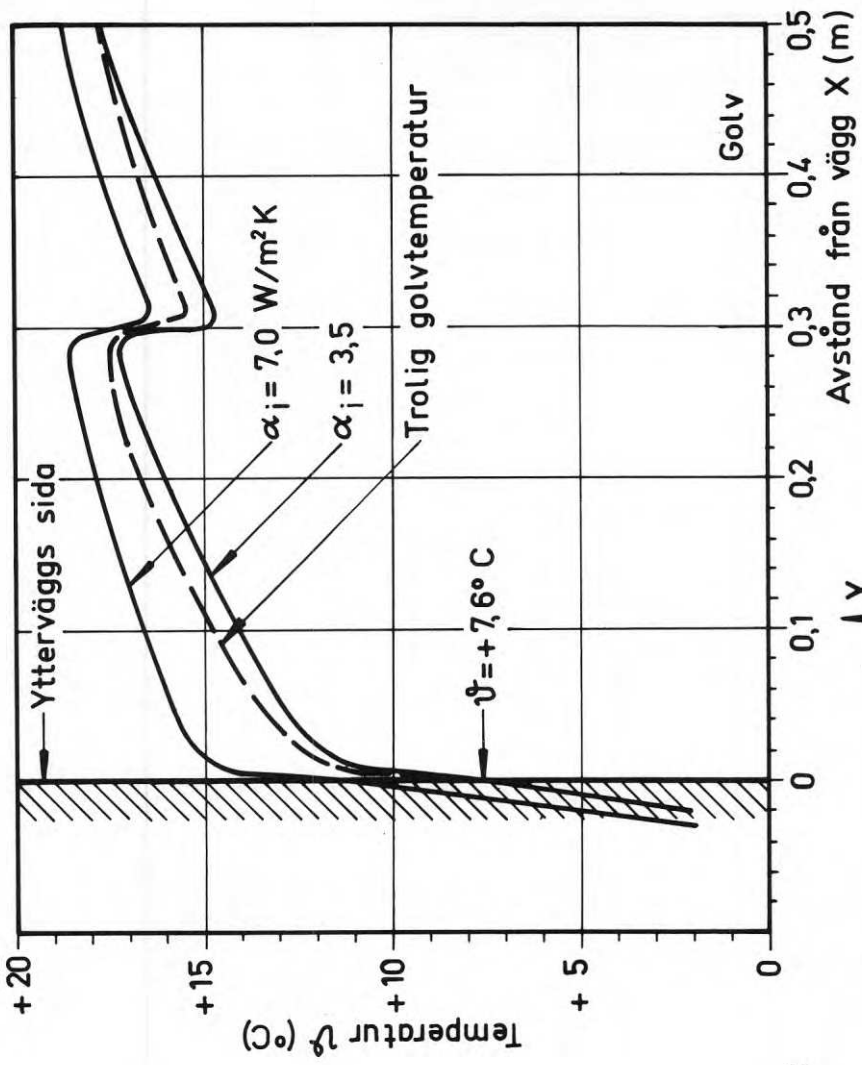


DIAGRAM 18

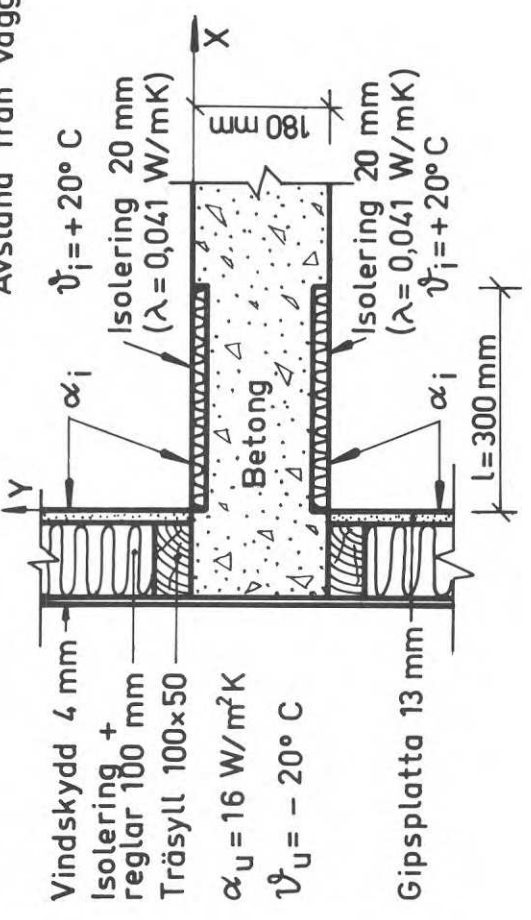
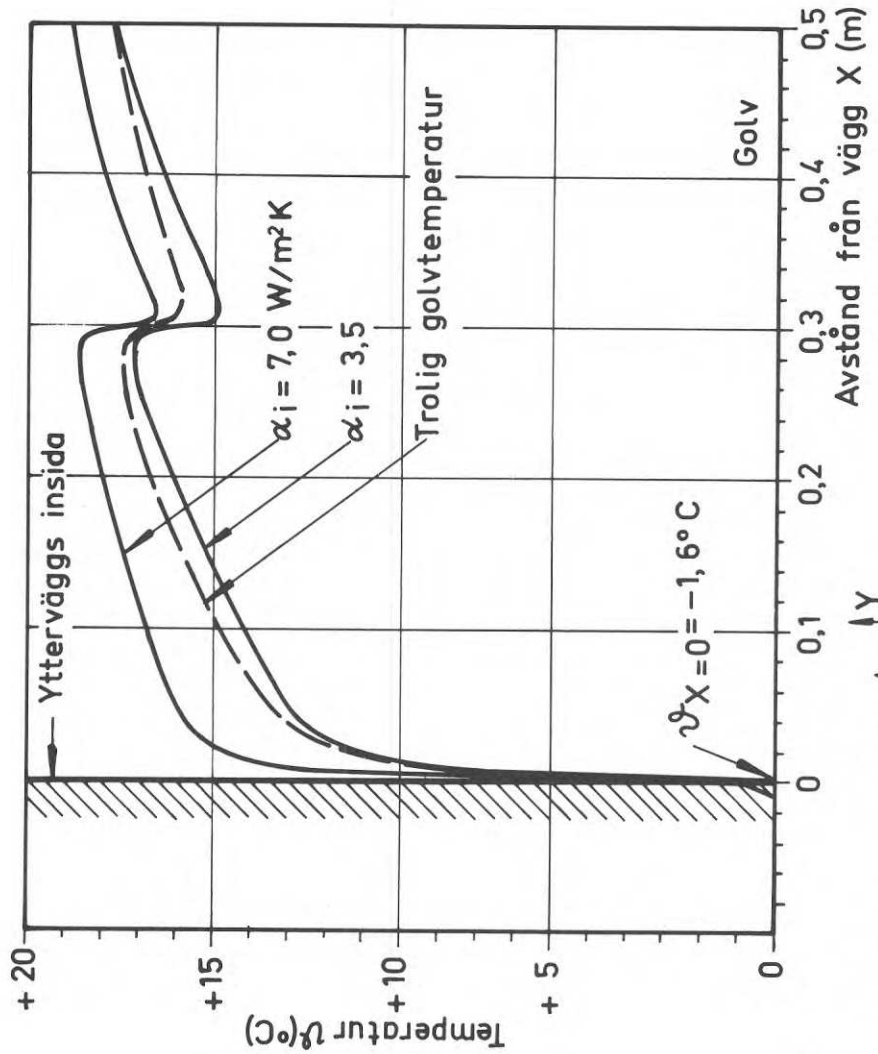
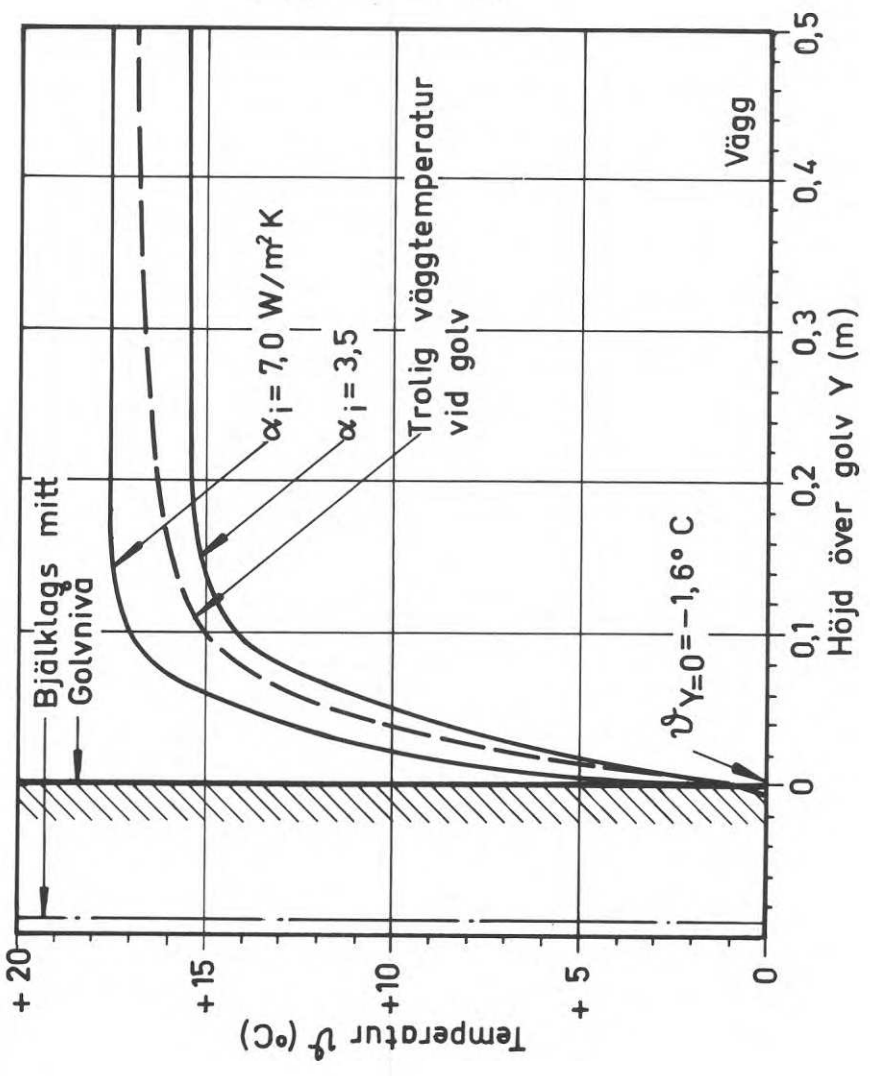


DIAGRAM 19

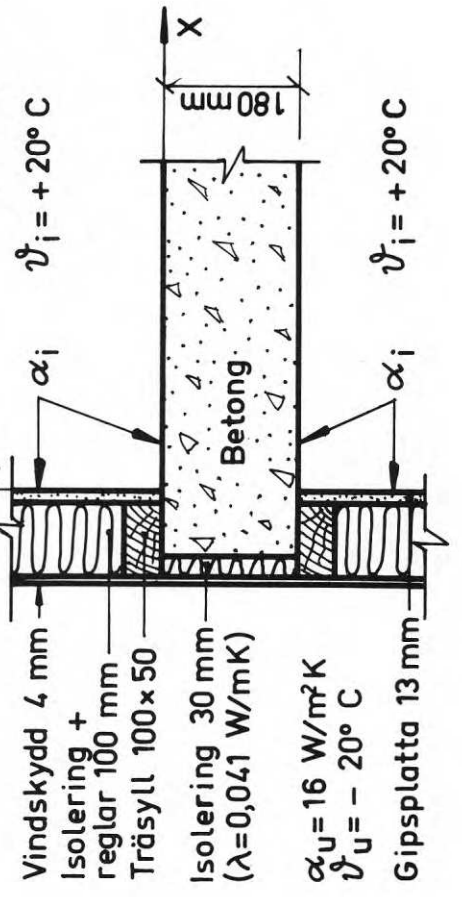
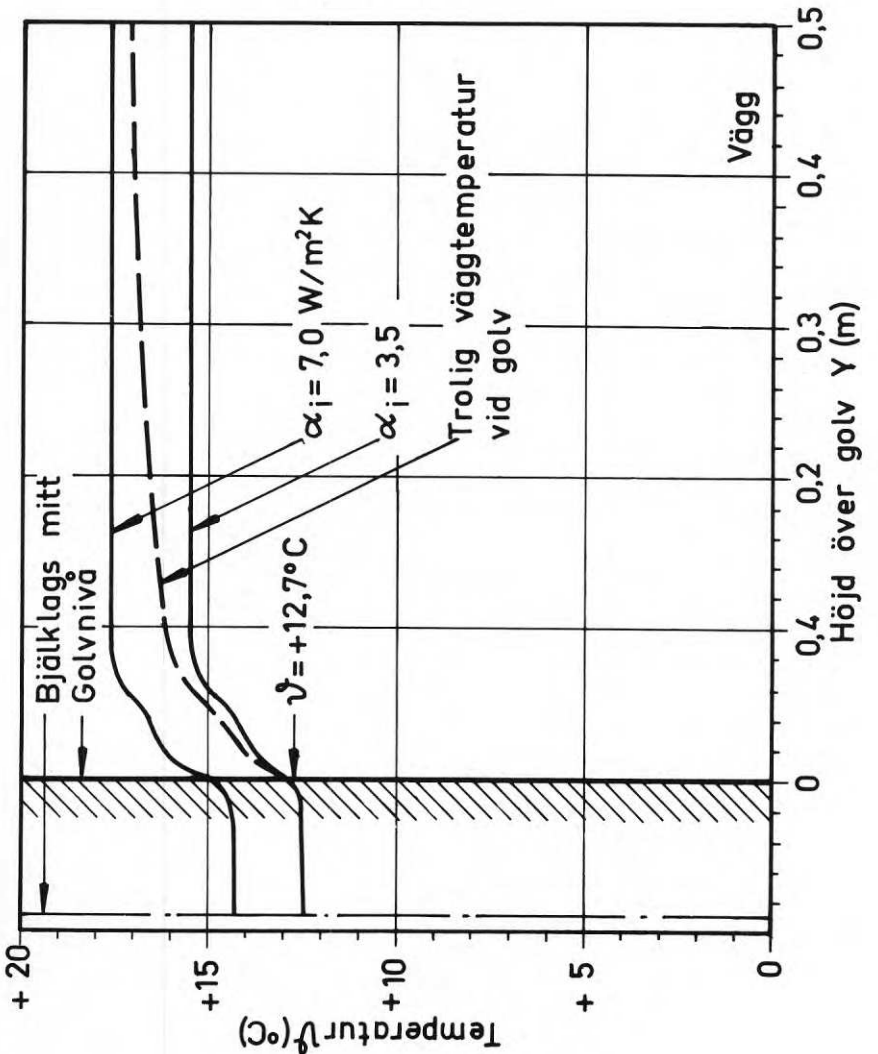
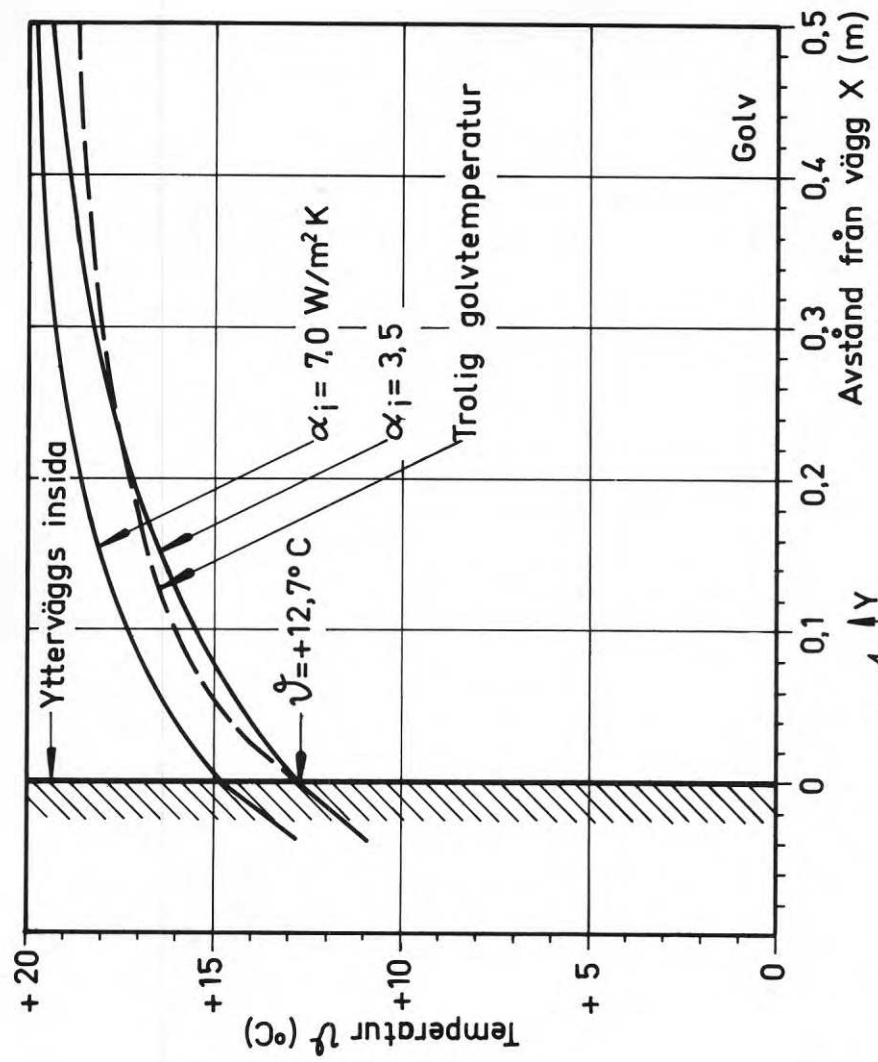


DIAGRAM 20

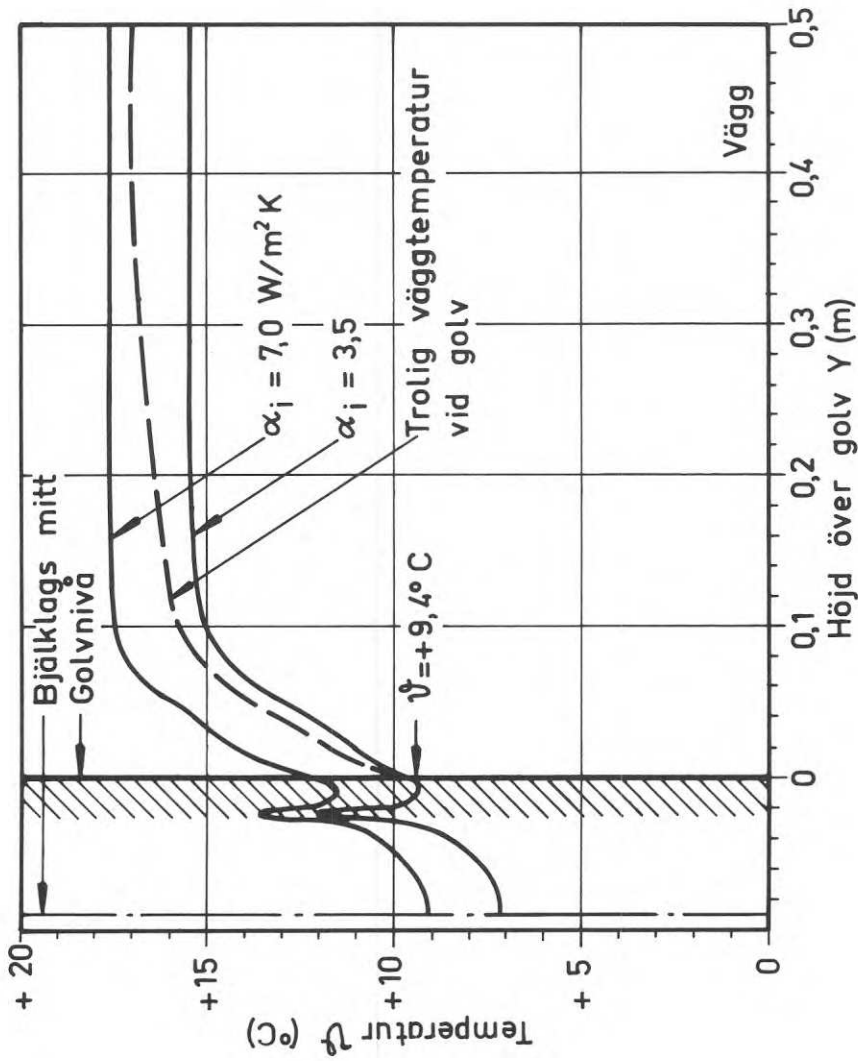
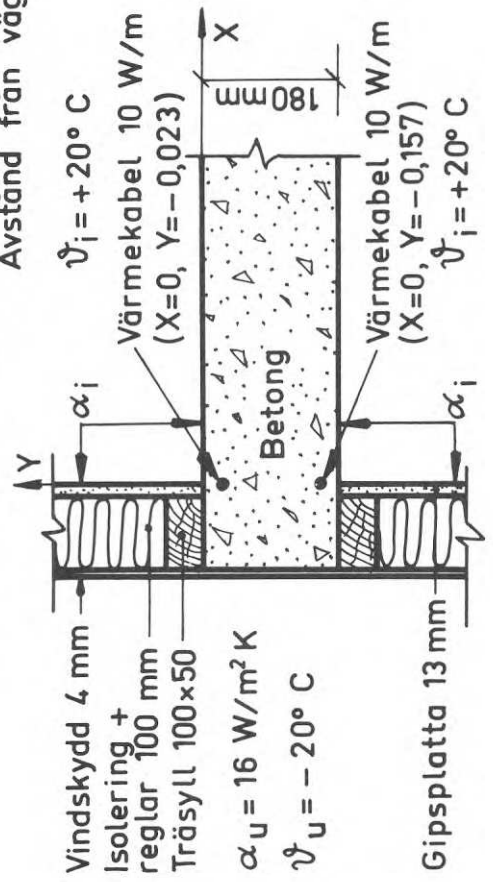
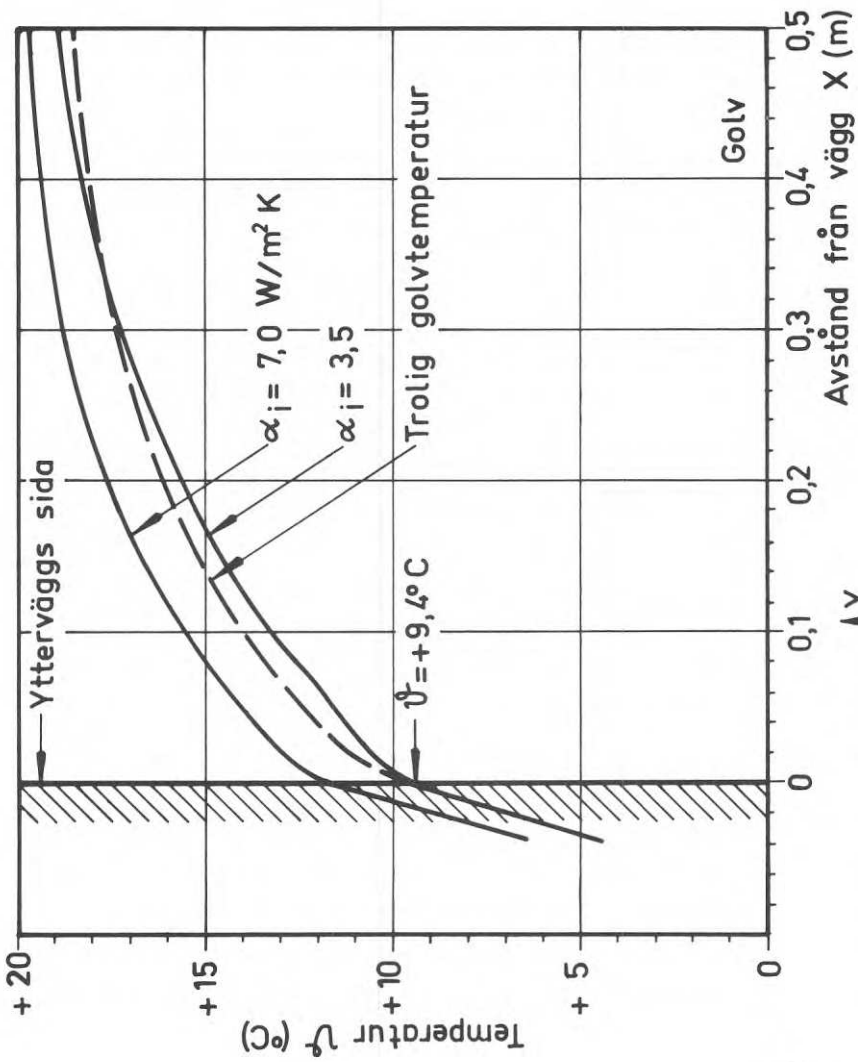


DIAGRAM 21

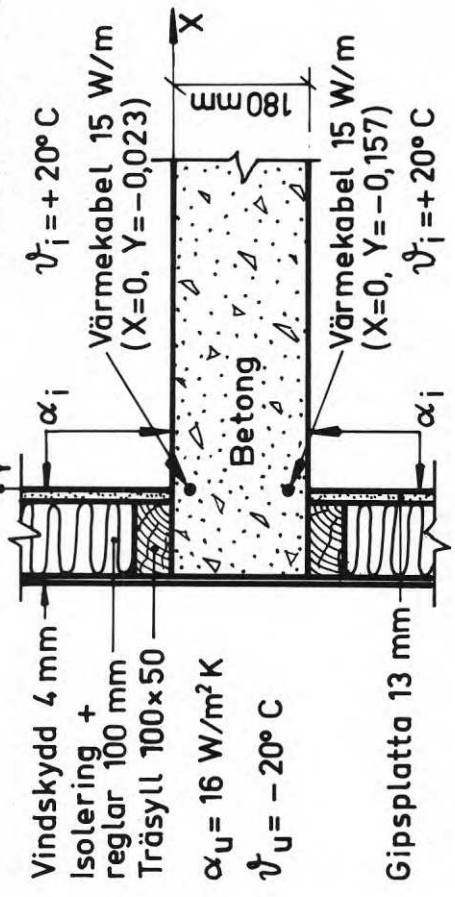
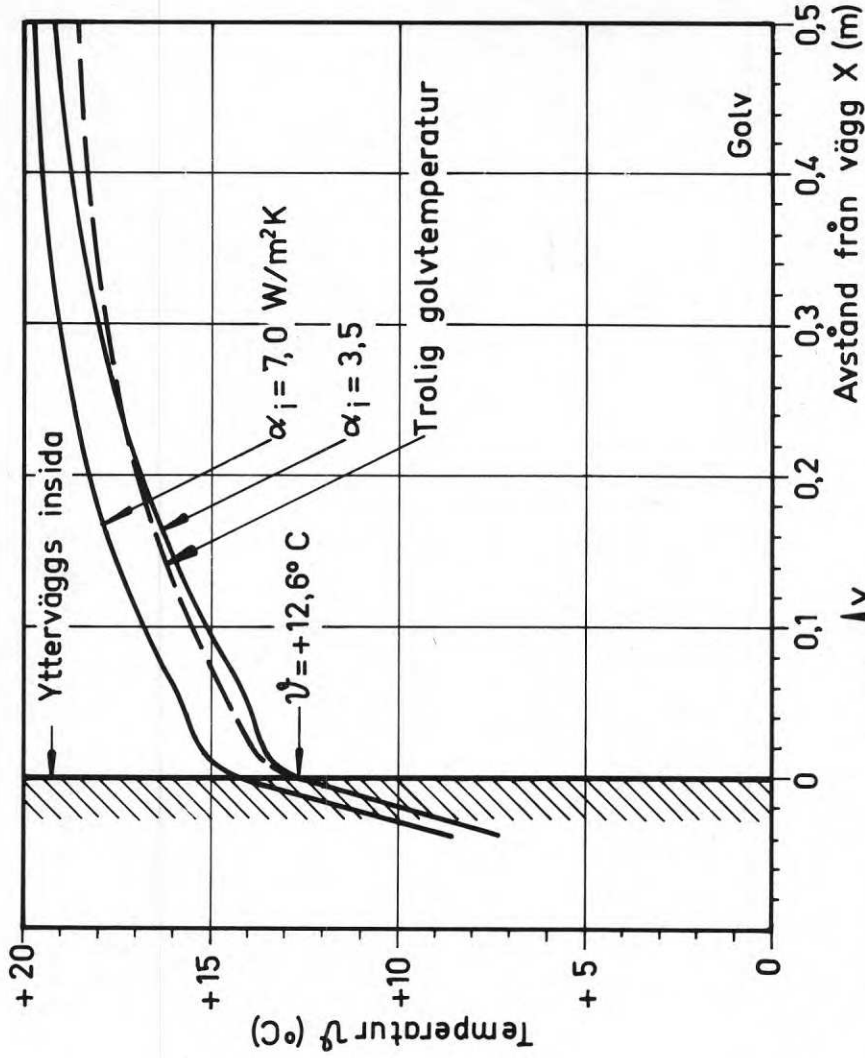
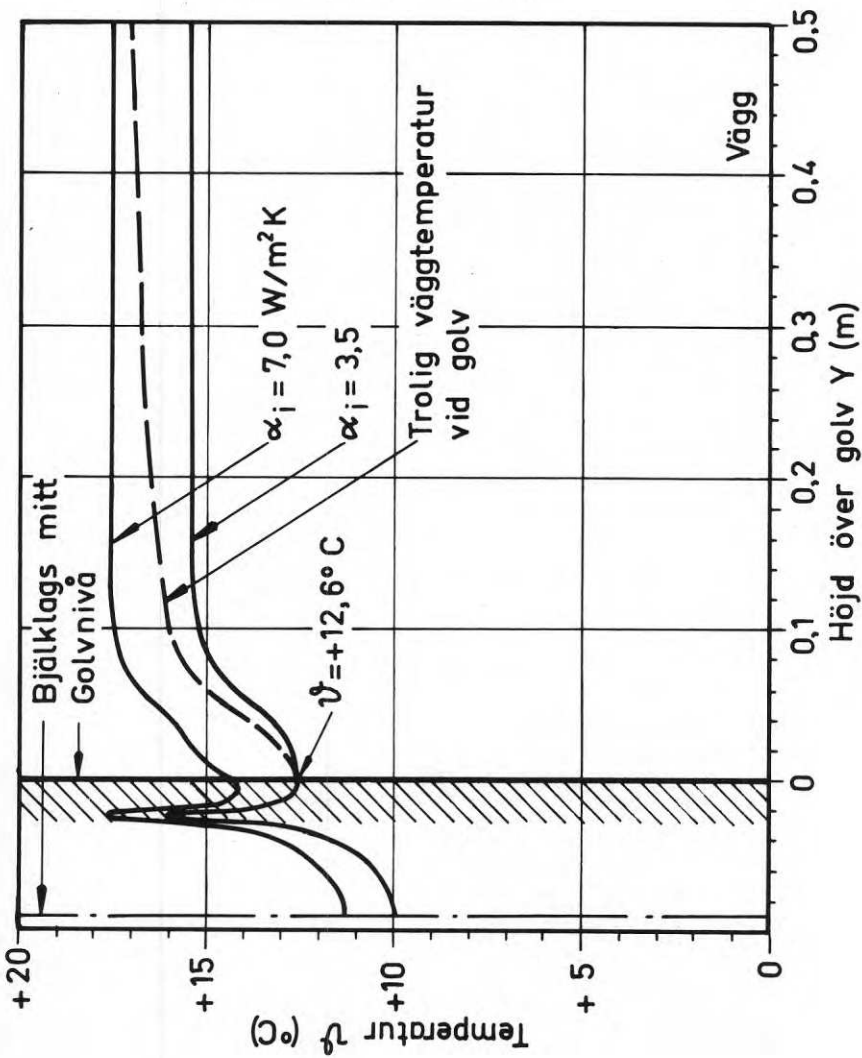


DIAGRAM 22

9 LITTERATUR

Brodén, S. 1969, Temperaturfördelning i ett tvådimensionellt område (Tekniska Högskolan i Lund, Institutionen för byggnadskonstruktionslära) Arbetsrapport 1969:1, Lund

Gebhart, B. 1961, Heat Transfer, Mc Graw Hill Book Company, 1961

Löfstedt, B. 1961, Vertikal temperaturgradient och väggtemperatur. Modellförsök i klimatkammare. VVS 1961, nr. 5, Stockholm.

Löfstedt, B. 1970, Personligt meddelande.

Min, T.C., Schutrum, L.F., Parmelee, G.V. och Vouris, J.D., 1956 Natural convection and radiation in a panel-heated room, ASHAE Transactions 1956, sid.337.

VVS Handboken, 1963

R26:1971

Denna rapport avser anslag nr C 351:4 från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: k (konstruktion)**

Pris: 14 kronor