



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R 12:1975

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Kryprumsgrundläggning

Arne Elmroth

Byggforskningen

Kryprumsgrundläggning.

Fuktbalans – Uttorkning – Ventilation
– Temperaturer – Konstruktioner

Arne Elmroth

När en byggnad utförs med slutet (ventilerat) utrymme under bottenbjälklaget säger man vanligen att byggnaden utförs med kryprumsgrundläggning. Benämningen kryprum antyder också att höjden mellan markytan och bottenbjälklaget är liten, men så stor att inspektion är möjlig.

Konventionell grundläggningskonstruktion för kryprum består av grundmurar av exempelvis betonghålsten eller gasbetong ofta på utbredda plattor av betong. Grundmurarna utgör vanligen upplag för ett monteringsbjälklag av betong, gasbetong eller trä.

Kryprumsgrundläggning har gamla traditioner och har visat sig fungera väl i många äldre hus. Detta torde förklaras bl.a. av att husen byggdes på torr mark, att kryprummen ventilerades väl och att materialet hade god beständighet mot fukt – kärnvirke användes ofta. I nyuppförda hus – i synnerhet där de ligger tätt – har däremot ofta fuktproblem uppkommit. Dessa består i att träkonstruktioner angripits av röt- och mögelsvampar. Armering i främst gasbetongbjälklag har skadats av korrosion. Kvarlämnat organiskt material i kryprum har givit växtnäring till illaluktande röt- och mögelsvampar.

Orsakerna till fuktproblemen kan vara flera. Småhus byggs numera ganska ofta på sankmark. Den täta byggnadsgrupperingen ger vindskyddade lägen vilket begränsar möjligheterna att åstadkomma tillfredsställande självdragsventilation i kryprummen.

En total analys av fukt- och temperaturförhållanden i kryprum har hittills saknats. I denna rapport har de viktigaste faktorerna studerats som påverkar fuktförhållandena i kryprum. En teoretisk beräkning av fuktbalansen i kryprum och en uttorkningstid för bjälklag redovisas.

Ventilationsgraden har stor betydelse för fukttransporten. Samband mellan ventilationsgrad, vindhastighet, ventilutformning m.m. – som hittills endast delvis är kända – diskuteras och exemplifieras i rapporten med experimentellt funna värden på luftomsättningar i kryprum.

Fuktbalans och uttorkning

Fuktbalansen i kryprum sammansätts huvudsakligen av uttorkning av byggfukt från bjälklag, avdunstning från markyta och grundmurar samt av fukttransport på grund av ventilation av kryprummet. Den har teoretiskt beräknats för orterna Lund, Stockholm och Haparanda.

Uttorkning har beräknats för bjälklag av gasbetong med olika tjocklek.

Fuktavgivningen från markyta och grundmurar har beräknats som avdunstning från en ekvivalent vattenyta. Därvid har antagits att viss del av marken i kryprummet täckts av en fri vattenyta medan resterande del antagits vara torr. Även i kryprum som bedöms vara "torra" har antagits – med ledning av erfarenheter från bl.a. inventeringar – att viss avdunstning kan ske från marken och grundmurarna. Denna har bedömts kunna bli så stor som om 2 % av markytan i kryprummet varit en fri vattenyta. I s.k. våta kryprum har avdunstningen antagits vara 5 ggr så stor.

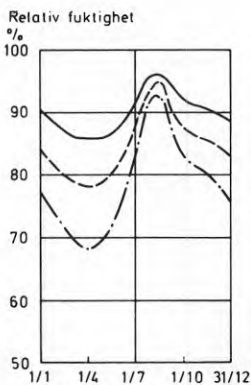


FIG. 1. Beräknad relativ fuktighet i kryprum beläget i Stockholm och med normalårstemperaturer utomhus.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41$ $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0$ $m^3/h, m^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

- heldragen – "våta"
- streckad – "fuktiga"
- streckprickad – "torra"

Bygghforskningen Sammanfattningar

R12:1975

Nyckelord:

kryprumsgrundläggning, fuktbalans, uttorkning, ventilation, temperatur, värmeisolering

Rapport R12:1975 hänför sig till forskningsanslag C 575:5 från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm.

UDK 624.151:728.31

69.025.2

699.82

SfB (16)

ISBN 91-540-2412-9

Sammanfattning av:

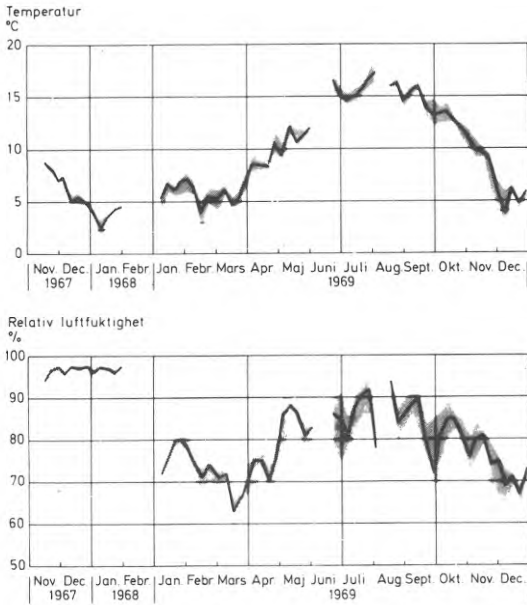
Elmroth, A., 1975, *Kryprumsgrundläggning. Fuktbalans – Uttorkning – Ventilation – Temperaturer – Konstruktioner*. (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R12:1975, 170 s., ill. 27 kr + moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

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

Grupp: konstruktion



Den mängd fukt som ventilationsluften kan bortföra eller tillföra beror bl.a. på temperaturen inne och ute, uteluftens relativa fuktighet samt på ventilationsgraden. Beräkningar har gjorts för tre olika ventilationsgrader av krypprummet. För resp. beräkningsfall har ventilationen antagits vara konstant under året. Utelufts temperaturen och relativa fuktighet har för resp. ort antagits till normalårets värden. Temperaturen i krypprummet har approximerats med hjälp av beräkningar utförda av Adamson et al. (1971).

Teoretiskt beräknad relativ fuktighet i krypprum överensstämmer väl med resultat från fältundersökningar. Acceptabla värden på luftfuktigheten uppnås inte om större yta än 2 % av marken utgörs av fri vattenyta. FIG. 1. Resultaten visar således betydelsen av att avdunstningen från marken förhindras.

Den klimatbetingade årsvariationen av relativa luftfuktigheten i "torra" krypprum är stor oavsett ventilationsgrad. Anmärkningsvärt är att även vid välventilerade krypprum kommer luftfuktigheten sommartid att vara mycket hög. Värden över 90 % kan regelmässigt beräknas uppkomma. FIG. 1. Resultatet verifieras av ett flertal fältundersökningar. Denna relativa fuktighet är så hög att röt- och mögelsvampar kan utvecklas i trämaterial. En uppskattning av tillväxthastigheten ger vid handen att trävirke som utsätts för denna fuktighet ett par månader varje sommar kan nedbrytas med ca 1 % av vikten per år. För att säkert undvika att rötsvampar

Utgivare: Statens råd för byggnadsforskning

skall kunna tillväxa eller att nya skall kunna etablera sig bör virke som vetter mot krypprum rötskyddas t.ex. genom tryckimpregnering.

Uttorkningstiden för ett gasbetongbjälklag över ett "torrt" krypprum påverkas främst av ventilationsgraden. Lägre ventilationsgrad än ca 1 m³/h och m² bjälklagsyta medför en oacceptabelt lång uttorkningstid för bjälklag av 20 cm gasbetong. För att få tillräckligt kort uttorkningstid, ca 2 år, bör ventilationen uppgå till närmare 2 m³/h och m² bjälklagsyta. Denna till synes goda marginal motiveras av att avdunstningen från marken, från grundmurar etc. bedöms vara störst när huset är nybyggt dvs. under uttorkningstiden.

Dränering och vattenavdunstning från marken

Småhus ligger numera ofta på sank mark. Inventeringar har visat att större eller mindre mängder fritt vatten i grunderna är vanligt. Orsakerna kan vara att hög grundvattennivå i kombination med för ytligt lagd dränering kan orsaka vattensamlingar, att ledningsgravar eller inspektionsstråk inte dräneras, att vid sprängd grund risk finns för instängda vattensamlingar, att vid lågt placerade ventiler i kombination med olämplig markplanering vatten kan rinna in i grunderna.

Vattenavdunstningen från marken i krypprummet kan bli lika stor som från en fri vattenyta. Den kan minskas på åtminstone två olika sätt. En plastfolie har visat sig ha god effekt. Undersök-

FIG. 2. Uppmått temperatur och relativ luftfuktighet i krypprum (Helsingborg) för tiden november 1967–februari 1968 samt under 1969. Registreringar före februari 1968 avsåg förhållanden före konstruktionsändringar varvid luftfuktigheten var mycket hög i krypprummet. Därefter har ventilationen förbättrats och ett principiellt nytt fukttskydd av marken tillämpats varvid denna isolerats med ett kapillärbrytande och samtidigt värmeisolerande skikt av lättklinker.

ningarna visar att god effekt också erhålls med en ny metod där marken i krypprummet fukttskyddas med ett kapillärbrytande och samtidigt värmeisolerande skikt t.ex. löst utfyllt lättklinker. FIG. 2.

Ventilation

Krypprum kan ventileras med självdrag antingen genom ventiler enbart i grundmurar eller genom ventiler i grundmurar och genom ventilationsskorsten. Om ventiler placeras enbart i grundmurarna beror ventilationen i huvudsak på vindhastigheten, ventilernas placering och utformning.

Ventilationens storlek kan dock normalt inte förhandsberäknas med godtagbar noggrannhet. Bestämningar av ventilationens storlek har därför gjorts i några krypprum eftersom sådana uppgifter hittills helt saknats. För projektering av ventilareor kan FIG. 3 användas. Denna visar approximativa samband mellan ventilareor och ventilation med hänsyn till byggnadens läge.

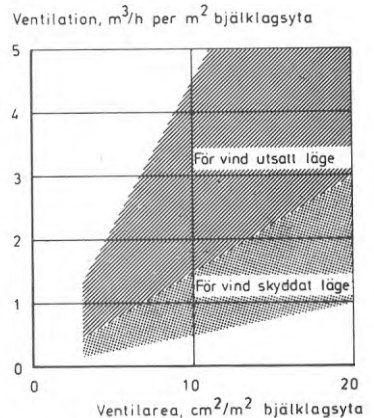


FIG. 3. Ventilation av krypprum vid olika ventilareor och med hänsyn till byggnadens läge. Med för vind utsatt läge avses friliggande hus i öppen terräng. Det finns inga anslutande byggnader eller planteringar som i väsentlig grad hindrar ventilationen. Till "för vind skyddat läge" räknas i första hand tätt liggande gruppbebyggelse. Ventilöppningarna förutsätts ha undersidan minst 100 mm över markytan och vara så planerade att jämn genomluftning erhålls.

Crawl-space Basements

Moisture Balance – Desiccation –
Ventilation – Temperature –
Building Design

Arne Elmroth

Buildings raised above ground level by low, enclosed, ventilated spaces can be said to have crawl-space basements. As the name implies, the distance between ground surface and the underside of the floor structure is little, from two to three feet, but sufficient to permit inspection of the floor structure above.

The conventional crawl-space basement has foundation walls of, for example, light-weight cellular concrete or concrete blocks often standing upon cast concrete base foundations. Floors are usually of prefabricated elements either of wood, heavy or aerated concrete members.

Crawl-space basements have a long tradition and their worth has been proven in many old buildings. This can be explained by the fact that these buildings stand on dry soils, their basements were well ventilated and that materials used, often heartwood, were dampresistant. Rotting and moulding of wooden structures have however occurred in newly built houses, especially in areas where houses stand very near to one another. The reinforcement in aerated concrete has been attacked by corrosion. Unremoved organic material in crawl-spaces has provided opportunities for the growth of foul-smelling mould colonies.

Moisture problems are caused by a number of factors. Today are small houses often built on damp land. Areas densely built with many houses effectively block the normal flow of breezes which limits the possibilities of satisfactory basement cross-ventilation.

A total analysis of moisture and temperature conditions in crawl-spaces has up till now been lacking. This report presents some of the most important factors which determine moisture conditions. The report includes a theoretical calculation of moisture balance and necessary drying-out times for various floor structures.

The degree of ventilation is of great importance for the transport of moisture. The relation between degree of ventilation, windspeed, vent design, etc. – up till now only partly known – is discussed and exemplified in the report with data obtained by experiment on air volume exchange in crawl-spaces.

Moisture Balance and Desiccation

Crawl-space moisture is derived chiefly from drying of building materials, evaporation from ground and wall surfaces, and through ventilation. Theoretical estimates have been made for Lund, Stockholm and Haparanda – cities respectively in the south, central and northern parts of Sweden, each representing a different climate.

Desiccation is calculated for floor structures of concrete.

Moisture emission from ground surfaces and foundation walls is calculated as evaporation from a water surface of an equivalent area. In so doing, it is assumed that a certain amount of moisture can be emitted even from crawl-spaces defined as "dry". This is estimated to be an amount equivalent to that produced if 2% of the crawl-space ground surface was covered by water. Evaporation from the "wet" areas is assumed to be five times as great.

The quantity of moisture that ventilation can introduce or remove depends, among other things upon inside and outside air temperature, relative humidity of outside air and upon the degree of ventilation. Calculations are made for three different degrees of ventilation for

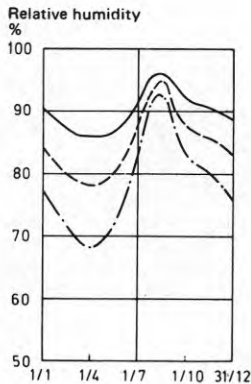


FIG. 1. Calculated relative humidity in crawl-space basement located in Stockholm based on normal outside air temperatures. Floor heat transfer coefficient: $k_b = 0.41 \text{ W/m}^2 \times ^\circ\text{C}$. Crawspace ventilation per m^2 floor area: $V = 1.0 \text{ m}^3/\text{h} \times \text{m}^2$. The graph illustrates three different moisture conditions in crawl-spaces:
solid line "damp"
dashed line "wet"
dash point line "dry"

National Swedish Building Research Summaries

R12:1975

Key words:

crawl-space basements, moisture balance, desiccation, ventilation, temperature, heat insulation

Report R12:1975 refers to research grant C 575:5 from the Swedish Council for Building Research to the Division of Building Technology at the Royal Institute of Technology in Stockholm.

UDC 624.151:728.31
69.025.2
SfB 699.82
(16)
ISBN 91-540-2412-9

Summary of:

Elmroth, A. 1975. *Kryprumsgrundläggning. Fuktbalans—Uttorkning—Ventilation—Temperaturer—Konstruktioner*. Crawl-space Basements. Moisture Balance—Desiccation—Ventilation—Temperature—Building Design. (Statens råd för byggforskning) Stockholm. Report R12:1975, 170 p., ill., 27 Sw. Cr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

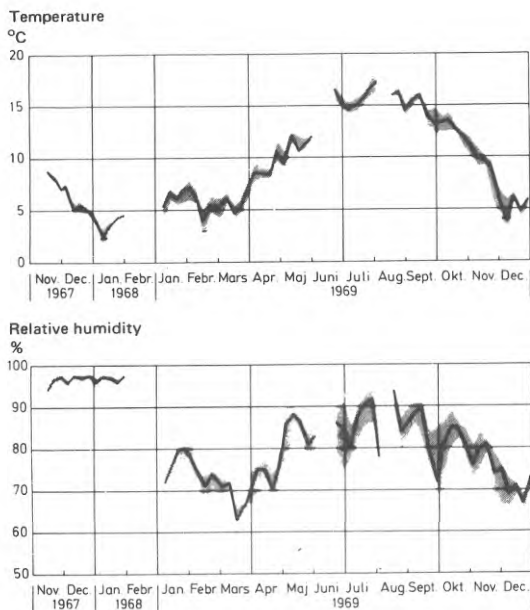


FIG. 2. Temperatures and relative humidity measured in crawl-space basements in the city of Helsingborg from November, 1967 to February 1968 and during 1969. Measurements earlier than February 1968 refer to conditions prior to structural alterations when the relative humidities were very high. Ventilation has thereafter been improved and a new principle of moisture proofing was applied using an insulating layer of unfixed light-weight clinker which also destroys capillary action.

crawl-space basements. Ventilation is assumed to be constant throughout the year for each particular example. Outside air temperature and relative humidity are those of a normal year in each respective locality. Temperatures in crawl-spaces are approximated with the help of estimates made by Adamson et al. (1971).

Theoretical values for relative humidity agree with field measurements. Acceptable humidity will not be maintained if more than 2% of the ground surface is open water. FIG. 1. Results therefore reveal the importance of preventing ground evaporation.

The yearly variation of relative humidity due to the local climate in "dry" crawl-spaces is large regardless of the degree of ventilation. It is interesting to note that relative humidity will be very high in the summer even if the space is well ventilated. Humidities of above 90% can be expected to arise regularly. FIG. 1. Results are verified by several field studies. This humidity is so high that rot and moulds can develop in wooden materials. An estimation of growth rates reveals that wooden structural members subject to high humidity for a few months each summer can lose around 1% of their weight per year. In order to safely avoid increase or new establishment of rot and moulds all wood exposed to crawl-spaces should be treated to increase rot resistance, for example by pressure impregnation.

Drying time for an aerated concrete floor deck above a "dry" crawl-space is mainly affected by the degree of ventilation. Degrees of ventilation lower than around 1 m³/h and m² floor area will result in an unacceptably long drying-time for floor decks of 20 cm thick aerated concrete. Ventilation should

approach 2 m³/h and m² floor area in order to obtain a sufficiently short drying time — around two years. This apparently generous margin can be motivated by the fact that evaporation from ground and wall surfaces is believed to be greatest when the structure is still newly-built, that is during the drying-out period.

Drainage and Ground Evaporation

Surveys have shown that varying quantities of open water are common in foundations. The reason could be a combination of high ground-water levels and insufficiently deep drainage pipes, undrained service ditches or water accumulation due to blockage of natural drainage. Vents which are too low, together with inappropriate grading can result in entrance of water.

Ground surface evaporation in crawl-spaces can be as much as from open water surfaces. This can be reduced by at least two different methods. Plastic sheeting has proven to be very effective. Experiments have shown that good results are also obtained by a new method using a layer of, for instance, unfixed light-weight clinker which both interrupts capillary action and provides heat insulation. FIG. 2.

Ventilation

Crawl-spaces can be self-ventilated either by vents in foundation walls only or a combination of foundation wall vents and chimney vents. Using only wall vents, ventilation is mainly dependent upon wind velocity and the location and design of vents.

Ventilation volumes can normally not be determined in advance with adequate precision. Empirical measurements have

had to be made due to lack of information. For calculation vent areas in FIG. 3. This illustrates the approximate correlation between vent area and ventilation obtained with different wind exposures.

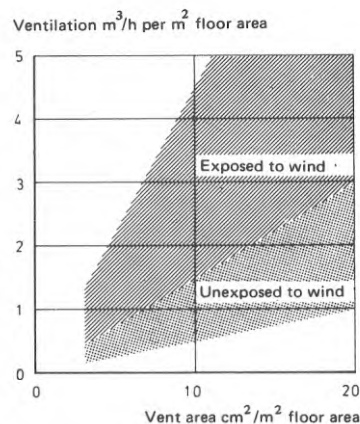


FIG. 3. Ventilation of crawl-space basements with different vent sizes and wind exposures. Exposed to wind refers to free-standing houses in open terrain. No other buildings or vegetation hinder wind flow to any noticeable extent.

Wind protected refers primarily to densely built group houses — especially atrium houses.

To obtain stated ventilation volumes vent openings are presumed to be horizontal and rectangular with a distance of at least 10 cm from underside of opening to ground level. Openings are presumed to be placed near outside corners and otherwise so located as to ensure an even flow of ventilating air.

Rapport R12:1975

KRYPRUMSGRUNDLÄGGNING

FUKTBALANS UTTORKNING VENTILATION
TEMPERATURER KONSTRUKTIONER

av Arne Elmroth

Denna rapport hänför sig till anslag C 575:5 från Statens råd för byggnadsforskning, till institutionen för byggnadsteknik, Kungl. tekniska högskolan, Stockholm

Redigering och layout:
Birgitta Andersson, institutionen för byggnadsteknik, KTH

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2412-9

Denna rapport utgör meddelande nr 105 från institutionen
för byggnadsteknik, Kungl. tekniska högskolan, Stockholm

FÖRORD

Detta arbete har till stor del finansierats genom anslag från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadsteknik, Kungl. tekniska högskolan. Denna rapport utgör delrapport vad avser ett långsiktigt forskningsprojekt om grundläggningsteknik främst för småhus. Det är min förhoppning att redovisade metoder, resultat och rekommendationer skall ha direkt praktisk tillämpning vid projektering och byggande av kryprum.

Flera företag och enskilda personer har bidragit med försöksobjekt och medverkat vid genomförandet av fältundersökningar. Professor Bo Adamson och civilingenjör Bengt Eftring har låtit mig få tillgång till databeräknade temperaturer i kryprum. Civilingenjör Valdis Girdo har svarat för programmering och databeräkningar. Docent Arne Hyppel har bidragit med värdefulla mykologiska uppgifter. Till ovan nämnda och till alla övriga medarbetare vid institutionen för byggnadsteknik, KTH, vill jag framföra ett stort tack.

Särskilt stor är min tacksamhet mot professor Ingemar Höglund som givit mig uppslaget till denna avhandling och ett ovärderligt aktivt stöd vid dess genomförande och utarbetande.

Stockholm i januari 1975

Arne Elmroth

INNEHÅLL

BETECKNINGAR	8
INLEDNING	11
Undersökningens uppläggning och metodik	15
UTFÖRANDE - INVENTERINGAR AV UPPFÖRDA KRYPRUM	17
Skador	17
Grundförhållanden	18
Ventilareor	19
Placering av ventiler	20
KONSEKVENSER AV FUKT I KRYPRUM	23
ANALYS AV FUKTBALANSEN I KRYPRUM	25
Tillskott av fukt	25
Ångdiffusion genom kryprumsbjälklaget	25
Fukt från bjälklag och grundmurar	26
Vattenavdunstning från markytan	26
Borttransport av fukt	27
Ventilationens storlek	27
Beräkning av fuktbalansen i kryprum	30
Målsättning och beräkningsförutsättningar	30
Fuktflöde från bjälklaget	31
Fuktflöde från marken	38
Fuktflöde genom ventilation	40
Temperatur och relativ fuktighet	41
Beräkningsmetodik	43
Beräkningsalternativ	45
Resultat av beräkningar av fuktbalansen i kryprum	54
Relativ luftfuktighet	54
Uttorkning av gasbetongbjälklag	77
Risk för röttskador på trävirke i kryprum	85
Klimatbetingelser för röttsvampar	85
Röttsvampars möjligheter att tillväxa i kryprum	88
Temperaturförutsättningar	88
Fuktighetsförutsättningar	89
Analys av samtidig inverkan av temperatur och luftfuktighet i kryprum	91

Avdunstning från markytan i kryprum	93
Markplanering och dränering	93
Metoder att begränsa avdunstningen från markytan i kryprum	95
Fuktspärr på markytan	96
Kapillärbrytande och värmeisolerande material på markytan	99
Jämförelse mellan beräknade och uppmätta temperaturer	101
Ventilation av kryprum	107
Värmeisolering av kryprumsbjälklag	112
Krav på golvtemperaturer	112
Bestämda värmemotstånd och värmeövergångskoefficienter	113
Dimensionering av värmeisolering i bjälklag	114
FÄLTUNDERSÖKNINGAR - Temperatur och relativ fuktighet i kryprum	121
S-huset, Barkarby	121
Konstruktion	121
Temperatur och luftfuktighet	122
Uttorkning	126
Y-huset, Barkarby	127
Konstruktion	127
Temperatur och luftfuktighet	128
Uttorkning	131
Grupphus, Helsingborg	133
Konstruktion	133
Temperatur och relativ luftfuktighet	136
Grupphus, Ekerö	148
Konstruktion	148
Uttorkning	150
Sammanfattning av resultat från fältundersökningar	152
Temperaturer	152
Relativ fuktighet	152
Uttorkning	153
Jämförelse med teoretiska beräkningar	153
Appendix A:	
INNELUFTVENTILERADE KRYPRUM	155
Konstruktionsprincip	155

Försöksobjekt	156
Undersökningar	157
Temperatur och relativ luftfuktighet	158

Appendix B:

CHECKLISTA VID PROJEKTERING, BYGGANDE OCH UNDERHÅLL	165
Vid projekteringen	165
Vid byggandet	166
Under uttorkningstiden	166
LITTERATUR	169

BETECKNINGAR

A	= yta, m^2
c	= ånghalt, kg/m^3
c_l	= luftens specifika värmekapacitet, $Wh/kg^{\circ}C$
D	= smältvärme, Wh/m^3
d	= plattjocklek, m
F_o	= fouriertal
h	= höjd, m
k	= värmegenomgångstal, $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
k_p	= fuktledningstal, m^2/h
m	= värmemotstånd, $m^2 \cdot ^{\circ}C/W$
n	= antal
p	= lufttryck, N/m^2 (proportionalitetsfaktor)
Q	= luftflöde, $m^3/m^2 \cdot h$
T	= absolut temperatur, K
t	= tid, h eller s
u	= fuktkvot, %
V	= ventilation, $m^3/m^2 \cdot h$
v	= vindhastighet, m/s
α	= värmeöverföringstal, $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
β	= fuktövergångstal, m/h
γ	= volymvikt, kg/m^3
θ	= temperatur, $^{\circ}C$
λ	= värmeledningstal, $W/m^{\circ}C$
ρ	= täthet, kg/m^3
ϕ	= fuktflöde, $kg/m^2 \cdot h$, eller värmefflöde, W/m^2
ϕ	= relativ luftfuktighet, %
ψ	= andel markyta i kryprum täckt av fri vattenyta, %

BETECKNINGAR

Index

bj	= bjälklag
e	= jämvikt
i	= inomhus
k	= kritisk
l	= luft
m	= medel
ma	= mark
o	= begynnelse
s	= mättnad
t	= tid
tot	= total
u	= utomhus
uk	= underkant
v	= ventilation eller vind
y	= yta
ök	= överkant

INLEDNING

När en byggnad utförs med slutet (ventilerat) utrymme under bottenbjälklaget säger man vanligen att byggnaden utförs med kryprumsgrundläggning. Benämningen kryprum antyder också att höjden mellan markytan och bottenbjälklaget är liten, men så stor att det är möjligt att krypa i utrymmet för att inspektera eller underhålla t.ex. ledningssystem.

Konventionell grundläggningskonstruktion för kryprum består av grundmurar av exempelvis betonghålsten eller gasbetong ofta på utbredda plattor av betong. FIG. 1. Grund-

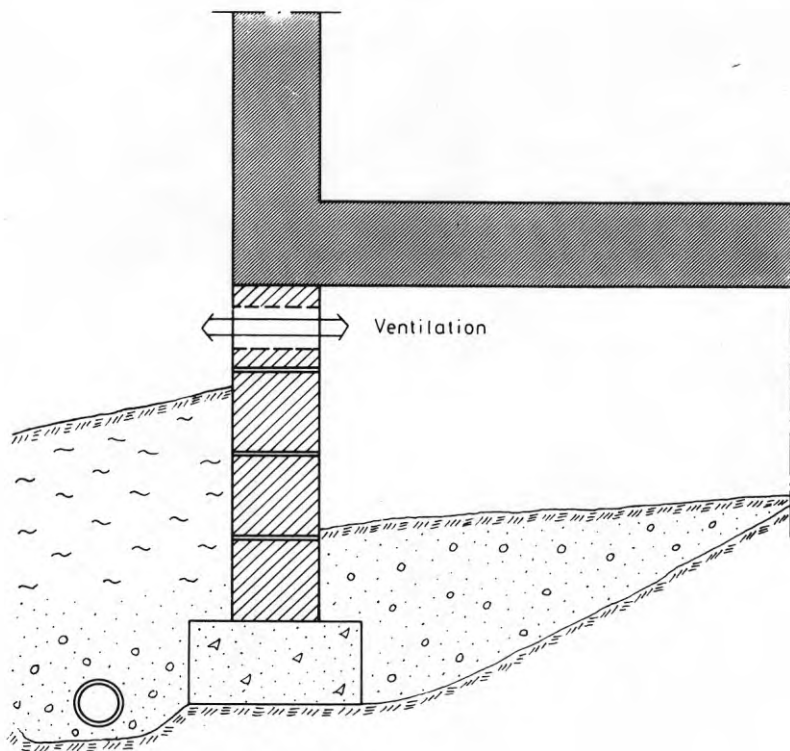


FIG. 1.
Princip för traditionell kryprumsgrundläggning med murade grundmurar på utbredda plattor av betong. Ventilation av kryprummet sker genom öppningar (kattglugor) i grundmurarna.

murarna utgör vanligen upplag för ett monteringsbjälklag av betong, gasbetong eller trä. Denna grundläggningstyp används främst vid mindre husserier eller enstaka hus. Vid stora husserier är en hög grad av förtillverkning möjlig. Därvid kan de murade grundmurarna ersättas med förtillverkade betongbalkar upplagda på pålar eller plintar, FIG. 2. Konstruktionen med kryprum är speciellt lämplig när huset uppförs av volymelement.

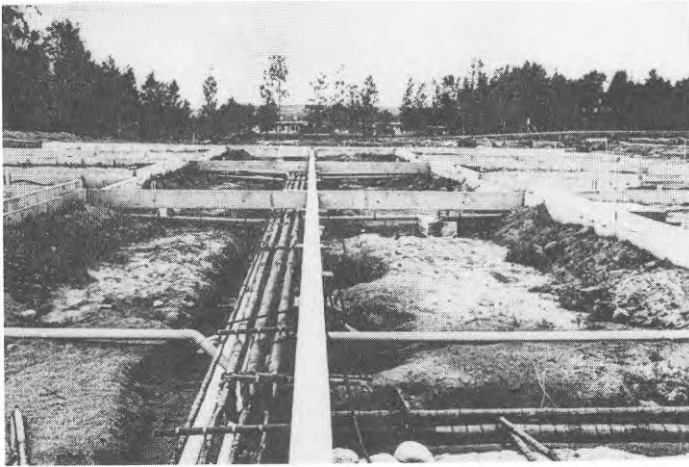


FIG. 2.

Större grupphusbebyggelse med kryprumsgrundläggning där grundmurarna utförts av förtillverkade betongbalkar. Bjälklaget utförs av gasbetongelement. Ledningar för vatten och avlopp samt för värme har placerats i kryprummet och dras före montering av grundmurar och bjälklag.

Grundläggning med kryprum innebär ofta, speciellt vid småhusbyggande, ett fördelaktigt alternativ till grundläggning med källare eller med platta direkt på mark. Detta gäller i synnerhet vid lätt kuperad terräng där marknivån under ett hus kan variera något. En grundkonstruktion med kryprum är också ofta lämplig av produktionstekniska skäl och kan lätt anpassas till rationellt montagebyggande. Denna grundläggningsmetod används därför ofta vid gruppbebyggelse av småhus, i första hand rad- och kedjehus, men den lämpar sig väl även för ett mera hantverksmässigt byggande av enstaka hus. Den tomtmark som är disponibel för

småhus är numera ganska ofta sankt belägen varför fuktfrågorna vid dessa grunder måste uppmärksammas noga.

Vid förtätad småhusbebyggelse är, som nämnts, grundläggning med kryprum många gånger lämplig av bl.a. produktions-tekniska skäl. Ofta planeras emellertid husen numera handikappvänliga så att nivåskillnaden mellan bostadsplanet och markytan blir så liten som möjligt. Härigenom begränsas möjligheterna att åstadkomma tillfredsställande självdragsventilation av kryprummen. Problemet försvåras av att den täta byggnadsgrupperingen ger vindskyddade lägen, FIG. 3.



FIG. 3.

Exempel på en modern stadsplan med förtätad småhusbebyggelse med kringbyggda gårdar som ger för vind mycket skyddade lägen. Tillfredsställande ventilation av kryprum kan ofta inte uppnås med självdragsventilation utan mekanisk ventilation måste tillgripas.

Ventilationen har därigenom inte blivit tillräcklig i flera grupphusområden. Det har lett till rötskador på träkonstruktioner och korrosionsskador på armering, främst vid gasbetongbjälklag. Kvarlämnat organiskt material i kryprummen har angripits av röt- och mögelsvampar vilka luktar illa. Lukten har visat sig svår att avlägsna.

I avhandlingen analyseras några av de viktigaste faktorerna som har betydelse för att kryprumsgrundläggningen skall fungera väl. Stort utrymme ägnas därvid åt fukt- och temperaturförhållandena i kryprummen. Fuktförhållandena spelar en avgörande roll för tillväxten av röt- och mögelsvampar i träkonstruktioner.

Vid bjälklag av gasbetong måste byggfukten kunna torka ut om korrosionsskador på armeringen skall undvikas. Luftfuktigheten i kryprum med gasbetongbjälklag får därför inte vara så hög att jämviktsfuktkvoten i gasbetongen blir för hög med hänsyn till risken för korrosion.

Luftfuktigheten i kryprum påverkas främst av byggfukt, avdunstning från markytan, temperatur och ventilation. Dessa faktors inverkan studeras och beräknas teoretiskt. Olika metoder att begränsa avdunstningen från markytan analyseras. Uttorkningstider för bjälklag av gasbetong med hänsyn till bl.a. ventilationsgrad och avdunstning från markytan i kryprum behandlas utförligt. Förutsättningarna för att mögel- och rötsvampar skall kunna tillväxa på trävirke studeras och exemplifieras. Det är känt att ventilationen har stor betydelse för klimatet i kryprum. Samband mellan ventilationsgrad, vindhastighet, ventilutformning och ventilareor m.m., som hittills endast delvis varit kända, diskuteras och exemplifieras med experimentellt funna värden på luftomsättningar i kryprum. Värden på luftomsättningar i kryprum är också nödvändiga vid beräkning av lufttemperaturen i kryprum. Denna inverkar förutom på golvtemperaturen även på erforderligt grundläggningsdjup med hänsyn till tjälnedträngning. Dessa senare problem har tidigare teoretiskt behandlats av Adamson et al. (1971) för olika kryprumsutföranden varför de inte ytterligare studeras. Ett särskilt avsnitt ägnas emellertid åt kryprumsbjälklagets värmeisoleringsförmåga och värmeövergångsmotstånd vid golv över kryprum.

UNDERSÖKNINGENS UPPLÄGGNING OCH METODIK

Delvis mycket djupgående och omfattande undersökningar av en del frågor som har samband med fukt- och temperaturfrågor i kryprum har tidigare utförts av olika forskare. Gemensamt för flertalet av dessa undersökningar är emellertid att huvudsakligen delproblem behandlats t.ex. uttorkning av material eller avdunstning från en vattenyta. Försättningsarna har ofta renodlats så att t.ex. konstanta temperatur- och fuktförhållanden rått. De värden man behöver i praktiken hänger så nära samman med hela byggnadsdelens funktion att man inte isolerat kan bestämma de olika detaljfunktionerna. I denna undersökning behandlas samtidig inverkan av de viktigaste faktorerna för att kryprumsgrundläggning skall fungera väl.

Undersökningen inleds med en presentation av resultat från inventeringar av kryprums utförande. Dessa visar vilka skador som är frekventa och ger underlag för bedömning av de faktorer som har betydelse för ett gott slutresultat vid kryprumsgrundläggning. Ett studium av de konsekvenser hög luftfuktighet medför i kryprum understryker fuktfrågornas vikt. I ett särskilt kapitel analyseras fuktbalansen i kryprum. Denna analys utgör underlag för en teoretisk beräkningsmodell med vilken fuktbalansen i kryprum kan beräknas. Beräkningar har genomförts med olika randvillkor för kryprum belägna i södra, mellersta och norra Sverige (orterna Lund, Stockholm resp. Haparanda). Beräkningsresultaten kontrolleras med fältundersökningar i ett flertal objekt som legat i södra och mellersta Sverige.

Med utgångspunkt från beräkningsresultaten analyseras risken för rötskador på trävirke i kryprum. Avdunstning från marken i kryprum påverkar luftfukten i dessa i hög grad. Åtgärder för att begränsa denna analyseras och exemplifieras.

Både lufttemperatur och luftfuktighet i kryprum påverkas av kryprummets ventilation. De faktorer som påverkar ventilationen behandlas och resultat från experimentella bestämmningar på luftomsättningar redovisas.

Undersökningen har också kompletterats med studium av golvtemperaturer på bjälklag över kryprum.

I ett avslutande kapitel har en samlad redovisning av resultat från fältundersökningar gjorts. I detta finns också flera konstruktionsexempel.

I appendix A behandlas en speciell konstruktion av kryprum - det s.k. inneluftventilerade kryprummet.

I appendix B slutligen har praktiska anvisningar för kryprumsgrundläggning sammanställts i form av en s.k. checklista.

UTFÖRANDE - INVENTERINGAR AV UPPFÖRDA KRYPRUM

Erfarenheten om hur kryprum utförs grundar sig dels på en inventering av ca 100-talet godtyckligt utvalda objekt i stockholmstrakten utförd vid institutionen för byggnadsteknik, KTH, dels på egna erfarenheter från besiktningar av grunder med speciella fuktproblem - röta eller korrosionsskador. En inventering av kryprumsutföranden har också utförts av Dreier (1973) i Norge. Hans undersökning omfattade 86 slumpvis utvalda objekt. Samtliga hade bjälklag av träkonstruktion.

Vid de nämnda undersökningarna har bl.a. följande faktorer studerats: marknivåer, jordart, planering av omgivande mark, dränering, förekomst av kapillärbrytande lager eller fuktspärr av plastfolie, ventilutformning, ventilarea och ventilplacering.

Ett antal hus med "elak lukt" har studerats och beskrivits av Carlsson (1974).

SKADOR

Vid institutionens inventering bedömdes skadornas art och omfattning subjektivt. 49 % av kryprummen klassificerades därvid som torra och utan fuktskador. I 30 % av kryprummen var markytan fuktig men fritt vatten förekom inte. Rörledningar i kryprummen var lätt angripna av korrosion. Inga skador på bjälklagen eller kryprummen i övrigt kunde iakttas. 21 % av antalet kryprum klassificerades som våta. Det förekom i dem fritt vatten eller kraftig kondens, begynnande korrosionsangrepp på rörledningar samt indikationer på mögel och/eller röta på träkonstruktioner.

Den norska undersökningen gav följande resultat. I 36 objekt, dvs. 45 % upptäcktes mögel- och/eller rötskador på träbjälklagen. I 5 objekt bedömdes skadorna vara så stora att konstruktionen löpte risk att störta in. Medelstora skador förekom i 9 objekt. I dessa fall ansågs åtgärder snarast erforderliga för att stoppa ytterligare tillväxt av röttsvampar. Små skador upptäcktes i 22 objekt. I dessa

förekom begynnande rötskador och tydliga tecken på för hög fuktighet. Dreier betecknar det som anmärkningsvärt att husägare eller -förvaltare i de allra flesta fall inte alls kände till att husen hade skador.

Som komplement till dessa systematiska inventeringar har jag fått kännedom om ett avsevärt antal skadefall. Åtskilliga av dessa objekt har mögel- och rötskador på träbjälklag eller korrosionsskador på armering i gasbetongbjälklag. Skadorna drabbar ofta seriebyggda grupphus varvid antalet skadade hus blir stort. Skador på betongbjälklag tycks vara sällsynta. Exempel på skador och åtgärder som vidtagits för att begränsa skadorna ges i kapitlet om fältundersökningar.

GRUNDFÖRHÅLLANDEN

Nära hälften av de objekt som omfattas av institutionens inventering har någon typ av lermark som undergrund, se FIG. 4. I ca 10 % av objekten utgörs undergrunden av fyllning på sankmark. Båda dessa typer av undergrund kan innehålla stora mängder vatten som, om inga byggnadstekniska åtgärder vidtas, kan avdunsta till kryprummet. Luftfuktig-

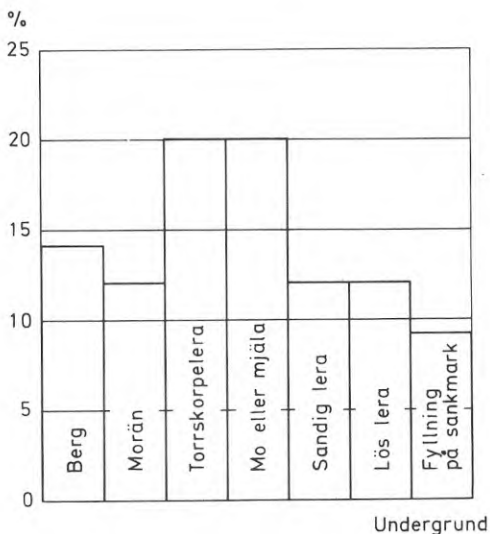


FIG. 4.

Undergrundens beskaffenhet vid ett 100-tal kryprumsgrunder i stockholms-trakten. Figuren visar att hus med kryprum ofta ligger på mark som kan medföra svåra fuktproblem.

heten kan då bli hög i detsamma och risken för fuktskador avsevärd. Även för objekt som står på berg har fuktproblem förekommit till följd av vattensamlingar inne i kryprummet.

Undergrunden till flera objekt bedömdes ha ringa bärighet. Trots detta observerades inga skador som kunde tillskrivas ojämn sättning eller tjällyftning.

VENTILAREOR

I FIG. 5 redovisas effektiv ventilarea i kryprum enligt inventeringen i stockholmstrakten. Med effektiv ventilarea menas för ventilation tillgänglig yta i cm^2 per m^2 bjälklagsyta. Den effektiva ventilarean var vanligen avsevärt mindre än den ventilarea som angavs på ritningar och i övriga tillgängliga handlingar. Ventilgaller eller nät, många gånger igensatta av t.ex. insekter, hade ofta redu-

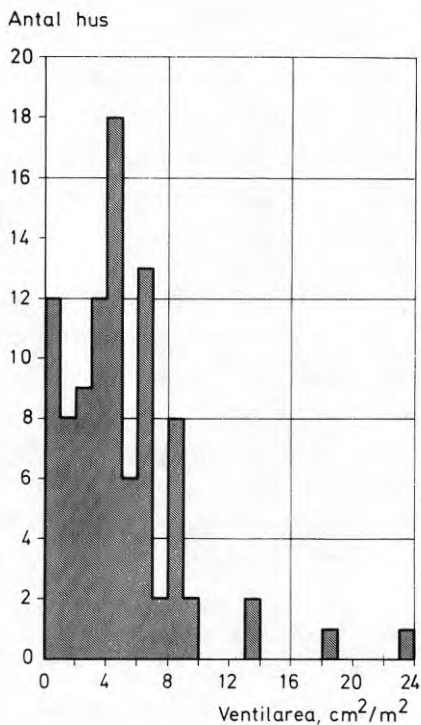


FIG. 5.

Effektiv ventilarea i kryprum enligt undersökningar vid institutionen för byggnadsteknik, KTH. Med effektiv ventilarea avses för ventilation tillgänglig yta i cm^2 per m^2 bjälklagsyta. Ventilareor mindre än $8-10 \text{ cm}^2$ per m^2 bjälklagsyta vid bjälklag av trä eller gasbetong har ofta visat sig vara otillräckliga.

cerat arean väsentligt. Lågt placerade ventiler hade täckts över med grus eller jord. Växtlighet hindrade fri genomblåsning. Igensättning med bruk eller betong förekom också.

PLACERING AV VENTILER

För god genomluftning bör ventilerna placeras tillräckligt högt över markytan. I Svensk Byggnorm (1967) anges bl.a. att ventilöppningarnas undre kanter bör ligga minst 10 cm över den yttre markytan. Det borde vara självklart att ventilerna inte placeras alltför nära markytan, men iakttagelserna vid inventeringen av kryprums utförande visar att flertalet ventiler sitter med underkanten lägre än 10 cm över mark. Många sitter t.o.m. under markytan. I FIG. 6 visas en sammanställning av uppmätta avstånd från ventilens underkant till markytan.

Svensk Byggnorm (1967) anger också att ventilerna skall ha raka öppningar och att de skall placeras så att god genomluftning uppnås.

När kryprumsventiler sitter för långt från hushörn finns en uppenbar risk för att vissa delar av kryprummet blir i det närmaste oventilerade. Relativa fuktigheten på dessa ställen kan då bli så hög att t.ex. angrepp av mikroorganismer kan ske lokalt.

Byggnormsrekommendationen bör särskilt uppmärksammas beträffande hus av souterrängtyp där ventiler i grundmurarna av många skäl kan placeras på endast en sida av huset. I souterränghus bör därför skorstensventilation anordnas som komplement till grundmursventilation så att genomluftningen blir god. Dessutom bör ventilöppningarna till kryprummen placeras så nära husens hörn som möjligt. I praktiken försummas detta ofta, FIG. 7.

Sammanfattningsvis visar resultaten från inventeringarna att fuktproblem är vanliga i kryprum. Hur stor ventilation som faktiskt erhålls och som erfordras i kryprum är

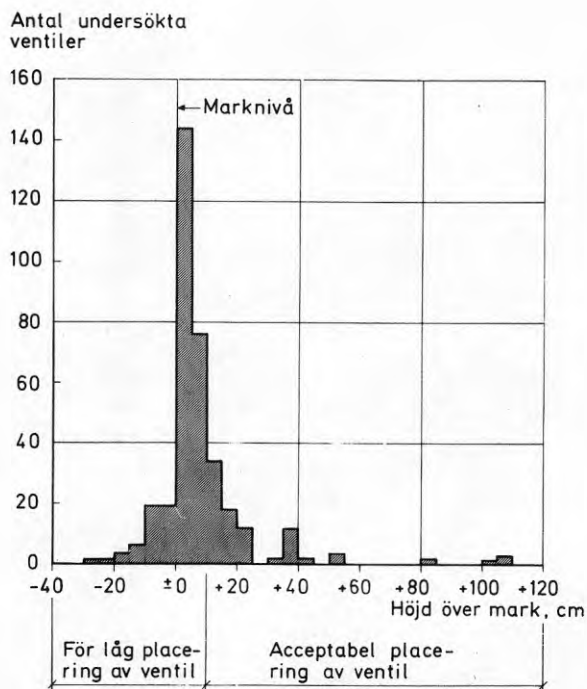


FIG. 6.

Avstånd från ventils underkant till markyta enligt inventering av kryprum i stockholmstrakten. Figuren visar att ventilerna mycket ofta sitter omedelbart i markytan och ofta t.o.m. under denna. Genomluftningen försvåras därvid i hög grad.

också mycket oklart. Dessa frågor bör därför noga studeras med avsikten att finna lämpliga konstruktionsanvisningar och arbetsutföranden.

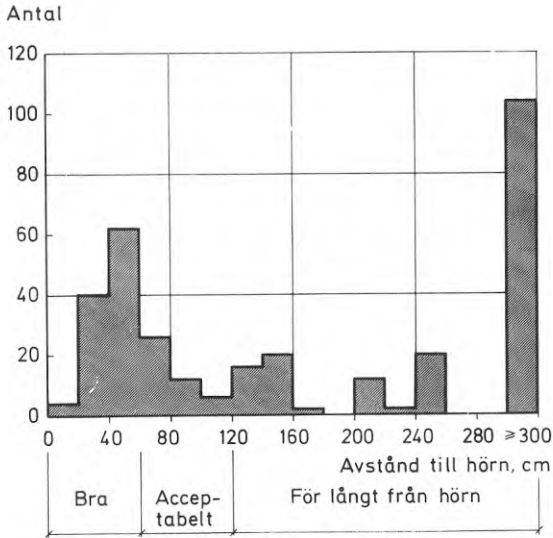


FIG. 7.

Avstånd från hushörn till närmsta ventil enligt inventering av kryprum i stockholmstrakten. För att få god genomluftning av hela kryprummet bör ventilerna sitta nära hörn - helst närmare än ca 100 cm. Framför allt vid grundmurar av förtillverkade betongbalkar är det svårt att uppfylla detta krav.

KONSEKVENSER AV FUKT I KRYPRUM

Om kryprumsbjälklaget utgörs av trä finns risk för att fukten ger upphov till skador p.g.a. röt- eller mögelsvampar, FIG. 8. Röt- och mögelsvampar är emellertid inga enhetliga begrepp och deras skadeverkningar är differentierade. Förutsättningarna för svampangrepp behandlas utförligt under avsnittet "Risk för rötskador på trävirke i kryprum".

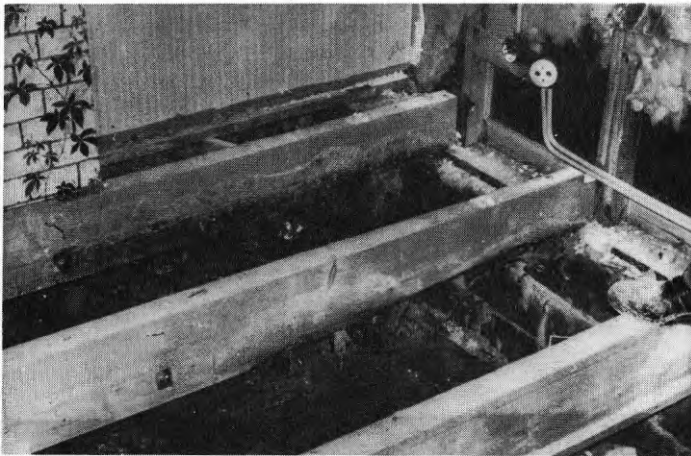


FIG. 8.

Rötskador av hussvamp på träbjälklag över kryprum. Skadorna berodde på för hög fuktighet i kryprummet. Angreppet var så stora att bjälklagen i husen fick bytas i sin helhet efter ca 10 år.

Rötsvampar kan påverka hållfastheten ogynnsamt. Mögelsvampar i sin tur kan vid ogynnsamma förhållanden ge upphov till besvärande lukt, Carlsson (1974). De behöver dock inte medföra att träets hållfasthet nedsätts.

Ofta kvarlämnas organiskt byggnadsmaterial i kryprummet. Sådant material kan vanligen suga upp fukt från marken. Etablering av röt- och mögelsvampar underlättas av sådana materialrester. Vissa svampar kan senare sprida sig till byggnadskonstruktionerna.

Bjälklag av betong eller gasbetong är inte känsliga för fukt på samma sätt som träbjälklag. Om materialet innehåller fukt finns emellertid risk för att armeringen angrips av korrosion. Risken är störst vid porösa stenmaterial såsom gasbetong. Fuktkvoten hos gasbetongen uppgår vid leverans vanligen till 30 à 40 viktprocent. Om denna fuktmängd tillåts stanna kvar i materialet eller om ytterligare fukt tillförs under byggnadstiden eller därefter föreligger risk för korrosionsangrepp på armeringen. Detta medför att gasbetongen sprängs och kan ge skador på bl.a. golvbeläggningen. På längre sikt kan även bjälklagets bärighet äventyras. Dylåka skador är mycket kostsamma att reparera.

Under den korta tid från det att bjälklaget monterats till dess golvbeläggningen lagts hinner i allmänhet ingen större uttorkning ske. Då bjälklagen ofta beläggs med förhållandevis täta material, t.ex. linoleum eller plattor, hindras fukten i bjälklaget att avgå uppåt.

Armeringen i gasbetongelement rostskyddsbehandlas vid tillverkningen. Denna behandling avser att skydda mot korrosion under normal uttorkningstid som beräknas uppgå till ca 2 år. Huvuddelen av byggfukten bör därför ges möjlighet att torka ut inom de två första åren. Åtminstone bör fuktkvoten efter två år vara lägre än ca 10 viktprocent.

ANALYS AV FUKTBALANSEN I KRYPRUM

Som tidigare belysts medför hög luftfuktighet i kryprum risker för konstruktionernas goda funktion. Byggnadstekniska åtgärder måste därför vidtas för att hålla kryprummet så torrt som möjligt. I det följande görs en systematisk analys av de faktorer som påverkar fuktbalansen i kryprum för att bestämma effekten av dylika tänkbara åtgärder.

Fuktbalansen i ett kryprum påverkas av

- I Tillskott av fukt
 - a) ångdiffusion genom kryprumsbjälklaget
 - b) fuktavgivning från bjälklag och grundmurar (byggfukt)
 - c) vattenavdunstning från markytan
- II Borttransport av fukt
 - a) ventilationens storlek.

I praktiska fall är det många gånger inte möjligt att transportera bort tillräckligt mycket av den fukt som tillkommer enligt I ovan. Byggnadstekniska åtgärder måste för den skull vidtas för att begränsa tillskottet av fukt. De åtgärder som kan bedömas ha största effekten är att dränera marken och att förhindra avdunstning från markytan.

TILLSKOTT AV FUKT

Ångdiffusion genom kryprumsbjälklaget

Den mängd fukt som tillförs ett kryprum p.g.a. diffusion genom bjälklaget är vanligen mycket liten. Det beror på att golvbeläggningen ofta har stort diffusionsmotstånd och att drivkraften för ångdiffusionen är liten på grund av att skillnaden i ånghalt hos luften oftast är liten mellan kryprum och bottenvåning. Ånghalten kan tidvis bli högre i kryprummet än i bottenvåningen beroende på bl.a. vattenavdunstningen vid markytan. Ångdiffusionen kan därför antas ske långsamt och det är små fuktmängder som

transporteras. I allmänhet kan diffusionen genom bjälklaget försummas i förhållande till övriga faktorer som påverkar fuktbalansen i själva kryprummet.

Fukt från bjälklag och grundmurar

Fuktavgivning från bjälklag och grundmurar - byggfukt - beror på materialet i konstruktionerna och kan i många fall vara betydande. Exempelvis gasbetong har en leveransfuktkvot på normalt ca 35 viktprocent. Nederbörd under byggnadsskedet kan dessutom ytterligare höja fuktkvoten. Efter uttorkning bör fuktkvoten i ett gasbetongbjälklag över kryprum inte överstiga ca 6 viktprocent (Svensk Byggnorm, 1967). För ett 15 cm tjockt bjälklag skall därför ca 22 liter vatten per m^2 torkas ut och vid 20 cm tjocklek 29 liter, dvs. ett par hinkar per m^2 eller för ett normalt småhus totalt ca $3 m^3$ vatten. Till detta kommer fukt från grundmurar o.d. Denna del torde i vissa fall kunna bli betydande om fukt utifrån tillförs dessa t.ex. när dräneringen fungerar otillfredsställande. Det är således avsevärda mängder som måste kunna föras bort från kryprummet.

Även träbjälklag kan i ogynnsamma fall innehålla mycket vatten. Detta gäller i synnerhet om tryckimpregnerat virke använts, vilket alltför ofta levereras till byggnadsplatserna med för hög fukthalt. Dessutom tillkommer även vid träbjälklag fukt från grundmurar.

Byggfukten kan därför i hög grad påverka fuktbalansen i kryprummet.

Vattenavdunstning från markytan

Vattenavdunstningen från marken bestäms av

- luftens temperatur och relativa fuktigheten i kryprummet
- egenskaperna hos marken och det material som täcker denna
- markens temperatur
- grundvattenytans läge.

Vattenavdunstningen från markytan ökar med temperaturen -

dvs. ju varmare det är i kryprummet desto större kan avdunstningen bli. En annan förutsättning för stor vattenavdunstning är att vatten transporteras upp till markytan, så att denna hålls fuktig. Avdunstningen blir givetvis störst om det förekommer en fri vattenyta i kryprummet. Även om en fri vattenyta i kryprummet inte finns kan vattenavdunstningen bli avsevärd i synnerhet om marken eller fyllningen i kryprummet är kapillärsugande och om grundvattenytan ligger högt. Fyllningens yta kan då bli våt och vattenavdunstningen kan i ogynnsamma fall bli lika stor som från en fri vattenyta. Ett icke kapillärsugande material som står i förbindelse med grundvattenytan avger betydligt mindre vatten än ett kapillärsugande material (Jonell & Victorin, 1961).

BORTTRANSPORT AV FUKT

Fukt som tillförs luften i kryprummet kan bortföras i huvudsak endast genom ventilation. Hur mycket fukt som kan bortföras beror dels av ventilationens storlek, dels av den mängd vattenånga som kan upptas av ventilationsluften. Under vissa förutsättningar kan dock ventilationsluften tillföra kryprummet fukt. Så är ofta fallet under sommaren.

Ventilationens storlek

Ett kryprum kan ventileras enligt olika principer. Vanligen åstadkommes självdragsventilation genom ventiler enbart i grundmurarna. För att förbättra självdragsventilationen kan ventilöppningarna i grundmurarna kompletteras med en ventilationsskorsten som dras upp över yttertak. Ett kryprum kan också ventileras med mekanisk ventilation.

Om luften strömmar turbulent genom en ventilöppning och det är självdragsventilation kan den genomströmmande luftmängden beräknas enligt ekv. (1).

$$Q = \text{konst}_1 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

där Q = genomströmmande luftmängd

A = öppningens storlek

Δp = lufttrycksskillnad

Konstanten beror bl.a. på strömningsförhållandena vid ventilöppningen. Dessa påverkas av bl.a. ventilutformningen, höjden över omgivande markyta och vegetationen. Det är i regel inte möjligt att beräkna den. Lufttrycksskillnaden Δp mellan kryprummet och den yttre omgivningen kan påverkas av två faktorer, nämligen vind och temperatur. ASHRAE (1963). Vindens inverkan på lufttrycket kan uttryckas med ekv. (2).

$$\Delta p_v = \text{konst}_2 \cdot v^2 \quad (2)$$

där Δp_v = lufttrycksskillnad p.g.a. vind
 v = vindhastighet

Om det i kryprummet endast finns ventiler som är placerade på samma nivå i grundmurarna beror lufttrycksskillnaden huvudsakligen på vindtrycket. Ekvation (1) ovan kan då förenklas till

$$Q = \text{konst}_3 \cdot A \cdot v \quad (3)$$

Vid ventilöppningar enbart i grundmurarna är mängden ventilationsluft således direkt proportionell mot storleken på öppningarna och mot vindhastigheten. Konstanten beror på ventilöppningarnas placering och utformning, vindens riktning i förhållande till byggnaden m.m. Amerikanska handböcker anger exempelvis att när vinden blåser vinkelrätt mot väggen är konstanten mer än dubbelt så stor som när det blåser parallellt med väggen. Ventilationen blir därför större om ventilerna placeras i väggar som vetter mot den förhärskande vindriktningen. Elmroth & Höglund (1973).

Om ventilerna i kryprummet sitter på olika nivåer uppkommer en lufttrycksskillnad som beror på såväl temperaturskillnaden inne-ute som den effektiva höjden mellan inlopp och utlopp. ASHRAE (1963).

Tryckskillnaden p.g.a. detta, den s.k. skorstenseffekten, kan uttryckas enligt ekv. (4).

$$\Delta p_{\theta} = \text{konst}_4 \cdot p \cdot h \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_i} \right) \quad (4)$$

där Δp_{θ} = lufttrycksskillnad på grund av temperaturskillnader hos olika luftmassor

p = luftens absoluta tryck

h = effektiv höjd mellan inlopp och utlopp

T_u = uteluftens absoluttemperatur

T_i = inneluftens absoluttemperatur

Ekvation (4) visar att om öppningarna i grundmurarna kompletteras med ventilationskanaler i skorsten eller liknande ökar ventilationsgraden. Drivkraften för ventilationsluften, dvs. tryckskillnaden, ökar med den effektiva höjdskillnaden mellan inlopp och utlopp och med temperaturredifferensen mellan uteluften och kryprumsluften. Tryckskillnaden kan också ökas genom vindens inverkan om takhuv utformas på ett lämpligt sätt, t.ex. så som i FIG. 9. Vintertid då uteluftens temperatur är avsevärt lägre än lufttemperaturen i kryprummet fungerar skorstensventilationen bäst. Skorstensventilation är i många byggnader ett nödvändigt komplement till enbart självdraftsventilation genom ventiler i grundmurarna exv. när ventiler inte kan placeras i alla yttergrundmurar.

Om ventilationens storlek är känd bestäms fuktflödet med ventilationsluften av ånghalten hos luften ute, c_u , och hos luften i kryprummet, c . Antas ventilationen till V blir fuktflödet ϕ_v

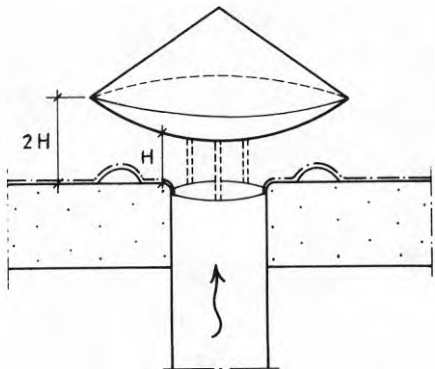


FIG. 9

Principskiss för utformning av takhuv vid skorstensventilation så att största möjliga undertryck vid utloppet p.g.a. ejektoreffekt erhålles. Måttet H avpassas så att arean vid utloppet blir densamma som kanalarean i skorstenen.

$$\phi_v = V(c_u - c) \quad (5)$$

När ånghalten är högre ute än i kryprummet medför ventilationen att fukt tillförs kryprummet. Så är ofta fallet sommartid.

BERÄKNING AV FUKTBALANSEN I KRYPRUM

Målsättning och beräkningsförutsättningar

Som visats ovan påverkas fuktbalansen i kryprum av flera faktorer. De viktigaste är fukttransport med ventilation, avdunstning från mark och grundmurar i kryprum samt uttorkning av byggfukt. För att kunna belysa hur dessa faktorer inverkar var för sig på relativ fuktighet och uttorkningstid har en beräkningsmodell uppställts. Med hjälp av beräkningar kan inverkan av de olika faktorerna renodlas. Vid fältundersökningar kan endast ett visst begränsat antal randvillkor studeras. Dessutom måste med hänsyn till klimatvariationer försöken följas under lång tid. Med kunskap om de svårigheter som i praktiken råder när det gäller att dimensionera t.ex. ventilation av kryprum och rätt bedöma fuktförhållandena inne i ett färdigt kryprum finns det inte anledning att överarbeta beräkningsmodellens noggrannhet. Det är betydligt viktigare att analysera beräkningsförutsättningarna.

Beräkningsresultaten avses kunna användas vid projekteringen varvid man skall få anvisningar om faktorer som särskilt noga behöver övervägas och kontrolleras. De skall också kunna ge vägledning vid bedömning av effekten av alternativa åtgärder som påverkar fuktbalansen i kryprum. I en uppförd byggnad skall man kunna bedöma hur kryprummet fungerar genom att göra kontrollmätningar av temperatur och luftfuktighet. Genom att jämföra uppmätta värden med beräknade kan upplysning fås om bl.a. hur lång tid av året luftfuktigheten kan förväntas överstiga 85 %. Detta är t.ex. av intresse för att kunna bedöma risken för röt- och mögelsvampsangrepp på trävirke i kryprum. Hittills har sådana analysmetoder helt saknats, varför bedömningar uteslutande skett på basis av erfarenheter.

Med hänsyn till målsättningen med beräkningarna och till den översiktliga analys av de faktorer som påverkar fuktbalansen i krypprummet har följande fuktflöden betydelse:

- fuktflöde från bjälklaget
- fuktflöde från marken och grundmurarna
- fuktflöde genom ventilation av krypprummet.

Fuktflödet genom ventilation beror också på temperatur och luftfuktighet utomhus.

I FIG. 10 visas de fuktflöden och ånghalter som medtagits i fuktbalansberäkningen.

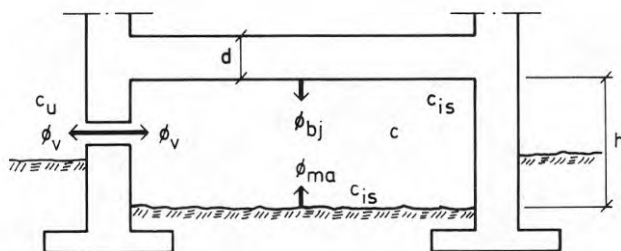


FIG. 10.

Principfigur som visar de fuktflöden ϕ , $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$, och ånghalter c , kg/m^3 , som medtagits i fuktbalansberäkningen.

- ϕ_v = fuktflöde genom ventilation
- ϕ_{bj} = fuktflöde från bjälklaget
- ϕ_{ma} = fuktflöde från marken och grundmurarna
- c_{is} = ånghalt vid mättnad

Fuktflöde från
bjälklaget

Storleken av fuktflödet från bjälklaget beror på materialet i detsamma. Vid bjälklag av gasbetong är uttorknings-skedet speciellt intressant. Som visats i det föregående är det betydande fuktmängder som skall torka ut de första åren. Vid betongbjälklag finns visserligen avsevärda fuktmängder men i regel medför fukten i sådana bjälklag inga speciella problem. Vid träbjälklag förutsätts att torrt virke används. För träet är det av större intresse att

bestämma vilken fuktmiljö virket kommer att utsättas för i kryprummet. I samtliga fall gäller att betydande fukt-mängder kan tillföras kryprummet från grundmurarna.

Beräkningarna planeras med hänsyn till ovanstående att primärt gälla för bjälklag av gasbetong som antas ha leveransfuktkvoten 35 viktprocent när beräkningarna startar. Sedan uttorkning skett blir fuktflödet genom bjälklaget så ringa att det inte påvisbart påverkar fuktbalansen i kryprummet. Beräknade luftfuktigheter antas då gälla för bjälklag av såväl gasbetong och betong som trä.

Uttorkningen av gasbetong kan indelas i tre faser. Uttorkningshastigheten antas variera linjärt med kryprummets ånghalt under den första fasen. Materialet antas i denna fas vara fuktigt på ytan och hastigheten förblir konstant så länge vatten genom kapillärtransport tillförs ytan och håller den fuktig. För gasbetong gäller att uttorkning via kapillärtransport kan ske så länge fuktkvoten överstiger det s.k. kritiska värdet u_k . Med god approximation kan u_k sättas lika med 25 viktprocent för de gasbetongkvaliteter som används i Sverige. Se t.ex. Ahlgren (1972). Vid beräkningarna har därför antagits att så länge fuktkvoten överstiger 25 % är fukten jämnt fördelad i bjälklaget. Undersökningar i fält visar dock att detta antagande normalt inte är uppfyllt. Vanligen är, även vid mycket höga fuktkvoter, fuktkvoten några procent högre i mitten än i över- och underkant av bjälklaget.

Fuktflödet i första fasen beräknas enligt

$$\phi_{Dj} = \beta \cdot (c_{is} - c) \quad (6)$$

där c_{is} = ånghalt vid mättnad, kg/m^3

c = ånghalten hos den omgivande luften, kg/m^3

β = fuktövergångstal, m/h

Fuktövergångstalet β beror på den omgivande luftens hastighet och temperaturskillnad mellan yta och luft. Lufthastigheten invid bjälklagsytan kan förväntas vara låg. Temperaturskillnaden kan beräknas variera under året och bl.a. med isolergrad hos bjälklaget. Normala temperaturskillna-

der torde vara mellan 0 och ca 2°C. Fuktövergångstalet har vid beräkningarna antagits till 9,0 m/h och vara konstant med tiden. Se t.ex. Adamson et al. (1971).

När gasbetongens fuktkvot sjunkit ned till det kritiska fukttillståndet u_k inträder en andra fas. Denna har övergångskaraktär och kallas övergångsfas. Uttorkningen sker genom en kombination av kapillärtransport och vattenångdiffusion. I denna fas bestäms uttorkningshastigheten huvudsakligen av ångtransporten. Någon klar gräns mellan övergångsfasen och den tredje fasen kan i praktiken inte observeras. Vid bjälklag över kryprum täcks överytan av bjälklaget relativt tidigt av en golvbeläggning som praktiskt taget helt förhindrar uttorkning uppåt. Med beräkningsförutsättningar enligt Pihlajavaara (1965) erhålls vid ensidig uttorkning en fuktfördelning efter första fasen enligt FIG. 11. Av denna framgår att fuktkvoten hela tiden är lägst vid underytan där avdunstning kan förekomma. Fuktkvoten kommer alltid att vara högst närmast under golvbeläggningen.

En lång serie fältundersökningar visar att fuktkvoten nästan alltid är högst i bjälklagsmitt. Den är lägre både i överkant och i underkant av bjälklagen. Fuktfördelningen vid olika tidpunkter är i princip sådan som FIG. 12 visar. Fuktkvotsbestämningarna visar också att det inte finns någon klar tendens till att underkanten skulle vara torrare än överkanten eller tvärtom. Uppmätt fuktfördelning kan bero på flera orsaker. Viss uttorkning av överytan kan sannolikt ske inna golvbeläggning utföres. Detta kan i sin tur medföra att en viss del av bjälklagets överkant absorberar vattenånga medan en annan del samtidigt desorberar vattenånga. På grund av att lufttemperaturen är lägst i kryprummet uppkommer ett värmeflöde genom bjälklaget. Temperatur och värmeflöde har också viss inverkan på fuktfördelningen i praktiken. Nielsen (1974). Fuktfördelningen påverkas dessutom av under året varierande jämviktsfuktkvot.

Noggrann beräkning av fuktflödet genom bjälklaget i den tredje fasen blir därför komplicerad. Fuktflödet genom ytan beror bl.a. på fuktfördelningen i bjälklaget och jäm-

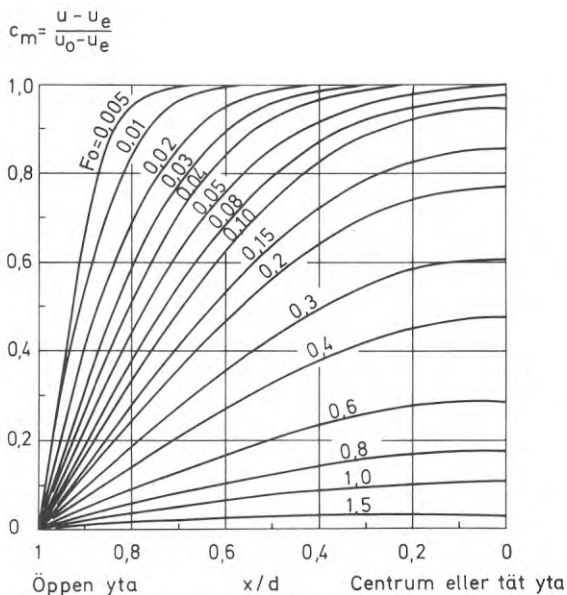


FIG. 11. Fuktfördelning vid olika tidpunkter i en platta som haft en jämnt fördelad begynnelsefuktkvot u_0 och en jämviktsfuktkvot efter uttorkning av u_e . Kurvorna relateras till olika Fouriertal enligt

$$F_o = \frac{k_p \cdot t}{d^2}$$

där k_p = fuktledningstal

t = tiden

d = plattjocklek om en yta är ångtät.

Efter Pihlajavaara (1965).

viktsfuktkvoten. En korrekt fuktflödesberäkning förutsätter att fuktfördelningen beräknas i varje tidssteg med en numerisk beräkningsmetod. Beräkningar har bl.a. utförts av Sandberg (1973). I detta fall har ett annat tillvägagångssätt tillämpats för att förenkla dataprogrammet. Vid beräkning av fuktflödet från bjälklaget har Pihlajavaaras lösning tjänat som förebild till en enkel ansats. I denna har fuktflödet antagits vara proportionellt mot under varje tidssteg rådande skillnad mellan medelfuktkvoten i bjälklaget och jämviktsfuktkvoten. Proportionalitetsfaktorn är en approximation för en funktion som beror på fuktfördelningen i bjälklaget.

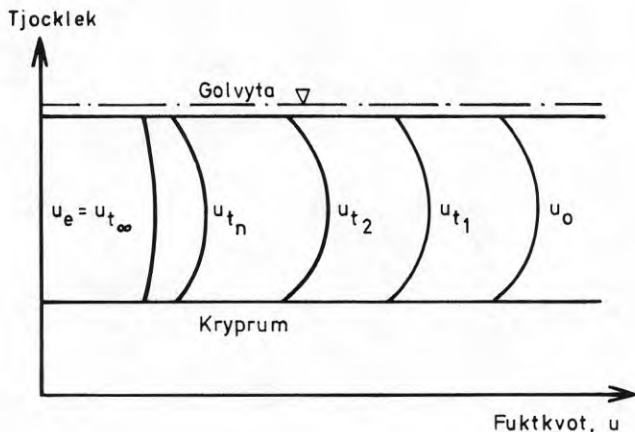


FIG. 12. Exempel på bestämda principiella fuktfördelningar i gasbetongbjälklag över kryprum vid olika tidpunkter. Det förutsätts att överytan är ångtät och sålunda förhindrar uttorkning.

Pihlajavaaras lösning lyder

$$\phi_{bj} = -k_p \cdot \left(\frac{du}{dx} \right)_{x=d} \cdot \gamma \quad (7)$$

$$\left(\frac{du}{dx} \right)_{x=d} = -(u_m - u_e) \cdot \frac{2}{d} \cdot \sum_{r=1}^{\infty} e^{-\frac{(2r-1)^2 \cdot \pi^2 \cdot k_p}{4d^2} \cdot t} \quad (8)$$

där ϕ_{bj} = fuktflödet från bjälklaget, $\text{kg/m}^2\text{h}$

u_m = jämviktsfuktkvoten vid uttorkningens början, kg/kg

u_e = jämviktsfuktkvoten, kg/kg

d = bjälklagstjockleken, m

γ = bjälklagets volymvikt, kg/m^3

k_p = fuktledningstal, m^2/h

t = tid, h

Om man skall anpassa fuktflödet under ett tidssteg till denna lösning måste vissa approximationer accepteras. Såväl u_m som u_e förutsätts enligt Pihlajavaara vara konstanta.

I varje tidssteg uträknas därför medelfuktkvoten som får gälla som jämnt fördelad fuktkvot u_m . Det innebär att u_m får ett nytt värde i varje tidssteg. Under ett tidssteg är jämviktsfuktkvoten u_e konstant vilket överensstämmer med Pihlajavaaras randvillkor men däremot är inte den korrekta fuktfördelningen i början av varje tidssteg jämn. Ett approximativt sätt att ta hänsyn till inverkan av den ojämna fuktfördelningen är att sätta in ett lämpligt valt värde på tiden t i ekvation (8) motsvarande en rimligt vald fuktfördelning som med Pihlajavaaras randvillkor inträffar efter tiden t . Denna fuktfördelning är uppenbarligen inte medelvärdesriktig och som ovan visats knappast verklighetstrogen men detta saknar helt betydelse för resultatet eftersom endast fuktgradienten på ytan ingår i flödesberäkningen. Efter kontrollberäkningar och jämförelser med mätresultat från fältundersökningar har värdet på denna tidskonstant valts till 500 timmar. Proportionalitetsfaktorn p i ansatsen blir då

$$p = \frac{2 \cdot k_p \cdot \gamma}{d} \cdot \sum_{r=1}^{\infty} e^{-\frac{(2r-1)^2 \cdot \pi^2 \cdot k_p}{4d^2}} \cdot 500 = \text{konst}_1 = p_0 \quad (9)$$

Jämviktsfuktkvoten beror på relativa fuktigheten i krypprummet men dessutom på om absorption eller desorption föreligger. Om man följer desorptionskurvan vid uppfuktning blir jämviktsfuktkvoten för stor. Sambandet mellan jämviktsfuktkvoten och relativa fuktigheten vid uppfuktning från olika fuktnivåer är endast delvis känt. Kontrollberäkningar och jämförelser med praktiska mätresultat har visat att rimliga värden på uppfuktningen fås om fuktflödet reduceras med en faktor 0,2 i förhållande till desorptionskurvan. Absorptionskurvan är tämligen flack för gasbetong vid de relativt låga fuktkvoter vid vilka uppfuktning kan bli aktuell, vilket motiverar den låga faktorn. I FIG. 13 redovisas den desorptionskurva som legat till grund för beräkningarna.

Fuktflöden genom bjälklagets yta under tredje fasen beräknas alltså för uttorkning resp. för uppfuktning enligt

Fuktkvot, viktprocent

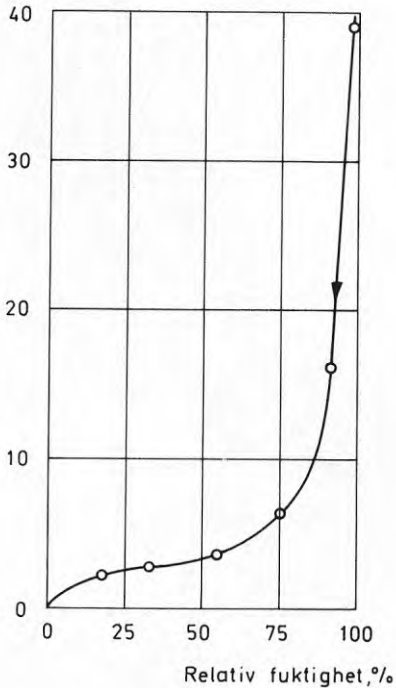


FIG. 13.

Desorptionsisoterm för högtrycksånghärdad gasbetong, $\gamma = 500 \text{ kg/m}^3$ vid $+20^\circ\text{C}$ enligt Ahlgren (1972).

för uttorkning gäller

$$\phi_{bj} = p \cdot (u_m - u_e) \quad (10)$$

för uppfuktning gäller

$$\phi_{bj} = 0,2 \cdot p \cdot (u_m - u_e) \quad (11)$$

där u_m = medelfuktkvoten i bjälklagen vid tiden t

u_e = jämviktsfuktkvoten vid tiden t

Medelfuktkvoten i bjälklaget vid tiden t är

$$u_m = u_{m0} - \int_0^t \frac{\phi_{bj}}{d \cdot \gamma} \cdot dt \quad (12)$$

där u_{m0} = medelfuktkvoten i bjälklaget vid begynnelsen, kg/kg

ϕ_{bj} = fuktflödet under såväl fas 1 som 2, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$

Vid den numeriska beräkningen sker i varje beräkningssteg en addition av flödesvärdet till en flödessumma, $\Sigma \phi_{bj}$.

Medelfuktkvoten i bjälklaget vid tiden t blir då

$$u_m = u_{m0} - \frac{\Delta t \cdot \Sigma \phi_{bj}}{d \cdot \gamma} \quad (13)$$

Denna förenkling vid beräkningen av fuktkvävet innebär att fukttillståndet i bjälklaget inte blir helt korrekt vid alla tidpunkter. Detta har dock underordnad betydelse eftersom beräkningarna främst åsyftar att bestämma fukttillståndet i själva kryprummet.

Ångledningsförmågan har vid beräkningarna antagits till $0,52 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{h}$. Ingen hänsyn har tagits till att den i praktiken varierar med fuktkvoten hos materialet.

Fuktkvävet
från marken

Fuktavgivning från marken beräknas som avdunstning från en fri vattenyta vid kryprummets medeltemperatur. Självfallet står inte markytan inuti kryprummet helt under vatten. Vid beräkningen har därför antagits att 2 %, 5 % resp. 10 % av markytan varit en fri vattenyta medan resten är helt torr och inte alls bidragit till fuktkvävet.

Även i ett kryprum där markytan väl täckts med t.ex. plastfolie torde viss fuktavgivning förekomma. I synnerhet tillförs kryprummet fukt genom grundmurar, vid rör genomföringar, genom ofrånkomliga mindre skador i folien, genom skarvar mellan folier etc. Viss mängd fukt torde sålunda kunna tillföras alla kryprum, även sådana som måste bedömas vara i och för sig torra. Till torra kryprum kan även hänföras sådana som ligger på torr mark och där inga speciella åtgärder vidtagits för att minska avdunstningen. Vid beräkningarna har därför antagits att avdunstningen i sådana kryprum till storleksordningen är ekvivalent med en avdunstning från en fri vattenyta som till 2 % täcker markytan i kryprummet.

Vid 10 % vattenyta i kryprummet kan detta karakteriseras som vått. Fuktavgivning från vattenytan liknar i viss mån den avdunstning som kan ske från fuktig mark som inte täckts med plastfolie, isoleringsmaterial eller grus. Be-

räkningsfallet återger situationer i ett från fuktsynpunkter olämpligt utfört kryprum och medtas i beräkningarna för att belysa konsekvenserna av ett sådant olämpligt utförande.

I många kryprum finns visserligen en plastfolie utlagd på marken men den täcker kanske bara en mindre del av kryprummet. Den kan också vara utlagd så att risk finns för avsevärda vattensamlingar ovanpå den. Sådana kan uppkomma under byggnadstiden eller senare genom läckor i vattenledningar, genom att dag- och dräneringsvatten rinner in i grunden, genom att kondens på oisolerade grundbalkar och ledningar rinner ned på folien etc. I sådana kryprum blir avdunstningen större än om kryprummet är torrt men inte nödvändigtvis lika stor som från ett "vått" kryprum. I detta beräkningsfall görs antagandet att markytan till 5 % är täckt av en fri vattenyta.

I en del kryprum skyddas plastfolien med ett skikt sand. Om sanden är fuktig när den läggs in och/eller om den tillförs vatten under byggnadstiden kan avdunstningen från sandlagret bli betydande under uttorkningsskedet. Jonell & Victorin (1961) har visat att avdunstningen från ett fuktigt sandmaterial kan bli lika stor som från en fri vattenyta. Under ett första uttorkningsskede kan fuktförhållandena i sådana kryprum därför vara nära nog desamma som i ett "vått" kryprum. Efterhand som sandlagret torkar blir förhållandet alltmera likt det i ett torrt kryprum. Under tiden kan emellertid en uttorkning av bjälklaget ha fördröjts.

Fuktflödet ϕ_{ma} från mark och grundmurar i form av avdunstning från en fri vattenyta vid kryprummets medeltemperatur beräknas enligt

$$\phi_{ma} = \psi \cdot \frac{\alpha}{\rho_l \cdot c_l} \cdot (c_{is} - c) \quad (14)$$

där ψ = andelen markyta i kryprummet täckt av en fri vattenyta

α = värmeöverföringstalet vid avdunstning $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ρ_l = luftens täthet, kg/m^3

$$c_{is} = \text{ånghalten vid mättnad i kryprummet, kg/m}^3$$

$$c_l = \text{luftens specifika värmekapacitet, Wh/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$c = \text{ånghaltens medelvärde i kryprummet, kg/m}^3$$

Följande värden på konstanter som är handboksvärden har använts

$$\alpha = 7,0 \quad \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\rho_l = 1,293 \quad \text{kg/m}^3$$

$$c_l = 0,29 \quad \text{Wh/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

Faktorn ψ ges enligt tidigare diskussion tre olika värden: 0,02, 0,05 resp. 0,10 vid beräkningarna.

Fuktflöde genom
ventilation

Ventilationsgraden antas vara konstant men varierar med tre värden för de olika beräkningsfallen nämligen 0,5, 1,0 och 2,0 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Eftersom ventilationen är svårbestämbar och dessutom i hög grad varierande med vind- och temperaturförhållanden innebär detta en relativt grov approximation. Det finns f.n. inte redovisade samband som gör det möjligt att hänsyn tas till variationer i ventilationsgrad. Jämför avsnittet om ventilationens storlek.

Fuktflödet ϕ_v till kryprummet genom ventilation beräknas enligt ekv. (5) ur uttrycket

$$\phi_v = V \cdot (c_u - c)$$

där $V = \text{ventilation, m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

$c_u = \text{ånghalten utomhus, kg/m}^3$

$c = \text{ånghaltens medelvärde i kryprummet, kg/m}^3$

Ånghalten utomhus beräknas med hjälp av SMHI:s registre-ringar av temperatur och relativ fuktighet.

Temperatur och relativ fuktighet

Beräkningar görs för tre orter i Sverige nämligen Lund, Stockholm och Haparanda. Normalårets värden på uteluftens temperatur och relativa luftfuktighet för resp. ort ligger till grund för indata, se FIG. 14 och 15. Dessa värden har tagits från Klimatdataboken (Taesler, 1972) och baserar sig på SMHI:s registreringar. Vid beräkningarna har vidare förutsatts att kryprumstemperaturen är känd i en tidsserie.

Beräkningar av frostnedträngning och temperaturförhållanden i kryprum har utförts av Adamson et al. (1971). Vid dessa beräkningar har förutsatts bl.a. tredimensionell värmeströmning för lång resp. kvadratisk byggnad.

Valet av utetemperatur som en beräkningsförutsättning har speciellt intresse. För bestämning av frostnedträngning är värden på extrema utetemperaturer nödvändiga. Adamson et al. (1971) har därför följdriktigt valt temperaturvärden som motsvarar största observerade köldmängd under 50 år. De kryprumstemperaturer som därvid beräknats kan inte okritiskt tillämpas för fuktberäkningar - i synnerhet som Adamsons beräkningsmodell förutsätter att det efter en kall vinter följer en mycket varm sommar. Mer relevant är i detta fall att studera fuktförhållandena under ett normalår. Tillfälliga förändringar i temperaturer är därvid mindre intressanta. Inverkan på temperaturen av tillfälligt varierande ventilation, förångning av fukt m.m. kan därför försummas. En kortvarig höjning av luftfuktigheten behöver inte nödvändigtvis leda till skador. I detta avseende skiljer sig alltså här behandlade fuktproblem väsentligt från tjälskjutningsproblem.

Normalårets utetemperaturer har valts som utgångsvärde för beräkning av fuktförhållandena i kryprum. Med i övrigt samma förutsättningar som Adamson et al. (1971) använt har värden på kryprumstemperaturerna beräknats så att de svarar mot normalårets utetemperatur. Några typiska beräkningsfall har kontrollberäknats med hjälp av dator enligt Adamsons program. I övriga fall har kryprumstemperaturerna

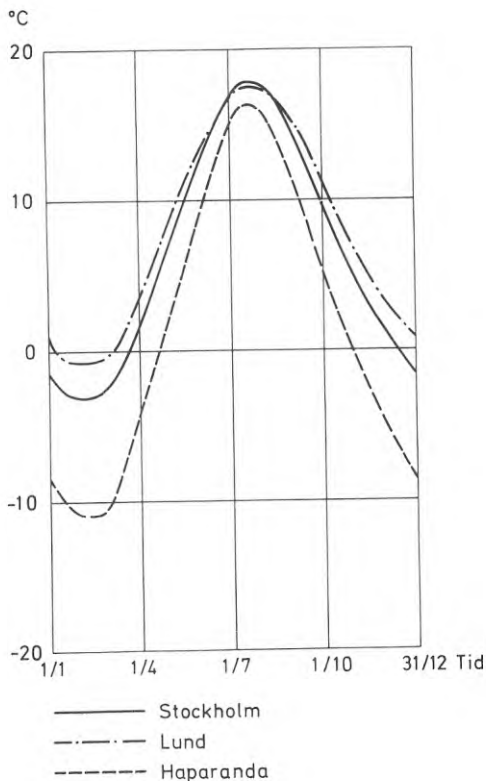


FIG. 14.

Lufttemperaturens variation utomhus under normalåret i Stockholm, Lund och Haparanda enligt uppgifter på månadsmedelvärden i Klimatdataboken (Taesler, 1972).

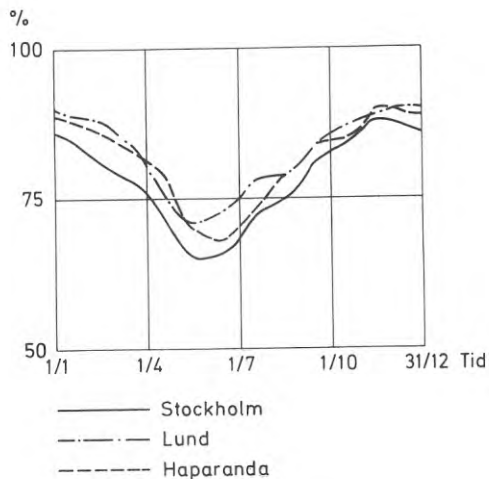


FIG. 15.

Relativa luftfuktighetens variation utomhus under normalåret i Stockholm, Lund och Haparanda. Såväl Lund som Haparanda har något högre luftfuktighet än Stockholm, enligt Klimatdataboken (Taesler, 1972).

proportionerats med ledning av dessa kontrollberäkningar och med stöd av ett flertal temperaturbestämningar, redovisade under kapitlet "Fältundersökningar". Vid beräkning av fuktbalansen förutsätts alltså att temperaturen i krypprummet är känd för varje beräkningsfall.

Beräkningsmetodik

Målet för beräkningarna blir sålunda att finna approximativa värden på ånghalten eller relativa fuktigheten i kryprummet.

Den luftfuktighet som beräknas i kryprummet antas vara ett medelvärde för hela den faktiska luftvolymen vilket motsvarar fullständig blandning av luften. Hänsyn tas därför inte till lokala variationer i kryprummet som kan uppkomma, om vissa hörnpartier inte blir fullständigt ventilerade. Likaså förutsätter beräkningarna att lufttemperaturen är densamma i hela kryprummet.

Ånghalten c i kryprummet vid tiden t kan då beräknas enligt följande uttryck

$$c = c_0 + \frac{1}{h} \int_{t_0}^t \phi_{bj} \cdot dt + \frac{1}{h} \int_{t_0}^t \phi_{ma} \cdot dt + \frac{1}{h} \int_{t_0}^t \phi_v \cdot dt \quad (15)$$

eller deriverat med avseende på tiden t

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{h} \cdot (\phi_{bj} + \phi_{ma} + \phi_v) \quad (16)$$

- där
- c = ånghalten i kryprummet vid tiden t , kg/m^3
 - c_0 = ånghalten i kryprummet vid tiden t_0 , kg/m^3
 - h = höjden i kryprummet, m
 - ϕ_{bj} = fuktflödet från bjälklaget, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$
 - ϕ_{ma} = fuktflödet från marken och grundmurarna, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$
 - ϕ_v = fuktflödet genom ventilation, $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$

Ekvation (16) löses medelst differensapproximation

$$\Delta c = \Delta t \cdot \frac{1}{h} \cdot (\phi_{bj} + \phi_{ma} + \phi_v) \quad (17)$$

Ånghalten c i kryprummet beräknas för varje tidssteg enligt

$$c_{t+\Delta t} = c_t + \Delta t \cdot \frac{1}{h} \cdot (\phi_{bj} + \phi_{ma} + \phi_v)_t \quad (18)$$

Tidssteget har valts till 0,5 h. Med hänsyn till valda ingångsvärden på klimatfaktorerna lufttemperatur och luftfuktighet är tidssteget kort. Å andra sidan är det långt med hänsyn till ånghaltens insvängning efter en störning. Lösningen blir därför numeriskt instabil. För att undvika detta kan tidssteget väljas betydligt kortare. Detta medför dock att ekonomin vid beräkningarna kraftigt försämras. I stället har ändringen i ånghalt under ett tidssteg enligt ekv. (17) reducerats med faktorn 0,1. Resultatet blir likvärdigt med det som skulle erhållits med ett kortare tidssteg eftersom antalet tidssteg enligt ovan är stort i förhållande till variationshastigheten hos de styrande klimatdata. Resultatet blir att man får en monoton insvängning och därefter ett stabilt förlopp hos lösningen.

Gången för databeräkningarna visas schematiskt med ett flödesschema (FIG. 16).

Följande beteckningar förekommer i flödesschemat

- c = ånghalten i kryprummet, kg/m^3
- c_o = ånghaltens begynnelsevärde i kryprummet, kg/m^3
- c_{is} = ånghalten vid mättnad i kryprummet, kg/m^3
- c_u = ånghalten utomhus, kg/m^3
- c_l = luftens specifika värmekapacitet, $\text{Wh/kg}^\circ\text{C}$
- d = bjälklagets tjocklek, m
- h = kryprummets höjd, m
- k_p = fuktledningstalet för gasbetong, m^2/h
- n = antalet tidssteg
- p = proportionalitetsfaktorn enligt ekv. (9)
- V = ventilationsvolymen per ytenhet av bjälklaget, $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
- t = löpande tidsvariabel, h
- t_o = begynnelse tidpunkten i förhållande till styrande klimatindata, h
- t_{end} = tiden vid vilken beräkningarna skall avbrytas, h

- Δt = tidssteget, h
 u_{m0} = medelfuktkvoten i bjälklaget vid begynnelsen, kg/kg
 u_0 = medelfuktkvoten i bjälklaget i gränsen mellan första och andra uttorkningsskedet, kg/kg
 u_m = medelfuktkvoten i bjälklaget vid tiden t, kg/kg
 u_e = jämviktsfuktkvoten i bjälklaget vid tiden t, kg/kg
 α = värmeöverföringstalet vid avdunstningen, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
 β = fuktövergångstalet för vattenånga, m/h
 γ = bjälklagets volymvikt, kg/m^3
 θ_i = temperaturen i kryprummet vid tiden t, $^\circ C$
 θ_u = temperaturen utomhus vid tiden t, $^\circ C$
 ρ_l = luftens volymvikt vid normalt tryck, kg/m^3
 ϕ_i = relativa luftfuktigheten i kryprummet, %
 ϕ_u = relativa luftfuktigheten utomhus, %
 ϕ_{bj} = fuktflödet från bjälklagets yta, $kg/m^2 \cdot h$
 ϕ_{ma} = fuktflödet från marken och grundmurarna i kryprummet, $kg/m^2 \cdot h$
 ϕ_v = fuktflödet genom ventilationen, $kg/m^2 \cdot h$
 ψ = del av markytan i kryprummet täckt av fri vattenyta, m^2/m^2

Beräkningsalternativ

Uteklimat och konstruktionsutförande har enligt föregående väsentlig betydelse för fuktbalansen i kryprum. För att så allsidigt som möjligt belysa inverkan av faktorer behandlas ett flertal beräkningsfall. Vid valet av beräkningsförutsättningar har följande huvudprinciper gällt. Uteklimatet dvs. lufttemperatur och relativ luftfuktighet för orterna Lund, Stockholm och Haparanda har förutsatts enligt FIG. 14 och 15. Bjälklaget har i samtliga fall förutsatts vara av gasbetong. Isolerggrad resp. bjälklagstjock-

lek har varierats. I de flesta fall förutsätts gasbetongen dock ha tjockleken 20 cm. Varierande isolertjocklek kan åstadkommas genom tilläggsisolering. Tre värden på ventilationsgraden, nämligen 0,5, 1,0 och 2,0 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ antas för resp. konstruktionsalternativ. På samma sätt antas att den del av markytan i kryprummet som förutsätts utgöra en fri vattenyta är 0,02, 0,05 resp. 0,10 av ytan.

Beräknade lufttemperaturer i resp. kryprum redovisas i FIG. 17-22. Dessa temperaturer baserar sig på beräkningar av Adamson et al. (1971). Temperaturen förutsätts variera på samma sätt varje år. Det innebär att hänsyn tagits till den s.k. värmekudde som efterhand bildas under huset efter uppförandet. Det innebär i sin tur att temperaturen antagits vara för hög första året, vilket påverkar beräknad uttorkningshastighet i gynnsam riktning dvs. den blir något kortare än i praktiken. Rumstemperaturen antas i samtliga fall vara konstant $+20^{\circ}\text{C}$. Beräkningarna har gjorts för en tidsperiod om 5 år. Byggnaderna antas färdigställda i januari månad. Kontrollberäkningar med annat begynnelse datum har gjorts. Resultaten påverkas endast marginellt av detta och effekten kan praktiskt försummas efter ca 2 år.

Huvuddata för de olika beräkningsfallen har sammanställts i TAB. 1.

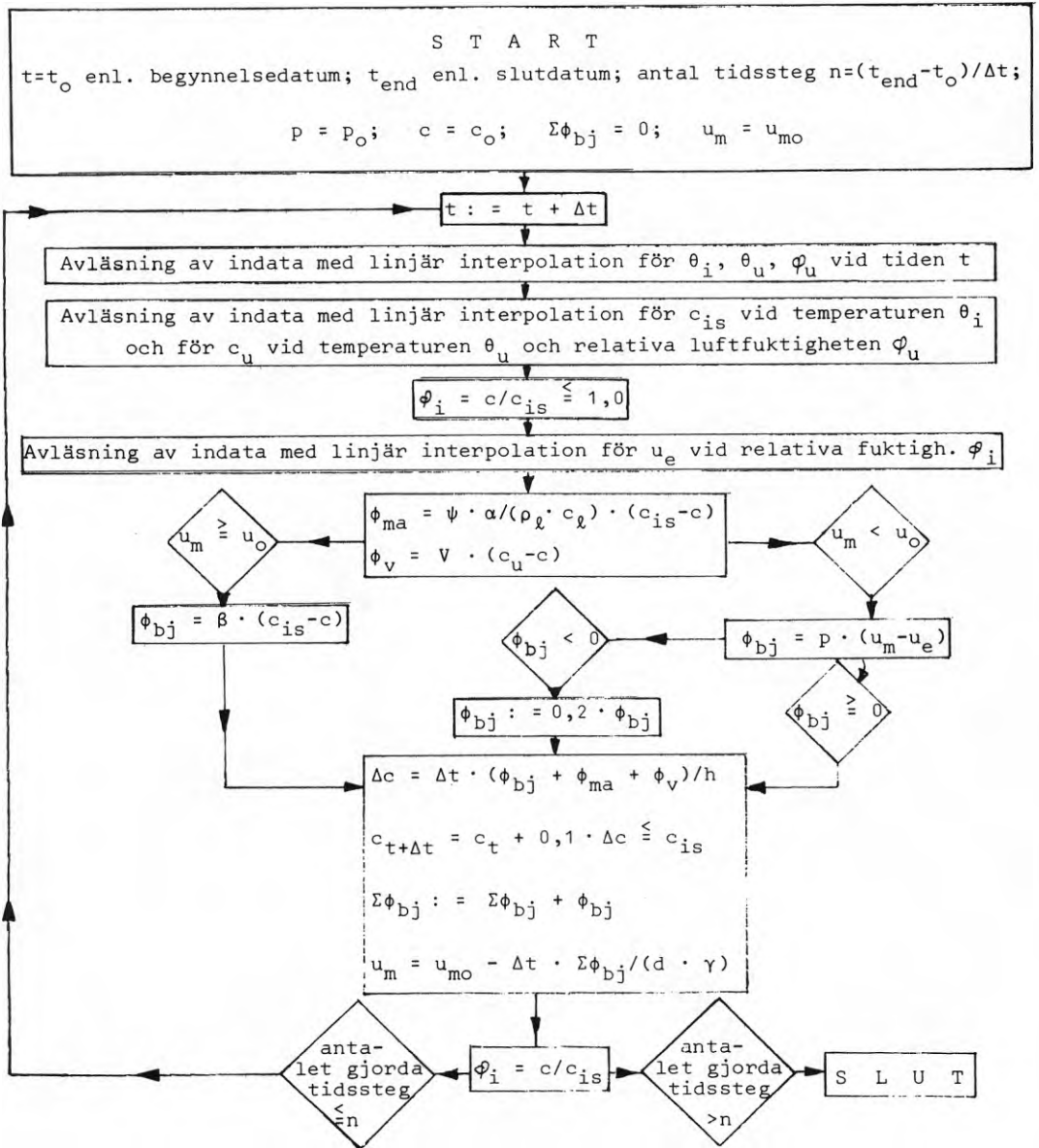


FIG. 16. Flödesschema för databeräkningarna av fuktbalansen i kryprum.

TAB. 1. Sammanställning av huvudkaraktäristika för de olika beräkningsfallen.

1	2	3	4	5	6	7
Beräk- nings- fall	Ort	Värmege- noms- gångstal för bjälk- läget $W/m^2 \cdot ^\circ C$	Tjocklek hos gasbetong- bjälklag cm	Ventilations- grad $m^3/m^2 \cdot h$	Del av märkta i krypprum som utgör fri vat- tenyta m^2/m^2	Beräknad rel. fuktighet i krypprummet re- dovisas i FIG. nr
1	Lund	0,58	20	0,5	0,10	23
2	"	"	"	"	0,05	"
3	"	"	"	"	0,02	"
4	Lund	0,58	20	1,0	0,10	24
5	"	"	"	"	0,05	"
6	"	"	"	"	0,02	"
7	Lund	0,58	20	2,0	0,10	25
8	"	"	"	"	0,05	"
9	"	"	"	"	0,02	"
10	Lund	0,41	20	0,5	0,10	26
11	"	"	"	"	0,05	"
12	"	"	"	"	0,02	"
13	Lund	0,41	20	1,0	0,10	27
14	"	"	"	"	0,05	"
15	"	"	"	"	0,02	"
16	Lund	0,41	20	2,0	0,10	28
17	"	"	"	"	0,05	"
18	"	"	"	"	0,02	"
19	Stockholm	0,58	15	0,5	0,10	29
20	"	"	"	"	0,05	"
21	"	"	"	"	0,02	"
22	Stockholm	0,58	15	1,0	0,10	30
23	"	"	"	"	0,05	"
24	"	"	"	"	0,02	"

TAB. I. (forts.)

Kolumn:

1	2	3	4	5	6	7
25	Stockholm	0,58	15	2,0	0,10	31
26	"	"	"	"	0,05	"
27	"	"	"	"	0,02	"
28	Stockholm	0,58	20	0,5	0,10	32
29	"	"	"	"	0,05	"
30	"	"	"	"	0,02	"
31	Stockholm	0,58	20	1,0	0,10	33
32	"	"	"	"	0,05	"
33	"	"	"	"	0,02	"
34	Stockholm	0,58	20	2,0	0,10	34
35	"	"	"	"	0,05	"
36	"	"	"	"	0,02	"
37	Stockholm	0,41	20	0,5	0,10	35
38	"	"	"	"	0,05	"
39	"	"	"	"	0,02	"
40	Stockholm	0,41	20	1,0	0,10	36
41	"	"	"	"	0,05	"
42	"	"	"	"	0,02	"
43	Stockholm	0,41	20	2,0	0,10	37
44	"	"	"	"	0,05	"
45	"	"	"	"	0,02	"
46	Haparanda	0,58	20	0,5	0,10	38
47	"	"	"	"	0,05	"
48	"	"	"	"	0,02	"
49	Haparanda	0,58	20	1,0	0,10	39
50	"	"	"	"	0,05	"
51	"	"	"	"	0,02	"

TAB. 1. (forts.)

Kolumn:

1	2	3	4	5	6	7
52	Haparanda	0,58	20	2,0	0,10	40
53	"	"	"	"	0,05	"
54	"	"	"	"	0,02	"
55	Haparanda	0,41	20	0,5	0,10	41
56	"	"	"	"	0,05	"
57	"	"	"	"	0,02	"
58	Haparanda	0,41	20	1,0	0,10	42
59	"	"	"	"	0,05	"
60	"	"	"	"	0,02	"
61	Haparanda	0,41	20	2,0	0,10	43
62	"	"	"	"	0,05	"
63	"	"	"	"	0,02	"

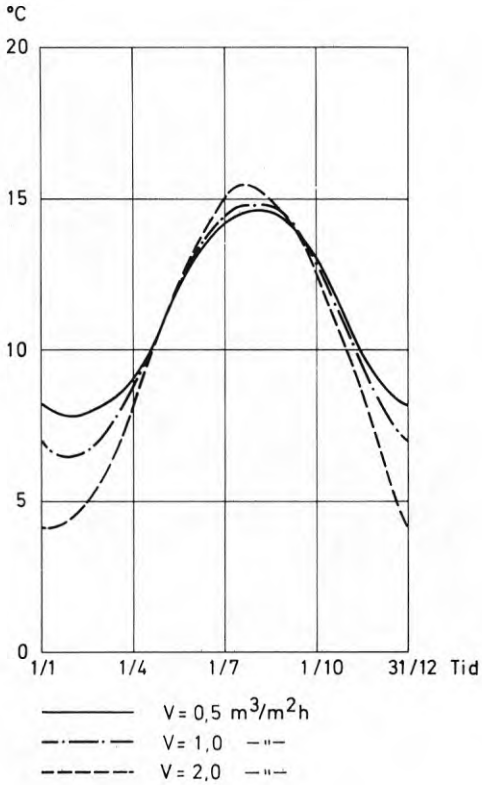


FIG. 17.

Beräknade lufttemperaturer i kryprum som ligger till grund för beräkningsfallen 1-9 resp.

Ort: Lund

Värmegenomgångstal för bjälklaget:

$k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

$V = \text{ventilationsgrad.}$

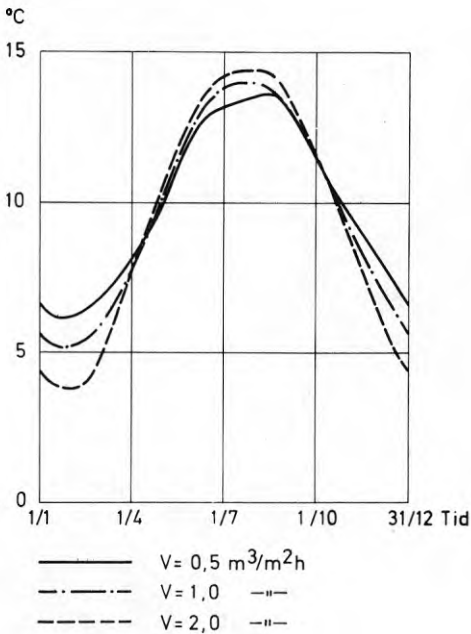


FIG. 18.

Beräknade lufttemperaturer i kryprum som ligger till grund för beräkningsfallen 10-18 resp.

Ort: Lund

Värmegenomgångstal för bjälklaget:

$k = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

$V = \text{ventilationsgrad.}$

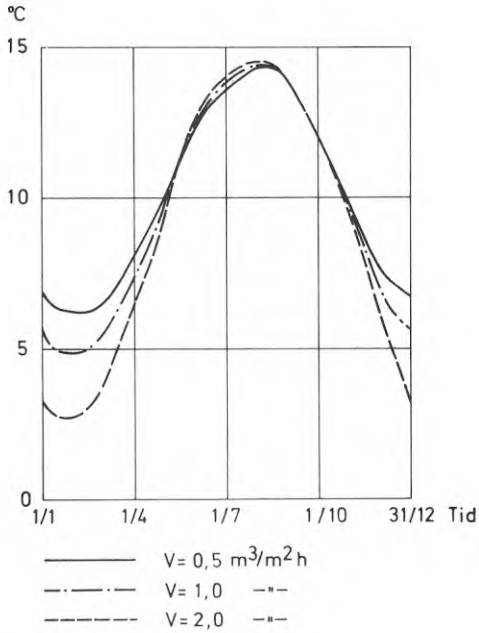


FIG. 19.

Beräknade lufttemperaturer i kryprum som ligger till grund för beräkningsfallen 19-36 resp.

Ort: Stockholm
 Värmeegenomgångstal för bjälklaget:
 $k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 $V =$ ventilationsgrad.

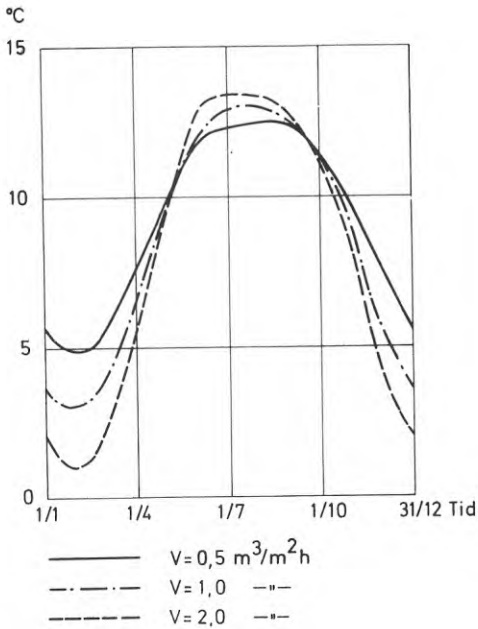


FIG. 20.

Beräknade lufttemperaturer i kryprum som ligger till grund för beräkningsfallen 37-45 resp.

Ort: Stockholm
 Värmeegenomgångstal för bjälklaget:
 $k = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 $V =$ ventilationsgrad.

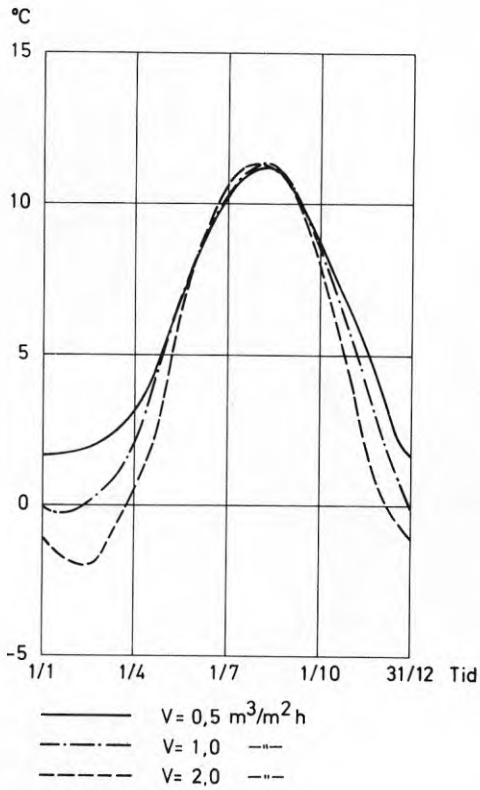


FIG. 21.

Beräknade lufttemperaturer i kryprum som ligger till grund för beräkningsfallen 46-54 resp.

Ort: Haparanda
 Värmeegenomgångstal för bjälklaget:
 $k = 0,58 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 $V =$ ventilationsgrad.

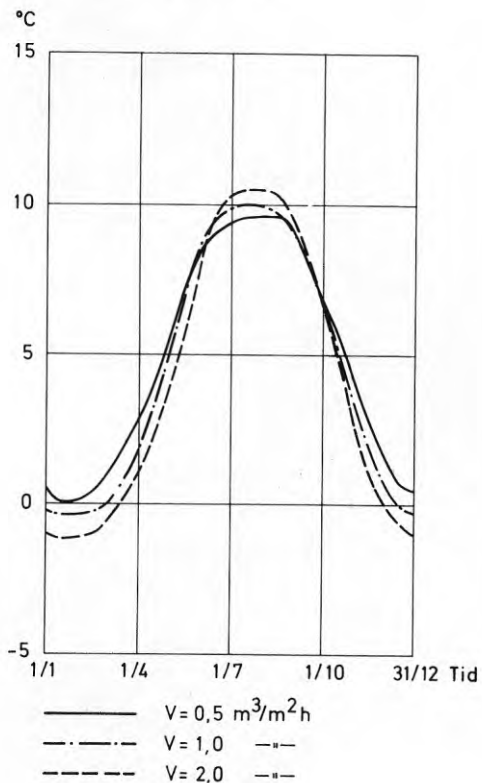


FIG. 22.

Beräknade lufttemperaturer i kryprum som ligger till grund för beräkningsfallen 55-63 resp.

Ort: Haparanda
 Värmeegenomgångstal för bjälklaget:
 $k = 0,41 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 $V =$ ventilationsgrad.

Resultat av beräkningar av
fuktbalansen i kryprum

Relativ luftfuktighet

Beräknade relativa luftfuktigheter i kryprum för de olika beräkningsfallen redovisas i FIG. 23-43. Relativa fuktigheten redovisas för år 1 och 2 samt för år 5 efter det att byggnaden uppförts. Vid beräkningarna har förutsatts att byggnaden färdigställts så att uttorkning påbörjas den 1 januari år 1. Det har också antagits att temperaturen i kryprummet varierar periodiskt för ett normalår redan när huset uppförts. Detta innebär som tidigare framhållits att i synnerhet under första året temperaturen i själva verket är lägre än under följande år. Uttorkningen blir därför beräkningsmässigt större första vintern än vad som normalt torde bli fallet i praktiken.

I flertalet fall beräknas huvuddelen av byggfukten ha torkat efter ca 2 år. De redovisade värdena för luftfuktighet avser sålunda under de två första åren förhållandena medan uttorkning av gasbetongbjälklag över kryprum pågår. Det förutsatts att fuktjämvikt råder år fem. Den beräknade relativa fuktigheten för år fem kommer därför att variera årsperiodiskt. Värdena då är också praktiskt taget oberoende av materialet i bjälklagskonstruktionen. De kan alltså antas gälla för såväl gasbetong- som betong- eller träbjälklag. Analysen av resultaten kan på så sätt göras generell.

I varje figur finns tre kurvor inritade. De avser olika fuktförhållanden i kryprummen. Helledragen kurva avser "våta" kryprum - beräkningsmässigt har 10 % av marken förutsatts vara en fri vattenyta. Streckad kurva avser "fuktiga" kryprum - 5 % av marken utgör fri vattenyta. Streckprickad kurva avser "torra" kryprum - 2 % av marken utgör fri vattenyta. Inverkan av fuktförhållandena i kryprummet på luftfuktigheten i varje konstruktionsfall kan sålunda direkt jämföras.

Av figurerna kan utläsas att fuktförhållandena - främst på marken i kryprummen - som väntat har mycket stor betydelse

för relativa fuktigheten i kryprum. I synnerhet i kombination med ringa ventilation av kryprummen blir luftfuktigheten mycket hög hela året. Se t.ex. FIG. 23, 26, 29 och 32. Ventilationen har också stor betydelse för klimatet i kryprummen vilket framgår tydligt om t.ex. FIG. 23, 24 och 25 jämförs med varandra. Dessa figurer avser Lund. Motsvarande resultat erhålls om jämförelsen görs för orterna Stockholm eller Haparanda.

Under de första åren påverkar byggfukten i hög grad relativa fuktigheten i kryprummen. Vid låg ventilationsgrad dröjer det flera år innan byggfukten torkat och årsperiodiska fuktförhållanden erhålles. För Stockholm har fuktbalansen beräknats för två olika bjälklagstjocklekar för gasbetong nämligen 15 resp. 20 cm. Jämförs exempelvis FIG. 30 och 33 som har samma beräkningsförutsättningar med undantag av bjälklagstjockleken finner man att under de två första åren är relativa fuktigheten lägre när bjälklaget endast är 15 cm tjockt. Efter uttorkning, år 5, däremot blir luftfuktigheten oberoende av bjälklagstjockleken. Vid beräkningarna har förutsatts att bjälklaget har samma isolergrad trots olika tjocklek på gasbetongen.

Olika isolergrad hos bjälklaget påverkar även fuktbalansen i kryprummet. Vid högre isolergrad fås lägre temperatur i kryprummet. Den lägre temperaturen innebär att luften inte kan innehålla lika mycket fukt varför relativa fuktigheten blir högre vid oförändrat vatteninnehåll.

Skillnaden i relativ fuktighet mellan Lund, Stockholm och Haparanda är relativt liten vid i övrigt lika randvillkor. Efter uttorkning är skillnaden den att amplituden för den årsperiodiska fuktvariationen blir större i norra än i södra Sverige. Vid torra välventilerade kryprum blir relativa fuktigheten vintertid regelmässigt omkring ca 60 % i norra Sverige mot ca 70 % i södra Sverige vid i övrigt lika förhållanden. Under sommaren når den i båda fallen regelmässigt över 90 %.

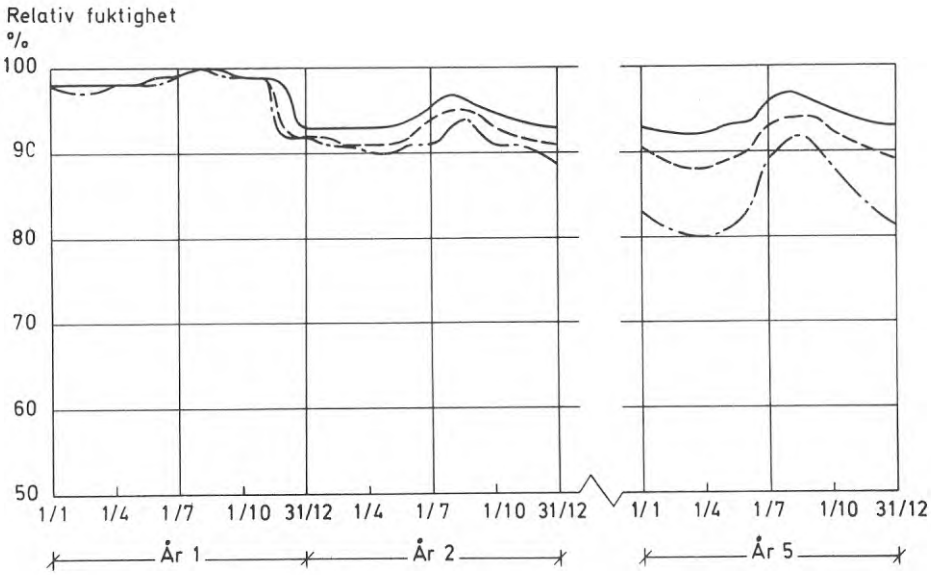


FIG. 23.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 1-3.

Lund - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_p = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

- | | | |
|---------------|-------------|--------------------|
| heldragen | - "våta" | (beräkningsfall 1) |
| streckad | - "fuktiga" | (" 2) |
| streckprickad | - "torra" | (" 3). |

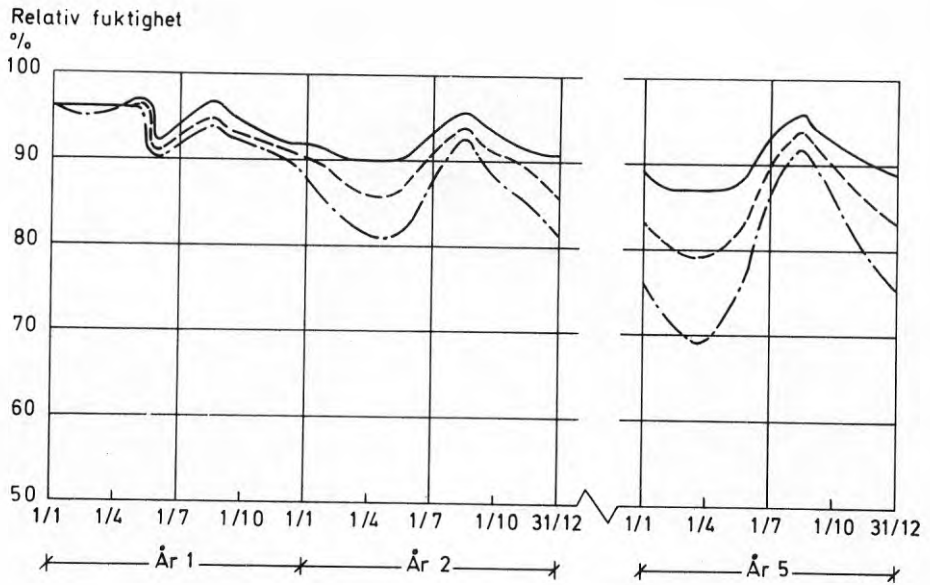


FIG. 24.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 4-6.

Lund - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_D = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 4)

streckad - "fuktiga" (" 5)

streckprickad - "torra" (" 6).

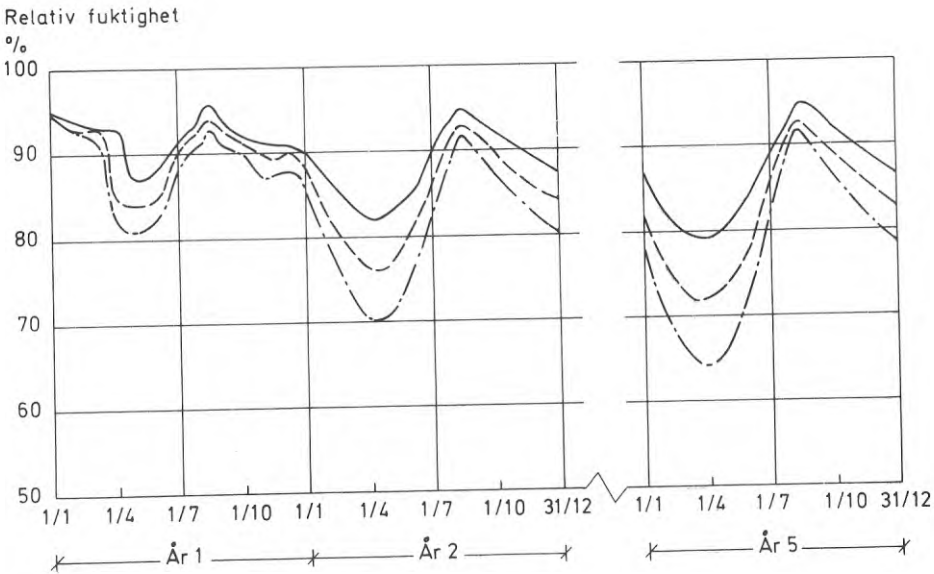


FIG. 25.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 7-9.

Lund - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
 Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$
 Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:
 heldragen - "våta" (beräkningsfall 7)
 streckad - "fuktiga" (" 8)
 streckprickad - "torra" (" 9).

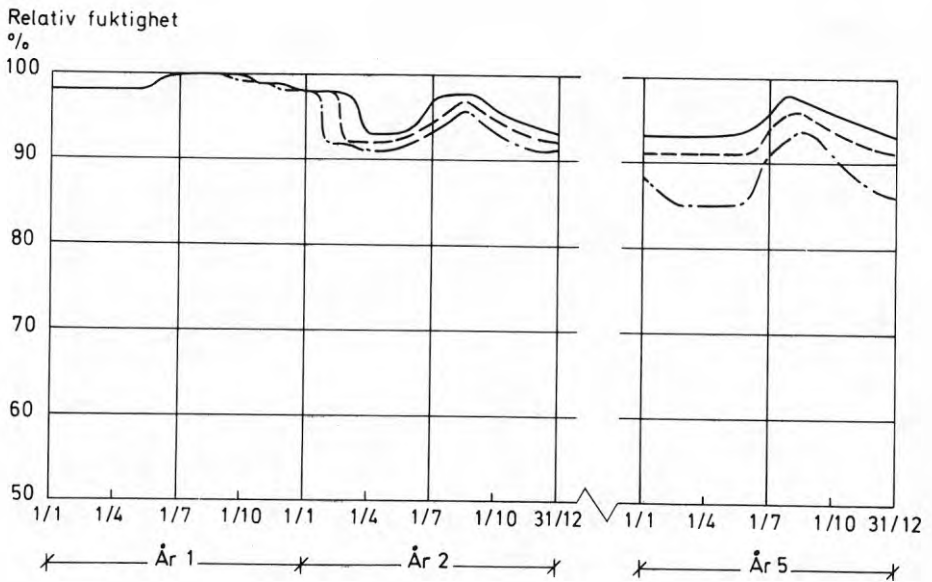


FIG. 26.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 10-12.

Lund - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 10)

streckad - "fuktiga" (" 11)

streckprickad - "torra" (" 12).

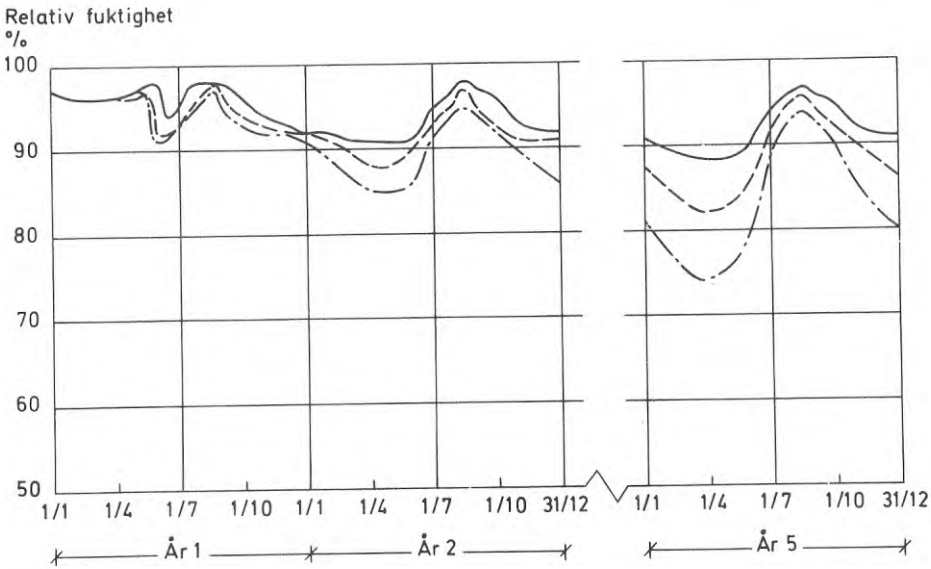


FIG. 27.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 13-15.

Lund - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, m^2

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 13)
streckad	- "fuktiga"	(" 14)
streckprickad	- "torra"	(" 15).

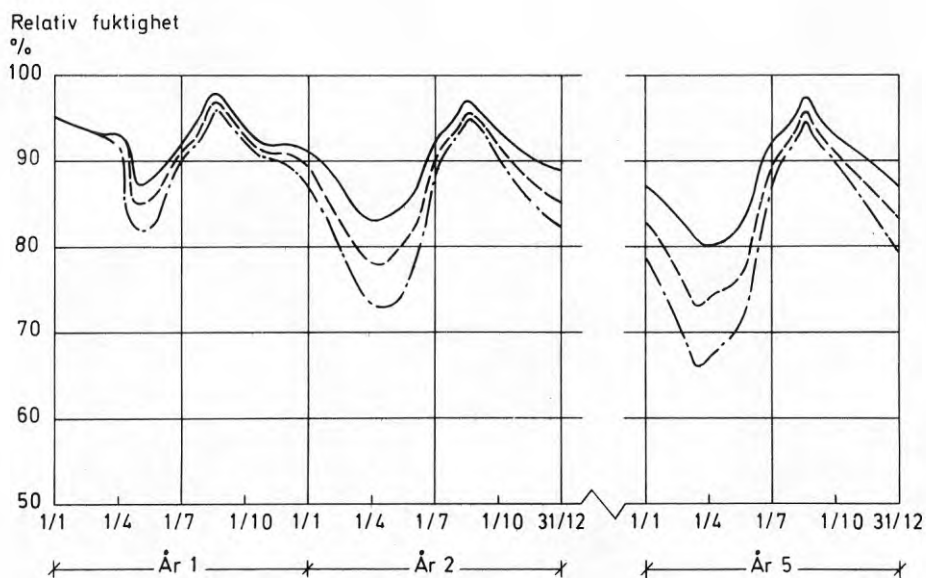


FIG. 28.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 16-18.

Lund - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 16)
streckad	- "fuktiga"	(" 17)
streckprickad	- "torra"	(" 18).

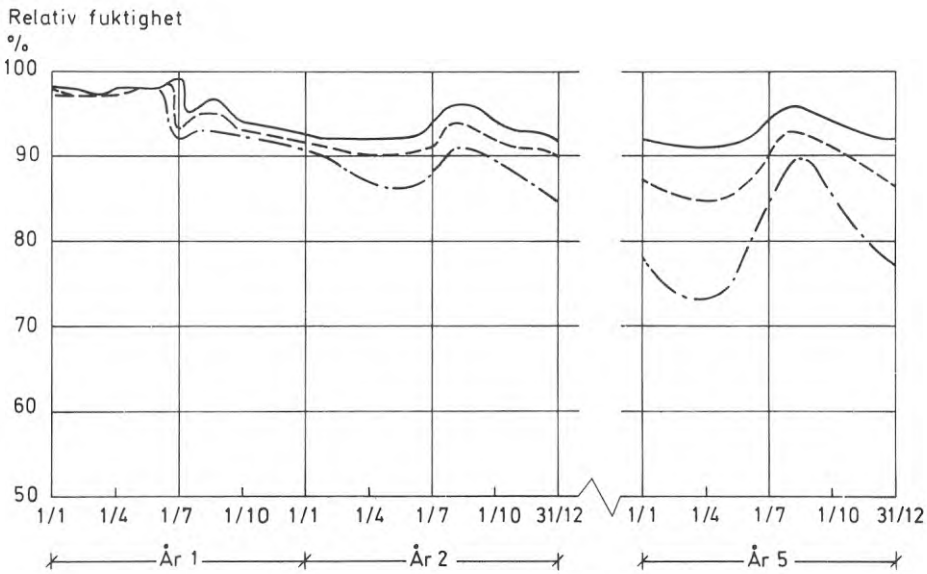


FIG. 29.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 19-21.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 15 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

- | | | |
|---------------|-------------|---------------------|
| heldragen | - "våta" | (beräkningsfall 19) |
| streckad | - "fuktiga" | (" 20) |
| streckprickad | - "torra" | (" 21). |

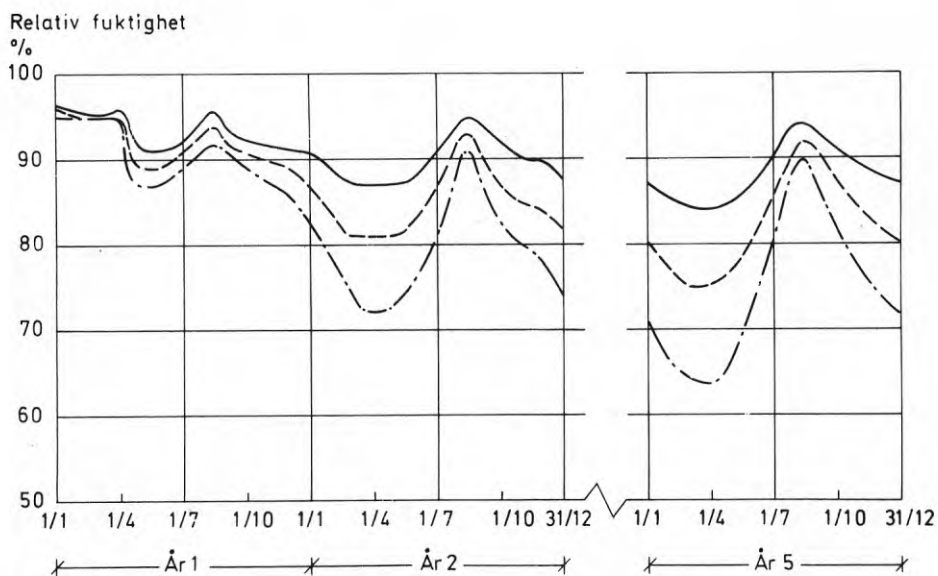


FIG. 30.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 22-24.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 15 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 22)

streckad - "fuktiga" (" 23)

streckprickad - "torra" (" 24).

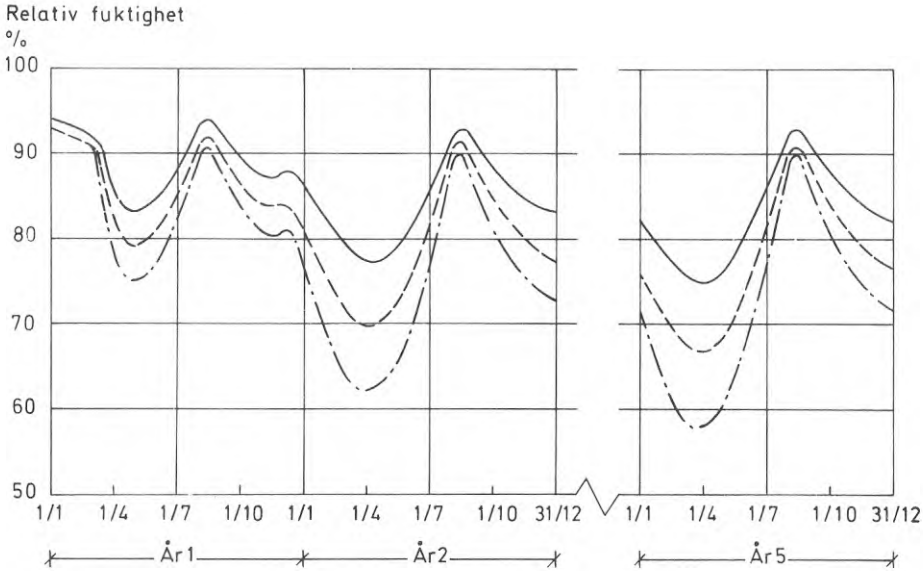


FIG. 31.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 25-27.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 15 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 25)
streckad	- "fuktiga"	(" 26)
streckprickad	- "torra"	(" 27).

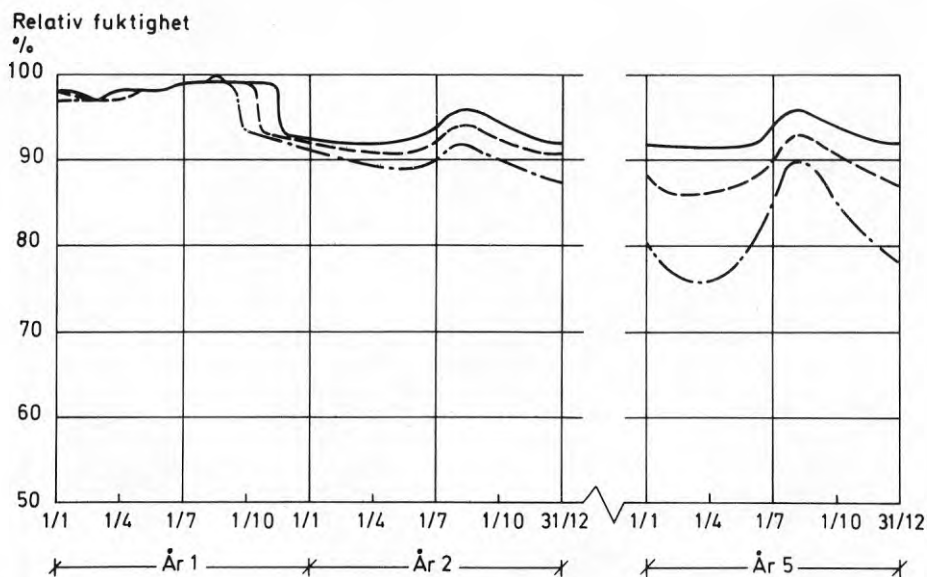


FIG. 32.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 28-30.
Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 28)
streckad	- "fuktiga"	(" 29)
streckprickad	- "torra"	(" 30).

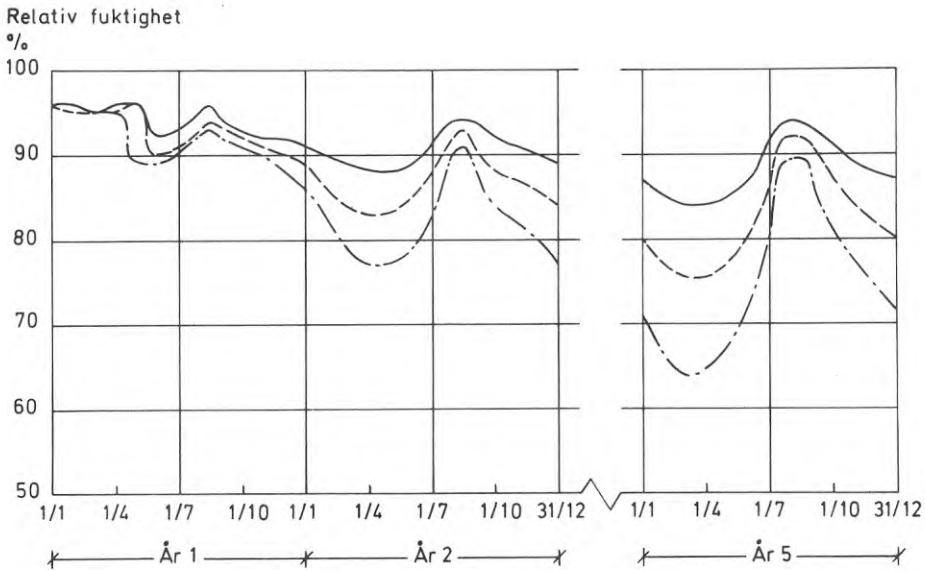


FIG. 33.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 31-33.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, m^2

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 31)
streckad	- "fuktiga"	(" 32)
streckprickad	- "torra"	(" 33).

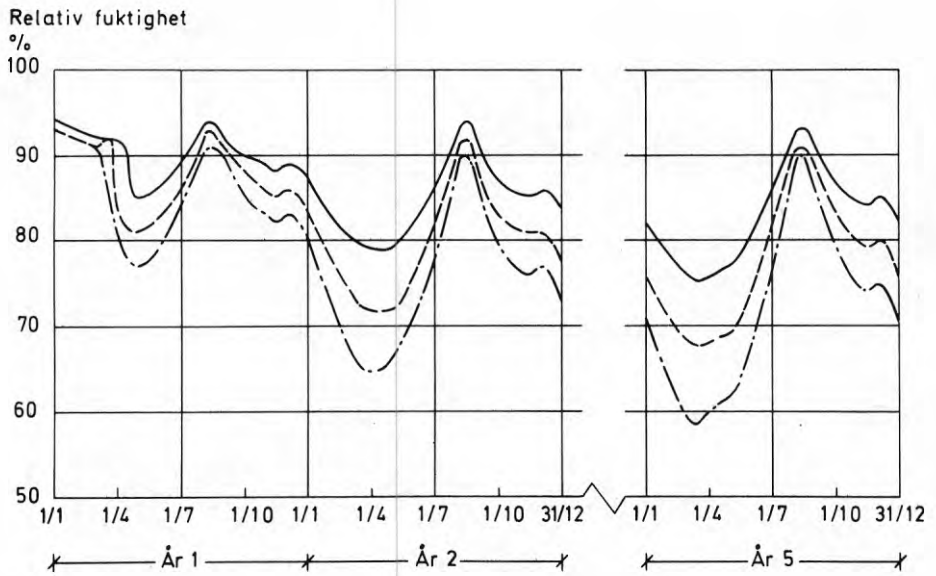


FIG. 34.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 34-36.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_D = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

- | | | |
|---------------|-------------|---------------------|
| heldragen | - "våta" | (beräkningsfall 34) |
| streckad | - "fuktiga" | (" 35) |
| streckprickad | - "torra" | (" 36). |

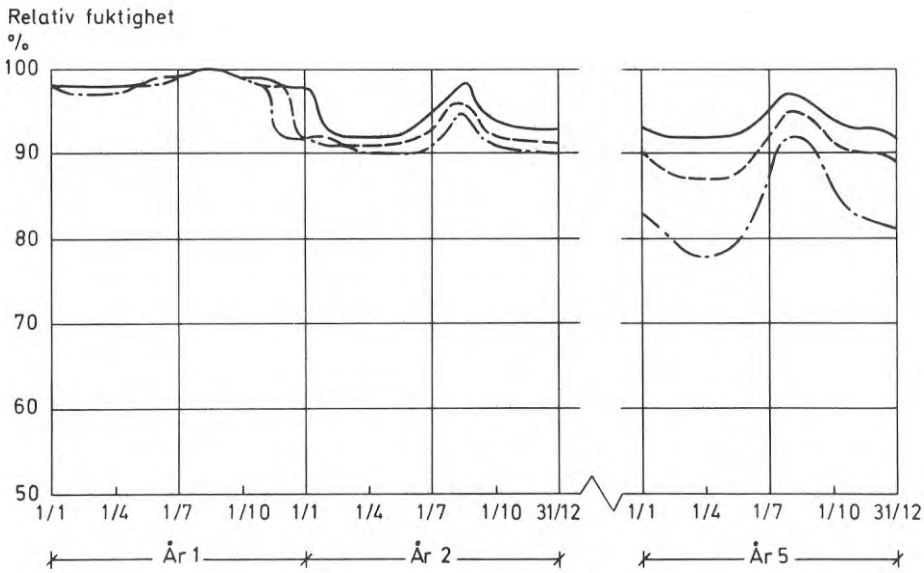


FIG. 35.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 37-39.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 37)

streckad - "fuktiga" (" 38)

streckprickad - "torra" (" 39).

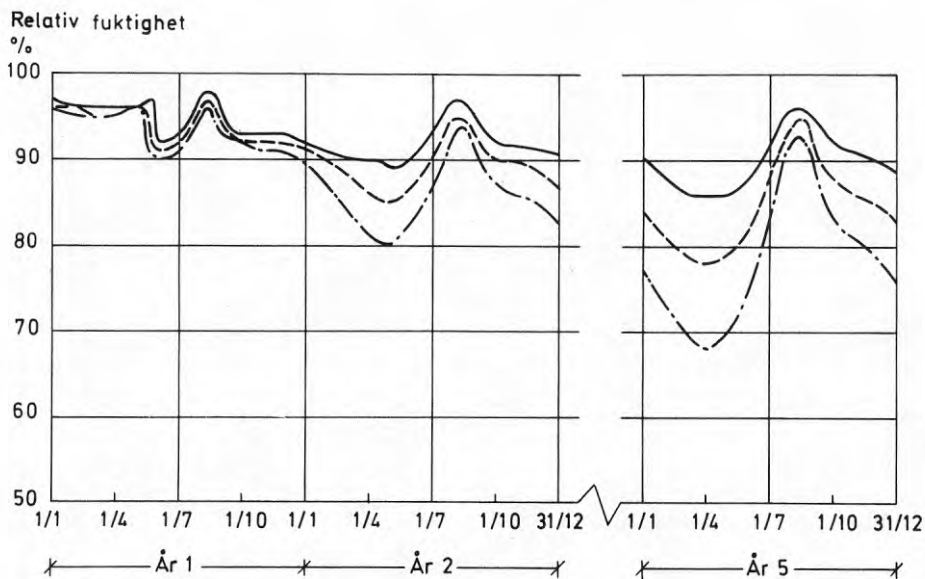


FIG. 36.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 40-42.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 40)
streckad	- "fuktiga"	(" 41)
streckprickad	- "torra"	(" 42).

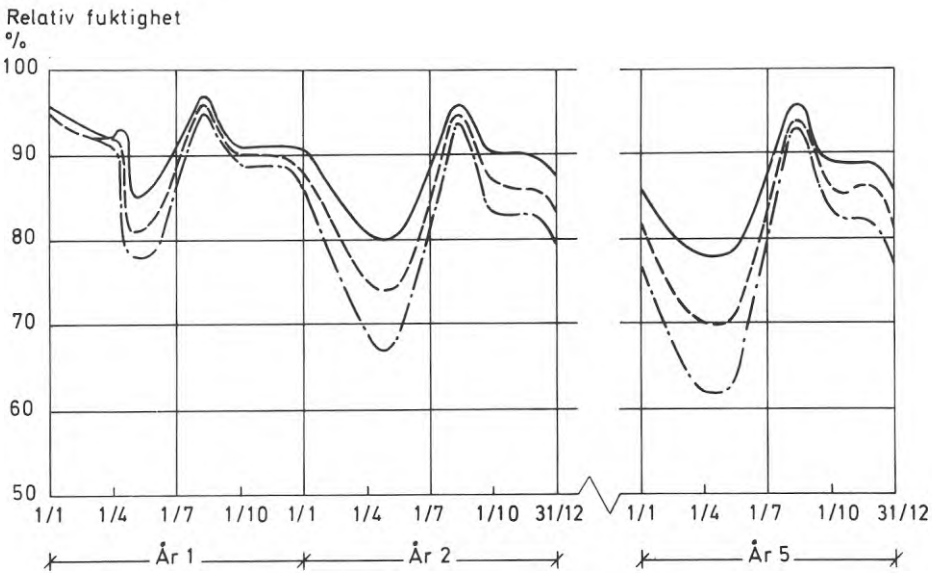


FIG. 37.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 43-45.

Stockholm - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 43)

streckad - "fuktiga" (" 44)

streckprickad - "torra" (" 45).

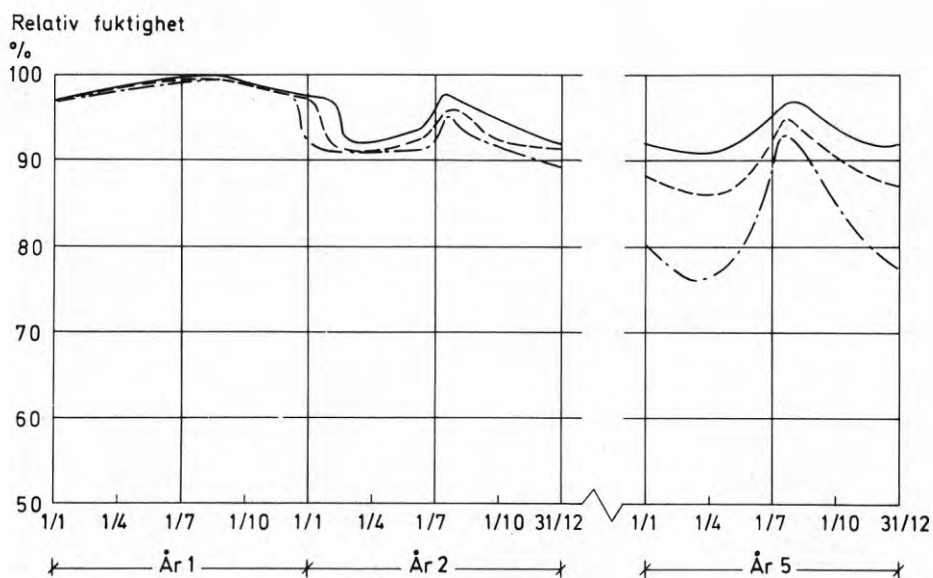


FIG. 38.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 46-48.

Haparanda - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 46)

streckad - "fuktiga" (" 47)

streckprickad - "torra" (" 48).

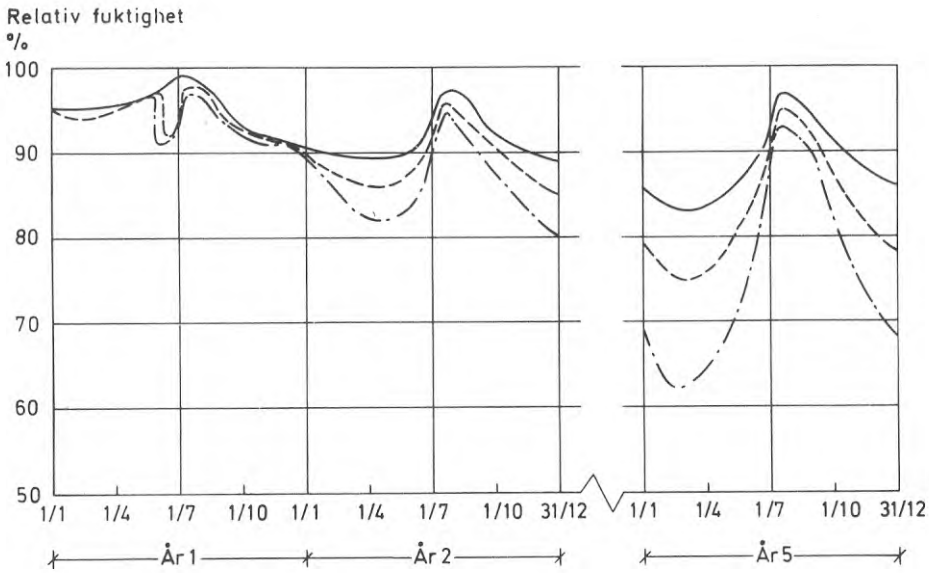


FIG. 39.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 49-51.

Haparanda - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$, m^2

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 49)

streckad - "fuktiga" (" 50)

streckprickad - "torra" (" 51).

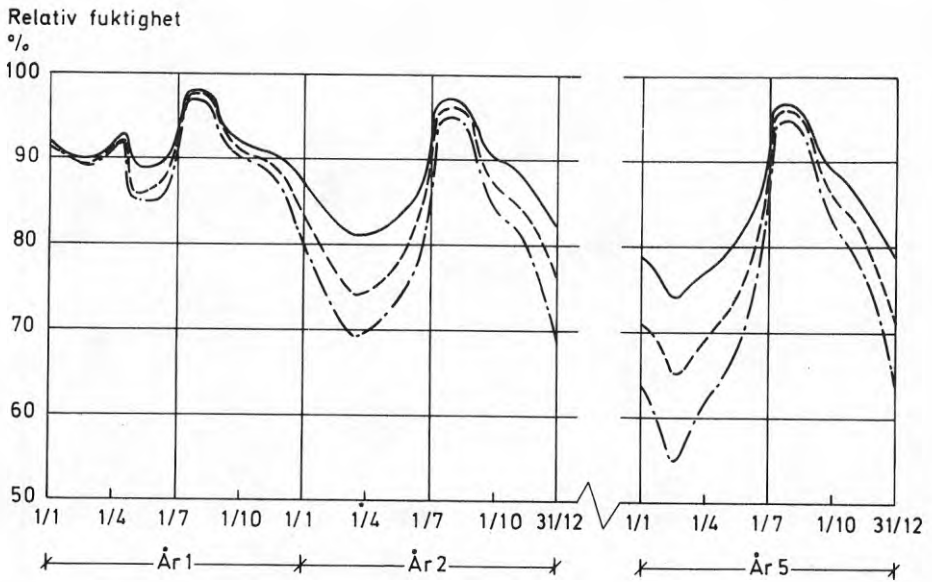


FIG. 40.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 52-54.

Haparanda - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 52)

streckad - "fuktiga" (" 53)

streckprickad - "torra" (" 54).

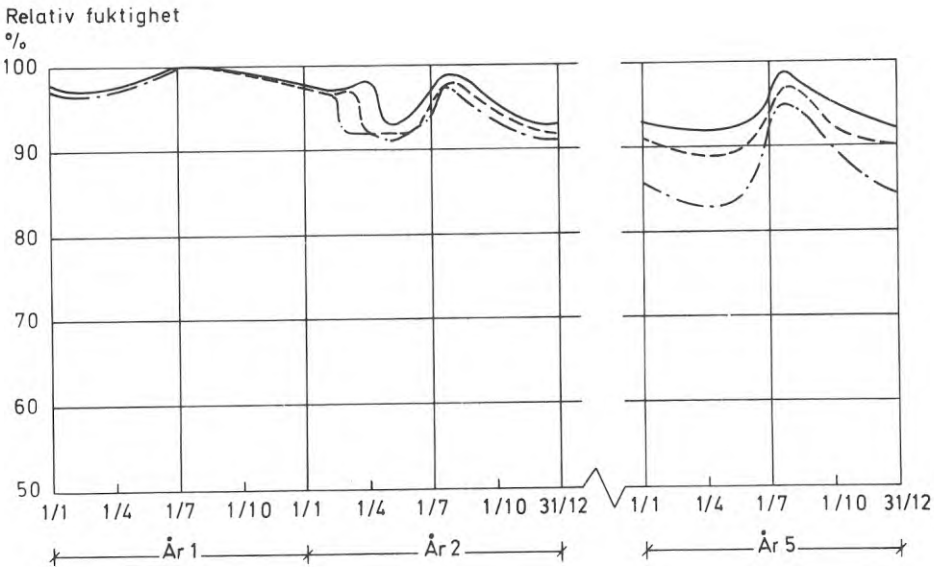


FIG. 41.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 55-57.

Haparanda - normalårstemperaturer.

Bjälkklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 55)

streckad - "fuktiga" (" 56)

streckprickad - "torra" (" 57).

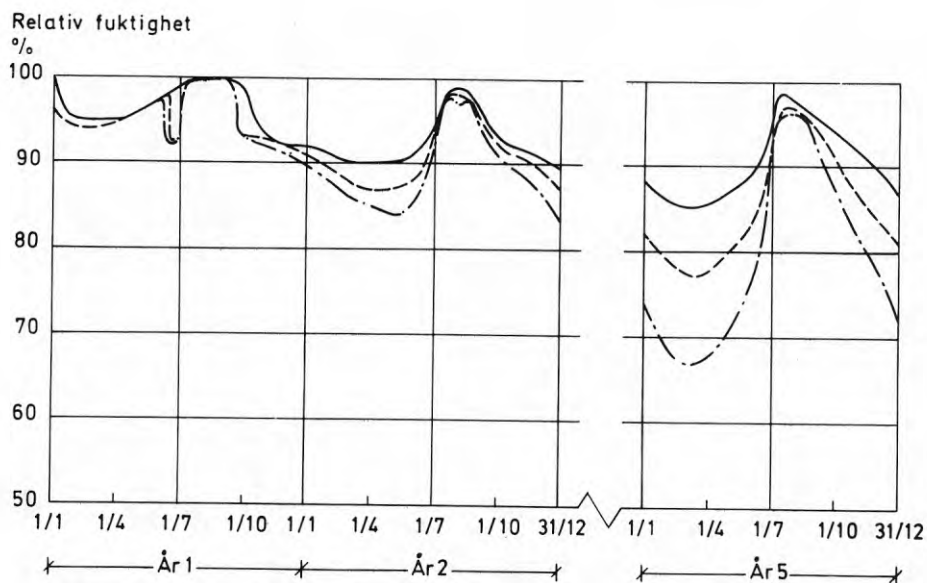


FIG. 42.

Relativ fuktighet i kryprum enligt beräkningsfall 58-60.

Haparanda - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Kryprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

heldragen - "våta" (beräkningsfall 58)

streckad - "fuktiga" (" 59)

streckprickad - "torra" (" 60).

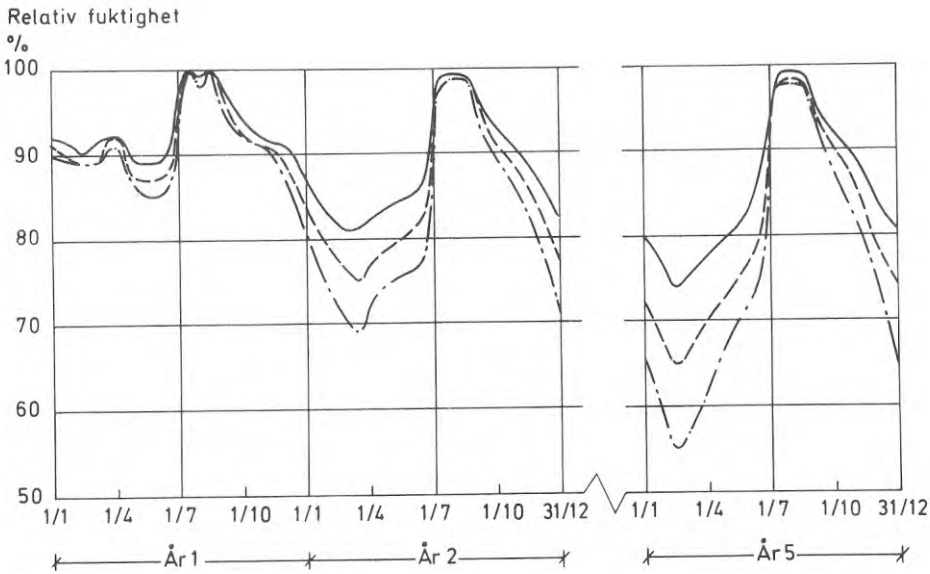


FIG. 43.

Relativ fuktighet i krypprum enligt beräkningsfall 61-63.

Haparanda - normalårstemperaturer.

Bjälklagets värmegenomgångstal: $k_b = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Tjocklek för gasbetongbjälklag: $d = 20 \text{ cm}$

Krypprumsventilation per m^2 bjälklagsyta: $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ m}^2$

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i krypprum:

heldragen	- "våta"	(beräkningsfall 61)
streckad	- "fuktiga"	(" 62)
streckprickad	- "torra"	(" 63).

Uttorkning av gasbetongbjälklag

Som angivits i det föregående har fuktflödet från bjälklaget och bjälklagets medelfuktkvot beräknats enligt en approximativ metod vid varje tidssteg. För varje beräkningsfall har uttorkningen av bjälklaget sålunda beräknats. I FIG. 44-48 ges exempel på beräknade fuktkvoter för gasbetongbjälklag. Med hänsyn till beräkningsförutsättningarna bör i första hand olika faktorerers inverkan på uttorkningsförloppet analyseras. I andra hand och med mindre precision bör absolutvärdena gälla. För samtliga beräkningsfall gäller att gasbetongen förutsattes ha en begynnelsefuktkvot av 35 viktprocent och att fukten är jämnt fördelad i bjälklaget. Uttorkningen har börjat 1 januari år 1.

I FIG. 44 visas beräknade uttorkningsförlopp för 20 cm tjocka gasbetongbjälklag vid tre olika värden på ventilationen, 0,5 1,0 och 2,0 m³/h och m². Förutsättningarna är i övrigt identiska i de tre beräkningsfallen och redovisas i figurtexten. Av figuren framgår klart att uttorkningen fördröjs avsevärt vid så låg ventilation som 0,5 m³/m²·h. Efter två år är fuktkvoten oacceptabelt hög med den låga ventilationen. Beräkningarna visar också att ännu efter 5 år har inte all byggfukt torkat. Fuktkvoten har beräknats till ca 8 %. Om ventilationen är 1,0 eller 2,0 m³/m²·h är skillnaden i uttorkning märkbar endast de första åren. Därefter erhålls praktiskt taget lika jämviktsfuktkvoter. Beräkningarna antyder att vid torra markförhållanden kan ventilationen 1,0 m³/m²·h vara tillräcklig för att uppnå tillfredsställande uttorkning. Omkring 1 januari år 3 når man fuktkvoten 10 viktprocent. Rostskyddet på armeringen är då i allmänhet alltjämt effektivt. Å andra sidan har vid beräkningarna gynnsammare uttorkningsförhållanden antagits än de som i praktiken normalt förekommer. En ventilationsgrad mellan 1,0 och 2,0 kan därför erfordras under uttorkningstiden. Värdet 2,0 m³/m²·h bör vara lämpligt riktvärde vid dimensioneringen av ventilationen eftersom det är svårt att exakt förhandsbestämma erforderlig ventilationsgrad. Beräkning-

arna visar också att ventilationsgraden $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ kan godtas när uttorkning väl skett. Fukttillståndet i bjälklaget påverkas endast marginellt av en sådan sänkning av ventilationsgraden.

I FIG. 45 visas hur uttorkningen påverkas av fuktförhållandena i själva kryprummet. Är marken i kryprummet våt eller fuktig förlängs självfallet uttorkningstiden. Vid "våta" förhållanden kommer fuktjämvikten för gasbetongen dessutom att ligga så högt att risken för korrosionsskador är stor. Beräkningarna visar hur väsentligt det är för uttorkningen att marken i kryprummet hålls så torr som möjligt.

Mängden byggfukt påverkar självfallet uttorkningstiden. Vid beräkningarna har hänsyn till detta tagits genom att för i övrigt lika förutsättningar anta olika bjälklagstjocklek. I FIG. 46 visas uttorkning av gasbetongbjälklag med olika tjocklek och vid olika fuktförhållanden. Vid lika fuktförhållanden tar uttorkningen något längre tid för det tjockare bjälklaget. Tidsskillnaden blir olika när under året jämförelsen görs. Beräkningarna tyder på att 20 cm gasbetong kan ta ca ett halvår längre tid för att torka än 15 cm gasbetong vid i övrigt lika randvillkor.

Uteklimatets inverkan på uttorkningen belyses av kurvorna i FIG. 47 och 48. I dessa visas nämligen uttorkningen för tre olika klimat - Lunds, Stockholms och Haparandas - vid i övrigt lika förutsättningar. I FIG. 47 har bjälklaget lägre isolergrad, $k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, än i FIG. 48, där $k = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Den lägre isolergraden hos bjälklaget medför att kryprummet får högre temperatur vilket i sin tur påskyndar uttorkningen. Jämförs korresponderande kurvor i de båda figurerna framgår detta tydligt. Det yttre klimatet däremot inverkar endast obetydligt på uttorkningshastigheten. Uttorkningen synes ske något snabbare i stockholmsklimat än i haparanda- eller lundaklimat. I Haparanda är utetemperaturen vintertid så låg att ventilationsluften har relativt liten kapacitet att borttransportera fukten. I Lund är vintertemperaturen visserligen högre än i Stockholm men normalt är luften fuktigare, se

FIG. 15, vilket kan förklara olikheterna i uttorknings-
hastighet mellan Lund och Stockholm.

Viktprocent

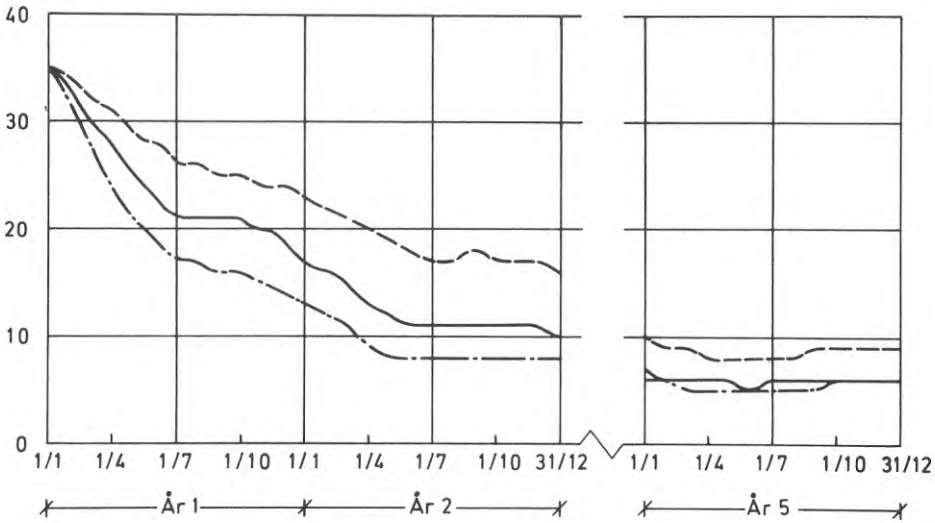


FIG. 44.

Beräknat uttorkningsförlopp för gasbetongbjälklag över kryprum vid olika ventilationsgrad.

Värdena gäller för stockholmsklimat, 20 cm tjocka gasbetongbjälklag med värmegenomgångstal $k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ och torra markförhållanden.

Kurvorna avser 3 olika ventilationsgrader i kryprum:

- | | |
|---------------|---|
| streckad | - $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (beräkningsfall 30) |
| heldragen | - $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (" 33) |
| streckprickad | - $V = 2,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ (" 36). |

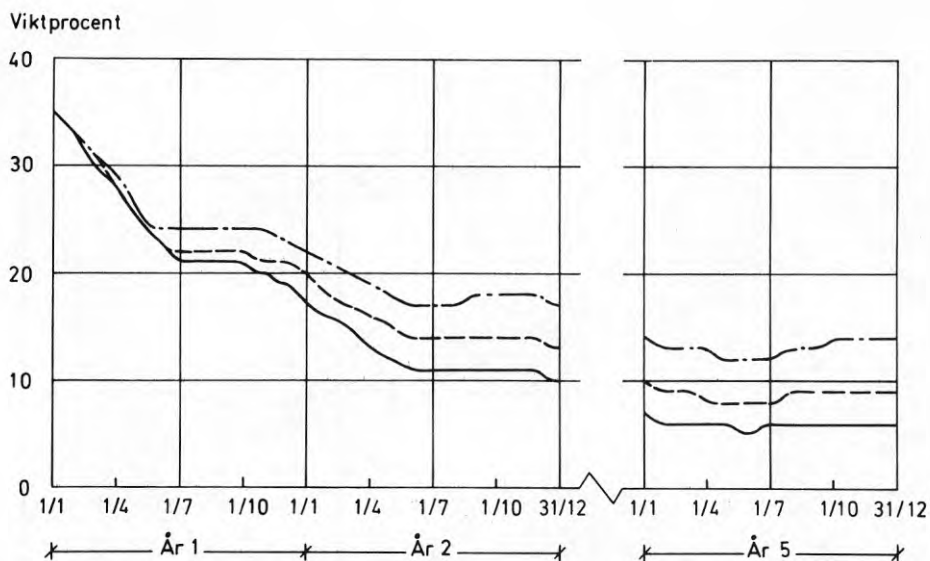


FIG. 45.

Beräknat uttorkningsförlopp för gasbetongbjälklag över kryprum vid olika fuktförhållanden i kryprum.

Värdena gäller för stockholmsklimat, 20 cm tjocka gasbetongbjälklag med värmegenomgångstal $k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ och ventilation $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

Kurvorna avser 3 olika fuktförhållanden i kryprum:

- | | | |
|---------------|-------------|---------------------|
| heldragen | - "torra" | (beräkningsfall 33) |
| streckad | - "fuktiga" | (" 32) |
| streckprickad | - "våta" | (" 31). |

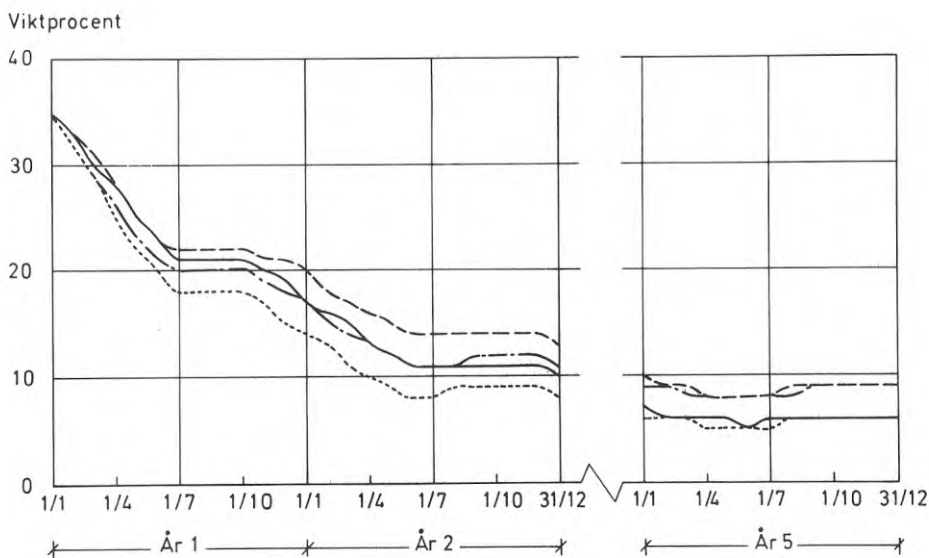


FIG. 46.

Beräknat uttorkningsförlopp för gasbetongbjälklag över kryprum vid olika bjälklagstjocklek och olika fuktförhållanden.

Värdena gäller för stockholmsklimat, ventilation $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ och värmegenomgångstal för bjälklagen i samtliga fall $k = 0,58 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{°C}$.

Heldragen kurva avser gasbetongtjocklek

$d = 20 \text{ cm}$ och "torra" kryprum (beräkningsfall 33).

Kortstreckad kurva avser likaledes "torra" kryprum men gasbetongtjocklek $d = 15 \text{ cm}$ (beräkningsfall 24).

Streckad kurva avser "fuktiga" kryprum och gasbetongtjocklek $d = 20 \text{ cm}$ (beräkningsfall 32).

Streckprickad kurva avser också "fuktiga" kryprum men gasbetongtjocklek $d = 15 \text{ cm}$ (beräkningsfall 23).

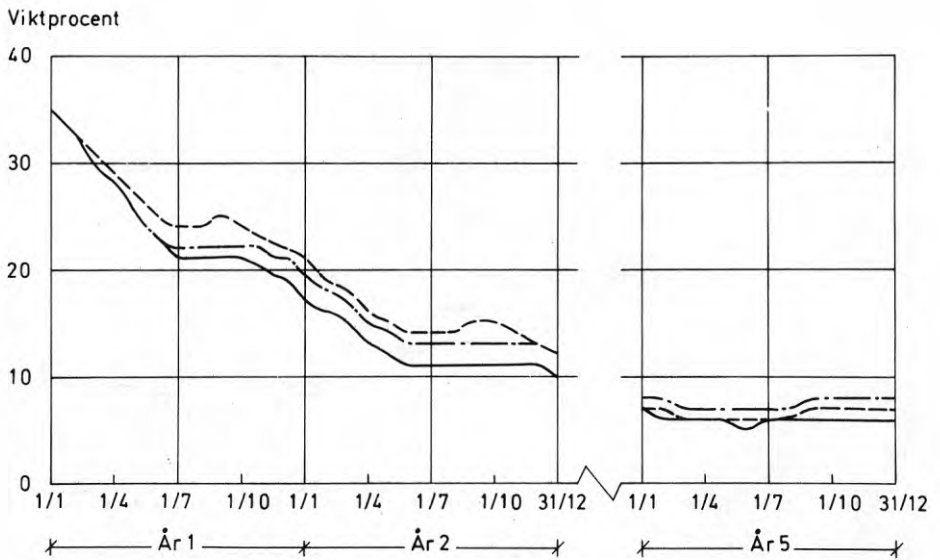


FIG. 47.

Beräknat uttorkningsförlopp för gasbetongbjälklag över kryprum vid olika klimat. Jämför FIG. 48.

Värdena avser 20 cm tjocka gasbetongbjälklag med värmegenomgångstal $k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, ventilation $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ och "torra" kryprym.

Heldragen kurva avser stockholmsklimat (beräkningsfall 33)
 streckad kurva avser haparandaklimat (" 51)
 streckprickad kurva avser lundaklimat (" 6).

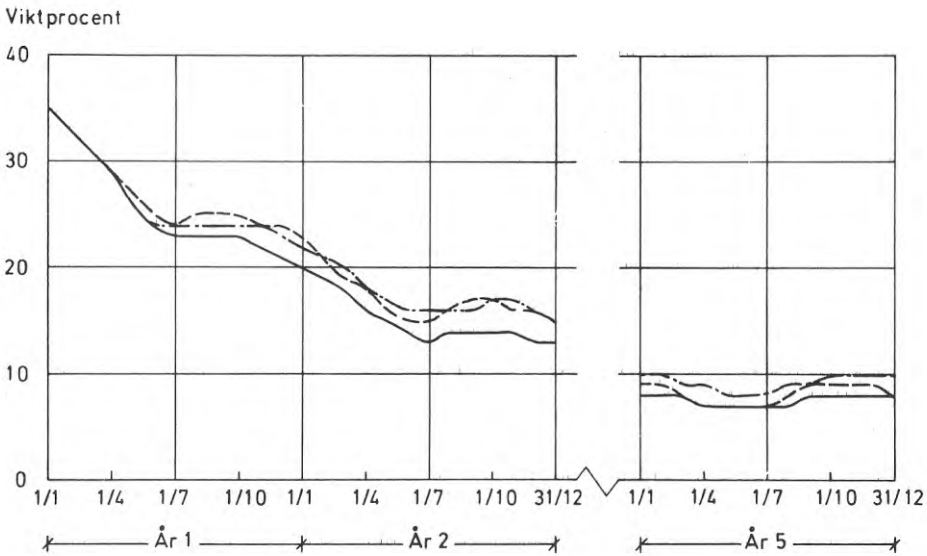


FIG. 48.

Beräknat uttorkningsförlopp för gasbetongbjälklag över kryprum vid olika klimat. Samma förutsättningar gäller som för resp. värden i FIG. 47 med undantag för att värmegenomgångstalet för bjälklaget $k = 0,41 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ i stället för $k = 0,58 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Värdena avser sålunda 20 cm tjocka gasbetongbjälklag, ventilationen $V = 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ och "torra" kryprum.

Heldragen kurva avser stockholmsklimat (beräkningsfall 42)
 streckad kurva avser haparandaklimat (" 60)
 streckprickad kurva avser lundaklimat (" 15).

RISK FÖR RÖTSKADOR PÅ TRÄVIRKE I KRYPRUM

Klimatbetingelser för rötsvampar

Det finns omkring 180 olika kända rötsvamparter, som kan förorsaka röta i hus och träkonstruktioner. Flertalet av dessa arter är svårbestämbara även för fackmännen. Endast ett fåtal svampar har emellertid sådan spridning att en beskrivning av dem motiveras. Endast några kortfattade karakteristika för de vanligaste och viktigaste rötsvamparna och deras tillväxtbetingelser ges i det följande. (Björkman, 1946; Rennerfelt, 1962.)

Vanligen skiljer man på tre huvudtyper av skador orsakade av

- a) krympningsröta (brunnröta, destruktionsröta)
- b) fläckröta (korrosionsröta)
- c) vitröta.

Krympningsrötan, som är den vanligaste röttypen i byggnader och även förekommer som skogsröta, kännetecknas av att veden krymper samman och spricker sönder tärningsformat. Veden brunfärgas och blir spröd. När denna röta sätter in förstörs cellulosan medan ligninet kan förbli intakt. Hållfastheten påverkas avsevärt och redan vid obetydliga angrepp kan hållfastheten ha minskat till hälften.

Som exempel på krympningsrötsvampar kan nämnas hussvampen (*Merulius lacrymans*). Denna har sitt tillväxtoptimum vid 30 % fuktkvot, dvs. strax över fibermättnadspunkten och kan utvecklas vid så låg fuktkvot som 17 %. Det senare värdet motsvarar träets jämviktsfuktkvot vid en relativ luftfuktighet av 80-90 %. Den temperatur när svampens tillväxthastighet är störst är ca 20-25°C. Se FIG. 49. Lägsta temperatur för tillväxt är ca +3°C. Tillväxten upphör vid temperaturer över +30°C. En stor fara med hussvampen är att den utbildar strängar som vanligen är 3-4 mm tjocka. Med strängarnas hjälp kan svampen sprida sig över långa avstånd och även över ytor ur vilka den inte kan hämta näring såsom väggar av stenmaterial. Strängarna kan nämligen transportera både näring och vatten vilket leder till att

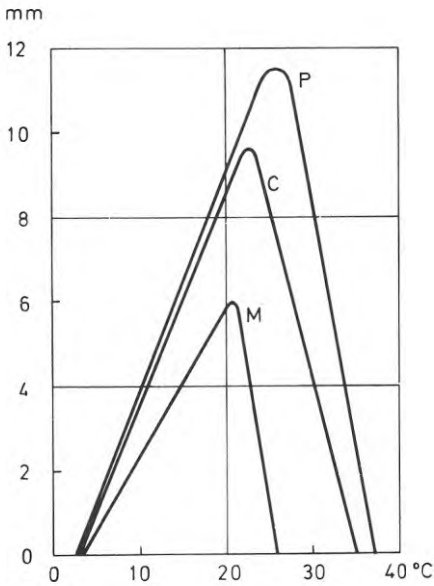


FIG. 49.

Daglig tillväxt hos mycel av hussvampen (M), källarsvampen (C) och mögeltickan (P) vid olika temperaturer. Rennerfelt (1962).

svampen kan förflytta sig från ett rum till ett annat i en byggnad eller t.o.m. från ett hus till ett annat.

Hussvampens mycelium orsakar en kraftig destruktionsröta i virket. Veden spricker upp i stora, vanligen från varandra skarpt avgränsade kuber. Veden blir spröd och förlorar snabbt sin styrka. I FIG. 50 visas virkesförlusten vid träklossförsök vid olika luftfuktigheter och vid en temperatur av $+22^{\circ}\text{C}$. Försöket pågick i fyra månader. Viktsförlusten vid 100 % luftfuktighet blev så stor som 17 %. Hussvampen kan således vid gynnsamma tillväxtbetingelser på mycket kort tid, ca ett halvår, orsaka att virket blir helt odugligt.

Källarsvampen (*Coniophora puteana*) är en annan vedförstörande brunrötesvamp i byggnadsvirke. Källarsvampens mycel tillväxer snabbast vid temperaturer ca $22-24^{\circ}\text{C}$ men kan växa vid temperaturer mellan $+3^{\circ}\text{C}$ och $+35^{\circ}\text{C}$. Den kräver hög fuktkvot i virket. Vid 50-60 % fuktkvot växer mycelet snabbast. Se FIG. 50 som visar virkesförlusten vid angrepp i olika klimat. Svampen fordrar fritt vatten i virket för att utvecklas. I enlighet med det kan den förekomma i ej uttorkade nybyggen eller invid vattenläckor som kan ge lokal hög fuktkvot i virket. Svampen växer endast så länge virket är fuktigt.

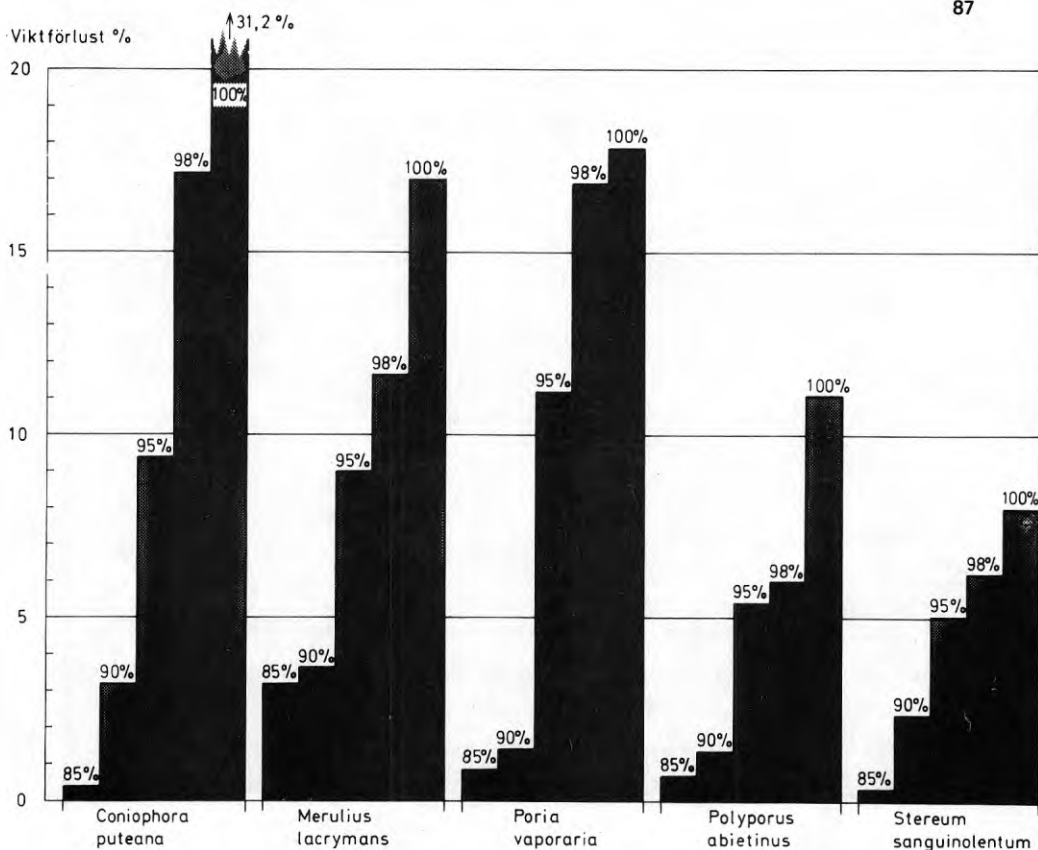


FIG. 50. Virkesförlust hos träcklossar som utsatts för angrepp av olika rötsvampar. Träcklossarna har utsatts för olika relativ luftfuktighet: 85 %, 90 %, 95 %, 98 % och 100 %. Temperaturen har varit +22°C och försöket har pågått i fyra månader. Efter Björkman (1946).

Källarsvampen kan åstadkomma en kraftig förstörelse av virket som spricker upp i kuber, vanligen mindre än vid hussvampangrepp.

Vid fläckröta angrips veden ojämnt. Ofta börjar angreppet i ligninet och cellulosan lämnas intakt. Vedens fiberstruktur bibehålls men de förvedade mittlamellerna är upplösta och en försämrad tryckhållfasthet blir följden. Denna typ av rötter framkallas av bl.a. lagringsrötsvampar som blödsjinn (*Stereum sanguinolentum*) och violticka (*Polyporus abietinus*) samt några s.k. stamrötessvampar i stående träd.

Vitrötter förekommer mest hos lövträ och karakteriseras av en likformig utbredning i veden som bleks kraftigt men förblir fast och seg. Lagringsröta hos lövträ orsakas av pur-

purskinn (*Stereum purpureum*), zonticka (*Polyporus zonatus*) m.fl. arter. Eftersom lövträ knappast används till konstruktionsvirke är denna typ av rötter av mindre intresse för kryprumskonstruktioner.

För att röttsvampar skall kunna etablera sig erfordras i allmänhet att temperaturen ligger i närheten av tillväxtoptimum. Dessutom krävs oftast att det finns fritt vatten. Om klimatet är gynnsamt förekommer det i allmänhet tillräckligt med sporer i luften för att svamparna skall kunna etablera sig.

Röttsvampars möjligheter att tillväxa i kryprum

I litteraturen redovisade undersökningar av olika röttsvampars tillväxt har praktiskt taget uteslutande avsett konstanta och väl definierade temperatur- och fuktighetsförhållanden. Såväl temperatur som relativ luftfuktighet varierar i kryprum mycket under året och även under dygnet. Det är därför något vanskligt att tillämpa erfarenheterna om röttsvamparnas tillväxt på trä i kryprum. I det följande görs dock ett försök att exemplifiera tillväxten för den äkta hussvampen (*Merulius lacrymans*).

Temperaturförutsättningar

Under ett s.k. normalår varierar temperaturen i ett kryprum med vanlig bjälklagsisolering och god ventilation från nära 0°C upp till drygt +15°C. I norra Sverige kan temperaturen sjunka några grader under 0 medan den i södra Sverige endast undantagsvis når ned till 0°C. På motsvarande sätt kommer den högsta temperaturen i södra Sverige att tidvis kunna överstiga +15°C medan den i norra Sverige normalt når endast obetydligt över +10°C. Se FIG. 17-22.

Den äkta hussvampen kan som nämnts växa vid så låg temperatur som +3°C. Under vintern kan kryprumstemperaturen bli för låg för tillväxt. Detta gäller främst i norra Sverige där den kan ligga under +3°C i flera månader. I södra Sverige däremot kommer temperaturen endast kortvarigt att understiga +3°C. Temperaturen i kryprum medger sålunda i

allmänhet tillväxt för denna typ av röttsvamp. Temperaturen blir dock knappast så hög - ca $+20^{\circ}\text{C}$ - att den närmar sig optimum för tillväxt.

Fuktighetsförutsättningar

Som redovisas såväl i beräkningar som från fältundersökningar varierar luftfuktigheten mycket i kryprum. Betydelsefulla faktorer för luftfuktigheten är temperaturförhållanden, markfukt och ventilation. Beräkningar och bestämningar visar att i kryprum med god ventilation och relativt torr mark kan relativa luftfuktigheten sjunka under 60 % vintertid. Under sommaren överstiger luftfuktigheten dock i regel 90 % oavsett hur torrt och välventilerat kryprummet än är. Särskilt i norra Sverige kan luftfuktigheten bli mycket hög sommartid - juli och augusti. Perioden med hög luftfuktighet kan möjligen förkortas genom att man förbättrar ventilationen och ser till att ingen avdunstning kan ske från markytan.

Bl.a. försök av Björkman (1946), FIG. 51, avseende vattenavgivning och vattenupptagning i träklossar, visar att trädets fuktkvot relativt snabbt upptar resp. avger fukt från luften. Redan efter 10-12 dagar tycks jämviktsfukt-

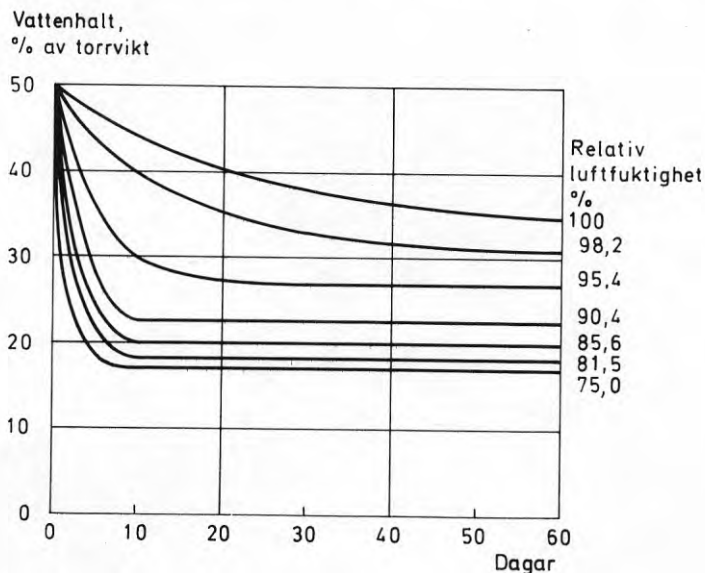


FIG. 51a.

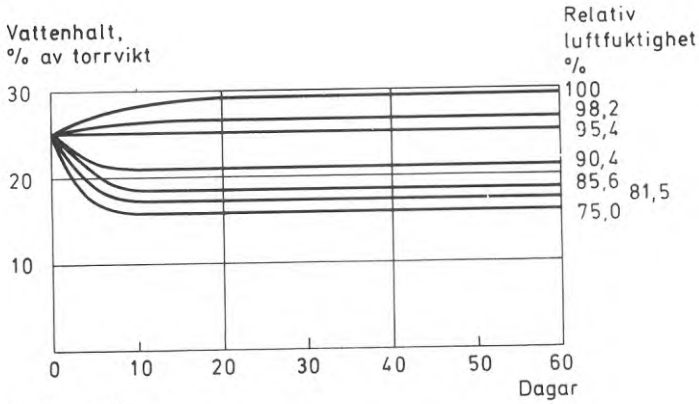


FIG. 51b.

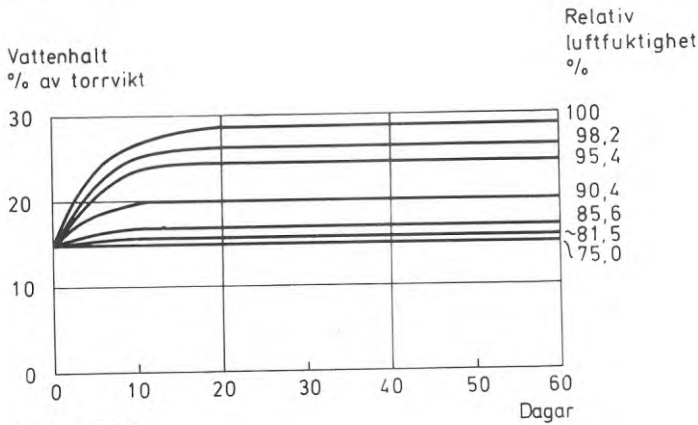


FIG. 51c.

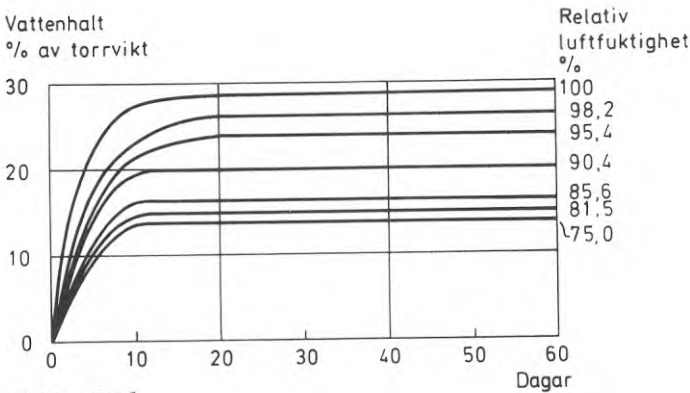


FIG. 51d.

FIG. 51a-d.

Vattenavgivning och vattenupptagning i små træklossar (35 x 15 x 10 mm) (tallsplint) med olika ursprunglig vattenhalt, förvarade vid olika relativ luftfuktighet under tre månader. Kurvans förlopp vid 100 % relativ luftfuktighet är inte med säkerhet korrekt, bl.a. beroende på svårigheten att åstadkomma konstant mättad luftfuktighet. Björkman (1946).

kvoter kunna uppnås. Även om ändträ tar upp och avger fukt betydligt snabbare än längsträ tyder detta på att åtminstone ytskiktet på trä som vetter mot kryprummet snabbt når jämvikt med luftfuktigheten i detta. Sålunda är under en del av året fuktigheten gynnsam för att den äkta hussvampen skall kunna tillväxa om den har etablerat sig. Hussvampens tillväxt ökar givetvis kraftigt med ökad fuktighet. Se FIG. 50. Försök av Björkman (1946) visar exempelvis att vid vissa givna försöksförhållanden blev virkesförlusten ca 3 % vid 85 % luftfuktighet. Vid 98 % luftfuktighet blev virkesförlusten så hög som ca 11,5 %.

Analys av samtidig inverkan av temperatur och luftfuktighet i kryprum

De försök som redovisas i litteraturen av röttsvampars tillväxt avser uteslutande undersökningar där endera variabeln temperatur eller luftfuktighet varierat. Resultat av samtidig variation redovisas inte. Ett försök har i det följande gjorts att medelst extrapolering få en uppfattning om rötområdet omfattning och utsträckning i tiden.

Temperatur- och fuktförhållandena är som visats sådana att tillväxt av röttsvampar kan befaras. Analyseras exempelvis beräkningar av temperatur och luftfuktighet för ett kryprum i Lund erhålles följande. Se FIG. 17 och 24.

Luftfuktigheten i kryprummet överstiger under ett normalår vid torra markförhållanden 90 % ca 1 månad, 85 % ca 3 mån. och 80 % ca 5 mån. Vid våta markförhållanden torde luftfuktigheten ständigt ligga över 85 % och över 90 % ca 3-4 mån. per år. Luftfuktigheten är högst när det är varmast i kryprummet. Temperaturen är närmare $+15^{\circ}\text{C}$ när luftfuktigheten överstiger 90 %. När luftfuktigheten även i det torra kryprummet ligger över 80 % är temperaturen över $+10^{\circ}\text{C}$. Vid lägre temperatur än $+10^{\circ}\text{C}$ och samtidigt lägre luftfuktighet än ca 80-85 % närmar sig kurvorna för svamparnas tillväxt snabbt värden nära noll. Därvid minskar tillväxten dramatiskt och kan försummas. En försiktig bedömning av den äkta hussvampens

tillväxt vid torra markförhållanden och vid relativt god ventilation av kryprummet tyder på en nedbrytning av virket med 1-2 % per år. Detta resultat visar att en förhållandevis långsam nedbrytning av virket och en långsam minskning av dess hållfasthet kan ske. Det kan dröja ett tiotal år innan svampangreppen medför allvarliga skador för byggnaden. Vid fuktiga eller våta markförhållanden och/eller vid dåligt ventilerade kryprum finns emellertid förutsättningar för en mycket snabb nedbrytning av virket om hussvampen etablerar sig.

Görs motsvarande temperatur- och fuktighetsanalys för kryprum i Haparanda finner man att temperaturen endast obetydligt överstiger $+10^{\circ}\text{C}$ under sommaren. Temperaturen är därför något låg för god tillväxt. Å andra sidan överstiger luftfuktigheten 90 % under sommaren och kan åtminstone kortvarigt närma sig 100 % även vid torra markförhållanden. Fuktförhållandena är då mycket gynnsamma för tillväxt hos rötsvampar. Bedömningsvis torde förutsättningarna för nedbrytning av trävirket vara ungefär desamma för kryprum i norra och i södra Sverige.

Konsekvenserna av dessa beräkningar, erfarenheter och bedömningar blir att trävirke som används i kryprum bör röttskyddas. Användning av oskyddat virke medför risk för husens goda bestånd. Invändningar mot denna slutsats kan vara att det finns ett stort antal äldre hus med kryppgrunder som till synes inte har några skador. Detta kan bero på att husen uppförts på torr och väl-dränerad mark och med väl ventilerade grunder. Virkesdimensionerna var kraftiga och i många fall användes kärnvirke som vad avser skydd mot röta kan jämföras med tryckimpregnerat virke. I äldre hus kan även ventilation genom trægolven ske. De var och är fortfarande ofta inte belagda ovanpå träet. Det finns exempel på att golv skadats efter beläggning med t.ex. PVC. Dessutom torde det förekomma många mindre skador som inte upptäckts.

AVDUNSTNING FRÅN MARKYTAN I KRYPRUM

Markplanering och dränering

Beräkningarna visar tydligt att marken i kryprummet bör hållas så torr som möjligt för att minska vattenavdunstningen i kryprum. I första hand måste en fri vattenyta inne i kryprummet undvikas. För att tillgodose detta primära krav måste stor vikt läggas vid dräneringssystem och markplanering intill och under huset. Vatten och fukt kan tillföras ett kryprum på flera olika sätt. Hög grundvattennivå eller för ytligt lagd dränering kan orsaka vattensamlingar. Många exempel finns där för lågt placerade ventiler ev. i kombination med felaktig markplanering lett till att ytvattnet speciellt från snösmältning helt enkelt rinner in i kryprummet. Vatten kondenserar tidvis på ytan av oisolerade kantbalkar. I några fall har konstaterats att kondensvatten ansamlats ovanpå ett plastfolieskikt. Läckning från ledningar har orsakat vattensamlingar ovanpå plastfolier.

Fukt kan också tillföras kryprummet genom kapillärtransport. I några objekt visar undersökningar att fin sand fyllts upp mot kryprummets kantbalk för att motverka jorderosion. Denna sand har kapillärt kunnat transportera fukt från utanför liggande mark och in till kryprummet.

Marken kring en byggnad bör planeras med lutning från huset. Flera fall av svåra rötskador på träbjälklag över kryprum syns ha orsakats av en kombination av dålig dränering, olämplig markplanering och av otillfredsställande ventilation. Undersökningar av sambandet mellan markplanering och fuktskador vid källarlösa hus visar att det förekommer färre fuktskador där marken lutar från byggnaden än där marken utförs med lutning mot byggnaden (Carlsson, 1964). Att markplaneringen blivit olämplig beror i en del fall på att gatunivån ej varit känd eller ens bestämd när husen byggdes.

Markplanering och dräneringssystem bör särskilt uppmärksammas vid s.k. sluttningshus. Planeringen på ovansidan

måste göras så att ett vattentryck inte uppstår mot grunden, dvs. det bör även på denna sida vara fall från huset närmast intill detta. Ett avskärande dike eller en dräneringsledning kan erfordras och utföras exempelvis enligt FIG. 52.

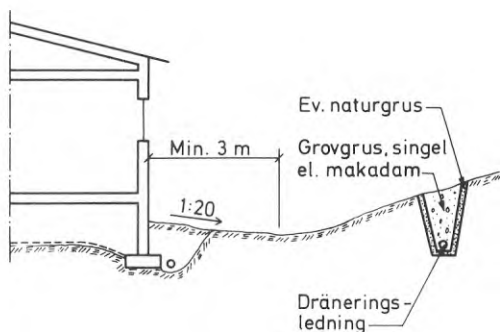


FIG. 52.

Om ett större terrängavsnitt lutar mot en byggnad och om marken har liten vattengenomsläpplighet kan ytvattenmängderna bli så stora att exempelvis ett avskärande dike erfordras. Ett sådant kan utföras enl. figuren, men kan alternativt utföras som ett grunt öppet dike. (Elmroth & Höglund, 1972b.)

Som inledningsvis framhållits används kryprumsgrundläggning ofta vid sank mark. På grund härav finns det risk att grundvattenytan kan komma att ligga mycket nära den ursprungliga markytan. I sådana fall är det synnerligen viktigt att marken inte nedschaktas för djupt inne i kryprummet. Det finns exempel på att en för djup nedschaktning har medfört att vatten tidvis stigit upp inne i kryprummet (Fyrhake & Lyng, 1968). Särskilt bör uppmärksammas att man vid sprängning av berg kan få odränerade fördjupningar där smältvatten m.m. kan rinna in och bilda små sjöar. Detta kan inträffa även vid relativt högt belägna hus och t.o.m. där markplaneringen utvändigt är god, se FIG. 53.

En dränering utförs normalt genom nedläggning av dräneringsledning runt huset omedelbart utanför grundmurarna. Ledningen skall då överallt ligga lägre än lägsta marknivån inne i kryprummet. I många fall kan det vara lämpligare att placera dräneringsledningen innanför grundmurarna om man återfyller med dränerande material kring dessa. Vid invändig placering måste dock grundmurarna utfö-



FIG. 53. Vattensamling i grund. Vattnet är klart och rent. Orsaken torde vara att dräneringsledningarna ligger för högt.

ras så att de inte skadas av fukt, t.ex. frostsprängning. Vidare måste åtgärder vidtas för att undvika att fukt kapillärt transporteras upp i bjälklaget. Som alternativ eller komplement till dränering vid grundmurarna kan dränering ske genom att en eventuell ledningsgrav i kryprummet utformas som ett dräneringsdike vilket ansluts antingen till övriga dräneringsledningar eller till byggnadens regnvattenavlopp. Ledningsgravar i gruppbyggda hus ligger ofta så lågt att de behöver separat dränering oberoende av om någon övrig dränering finns. I många skadefall har fritt vatten påträffats just i sådana ledningsgravar. De vanliga dräneringsledningarna har inte legat tillräckligt djupt.

Metoder att begränsa avdunstningen från markytan i kryprum

Uppfattningen att vid självdränerande mark och vid grundläggning på sprängstensfyllning dränering kan undvaras har i vissa fall visat sig felaktig. Vid grundläggning på utfyllning förekommer det att sprängstensmassorna blandats med kapillärsugande jordmaterial. Återfyllning kring grundbalkar görs ibland med fin sand som kapillärt kan

transportera in betydande mängder av fukt till kryprummet.

Avdunstningen från markytan kan begränsas på två principiellt olika sätt antingen genom att en fuktspärr av t.ex. plastfolie läggs på marken i kryprummet eller genom att marken isoleras med ett kapillärbrytande och värmeisolerande material. Funktionen hos de båda alternativen har studerats vid institutionen för byggnadsteknik, KTH, och redovisas i det följande.

Om kulvertar för värmeledningar ligger i marken under huset kan även torr mark avge åtskillig mängd fukt till kryprummet p.g.a. att marken uppvärms kraftigare än markytan. Risk finns därvid för ångdiffusion upp mot markytan. Om man alltså har värmeledningskulvertar i marken bör marken i kryprummet förses med ångtät fuktspärr av t.ex. plastfolie.

Fuktspärr på markytan.

Effekten av plastfolie på marken i kryprummet framgår av flera undersökningar. Hög luftfuktighet i ett kryprum till ett mindre hus föranledde undersökningar av förhållandena, se FIG. 54. (Höglund & Ottoson, 1961.) Då bjälklaget var av trä var risken för rötangrepp uppenbar. För att hindra fuktavgivning från marken lades plastfolie ut. Det gjorde att den relativa fuktigheten omedelbart sjönk från ca 80 % till ca 50 %. Samtidigt steg temperaturen i kryprummet och i de översta marklagren. Det kan förklaras av att värme tidigare bundits vid förångning av vattnet. Fuktspärren minskade således fukttillförseln från marken och höjde temperaturen i kryprummet. Mätningarna efter inläggning av plastfolie gjordes under en vinterperiod som normalt medför torrt klimat i kryprum. Mätresultaten överensstämmer väl med beräkningsfall 33, FIG. 33. Resultaten tyder på att plastfolien medfört att fukttillförseln till kryprummet från marken blivit mycket liten även om temperaturen enligt mätningarna är högre än vad som beräknats för fall nr 33, FIG. 19.

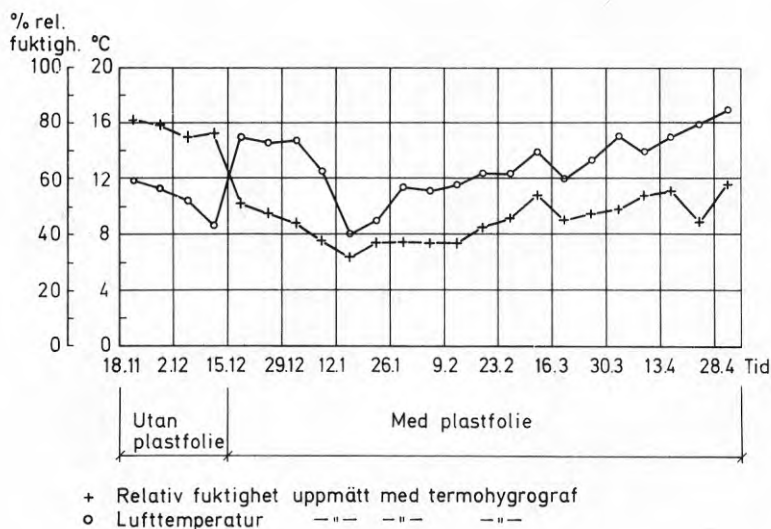


FIG. 54. Medelvärden för lufttemperatur och relativ fuktighet bestämd i ett kryprum i Täby. Omedelbart efter det att en plastfolie lagts ut på marken har den relativa fuktigheten sjunkit och lufttemperaturen stigit i kryprummet (enl. Höglund & Ottoson, 1961).

Ytterligare undersökningar utfördes i ett grupphusområde i Helsingborg. Husen var belägna på sank mark och omfattande rötskador hade inträffat i bjälklagen (se Elmroth & Höglund, 1970; och under rubriken "Fältundersökningar"). Mätningar hösten 1967 visade att den relativa luftfuktigheten var högre än 95 %. (FIG. 71.) I ett av husen lades då en plastfolie på marken för att begränsa avdunstningen från marken. Folien skyddades med ett ca 5 cm tjockt sandlager. Mätningar av temperatur och luftfuktighet i detta hus utfördes under en hel årscykel. FIG. 71.

Första våren (1968) efter inläggning av folie var effekten av åtgärden ännu rätt måttlig. Först hösten och vintern 1968-69 noterades en väsentlig nedgång av luftfuktigheten. Under vintern understeg luftfuktigheten tidvis 60 %. Sommartid översteg den under kortare perioder 90 %. Att luftfuktigheten våren 1968 var relativt hög berodde troligen på att sanden på folien inte var torr. Först efter det sanden torkat minskade avdunstningen från marken väsentligt.

En på riktigt sätt utlagd plastfolie kan således ha en mycket god effekt när det gäller att minska vattenavdunstningen från markytan i kryprummet och nedbringa fuktigheten i detta. De båda undersökningarna visar också att under sommaren kan luftfuktigheten åtminstone tidvis bli högre än 90 % trots att avdunstningen från marken begränsas.

För att plastfolien skall ha bästa möjliga verkan bör den läggas på avjämnat underlag och med fall mot dräneringen så att vattensamlingar ovanpå folien undviks. I annat fall blir effekten av folien en annan än den avsedda. Det har nämligen konstaterats vid inventeringar eller skadebesiktningar att det ofta förekommer större eller mindre vattensamlingar på folien. Skarvarna bör läggas med viss överlappning och hela folien bör helst skyddas med ett tunt lager torr sand (ungefär 5 cm), som kvarhåller folien då den beträds, se FIG. 55.



FIG. 55. *En plastfolie blir inte alltid utlagd på rätt sätt. Stora ytor kan bli utan folie antingen p.g.a. slarv vid utläggningen eller p.g.a. att arbeten utförs i grunden efter det att folien lagts ut varvid denna helt enkelt vikts undan eller följt med när man krupit i grunden. När folien ligger i ett "dike" som på bilden händer det alltför ofta att det samlas vatten ovanpå folien och sedan avdunstar och bidrar till att höja luftfuktigheten i kryprummet.*

Smärre punkteringar i folien torde å andra sidan inte medföra någon påvisbar försämring av fuktskyddet. De kan t.o.m. vara lämpliga för att förhindra vattensamlingar ovanpå folien i lågpunkter.

Folien bör inte dras fram ända till grundmurarna. På t.ex. oisolerade grundbalkar av betong kondenserar vatten vintertid. För att kondensvattnet inte skall rinna ned på folien bör denna sluta ett stycke från grundbalkarna. Där smältvatten eller regnvatten kan rinna in i grunden bör folien läggas så att vattnet kommer under den.

Kapillärbrytande och värmeisolerande material på markytan

En annan möjlighet att minska avdunstningen från marken som studerats vid institutionen för byggnadsteknik är att isolera denna i kryprummet med ett kapillärbrytande och samtidigt värmeisolerande material såsom lättklinker eller mineralull. Se Elmroth & Höglund (1970). En sådan ny principiellt annorlunda lösning beräknas medföra att markytans temperatur sänks vilket leder till att avdunstningen minskar. Dessutom torde under en stor del av året en temperaturgradient erhållas i isoleringen, som också bidrar till att minska vattenavdunstningen vid markytan. Funktionen hos en sådan isolering på marken har under längre tid studerats i några hus i Helsingborg.

Temperaturer har bestämts under ca 4 månader i ett provhus i Helsingborg. Marken i provhusets kryprum hade isolerats med ca 12 cm löst utfylld lättklinker som bedömdes uppfylla kraven på värmeisolering och kapillärbrytning. Temperaturer har bestämts över och under isolerskiktet på tre ställen i kryprummet: mitt under huset, intill grundmuren mitt på en långfasad och intill ett ytterhörn. Temperatur- och luftfuktighet har dessutom registrerats i kryprummet under lång tid, ca 3 1/2 år. Enbart temperatur- och luftfuktighet har mätts i ytterligare tre hus i samma område samt i ett hus där marken isolerats med 5 cm mineralull. Resultaten av dessa temperatur- och fuktbestämningar redovisas i avsnittet "Fältundersökningar".

Adamson et al. (1971) redovisar databeräkningar av temperaturer och värmeflöden för ett kryprum vid ett hus i Örebro. Huset är långsträckt. Marken i kryprummet har isolerats med en isolering som har värmemotståndet $1,72 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. Randvillkoren framgår i detalj av TAB. 2 och FIG. 56. De konstruktiva förutsättningarna är praktiskt taget desamma för husen i Helsingborg och Örebro. Klimatförutsättningarna är emellertid något olika. Adamson et al. (1971) förutsätter att utetemperaturen följer en cosinusfunktion där amplituden valts så att ytan mellan cosinuskurvan och 0°C -linjen skall vara lika med den största observerade köldmängden under 50 år. Det innebär att klimatet avser en sträng vinter följt av en varm sommar. Vid undersökningen i Helsingborg har uteklimatet praktiskt taget

TAB. 2. Förutsättningar enligt Adamson et al. (1971) för beräkning av värmeflöden och temperaturer vid tvådimensionell värmeströmning (lång byggnad).

Utetemperatur: Örebro	$\theta_u = 5,8 + 16,8 \cos \omega t$
Innetemperatur	$\theta_i = +20^\circ\text{C}$
Värmegenomgångstal för bjälklag	$k_{bj} = 0,582 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Värmegenomgångstal för sockel	$k \cdot h = 0,30 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
Värmemotstånd på vertikal del under mark	$m_1 = 0,99 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$
Värmemotstånd på horisontell mark i kryprum	$m_2 = 1,72 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$
Ventilation av kryprum	$V = 1 \text{ m}^3 \text{ per m}^2 \text{ bjälklagsyta}$
Jord: Lera I, volymvikt	$\rho = 1\,400 \text{ kg/m}^3$
Fuktkvot	$u = 20 \text{ viktprocent}$
Ofruset material, värmeledningstal	$\lambda = 1,05 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
Fruset material, värmeledningstal	$\lambda = 1,40 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
Smältvärme	$D = 25\,900 \text{ WH/m}^3$

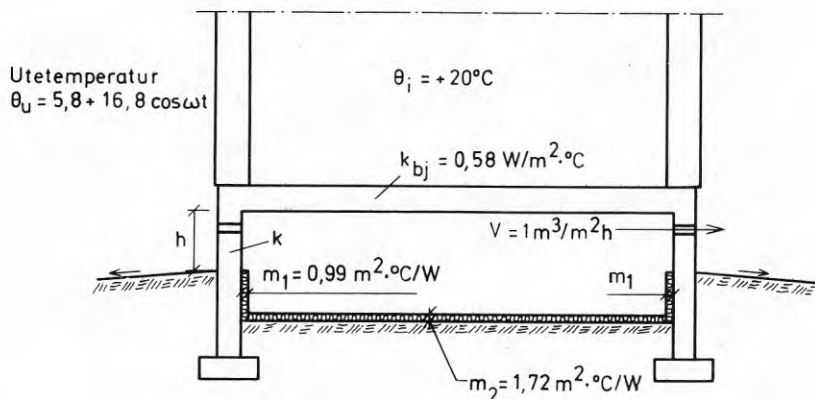


FIG. 56. Förutsättningar vid beräkning av kryprums-temperaturer enligt Adamson et al. (1971). Utetemperatur avser Örebro och marken i kryprummet har särskild värmeisolering.

efterliknat normalårets värden. Vid jämförelse mellan beräknade och uppmätta värden bör därför större hänsyn tas till temperaturkurvornas form än till de absoluta värdena.

Jämförelse mellan beräknade och uppmätta temperaturer

Temperaturer bestämda över resp. under isolerskiktet på marken i Helsingborg redovisas som månadsmedelvärden i FIG. 57a-c och 58. Temperaturgradienten i isolerskiktet har varierat medan försöken pågått dvs. 4 månader. Den har även varierat inom olika delar av grunden. I husets mitt har temperaturen under isolerskiktet varit högre än över skiktet vid en mätperiod av i genomsnitt ca 2 månader på senvintern. Övrig tid av mätperioden - såväl före som efter de nämnda två månaderna - har det varit varmare över isoleringen än omedelbart under densamma. Vid hushörnet har temperaturen under isolerskiktet hela tiden varit lägre än ovanför. Den kallaste månaden har temperaturen varit praktiskt taget densamma över och under isoleringen.

Intill husets ena långsida har temperaturer erhållits som ligger mellan de två övriga lägena. Det innebär att temperaturen varit högre under isoleringen än över densamma ca en månad. Resten av året har temperaturen varit högre över isolerskiktet.

FIG. 57a-c.

Resultat av temperaturbestämningar över resp. under markisolerung i kryprum i ett hus i Helsingborg. Marken har ett ca 12 cm tjockt isolerskikt av löst utfylld lättklinker. Bjälklaget har isolering av 10-15 cm kutterspån mellan träbjälkar och blindbotten av 5 cm träullsplattor. Kryprummet ventileras genom 7 ventiler. Luftomsättningar redovisas i TAB. 5 och avser hus A i tabellen.

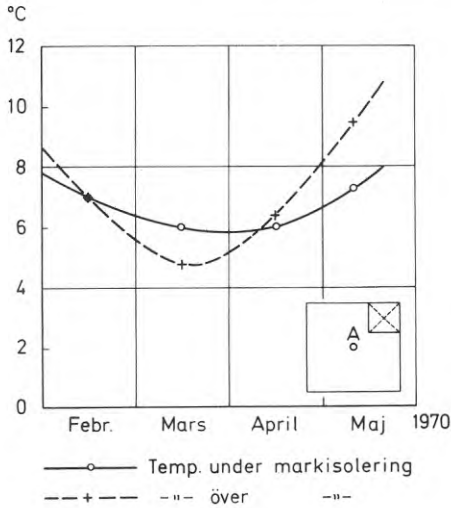


FIG. 57a. Temperaturer bestämda i läge A som är husets mitt. Under ca 2 månader har temperaturen varit högre under isoleringen än över.

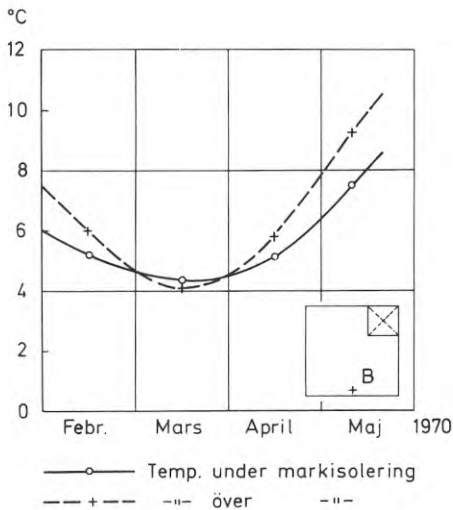


FIG. 57b. Temperaturer bestämda i läge B som ligger ca 0,5 m från grundmurens mitt. I mars har det knappast varit någon temperaturdifferens alls mellan isolerskiktets över- och undersida.

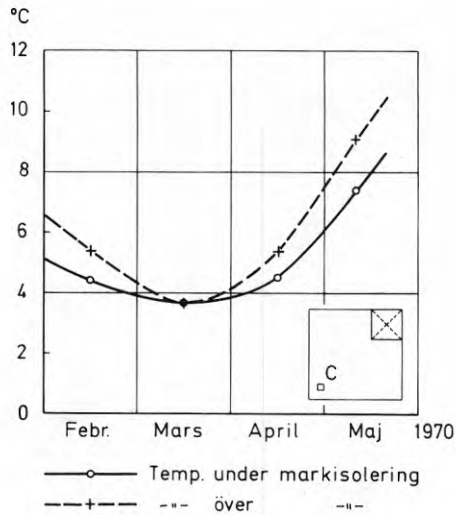


FIG. 57c. Temperaturer bestämda i läge C som ligger ca 0,5 m från hörn. Enligt dessa bestämningar är temperaturen praktiskt taget alltid högre över än under isolerskiktet.

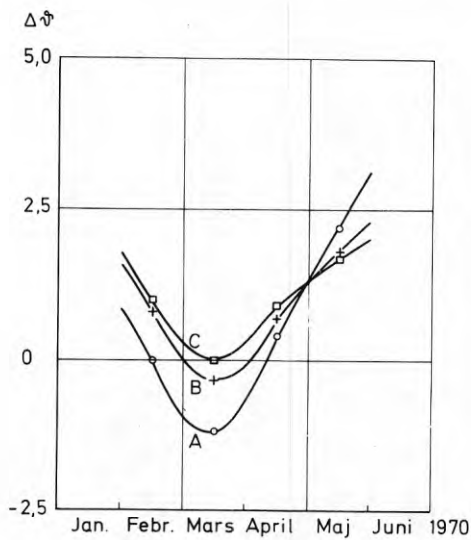


FIG. 58. Temperaturdifferens över isolerskiktet enligt FIG. 57a-c. Negativa värden innebär att det varit varmare under än över isolerskiktet.

Temperaturdifferensen över ett isolerskikt på marken enligt Adamsons et al. (1971) beräkningar redovisas i FIG. 59. Tre kurvor redovisas avseende temperaturdifferenser

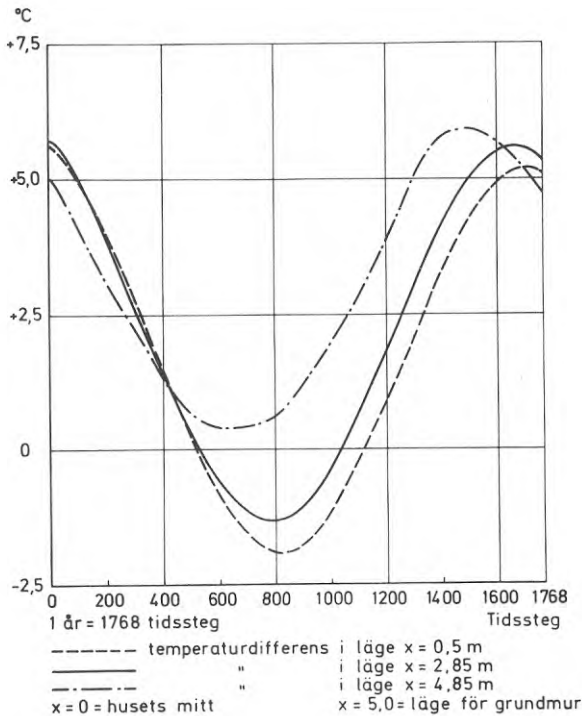


FIG. 59. Beräknade temperaturskillnader över markisoleringskikt med förutsättningar enligt TAB. 2, Adamson et al. (1971). Beräkningarna visar att i husets mitt temperaturen blir högre under isoleringen än över vid en mätperiod av några månader. Jämför uppmätta temperaturdifferenser enligt FIG. 58.

mitt under huset, ca 3 m från husets mitt och nära intill ena grundmuren. Resultaten visar att mitt under huset temperaturen under isoleringen blir högre än ovanför denna någon eller några månader av vintern. Intill grundmurarna är detta inte fallet. Nära dessa är därför värmeflödet hela tiden riktat utåt.

Det principiella utseendet på mina uppmätta och Adamsons beräknade temperaturkurvor stämmer bra överens. De numeriska värdena avviker dock något vilket kan förklaras av de redovisade olika yttre klimatförutsättningarna.

Följande slutsatser kan dras av såväl uppmätta som beräknade temperaturer. En markisolering i ett ventilerat kryprum medför att temperaturen höjs i kryprummet. Större delen av året är temperaturen i hela kryprummet högre ovan isolerskiktet än under. Mot senare delen av vintern medför markens värmekapacitet att temperaturen blir högre under isoleringen än över densamma i husets centrala delar. Intill kantbalkar och vid hörn är emellertid temperaturen hela tiden högre ovan isoleringen.

Isolerskiktet medför bl.a. följande från fuktsynpunkt om man förutsätter att isolermaterialet är kapillärbrytande, att ovansidan är helt öppen och att i gränsskiktet mellan markyta och isolering den relativa fuktigheten alltid är 100 %. Ångtransport från marken till kryprummet kan ske endast när ångkoncentrationen är lägre i kryprummet än vid markytan. Vid stationära förhållanden kan för olika temperaturdifferenser anges när sådan fukttransport kan ske. När temperaturdifferensen är 0 fås en viss ångtransport från marken till kryprummet så snart den relativa ånghalten är lägre än 100 % i kryprummet. Om temperaturen på marken i kryprummet under isoleringen med 1, 2, 4 eller 6°C understiger temperaturen i kryprumsluften sker fukttransport från marken först när relativa ånghalten i kryprummet understiger ca 95 %, ca 87 %, ca 77 % resp. ca 65 %. Värdena varierar något med absoluta temperaturen i kryprummet. En stor del av året är temperaturskillnaden större än 2°C varför man kan räkna med att praktiskt taget ingen fukttransport från marken till kryprummet kan ske förrän luftfuktigheten understiger ca 87 % i detta. När temperaturskillnaden är mindre eller negativ kan viss ångtransport förekomma från marken. Så kan bli fallet vintertid. Temperaturen är då emellertid låg under isolerskiktet, varför avdunstningen av denna anledning blir relativt måttlig. Vintertid har dessutom ventilationsluften goda förutsättningar att bortföra den avdunstade vattenångan.

En ringa avdunstning under vintern behöver därför inte medföra några väsentliga nackdelar.

Resultaten av långtidsregistreringarna av temperatur och relativ fuktighet redovisas i avsnittet "Fältundersökningar", FIG. 68 och 69. Av dessa figurer framgår att luftfuktigheten sjunkit markant efter inläggning av markisoleringsring i kryprummet. Vintertid har luftfuktigheten varit så låg som 60-70 %. Sommartid stiger den dock tidvis över 90 %. Jämförs de bestämda värdena med värdena från huset med plastfolie och sand, FIG. 71, finner man att sommarvärdena är praktiskt taget desamma. Under vintern har luftfuktigheten varit något lägre i kryprummet med plastfolie. Detta beror enligt ovan på att temperaturgradienten över isolerskiktet då är sådan att viss fukttransport kan förekomma genom skiktet. I FIG. 70 redovisas samtidiga registreringar av temperatur och luftfuktighet från ett annat hus i samma område vilket byggts på samma sätt som provhuset, dock har marken i kryprummet isolerats med mineralull i stället för med lättklinker. Det visar sig att lättklinkeralternativet i jämförelse med mineralullsalternativet medförde något torrare luft i kryprummet.

Sammanfattningsvis kan följande konstateras. Konstruktionsalternativet med kapillärbrytande värmeisolering på marken i kryprum synes medföra att avdunstningen från markytan begränsas väsentligt. För att omhänderta den avdunstning som ändå kan förekomma, främst vintertid, behövs endast obetydlig ventilation. En ventilationsgrad av ca $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta torde vara tillräcklig för att bortföra från markytan avdunstad vattenånga. Därutöver kan viss ventilationskapacitet behövas för att föra bort fukt från uttorkning, läckor och dylikt.

Den nya metoden med ett isolerskikt på marken synes ha flera fördelar framför plastfoliealternativet. Temperaturen i kryprummet blir något högre. Lös lättklinker är lätt att lägga ut. Markavjämning eller dylikt behöver inte göras noggrant. Eventuellt ytvatten kan sjunka undan genom isolerskiktet eller samlas upp i en dräneringsledning. Det är enkelt att justera ett lättklinkerskikt efter ev. arbeten i kryprummet.

VENTILATION AV KRYPRUM

Uppgifter om den verkliga luftomsättningen i kryprum har hittills i det närmaste helt saknats. Som framgår ovan är inverkan av randvillkoren så stor att en beräkning av ventilationen blir mycket osäker. Beräkningarna av fuktbalansen i kryprum visar klart att ventilationen har stor betydelse för klimatet i kryprum och för uttorkningen av byggfukt. För att finna regler för hur stora ventiler som erfordras har ventilationsbestämningar enligt spårgasmetoden utförts vid institutionen för byggnadsteknik i två försökshus av gasbetong i Barkarby utanför Stockholm och i en grupp småhus i Helsingborg. I ett speciellt provhus utanför Stockholm har slutligen också luftomsättningar vid olika randvillkor studerats. Bestämningarna har gjorts för olika ventilareor och för varierande vindhastigheter. Resultat har tidigare redovisats av Elmroth (1966), Elmroth & Höglund (1970) och (1971).

Resultaten av utförda bestämningar har sammanställts i TAB. 3-6. Med undantag för ett par friliggande grupphus i Helsingborg förekommer ventiler enbart i grundmurarna. De erhållna värdena på ventilationen varierar relativt mycket. Ventilareor, vindhastighet och vindriktning har stor inverkan. Antalet bestämningar är inte tillräckligt stort för att man skall kunna göra en regressionsanalys av sambandet mellan ventilation, ventilareor och vindhastighet. Mycket hög ventilationsgrad har uppmätts i provhuset i Täby. Anmärkningsvärt höga värden på luftomsättningen har erhållits vid stängda ventiler vilket av allt att döma beror på att grunden är otät vid anslutningar mellan grundmurar och bjälklag. Dessutom förekommer sprickor. Ingen speciell omsorg har nedlagts på att få täta anslutningsdetaljer. Vid ventilarean 19 cm^2 per m^2 bjälklagsyta har relativt stor differens mellan två olika mätningar erhållits. Detta kan förklaras av att luftomsättningen varit så stor att mätmetoden blir något osäker.

En generell utvärdering av ventilationens storlek i kryprum blir relativt osäker med hänsyn till att antalet kän-

TAB. 3. Ventilation av kryprum, S-huset, Barkaby utanför Stockholm.

Förutsättningar:

Relativt utsatt läge för vind.

Raka och horisontella ventilöppningar som sitter jämnt fördelade runt huset och är placerade med underkant högre än 10 cm över markytan.

Husets planmått är (utvändigt) 15,35 x 8,95 m. Det finns två (2) längsgående bärande grundmurar inne i kryprummet. I vardera av dessa finns 5 mindre öppningar 15 x 15 cm och en större ca 60 x 60 cm.

Bjälklag	Vind- riktn.	Vind- hast. m/s	Ute- temp. °C	Temp i kryprum °C	Ventil- ^{a)} area cm ² /m ²	Luft- ^{a)} omsättn. m ³ /m ² h
Gasbetong 15 cm	S	1,6	+0,1	ca +9,0	7	1,1
	S	1,5	-0,3	ca +9,0	0	0,27

TAB. 4. Ventilation av kryprum, Y-huset, Barkaby utanför Stockholm.

Förutsättningar:

Relativt utsatt läge för vind.

Raka och horisontella ventilöppningar som sitter jämnt fördelade runt huset och som är placerade med underkant högre än ca 10 cm över markytan.

Husets planmått (utvändigt) 7,5 x 14,0 m. Det finns en längsgående bärande grundmur i kryprummet. I denna finns 3 smärre öppningar, 20 x 20 cm, och 1 större, ca 60 x 60 cm.

Bjälklag	Vind- riktn.	Vind- hast. m/s	Ute- temp. °C	Temp. i kryprum °C	Ventil- ^{a)} area cm ² /m ²	Luft- ^{a)} omsättn. m ³ /m ² h
Gasbetong 20 cm	ONO	0,9	-0,9	ca +9,0	2	0,26
4-5 cm	ONO	0,8	-1,0	ca +9,0	0	0,08

a) Avser ventilarea resp. luftomsättning per m² bjälklagsyta.

TAB. 5. Ventilation av kryprum, friliggande grupphus Helsingborg.

Förutsättningar:

Relativt utsatt läge för vind.

Ventiler sitter relativt jämnt fördelade runt husen. De är relativt lågt placerade med underkant i jämnhöjd med markytan. Hus A har även kunnat ventileras mekaniskt med fläkt.

Husens planmått är ca 8,6 x 10,6 m. I ena hörnet av husen är grunden utformad som bjälklag direkt på jord. Denna yta är ca 4 x 4 m och omfattar våtrumsdelen av husen. I kryprummen finns dessutom en avskiljande bärande betongbalk. Ventilation kan ske under densamma.

Hus	Bjälklag	Vind- riktn.	Vind- hast m/s	Ute- temp. °C	Temp. i kryprum °C	Ventil- ^{a)} area cm ² /m ²	Luft- ^{a)} omsättn. m ³ /m ² h
A	Trä med	N	~2	~-3	~+6	5,5 ^{b)}	1,5
"	isole- ring av	N	~3	~-3	~+6	5,5 ^{b)}	4,1 ^{c)}
"	kutter- spån	N	~3	~-3	~+6	5,5	1,1
"	och trä- ulls-	N	~3	~-3	~+6	12	2,7
"	plattor	N	~2	~-3	~+6	12 ^{b)}	2,3
		N	~2	~-3	~+6	12	3,9 ^{c)}
B	Trä med	N	~3	~-2	~+7	5,5	1,5
"	isole- ring som hus A	N	~3	~-2	~+7	12	2,7
C	"-	N	~3	~-2,5	~+7	5,5	1,9
"	"-	N	~3	~-2,5	~+7	10	2,4

a) Avser ventilarea resp. luftomsättning per m² bjälklagsyta.

b) Kryprummet anslutet till skorstenskanal.

c) Kryprummet ventilerat mekaniskt.

da värden på luftomsättningen är få. I FIG. 60 har dock riktvärden angivits på ventilationen som funktion av ventilarean. Värdena avses gälla för normala genomsnittliga vindhastigheter. Det måste bedömas från fall till fall om huset ligger i ett för vind utsatt eller skyddat läge. När tveksamhet råder rekommenderas - utifrån redovisade inventeringar - att räkna med att läget är skyddat eftersom all erfarenhet tyder på att mindre effektiva ventilareor erhålls i praktiken än vad som avses vid projekteringen.

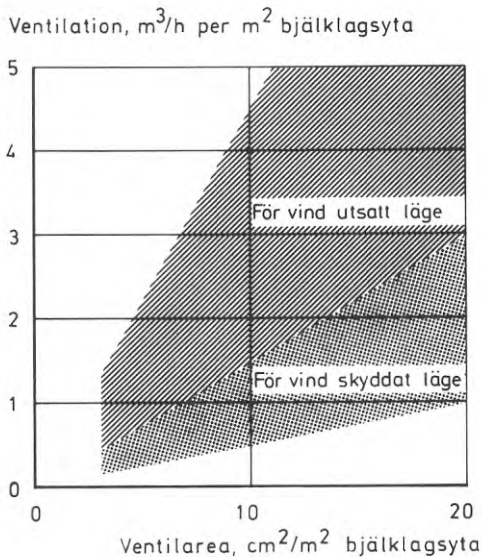


FIG. 60.

Ventilation av krypprum vid olika ventilareor och med hänsyn till byggnadens läge.

Med "för vind utsatt läge" avses friliggande hus i öppen terräng. Det finns inga anslutande byggnader eller planteringar som i väsentlig grad hindrar ventilationen.

Till "för vind skyddat läge" räknas i första hand tätt liggande gruppbebyggelse - i synnerhet hus med kringbyggda gårdar.

För att uppnå angiven ventilation förutsätts att öppningarna i grundmurarna är raka och förlagda horisontellt med undersidan minst 10 cm över den yttre markytan. De yttre öppningarna förutsätts ligga nära byggnadens hörn och i övrigt så placerade att jämn genomluftning erhålles.

TAB. 6. Ventilation av kryprum, provhus, Täby.

Förutsättningar:

Huset har ett för vind utsatt läge.

Ventiler sitter jämnt fördelade runt huset och med underkant högre än 10 cm över markytan.

Husets planmått är (utvändigt) 10,2 x 4,8 m.

Bjälklag	Vind- riktn.	Vind- hast. m/s	Ute- temp. °C	Temp. i kryprum °C	Ventil-a) area cm ² /m ²	Luft- a) omsättn. m ³ /m ² h
Gasbetong 20 cm	SO	1,7	~-3,4	+2,4	19	5,0
	SO	2,3	~-3,4	+2,4	19	7,8
	SO	2,0	~-3,4	+2,4	10	4,0
	SO	1,7	~-3,4	+2,4	5	3,3
	SO	1,4	~-3,4	+2,4	0	2,2

a) Avser ventilarea resp. luftomsättning per m² bjälklagsyta.

Anm: Det finns ingen avskiljande mellanvägg i kryprummet. Luften kan därför passera igenom fritt. Provhuset är dessutom smalt varför luftmotståndet är litet.

Resultaten kan sammanfattas så att vid ventilation genom raka, horisontella öppningar, med underkant minst 100 mm över mark, fås vid en öppningsarea i grundmuren av ca 10 cm^2 per m^2 bjälklagsyta en ventilation av ca $3 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta vid för vind utsatt läge och ca $1 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta vid för vind skyddat läge. Även vid helt stängda ventiler har viss ventilation erhållits på grund av mindre otätheter i grundmurar och ventiler. Det bör beaktas att skyddsplank, förrådsbyggnader, snö och planteringar m.m. ofta kan medföra att ventilerna i grundmurarna är mycket väl skyddade för vindpåverkan även om byggnaden i övrigt ligger öppet. Det kan i sådana fall vara nödvändigt att ersätta självdraagsventilationen med mekanisk ventilation för att erhålla tillräckliga luftmängder. Detta kan bli aktuellt vid förtätad grupphusbebyggelse, i synnerhet där bottenbjälklaget ligger så lågt att raka horisontella ventilöppningar inte får plats i grundmurarna. Erfarenheter tyder nämligen på betydande svårigheter att erhålla avsedd ventilation i dylika kryprum.

VÄRMEISOLERING AV KRYPRUMSBJÄLKLAG

Krav på golvtemperaturer

Värmeisoleringen av ett bjälklag över kryprum måste utföras så att man får bl.a. godtagbar golvtemperatur. Med hänsyn till bestämmelser om inomhusklimat och hygieniska funktionskrav har följande kriterier för golvytemperaturer uppställts (se Adamson et al., 1971; Elmroth & Höglund, 1972a).

- Golvtemperaturen måste vara så hög att ytkondens undviks eftersom denna kan medföra skador.
- Golvtemperaturen måste vara så hög att man inte upplever obehagliga köldreaktioner när man går på golvet.

Golvtemperaturen i vistelsezonen¹⁾ bör därför i allmänhet inte understiga $+16^\circ\text{C}$ mer än högst fem dygn per år om rums-

1) Vistelsezonen kan antas börja 30-40 cm från yttervägg.

temperaturen är $+20^{\circ}\text{C}$.

I vanliga bostäder kommer temperaturkravet att dominera över kravet på att ytkondens skall undvikas. Ytkondens kan möjligen uppkomma vid anslutningar och intill ytterhörn.

Bjälklagets värmeisoleringsförmåga, kryprummets temperatur och värmeövergångskoefficienten vid golvytan har väsentlig betydelse för golvtemperaturen. Adamson (1973) har analyserat värmeövergången vid golv till bjälklag på jord. Adamsons beräkningsförutsättningar gäller i huvudsak även för golv över uteluftventilerade kryprum. Beräknade värmeövergångskoefficienter vid golv enligt olika förutsättningar varierar som högst mellan ca 1,0 och 4,0 $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. För bostadsrum med normal fönsterstorlek ligger huvuddelen av värdena mellan ca 2,0 och 3,0 $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. Intill ytterväggar och vid ytterhörn erhålls de lägre värdena vilket bör iakttas vid beräkning av risk för ytkondensation.

Bestämda värmemotstånd och värmeövergångskoefficienter

Värmemotstånd och värmeövergångsmotstånd vid bjälklag över kryprum bestämda vid institutionen för byggnadsteknik i särskilda provhus redovisas i TAB. 7-11. Provhusen har haft relativt normal isolering i väggar och tak. Vid mätningar under längre tidsperioder i fem olika provrum har konstaterats att den genomsnittliga värmeövergångskoefficienten är ca 2,4 $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$. De erhållna värdena överensstämmer sålunda väl med de teoretiskt beräknade. Jag föreslår därför att man vid beräkning av värmeflöden, värmemotstånd och golvtemperaturer på bjälklag över kryprum sätter värmeövergångskoefficienten lika med 2,5 $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ (motsvarar ett värmeövergångsmotstånd av 0,40 $\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$). Detta värde kan med god approximation anses gälla för hela vistelsezonen. Detta är ett mycket högt värmeövergångsmotstånd. Intill ytterväggar och vid ytterhörn kan det förväntas bli ännu högre. Övergångsmotståndet har stor betydelse för golvtemperaturen och för dimensionering av bjälklagsisoleringen. Det höga övergångsmotståndet medför att golvtemperaturen

kan bli oväntat låg. För att motverka detta måste bjälklagets isolering förbättras trots att det höga motståndet i och för sig medför ett minskat värmeflöde genom golvbjälklaget. Ett annat sätt att höja golvtemperaturen kan vara att ordna med golv- eller takuppvärmning.

Dimensionering av värmeisolering i bjälklag

Med utgångspunkt från funktionskravet att temperaturen på golvet skall vara lägst $+16^{\circ}\text{C}$ vid rumstemperaturen $+20^{\circ}\text{C}$ och att värmeövergångskoefficienten är $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ kan krav på bjälklagets värmeisolering preciseras. Värdena beror på vilken temperatur som erhålls i kryprummet. Om kryprummet är helt öppet kan man anta att temperaturen under bjälklaget är densamma som utetemperaturen. Exempelvis kan DUT 5 enligt Svensk Byggnorm (1967) då väljas vid dimensionering. För Lund, Stockholm och Haparanda är DUT 5 -13°C , -17°C resp. -26°C . Med hänsyn till att DUT 5 valts kan med god approximation stationära temperaturförhållanden antas gällande. Erforderligt lägsta värmemotstånd för bjälklagen blir då 2,8, 3,2 och 4,1 $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C/W}$ för resp. ort. Detta är obetydligt högre isolergrad än vad som krävs i gällande byggnorm.

Inne i ett slutet ventilerat kryprum blir temperaturen vintertid naturligtvis högre än utomhus. Som visats ovan beror temperaturen i kryprummet bl.a. på bjälklagets isolergrad, ventilation av kryprummet, isolering av grundbalkar och markens isolerförmåga. Så länge de angivna faktorerna varierar inom rimliga värden synes kryprumstemperaturen påverkas måttligt. Exempel på beräknade temperaturer anges i FIG. 17-22. Beräknade temperaturer har verifierats med mätningar. För bjälklag med värmemotstånd mellan ca 1,0 och 3,0 $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C/W}$ kan på grundval härav riktvärden anges på lägsta dimensionerande kryprumstemperaturer. Följande värden på dimensionerande kryprumstemperatur kan approximativt antas för olika klimatområden: för Lund $+3^{\circ}\text{C}$, för Stockholm 0°C och för Haparanda -3°C . Om man utgår från dessa temperaturer och som förut antar stationära förhållanden kan följande erforderliga värmemotstånd beräknas för bjälklagen: Lund 1,2 $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C/W}$, Stockholm 1,5 $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C/W}$ och Haparanda 1,8 $\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C/W}$. Beräknade värden överensstämmer

relativt väl med kraven i Svensk Byggnorm (1967) för "bjälklag mot icke uppvärmt utrymme". De beräknade värdena bör därför kunna tillämpas som riktvärden vid projektering av kryprum.

TAB. 7. Uppmätta temperaturer och värmeflöden samt på olika sätt beräknade värmemotstånd för bjälklag och krypprum till S-huset, Barkarby. Mätningar har gjorts i ett rum (nr 2) med fönster i SV. Bjälklaget utgörs av 15 cm gasbetongelement med 13 mm parkett som golvbeklägning.

Tidsperiod	Temperatur				Värme- flöde				Värmemotstånd $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$						
	Ute- luft	Rums- luft	Golv- temp.	Bjälklags- under- yta	θ_{ul}	$\theta_{ök}$	θ_{uk}	θ_{kl}	Φ	$\frac{W}{m^2}$	$m_{tot} = \frac{\theta_{il} - \theta_{ul}}{\Phi}$	$m_{ll} = \frac{\theta_{il} - \theta_{kl}}{\Phi}$	$m_{yy} = \frac{\theta_{ök} - \theta_{uk}}{\Phi}$	$m_i + m_u = \frac{m_{ll} - m_{yy}}{\theta_{il} - \theta_{ök} - m_i}$	$m_{jord} = \frac{m_{tot} - m_{ll}}{-m_{ll}}$
	θ_{ul}	θ_{il}	$\theta_{ök}$	θ_{uk}	θ_{ul}	θ_{il}	$\theta_{ök}$	θ_{kl}	Φ	$\frac{W}{m^2}$	m_{tot}	m_{ll}	m_{yy}	m_i	m_{jord}
1963															
25.10-31.10	5,8	21,9	20,1	14,6	14,7	4,67	3,44	1,54	1,17	0,37	0,39	-0,02		1,90	
1.11-10.11	4,5	21,8	19,9	14,1	13,8	5,01	3,45	1,59	1,15	0,44	0,38	0,06		1,86	
11.11-20.11	2,6	21,9	19,6	12,8	12,3	5,90	3,27	1,63	1,15	0,47	0,38	0,09		1,64	
21.11-30.11	0,3	21,8	19,6	12,2	11,7	6,50	3,31	1,55	1,14	0,42	0,34	0,08		1,76	
1.12-10.12	4,1	22,0	19,6	12,0	11,3	6,44	2,78	1,66	1,20	0,46	0,37	0,09		1,12	
11.12-20.12	-4,8	22,2	19,0	10,6	9,9	6,96	3,88	1,77	1,21	0,56	0,46	0,10		2,11	
21.12-30.12	-1,2	18,6	16,1	8,9	8,3	5,90	3,36	1,74	1,22	0,52	0,42	0,10		1,62	
31.12-9.1-64	0	22,2	18,9	10,2	9,5	6,99	3,16	1,82	1,24	0,57	0,47	0,10		1,34	
Medelvärde	+1,4	21,5	19,1	11,9	11,4	6,05	3,33	1,67	1,19	0,48	0,40	0,08		1,66	

TA. 8. Uppmätta temperaturer och värmeflöden samt på olika sätt beräknade värmemotstånd för bjälklag och krypprum till S-huset, Barkarby. Mätningar har gjorts i ett rum (nr 6) med fönster i NO. Bjälklaget utgörs av 15 cm gasbetongelement som avfjämrats med spackel på vilket linoleum-golv lagts.

Tidsperiod	Temperatur			Värme- flöde	Värmemotstånd $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$								
	Ute- luft	Rums- luft	Golv- temp.		Bjälk- lags- under- yta	Luft- temp. i kryp- rum	θ_{uk}	θ_{il}	$\theta_{ök}$	θ_{kl}			
25.10-31.10	5,8	21,8	19,8	15,0	14,4	5,74	2,78	1,29	0,84	0,46	0,34	0,11	1,49
1.11-10.11	4,5	21,8	19,5	14,2	13,6	6,40	2,71	1,28	0,83	0,46	0,36	0,09	1,42
11.11-20.11	2,6	22,0	19,4	13,5	12,5	7,05	2,74	1,35	0,84	0,52	0,37	0,15	1,39
21.11-30.11	0,3	21,6	18,8	12,1	11,1	7,86	2,71	1,34	0,85	0,48	0,35	0,13	1,37
1.12-10.12	4,1	22,0	19,2	12,7	11,7	7,52	2,38	1,36	0,86	0,50	0,37	0,13	1,02
11.12-20.12	-4,8	22,2	18,6	11,3	10,3	8,00	3,37	1,48	0,91	0,57	0,45	0,12	1,90
21.12-30.12	-1,2	22,1	18,7	11,2	10,1	8,18	2,84	1,47	0,92	0,54	0,41	0,13	1,38
31.12-9.1-64	0	22,2	18,8	11,6	10,7	7,67	2,90	1,50	0,94	0,56	0,44	0,12	1,40
Medelvärde	+1,4	22,0	19,1	12,7	11,8	7,30	2,82	1,41	0,88	0,53	0,40	0,13	1,41

TAB. 9. Uppmätta temperaturer och värmeflöden samt på olika sätt beräknade värmemotstånd för bjälklag och krypprum till Y-huset, Barkarby. Mätningar har gjorts i ett rum (nr 3) med fönster i NO. Bjälklaget utgörs av 20 cm gasbetongelement, 5 cm mineralullsskiva ($\gamma = 150 \text{ kg/m}^2$) och 5 cm betong med golveläggning av linoleum.

Tidsperiod	Temperatur				Värme- flöde		Värmemotstånd $\frac{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{W}}$						
	Ute- luft	Rums- luft	Golv- temp.	Bjälklags- under- yta	Luft- temp. i kryp- rum	ϕ	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$m_{\text{tot}} = \frac{\theta_{\text{il}} - \theta_{\text{ul}}}{\phi}$	$m_{\text{ll}} = \frac{\theta_{\text{il}} - \theta_{\text{kl}}}{\phi}$	$m_{\text{yy}} = \frac{\theta_{\text{ök}} - \theta_{\text{uk}}}{\phi}$	$m_{\text{u}} + m_{\text{i}} = \frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{yy}}}{\theta_{\text{il}} - \theta_{\text{ök}}}$	$m_{\text{jord}} = \frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{yy}}}{-m_{\text{i}}}$	
28.1-6.2	-1,1	22,2	20,0	9,2	8,9	4,44	5,24	2,99	2,44	0,55	0,50	0,05	2,25
7.2-16.2	-6,10	22,1	20,0	9,0	8,5	4,75	5,92	2,86	2,31	0,55	0,44	0,11	3,06
17.2-26.2	-4,8	22,2	20,0	8,7	8,5	4,88	5,52	2,80	2,31	0,49	0,45	0,04	2,72
27.2-6.3	-2,2	22,2	20,1	9,3	8,9	4,59	5,31	2,90	2,35	0,55	0,46	0,09	2,41
11.3-20.3	-3,6	22,1	20,0	9,1	8,6	4,66	5,51	2,90	2,35	0,55	0,45	0,10	2,61
21.3-30.3	-2,3	22,1	20,0	9,1	8,6	4,56	5,35	2,96	2,39	0,57	0,46	0,11	2,39
31.3-9.4	+0,1	22,1	20,1	9,4	9,1	4,40	5,00	2,95	2,44	0,51	0,46	0,05	2,05
10.4-19.4	+7,0	22,1	20,5	10,3	10,1	4,09	3,68	2,93	2,48	0,45	0,39	0,06	0,75
20.4-29.4	+7,0	22,2	20,5	11,0	11,0	3,70	4,10	3,03	2,56	0,47	0,46	0,01	1,07
Medelvärde	-0,7	22,1	20,1	9,4	9,1	4,45	5,06	2,92	2,40	0,52	0,45	0,07	2,14

1964

TAB. 10. Uppmätta temperaturer och värme-flöden samt på olika sätt beräknade värmemotstånd för bjälklag och krypprum till Y-huset, Barkarby. Mätningar har gjorts i ett rum (nr 6) med fönster i SV. Bjälklaget utgörs av 20 cm gasbetongelement, 4 cm mineralullsskiva ($\gamma = 150 \text{ kg/m}^2$) och 6 cm betong med golvbeläggning av linoleum.

Tidsperiod	Temperatur			Värme-flöde			Värmemotstånd $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{C}}{\text{W}}$								
	Ute-luft	Rums-luft	Golv-temp.	Bjälklags-underyta	Bjälklags-temp.	Luft-krypprum	Φ	$\frac{W}{\text{m}^2}$	m_{tot}	m_{ll}	m_{yy}	$m_i + m_u$	m_i	m_u	m_{jord}
	θ_{ul}	θ_{il}	$\theta_{\text{ök}}$	θ_{uk}	θ_{kl}	θ_{kl}	$\frac{\theta_{\text{il}} - \theta_{\text{ul}}}{\Phi}$	$\frac{\theta_{\text{il}} - \theta_{\text{kl}}}{\Phi}$	$\frac{\theta_{\text{ök}} - \theta_{\text{uk}}}{\Phi}$	$\frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{yy}}}{\Phi}$	$\frac{\theta_{\text{il}} - \theta_{\text{ök}}}{\Phi}$	$\frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{yy}}}{m_i}$	$\frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{yy}}}{m_i}$	$\frac{m_{\text{ll}} - m_{\text{yy}}}{m_i}$	$\frac{m_{\text{tot}} - m_{\text{ll}}}{m_{\text{ll}}}$
1964															
18.1-27.1	-1,6	22,2	19,8	9,6	8,8	5,48	4,35	2,44	1,86	0,58	0,44	0,14	0,14	0,14	1,91
28.1- 6.2	-1,1	22,2	19,8	9,6	8,9	5,39	4,32	2,47	1,89	0,58	0,45	0,13	0,13	0,13	1,85
7.2-16.2	-6,0	22,1	19,7	9,2	8,6	5,68	4,95	2,38	1,85	0,52	0,42	0,10	0,10	0,10	2,57
17.2-26.2	-4,8	22,2	19,7	9,1	8,4	5,60	4,83	2,48	1,90	0,58	0,45	0,13	0,13	0,13	2,35
27.2- 6.3	-2,2	22,2	19,6	9,8	9,0	5,22	4,66	2,54	1,96	0,59	0,50	0,09	0,09	0,09	2,12
11.3-20.3	-3,6	22,3	20,5	9,4	8,9	4,88	5,30	2,74	2,28	0,46	0,37	0,09	0,09	0,09	2,56
21.3-30.3	-2,3	22,4	20,5	9,4	9,1	4,60	5,36	2,89	2,42	0,47	0,41	0,06	0,06	0,06	2,47
31.3- 9.4	+0,1	22,5	20,7	10,0 ^{a)}	9,6	4,71	4,76	2,75	2,28	0,47	0,38	0,09	0,09	0,09	2,01
10.4-19.4 ^{b)}	+7,0	22,3	20,7	10,8	10,2	4,66	3,28	2,59	2,13	0,46	0,35	0,11	0,11	0,11	0,69
20.4-29.4	+7,0	22,4	20,7	11,5	11,4	4,33	3,56	2,53	2,12	0,41	0,40	0,01	0,01	0,01	1,03
Medelvärde	-0,7	22,3	20,2	9,8	9,3	5,05	4,54	2,58	2,07	0,51	0,41	0,10	0,10	0,10	1,96

a) 5.4-8.4 fel på yttemp. best. krypprum, värdet 10,0 antaget (genomsnittsvärde).

b) Registreringen för 12.4 och 13.4 saknas.

TAB. 11. Uppmätta temperaturer och värmeflöden samt på olika sätt beräknade värmemotstånd för bjälklag och krypprum till ett särskilt provhus i Täby. Bjälklaget utgörs av 20 cm gasbetongelement med en hård 3 mm träfiberskiva på ovasidan.

Tidsperiod	Temperatur				Värme- flöde		Värmemotstånd $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$							
	Ute- luft OC	Rums- luft OC	Golv- temp. OC	Bjälk- lags- under- yta OC	Luft- temp. i kryp- rum θ_{kl}	Φ	$\frac{W}{m^2}$	$m_{tot} =$ $\frac{\theta_{ul} - \theta_{ul}}{\Phi}$	$m_{ll} =$ $\frac{\theta_{il} - \theta_{kl}}{\Phi}$	$m_{yy} =$ $\frac{\theta_{ök} - \theta_{uk}}{\Phi}$	$m_i + m_u =$ $\frac{m_{ll} - m_{yy}}{\theta_{il} - \theta_{ök}}$	$m_i =$ $\frac{m_{ll} - m_{yy}}{\theta_{il} - \theta_{ök}}$	$m_u =$ $\frac{m_{ll} - m_{yy}}{-m_i}$	$m_{jord} =$ $\frac{m_{tot} - m_{ll}}{-m_{ll}}$
1971														
6.12-31.12	-0,5	22,4	18,8	8,2	6,2	8,48	2,70	1,91	1,25	0,66	0,42	0,24	0,77	
1972														
1. 1-31.1	-4,7	22,6	18,6	7,1	4,9	9,02	3,03	1,96	1,28	0,68	0,44	0,24	1,06	
1. 2-15.2	-1,9	22,9	18,9	6,7	4,4	9,50	2,61	1,95	1,28	0,68	0,42	0,24	0,66	
1. 3-31.3	-0,2	21,9	18,6	7,0	4,9	9,19	2,41	1,85	1,22	0,59	0,36	0,23	0,55	
1. 4-30.4	+2,6	21,9	18,9	8,1	6,4	8,39	2,30	1,84	1,28	0,56	0,36	0,20	0,46	
1. 5-31.5	+8,6	21,8	19,7	10,6	9,4	7,02	1,88	1,77	1,30	0,47	0,30	0,16	0,11	
Medelvärde	+0,9	22,1	18,9	8,1	6,2	8,53	2,47	1,87	1,27	0,60	0,38	0,22	0,60	

FÄLTUNDERSÖKNINGAR - TEMPERATUR
OCH RELATIV FUKTIGHET I KRYPRUM

I följande avsnitt redovisas mer i detalj resultat av flera olika undersökningar i kryprumsgrunder. Undersökningar har företagits dels i ett antal provhus dels i hus med skador. I kryprum med fuktskador har temperatur och luftfuktighet i en del fall mätts både före och efter åtgärd. För hus med bjälklag av gasbetongelement har fuktkvoter för dessa bestämts vid olika tidpunkter så att uttorkningsförloppet har kunnat följas.

De olika försöksobjekten presenteras var för sig med en kort konstruktionsbeskrivning varefter en resultatredovisning följer. Resultaten kommenteras och jämförs med teoretiska beräkningar.

I föregående avsnitt har redan redovisats resultat av bestämningar på ventilationens storlek, värmemotstånd och vissa temperaturvärden. De senare har använts vid analysen av en markisolerings funktion som fuktspärr.

S-huset, Barkarby

Konstruktion

Ett särskilt provhus för teoretisk och fältmässig bestämning av bl.a. totala värmebalansen byggdes i Barkarby 1962 (Elmroth & Höglund, 1965). Husets planmått är (utvändigt) 15,35 x 8,95 m. Grundkonstruktionen framgår av FIG. 61. Grundmuren är murad med betonghålstén och isolerad invändigt med cellplast. Marken i kryprummet är i en randzon om ca 80 cm också isolerad med 5 cm cellplast. Bjälklaget utgörs av 15 cm gasbetongelement med golvbeläggning ovanpå. Värmegenomgångskoefficienten beräknad enligt Svensk Byggnorm (1967) med antagande om att gasbetongens fuktkvot är högst 6 viktprocent blir $0,81 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ($0,7 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$). Detta är ett högre värde än vad som krävs för kryprumsbjälklag. Isoleringen av grundmurarna och marken i kryprummet avses kompensera den lägre isolergraden för bjälklaget.

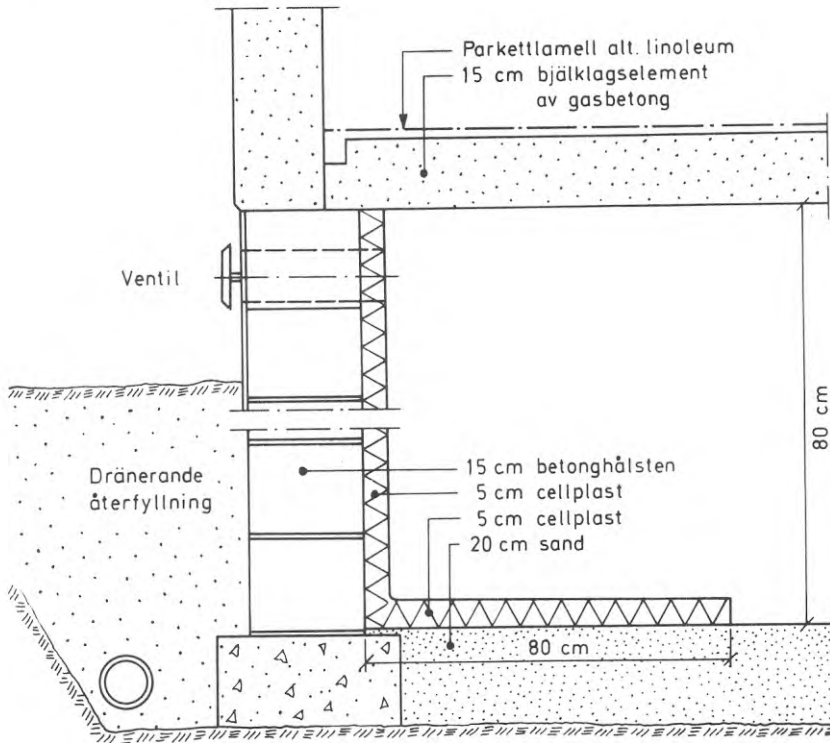


FIG. 61. Sektion genom grundmur och kryprumsbjälklag i S-huset. Grundmuren och en del av marken har värmeisolerats med 5 cm cellplast för att minska värmeflödet genom marken.

Marken i hela kryprummet har ett ca 20 cm tjockt skikt av sand och grus för att begränsa vattenavdunstningen. Kryprummet ventileras genom sammanlagt 11 st. tallriksventiler. När samtliga ventiler är helt öppna beräknas den effektiva ventilarean uppgå till ca 7 cm^2 per m^2 bjälklagsyta.

Temperatur och luftfuktighet

Huset byggdes huvudsakligen under senhösten 1962 och var färdigt i mars 1963. Bestämningar av temperaturer och luftfuktigheter i kryprummet började i mars 1963 och pågick, med några avbrott, till maj 1965. Medianvärden med övre och under spridningsgränser för ca månadslånga perioder visas i FIG. 62a och b. Våren 1963 när huset var nytt

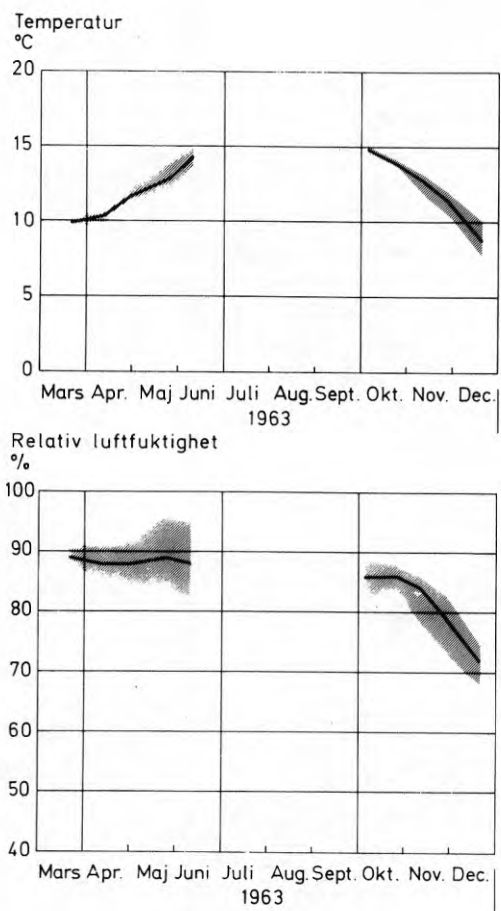


FIG. 62a.

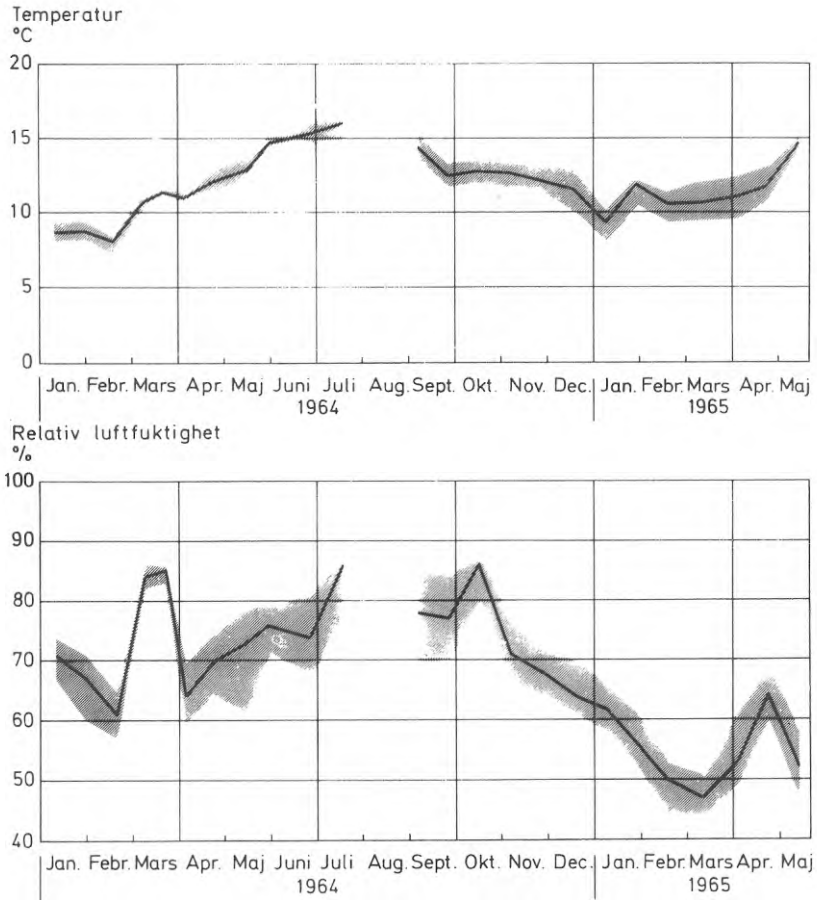


FIG. 62b.

FIG. 62a-b. Uppmätt temperatur och relativ fuktighet i S-husets kryprum för tiden mars 1963 - maj 1965. Med undantag för en period i mars 1964 då ventilerna i grundmurarna helt varit stängda har de varit helt öppna ($7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta).

var den relativa fuktigheten i kryprummet hög - i genomsnitt nära 90 %. Efter hand sjönk den och redan under eldningssäsongen 1963-64 var relativa fuktigheten som lägst ca 60 %. Under en kort period i mars 1964 stängdes alla ventiler varvid relativa fuktigheten steg markant. Den sjönk när ventilerna åter öppnades. Vintern 1964-65 var fuktigheten ändå lägre, under 50 % i februari och mars. Under en kontrollmättningsperiod nov. 1965 - jan. 1966 låg luftfuktigheten i genomsnitt kring ca 60 % trots att ventilarean då hade reducerats till ca 4 cm^2 per m^2 bjälklagsyta.

Den höga relativa fuktigheten i kryprummet i början av mätperioden beror på att stor mängd fukt tillförs kryprummet från uttorkningen av såväl bjälklaget som sanden och gruset på marken. När uttorkning skett varierar luftfuktigheten kraftigt under året. Under senvintern blir den så låg som 50-60 %. Oaktat mätningarna under somrarna inte är helt kompletta visar figurerna tydligt att luftfuktigheten sommartid blir mycket hög - omkring 90 %. Uppmätt luftfuktighet överensstämmer väl med beräkning, enligt beräkningsfall 24 och 27, se FIG. 30 och 31. Vintertid har dock något lägre relativ luftfuktighet uppmätts vilket beror på att temperaturen varit högre än vad som beräknats. Se nedan.

Även vintertid har temperaturen i kryprummet varit mycket hög. Kontrollmätningar visade att även under den mycket kalla vintern 1965-66 temperaturen låg mellan $+10$ och $+13^\circ\text{C}$. Endast kortvarigt har temperaturer under $+10^\circ\text{C}$ bestämts. Sommartid har temperaturen stigit men endast obetydligt över $+15^\circ\text{C}$. Under året är temperaturen således tämligen konstant i kryprummet trots att, som visats i avsnittet om ventilation av kryprum, rätt stora luftomsättningar bestämts i S-husets kryprum. Det innebär att markens värmekapacitet bidrar till att minska temperaturvariationerna under året. Isolering av grundmurar och av marken närmast dessa har också bidragit till att skapa gynnsamma temperaturförhållanden i kryprummet. Uppmätt lufttemperatur i kryprummet har vintertid varit högre än vad som beräknats, se FIG. 19, vilket huvudsakligen torde

bero på att mark och grundmurar isolerats utöver vad som förutsatts vid beräkningarna.

Temperaturen på golvet över kryprummet (TAB. 7 och 8 i avsnittet "Värmeisolering av kryprumsbjälklag") har nått helt acceptabla värden även under vintern. Konstruktionen har sålunda vad avser temperaturförhållandena fungerat tillfredsställande, trots att bjälklaget har lägre isolergrad än vad som krävs enligt Svensk Byggnorm (1967).

Uttorkning

Fuktkvoten för gasbetongelementen i bjälklaget har bestämts vid olika tidpunkter. Resultaten har sammanställts i FIG. 63. Omedelbart efter leverans av elementen bestäm-

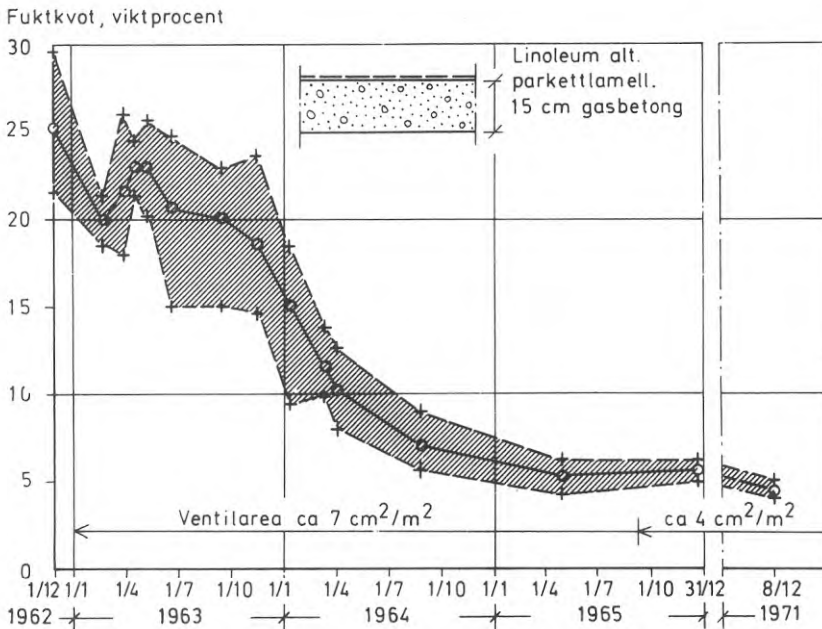


FIG. 63.

Bestämda fuktkvoter - medelvärde samt högsta och lägsta observerat värde - hos gasbetong i S-husets bjälklag. Ventilöppningarna i grundmurarna har varit max. ca $7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta. På ca 2 år har fuktkvoten i gasbetongen sjunkit från ca 25 viktprocent till ca 6%. Denna uttorkningshastighet har varit tillfredsställande med hänsyn bl.a. till riskerna för korrosionsskador på armeringen. Uppmätt uttorkning stämmer väl med beräknad - se FIG. 46, beräkningsfall 24.

des fuktkvoten till ca 25 viktprocent. Viss uttorkning började första våren (1963). Fuktkvoterna förändrades endast obetydligt under sommaren 1963. Först vintern 1963-64 skedde snabb uttorkning. Fuktkvoten sjönk då med 10-15 viktprocent. Sommaren 1964 låg fuktkvoterna genomsnittligt under 10 viktprocent. Vintern 1964-65 närmade sig fuktkvoterna efter hand 5-6 % vilket är nära jämviktsvärden i kryprumsklimat. Vid kontroll i dec. 1971 bestämdes fuktkvoterna likaledes till ca 5 %, trots att ventilarean fr.o.m. sommaren 1965 reducerats till ca 4 cm^2 per m^2 bjälklagsyta. Huvuddelen av bjälklagets uttorkning skedde alltså inom ca 1 1/2 år från leverans. Detta överensstämmer väl med beräknad uttorkning - beräkningsfall 24, FIG. 46. Uttorkning har främst skett under vinterperioden med endast marginell uttorkning sommartid. Med avseende på fuktförhållandena i kryprummet har S-huset fungerat tillfredsställande. Konstruktionen utgör sålunda ett exempel där ventilationen varit tillräcklig för att transportera bort byggfukt och avdunstad markfukt.

Y-huset, Barkarby

Konstruktion

Detta hus byggdes ungefär samtidigt med S-huset. Det färdigställdes dock något senare, nämligen under sommaren 1963. Motsvarande undersökningar som i S-huset har gjorts i Y-huset. Husets utvändiga planmått är ca 7,5 x 14 m. Grundkonstruktionen visas i FIG. 64. Grundmurarna utgörs av 25 cm limmad gasbetongstav. Marken i kryprummet har avjämats med 15-20 cm sand. På sanden är en 0,1 mm plastfolie utlagd. Plastfolien skyddas i sin tur med ytterligare ett tunt sandskikt. Bjälklaget utgörs av 20 cm bjälklagselement av gasbetong som på ovansidan isolerats med 4 alt. 5 cm mineralullsskivor, $\gamma = 150 \text{ kg/m}^3$. Som underlag för golvbeläggningen finns 6 alt. 5 cm betong ovan isoleringen. Värmeegenomgångskoefficienten för bjälklaget har beräknats till $0,35 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ($0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$). Bjälklaget är således jämförelsevis välisolerat och uppfyller med god marginal byggnormens krav. Någon isolering av grundmurar eller mark har därför inte bedömts erforderlig.

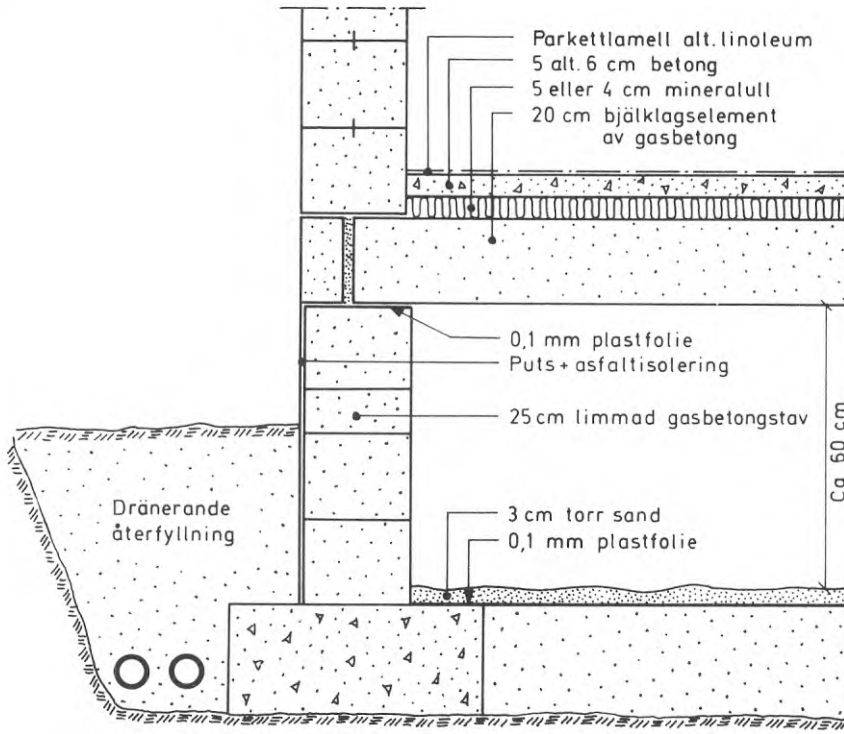


FIG. 64. Sektion genom grundmur och kryprumsbjälklag i Y-huset. Bjälklaget har värmeisolerats med mineralull. På marken har en plastfolie utlagts som fuktspärr.

Kryprummet ventilerades de första tre åren genom fyra ventiler som beräknas helt öppna tillsammans ha en effektiv area av ca 2 cm^2 per m^2 bjälklagsyta. Efter ca tre år utökades ventilarean till ca 6 cm^2 per m^2 bjälklagsyta.

Temperatur och luftfuktighet

Bestämningar av temperatur och luftfuktighet i kryprummet påbörjades i oktober 1963. Huset hade då varit färdigbyggt sedan sommaren och bjälklaget hade monterats redan i januari 1963. I FIG. 65a och b redovisas medianvärden med övre och nedre spridningsgränser för temperatur och luftfuktighet i kryprummet för tiden okt. 1963 - maj 1965. Kontrollbestämningar har även gjorts för perioden nov. 1965 - jan. 1966. Relativa luftfuktigheten i kryprummet har legat

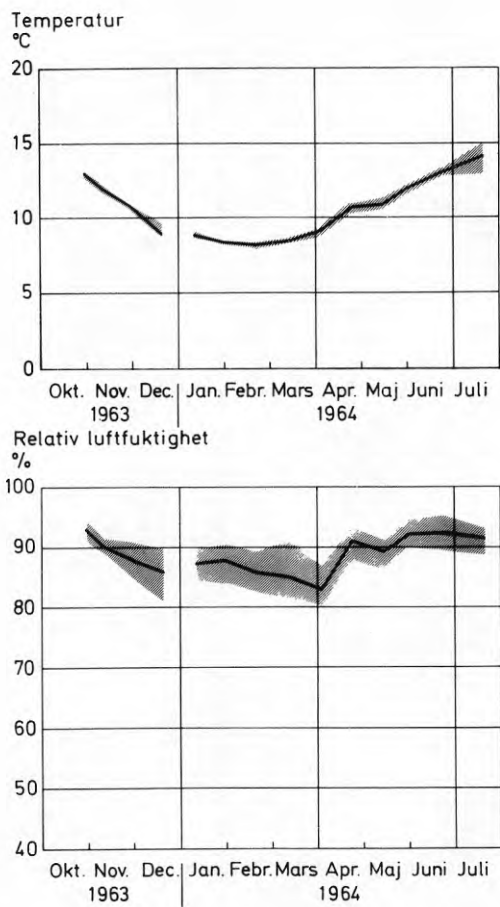


FIG. 65a.

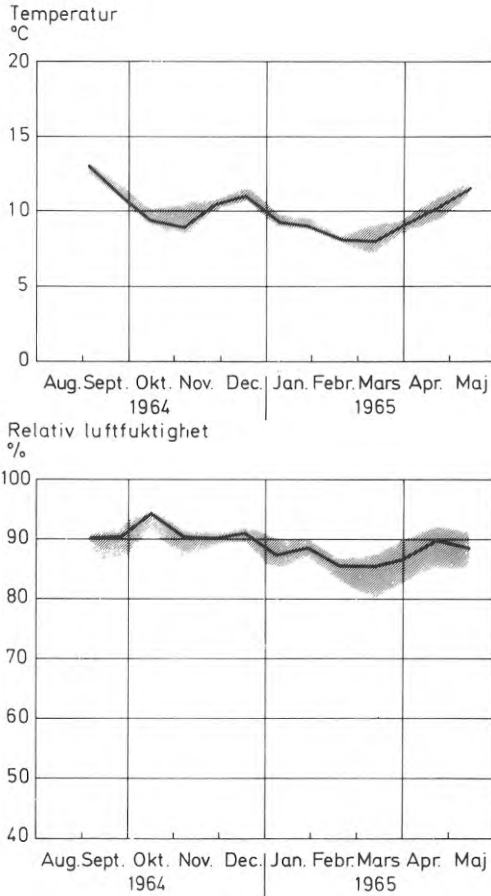


FIG. 65b.

FIG. 65a-b.

Uppmätt temperatur och relativ fuktighet i Y-husets kryprum för tiden okt. 1963 - maj 1965. De fyra ventilerna i grundmurarna har hela tiden varit helt öppna. Arean ($2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta) har dock varit liten varför ventilationen varit låg i kryprummet. Luftomsättningen beräknas genomsnittligen ha varit ca $0,3 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ bjälklagsyta under de första åren.

mycket högt under registreringstiden - oftast i närheten av 90 % även under vinterperioderna. Detta är en oacceptabelt hög genomsnittsnivå. Plastfolien på marken har sannolikt medfört att avdunstningen från denna varit låg. Möjligen har sanden ovan folien inte varit torr från början utan viss avdunstning har kunnat ske. Det största fukt-tillskottet härrör sannolikt från bjälklaget. Ventilationsgraden (TAB. 4) har synbarligen varit för låg för att transportera bort byggfukten utan luftfuktigheten har i stället blivit för hög i kryprummet.

Beräknad luftfuktighet - beräkningsfall 39, FIG. 35 efterliknar närmast konstruktion av Y-huset - ligger också nära 90 % de första åren innan uttorkning skett. Först efter flera år erhålls lägre luftfuktighet vintertid vid så låg ventilation som $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ i kryprummet. Mätningar och beräkningar stämmer sålunda väl.

Temperaturen i kryprummet har under hela året varit hög. De lägsta värdena, omkring ca 7°C , uppmättes vintertid. Mätningarna sommartid (som emellertid är ofullständiga) tyder på att temperaturen då inte överstiger ca 15°C . Variationen under året är sålunda ringa. Det har i sin tur medfört att golvtemperaturerna varit nära konstanta under vintersäsongen (TAB. 9 och 10). De har dessutom legat på en behagligt hög nivå - i genomsnitt ca 20°C vid rumtemperaturen ca 22°C . Temperaturen i Y-husets kryprum har varit något lägre än i S-husets medan golvtemperaturen i det förra huset varit något högre än i det senare. Y-husets kryprumskonstruktion har sålunda medfört acceptabla temperaturförhållanden.

Uttorkning

Fuktkvotsbestämningar för gasbetongbjälklaget visar att uttorkningen skett mycket långsamt (FIG. 66). Vid första provtagningen omedelbart efter att bjälklagselementen monterats bestämdes fuktkvoten till drygt 40 viktprocent. Ca tre år senare uppgick fuktkvoterna fortfarande till 20 à 30 viktprocent. Det ansågs då vara angeläget att påskynda uttorkningen. Detta skedde genom att ventilarean i grundmurarna gjordes ca 3 gånger större än tidigare. Arean upp-

Fuktkvot, viktprocent

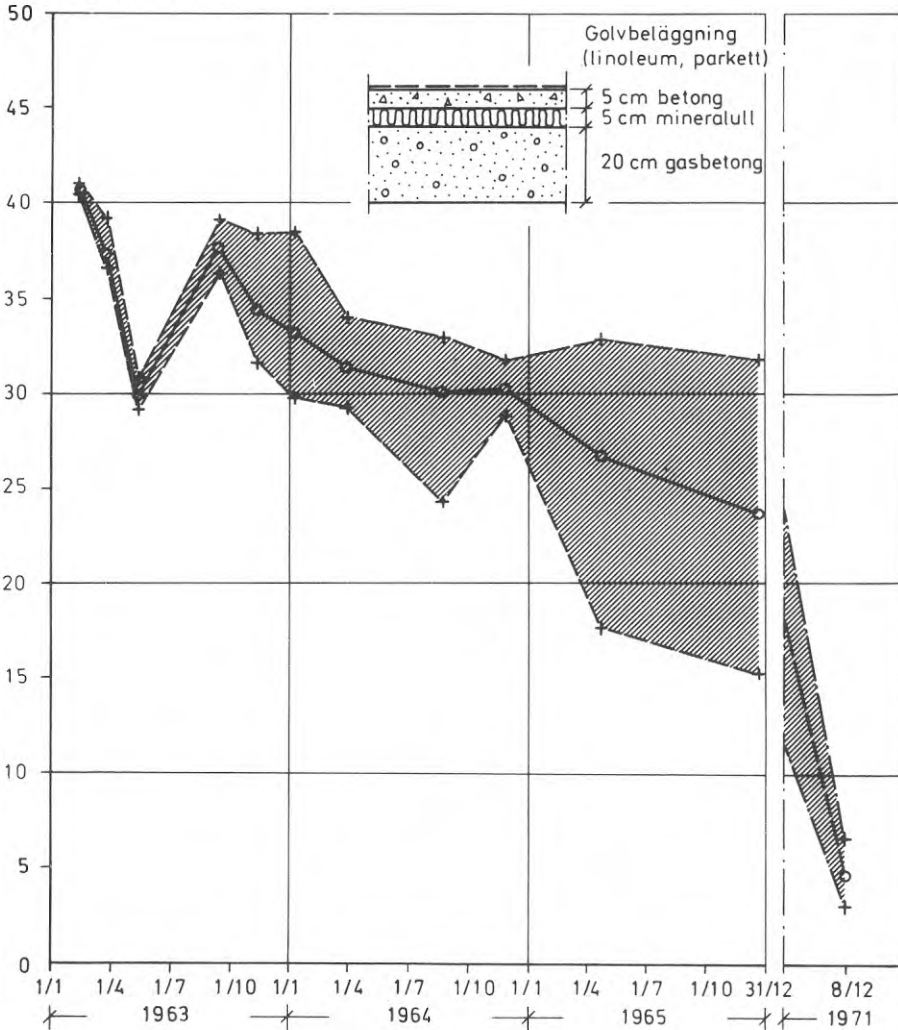


FIG. 66.

Bestämda fuktkvoter hos gasbetong i Y-husets bjälklag. Ventilöppningarna i grundmurarna har endast uppgått till ca $2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta. På så sätt har ventilationen av kryprummet blivit för liten varför gasbetongbjälklaget fortfarande efter närmare 3 år har fuktkvoter mellan 20 och 30 viktprocent. För att påskynda uttorkningen ökades ventilarean 1966 till ca $6 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta. 1971 har fuktkvoten i gasbetongen sjunkit till ca 5 viktprocent vilket visar att uttorkningen praktiskt taget avslutats. Under de första åren kan uttorkningen jämföras med beräknad enligt beräkningsfall 30, FIG. 44.

gick därefter till ca 6 cm^2 per m^2 bjälklagsyta. Kontrollbestämningar av fuktkvoten i gasbetongbjälklaget i dec. 1971 visar att gasbetongen torkat till ca 5 viktprocent. Det synes därför som om jämviktsvärden i det närmaste uppnåtts. Den ökade ventilationen har sålunda medfört att gasbetongen torkat tillfredsställande. Trots att den totala uttorkningstiden varit alltför lång har inga skador upptäckts. Resultaten visar att uttorkningen skett alltför långsamt till följd av för låg ventilationsgrad åren närmast efter husets uppförande.

Beräkningarna av uttorkningstiden visar - beräkningsfall 30, FIG. 44 - att vid så låg ventilationsgrad som $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ sker uttorkningen mycket långsamt vilket fältundersökningarna således bekräftar.

Grupphus, Helsingborg

Konstruktion

Allvarliga rötskador på träbjälklagen i samtliga kryprum inom ett grupphusområde i Helsingborg har föranlett undersökningar med syfte att dels utröna orsakerna till den höga luftfuktigheten i kryprummen, dels få fram den effektivaste metoden att skapa ett torrare klimat och hejda rötangreppen. Bakgrund och delresultat har redovisats av Elmroth & Höglund (1970) och (1972b).

Bjälklaget utgörs av trä med isolering av träullsplattor underst och ovan dessa kutterspån. Höjden mellan mark och bjälklag varierade från hus till hus mellan cirka 20 cm och drygt 100 cm (FIG. 67). I vissa kryprum har matjorden inte schaktats bort. I många hus har det dessutom funnits kvarlämnat organiskt material från byggtiden.

I grundmurarna till varje hus fanns ursprungligen tre ventiler, var och en på $15 \times 15 \text{ cm}$. Dessa gav en effektiv genomströmningsarea av cirka $4 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta. I köket fanns en fläkt som blåste ned ventilationsluft från bostadsplanet till kryprummet. Eftersom denna luft hade rumstemperatur tillfördes kryprummet därigenom värme och fick högre temperatur. Detta skulle i sin tur medföra att

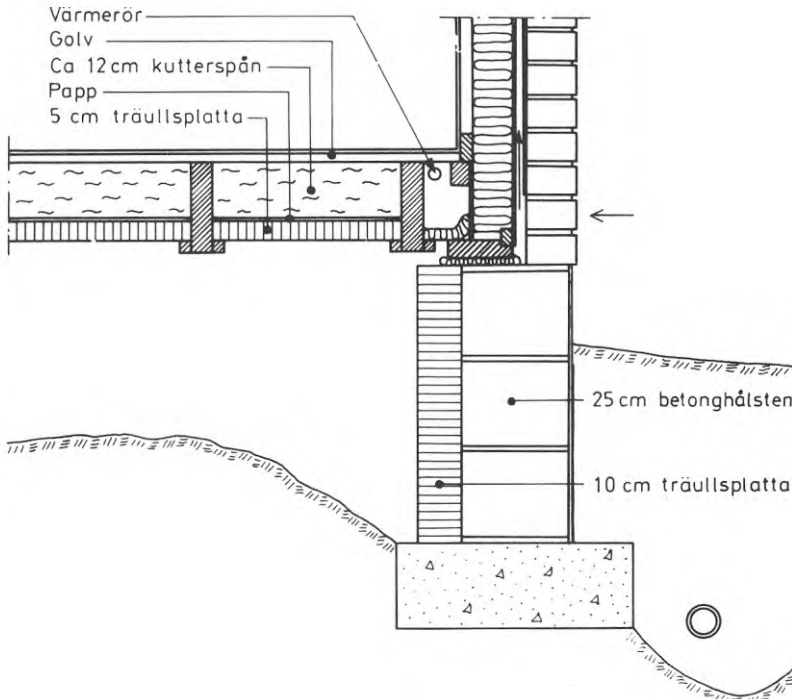


FIG. 67.

Sektion genom grundmur och kryprumsbjälklag i försökshus i Helsingborg. Figuren visar konstruktionen före ändringar. Kryprummen var sparsamt ventilerade med uteluft. Marken var fuktig och en avsevärd fuktavdunstning kunde ske. Kryprummen var fuktiga och rötskador uppkom. Till följd av skadorna ändrades konstruktionen så att uteluftventilationen av kryprummen ökades och avdunstningen från marken förhindrades på olika sätt.

golven i husen blev varmare och att risken för tjälskador blev mindre.

Ytan i de aktuella kryprummen är cirka 80 m². Grundmurarna består av 25 cm tjock betonghålstén lagd på utbredda plattor av betong. Murarna är på insidan värmeisolerade med 10 cm träullsplattor. Grundplattorna är belägna på cirka halvt frostfritt djup.

Förundersökningar visade att luftfuktigheten i kryprummen långa tider låg över 95 %. Orsakerna till den höga luftfuktigheten antogs vara flera. Från marken kunde en avsevärd avdunstning ske. Uteluftventilationen av kryprummen

var ringa. Dessutom tillfördes kryprummen fukt genom köksventilationen. Förhållandena kan jämföras med de förutsättningar som gäller för beräkningsfall 10, år 5, FIG. 26. Beräknad luftfuktighet för detta fall ligger omkring 95 % hela året. Mätningarna styrker sålunda beräkningsresultaten att vid "våta" markförhållanden i kryprummet blir luftfuktigheten oacceptabelt hög.

Problemet i det aktuella fallet var att med enklast möjliga åtgärder skapa ett torrare klimat i kryprummen utan att riskera alltför kalla golv. För att utreda hur detta bäst kunde göras, prövades olika alternativ innan den slutliga konstruktionen valdes.

Hus A

Matjordslagret har redan vid försökens början varit borttaget. På marken har uppfyllts med 10-15 cm lös (tvättad?) lättklinker (Leca). Fyra nya ventiler har tagits upp i grundmurarna. De är av samma storlek som de tre ursprungliga, dvs. 15 x 15 cm, men har något större effektiv genomströmningsarea. Den totala genomströmningsarean beräknas härigenom uppgå till cirka $12 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ bjälklagsyta. Som alternativ till den ökade ventilarean i grundmurarna har även prövats mekanisk ventilation med fläkt genom en särskild ventilationsskorsten.

Hus B

10-15 cm av matjordslagret har avlägsnats. I stället har marken i kryprummet fyllts upp med 10-15 cm lös (tvättad?) lättklinker (Leca). I grundmurarna har tre nya ventiler tagits upp. Fläkten i köket har tidigare tagits bort och ventilationskanalen till kryprummet stängts.

Hus C

10-15 cm av matjordslagret har avlägsnats. Markytan har därefter isolerats med 5 cm nätmatta av mineralull (Rockwool typ nr 441). I grundmurarna har fyra nya ventiler tagits upp. Fläkten i köket har varit avstängd.

Hus D

10-15 cm av matjordslagret har avlägsnats. På marken har inlagts en fuktspärr av 0,1 mm svart plastfolie som har täckts med 5 cm fin sand. I grundmurarna har fyra nya ventiler tagits upp. Fläkten i köket har varit avstängd.

Temperatur och relativ luftfuktighet

Temperatur och relativ luftfuktighet har mätts i kryprummen dels under en kortare period före konstruktionsändringar dels under mycket lång tid efter vidtagna ändringar. Före åtgärd var den relativa fuktigheten mycket hög - över 95 % - i samtliga fyra försökshus. Se sammanställning i TAB. 12. Temperaturen har också varit så hög att klimatet i kryprummen var mycket gynnsamt för mögel- och röttsvampangrepp. Konstruktionsändringar som ledde till torra klimat i kryprummen var alltså helt nödvändiga.

Efter konstruktionsändringar har registrering av temperatur och relativ luftfuktighet pågått minst ett år - i hus A från mars 1968 till juli 1971, se FIG. 68-71. Avsikten har varit att bestämma långtidseffekten av konstruktionsförändringarna.

I samtliga fyra studerade kryprum har luftfuktigheten blivit väsentligt lägre efter konstruktionsändringarna. I hus A och B som båda har lättklinkerisolering på marken sjönk luftfuktigheten vintertid något under 70 % - kortare perioder under 60 %. Sommartid steg luftfuktigheten i båda dessa hus till över 90 % under förhållandevis långa perioder. Samtidigt nådde temperaturen i kryprummet sitt högsta värde. Etablerade mögel- eller röttsvampar har klimatiska förutsättningar att tillväxa sommartid.

I hus C som har mineralullsisolering på marken erhöles till en början - våren 1968 - en tendens till ungefär samma låga fuktighet i kryprummet som i hus A och B (FIG. 70). De fortsatta registreringarna visade att denna trend i viss mån bröts. Under hösten 1968 låg luftfuktigheten hela tiden på en hög nivå. Inte förrän i mars-april 1969 har värden under 80 % registrerats. Temperaturen har legat på en förhållandevis hög nivå. Det är sannolikt att en tem-

TAB. 12. Relativ fuktighet och lufttemperatur (medelvärden) i kryprumsgrunder före ombyggnad.

Hus	Mätperiod 13/11-27/11 1967			Mätperiod 27/11-15/12 1967		
	Relativ fuktighet	Temperatur	Anmärkning- ar	Relativ fuktighet	Temperatur	Anmärkning- ar
	%	°C		%	°C	
A	~96	~+8	Fläkt avstängd	~96	~+7	Fläkt avstängd. Stor fuktighet på syll strax ovanför inspektionslucka
B	~94	~+7	Fläkt saknas	~96	~+7	Fläkt saknas. Marken "vit" med små toppar. Tydliga svampangrepp på bjälklaget och på sylvlen. Svamp-lukt
C	~96	~+9	Fläkt igång en vecka	~97	~+9	Fläkt igång. Fuktigt innanför inspektionslucka på mur och syll.
D	~97	~+11	Fläkt igång	~97	~+10	Fläkt igång. Vattendroppar innanför inspektionslucka. Svamp-lukt. Marken mycket fuktig

peraturgradient tidvis uppkommer i mineralullsisoleringen. Vid den höga luftfuktighet som sommartid råder i kryprummet kan temperaturgradienten i värmeisoleringen medföra risk för att kondensering sker i mineralull eller i gränsskikt mellan mark och mineralull. Ev. kondenserad fukt i mineralullen kan kvarstanna lång tid och medföra en ökad fuktavgivning till kryprummet under normalt sett torrare perioder. Om motsvarande kondensering sker i lättklinker kan kondensvattnet lätt rinna ned mot markytan. Lättklinkerskiktet förhindrar att kondensvattnet avdunstar i kryprummet.

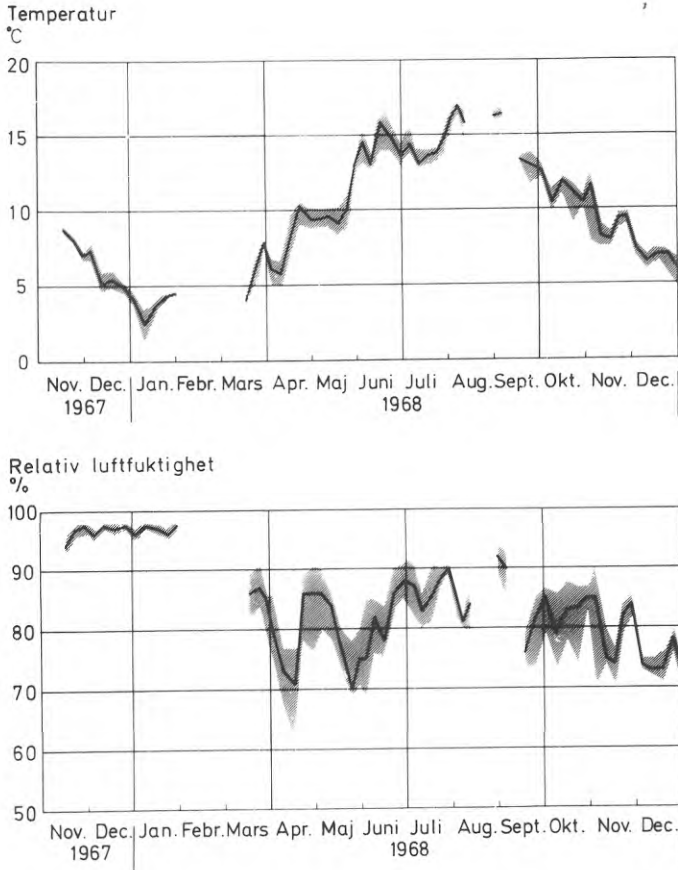


FIG. 68a.

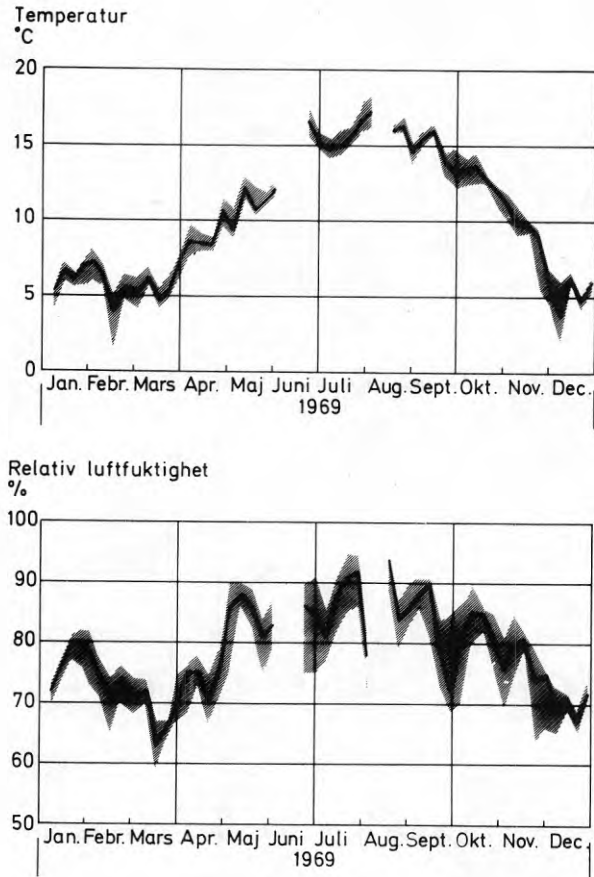


FIG. 68b.

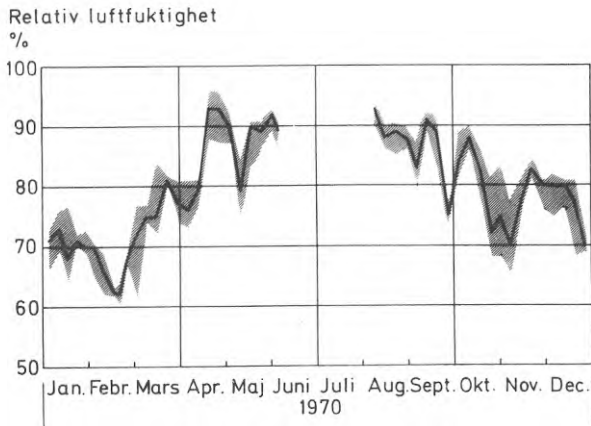
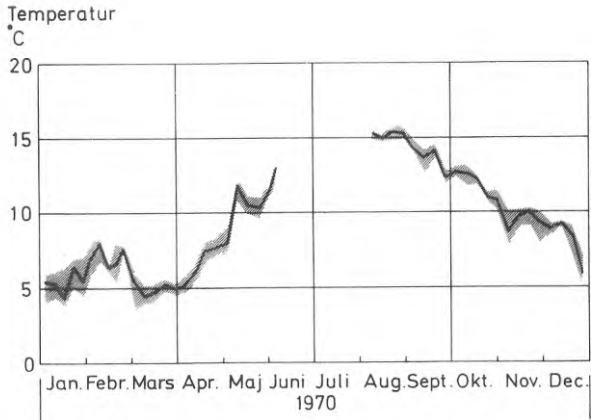


FIG. 68c.

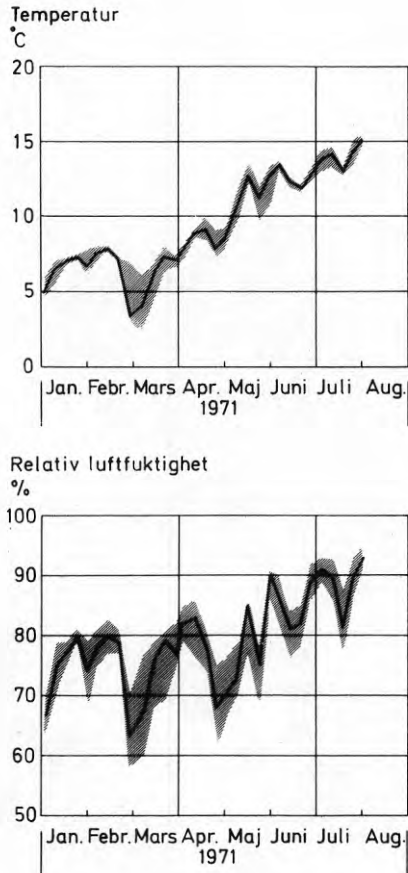


FIG. 68d.

FIG. 68a-d.

Uppmätt temperatur och relativ luftfuktighet i hus A för tiden november 1967 - juli 1971, med kortare avbrott. Registreringar före februari 1968 avsåg förhållanden före konstruktionsändringar. Därefter har ventilationen förbättrats och marken isolerats med lättklinker. Jämför beräknade temperaturer och luftfuktigheter - beräkningsfall 18. Temperatur redovisas i FIG. 18 och luftfuktighet i FIG. 28, "år 5".

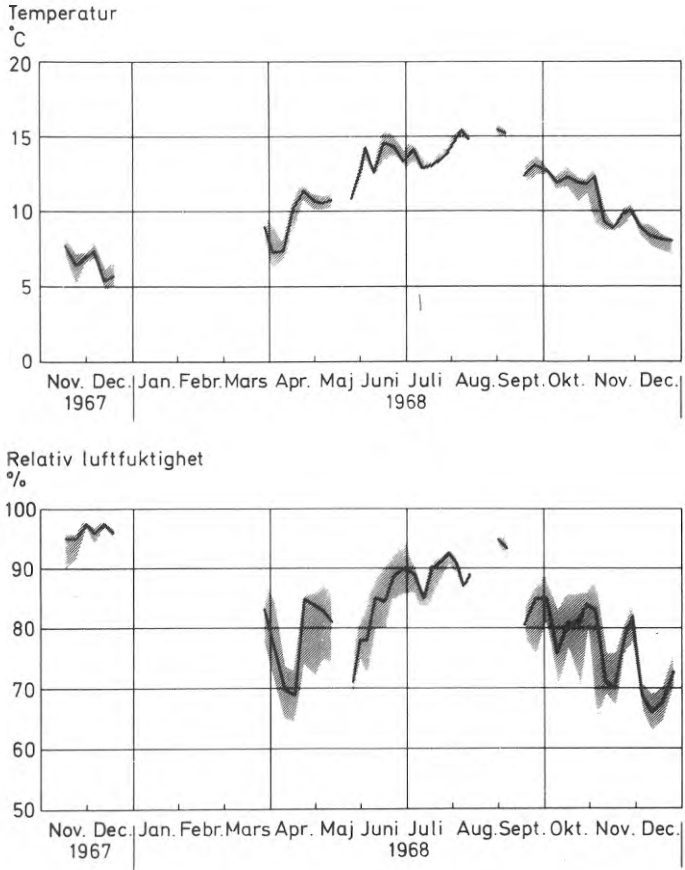


FIG. 69a.

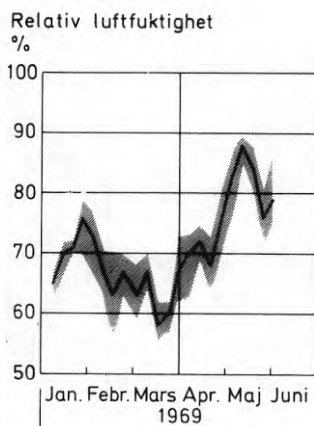
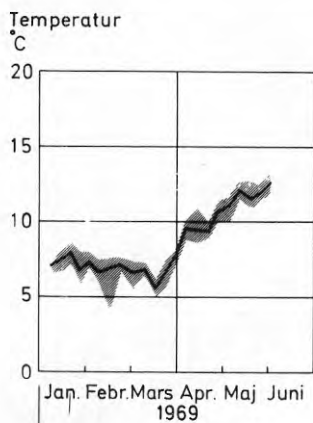


FIG. 69b.

FIG. 69a-b.

Uppmätt temperatur och relativ luftfuktighet i hus B för tiden november 1967 - maj 1969 med kortare avbrott. Registreringar 1967 avser förhållanden före konstruktionsändringar. Från och med 1968 har ventilationen förbättrats och marken isolerats med lättklinker. Jfr beräkningsfall 18, FIG. 28.

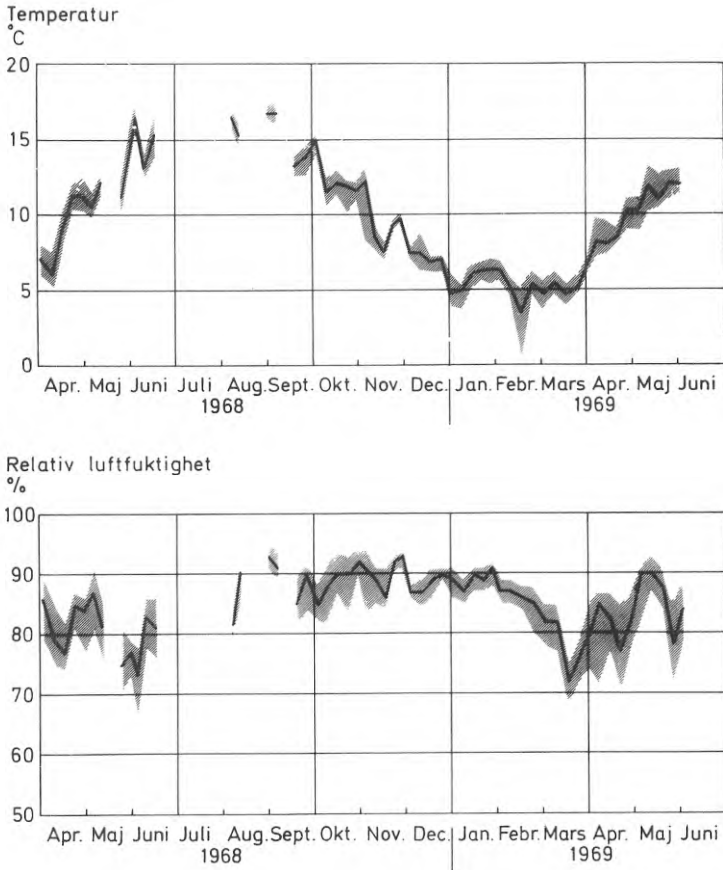


FIG. 70.

Uppmätt temperatur och relativ luftfuktighet i hus C för tiden april 1968 - maj 1969. Registreringar avser förhållanden efter konstruktionsändringar med förbättrad ventilation och isolering av marken med mineralull. Jfr beräkningsfall 17, FIG. 28.

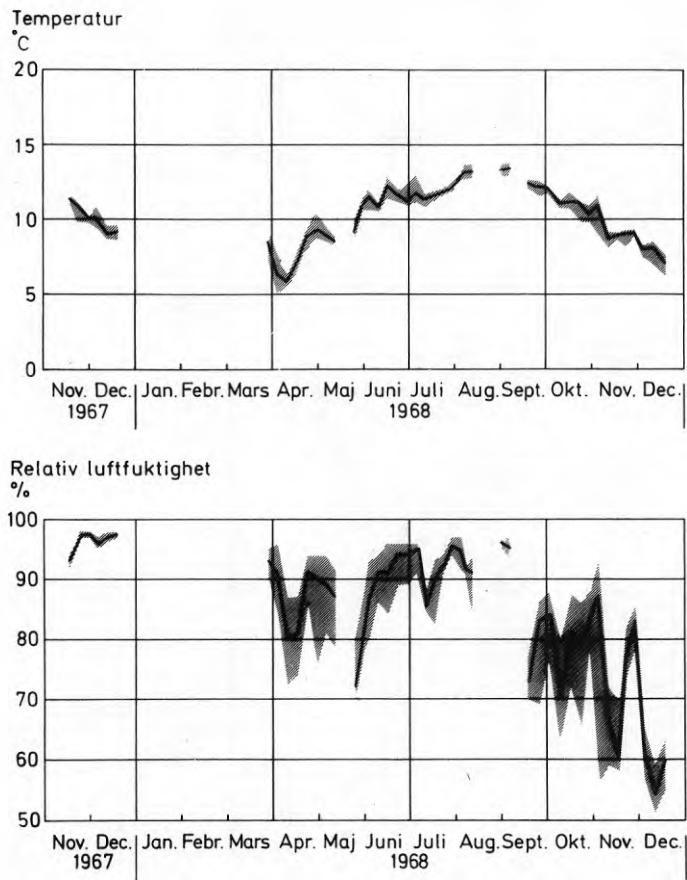


FIG. 71a.

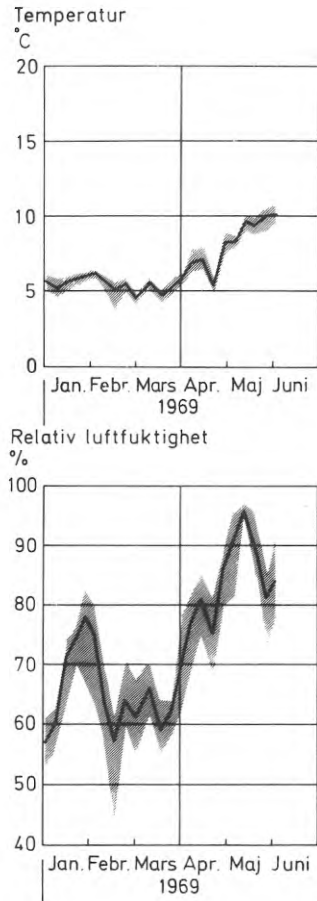


FIG. 71b.

FIG. 71a-b.

Uppmätt temperatur och relativ luftfuktighet i hus D för tiden november 1967 - juni 1969 med kortare avbrott. Registreringar 1967 avser förhållanden före konstruktionsändringar. Därefter har ventilationen förbättrats och en plastfolie täckt av sand har lagts på marken. Jfr beräkningsfall 18, FIG. 28.

I hus D, som har plastfolie med sandskikt, har den relativa fuktigheten under den första mätperioden - april och maj 1968 - legat högt (FIG. 71). Efter hand har fuktigheten sjunkit, och under vintern 1969 var den mycket låg. Den höga fuktigheten i början torde bero på att sanden inte torkats tillräckligt innan den lades in.

En jämförelse av de uppmätta värdena för den relativa fuktigheten i de olika kryprummen under februari och mars 1969 visar att fuktigheten var lägst i hus D (plastfolie och sand). I hus A och B var det obetydligt fuktigare. Den relativa fuktigheten varierade mera i hus D än i hus A och B. Plastfolien utgör självfallet en effektiv spärr för fukttransport från marken varför fuktigheten i ett kryprum med plastfolie starkt påverkas av förändringar i uteklimatet. Den låga fuktigheten i hus A och B visar att den lösa lättklinkerfyllnaden förhindrar fukttransport från marken. De mindre fluktuationerna i dessa hus jämfört med dem i hus D tyder på att lättklinkern förmår dämpa effekten av tillfälliga klimatförändringar.

I hus A, och i ännu högre grad i hus B, har temperaturen i kryprummet varit högre än i hus D. Det tyder på att lättklinkern också medför att värmetransporten från kryprummet till marken minskar. Av intresse att notera i detta sammanhang är att före resp. ombyggnader det rådde betydligt högre temperatur i hus D än i hus A och B.

Temperaturerna i de olika kryprummen beror självfallet på utetemperaturen. I FIG. 72 visas utetemperaturer i Helsingborg för år 1969, 1970, 1971 och normalåret 1931-1960. Under de år registreringar företagits har utetemperaturen endast obetydligt avvikit från normalårets.

Konstruktionen av kryprummen efter förändringar kan närmast jämföras med den som beräkningsfall 18 avser. Iso-lergrad hos bjälklag och grundmurar är nära desamma. Lundaklimat förutsätts vid beräkningarna, vilket liknar helsingborgsklimat. Ventilationen har förutsatts vara $2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ vilket väl stämmer med resultaten från bestämningarna av antalet luftomsättningar i kryprummen. Se TAB. 5. Enligt FIG. 28, år 5, sjunker luftfuktigheten vin-

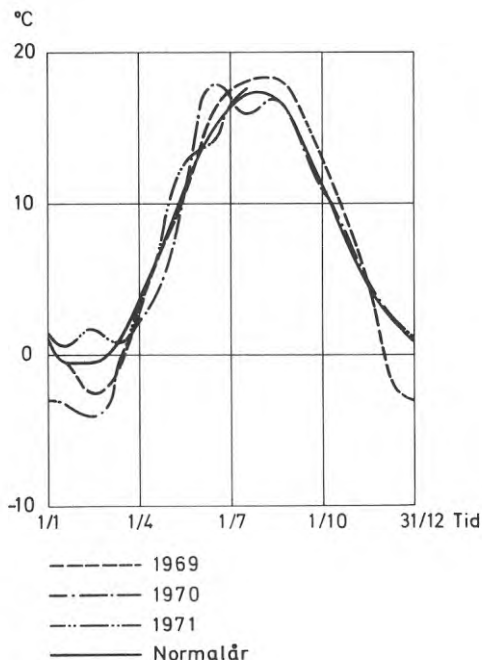


FIG. 72.

Utetemperaturer - månadsmedelvärden - i Helsingborg enligt SMHI:s registreringar för åren 1969, 1970, 1971 samt normalåret 1931-1960. Temperaturen de aktuella åren har nära överensstämt med normalårets.

tertid till ca 65 % för att sommartid överstiga 90 %. Uppmätta värden för hus A, B och D (FIG. 68, 69 resp. 71) överensstämmer väl med dessa resultat. I hus C har luftfuktigheten dock legat högre vintertid varför uppmätta värden överensstämmer bättre med beräkningsfall 17 (FIG. 28). Vid detta förutsätts nämligen en betydande avdunstning från marken till kryprummet. Beräkningarna styrker därför slutsatsen att mineralullen inte fungerat lika väl som lättklinkern när det gäller att begränsa avdunstningen från marken i kryprummet.

Uppmätta temperaturer stämmer väl med beräknade i samtliga hus, se FIG. 18. Teoretiskt beräknade värden överensstämmer sålunda med undersökningsresultaten.

Grupphus, Ekerö

Konstruktion

Dessa hus ingår i ett relativt stort gruppbyggt småhusområde. Husen har sammanbyggt i block om 10-12 hus vilka har gemensamt kryprum. De enskilda husen är L-formade

och lagda intill varandra så att varje hus med tillhörande förråd får en inbyggd skyddad uteplats. Ytan av varje hus är ca 110 m^2 varför ett husblock om 10-12 hus har en yta av ca $1100-1300 \text{ m}^2$. Kryprummet ventileras genom en ventil - bruttoarea ca $15 \times 20 \text{ cm}$ - i grundmuren till varje hus. Dessutom sker en för varje husblock gemensam ventilation genom en ventilationsskorsten. Utsugning av luft genom denna sker med fläkt som beräknas ha en kapacitet om 500 m^3 luft per h. Kryprummen tillförs luft genom ventilerna i grundmurarna. Luften evakueras med fläktventilation. Med dessa antaganden uppgår ventilationen av kryprummen som högst till ca $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta. Ventilationsanläggningens konstruktion medför att ventilationsgraden kan vara olika för varje hus i en och samma grupp.

Grundkonstruktionen visas i FIG. 73. Grundmurarna utgörs av betongbalkar som vilar på plintar. Balkarna är oisole-

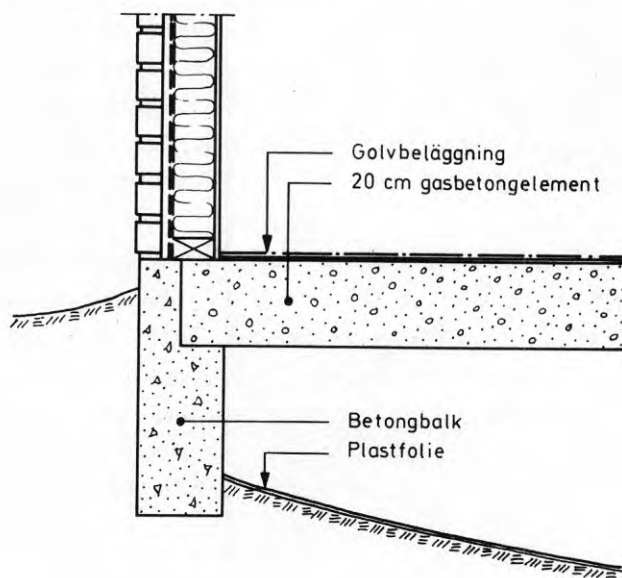


FIG. 73.

Sektion genom grundbalkar och bjälklag över kryprum till grupphus, Ekerö. Grundmurarna utgörs av oisolerade betongbalkar upplagda på plintar. Bjälklaget består av gasbetongelement. Husen ligger sammanbyggda i block om 10-12 hus med gemensamt kryprum. Ventilation sker dels genom en ventil i grundmuren till varje hus dels genom en för varje husblock gemensam ventilationsskorsten.

rade. Bjälklagen utgörs av 20 cm gasbetongelement med golvbeläggning ovanpå. Avdunstningen från marken hindras av en plastfolie som lagts en tid efter det att husen byggts. Ca 1 år efter det att husen byggts upptäcktes korrosionsskador på bjälklags-elementen. Skadorna antogs ha två huvudorsaker, nämligen dels brister i utförandet av rostskyddet på armeringen vid tillverkningen av gasbetongelementen, dels kvarvarande byggfukt. Undersökningar som omfattade bestämning av fuktkvoter i gasbetongelementen, kontroll av ventilationsmöjligheter och okulärinspektioner har därför utförts.

Uttorkning

Uttorkningsförloppet har för några hus följts under lång tid. I FIG. 74 och 75 ges som exempel bestämda fuktkvoter för gasbetongelementen för två olika hus från olika husblock. Värdena i dessa figurer representerar tämligen väl genomsnittet för samtliga undersökta hus i gruppen.

Figurerna visar att uttorkningen av gasbetongelementen skett mycket långsamt. Husen uppfördes 1967. Inte förrän 1973 erhöles i hus D fuktkvoter understigande 10 % i bjälklagets olika skikt. I det från början fuktigare huset F understeg fuktkvoterna 10 % först 1974. Skadebesiktningar visar att när fuktkvoterna är lägre än ca 10 % minskar risken för korrosionsskador avsevärt. Undersökningarna i husgruppen visar att det tagit 6 à 7 år innan fuktkvoterna sjunkit så lågt att nya skador inte behöver befaras. Under denna tid har ändå inte all byggfukt torkat. Jämviktsfuktkvoten för gasbetong ligger nämligen omkring ca 6 %. Med samma uttorkningshastighet som hittills tar det ca 10 år från uppförandet av husen innan fuktjämvikt råder.

Av figurerna framgår också hur fuktfördelningen oftast blir i gasbetongbjälklag över kryprum. Över- och underkant på bjälklagen torkar snabbast. Under hela uttorkningsperioden har fuktkvoterna varit högst i bjälklagsmitt. Golvbeläggning med t.ex. plastmattor kan förutsättas vara så tät att uttorkning sker ensidigt nedåt genom kryprummet. Pihlajavaaras (1965) förutsättning om en fukt-

Fuktkvot, viktprocent

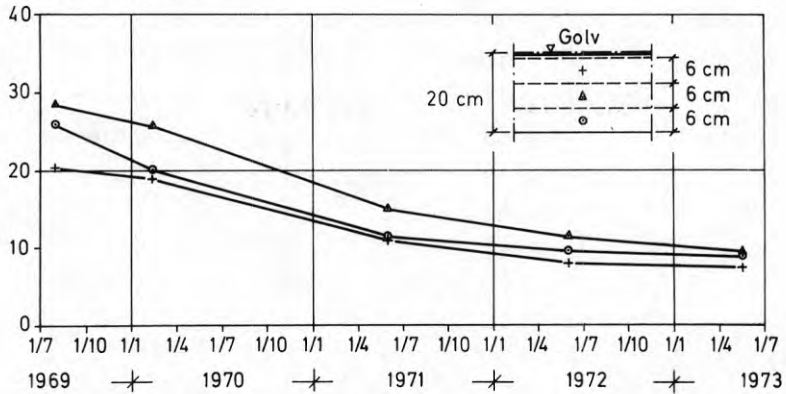


FIG. 74.

Bestämda fuktkvoter i gasbetongelement i hus D, grupphus Ekerö, under tiden 69-07-01 - 73-07-01. Fuktkvoten har sjunkit långsamt. Jämför beräkningsfall 30, FIG. 44. Av de tre olika kurvorna framgår också fuktfördelningen i bjälklaget. Högsta fuktkvoten har hela tiden erhållits i bjälklagsmitt. Det har varit torrare såväl i överkant som i underkant.

Fuktkvot, viktprocent

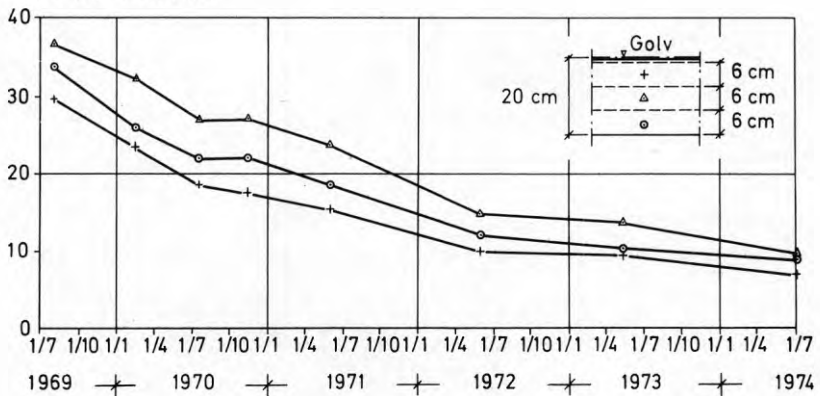


FIG. 75.

Bestämda fuktkvoter i gasbetongelement i hus F, grupphus Ekerö, under tiden 69-07-01 - 74-07-01. Uttorkningen har även i detta hus skett långsamt. Det har dröjt närmare sju år från det husen uppfördes 1967 tills fuktkvoter under 10 % erhållits i gasbetongelementen. Jämför beräkningsfall 30, FIG. 44. Fuktfördelningen är även i detta hus sådan att fuktkvoten hela tiden varit högst i bjälklagsmitt och lägre såväl i underkant som i överkant.

fördelning vid ensidig uttorkning enligt FIG. 11 är sålunda inte uppfylld i praktiken. Det kan bero bl.a. på att överdelen av bjälklagen hunnit torka något före golvläggningen. Dessutom finns en temperaturgradient över bjälklaget som påverkar fukttransporten till viss del.

Den mycket långsamma uttorkningen av bjälklagen torde främst bero på att ventilationen är mycket ringa. Inspektioner har nämligen visat att plastfolien under större delen av året kan förväntas ha bidragit till att hindra avsevärd vattenavdunstning från marken. Tidvis har dock vattenansamlingar förekommit lokalt ovanpå folien till följd av läckage, alternativt inrinnande vatten.

Jämförs uppmätta fuktkvoter med beräknade enligt beräkningsfall 30, FIG. 44, där ventilationen antagits till $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta, är överensstämmelsen god. Beräkningarna visar nämligen att efter så lång tid som 5 år är fuktkvoten fortfarande nära 10 %. Fältundersökningarna bekräftar således beräkningsresultatet att så ringa ventilation som $0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ fördröjer uttorkningen på ett oacceptabelt sätt.

Sammanfattning av resultat från fältundersökningar

Temperaturer

Registreringar av temperaturen i kryprum i södra och mellersta Sverige har givit bl.a. följande resultat. Vintertid sjunker temperaturen endast kortvarigt under $+5^\circ\text{C}$. Temperaturer under 0°C har inte registrerats. Under sommaren stiger temperaturen till omkring $+15^\circ\text{C}$. Denna temperatur är tillräckligt hög för att bl.a. rötsvampar skall kunna tillväxa relativt snabbt i trävirke. Vintertid är den dock så låg att tillväxten för de flesta arter i stort sett avstannat.

Relativ fuktighet

Registreringarna av relativ fuktighet i kryprum visar att den bli hög under hela året om ventilationen är ringa, om avdunstningen från marken är stor och om fuktillskotten

från uttorkning av byggfukt är stora. Vid väl ventilerade torra kryprum kommer luftfuktigheten att variera kraftigt under året när byggfukten väl har torkat. Vintertid sjunker luftfuktigheten. Värden kring 60 % och därunder erhålls regelmässigt. Under sommaren stiger däremot luftfuktigheten regelmässigt över 90 % även vid torra välventilerade kryprum. Det innebär att det är tillräckligt fuktigt för etablerade röt- och mögelsvampar att tillväxa. Fuktförhållandena i kryprummen är också sådana att uttorkning av byggfukt huvudsakligen kan ske vintertid.

Uttorkning

Uttorkningen av gasbetongbjälklag över kryprum har följts i ett flertal objekt. Om avdunstningen från marken förhindrats inverkar huvudsakligen ventilationen på uttorkningshastigheten. En ventilation omkring $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta har visat sig vara helt otillräcklig för en acceptabel uttorkning. Är ventilationen större än ca $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ har gasbetongbjälklaget torkat till ofarlig nivå inom ca två år.

Jämförelse med teoretiska beräkningar

Teoretiskt beräknade temperaturer, relativa fuktigheter och uttorkningstider har jämförts med resultaten från undersökningar i ett flertal objekt. I fältundersökningarna har ingått olika konstruktionstyper hos kryprummen - ventilationsgraden har varit olika, materialet i bjälklagen har varit olika (gasbetong och trä), isolergraden har varit olika, fuktavgivningen från marken har varit olika. Studerade objekt har dessutom legat både i Mellansverige och i södra Sverige. Resultaten från fältundersökningarna överensstämmer i huvudsak med beräkningsresultaten vid samtliga jämförelser. På grundval härav torde beräkningarna kunna anses gälla för alla beräkningsfall.

INNELUFTVENTILERADE KRYPRUM

KONSTRUKTIONSPRINCIP

Inneluftventilerade kryprum, dvs. kryprum som enbart ventileras med inneluft, skiljer sig funktionsmässigt väsentligt från vanliga uteluftventilerade kryprum. Rumsluften har normalt högre ånghalt än uteluften. Inneluftventileringen medför därför att kryprummet ventileras med luft av högre ånghalt än när ventileringen sker med uteluft. Om inneluftventilerade kryprum konstrueras så att temperaturen blir lika låg där som i uteluftventilerade kryprum är risken stor att fukttillskottet från inneluften gör att relativa ånghalten blir oacceptabelt hög i kryprummet. Detta kan motverkas genom att man konstruerar kryprummet så att detta får i det närmaste rumstemperatur. Förhöjd temperatur i kryprummet kan erhållas på olika sätt. Kryprummet kan värmeisoleras på grundmurar och mark medan bjälklaget lämnas oisolerat. Inneluftventileringen ger värme till grunden och därigenom acceptabla golvtemperaturer. Ett annat sätt att höja temperaturen är att tillföra värme. Extra värme måste tillföras kryprummet för att temperaturen där skall bli tillräcklig om bjälklaget över kryprummet är värmeisolerat. Normalt är värmertilförsel med enbart ventilationsluft inte tillräckligt. Detta påstående verifieras av bl.a. resultaten från försökshuset i Helsingborg.

Ett sätt att höja temperaturen i kryprummet är att ta vara på spillvärme från värmekulvertar och spillvattenledningar. Detta har utnyttjats av bl.a. Bjerking (1958) (undersökningar redovisade av Höglund & Ottoson, 1961) och Tellstedt (1973). Kryprummen konstruerades så att en begränsad mängd uteluft tillfördes desamma. Bestämda lufttemperaturer i dessa kryprum har varit mycket höga - i allmänhet omkring $+20^{\circ}\text{C}$. Tellstedt redovisar att tidvis har luftfuktigheten i kryprummen varit mycket hög till följd av svårigheter med att få dräneringen att fungera. Sedan denna justerats och sedan en ångspärr av plastfolie lagts ut på marken i kryprummen har godtagbara värden på luftfuktigheten erhållits.

Konstruktionen med välisolerade grundmurar och mark och med oisolerat bjälklag kan närmast betraktas som ett specialfall av konstruktion med bjälklag på jord med t.ex. ventilerat trägolvs. Den väsentliga skillnaden är att luftspalten mellan trägolvs och isolering blir så stor att den kan kallas kryprum. Detta kryprumsalternativ har vissa fördelar jämfört med normala bjälklag på jordkonstruktion. Det större luftutrymmet medför bättre temperaturutjämning i grunden och minskar risken för kalla golvs. I Canada och USA används ofta varmluftsuppvärmning varvid kryprummet utnyttjas för att kunna distribuera och fördela varmluften. Hansen (1963).

Konstruktionen med inneluftventilerade kryprum kan bli rationell och mycket enkel vid större byggnader. Ett exempel på detta redovisas nedan.

FÖRSÖKSOBJEKT

En industri- och kontorsbyggnad har uppförts i Gävle. Byggnaden har planmått 54 x 120 m. Grundläggning har gjorts på plintar som utgör upplag för betongbalkar. Över kryprummet har lagts ett betongbjälklag av s.k. TT-kassetter. Se FIG. A1. Valet av inneluftventilerat kryprum medför att bjälklaget inte behöver värmeisoleras. Bjälklagskonstruktionen har därför kunnat förenklas. Undergolv av betong har gjutits direkt på TT-kassetterna. Enbart insidan av yttre grundbalkar och marken intill dessa har värmeisolerats. Dessa delar har isolerats med 10 cm tjocka mineralullsskivor. I övrigt lämnades marken inne i kryprummet oisolerad enär denna bedömdes ha tillräckligt högt värmemotstånd i och för sig. Lösningen innebar en stor materialbesparing i jämförelse med det fall att hela bjälklaget isolerats. Kryprummet ventilerades utförts så att ventilationsluften från hela byggnaden suges ned vid kryprummet yttre gavlar. Luften suges därefter in i en samlingskanal mitt under byggnaden som mynnar ut genom en grundbalk under en lastkaj. Med denna lösning erfordrades inga ventilationsskorstenar. Även ventilationsanläggningen har därför kunnat förenklas något. Det beräknas att den

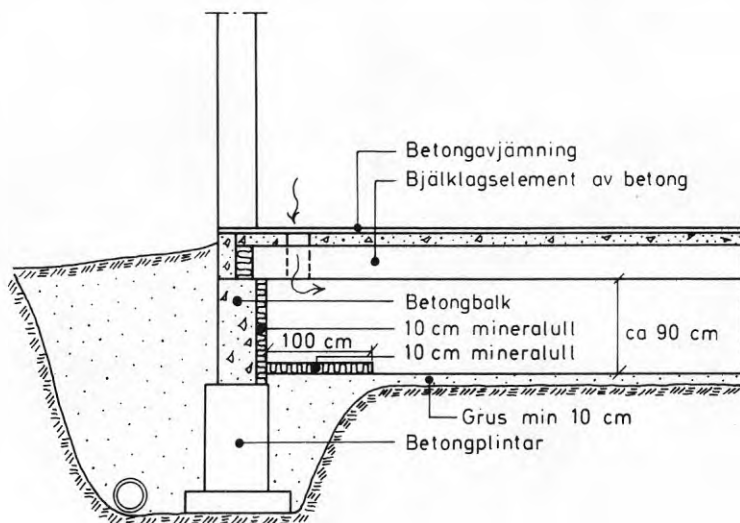


FIG. A1. Sektion genom grundmur och kryprumsbjälklag till kontors- och industribyggnad i Gävle. Bjälklaget är oisolerat varför grundbalkar och mark intill dessa värmeisolerats med 10 cm mineralull. Kryprummet ventileras med inneluft. På marken har grusavjämning gjorts för att minska avdunstningen från denna.

luftmängd som ventileras bort i kryprummet är minst $1 \text{ m}^3/\text{h}$ och m^2 bjälklagsyta. Någon avsiktlig tillförsel av uteluft till kryprummet har inte skett.

Det bedömdes att marken i kryprummet var relativt torr. Det ansågs att en grusavjämning borde räcka för att hindra alltför stor avdunstning.

UNDERSÖKNINGAR

Temperatur och relativ luftfuktighet har mätts med termohygrografer på fem olika platser i byggnaden. Ett instrument placerades uppe i byggnadens lagerdel. Fyra instrument placerades i kryprummet. Två av dessa instrument stod nära grundbalkar vid husets ena gavel där ventilationsluften tas ned till kryprummet. De andra två stod inne i kryprummet där ventilationsluften samlas i en kanal. Undersökningarna pågick från dec. 1971 till jan. 1973 med avbrott under semesterperioden.

TEMPERATUR OCH RELATIV LUFTFUKTIGHET

Utetemperaturen i Gävle under 1972 visas i FIG. A2. Medeltemperaturen var ca 1°C högre än under normalåret. Temperatur och luftfuktighet i byggnadens lagerdel visas i FIG. A3. Vintertid har tidvis så låg temperatur som $+15^{\circ}\text{C}$ uppmätts i lagret. $+17-18^{\circ}\text{C}$ synes vara normal temperatur under eldningssäsongen. Även luftfuktigheten har varierat under året. I februari-mars var den ca 30 %. Den steg till nära 70 % sommartid. Klimatet i kryprummet påverkades givetvis i hög grad av förhållandena i byggnaden med den ventilationsanläggning som installerats.

I FIG. A4-A7 visas temperatur och relativ luftfuktighet i kryprummet. FIG. A4 och A5 avser mätplatserna närmast yttre grundbalk samt A6 och A7 avser mätplatserna mitt under hu-

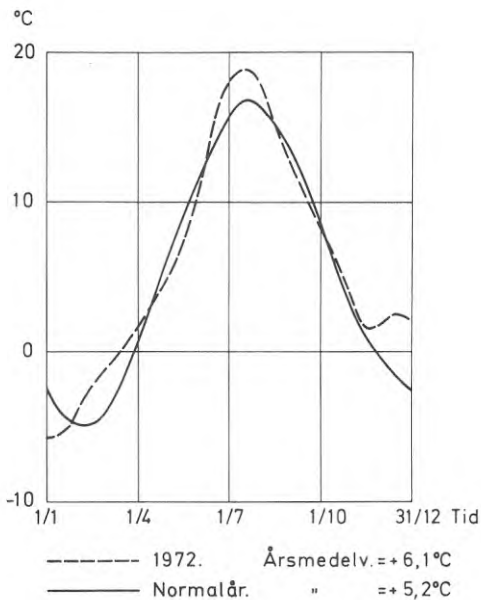


FIG. A2.

Utetemperatur i Gävle enligt SMHI för år 1972 när huvuddelen av mätningarna utfördes och för normalåret. Utetemperaturen har varit något högre under mätningarna än vad som är normalt.

set. Temperaturen var några grader lägre i kryprummet än uppe i byggnaden. Någon betydande temperaturskillnad mellan de fyra mätplatserna kunde inte påvisas. Dock var det något högre temperatur mitt inne under huset, FIG. A7, än vid grundbalkarna. Det relativt stora luftutrymmet torde ha bidragit till en jämn temperatur i kryprummet.

I februari 1972 utfördes en stickprovsmässig kontrollmätning av luft- och golvtemperaturer i byggnaden. Vid mätillfället varierade lufttemperaturen i lokalerna mellan ca 21°C och 23°C. Temperaturen på golvet var i flertalet mätpunkter 2-3°C lägre än i luften. Lokalt uppmättes lägre golvtemperaturer. Detta berodde på att kall uteluft kommit in i lokalen genom öppna ytterdörrar.

Den relativa fuktigheten var olika i olika delar av kryprummet. Vid kantbalken där ventilationsluften kommer ned i kryprummet var relativa fuktigheten låg och varierade på samma sätt som i lagret. Den något högre luftfuktigheten berodde till väsentlig del på temperatursänkningen. Mitt under huset uppmättes väsentligt högre värden på luftfuktigheten, FIG. A6 och A7. Så var fallet speciellt i början av mätperioden och under sommaren. Mot slutet av mätperioden nov. 1972 - jan. 1973 skedde en tydlig nedgång i luftfuktigheten. Dessa resultat tyder på att första vintern - i början av mätperioden - avsevärda mängder fukt tillfördes kryprumsluften. Fukten härrörde sannolikt från byggfukt i betongkonstruktioner och från fukt i de översta marklagren. Efterhand synes fukttillskottet avta varvid kryprummet blir torrare. Större delen av byggfukten har torkat. Med valda konstruktionsmaterial i kryprummet har inga skador eller fuktproblem uppkommit trots de relativt höga luftfuktigheterna under den första tiden.

Vad avser fukt- och temperaturförhållanden har det inne-luftventilerade kryprummet fungerat tillfredsställande.

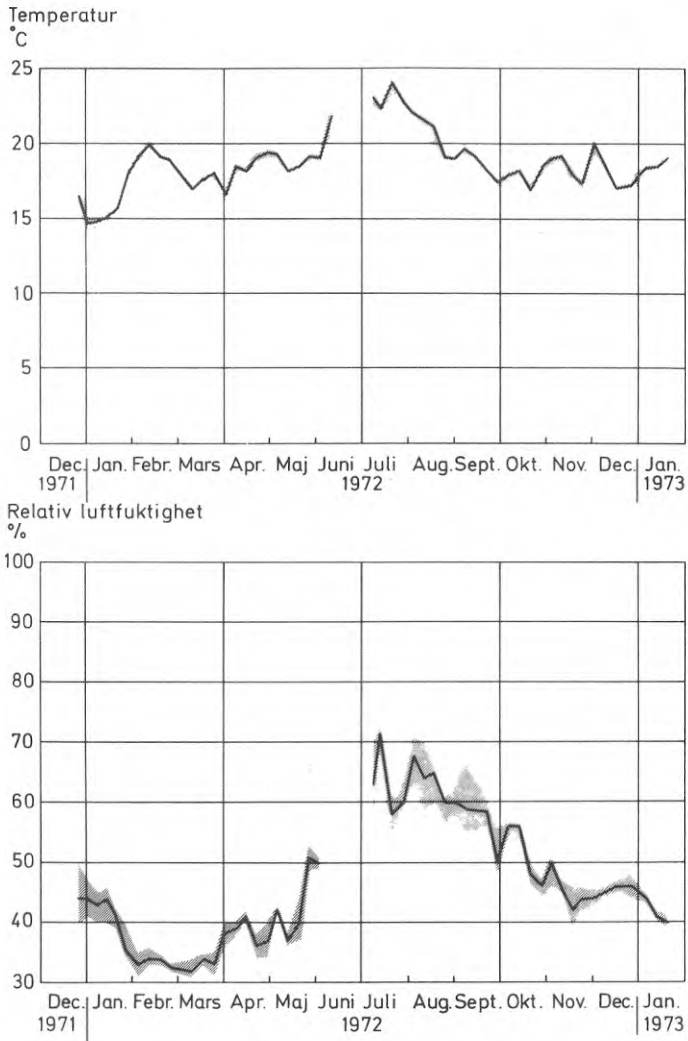


FIG. A3. Bestämd temperatur och relativ luftfuktighet i en lagerdel av byggnaden. Lufttemperaturen har tillåtits variera under året. Vintertid har den varit lägre än normal rumstemperatur.

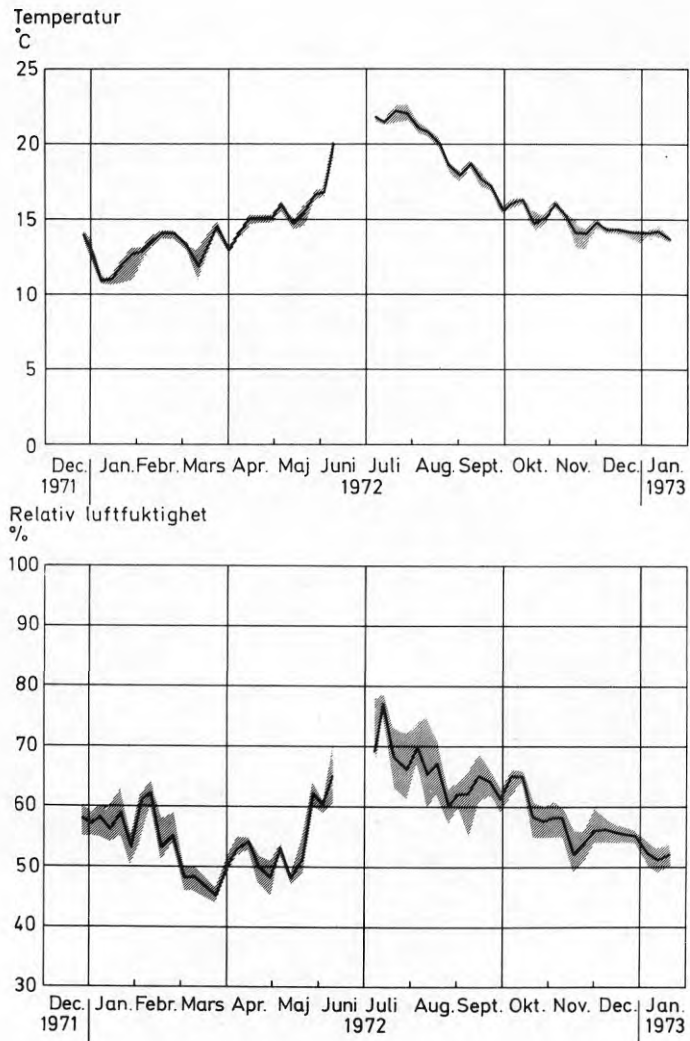


FIG. A4. Temperatur och relativ luftfuktighet i krypprum bestämd några meter från ytterhörn. Vid ena grundbalken tillförs krypprummet ventilationsluft från lagerdelen. Temperaturen är något lägre och relativa luftfuktigheten något högre än uppe i byggnaden.

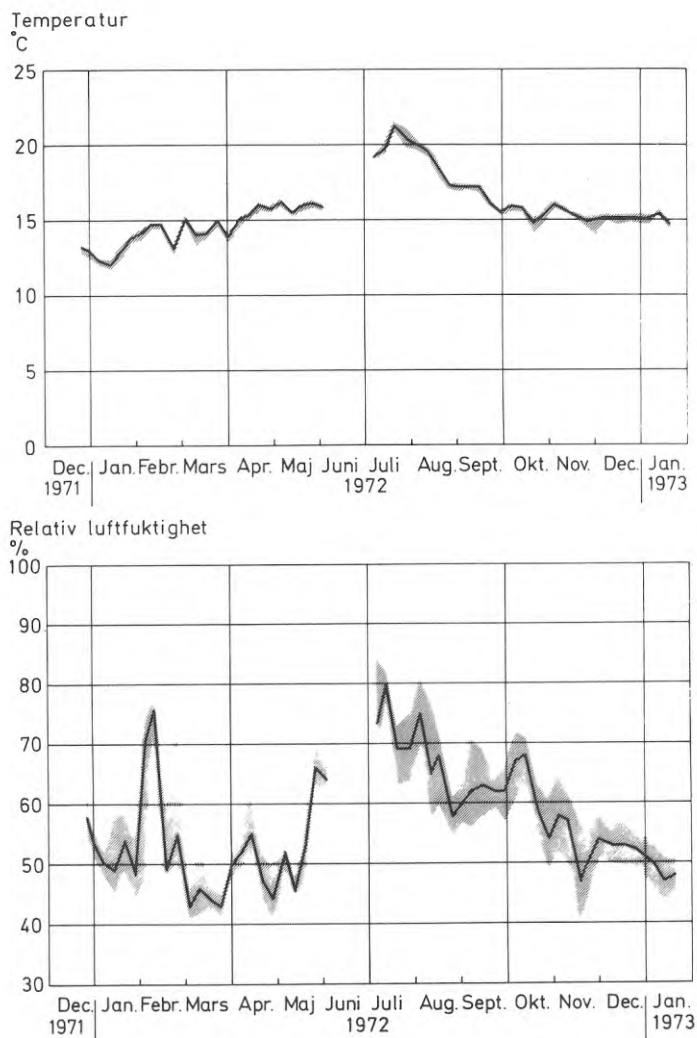


FIG. A5. Temperatur och relativ luftfuktighet i kryp- rum bestämd några meter från grundbalk mitt för husets kortsida. Även intill denna mät- plats tillförs ventilationsluft från byggnadens lager. Det har rått ungefär samma tem- peratur och luftfukgihet på denna mätplats som invid ytterhörn.

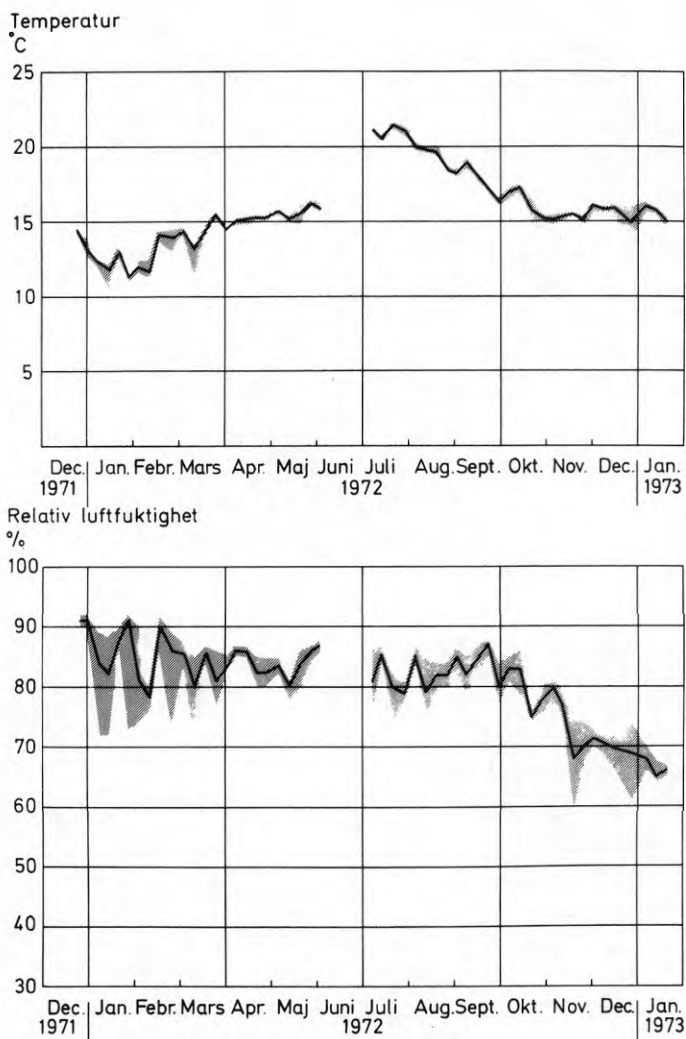


FIG. A6. Temperatur och relativ luftfuktighet i kryprummet bestämd några meter från grundbalk mitt för husets långsida. Intill denna mätplats sugs ventilationsluften in i en samlingskanal. Vid jämförelse med förhållande vid ytterhörnet FIG. A4 har luften tillförts avsevärd mängd fukt. Efter som mätningarna påbörjades omedelbart sedan huset färdigställdes finns självfallet stora mängder byggfukt kvar. En del av denna byggfukt liksom fukt från marken tillförs luften i kryprummet och ventileras ut med denna. Efter ca 1 år i nov.-72 har luftfuktigheten börjat sjunka, vilket kan tolkas så att huvuddelen av byggfukten torkat.

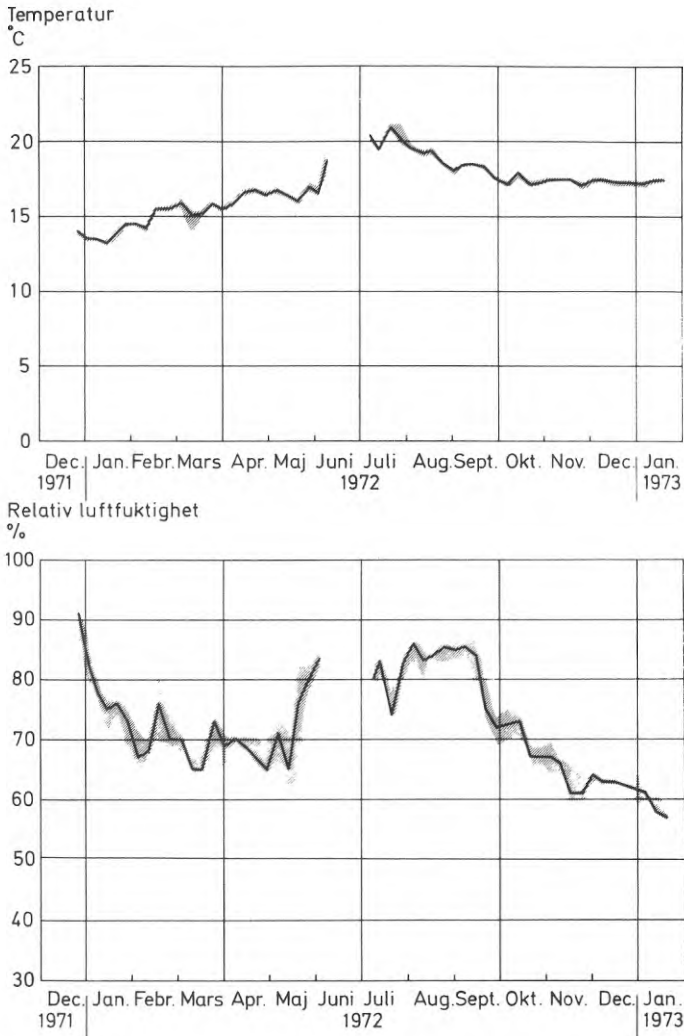


FIG. A7. Temperatur och relativ luftfuktighet bestämd mitt inne i kryprummet intill det ställe där ventilationsluften sugas in i en samlingskanal. Jämfört med vad som redovisas i FIG. A6 har temperaturen varit något lägre. Även vid denna mätplats visar resultaten att fukt tillförts kryprumsluften främst i början av mätperioden. Efterhand har detta fukttillskott minskat vilket tyder på att byggnaden torkat.

CHECKLISTA VID PROJEKTERING, BYGGANDE OCH UNDERHÅLL

Vid behandling av fuktproblem i uteluftventilerade, slutna kryprum kan en s.k. checklista vara till god hjälp. Den kan - stödd på resultaten från denna undersökning - exempelvis se ut så här:

VID PROJEKTERINGEN

- marken i kryprummet får inte ligga lägre än grundvattennivån
- ordna dränering från lägsta marknivå i kryprummet
- undvik odränerade fickor vid berg
- planera marken med fall från huset vid återfyllningen
- ordna avskärande dränering vid sluttningshus
- förse marken i kryprummet med skikt som i avsevärd grad minskar avdunstningen t.ex. plastfolie eller lös lättklinker
- kontrollera vilken ventilation som behövs för att gasbetongbjälklag skall torka ut inom ca 2 år
- är byggnadens läge utsatt eller skyddat för vind?
- är självdragsventilation tillräcklig eller måste mekanisk ventilation användas?
- kan fri genomluftning erhållas vid självdragsventilation?
- kommer planteringar att hindra luftströmning genom ventiler?
- finns hål i avskärande hjärtväggar eller tillräckligt ventilationsutrymme under balkar etc.?
- kan intagsventiler placeras mindre än en meter från hörn?
- behövs ventilationsskorsten för att förbättra självdragsventilationen?
- är ventilationsskorstenens detaljutförande vid intag respektive utsläpp så bra som möjligt?

- hur många ventilationsskorstenar behövs t.ex. vid kryprum som är gemensamma för flera radhus?
- kan vid mekanisk ventilation tillräcklig ventilation av kryprummet erhållas om även övriga utrymmen ventileras mekaniskt. Totala behovet av fläktkapacitet beräknas
- kan kryprummet inspekteras och var kan inspektionsöppning placeras?

VID BYGGANDET

- undvik kapillärsugande fyllning, som kan öka luftfuktigheten
- undvik - vid byggnader på pelarbalksystem - att återfylla runt balkar med kapillärsugande fyllning (Utifrån kommande vatten kan nämligen genom fyllningen kapillärt föras in i kryprummet.)
- lägg plastfolien med överlapp och med fall mot dräneringsledning
- låt plastfolien sluta några cm från ytterväggar eller balkar
- gör hål i plastfolien vid ev. fördjupningar som kan samla vatten
- planera marken med så stort fall från huset att marken lutar från huset även efter ev. sättningar
- se till att inga svackor eller fickor i berg blir odränerade
- rensa marken i kryprummet från virkesrester och annat organiskt material.

UNDER UTTORKNINGSTIDEN

- håll ventiler i grunden fria från vegetation, skräp, snö o.d.
- plantera inte växter framför ventilöppningar
- stryp inte intaget på ventilationsskorstenen

- håll fläktar i gång med full kapacitet
- kontrollera att ev. vattenläckning från lednings-system inte höjer luftfuktigheten i kryprummet
- se till att marken lutar från huset även sedan återfyllningen satt sig
- minska ventilationen när byggfukten i bjälklag med visshet torkat.

LITTERATUR

- Adamson, B, Ahlgren, L, Bergström, S G & Nevander, L E, 1970, Fukt. Byggnadstekniska fuktproblem. Programskrift nr 12. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.
- Adamson, B, Claesson, J & Eftring, B, 1971, Kryprum. Grundläggningsdjup, värmeisolering och fuktförhållanden. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport R29:1971. Stockholm.
- Adamson, B, 1973, Bjälklag på jordvärmeisolering och golvtemperaturer. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport R41:1973. Stockholm.
- Ahlgren, L, 1967, Uppföljning av uttorkningsförloppet hos golvbeton. Institutionen för byggnadsteknik. (LTH.) Intern rapport 3. Lund.
- Ahlgren, L, 1972, Fuktfixering i porösa byggnadsmaterial. Institutionen för byggnadsteknik. (LTH.) Rapport 36. Lund.
- ASHRAE, 1963, Guide and data book. Fundamentals and equipment. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. New York.
- Birkeland, Ø, Edvardsen, K I & Størseth, I, 1969, Fundamentering av småhus av tre. (Norges Byggforskningsinstitutt.) Särtryck nr 175. Oslo.
- Bjerking, S E, 1958, Kan vi bygga billiga tvåvåningshus. Väg- och vattenbyggaren, nr 8. Stockholm
- Björkman, E, 1946, Om lagringsröta i massavedvedgårdar och dess förebyggande. (Statens skogsforskningsinstitut.) Meddelande. Band 35, nr 1. Stockholm.
- Carlsson, A, 1964, Fukt- och rötskador i källarlösa trähus. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 1964:17. Stockholm.
- Carlsson, A, 1974, Elak lukt i källarlösa hus. (Statens institut för byggnadsforskning.) Meddelande nr 21:1974. Stockholm.
- Dreier, C, 1973, Kryperom. Undersökelse av forholdene i kryperom i Sør-Norge. (Norges Byggforskningsinstitutt.) Särtryck 220. Oslo.
- Elmroth, A & Höglund, I, 1965, Influence of Moisture on the Thermal Resistance of External Walls of Cellular Concrete - relating to two newer types of constructions. Rapport till RILEM/CIB-symposium. (Även utgivet som meddelande 45 från institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Helsingfors.
- Elmroth, A, 1966, Fukt- och temperaturförhållanden i kryprum. Meddelande nr 45 från institutionen för byggnadsteknik. (KTH.) Stockholm.

- Elmroth, A & Höglund, I 1970, Fuktskydd av kryprum genom markisolering. Byggmästaren nr 3. Stockholm.
- Elmroth, A & Höglund, I, 1971, Crawl Spaces of Cellular Concrete - Moisture Conditions and the Relation between Drying-Out Time and Ventilation. CEB/FIP Research Colloquium on Lightweight Concrete. Copenhagen.
- Elmroth, A & Höglund, I, 1972a, Kantisolering eller värme-kakel? Ett komfortproblem i elvärmda småhus med golv på mark. Byggmästaren nr 1. Stockholm.
- Elmroth, A & Höglund, I, 1972b, Småhusgrundläggning med kryprum. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad B13:1972. Stockholm.
- Elmroth, A & Höglund, I, 1973, Värmebalans i småhus. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport R7:1973. Stockholm.
- Fyrhake, L & Lyng, O, 1968, Fukt i kryprum. Studier av ett grupphusområde. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 1968:20. Stockholm.
- Hansen, A T, 1963, Crawl spaces: How to avoid trouble with the foundation. Housing note nr 8. National Research Council, Canada. Division of Building Research. Ottawa.
- Höglund, I & Ottoson, G, 1961, Tre typer av kryputrymmen. Byggmästaren nr 1. Institutionen för byggnadsteknik. (KTH.) Meddelande nr 27. Stockholm.
- Jonell, P & Victorin, G, 1961, Temperatur- och fuktmätningar i källarlösa radhus med fribärande träbjälklag. Byggmästaren nr 12. Stockholm.
- Lund-Hansen, P, 1967, Fugttransport i byggematerialer. (Polyteknisk Förlag.) Köpenhamn.
- Nielsen, A F, 1974, Fugtfordelinger i gasbeton under varme- og fugttransport. Laboratoriet for varmeisolering. (Danmarks tekniska högskola.) Meddelande nr 29. Köpenhamn.
- Pihlajavaara, S E, 1965, Estimation of the drying of concrete. RILEM/CIB Symposium. Moisture Problems in Buildings. Helsingfors.
- Rennerfelt, E, 1962, Träskydd. (Svenska skogsvårdsföreningen.) Stockholm.
- Sandberg, P I, 1973, Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. Institutionen för byggnadsteknik. (LTH.) Report 43. Lund.
- Taesler, R, 1972, Klimatdata för Sverige. (Statens institut för byggnadsforskning.) Stockholm.
- Tellstedt, R, 1973, Fukt- och temperaturförhållanden i uppvärmd kryppgrund. Slutrapport. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

R12: 1975

**Denna rapport hänför sig till anslag C 575:5 från Statens
råd för byggnadsforskning, till institutionen för byggnadsteknik,
KTH, Stockholm**

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

Pris: 27 kronor + moms