

Varmer, Ventilation og Fugtighedsmaalinger i norrlandske Landbrugsbygninger.

Af Arkitekt M. A. A. Kai Agertoft.

Ved Projektering af Forsøgsgaarden i Lassaröd i Skaane har som jeg tidligere har berettet, visse Forsøg med norrlandske Staldbygninger været vejledende. I *Meddelanden från Statens Forskningskommitté för Lantmannabyggnader Nr. 5*, udarbejdet af Civilingeniørerne Evert Seth og Nils Holmqvist, gives der en Redegørelse for disse Forsøg, der blev udført i Vintrene 1943—44 og 1944—45.

Formaalet med Undersøgelserne var:

1) at faa konstateret Varmeproduktionens Størrelse, ikke ved visse særlige Forhold, som under Laboratorieforsøg, men direkte i Stalden med Dyrenes normale Omgivelser og Fodring og med alle de Forstyrrelser, som opstaar i Forbindelse med Fodring, Mugning, Malkning, Aabning af Døre og deslige,

2) at bestemme Varmetabet gennem Loftet og i Særdeleshed gennem Gulvet, hvilket sidste ikke tidligere er blevet tilstrækkeligt undersøgt.

3) En Sammenligning mellem forskellige Vægtyper særlig for at undersøge Indvirkningen af den forholdsvis høje Fugtighedsgrad i Staldene.

Ved den første Opgaves Løsning opnaaede man en Sammenligning mellem de forholdsvis uheldigt indrettede Stalde, saaledes som de forefandtes den første Vinter, og de efter Forbedringerne bedre ventilerede og bedre isolerede Stalde ved den følgende Vinters Maalinger.

De Resultater, man opnaaede, adskiller sig ikke fra det, som tidligere Forsøg har vist, hvad angaar Middeltallet for Køernes Varmeproduktion, der den første Vinter beregnedes til 19 850

k cal./Døgn pr. Ko (8 Gaarde) og for den anden Vinter 20 911 (3 Gaarde).

Men Undersøgelserne gav et Billede af Variationerne, der kan fremkomme under de forskellige Fodringsforhold, Temperaturforhold og Bygningsforhold.

Den med Vanddampen bortførte Varmemængde beregnedes til gennemsnitlig 26 pCt., hvilket ligeledes svarer til tidligere Forsøg; som Beregningsgrundlag for den fordampede Vandmængde medregnedes ikke Resultaterne fra Vinteren 1943—44 for de Gaardes Vedkommende, hvor der viste sig en meget kraftig Kondensdannelse paa Loft, Vægge og Vinduer. Efter Udførelsen af Bygningsforbedringer viste den forholdsmæssige Fordeling af Varmetabet ved Ventilation, Vanddamp og Transmission betydelig mindre Variationer i 1944—45-Maalingerne end i det foregaaende Aar.

Variationerne er her vist i Tabelform for de Gaarde, der havde en tilfredsstillende Ventilation. Ydertemperaturen laa mellem $+0^{\circ}$ og $\div 10^{\circ}$. Varmetabsfordelingen er angivet i pCt. af hele Varmetabet.

Varmetab	Forskellige Gaarde							Middeltal
Ved Transmission ...	32,1	22,1	36,2	28,3	26,7	31,7	27,1	29,2
Ved Ventilation	41,1	50,0	38,4	47,5	46,3	42,8	46,2	44,6
Ved Vandfordampning	26,8	27,9	25,4	24,2	27,0	25,5	26,7	26,7
Ved Ventilation + Vandfordampning ..	67,9	77,9	63,8	71,7	73,3	68,3	72,9	70,8

Tager man i Stedet de Gaarde, der var forsynede med for smaa eller fejlagtigt placerede Ventilationsanordninger, faas følgende Tabel:

Varmetab	Forskellige Gaarde				Middeltal
Ved Transmission	56,9	46,8	38,7	52,6	48,8
Ved Ventilation	19,2	28,5	35,6	28,8	28,0
Ved Vandfordampning	23,9	24,7	25,7	18,6	23,2
Ved Ventilation + Vandfordampning	43,1	53,2	61,3	47,4	51,2

Ifølge første Tabel mistes mellem 63,8 pCt. og 77,9 pCt. af den producerede Varmemængde ved Ventilation og mellem 22,1 pCt. og 36,2 pCt. ved Transmission. Efter den anden Tabel bliver Tallene 43,1—61,3 pCt. for Ventilation og 38,7—56,9

pCt. for Transmission; denne sidste høje Værdi for Transmissionen skyldes den svigtende Ventilation, der øger Staldtemperaturen og dermed Transmissionen; dersom f. Eks. Staldtemperaturen ved en forbedret Ventilation sænkes fra $+21^{\circ}$ til $+13^{\circ}$, formindskes Transmissionen med 30 pCt. ved en Ydertemperatur paa $\div 5^{\circ}$. Ved Forbedring af Isoleringen kan Varmetransmissionen selvfølgelig yderligere formindskes.

Anden Dels Undersøgelse af Mulighederne for Isolering af Loftet mod Varmetab bringer heller ikke noget nyt, men Interessen samler sig om Undersøgelserne af Varmetabet gennem Gulvet.

Tidligere Undersøgelser har fortrinsvis taget Sigte paa den særlige Betydning, Isoleringen af Lejerne har, for derved at formindskes Varmeledningstabet fra Dyrets Krop. Først i de senere Aar er man blevet rigtig opmærksom paa det nødvendige i en god Isolering af saavel Grundstøbningen som Gulvet. Civilingeniør *Jörn Høgsbro* havde saaledes ved Dyrskuet i Aalborg i Fjor arrangeret en Modelopvisning af forskellige isole-rede Vægkonstruktioner, der viste alle de udmærkede Isoleringsmaterialer, der nu staar til Raadighed for den byggende, og maa have givet Landmændene Stof til Eftertanke.

Ved Undersøgelserne i Norrland maalttes Gulvoverfladens Temperatur med Termoelement paa forskellige Punkter fra Ydervæggen og indefter. Det viste sig, at Temperaturen holder sig konstant indtil ca. 1,5 m fra Væggen og derfra falder stærkt mod denne.

For de smaa Stalde, det her drejer sig om, indtager denne Yderkreds mellem 50 pCt. og 80 pCt. af hele Gulvfladen, og Varmetabet gennem Gulvet svarer til 35 pCt. af hele Transmissionen. Omtrent samme Værdi har Transmissionen for samtlige Vægge.

En Undersøgelse af, hvor dybt Temperatursvingningerne gaar ned i Jorden i Norrland, viser, at Temperaturen i 0,5 m Dybde varierer med Ydertemperaturen, medens den i 1,0 m Dybde holder sig konstant i Januar—April omkring $\pm 0^{\circ}$. En Isolering af Grundmuren bør saaledes for Forhold som i Norrland føres ned til 1,0 m Dybde.

Der peges paa Nødvendigheden af en Varmeisolering af Grundmurens Overflade for at undgaa Kondensvand, der kan være særlig uheldig i Bygninger med Træydervægge. Dette Forhold vil blive Genstand for yderligere Maalinger i den nye Forsøgsstald i Lassaröd, som er blevet konstrueret efter blandt andet de Erfaringer, der blev indvundet ved Undersøgelserne i Norrland.

Det samme Problem — Kondensvanddannelsen — tages i Undersøgelsens tredie Del op til en omhyggelig Behandling, dels med Fugtighedsmaalinger, dels ved en teoretisk Undersøgelse af Professor *H. Edenholm*.

Det var oprindeligt Hensigten at beregne Fugtighedsfordelingen i nogle karakteristiske Eksempler, og der ud fra drage Slutninger. Undersøgelsen samler sig ogsaa om faa Vægtyper: Nopsa I og Nopsa II samt Træskeletvægge med Bræddebeklædninger og Savmuldsudfyldning. Men det viste sig nødvendigt at komplettere Beregningerne med eksperimentale Bestemmelser af visse karakteristiske Egenskaber ved Fugtighedsvandringer i Væg- og Udfyldningsmaterialer.

Om Fugtighedsvandring i en Væg af hygroskopisk Materiale kan i Almindelighed siges, at den deler sig i Diffusion og Haarrørvirkning.

Vanddampdiffusionen gennem en Væg af porøst Materiale er betinget af en Forskel i Vanddampenes Partialtryk — den absolutte Fugtighed — i Luften ved Væggens Inder- og Yderside. I Almindelighed er den absolutte Fugtighed lavere i den kolde Yderluft end indendørs, hvorfor Diffusionen oftest gaar indefra og ud.

Haarrørvirkningen er betinget af en ulige Fordeling af Væggens Fugtighedsindhold, og da dette i et hygroskopisk Materiales Overflade i Ligevægtsmomentet er beroende af den omgivende Lufts relative Fugtighed — Fugtighedsgraden — bevæger Haarrørvirkningen i Materialet sig fra den højere til den lavere Fugtighedsgrad. I en Væg sammensat af forskellige Materialer og med Luftmelletrum er Haarrørvirkningen imidlertid ikke saa entydig bestemt af Fugtighedsgraden.

Dersom Damptrykket i et Punkt af Væggen naar Mætnings-

trykket, indtræffer en Kondensakkumulering af Fugt i Væggen. Risiko herfor findes ved Luft- og Udfyldningsmellemmets Yderside særlig ved meget lav Ydertemperatur. Hvis Indervæggens Overfladetemperatur ligger under Staldluftens Dugpunkt, udfældes Vand paa Væggen og suges ind i denne. Det tilsvarende vil indtræffe paa Ydervæggen under Regn.

For at kunne udføre Beregninger af Fugtighedsbevægelserne, er det nødvendigt at kende Fugtighedsindholdet i et hygroskopisk Materiale i det Øjeblik, der er opnaaet Ligevægt med den omgivende Luft af en vis Temperatur og Fugtighedsgrad.

Ved Laboratorieforsøg fandtes for nogle Bygningsmaterialer under varierende Fugtighedsgrader disse Materialers Fugtindhold og den Tid, der forløb, inden Ligevægt opnaaedes. Det fremgik tillige af Forsøgene, at Ligevægt — konstant Fugtighed — opnaaedes hurtigere, jo lavere Fugtighedsgraden var, og noget hurtigere for et porøst Materiale som Savsmuld end for Beton. De Fugtighedsfordelingskurver, som beregnes for en Væg, gælder derfor kun, naar Temperatur og Fugtighed i lang Tid har været konstant.

De fleste hygroskopiske Materialer indeholder baade fine og grove Porer, ved øget Fugtighedsgrad fyldes de finere Porer, og ved Fugtighedsgrad 100 er disse helt fyldt med Vand. Tilføres Materialet yderligere Vand, f. Eks. ved Kondensering paa Vægfladen eller ved Regn, kan de grove Porer ogsaa fyldes mere eller mindre med Vand. Paa Grund af lavere Damptryk i de fine Haarrør kan Haarrørsvirkningen her foregaa relativt uhindret, selv ved Temperaturer langt under 0° , medens Vandet i de grove Porer fryser.

Med Grovporøsiteten menes i det følgende for hygroskopiske Materialer den totale Porøsitet minus de oven for omtalte finere Porer, og for Materialer som Savsmuld, Rockwool og lignende, det Hulrum i Stoffet, som yder mindst Modstand mod Dampdiffusionen.

Dampdiffusionen gennem et Materiale kan findes ved Laboratorieforsøg, idet man ved Anvendelse af en lav Fugtighedsgrad eliminerer Haarrørsvirkningen. Det viser sig, at Diffusionen er proportional med Grovporøsiteten, naar der des-

uden for hvert Materiale regnes med en bestemt Reduktionsfaktor.

I ikke hygroskopiske Materialer som f. Eks. Rockwool sker Diffusionen uhindret selv ved høj Fugtighedsgrad; kun ved direkte Tilførsel af Vand sker en Fugtvandring i Materialet. Er et saadant Materiale imprægneret mod Vandangreb, som f. Eks. Tagpap, ophører al Haarrørvirkning ogsaa ved direkte Tilførsel af Vand; men Dampdiffusionen foregaar stadig gennem Porerne, selv om den formindskes noget ved Tjæreimprægnering, mere ved Asfaltering og muligvis helt forsvinder ved Parafinimprægnering.

Da Diffusionen og Haarrørssugningen i en sammensat Væg ikke altid gaar i samme Retning, er det nødvendigt at kende hver Koefficient for sig.

Her skal ikke gives en detailleret Anvisning for Beregningsmetoderne, men kun en kort Orientering i Principperne og de forskellige Muligheder for Dampens og Fugtens Bevægelser i en Ydervæg. Professor H. Edenholt's Redegørelse for Forsøgene og Beregningerne indeholder Diagrammer og Tabeller over en Del Materialers Konstanter, som muliggør Beregninger af Fugtighedsbevægelserne i en sammensat Væg.

Som før nævnt samler Undersøgelsen sig om nogle enkelte Vægtyper, og Resultaterne sammendrages saaledes:

I en Væg med varmesolerende Hulrum, fyldte eller ufyldte, øges Risikoen for Kondensation altid. Denne Risiko er størst, naar der kun findes et Hulrum, idet der derved fremkommer det største Spring i Mætningstrykket. Jo flere Hulrum Væggen indeholder, og jo mere ens disse Hulrum er, hvad angaar Varmesolering, Tykkelse og Haarrørvirkning, desto mere tilpasser Mætningskurven sig til den, som gælder for en homogen Væg, hvorved Kondensationsrisikoen formindskes.

Dersom Hulrummet er fyldt med et ikke haarrørvirkende Materiale, øges Fugtighedstransporten i Temperaturfaldets Retning; men er Materialet haarrørvirkende, reduceres denne Øgning og desto mere, jo mere haarrørvirkende Materialet er.

Et Tjærepaplag, som ikke har Haarrørssugning og har forholdsvis stor Diffusionsmodstand, forøger Damptrykket og den

relative Fugtighed paa Indersiden og sænker det paa Ydersiden af Paplaget. Herved formindskes Risikoen for Kondensation i de uden for Paplaget liggende Dele af Væggen. Fugtigheds-transporten udad formindskes baade i Form af Diffusion og Haarrørssugning.

I Hulrum, der er udfyldt med Isoleringsmateriale, kan et saadant Paplag anbragt paa Indersiden af Hulrummet skaane Isoleringen for Fugtvandring indefra. Fugtighedsprøver udtaget fra Trævægge med Savsmuldsfyld i September og i Januar—Februar viste, at Kondensation som Regel kan undgaas ved denne Foranstaltning, naar det udføres meget omhyggeligt, og naar Pappet er tilstrækkelig damptæt.

Undersøgelserne slutter med en teoretisk Redegørelse for Varme- og Fugtighedsbevægelserne i den Væg, som har fundet Anvendelse i Forsøgsgaarden i Lassaröd. Denne bestaar af indvendig Træbeklædning, Træskelet med Isoleringslag mod Indersiden og Luftrum mod Ydersiden samt udvendig Træbeklædning. Varmemæssig er Væggen ligestillet med Nopsa I, med 12 cm isolerende Udfyldning og Nopsa II med een Udfyldning, det andet Hulrum luftfyldt. Denne og andre Vægtyper vil af S. F. L. blive taget op til yderligere Undersøgelse af Varmemodstand, Fugtighedsforhold og Varmekapacitet.

Professor H. Edenholt's Forsøg og Beregninger fortsætter ud fra en detaillerede Synsmaade Professor Jakob Holmgren's Arbejder i Forsøgshusene ved Norges Tekniske Højskole og bringer os Forstaaelsen af Fugtighedsforholdene i Ydervægge et stort Skridt nærmere. Paa en afklarende Maade udskilles Dampdiffusionen fra Haarrørsvirkningen; men Samspillet med de andre Undersøgelser, der var afgørende for Valget af den særlige Beliggenhed, har begrænset Fugtighedsmaalingerne til det særlige klimatiske Problem for nogle Egne i Norrland. De principielle Resultater har dog almen Betydning; men der savnes en Bestemmelse af Regn og Vinds Indvirkning paa Fugtighedsvandringen ved Haarrørsvirkningen, der rimeligvis kræver Forsøg gennem en Aarrække og muligvis med Forsøgsstationer under forskellige klimatiske Forhold.

I Sverige er der for nylig taget Skridt til Oprettelse af saadanne Forsøgsstationer ved den svenske Vestkyst.

Resultaterne af de norrlandske Forsøg er i Korthed:

En Bekræftelse af tidligere Maalinger og Beregninger af den Varmemængde, Kreaturerne producerer pr. Døgn, og Fordelingen af denne Varmemængde ved dens Omsætning til Varmetab gennem Ventilation, Vandfordampning og Varmetransmission.

Den meget interessante Konstatation af det store Varmetab gennem Gulvet, 35 pCt. af Varmetransmissionen, og at dette Varmetab for største Delen sker gennem Gulvenes Yderkreds til 1,5 m fra Ydervæggene.

Fugtighedsmaalingerne i Ydervægge, der viser Faren for Dannelse af Kondensvand i Vægge opbygget af Materialer med meget forskellige Isoleringsevner, eller med Materialer, der er uigennemtrængelige for Fugtighed, at det i Almindelighed vil være heldigst, at Væggene er homogene eller opbyggede af Materialer med stigende Isoleringsevne udefter.

Et hvert saadant Forsøgsarbejde bringer os nærmere til den ideale Løsning af vore Byggeproblemer. Selv om Landmanden selvfølgelig hverken skal være byggesagkyndig eller foretage Ingeniørberegninger, men har nok at varetage i sit eget Fags Trivsel, berører den byggetekniske Udvikling i højeste Grad Landmandens Virksomhed, hvori Bygningerne indgaar med saa stor en Kapitalinvestering. Det er derfor gavnligt ogsaa for Landmanden at have Føling med denne Udvikling og dermed tilegne sig en Fornemmelse af, hvor der kan sættes ind for at forbedre Bygningerne, naar han i sit daglige Arbejde støder paa Brist og Mangler og skal stille sine Teknikere Opgaverne.