

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Meddelelse nr. 43

Lav-energihus med modstrømsvægge

Vagn Korsgaard

Sertryk af Varme nr. 1, 1976

Lav-energihus med modstrømsvægge

Af professor, civilingeniør Vagn Korsgaard, Lab. f. Varveisolering, DTH

Indledning

Et godt indeklima er ikke alene betinget af en passende rumtemperatur men også af en god luftkvalitet. En god luftkvalitet opnås sædvanligvis ved et passende friskluftskifte.

For at opfylde disse krav er det en stor del af året nødvendigt at anvende energi dels til dækning af transmissionstabet igennem rummets begrænsningsflader, dels til opvarmning af den friske luft. Der er flere måder, hvorpå dette energiforbrug kan nedbringes.

Transmissionstabet vil kunne formindskes vilkårligt ved at forøge isoleringen.

Energiforbruget til opvarmning af friskluften vil kunne nedsættes betydeligt ved anvendelse af varmegenvindingsapparater.

Så længe energiforbruget ikke er underkastet restriktioner vil det være energiprisen, der betinger, hvormed det kan betale sig at varveisolere og ofre på varmegenvinding.

Nedenfor skal beskrives en ny fremgangsmåde, som vil kunne anvendes til at formindskes energiforbruget til opvarmning af huse.

Princippet i fremgangsmåden er at ydervæggene m. v. udformes på en sådan måde, at varmetransmissionen igennem disse udnyttes til at forvarme den friske luft, som indtages igennem væggen porøse isolering.

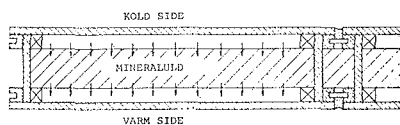


Fig. 1. Snit af modstrømsvæg.

Ydervægge, lofter og evt. gulve, som udformes efter dette princip vil blive benævnt modstrømsvægge.

Inden den brugte luft afkastes til det fri nedkøles den til udetemperaturen ved hjælp af en varmepumpe. Den herved indvundne varme benyttes til husets opvarmning og varmt brugsvand.

Modstrømsvæggen

Den principielle opbygning af en modstrømsvæg fremgår af figur 1. Imellem to lufttætte beklædningsplader anbringes et luftgennemtrængeligt isoleringsmateriale på en sådan måde, at der fremkommer et hulrum på hver side af isoleringsmateriale. I det ydre hulrum indblæses friskluft, således at luften strømmer jævnt fordelt igennem isoleringsmateriale til det indvendige hulrum, hvorfra den gennem åbninger strømmer ind i huset.

Modstrømsvæggenes teori

Indlægges isoleringsmateriale i et koordinatsystem, som vist på figur 2, og påtrykkes en temperaturforskel over isoleringsmateriale og en luft-

strøm modsat rettet varmestrømmen, kan følgende differentiaalligning opstilles til bestemmelse af temperaturforløbet igennem isoleringsmateriale under stationære forhold.

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} - \frac{vL}{\lambda} \frac{\partial t}{\partial x} = 0$$

hvor v er lufthastigheden

L er luftens varmekapacitet

λ er isoleringsmaterialets varmeledningsevne

Differentiaalligningen har løsningen:

$$t = C \left(\exp \left(\frac{vL}{\lambda} x \right) - 1 \right) + t_0$$

$$\text{hvor } C = \frac{t_0 - t_E}{1 - \exp \left(\frac{vL}{\lambda} E \right)}$$

hvor E er isoleringsmaterialets tykkelse.

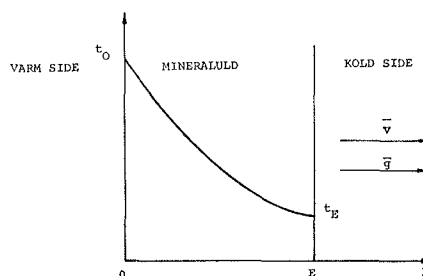


Fig. 2. Temperaturforløbet i isoleringsmateriale.

For temperaturgradienten findes følgende udtryk:

$$\text{grad } t = \frac{vL}{\lambda} C \exp\left(\frac{vL}{\lambda} x\right)$$

for $v = 0$ bliver $\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0$, eller

$$\text{grad } t = \text{konstant} = \frac{t_E - t_u}{E}$$

For den varme side, $x = u$, fås:

$$\text{grad } t_0^V = \frac{vL}{\lambda} C$$

For den kolde side, $x = E$, fås:

$$\text{grad } t_E^V = \frac{vL}{\lambda} C \exp\left(\frac{vL}{\lambda} E\right)$$

For $v = 0$: $\text{grad } t_x^0 = \frac{t_E - t_u}{E}$

Den varmemængde, der strømmer ind gennem siden $x = 0$, bliver:

$$\lambda \text{ grad } t_0^V$$

Den varmemængde, der strømmer ud gennem siden $x = E$, bliver:

$$\lambda \text{ grad } t_E^V$$

Forskellen mellem disse to varmemængder medgår til opvarmning af den gennem isoleringsmaterialet strømmende luft:

$$q_l = L V (t_0 - t_E)$$

$$\lambda (\text{grad } t_0^V - \text{grad } t_E^V) = L V (t_0 - t_E)$$

Det ikke udnyttede varmetab gennem væggen inderside bliver følgende:

$$\lambda \text{ grad } t_0^V - L V (t_0 - t_E) = \lambda \text{ grad } t_E^V$$

Uden luftstrøm, $v = 0$, bliver varmetabet gennem væggen:

$$\lambda \text{ grad } t_x^0 = \lambda \frac{t_E - t_0}{E}$$

Som et anskueligt udtryk for, hvor meget modstrømsprincippet forbedrer væggen isoleringsevne, indføres begrebet den ækvivalente isoleringstykkelse, der defineres som den

tykkelse isoleringslaget skulle have for at give samme varmetab gennem væggen uden luftstrøm ($v = 0$).

$$E_{\text{ækv}} = (t_E - t_0) \text{ grad}^{-1} t_E^V = \left(\frac{vL}{\lambda}\right)^{-1} (1 - \exp^{-1}\left(\frac{vL}{\lambda} E\right))$$

For den typisk modstrømsvæg med mineraluldsisolering kan der regnes med følgende værdier:

$$L = 0,35 \text{ W h m}^{-3} \text{ C}^{-1}, \\ \lambda = 0,035 \text{ W m}^{-1} \text{ C}^{-1}$$

For nogle forskellige værdier af v fremgår den ækvivalente isoleringstykkelse i afhængighed af den faktiske isoleringstykkelse af figur 3. På figur 4 er vist temperaturforløbet igennem et fuld-skala prøveelement indsat som adskillelse imellem et koldt og et varmt rum. Kurverne angiver de beregnede temperaturforløb for nogle forskellige lufthastigheder.

Varmebalance for et hus

Varmetab = varmetilskud.

Varmetabene kan opdeles i følgende komponenter:

Ventilationsvarmetab	Q_1^-
Transmissionstab gennem ydervægge og loft	Q_2^-
Transmissionstab gennem gulv	Q_3^-
Transmissionstab gennem vinduer og døre	Q_4^-

Varmetilskuddene kan opdeles i følgende komponenter:

Varmetilskud fra solstråling gennem vinduer	Q_5^+
Varmetilskud fra personer	Q_6^+
Varmetilskud fra husholdning	Q_7^+
Varmetilskud fra varmeanlægget	Q_8^+

Varmebalancen

$$Q_1^- + Q_2^- + Q_3^- + Q_4^- = Q_5^+ + Q_6^+ + Q_7^+ + Q_8^+$$

I efterfølgende eksempel skal det vises, at det er en realistisk mulighed at bygge et hus således, at Q_8^+ bliver negativ d.v.s. der bliver varme tilovers, som ved hjælp af en varmepumpe kan udnyttes til opvarmning af brugsvand.

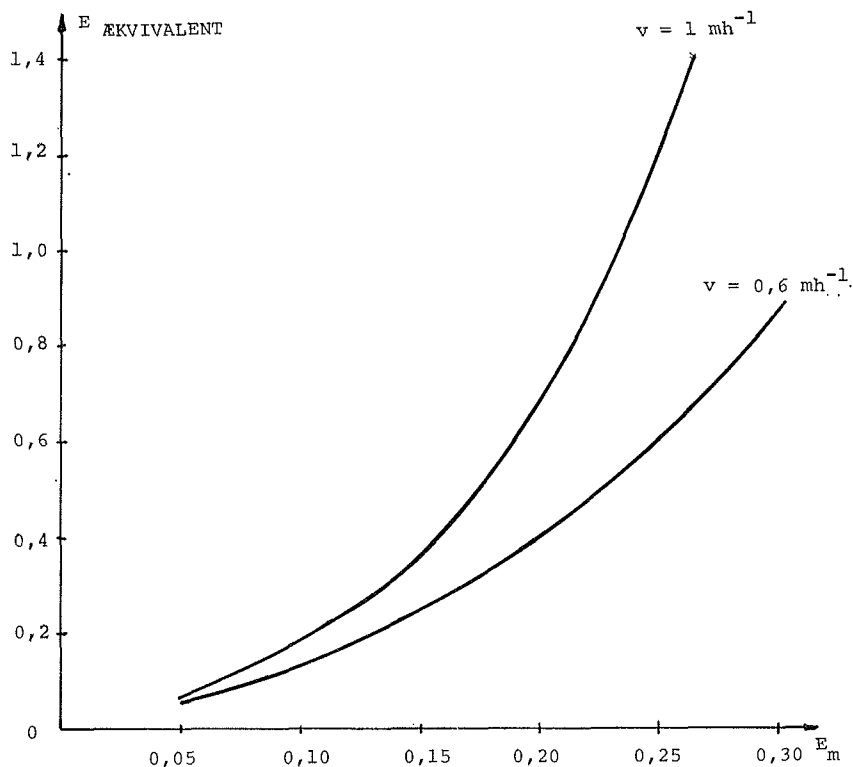


Fig. 3. Den ækvivalente isoleringstykkelse som funktion af den faktiske.

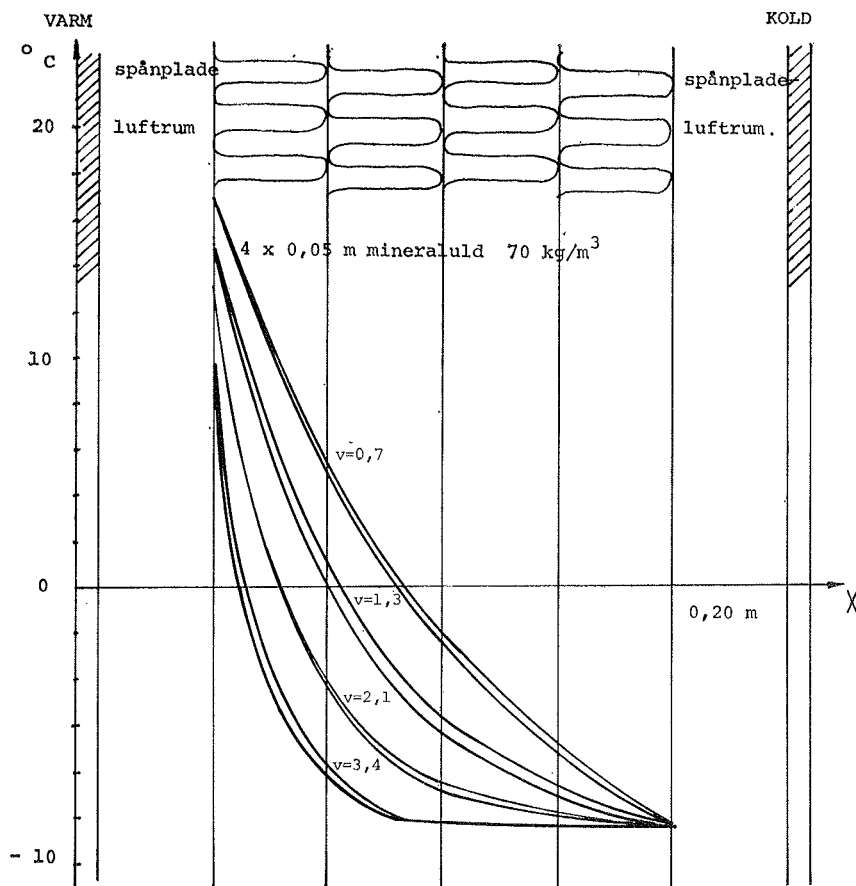


Fig. 4. Temperaturforløbet gennem et fuldskala prøveelement. For hver lufthastighed er angivet en målt og en beregnet kurve. Der ses at være god overensstemmelse.

Varmebalance for et lav-energihus

Husets hoveddata

Gulvareal $8 \times 15 =$	120 m ²
Loftshøjde	2,5 m
Rumfang	300 m ³
Vinduesareal	20 m ²
Loft + ydervægge	200 m ²

Ventilation

Der regnes med følgende friskluftventilation:

8 aftentimer (4 personer i huset)	200 m ³ h ⁻¹ 0,67 h ⁻¹
8 nattimer (4 sovende personer)	120 m ³ h ⁻¹ 0,4 h ⁻¹
8 dagtimer (1 arbejdende person)	120 m ³ h ⁻¹ 0,4 h ⁻¹

Hertil svarer et ventilationsvarmetab på $q_1 = 51 \text{ W C}^{-1}$.

Transmissionstab

Loft og ydervægge udføres som modstrømsvægge med isolering af 0,20 m mineraluld. De anførte friskluftmængder på 200 og 120 m³h⁻¹ svarer til lufthastigheder igennem

isoleringen på henholdsvis 1 m h⁻¹ og 0,6 m h⁻¹. Af fig. 3 ses, at dette svarer til ækvivalente isoleringstykkelse på henholdsvis 0,64 og 0,39 m.

Hertil svarer et transmissionstab på $q_2 = 16 \text{ W C}^{-1}$, idet der ses bort fra overgangsmodstande.

Gulve udføres med 0,40 m mineraluld uden modstrømsprincippet, hvortil svarer et transmissionstab på $q_3 = 11 \text{ W C}^{-1}$.

Vinduer og yderdøre udføres med 3 lag glas og isolerede udvendige skodder, der benyttes i nattetimerne, således at transmissionstabet bliver $q_4 = 20 \text{ W C}^{-1}$.

Samlet varmetab

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 98 \text{ W C}^{-1}.$$

For en normal dansk varmesæson med et graddagetal på 3000 bliver varmemeforbruget således:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \sim 7100 \text{ kWh}$$

Varmetilskud

I en normal dansk varmesæson kan

der regnes med et udnytteligt solvarmetilskud gennem vinduerne på $Q_5 = 2800 \text{ kWh}$.

Fra en husstand på 4 personer kan der regnes med et varmetilskud på $Q_6 = 2400 \text{ kWh}$.

For en normal husholdning kan der regnes med et udnytteligt varmetilskud på $Q_7 = 2400 \text{ kWh}$.

$$Q_5 + Q_6 + Q_7 = 7600 \text{ kWh}.$$

Varmebalancen

$$Q_8 = 7100 - 7600 = -500 \text{ kWh}.$$

For en hel varmesæson overstiger varmetilskuddet således varmetabet med 500 kWh.

Varmeanlægget

Selv om der således næsten er balance mellem varmetilskud og varmetab taget over hele varmesæsonen, vil der i perioder være et varmebehov, som må dækkes af et varmeanlæg. Den hertil nødvendige varmemængde opmagasineres i en varmeakkumulator, f. eks. en vandtank, ved hjælp af en varmepumpe

i de perioder, hvor varmetilskuddet er større end varmetabet.

Varmt brugsvand

Den med ventilationsluften bortkastede varmemængde

$$Q_1 = 51 \cdot 3 \cdot 24 = 3672 \text{ kWh plus } Q_8 = -500 \text{ kWh, i alt } 4172 \text{ kWh}$$

vil kunne udnyttes til opvarmning af brugsvand (varmtvandsforbruget i en typisk dansk familie svarer til et varmeforbrug på 4000 kWh) ved hjælp af varmepumpen, der køler afkastluften fra rumtemperaturen til yderluftens temperatur. Regnes der med en effektfaktor fra varmepumpen på 3, bliver strømforbruget her til 1390 kWh.

Slutbemærkning

Artiklen blev forelagt ved den 14. Internationale Kølekongres i Moskva i september 1975. Ved den efterfølgende diskussion blev der fra rus-

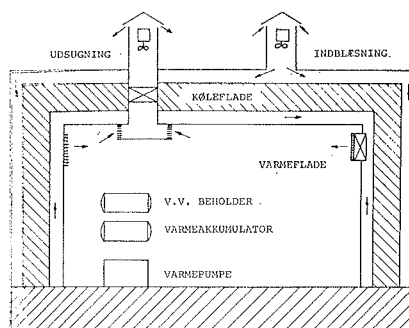


Fig. 5. Principskitse af et lav-energi-hus med modstrømsvægge.

sisk side gjort opmærksom på, at modstrømsprincippet anvendelse i kølehuse var beskrevet i en artikel i tidsskriftet Cholodil'naja tehnika nr. 2, 1962 og i nr. 6, 1975. Artiklen fra 1975 er gengivet i tidsskriftet VARME, 1976, nr. 1, side 13.

Jeg er ligeledes blevet gjort opmærksom på, at der findes et svensk

patent fra 1964, som stort set er identisk med den i artiklen beskrevne modstrømsvæg. Så vidt det vides, har der dog endnu ikke været bygget noget hus efter det beskrevne princip.

English summary

Korsgaard, Vagn: Low energy house with counterflow walls.

As an introduction the author gives a survey of the possibilities of reducing the energy consumption in one family houses. A new one consists in elimination of the heat loss through outer walls, ceilings and floors by utilization of the counterflow principle. A presentation of the theory of the counterflow wall is followed by an example showing, that it is realistic to expect, that a house can be build with counterflow walls giving a surplus of heat by which a heat pump can be utilized for generating of heat for hot water supply.