



Teoretisk analyse af nulenergihusets varmebalance

Esbensen, Torben Vesti; Lawaetz, Henrik

Publication date:
1977

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Esbensen, T. V., & Lawaetz, H. (1977). *Teoretisk analyse af nulenergihusets varmebalance*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

TEORETISK ANALYSE AF NUL-ENERGIHUSETS VARMEBALANCE

af civilingeniør Torben Vesti Esbensen
og civilingeniør Henrik Lawaetz,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole

MEDDELELSE NR. 60

Resumé

Der foretages en detaljeret teoretisk analyse af Nul-energihusets varmebalance på grundlag af de meteorologiske vejrdata i Referenceåret.

Varmebalancen sammenlignes med varmebalancen for 2 andre huse med forskellig isoleringsgrad:

A) Almindeligt isoleret hus svarende til standarden fra før "oliekrisen" i 1973 med 10 cm mineraluldsisolering i ydervægge, 2 lag glas i vinduer og et naturligt luftskifte på 1 gang i timen.

Dette hus har et beregnet varmebehov til rumopvarmning på ca. 20.000 kWh om året svarende til 3.000 liter olie.

B) Godt isoleret hus svarende til Boligministeriets forslag til ændring af BR-72 vedr. varmeisolering og ventilation (nominelt transmissionstab på 35 W/m^2 boligareal). Huset har ca. 20 cm isolering i ydervægge, 3 lag glas i vinduer og et luftskifte på 0,75 gange i timen.

Dette hus har et beregnet varmebehov til rumopvarmning på ca. 12.000 kWh om året svarende til 1.750 liter olie.

C) Nul-energihuset med 30-40 cm isolering i ydervægge, 2 lag glas med mobil isolering i vinduer og et kontrolleret luftskifte med varmegenvinding.

Dette hus har et beregnet varmebehov til rumopvarmning på ca. 2.300 kWh om året svarende til 350 liter olie.

Indledning

På Danmarks tekniske Højskole i Lyngby er i sommeren 1975 færdiggjort det såkaldte "DtH Nul-energihus", et en-familiehus, der ved hjælp af højisolerede konstruktioner, varmegenvindings-systemer og solvarmesystem er baseret på at være selvforsynende med varme og varmt brugsvand under normale danske klimaforhold. Energiforsyning til drift af husets elektriske installationer baseres på en traditionel forsyning.

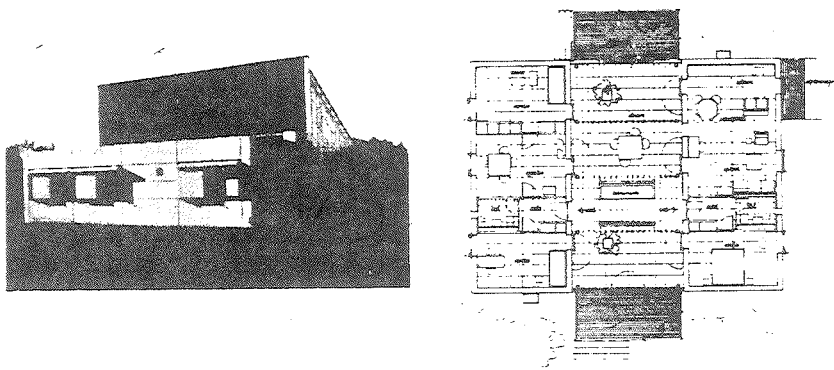
Idéoplægget til Nul-energihuset blev i 1972 fremlagt af professor Vagn Korsgaard. Planlægningen og projekteringen af forsøgshuset er sket i nært samarbejde mellem 3 afdelinger ved Danmarks tekniske Højskole: Laboratoriet for Varmeisolering, Institutet for Husbygning og Laboratoriet for Varme- og Klimateknik.

Projektet er finansieret af Statens teknisk-videnskabelige Forskningsråd.

Husets konstruktion

Nul-energihuset består af to boligkasser hver på 60 m^2 , adskilt af en med glas overdækket atriumgård på ca. 70 m^2 . Atriumgården er ikke opvarmet, men da den er beskyttet mod blæst og regn, kan den i store dele af årets dagtimer bruges som en udvidelse af boligarealet (figur 1 og figur 2).

Den sydvendte, lodrette del af atriumgårdens tagkonstruktion indeholder en 42 m^2 solfanger (12 m lang og 3,5 m høj). Solfangeren står i forbindelse med en 30.000 liter højisoleret (60 cm mineraluld) vandtank, der er gravet ned umiddelbart uden for atriumgården.



De isolerede bokasser er opbygget af præfabrikerede, lette bygningselementer udført som en sandwichkonstruktion med indvendig plade i 12 mm fenollimet spånplade og udvendig plade i 9 mm vandfast konstruktionskrydsfiner. Kernen består af mineraluld, der indgår som en bærende del af konstruktionen.

For at sammenligne Nul-energihusets varmebalance med varmebalancen for et almindeligt isoleret parcelhus (hus A) og et godt isoleret parcelhus (hus B) er der foretaget varmebalanceberegninger for disse 2 huse med samme planløsning og konstruktion som i Nul-energihuset, men uden de særlige "nul-energiforanstaltninger".

Beregningsmetode

Der er ved laboratoriet udarbejdet et EDB-program til beregning af husets varmebehov for hver time i Referenceåret samt til beregning af temperaturforløbet i husets forskellige rum (3).

I varmebalancen indgår følgende varmemængder:

Tilførte varmemængder:

1. Solindfald gennem vinduer.
2. Varmeafgivelse fra personer.
3. Varmeafgivelse fra belysning, TV m.v.

Bortførte varmemængder:

1. Transmissionstab gennem vægge, vinduer, tag og gulv.
2. Varmetab ved luftskifte, herunder fugetab.
3. Varmetab ved døråbninger.

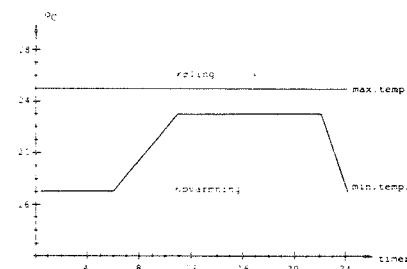
Det meteorologiske Referenceår

Som grundlag for beregningerne benyttes det såkaldte Referenceår, der er udarbejdet af Statens Byggeforskningsinstitut i samarbejde med bl.a. Meteorologisk Institut og Laboratoriet for Varmeisolering. Referenceåret er en datasamling indeholdende 34 vejrparametre med bl.a. 8760 timeværdier for udetemperatur, luftfugtighed, solstråling, vind og skyer (4).

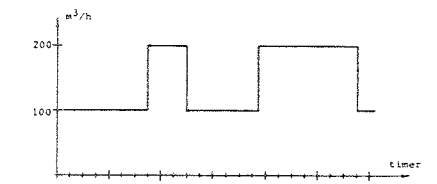
Rumtemperatur

Ved den EDB-mæssige beregning af husets varmebehov er der specificeret en ønsket døgnvariation for rumtemperaturen, nemlig 17°C om natten stigende til 23°C om dagen (figur 3). Desuden er der specificeret en øvre grænse på 25°C, således at der regnes med afkøling, hvis rumtemperaturen kommer over denne grænse.

Afkølingen tænkes at foregå dels ved åbning af døre og vinduer, dels ved solafskærmning af de sydvendte vinduer, idet der ikke er installeret nogen form for mekanisk køleanlæg i huset.



Dimensionerede rumtemperatur.



Døgnvariation i kontrolleret friskluftskifte i Nul-energihuset.

Ventilation

I det almindeligt isolerede hus (A) er der regnet med et naturligt luftskifte på 1 h^{-1} .

I det godt isolerede hus (B) er der regnet med et luftskifte på $0,75 \text{ h}^{-1}$, som er det maksimalt tilladelige i det nye forslag til Bygningsreglementet (6).

I Nul-energihuset er friskluftmængden afvejet under hensyntagen til energiforbrug og luftkvalitet. Luftskiftet består af 3 dele:

- 1) Et kontrolleret luftskifte på $100 \text{ m}^3/\text{h}$ i 13 af døgnet timer og $200 \text{ m}^3/\text{h}$ i de resterende 11 timer (døgnvariationen er vist på figur 4). Ved Laboratoriet for Varme- og Klimateknik er der udviklet et luft-til-luft varmegenvindingsapparat efter modstrømsprincippet til genvinding af den varme, der føres ud med ventilationsluften. I laboratoriet er der målt en genvindingsgrad på 90% ved $100 \text{ m}^3/\text{h}$ og 83% ved $200 \text{ m}^3/\text{h}$ (5).
- 2) Det ukontrollerede fugetab ved døre og vinduer er dimensioneret til $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ pr meter fuge ved vindhastigheden 5 m/s svarende til halvdelen af den maksimale luftgennemgang for vinduer, der er klassificeret som "udmærket". Idet der er 75 m fuge omkring døre og vinduer, bliver det totale fugetab $7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ svarende til et luftskifte på $0,025 \text{ h}^{-1}$. Fugetabet gennem den øvrige bygningskonstruktion kan med en effektiv fugning sættes til 0..
- 3) På grund af husets specielle udformning med de 2 adskilte bokasser er der i husets varmebalance regnet med et luftskifte i form af døråbninger fra bokasserne til atriumgården. Ved forsøg er luftskifter pr. døråbning målt til ca. 5 m^3 , og for 4 personer regnes der med ialt 130 døråbninger jævnt fordelt over døgnet. I vinterperioden sker døråbningerne til en isoleret mellemgang, der forbinder de to bokasser. Denne mellemgang vil i vinterperioden have en beregnet temperatur på ca. 10°C over udetemperaturen.

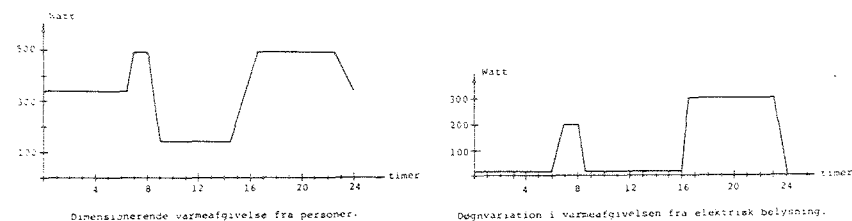
Gratisvarme

Den i beregningerne fastsatte variation i varmetilskuddet fra

personer, elektriske installationer og solindfald gennem vinduer er ens i de 3 huse.

1) Varmetilskud fra personer

Ved beregningen af personernes varmeafgivelse til huset regnes der med 4 sovende personer i 8 timer, 4 aktive personer i 8 timer og 1 aktiv person i de sidste 8 af døgnet timer. Døgnvariationen for varmeafgivelsen er vist i figur 5. Disse personer tilfører huset en varmemængde på ialt $8,1 \text{ kWh}$ pr. døgn. Halvdelen regnes afgivet ved konvektion til rumluften og halvdelen ved stråling til husets indvendige overflader.



2) Varmetilskud fra belysning, TV m.v.

Varmeafgivelsen fra faste elektriske installationer som køkkenmaskiner, vaskemaskine, TV, ventilatorer m.v. er sat til en konstant værdi på 200 Watt svarende til $4,8 \text{ kWh}$ i døgnet. Varmeafgivelsen fra den elektriske belysning indgår i varmebalancen med en døgnvariation som vist i figur 6. Denne døgnvariation følges kun, hvis det aktuelle solindfald er mindre end 500 Watt, der er sat som nedre grænse for den i huset ønskede dagslysintensitet. Af varmeafgivelsen fra de elektriske installationer regnes 35% afgivet ved stråling og 65% ved konvektion.

3) Solindfald gennem vinduer

Det aktuelle solindfald gennem vinduerne beregnes efter soldata i Referenceåret. I huset er der $9,1 \text{ m}^2$ vinduer mod syd og $8,9 \text{ m}^2$ mod nord. I beregningerne er der taget hensyn til, at ca. 25% af arealet i de sydvendte vinduer mod atriumgården ligger i skygge p.gr.a. Nul-energihusets solfanger.

Sammenlignende varmebalance

Forudsætningerne for opstilling af en sammenlignende varmebalance for de 3 huse er vist i figur 7.

På grundlag af disse forudsætninger er der i figur 8 foretaget en termisk analyse af de 3 huses varmebalance i Referenceåret med en fordeling af varmetabet på vægge, vinduer og ventilation og en fordeling af "gratisvarmen" på personer, belysning og solindfald gennem vinduer.

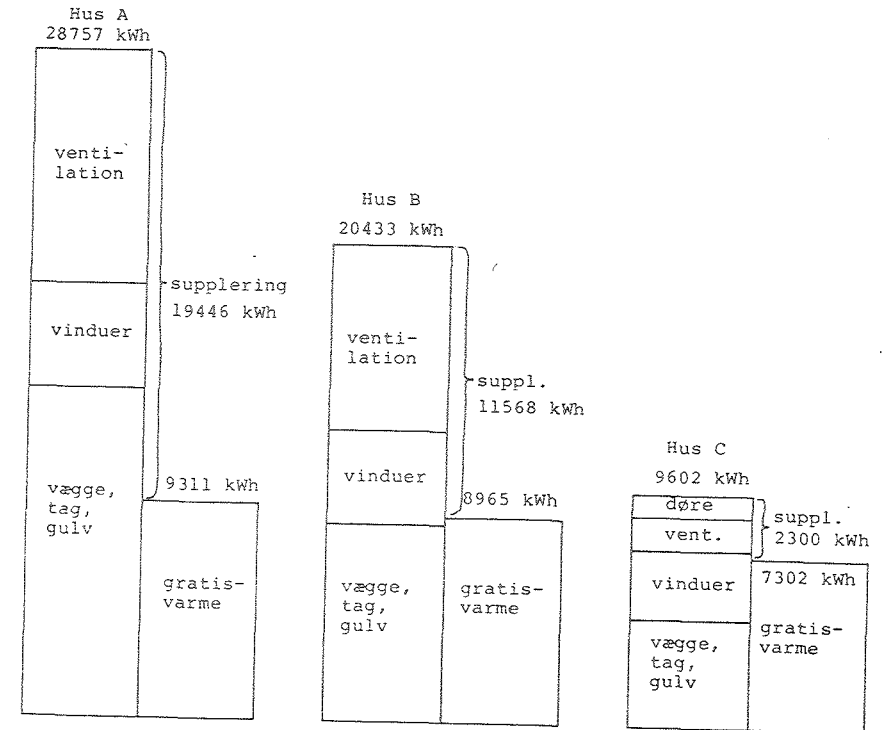
I figur 9 er varmebalancerne grafisk anskueliggjort.

Forudsætninger for opstilling af en sammenlignende varmebalance	Alm. isoleret parcelhus (A)	Godt isoleret parcelhus (B)	Nul-energihus (C)
Grundareal m ²	116	116	116
Rumvolumen m ³	281	281	281
Vinduesareal m ²	18	18	18
Vægisolering cm	10	18	30
k-værdi (W/m ² °C)	0,39	0,23	0,14
Tag- og gulvisolering cm	10	18	40
k-værdi (W/m ² °C)	0,39	0,23	0,10
Vinduesisolering, dag	2-lag termorude	3-lag termorude	2-lag termorude
k-værdi (W/m ² °C)	3,13	2,09	3,13
Vinduesisolering, nat	2-lag termorude	3-lag termorude	skodder
k-værdi (W/m ² °C)	3,13	2,09	0,40
Ventilation	1 h ⁻¹	0,75 h ⁻¹	0,50 h ⁻¹ (kontroll.)
Varmegenvinding	ingen	ingen	83% - 90%

Figur 7.

Sammenlignende varmebalance udtrykt i kWh pr. Referenceår	Alm. isoleret parcelhus (A)	Godt isoleret parcelhus (B)	Nul-energihus (C)
Varmetab gennem vægge, tag og gulv	14242	8670	4722
Varmetab gennem vinduer (transmission)	4416	4199	2968
Varmetab ved ventilation	10099	7564	1256
Varmetab ved døråbninger			656
Totalt tab	28757 (300%)	20433 (210%)	9602 (100%)
Varmetilskud fra personer	2473	2397	2051
Varmetilskud fra belysning m.v.	2149	2074	1774
Solindfald gennem vinduer	4689	4494	3477
Totalt udnyttet gratisvarme	9311	8965	7302
Nødvendig suppleringsvarme	19446 (850%)	11568 (500%)	2300 (100%)

Figur 8.



Sammenlignende varmebalance grafisk anskueliggjort.

Figur 9.

Udnyttet varmetilskud

For at varmetilskuddet fra personer, belysning og solindfald gennem vinduer skal kunne udnyttes fuldt ud i varmebalancen er det nødvendigt med en god automatisk temperaturregulering i de enkelte rum.

Den totalt afgivne gratisvarme i Referenceåret er beregnet til:

fra personer	2955 kWh
fra belysning m.v.	2505 -
fra solindfald	5770 -
ialt	11230 kWh

I varmebalancen er kun regnet den del af gratisvarmen, der er med til at hæve temperaturen til den specificerede rumtemperatur 17-23°C (se figur 3).

Det ses af den sammenlignende varmebalance, at det almindeligt isolerede hus med det store varmetab kan udnytte en større del af gratisvarmen end det godt isolerede hus med det lille varmetab.

Af de ialt afgivne 11230 kWh kan hus A udnytte 9311 kWh (83%), hus B 8965 kWh (80%) og Nulenergihuset 7302 kWh (65%).

Omvendt er det således, at gratisvarmen i det godt isolerede hus dækker en større del af husets varmetab end i det almindeligt isolerede hus.

I hus A dækker gratisvarmen 32% af varmetabet, i hus B 44%, og i Nul-energihuset dækkes 76% af husets varmetab.

Dimensionerende varmetab

En beregning af det dimensionerende varmetab med 20°C indenfor og -12°C udenfor er angivet i nedenstående tabel for de 3 huse.

Endvidere er angivet varmetabet pr. m² gulvareal for henholdsvis transmissionen og ventilationen.

	Alm. isoleret hus (A)	Godt isoleret hus (B)	Nul-energihus (C)	
			u. skodder	m. skodder
Dimensionerende varmetab (20°C-(-12°C))	9300 W (245%)	6200 W (164%)	3800 W (100%)	2400 W (63%)
Transmissions- tab pr. m ² gulvareal	56 W/m ² (215%)	35 W/m ² (135%)	26 W/m ² (100%)	14 W/m ² (54%)
Ventilations- tab pr. m ² gulvareal	24 W/m ² (342%)	18 W/m ² (257%)	7 W/m ² (100%)	7 W/m ² (100%)

De energibesparende foranstaltningers indflydelse på Nul-energihusets varmebehov

1. Nul-energihuset uden varmegenvinding

Uden varmegenvinding i ventilationssystemet øges husets varmebehov med 150% om året.

Uden genvinding	Med genvinding	Stigning
5760 kWh (250%)	2300 kWh (100%)	3460 kWh

2. Nul-energihuset uden skodder

Uden de isolerede skodder foran vinduerne om natten øges husets varmebehov med 82% om året:

Uden skodder	Med skodder	Stigning
4160 kWh (182%)	2300 kWh (100%)	1860 kWh

3. Nul-energihuset med 3 lag glas i vinduerne

Hvis de 2 lag glas med skodder blev erstattet af 3 lag glas uden skodder, ville det øge husets varmebehov med 34% om året:

3 lag u. skodder	2 lag m. skodder	Stigning
3090 kWh (134%)	2300 kWh (100%)	790 kWh

Hvis de 2 lag glas med skodder blev erstattet med 3 lag glas med skodder, ville det give en besparelse i husets varmebehov på 15% om året:

3 lag m. skodder	2 lag m. skodder	Besparelse
1950 kWh (85%)	2300 kWh (100%)	350 kWh

4. Nul-energihuset uden atrium

Hvis Nul-energihusets boligareal på 116 m² var samlet, således at man undgik de 2 ekstra ydervægge mellem bokasserne og atriumgården og samtidig reducerede vinduesarealet fra 18 m² til 11,6 m² (10% af boligarealet), ville husets varmebehov mindskes med 44%:

Uden atrium	Med atrium	Besparelse
1280 kWh (56%)	2300 kWh (100%)	1020 kWh

Energiøkonomi

Ved varmegenvinding fra ventilationsluften reduceres Nul-energihusets varmebehov til rumopvarmning med 3460 kWh i varmesæsonen. For at opnå denne reduktion bruger ventilatorerne en elektrisk energi på ca. 210 kWh (6% af besparelsen) (5).

Litteratur

- (1) Vagn Korsgaard og Torben V. Esbensen: Nul-energihus projektet ved Dth. VARME nr. 6, 1974.
- (2) Torben V. Esbensen: Nul-energihuset. Tværfagligt forskningsprojekt ved Danmarks tekniske Højskole. BYGGEINDUSTRIEN nr. 3, 1975.
- (3) Hans Lund: Program BA4 til beregning af rumtemperaturer og varme- og kølebehov. Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks tekniske Højskole, juli 1974.
- (4) Referenceåret - Vejrdata for VVS-beregninger. Statens Byggeforskningsinstitut. Rapport nr. 89, 1974.
- (5) P. Kjerulf-Jensen: Noll-energihusets klimatsystem. Svensk VVS nr. 1, 1975.
- (6) Boligministeriet, Energigruppe 3: Forslag til ændring af BR-72 vedr. varmeisolering og ventilation. Februar 1975.