LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

EDB PROGRAMMER FOR ENERGI OG INDEKLIMA

- SÆRTRYK AF VVS-BLADET NR. 1, JANUAR 1987

JØRGEN ERIK CHRISTENSEN

FEBRUAR 1987 MEDDELELSE NR. 177

EDB programmer for energi og indeklima

EDB-programmer til beregning af bygningers energiforbrug og termiske indeklima



**Af civilingeniør Jørgen Erik Christensen,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole**

Anvendelse af edb-programmer til beregning af bygningers energiforbrug og termiske indeklima er blevet stadig mere udbredt i Danmark. Det kan være vanskeligt at danne sig et overblik over dem, og det er derfor hensigten med denne artikel at beskrive de mest anvendte. I artiklen beskrives en stationær metode: »Beregning af energiforbrug i småhuse«, og fem ikke-stationære programmer. Af de fem omtales et forenklet program: tsbi, og fire detaljerede programmer: SUN-CODE, VENTAC, BLAST og ESP.

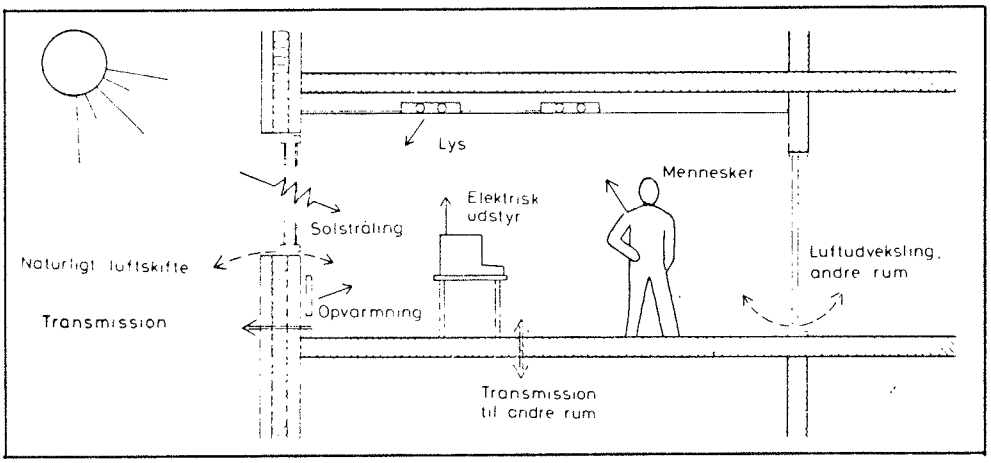


Fig. 1. Skematisk figur der illustrerer de forskellige kilder der indgår i varmebalancen.

Indeklimaet og energiforbruget i et rum er et resultat af et kompliceret samspil mellem bygningens udformning, de termiske belastninger, klimaanlægget og de vejrlige påvirkninger. For at holde styr på dette er det nødvendigt at opstille en varmebalance for rummet. De kilder der indgår i denne varmebalance er illustreret på figur 1. For denne balance skal der til ethvert tidspunkt gælde, at den til rummet tilførte varme er lig med bortført varme, idet der medregnes den varmemængde, der tilføres eller afgives fra varmeakkumulerende bygningsdele.

Der findes mange modeller/metoder til bestemmelse af indeklimaet og energiforbruget både det øjeblikkelige og det årlige. Disse kan deles op i 2 kategorier:

- Stationære metoder
- Ikke stationære metoder

Hvor der antages *stationære forhold* er der ingen ændringer i varmeindholdet i de akkumulerende bygningsdele, og varmebalancen bliver følgelig simpel, svarende til almindelige varmetabsberegninger.

For *ikke-stationære forhold* er det nødvendigt at medtage varmeakkumuleringen i bygningskonstruktionerne, og dette medfører at varmebalancen bliver langt mere kompliceret. Da det ikke er muligt at regne eksakt på disse forhold, gøres der en række tilnærmelser med hensyn til den instationære varmeledning gennem bygningskonstruktionen.

Stationære forhold

Under stationære forhold udtrykker et rums varmebalance, at den tilførte varme er lig den bortførte. De helt enkle metoder til beregning af bygningers energiforbrug har traditionelt været baseret på stationære betragtninger, fx graddøgnsmetoden.

Disse metoder tager imidlertid ikke særlig godt henyn til eksterne og interne varmetilskud i beregningerne. Da disse tilskud har fået stadig større betydning for energiforbruget, i og med at vore bygninger er blevet bedre isoleret og tætte, er der et behov for bedre metoder. Dette gælder også ved vurdering af energibesparende foranstaltninger i småhuse.

For at løse behovet for på en enkel måde at beregne energiforbruget i småhuse under hensyn til solindfald, internt varmetilskud og boligens varmeakkumuleringsevne udarbejdede Anker Nielsen, Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, metoden EFB-1, som led i Energiministeriets varmelagerprojekt. Denne metode er blevet videreudviklet af Kjeld Johnsen, SBI, og Anker Nielsen, nu Norges Byggforskningsinstitutt, Trondheimavdelingen, igennem et andet energiministerielt projekt (litt. 1). Metoden går under betegnelsen »Beregning af energiforbrug i småhuse« og er anvendelig til beregning af enfamiliehuse, herunder dobbelthuse, rækkehuse og lignende.

Modellen er baseret på en simpel grundmodel, der benytter k-værdier for de indgående flader og den udvendige månedsmiddeltemperatur i kombination med eksterne varmetilskud fra solindstråling og interne varmetilskud fra perso-

ner, elektricitet og varmt vand. I rapporten er det givet en vejledning i, hvorledes varmetilskud fra personer, elekticitet og varmt vand bestemmes, samt hvorledes tilskuddet fra solindstråling gennem vinduer kan beregnes ud fra tabeller og diagrammer.

På grundlag af de beregnede varmetab og varmetilskud for hver måned bestemmes teoretiske minimums- og maksimumsforbrug, hvor imellem det aktuelle forbrug placeres ud fra en vurdering af bygningens varmeakkumuleringsevne. Modellen tager således på en simpel måde hensyn til bygningens evne til at akkumulere det tilførte varmetilskud.

Resultatet af beregningen giver primært det månedlige og årlige *netto*energiforbrug til opvarmning og ventilation, og sekundært til varmt vand og elektricitet. Metoden fortæller ikke noget om hvorledes de beregnede nettoenergiforbrug kan omregnes til bruttoenergiforbrug.

Metoden kan benyttes til at foretage en standardmæssig energivurdering af et projekteret hus, hvilket sker ud fra standardforudsætninger med hensyn til indetemperatur, varmetilskud, vinduesafskærmning etc. Dette kan benyttes til at sammenligne med andre huse og til at undersøge alternative konstruktionsmæssige udformninger. Anvendelse af standardforudsætninger kan være aktuel ved vurderingen af, om et givet hus kan klassificeres som et lavenergihus, jf. Energistyrelsens definition i vejledningen »Kollektiv varmeforsyning og vedvarende energi. Fritagelse for tilslutning«. (litt. 2).

Alternativt kan der foretages en individuel beregning af et eksisterende hus med helt aktuelle og kontrollerbare forudsætninger.

Metoden er så enkelt bygget op, at manuelle beregninger er overkommelige, men som i så mange andre tilfælde er det en fordel at benytte edb ved løsning af opgaver, da det er meget tidsbesparende. I denne forbindelse har det rådgivende ingeniørfirma CENERGIA Aps. udviklet et edb-program (litt. 3), der tager sit udgangspunkt i (litt. 1). Programmet er bygget op over den samme terminologi og med indtastningsskemaer svarende til rapportens, hvorfor det er let at sætte sig ind i, når kendskab til rapporten haves. På figur 2 er et eksempel på udskrift fra programmet vist.

Skema 3. Nettoenergiregnskab

Indetemperatur			:	20.0 C		
Antal personer			:	2.5 pers.		
Varmeakkumuleringstal (Z)			:	0.4 -		
Opvarmede del af bruttoareal			:	87.1 kvm.		
måned	Qt,v	Qi	Qs	Qmin	Qmax	Qr
Jan	1471.8	530.0	87.7	858.0	923.4	897.2
Feb	1297.7	460.0	121.7	716.0	775.4	751.6
Mar	1268.5	480.0	267.9	520.7	672.5	611.8
Apr	956.3	420.0	366.8	218.6	445.0	354.4
Maj	637.8	410.0	467.9	47.3	233.6	159.1
Jun	325.6	380.0	517.3	-0.0	79.5	47.7
Jul	273.3	390.0	461.7	0.0	59.0	35.4
Aug	287.3	410.0	415.5	0.0	63.9	38.3
Sep	481.6	420.0	316.9	20.4	157.3	102.6
Okt	777.9	480.0	189.8	167.2	339.1	270.3
Nov	1051.3	490.0	95.7	465.6	574.6	531.0
Dec	1345.6	530.0	70.3	745.3	826.3	793.9
Tot	10174.7	5400.0	3375.1	3759.1	5149.6	4593.4

Nettoenergiforbrug pr. år		kWh/år
Til opvarmning og ventilation	Qr =	4593
Til varmt vand	VV =	3000
Til opvarmning, ventilation og varmt vand	Qr + VV =	7593
Til elektricitet	EL =	4000
Nettoenergiforbrug i alt	Qr + VV + EL =	11593
Q-lavenergi	=	7048

Huset kan ikke klassificeres som lavenergihus: Q-lavenergi < Qr + VV

PRIMÆR BRÆNDSEL	=	Olieopvarmning
Brændværdi	=	9.850 kWh pr. liter olie
Nyttevirkning	=	0.850
Forbrug Qr	=	396.4 liter olie pr år
VV	=	258.9 liter olie pr år
Qr + VV	=	655.3 liter olie pr år

Fig. 2. Udskrift fra CENERGIA's program til »Beregning af energiforbrug i småhuse«.

Beregningsmetoder for ikke stationære forhold

Ved beregning af varmebalancen i et rum under ikke-stationære forhold er det som nævnt ovenfor nødvendigt at tage hensyn til varmeakkumuleringen i bygningskonstruktionerne. Dette gøres normalt ved at benytte diskrete beregningsmetoder, hvilket vil sige at tiden deles op i tidsstep Δt på maksimalt en time. Denne beregning kræver løsning af et ligningssystem, der repræsenterer al varmeudveksling i rummet. Dette betyder i den simpleste form en ligning for rumluften og en for hver overflade.

I edb-programmer til simulering af termisk indeklima regnes der altid 1-dimensionalt ved beregningen af den instationære varmeledning for en væg. Dette medfører, at detaljerede undersøgelser af problemstillingen med flerdimensionale varmestrømme ikke kan løses med disse programmer, hvorfor der må henvises til specielle programmer eller el-analogmetoder.

Varmeledningen gennem en homogen væg med konstante fysiske data kan i det 1-dimensionale tilfælde udtrykkes ved Fouriers varmeledningsligning:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \alpha \cdot \frac{\delta^2 T}{\delta x^2}$$

hvor T betegner temperaturen (°C)
t - tiden (s)
x - stedkoordinaten (m)
α - temperaturledningstallet (m^2/s)

Det er ikke muligt at benytte denne ligning til undersøgelse af rums varmebalance, men det er muligt at lave forskellige tilnærmelser til den. Disse tilnærmelser går primært ud på at dele tiden op i tidsskridt Δt, så den omskrevne ligning kan indgå direkte i edb-programmerne. Det bliver herved muligt at opstille en varmebalance for rummet, hvor der indgår følgende tre former for varmetransmission:

1. Ledning
2. Stråling
3. Konvektion

Den første benyttes ved varmeledningen gennem byggekonstruktionerne, og de to andre benyttes ved varmeudvekslingen mellem overfladerne og rumluften. Alt efter hvorledes den partielle differentialligning løses, kan edb-programmerne deles op i forskellige kategorier. I denne sammenhæng er vi mest interesserede i at se på de programmer, der anvendes eller kan forventes at blive anvendt i Danmark fremover, hvorfor interessen samler sig om følgende to løsningsmetoder:

1. Differensmetoder
2. Responsfaktormetoder

Differensmetoder

Differensmetoder kan deles op i eksplicitte og implicitte metoder. Ved de eksplicitte metoder løses en ligning for hver af de ubekendte parametre. Ved de implicitte metoder indgår hver af de ubekendte parametre i flere ligninger. I SUNCODE benyttes en eksplicit metode og i VENTAC og ESP en implicit metode. I det følgende vil en eksplicit metode blive omtalt.

Princippet for beregningen er, at Fouriers varmeledningsligning:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \alpha \cdot \frac{\delta^2 T}{\delta x^2}$$

omformes til en differensligning. Dette sker ved at inddele den væg, hvori det ønskes at få beregnet temperaturforløbet, i et antal punkter (differens netpunkter). Princippet er vist på figur 3, idet netpunkterne nummereres med »i«.

Den endelige differensligning kan skrives på flere forskellige former afhængigt af, hvilken tilnærmelse der benyttes. I VENTAC benyttes »backward-differens approksimation« (implicit metode), og i SUNCODE »forward-differens approksimation«. Den sidstnævnte kan skrives på følgende form:

$$\frac{T_{i,j+1}-T_{i,j}}{\Delta t} = \alpha \cdot \frac{(T_{i+1,j}-T_{i,j})+(T_{i-1,j}-T_{i,j})}{\Delta x^2}$$

hvor det diskrete tidsstep Δt er betegnet ved j, j+1, og den diskrete stedkoordinat Δx ved i-1, i, i+1. Temperaturerne er kendte før tidspunktet j i punkterne i-1, i, i+j, og ud fra disse kan temperaturen $T_{i,j+1}$ i det næste skridt j+1 findes i punktet i. Denne tilnærmelse har derfor fået betegnelsen »forward-differens approksimation«, da temperaturen i det næste tidsstep findes på baggrund af en approksimation af temperaturerne i tidssteppet før.

Responsfaktormetoder

Princippet ved responsfaktormetoderne er, at responsen fra et system, fx en væg, undersøges efter påtrykning af en enhedsimpuls. Denne impuls kan fx bestå af en varmestrøm ind på en væg i et tidsinterval eller en hævning af overfladetemperaturen på væggen. Som enhedsimpuls anvendes ofte en trekantimpuls med højden 1 (fx 1 °C) og længden to tidsintervaller (fx 2 timer), jf. figur 4.

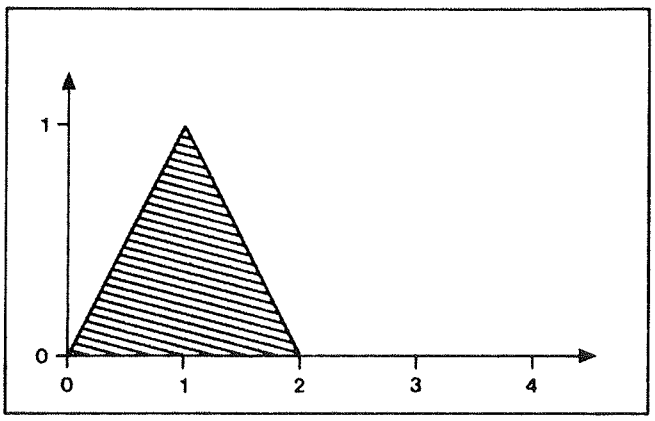


Fig. 4. Enheds-trekantimpuls med højden 1 °C og bredden 2 timer.

Ideen ved metoderne er herefter, at fx en væg påtrykkes en enheds-temperaturimpuls på den venstre overflade og ingen temperaturimpuls på den anden. Dette giver et ligningssystem med fire parametre: to kendte temperaturer og to ubekendte varmestrømme, se figur 5. Løsningen af dette ligningssystem giver responsen fra væggen i form af responsfaktorer. Løsningen af systemet er imidlertid en kompliceret sag, der kræver en del edb-beregningstid. Derfor benyttes responsfaktormetoden for det meste kun, hvor der er behov for beregninger over en længere tidsperiode, som det netop er kendetegnet ved edb-programmer til beregning af bygningers energiforbrug og indeklima. I BLAST beregnes responsfaktorerne ved brug af Laplace-transformationer.

Responsfaktorerne har form af to tidsserier, som for en enkelt væg angiver varmestrømmen ind i væggens overflader for 1, 2, 3... n tidsintervaller, efter den pågældende enhedsimpuls er påtrykt. Enhver påvirkning kan herefter udtrykkes ved hjælp af en serie impulser med et givet tidsinterval og amplitude. Resultatet fra påvirkningen fås herefter til et givet tidspunkt ved at summere responsfaktorerne for de forudgående tidsintervaller.

Edb-programmer

Edb-programmer til beregning af termisk indeklima under ikke stationære forhold har vundet stigende indpas som værktøj for rådgivere og projekterende i de senere år. Det er herved blevet muligt, ved at undersøge en lang række forskellige byggetekniske løsninger, at finde den eller de bedste løsninger, der giver det laveste energiforbrug og bedste indeklima under de givne betingelser. Disse beregninger kan udføres parallelt med projekteringen, og det kan således afgøres, hvilken indflydelse fx ventilation, nat- og weekendsænkning, solafskærmning etc. har på bygningen. Dette har stor betydning, da en grundig analyse af bygningen allerede på skitsestadiet kan spare meget store beløb. Det er vigtigt at bygningen orienteres rigtigt, at vinduesarealerne har den rette størrelse, at bruttoetagehøjden er tilstrækkelig til de ventilationskanaler der er nødvendige m.m. Forkerte beslutninger i denne fase kan forringe drifts-økonomien i hele bygningens levetid.

Generel beskrivelse

Edb-programmerne udfører beregninger på baggrund af bygningens konstruktive og geometriske opbygning og vejrdata for den givne lokalitet. Vejrdata findes på timebasis og indeholder oplysninger om udetemperaturer, solindfald og vindforhold. Programmerne regner med tidsstep på en time eller mindre. I de tilfælde, hvor der regnes med flere tidsstep pr. time, regnes vejrdata konstante inden for den givne time. Programmerne anvender enten internationalt anerkendte formater for de indgående vejrdata: TRY, TMY, SOLMET etc. eller specielle formater, der først må konverteres fra de kendte formater.

Programmerne kan deles op i tre hoveddele:

1. Beregning af temperatur og nettoenergiforbrug
2. Beregning af ventilationssystem
3. Beregning af centralvarme/køleanlæg

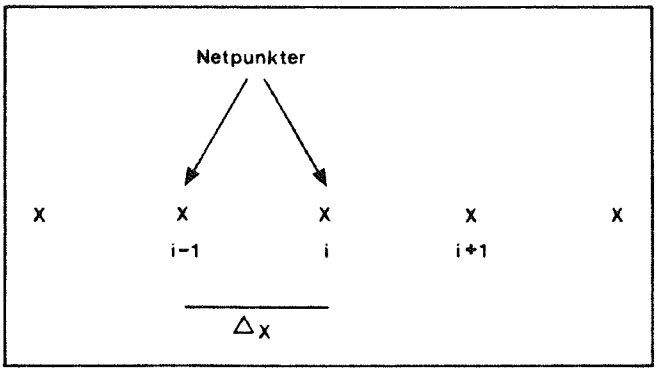


Fig. 3. Væg hvor der er indlagt netpunkter i en indbyrdes afstand Δx. »i« betegner den diskrete stedkoordinat.

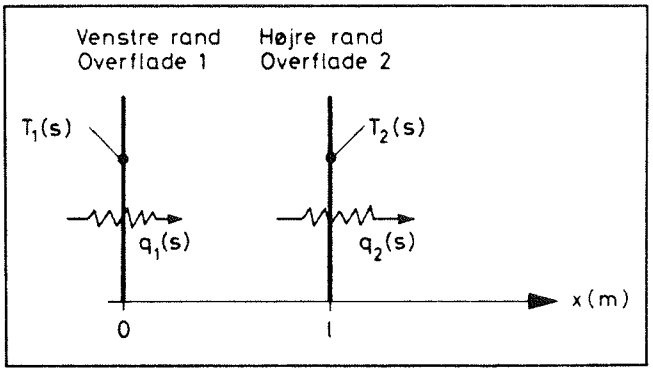


Fig. 5. Varmestrøm ind i venstre side og ud af højre hidrørende fra en enhedstemperaturimpuls på venstre side.

Den første del er normalt den mest komplicerede, afhængigt af hvor detaljeret den termiske analyse af bygningen og dens komponenter er. Det er specielt beregningen af den instationære varmeledning, for bygningskonstruktionerne på en detaljeret måde, der er tidskrævende. Der foretages derfor en række simplificeringer for at nedbringe regnetiden.

Afhængigt af simplificeringerne skelnes der mellem forenklede og detaljerede programmer. I denne artikel vil et forenklet program og fire detaljerede programmer blive beskrevet, idet disse anses for at være relevante, da de allerede anvendes i Danmark (med undtagelse af ESP, der er ved at blive implementeret).

I det forenklede program indgår der tre parametre til at beskrive rummet. Den samlede varmekapacitet, varmestrøm mellem overflader og varmekapacitet, varmestrøm mellem overflader og indeluft. I de detaljerede programmer indgår der en detaljeret beskrivelse af bygningen, inkluderende dens geometri og materialer. Varmebalancen for rummet bliver herefter beregnet for rumluften og for hver overflade.

De programmer, der vil blive beskrevet, er følgende:

Forenklede programmer:

tsbi	Statens Byggeforskningsinstitut

Detaljerede programmer:

SUNCODE	USA
VENTAC	Fläkt, Sverige
BLAST	USA
ESP	Storbritannien

På figur 6 er de vigtigste oplysninger om de 5 programmer samlet, idet der er sondret imellem om programmet ligger på en personal computer (PC), en mellemstor computer (Mini) eller en stor computer (Main Frame).

Når det alene drejer sig om at beregne energiforbruget i almindelige bygninger over en længere periode, ser det (if. en undersøgelse inden for en IEA-gruppe (litt. 4)) ikke ud til at være den store forskel på, om der benyttes en forenklet eller detaljeret metode.

Forenklede programmer

tsbi

I starten af halvfjerdserne udviklede Statens Byggeforskningsinstitut og Laboratoriet for Varmeisolering henholdsvis TEMPFO 4 og BA4 baseret på en simpel termisk model for et rum. Siden udviklingen af disse to programmer er der sket en rivende udvikling på edb-området. Hvor det tidligere var nødvendigt at have TEMPFO 4 og BA4 på en stor computer, har Statens Byggeforskningsinstitut videreudviklet TEMPFO 4 til et interaktivt menu-drevet program »tsbi«, der kan køre på en personal computer (litt. 5 og 6.).

Beregningsmoduler. Programmet er bygget op af en række beregningsmoduler som illustreret på figur 7. Brugeren kan selv vælge, hvilke og hvor mange moduler, som skal medtages (max 8 varianter af hver modultype, fx 8 vinduer).

Beregningsmodellen. Metoden der anvendes i programmet er oprindeligt udarbejdet af professor Bo Adamson, Lunds tekniske Højskole. Bo Andersen, Crone & Koch A/S har derefter omarbejdet modellen en del, idet beregningsudtrykkene er udformet som differensligninger. Modellen hører således ind under kategorien »differensmetoder«. Modellen er en et-rums model, som på en simplificeret måde

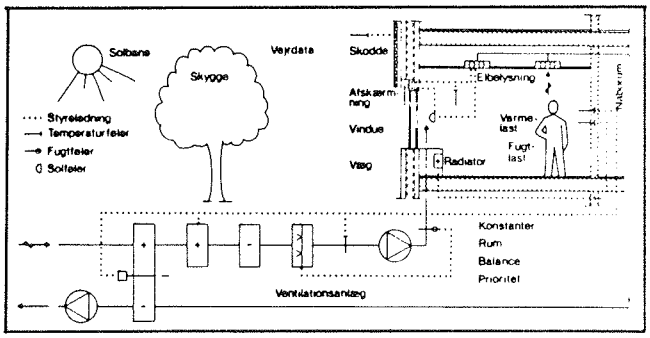


Fig. 7. Principskitse for beregningsmoduler i tsbi.

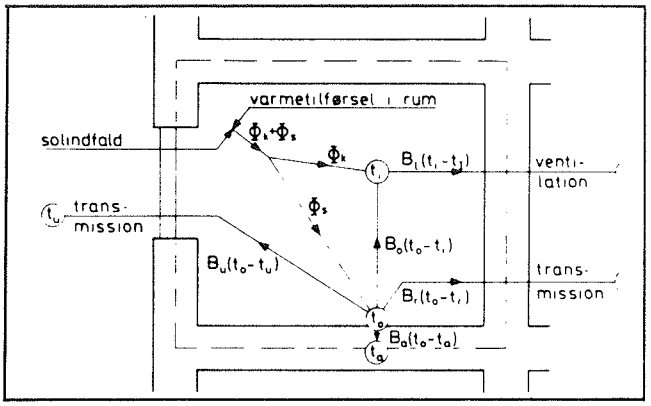


Fig. 8. Beregningsmodellen for tsbi.

tager hensyn til den termiske varmekapacitet og de dynamiske varmeudvekslinger mellem: rumluft - ventilationsluft - overflader - bygningsdele og udeluft. Beregningsmodellen er vist på figur 8.

Forenklingerne i modellen går i hovedtræk ud på, at alle indvendige overfladetemperaturer regnes ens lig t_o, og beregningen af den instationære varmeldning i væggene bliver foretaget ved at indføre fiktive, uendeligt tynde varmeakkumulerende lag med den samme temperatur t_a. Disse lag beskriver herefter rummets varmekapacitet. Det bliver derfor kun nødvendigt at opstille tre varmebalanceligninger:

1. Rumluftens varmebalance.
2. Overfladernes varmebalance.
3. De varmeakkumulerende lags varmebalance.

Den enkle model gør det muligt at beskrive rummet ved blot tre parametre:

- S: Den samlede varmekapacitet
- B_a: varmestrøm pr. grad mellem overflader og varmekapacitet
- B_o: varmestrøm pr. grad mellem overflader og indeluft.

Brugervenlighed. Programmet er meget brugervenligt i sin opbygning, og i tilknytning til programmet er skrevet en pædagogisk brugervejledning (litt. 5), der gør det muligt for førstegangsbrugere hurtigt at kunne sætte sig ind i programmet. Dette er en meget vigtig egenskab, idet den tid det tager at sætte sig ind i et program og vedligeholde sin viden om det, er en væsentlig faktor.

Grafisk udtegning. I tilknytning til programmet kan der udføres en grafisk optegning af beregningsresultaterne. Der er benyttet en grafisk pakke kaldet GSX, Grafisk Extension fra Digital Research. Et eksempel på udtegning med dette program er vist på figur 9.

Begrænsninger i tsbi. Programmet har i sin nuværende version 2.1 følgende begrænsninger:

	Grundmodel Forenklet	Grundmodel Detaljeret	Computer PC/MAIN /MINI	Styresystem	Temperatur og Netto-energiforbrug	Ventilations-system	Centralvarme/ Køleanlæg
tsbi	x		PC	MS-DOS CP/M-86	x	x	
SUNCODE		x	PC	MS-DOS	x		
VENTAC		x	PC	MS-DOS	x	x	x
BLAST		x	MAIN	NOS 2.3	x	x	x
ESP		x	MINI	UNIX	x	x	x

Fig. 6. Hovedoplysninger om programmer.

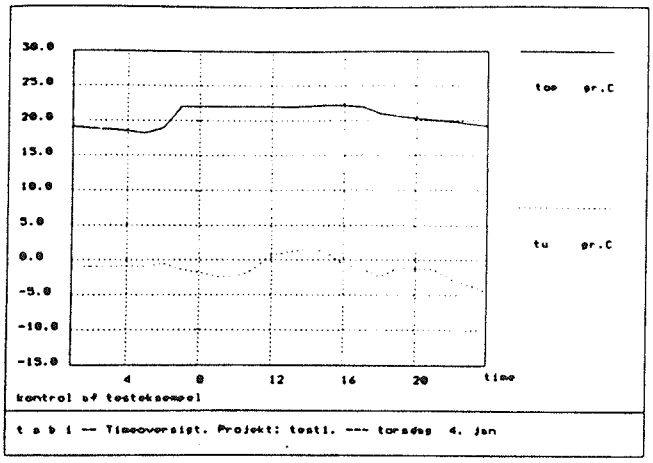


Fig. 9. Grafikudtegning af temperaturforhold over døgnet.

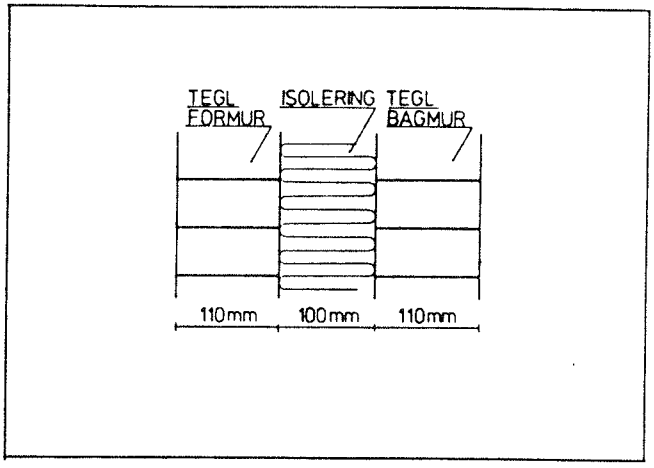


Fig. 11. Eksempel på beskrivelse af bygningskonstruktion bestående af 3 lag: TEGLFORMUR, ISOLERING, TEGLBAGMUR.

- Et rum
- Omgivelsernes skygge regnes ens for alle rummets vinduer
- Befugtning kan kun simuleres som dampbefugtning

Følgende kan ikke simuleres:

- VAV-system
- Udluftning ved at åbne vinduer med temperaturafhængig luftmængde
- Genvinding med forskellig temperaturvirkningsgrad og fugtvirkningsgrad.

Som nævnt i indledningen af artiklen er programmet blevet grundigt beskrevet i en tidligere artikel i dette blad (litt. 6), hvorfor det ikke vil blive yderligere uddybet her.

Videreudvikling af tsbi. SBI har i forbindelse med Energiministeriets energiforskningsprogram for 1987 fået en bevilling til at videreudvikle tsbi til en 2-rums model, der indbefatter en glastilbygning. Programmet vil således i fremtiden imødekomme et stort behov hos de rådgivende ingeniørfirmaer. Herudover afholdes der en række brugermøder, hvor brugerne fremkommer med forskellige ønsker, der for så vidt det er muligt/rimeligt imødekommes af SBI. Programmet forhandles af Statens Byggeforskningsinstitut.

Detaljerede programmer

Igennem tiderne er der blevet udviklet en del detaljerede programmer til beregning af bygningers energiforbrug og indeklima. Grundlaget for disse programmer er en matematisk model af rummene i bygningen som et termisk system. Varmebalancen for hvert rum bliver udregnet på timebasis inkluderende en komplet strålings-, konvektiv- og varmeledningsbalance for hver overflade og en varmebalance for rumluften i hvert rum. Denne varmebalance inkluderer varmeudveksling mellem de enkelte rum (med undtagelse af VENTAC, der regner rummene hver for sig).

I hvert rum er det muligt at definere varme/kølestrategi, naturligt luftskifte, ventilation ved at åbne vinduer og interne varmekilder fra mennesker, elektriske apparater etc.

I tilknytning til programmerne er der mulighed for at oprette biblioteker, hvor en lang række informationer kan ligge: materialeparametre, konstruktioner, belastningsprofiler etc., således at det ikke er nødvendigt at definere disse ved hvert enkelt projekt. Dette letter arbejdet med programmerne meget, hvilket også er nødvendigt, hvis de skal være tilstrækkelig brugervenlige som alternativ til tsbi.

I det følgende vil 4 programmer kort blive beskrevet: SUNCODE, VENTAC, BLAST og ESP, idet en mere detaljeret beskrivelse vil ligge uden for rammerne af nærværende artikel. I den første del vil fællestrækkene ved opbygningen af rummodellen for programmerne blive forklaret. Dette tager sit udgangspunkt i bygningsbeskrivelsen, hvor der gøres rede for bygningsgeometrien og de indgående konstruktioner med tilhørende materialer.

Materialer og bygningskonstruktioner. De enkelte materialer beskrives ved hjælp af oplysninger om tykkelse, varmeledningstal, varmefylde og densitet (figur 10). Alternativt kan materialer med lav varmekapacitet specificeres ved kun at angive en isolans for materialelaget. Ud fra de enkelte materialelag opbygges herefter bygningskonstruktionerne (figur 11).

Koordinatssystem og retningsangivelser: VENTAC, BLAST og ESP anvender karte-

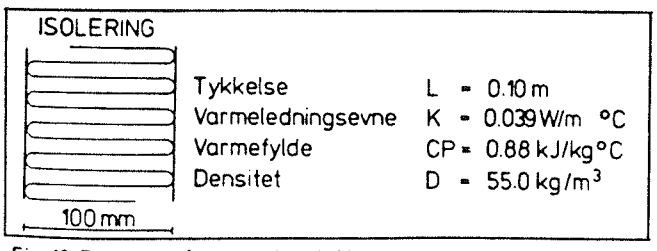


Fig. 10. Eksempel på beskrivelse af 100 mm tykt isoleringsmateriale med navnet: ISOLERING.

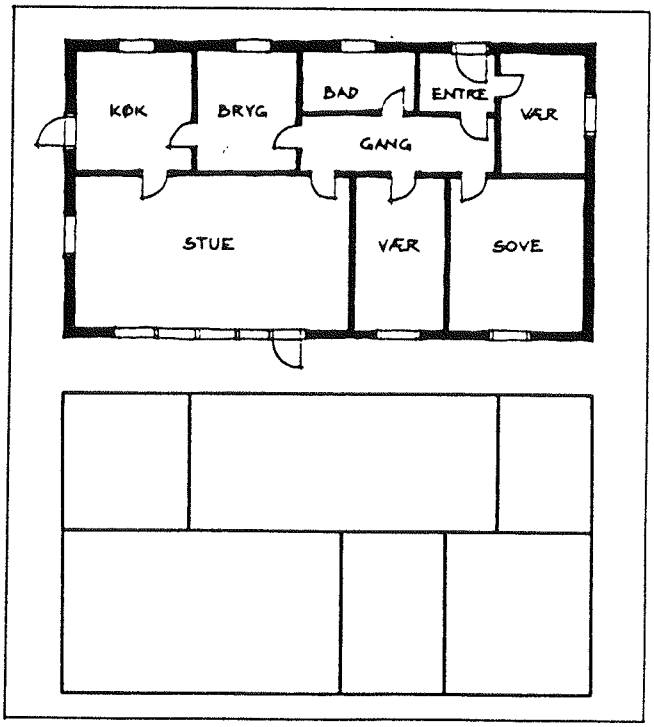


Fig. 12. Øverst er vist et eksempel på et parcelhus og nederst et eksempel på, hvorledes dette hus kan simplificeres.

siske koordinater ved beskrivelsen af fladerne i zonerne. Z-aksen peger altid opad, hvorimod X- og Y-aksernes retninger er afhængige af origos placering i forhold til bygningen. I SUNCODE angives fladerne blot ved arealerne. Retningerne i programmerne er defineret i grader med uret: Nord = 0°, Øst = 90°, Syd = 180° og Vest = 270°.

Optegning af simplificeret bygning: Optegningen af en specifik bygning bør altid simplificeres så meget som muligt under hensyntagen til beregnings sikkerheden. Fra den forenklede bygning konstrueres en tegning til brug for beregningen, hvor de enkelte vægge er ækvivaleret med en linje. På figur 12 er vist et eksempel på en simplificeret optegning af et parcelhus.

SUNCODE

SUNCODE er et PC-program til termisk simulering af bygninger. Programmet er en forbedret udgave af programmet SERI-RES, der er udviklet på Solar Energy Research Institute i USA til brug på store computere.

Programmet er blevet benyttet en del på Laboratoriet for Varmeisolering til forskningsopgaver og er desuden blevet afprøvet i mange sammenhænge, sidst i et forskningsprojekt under det Internationale Energi Agentur. Inden for passiv solvarme er programmet særlig karakteriseret ved, at det kan regne på Trombevægge, faseændringslagre og stenlagre. Programmet er generelt anvendeligt til beregning af bygningers energiforbrug til opvarmning, samt indeklima, hvorimod selve opvarmningssystemet ikke simuleres.

Inddata til programmet foretages interaktivt på en enkel og hurtig måde, og der er en omfattende fejlcheckning, således at bygningsmodellen er let at få op og stå.

Uddata kommer i skemaform med overskrifter, enheder m.v. på printer, eller kan overføres uformatteret til videre bearbejdning med spredshetprogram: Symphony eller tilsvarende.

Programmet importeres og forhandles af CENERGIA Aps. (litt. 3).

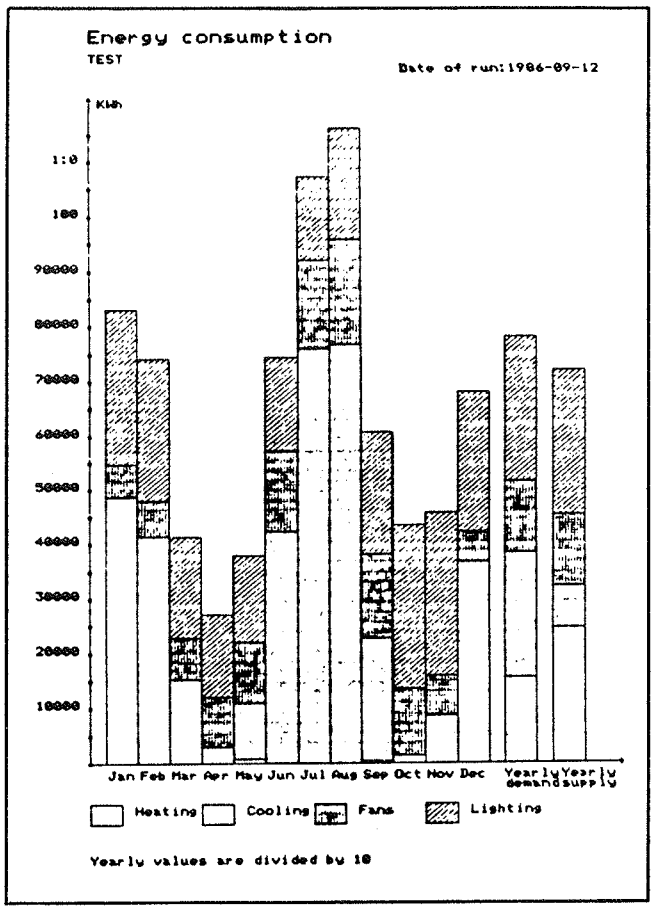


Fig. 13. Grafisk optegning for det samlede energiforbrug i en bygning.

VENTAC

VENTAC er udviklet af det svenske ventilationsfirma Fläkt til en stor computer. Programmet ligger på en CYBER i Bruxelles, men med nedlæggelsen af CYBER-nettet i Europa vil denne version af programmet blive overflyttet til en af de svenske universiteters CYBER computere.

Fläkt har imidlertid videreudviklet CYBER-versionen af programmet til et interaktivt menudrevet program »VENTAC/PC«, der kan køre på en personal computer. Dette åbner op for helt nye perspektiver for brugen af programmet. Der er hermed mulighed for en totaldimensionering af en bygning i en simulering, idet programmet beregner temperaturforløb, ventilationssystem og bruttoenergiforbrug fra centralevarme/køleanlæg. Da programmet er interaktivt og brugervenligt i sin opbygning og arbejder med skandinaviske systemer, vil dette program være at foretrække til kommercielt brug frem for BLAST.

VENTAC/PC er således det program, blandt de detaljerede, der er bedst egnet til kommercielt brug, hvis et samlet energisystem ønskes beregnet. Til gengæld kan det ikke anbefales til forskning, da det kun regner på rummene hver for sig og således ikke tager hensyn til varmeudveksling mellem rummene. Det der i stedet gøres i programmet er, at brugeren har mulighed for at specificere temperaturer eller temperaturdifferencer samt strålingsalternativer på den anden side af væggene.

Programmet er specielt, idet det kan regne på strålingsskævheder og indbyrdes langbølget strålingsudveksling mellem indvendige overflader ved hjælp af vinkel- og fordelingsfaktorer. Ligeledes udregnes belysningsintensitet og operativ temperatur i op til 6 frit valgte punkter i rummet.

Med hensyn til grafisk opterede data til videre bearbejdning med spreadsheet-protegning af beregningsresultater gøres dette analogt til tsbi med GSX. På figur 13 er et eksempel på en grafisk optegning vist for det samlede energiforbrug i en bygning. Programmet er under løbende ajourføring og forhandles af Fläkt Danmark A/S.

BLAST

BLAST er et amerikansk energiberegningsprogram, der er udviklet af Construction Engineering Research Laboratory (CERL) i Champaign, Illionois, USA. Programmet ligger på en CYPER 170 model 825, der er en stor computer ved UNI.C, Århus. (Det landsdækkende edb-center for forskning og undervisning).

Programmet er blevet benyttet ved en række forskningsprojekter inden for passiv solvarme på Laboratoriet for Varmeisolering og i eksamensprojekter på Danmarks tekniske Højskole og Danmarks Ingeniørakademi. Herudover er det blevet anvendt af det rådgivende ingeniørfirma Birch & Krogboe. Der er således igennem årene opnået en stor erfaring i at bruge programmet. Programmet har primært været benyttet til forskning og kun i mindre grad kommercielt. Der er blevet gjort et stort stykke arbejde for at gøre det mere brugervenligt for danske brugere, for at det kunne anvendes kommercielt. Den hastige udvikling inden for PC'erne i de senere år har imidlertid gjort, at de PC-orienterede programmer på mange måder er blevet mere attraktive til kommercielt brug.

Programmet er meget detaljeret og fleksibelt og har mange faciliteter, der gør det meget velegnet til forskning. Programmet er beskrevet i detaljer af forfatteren i (litt. 7), og er offentligt tilgængeligt for alle, der ønsker at bruge programmet. Der skal ikke betales nogen afgift for brugen, men udelukkende for den medgåede maskintid.

Undertegnede har videreudviklet BLAST systemet med et mindre interaktivt program »JC-WRITER«, der kan udskrive timeværdier og beregne fraktiler og timefordelinger for ønskede data. Herudover kan programmet overføre uformat-

grammer eller andre programmer.

Sammenkoblingen mellem BLAST, JC-WRITER og andre større/mindre programmer er netop aktuel i øjeblikket, hvor det anvendes i 2 projekter. Det ene projekt er et EF-demonstrationsprojekt med udnyttelse af solenergi i kombination med sæsonlagring i en tæt-lav boligbebyggelse, Tupperupvægge II, i Herlev. Her er det hensigten at kombinere BLAST beregningerne med et program til dimensionering af sæsonlagre. I det andet projekt, der udføres af 2 studerende under P. Kjerulf-Jensen på Laboratoriet for Varme- og Klimateknik, er det hensigten at sammenkæde BLAST beregningerne med et PC-program. Dette PC-program vil blive i stand til at optimere energiforbruget efter nogle nyudviklede styringsstrategier. Som testeksempel benyttes den nye IBM bygning i Allerød.

ESP

ESP er et program, der kan regne på mange forskellige typer passive solvarmesystemer. Dette inkluderer Trombevægge og glastilbygninger. Programmet er udviklet ved University of Strathclyde, Glasgow, England, og er blevet udvalgt af EF som det mest velegnede regneprogram til passiv solvarme. ESP kan køre på en mini computer og er i øjeblikket ved at blive implementeret på en Apollo, Domain Series 3000 af Lars Olsen på Laboratoriet for Varmeisolering. Indtil nu er der ingen erfaringer med mini computer versionen i Danmark.

Valg af edb-program

Ved valg af edb-program er det selvfølgelig afgørende at tage hensyn til, om det er til forskning eller kommercielt brug. Desuden er det vigtigt at gøre sig klart, om formålet (udover at undersøge temperaturforhold) er at dimensionere ventilationssystemer, centralvarme-/køleanlæg eller undersøge problemstillinger vedrørende varmeudveksling mellem rum, herunder passiv solvarme.

På figur 14 er oplysninger om anvendelse og pris for programmerne sammenstillet. Ved at sammenholde denne figur med figur 6 er det muligt at få de overordnede oplysninger om programmerne og ud fra dette vurdere, hvilke programmer der har interesse.

I denne sammenhæng er der nok den største interesse for, hvilket program en bruger kan vælge til kommercielt brug. På figur 14 fremgår det, at der er 3 programmer, der kan komme på tale: tsbi, SUNCODE og VENTAC. I de tilfælde hvor brugeren kun ønsker at dimensionere selve opvarmningssystemet bliver det et valg mellem tsbi og VENTAC, jf. figur 6. SUNCODE kan imidlertid også benyttes, idet programmet beregner max varme-/køleeffekter, hvorudfra brugeren selv kan håndregne størrelsen af de nødvendige luftmængder.

tsbi er meget let at sætte sig ind i og det mest brugervenlige program af de beskrevne. Til gengæld kan det kun regne på 1 rum, og det er kun ventilationssystemet samt nettovarme-, og kølebehov, der kan beregnes.

VENTAC er et detaljeret program, der kan regne på mange rum enkeltvis, idet varmeudveksling mellem disse ikke kan medtages. Programmet kan benyttes til at dimensionere ventilationssystemer og centralvarme-/køleanlæg. Det er således muligt at lave en totaldimensionering i en og samme simulering. Hvis brugeren ønsker at undersøge byggerier, hvor varmeudveksling mellem de enkelte rum har stor betydning kan SUNCODE derimod anbefales. Dette spiller navnlig en stor rolle ved undersøgelse af passiv solvarme. Hvis dimensionering af ventilationssystem og centralvarme/køleanlæg også skal indgå, bør anvendelse af BLAST eller ESP overvejes. ■

	Antal rum med/uden varmeudveksling		Avendelse:		Pris*
	Med	Uden	Kommercielt-K Forskning-F	Passiv solvarme-PA	kr.
tsbi	-	1	K		15.000
SUNCODE	10	10	K + F	PA	10.500
VENTAC	-	99	K		25.000**
BLAST	20	100	F	PA	0***
ESP	10	10	F	PA	ca. 50.000

Fig. 14. Anvendelse og pris for programmer.

* *Pris er inkl. vejrdata fra referenceåret TRY og brugervejledning, men eksl. moms.*

** *Inkl. introduktionskursus i brugen af programmet.*

*** *Der betales kun for maskintid.*

Litteratur

1. Beregning af energiforbrug i småhuse, Kjeld Johnsen & Anker Nielsen, SBI rapport 148, Statens Byggeforskningsinstitut, 1984.
2. Kollektiv varmeforsyning og vedvarende energi. Fritagelse for tilslutning, Energistyrelsen, 1983.
3. Edb-program: Beregning af energiforbrug i småhuse, edb-program: SUNCODE. CENERGIA Aps, Walgerholm 17, 2750 Ballerup.
4. Calculation method to predict energy savings in residental buildings, Swedish Council for Building Research, D4.1983.
5. Brugervejledning for edb-programmet tsbi - Termisk simulering af bygninger og installationer, version 2.1, SBI, 1985.
6. tsbi - termisk simulering af bygninger og installationer. Et nyt program til indeklima og energiberegninger. Kjeld Johnsen, side 13-17, VVS-bladet nr. 3, marts 1986.
7. BLAST - edb program til beregning af passiv solvarme. Jørgen Erik Christensen, Energiministeriets varmelagerprojekt, rapport nr. 20, Laboratoriet for Varmeisolering, 1984.

Summary

The application of edb-programs for the calculation of indoor climate and energy consumption in buildings is steadily increasing in Denmark. Since it can be rather difficult to get at general view of the programs because of the large variety the purpose of this article is to give a description of the programs most commonly used. Information is given on a stationary program named »Calculation of the energy consumption in single family houses«. Besides this, five nonstationary programs are highlighted. The »tsbi« program which is based on a simple mathematical model and further four more detailed programs, SUNCODE, VENTAC, BLAST and ESP.